

芝浦工業大学

博士学位論文

# 建築生産情報のマネジメント技術に関する研究

鉄筋工事における設計・加工・施工の

生産情報の連携に着目した技術的解決方策について

令和3年3月

曾根巨充

芝浦工業大学 大学院理工学研究科

地域環境システム専攻



## 目次

<b>序章</b>	<b>建築工事における建築生産情報と BIM/ICT</b>	<b>001</b>
1	本研究の背景	003
2	本研究の概要	006
3	論文の構成	009
<b>第1章</b>	<b>建築生産情報のマネジメント技術に関する変遷</b>	<b>015</b>
1-1	本章の目的と構成	017
1-2	日本型建築生産システムにおけるマネジメント手法	020
1-3	BIM/ICT 等をめぐる国や民間団体の動向	027
1-4	BIM/ICT 等に関する技術開発の変遷	032
1-5	施工管理分野における主な技術開発	045
1-6	施工計画分野における主な技術開発	058
1-7	結び：生産情報を活用する観点から見た BIM/ICT 等の技術開発	065
<b>第2章</b>	<b>鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察</b>	<b>083</b>
2-1	本章の目的と構成	085
2-2	鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察	087
2-3	配筋検査における BIM/ICT の活用に関する考察	092
2-4	結び：鉄筋工事におけるマネジメント技術の在り方	095
<b>第3章</b>	<b>鉄筋工事における生産プロセスの実態調査</b>	<b>107</b>
3-1	本章の目的と構成	109
3-2	聞き取り調査の概要	111
3-3	図面作成プロセス	113
3-4	鉄筋加工プロセス	117
3-5	配筋・組立プロセス	120
3-6	配筋検査プロセス	121
3-7	生産プロセスにおける BIM/ICT の活用状況	123
3-8	結び：鉄筋工事における生産プロセス	124
<b>第4章</b>	<b>鉄筋工事における工程内チェックの分析</b>	<b>131</b>
4-1	本章の目的と構成	133
4-2	工程分析手法の適用	134
4-3	鉄筋加工工場内における工程内チェックの分析	137
4-4	工事現場内における工程内チェックの分析	139

4-5	配筋検査時に使用する生産情報の分析	147
4-6	配筋検査時に発覚する施工不具合と工程内チェックとの関連性	149
4-7	結び：鉄筋生産プロセスで使用する生産情報の確定時期	153

## 第5章 鉄筋加工工場における不具合発生要因の分析 157

5-1	本章の目的と構成	159
5-2	調査対象とした鉄筋加工工場の概要	161
5-3	鉄筋加工工場の生産プロセス	163
5-4	絵符に記載されている加工情報	163
5-5	鉄筋加工工場で記録された加工の不具合	165
5-6	不具合の属性	167
5-7	不具合発生要因の分析	171
5-8	不具合内容と加工ラインの関連性	176
5-9	結び：工事現場と鉄筋加工工場における生産情報の連携	177

## 第6章 BIM/ICTを活用した鉄筋生産情報のシステム構築の在り方 183

6-1	本章の目的と構成	185
6-2	BIM/ICT を活用するアクターの想定	189
6-3	BIM/ICT を活用するユースケースの想定	193
6-4	BIM/ICT を活用したシステムの開発環境	194
6-5	BIM/ICT を活用したシステム構築の在り方	197
6-6	結び：BIM/ICT の活用が生産性向上と不具合低減に及ぼす影響	204

## 第7章 BIM/ICTを活用した鉄筋生産情報の構築手法に関する考察 211

7-1	本章の目的と構成	213
7-2	鉄筋配置に関する制約条件の整理	216
7-3	構造解析ソフトウェアとの連携（ST-Bridge の設定）	221
7-4	鉄筋自動配置に必要な配筋設定の定義	227
7-5	鉄筋自動配置に必要な自動配置ロジックの定義	239
7-6	鉄筋自動配置に必要な鉄筋形状の定義	249
7-7	鉄筋自動配筋検査に必要な検査項目の定義	254
7-8	鉄筋/配筋 BIM モデルと加工図との生産情報の連携	258
7-9	結び：BIM/ICT の活用と鉄筋生産情報の関係	263

## 第8章 BIM/ICTを活用したシステムの工事現場への適用 269

8-1	本章の目的と構成	271
8-2	鉄骨造の基礎躯体への適用	272



8-3 適用結果と考察	273
8-4 結び：課題と今後の展開	282

<b>結章</b>	<b>建築工事におけるBIM/ICTの受容</b>	<b>287</b>
-----------	---------------------------	------------

1 はじめに	289
2 鉄筋工事における生産情報と BIM/ICT の在り方	290
3 建築工事における BIM/ICT の受容	295
4 おわりに — 設計・加工・施工の生産情報の連携 —	298

<b>初出一覧</b>	<b>304</b>
-------------	------------

<b>あとがき</b>	<b>306</b>
-------------	------------

序

---

Theme **建築工事における建築生産情報と BIM/ICT**

---



---

## 序章 建築工事における建築生産情報と BIM/ICT

---

1 本研究の背景	003
2 本研究の概要	006
3 論文の構成	009

---

### 1 本研究の背景

---

#### はじめに

本論文は、建築施工に携わる総合建設工事会社の技術者や専門工事会社の職長、技能労働者の業務を、BIM や ICT を活用して建築生産情報をマネジメントする観点から分析することで、生産性の向上や不具合の低減につながるマネジメント技術を示し、実際にシステム開発をおこなうとする試みである。

近年では工事現場を支える技能労働者の高齢化が進むだけでなく、新規の入職者が少ない等の課題から、安定的な建築産業を維持するために今までの建築生産のプロセスを見直し、生産性の向上を実現させるのは喫緊の課題と言われている。ところが、建築分野ではこのような課題を解決するための方策として、1980 年代から ICT を活用することで、生産性の向上を目指す技術開発がすでに始まっていた。今も継続して総合建設工事会社において開発が進められている。開発された BIM や ICT に関連する技術は、他産業で開発された当時の最先端と言われたソフトウェアやハードウェアの技術の上で実現されてきたのが大半である。一時的に試行または推進されてきたが、時代とともにコンピュータ周辺技術の急速な進歩に呼応するかのようになり、同じような活用用途のシステム開発が繰り返されてきた。工事現場では現在でも BIM や ICT の活用により生産性を向上させる取り組みが推進されていることから、それらが完成形として認知され、定着・普及しているとはいえない。

しかしながら、先行して開発されたそれらの技術は、建築生産情報との関連性を踏まえて試行や適用がなされてきたものである。BIM や ICT を活用した技術の在り方は、現在にいたるまで建築分野における生産性の向上や建築生産情報のマネジメントにかかわる技術開発に、少なからず影響を与えていると考えられる。

近年の BIM や ICT を活用した技術開発で掲げられる目的の多くは、生産性の向上やデジタル情報を活用した新たな社会をつくることにある。国土交通省では 2016 (平成 28) 年を「生産性革命元年」として i-Construction の推進を発表し、3 次元データを活用した生産性の向上に言及した<sup>[1]</sup>。日本建設業連合会では 2016 (平成 28) 年に『生産性向上推進要綱』を発表し、施工段階の BIM の啓発・普及推進や建築現場における携帯情報端末等の ICT の活用を提唱した<sup>[2]</sup>。内閣府では 2016 (平成 28) 年に発表した「第 5 期科学技術基本計画」において Society 5.0 を目指す政策を明記した<sup>[3]</sup>。Society 5.0 は「サイバー空間 (仮想空間) とフィジカル空間 (現実空間) を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会 (Society)。狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) に続く、新たな社会を目指すもの」としている<sup>[4]</sup>。経済産業省では 2018 (平成 30) 年に『デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン (DX 推進ガイドライン) Ver.1.0』を発表し、「あらゆる産業において、新たなデジタル技術を利用してこれまでにないビジネスモデルを展開する新規参入者が登場し、ゲームチェンジが起きつつある。こうした中で、各企業は、競争力維持・強化のために、デジタルトランスフォーメーション (DX) をスピーディに進めていくことが求められている」と取り組みの背景を説明した<sup>[5]</sup>。DX の定義は「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」とした<sup>[6]</sup>。

このように社会環境の変化が進む中で、建設業界においてもデジタルの情報を活用した社会の構築が求められつつある。単にソフトウェアやハードウェアをひとつの業務に導入することや目先の目的でシステムを改良することではない。ここで扱われるべきものは正しいデジタルの情報の作成手法や正しいデジタル情報を構築できる知識のデジタル化なのである。建築分野では、まさしく建築生産情報がこれらに該当してくると考えられる。

### **鉄筋工事における建築生産情報をケーススタディとして考える**

本論文では上述した観点から、今後どのように建築生産情報をマネジメントし、BIM や ICT を活用することが望ましいのかを考えたい。題材としては建物が竣工してから品質に重要な影響を与える躯体工事の中でも、工事現場における技術者等が扱う建築生産情報が多岐にわたる在来工法の鉄筋工事をケーススタディとして選んだ。鉄筋工事を対象とした理由は、社会的課題を解決するための課題が多いと思われるからである。具体的には、以下の 6 項目を指摘できる。

- ① 躯体工事は竣工後の建物の品質に重要な影響を与えている。
- ② 鉄筋工事の不具合事象は社会的に建設業界への信頼の失墜につながる。
- ③ 技術者や職長、技能労働者が扱う建築生産情報は多岐に渡るがデジタル情報の活用が少ない。
- ④ 鉄筋部材の配置検討は、技術者の経験値に大きく依存している。
- ⑤ 配筋・組立作業が終わらないと完成形が見えない。

⑥ 入職者の確保が難しい工種のひとつである。

このような背景から BIM や ICT を活用して、建築生産情報をマネジメントする技術を適用させる余地が多いと思われる。本論文では鉄筋工事の生産プロセスにおいて正しいデジタルの建築生産情報の作成手法や、次工程との連携を生産プロセス内における建築生産情報のマネジメントとして捉える。建築生産情報のマネジメントを総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場における「人」と結びつけることで、BIM や ICT の活用を「人」によるマネジメント技術として置き換えて、単にソフトウェアの導入を目指すだけでなく、デジタル化された建築生産情報のマネジメントや連携が、新たな価値を生み出す活用方法の全体像を明らかにしたい。さらに鉄筋部材の配置を検討する業務（以下、納まり検討）についても知識のデジタル情報とし、建築生産情報を作成する行為として扱うことにする。納まり検討が不十分の場合では工事現場における配筋・組立時に鉄筋が納まらない、配筋検査において不具合が発覚する等、作業の生産性を阻害する可能性が高いからである。技術者の経験値に大きく依存している納まり検討を BIM や ICT を活用することで、正しい建築生産情報が作成できるようになれば、鉄筋工事の生産プロセス全体における生産性の向上や品質の不具合を低減させる効果が期待できる。

### **BIM や ICT に関する技術開発が社会に及ぼす影響**

1960 年代以降の建築分野における技術開発は、短工期で大量の住宅を供給できる PCa 化工法の開発や短工期を実現できる工場生産による浴槽（ユニットバス）、外装材としてのカーテンウォールの進化、透明で平滑なガラスを採用したガラス建築等のように構法や使用される材料の進化につながる工業化の分野で大きく発展した。このような技術開発は超高層ビルやタワーマンションなどを実現させることを可能とした技術であり、建築業界以外に対しても技術の進歩を身近に感じることができる。発注者から要求されたニーズにより実現された技術であり、いわゆる「外向的」な技術開発と言える。一方、BIM や ICT を活用した技術開発も大型コンピュータを使用した構造計算に見られるようにプログラム等が開発されてきたが、建築生産プロセス上の断片的な業務への適用に留まっていた。それゆえ開発された技術を使用するユーザーは、建築業界内だけに限定されてしまい、建築業界以外ではそれらの技術を目にすることはない。そのため「内向的」な技術開発と言えるだろう。

鉄筋工事における技術開発は、鉄筋工事の生産プロセスの最後にあたる配筋検査の業務に対する生産性の向上や品質の向上への興味が大きい傾向にある。携帯情報端末等による配筋検査やその後の報告書を作成する業務自体の効率化を期待することはできるが、鉄筋工事全体の生産性向上にどれほど寄与するであろうか。配筋・組立時に鉄筋の納まりが望ましくない箇所の発覚や配筋検査で発覚した不具合を是正する作業が日常の業務で発生しており、鉄筋工事の生産プロセス内の一部分を切り取って建築生産情報を活用する ICT を活用した技術開発だけでは、工事全体における生産性の向上に大きく寄与しているとはならないのである。一方、配筋検査で使用する建築生産情報の基は設計図書になるが、実際に鉄筋の加工や配筋・組立時に使用する鉄筋生産情報は、設計図書から施工図・製作図（鉄筋工事の場合は加工図）を作成するプロセス内で確定されている。このようなプロセス内で作成された建築生産情報に間違いが発生した結果が、配筋・組立時の不具合箇所の発生や配筋検査時の是正項目につながっている可能性を否定できない。

これらを解決するには、鉄筋工事の生産プロセス内で後工程に不具合を流さない建築生産情報の

マネジメント技術を確立させると同時に知識のデジタル化や正しいデジタル情報を次工程と連携させるような体制やワークフローを構築するとともに、配筋検査前の生産プロセス内で想定される不具合を徹底的に排除する仕組みづくりも同時に考えることが肝要と考えられる。

---

## 2 本研究の概要

---

### (1) 本研究の目的

本研究では以下の3点を目的として設定した。

1点目は、パーソナルコンピュータが一般に普及を始めた1980年代半ばから、建築生産においてBIMやICTを活用した技術開発の全体像を活用する目的別に時系列として体系化することにより、建築施工におけるシステムの開発が目指した全体像を明らかにすることである。本研究における建築生産情報のマネジメントは、単一の業務に携帯情報端末やBIM、ICTを活用することで生産性を向上させるようなアプローチを考えていない。今回のシステム開発では、正しい建築生産情報の作成者や使用者をシステムのユーザーとして定義し、鉄筋工事の生産プロセスに合わせてデジタル化された知識や建築生産情報を次工程へと連携させるために必要なソフトウェアやハードウェアを構築することと捉えている。そのため今までのシステム開発で目指してきた活用する目的を整理して分析することにより、建築生産プロセスにおける社会的課題の解決につながるBIMやICTを活用した技術開発の在り方の把握を試みる。

2点目は、鉄筋工事における生産プロセスにおいて、設計図書の受領から始まる建築生産情報の変移を、コンクリート打設前の配筋検査に至る最後のプロセスまで体系的に整理することである。総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場への聞き取り調査や現地調査から、正しい鉄筋生産情報がつくられていく鉄筋工事の生産プロセスの全体像を明らかにする。さらに鉄筋工事におけるシステム開発の分野の傾向についても整理を試みる。すでにBIMやICTを活用したシステム開発が試みられており、建築生産情報をマネジメントすることが、鉄筋工事における品質の確保や生産性の向上と密接な関連にあると考えられる。そこで建築生産情報のマネジメントは、生産プロセスの工程内でおこなわれているチェックにあると考え、鉄筋加工工場と工事現場における工程分析から建築生産情報をマネジメントする実態を把握する。あわせて正しい建築生産情報のマネジメントを導くために、生産プロセス内の配筋検査時に指摘される項目や鉄筋加工工場における不具合の発生要因に着目した分析も試みる。これらの分析・考察から、鉄筋工事における建築生産情報に着目した生産プロセスの全体像を把握し、BIMやICTを活用した建築生産情報をマネジメントするシステム構築の基礎資料とする。

3点目は、上述したように鉄筋工事における建築生産情報がマネジメントされる実態から、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場が正しいデジタルの建築生産情報をお互いに連携しながら仮想空間で現実空間を再現することができるワークフローを示すことである。ワークフローの提示と同時に、実際のシステムを開発するのに必要となるデジタル情報として建築生産情報の構築手法や配筋・組立に関する知識のプログラム化につながる鉄筋配置の手順の整理も試みる。



本研究においては、実際にシステムの開発をおこない、実際の工事現場において試行をする。新たに示したワークフローに基づいて鉄筋工事の生産プロセス内でデジタルの建築生産情報を活用して仮想空間上で現実空間を再現する効果や課題の分析を試みる。その結果から生産性の向上や不具合の低減との関連性を検証し、建築生産におけるデジタル化された建築生産情報をマネジメントする技術の在り方を捉えることを試みる。

このような試みから本研究の意義は、将来、建築工事においてデジタル情報を活用した生産性の向上や不具合の低減に資する基礎的な知見を示すことにある。さらに研究例が少ない総合建設工事会社と専門工事会社とがデジタル化された建築生産情報を連携することによる効果や課題点に関する知見を示すことで、建築生産に関与する多くの方々に対して BIM や ICT を活用するインセンティブ（動機付け）にも繋がると考える。

## **(2) 研究対象とする建築生産と建築生産情報の範囲**

建築生産は広義に解釈すると、設計・施工・維持管理を範囲としているが<sup>[7]</sup>、本研究における建築生産は主に施工段階における工事現場での行為を対象とする。一方、建築生産情報という言葉は施工段階で作成される情報だけではなく、設計者が作成する設計図書に記載されている情報を包含するものとする。施工者が工事請負契約を締結した際に設計図書を受領してから作成する施工図・製作図に記載される情報は、設計図書から受け渡された情報を含んでいるからである。今回は建築工事における鉄筋工事を対象とするため、設計者が設計図書を作成する際に建築生産情報をどのように作成するのかが対象外とした。そのため、建築生産情報は建築工事全般で扱われる情報を指し、鉄筋生産情報は鉄筋工事で必要となる情報を指すことにする。今回は工事現場における建築生産情報の在り方を論じるため、鉄筋材料の発注に関する分野は対象外とした。発注方式は鉄筋材料と鉄筋労務を分離して発注する場合と一緒に発注する場合がある。いずれの場合も設計図書で指定された材料であることを確認する手立てとして、鉄鋼メーカーが発行するミルシートと鉄筋材料に結束されているメタルタグの照合や鉄筋材料のロールマークを確認する手順が確立されていることによる。

鉄筋工事に関する仕様書は、日本建築学会による『建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事』（以下、JASS5）や『鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説』（以下、配筋指針）、国土交通省大臣官房官庁営繕部による『公共建築工事標準仕様書（建築工事編）』（以下、標準仕様書）が知られている。各企業が作成する構造図には仕様書や詳細図等が示されているが、それらも JASS5 や配筋指針、標準仕様書に準拠しており、優先順位としては最上位にあるのが一般的である。いずれにしても鉄筋工事に要求される品質は、「要求通りの鉄筋材料を使用し、かつ、組み立てられた鉄筋が、所定の位置に保持されること」と言える<sup>[8]</sup>。そこで本研究において扱う鉄筋生産情報は、上述した JASS5 等に準拠する。

一方、「組み立てられた鉄筋」とさらりと述べているが、JASS5 や配筋指針、標準仕様書では具体的な鉄筋の配置方法に関する検討手順やお互いの鉄筋が干渉している箇所の回避方法についての詳細な記述は見られない。仕様書で扱われる項目は、かぶり厚さや定着長さ、加工に必要な曲げ角度や寸法等のように鉄筋部材に関する規定（以下、単体規定）であると言える。柱主筋と梁主筋が交わるような仕口部分では単体規定を守りながら、総合的に干渉を回避させて配置位置を決める（以下、複合規定）必要がある。それらを解決させる手順（以下、配置ロジック）は存在しているが、技術者や

職長の経験値に大きく依存しており、JASS5 などの仕様書だけを読んで誰もがすぐに複合規定を把握しながら配置ロジックを習得することは難しい。

番号	単語	解釈
01	建築生産情報	設計図書に記載されている情報。施工段階で作成される施工図・製作図の情報も含む。本論文では生産情報と略す。鉄筋工事に必要な生産情報を含み、鉄筋を加工するために必要な情報、鉄筋を工事現場へ搬入し配筋・組立をするために必要な情報、鉄筋の配筋・組立の途中に自主検査をするために必要な情報、鉄筋の配筋・組立が完了した時に配筋検査する情報を包含する。鉄筋材料に関する情報を特定させる場合は、鉄筋生産情報と呼ぶ。
02	デジタル情報	CAD や BIM, 各種ソフトウェアで作成された情報のこと。
03	マネジメント	建築生産プロセスにおいて建物を建設するのに必要な建築生産情報を効率的に活用する手法のこと。
04	ワークフロー	業務の流れや建築生産情報の流れを指す。
05	BIM	Building Information Modelling の略称である。一般的にはコンピュータ上に作成した主に 3 次元の形状情報に加え、室等の名称・面積、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等、建物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルを構築するシステムのことを指す。本論文では 3 次元の躯体・鉄筋形状情報に鉄筋工事の納まり検討、鉄筋加工、配筋・組立、配筋検査に必要な属性情報（部材符号・部材記号・サイズ・鉄筋本数・鉄筋径、等）を付加させたモデルを指す。ICT により作成されたデジタル情報とは双方向でデータ連携する。
06	ICT	情報通信技術のこと。コンピュータ関連技術を指す IT と同義である。本論文ではコンピュータ関連技術のひとつとして CAD や表計算ソフトウェアで建築生産情報をデジタルで作成するソフトウェアを主に指す。BIM により作成されたデジタル情報とは双方向でデータ連携する。
07	BIM/ICT	BIM のソフトウェアや ICT のソフトウェアの総称のこと。
08	鉄筋 BIM モデル	設計図書の建築生産情報から作成された BIM モデル。設計図書の意図を仮想空間で再現できる。
09	配筋 BIM モデル	施工図や製作図の建築生産情報から作成された BIM モデル。工事現場での状況を仮想空間で再現できる。
10	鉄筋/配筋 BIM	鉄筋 BIM モデルと配筋 BIM モデルの総称のこと。
11	配筋基準	設計図書に記載されている特記仕様書や配筋要領図等の総称のこと。
12	配筋設定	開発したシステム上で鉄筋の単体規定を設定する機能。物件ごとに設定する物件設定と JASS 5 などで定義されている単体規定を設定する配筋要領の 2 つから構成される。
13	配置ロジック	鉄筋部材を配置させるために、技術者等が頭の中で考えていた行為を手順化すること。自動で処理させる場合は自動配置ロジックとする。

図 1 用語の定義

以上を踏まえ、本研究における鉄筋生産情報では、JASS5 や配筋指針、標準仕様書に準拠している単体規定だけに関わらず、設計図書に記載された建築生産情報から鉄筋の加工や配筋・組立に必要な複合規定を決めるための配置ロジックも研究対象とする。特に複合規定の配置ロジックについては、技術者や職長の経験値に大きく依存しており、情報社会（Society 4.0）の課題として「知識や情報が共有されず、分野横断的な連携が不十分という問題がありました。人が行う能力に限界があるため、あふれる情報から必要な情報を見つけて分析する作業が負担であった」と指摘している範囲に該当しており<sup>[9]</sup>、このような分野に BIM や ICT を活用して「様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出す」ことを目指すことが<sup>[10]</sup>、今後の建築生産において必要になると考えられる。

本論文で使用する用語の定義を図 1 に整理しておく。

---

### 3 論文の構成

---

本論文は図 2 に示すように序章、第 1 章から第 8 章、結章から構成される。

**第 1 章「建築生産情報のマネジメント技術に関する変遷」**では BIM や ICT を活用した技術開発を論じるにあたり、パーソナルコンピュータが普及し始めた 1985（昭和 60）年から 2017（平成 29）年までの 33 年における国や民間団体の動向やコンピュータ周辺技術の変遷、日本建築学会で発表された論文の題目を概観する。抽出する論文は建築生産で使用されることを想定した BIM や ICT を活用したシステム開発の技術を対象とし、それらを大きく 2 つに分類する。1 つは施工管理分野、もうひとつは施工計画分野である。前者は工事現場における施工管理手法として一般的に用いられている品質管理（Q）、原価管理（C）、工程管理（D）、安全管理（S）、環境管理（E）として分類する。後者は工程計画や施工計画の立案、測量、施工図等のように工事現場の施工管理業務の前段階にあたる分野として分類し、BIM や ICT を活用した技術開発の全体像の変遷を整理する。いままで開発されてきた BIM や ICT に関する技術を建築生産におけるマネジメント技術と捉え、活用する目的を分析の対象とすることにより、工事現場におけるマネジメント技術や社会情勢との関連性を通して全体像を把握し、BIM や ICT を活用したシステム開発の在り方を考察する。

**第 2 章「鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察」**では、鉄筋工事をケーススタディとして 1970（昭和 45）年から 2016（平成 28）年までに日本建築学会で発表された論文の傾向を概観する。論文の題目からシステム開発、施工性、鉄筋加工工場、鉄筋専門工事会社、品質管理、その他の 6 項目で分類して整理を試みることで、BIM や ICT を活用した技術開発が鉄筋工事における建築生産情報の作成や活用に与えた影響の解明を試みる。さらに分類した 6 項目の中からシステム開発の分野に着目し、特にいままで多く開発されてきた配筋検査システムの活用目的や活用方法等の視点からシステムの利点や課題点などを分析する。そこから鉄筋工事の生産性向上や品質不具合の低減にどのように寄与した技術開発であったのかを考察し、それらの結果から鉄筋工事におけるマネジメント技術のあるべき方向性を示す。

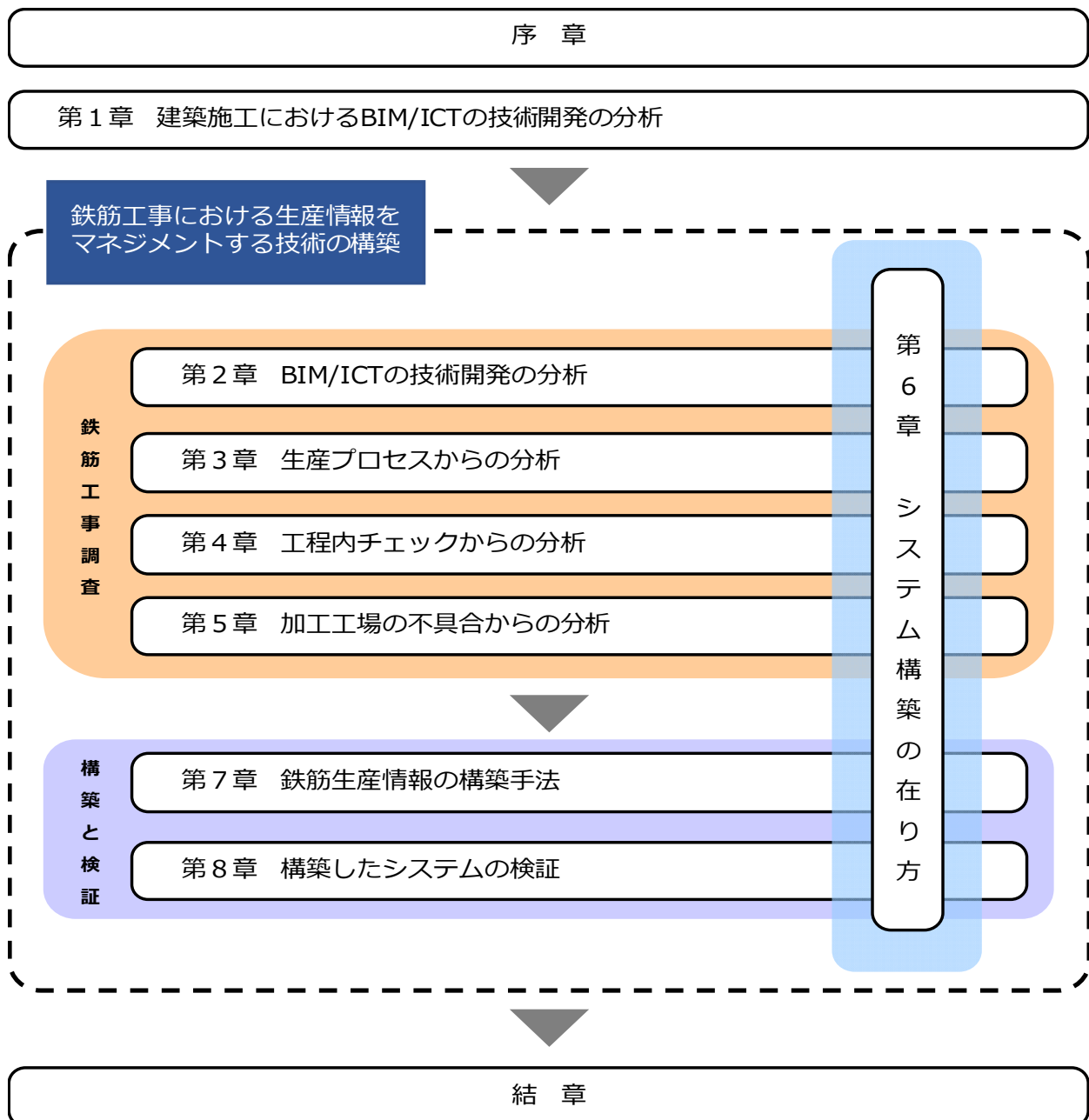


図 2 論文の構成

**第3章 「鉄筋工事における生産プロセスの実態調査」**では、鉄筋工事において正しい生産情報が確定されるワークフローを示すために、総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場に対して鉄筋工事の生産プロセスの現状を聞き取り調査した結果を示す。あわせて BIM や ICT が活用されている場面を整理することで、設計図書が作成された以降から鉄筋工事の生産プロセスにおける建築生産情報を統合的にマネジメントしうる技術の方向性を考察する。

**第4章 「鉄筋工事における工程内チェックの分析」**では、鉄筋加工工場と工事現場（在来 RC 造）における現地調査から建築生産情報の活用実態を整理し、鉄筋工事の生産プロセス内における不具合を防止するために実施している検査や自主的なチェックを工程内チェックと定義し、建築生産情報との関連性を工程分析図として整理する。それらの結果から配筋検査時に発覚する施工不具合と工程内チェックとの関連性を分析する。鉄筋工事の生産プロセス内において正しい建築生産情報が確定される時期やマネジメント手法から、BIM/ICT を活用した場合の建築生産情報の活用などに与える影響の解明を試みる。

**第5章 「鉄筋加工工場における不具合発生要因の分析」**では、鉄筋加工工場において発生する鉄筋加工の不具合に着目して、工事現場から伝達された鉄筋生産情報の活用と不具合との関連性を分析する。さらに鉄筋加工工場の加工ラインの現地調査から不具合が発生する要因を整理するために工程内チェックに着目し、加工機の配置や加工ラインとの関連性から正しい鉄筋生産情報を使用する視点を示す。不具合の発生事象と加工工程や加工情報の関連性を分析し、鉄筋加工の情報伝達に基づいた品質確保の在り方を考察する。これらの結果からデジタル化された鉄筋生産情報を活用するマネジメント体制の構築や工事現場における生産性の向上を具現化させるための基礎資料とする。

**第6章 「BIM/ICT を活用した鉄筋生産情報のシステム構築の在り方」**では、BIM や ICT を活用して鉄筋工事の建築生産情報をマネジメントするために必要となるシステム連携のワークフローを提示する。提示するワークフローは、第2章の BIM や ICT を活用した鉄筋工事に関する技術開発の分析・考察や第3章から第5章までの鉄筋工事の生産プロセスや工程内チェックの分析・考察によるものとする。誰が正しい鉄筋生産情報を確定させ誰がそれらを使用しているのかを踏まえることで、「人」との関連性に着目したユースケースを想定し、BIM/ICT を活用して正しい建築生産情報をマネジメントできるシステム構築の在り方を示す。

**第7章 「BIM/ICT を活用した鉄筋生産情報の構築手法に関する考察」**では、第6章で示したワークフローに対して BIM モデルで構築する鉄筋生産情報の在り方を示す。総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社との建築生産情報の連携に着目して、構造解析データの BIM ソフトウェアへの取り込みや設計図書の構造図で示されている状態を、仮想空間上で鉄筋部材を自動配置して再現（以下、鉄筋 BIM モデル）するための自動配置ロジック、鉄筋加工に必要な鉄筋生産情報を鉄筋 BIM モデルと入れ替えて実際に配筋・組立の完成形を仮想空間で再現（以下、配筋 BIM モデル）するために総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社との鉄筋生産情報の連携手法、さらには状態仮想空間上での配筋検

査等を実現させるために必要となる鉄筋生産情報の在り方を論じる。

第8章「BIM/ICT を活用したシステムの工事現場への適用」では、実際に構築したシステムを鉄骨造の基礎躯体に適用させた結果を検証する。総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社の各担当者の視点からデジタル情報として正しく作成された鉄筋生産情報が、鉄筋工事の生産プロセスにおけるマネジメント技術に与える影響を分析し、BIM や ICT を活用した建築生産情報のマネジメントにおける新たな視点を提示する。

最後に結章「**建築工事における BIM/ICT の受容**」では、鉄筋工事における建築生産情報のマネジメント技術に関する現状の整理や分析結果と建築生産情報を活用したシステム構築手法を重ね合わせる。鉄筋工事における設計・加工・施工の建築生産情報の連携に着目して、BIM/ICT を活用した技術的解決の手法を検証する。そして、正しくデジタル化された建築生産情報の作成や活用・照合する観点から見てきた建築工事における BIM/ICT の受容について新たな視点を提示する。

## 註

- [1] 国土交通省: i-Construction～建設現場の生産性向上の取り組みについて～, 2015. 12
- [2] 一般社団法人日本建設業連合会: 生産性向上推進要綱, p. 14, 2016. 4
- [3] 内閣府: 科学技術基本計画 閣議決定, p. 10, 2016. 1
- [4] 内閣府のホームページ: Society 5.0 による
- [5] 経済産業省: デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン (DX 推進ガイドライン) Ver.1.0, p. 2, 2018. 12
- [6] 参考文献 [5] 前掲書, p.2
- [7] 古阪秀三他: 建築生産ハンドブック, 朝倉書店, 2007. 7
- [8] 参考文献 [7] 前掲書, p.543
- [9] 内閣府のホームページ: Society 5.0 による
- [10] 内閣府のホームページ: Society 5.0 による

## 図版出典

図1: 筆者作成

図2: 筆者作成

1



---

Theme **建築生産情報のマネジメント技術に関する変遷**

---



---

## 第 1 章 建築生産情報のマネジメント技術に関する変遷

---

1-1 本章の目的と構成	017
1-2 日本型建築生産システムにおけるマネジメント手法	020
1-3 BIM/ICT 等をめぐる国や民間団体の動向	027
1-4 BIM/ICT 等に関する技術開発の変遷	032
1-5 施工管理分野における主な技術開発	045
1-6 施工計画分野における主な技術開発	058
1-7 結び：生産情報を活用する観点から見た BIM/ICT 等の技術開発	065

---

### 1-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

建築生産におけるマネジメント技術を論じるにあたり、その前提として、いままでに建築生産において BIM/ICT を活用してどのようなマネジメントに資する技術が開発されてきたのか、その全体像を把握して、本論文で研究対象とするマネジメント技術のあるべき姿を明確化しておきたい。とくに施工段階における生産性の向上や品質の不具合を低減させる観点から、生産情報のマネジメント技術の在り方の方向性を見つけ出すために、いままでの BIM/ICT 等に関連する技術開発との性格の違いを明確にし、開発された技術の適用範囲や傾向、課題、そして誰がシステムを使用することを想定しているのか、などを整理することは重要と考えられる。しかしながら、生産情報のマネジメント技術の全体像を把握して、社会背景や建設業界以外で開発されたコンピュータ周辺技術の発展との関連性から評価し、生産性の向上や品質不具合の低減につなげる視点から分類した試みはなされていない。

#### 既往の調査研究

建築生産と IT 化の動向に関する研究では松田らが、1960 年代半ばから 1990 年代を対象として建築生産における IT 化の変遷を辿っている<sup>[1]</sup>。建築生産における IT 化の成立に影響する要因として、「建築生産における IT 化の変遷を辿るうえで社会的背景が重要となる。そして、その社会的背景か

らニーズが発生し、このニーズは建設業界内部と外部に分類できる。また技術が開発される時に、その技術の基となるシーズが存在する。シーズもニーズ同様に、業界内部と外部にそれぞれ存在している」として<sup>[2]</sup>、IT化の技術開発はニーズ（要求、需要）とシーズ（研究開発や新規事業創出を推進していく上で必要となる技術や能力、人材、設備など）の関連性が重要であると指摘した。その結果、IT化の流れを「工程管理と構造解析のIT化、TSSの利用とCADの開発、CADの実用化とPCの導入によるOA化や管理技術の向上、インターネット利用による共同設計や新たな管理技術の実用化、CADを中心とした情報統合的利用と3次元CADの実用化」と結論づけている<sup>[3]</sup>。一方、鳥海らは、施工技術の変遷から施工技術開発の要因について分析を実施している<sup>[4]</sup>。ここでも同様に施工技術は社会的背景が重要と指摘し、「施工技術開発の要因には、社会的背景、ニーズ（業界内・外）、シーズ（業界内・外）が存在する」と指摘し<sup>[5]</sup>、IT化と同様な分析結果を示した。施工技術の技術開発は、1950年代は地盤・基礎技術の導入、1960年代はPCa技術の開発、1970年代は解体技術の開発、1990年代は地球環境に配慮した型枠技術の開発、2000年代はIT技術を応用した管理技術の開発、と分類している<sup>[6]</sup>。

一方、嘉納は『建築工事における施工シミュレータ 設計BIMと施工BIMの橋渡し』の著作の中で、建築生産におけるコンピュータ化の流れについて述べている<sup>[7]</sup>。建築生産におけるコンピュータ化の流れは「今なお管理技術者の伝承や経験で培われた頭脳に頼っている現状にある」と分析し<sup>[8]</sup>、「このような状況を克服するには、コンピュータが管理業務において現在以上に知的部分を担当し、管理技術者とコンピュータとが協働して、より良い工事計画や適切な工事管理業務を行う方法論を構築することが必要」と指摘している<sup>[9]</sup>。さらに嘉納は、『日本の近代・現代を支えた建築 建築技術100選』の項目でCAD・BIMの建築技術について述べている<sup>[10]</sup>。「1990年代当時は、3次元CADのソフト技術も未熟で、コンピュータの性能も低く、小規模な建築物や建築物の一部の3次元表現にとどまっていた」と分析し<sup>[11]</sup>、CADやBIMの普及には、コンピュータ周辺技術のパーソナルコンピュータ（以下、パソコン）などの性能との関係性があると指摘している。さらにBIMの今後の展開として「建築産業の仕組みをBIMの考え方に合わせて変えていくことも視野に入れる必要」と指摘し<sup>[12]</sup>、単にBIM/ICTを日常業務に導入するだけでなく、業務の在り方の変革も技術開発の適用には重要と結論づけている。嘉納による指摘のいずれも、BIM/ICTに関する今までの技術開発が、今なお多くの技術者に定着していない、との見解を示したものと言える。

石田は「人口減少社会と建築生産におけるICT技術」の論考の中で<sup>[13]</sup>、「建築工事の生産性や、建築プロジェクト全体の進め方を大きく変化させる要因として、ICT技術の急激な進歩がある。特にBIMへの注目と期待は高く、与える影響も大きいと考えられる。これらの技術は人口動態などの社会的要因と異なるが、建築生産の将来を考えるうえで重要な因子である」と指摘していた<sup>[14]</sup>。さらに石田は、BIMの技術に関する特徴については「BIMという技術の最大の特徴は、そのコンセプトの斬新さではなく、ソフトウェア・ハードウェアなどの環境が整ったことにより、建築プロジェクトに関わる全分野の関係者が参画できるフィールドを提供した点にあると感じる。これにより、建築生産のみならず建築分野全体で一種のブームのような状況が生じており、この点が過去のICT技術と大きく異なる特徴と言える」として、BIMは社会的要因で発生した技術ではなくブームにけん引されている技術であると論じた<sup>[15]</sup>。

これらの既往研究は、BIM/ICT を適用した技術開発に着目し、適用の変遷を明らかにした先駆的な研究である。開発された技術の適用からコンピュータ周辺技術との関連性と合わせて変遷を分析する手法を提示した。しかしながら、これらの既往研究においては、BIM/ICT を適用する技術開発を主題としたため、開発されたシステムのユーザーや活用する目的について総体的に取り扱っておらず、施工段階に参画する誰がどのように活用し、どのような効果を得ることができるかの視点から見た BIM/ICT の技術開発の変遷としては明確に示されていない。また、開発された技術の活用目的の分類やそれらがどの時期に開発された技術なのかを示す範囲についても明確に提示されていない。一方で施工技術の変遷で論じられていた PC a 技術は、超高層住宅の躯体工事の工期短縮や工場生産による躯体部材の品質確保に大きく寄与することで、発注者やエンドユーザーのニーズに大きく貢献してきた。現在、多くの超高層住宅が建設されていることから社会的背景やニーズやシーズの関係性は理解しやすいと言える。しかしながら、施工段階で活用する BIM/ICT に関する技術開発では、活用範囲やユーザーが工事現場の中だけに限定されてしまうため、大きな社会的背景からの視点と言うより、工事現場で働く人々の視点から活用する目的の観点を整理し、総体的に捉えることで、必要とされる BIM/ICT を活用したマネジメント技術の在り方が浮かび上がると考えられる。

そこで本章では、いままでに開発されてきた BIM/ICT 等に関する技術を建築生産におけるマネジメント技術と捉え、活用する目的を分析の対象とし、工事現場におけるマネジメントとの関連性を通して全体像を把握し、BIM/ICT を活用したシステム開発の在り方を明確化する。

## 本章の研究方法和構成

本章では、1985（昭和 60）年から 2017（平成 29）年までに日本建築学会において発表された論文のタイトルから BIM/ICT 等のシステム開発に関連すると思われる技術開発を抽出し、活用する目的を工事現場におけるマネジメント技術の観点から分類することで体系化を試みる。それらを分類・整理した結果から変遷の傾向を把握し、工事現場における生産性の向上や品質不具合の低減など、今の建設業界が抱えている喫緊の課題解決との関連性を分析し、BIM/ICT 等に関する技術開発の在り方を考察する。

先ず第 2 節「日本型建築生産システムにおけるマネジメント手法」では、建築生産におけるマネジメント手法に関する基礎的な考え方を整理し、BIM/ICT 等の技術開発の体系化手法を提示する。建築生産における施工マネジメントは総合建設工事が実施している施工管理業務、すなわち「品質管理（Q）」、「原価管理（C）」、「工程管理（D）」、「安全管理（S）」、「環境管理（E）」の 5 項目として認識されていることもあり、それを踏まえて体系化する項目を定義する。一方、システム開発が発達する前後である 1980 年代後半から 1990 年代前半にはシステム開発と並行して生産設計の基礎的研究や専門工事事務所のビヘイビア論などの産業構造について論じられていた時期でもあったため、マネジメント技術との関連性について概観する。次いで第 3 節「BIM/ICT 等をめぐる国や民間団体の動向」では、1985 年から 2017 年にいたる約 35 年間の国の動向や業界団体、日本建築学会のシンポジウム等において討議された内容を見直し、生産情報のマネジメントに関する各時代の考え方を概観する。コンピュータ周辺技術としては CAD の変遷や携帯情報端末の出現時期を示す。そのうえで第 4 節から第 6 節では約 35 年にわたり開発されてきた技術の活用目的に関する傾向を概観する。第 4 節「BIM/ICT 等に関する技術開発の変遷」では BIM/ICT に関する技術開発の傾向を工事現場

の施工管理として活用する施工管理分野と工事に入る前に計画等を立案するために活用する施工計画分野に大きく分類しそれぞれの変遷と傾向を概観する。次に、第5節「施工管理分野における主な技術開発」と第6節「施工計画分野における主な技術開発」では2つの分野に関する技術を詳細に分析し、建築生産における BIM/ICT に関する技術開発の変遷を論じる。

---

## 1-2 日本型建築生産システムにおけるマネジメント手法

---

### (1) 品質管理システムの導入

建築生産は大きく設計と施工に分離されており、それぞれで契約形態が異なる。一般的に設計行為は「建築設計・監理等業務委託契約」であり、施工は「建設工事請負契約」である。設計行為に関しては、建築士法第2条において、設計とはその者の責任において設計図書を作成すること、と規定されており、ここで言う設計図書は「建築物の建築工事の実施のために必要な図面（現寸図その他これに類するものを除く。）及び仕様書」と定義されている。図面から現寸図その他これに類するものが除かれているのは、施工者が請負契約の中で建物を建設するのに必要な部材や製品を製造するのに必要となる施工図や製作図を作成することになっているためである。設計行為の成果物は、契約内容により明確に定められている業務委託契約であるが、施工行為は設計図書に記載されている建物を完成させる請負契約である。工事期間中における生産情報のマネジメント手法は、発注者や工事監理者の承諾が必要な範囲はあるものの、基本的に請負った業者の手法に任されているのが一般的である。

施工段階におけるマネジメントの基本は、一般的に Q（品質管理）C（原価管理）D（工程管理）S（安全管理）E（環境管理）の5項目で分類されることが多く、これらの考え方が始まった時期を明確にするのは難しい。1970年代中頃から建設会社における品質管理の重要性が認識され始めており、製造業で先行して実施されていた QC サークル活動<sup>[16]</sup>や改善活動<sup>[17]</sup>が建設業界にも取り入れられた時期から始まったと考えられる。それらの活動は、一般財団法人日本科学技術連盟（以下、日科技連）が実施している経営管理技術、特に品質管理（QC）を中心にした普及事業、その中でも TQM 活動との関連性が考えられる。TQM は Total Quality Management の略称であり、日科技連によると「源流は品質管理（QC: Quality Control）にあります。かつて、戦後日本のものづくりの品質レベルは、決して高いものではありませんでした。そこで、品質管理に統計的手法などによる「科学的アプローチ」を取り入れ、生み出される「結果（アウトプット）」（＝製品）だけを見るのではなく、それを生み出す「プロセス」（＝製造工程）を改善することで日本製品の品質を格段に向上させること」と説明されている<sup>[18]</sup>。日科技連では各種の賞・表彰制度を設けており、特にデミング賞は「戦後の日本に統計的品質管理を普及し、日本製品の品質を世界最高水準に押し上げ、大きな礎を築いた故 William Edwards Deming 博士の友情と業績を記念して、1951年に創設されました。TQM に関する世界でもっとも権威ある賞」として認知されている<sup>[19]</sup>。第1回（1951年）の受賞企業は、昭和電工株式会社、田辺製薬株式会社、富士製鐵株式会社、八幡製鐵株式会社の4社であった<sup>[20]</sup>。建設会社（括弧は受賞年）においては、竹中工務店（1979年）、鹿島建設（1982年）、清水建設（1983年）、間組（1986年）、前田建設工業（1989年）が受賞しており、それ以降の受賞企業は見られない<sup>[21]</sup>。

また「デミング賞を受賞し、さらに受賞後3年以上にわたり継続的に「TQM」を実践している組織が応募」できるデミング大賞には<sup>[22]</sup>、竹中工務店（1992年）と前田建設工業（1995年）の2社が受賞している<sup>[23]</sup>。

これ以降の受賞が無いのは、品質マネジメントシステムとしてISO 9001の認証を得る企業が増えていることが影響していると考えられる。1996（平成8）年1月にはWTO政府調達協定が発効され、日本における公共工事に外国の企業が参入することになったことで、国際規格であるISO 9000シリーズの取得に建設省（現在の国土交通省）が積極的になったこともあるだろう。例えば、公益財団法人日本適合性認定協会のホームページからISO 9001の適合組織を検索してみると、建設では6,744件が検索結果として抽出された<sup>[24]</sup>。デミング賞を受賞した総合建設工事会社の初回登録年を確認すると、竹中工務店東京本店（1996年）、鹿島建設建築部門（1998年）、清水建設建築事業部門（1996年）、前田建設工業（1996年）であり、更新期間の3年を継続している<sup>[25]</sup>。

このように工事現場におけるマネジメント技術の社内標準は、各社において1980年代頃から確立され始め、施工段階におけるQCDSEに基づいたマネジメント手法が各社において定着していき、管理する規準の標準化が各社で始まったと考えられる。QCDSEの概説については、多くの方が整理しているが、ここでは少し長くなるが適切な整理として木本による説明を以下に示す<sup>[26]</sup>。

### **品質管理（Quality Control）**

日本工業規格（JIS Z 8101／品質管理用語）では、「買手の要求に合った品質の品物またはサービスを、経済的に作り出すための手段の体系」と定義している。建築の品質は、発注者の要求を満たした設計品質、その設計意図に基づいた施工した施工品質、さらに維持管理の品質などから成り立っている。建築における具体的な品質の要素には寸法精度、材質、強度、性能、美観、耐久性などがある。また近代的な品質管理は統計的な手段を採用しているので、統計的品質管理（Statistical Quality Control、略してSQC）と呼ぶことがある。さらに生産ラインだけでなく、企業活動の全段階、全員参加による品質管理を全社の品質管理（Company-Wide Quality Control、略してCWQC）または総合的品質管理（Total Quality Control、略してTQC）とよぶ。

### **原価管理（Cost Control）**

「利益計画において、予定された費用－収益＝利益における費用を、責任中心点別に、標準原価として割り当て、これを尺度とすることによって、そこで発生する実際原価を、責任者を通じて管理することである。一般にはコストと同義と考えてよい。建設業における原価管理は、従来は各プロジェクト単位で行われていたが、現在では企業全体での総合原価管理へと移行している。建設業の組織編制は通常、本社組織、本支店組織、作業所組織に大別される。建築プロジェクトにおける原価は、見積精算時の原価、実行予算としての原価、工事完成時の原価など、プロジェクト進行時点において、同一のプロジェクトの建築原価であっても差を生ずるものである。

### **工程管理（Delivery Control）**

「一定の品質、原価、数量の製品を、所定の納期に生産するために、生産資源すなわち人的労力、機械設備、材料などを経済的に運用することを目的とし、そのために生産活動を総括的に統制すること」である。また別の定義としては、狭義には着工から竣工までの工程系列の時間的管理であるが現実的には工期のほか品質、精度などが完全であるとともに、契約条件を満足しつつ、工事の実施予算

に見合って、最も効率的にかつ経済的に、工事施工を計画し、管理することと言える。また発注者の側からすれば工期内に適切な進捗で十分な品質、精度のもとに施工されていく工事過程の管理であり、受注者側からすれば更に工事経営の要素が加わり、最小の費用で最大の生産をあげるために工事進捗を管理することといえる。

### **安全管理 (Safety Control)**

生産現場を預かる管理者が、その工事に携わるすべての労働者の危険や健康障害を防止し、安全または衛生のための教育を実施し、労働災害の調査および再発防止策を樹立することである。工事着手前には、1) 計画した工法や設備がその作業に従事する労働者に危険もしくは健康障害をもたらす恐れがないか、2) 工法や設備が安全衛生面から見て各種の法律および法令に違反していないか、を検討する。建築生産に限らず、安全衛生に関する諸規則は労働安全衛生法を根幹としている。

### **環境管理 (Environment Control)**

地域環境問題への取り組みに大別されよう。地域環境問題とは、建築工事は市街地で行われることが多いため近隣住民の理解と協力は重要である。建築工事に伴う地域環境問題としては大気汚染、水質汚濁、騒音・振動、地盤沈下、悪臭、土壌汚染、日照障害、電波障害、廃棄物の処理などである。地球環境問題としては建築生産に伴い発生するCO<sub>2</sub>の影響による地球温暖化や、フロンによるオゾン層の破壊などが指摘されている。

建築生産におけるマネジメント技術は、QCDSの観点から施工段階に参画する設計者、工事監理者、総合建設工事会社の技術者、専門工事会社の技能労働者が活用することで、品質の不具合を低減させるだけでなく、生産性の向上に資する技術でもあるべきと考えなければならない。

## **(2) 日本型建築生産システムとマネジメント技術**

### **構工法**

1980年代から1990年代には建築生産プロセスの変革に関する基礎的な研究や先進的な取り組みが論じられ、建築生産のマネジメント技術との関連性を見ることができる。そもそも日本における建築生産システムの特徴として、安藤は「GC（筆者註・総合建設工事会社）を中心とした建築ものづくりには、設計施工一貫方式に代表されるように、設計と施工、すなわち建築のありようとやりようを統合して考えるという一大特徴がある。すなわち、GCの能力の中核をなす摺り合わせ型のものづくりである」と指摘した<sup>[27]</sup>。「ありよう」は構法、「やりよう」は工法を表す言葉として定義し、構工法という言葉で表現することで、生産設計や専門工事会社の機能変化等の視点を1990年前半に示した<sup>[28]</sup>。さらには「上流の設計情報をいかに有効に、しかも矛盾なく下流に受け渡していけるか、あるいは逆に、下流から提供される生産情報をいかに的確に設計に取り込んでいけるかが、焦眉の課題」<sup>[29]</sup>とするだけでなく、「目下建設業界で先端的な研究開発の最重点テーマのひとつとされているCIC（筆者註・次世代型建築生産システム）、情報化施工といったことがらもまた、まさに同じ関心のうえに立脚したものである」とした<sup>[30]</sup>。

### **生産設計**

古阪らは1990（平成2）年に生産設計の領域として「機能設計をつくり易さ、経済性、品質の安定性からアレンジしなおし、施工の実現性をはかること。そのために手順、工程、機械等生産ラインの



概略設計を行うこと」と定義した<sup>[31]</sup>。木本らは1992（平成4）年に設計図書や施工図書の不整合や無駄な繰り返し作業が施工に影響を与えていると指摘し、生産設計の研究目的を「設計図書と施工図書間の一貫性を考慮し、先の生産情報に関するデータベースを設計段階において利用しうる統合CADシステムを構築すること」と明確に示した<sup>[32]</sup>。設計段階では施工で使用する生産情報の検討が十分になされていないことから、「專業分化された現在の建築生産における情報の統合を図ろう」としていたことがうかがえる<sup>[33]</sup>。設計と施工の統合化について古阪らは1991（平成3）年に「専門分化が進めば進むほど一方で統合のための新しい理念、業務の開発が必要となる。（中略）そのための方法として、組織的な統合と生産情報の統合・一貫性の確保の両面からの検討が必要であり、有効である」と指摘していた<sup>[34]</sup>。このような考え方から総合建設工事会社において生産設計部門が配置され、現在も組織として業務が続いている。

### 専門工事会社のビヘイビア論

1990年ごろには設計と施工を統合するひとつの方策として生産設計に関する研究は始まった模様だが、総合建設工事会社と専門工事会社におけるビヘイビア（行動・ふるまい）との関連性も指摘されていた<sup>[35]</sup>。生産設計のように下流の生産情報を上流に持ち込むには、分業化が進む中で専門工事会社の役割にも変化をもたらす。建築工事は総合建設工事会社から複数の専門工事会社に発注されることで成り立つが、例えば1991（平成3）年に遠藤らは工事編成決に関する総合建設工事会社の自由度は「現状のサブ（筆者註・専門工事会社）のあり様やビヘイビアによって制約を受ける」と指摘し、そのような中で各専門工事会社の特徴を記述した<sup>[36]</sup>。「躯体工事では計画・管理業務の多くを元請側がおこなっており、元請－サブ間の情報交換の必要性も高い。これら元請の負担となる手間やコストを減らす動機が元請側に強く存在し、継続的な取引の中でそのコストを減らすビヘイビアを取っている」と示し、躯体系3工種（とび・土工、鉄筋、型枠）は、計画・管理業務への移行が少なく、鉄骨ファブリーケーターや設備専門工事会社については移行が多いと指摘した<sup>[37]</sup>。そのような傾向から生産設計におけ鉄骨ファブリーケーターに関する実態報告が1990年中頃に村松らや蟹澤らにより報告されている<sup>[38]</sup><sup>[39]</sup>。蟹澤らは1995（平成7）年に鉄骨ファブリーケーターの業務から生産設計の実態と仕組みを探り、手法の確立に必要な要件として、工作図作成段階の生産設計を設計図書の検討や工事計画の検討、設計図書以外の必要情報と整理した。工事計画の検討に関する項目（節割り、工区分割、建方工程計画等）は、総合建設工事会社と専門工事会社にとってお互いに重要であることから、「段階的な意思決定と発注・契約を可能にする仕組みの構築、計画策定に関する知識と能力を正当に評価する仕組みの構築などが代表的な事例であろう。手法の面では、単に設計間の整合性や取合いにとどまらず、施工や製作等生産の観点からの検討や評価を可能にする仕組みが必要」と今後の方向性を示した<sup>[40]</sup>。

### 設計から施工への生産情報の伝達

生産設計の考え方を建築生産プロセス内で機能させるために、設計から施工への生産情報の伝達について様々な試行がなされた。大山らは1993（平成5）年に生産性向上を目的として設計CADデータの利用を試行し、設計者が作成したCADデータを施工側で施工図CADに取り込んだ結果、図面間でデータが連携していないことによる不整合等から「他のシステムから取り入れたデータを修正するよりも最初から入力の方が作業時間がかからないというような場合がある」と指摘した<sup>[41]</sup>。

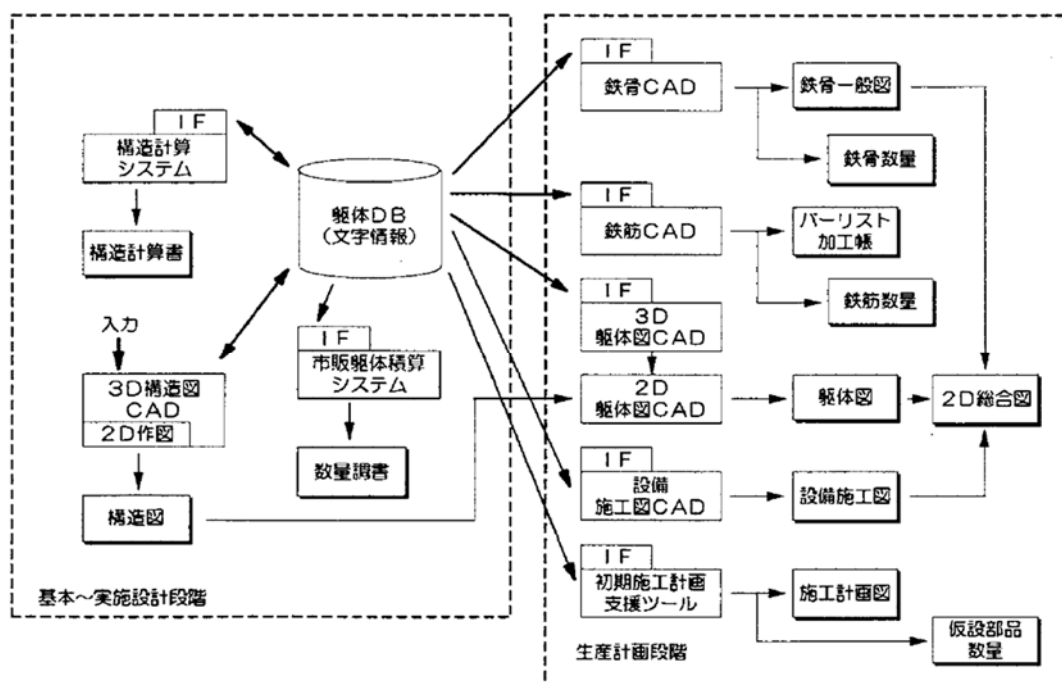


図 1-1 構造 DB を核とした情報の流れ

現在においても 2 次元汎用 CAD で作成された設計図の CAD データを施工側が受領して活用する場合は多く見られる。金多らは 1994（平成 6）年に生産設計を意匠設計・機能設計と並ぶ概念としてとらえ、「利用者が対話を通じて、問題状況を明確にし、理解を深め、解決ができるようにコンピュータによって支援するシステムを意思決定支援システム（DSS）という。いわば、意思決定の質を高めるために、個人の知的資源をコンピュータの能力と統合するものである。（中略）DSS は数値解析ツール、知識工学ツール、データベースで構成される例が多い」などと設計支援システムの基本的な考え方を示した<sup>[42]</sup>。

### 生産情報の連携に関わるシステム（DBCAD・LORAN-T）

谷らは 1994（平成 6）年に設計施工一貫方式において発注されたマンション工事における生産設計業務に建築新生産システムを適用し、「1. 設計段階における合理化構・工法の採用, 2. 設計と施工の連携, 3. 施工計画の前倒し検討」を基本方針とした<sup>[43]</sup>。適用した結果として設計上からは、設計業務の省力化の問題、生産設計図書の作成には経験値が必要であり精通する人材の育成が課題、生産設計図書の前倒しには専門工事会社の選定が必要不可欠な条件とし、施工上からは、工期短縮の実現、施工図の前倒し作成により作図・調整作業が削減、等の効果が示された<sup>[44]</sup>。

構造設計情報を生産計画業務の中の躯体図に適用した事例を 1997（平成 9）年に報告した八坂らは、構造設計部門で 3DCAD である構造 DBCAD を活用して各種市販されている施工図 CAD と生産情報の連携を試みた<sup>[45]</sup>。情報連携の流れを図 1-1 に示す。建築生産の効率化への効果が期待されると示された一方で、「社会の要請である建築産業の生産性向上に役立てていくためには、建築生産の情報流通を体系的に統合化していくことが必要である。このためには、建築生産の上流で生成される設計情報にそれ以降の各段階で発生する情報を付加しつつ、組織的に活用出来る仕組みを構築する

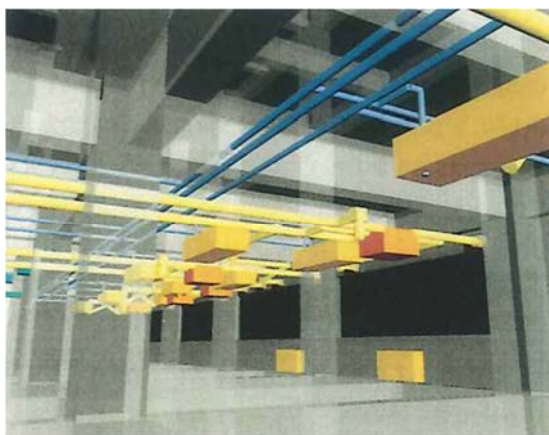


図 1-2 LORAN-T の入力状況



図 1-3 LORAN-T の操作状況

ことが急務である。このためのキーツールが 3 次元建物モデルをベースとした CAD 情報であり、このデータをいかに協調的に活用していくかが、生産性向上の成否を握っていると考えられる」と方向性を示した<sup>[46]</sup>。さらに八坂らは 2000（平成 12）年に構造 DB から鉄筋情報を利用して配筋図が作成できるとも報告していた<sup>[47]</sup>。一方で、「従来からの制度や習慣の抵抗は強く、技術上の小さな問題点やデータ連携の難しい例外的な事項を取り上げて、システム全体を否定しようとする論調もある」とし、実務とシステム運用との乖離が赤裸々に指摘された<sup>[48]</sup>。八坂らが示した 3 次元建物モデルを基本としてシステムが構成され、ひとつのデータベースからそれぞれの業務に必要な生産情報を取り出して生産情報を連携する考え方はまさしく現在の BIM になると思われ、コンピュータ上にデータベースを構築し 3 次元建築モデルを構築する手法はすでに 1980 年代後半から 1990 年前半にかけて試行されていたマネジメント技術であった。

加藤らは 1991（平成 3）年には 3 次元建築意味モデルを構築する統合建築 CAD「LORAN-T」（ロランティ）を報告している<sup>[49]</sup>。「意味モデルは建物を構成するエレメント（以下『物』と言い、たとえば、柱、壁、ドア、サッシュ等）をカーネルと名付けた情報単位にあてがい、カーネルはスキーマに所属される。スキーマの種類を見ることによって『物』の区別がわかる」ものとし、「建築モデルに定義される『物』の形状や位置を三次元的に表現することができるモデル」を図形モデルと定義した<sup>[50]</sup>。具体的な活用方法として空調・衛生設備 CAD 開発についての利用効果も報告した<sup>[51]</sup>。開発された設備 CAD システムは「空調・換気・排煙・給水・排水・給湯・消火の各設備における負荷計算、システム入力、計算、機器選定、図面化、三次元表示による納まりチェックなど、一連の設計工程を全て含み、計画－基本－実施の各設計フェーズを利用対象」としており<sup>[52]</sup>、主に設備設計者の活用を想定していた。施工図 CAD への展開については今後の課題としていた<sup>[53]</sup>。事務所ビルにおける入力状況を図 1-2 に示し、操作状況を図 1-3 に示す。

1980 年代から 1990 年代における生産情報の連携に関するシステムを主導していたのは、設計部門（構造）や設計部門に所属している情報関連部門、技術開発部門であった。生産情報のスタートは設計図書であるが、果たして実際の工事現場において生産設計の概念である下流の生産情報をどこまで上流に取り込むことがシステムの的に可能であったのかは、課題として体制構築が指摘されてい

## 先進技術を活用するための建築生産機能の統合・分割の概念

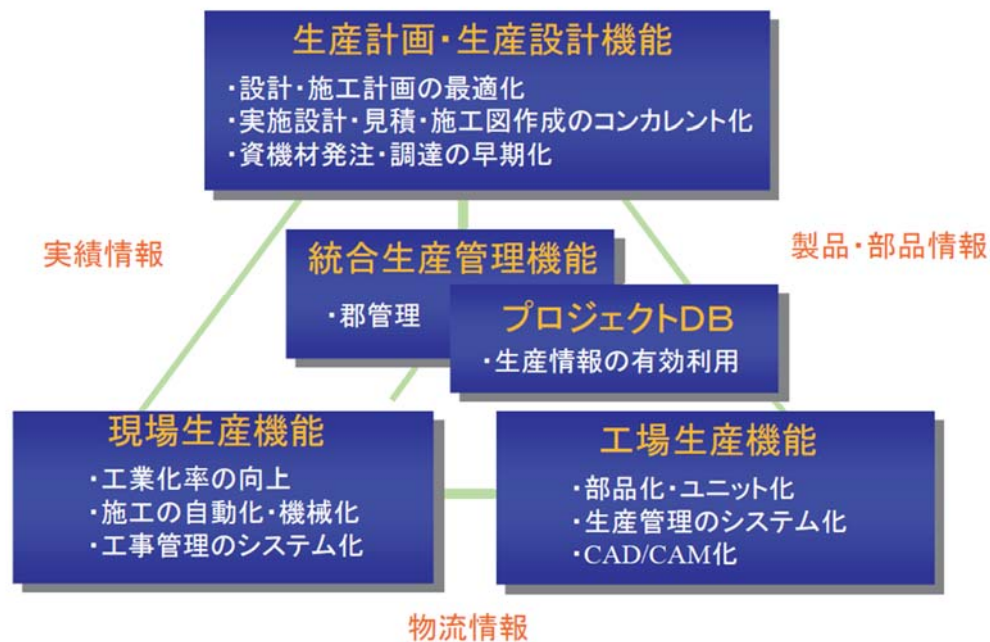


図 1-4 CIC の概念

たことから、定着させるには多くの課題が残っていたことが窺える。

### エキスパートシステムによる構工法選択

1980 年代後半には工法選択を効率的におこなうために、エキスパートシステムを活用したシステム開発が多くなされた。1987（昭和 62）年には構工法の選択を設計型意思決定として取り扱う手法が山崎らにより示され、「工法選択は、本質的には、様々な制約条件の下で更に詳細な条件を仮定しながら、仮説展開的に構法工法のシミュレーションを行うことにより、最も要求品質の実現性の高い構工法の組み合わせ設計計画、施工計画と合わせて生成する意思決定行為」とした<sup>[54]</sup>。課題として、「(1)ユーザーインターフェースの検討、(2)各種計画に共用できる広範な知識ベース構築、(3)運用環境の検討」が指摘されており<sup>[55]</sup>、まだまだ実用化にはコンピュータ周辺技術の進化や生産情報を扱う社内体制が必要との認識が示されていた。

### CIC（Computer Integrated Construction）への取り組み

1980 年代初めから建設ロボットの開発が始まり、耐火被覆ロボットや外装取り付けロボット等が開発され、1990 年前後のバブル期に試行適用が数多くなされたが、それらの多くは作業の一部分だけを対象としており、生産性の大幅な向上にはつながらなかった<sup>[56]</sup>。このような背景から新しい建築生産システムの構築を目指し、工業化・機械化・自動化・情報化技術を融合した CIC（次世代型建築生産システム）の開発が進んでのが 1993 年から 1997 年にかけてであった。全自動化施工や全天候型施工という新しい建設方式（ABCS、スマートシステム、T-UP 工法、MCC システム、あかつき 21、AMURAD 工法等）が生まれた時期でもある。山崎は 2013（平成 25）年に開催された国際セミナーにおいて CIC の概念モデルを図 1-4 の通りに示し、生産計画や生産設計機能が必要である方向性を提案している<sup>[57]</sup>。伊藤らは 1995（平成 7）年に CIC の推進には設計情報の有効利用が必要

として、構造設計のデータを施工部門で活用し、施工計画で必要になる建物モデルを3次元で作成するシステムを報告したが、システム連携できる設計情報の不足があること等が課題として示した<sup>[58]</sup>。馬場らは1996（平成8）年に新しい鉄筋コンクリート構工法に自動化施工を建築生産現場で実現するための情報化技術として、設計・材料施工・施工の3つの場を統一的に結合する考えを以下の通りに示した<sup>[59]</sup>。

① CIC（Computer Integrated Construction）：

CADによる設計情報を施工における施工手順および操作に活用する。

② CIM（Computer Integrated Manufacture）：

CADによる設計情報に基づいて施工現場での加工を不要とする部材化（2次加工）を行う

③ CIT（Computer Integrated Transportation）：

標準化された時間的なインターフェース情報に基づいて施工現場にJITで搬入する輸送を行う。

1980年代から1990年代後半までには、建築生産プロセス全体にわたり生産情報を連携するマネジメント技術の方向性や考え方が多く示され、実際に適用が行われた。当時はBIMという単語がまだ世の中になかったこともあり、3次元CADによる運用となっているが、ここで示された考え方は現在においてBIMにより実現させる試みに継承されていると言える。一方、現在においても生産設計として施工段階の生産情報を設計図書に盛り込む業務の進め方をフロントローディングとして推進が提唱されており、それに合わせて専門工事会社の早期選定等の仕事の進め方についてもあらためて議論が進んでいる。

---

### 1-3 BIM/ICT等をめぐる国や民間団体の動向

---

#### 国の動向

国による電子化された情報を活用する動きは1990年代の後半からみられる。1996（平成8）年には建設省（現在の国土交通省）が建設CALS整備基本構想の発表し、公共工事を対象として情報の電子化や情報共有、情報交換の重要性を指摘した。さらに2001（平成13）年には同じく国土交通省からCALS/ECアクションプログラムの発表があり、公共工事を対象として情報の電子化や情報共有、情報交換だけでなく、電子商取引を含めて作業の効率化やコスト削減を目指す動きが見られた<sup>[60]</sup>。建築分野はそもそも約9割が民間工事を占めていることもあり<sup>[61]</sup>、公共工事を中心とした取り組みのみを対象とする事業では土木工事と異なり遡及効果は少なかったと言える。2012（平成24）年には国交省がCIM制度検討会とCIM技術検討会を設置し、「建設生産プロセス全体（調査・測量・設計、積算、施工・監督・検査、維持・管理）にCIM（Construction Information Modeling）を導入するために現行の制度、基準等について課題を整理・検討し、CIMの導入を促進することを目的」として、新たな取り組みを発表した<sup>[62]</sup>。建築分野ではBIMと呼ばれている技術が土木ではCIMと呼ばれていたが日本独自の呼び方であったため、近年ではBIM/CIMと呼ばれている<sup>[63]</sup>。一方、建築分野ではすでに2010（平成22）年に「官庁営繕事業におけるBIM導入プロジェクトの開始」として3次元データを使用するBIMを活用した生産性の向上への取り組みを始めており、2014（平成



26) 年には『官庁営繕事業における BIM モデルの作成及び利用に関するガイドライン』を公開していたが、土木分野と同様に公共工事を対象とした内容であった。

## **BIM のガイドライン**

これに呼応するように民間工事についても BIM のガイドラインへの取り組みに関心が集まりはじめた。2012（平成 24）年には日本建築家協会が設計者としての『BIM ガイドライン』を発表している。次いで 2014（平成 26）年には日本建設業連合会（以下、日建連）が施工者としてのガイドラインである『施工 BIM のスタイル 施工段階における元請と専門工事会社の連携手引き 2014』を発表し、建築業界として初めて施工段階の BIM を施工 BIM と定義をし、BIM モデル合意や BIM 調整会議等の施工段階における BIM のマネジメント手法を提唱した。さらに 2015（平成 27）年には日本ファシリティマネジメント協会が維持管理者に対して『ファシリティマネジャーのための BIM 活用ガイドブック』を発表した。設計・施工・維持管理にわたる BIM の活用方法が 2010（平成 22）年代前半から中頃には示されていた。2016（平成 28）年には国土交通省がこの年を「生産性革命元年」として i-Construction の推進を発表し<sup>[64]</sup>、3 次元データを活用した生産性の向上に言及をした。その後、2017（平成 29）年に内閣府が発表した新しい経済政策パッケージにおいて「i-Construction について、2019 年度までに橋梁・トンネル・ダム工事や維持管理、建築分野を含む全てのプロセスに対象を拡大」と言及されるまで<sup>[65]</sup>、国における建築分野における取り組みに大きな進展は見られなかった。

## **日本建設業連合会の動向**

建設業界の団体である日建連は、IT 推進部会を 1995（平成 7）年に設置し（設置当時は建築業協会の情報システム部会だった）、2010（平成 22）年には IT 推進部会の傘下に BIM 専門部会を設置した（同じく設置当時は建築業協会だった）。さらに 2016（平成 28）年には『生産性向上推進要綱』を発表し、生産性向上の意義を示している。要綱では「国土交通省では、石井国交大臣が提唱する「生産性革命元年」の下、建設業の生産性向上を抜本的に推進する姿勢を鮮明にしている。日建連会員企業は、国土交通省の指導と協力、並びに幅広い関係者との適切な連携の下、本要綱を指針として、生産性の向上を推進する」と明記した<sup>[66]</sup>。要綱では BIM/ICT の取り組みについて述べられ、具体的には「意匠・構造・設備の整合性の確保や、情報の共有化、見える化、先決め促進に向けて、施工段階における BIM の啓発・普及促進を行うとともに、建築現場における携帯情報端末等の ICT の活用を推進する」と方向性を示した<sup>[67]</sup>。それ以外の取り組みとしては、自動運搬等の自動化・機械化に見られる「生産工程における生産性向上の取組み」や「設計・施工一貫方式の普及推進」、「適正工期算定プログラムの活用」が示された<sup>[68]</sup>。1990 年代に議論がなされた方向性があらためて示されたと言える。

適正工期算定プログラムでは、[無理な工程がもたらす時間外・休日労働の増加、複数工種の輻輳作業による作業能率の低下、手戻り、手直しの増加等を改善し、生産性を向上するため、建築工事における週休 2 日制を前提とした適正工期を自動算定し工程表を作成する「適正工期算定プログラム」を、設備工事業団体と連携して作成し、その普及を図り、適正工期の確保を推進]と方策を明示していた<sup>[69]</sup>。民間の建設業界の団体が週休 2 日制を前提とした工程表を作成できるプログラムを公開して販売を開始するにいたったのである。日建連の会員企業が保有している施工歩掛に基づいて工程

に影響する主な項目（階数、面積、構造、外装仕上、各階部屋数など）を入力すれば、主要な工事数量が自動算出され、ネットワーク工程表が作成される仕組みであった<sup>[70]</sup>。

### 日本建築学会の動向

日本建築学会においては早くから設計と施工間における生産情報の流れについてシンポジウムが開催されてきた。1995（平成7）年には建築経済委員会が「情報化の進展にともなう設計・施工分野の動きとその協調の課題」を主題としたパネルディスカッションを開催している。建築生産工程において CAD による生産情報を一元的に活用し生産性を向上させる取り組みを総合建設工事会社で推進していた玉井は、「施工からみた電子情報のコーディネートについて」と題する論文の中で「自社設計施工において CAD 電子情報の設計と施工間の一元的活用に挑戦してきたが、技術的問題点よりも、むしろ運営運用の人に関するソフト面に大きな問題点を残していることが判明している。他社設計の場合は更にこの問題点は顕著であり、日本式建築生産システムが大きく変革しない限り問題解決は難しい」と BIM/ICT を使用する技術者のマネジメントのスキルや体制構築が必要不可欠であることを指摘した<sup>[71]</sup>。さらに、川下（施工）において活用できる設計 2 次元 CAD データ作成の条件として「意匠・構造・設備間で設計図書として整合のとれた内容」を冒頭に述べ<sup>[72]</sup>、「仕事と CAD に精通し、全体の流れをコーディネートできる人材の育成が重要」とあらためて技術者によるマネジメントがなければ BIM/ICT を活用しても効果が得られにくいことを報告している<sup>[73]</sup>。

これらの指摘は約四半世紀を経て使用するソフトウェアやハードウェアが変わったが、現在においても設計図書の整合性確保や BIM モデルをコーディネートする人材の必要性が指摘されていることから、建築業界における BIM/ICT を活用して効果を得る抜本的な環境に対する課題が解決されてこなかったと指摘できる。

2001（平成13）年にも生産情報の流れに関する「第8回建築設計および生産情報の流れシンポジウム『設計・生産のコラボレーションの新しい挑戦』」が情報システム技術委員会 建築生産・流通情報小委員会の主催で開催されている。[設計者をそのレベルまで引き上げるにより「施工図レス設計」を可能]とする内容や「建築生産情報統合システム」の構築が報告されていた<sup>[74]</sup>。高木は建築生産情報統合システムの運用に関する報告の中で「CAD データをはじめとする電子情報化の最大の効用はデータの転用性にあることは明らかであり、その特性を生かして建築生産の効率化を進展させるためにはプロジェクトの初期段階で発生する設計情報を生産の各段階に沿って、データ変換しつつ流通させて行くことが必要」と指摘している<sup>[75]</sup>。さらにこれらのシステムを運用させる課題として鉄筋工事を例として述べており「鉄筋施工図については特に協力会社の多様な加工・組立法への対策が必要であり、同様に鉄骨、設備の施工図についても、現場、協力会社を交えた業務区分などの、しくみ作り」を挙げ、総合建設工事会社からの視点だけではなく専門工事会社の視点から生産情報を考える必要性を示した<sup>[76]</sup>。

このように 2000（平成12）年前後には CAD のデジタルデータを活用するために、設計段階で施工段階に必要となる生産情報を確定させていく取り組みがなされてきた。現在では設計施工一貫で発注された工事を中心として設計段階で施工者が参画し、検討を前倒しするフロントローディングという取り組みが BIM の活用とともに生産性の向上に必要不可欠な手法として総合建設工事会社を中心として再認識されており<sup>[77]</sup>、使用するデジタル情報が CAD データから BIM モデルへと変化し

てきたが設計と施工を繋ぐ生産情報の連携手法はいまだ確立されていない。

2004（平成 16）年には材料施工委員会の傘下に建築生産 VR 小委員会が設置され、施工段階において 3 次元 CAD の情報を活用する活動を始めた。嘉納は 2006（平成 18）年に建築生産 VR 小委員が主催したシンポジウムの趣旨説明において 3 次元 CAD の適用は一部分に留まっていると指摘し、その理由として「現状の 3 次元 CAD システムの機能が、必ずしも建築分野での設計・生産活動に適しているとは言いがたい面がある。企画・基本設計、実施設計、生産設計、竣工図作成の流れにあって、これらの情報を有機的に連携させて、設計活動を行い、施工段階や維持保全段階において 3 次元 CAD 情報を利用する仕組み」が必要と指摘しており、やはり設計段階からの生産情報の確定が重要との認識を示した<sup>[78]</sup>。

2009（平成 21）年には建築生産情報化小委員会（VR 小委員会の後継）が開催したシンポジウム「建築生産における BIM」では、BIM 普及の課題を総合建設工事会社と専門工事会社への聞き取り調査から 6 項目に分類できると報告した<sup>[79]</sup>。具体的には「①発注者メリットが不明確、②施工者のメリットが不明確、③BIM ツールの課題、④BIM モデルの標準化の課題、⑤業界としての課題、⑥企業内の課題」だったが、現在でも CAD データによる生産情報の連携が主流であることを考えると、これらについても抜本的な課題解決に至っているとは言えないであろう<sup>[80] [81]</sup>。

2004（平成 16）年 4 月の『建築雑誌』は「コンピュータの功罪」という特集を組んだ。その中で金多はプロジェクトごとに異なる与条件に対して工法の変更にとまなう総合仮設計画図の作成や VE に伴い詳細図の描き直し、近隣に配慮した車両進入計画などの作成について ICT は「こうした多目的な計画を、バランスよく、矛盾無くまとめる作業は、とても自動化プログラムに置き換えることはできない。いかに優秀なデータベースやエキスパートシステムといえども、経験豊富で熟練した技術者を超えることはできないといわれている」と罪を示したが<sup>[82]</sup>、「単純トレースする手間やそれにとまなうミスは CAD 化によって激減された。（中略）コンピュータによって建築生産の計画行為が着実に変貌しているのは明らか」と功についても述べている<sup>[83]</sup>。BIM/ICT の活用が単純作業への貢献に見られる効果だけでは、本来の目的と異なることを示しており、「コンピュータ以前の課題として、建築生産のマネジメントがあらためて問われるようになっている」<sup>[84]</sup>と生産情報を活用した業務を効率化するところにコンピュータを活用すべきと指摘していると同時に、技術者による生産情報のマネジメントの重要性についても指摘した。また同特集では嘉納も論考を発表しており「現在、建築界における 3 次元 CAD は他産業から大きく遅れ、また関係者のなかには諦めムードさえある」と当時の状況に悲壮感が漂っていることを報告している<sup>[85]</sup>。その理由として「建築生産におけるコンピュータの利用は、着実に現場に定着して行ったものの、そこで行われているコンピュータの活用は、ワープロ、作表、図面作成、データベースなどの情報の作成・保管・参照が主要な範囲」であることを指摘した<sup>[86]</sup>。現在の BIM/ICT の活用についても文書作成ソフトや表計算ソフト、プレゼンテーション用ソフト等による書類作成や CAD による図面作成が中心であり、作成されたデータが単にクラウド環境にファイルとして保管されていることを考えると、当時の嘉納の指摘は、現在の建築業界の置かれている状況と大きな差は無いと思われる。さらに金多が指摘したことと同様に「統計解析、数理計画手法、信頼性工学、ネットワーク手法、知識工学、人工知能など、多くの手法や技術を建築生産の場に応用しようと努力してきた。手法の不熟やコンピュータの演算能力の不足によって、いま



だその実務への応用は限られている」と諦めに近い雰囲気が漂っていることを示した<sup>[87]</sup>。

ちょうど1990（平成2）年初頭からの2000（平成12）年代初頭の10年間は平成不況であり、失われた10年とも言われている。建設投資についても1992（平成4）年の84兆円をピークとして毎年減少しており、2000（平成12）年は66.2兆円、さらに2010（平成22）年には41.9兆円と右肩下がりの中での最中であり<sup>[88]</sup>、建設業界としても徐々に工事が減っていく雰囲気が建設業界内に漂っていた。2008（平成20）年には金融危機があり、建設業界においてBIM/ICTに対する技術開発への投資についても大掛かりになされる時代背景ではなかったとも言えるだろう。このような時期である2001（平成13）年に国土交通省が「CALS/EC アクションプログラム」を発表していた。

### **民間団体の動向**

建設業界におけるデータ共有化への取り組みとしては、IFCのファイル形式の策定や標準化活動をおこなう国際組織の日本支部として1996（平成8）年にIAI日本が設置され、その後2016（平成28）年にはBSJ（Building SMART Japan）として組織変更されて今も活動が継続されている。

### **コンピュータ周辺技術**

建設業におけるコンピュータの活用は、1960年代初めより大型のコンピュータによる構造計算や積算の業務に使用されていたことから始まっている<sup>[89]</sup>。それ以降、CADや電算を担当していた技術者にパソコンが支給され始めたのはNECが1982年にMS-DOSの環境で動作するPC-98シリーズを発売したことがきっかけと言える。1995（平成7）年にはWindows 95が発売され、インターネットエクスプローラーが標準で搭載されるようになると、インターネットで情報の発信や入手が容易な環境が徐々に整い始めた。2001（平成13）年にはWindows XPが発売され、パソコンのOSとして長きにわたり使用されるようになったと同時にインターネット接続も容易となり、大容量のデータを扱うことができるようになると、パソコンが1人1台として支給され、誰でもパソコンやインターネットを使用できる時代となった。この時期には各企業が個人にメールアドレスを付与し始めた頃と思われる。

2000（平成12）年にカメラ付携帯電話の出現、2002（平成14）年にはPDA（personal digital assistant）としてシャープがザウルスを発売し、2007（平成19）年にはiPhone、2010（平成22）年にはiPadが登場するなど、従来はパソコンでなければ閲覧できなかった生産情報が工事現場にも持ち出せる環境が整い始めた。2001（平成13）年にはノート型パソコンの出荷数がデスクトップ型を抜いた時期でもあり<sup>[90]</sup>、工事現場の事務所から徐々にドラフターが消え始めた時期とも考えられる。

### **専用CADと汎用CAD**

MS-DOSで稼動するソフトウェアとして1980（昭和55）年にはAutoCADの発売、1985（昭和60）年には一太郎の発売、1987（昭和62）年にはDRACADの発売等が続き、パソコンを使用して稼動するソフトウェアが出現する時代が到来した。設計者は図面作成に特化した2次元の汎用CADである国産のDRACADやAutoCADを中心として使用していたが、総合建設工事会社の施工部門では図面を単に作成するだけでなく生産情報を各業務で連携できるように図面作成や積算等を専用に行っているCADの開発や既製品を使用していたと思われる。例えば1990（平成2）年には躯体図・天井割付図作成システムとしてCATR（キャトル）が発売され、以降1992（平成4）年までにタイル割付、躯体積算、総合仮設・足場計画、仕上積算に対応するシリーズを発表していた<sup>[91]</sup>。専用CADと

してのシステムを目指していたこともあり、CAD データで作成された情報は図面作成だけでなく積算業務等で共有することができたため、生産情報を電子化してそれぞれの業務と連携して活用するビジョンがあったと思われる。図面作成を目的としたシステムではなく生産情報を活用しようとしていた試みであったと言える。一方、初期設定の手間として設計図書に記載されている構造断面などの生産情報を手入力する作業が必要だった。専用システム特有である図面を作成する作図機能が劣っていたこともあり、活用する目的が生産情報を連携して様々な業務に適用させるのか、さらには単純に図面を作成したいのかによりシステムの評価が異なるであろう。

そのような中で1993（平成5）年にはJW\_CAD が月刊誌『建築知識』の付録として取り上げられた。専用 CAD の作図機能に限界を感じていたシステムのユーザーの多くは、数百万もする専用のCAD システムからドラフター感覚で線を作図することができる汎用性のある無償のソフトウェアへの乗り換えが起こったのである。この時点で施工図の作成を担当する多くの技術者は、生産情報を各段階で活用することの煩雑さより、単に図面を線と文字で作図するだけの機能を求めたのである。2000（平成12）年にはWindows 対応のバージョンが公開され、現在までもバージョンアップが継続され、書店の店頭には指南書がいまだに山積みになっていることから、図面作成等において多くのユーザーに支持をされていると考えられる<sup>[92]</sup>。

一方、AutoCAD は有償で汎用性のある2次元CAD であった。建物の規模が大型化されるにともない、複数人でひとつの図面を作成することが要求されるようになると最新版の管理が煩雑になることを避けるために他人が作成したCAD データを別のCAD データに埋め込める外部参照機能の有効性等が評価されるようになり、今では建築業界における標準のCAD ソフトウェアとなっている。

## BIM ソフトウェア

BIM ソフトウェアの使用状況については、2008（平成20）年の調査によると、ARCHICAD と Revit の2つが群を抜いて多い結果が報告された<sup>[93]</sup>。回答者は当時のBIM の活用が設計者中心だったこともあり、所属先として意匠設計者が回答の中心だった。一方、施工者の使用するBIM ソフトウェアは、日建連が2018（平成30）年に調査した結果によると、10年前と同じくARCHICAD と Revit の2つが大きく占めており、合わせてBIM モデルを閲覧できるビューアーとして、Navis Works や Solibri Model Checker の使用が増加していると報告している<sup>[94]</sup>。

---

### 1-4 BIM/ICT 等に関する技術開発の変遷

---

#### 日本建築学会において発表された論文

##### 分析対象

BIM/ICT に関わる技術開発の変遷を概観するにあたり、日本建築学会のホームページにある「アーカイブ検索」を使用して1985（昭和60）年から2017（平成29）年に発表された論文のタイトルから技術開発に関連すると思われる論文を抽出し基礎資料とした<sup>[95]</sup>。さらに日本建築学会建築社会システム委員会が主催する「建築生産シンポジウム」にて発表された論文についても同じく対象とした<sup>[96]</sup>。発表された論文のタイトルと記載されているシステムから施工段階で活用する目的により、前節で述べた施工管理分野の基本であるQCDSEのどの項目に該当するのかで分類を試みた。施工

管理技術では品質管理の個々の目的に該当するシステムを包含して施工管理システムと名付けている場合が見られるが、報告されたシステムの名称を優先した。以下に分類した項目を示す。

- ・品質管理 (Q) : 施工管理, 品質管理, 仕上管理, 精度管理, 生産管理, 検査
- ・原価管理 (C) : 積算, 原価管理
- ・工程管理 (D) : 工程管理
- ・安全管理 (S) : 安全管理, 労務管理, 重機・車両管理
- ・環境管理 (E) : 環境管理

一方, 施工管理分野の前に実施される例えば工程計画の立案や施工計画の立案, 測量, 施工図, 技術者が使用する携帯情報端末・デジタルカメラ, CAD, BIM 等のようにソフトウェアやハードウェアに依存しているシステム開発は施工管理分野の QCDSE に単純に当てはめることが難しいため, 施工計画分野として別に分類をした。以下に対象とした項目を示す。

- ・工程計画, 施工計画, 労務計画, 建設ロボット・情報化施工, 測量・計測, 携帯情報端末, データベース, クラウド, オブジェクト, 設計と施工の情報連携, 2D-CAD, 3D-CAD, BIM, xR, 施工図, 作業所業務

## 関連年表

活用する目的別に抽出した発表論文の総数を 492 編とする。論文の題目からキーワードを抽出し, 社会, 行政・民間の動向, コンピュータ関連の動向を 1 年ごとにまとめた年表を図 1-5 に示す。

年表の凡例を以下に示す。

- : 社会等における主な動き
- ◇ : 建築生産シンポジウム論文集
- : 日本建築学会大会梗概集
- ◎ : 日本建築学会技術報告集
- : 日本建築学会計画系論文集

	1980年代														1990年代													
		1980 昭和五十五年	1981 昭和五十六年	1982 昭和五十七年	1983 昭和五十八年	1984 昭和五十九年	1985 昭和六十年	1986 昭和六十一年	1987 昭和六十二年	1988 昭和六十三年	1989 平成元年	1990 平成二年	1991 平成三年	1992 平成四年	1993 平成五年	1994 平成六年	1995 平成七年	1996 平成八年	1997 平成九年	1998 平成十年	1999 平成十一年							
社会	出来事			●東北上越新幹線開通					●つくば科学万博		●昭和天皇崩御		●バブル経済崩壊（91-93）				●地下鉄サリン事件（97-99）		●平成不況・金融危機									
	災害			●日本海中部地震							●消費税3%導入				●釧路沖地震	●兵庫県南部沖地震												
	建造物								●瀬戸大橋開通	●青函トンネル開通		●東京都庁完成		●横浜ランドマークタワー完成	●関西国際空港開港													
	BIM																											
行政・民間団体	法制度		●建築基準法施行令改正（新耐震）									●マニフェスト制度									●建築基準法改正							
	国交省等												●建設業における電子計算機の連携利用に関する指針〔CI-NET〕（建設省）				●建設CALS整備基本構想（建設省）	●建設CALS/ECアクション計画（建設省）		●労働安全衛生法改正（建設現場関係）								
	日本建築学会																											
	日建連																●情報システム部会（建設業協会）											
	その他団体															●建設データ協議会	●IAI日本支部											
シンポ資料・書籍	国交省																											
	日本建築学会						●建築生産と管理技術シンポジウム（第1回）										●建築生産シンポジウム	●情報化の進展にともなう設計・施工分野動きとその協調の課題（日本建築学会）										
	民間・報告書等																											
	書籍																											

2000年代										2010年代																													
2000年	平成十二年	2001年	平成十三年	2002年	平成十四年	2003年	平成十五年	2004年	平成十六年	2005年	平成十七年	2006年	平成十八年	2007年	平成十九年	2008年	平成二十年	2009年	平成二十一年	2010年	平成二十二年	2011年	平成二十三年	2012年	平成二十四年	2013年	平成二十五年	2014年	平成二十六年	2015年	平成二十七年	2016年	平成二十八年	2017年	平成二十九年				
●平成不況・ITバブル崩壊（00-02）										●金融危機（リーマンショック）										●働き方改革																			
										●耐震偽装問題										●ICカード乗車券相互利用開始																			
										●ワンセグ放送開始										●マイナンバー制度制定																			
										●談合決別宣言										●アナログ放送終了										●築地豊洲移転問題									
																				●ブラウン管TV生産終了																			
●鳥取県西部地震										●能登半島地震										●消費税8%導入																			
										●新潟県中越沖地震										●熊本地震																			
										●愛知万博										●国立西洋美術館が世界遺産登録																			
										●中部国際空港開港										●あべのハルカス開業																			
										●BIM元年										●施工BIM元年																			
E										●建築基準法改正（性能設計 建築物の安全性確保等）																													
●住宅性能表示制度										●公共工事の品質確保の促進に関する法律										●改正・公共工事の品質確保の促進に関する法律																			
品質確保の推進等に関する法律																																							
●建築基準法改正（建築確認の民間開放等）																																							
E-スト導入																																							
制度（すべての産業廃棄物）																																							
●国土交通省設置																				生産性革命元年 [i-Construction]（国交省）●																			
●国土交通省CALS/ECアクションプログラム																				●i-Constructionmの取り組み発表（国交省）																			
ンプログラム（建設省）										●国土交通省CALS/ECアクションプログラム2005										●建設現場の生産性向上に向けて（国交省）																			
2全衛生マネジメントに関する指針																				●CIMのすすめ（国交省）																			
																				●CIM制度検討会（国交省）																			
																				●官庁営繕事業におけるBIM導入プロジェクトの開始（国交省）																			
																				（内閣府）働き方改革実現会議●																			
																				●建設技能者の能力評価のあり方に関する検討会（国交省）																			
																				●建設工事における適正な工期のためのガイドライン（国交省）																			
																				●新しい経済政策パッケージ（内閣府）																			
●設計先端利用技術調査WG（日本建築学会）																				●建築生産BIM小委員会（日本建築学会）																			
										●建築生産VR小委員会（日本建築学会）										●施工BIM小委員会（日本建築学会）																			
										●建築情報化小委員会（日本建築学会）										●生産性向上推進要綱（日建連）																			
																				●適正工期算定プログラム（日建連）																			
																				●building SMART Japan																			
●IAI日本										●労働安全衛生マネジメントに関する指針・改正										●IFC/BIM部会（次世代公共建築研究会）																			
										●3D-CAD検討WG（建設業振興基金）										●BIM・FM研究会（JFMA）																			
																				●官庁営繕事業におけるBIMモデルの作成及び利用に関するガイドライン（国交省）																			
																				●ガイドライン改定（国交省）																			
（改称）																				●建築生産における出来形情報の取得とBIMとの連携（日本建築学会）																			
●建築設計および生産情報の流れシンポジウム（日本建築学会）										●建築生産における3次元CAD普及の可能性（日本建築学会）										●BIMを超えて－建築生産の変革の兆し（日本建築学会）																			
										●建築生産におけるBIM（日本建築学会）										●BIMはどこまで来ているか（日本建築学会）																			
																				●BIMによって建築生産はどのように変わるのか（日本建築学会）																			
										●3次元CADが拓く建築生産の未来像（日本建築学会）										●専門工事会社のBIM活用による建築生産の変革（日本建築学会）																			
																				●BIMガイドライン（日本建築家協会）																			
																				●施工BIMのスタイル2014（日建連）																			
																				●ファシリティマネジャーのためのBIM活用ガイドブック（JFMA）																			
																				●BIM活用実態調査レポート（日経BP社）																			
																				●専門工事会社におけるBIM活用実態調査報告書（日建連）																			
																				●施工BIMのスタイル事例集2016（日建連）																			
										●BIM建設革命（山梨知彦）																													
										●広がるデザインの可能性－BIM元年（a+u）																													
										●BIM JAPAN（建築知識）																													

		1980年代										1990年代																													
		1980	昭和五十五年	1981	昭和五十六年	1982	昭和五十七年	1983	昭和五十八年	1984	昭和五十九年	1985	昭和六十年	1986	昭和六十一年	1987	昭和六十二年	1988	昭和六十三年	1989	平成元年	1990	平成二年	1991	平成三年	1992	平成四年	1993	平成五年	1994	平成六年	1995	平成七年	1996	平成八年	1997	平成九年	1998	平成十年	1999	平成十一年
コンピュータ関連	OS関連						●MS-DOS															●DOS/V					●Windows3.1		●Windows95											●Windows98	
							●ベシック								●ルーター							●Windows3.0						●インターネットエクスプローラー													
							●FD (3.5インチ)								●外付ハードディスク							●CD-R					●MO (3.5インチ)														
	パソコン						●NEC PC-8801															●ノートパソコンの普及																		●NEC PC98-NX	
							●NEC PC-9801(16ビット)															●東芝 ダイナブック																	●iMac		
																●NEC PC-9801VM						●NEC ノートパソコン PC9801N																			
																●アップル マッキントッシュ						●NEC PC9801RA (32ビット)																			
ソフトウェア														●一太郎 (ATOK)																											
CAD系																																									
携帯情報端末																																									
その他																																									
品質管理	施工管理																																								
品質管理																																									
仕上管理																																									
精度管理																																									
生産管理																																									

2000年代										2010年代																											
2000	平成十二年	2001	平成十三年	2002	平成十四年	2003	平成十五年	2004	平成十六年	2005	平成十七年	2006	平成十八年	2007	平成十九年	2008	平成二十年	2009	平成二十一年	2010	平成二十二年	2011	平成二十三年	2012	平成二十四年	2013	平成二十五年	2014	平成二十六年	2015	平成二十七年	2016	平成二十八年	2017	平成二十九年		
●WindowsXP					●GoogleEarth					●Windows7					●Windows10																						
●USB接続																																					
●ノート型パソコンの出荷数がデスクトップを抜く					●64ビット（XP）																																
										●エクセル2007					●office2010					●エクセル2013																	
●JWW（Windows対応）																																					
										●Revit Architecture2008					●Revit2012																						
										●Revit Bulding8.0					●GLOOBE（福井コンピュータ）																						
●カメラ付携帯電話（J-PHONE）					●iPhone					●iPad																											
●iPod					●Android																																
●PDA（シャープ）					●PDA（シャープ）生産中止																																
●Suica					●SNS																																
●Google					●Wi-Fi																																
●携帯「GPS機能」開始										●3Dプリンター																											
■海外工事における工事管理（パソコン）					■工事写真記録システム（ICタグ）					■分電盤管理システム（BIM）																											
■山留め管理システム					■現場管理（ICタグ）					■鉄骨工事の施工支援システム（3次元モデル）																											
■実証現場システム（モバイルPC／イントラネット）					■現場管理（モバイルコンピュータ）					■作業指示システム（スマートフォン）																											
◇マルチメディア技術の利用					◇現場管理（モバイルコンピュータ）					■施工管理手法（次世代携帯端末）																											
■里システム（三次元CAD動画）					■工事管理（無線LANを利用した建方実績収集）					■施工管理手法（次世代携帯端末）																											
画技術を利用した管理システム					◇溶接施工管理システム（ICタグ）					■施工管理手法（次世代携帯端末）																											
					■CFTコンクリート打設管理システム					■施工管理手法（次世代携帯端末）																											
										◇躯体工事の品質管理支援システム（無線ICタグ）																											
										◇鉄骨造躯体の品質管理支援(ICタグ)																											
										◇鉄筋コンクリート工事の品質管理（3次元スキャナー）																											
										●鋼構造躯体の品質管理（ICタグ）																											
										■CFT充填管理システム																											
										■仕上げ管理システム（タブレット端末）																											
										■建方精度管理（携帯端末＋三次元CG）					■逆打ち支柱精度管理（カメラ）					■鉄骨建方建て入れ精度自動計測システム																	
																				■場所打ち杭の孔壁測定（ハンディ式レーザースキャナー）																	
管理システム										■建設ロジスティクス（ICタグ）										◇鉄骨生産管理システム																	
◇P C工場の生産計画における情										■建設安心システム（RFID、建材・部材を対象情報管理システム）																											
										■建設共同輸配送・トレサビリティシステム										●コンクリートのトレサビリティ（ICタグ）																	
										■建設共同輸配送・トレサビリティシステム										●コンクリートのトレサビリティ（RFID）																	
										■建築生産・維持管理の高度化（無線ICタグ）										●コンクリートのトレサビリティ（RFID）																	
										■構造躯体の建築履歴情報（RFID）										■CFT充填管理システム																	
										■建築構造性能モニタリング（ひずみゲージ付きRFID）										◇RC一貫生産システム（鉄筋BIM）																	
										■コンクリート埋込RFIDの通信性能																											
										■鉄骨工事のトレサビリティ（ICタグ）																											
										■建設履歴管理（ICタグ）																											
										■コンクリートのトレサビリティ（ICタグ）																											
										■建物施工モニタリング技術（簡易型形状取得装置）																											
										■仮設資機材と本設資機材管理（ICタグ）																											
										■RC部材中における通信性能評価（RFIDシステム）																											
										●鉄骨生産の情報一貫管理																											

		1980年代											1990年代										
		1980 昭和五十五年	1981 昭和五十六年	1982 昭和五十七年	1983 昭和五十八年	1984 昭和五十九年	1985 昭和六十年	1986 昭和六十一年	1987 昭和六十二年	1988 昭和六十三年	1989 昭和六十四年	1990 平成二年	1991 平成三年	1992 平成四年	1993 平成五年	1994 平成六年	1995 平成七年	1996 平成八年	1997 平成九年	1998 平成十年	1999 平成十一年		
	検査										◇仕上げ工事チェックシステム				◇仕上げ工事チェックシステム（バームトップ型コンピュータ） ◇作業進捗管理・仕上検査システム								
											■仕上管理システム（バーコード） ■仕上管理システム（バーコード） ■仕上管理システム（バーコード）							◇現場検査システム（携帯端末）					
原 価 管 理	積算									◇概算積算（パソコン） ◇積算システム（パソコン） ◇概算見積システム ◇概算見積システム ◇建築積算システム（コンピュータ）				◇設備基本設計・概算システム ◇統合見積システム									
	原価管理									◇作業所原価管理（パソコン） ◇利益管理システム						◇予算作成一貫システム							
工 程 管 理	工程管理									◇工程管理システム（パソコン） ◇工程管理支援システム（パソコン） ■工程管理システム（大規模）（パソコン） ◇躯体工事の工程管理（システム） ◇杭工事の工程計画・管理システム							◇進捗管理（CAD）						
	安全管理														◇安全管理におけるシステム化 ◇作業打合せ支援システム								
安 全 管 理	労務管理									◇工数処理（パソコン） ■労務管理（バーコード） ■労務管理（バーコード） ◇就労管理システム（汎用型ID） ◇労務実績収集（マイコン） ◇労務管理システム					◇現場管理システムのO A（入退場・仕上管理・原価管理） ◇作業日報分析と携帯端末による作業測定 ◇カード方式による入退管理 ◇延作業者数の把握のシステム ◇電子手帳による労務実績データ収集								
	車両管理 建設機械									◇揚重予約・実績管理システム ◇クレーン総合管理システム ◇タワークレーンスケジュール管理システム ◇揚重管理システム				◇揚重スケジューリングシステム ◇車両管理システムの開発				◇クレーン稼働管理システム					
環 境 管 理	環境管理																						
作 業 計 画 系	工程計画									■概略工程計画支援システム（小型コンピュータ） ◇工程計画（エキスパートシステム） ◇工程計画（エキスパートシステム） ◇概略・詳細工程計画（エキスパートシステム） ◇工程管理システム（パソコン） ◇工程計画支援システム ◇工程計画支援システム ◇工程計画（エキスパート） ◇工程計画（Prolog言語）				◇工程計画と管理（CAD） ■工程シミュレーション（3次元CG） ■工程シミュレーション（3次元CG） ■仕上工事用工程計画・管理システム ◇ネットワーク工程図の作成（電子計算機） ◇躯体工程シミュレーションシステム ◇工数算定システム ■RC造の工程計画（シミュレーション手法） ◇工程計画（システム） ◇工程計画（Prolog言語）				■建築基礎工事設計（エキスパート） ■くり返し型工事の工程計画・管理（シミュレーション） ■汎用型工程計画・管理システム ■工事用工程計画・管理システム ◇工事用工程計画・管理システム					



2000年代										2010年代																													
2000	平成十二年	2001	平成十三年	2002	平成十四年	2003	平成十五年	2004	平成十六年	2005	平成十七年	2006	平成十八年	2007	平成十九年	2008	平成二十年	2009	平成二十一年	2010	平成二十二年	2011	平成二十三年	2012	平成二十四年	2013	平成二十五年	2014	平成二十六年	2015	平成二十七年	2016	平成二十八年	2017	平成二十九年				
										■排水通水管理システム（ICタグ） ■排水通水管理システム（ICタグ） ■排水通水管理システム（ICタグ） ■亀裂検知センサー（RFID・プリントシール） ◇マンション検査システム（携帯情報端末） ◇コストコントロール（3次元CAD） ○数量算出とコストコントロール（3次元CAD） ○ラフモデルと施工標準モデルによるコストコントロール（3次元CAD） ■積算（3次元CAD）										■建築各部の3次元情報の取得と設計図との照合（3次元CAD） ■配筋の自動評価法（点群観測） ○構造躯体の検査情報の記録・検索（ICタグ） ■配筋計測システム（画像処理） ■配筋計測システム（画像処理） ■配筋検査支援システム ■RC造躯体工事検査支援システム（ICタグ） ◇鉄筋コンクリート工事検査支援システム（RFIDと携帯端末） ■鉄骨工事の施工検査・トレーサビリティシステム ■鉄筋検査システム（音声認識） ■鉄筋観測（小型形状スキャナー） ■鉄筋計測（点群データ） ■電子チェックシート（タブレットPC） ■コストマネジメント（BIM） ■コストマネジメント（BIM） ■施工計画における数量書式とコスト情報（BIM）																			
										◇作業進捗状況（RFID） ■施工状況報告支援システム（カメラ付き携帯電話） ○進捗管理システム（写真画像とVR） ■進捗管理システム（RFID）										■内装仕上工事の進捗管理（コピキタス） ■躯体工事進捗管理システム（BIM）																			
										■工事車両接触事故防止（無線IC） ◇作業安全の支援システム（無線IC） ■工事車両接触事故防止（無線IC） ○接触災害の防止（ICタグ） ■手摺先行工法（3次元画像解析） ■危険性検討（建築作業のデータベースと外部端末） ■重機と作業者の接近状態の推定（アクティブ型無線ICタグ）										◇工事作業の再現と安全評価（VR）																			
◇作業推定システム										■位置情報システム（無線ICタグ） ■入退場管理システム（ICタグ） ■管理区域安全管理システム（ICタグ） ◇建設労務管理システム（RFID） ■入退場管理システム（PDA・ICタグ） ■位置情報取得（無線IC） ■建設共通パスシステム ■内装工事の作業干渉の解析（3次元空間データ）										■建設共通バスシステム ■建設共通バスシステム ■入退場管理システム（ICタグ）																			
テム										■工事車両接触防止（無線ICタグ） ◇工事車両の作業領域（無線ICタグ） ■車両入退場管理（コピキタス）																													
										◇廃棄物コンテナ管理（ICタグ） ■廃棄物の不法投棄・不適正処理防止（ICタグ） ■廃棄物コンテナ管理（ICタグ）																													
◇基準階工程シミュレーションシステム										■作業工程シミュレーション ■鉄筋コンクリート工事の施工シミュレーション ■資材と作業・施工シミュレーション ■工事用エレベータ・施工シミュレーション										○施工シミュレーションモデル（物流）  ○施工シミュレーションモデル（作業活動）																			
サポートシステム） シミュレーションモデル） テム 理システムの開発 ピュータ支援 テム										■施工過程シミュレーション ○高層RC造集合住宅の工程シミュレーション ◇工程シミュレーション ◇高層RC造集合住宅の工程シミュレーション																													

[illegible]

2000年代										2010年代																										
2000	平成十二年	2001	平成十三年	2002	平成十四年	2003	平成十五年	2004	平成十六年	2005	平成十七年	2006	平成十八年	2007	平成十九年	2008	平成二十年	2009	平成二十一年	2010	平成二十二年	2011	平成二十三年	2012	平成二十四年	2013	平成二十五年	2014	平成二十六年	2015	平成二十七年	2016	平成二十八年	2017	平成二十九年	
計画へのComputer Aided Engineering の適用 計画シミュレーション・管理システム										〇施工シミュレーション（構工法知識と建物情報との分離） ■施工計画手法（VR）										■構工法計画（BIM） ■コンクリート打設工区分割システム																
◇3次元プロダクトモデルにもとづいた構工法計画の生成 ◇バーチャル建設現場システム  (4次元CAD)  ◇バーチャル建設現場システム ◇施工プロセス可視化システム ◇建方計画システム																																				
										■内装工事における作業干渉（3次元空間データ） ■作業干渉（3次元空間データ）										◇施工シミュレーション（作業員の動き）																
ロボット ◇自動化搬送システム ム システム による情報化施工 工法の搬送実績 業の自動化 理システム システム										〇柱現場溶接ロボット ■情報化施工（掘削工事） ■運行管理システム（ICタグ） ■全自動ビル建設システム（超高層ビル） 〇ビル自動化施工システム（作業実績データ分析） ■近隣配慮型解体工法  ■水平搬送動力台車										■行動特性（AR技術を用いて表現した3次元ロボット） ■フレキシブル水平搬送システム ■工事用エレベータ揚重管理システム 〇五軸加工機（BIM） 〇木材加工（多関節ロボット） ■重機・遠隔制御システム（LAN）  ■重機・遠隔制御システム（LAN）																
〇デジタルカメラを用いた測量 ◇3次元測量（架設時の変形）  ■PCa工事（3次元計測システム） ◇3次元CAD情報と出来形（3次元スキャナー） ◇出来形と工事進捗（3次元スキャナー）										■計測（3次元計測システム） ■計測技術（3次元レーザースキャナー） ■既存建物の計測（写真計測） ■実測（3次元写真計測） ◇3次元CAD情報と出来形（3次元スキャナー） ◇出来形と工事進捗（3次元スキャナー） ■プレカット部材（3次元レーザースキャナー） ■プレカット部材（3次元CAD） ■プレカット部材（点群データ） 〇部位等の探寸（写真測量） ◇各種寸法の解析（点群データ） ■3次元写真計測 ■既存建物の計測（写真計測） 〇プレカット（3次元レーザースキャナー） ■現状調査（小型3次元スキャン） ◇3次元CADモデルの作成（点群モデル）										■既存設備のCAD化（3Dレーザースキャナー） ■現場計測（画像取得装置）																
■モバイルマルチメディアの利用  ◇ICタグを利用した情報一体系システム										■PCa部材の情報管理（PDAシステム・無線ICタグ） ■連続内観システム（デジタルカメラ）										■BIM対応CADの利用環境（液晶ペンタブレット）																
◇情報共有ツールのインターネット活用 ◇情報共有ツールの活用 マルチメディアデータベースシステム ム（DB-CAD/LINCS）										■建築安心システム（RFIDとデータベース・建材・部材を対象情報管理システム） 〇建築物情報の管理及び運用（RFID及びデータベースシステム） 〇デジタルアーカイブス ■情報共有プラットフォーム（ユビキタス技術） 〇設計情報WEBシステム																										
◇建築生産情報のXML化										■3次元オブジェクトモデル自動生成 ◇3次元オブジェクトCADの活用 ■建築オブジェクトのモデリング手法（3次元レーザー測量）																										
司と整合システム										◇建築生産情報統合（K S J T）システム ■設計から施工にわたる建築生産プロセスの改善（3次元CAD）										■設計施工でのBIMデータ活用（鉄骨製作図・BIM） ■BIMモデル合意（鉄骨とELV） ■BIMモデル合意（承認プロセス）																

	1980年代										1990年代									
	1980 昭和五十五年	1981 昭和五十六年	1982 昭和五十七年	1983 昭和五十八年	1984 昭和五十九年	1985 昭和六十年	1986 昭和六十一年	1987 昭和六十二年	1988 昭和六十三年	1989 昭和六十四年	1990 平成二年	1991 平成三年	1992 平成四年	1993 平成五年	1994 平成六年	1995 平成七年	1996 平成八年	1997 平成九年	1998 平成十年	1999 平成十一年
2D-CAD							◇原子力発電所（設計・施工へのCAD適用） ■立体図形（パソコン）				◇設計CAD情報の下流での広範な活用						■2次元CAD図面から立体モデル ○2次元CAD図面から立体モデル ◇データ共有と重ねあわせ ◇CAD作図管理システム			
3D-CAD							統合建築CADシステム（LORAN-T）									◇3次元CADデータの利用した情報伝達（CAD）				
BIM																				
xR																				
施工図作成							◇CADの利用と運用 ◇部材展開システム（コンピュータ） ◇躯体図作成システム ◇躯体施工図（データ運動） ◇現状と問題点 ◇運用環境の検討				◇施工図作成（CAD） ◇図面作成管理システム ◇施工図作成・部品利用（CAD） ◇施工図作成における部品利用（CAD）									○図面管理
							◇柱・梁鉄筋詳細図作成システム ◇階段コンクリート図作成システム ◇多軸ソイル山止め施工図作成システム ◇躯体図CADの作図機能の効率化 ◇躯体施工図作成システム ◇掘削計画図作成システム ◇Pca部材図作成システム									◇3次元CADデータを情報共有（仕上施工）				
作業所管理							◇施工要領書管理（パソコン） ◇作業所支援システム				◇気象情報サービスシステム ◇入出力方法（パソコン）					◇LAN・電子メール（活用事例） ◇施工現場における情報管理と携帯端末 ◇作業所管理事務（OA化） ◇コンピュータ利用の変遷 ◇電子会議システム ◇現場日常管理システム（OA化） ◇会議支援システムの開発 ◇資機材発注システム ◇CI-NETを利用		◇イントラネット ◇提出書類の現状 ◇作業所内LAN ◇エクストラネット ◇社内インフラ		

図 1-5 施工管理分野と施工計画



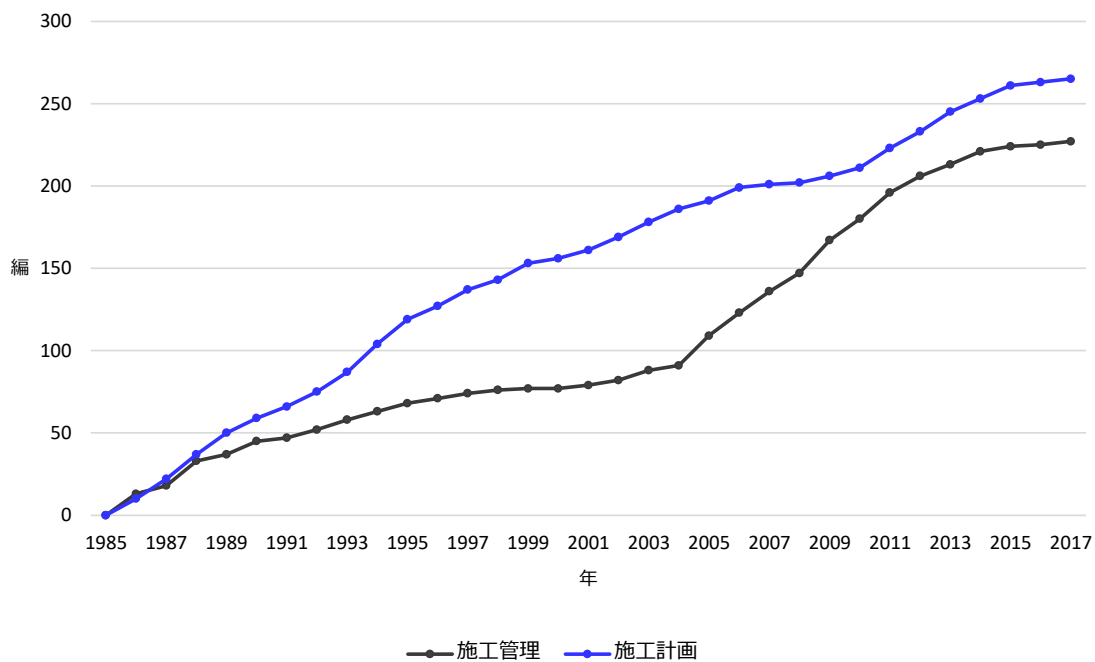


図 1-6 施工管理分野と施工計画分野における発表論文数

## 分析結果

活用する目的別に抽出した発表論文の総数 492 編の内訳は、施工管理分野が 227 編、施工計画分野が 265 編だったため、施工計画分野に関する取り組みが多い傾向だったと言える。発表された論文を掲載された媒体が多い順にみると「建築生産シンポジウム論文集」が 239 編、「日本建築学会大会梗概集」が 221 編、「日本建築学会技術報告集」が 19 編、「日本建築学会計画系論文集」が 13 編だった。建築生産シンポジウムは 1985（昭和 60）年 7 月に第 1 回が開催されて以降、毎年開催されており建築生産系に関する発表媒体として認知されていると考えられる（第 1 回から第 12 回までは「建築生産と管理技術シンポジウム」の名称で開催されていた）。また日本建築学会大会も毎年開催されており、システム開発系に関する発表媒体として多く見られた。発表された論文数を年ごとに集計した結果を図 1-6 に示す。

1980 年代後半（昭和 60 年頃）からすでに BIM/ICT に関連するシステム開発の報告が顕著になり始めていた。しかしながら、システム開発の基盤は他産業で開発されたパソコンや CAD ソフトウェア、携帯情報端末などの技術の上に成り立っており、コンピュータ周辺技術の進化の影響を大きく受けていると考えられる。施工管理分野では 2004（平成 16）年までは低調な動きであったが 2005（平成 17）年頃から一定して大きな伸びが見られ、それが 2015（平成 27）年頃まで続いていた。2001（平成 13）年には国交省による「CALS/EC アクションプログラム」が発表されており、社会環境は平成不況の時期であったが、これに呼応するように施工管理分野に関する技術開発があったとも考えられる。また、2007（平成 19）年には iPhone、2010（平成 22）年には iPad の発売があり、携帯情報端末として電話の活用だけでなく図面の閲覧やアプリの活用等により工事現場への導入が容易になったことも発表数に反映していると考えられる。

一方、施工計画分野では1985（昭和60）年以降から一定して伸びが見られるが、2008（平成20）年前後には平成不況や金融危機の時期と関係していたためか、若干の横ばい傾向が見られる。施工管理分野が低調であった1990年代はバブル崩壊後の平成不況の時期であったが、施工計画分野においては一定数の報告がされていたことを考えると、工程計画や施工計画、建設ロボットの分野は継続的に開発がなされてきたと思われる。1990年初頭から全天候型ビル自動施工システム等の開発に各社が取り組み始めた時期であったが、それ以降も既存の技術を改良するなどの継続した開発が続いていたと考えられる。

次節より施工管理分野と施工計画分野における変遷を具体的に述べる。

## 1-5 施工管理分野における主な技術開発

### （1）施工管理分野の傾向

施工管理分野において発表された論文227編の内訳を図1-7に示す。

環境管理を除く分野において1985（昭和60）年から増加が見られる。生産シンポジウムのような発表の機会があることも影響していると考えられる。発表論文の内訳は品質管理について141編を確認することができた。次いで安全管理分野の51編、原価管理の19編、工程管理の11編と続き、環境管理は5編と低調であった。施工管理分野におけるBIM/ICTを活用した技術開発の興味の対象は品質管理の分野にあったと言える。発表数が伸びている2005（平成17）年前後の社会環境は、1999

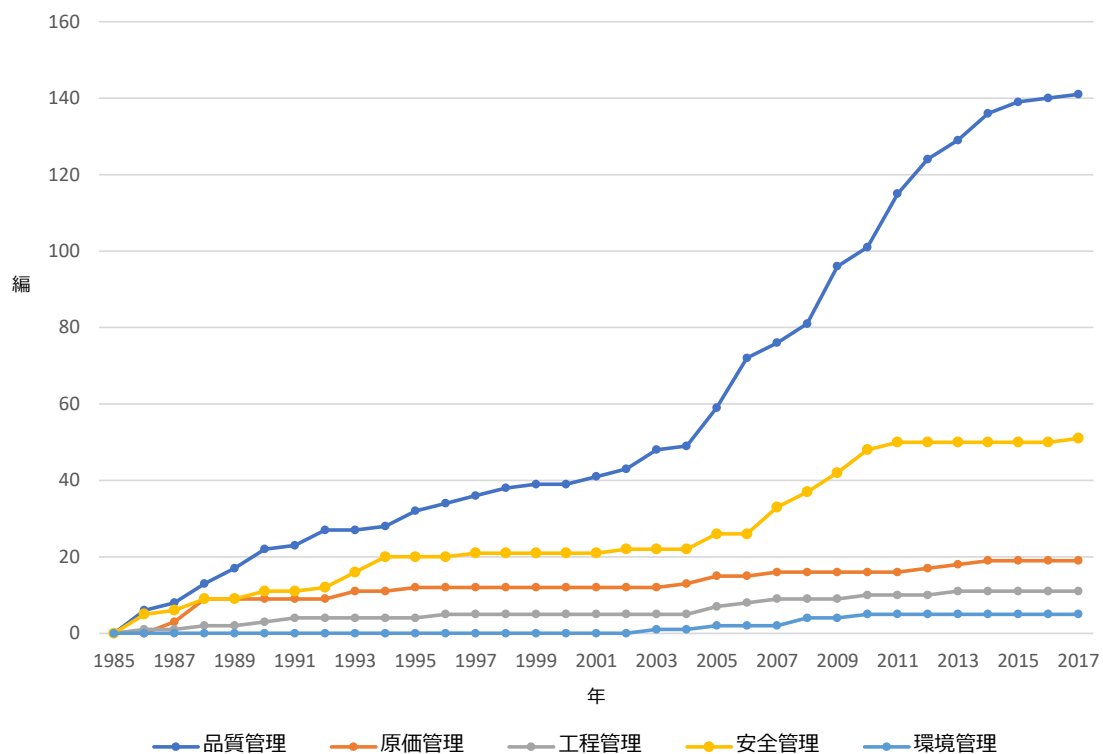


図 1-7 施工管理分野の発表論文数

(平成 11) 年に「住宅の品質確保の推進等に関する法律」の制定、2000 (平成 12) 年には「住宅性能表示制度」の制定、2005 (平成 17) 年には「耐震偽装事件」の発生や「公共工事の品質確保の促進に関する法律」の制定が立て続けにあり、建築業界では特に住宅の取得者に対して住宅の性能に関する信頼性をきちんと担保する必要がでてきた時期でもあった。さらに 2007 (平成 19) 年には躯体工事において柱の鉄筋本数が不足した品質トラブルが発生しており<sup>[97]</sup>、建築工事の品質に対する社会からの関心が高まり始めた時期でもある。

安全管理の分野では建設業における労働災害が他産業に比べて多く、特に墜落災害、飛来落下災害、自動車による災害、建設機械による災害が多いと報告されているが<sup>[98]</sup>、2018 (平成 30) 年には死亡者数が 309 人と 2000 (平成 12) 年の 794 人から半減以上の成果が出ており、近年の成果は「労働安全衛生マネジメントシステム (OSHMS) に基づく予防的・継続的活動」によるものとしている<sup>[99]</sup>。ここではシステムという名称になっているが、BIM/ICT を活用したシステムではなく、安全衛生管理の仕組みづくりを指している。

原価管理については 1990 年代前半までは取り組みを見ることができたがそれ以降は低調であった。Windows95 が発売されると同時に 32 ビットアプリケーションとして表計算ソフトが発売されたことから、表計算については市販の汎用性のあるソフトウェアを使用することで工事現場の技術者が容易に数値を入力・編集できる環境が整い始めたことが影響していると考えられる。また、1990 年代後半から 2000 年代前半にかけて社内イントラの整備が始まり、工事現場における事務所においても本社とネットワーク回線が繋がるとともに予算管理や発注管理をするために各社が基幹システムを構築したことにより、一定の役割が終わったとも考えられる。工程管理や環境管理については、

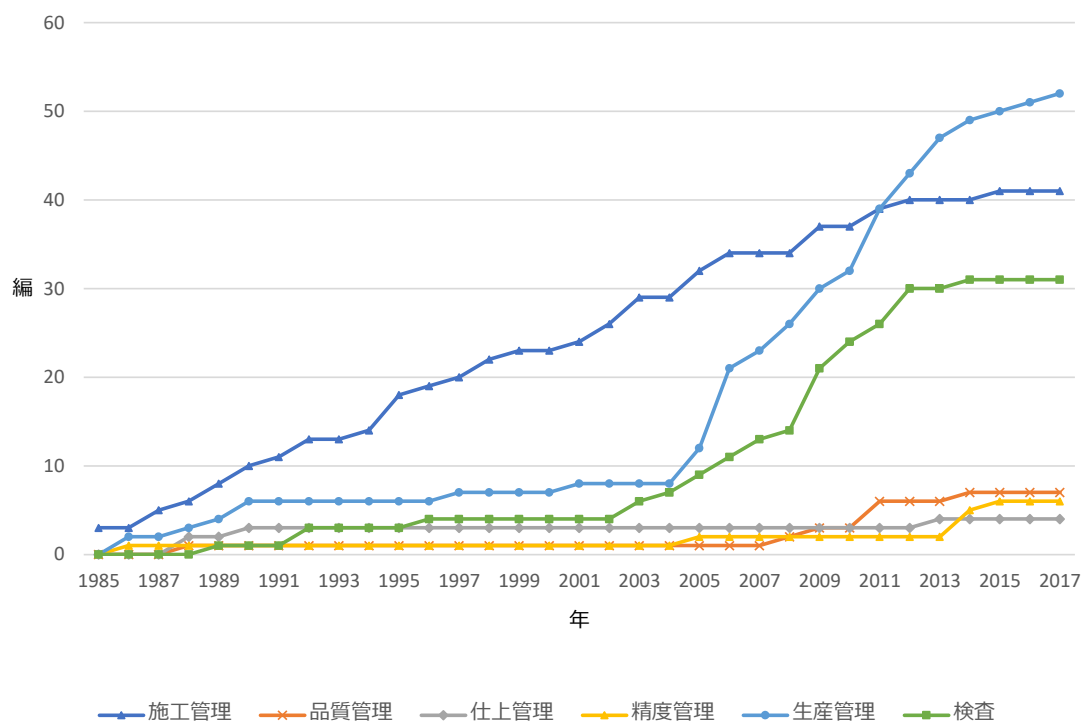


図 1-8 品質管理分野の発表論文数



ほぼ興味の対象外であったと指摘できる。以下より5つの分野における変遷を詳細に見ていく。

## (2) 品質管理 (Q)

施工管理分野における品質管理として発表された論文は141編であった。発表年の内訳を図1-8に示す。内訳を発表数の多い順に並べると、生産管理が52編、施工管理が41編、検査が31編、品質管理が7編、精度管理が6編、仕上管理が4編だった。施工管理業務への適用は一定数の報告が見られるが、2000年代中頃には低調になってきた。それに代わるように生産管理の分野の伸びが顕著である。次に検査に関する取り組みが多く見られるが、1990年代と2010年以降は伸びに鈍化が見られた。その他の品質管理や精度管理、仕上管理については低調と言える。

## 生産管理 (加工工場)

生産管理の分野では、主にPCa工場における生産管理やコンクリートにおけるトレーサビリティに関する分野を対象とする報告が多く見られる。1986(昭和61)年にはPCa工場を対象とした生産管理に関する取り組みが富田らにより報告されていた<sup>[100]</sup>。図1-9に示すようにパソコンとバーコードを用いて生産管理データベースを構築し、その周りに資材管理、生産計画、製造予定、製造指示、生産情報収集、生産情報モニタ検索、生産実績を配置し、有機的に統合させ、生産工程シミュレーションにも対応できるシステムだった。システムを適用した結果は「管理技術経験のノウハウを、ソフトウェアに組み込むことで経験者を不要とした。(中略)部材の多品種少量生産を前提としたバーコードによる部材IDコードの導入、工場内生産管理データの一元化は、今後の製造工程自体の自動化、省力化の第一歩となる」と報告している<sup>[101]</sup>。

同じく高層集合住宅の生産計画・生産管理システムに関する研究として1997(平成9)年にPCa工法の実態調査からシステム化を検討した岩下らは、システムの必要条件として、設計や施工の段階でデザインレビューができるプロジェクト型の組織編制や設計と施工計画の標準化を一緒に考慮する

必要性を示した<sup>[102]</sup>。

2001(平成13)年には范がPCa工場における支援システムを報告した<sup>[103]</sup>。システムの概要として「データベース化や自動処理を前提にした工程シミュレーションを実現すると共に、従来では両立することが困難だった変更対応諸機能も同パッケージに盛り込むことによって、多様な情報環境においても持続可能な計画活動が行える」とした<sup>[104]</sup>。岩下らが指摘した標準化で部材数を少なくすることではなく、情報処理により多品種を製造する管理ができることを示した。

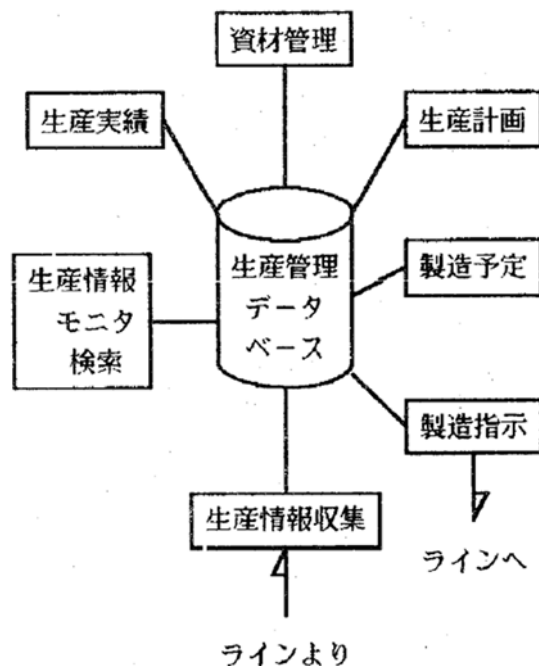


図1-9 生産管理のデータベース

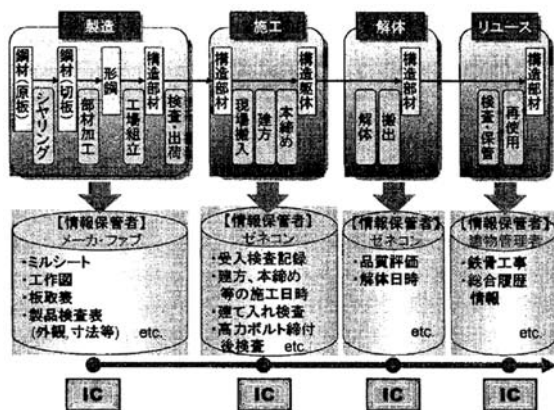


図 1-10 ICタグによる生産履歴情報

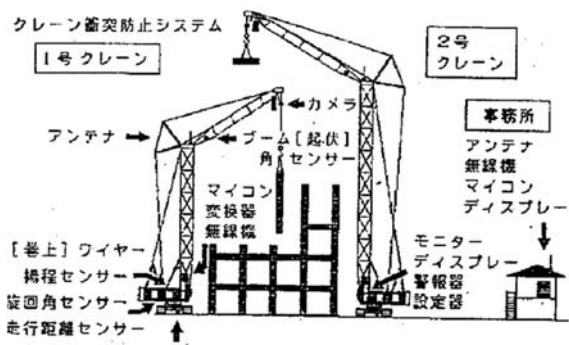


図 1-11 クレーン衝突防止システム

## 生産管理（工事現場でのトレーサビリティ）

2010 年前後になると工場における生産管理ではなく、工事現場で打設するコンクリートや鉄骨に関するトレーサビリティに関する取り組みが増えてきた。2005（平成 17）年の公共工事の品質確保の促進に関する法律や 2007（平成 19）年の建築基準法改正等により建物の品質に関する注目が集まり始めた時期であった。コンクリートのトレーサビリティを確保するには、製造時のコンクリートに IC タグの一種である RFID を混ぜ込み、その後の通信状況やコンクリートへの影響を検証する報告が多い。例えば、2011（平成 23）年の平原らは通信状況を検証し<sup>[105]</sup>、2013（平成 25）年の高山らは RFID タグを埋め込むことによるコンクリートの影響を報告した事例をあげることができる<sup>[106]</sup>。

一方、鉄骨工事への適用として 2009（平成 21）年には浜田らが IC タグを活用したトレーサビリティシステムを報告している<sup>[107]</sup>。図 1-10 に示すように鉄骨製造から施工、解体、リユースにわたり必要となる生産履歴情報を IC タグに埋め込み、携帯情報端末を使用することで読み取れることができる形態を示した。鉄骨加工工場にて貼られた IC タグを使用して品質管理や進捗管理も可能と指摘した。建築物の超寿命化が求められていることを背景とし、「建物所有者や利用者に対して建物の品質を向上させて信頼性を高めること」にあるとした<sup>[108]</sup>。

## 施工管理分野の傾向

施工管理に関するシステムは工事現場における労務管理から進捗管理や入退場管理、各種検査、揚重管理等のように多岐にわたる管理目的を包含してひとつのシステムとして構成している場合が見られた。発表された時代に合わせてシステムの名称が管理する項目を示していると考えられるため、システムの名称が施工管理や工事管理としている場合は、施工管理分野として分類した。そのため、施工管理等として示されたシステムは分割せずにそれらを包含して取り組んだ内容を概観する。

## 施工管理（工事管理）

1980 年代後半から 2000 年代中頃までは、パソコンを使用した施工管理や工事管理に関するシステム開発が多くなされており、中でも施工管理として工事用リフトやクレーンの揚重管理に関するシステムが多く見られた。2000 年代中頃以降からは携帯情報端末を活用した工事管理や施工管理に関する報告に対象が移っている。1985（昭和 60）年に山下らが工事現場に於けるパソコンの活用に関する報告をしている<sup>[109]</sup>。システムが対象とする範囲は作業所職員の業務そのものではなく、作業

分類	内 容	分類	内 容	分類	内 容
基本情報	・所持者ID番号 ・氏名 ・生年月日 ・性別 ・国籍 ・住所 ・緊急連絡先 ・建設業就労日 ・健康保険番号 ・厚生年金番号 ・雇用保険被保険番号 など	健康診断情報	・健康診断情報 (診断日、血圧、視力、 聴力、等) ・特異健康診断情報	現場情報	・工事名 ・職種 ・職位 ・入場年月日 ・退場年月日 ・新規入場教育日 ・延作業時間 ・延作業日数 ・退任番号
雇用会社情報	・雇用会社名 ・雇用年月日 ・職階 ・夜勤 ・雇用教育日 など	個人技能	・免許資格／教育名 ・交付団体／実施担当 ・取得日／実施日 ・登録番号 ・有効期限	入退記録	・入場日時 ・退場日時
			その他	・建造物情報 ・機械オペレート情報 ・フリーエリア 他	

：初期登録が必要になるもの。＊：複数回のデータが記録できるもの。

図 1-12 IC カードに搭載される情報

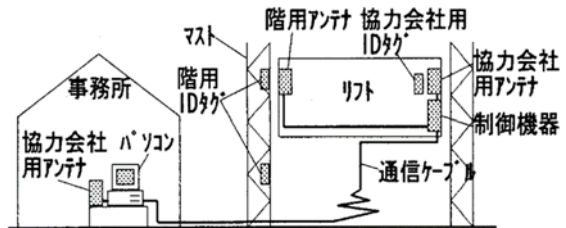


図 1-13 揚重管理システムの構成

プロセスの業務を生産作業と定義して 3 つのシステムを紹介していた。1 つ目は図 1-11 に示すクレーン運転席の画面に各センサーからの信号を解析してクレーン本体と吊り荷の位置や高さを表示されるクレーン衝突防止システム、2 つ目は PC a 部材建方の生産性向上を目的として平面上の部材を選択することで、建方順序や制約条件を考慮した部材リストが出力される。オンラインで工場と情報を共有することで搬入部材・重機の打合せを実施し、出力結果を建方工・クレーンオペレータへの作業指示書とする内容、3 つ目はタグカードを使用して作業員の出勤日報や個人月報、労務集計、月報を作成することができる労務管理システムだった。これらのシステムを適用した結果から「データ収集自動化の重要性から見ても、作業現場にコンピュータを設置することは、極ごく自然である。もちろん、建設業の業態が、工場生産を行っている一般の製造業とは非常に異なるため、この分野に手をつけて行くためには解決しなければならない問題が数多くある。しかし、実質の生産性を上げていくにはこの分野に踏み込まざるを得ない」と報告した<sup>[110]</sup>。すでに 1980 年代後半から BIM/ICT の活用目的は生産性の向上にあり、労務管理を含めたデータ収集から分析をする必要性を指摘していたが、システムの適用が簡単な道のりでないことも示した。

### 施工管理 (IC カードによる入退場システム)

1995 (平成 7) 年の板谷らによる IC カードを用いた現場管理システムの現場試行実験に関する報告によると、[建設工事現場の高度情報化を目指して、建設省と民間 38 社 (ゼネコン、メーカー等) による官民連帯共同開発「IC カードによる施工情報システムの開発」が、平成 4 年度から 6 年度にかけて実施] されていたようである<sup>[111]</sup>。共同研究開発委員会には施工情報 WG (施工品質、出来形、測量)、工事事務情報 WG (労務管理、安全管理)、建設機械情報 WG (機械の稼動、機械の履歴)、データキャリア WG (IC カード、ハード、ソフト) の 4 つの WG が存在していた<sup>[112]</sup>。現在でも工事現場における生産情報の扱いを分類するには違和感がないと思われるが、本論文ではこの中の工事事務情報 WG からの報告として IC カードを活用した入退場システムの内容が紹介されていた。図 1-12 に示すように IC カードに入力する情報は本人情報、会社情報、健康診断、個人技能、現場履歴としており、現在運用が開始されているキャリアアップシステムで作成されるカードの原形とも言えるが、民間企業が 38 社集まり取り組みがなされていたものの、これ以降も各社において入退場に関するシステム開発がなされていることを考えると普及には至らなかったと思われる。

### 施工管理（工務工程の作成）

同じく 1995（平成 7）年には井上らが工事マネジメント支援システムとして施工図や製作モノのリードタイムを考慮した工務工程を工事工程から作成できるシステム化を試みている<sup>〔113〕</sup>。ベテラン技術者のノウハウが継承できるシステムとして工務工程が作成できるデータベースを整備したスタンドアロンタイプでのシステムであったが、データベース機能を中心としたシステムでは「分散する各 DB のメンテナンスおよびその統括の体制の整備がシステムの盛衰を決する」等の課題を示した<sup>〔114〕</sup>。

### 施工管理（揚重管理）

1988（昭和 63）年に森田らによる揚重管理システムが報告されている<sup>〔115〕</sup>。開発の背景として「近年、建築物の高層化、大型化にともない建設用リフトの揚重資材が増し、それにともなって業務の施工管理に占める割合が増加してきた。そこで、その省力化、揚重作業の効率の向上および効果的な揚重計画の立案をねらい」と説明している<sup>〔116〕</sup>。予定の入力者は総合建設工事会社の技術者と専門工事会社の技能労働者が想定されているが、予定の調整作業とその結果の確認は総合建設工事会社が担当となっており、「現場員入力用の揚重予約システムは、現在実使用され、揚重予定の作成、調整に効果を発揮している。（中略）一方、将来有望であると考えている業者入力用の揚重予約システムは、現在試行中であり、その結果をもとにして今後改良して実用化する予定」と課題を示した<sup>〔117〕</sup>。その後も森田らは継続して揚重に関するシステムの改良を続けていた模様であり、1992（平成 4）年には AI（エキスパートシステム）を使用した揚重スケジューリングに関するシステム開発を報告している<sup>〔118〕</sup>。従来は手作業であった調整業務を自動的に実施できる機能が搭載されており、「揚重予約調整業務が従来の約 80%の時間削減が図れた」と成果を報告しているが<sup>〔119〕</sup>、今後の展開として「数多くの工事に適用して揚重実績データを充実させ、資材揚重計画の立案に役立てて行く。また資材の荷姿、梱包方法、小運搬方法等の揚重方法を含めた作業所内資材運搬全体の合理化を進め、ソフト・ハードを含めた作業所内資材運搬の全自動化をめざして研究開発を進めて行きたい」としており、将来は工事現場における自動運搬に言及していた<sup>〔120〕</sup>。

1995（平成 7）年には多葉井らが「リモート ID を用いた揚重管理システムの開発」を報告している<sup>〔121〕</sup>。リモート ID とは「制御機器、アンテナと ID タグの間で電波による通信を行い、離れた位置にある ID タグのデータの読み取り、または書き込みができる」ものとしていた<sup>〔122〕</sup>。図 1-13 に示すようにリモート ID を使用して工事用リフトの予約や実績を自動収集することで揚重計画の立案につなげる目的であった。翌年には山本らがパソコンを利用した揚重管理システムの開発を報告している<sup>〔123〕</sup>。システムは「工事用仮設リフト（エレベータ）に使用予約や稼動状況の詳細なデータを自動的に記録できる」ものとしており、基本的な機能や目的は多葉井らによる内容と同等と言える。

### 施工管理（進捗管理等）

2003 年以降では携帯情報端末を用いた工事管理に関する報告が増えてきている。その前年にはシャープによる PDA が発売されていた。例えば 2003（平成 15）年に木本らは図 1-14 に示すように PDA による進捗管理システム、検査システム（仕上用・躯体用・野帳）、鉄骨建方精度管理システムの開発を報告した<sup>〔124〕</sup>。以降も携帯情報端末を使用したシステム開発が続き、2009（平成 21）年に



図 1-14 PDA による入力画面

いる設計図・計画図・施工図・製作図の閲覧や検査記録を入力して帳票を作成できる機能により専門工事会社等の情報共有も可能になるとした<sup>[126]</sup>。

仮設電力の使用量の計画と実績収集をパソコンで管理する事例が 1987（昭和 62）年に村瀬らにより報告されている<sup>[127]</sup>。その後、2015（平成 27）年には室井が改修工事等において「負荷が増える際に必要な電気設備工事を抽出するシステムを報告した<sup>[128]</sup>。

### 検査分野の傾向

検査に関する分野では、集合住宅等を中心として居室が多い建築物を対象とした内装検査システムや鉄筋の組立・配筋後に実施する配筋検査システムに関する内容が多い。時代により使用するハードウェアはバーコードや携帯情報端末（PDA やスマートフォン等）、画像認識等が見受けられる。目的はいずれも検査業務の効率化であり品質の確保にあったと示されているが、実質的には検査後の帳票類を作成する手間の低減効果に寄与する内容であった。

### 検査分野（仕上げ検査）

初期の報告として 1989（平成 1）年には遠藤らが通信処理を使用して図 1-15 に示す仕上げ工事チェックシステムの開発を報告している<sup>[129]</sup>。従来からなされていた手書きの作業では 3 つの課題があると指摘している。具体的には「①一度収集したデータをもう一度書き移すといった意味では明らかに二度手間業務効率が悪。②指示忘れ、確認忘れをおこし易い。③修正作業の内容分析まで行おうとすると、非常に時間がかかる」と指摘している<sup>[130]</sup>。これが 2004（平成 16）年に半田らが報告した図 1-16 に示すマンション検査システムにおいても仕上げ検査についての課題と解決策として「各業者への作業指示はかなり手間掛かる作業となる。特に仕上げ検査（いわゆるダメ拾い）を行い、その結果から担当者毎に作業指示書を作成するのは、非常に労力を要する作業である。（中略）このシステムは、一連の作業（現場での検査内容記録～業者別作業指示書作成）を適用範囲とし、携帯情報端末とパソコンの作業に置き換えたツールであり、特に業者別作業指示書作成のための整理・仕

は香月らが今度はスマートフォン（Windows Mobile 機）による作業所管理システムとして「緊急性を要する作業指示に対応するため、スマートフォン（多機能携帯電話）を利用し、現場で指示した内容が即時に指示相手に伝達できる」作業指示システムの開発を報告している<sup>[125]</sup>。携帯情報端末の写真撮影ができる機能も活用して写真に直接書くこともできるとしていた。これらの機能は現在では SNS により容易に導入できる環境が他産業による開発で急速に広まってきていることもあり、違う形で定着がなされていると考えられる。

2011（平成 23）年にも次世代携帯端末を用いた施工管理手法の開発が田辺らにより報告されており、次世代携帯端末としてスマートフォンやスマートタブレットを使用してクラウドに保管されて



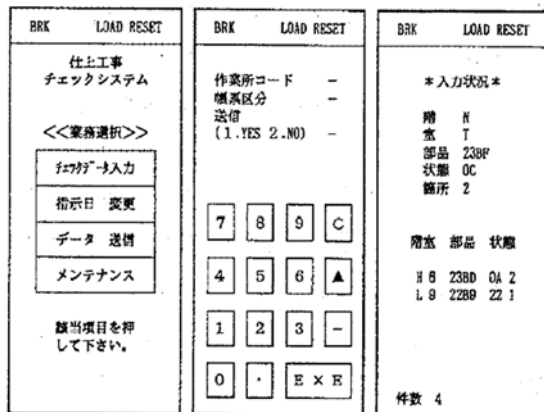


図 1-15 ハンディターミナル画面

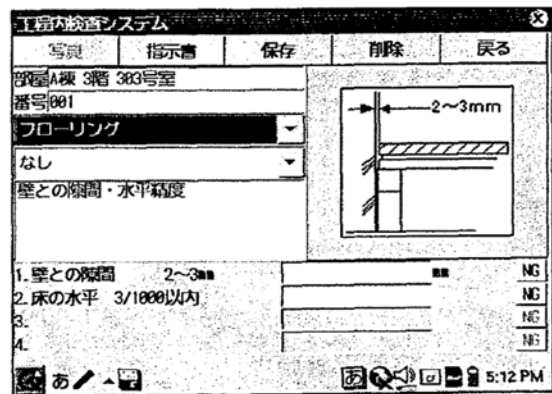


図 1-16 内装検査システム



(a) 検査者認証画面

検査者の ID を IC タグ・リーダー・ライタにかざして、検査者の認証を行う。

(b) 検査項目表示画面

接合部に貼った IC タグの ID を検索キーとして対象となる検査の項目を表示する。

(c) 写真撮影画面

携帯情報端末に搭載されている写真撮影機能を用いて、写真を撮影する。

(d) 検査結果確認画面

入力した検査結果の内容を確認し、履歴情報データベースに記録するための画面。

図 1-17 PDAの操作画面

訳作業の効率化を目指している」としていた<sup>[131]</sup>。図面や仕上表を閲覧できる機能が搭載されているが、携帯情報端末本体の機能拡張により実現できているにすぎない。工事現場における課題として指摘されている項目に共通点があることも注目できる。例えば、指摘内容を分析する業務の効率化という課題点が、十数年たっても各社において同じような目的で開発が進んできていることを指摘できる。鉄筋工事における配筋検査システムの変遷は第 2 章において詳細に分析する。内装検査や配筋検査以外では排水通水に関するシステムが見られた<sup>[132]</sup>。

### 品質管理分野・精度管理分野

品質管理としては 2000 年代後半から多くの報告が見られる。例えば 2011（平成 23）年には図 1-17 に示す IC タグを利用した品質管理支援技術が報告されている。中島らによると「IC タグや携帯情報端末を利用して、効果的に鋼構造躯体の施工検査を行うとともに、鋼材の製造情報を管理」することの可能性を示した<sup>[133]</sup>。課題として「本システムでは IC タグを機械的に読み、検査内容を取得し、取得した検査内容に沿って検査を行っているが、人為的な誤入力などに対するシステム側のチェック機能についても今後検討する必要がある。一方、本研究で実施した実験では、製造プロセス

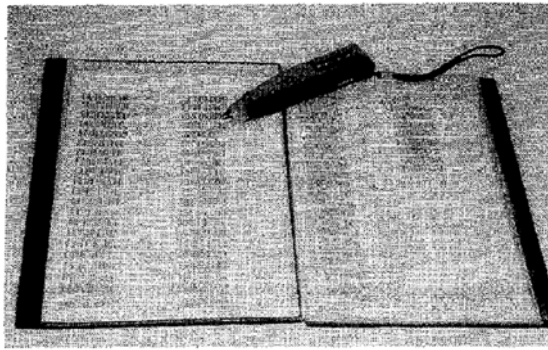


図 1-18 バーコードリーダーと帳票

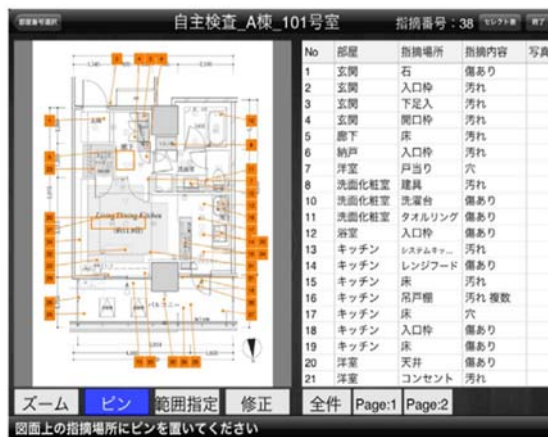


図 1-19 指摘内容の入力例

に対するシステムについての具体的な検討を行っていない」と述べた<sup>[134]</sup>。システムの開発だけでなくそれを扱う技術者の能力や鉄骨を製造する加工工場における IC タグを貼り付ける作業手間等に関する評価を、総合建設工事会社の視点からだけでなく、専門工事会社と一緒に構築する視点の重要性も指摘している。精度管理についても鉄骨工事を対象としたシステム開発が 2000 年代後半に報告されている。例えば石田らは 2013（平成 25）年に 3 次元測量器（トータルステーション）とモバイル PC を活用して「安全性、省力化に加え、迅速に精度よく特定ブロック全体の鉄骨の建入精度を計測する」目的で開発したシステムを報告した<sup>[135]</sup>。

### 品質管理（仕上管理）

仕上管理は、開発された時代によりバーコードや携帯情報端末を使用したシステムが報告されている。1988（昭和 63）年に鶴家らは繰り返し工事が多い集合住宅やホテル等を対象として内装工事の作業を標準化・コード化したバーコードを読み取ることで工事出来高や工事進捗、作業指示書までが作成される図 1-18 に示すシステムを紹介した<sup>[136]</sup>。その後 2013（平成 25）年には山本らがタブレット端末を使用した図 1-19 に示す仕上管理システムを報告しているが<sup>[137]</sup>、仕上げ検査を対象としていた。従来のシステムが工事現場に浸透していない理由を「端末での入力に手間を要する、画面が小さい、操作に慣れるのに時間が要する、マスターデータの設定が現場でできずに作業が滞る等の問題」と指摘し<sup>[138]</sup>、手書き帳票の採用が多いとされる理由を示した。しかしながら、これらの課題は他産業で開発されたハードウェアの機能改良に大半が依存している項目であり、時代の経過とともに改善されている。たとえ PDA 端末が iPad 等の携帯情報端末に変わっても、常に機能が改良されることで端末本体が常に進化していることから、このような課題については常に付きまとうと考えられる。

### （3）原価管理（C）

#### 原価管理（積算システム）

積算の分野では 1990 年前後にパソコンを使用した積算システムの開発が多く見られる。1987（昭和 62）年には大野らが概算積算に対応するシステム開発を報告している<sup>[139]</sup>。設計者が 60～100 項目の設計概要を入力すると部分別（構造では土工、杭、基礎、地下躯体、地上躯体、鉄骨等）に短時

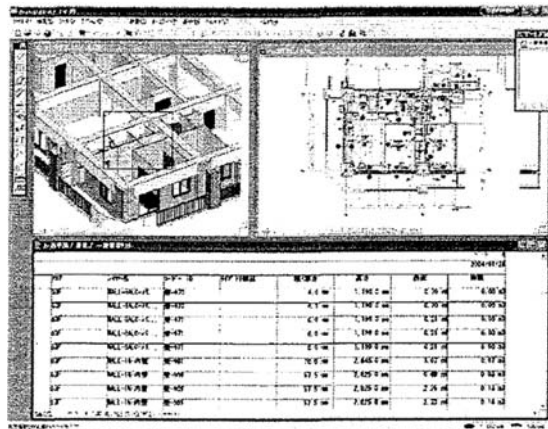


図 1-20 3D-CAD による入力状況

間でコストや歩掛が得られるシステムであった。一方、コストの精度については±5%としており、影響する因子として「工事範囲、工事の特殊条件、法的規制、サッシュ情報、雑金属情報であり、(中略) 精度を上げるためにはこれらの因子の明確化とともに、設計者、営業担当者、施工担当者、システム運用管理者のコミュニケーションがポイント」と指摘しており<sup>[140]</sup>、技術者間の対話も重要とした。

### 原価管理 (3D-CAD によるコストコントロール)

2004 (平成 16) 年には曾根らにより 3D-CAD を使用したコストコントロールの可能性が示された<sup>[141]</sup>。積算専用のシステムを開発するのではなく、図 1-20 に示すように 3D-CAD の属性情報を有効に利用して設計者による設計段階におけるコストコントロールについて述べており、コスト把握の方針として設計進捗に応じて「全体床面積」⇒「部屋別床面積」⇒「部材、部位別数量」⇒「要素別数量」⇒「品目別数量」と順次詳細な根拠数量を算出すると設計の精度に合わせて数量を把握する方向性があることを指摘した<sup>[142]</sup>。最終的には 3D-CAD により「詳細に入力して精算見積まで利用した品目は 15 品目 (コンクリート、鉄筋、PCa, ALC 板、外装タイル、石 (外装)、耐火遮音間仕切壁、ガラス、シール、手摺、配管、ダクト、配管継手類、配線、配管 (電気) であった。精算見積用数量まで至った品目の工事全体に対する割合は約 38% と高いものではなかった」と報告し<sup>[143]</sup>、設計者による 3D-CAD の属性情報を活用した数量把握の限界点を示した。

原価管理の分野では、1980 年代後半にパソコンによる管理方法が示され、1995 年には予算作成システムの作成、それ以降は 2000 年代中頃に BIM とコストマネジメントに関する米国のシステムをベースとしたシステム開発の研究がなされていた。2000 年前後には各社における財務部門を含めた基幹システムの開発等により技術部門における成果が反映できたと考えられる。

### (4) 工程管理 (D)

工程管理については、2000 年前後を除けば定期的に進捗管理に関するシステムが報告されており、開発された時代により使用されるソフトウェアはパソコンによるプログラムや CAD、RFID や BIM 等によっていた。

### 工程管理 (工程進捗管理システム)

1988 (昭和 63) 年に三木らは工程管理支援システムの開発のねらいとして「(1) 工程計画・管理業務の標準化、省力化、(2) 作業所業務の OA 化の一端を担う、(3) 施工データ (作業標準、歩掛り) の蓄積、(4) 労務、原価管理等との共通のデータベースの構築」とした<sup>[144]</sup>。システムにある施工数量や工程計画等のデータベースから全体工程表や月間・週間工程表の出力、作業実績から作業指示書や就労月報、就労日報の作成まで幅広く工程に関する生産情報を包括していた。工事現場からは「単に工程計画として工程表を作成するだけでなく、作業所での日常の工程管理業務の合理化に結び付いた」と効果を報告しているが<sup>[145]</sup>、工事現場における技術者の入力手間がシステムを使用した場合



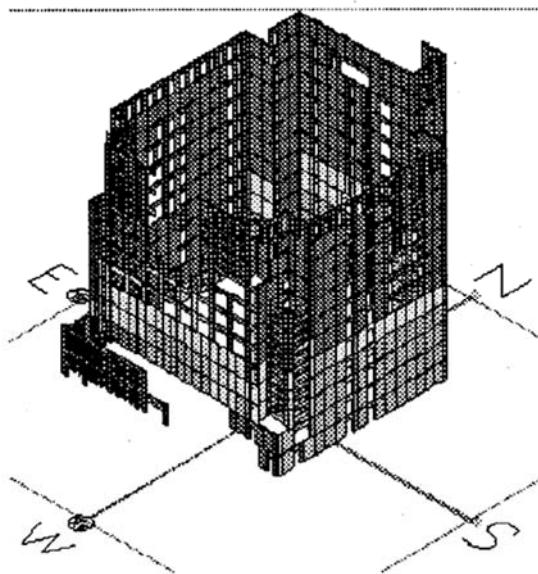


図 1-21 3D-CAD による入力状況

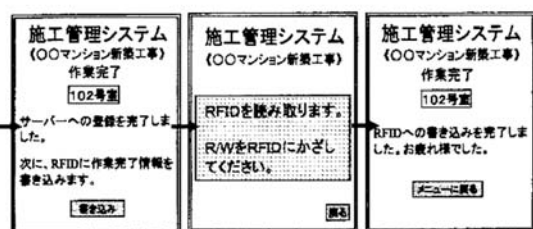


図 1-22 作業完了の登録画面

との効率化に関する比較検証はなされていなかった。1996（平成 8）年には中野らにより図 1-21 に示すデータベースと CAD 図面から抽出された図形データを連携させて進捗管理に応用した事例を報告している<sup>[146]</sup>。「データベースによる一元管理と CAD による視覚化で、十分な効果を達成した。しかし、システムが少し複雑になると、データが入力されなくなり、工程管理や作業実績解析に必要なデータも、工事担当者が値を入力していない場合もあった。（中略）入力方法の工夫、例えば、携帯端末を利用したり、リモートによるデータの自動入力などの方法を考える必要がある」と課題点も指摘し<sup>[147]</sup>、工事現場の技術者や扱う生産情報の精度ではなく、進捗の状況を入力するハードウェアの改善があれば未入力を防げる可能性を示していた。

### 工程管理（RFID）

2007（平成 19）年には宮丸らが図 1-22 に示す RFID の技術を使用して集合住宅の室内工事における進捗管理が報告されている<sup>[148]</sup>。携帯電話からアプリケーションを起動させて、各住戸に設置されたタグの ID を読み取り、メニュー画面から作業開始や作業完了を報告するシステムであった。適用してみた結果として 3 項目の課題を示し「・高層階や地下など電波が繋がらない場所を想定し、タグ情報だけで円滑な作業が行えるように検討する。・事前段階として、工程マスターや職長マスターを利用して仕上げの全体工程表を作成する必要がある。・現場の職人の操作をワンボタン程度に軽減するような作業内容の見直しが必要である」と指摘している<sup>[149]</sup>。中野らが課題解決に必要なとした携帯情報端末を使用しているが、電波が繋がらないような箇所の改良や操作性の向上などの新たな課題が指摘されており、新たなハードウェアに関する検証を進めるに従い、また新たな課題が出現するような状況と言える。

### 工程管理（BIM）

2013（平成 25）年には BIM を使用した図 1-23 に示す進捗管理が金子らにより報告されている<sup>[150]</sup>。1990 年代後半では CAD の図面のデータから形状を抽出していたのに変わり、建物モデルと

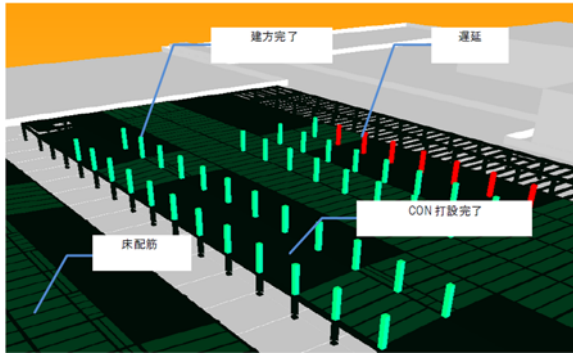


図 1-23 建方実績の表示

して構造計算一貫ソフトから BIM モデルを自動生成させ、この BIM モデルに表計算ソフトで作成された工程計画と進捗実績を紐づけ、3次元の形状として作業進捗がわかるシステムで構成されていた。従来は手入力で設定していた工程計画と建物の紐づけが既製品の BIM ソフトウェアを使用することで自動的になり準備段階における作業手間は低減された。しかし、実績の入力作業は工事現場における技術者と専門工事会

社の職長による手入力となっていたため、課題として「今後は、工程計画や実績データ入力を改善」する必要性を指摘しており<sup>[151]</sup>、実運用として実績の入力手間の低減が必要であると報告した。

### (5) 安全管理 (S)

安全管理については、工事現場の安全性を担保する分野である安全管理と技能労働者に関する分野の労務管理と2種類に分けることができる。

#### 安全管理 (接触防止)

工事現場における技能労働者と重機・車両との接触事故の防止では2007(平成19)年に蔡らが図1-24に示す無線ICタグ(RFID)を使用した接触事故の防止に関するシステムを報告している<sup>[152]</sup><sup>[153]</sup>。技能労働者にICタグを携帯させ、工事車両に近づくくと運転者にそれらの情報が提供され、接触事故の防止を目指すものであったが、「一つのタグに対して、同時に複数の受信機で読み取った場合が多く発生し、領域を判別するための方法が必要」と工事現場における技能労働者の位置を正確に把握するためには、受信機の設置位置に関するノウハウが必要であることを示した<sup>[154]</sup>。

#### 安全管理 (山留変位)

安全管理システムのひとつとして1993(平成5)年には三崎らが山留壁の変位を自動計測して、異常が発生した場合に工事関係者に移動体通信(ポケットベル)を通じて警報を発することで災害を

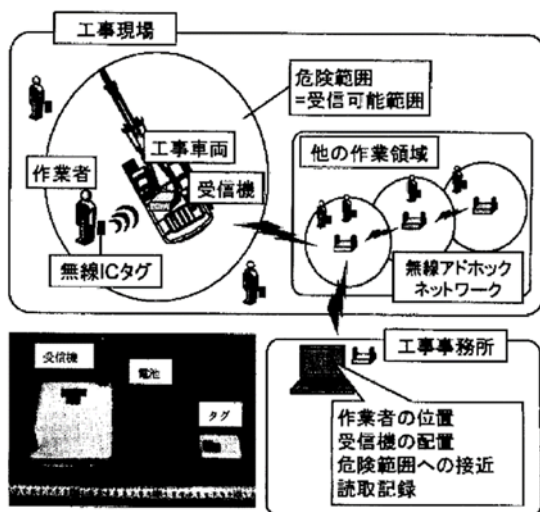


図 1-24 システムの構成

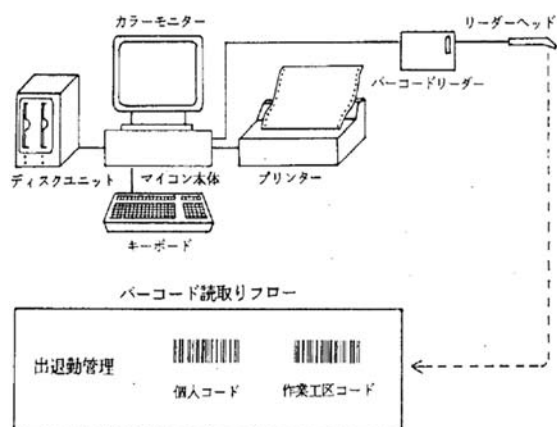


図 1-25 システムの構成

防止するシステムを報告している<sup>[155]</sup>。報告された内容のシステムは、現在の工事現場において標準で設置されている場合が多く、どちらかと言えば総合建設工事会社が独自で開発する項目というより、計測を専門とする会社によるサービスであったとも言える。

## 安全管理（労務管理）

労務管理においては、すでに1985（昭和60）年頃より工事現場へ入退場する技能労働者を管理するシステムの検討が始まり、それ以降も使用するハードウェアがバーコードからICタグへの変化が見られるが、概ね目的に大きな変化は見られない。例えば逸見らによるシステムでは、図1-25に示すようにバーコードを使用した入退場システムを報告している<sup>[156]</sup>。大幅な労務管理業務の省力化が期待できるとした上で、システムの運営には「各作業所が導入しやすいような、教育、システムの信頼性、コスト、効率的なハードウェア構成等を考えていかなければならない。また、本システムを発展させるためには、実績データの蓄積作業、インプットデータ項目の標準化作業、対象領域の拡大作業、情報をより有効に利用するための広範囲な情報フローの形成作業等を行わなければならない」と指摘して、システムを推進する方向性を示した<sup>[157]</sup>。2000年代中頃になるとバーコードからICタグを使用する報告が増え、例えば、2010（平成22）年には香月らが図1-26に示す入退場システムを報告している<sup>[158]</sup>。システムの適用については都心部と地方では傾向が異なるとし、ICタグの保有率に着目することで都心部では事前準備の作業や導入コストを削減できるが、「都市部以外の作業所においては、保有率が低くなり、そのメリットは小さくなる（逆にデメリットとなる）ため、現時点では適用範囲が都市部に限定されるシステム」と全国一律の展開には壁があることを指摘していた<sup>[159]</sup>。

## （6）環境管理（E）

### 環境管理（産業廃棄物）

環境管理分野においては、2000年代中頃から産業廃棄物の処理に関する報告が見られる。2008（平成20）年には図1-27に示す金子らによるICタグと携帯情報端末（PDA）を使用した廃棄物コンテナ管理に関するシステムが報告されている<sup>[160]</sup><sup>[161]</sup>。施工段階における産業廃棄物の集積・処理には専門工事会社がコンテナの使用料と回収実績に応じて廃棄物処理費用を負担するため、回収実績の

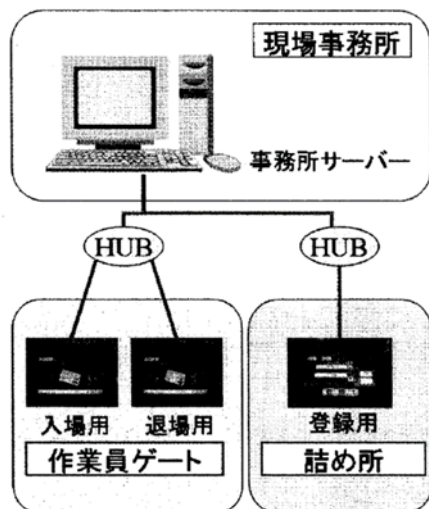


図1-26 システムの構成

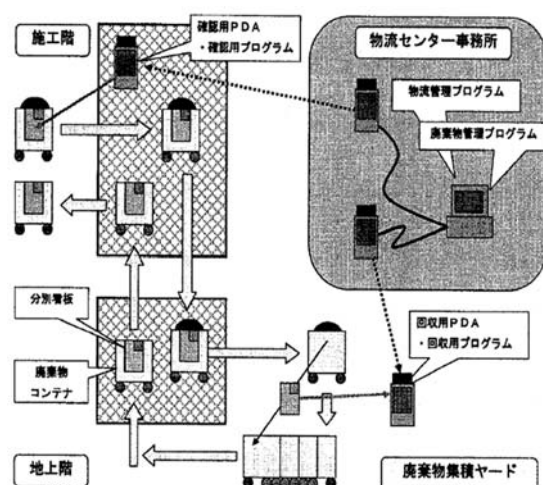


図1-27 システムの構成

正確な記録が要求されており、IC タグを使用して「(1)廃棄物コンテナの回収実績の正確な記録、(2)廃棄物コンテナの利用状況の把握、(3)分別看板および各種伝票発行の迅速化」をねらいとして開発がなされていた<sup>[162]</sup>。廃棄物コンテナの在庫管理の効率化や伝票作成業務の効率化等により「廃棄物管理業務が従来と比較して約 80%短縮できた」と適用した効果を示し<sup>[163]</sup>、今後の展開としては「分別看板の運用情報を利用して、電子マニフェストとの連携や中間処理業者の計画的な手配、廃棄物集積ヤード運用の最適化につなげたい」とした<sup>[164]</sup>。

産業廃棄物処理に関してはマニフェスト制度が 1990 年に厚生省（現在は環境省が管轄）の指導により始まり、1998 年にはマニフェスト制度が施行された。建設業界においても紙での管理ではなく WEB による電子マニフェストを導入することで効率化が実現され、各社でシステムを開発することだけでなく民間企業による既存のサービスを受け入れることでデジタル化が進んだ分野と言える。

---

## 1-6 施工計画系に関する主な技術開発

---

### (1) 施工管理分野の傾向

施工計画分野の論文数 265 編の内訳を図 1-28 に示す。

工程計画が 48 編と一番多く、次いで建設ロボット・情報化施工が 44 編、施工計画が 38 編、作業所業務が 25 編、測量・計測が 24 編、施工図が 21 編、データベース・クラウドが 16 編、設計と施工の連携が 11 編、携帯情報端末が 9 編、CAD が 8 編、BIM とオブジェクトが 6 編、労務予測と 3D-CAD がそれぞれ 4 編、xR が 1 編だった。工程計画の分野と施工計画の分野はほぼ同様の傾向を示しており、2000 年前後と 2007 年前後は大きな動きは見られない。建設ロボット・情報化施工については、2000 年前後で停滞時期が見られるが、その後は発表数を伸ばしていた。測量・計測については 2010（平成 22）年を境にして発表数の伸びが見られた。

施工図については、1990 年代後半までは大きなテーマとして開発が進んでいた模様であるが、それ以降は 2014（平成 26）年になるまでテーマとはならなかった。1990 年代前半からパソコンや CAD に関するソフトウェアの出現があり、CAD を中心としてデジタルデータの活用に関する試みが活発であったと考えられる。2012（平成 24）年には BIM による施工図の取り組みの報告があるまで低調であり、どちらかと言えば無償で配布された 2 次元汎用 CAD のような単に線と文字を作成するだけの CAD ソフトウェアの普及にともない開発が遅れてきたと考えられる。それに合わせて CAD に関する技術開発も 1997 年以降は見られない。2000 年代前半からは携帯情報端末の活用やデータベース・クラウドに関する技術開発が見られる。特に携帯情報端末の活用は、施工管理分野における QCDS の目的に合わせて開発がなされていた。BIM ソフトウェアに関する取り組みは低調であるが、国や民間団体の動向が活発になることで開発が増えることが予想される。

一方、作業所における業務に関連する項目は、2000 年代前半までは一定の数が報告されてきたが、パソコンやインターネットの普及により今では各社で当たり前のようにそれらを活用できる環境の構築がなされてきた。システム関連の技術を扱う民間企業がインターネット環境の構築やセキュリティ対策のサービスを一括して提供できるようになることで、各社が独自にネットワークの環境を構築するニーズは少なくなったと考えらる。今後も開発の対象とはなりにくいであろう。上記で述べ

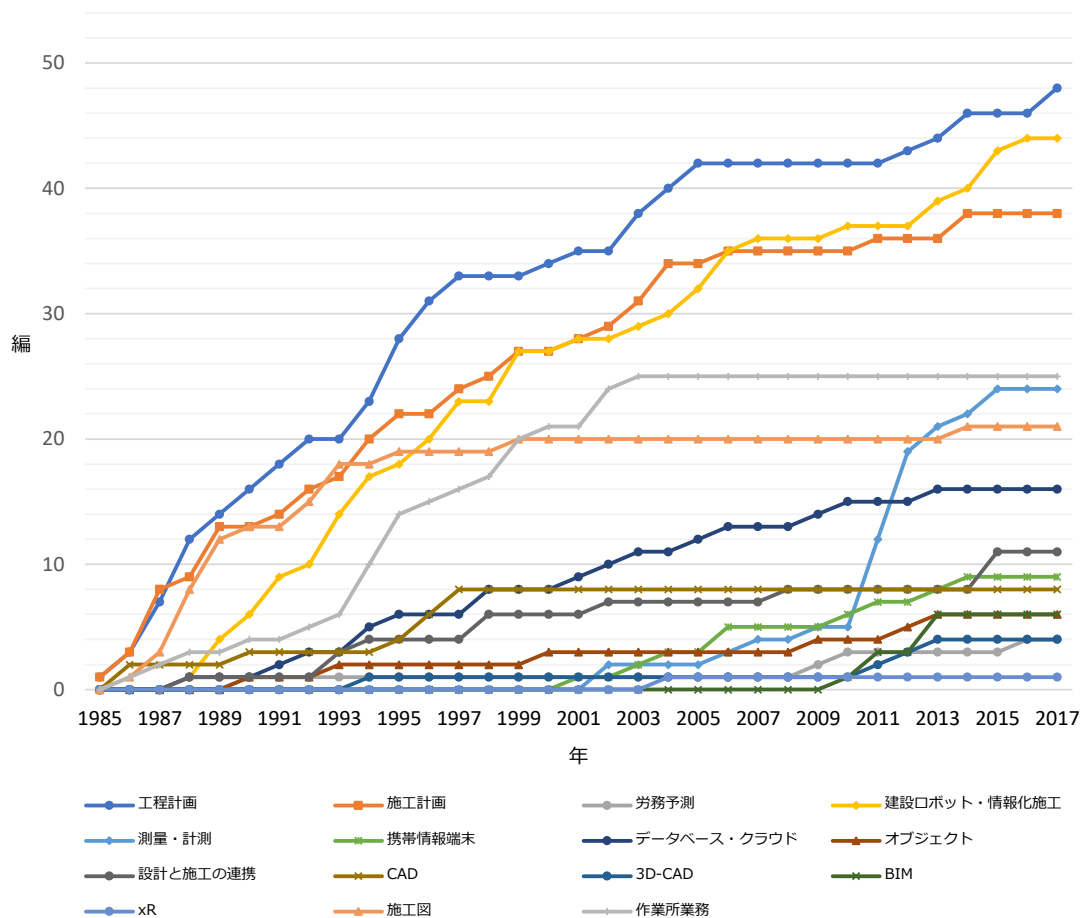


図 1-28 施工計画分野の発表論文数

た以外の労務予測や 3D-CAD, xR については 1990 年代後半から大きな動きは見られなかった。

## (2) 工程計画

工程計画の分野では 1985 年から 1995 年の約 10 年間はエキスパートシステムの使用や 2010 年以降は BIM を使用した報告が多く見られ、建築工事へのコンピュータの活用は日程計算から始まったと言ってよい<sup>[165]</sup>。1985 (昭和 60) 年には嘉納らによる工程計画を支援するシステムが報告されている<sup>[166]</sup>。工程計画の立案には計画者によって個性があるため他人には理解が困難であり、その通りに工事を指揮するには困難であるとし、「最近現場職員数の削減と共に管理の質の向上が要求され、経験年数の少ない技術者でも、容易に質の高い全体工程計画が立案できるようにならなければならない」と開発の背景を述べた<sup>[167]</sup>。そのために「計画立案方法の標準化と、複雑な作業手順の内容のチェック方法、さらには、単純ミスや思い違いのチェック機能を有することが必要」と要件を定義した<sup>[168]</sup>。実際の機能として「1) 概要情報設定, 2) 作業抽出, 3) 作業手順計画, 4) 日程計算, 5) 日程調整, 6) ネットワーク図作成, 7) 工程診断, 8) 資源山積, 9) 提出書類出力」を有し<sup>[169]</sup>, 手作業とほぼ同等の時間で工程計画の立案が可能とした。

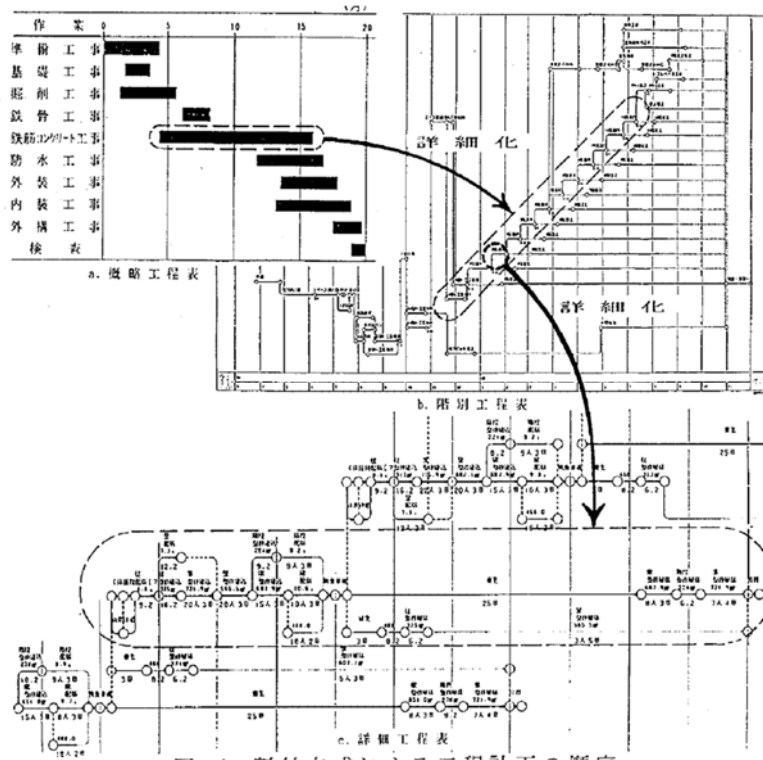


図 1-29 割付方式による工程計画の順序

て詳細な工程の内容が決められることになる。この様な計画のプロセスにおいては、詳細な工程ネットワークを作成して初めてその全体工期が計算される同手法には無理がある」と指摘した<sup>[171]</sup>。

現在においても工程計画を作成する際の考え方は変わっておらず、このように発注者のニーズに合わせて工期短縮の手法である工業化工法の開発につながっていると考えられる。1992（平成 4）年には既製品の CAD ソフトウェアを改良してネットワーク工程表を作成するシステムが大伴らにより報告されている<sup>[172]</sup>。システムが対象とする工程は工事だけでなく、「近隣・官庁・施主・設計工程などプロジェクトに係る全ての工程」であり、早い段階で作成することで施主や設計者と折衝することで合理的な工期を確保できると、工程計画システムで作成した工程表の活用方法のひとつを示した<sup>[173]</sup>。

## 工程シミュレーション

2004（平成 16）年には高層 RC 集合住宅を対象としたコンピュータ支援ツールによる工程シミュレーションを遠藤らが報告している<sup>[174]</sup>。従来の工程計画の課題として「基本的に定時入場、定時退場の規定時間内労働に基づく検討が多かった。しかしながら、実際の現場では全体工程の効率を考慮し、1 日当たりの施工量を調整するための早出・残業等の規定時間外労働が日常的に行われている」と指摘して<sup>[175]</sup>、規定時間外労働を考慮したシミュレーション手法を提案し、効果的でない残業を抑制する効果を報告した。2005（平成 17）年になると工事工程を CG やアニメーションで表現する試みが報告されるようになる。例えば鈴木らは施工過程を CG アニメーションの画像で表示できるようになることで「現場で画面を表示しながら施工手順の確認や、作業員への作業範囲の説明、施主に対する工程説明等に有効利用できる」とし、図 1-30 に示す作業分担を明確にした<sup>[176]</sup>。その後 2014（平成 26）年には工事用エレベーターの待ち時間短縮を短縮させるシミュレーション手法が岩崎ら

## エキスパートシステム

嘉納は 1990（平成 2）年に工程計画にエキスパートシステムを採用し、割付方式で工程計画を可能とする図 1-29 に示すシステムを発表した<sup>[170]</sup>。いままでのネットワークシステムが活用されていない理由として「実際の工程計画においては、全体工期は営業の段階での与条件であったり、同規模・内容の建築物に関する工事記録を参考に事前に決められることが多い。そして、この工期を目標として、以前の工程計画によっ



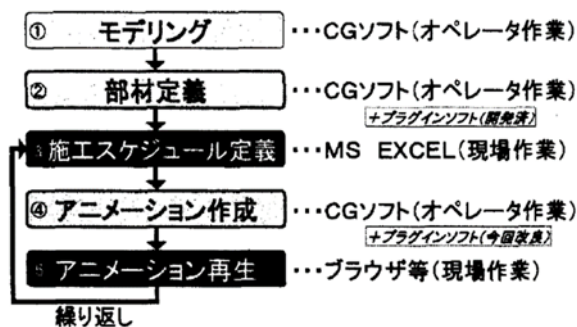


図 1-30 作業分担

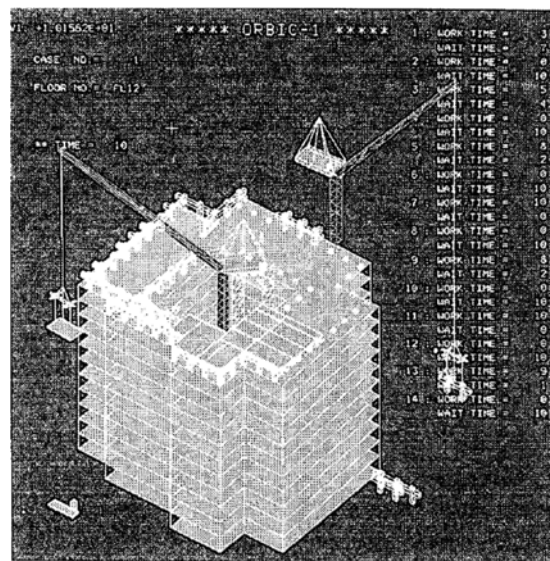


図 1-31 クレーンの干渉チェック

により報告された<sup>[177]</sup>。

### (3) 建設ロボット・情報化施工

#### 建設ロボット

建設ロボットについては 1990 年代の 10 年間に建物全体を施工するためのロボット系に関する取り組みが報告されている。2000 年代には全自動による建設システムが紹介されているが、それ以降は揚重や搬送に関する取り組みに移行しつつある。1989 (平成 1) 年には浜田らにより建設ロボット施工シミュレーションシステムについて、「ロボットの設計条件並びにロボット化工法の適否に関してシミュレーションを行う。①設備の動作速度・容量, ②設備の動作経路 (干渉のチェック), ③ストックヤードの位置・容量, ④設備の台数・設置位置・ネットワーク, ⑤部材の供給時間間隔・組立て手順」とする方向性を示した<sup>[178]</sup>。例えば 3 次元アニメーションによりクレーン同士の干渉チェックの状況を図 1-31 に示す。

#### 情報化施工

その後も全天候型のビル建設システムや全自動ビル建設システムに関する報告が多く見られるが<sup>[179] [180]</sup>, 報告の対象が搬送作業に特化を始めた。1999 (平成 11) 年には CALS による情報化施工の事例としてグループウェアソフトを使用した情報共有による効率化が沢村らにより報告されている<sup>[181]</sup>。情報化施工としては図面や議事録をイントラネットによるやりとり, 安全日誌の作成, 危険予知日報システム, テレビ電話システム等で構成されていた。効果として「(1) 定例会議・設計変更等の打合せの効率化, (2) 提出書類の大幅な減少, (3) 提出写真の大幅な減少, (4) 現場支援システムによる現場管理業務の省力化, (5) 竣工書類作成業務の省力化」が報告された<sup>[182]</sup>。

### (4) 施工計画

#### エキスパートシステム

施工計画の分野は工程計画の分野と同様に 1990 年前後にはエキスパートシステムによる山留選定や工法選定だけでなくパソコンを使用したプログラムによる工法選定や作業計画等への適用が多く

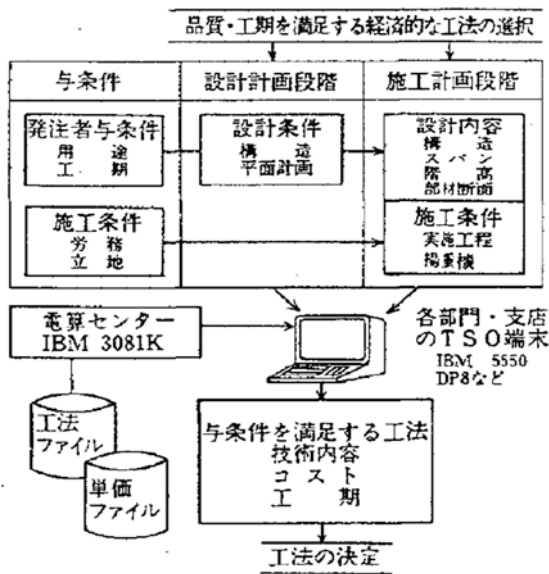


図 1-32 システムの概要

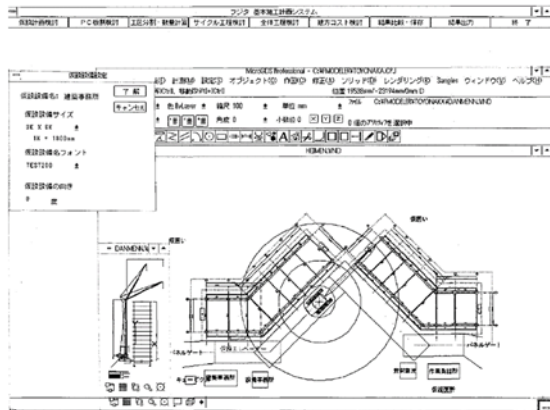


図 1-33 仮設計画を検討する画面

試みられてきた。1986（昭和 61）年に山崎らはコンピュータを利用して図 1-32 に示す工法選択システムを報告している<sup>[183]</sup>。システム開発の背景として「工事の生産性を上げるためには、工期短縮・労務工数削減、省仮設機材等に有効な構工法を積極的に活用することが重要と考え、そのために必要な計画技術の確立に取り組んできた。（中略）特に工法選択は、複雑化、詳細化しており、現実に検討時間の不足、情報収集の不備、評価方法の不適切さなどから、本来、適用すべき工法が使用されないことから生じる生産性向上機会逸失に伴う損失費は多大なものが見込まれる」として<sup>[184]</sup>、工法を計画する重要性を指摘している。

すでに 1980 年代後半には生産性向上のキーワードが論文内にでてきていた。そこで架構法は既存の処理プログラムで処理し床工法と杭工法はエキスパートシステムによるシステムを構築していた。

### CIC (3 次元 CAD)

1995（平成 7）年には伊藤らが 3 次元 CAD を使用して基本的な施工計画を検討できる図 1-33 に示すシステムを報告している<sup>[185]</sup>。建物形状は構造設計システムで作成されたデータを取り込むことで柱、大梁、耐震壁などの主要構造部位が自動生成され、入力されたデータをもとに基本の施工計画として適した揚重機の自動選定や工区分割線の自動作図、各種数量の計算までも表示することが可能であった。構造設計のデータとの連携によるシステム構築であったが、同時に課題として「構造設計システムで作成されたデータを本システムで利用するために、標準フォーマットによるデータ変換を行っても、施工計画に必要なデータをすべて得ることはできない」ので不足分は手入力の作業が発生すると指摘し<sup>[186]</sup>、「構造図（データ）作成業務のほとんどを外注していることと、外注業者から提出されるデータが単なる図形情報に留まっていること」が原因としていた<sup>[187]</sup>。

さらに 2004（平成 16）年には湯浅らにより 3 次元 CAD を使用した図 1-34 に示す施工プロセスを可視化するシステムが報告されている<sup>[188]</sup>。開発の背景として「施工プロセスを可視化することにより、様々な観点からプロジェクトの問題点を洗い出し、適正な品質、工期やコストを実現する動き



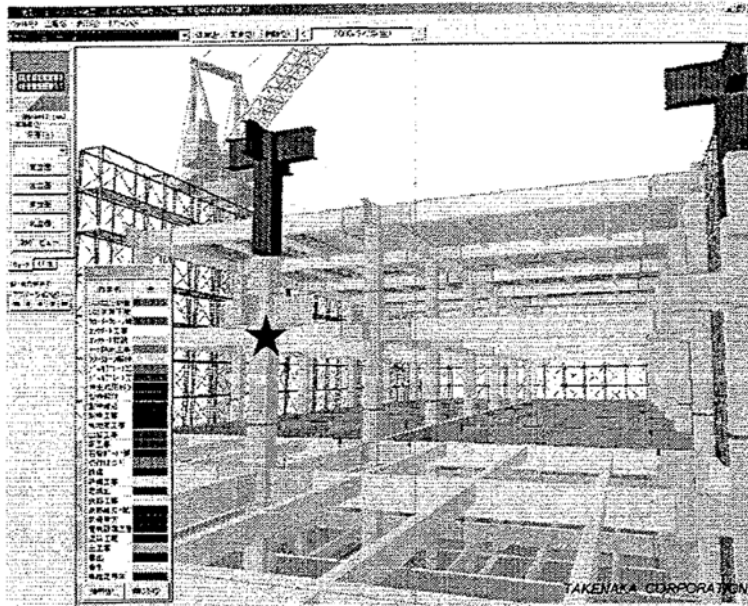


図 1-34 仮設計画を検討する画面

を限定した一部のシステムを除き、汎用化には至っていないと言え難い」と普及に至っていない現状を示し、独自の 3 次元モデルと工程モデルを自動照合させることで簡単に可視化できる可能性を報告した<sup>[190]</sup>。今後の展開では「施工プロセスを可視化する上での問題点は、やはり手間のかかるデータ入力を誰が行うかである。現状はゼネコンが入力を一手に引き受けているが、建築生産をより良いものとしていくためには（中略）プロジェクト関係者がそれぞれの役割を認識しあい、情報の共有と自由な意見交換ができる仕組みの構築が重要である」と指摘し総合建設工事会社だけでなく、専門工事会社等を含めて生産情報を連携する視点を示した<sup>[191]</sup>。

その後は 2014（平成 26）年になると BIM モデルを使用してコンクリートの工区を検討するシステムが金子らにより報告されている<sup>[192]</sup>。工区割の検討に必要なコンクリート躯体の体積を繰り返し算出するために BIM モデルを容易に切断することができるシステムの開発だった。

## （5）その他の分野

### 工事現場における OA 化

作業所業務における技術開発は、1990 年代に多くの取り組みが見られ 2000 年以降では報告はなされていない。工事現場における LAN を始めとするネットワークの環境構築が建築分野における技術開発の対象となっていた。当時は特にパソコンやプリンターの普及に伴い手書きで作成していた書類の作成や出力が効率化され FAX 等により情報共有が進むことで業務の効率化を目指していた時期であった。総称して OA（office automation）化への取り組みと呼ばれており、1995（平成 7）年には樋口らが作業所管理業務の OA 化について報告している<sup>[193][194]</sup>。図 1-35 に示すように、DB を構築した上に各種のシステムが関連付けられている概念図が提示されており、実際に開発されたシステム構成としては①磁気カードによる入退場管理システム、②電子手帳による作業所管理システム、③書類作成システム、④作業日報システムが報告されていた<sup>[195]</sup>。②については設計図の DXF ファイルを取り込み安全管理、配筋検査、計測管理、進捗管理に適用することが示され、③については、作業安全日誌と各種提出書類の作成の効率化が示されていたが、新たな問題点として書式

が高まりつつある」と指摘している<sup>[189]</sup>。一方で 3 次元 CAD による施工状況の可視化に関する取り組みは、いままでにも数多く試行がされてきていることを指摘している。可視化する手法の一例としては 3 次元化された建物のモデルに工程データを関連付けるものが紹介されているが、課題として「コンピュータの処理スピード、3 次元 CAD でのモデル構築の入力や修正に要するマンパワー等の問題から適用範囲

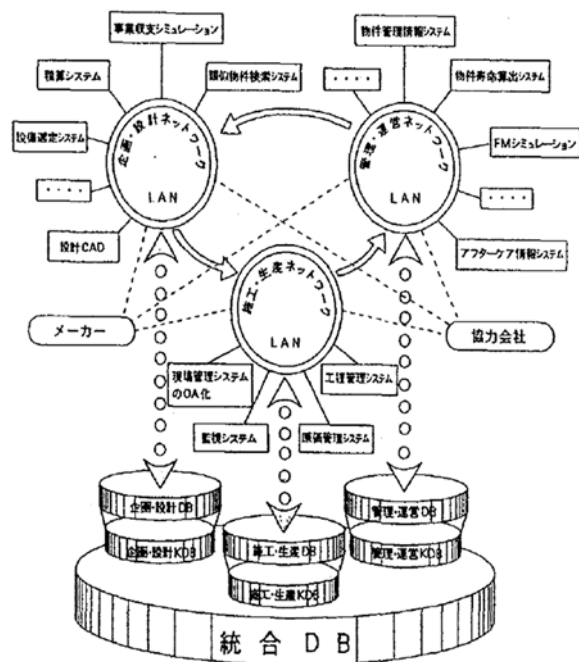


図 1-35 情報の統合化のコンセプト

を報告している [197]。

1993（平成 5）年には施工図の一種である総合図の作成において、生産性を向上させるために必要なシステムを服部らが報告している [198]。生産プロセスにおける生産情報を管理するシステムは図 1-36 に示すように「設計や見積、施工計画、施工図作成、製作図・加工図作成、工程計画管理、施工管理、工事实績収集などの各段階における業務を支援する個別のシステムが、利用範囲やシステムの規模にばらつきがあるものの開発されてきている」と指摘し [199]、これら生産情報の原情報は総合図周辺にあるために「施工着工時には設計情報をベースに施工情報や製作情報など様々な生産のための情報が主に図面を媒体として複雑な調整の過程で生成・伝達される。この過程の中核に、施工用数量などのいろいろなデータを保存・生成できる CAD システムを整備し、図面情報の調整や、重ね合わせだけでなく、施工計画管理のための数量の算出、3 次元的に認識できる施工計画シミュレーシ

のフォーマットを標準化する必要性を指摘し「もはやゼネコン 1 社として対応していくことの限界が明らかになった」として業界全体で取り組む必要性を示していた [196]。

## 施工図 CAD

同様に施工図を作成する上においても CAD のカスタマイズ等が 1990 年代後半まで活発であった。特に躯体図を作成するシステム開発が 1980 年代の後半から多く報告されており、例えば 1986（昭和 61）年には高瀬らが「一般製造業での CAD/CAM システムの開発・適用が、生産段階まで含めた生産性の向上を前提として普及・定着している点に着目」してコンクリート躯体を部材単位で扱い 3 次元モデルとして躯体施工図を作成するシステム

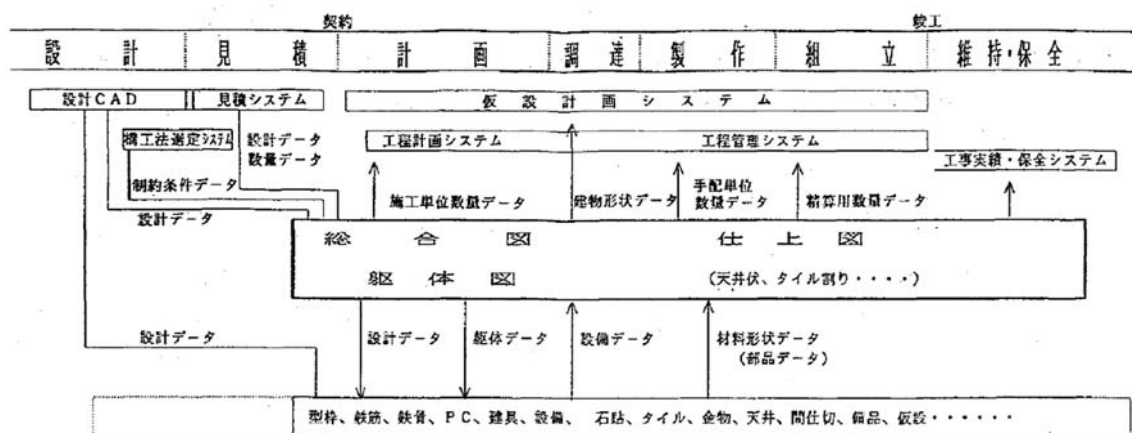


図 1-36 生産情報の生成フロー

ン、部品データによる標準納まり、技術情報の伝達・利用などを実現することにより施工着手時期だけでなく全体のプロセスの生産性を上げることが必要」と考察した<sup>[200]</sup>。CAD により生産情報をマネジメントできる可能性を示唆していたが、施工図の作成は汎用性のある 2 次元 CAD の出現により、文字や線を単純に作成する方法に移行してしまったためか、施工図分野のシステム開発に関する報告は少なくなった。

2014（平成 26）年になると BIM 施工図の作成時間に関する生産性の結果が三戸により報告されている<sup>[201]</sup>。BIM による施工図の作成は、図面間の不整合を防ぐことには有効であったようだが、作図機能が 2 次元 CAD と比較して劣る等から機能改善が必要と指摘しており、施工図の作成を担当する技術者の生産性は BIM 時代においても図面の作図機能であることが示された。

## 測量・計測

測量・計測に関する技術は 2000 年代に入ってから石田らによる 3 次元レーザースキャナーや点群データを活用したプレカット工法に関する報告が多く見られた<sup>[202]</sup>。データベース・クラウドの分野では、1990 年代前後から取り組みが始まり 2010 年代中頃まで継続的に報告がされている。例えば 2003（平成 15）年には建築生産情報を統合するシステムが五十嵐らにより報告されている<sup>[203]</sup>。システムの特徴として「3 次元 CAD データで、データには属性（構造躯体・仕上・建具・設備配管・ダクト・機器類の仕様・寸法・数量・高さを含めた位置情報など）を付加し、バーチャルな建築立体モデルで建築・構造・設備データの整合性の確認ができる（中略）また、データ連携により機器表・器具表・仕様書・見積数量表が自動作成される」ことを挙げ<sup>[204]</sup>、検証の結果は「3 次元で設計図を作図することは、前工程の設計では大変な労力がかかるが、設計時に 3 次元で整合性の確認を行うことによって後工程の施工部署では大きなメリットが上がっている」と報告した<sup>[205]</sup>。

---

## 1-7 結び：生産情報を活用する観点から見た BIM/ICT 等の技術開発

---

最後に BIM/ICT による技術開発されたシステムの活用目的と生産情報との関連性を照合しながら、施工管理分野と施工計画分野における活用範囲の変遷を社会情勢やコンピュータ関連技術との関係性と合わせて総括する。

BIM/ICT を活用した技術開発の特質として、以下の 6 点が指摘できる。

1 点目は施工管理分野では品質管理における施工管理や生産管理、検査に関する分野に集中し、施工計画分野では工程計画や建設ロボット・情報化施工、施工計画の分野に集中する傾向があったことである。開発されたシステムの名称が検査や進捗管理のように直接的に活用する目的を示すものだけでなく、それらを包含して施工管理システムというような呼び方も見られた。活用する目的から考察すると、各種検査や作業の進捗管理、入退場管理、揚重管理のように施工期間中の特定の業務の一部に BIM/ICT を活用することで、生産性の向上を目指してきた動きと言える。そのためシステムのユーザーはその業務に携わるひとだけが主眼となる。生産プロセス内において、設計図書から始まる生産情報の変移に着目することはなく、設計図書として作成された生産情報を、システムに取り込んで現物と照合させた結果を報告書として作成する業務の効率化を目指していた。普及の課題としては、初期設定として生産情報の入力に要する作業手間が過大と示されていた。背景として特定の業

務だけに BIM/ICT を活用することを主眼としているため、前工程から正しい生産情報を連携させる仕組みが無いことも指摘できる。また、生産情報の更新方法における仕組みづくりにも課題が見られた。しかしながら、電子マニフェストに見られるようにデジタル情報を入力するインセンティブ（紙情報の保管が不要、膨大な紙情報の仕分けが不要等）が明確化していれば、BIM/ICT のシステムが普及する可能性は大いにありと推察される。

一方、工程計画は 2000 年代中盤以降に報告が少なくなっているが、2004（平成 16）年に日本建築学会から『建築工事における工程の計画と管理指針・同解説』が出版されたことで、一定の成果が得られたと考えられる。ネットワークの工程表を作成する方法は、汎用性のあるシステムで単に作成するだけなのか、歩掛かりや数量をデータベースにもって作成するかで作成手法は大きく分かれる。現在の作成手法は、表計算ソフトウェアや 2 次元 CAD 等を使用して単に作成する手間の生産性を上げることに重点に置いていると考えられる。施工図の作成についても同様である。躯体図を作成するシステム開発で見られたように、1990 年代に開発が始まった当初は、生産情報をデータベースに入力して躯体図だけではなく平面詳細図や天井伏図の作成、積算業務と連携させることを視野に入れた内容の報告が多く見られた。その一方で、無償の 2 次元汎用 CAD の出現以降は、線や文字を作成する作図操作のスピードが重要視されてしまい、正しい生産情報を次工程と連携させて使い倒すという着眼点が薄くなったと考えられる。BIM モデルから躯体図の作成についての報告も作図機能に関する課題が指摘されていたように、どうしてもひとつの業務に関する生産性の向上から BIM/ICT を活用しようとする目的が大きいと指摘できる。先行して開発された際に指摘されていた同じような課題を解決するために、同じような手法で解決を目指してきたことを繰り返してきたことも指摘できる。

2 点目は BIM/ICT を活用するシステムの基盤は、建築業界内で完結している技術ではない点である。使用するパソコンや携帯情報端末、インターネットに繋がるネットワーク環境の進化がシステムの活用方法に影響があったことを指摘できる。特に検査系のシステム開発では、工事現場に図面類を自由に持ち出すことができる環境が整ってきたこともあり、2010 年代からは検査を目的としたシステム開発の伸びが顕著に見られる。内装検査システムや配筋検査システムといった検査系のシステム開発が繰り返されてきた。一方で使用する端末はバーコードや PDA、スマートフォン等のように進化をしている。生産性を向上させる目的が、例えば手作業で作成したデータの再入力や指示書を作成するための帳票作成業務を効率化させるという点では何も進化しておらず、検査に必要な前工程で作成された生産情報との連携に関する視点は、ソフトウェアやハードウェアの進化があっても根本的な改善は見られない。工事現場においてデジタルで正しい生産情報の作成や連携についての課題は残されたままであると指摘できる。

システムを運用した課題には、パソコンの性能に依存する処理時間や画面表示の陳腐さ、携帯情報端末の性能に依存する画面サイズや操作手間等のように、ハードウェアの性能や機能が活用したい機能を満たしていないことが指摘されてきた。このような分野は他産業の技術開発に依存しており建築業界内のみで対応する範囲とは考えにくい。コンピュータ関連技術は常に進化しており、パソコンが出現してから今に至るまで扱うことのできるデジタル情報は、飛躍的に向上しているものの、現在でも BIM モデルのファイル容量が過大になるとパソコンでは扱えない事象が発生しており、この

ようにコンピュータ関連技術の仕様に関する課題解決は必ず時代時代で必ず起こりえるのである。それよりも活用する目的から生産情報の作成や更新等に関する課題を把握して、解決に寄与するような技術開発と捉える視点が重要と考えられる。

3点目として、同じ活用目的で各社が似たようなシステムを開発し、それを繰り返している点である。検査系においては内装検査や配筋検査の業務を効率化させる目的が共通しており、検査する項目や出力される帳票類に違いがあったとしても検査する行為に適用することは共通である。各社における品質管理の規準により検査項目や精度に違いがあると思われるが、システム構築における本質ではない。今も単純なシステムのバージョンアップ等やハードウェアの進化により作り直しが繰り返されている。さらに開発を担当する企業の視点が、自社内の工事現場のみに向けられており、専門工事会社側から見れば取引をしている会社毎にシステムの操作方法や情報の入力方法を覚えるのは煩雑となり、活用をするインセンティブを得られにくいことは容易に想像できる。

4点目として、報告されたBIM/ICTに関するシステムは、総合建設工事会社を中心となって開発されており、想定しているユーザーも総合建設工事会社を中心として、自社内で閉じたシステムを生み出し続けている点である。施工期間中に設計図書から始まる生産情報は専門工事会社とのすり合わせにより正しい状態に変移しているだけでなく、実際の作業は技能労働者が担っている。そのため、総合建設工事会社が施工管理で必要としている生産情報と、専門工事会社が必要としている生産情報にズレがないように配慮する必要性を指摘できる。すでに工事進捗を管理するシステムでは、総合建設工事会社側の立場から必要になる項目だけを整備するという観点だけではなく、技能労働者も共有し閲覧することで、お互いが先の作業工程について共通認識をもつことができるような仕組みづくりの必要性が指摘されていた。例えば作業進捗を例にすると技能労働者に対して一方的に報告させるようなシステムの考え方では、報告者側から見ると自分が担当するすべての工事が一覧で確認できるシステムで無い限り活用するメリットが見つけられない。一時的には特定の工事の進捗情報が入力されるかもしれないが、定着するには至らない要因のひとつと考えられる。そのためにも、専門工事会社に一方的に生産情報を渡すことや提出させることではないと考えられる。双方向で作成や活用を担える専門工事会社にも開かれた技術開発が必要と言える。

また、施工段階で使用する設計3部門の整合性やコストコントロールなどのように正しい生産情報の作成を設計者に求めているが、未だに実現されていないことを考えると仕組みや技術力の問題だけではない。設計期間や成果物に関する法整備、発注者の関与の仕方、報酬等の現状から生産情報の連携に関する対処も合わせて考える必要性を指摘できる。設計施工一貫で発注された工事では、総合建設工事会社の施工部門が設計段階に参画して正しい生産情報を専門工事会社と一緒に作成する取り組みが見直されつつあるが、それらは決してBIM/ICTを活用することだけで解決するものではない。社内組織の見直しは、生産情報の効率的な活用のためには積年の課題と言えるが、停滞している状況と言える。または組織があっても機能していない可能性も否定できない。

5点目として、データベースの重要性が施工管理分野や施工計画分野においても、1990年前後の早い時期からシステムの根幹として必要性を提唱されている点である。扱う生産情報は開発を担った担当者から見れば、必要な情報であったと考えられるが、それらの生産情報の入力・更新・活用方法における標準化や更新のワークフローが確立まで至らなかったことを指摘できる。生産情報を連

携させる視点に関する課題では、システムを扱う人材の育成や生産情報を流通させるしくみ作りが2000年前後には指摘されていた。BIMモデルを活用した運用についても同様な課題が残されており、システム開発と実運用との乖離が解決されないまま開発行為に集中していたことを指摘できる。

最後の6点目は1980年代から1990年代において、生産情報の連携による生産性向上や生産設計の考え方が活発に議論されていたことである。施工管理分野や施工計画分野を包含するような建築工事全体にわたる壮大な構想であるだけでなく、専門工事会社の位置づけに関しても指摘されていた。システム開発では生産情報の上流にある設計者が中心となり開発されていた模様であるが、下流にある施工側の関与は見えにくく、施工図レスを目指したように生産情報を受け取るだけの受身でしかなかったとも言える。

システム開発当時に共通して意識されていたことを以下に挙げる。

- ① 施工段階において確定される生産情報を設計図書に取り込む。
- ② 設計図書の生産情報を施工段階で使用するソフトウェアと連携して活用する。
- ③ 施工段階の業務が分業化されることにより、生産情報を確定できるのは総合建設工事会社から専門工事会社に移行し始めているため、早期に専門工事会社を選定する必要がある。
- ④ 生産情報の確定を早めるには、専門工事会社自体も変わる必要がある。
- ⑤ 施工の自動化・ロボット化の推進を考える必要がある。

これらの項目を眺めてみると、まさしく2020年においても議論が続けられている項目ときわめて似ていると言える。①～④についてはフロントローディングという取り組みであり、⑤については近年開発が進むロボット化と同じで、今でも各社が試行している最中なのである。

建築生産において生産情報を連携して生産性の向上や不具合を低減させる取り組みを2つに分けて考えてみる。ひとつは建築業界全体（専門工事会社も含む）において生産情報が連携できる新しい文化の構築が必要であり、もうひとつは誰が生産情報を正しく作成して誰が下流でそれらを活用するのかを分業化が進む中で担当者を明確にしたフローや知識工学のシステム化を進めることである。

前者にいたっては、日建連が毎年アンケート調査をしている『生産性向上推進要綱2019年度フォローアップ報告書』から傾向を読み取ることができる。BIMやICTの活用は回答企業の70%を超え、高い水準になっているものの<sup>[206]</sup>、生産性向上を推進するうえでの障害として「意識改革の遅れ（取り組みへの理解、相互連携、一体感など）」を選んだのが約70%に及んでいることである<sup>[207]</sup>。2018年度の調査結果から増加率が高くなり16%もの増加がみられた。システム開発や推進を担当する部門と企業文化との乖離が試行から実用として定着できない要因のひとつと言えるだろう。設計者や工事現場の技術者にとって従来型の手法で十分であり、いつになってもBIM/ICTを活用するインセンティブが見つからないのである。設計者がすべきであるという議論だけではなく、設計段階で誰が正しい生産情報を作成し次工程で活用するのかを明確にした生産情報のフローを示し、企業文化として昇華させる必要があるだろう。「外向的」な技術開発は発注者や設計者のニーズと直結しているが、「内向的」な技術開発には発注者や専門工事会社が不在になりがちなため、成熟した建築生産プロセスを変えることは並大抵の努力では進まないことが、この30年にわたる技術開発の変遷から見て取れる。

後者については、開発されたシステムを設計者や施工者が使うという単純な生産情報の連携ではなく、知識工学のシステム化を進めることで、設計者や技術者、職長、技能労働者がそれぞれの場面で正しい生産情報を扱えるシステム開発を進めることである。設計図書と連携する生産情報は工種により異なるため、丁寧に各工種の生産プロセスを見極めてデジタルの生産情報の連携を考えることであろう。建築生産のプロセスを変革するのではなく、生産情報のフローを変革することから始めることが望まれる。そのためにも施工段階で生産情報を確定させるシステムを施工者側で用意して、その結果を設計段階で設計者も活用できるように、施工者側が積極的に生産情報を確定させるプロセスに関与できる技術開発の視点の重要性も指摘できる。

このように、BIM/ICT を活用した技術開発は、総合建設工事会社を中心として建築工事全体における生産情報の連携や特定の業務への適用を中心に変遷してきた。開発されたシステムの一部では生産情報を設計者と施工者で連携する試みがなされ、一定の成果を得ていることが確認できた。一方、工事現場におけるデジタル化された生産情報の作成や次工程と連携させるための推進・普及や専門工事会社とのデータ連携には積年の課題が残っている。

次章以降では、こうした工事現場における生産情報の作成や更新における課題について、鉄筋工事を題材として生産情報の活用に着目しながら、システム開発の在り方の検証を進めていくことにする。

## 註

- [1] 松田章宏, 嘉納成男: 建築生産における IT 化の動向に関する研究 -1960 年から 1999 年までの IT 化の変遷と技術開発の要因-, 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp. 521-524, 2013. 3
- [2] 参考文献 [1] 前掲書, p. 523
- [3] 参考文献 [1] 前掲書, p. 524
- [4] 鳥海良輔, 嘉納成男: 建築生産における施工技術の動向に関する研究 -施工技術の変遷からみる施工技術開発の要因の考察-, 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp. 525-528, 2012. 3
- [5] 参考文献 [4] 前掲書, p. 528
- [6] 参考文献 [4] 前掲書, p. 525-527
- [7] 嘉納成男: 建築工事における施工シミュレータ 設計 BIM と施工 BIM との橋渡し, 早稲田大学出版部, 2018. 3
- [8] 参考文献 [7] 前掲書, p. 12
- [9] 参考文献 [7] 前掲書, p. 12
- [10] 日本の近代・現代を支えた建築-建築技術 100 選-委員会選定・編集, 日本の近代・現代を支えた建築-建築技術 100 選-, 一般社団法人日本建築センター, 2019. 6
- [11] 参考文献 [10] 前掲書, p. 184
- [12] 参考文献 [10] 前掲書, p. 185
- [13] 石田航星: 人口減少社会と建築生産における ICT 技術, 季刊 建築コスト研究, No.95, pp. 7-16, 2016. 10
- [14] 参考文献 [13] 前掲書, p. 10
- [15] 参考文献 [13] 前掲書, p. 11
- [16] 日本科学技術連盟ホームページによると QC サークル活動とは, 第一線の職場で働く人々が継続的に製品・サービス・仕事などの質の管理・改善を行う小グループで行う活動のことと定義している。
- [17] 日本科学技術連盟ホームページでは QC サークル活動を小集団改善活動としている。
- [18] 日本科学技術連盟ホームページ: <https://www.juse.or.jp/tqm/about/02.html>
- [19] 参考文献 [18] : <https://www.juse.or.jp/deming/>
- [20] 参考文献 [18] : [https://www.juse.or.jp/upload/files/DP\\_D\\_list\\_2020.pdf](https://www.juse.or.jp/upload/files/DP_D_list_2020.pdf)
- [21] 参考文献 [18] : [https://www.juse.or.jp/upload/files/DP\\_D\\_list\\_2020.pdf](https://www.juse.or.jp/upload/files/DP_D_list_2020.pdf)
- [22] 参考文献 [18] : <https://www.juse.or.jp/deming/grand/>
- [23] 参考文献 [18] : [https://www.juse.or.jp/upload/files/DP\\_taisho\\_list\\_2020.pdf](https://www.juse.or.jp/upload/files/DP_taisho_list_2020.pdf)
- [24] 公益財団法人日本適合性認定協会ホームページ: <https://www.jab.or.jp/system/iso/search/>, 2020 年 6 月現在
- [25] 参考文献 [24] による
- [26] 木本健二: 建築プロジェクトマネジメントにおけるコンピュータ支援システムの開発手法に関する研究, 自費出版, pp. 19-20, 2006. 3
- [27] 安藤正雄: 日本型建築生産システムの成立とその強み・弱み, ゼネコンを中心とした摺り合わせ型アーキテクチャの形成と課題, 建築ものづくり論, 有斐閣, p. 61, 2015. 7
- [28] 安藤正雄: 構法・工法から構工法へ, 建築の技術 施工, pp. 50-56, 1992. 1



- [29] 参考文献 [28] 前掲書, p. 54
- [30] 参考文献 [28] 前掲書, p. 54
- [31] 古阪秀三, 遠藤和義, 山崎雅司: 建築における生産設計の検討(1), 生産設計の概念, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 建築経済, pp. 671-672, 1990. 9
- [32] 木本健二, 古阪秀三, 遠藤和義, 蘇聞, 岩下智: 建築の生産設計に関する基礎的研究(その1), 設計図書, 設計変更の実態からみた生産設計の現状, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 101-108, 1992. 7
- [33] 木本健二, 古阪秀三, 遠藤和義, 杉本誠一, 岩下智, 蘇聞, 金多隆: 建築の生産設計に関する基礎的研究(その3), 品質情報の現状と構造化, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 57-64, 1993. 7
- [34] 古阪秀三, 遠藤和義, 朴炯根, 吉村淳: 設計と施工の統合化に関する研究(1), 設計段階における技術情報, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 219-226, 1991. 7
- [35] 参考文献 [31] 前掲書, p. 672
- [36] 遠藤和義, 古阪秀三, 佐々木良和, 後田定利: 工事編成決定に関する研究(8), 専門工事業のベヘイビアとそのモデル化, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 207-212, 1991. 7
- [37] 参考文献 [36] 前掲書, p. 209
- [38] 松村謙, 松村秀一: 専門工事業者の生産設計プロセスに関する研究, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 193-198, 1994. 7
- [39] 蟹澤宏剛, 安藤正雄, 浦江真人, 北条精志: 鉄骨ファブリケーターの業務からみた生産設計の実態, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 111-118, 1995. 7
- [40] 参考文献 [39] 前掲書, p. 118
- [41] 大山信一, 石村峻司, 吉川慎太郎, 長谷芳春, 鹿島裕一: 生産情報の伝達手法に関する実験的研究, 設計総合図の作成と設計CADデータの施工図での利用, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 91-98, 1993. 7
- [42] 金多隆, 長岡弘明, 古阪秀三, 山崎雅弘, 木本健二, 銚井修一, 三宅英一郎: 建築プロジェクトにおける意匠設計、機能設計、生産設計の統合を目的とした設計支援システム, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 129-134, 1994. 7
- [43] 谷泰文, 高橋壮年, 新井一彦, 金子房子, 田内敏昭: 建築新生産システムの適用結果とその考察, 設計施工一貫方式における生産設計業務の適用事例, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 109-116, 1996. 7
- [44] 参考文献 [43] 前掲書, p. 116
- [45] 八坂文子, 塚越修, 坂野弘一, 若杉和雄, 谷村恵政: 構造設計情報の生産計画業務への多角的活用の試み、躯体生産情報システムの開発, 建築生産シンポジウム, 日本建築学会, pp. 151-158, 1997. 7
- [46] 参考文献 [45] 前掲書, p. 158
- [47] 八坂文子, 高橋壮年, 坂野弘一, 磯野英之, 若杉和雄, 長崎孝, 谷村恵政: 構造設計情報の生産計画業務への多角的活用の試み(その4), 鉄骨鉄筋情報の工事管理への利用, 建築生産シンポジウム, 日本建築学会, pp. 155-160, 2000. 7
- [48] 参考文献 [47] 前掲書, p. 160
- [49] 加藤啓介, 和手俊明, 作間久義, 武田真, 南林和, 八木義之: 統合建築CAD「LORAN-T」における3次元建築意味モデルについて, 情報・システム・利用・技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 187-

192, 1991. 12

- [50] 参考文献 [49] 前掲書, pp. 188-189
- [51] 和手俊明, 武田武史, 村田圭介: 統合建築 CAD システム「LORAN-T」における空調・衛生設備について, 情報・システム・利用・技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 139-144, 1991. 12
- [52] 参考文献 [51] 前掲書, p. 139
- [53] 参考文献 [51] 前掲書, p. 143
- [54] 山崎雄介, 伊藤健司, 寺田尚弘: 工法選択エキスパートシステム (その 1), 設計型意思決定問題としての取り扱い, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 185-188, 1987. 7
- [55] 参考文献 [54] 前掲書, p. 188
- [56] 建築生産小委員会: 建築生産における施工技術の 30 年, 建築生産シンポジウム, 日本建築学会, pp. 279-285, 2014. 7
- [57] 山崎雄介: 3D・BIM による生産合理化の展開, BIM&IDDS 国際セミナー発表資料, 建築研究所, 2013. 11
- [58] 伊藤直之, 池田将明, 関原康成: CIC を構成する 3 次元 CAD 施工計画システムの開発, HPC を対象として, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 情報システム技術, pp. 449-450, 1995. 7
- [59] 馬場明生, 寺井達夫, 大久保孝昭: 情報化社会に対応した建築生産の現状と課題, 鉄筋コンクリート建築物を例として, コンクリート工学 Vol.34, No.10, 1996 年 10 月号, pp. 14-20, 1996. 10
- [60] CALS/EC は「公共事業支援統合情報システム」のことであり, Continuous Acquisition and Life-cycle Support / Electronic Commerce の略称である。2009 年 3 月の国交省による報道発表資料によると, 取り組みの内容は「従来は紙で交換されていた情報を電子化するとともに, ネットワークを活用して各業務プロセスをまたぐ情報の共有・有効活用を図ることにより公共事業の生産性向上やコスト縮減等を実現するため」と定義している。この時には基本方針として 6 つの重点分野が示された。①入札契約書類の完全電子化, ②受発注者間のコミュニケーションの円滑化, ③調査・計画・設計・施工・管理を通じて利用可能な電子データの利活用, ④情報化施工の普及推進による工事の品質向上, ⑤電子納品化に対応した品質検査技術の開発, ⑥CALS/EC の普及。
- [61] 一般社団法人日本建設業連合会: 建設業ハンドブック 2019, 一般社団法人日本建設業連合会, p. 6, 2019. 9
- [62] 国土交通省ホームページ: CIM 制度検討会の設立, 2012.
- [63] 国土交通省では 2018 (平成 30) 年 9 月に「BIM/CIM 推進委員会」を設置している。国交省ホームページの BIM/CIM 関連のページでは, 設置の主旨として「国際的な BIM の動向等は近年顕著な進展を見せており, 土木分野での国際標準化の流れを踏まえ, Society5.0 における新たな社会資本整備を見据えた 3 次元データを基軸とする建設生産・管理システムを実現するため」としている。これ 2018 年 3 月までは「CIM 導入推進委員会」と言われていたため, 2018 年が転換期と言える。
- [64] 国土交通省が 2015 年 12 月に発表した「i-Construction～建設現場の生産性向上の取り組みについて～」によると, 取り組み内容として①ICT 技術の全面的な活用, ②規格の標準化, ③施工時期の平準化の 3 項目があげられた。特に①の ICT 技術においては 3 次元のデータを活用した土工事が示されている。3 次元データの作成については, 2012 (平成 24) 年に国土交通省が CIM の導入に関する考え方を示しており, 従来からある CALS/EC はそのまま継続となり, CIM の考え方が統合されたと言える。

- [65] 内閣府: 新しい経済政策パッケージ, p. 3-8, 2017. 12
- [66] 一般社団法人日本建設業連合会: 生産性向上推進要綱, p. 1, 2016. 4
- [67] 参考文献 [66] 前掲書, p. 14
- [68] 参考文献 [66] 前掲書, pp. 14-16
- [69] 参考文献 [66] 前掲書, pp. 14-16
- [70] 一般社団法人日本建設業連合会: 建築工事適正工期算定プログラムの作成について, pp. 1-3, 2016. 4
- [71] 玉井純二郎: 施工からみた電子情報のコーディネートについて, 第 6 回・建築生産と管理技術・パネルディスカッション報文集, pp. 77-84, 1995. 2
- [72] 参考文献 [71] 前掲書, p. 83
- [73] 参考文献 [71] 前掲書, p. 84
- [74] 日本建築学会: 第 8 回建築設計および生産情報の流れシンポジウム『設計・生産のコラボレーションの新しい挑戦』, 2001. 11
- [75] 高木 学: 建築生産情報統合システムー新しい建築生産を担うプロダクションセンター, 第 8 回建築設計および生産情報の流れシンポジウム『設計・生産のコラボレーションの新しい挑戦』, pp.35-39, 2001. 11
- [76] 参考文献 [75] 前掲書, p. 39
- [77] 例えば, 日建連では 2019 年 7 月に『フロントローディングの手引き 2019』を発行し, 業界全体で変革を進める原動力のひとつの取り組みとしている。
- [78] 嘉納成男: 建築生産における 3 次元 CAD 普及の可能性ー 3 次元設計情報の施工段階における活用ー, 建築生産における 3 次元 CAD 普及の可能性ー 3 次元設計情報の施工段階における活用ー, pp.1-2, 2006. 6
- [79] 日本建築学会材料施工委員会建築生産情報化小委員会: 建築生産における BIM, 日本建築学会, 2009. 12
- [80] 参考文献 [79] 前掲書, p. 5
- [81] 国土交通省に設置された建築 BIM 推進会議が 2020 年 3 月に発表した『建築分野における BIM 標準ワークフローとその活用方策に関するガイドライン (第 1 版)』の p.2 では, 現在の主流は CAD と明記されており, BIM を活用した建築生産・維持管理プロセスに至っていないと指摘している。
- [82] 金多 隆: 建築生産とコンピュータ, 建築雑誌 2004 年 11 月 Vol.119 NO.1518, 日本建築学会, p.31, 2004. 11
- [83] 参考文献 [82] 前掲書, p. 31
- [84] 参考文献 [82] 前掲書, p. 31
- [85] 嘉納成男: 「もの」情報の提供と管理者の思考支援, 建築雑誌 2004 年 11 月 Vol.119 NO.1518, 日本建築学会, pp.36-37, 2004. 11
- [86] 参考文献 [85] 前掲書, p. 36
- [87] 参考文献 [85] 前掲書, p. 37
- [88] 参考文献 [61] 前掲書, p. 6
- [89] 川盛良夫: 建設業におけるコンピュータ利用の変遷, 建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, pp.49-56, 1994. 7
- [90] SE 編集部: 僕らのパソコン 30 年史ーニッポン パソコン クロニクル, 株式会社 翔泳社, p.157. 2019. 10

- [91] 株式会社キャトルのホームページの開発商品による。
- [92] Amazon で検索してみると、最新版の JW\_CAD の解説書として『今すぐ使えるかんたん Jw\_cad』が2020年6月に発売されていた。
- [93] 日経 BP コンサルティング/ケンプラッツ: BIM 活用実態調査レポート 2011 年版, 日経 BP コンサルティング/ケンプラッツ, 2011. 2
- [94] BIM 専門部会 BIM 展開・検討 WG: 《施工 BIM 導入・展開》に関するアンケート結果報告～回答編～, 日本建設業連合会, 2019. 10
- [95] 対象としている発表論文は, 「日本建築学会計画系論文集」, 「日本建築学会技術報告集」, 「日本建築学会大会梗概集」とした。検索キーワードは「CAD」, 「AI」, 「ICT」, 「自動施工」, 「工程管理」, 「カメラ」, 「シミュレーション」, 「積算」, 「安全」とした。検索により抽出された発表論文のタイトルからシステム開発や BIM/ICT を活用した生産情報のマネジメントに関すると思われる内容のみを筆者が抜き出し一覧表を作成した。なお, シンポジウム関連の報告書に掲載された論文類は検索の対象外になっているため, 対象外とした。検索時期は2018年4月時点。
- [96] 「建築生産シンポジウム論文集」に掲載されている発表論文は, 日本建築学会のアーカイブ検索からは抽出できない。そのために芝浦工業大学志手研究室で作成されている第1回(1985年)から第33回(2017年)までの目次データベースから上記のキーワードで発表論文の抽出を試みた。抽出された発表論文のタイトルからシステム開発に関すると思われる内容のみを筆者が抜き出し一覧表に加えた。検索時期は2018年4月時点。
- [97] 千葉県市川市の JR 市川駅前の超高層マンションにおいて性能評価の現場検査で柱の鉄筋本数不足が発覚する事件が発生している。
- [98] 建設業労働災害防止協会が労働災害統計として公表している「平成30年 建設業における死亡災害の工事の種類・災害の種類別発生状況」による。
- [99] 参考文献 [61] 前掲書, p.22
- [100] 富田紀久夫, 武藤貞介, 武田幸生, 小林裕生, 稲村好雄: プレキャストコンクリート工場のパーソナルコンピュータによる生産管理, 第2回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 73-76, 1986. 7
- [101] 参考文献 [100] 前掲書, p. 76
- [102] 岩下 智, 古阪秀三, 鎌田元信, 高田 一, 児玉伸明, 小島一誠: 高層集合住宅の生産計画・管理システムに関する研究(その2), P Ca 工事の実態と生産管理方法の検討, 第13回建築生産シンポジウム, pp. 265-270, 1997. 7
- [103] 范 悦: P C工場の生産計画における情報化支援システムの開発, 第17回建築生産シンポジウム, pp. 245-250, 2001. 7
- [104] 参考文献 [103] 前掲書, p. 245
- [105] 平原悠生, 藤本郷史, 大久保孝昭, 杉山 央, 角倉英明, 古賀純子: 磁界強度を指標とした RFID システムの RC 部材中における通信性能評価に関する研究, その1 通信性能評価の考え方, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 材料施工, pp. 959-960, 2011. 8
- [106] 高山純一, 杉山 央, 宮澤友基, 角倉英明: IC タグを活用したコンクリートのトレーサビリティ確保技術に関する研究, その1 IC タグを埋め込むことによるコンクリートへの影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 材料施工, pp. 1305-1306, 2013. 8
- [107] 浜田耕史, 中島史郎, 中川貴文, 平出 務, 多葉井 宏, 染谷俊介, 伊藤 弘, 渡辺 徳明: IC タグを活用した鉄骨工事のトレーサビリティシステムの開発, その1 研究開発の背景と概要, 日本建築学

- 会大会学術講演梗概集（東北），材料施工, pp. 1295-1296, 2009. 8
- [108] 参考文献 [107] 前掲書, p. 1295
- [109] 山下純一, 滝本 隆, 城尾好文, 川村健一: 工事管理に於けるパーソナルコンピュータの活用, 第 1 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 93-96, 1985. 7
- [110] 参考文献 [109] 前掲書, p. 96
- [111] 板谷俊郎, 藤野健一, 猪腰友典, 渡辺馨治, 富田倫也, 香月泰樹: IC カードを用いた現場管理システムの現場試行実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），建築経済, pp. 415-416, 1995. 8.
- [112] 参考文献 [111] 前掲書, p. 415
- [113] 井上 啓, 永易 修, 鈴木康夫, 鶴家 健: 工事マネジメント支援システムの開発, 第 11 回建築生産シンポジウム, pp. 223-230, 1995. 7
- [114] 参考文献 [113] 前掲書, p. 230.
- [115] 森田真弘, 室 英治, 金岩哲夫, 天海清志, 星野春夫: 揚重予約・実績管理システムの開発, 第 4 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 249-252, 1988. 7
- [116] 参考文献 [115] 前掲書, p. 249
- [117] 参考文献 [115] 前掲書, p. 252
- [118] 森田真弘, 室 英治, 金岩哲夫, 西村博之: 揚重スケジューリングシステムの開発, 第 8 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 319-326, 1992. 7
- [119] 参考文献 [118] 前掲書, p. 326
- [120] 参考文献 [118] 前掲書, p. 326
- [121] 多葉井 宏, 森田真弘, 黒柳英敏, 加藤英昭, 小幡賢三, 石井秀典: リモート ID を用いた揚重管理システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）, 建築経済, pp. 1027-1028, 1995. 8
- [122] 参考文献 [121] 前掲書, p. 1027
- [123] 山本伸雄, 沢田隆志, 今西 和, 渡辺正宏, 渡辺純一, 植野修一: 揚重管理システムの開発ーパーソナルコンピュータを利用した資材の揚重管理ー, 第 12 回建築生産シンポジウム, pp. 233-238, 1996. 7
- [124] 木本健二, 岩下 智, 藤原光弥, 片岡隆: PDA（携帯情報端末）を用いた工事管理方法に関する研究, 第 19 回建築生産シンポジウム, pp. 103-108, 2003. 7
- [125] 香月泰樹, 半田雅俊: スマートフォンによる作業所管理システムの開発, 作業指示システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）, 材料施工, pp. 1309-1310, 2009. 8
- [126] 田辺要平, 清水友理, 佐藤 康弘: 次世代携帯端末を用いた施工管理手法の開発, その 1 システム概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）, 材料施工, pp. 955-956, 2011. 8
- [127] 村瀬憲雄, 寺林 肇, 木村 隆: パソコンを活用した工事管理, 第 3 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 77-80, 1987. 7
- [128] 室井一夫: 電気設備改修工事への BIM 活用に関する研究, 分電盤管理システムの開発と試行結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）, 材料施工, pp. 1265-1266, 2015. 9
- [129] 遠藤嘉之, 添野建一: 仕上げ工事チェックシステム（通信処理タイプ）の開発と運用, 第 5 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 193-196, 1989. 7
- [130] 参考文献 [129] 前掲書, p. 193
- [131] 半田雅俊, 香月泰樹: 携帯情報端末を使ったマンション検査システム, 第 20 回建築生産シンポジウム, pp. 385-390, 2004. 7

- [132] 近藤哲, 内田 茂, 金子智弥, 浜田耕史, 上宮晃雄, 汐川 孝: IC タグを利用した排水通水試験システムの開発, その 1 システムの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 材料施工, pp. 1419-1420, 2005. 9
- [133] 中島史郎, 多葉井 宏, 中川貴文, 浜田耕史, 平出 務, 染谷俊介, 渡辺徳明, 伊藤 弘: 鋼構造躯体の施工における I C タグを利用した品質管理支援技術の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻, 第 35 号, pp. 21-26, 2011. 2
- [134] 参考文献 [133] 前掲書, p. 25
- [135] 石田俊久, 矢島清志, 加藤 圭, 上野 純, 梅津 匡一: 鉄骨建方工事における建入精度自動計測システムの開発, その 1 全体概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 材料施工, pp. 1293-1294, 2013. 8
- [136] 鶴家健, 永易 修: バーコードシステムによる仕上げ管理システムの開発, 第 4 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 213-218, 1988. 7
- [137] 山本新呉, 皆内佳奈子: タブレット端末を用いた仕上げ管理システムと施工管理へのフィードバック(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 建築社会システム, pp. 1293-1294, 2013. 8
- [138] 参考文献 [137] 前掲書, p. 1293
- [139] 大野俊一, 福井直俊, 荒井恒雄, 岡野三之: パーソナルコンピュータによる概算見積システムの開発と活用, 第 3 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 29-32, 1987. 7
- [140] 参考文献 [139] 前掲書, p. 32
- [141] 曾根巨充, 永尾 眞, 東間敬造, 藤井裕彦, 綱川隆司, 松葉 裕, 萱島 敬: 生産設計による数量算出とコストコントロールの可能性, 生産設計における 3 次元 CAD の利用について (その 1), 第 20 回建築生産シンポジウム, pp. 333-338, 2004. 7
- [142] 参考文献 [141] 前掲書, p. 335
- [143] 参考文献 [141] 前掲書, p. 338
- [144] 三木敏則, 添野建一: 工程管理支援システムの開発と実施, 第 4 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 219-222, 1988. 7
- [145] 参考文献 [144] 前掲書, p. 222
- [146] 中野敏孝, 渡辺純一, 片山圭二, 下村淳二: データベースと連携した CAD 利用による施工情報の表現および活用に関する研究, (その 4) 進捗管理に利用した事例工程管理支援システムの開発と実施, 第 12 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 193-198, 1996. 7
- [147] 参考文献 [146] 前掲書, p. 198
- [148] 宮丸史江, 松本慎也, 大久保孝昭: 建築工事における RFID 技術を活用した進捗管理システムの構築に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 571-572, 2007. 8
- [149] 参考文献 [148] 前掲書, p. 572
- [150] 金子智弥, 坂上 肇, 浜田耕史, 宮川 宏: BIM を利用した躯体工事進捗管理システムの開発と適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 材料施工, pp. 1301-1302, 2013. 8
- [151] 参考文献 [150] 前掲書, p. 1302
- [152] 蔡 成浩, 吉田知洋: 無線 IC タグを用いた災害防止のためのシステムに関する研究, その 1) 工事車両の接触事故における事故防止機能の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 575-576, 2007. 8

- [153] 吉田知洋, 蔡 成浩: 無線 IC タグを用いた災害防止のためのシステムに関する研究, その 2) システムの構築と性能実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 577-578, 2007. 8
- [154] 参考文献 [153] 前掲書, p. 578
- [155] 三崎仁, 物部陽明, 橋本隆治, 東 良志: 安全管理におけるシステム化の試み, 自動計測と計測情報の有効活用について, 第 9 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 295-300, 1993. 7
- [156] 逸見義男, 小林弘昌, 山川純一, 滝本 隆, 川村健一, 吉武亮二: 建築における工事マネジメントシステムの構築: その 1 バーコードを利用した労務管理システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 建築経済, pp. 601-602, 1986. 7
- [157] 参考文献 [156] 前掲書, p. 602
- [158] 香月泰樹, 半田雅俊: IC タグを利用した現場管理システムの開発と適用, (その 5), 汎用利用されている IC タグを用いた入退場管理システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 材料施工, pp. 103-104, 2010. 7
- [159] 参考文献 [158] 前掲書, p. 104
- [160] 金子智弥, 浜田耕史, 近藤 哲, 鈴木理央, 滝沢平一郎, 丹羽克彦: IC タグを利用した廃棄物コンテナ管理システムの開発, その 1) システムの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 都市計画, 建築経済・住宅問題, pp. 1179-1180, 2008. 9
- [161] 鈴木理央, 浜田耕史, 近藤 哲, 金子智弥, 滝沢平一郎, 丹羽克彦: IC タグを利用した廃棄物コンテナ管理システムの開発, その 2) システムの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 都市計画, 建築経済・住宅問題, pp. 1181-1182, 2008. 9
- [162] 参考文献 [160] 前掲書, p. 1179
- [163] 参考文献 [161] 前掲書, p. 1182
- [164] 参考文献 [161] 前掲書, p. 1182
- [165] 参考文献 [7] 前掲書, p. 11
- [166] 嘉納成男, 畔木稯治, 岡 聖司, 高橋寛之, 内海永喜, 小倉裕雅: 建築工事の工程計画支援システム「CAPRIS」の開発, 第 1 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 85-88, 1985. 7
- [167] 参考文献 [166] 前掲書, p. 85
- [168] 参考文献 [166] 前掲書, p. 85
- [169] 参考文献 [166] 前掲書, p. 86
- [170] 嘉納成男: 建築工事における工程計画エキスパートシステム, 割付方式を採用した工程計画エキスパートシステム, 第 6 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 7-12, 1990. 7
- [171] 参考文献 [170] 前掲書, p. 7
- [172] 大伴尚也, 高野俊夫, 野村祥一: プロジェクト工程計画と管理, CADの開発と運用, 第 10 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 435-440, 1994. 7
- [173] 参考文献 [172] 前掲書, p. 435
- [174] 遠藤和義, 簡 湊峰, 岩下 智, 木本健二, 小森隆司: 高層 RC 造集合住宅の工程シミュレーションに関する研究, 規定時間外を考慮した工程計画, 第 20 回建築生産シンポジウム, pp. 293-298, 2004. 7
- [175] 参考文献 [174] 前掲書, p. 293
- [176] 鈴木祐美子, 鈴木誠一: 建設工事における施工過程シミュレーションシステムの開発, その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 情報システム技術, pp. 553-554, 2005. 7
- [177] 熱田和也, 嘉納成男, 両角星紀: 施工シミュレーションに関する研究, その 4, 工事用エレベータの

- シミュレーションの試行, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 建築社会システム, pp. 123-124, 2014. 9
- [178] 浜田耕史, 汐川 孝, 坂口秋吉, 泉 清之, 脇坂達也: 建設ロボット施工シミュレーションシステムの開発, その 2, ロボット施工シミュレーションシステムの適用結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 材料施工, pp. 903-904, 1989. 9
- [179] 例えば, 物部洋忠, 古越 明, 水谷勇三, 増田隆史, 坂井忠勝: 全天候型工法の開発, RC 造建物における工事用屋根の適用例, 第 9 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 171-176, 1993. 7
- [180] 例えば, 汐川 孝, 大川輝夫, 二見富士夫, 坂口秋吉, 木村東光臣: 全自動ビル建設システムにおける工事管理、制御システムの開発, 第 9 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 261-266, 1993. 7
- [181] 沢村健一, 嘉山浩史, 仲地唯治, 古賀和夫: CALS による現場情報化施工例, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 材料施工, pp. 817-818, 1999. 7
- [182] 参考文献 [181] 前掲書, p. 818
- [183] 山崎雄介, 内山義次, 中島 亨, 新藤昭夫, 菅野正憲, 大塚成喜, 神山義明: 工法選択システムの開発, 第 1 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 33-36, 1985. 7
- [184] 参考文献 [183] 前掲書, p. 33
- [185] 伊藤直之, 池田將明, 関原康成: CIC を支援するための 3 次元 CAD 施工計画システムの開発, HPC 工法を対象として, 第 11 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 203-210, 1995. 7
- [186] 参考文献 [185] 前掲書, p. 209
- [187] 参考文献 [185] 前掲書, p. 210
- [188] 湯浅洋一, 豊田康明: 施工プロセス可視化システムの開発, 第 20 回建築生産シンポジウム, pp. 319-326, 2004. 7
- [189] 参考文献 [188] 前掲書, p. 319
- [190] 参考文献 [188] 前掲書, p. 319
- [191] 参考文献 [188] 前掲書, p. 326
- [192] 金子智弥, 浜田耕史, 宮川 宏, 福土正洋, 岡本隆秀: BIM モデルを利用したコンクリート打設工区分割システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 材料施工, pp. 903-904, 2014. 7
- [193] 樋口正一郎, 鬼頭俊之, 中島英夫, 板谷俊郎: 作業所管理事務の OA 化, その 1, 実施事例と効率化について, 第 11 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 237-244, 1995. 7
- [194] 鬼頭俊之, 樋口正一郎, 中島英夫, 広沢雅之: 作業所管理事務の OA 化, その 2, 書類作成業務の OA 化について, 第 11 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 245-250, 1995. 7
- [195] 参考文献 [193] 前掲書, p. 238-239
- [196] 参考文献 [194] 前掲書, p. 250
- [197] 高瀬 優, 萩原忠治, 金岩哲夫: 建築モデリング手法による躯体施工図作成システム, 第 2 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 37-40, 1986. 7
- [198] 服部克洋, 小松健二, 坂本正史, 今木繁行, 峰政克義: 建設産業の生産性向上と近代化のための考案, その 2, 施工者による生産情報生成へのアプローチ (CAD による総合図作成), 第 9 回建築生産と管理技術シンポジウム, pp. 83-90, 1993. 7
- [199] 参考文献 [198] 前掲書, p. 83
- [200] 参考文献 [198] 前掲書, p. 90
- [201] 三戸景資: BIM を用いた施工図の試行, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 情報システム



技術, pp. 93-94, 2014. 7

- [202] 石田航星, 嘉納成男, 五十嵐 健, 藤井裕彦, 大澤雄司, 酒本晋太郎, 富田 裕行: 内装部材のプレカット化のための3次元レーザースキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第688号, pp. 1355-1363, 2013. 6
- [203] 五十嵐直治, 辻本 稔, 高木 学, 大野 明: 設計・施工情報の共有による生産業務の革新(その2), 建築生産情報統合(KSJT)システムにおける建築設備システムの開発, 第19回建築生産シンポジウム, pp. 189-194, 2003. 7
- [204] 参考文献 [203] 前掲書, p. 189
- [205] 参考文献 [203] 前掲書, p. 194
- [206] 日本建設業連合会 生産性向上推進本部: 生産性向上推進要綱2019年度フォローアップ報告書, 日本建設業連合会, p. 11, 2020.10
- [207] 参考文献 [206] 前掲書, p. 15

## 図版出典

- 図1-1: 参考文献 [45] 前掲書, p. 152
- 図1-2: 参考文献 [51] 前掲書, p. 143
- 図1-3: 新世代の統合建築CADシステム: TECHNICAL View, 建築技術 1990.06号, pp. 45, 1990. 6
- 図1-4: 参考文献 [57] 前掲書, p. 8
- 図1-5: 筆者作成
- 図1-6: 筆者作成
- 図1-7: 筆者作成
- 図1-8: 筆者作成
- 図1-9: 参考文献 [100] 前掲書, p. 73
- 図1-10: 参考文献 [107] 前掲書, p. 1295
- 図1-11: 参考文献 [109] 前掲書, p. 93
- 図1-12: 参考文献 [111] 前掲書, p. 415
- 図1-13: 参考文献 [121] 前掲書, p. 1028
- 図1-14: 参考文献 [124] 前掲書, p. 105
- 図1-15: 参考文献 [129] 前掲書, p. 195
- 図1-16: 参考文献 [131] 前掲書, p. 388
- 図1-17: 参考文献 [133] 前掲書, p. 22
- 図1-18: 参考文献 [136] 前掲書, p. 216
- 図1-19: 参考文献 [137] 前掲書, p. 1293
- 図1-20: 参考文献 [141] 前掲書, p. 337
- 図1-21: 参考文献 [146] 前掲書, p. 198
- 図1-22: 参考文献 [148] 前掲書, p. 572

- 図 1-23：参考文献 [150] 前掲書, p. 1302  
図 1-24：参考文献 [153] 前掲書, p. 577  
図 1-25：参考文献 [156] 前掲書, p. 602  
図 1-26：参考文献 [158] 前掲書, p. 103  
図 1-27：参考文献 [160] 前掲書, p. 1179  
図 1-28：筆者作成  
図 1-29：参考文献 [170] 前掲書, p. 9  
図 1-30：参考文献 [176] 前掲書, p. 553  
図 1-31：参考文献 [178] 前掲書, p. 904  
図 1-32：参考文献 [183] 前掲書, p. 33  
図 1-33：参考文献 [185] 前掲書, p. 207  
図 1-34：参考文献 [188] 前掲書, p. 325  
図 1-35：参考文献 [193] 前掲書, p. 237  
図 1-36：参考文献 [198] 前掲書, p. 84

## 参考文献

年表の作成には、以下の図書を参考としました。

- ・日本建築学会 建築生産小委員会: 建築生産における施工技術の 30 年, 建築生産シンポジウム, 日本建築学会, pp. 279-285, 2014. 7
- ・日本建築学会 建築生産小委員会: 建築生産における管理技術の 30 年, 建築生産シンポジウム, 日本建築学会, pp. 287-292, 2014. 7
- ・日本建築学会 情報システム技術委員会: 2011 年度日本建築学会大会 (関東) 情報システム技術部門 研究協議会資料, BIM はどこまで来ているか, 日本建築学会, 2011. 8
- ・日本建築学会 材料施工委員会: 2011 年度日本建築学会大会 (関東) 材料施工部門 パネルディスカッション資料 BIM によって建築生産はどのように変わるのか, 2011. 8
- ・日本建築学会: 日本建築学会 130 年略史, 建築雑誌増刊, Vol.132, No.1693, 日本建築学会, 2017. 1
- ・SE 編集部: 僕らのパソコン 30 年史, ニッポン パソコン クロニクル, 翔泳社, 2010. 5



2

---

Theme **鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察**

---



---

## 第2章 鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察

---

2-1 本章の目的と構成	085
2-2 鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察	087
2-3 配筋検査における BIM/ICT の活用に関する考察	092
2-4 結び：鉄筋工事におけるマネジメント技術の在り方	095

---

### 2-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

鉄筋コンクリート造における躯体工事は、建物が完成した後の品質に大きな影響を与える。特に鉄筋工事はコンクリートが打設されてしまうと鉄筋材料が見えなくなることもあり、設計図書に基づいた確実な品質管理や工事監理者による確実な配筋検査が求められている。工事現場において躯体工事分野への要求レベルが高まってきたきっかけとして 2005（平成 17）年 11 月に発覚した構造計算偽装事件をあげることができる。2007（平成 19）年 6 月にはこのような問題を 2 度と起こさないように建築確認・検査の厳格化がなされた建築基準法等の一部改正が実施されたが、工事段階における品質に関する不具合は発生してきた。例えば、『日経アーキテクチャ』が 2014（平成 26）年に「特集：品質崩壊の足音」として特集記事をまとめており<sup>〔1〕</sup>、表 2-1 に鉄筋工事に関する事象のみを時系列で抜き出してみる。特集が発行された以降も記憶が新しいところでは 2016（平成 26）年 3 月に神奈川県横浜市の分譲マンションにおいて杭の施工不良とともに基礎部分において鉄筋の切断があった事象等が報告されている<sup>〔2〕</sup>。

このような事象に対する再発防止策が各社において立案されてきたと考えられるが、それと共に各社において技術開発されてきた技術がこのような品質不具合に対する再発防止としてどの程度寄与してきたのかを横断的に捉える試みはいままでなされてこなかった。そこで本章では、鉄筋工事の

表2-1 鉄筋工事に関する不具合事象

番号	判明した時期	場所	建物用途	事象
1	2007（平成19）年11月	千葉県・市川市	超高層マンション	柱の鉄筋本数不足
2	2007（平成19）年11月	東京都・東麻布	超高層マンション	鉄筋径は設計図書と同じだったが強度が低い鉄筋を使用
3	2008（平成20）年2月	島根県・浜田市	社会復帰促進センター	柱70本の配筋に誤り
4	2014（平成26）年1月	東京都・南青山	高級分譲マンション	完成直前にスリーブ700ヵ所以上の不具合。建て直し
5	2014（平成26）年3月	東京都・白金	超高層分譲マンション	地下の柱19本で鉄筋不足

生産性の向上や品質不具合を防止する視点からいまままでに技術開発された技術が鉄筋工事における生産情報の作成や活用に与えた影響の解明を試みる。

### 既往の調査研究

品質不具合の発覚に対して建築実務者へのアンケート調査の結果が「特集：品質崩壊の足音」の記事内で報告されている<sup>[3]</sup>。品質が低下している原因としては、「技能労働者（職人）が足りない」、「コスト削減の要請が厳しい」、「施工管理者のスキルが低下している」の3項目が上位を占めており総合建設工事会社や専門工事会社における人材に課題があることが報告された<sup>[4]</sup>。一方、具体的な不具合の内容としては「特に目立ったのは図面に関連するトラブル」であったとし<sup>[5]</sup>、図面の位置づけを「設計情報を伝達する媒体だ。設計側は設計意図を図面に記載し、施工側は図面から設計意図を読み取り、建築物へと仕上げる。品質確保には、一連の流れがスムーズに進むことが望ましい」とした<sup>[6]</sup>。設計図書から施工図や製作図に至る生産情報の連携にかかわる重要性を指摘しているが、生産情報のスタートである設計図書に記載されている生産情報が曖昧のまま施工者に渡されている実態も明らかにしていた<sup>[7]</sup>。品質を確保するための取り組みでは、「IT（情報技術）化の進展などで仕事の仕方が変わり、求められるスキルも変化」<sup>[8]</sup>しているとしているが、具体的な方策についてはBIMの活用が挙げられているにすぎなかった<sup>[9]</sup>。

新妻らは関東地方の鉄筋専門工事会社に対してアンケート調査を実施してその結果を報告している<sup>[10]</sup>。設計図書から施工図や製作図を作成する際に、生産情報を連携するために困難となる事項として「〔施工管理者に質疑を出しても適時に回答がない〕および「杭鉄筋と基礎・地中梁の鉄筋が干渉して納まらない」の2つの回答が突出して多く、次いで図面表記に関する事項、配筋の納まりに関する事項」と報告し<sup>[11]</sup>、施工者側から見て設計図書の曖昧さが課題であると指摘している。『日経アーキテクチャ』における建築実務者へのアンケート調査結果との整合が見られた。一方、配筋検査における指摘事項では「主観で指摘される」が60%と最も多く、次いで「設計図書または施工図等による指示通りの施工に対しての修正要求」、「過度な精度の要求」および「納まりにくいまたは納まらない配筋の指示」の順となった」と報告した<sup>[12]</sup>。構造設計者は設計図書に記載した完成形を実際に配筋・組立作業が終わらないとイメージができない可能性があることを示している。

### 本章の研究手法と構成

本章では、1970（昭和45）年から2016（平成28）年までに日本建築学会において鉄筋工事に関連して発表された論文からBIM/ICTに関連する報告を抽出し、開発されてきたシステムの概要やそ



れらが鉄筋工事における生産プロセス内の課題解決策として有効であるかを含めて概観を試みる。先ず第2節「鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察」では、日本建築学会において発表された鉄筋工事に関する論文の傾向を分析し、どのような分野が興味の対象であったのかを明らかにするとともに、BIM/ICT に関連するシステム開発の傾向を分析する。第3節「配筋検査における BIM/ICT の活用に関する考察」では鉄筋工事における生産プロセスの最終段階である配筋検査のシステム開発に着目し、基本となった技術から機能を分類することで生産性の向上や品質不具合の低減にどのように寄与する技術開発であったのかを分析する。これらの結果から鉄筋工事における BIM/ICT を活用したマネジメント技術のあるべき方向性を論じる。

## 2-2 鉄筋工事における BIM/ICT の適用に関する考察

### 日本建築学会において発表された鉄筋工事に関する論文の傾向

建築分野の鉄筋工事に関する既往研究を調べるため、1970（昭和 45）年から 2016（平成 28）年 4 月までに発表された論文を NII 学術情報ナビゲータ（CiNii）で検索した<sup>[13]</sup>。検索で抽出した発表論文数は 74 編だった。図 2-1 に論文の内訳と図 2-2 に発表年の傾向を示す。

内訳はソフトウェア開発に関する内容（以下、ソフトウェア開発系）が 38 編、現場の施工方法に関する内容（以下、施工系）が 10 編、鉄筋加工工場を対象とした内容（以下、鉄筋加工工場系）が 8 編、技能労働者や鉄筋専門工事会社に関する内容（以下、鉄筋専門工事会社系）が 7 編、品質管理に関する内容（以下、品質管理系）が 6 編、それら以外の内容（以下、その他）が 5 編だった。ソフトウェア開発系に関する論文数は発表された論文全体の 51.3%を占めていた。ソフトウェア開発の 38 編を詳細に分析すると、配筋検査に関する報告が 26 件、継手検査に関する報告が 5 件、CAD/CAM

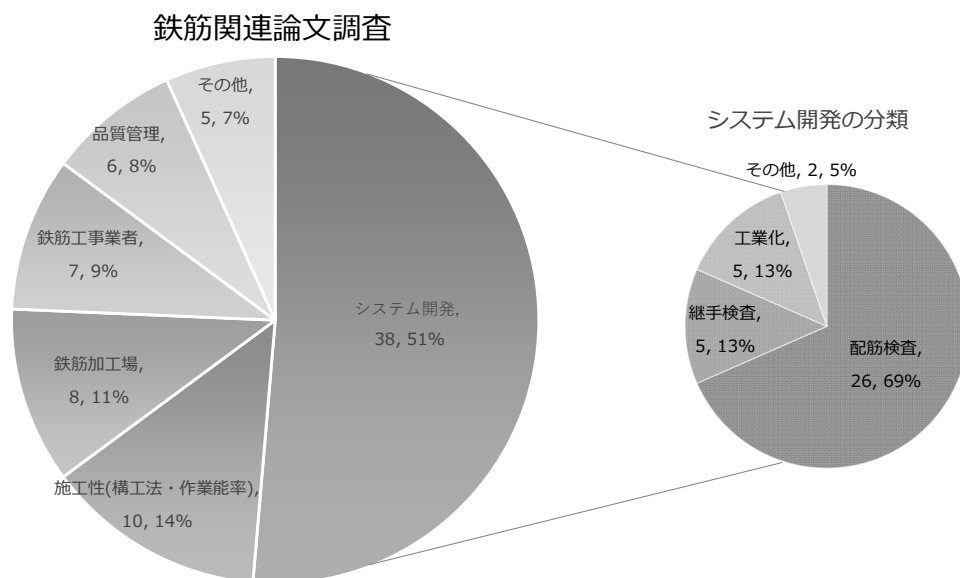


図 2-1 発表された論文の内訳

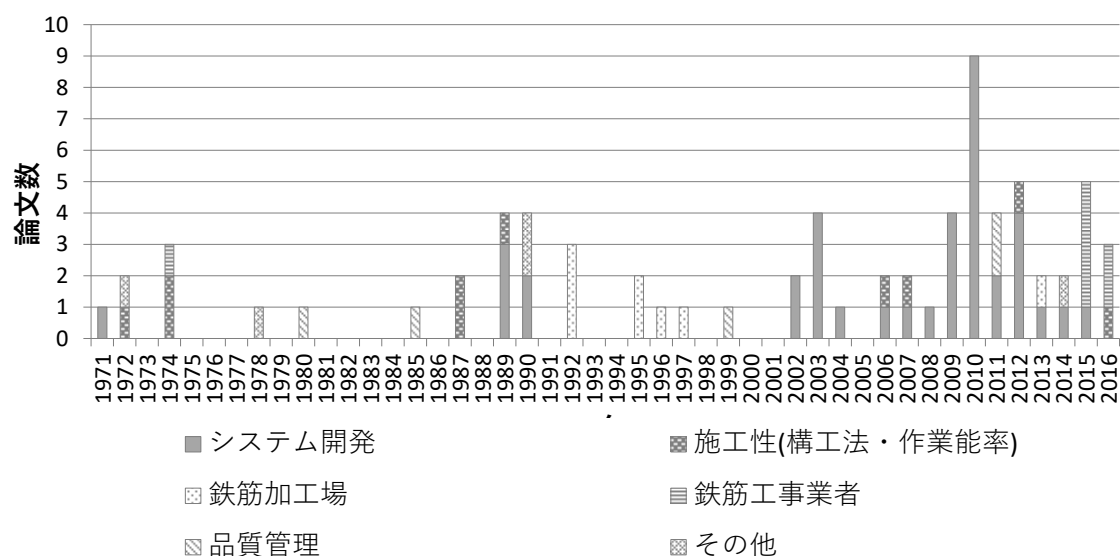


図2-2 論文が発表された年

の開発のような工業化に関する報告が5件、その他が2件であった。配筋検査に関する開発がソフトウェア開発系の中で68.4%と半数以上を占めていた。次節で詳細に分析する。

鉄筋工事に関する論文が発表された年には大きな波が見られ、1990（平成2）年前後、2003（平成15）年前後、2010（平成22）年前後と3つあることがわかる。特にシステム開発系に関する発表が2000（平成12）年以降は継続的になされており、2010（平成22）年前後がシステム開発のピークであったとすると、前節で示したような鉄筋工事の不具合をシステム開発で防止する狙いがあったとも考えられる。

### ソフトウェア開発系

抽出した中で最も古い論文は、1971（昭和46）年に野崎が鉄筋工事の施工情報とその処理、システムに関する報告をしていた。配筋検査そのものに適用するシステム開発ではないが、配筋検査結果の出力について述べている<sup>[14]</sup>。システム開発の目的は「鉄筋工事に関連する情報について、その分類、発生と流れ及び処理方法を解明し、工程管理、品質管理の為の指針」を構築するとしていた<sup>[15]</sup>。処理システムでは、インプット方式に準拠して入力された生産情報から報告書がアウトプットとして出力されるとし、その事例として配筋検査のチェックシートが作成できることを示した。鉄筋工事におけるシステム開発では、当初から配筋検査に着目されていることがわかる。次いで多かったのは継手検査である。2002（平成14）年に森濱らが超音波を用いた鉄筋継手の検査方法について報告をしている<sup>[16]</sup>。重ね継手以外のガス圧接継手や溶接継手、機械式継手の検査において超音波を活用して新しい探傷試験方法を検討し、鉄筋のリブが検査結果に影響を与えることを示した。

CAD/CAMに関連する工業化では、1989（平成1）年に江頭らが鉄筋プレハブユニット組立システムや自動組立装置の開発を試みている<sup>[17]</sup><sup>[18]</sup><sup>[19]</sup>。対象とする施設が原子力発電所をはじめとする大型コンクリート建築物への適用であり、使用される鉄筋径が太径であるため汎用性があるとはいえないが先進的な試みのひとつと言える。開発の背景として「建設労働者の若年層離れ、熟練工不

足といった労務事情の悪化は、今後しばらく続くと予測」し<sup>[20]</sup>、「自動化機械力の導入や、建設工法として各種プレハブ工法の推進」のニーズがあると指摘している<sup>[21]</sup>。すでに 1980 年代後半には、労働力不足等の課題解決に向けて工業化などの取り組みにつながるシステムの開発がなされており、時代はバブル景気の真っ只中だった。開発されたシステムは施工図 CAD システムと鉄筋加工工場における鉄筋の自動組立装置で構成されており、「施工図 CAD は、プレハブユニットの作図等の作業をパソコンにより省力化を図る、という本来の目的に加え、その情報をもとに自動組立装置の運転に必要なデータをバーコードに変換して出力する」とした構成であった<sup>[22]</sup>。図 2-3 に示すように施工図 CAD のデジタル情報は属性情報として CAM と連携できるように処理されており、すでに BIM/ICT の活用を示唆するひとつの視点として生産情報の活用方法が示されていたと言える。さらに「図面作成時の手間を極力省くため、配筋をパターン化」する試みも合わせて実施しており<sup>[23]</sup>、生産情報を扱うシステムの運用には標準化も同時に検討する必要性を示していた。

1990（平成 2）年には汐川らが超高層 RC 造における施工の自動化として鉄筋工事に着目して管理業務や作業における自動化・省力化に関する報告をしている<sup>[24] [25]</sup>。太径の鉄筋を対象にしてシステム開発に要求される機能や制約条件、課題を次の通りに整理した<sup>[26]</sup>。

- ・多数の太径鉄筋を限られた断面内に配置できるか事前に鉄筋の干渉を確認し、正確な位置を決めること。
- ・適正なブロック分割計画を立案し、各ブロックの詳細な鉄筋加工情報、配筋情報を作成すること。
- ・鉄筋の積算、発注、在庫管理業務のより正確かつ迅速化、効率化が必要。
- ・オーダー生産方式のため事前に相当量の鉄筋を正確に発注する必要がある。またミリ単位長さでの鉄筋発注により、現場の切断作業の低減。
- ・鉄筋加工場が現場から離れているため、現場工程に合わせて必要な加工、運搬、地組ができるように綿密な作業計画・管理が必要。
- ・1 本当たりの曲げ加工数が多いことや重いことから、高精度かつ高能率の加工装置や組立装置が必要。

鉄筋の干渉を解消する必要性が最初に述べられおり、当時から鉄筋の納まりを早期に決めることが鉄筋工事における効率化のポイントのひとつであることがわかる。また鉄筋の加工情報や配筋の情報を含めて生産情報を確定させることも目的としていた。総合建設工事会社として鉄筋加工に関する生産情報も、システムにおいて重要な位置づけであったと言える。これらの課題を踏まえて開発されたシステムでは「作業の上流である施工計画や作業計画、同管理までを含めた広範囲における情報の一元化が不可欠になってきており、さらにこれに基づいた作業システムが求められている」と要求事項を解決させる考え方を示しており<sup>[27]</sup>、生産情報の連携がシステム開発には必要不可欠であることをすでに示唆していた。システムの概要を図 2-4 に示す。「構造設計や積算システムなど上流の業務で作成されたデータを利用してさらに柱、梁の鉄筋断面リストや鉄筋位置データ等を付加しながら建物全体の鉄筋の構成を把握して、鉄筋用プロジェクトデータベースの原形を構築」<sup>[28]</sup> とした。データベースを活用することで「①鉄筋シミュレーション、②組立ブロック分割、③配筋図作成、④加工図作成、⑤発注リスト作成、⑥作業指示書作成」が可能としており<sup>[29]</sup>、生産情報を連携させることで鉄筋工事における省力化効果が高いことを示した。さらに作業指示書に従い、鉄筋加

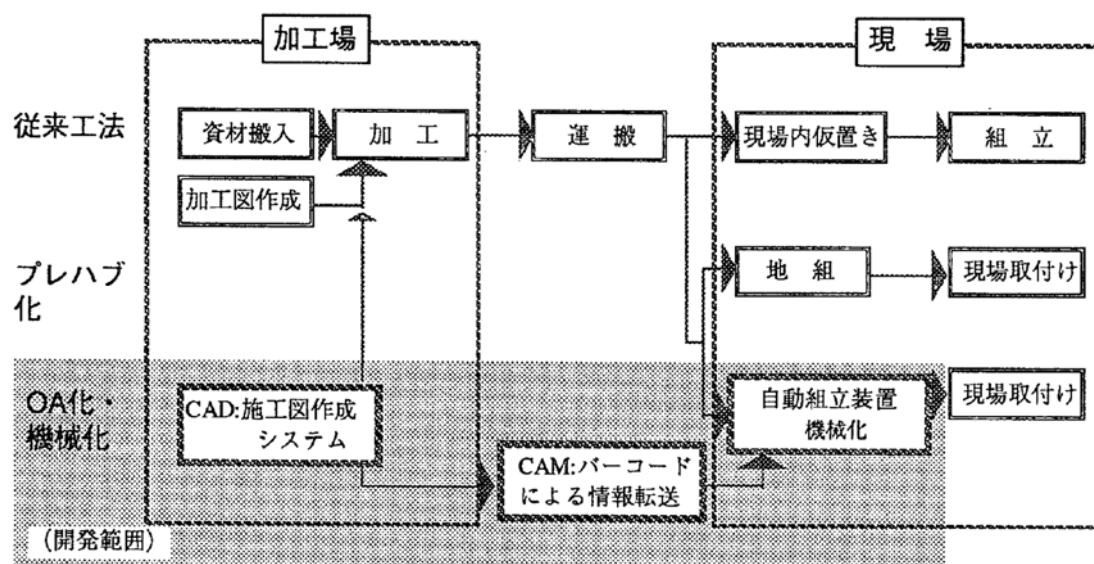


図2-3 鉄筋工事の流れと開発の範囲

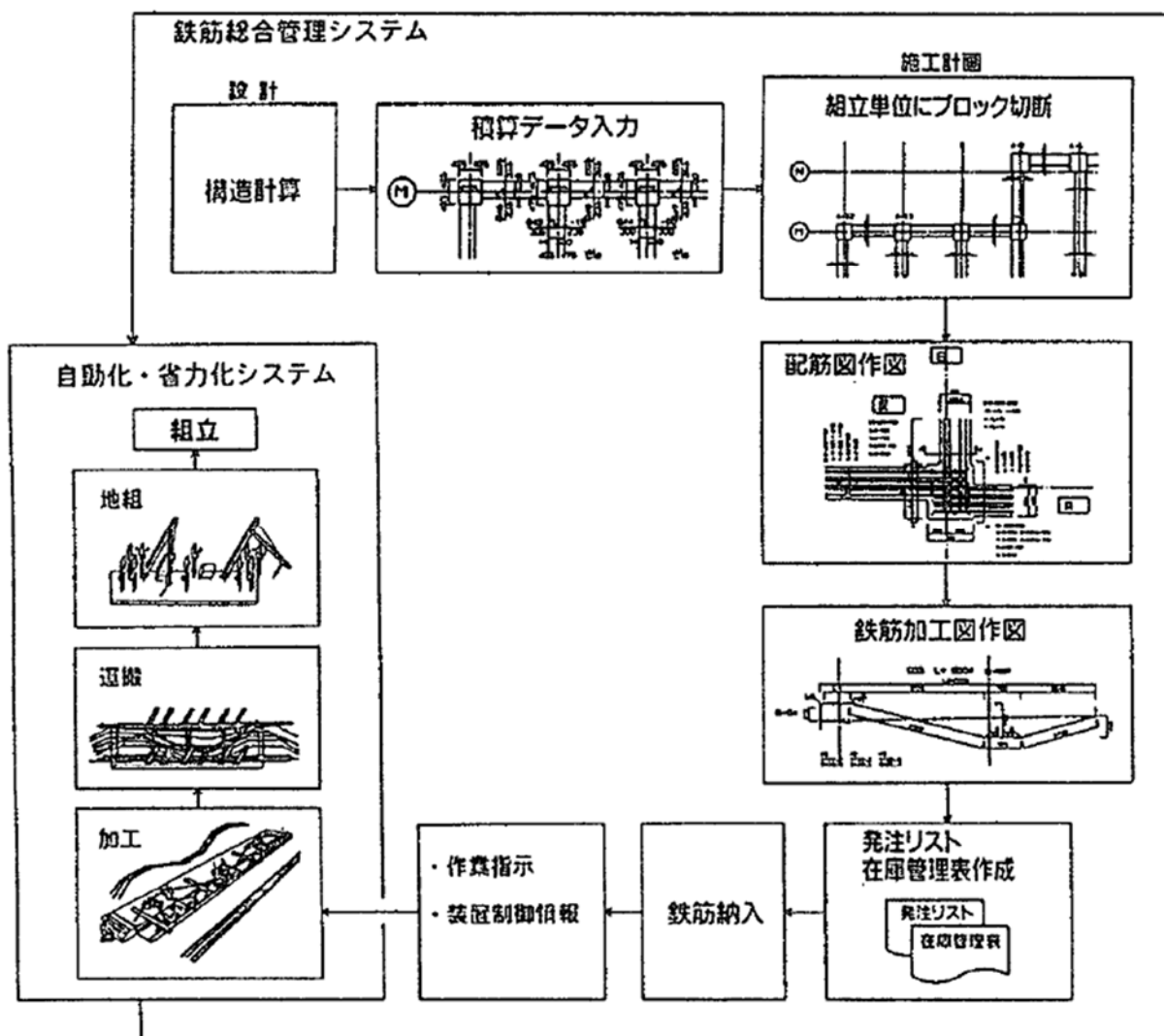


図2-4 鉄筋工事自動化システム概要

工工場ではX型鉄筋の加工から組立までの作業（曲げ加工、地組み等）を自動化・省力化できる装置の開発もなされ、加工作業が大幅に省力化と作業時間の短縮につながったと報告している<sup>[30]</sup>。

## 施工系

1972（昭和47）年に渡辺が鉄筋工事における稼働分析と運搬管理に関する調査研究をしている<sup>[31]</sup>。それ以降も作業分析は継続して調査されており、例えば1989（平成1）年には木元らが超高層RC住宅を対象として作業分析を報告し<sup>[32]</sup>、「工数を左右する要因として繰り返しによる習熟効果だけでなく、使用機械、治具の改良および作業員のチーム編成の変化などがあること」を示した<sup>[33]</sup>。それ以降は建物全体における作業分析の報告は見られないが、2016（平成28）年には結束作業に特化した作業分析が三枝らから報告されている<sup>[34]</sup>。2012（平成24）年には松田らが鉄筋工事における分業の実態を分析している<sup>[35]</sup>。分析の結果「生産情報が複数の主体の間を行ったり来たりする循環型プロセスを通じて生産情報が確定している」ことを示した<sup>[36]</sup>。生産情報が総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社との連携プロセスにより確定していることを明らかにし、そのプロセスで生じる変更が元下請間の契約におけるリスクになる可能性を指摘した。

## 鉄筋加工工場系

鉄筋加工工場については1990年代に中村らが複数の鉄筋加工場の利用形態や平面構成から加工工場の特徴と傾向を分析している<sup>[37]</sup><sup>[38]</sup><sup>[39]</sup>。分析の結果として「棒鋼や鉄筋の運搬経路および機械設備の稼動において、無駄や支障がないように棒鋼の保管場所、加工する場所、鉄筋の置き場所の位置を検討する。（中略）棒鋼や鉄筋が滞らずに、できるだけ一方向に運搬され、作業者が機械操作や運搬歩行できるように、機械設備の配置を検討する」と鉄筋加工工場における配置計画の在り方を示した<sup>[40]</sup>。

これ以降、鉄筋加工工場に関する報告では、2013（平成25）年の松田らによる離散系シミュレーション<sup>[41]</sup>を活用した鉄筋加工工場の生産性を考察した<sup>[42]</sup>。「作業員がクレーンに拘束されて加工量が大きく落ちる」と加工プロセスのボトルネックを示した<sup>[43]</sup>。

## 鉄筋専門工事会社系

新妻らが関東地方の鉄筋専門工事会社に対して実施したアンケート調査の結果を報告している<sup>[44]</sup>。調査項目は、所属する会社の従業員構成および施工実績などの概要や施工前の契約形態、積算、施工段階のJASS5の規定に関する理解度、施工図および加工帳、配筋検査などだった。BIM/ICTの活用に関する調査はなされていないが、施工図および加工帳の作成に適している人物像については、現場での経験年数が5年以上とする調査結果を示した。

## 品質管理系

品質確保の仕組みとしては徳田らが2011（平成23）年に日本、中国、韓国、台湾の建築プロジェクトにおける国際比較を報告している<sup>[45]</sup>。鉄筋工事において作成される躯体図、配筋図、柱リスト、配筋詳細架構図、鉄筋加工帳に着目し、各国における図面作成者や図面チェックを行う担当者の違いを明らかにした。鉄筋工事に関連する図面作成者として「配筋図、柱リストは各国とも設計者が作成、鉄筋加工帳についてはサブコンが作成し違いはみられなかった。しかし日本の鉄筋詳細架構図にあたるものは、中国、韓国では作成されていない。また日本ではゼネコンによる図面作成が通常行われるが、他の国においてはゼネコンが図面を書く慣習が薄い」とし<sup>[46]</sup>、「日本にはプロジェクトごとに

図面を書く傾向があるが、中国では標準図通りに施工を行い図面を省略する傾向」があると指摘した<sup>[47]</sup>。

## 2-3 配筋検査における BIM/ICT の活用に関する考察

### 日本建築学会において発表された配筋検査システムの開発に関する論文

配筋検査システムの開発は、すべてが各社のオリジナルシステムとして独自で開発をなされているが、システム開発の基盤は他産業において開発されたコンピュータ関連技術の上に構築されている。報告された 26 編をシステム開発の基盤とした技術により 6 項目で分類をすることができる。以下に時系列で初めて発表された論文数と発表年を示す。

- ① 携帯情報端末 (5 編) 2003 (平成 15) 年
- ② 画像処理 (6 編) 2008 (平成 20) 年
- ③ IC タグ (2 編) 2009 (平成 21) 年
- ④ 3 次元計測・点群データ (7 編) 2010 (平成 22) 年
- ⑤ 電磁誘導法 (5 編) 2010 (平成 22) 年
- ⑥ 音声認識 (1 編) 2011 (平成 23) 年

発表数としては 3 次元計測・点群データ処理に関する報告が 7 編と一番多く、続いて画像認識の技術を活用した報告が 6 編と続き、次いで携帯情報端末の 5 編となった。

#### ① 携帯情報端末

初期にシステム開発の発表がなされたのは 2003 (平成 15) 年まで遡ることができる。平林らは「配筋検査の質と効率の向上を目的として配筋検査システムの開発に着手」していた<sup>[48]</sup><sup>[49]</sup>。配筋検査システムは携帯情報端末とペンで構成されており、部位に応じて表示された検査項目に従い検査する。検査結果はペンで入力し、是正結果や紐付けられた写真とともに印刷できる機能があった。その結果、「現場の検査時間を約 4 割に削減」できたと報告している<sup>[50]</sup>。一方、配筋検査システムで表示される図面は、構造解析ソフトウェアからデータを読み込み部材の断面リストを作成できるとしていた。構造解析ソフトウェアを基に「設計で作成し利用している CAD データを利用することとした。これにより、設計・施工を通した業務の効率化と正確な情報伝達による躯体品質の向上を目指す」とした<sup>[51]</sup>。構造図の CAD データと連携することで業務の効率化を目指しており、配筋検査に特化したシステムであったとしても、生産情報の連携は必要不可欠な考え方を指摘したものと言える。次いで 2006 (平成 18) 年には香月らが携帯端末による検査システムを発表している<sup>[52]</sup>。開発の目的は「現地での検査業務から、その後の写真整理・帳票作成業務まで鉄筋検査業務全体の効率化を図るとともに、検査の確実性を向上し、より高品質な施工に繋げるため」<sup>[53]</sup>とされていた。配筋検査後の帳票整理・作成の業務にシステムの適用を目指していた。基盤となる技術として携帯情報端末の使用を想定しており、平林らが開発したシステムと同様な内容と言える。異なる部分は携帯情報端末で参照する図面や部材断面リストの入力作業が属人的に発生していることであり、構造図との生産情報の連携は見られない。システムを活用する効果としては「配筋写真の撮影、整理作業の削減により、鉄筋検査業務の省力化に大きく寄与」<sup>[54]</sup>できたとしており、配筋検査作業全体として「約 40%の省力化効

果が得られた」<sup>[55]</sup>と報告している。さらに2009（平成21）年にも鈴木らが携帯情報端末を活用した配筋検査システムを報告している<sup>[56] [57]</sup>。システム開発の目的は、従来では配筋検査の是正結果の記録が中心であったが、トレーサビリティの重要性から全箇所を検査記録が求められてきていると指摘し、「全数検査記録時の検査記録業務の負荷を軽減するため」<sup>[58]</sup>としている。携帯情報端末で使用する図面類は、「配筋検査に必要な構造図を登録する。図面はCADデータをイメージデータに変換するか、紙図面をスキャナーなどで取り込む」<sup>[59]</sup>としており、デジタルの生産情報の連携とは言いがたい形態の運用であった。さらに検査箇所の設定では「構造図を確認しながら手作業で行うので、導入前準備の工数の6割以上を占めた」とし<sup>[60]</sup>、事前の設定作業の効率化に課題があったと言える。配筋検査の作業自体は携帯情報端末から必要な図面を呼び出し、検査して写真撮影をするという一連の業務は残っており、平林らや香月らの取り組みと基本的には同様なシステム開発と言える。工事写真が検査箇所に自動的に仕分けされる機能を生かすために工事写真を撮影する際に該当箇所を示すキーワードを選択する機能の必要性が示された。システムを活用した効果は「施工現場での検査と工事写真の整理に工数削減効果が大きかった」とし<sup>[61]</sup>、配筋検査に関連する業務全体で「約35%の工数を削減できた」<sup>[62]</sup>と報告している。

## ② 画像処理

初期のシステム開発として報告されたのは、2008（平成20）年に遡ることができる。蔡らは配筋検査の測定手段としてステレオカメラを適用した配筋測定について報告した<sup>[63]</sup>。「鉄筋の組み立て工事の品質管理における配筋状態の測定手段としてステレオカメラを用いた撮影手法の手順の確認および鉄筋位置の測定精度検証」を示すことを目的としており<sup>[64]</sup>、壁の配筋を題材として測定精度の検証を実施した。結果は「実測値と測定値の距離差の平均は1.9mm、標準偏差は1.5mmであり、最大値は5.7mm、最小値は0.3mmであった。（中略）その距離差は画面の中央より左右方向に離れている鉄筋において大きくなる傾向であった」と報告している<sup>[65]</sup>。壁の鉄筋が対象であったものの測定の誤差を解消させない限り、他部材を含めて実務への適用は難しいと思われるが、画像認識を適用させるための知見を示した。次いで2012（平成24）年には池田らが画像処理技術による配筋計測システムの開発を報告している<sup>[66] [67]</sup>。開発の目的は「配筋検査時に施工ミスを確実に検出し、検査精度を大幅に向上させるため、配筋状態を正確に計測できる」ことにあった<sup>[68]</sup>。従来の配筋検査に関するシステム開発では、検査結果の帳票類の作成や配筋写真整理の効率化に重きがあり、配筋検査そのものに関する作業は、検査を実施する技術者の目視に大きく依存していたことは否めない。そこで「デジタルカメラで撮影した配筋写真に対して、画像処理技術を応用して配筋状態を計測する」技術の開発にいたったようである<sup>[69]</sup>。システムの概要は、撮影した画像を無線LANでパソコンに自動転送し、専用のアプリケーションで鉄筋を計測して結果を表示させる。計測前に入力された配筋の情報と照合させ、計測結果として「鉄筋本数、径、ピッチがそれぞれ得られる」とした<sup>[70]</sup>。屋外における異形鉄筋を使用したスラブ筋と壁筋に適用をした結果「配筋状態を正確に計測し、検査者に提供することで誤配筋や検査ミスの防止に役立つことを確認した」と報告している<sup>[71]</sup>。しかしながら、配筋検査の対象となる部位は柱や梁の部材、開口補強筋などがあるだけでなく、検査項目にはかぶり厚さや鉄筋材質などと多岐にわたっており、画像認識だけではすべての配筋検査を包含していることにはならず、配筋検査全体への実用化には課題が多いことも示した。続報として2014（平成26）年にはシステム改良の実施について坂上らが報告をしている<sup>[72]</sup>。システムの改良範囲は「ねじふし

鉄筋への対応、斜め撮影時の配筋写真の計測精度向上、認識した鉄筋を鉄筋径ごとに色分け表示、簡単にセットできる背景」の4項目を示した<sup>[73]</sup>。さらに検査結果の表示は工事現場で持ち歩くことができるタブレット端末に対応できるようにもしていた。適用できる配筋検査の項目に大きな変化は無いが、柱筋、壁筋、スラブ筋への配筋検査に適用した結果、「鉄筋種や撮影方向によらず配筋を正確に判定できた」と報告した<sup>[74]</sup>。

2015（平成 27）年には蔡らが 2008（平成 20）年に続いてカメラ画像を適用した配筋検査について報告をしている<sup>[75]</sup>。「これまでの手法では、一般のカメラでの撮影を基本とするため、柱や梁のように立体形状の部材の場合は、一枚の画像で全ての鉄筋の存在を確認することは困難であった」として<sup>[76]</sup>、携帯情報端末に全周囲カメラを取り付けて画像の撮影を提案している。柱主筋を対象として試行したところ「専用に作成したプログラムを用いて本数と位置を求めた結果、色マーキングの認識率は8割であった」と報告した<sup>[77]</sup>。梁部材についても「鉄筋が型枠中にセットされるため、従来の方法では、下端主筋を撮影することは簡単ではないが、本方法ではスラブの上から全ての主筋を映す画像が得ることができる」としている<sup>[78]</sup>。

### ③ IC タグ

2009（平成 21）年に中川らが配筋検査に IC タグと携帯情報端末を使用したシステムの開発を発表している<sup>[79][80]</sup>。基本的には携帯情報端末の項で述べたように同等の機能がシステム化されているが、配筋検査をする前に IC タグを読み込ませる行為と組み合わせていることが異なっていた。具体的に IC タグの役割は「①検査行為に対する許可を与えること、②検査項目等の情報を引き出すための ID を提供すること、③検査結果に ID を与えること」の3点をあげている<sup>[81]</sup>。その結果、携帯情報端末には平面図や検査画面が表示され、撮影された写真や検査記録が ID と紐付けられる仕組みであった。実際の検証効果としては「①検査には時間を要するが、事務所作業の時間短縮が図れる、②検査部位の情報(写真、メモなど)が自動的に関連付けられるので作業ミスを軽減することができる、③所定の場所に貼った IC タグ情報を読み取ることができるので、工事中に必要な情報を迅速に入手できる」と報告している<sup>[82]</sup>。本開発においても配筋検査後の帳票類を作成する業務の効率化に効果があることが示されたが、事前の設計図等の登録作業に時間を要することも示した。

### ④ 3 次元計測・点群データ

2010（平成 22）年に竹内らが点群計測による配筋検査を提案している<sup>[83]</sup>。その中で点群計測を選んだ理由として「形状計測としては、ステレオ写真計測も考えられるが、配筋のような複雑な対象では自動的に3次元情報を再構成することは困難」と指摘した<sup>[84]</sup>。取得した点群データと設計情報との照合は、事前に構造図から読み取った鉄筋の位置に関するテンプレートを準備し重ね合わせることで判定をおこなっていた。計測試験の結果、自動確認ができることを報告しているが、課題として「設計情報との効率的な比較として BIM 等による設計情報の充実、装置の運用性能向上・小型化・位置管理等」を示した<sup>[85]</sup>。おなじく 2010（平成 22）年には石田らも点群データによる配筋状況を把握できるシステム開発を発表している<sup>[86]</sup>。開発されたシステムは配筋検査そのものに活用するのではなく、3次元スキャナーを使用して得られた物体の表面上の点群と物体がない所に発生した点群（ノイズ）の解析手法から鉄筋を構成する点群の抽出をすることができるシステムの開発であった。単純に3次元スキャナーを導入するだけでは配筋検査には適用が難しく、点群データを効率的に処



理する技術も必要であることを示した。続けて石田らは2012（平成24）年に点群データから帯筋の抽出について報告している<sup>〔87〕</sup>。考察として「点群データは鉄筋を片面方向から計測して取得したデータであるため、奥側の鉄筋は影になってしまい、特にフープ筋の奥側が明瞭に計測できていない場合が多い」と指摘し<sup>〔88〕</sup>、機器による点群データ計測の限界点を示した。

2011（平成23）年には福田らが3次元スキャナーと写真計測の寸法データの比較を報告している<sup>〔89〕</sup>。柱主筋の間隔と鉄筋径を対象として3次元スキャナーで測定した箇所を手計測と写真計測により数値を比較し、結果として「鉄筋間隔において、手計測のデータが±1mm程度の精度で計測できていたとすると、（中略）写真計測と点群データの寸法が4mmほど大きく出ている」と報告し<sup>〔90〕</sup>、鉄筋径に関しては「±1mm程度に収まって」いるとした<sup>〔91〕</sup>。手計測と比較しても精度に課題があり、例えば鉄筋材料のリブなどの判定が機器類では難しいことも示した。2010（平成22）年に五十嵐らは3次元CADのデータと3次元スキャナーで取得した3次元形状情報を重ね合わせることで、配筋検査を実施する検討が発表されている<sup>〔92〕</sup>。「従来の品質検査が検査員の目視に頼った方法で行われているために起こる見落とし」を解消させるために<sup>〔93〕</sup>、「検査工程を自動化・省力化することで生産性の向上を図る」ことを目的としていた<sup>〔94〕</sup>。実験により3次元CADと3次元スキャナーの照合は有効であると報告したが、課題として「CAD情報と点群情報との目視照合では、現在の現場目線による検査と同様に見落としが発生する可能性がある」と指摘し<sup>〔95〕</sup>、自動照合による検査の必要性を指摘した。

## ⑤ 電磁誘導法

配筋検査そのものに使用する内容ではないが、2010（平成22）年に陣内らがコンクリート打設後の鉄筋のかぶり厚さを非破壊検査しなくても計測できる測定装置のシステム検証を実施している<sup>〔96〕</sup><sup>〔97〕</sup>。複数の測定装置を準備し、鉄筋のかぶり厚さの測定精度を検証した結果、JASS5 T-608:2009「電磁誘導法によるコンクリート中の鉄筋位置の測定方法」の規定内で測定できる装置が複数あることを示した。

## ⑥ 音声認識

2011（平成23）年に香月らが音声入力による配筋検査システムの開発を報告している<sup>〔98〕</sup>。従来、配筋検査の結果を手書きで携帯情報端末に記録をしていたが、報告されたシステムでは「現場での記録作業を音声認識に置き換え、自動記録を可能」としており<sup>〔99〕</sup>、音声入力には騒音抑制型イヤホンマイクを採用していた。その結果「検査の下準備（現場用チェックシート作成）や、検査後の結果帳票の作成業務が効率化でき、検査業務全体で30～40%の効率化を図ることが出来た」と報告している<sup>〔100〕</sup>。

---

## 2-4 結び：鉄筋工事におけるマネジメント技術の在り方

### （1）日本建築学会の論文以外における鉄筋工事に関する動向

日本建築学会において報告された論文以外で鉄筋工事のシステム開発としては、松田らのシステム開発をあげることができる<sup>〔101〕</sup>。開発されたシステムは「鉄筋コンクリート工事の全生産プロセスにおいて、BIMモデルを軸に一貫したデータ連携を行い品質の確保・生産性の向上を支援する」こ

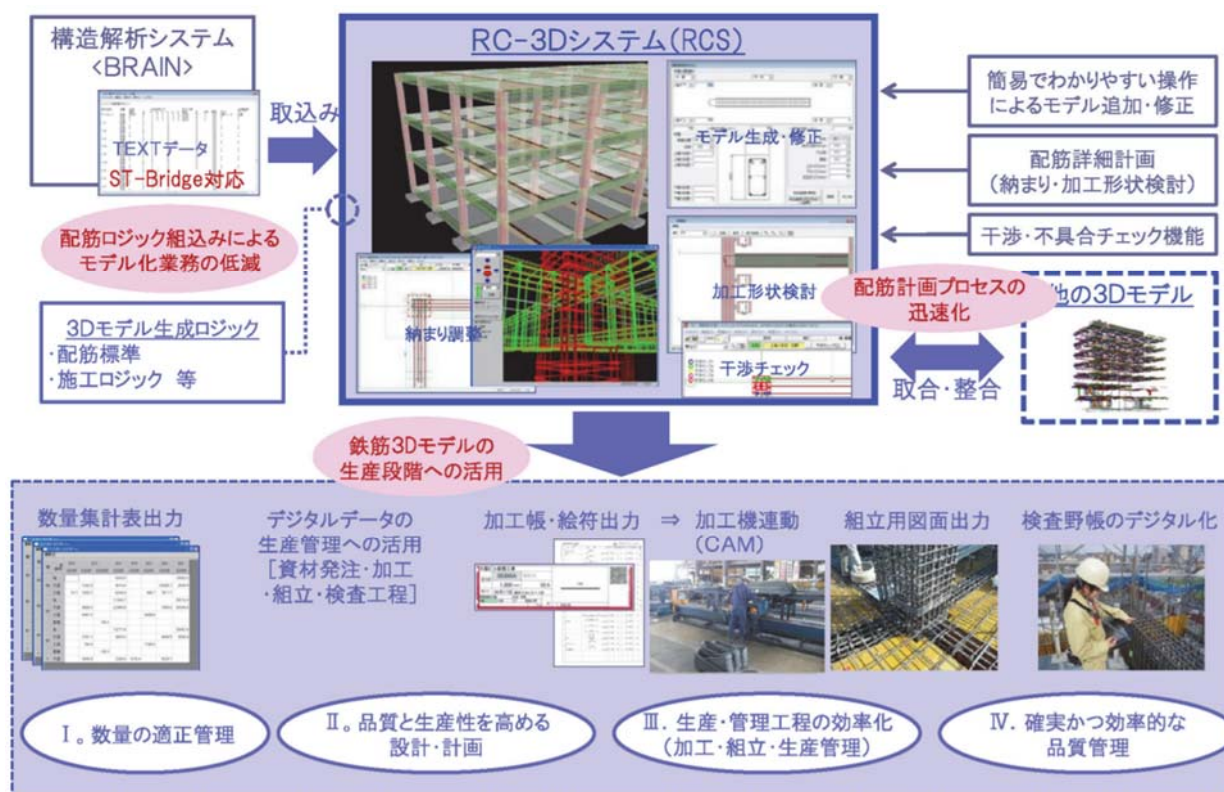


図2-5 システムの全体構想

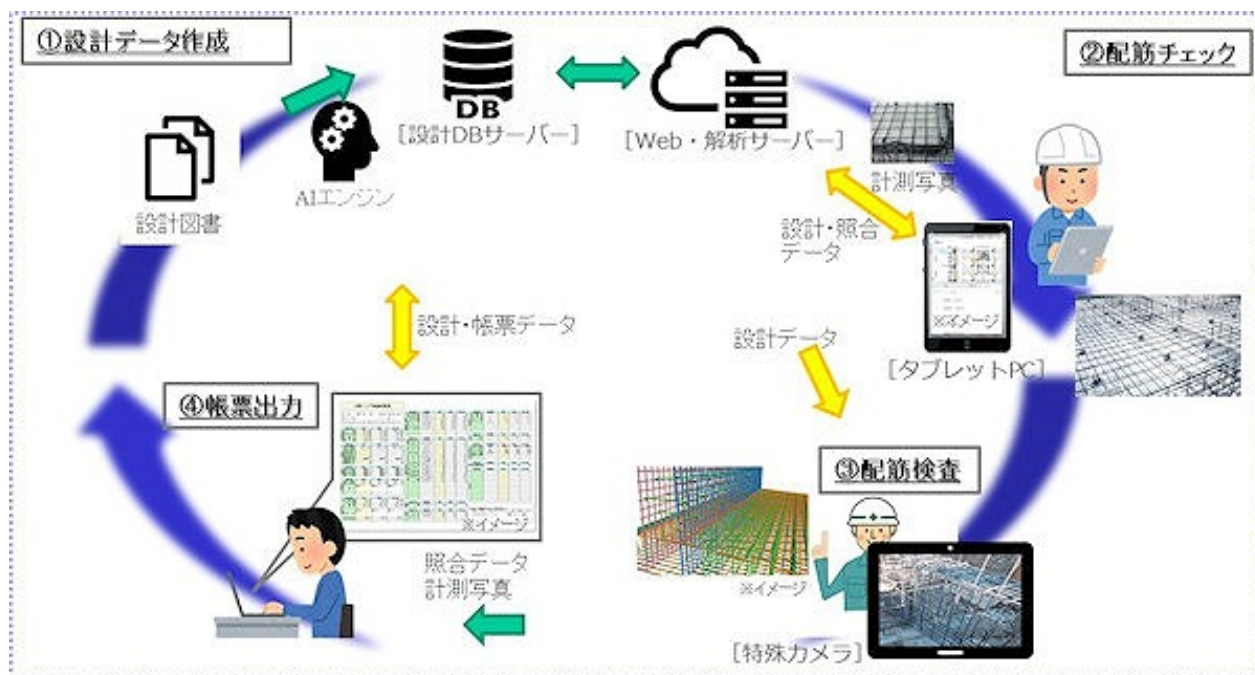


図2-6 実装のイメージ図

とができるとしている<sup>[102]</sup>。図 2-5 に示すシステムの全体構想では、ひとつのシステムですべての生産情報を扱うことを前提として開発されており、①構造解析ソフトとのデータ連携、②詳細配筋の半自動生成と簡易編集機能、③定着寸法設定機能、④トップ筋と通し筋の入れ替え機能、⑤多段筋追従機能、⑥梁貫通孔機能、⑦加工図・加工帳機能、⑧配筋検査機能、等の機能が開発された<sup>[103]</sup>。このようにオリジナルのソフトウェアとしてシステム開発がなされた背景は「市販 BIM ツールはこれまで存在していない」ことを指摘している<sup>[104]</sup>。実際の適用により「品質確保や生産性向上などの面で一定の効果を得ている」と報告し<sup>[105]</sup>、構造設計解析データとの連携により配筋納まり図の作成から加工帳まで一貫して生産情報を活用する効果を示したものと言える。

同様に配筋検査に関するシステム開発も継続されている模様である。例えば 2020 (令和 2) 年 3 月には AI (人工知能) や画像解析を応用した配筋検査システムの研究開発が、総合建設工事会社 20 社<sup>[106]</sup> で進められていることが発表された<sup>[107]</sup>。実装イメージを図 2-6 に示す。システムは施工管理者の習熟度によらず、効率的で正確な配筋検査を目指していた。システムの概要は、携帯情報端末を使用して配筋検査をする配筋チェック機能と特殊カメラ等を使用して検査効率を改善する配筋検査機能の 2 つが示されている。配筋チェック機能では、配筋写真として撮影した結果をディープラーニングと画像処理により鉄筋の径や本数、ピッチ等を算出する仕様となっていた。配筋検査機能では配筋映像を撮影することで 3 次元的な配筋形状を自動的に計測し、これらのデータを配筋検査の項目に変換して照合し、検査帳票に自動入力をさせることで半自動化された配筋検査を実現させるとしている。配筋検査の基準となる設計データは AI エンジンによりデータベース化するとした。使用する技術の基盤として前節で述べた携帯情報端末等の 6 項目に AI が新たに加わったと言える。いままで開発されてきた携帯情報端末や画像処理、3 次元計測等の技術を踏襲したシステムと言えるが、従来から指摘されているように検査する鉄筋の径や位置に関する精度の確保等に課題がどこまで解消できているのかを見定める必要があろう。

## **(2) 鉄筋工事に適用されてきた BIM/ICT に関する技術開発とは何だったのか**

発表されたシステム開発において共通していることは、設計図書に記載されている生産情報を連携して後工程の作業の効率化を試みていることである。すでに 1990 (平成 2) 年前後には CAD/CAM に代表される工業化に関心があった模様であり、設計図書を入手してから生産情報を鉄筋加工工場まで連携させる取り組みが報告されていた。それ以降は鉄筋工事の生産プロセス全体で活用するようなシステム開発は影を潜めてしまい、配筋検査に代表されるように生産プロセスの断片的な業務への適用に関心が移った。これはバブル経済の崩壊や平成不況・IT バブル崩壊のような経済状態に大きく影響を受けていることも関係していると思われる。ところが近年ではデジタル情報の活用に注目が集まるにともない BIM/ICT を活用した技術開発があらためて注目されているが、いまだ生産プロセス全体にわたる生産情報の連携手法を確立して、試行の領域を超えることはできていないと思われる。

一方、生産プロセスを対象としたシステム開発は、総合建設工事会社が担当しているためか、鉄筋専門工事会社が担ってきた鉄筋の加工図や加工帳までを包含したひとつの完結したシステムの構築を目指してきたと言える。そのため開発されたシステムのユーザーは、システム開発を担った総合建設工事会社の技術者がすべての生産情報を作成し確定させて業務を進めることを前提とするシステ

ムのように読み取れる。これらのシステムにより確定させた生産情報は、鉄筋専門工事事務所が総合建設工事事務所からそのまま受け取り活用することを想定していると考えられる。鉄筋の加工図や加工帳に関する生産情報を鉄筋専門工事事務所がそのまま使用して鉄筋加工ができるまで総合建設工事事務所が責任を持つことまでは明確にされていない。そのため、たとえ生産情報がデジタル情報として連携できていたとしても、受け取った側で大幅に加筆修正が必要になるようなことがあれば、システムで作成された生産情報には何の意味もない。加筆修正により鉄筋の配置位置が変わってしまうことで、総合建設工事事務所が作成した生産情報との乖離が生じる。鉄筋専門工事事務所から修正された生産情報を総合建設工事事務所に戻さない限り作成された鉄筋の配置は実際に配筋・組立される状況と異なってしまうことも容易に想像できる。

鉄筋生産情報の作成を総合建設工事事務所が開発したシステムだけで完結してしまうことは、鉄筋工事に参画している鉄筋専門工事事務所の職長や技能労働者、鉄筋加工工場で実際に加工を担当する技能労働者を含めた鉄筋工事全体で、正しい生産情報を連携する手法にはなっていないと言える。このようなシステム開発が鉄筋工事における生産情報の連携が定着できなかった理由のひとつと考えられる。鉄筋専門工事事務所にとってみれば、中途半端な形式で連携したデータを修正するよりも、自分たちで正しい鉄筋生産情報を作成する方がよっぽど効率化できるであろう。そのため、総合建設工事事務所と鉄筋専門工事事務所が生産情報を連携するシステムを開発する視点は、鉄筋工事のすべてのプロセスにおいて生産情報の作成や活用するユーザーを明確に定義し、作成された生産情報の連携手法や生産情報の確定度を明確にできるシステム開発を進めることが重要であると指摘できる。すでに松田らが指摘しているように、正しい生産情報は、複数の主体の間を行ったり来たりする循環型プロセスを通じて確定しており<sup>[108]</sup>、正しい生産情報の連携は鉄筋専門工事事務所に一方的にデジタル情報を渡すことではなく、お互いに鉄筋工事の生産プロセスにあわせて共有しながら確定させ、チェックできるような仕組みづくりをシステム開発と一緒に構築することが肝要と考えられる。

オリジナルで開発されたシステムは社外を含めたユーザーも使用できるような汎用性が乏しいことも指摘できる。総合建設工事事務所側では自社内における物件への適用により生産性の向上や不具合の低減を目指していると考えられるが、生産情報の連携先である鉄筋専門工事事務所の取引先は総合建設工事事務所1社ではなく複数の企業と工事の請負契約をしており、彼らの生産性向上の視点から考えると取引先の総合建設工事事務所ごとに生産情報の連携仕様が異なることは避けたいはずである。鉄筋工事全体における生産情報の連携には、正しい生産情報を誰が作成し、誰がどのように使用することを想定しているのかを明確にして、すべての参画者が扱える汎用性のあるデータ形式で連携させることが、鉄筋工事全体における生産性の向上や品質の不具合の低減に資するマネジメント技術になるものと考えられる。

配筋検査に関わるシステムについても1970年代から概観してきた。システムの多くは一部の工事現場において試行され一定の効果が示されてきたものの一長一短があり、当たり前には活用されているシステムにはなりきれなかった。総合建設工事事務所毎に似たようなシステムが開発され推進されてきたが、普及についても圧倒的に採用されているとは聞こえてこない。従来からあるようにチェックシートに手書きで検査記録を残す手法がいまだ主流である。近年では技術者の労働時間を削減するために自主検査と写真撮影・整理の分業化が始まっている。特に後者の業務を専門に担当する外注

業者が存在しており、彼らは自分たちが扱いやすい汎用性のある写真整理システムを活用する。総合建設工事は写真帳として標準的な書式で整理された成果物を受け取るのである。そこにも分業化にともなうシステム活用の部分最適が受け入れられているのである。

一方、AI と組み合わせた配筋検査システムの提案には、今までの技術開発で指摘された課題の解決につながる事が期待されるが、発表された資料からは過去の課題をどのように乗り越えるのかは示されていない。汎用性のある実用化されたシステムにどこまで昇華できるかを今後も注視する必要があるだろう。

従来から何度も発表された配筋検査システムの課題点は以下の3点として整理することができる。

- ① 配筋検査で発覚する不具合をチェックする作業は重要であるが、このプロセスでの発覚では遅い。結果として技能労働者による是正作業につながり、鉄筋工事全体の生産性向上には繋がりにくい。
- ② 配筋写真の整理や検査帳票のとりまとめには一定の効果があることが報告されていた。しかしながらシステムの適用では、逆に初期設定として構造図の事前登録や部材断面リストとの紐付け作業に労力を要しており、事前準備に時間がかかっていた。事前準備では設計図書の生産情報がデジタル情報として連携して活用する運用になっていない。特に構造図の部材断面リストと部材図との紐付け作業が煩雑である。
- ③ システムの適用により従来と比較して配筋検査作業全体の約40%の作業手間が軽減されると報告されたが、配筋検査の作業自体は目視確認になるため検査自体の省略はできない。工事監理者の配筋検査では主観的な指摘からは正指示が発生するが多い。配筋・組立の作業が終わらないと完成形のイメージがわきにくい事が、配筋検査における指摘につながっており、配筋検査システムの導入では何の解決にならない。

配筋検査システムを開発する目的は、鉄筋工事の品質確保と示されている場合が多かったが、この業務だけをシステム化しても品質確保や鉄筋工事全体の生産性向上には不十分であった。システムが対象としている範囲が、検査帳票の作成業務の効率化や検査箇所の検査漏れに寄与する技術であったことを指摘できる。新妻らが鉄筋専門工事会社からのアンケート調査で指摘している検査時の理不尽な指摘事項への対応や配筋検査時に発覚する配筋不具合の是正手間に関しては興味の対象外だったと言える。検査時に指摘される不具合事象を、配筋・組立の作業前に解決させるのではなく、配筋検査時に検査項目を見落とすことが無いように、かつ検査帳票を容易に作成することが配筋検査システムに求められてきた基本要件であった。しかしながら、携帯情報端末には目視確認後に手入力による作業が発生しており、不具合事象を確実に防ぐまたは見落とさないための完全なる仕掛けとはなっておらず、結局は従来型のように目視確認をして紙の検査記録用紙に記載することの方が効率的との判断も働いて普及が遅れている可能性も考えられる。

配筋検査システムを稼働させる前には、配筋検査のためだけに事前作業として構造図の登録作業が発生していることも指摘できる。構造図から始まる生産情報の連携としてCAD データを読み込むような考慮をしているシステムも見られたが、配筋・組立にたどり着くまでには多くの正しい生産情報が作成されている。そのプロセス内で間違いが発生しても、誰も気がつかず配筋・組立作業が終

わってから発覚するのであれば、鉄筋工事全体の生産性が向上するとは言いがたい。これらを解消させるには、鉄筋工事の生産プロセス内で作成される生産情報の不具合を無くすだけでなく、分業化が進み生産情報の作成にも関与している鉄筋専門工事会社も正しい生産情報を作成することが必要になる。一方、画像認識や点群データ取得による配筋検査自体へのシステム開発もなされてきた。これらも同様に総合建設工事会社内で完結されたシステムにおいて作成される生産情報や図面の状況、配筋検査への適用をそれぞれの関心の範囲で扱っている。

システムの要件を定義する際には、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社あるいは鉄筋加工工場との役割分担や生産情報のフローを明らかにして、正しい生産情報を誰がどのように作成して、次工程で活用するのかを明確したシステム開発を進めることが肝要と思われる。

## 註

- [1] 日経 BP 社: 特集: 品質崩壊の足音, 日経アーキテクチュア 2014-5-25 No.1024 号, pp. 32-49, 2014. 5
- [2] 朝日新聞デジタル: 30 ヲ所超, 新たに施工不良か 横浜・西区の傾きマンション, 朝日新聞社, 2016. 3. 2
- [3] 参考文献 [1] 前掲書, p. 40
- [4] 参考文献 [1] 前掲書, p. 41
- [5] 参考文献 [1] 前掲書, p. 42
- [6] 参考文献 [1] 前掲書, p. 42
- [7] 参考文献 [1] 前掲書, p. 42
- [8] 参考文献 [1] 前掲書, p. 44
- [9] 参考文献 [1] 前掲書, pp. 44-45
- [10] 新妻尚祐, 樋脇 毅, 工藤桂一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木 直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第 22 巻, 第 50 号, pp. 5-10, 2016. 2
- [11] 参考文献 [10] 前掲書, pp. 8-9
- [12] 参考文献 [10] 前掲書, p. 10
- [13] 検索したキーワードは「配筋 and 検査 and 日本建築学会」, 「鉄筋 and 検査 and 日本建築学会」, 「鉄筋 and 加工 and 日本建築学会」, 「鉄筋工事 and 日本建築学会」とした。今回は鉄筋工事におけるマネジメント技術において扱う生産情報を対象としている, 材料などに関する論文は対象外とした。検索結果は 2016 年 4 月時点である。
- [14] 野崎喜嗣: 建築現場の施工管理をめぐる情報処理システムの合理化に関する研究, 第 2 報, 鉄骨工事, 鉄筋工事の施工情報とその処理システム (1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 構造系, pp. 145-146, 1971. 11
- [15] 参考文献 [14] 前掲書, p. 145
- [16] 森濱和正, 梶田佳寛, 池ヶ谷靖: 超音波を用いた鉄筋継手の検査方法に関する研究, その 1, 圧接面の超音波の分布(音場), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 鉄筋コンクリート構造, pp. 33-34, 2002. 8
- [17] 江頭信重, 河野 忠, 高見正博, 山本 勇: 大型建築物における鉄筋工事の合理化(その 1), CAD/CAM による鉄筋プレハブユニット組立システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 907-908, 1989. 10
- [18] 山本 勇, 高見正博, 安田貞行, 佐藤 等: 大型建築物における鉄筋工事の合理化(その 2), 鉄筋プレハブユニットの CAD/CAM システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 909-910, 1989. 10
- [19] 五十嵐則夫, 西村 功, 山本 勇, 佐藤 等: 大型建築物における鉄筋工事の合理化(その 3), 鉄筋プレハブユニットの自動組立装置の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 911-



912, 1989. 10

- [20] 参考文献 [17] 前掲書, p. 907
- [21] 参考文献 [17] 前掲書, p. 907
- [22] 参考文献 [17] 前掲書, p. 908
- [23] 参考文献 [18] 前掲書, p. 910
- [24] 汐川 孝, 松並孝明, 藤井孝晏, 脇坂達也: 超高層 RC 建物(41 階)における施工の自動化, その 2, 鉄筋工事における管理業務の自動化・省力化, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 材料施工, pp. 761-762, 1990. 10.
- [25] 菱河恭一, 上村泰邦, 井上康夫, 脇坂達也: 超高層 RC 建物(41 階)における施工の自動化, その 3, 鉄筋工事における作業の自動化・省力化, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 材料施工, pp. 763-764. 1990. 10.
- [26] 参考文献 [24] 前掲書, p. 761
- [27] 参考文献 [24] 前掲書, p. 761
- [28] 参考文献 [24] 前掲書, p. 762
- [29] 参考文献 [24] 前掲書, p. 762
- [30] 参考文献 [25] 前掲書, p. 764
- [31] 渡辺 昇: 鉄筋工事作業の稼働分析と運搬管理に関する基礎的調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 材料施工, pp. 273-274, 1972. 9.
- [32] 木本健二, 古川 修, 古阪秀三, 遠藤和義, 湯谷孝夫, 岩下 智: 超高層 RC 造住宅における躯体工事の調査研究, (その 3), 鉄筋工事の作業分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 建築経済, pp. 563-564, 1989. 9.
- [33] 参考文献 [32] 前掲書, p. 564
- [34] 三枝弘樹, 大塚秀三, 中田善久, 新妻尚祐, 鈴木 直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 鉄筋の組立ての作業時間に及ぼす結束方法の影響, 日本建築学会関東支部研究報告集 86, pp.177-180, 2016. 3
- [35] 松田 耕, 後藤礼彦, 安藤 悟, 菅田昌宏: 鉄筋工事における分業に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 建築社会システム, pp. 87-88, 2012. 9
- [36] 参考文献 [35] 前掲書, p. 88
- [37] 中村隆夫, 谷口汎邦: 鉄筋加工場の機能と利用形態, 鉄筋加工場の建築計画に関する研究, その 1, 日本建築学会計画系論文集, 第 469 号, pp. 107-113, 1995. 3
- [38] 中村隆夫, 谷口汎邦: 鉄筋加工場における平面構成の類型化とその特性, 鉄筋加工場の建築計画に関する研究, その 2, 日本建築学会計画系論文集, 第 476 号, pp. 73-79, 1995.10
- [39] 中村隆夫, 谷口汎邦: 鉄筋加工場における規模と面積配分, 鉄筋加工場の建築計画に関する研究 その 3, 日本建築学会計画系論文集, 第 483 号, pp. 129-136, 1996. 5
- [40] 参考文献 [39] 前掲書, p. 136
- [41] 生産活動やサービス活動をモデル化し, 解析を行うことを指す。
- [42] 松田 耕, 後藤礼彦: 鉄筋加工場を対象とした離散系シミュレーションの研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 建築社会システム, pp. 101-102, 2013. 8



- [43] 参考文献 [42] 前掲書, p. 102
- [44] 参考文献 [10]
- [45] 徳田 顕, 吾川正明, 平野吉信, 古阪秀三: 日本、中国、韓国、台湾の建築プロジェクトにおける品質確保のしくみに関する国際比較, 鉄筋工事に関連する図面作成プロセスを例に, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 建築社会システム, pp. 1349-1350, 2011. 8
- [46] 参考文献 [45] 前掲書, p. 1349
- [47] 参考文献 [45] 前掲書, p. 1350
- [48] 平林裕治, 高野雅夫: 配筋検査システムの開発と現場適用 (その 1) システムの概要と効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 建築経済, pp. 1107-1108. 2003. 9
- [49] 高野雅夫, 平林裕治: 配筋検査システムの開発と現場適用 (その 2) 構造データの一貫利用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 建築経済, pp. 1109-1110. 2003. 9
- [50] 参考文献 [48] 前掲書, p. 1108
- [51] 参考文献 [49] 前掲書, p. 1109
- [52] 香月泰樹, 半田雅俊, 水上 修, 中島孝幸: 携帯端末による作業所管理システムの開発 鉄筋検査システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 材料施工, pp. 827-828. 2006. 9
- [53] 参考文献 [52] 前掲書, p. 827
- [54] 参考文献 [52] 前掲書, p. 828
- [55] 参考文献 [52] 前掲書, p. 829
- [56] 鈴木理史, 金子智弥, 浜田耕史, 森岡 徹: 配筋検査支援システムの開発 その 1) システムの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 材料施工, pp. 1291-1292. 2009. 8
- [57] 金子智弥, 鈴木理史, 浜田耕史, 森岡 徹: 配筋検査支援システムの開発 その 2) システムの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 材料施工, pp. 1293-1294. 2009. 8
- [58] 参考文献 [56] 前掲書, p. 1291
- [59] 参考文献 [56] 前掲書, p. 1292
- [60] 参考文献 [57] 前掲書, p. 1293
- [61] 参考文献 [57] 前掲書, p. 1294
- [62] 参考文献 [57] 前掲書, p. 1294
- [63] 蔡 成浩, 吉田知洋, 閑田徹志, 百瀬晴基, 浅岡 茂: 配筋測定へのステレオカメラの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 材料施工, pp. 901-902. 2008. 9
- [64] 参考文献 [63] 前掲書, p. 901
- [65] 参考文献 [63] 前掲書, p. 902
- [66] 池田雄一, 坂上 肇, 鈴木理史, 浜田耕史: 画像処理技術を利用した配筋計測システムの開発 その 1 計測手法の考案配筋測定へのステレオカメラの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 材料施工, pp. 189-190. 2012. 9
- [67] 坂上 肇, 池田雄一, 鈴木理史, 浜田耕史: 画像処理技術を利用した配筋計測システムの開発 その 2 システム開発および検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 材料施工, pp. 191-192. 2012. 9

- [68] 参考文献 [66] 前掲書, p. 189
- [69] 参考文献 [66] 前掲書, p. 189
- [70] 参考文献 [67] 前掲書, p. 192
- [71] 参考文献 [67] 前掲書, p. 192
- [72] 坂上 肇, 池田雄一, 浜田耕史: 画像処理技術を利用した配筋計測システムの開発 その 3 システムの改良と現場適用実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 材料施工, pp. 695-696. 2014. 9
- [73] 参考文献 [72] 前掲書, p. 695
- [74] 参考文献 [72] 前掲書, p. 696
- [75] 蔡 成浩, 中村隆寛: 配筋検査への全周囲カメラ画像の応用, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 材料施工, pp. 1279-1280. 2015. 9
- [76] 参考文献 [75] 前掲書, p. 1279
- [77] 参考文献 [75] 前掲書, p. 1280
- [78] 参考文献 [75] 前掲書, p. 1280
- [79] 中川貴文, 中島史郎, 小河義郎, 古賀純子, 根本かおり, 大久保孝昭, 野城智也, 宮川忠明: IC タグを用いた建築物の管理支援技術の開発 その 2 IC タグを用いた RC 造躯体工事の検査支援システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 材料施工, pp. 1281-1282. 2009. 8
- [80] 古賀純子, 小河義郎, 中島史郎, 中川貴文, 南 尚吾, 根本かおり, 大久保孝昭, 宮川忠明: IC タグを用いた建築物の管理支援技術の開発 その 3 検査支援システムの施工現場における検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 材料施工, pp. 1283-1284. 2009. 8
- [81] 参考文献 [79] 前掲書, p. 1281
- [82] 参考文献 [80] 前掲書, p. 1284
- [83] 竹内啓五, 太田達見, 橋田 浩, 瀧 諭: 点群観測による配筋の自動評価法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 材料施工, pp. 117-118. 2010. 9
- [84] 参考文献 [83] 前掲書, p. 117
- [85] 参考文献 [83] 前掲書, p. 118
- [86] 石田航星, 嘉納成男, 木本健二, 五十嵐 健, 帯包知成, 福田結磨: 3 次元スキャナーを用いた鉄筋コンクリート工事の品質確保に関する研究 (その 2) 点群データに基づく配筋状況の把握に関するシステムの開発, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 461-464. 2010. 3
- [87] 石田航星, 嘉納成男, 木本健二, 五十嵐 健: 鉄筋を計測した点群データの形状認識に関する研究 点群データからの帯筋の抽出, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 建築社会システム, pp. 11-12. 2012. 9
- [88] 参考文献 [87] 前掲書, p. 12
- [89] 福田結磨, 嘉納成男, 木本健二, 五十嵐 健: 鉄筋工事における 3 次元測定の活用に関する研究 : 3 次元スキャナーと写真計測を用いた寸法データの比較, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 411-414. 2010. 3
- [90] 参考文献 [89] 前掲書, p. 413
- [91] 参考文献 [89] 前掲書, p. 414

- [92] 五十嵐 健, 嘉納成男, 木本健二, 石田航星, 四釜侑也: 品質確保のための建築各部の3次元情報の取得と設計図との照合に関する研究(その1) 鉄筋工事における品質情報とその検査項目, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 建築社会システム, pp. 1307-1308. 2010. 9
- [93] 参考文献 [92] 前掲書, p. 1307
- [94] 参考文献 [92] 前掲書, p. 1307
- [95] 参考文献 [92] 前掲書, p. 1308
- [96] 陣内 浩, 辻谷 薫, 吉田 泰, 中村光男, 加藤 圭, 佐藤貢一, 飯島真人, 並木 哲: 電磁誘導法による鉄筋のかぶり厚さ測定装置の基本性能に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集 第16巻 第34号, pp. 861-866. 2010. 10
- [97] 陣内 浩, 辻谷 薫, 吉田 泰, 中村光男, 加藤 圭, 佐藤貢一, 飯島真人, 並木 哲: 電磁誘導法による鉄筋のかぶり厚さの測定精度と補正法に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集 第16巻 第34号, pp. 855-860. 2010. 10
- [98] 香月泰樹, 池端裕之: 音声認識による鉄筋検査システムの開発と適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 材料施工, pp. 951-952. 2011. 8
- [99] 参考文献 [98] 前掲書, p. 952
- [100] 参考文献 [98] 前掲書, p. 952
- [101] 松田 耕, 多葉井 宏: RC一貫生産システム, 竹中技術研究報告 No.72 2016. pp. 5-15. 2016. 12
- [102] 参考文献 [101] 前掲書, p. 5
- [103] 参考文献 [101] 前掲書, pp. 5-15
- [104] 参考文献 [101] 前掲書, p. 5
- [105] 参考文献 [101] 前掲書, p. 15
- [106] 参加している20社は次の通りである。青木あすなろ建設, 浅沼組, 安藤ハザマ, 奥村組, 北野建設, 熊谷組, 五洋建設, 佐藤工業, 大末建設, 高松建設, 鉄建建設, 東急建設, 戸田建設, 飛鳥建設, 西松建設, 日本国土開発, 長谷工コーポレーション, ピーエス三菱, 松村組, 矢作建設工業。
- [107] 建設通信新聞: ゼネコン20社/配筋チェックにAI活用/特殊カメラで検査効率化: 日刊建設通信新聞社, 2020. 3
- [108] 参考文献 [35] 前掲書, p. 88

## 図版出典

図2-1: 筆者作成

図2-2: 筆者作成

図2-3: 参考文献 [17] 前掲書, p.908

図2-4: 参考文献 [24] 前掲書, p.762

図2-5: 参考文献 [101] 前掲書, p.7

図2-6: 参考文献 [107] 紙面に掲載された画像より

3

---

Theme **鉄筋工事における生産プロセスの実態調査**

---



---

## 第3章 鉄筋工事における生産プロセスの実態調査

---

3-1 本章の目的と構成	109
3-2 聞き取り調査の概要	111
3-3 図面作成プロセス	113
3-4 鉄筋加工プロセス	117
3-5 配筋・組立プロセス	120
3-6 配筋検査プロセス	121
3-7 生産プロセスにおける BIM/ICT の活用状況	123
3-8 結び：鉄筋工事における生産プロセス	124

---

### 3-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

第1章と第2章では建築工事に BIM/ICT を適用するアプローチが生産プロセス内の特定の業務に限定している傾向があることを明らかにし、生産プロセス全体に適用する試みは1990年代以降から減少していることを示した。生産情報をマネジメントする技術は、前者の考え方では部分的な生産性向上に留まるため、後者の考え方による BIM/ICT を活用する必要性を指摘した。そこで、本章では BIM/ICT の活用を鉄筋工事の生産プロセス全体で考えるために、施工段階の工事工程において次工程と連携する生産情報に着目し、各プロセス内における生産情報の作成状況や活用状況を明らかにする。あわせて生産情報の作成や連携における BIM/ICT の活用状況についても整理を試みる。これらにより鉄筋工事において生産性向上と品質の確保が容易になる、BIM/ICT を活用した新しい生産情報のマネジメントの在り方に資する基礎的知見を示したい。

#### 既往の調査研究

鉄筋工事の生産情報を対象とした既往研究では、徳田らが鉄筋工事に関連する図面作成プロセスを日本、中国、韓国、台湾で国際比較を試み、その中で作成される「躯体図」、「配筋図」、「柱リスト」、「配筋詳細架構図」、「鉄筋加工図」に着目し、各国における図面作成者や図面チェックを担当する方の業務の違いを明らかにしている<sup>[1]</sup>。中村らは、複数の鉄筋加工工場の利用形態や平面構成から鉄

表 3-1 調査対象一覧表

会社名	場所 (所在地)	調査日	対象者	会社の特徴
A 社	本社 (東京都)	①2016 年 10 月 20 日 ②2017 年 10 月 12 日	・ 役員 ・ 図面作成担当者 ・ 職長 (3 名)	・ 関東圏における一般的な鉄筋専門工事会社 ・ 加工帳作成ソフトウェア等をグループ会社 で開発・販売している
B 社	鉄筋加工 工場 (埼玉県)	①2016 年 10 月 24 日 ②2018 年 10 月 12 日 ③工場調査： ・ 2018 年 10 月 15 日～16 日 ・ 2018 年 10 月 22 日～23 日	・ 工場長 ・ 製造管理担当者 (5 名)	・ A 社の関連会社のひとつ ・ 鉄筋加工を専業としている ・ 加工数量は国内最大級の規模 (最大加工数量：18,000t/月)
C 社	鉄筋加工 工場 (神奈川県)	2016 年 11 月 29 日	・ 工場長 ・ 製造管理担当者 (5 名)	・ 鉄筋製造の電炉メーカーが鉄筋加工品分野 に進出 ・ 鉄筋加工を専業としている ・ 関東圏における一般的な鉄筋加工工場 (最 大加工数量：6,500t/月)
D 社	工事現場 (東京都)	2017 年 11 月 13 日	職長 (1 名)	・ 2 次業者 ・ 関東圏における一般的な鉄筋専門工事会社
E 社	工事現場 (東京都)	2016 年 12 月 16 日	職長 (1 名)	・ 1 次業者 ・ 関東圏における一般的な鉄筋専門工事会社

表 3-2 鉄筋加工工場の概要

項目	B 社	C 社
設立年	2001 年 9 月	1997 年 2 月
敷地面積	44,796 m <sup>2</sup>	9,626 m <sup>2</sup>
工場棟	約 9,000 m <sup>2</sup>	約 5,552 m <sup>2</sup>
事務所棟	約 360 m <sup>2</sup>	約 212 m <sup>2</sup>
加工能力	18,000t/月	6,500t/月

表 3-3 工事現場の概要

項目	D 社の職長に聞き取りした工事現場(K 計画)	E 社の職長に聞き取りした工事現場(H 計画)
用途	共同住宅 (分譲)	共同住宅 (賃貸)
構造	・ RC 造 (在来工法) ・ 床とバルコニー・廊下はハーフ PCa 版	・ RC 造 (在来工法) ・ 床とバルコニー・廊下はハーフ PCa 版
階数	地下 1 階, 地上 19 階, 塔屋 1 階	地下 1 階, 地上 14 階
敷地面積	1,051.79 m <sup>2</sup>	1,303.36 m <sup>2</sup>
建築面積	585.24 m <sup>2</sup>	739.01 m <sup>2</sup>
延べ床面積	7,751.51 m <sup>2</sup>	7,537.10 m <sup>2</sup>
基礎工法	杭基礎	杭基礎
調査期間	・ 2017 年 11 月 9 日～11 月 24 日 ・ 調査した施工階：基準階 ・ 職長への聞き取り：2017 年 11 月 13 日	・ 2016 年 12 月 12 日～12 月 24 日 ・ 調査した施工階：基準階 ・ 職長への聞き取り：2016 年 12 月 16 日



筋加工工場の特徴と傾向を分析し<sup>[2]</sup>、新妻らは、鉄筋専門工事会社 107 社にアンケート調査を実施して元下請負間の契約形態、積算、施工計画、施工や配筋検査の実情を分析している<sup>[3]</sup>。これらの既往研究は、配筋検査、鉄筋加工の各プロセスにおいて作成される生産情報や図面の状況、鉄筋加工工場や鉄筋専門工事会社の実情を、各々の関心の範囲で扱っている。鉄筋工事全体において生産情報を活用してマネジメントをする観点から工事全体を総体的に把握し、それらを活用する人々の視点から生産情報の扱い方を評価し、BIM/ICT の活用実態と合わせて体系化する試みはなされていない。

## 本章の研究手法と構成

鉄筋工事の品質を確保した上で生産性の向上を達成するためには、総合建設工事会社が設計図書を受領してから作成する施工図や鉄筋専門工事会社が作成する製作図（加工図・加工帳）に記載されている生産情報を、図面作成、鉄筋加工、配筋・組立、配筋検査という生産プロセスにおいて、各作業の過程で生じる可能性のある人為的な不具合を無くすることが重要であると考えられる。そのためには、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社あるいは鉄筋加工工場における生産情報の作成や連携に関する役割分担に着目して研究をおこなうことが肝要と思われる。

そこで本章では、鉄筋工事の生産プロセスで利用される各種の生産情報が、いつ誰によってどのように作成され、それらをどのように使用しながら生産プロセスが進められているのかを分析する。不具合の発生要因との関連性を明らかにすることで、BIM/ICT を活用して生産情報を統合的にマネジメントしうる技術の方向性を考察する。鉄筋工事の生産プロセスと生産情報との関連性や BIM/ICT の活用状況を整理するために、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場への聞き取り調査を実施した。

まず第 2 節「聞き取り調査の概要」では、聞き取り調査の対象とした鉄筋専門工事会社や鉄筋加工工場、工事現場の概要を示し、以降の節からは建築生産プロセスごとに実態を示す。第 3 節「図面作成プロセス」では図面作成の生産プロセスを示し、次いで第 4 節「鉄筋加工プロセス」では鉄筋加工工場の生産プロセス、次いで第 5 節「配筋・組立プロセス」では配筋・組立の生産プロセスを工事現場の作業から整理する。そして第 6 節「配筋検査プロセス」では配筋検査を生産情報の終着点として整理する。第 7 節「生産プロセスにおける BIM/ICT の活用状況」では生産プロセスにおいて活用が見られた BIM/ICT に関する状況を概観する。最終的に総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場への聞き取り調査に基づき、生産情報の流れを図面作成、鉄筋加工、配筋・配筋・組立検査をつなぐフローとして整理し、鉄筋工事における生産情報の活用に関する実態を示す。

### 3-2 聞き取り調査の概要

聞き取り調査の対象とした鉄筋専門工事会社は、表 3-1 に示すように筆者が所属する会社の取引先から任意に選択した鉄筋専門工事会社 1 社（A 社）の職員と鉄筋加工工場 2 社（B 社、C 社）の職員、工事現場の職長へは在来工法を採用した 2 箇所を対象とした。鉄筋加工工場の概要を表 3-2 に示し、工事現場の概要を表 3-3 に示す。工事現場ではそれぞれの鉄筋工事を請負った 1 次下請 D 社の職長、2 次下請 E 社の職長を聞き取りの対象とした。なお、A～E 社（5 社）の会社概要を以下に示す。A 社：鉄筋工事を請負う一般的な 1 次下請会社である。総合建設工事会社からの要望があれば配筋納

まり図の作成に対応できる部門を本社に設置している。加工図と加工帳は職長が各工事現場において作成していた。今回の聞き取り調査は、主に本社部門の役割や職長の業務を総合的に確認することを目的とし、東京都内にある本社において2回実施した。

B社：A社の関連会社のひとつであり、鉄筋加工・運搬を専門にしている国内最大級の鉄筋加工工場である。A社以外の鉄筋加工も受注し、鉄筋加工工場は関東圏に2箇所ある。今回の聞き取り調査は埼玉県にある鉄筋加工工場に対して主に作業内容や工事現場との生産情報のやり取りの実態、不具合の発生状況などを確認することを目的に実施した。なお、鉄筋加工工場の月産最大加工能力は約18,000tだった。A社の関連会社はその他に2社あり、ひとつは鉄筋業界のIT化に対応するために加工図、加工帳、絵符などを作成できるCADシステムや鉄筋加工工場での製造進捗を管理するシステムなどを開発・外販している会社、もうひとつは鉄筋加工工場から工事現場に加工した鉄筋の輸送などを担う物流会社である。聞き取り調査後に鉄筋加工工場内の現地調査を実施した。

C社：鉄筋専門工事会社から鉄筋加工を専業として請負う鉄筋製造の電炉メーカーの系列になる一般的な鉄筋加工工場である。神奈川県にある鉄筋加工工場においてB社と同様の内容について聞き取り調査を実施した。鉄筋加工工場の月産最大加工能力は6,500tだった。

D社：鉄筋工事を請負う一般的な1次下請会社である。総合建設工事会社からの要望があれば配筋納まり図の作成に対応できる部門を本社に設置している。加工図と加工帳は職長が各工事現場において作成していた。聞き取り調査は工事現場においておこない、鉄筋専門工事会社の職長が鉄筋加工工場から搬入された鉄筋の配筋・組立の際にどのように生産情報を活用し、作業を進めるのかを把握することを目的とした。工事現場に配属されていた職長に対して実施した。総合建設工事会社の鉄筋工事担当者も同席した。

E社：鉄筋工事を請負う一般的な2次下請会社である。自社の部門には配筋納まり図の作成や鉄筋加工工場は保有していない。加工図と加工帳は職長が各工事現場において作成していた。聞き取り調査は工事現場においておこない、鉄筋専門工事会社の職長が鉄筋加工工場から搬入された鉄筋の配筋・組立の際にどのように生産情報を活用し、作業を進めるのかを把握することを目的とした。工事現場に配属されていた職長に対して実施した。総合建設工事会社の鉄筋工事担当者も同席した。

表3-4 聞き取り調査をした項目

番号	項目	具体的な内容
01	趣旨説明	工事現場における不具合を防止しながら労働生産性を向上するための方策を考える
02	作業工程	各作業工程の生産情報の受け渡し方法 ・設計図⇒躯体図（配筋納まり）⇒加工図⇒加工⇒運搬⇒組立⇒検査⇒是正
03	加工図・加工帳	加工図の作成、チェック方法
04	鉄筋加工工場	加工体制、検査体制、職長からの生産情報の伝達方法、チェック方法
05	加工機	NC加工機械の導入（図面、数量表との連携の仕組み）
06	工事現場への搬入	鉄筋加工工場の出荷時のルール
07	配筋・組立	工事現場での配置搬入時の材料の配置のルール
08	自主検査	具体的な不具合事象
09	BIM/ICTの活用	加工図の図面作成、加工帳の作成などの帳票入出力、検査システム

聞き取りしたい調査項目は事前に質問シートとして準備し、事前に参加者にメール送信をおこなう、当日は送信した質問シートの順に聞き取りを実施した。聞き取りした項目を表3-4に示す。調査結果は議事録や写真に記録し、分析の際には必要に応じて参照した。

### 3-3 図面作成プロセス

#### (1) 躯体図の作成

総合建設工事は設計図書を受領すると、施工図を担当する技術者が躯体図の作成を始める。躯体図は、躯体工事を円滑にすすめるために最も重要で工事の基本となる図面であり、近年では2次元CADにより作成されることが大半である。設計図を作成したCADデータとの連携は見られるが、あくまでも線分としての情報連携であり、生産情報を連携しているとは言えない。躯体図に生産情報の記載漏れや施工性の検討が欠如してしまうと、躯体工事の工程遅延だけでなく、竣工後の建物の品質に大きな影響を及ぼす場合がある。鉄骨造の建物においてもコンクリートを打設する基礎や地下階があれば必ず作図する。躯体図を使用する目的は、総合建設工事は型枠支保工計画やコンクリート打設計画、コンクリート数量積算など、鉄筋専門工事は配筋・組立に必要となる鉄筋を加工する材料の計画や積算などに使用される。それ以外では型枠専門工事は型枠の加工・組立、数量積算など、設備専門工事はスリーブ位置検討、配管ルート検討などで活用する。

躯体図の変更指示が、総合建設工事業主からリアルタイムに鉄筋専門工事に届かず、配筋・組立が始まってから初めて気が付くこともあるとの指摘があった。そのような場合は鉄筋加工工場への加工発注からやり直しとなるため、躯体図の最新版を共有することは重要になる。総合建設工事業主ではクラウドサーバーを用意して関係者にアクセスをしてもらう環境を整備する場合が見られるが、更新作業は人の作業に依存していることがあるため、更新や更新内容の配信を忘れてしまうことが想定され、そのような場合は生産情報の変更にあつた気が付かない。

#### (2) 配筋納まり図の作成

総合建設工事は、躯体図の作成と同時に鉄筋の納まりが複雑または納まりにくいと思われる箇所を図3-1に示す配筋納まり図を作成し、躯体工事が始まってからの配筋・組立作業時の不具合を防止する。作図は躯体図と同様に2次元CADによることが大半であり、参考とする生産情報は構造図にある特記仕様書・配筋標準図や部材配置図・部材断面リストである。構造設計段階におけるデジタルの生産情報との連携は見られない。総合建設工事は配筋の納まり状況が構造図に記載されている場合でも配筋納まり図を作成し、最終的に問題がないか確認作業をおこなう。作成範囲はすべての鉄筋部材を対象としておらず、一般的には柱と梁の主筋位置が交差する仕口箇所を中心としている。そのため、帯筋やあばら筋等の配置位置を検討することは少なく、最低限の範囲で終わることが多いことを確認した。鉄筋が納まりにくい箇所を確実に検討して解決しておくことが求められているが、確認作業が不十分だと配筋・組立時に作業が止まることや無理に鉄筋を配置したことにより配筋検査プロセスにおいて工事監理者から不具合として指摘され、是正作業につながる。そのため近年では、総合建設工事業主が鉄筋専門工事に配筋納まり図の作成を発注することで、実際に作業を担当する職長が早めに納まりを検討して、配筋・組立プロセスにおける不具合を防ぐような取組

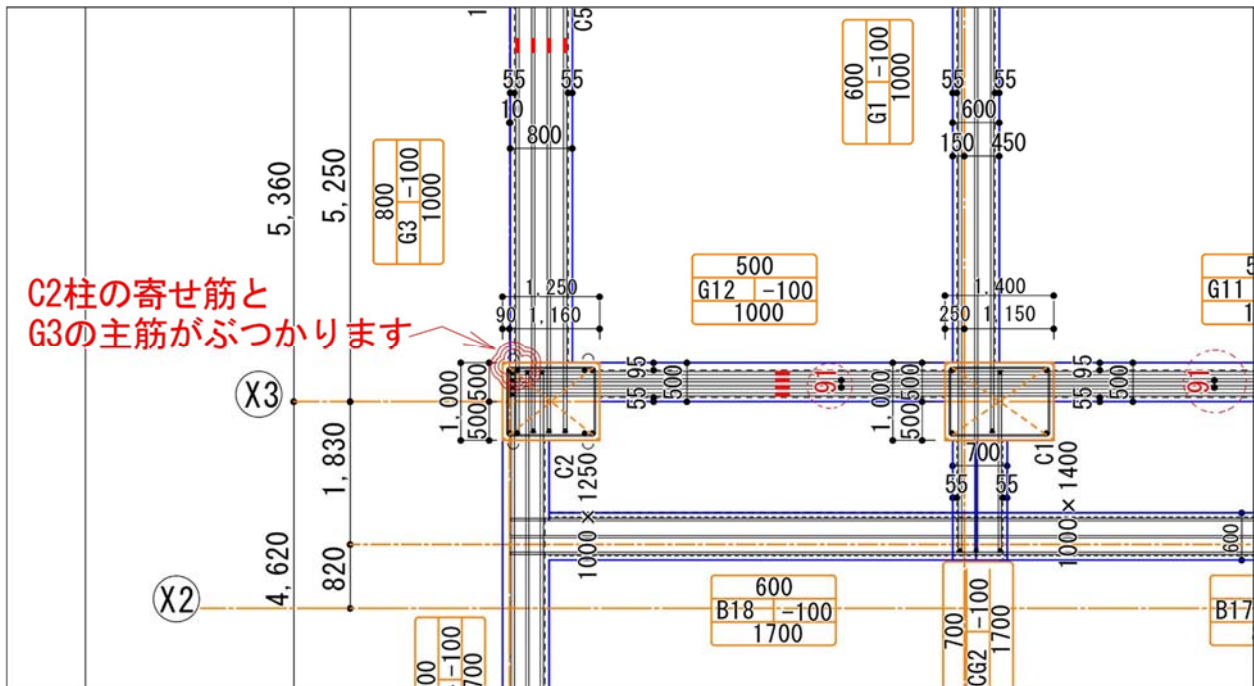


図 3-1 配筋納まり図

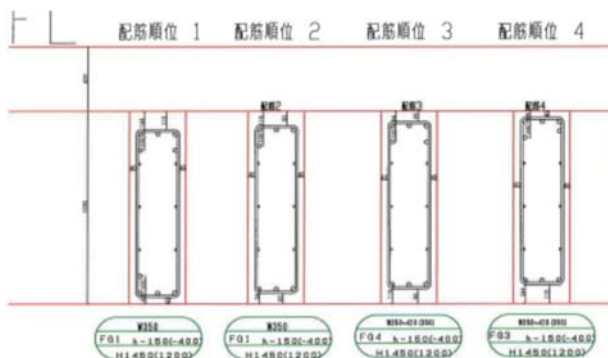


図 3-2 配筋図 (2次元CADにて作成)

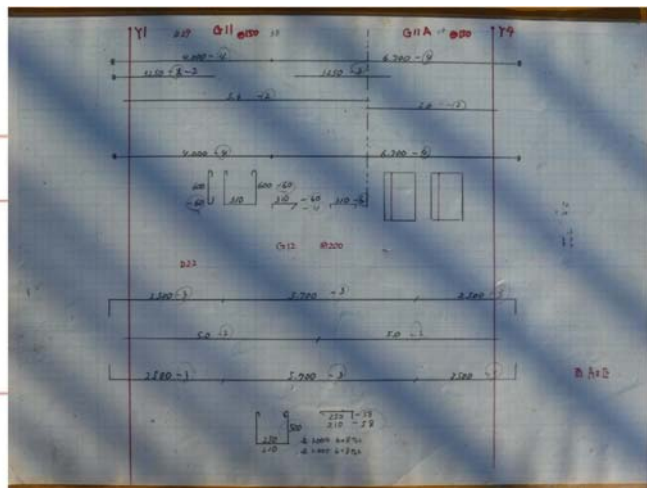


図 3-3 加工図 (手書き方眼紙にて作成)



図 3-4 加工図 (躯体図に手書きにて作成)

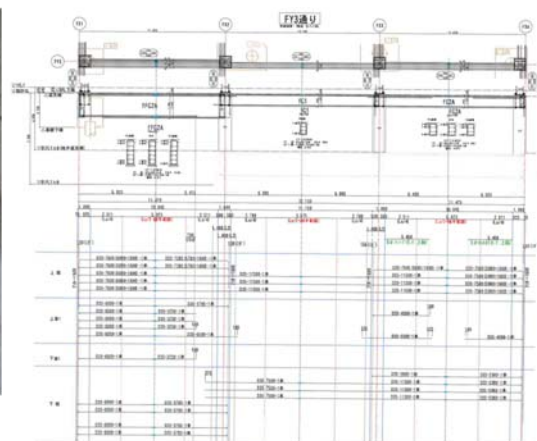


図 3-5 加工図 (2次元CADにて作成)

みが始まっていた。背景として総合建設工事会社の技術者が、鉄筋を納める知識・経験値が少なくなっていることが挙げられた。一方、総合建設工事会社が工事監理者に鉄筋の納まらない箇所に関する質疑を提出しても、適宜回答が得られないなどの課題が指摘された。鉄筋の納まりを検討した結果、鉄筋部材が構造図に記載されたとおりに納まらなければ、部材断面寸法（例えば梁幅）を変更する計画変更の対象となり、構造設計者があらためて申請図書を準備する作業が発生する。構造設計者にとってもこのような事態を避けることが望まれた。配筋納まり図の作成により、鉄筋の納まりに問題がなく、工事監理者の承認を得た躯体図は、総合建設工事会社から1次下請の鉄筋専門工事会社を通じて職長に渡される。継手位置は配筋納まり図には表示されておらず、想定した箇所で鉄筋専門工事会社に渡す。主筋端部の定着方法については、原則として設計図書の指示によるが、例えば納まりの検討により曲げ定着でなくプレート定着が望ましい場合は構造設計者に構造計算を再度依頼する必要がある、生産情報の確定に逆の流れが生じる。

### **(3) 配筋図の作成**

鉄筋専門工事会社の職長は総合建設工事会社から渡された躯体図と構造図（特記仕様書・配筋標準図）を参照しながら、すべての箇所の配筋図を作成する。配筋図の作成方法は職長により異なる。例えば職長が構造図から配筋の断面を検討したスケッチを方眼紙に作成している場合では、構造図の生産情報を手書きで転写している。図3-2に示すように2次元CADで作成する場合もある。作成の目的は、次工程である加工図の作成時に、部材断面の配筋本数などの記載間違いの防止や配筋・組立プロセスの際に組立箇所の近くに貼り付けることで、技能労働者に対する作業の指示書としての役割も果たすことである。このような取り組みは、職長が自ら技能労働者へ作業内容を漏れなく伝達するための工夫と考えられ、配筋・組立の際に作業応援の部隊が投入されても、同じ作業ができるようになっていた。しかしながら、配筋図は作成した職長以外の第3者がチェックする工程は見られず、人為的な不具合が発生したまま次工程に伝達される可能性が考えられる。このタイミングで発覚されない不具合はそのまま鉄筋加工プロセスから配筋・組立プロセスに進み、最終的に配筋検査プロセスのタイミングでしか不具合に気が付く工程はない。柱部材や梁部材のような主架構に関する配筋図の作成不具合は、配筋・組立プロセスの作業工程に大きな影響を与えるため、鉄筋専門工事会社によっては本社で作成をしてから職長にその生産情報を伝達している場合が見られる。しかし職長としては自らの手で最初から配筋検討をしておかないと、材料の発注ミスや配筋・組立作業時の不具合対応の際に迅速な対応ができなくなるため、あまり信用していない人もいるとのことだった。

### **(4) 加工図の作成**

加工図の作成方法は職長により異なり、鉄筋専門工事会社による標準化は図られていない。例えば職長が図3-3に示すように手書きで方眼紙に記入する場合や図3-4に示すように躯体図に手書きで記入する場合、図3-5に示すように汎用2次元CADや専用2次元CADを使用して作成する場合などが確認できた。作成方法の選択は職長の裁量に一任されており、手書きでの作成が約6割以上を占めていることだった。加工図の作成時期は、工事現場に材料を搬入する日から約1週間前が目安だった。そのため設計変更による躯体図の変更が発生すると修正作業が必要となるので、総合建設工事会社から躯体図の最新情報を常に共有することが必要になる。加工図の作成が必要となる範囲は柱と梁に関連する部位が中心であり、その他の部材である壁や床、基礎などは通芯間の寸法から配筋のピ



NO.2

加工帳

品名: 2022-01 加工帳 1/1

品名	規格	数量	単位	重量	備考
1	2022-01	1	個	1.00	DN4
2	2022-01	1	個	1.00	180
3	2022-01	1	個	1.00	180
4	2022-01	1	個	1.00	180
5	2022-01	1	個	1.00	180
6	2022-01	1	個	1.00	180
7	2022-01	1	個	1.00	180
8	2022-01	1	個	1.00	180
9	2022-01	1	個	1.00	180

1.メイン 品名 1F ベース スラブ A 5000A-100  
2.ハンダ 品名 2F 鉄 棒 材 B 5000B-100  
3.鉄 品名 3F 鉄 棒 材 C 5000C-100  
4.鉄 品名 4F 鉄 棒 材 D 5000D-100

図3-6 加工帳 (手書きにて作成)

加工明細書

品種: 在来 加工方法: 在来・精密 3/5

ゼネコン名: 2020年07月01日 08時00分

現場名: 1 棟: 1 工区:

種: 基礎 経度: 0 /

現場担当者: TEL:

件数: 43 重量: 11,402kg 定尺量: 11,717kg 備考:

No.	形状	材質	径	寸法	本数	備考	ハンダ	重量
21	1	SD295A	D13	12,000	2			24
22		SD295A	D13	8,000	4			32
23		SD295A	D13	7,000	10			70
24		SD295A	D13	6,500	14			91
25		SD295A	D13	6,000	23			137
26	1	SD295A	D13	6,000	1			6
27		SD295A	D13	5,500	42			230
28		SD295A	D13	5,000	37			184
29	1	SD295A	D13	5,000	1			6
30		SD295A	D13	4,500	23			103

受付 内容確認 入力 入力確認 入力確認 訂正

**DIN** デーバーインフォメーションネットワーク株式会社  
DI-NETWORKS www.di-networks.jp

図3-7 加工帳 (専用ソフトウェアにて作成)

<b>D13</b>	<b>SD295A</b>	<b>2,040 mm</b>	<b>1 本</b>
10月01日Eライン		適材(3.5m/1) × 1本	1,500kg束
<b>TB021K 08</b>			
ABC建設工事 鉄筋事業部		特別教室 3-2工区 5F 梁側7カシ	
		2 kg	
		ハ 6	
		1束	

100

585 585 770

00000465213-043

図3-8 絵符 (例1)



図3-9 絵符 (例2)



図3-10 絵符 (例3)

ッチを単純に割り込んで本数を算出していた。加工図に記載されている生産情報は手書きと CAD の場合もほぼ同様であり、梁鉄筋の加工図では、①通芯名、②芯々の寸法、③部材符号、④主筋径、⑤上筋本数、⑥下筋本数、⑦継手位置、⑧鉄筋長さ（加工寸法）、⑨定着長さ、⑩あばら筋形状、⑪あばら筋本数、などが記載されていた。専用の CAD システムでは、職長が作成することを想定して販売されており配筋図と加工図を兼ねて作成できる。いずれの場合も職長が自ら配筋・組立作業をイメージしながら作成しているが、構造図から読み取る部材ごとの本数や径の拾い間違い、施工階とは異なる躯体図や構造部材を参照にってしまうなどの人為的な不具合の発生が考えられる。しかしながら加工図は作成した職長以外の第3者がチェックする工程は見られず、人為的な不具合が発生したまま次工程で鉄筋加工工場への加工指示書である加工帳を作成してしまう可能性が考えられる。このタイミングで発覚されない不具合はそのまま鉄筋加工から配筋・組立に進み、配筋検査のタイミングでしか不具合に気が付く工程は見られない。

### **（５）加工帳の作成**

職長により作成される加工帳は、加工図の部材単位を加工ロット毎に集計した一覧表であり、鉄筋加工工場への発注書としての役割を果たす。作成方法は職長により異なり、例えば図 3-6 に示すように手書きで所定の書式に記入する場合、図 3-7 に示すように専用のソフトウェアで作成する場合が確認できた。作成方法の選択は職長の裁量に一任されており、加工図の作成同様に手書きでの作成が約 6 割以上を占めていた。加工帳は工事現場における配筋・組立の作業工程を考慮して搬入日ごとに振り分けて作成されていた。加工帳の書式は鉄筋加工工場の指定書式になっておらず、ほぼ任意の書式で作成されており、慣習として受け継がれている模様である。そのため、読みにくい文字で方眼紙に手書きで記入している職長が見られる。職長により作成された加工帳は鉄筋加工工場へ発注指示書として伝達されるが、手書きの場合は FAX、専用システムで作成された場合は絵符作成システムと連携できる形式のファイルをメール送信により依頼していた。鉄筋加工工場においては加工形状の標準化を図り、加工形状毎に記号化することで、生産情報を連携している取り組みが見られた。加工帳は加工図を集計しているため、加工図の作成方法により集計手順が異なる。手書きの場合では職長が自ら鉄筋の加工種類に応じて集計しているが、専用の CAD システムでは瞬時に集計作業が完了していた。加工帳は作成した職長以外に第3者がチェックする工程は見られず、人為的な不具合が発生したまま次工程に伝達してしまう可能性が考えられる。このタイミングで発覚されない不具合はそのまま鉄筋加工から配筋・組立プロセスに進み、配筋検査プロセスのタイミングでしかミスに気が付く工程はない。

## **3-4 鉄筋加工プロセス**

### **（１）絵符の作成**

鉄筋加工工場内で作成される図 3-8 に示す絵符は、鉄筋加工工場の技能労働者に加工する鉄筋のメーカー、径、本数、長さ、加工形状などの加工情報を伝達する媒体であり、鉄筋加工工場を出荷する際には荷札の役割も果たしていた。加工帳と同様の部位単位ではなく加工するロット単位に生産情報は変換されている。絵符の作成はすべて鉄筋加工工場各社で開発された自社システムを使用し



図 3-11 鉄筋材料に加工寸法を転記



図 3-12 加工寸法等の手入力



図 3-13 QR コードの読み込み



図 3-14 3次元的な曲げ加工



図 3-15 積み込みヤード



図 3-16 台貫



ており、手書きによる作成は見られない。聞き取り調査をしたすべての鉄筋加工工場においてもシステムが使用されており、書式は1工場1書式であるが各社での互換性はなく書式は異なっていた。例えば図3-9と図3-10に鉄筋加工工場により異なる絵符の書式を示す。職長が作成した加工帳を受領した鉄筋加工工場は、使用材料（強度、径、メーカー）や搬入日を確認し、加工ラインの仕分けをおこなない鉄筋加工工場内にある自社開発システムを使用して絵符を作成する。

記載されている生産情報の項目は、第5章の第4節「絵符に記載されている加工情報」において分析する。絵符を作成するシステムと連携できない手書きの加工帳をFAX等で受領した場合は、絵符の作成に必要な情報の入力作業を鉄筋加工工場の事務所にて事務員（または外注業者）が担っていた。入力の不具合を防ぐ工夫として手書きの加工帳を2名が同時に入力して、入力内容を突き合わせる作業により担保されていた。確率的に他人が同じ箇所を同時に間違えないという考え方に基づいているが、職長の手書きによる数値が判読しにくいような場合では、すべての入力ミスを排除することは難しいと考えられる。絵符と加工帳の整合は入力を担当した事務員が自主チェックをしていた。絵符を出力した後は、加工ラインごとに絵符をリングで束ね、加工ラインのリーダーに手渡されていた。

## **(2) 鉄筋加工**

絵符は鉄筋加工工場の技能労働者に加工する鉄筋のメーカー、径、本数、長さ、加工形状などを指示する役割を果たしている。鉄筋加工工場においては鉄筋専門工事会社から鉄筋加工を発注された段階で鉄筋メーカーや強度について指定されているため、職長が作成した加工帳の内容と整合していた。技能労働者は絵符から部材の組立をイメージすることなく、加工するロット単位で作業を進める。絵符には加工形状や加工寸法などの生産情報が登録されたQRコードが印字されており、QRコードの読み込みに対応できる加工機であれば自動的に加工寸法や加工本数が設定される。また絵符に印字されているバーコードを読み込むことで、鉄筋加工工場管理システムに加工完了の日付が自動送信され、加工進捗の管理がなされていた。これらの管理により加工不具合などが発生した場合は、絵符の番号を照合することで、いつどのラインで加工された鉄筋であるかを特定することができる。そのため、加工した担当者も特定させることができ、技能労働者の査定にも使用するとのことだった。各加工ラインのリーダーは、ライン毎に束ねられた絵符に基づいて生材のストックヤードから鉄筋を取り出し技能労働者に材料を渡す。技能労働者は絵符に記載されている加工情報を加工機に手入力（またはQRコードの読み込み）と同時にバーコードを機械で読み込んでから加工作業を開始する。鉄筋加工工場の加工ラインは、鉄筋径により太物（D19～D41）と細物（D10～D16）に分けられており、加工の種類は切断と曲げの2種類に大別される。鉄筋の運搬は、屋内では天井クレーンやベルトコンベア、屋外では門型クレーンを使用していた。加工手順は主に以下の3種類に分けることができる。

加工① 技能労働者が、加工寸法を鉄筋材に転記し加工機に鉄筋をセットして加工（図3-11）

加工② 絵符に記載されている加工情報を加工機に手入力して加工（図3-12）

加工③ 絵符に印刷されたQRコードをスキャンして自動加工（図3-13）

加工①では、自由な形状の加工が容易であるため、2次元の曲げ加工だけでなく図 3-14 に示す 3 次元的な曲げ加工に適用される。一方で技能労働者の技量に一任されているため、絵符の読み間違いや加工精度が一定でなく、自動加工機より生産能力が低い。加工②では、加工作業は加工機でおこなうため加工精度が高く生産性は上がるが、数値入力が技能労働者に一任されているため、入力ミスは排除できない。加工③では、絵符の QR コードを読み込むことで自動的に加工作業がおこなわれており、加工寸法のミスは防ぎやすいだけでなく加工精度が高く連続した加工ができる。B 社では加工と曲げ加工を一連で対応できる自動切断曲げ加工機が導入されていたが、対象とされる鉄筋径は細物のみであった。鉄筋加工工場内の事務所では絵符ごとに加工の進捗や自主検査の進捗結果を管理する。材質、径、加工寸法や加工本数などの検査は加工を担当した技能労働者による寸法計測や目視による数量のカウントの抜き取りによる自主チェックであり、加工ロット毎の検査記録は残されていない。

### **(3) 製品検査・積み込み**

加工された鉄筋の束には絵符が結束され、図 3-15 に示すように製品の積み込みヤードに運ばれる。積み込み作業前には、鉄筋加工工場の品質管理者が製品検査として絵符に記載されている加工情報と実際に加工された鉄筋の束との整合性をチェックして検査記録に残していた。チェック作業には BIM/ICT は使用されておらず、目視で確認し手書きで記録していた。精密切断の加工については全数の検査が実施されていたが、それ以外の加工については積み込みヤードにおかれた鉄筋の束を検査員が任意で選択して検査をしていた。積み込みヤードに置かれる鉄筋の束は、様々な工事現場に出荷されているが、工事現場毎の検査記録ではなく、絵符に記載されている加工ロット毎の検査記録だった。そのため、検査記録は出荷する総合建設工事会社と共有されにくいことを確認した。積み込みヤードでは、積み込み作業が効率的になるように出荷する工事現場ごとにゾーニングするだけでなく、積み込み車両ごとに番号を割り当て、絵符に番号を記載したり、絵符にカラーテープを巻き付けたりして運転手が該当の鉄筋束を探しやすいように出荷先を直感的に識別しやすくする属人的な工夫が見られた。絵符には出荷に関する生産情報を印字するシステムにはなっていない。工事現場に加工された鉄筋を搬入する運送会社の運転手は、当日の出荷指示書と鉄筋加工工場内の積み込みヤードに仮置きされている膨大な鉄筋の束に結束されている絵符を照合しながら車両に積み込む。積み込み車両が鉄筋加工工場から出荷する際は図 3-16 に示す台貫による重量の確認をおこない、出荷指示書に記載のある重量と比較し、積み込み漏れを防いでいた。重量の差異が 10kg を超える場合は、積み込み間違いの可能性があるので再度積み荷を確認していたが、必要な鉄筋束が必ず積み込み車両に積まれていることを保障するものではなかった。

## **3-5 配筋・組立プロセス**

### **(1) 搬入・揚重**

鉄筋加工工場から工事現場に搬入された鉄筋の検査は、主に職長が絵符と加工帳と照らし合わせる程度で、すべての鉄筋の加工寸法や加工形状に関する計測は実施していない。揚重は職長が揚重機のオペレーターに無線で指示を出しながら、配筋・組立の手順を考慮した順序で実施していた。その

ため、鉄筋加工工場から搬入車両に積み込みをする順序もあらかじめ加工帳に記載をすることで情報の伝達を実施していた。施工階に置く鉄筋の配置は1箇所置くのではなく、配筋・組立箇所の近くに荷下ろしされ、技能労働者が鉄筋を担いで運ぶ距離が短くなるように工夫をしていた。

## (2) 配筋・組立

施工階に荷下ろしされた鉄筋の束は、配筋・組立される部材位置に運ばれる。この一連の作業は間配りと呼ばれている。加工図を参照しながら間配り、配筋・組立が実施される。加工図はクリアーケースに入れて持ち歩く、または携帯情報端末から閲覧していた。間配りは絵符をもとにして該当する鉄筋を探し、目視またはコンベックスで寸法を計測し、鉄筋の加工状況が正しいかを確認している。このような一連の作業は職長のみが実施するのではなく、技能労働者がその都度実施するため、場合によっては絵符毎に結束されている鉄筋の束が広がっていた。鉄筋加工工場と工事現場との生産情報の伝達媒体である絵符は、このタイミングで破棄されていた。絵符を鉄筋の束から取り外すタイミングの基準はなく、外されたら読み返すこともないただの紙屑になっていた。配筋・組立作業は技能労働者が配筋図や加工図を参照しながら作業が進んでいた。

## 3-6 配筋検査プロセス

### (1) 検査帳票の作成

工事監理者がおこなう配筋検査の前に、鉄筋専門工事会社の職長による自主検査と総合建設工事会社の鉄筋工事担当者による自主検査の2段階で施工不具合を防ぐ体制を確認できた。いずれも構

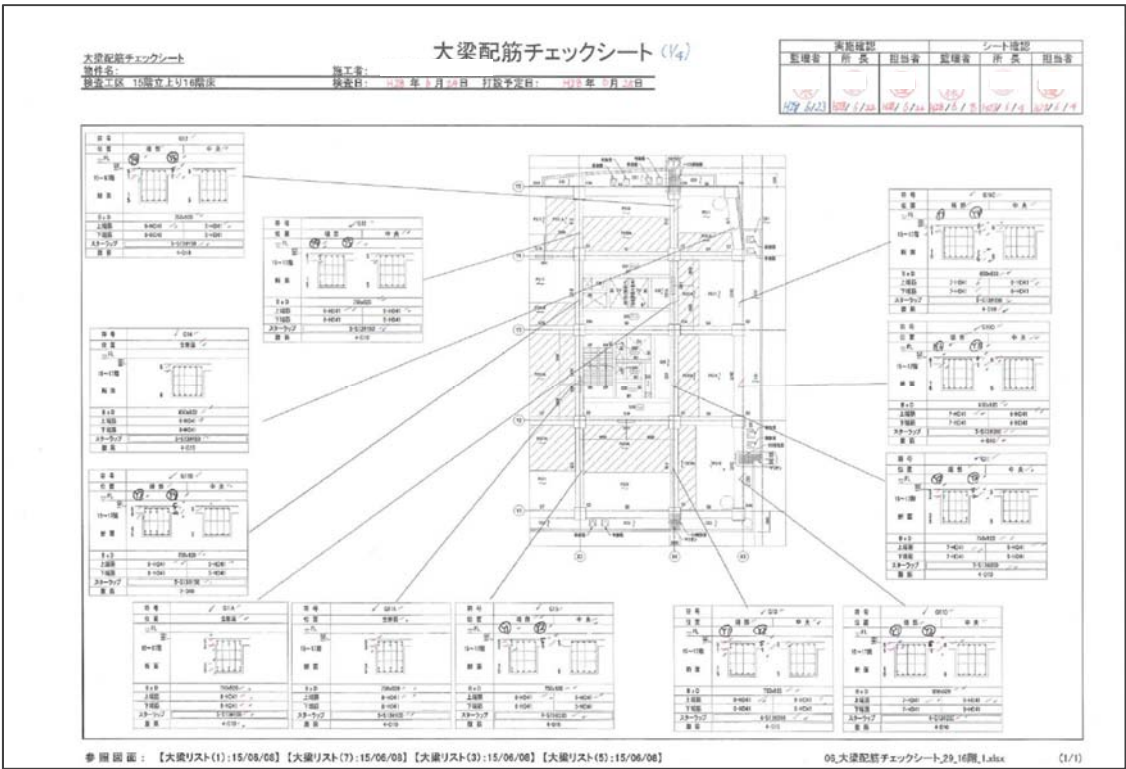


図3-17 配筋チェックシート(例)

造図を基にしてコンベックスなどを使用しながら全数検査するのが原則だった。総合建設工事会社は検査の前に検査のチェック項目をリスト化した図 3-17 に示す配筋チェックシートを作成する。シートの呼び名は工事現場により異なる。作成方法は工事現場により異なっていたが、一般的には構造図に記載のある該当する階の伏図と部材リストを個別で参照できるように部材毎(柱、壁、梁、床)にレイアウトしている場合が多い。この帳票の作成は総合建設工事会社が工事事務所で作成しており、工事事務所内では第3者のチェックが見られるが、概ね作成担当者の自主チェックで正確性を担保していた。また、配筋検査時に記録として残す配筋写真には、どの部材を撮影したのかを分かるように黒板を写真に入れて撮影するが、検査時にチョークでその都度部材リストの作成を避けるために、事前に部材リストを記入した用紙を準備して、検査当日に黒板に貼り付けるだけで済むような事前準備をしている場合も見受けられる。対象とした作業所では、検査時に黒板にチョークで部材リストを作成し写真を撮影していたが、このような場合は黒板への部材リストの転記不具合の発生が考えられる。周到的な事前準備が、施工階での配筋検査の手間や検査間違いの低減を防ぐと考えられる。

聞き取り調査をした工事現場では、配筋検査に BIM/ICT の適用は見られなかった。採用をしない理由は、工事規模から従来型で検査帳票を準備して写真整理をする手法の方が慣れているため、ということだった。検査対象の鉄筋にマグネットなどで印をつけて対象とする鉄筋を強調させ、巻き尺テープやスタッフを使用して鉄筋のかぶり厚さやピッチなどが確保できているか最終確認して写真に記録する。そのため一連の作業は多大な時間を要することから、すぐに型枠に隠れてしまう柱や壁は技術者が担当し、それ以外の写真撮影は専門の業者が写真整理までを請け負う場合がある。

## **(2) 配筋検査**

配筋検査は、主に工事監理者や構造設計の担当者が担う。配筋検査前には鉄筋専門工事会社と総合建設工事会社が自主検査をおこない検査記録を残している。検査記録は1枚の書式で両社の検査記録を残していた。配筋検査当日は、総合建設工事会社の鉄筋工事担当者、鉄筋専門工事会社の職長、設備専門工事会社の現場代理人などが立ち会う。この場合は全数ではなく抜き取り検査をおこない、残りは元請が自主検査した帳票を確認することで済まされることもある。ただし、検査での指摘は曖昧であり、工事監理者の主観になることも多く、検査をする人により指摘事項が異なることも少なくない模様である。

配筋検査により指摘された項目は是正をおこない、不具合がないことを確認できたらコンクリートの打設になる。職長からは構造設計者は配筋・組立が終わらないと完成形がイメージできない可能性があるという指摘された。構造図は単体規定の組み合わせであるため2次元的な要素の集合体であるが、実際の出来型は複合規定として3次元の空間で鉄筋の配置をイメージする必要がある。この認識の差は、工事監理者の指摘事項が曖昧になる要因のひとつと考えられる。

## **(3) 検査記録の作成**

配筋検査が完了したら、配筋検査チェックシートと配筋写真の記録を整理する。手書きでチェックした配筋検査シートはそのまま関係者の捺印を受ける。配筋写真の整理は、デジタルカメラで撮影した写真のリストから検査項目を判別できる写真を選択して帳票にまとめる。配筋検査システムを使用した場合は、これらの帳票類をシステム上で整えることが容易になる。

---

### 3-7 生産プロセスにおける BIM/ICT の活用状況

---

生産プロセス内で BIM/ICT をどのように活用し、次工程とデータ連携があるのかを整理する。今回の聞き取り調査では、BIM の活用は見られず ICT の活用のみが生産プロセス内の断片的な業務に適用されていることを確認した。以下に生産プロセス内での ICT の活用状況を整理する。

#### 躯体図の作成

作成には市販の 2 次元 CAD を使用していた。設計図の 2 次元 CAD データや構造解析データとの連携はなく、設計図書を参照しながら担当者が作成していた。作成後のチェックは主に図面作成者の自主チェックに依存しているのが大半であるが、工事監理者の最終的な承認を受けてから工事を開始する必要がある。

#### 配筋納まり図の作成

作成には市販の 2 次元 CAD を使用していた。躯体図の 2 次元 CAD データの転用が見られるが構造解析データとの連携はなく、図面を参照しながら施工図の担当者が作成していた。躯体図の作成とほぼ同時に作成されており、作成される範囲は構造図において鉄筋の納まりが厳しいと予想される部分を中心だった。作成時に鉄筋が納まらなければ、工事監理者に対応方法の質疑を提出する。質疑の際、納まっていない配筋納まり図を添付し、対処方法を確認するため、納まっていない状況の資料を作成する必要がある。工事監理者からの回答が遅いことが見受けられる。鉄筋専門工事事務所の職長は先行して加工図の作成を始めているため、質疑の回答の遅さから最新情報が直前で変更されることにより生産情報の連携不具合につながる可能性が考えられる。質疑回答のやり取りは図面を中心として進んでおり、組立後の出来型については各自の頭の中でイメージされていた。

#### 配筋図・加工図の作成

作成には手書きの場合と専用 CAD の 2 種類が見られ、作成の方法は各職長の技能に一任されていた。手書きの場合は生産情報のデータ連携はなく、紙の図面を参照しながら作成する。専用システムを使用した場合は、躯体図の 2 次元 CAD データを取り込んで通芯や躯体符号などのデータ連携ができる。しかしながら、部材断面リストは躯体図に記載がないため、職長が専用 CAD に手入力して鉄筋を配置させる必要があった。

#### 加工帳の作成

職長が加工図から鉄筋加工工場への指示書として作成する。作成には手書きの場合と専用 CAD の 2 種類が見られるが、作成の方法は各職長の技能に一任されていた。手書きの場合は生産情報のデータ連携はなく、紙の図面を参照しながら加工形状毎に集計する。作成後のチェックは職長の自主チェックに依存しているのが大半の模様である。近年では 2 次元 CAD の普及や市販の加工帳入力システムの登場により、加工図や加工帳の作成にシステムを活用している職長も増えているとのことだった。専用システムを活用して作成された加工図から加工帳を自動作成することができるため、ヒューマンエラーを低減することができる。自動作成された加工帳は、加工工場の管理システムへメール送信できる機能も付加されていた。なお、加工帳の標準化はなされておらず、職長により作成方法が異なることが確認できた。

## 絵符の作成

鉄筋加工工場において加工帳を基にして作成する。作成には各鉄筋加工工場による自社開発システムが採用されており、加工する鉄筋形状は加工ロット毎にデジタルの生産情報に変換されていた。手書きの帳票は見られず、すべてシステムによりデジタルデータに変換されていた。帳票の書式は加工工場毎で異なる。変換方法は手書きの加工帳の場合ではシステムへの再入力、専用システムを使用している場合は、加工帳と自動的に連携していた。作成後のチェックは作成担当者の自主チェックに依存していた。

## 鉄筋加工工場での加工

鉄筋加工工場では、2 社とも鉄筋の加工指示から出荷指示までをすべて絵符で管理しているが、加工作業は技能労働者に依存している。自動加工機で加工する場合は絵符に印字されている QR コードに記載されている生産情報と加工機が連携していた。製品検査には ICT が使用されていない。

## 配筋・組立

鉄筋専門工事会社では工事現場での ICT 化には特に取り組まれていなかった。職長が作成した配筋図・加工図を基にして、配筋・組立がなされていた。職長によっては、技能労働者への作業指示を兼ねてクラウドサーバーに図面ファイルを更新し共有することで、工事現場内での生産情報の共有をしていた。なお、鉄筋加工工場とは搬入日に関する生産情報の連携が見られる。

## 配筋検査

工事監理者、総合建設工事会社の鉄筋工事担当者、鉄筋専工事会社の職長が配筋・組立が完了した状態で構造図を参照しながら記載された内容通りであるのかを検査していた。検査自体は目視でなされており、検査結果は配筋チェックシートに手書きでチェックをしていた。配筋検査システムを使用した場合でも実際の検査は簡略化されない。配筋検査の帳票類と構造図や配筋納まり図、躯体図とのデジタルデータは連携されていなかった。

---

## 3-8 結び：鉄筋工事における生産プロセス

---

### (1) 生産プロセスの整理

本章では、鉄筋工事における生産プロセスにおいて設計図書の一部である構造図から始まった生産情報をどの時期にだれが作成し、それをどのように使用しながら加工、配筋・組立、自主検査や配筋検査を進めているのかを明らかにした。鉄筋専門工事会社 3 社、鉄筋加工工場 2 社における生産プロセスには大きな違いは見られなかった。生産プロセスごとに組織や人が入れ替わる分業の体制であり、それにともない生産情報の作成についても分業の体制であった。各プロセス間における生産情報の連携はなされているが、デジタル情報としての連携は一部でしか見られなかった。これら実態調査の結果に基づき鉄筋工事の生産情報の流れを図 3-18 に整理する。

横軸は図面作成から配筋検査までの 4 つのプロセスを示し、縦軸は生産プロセスを担う企業（参画者）とした。鉄筋工事の生産プロセスで管理される生産情報は、始めは設計図書の一部である構造図に記載された部材配置を示した伏図と部材ごとの断面を示した部材リスト表であるが、総合建設工事会社が作成する躯体図や配筋納まり図により特記仕様書などで指定された条件を踏まえて生産情

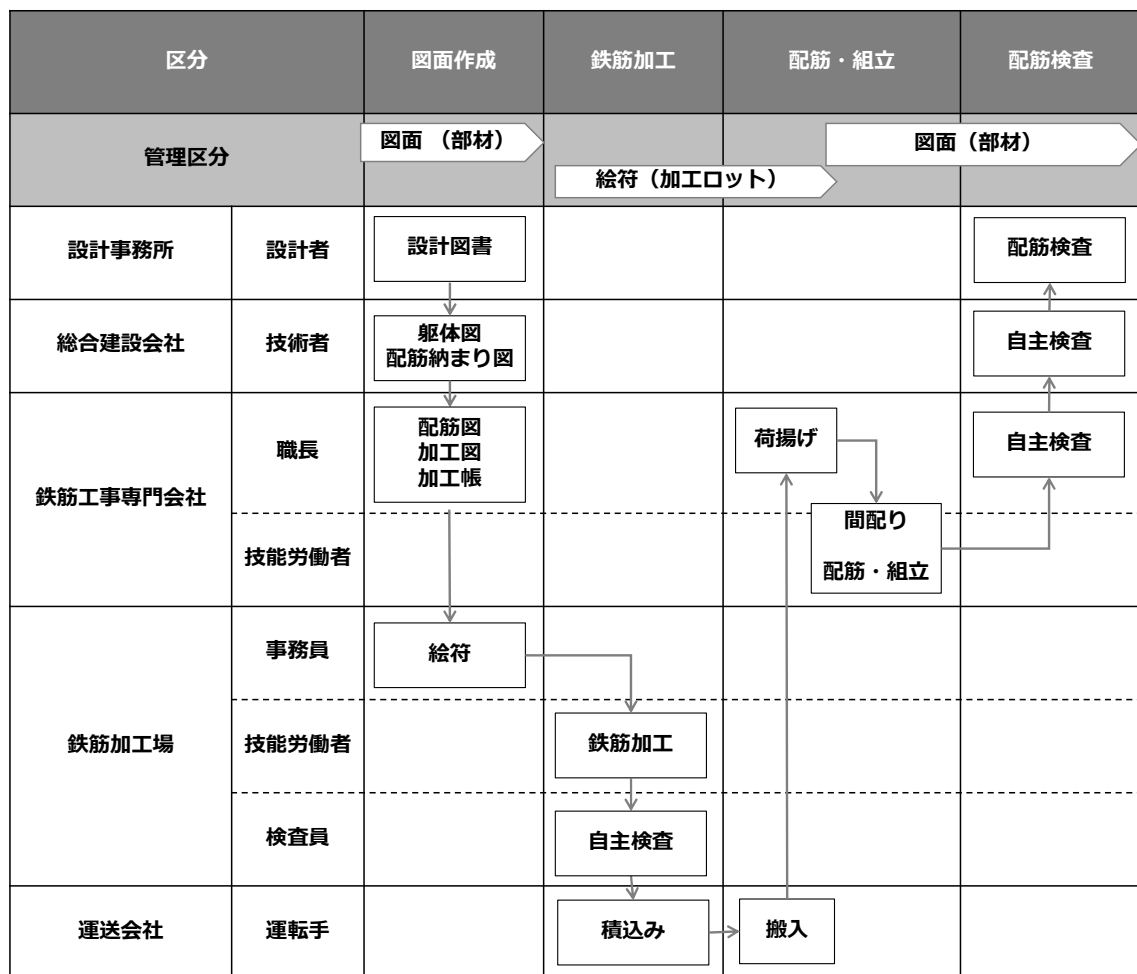


図 3-18 鉄筋生産プロセスにおける生産情報の流れ

報は一元化される。それらを参照しながら鉄筋専門工事会社の職長が加工図を作成する。ここまでは扱われる生産情報は部材単位であるが、職長が作成する加工帳や鉄筋加工工場が作成する絵符に記載されている生産情報は、加工ロット単位に変換され、これらは工事現場に搬入されるまで続く。工事現場に搬入され配筋・組立の作業時には、再び構造図の部材単位に戻っていた。各プロセス内における生産情報の変換作業は、すべて人の手による属人的な作業であるだけでなく、第3者によるチェック工程は見られず、加工ロット単位に変換された生産情報は、元請と鉄筋専門工事会社の間で情報共有はなされていなかった。

## （２）総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社において BIM/ICT を活用できるリテラシー

総合建設工事会社においては、工事管理を担当する技術者と図面をまとめる工務を担当する技術者との分業化が始まっており、BIM/ICT を扱える技能にも差が出てきている。工事現場では確定された生産情報を使用する業務が多いため、不具合が発生すれば間違って製作されたものを作り直して再度納品することで対処してしまう場合が多い。どちらかと言えば力技で対処しているため、生産情報を効率的に扱う意識が薄い。自分が手馴れた手法で作業を進めるために、事前検討で効果を発揮するために使用する BIM/ICT を習得するインセンティブが少ない。そのため、図面作成フェーズで主に検討や図面を作成するのは BIM/ICT を習得している技術者が担うことになる。

このような分業化が鉄筋工事だけでなく多くの工種において、生産プロセス内で使用する生産情報の分断化が進む要因と考えられる。配筋検査フェーズにおいても、不具合が指摘されたら正すれば良いという考え方が垣間見られた。今回の聞き取り調査をした鉄筋専門工事会社の職長においても、配筋・組立時に不具合が発覚しても鉄筋加工工場に伝達すればすぐに鉄筋を再加工して工事現場に搬入されることを示し、鉄筋加工に関する不具合に寛容であった。

総合建設工事会社も鉄筋専門工事会社も BIM/ICT を活用するインセンティブが見つけられておらず、事前に正しい生産情報を作成して次工程に連携する進め方より不具合が発覚した時に対処する方が効率的というニュアンスさえ感じた。自分たちが使用しないでメリットを示さないようでは、他者に BIM/ICT の使用を強要することはできない。一方、ある職長は自らがクラウド環境を契約して技能労働者と生産情報を共有し、作業を効率的に進めようとする意気込みが見られた。会社の方針ではなく自らの方針である。職長の手間は増えるかもしれないが、技能労働者の手間を減らすことができることを経験値的にわかっているのである。従来では鉄筋加工の不具合が発覚した時点で作り直しをおこない、個別に対処してきたことで技能労働者の作業が滞ることが発生してきた。請負工事であるため、このような手待ちによるロスは見えにくい。前工程で正しい生産情報が作成され、さらに連携することで、事前の検討作業は増加するが、後工程における作業は計画的に進むことが期待できる。先に課題点を解決させるのに労力をかけるのか、不具合が発覚したときに労力をかけるのかの違いである。従来では後者の考えの方が効率的で考えられていた。BIM/ICT の活用では前者の業務を効率化することが容易になる。今後は、デジタル化された生産情報の連携が、工事現場に恩恵をもたらすことになるかと推察できる。

BIM/ICT の活用が進みデジタル情報を扱うことで前工程から不具合の発生を低減させ、生産性の向上に寄与することを目指すには、まずは総合建設工事会社の技術者がデジタル情報を徹底的に使い倒す環境を先につくることが重要である。それを踏まえて専門工事会社を選定するときにはデジタル化された生産情報を連携して工事を進めることを見積条件として提示する仕組みが考えられる。すでに鉄骨工事や設備工事を中心として見積条件に BIM モデルの作成やデータ連携を提示している場合があり、デジタル情報の作成や活用ができなければ受注機会が減る危機感から BIM に取り組む企業が増えてきている。これらの工種では、BIM/ICT を活用しなければ仕事を受注できない環境ができつつある。躯体工事においては、総合建設工事会社側ですり合わせた結果を施工図に反映する業務を担っているため、そのような条件をつけてもデジタル化された生産情報を扱う技術者が少ないことが見積条件の壁になってきた。扱える技術者を増やすことにより、生産情報を連携できる土俵をつくり、専門工事会社側でも作成や連携が必要不可欠な状況を整えることが、デジタル化された生産情報を流通させ、リテラシーを向上させる手段と考えられる。

### **(3) まとめと考察**

設計図書から転載された生産情報のどこかで間違いが発生し、次工程に伝達されても設計図書との照合を都度おこなっていないため、間違った生産情報がそのまま次工程に流れる可能性が高いことを明らかにした。生産プロセスの最後になる配筋検査の時点で、配筋・組立に間違いが発生する大きな要因のひとつと考えられる。設計図書から始まった生産情報の伝達は一方通行であり、生産情報が流通する過程で見逃された不具合が最終的に発覚するのは、配筋・組立プロセス内か総合建設工事会社の鉄筋工事担当者による自主検査や工事監理者による配筋検査でしか見つける術はなかった。



各プロセスを担う担当者が、前工程の不具合に気が付く仕掛けがなく、間違いの気づきは各担当者の目視に依存していることがあり、すべてを見つけることは難しい生産情報の流通になっていたと言える。

生産情報を例えば ICT を活用して一元的に共有しながら工程内で自主チェックをする試みもなされていなかった。一方、各社が独自にソフトウェアを使用し、自部門の間違い低減や生産性を向上させる取り組みはなされていたと言える。鉄筋加工工場では、生産ラインの担当者に加工に必要な生産情報を伝える手段として絵符が定着しており、各鉄筋加工工場独自でシステム化がなされている。しかしながら、絵符の作成に必要な生産情報は、前工程の加工帳に多くを依存しているが、加工帳の作成は職長による手書きが一般的であり第3者による工程内チェックは見られない。生産情報の変換にも ICT の活用は進んでいなかった。

建設業において生産性向上の取り組みが加速しているが、今回の鉄筋加工工場や工事現場での聞き取り調査などから、鉄筋工事の生産プロセスでは役割分担の細分化に伴い ICT の活用も部分最適であることが明らかになった。結局は配筋・組立が完了した現物を信頼し最終の配筋検査をおこなっているのである。また施工不具合を防止するために自主検査をする対策が最も多いようであるが、不具合箇所を確実に排除する仕組みが整備されているとは言えない。鉄筋の加工や配筋・組立に必要な生産情報の詳細寸法などは、設計段階では確定されておらず、生産プロセスとともに順次確定しており、余長や切断位置に関する加工寸法などは鉄筋専門工事会社の職長に一任されている。この分野の技量を総合建設工事会社が担うことは分業化が進む今の流れからは考えにくい。むしろ、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社が同じ生産情報を共有しながら生産プロセスを進めることで、配筋検査時で初めて発覚する施工不具合を無くすために、生産情報を連携した生産性向上の仕組みを構築することが急がれる。

今後は、生産プロセスでの分業化（設計者、総合建設工事会社、専門工事会社、鉄筋加工工場）が進むことがあっても、生産情報や自主検査や配筋検査の結果などを分断させることなく可視化や共有を進める。そして、不良品を後工程に流さないことで生産性を向上させる ICT や BIM の活用が重要になると指摘することができるであろう。

## 註

- [1] 徳田 顕, 吾川正明, 平野吉信, 古阪秀三: 日本, 中国, 韓国, 台湾の建築プロジェクトにおける品質確保のしくみに関する国際比較 ～鉄筋工事に関連する図面作成プロセスを例に～, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1349-1350, 2011. 8
- [2] 中村隆夫, 谷口汎邦: 鉄筋加工場の機能と利用形態 鉄筋加工場の建築計画に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第 469 号, pp.107-113, 1995. 3
- [3] 新妻尚祐, 樋脇 毅, 工藤桂一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木 直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第 22 巻, 第 50 号, pp.5-10, 2016. 2

## 図版出典

- 図 3-1 : 前田建設工業提供
- 図 3-2 : B 社提供
- 図 3-3 : 筆者撮影
- 図 3-4 : 筆者撮影
- 図 3-5 : B 社提供
- 図 3-6 : C 社提供
- 図 3-7 : B 社提供
- 図 3-8 : B 社提供
- 図 3-9 : 筆者撮影
- 図 3-10 : 筆者撮影
- 図 3-11 : 筆者撮影
- 図 3-12 : 筆者撮影
- 図 3-13 : 筆者撮影
- 図 3-14 : 筆者撮影
- 図 3-15 : 筆者撮影
- 図 3-16 : 筆者撮影
- 図 3-17 : 前田建設工業提供
- 図 3-18 : 筆者作成



4

---

Theme **鉄筋工事における工程内チェックの分析**

---



---

## 第4章 鉄筋工事における工程内チェックの分析

---

4-1 本章の目的と構成	133
4-2 工程分析手法の適用	134
4-3 鉄筋加工工場内における工程内チェックの分析	137
4-4 工事現場内における工程内チェックの分析	139
4-5 配筋検査時に使用する生産情報の分析	147
4-6 配筋検査時に発覚する施工不具合と工程内チェックとの関連性	149
4-7 結び：鉄筋生産プロセスで使用する生産情報の確定時期	153

---

### 4-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

鉄筋工事における生産プロセス内で扱われる生産情報は、設計図書から躯体図や鉄筋納まり図の図面類、加工図・加工帳などの帳票類を作成する過程で生まれ、その後は実際に鉄筋を加工する際に使用される絵符や工事現場での配筋・組立または配筋検査時に使用され続けていることを示した。

鉄筋工事の品質を確保した上で生産性向上を達成させるには、正しい生産情報を図面作成、鉄筋加工、配筋・組立、配筋検査という鉄筋工事の生産プロセスにおいて作成または活用・照合することで、人為的な不具合を無くすることが重要になると考えられる。そのため、本章では総合建設工事会社の鉄筋工事担当者と鉄筋専門工事会社の職長あるいは鉄筋加工工場のラインリーダーなどが担う自主的な検査（以下、工程内チェック）に着目して、生産情報の整理と活用実態を分析し、鉄筋工事の生産プロセスにおいて不具合を防止させる生産情報の在り方を考察する。

#### 既往の調査研究

工事現場における作業工程の実態調査と分析に関する既往研究は、三根らが集合住宅の仕上・設備工事を対象に工程分析を主体とした実態調査を実施して、同工事の工程を明らかにしている<sup>[1]</sup>。「分析結果をもとに作業上の特徴及び問題点を把握して、構法改善・構法開発に必要な基礎資料」を得ると共に、「多職種による錯綜した作業を分析するにあたっては、職種及び工程間の関係を区別する記

号を用いることが有効であることを確認した」と報告している。大沢は、「工程を詳細に検討したうえで多くの計画事項を総合的に捉え、且つ、計画者が効率的に立案出来る計画手法」として「施工プロセスチャート手法」を提案し、「品質管理手法の改善点を提案」している<sup>[2]</sup>。鉄筋コンクリート工事を対象としJASS5に定める検査項目を検査の目的から分類し、「不合格の場合の工程への影響を極力排除するような計画」を立案する手法を論じた。鉄筋コンクリート工事での工程計画では、三根らが、「工程計画の最適化を目指す一つの手段として工程シミュレーション手法を鉄筋コンクリート工事の工程計画に導入」した研究がある<sup>[3]</sup>。

これら既往研究のいずれも目的は、構法改善・構法開発や作業工程の中で不具合が発生しても工程計画に大きな影響を与えない作業工程の立案に関することに関心があり、検査工程で使用される正しい生産情報の生成手法や後工程の作業に与える影響、生産情報の使い方には言及されていない。

## 本章の研究方法和構成

第3章では構造図から転載された生産情報が生産プロセス内のどこかで間違いが発生し、次工程に伝達されても構造図との照合を都度おこなっていないため、間違った生産情報がそのまま次工程に流れる可能性が高いことを明らかにした。その結果、鉄筋工事の生産プロセス内である配筋・組立や配筋検査において不具合が発生する要因のひとつと結論づけた。総合建設工事会社から始まった生産情報の伝達は一方通行であり、生産情報が流通する過程で見逃された不具合が最終的に発覚するのは、配筋・組立プロセス内か配筋検査プロセスでしか見つける術はなかったのである。

本章では、鉄筋工事の生産プロセスで使用される生産情報は、工程内チェックにおいて合否を確認する項目でもあることに着目し、鉄筋加工工場と工事現場における作業実態の調査から工程内チェックの時期を工程分析図としてまとめ、不具合の発生と生産情報の関連を分析し、生産情報を総合的にマネジメントしうる技術の方向性を考察する。

まず第2節「工程分析手法の適用」では、工程分析の手法について論じる。次いで第3節「鉄筋加工工場内における工程内チェックの分析」では、鉄筋加工工場内における工程内チェックに着目し、鉄筋加工プロセスにおける生産情報の使用方法を分析する。第4節「工事現場内における工程内チェックの分析」では間配りから配筋・組立プロセスにおける生産情報の使用方法を分析する。そして第5節「配筋検査時に使用する生産情報の分析」では、生産プロセスの最後に生産情報を検査している検査項目を体系化し、工事監理者は工事現場における最終の出来形に対して、どのような項目を検査しようとしているのかを整理し、生産プロセス内で確定された生産情報と配筋・組立時の作業で確定される生産情報の体系化を試みる。さらに第6節「配筋検査時に発覚する施工不具合と工程内チェックとの関連性」では、配筋検査時に指摘される是正指示項目と工程内チェックの関連性を考察する。最後に第3節から第6節までの工程分析の結果から配筋検査時に使用する生産情報の確定時期と確定された生産情報がどのように次工程で使用されているのかを整理し、工程内チェックで 사용되는生産情報の連携の在り方を考察する。

---

## 4-2 工程分析手法の適用

---

### (1) 工程分析の概要



工程分析の手法は一般的に製造業において適用されており、材料が製品になるまでの製造工程を分析する生産管理手法のひとつである。分析の目的は製造プロセスを明らかにすることであり、それらの分析結果から改善点を見出す。工程分析には JIS Z8206 で規定されている工程図記号を使用して図表化し、各工程の作業内容や使用する機械などとともに記録され、製造工程は以下の 4 項目に分類してフロー図として作成される<sup>[4]</sup>。

- ① 加工：原料，材料，部品または，製品の形状，性質に変化を与える過程
- ② 運搬：原料，材料，部品または，製品の位置に変化を与える過程
- ③ 停滞：原料，材料，部品または，製品が，計画に反して滞っている，または，計画により蓄えられている状態
- ④ 検査：原料，材料，部品または，製品の量や品質を検査し，ロットの合格，不合格，または，個品の良・不良を判定する過程

## **(2) 工程分析の進め方**

### **目的**

鉄筋加工工場における鉄筋加工のプロセスと工事現場における配筋・組立のプロセスにおいて工程内チェックの実態を明らかにし、使用される生産情報に着目することで、不具合が発生する要因を示し、生産情報の活用方法の改善を考察する。

### **対象**

鉄筋加工工場では加工する部材を特定せず、鉄筋加工工場全体のフロー図を示す。なお、部材別の加工工程における不具合の発生要因に関する分析は、第 5 章「鉄筋加工工場における不具合発生要因の分析」で詳細に述べる。工事現場内のフロー図は、配筋・組立作業が輻輳する柱と梁を対象とする。なお、躯体図や配筋納まり図、配筋図、加工帳、加工図、絵符を作成する際の工程内チェックは、作成者自らの自主チェックに大きく依存していることが実態調査で判明しているため、工程分析の対象外とした。

### **工程**

鉄筋加工工場と工事現場における工程分析は、加工、運搬、停滞、検査の 4 種類に分類してフロー図を作成する。なお、各工程における資材や部品類の供給とその作業に使用する機械・工具類を水平線で示し、作業の流れを示す垂直線に連結してその内容を明示した。

### **工程図記号**

工程分析に使用する工程図記号は、JIS に定められた記号を基本として使用するが、作業分析により加工中に実施されている検査が存在することから、検査に関する工程図記号に「加工と確認」の検査記号を追加した。使用する工程図記号を図 4-1 に示す。工程の要素である検査が、工程内チェックの項目であると言える。今回の工程分析図作成の目的から、工程内チェックと検査との関係性を示す必要があるため、3 つの検査記号に対して、工程内チェックの実施方法を 2 つに分類した。分類の基準を以下に示す。

- ① 検査：チェックした記録を残す必要がある作業
- ② 確認：目視確認のようにその場で判断し記録には残さない作業

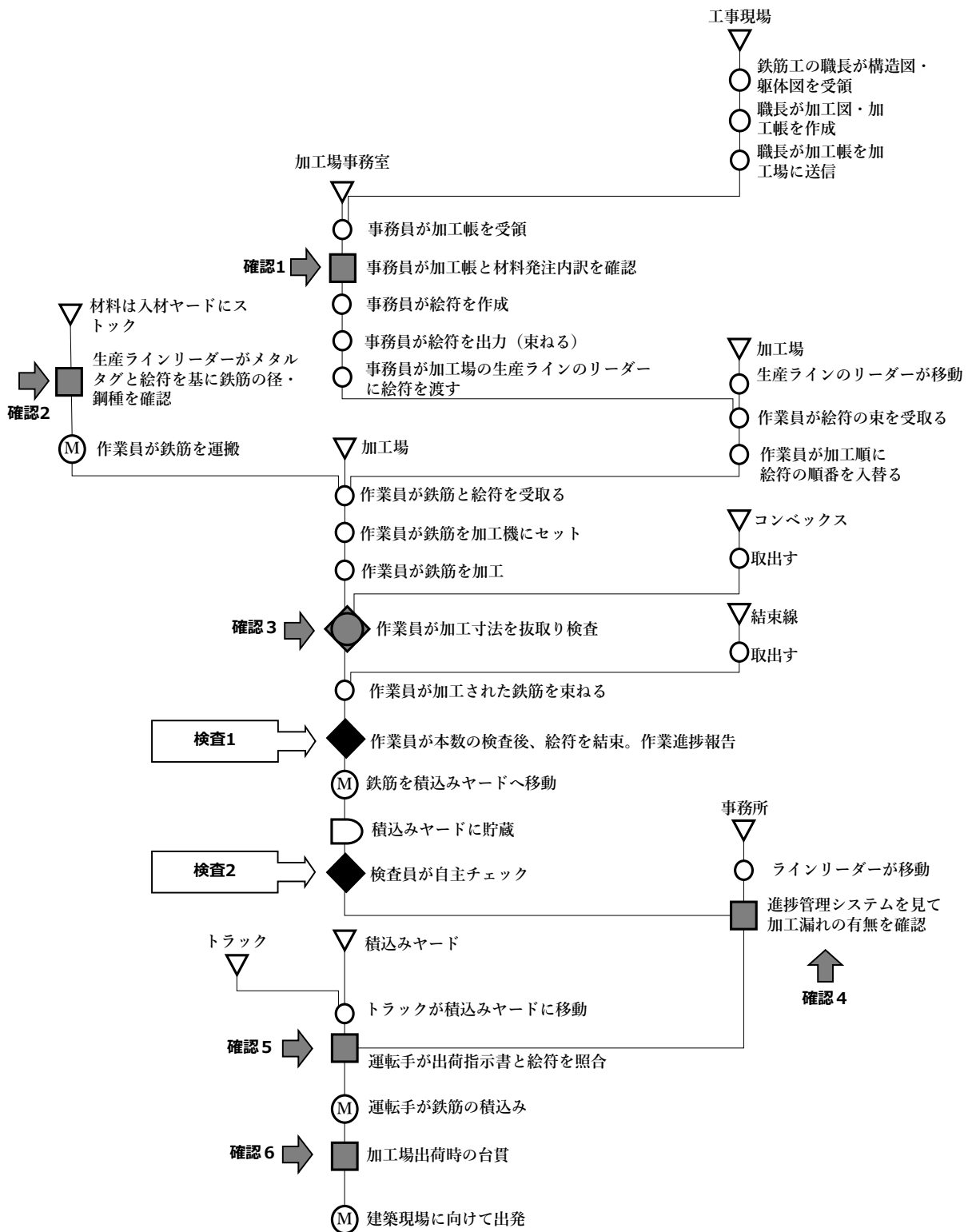


図 4-2 鉄筋加工工場内の工程分析図

要素工程	記号の名称	記号	意味
加工	加工	○	材料、部品または製品の形状の変化を与える過程
運搬	運搬	Ⓜ	材料、部品または製品の位置に変化を与える過程
停滞	貯蔵	▽	材料、部品または製品を計画的に貯えている過程
	滞留	D	材料、部品または製品が滞っている状態
検査	数量検査	■	材料、部品または製品の量、個数を測り、その結果を基準と比較して差異を知る過程
	加工と確認	◈	加工を主としながら確認をおこなう
	計量検査	◆	材料、部品または製品の品質や形状を確認し、その結果を基準と比較して個品の良、不良を判定する過程

図 4-1 工程分析記号

### (3) 調査の対象

工程分析の対象とした鉄筋加工工場は第 3 章表 3-1 に示した B 社，工事現場は第 3 章表 3-3 に示した H 計画とし，調査期間内に実施した。

#### 4-3 鉄筋加工工場内における工程内チェックの分析

鉄筋加工工場内での工程分析図を図 4-2 に示す。工事現場から加工帳を受領して加工された鉄筋が搬出されるまでを一連の工程で構成されていたが、貯蔵の時期が工事現場、事務所、鉄筋加工工場、加工機、結束線置き場、積み込みヤード、トラックのように多種になっており、鉄筋加工工場における作業が輻輳しながら進んでいることが特徴と言える。工事現場や鉄筋加工工場の事務所から始まり次の貯蔵である加工機までの間に数量検査があるように、貯蔵から次の貯蔵に行くまでには必ず検査が実施されており、次工程にいくまでには検査を実施する体制になっていることが確認できた。次の貯蔵に移る時期には、業務を担う担当者が変わっていることも関係していると考えられる。

工程の分類に従って工程記号の数を集計した結果を図 4-3 に示す。全体の工程数は 40 工程あり、加工工程：17、運搬工程：4、停滞：11、検査：8 であり、加工工程が全体の 42.5%を占めており、次いで停滞の貯蔵工程が 25.0%，検査の 20.0%だった。

要素	加工	運搬	停滞		検査			合計
記号 名称	加工	運搬	貯蔵	滞留	数量 検査	加工と 確認	計量 検査	
工程数 (工程)	17	4	10	1	5	1	2	40
割合 (%)	42.5	10.0	25.0	2.5	12.5	2.5	5.0	100

図4-3 工程数（鉄筋加工工場内）

確認 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	鉄筋加工工場の 事務員	①職長からの加工帳 ②総合建設工事会社 からの発注書	①強度、径、加工形状、加工 本数、納品日 ②強度、径、メーカー名	目視による自主チェック
2	ラインリーダー	①絵符 ②メタルタグ	①メーカー名、強度、径 ②メーカー名、強度、径	目視による自主チェック
3	加工を担当する技能 労働者	絵符	加工形状、加工寸法、加工 本数	・加工寸法はコンベックス による計測 ・加工形状と本数は目視に よる自主チェック
4	鉄筋加工工場の 事務員	絵符	加工作業の終了	・目視による自主チェック (システム使用)
5	運送会社の運転手	①出荷指示書 ②絵符	①絵符番号 ②絵符番号	目視による自主チェック
6	運送会社の運転手	出荷指示書	出荷する鉄筋の重量	台貫による目視チェック

図4-4 工程内チェック（確認作業）

検査 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	加工を担当する技能 労働者	絵符	加工本数	・目視による本数カウント ・作業進捗は絵符のバーコ ードを読み込ませること で報告される
2	鉄筋加工工場の品質 管理担当者	絵符	加工形状、加工寸法、加工 本数	・加工寸法はコンベックス による計測 ・加工形状、本数は目視

図4-5 工程内チェック（検査作業）

検査項目を詳細に確認してみると、検査項目全体に対して、数量検査：5、加工と確認：1、計量検査：2であった。数量検査は検査記録を残す必要になっていない工程内チェックの確認作業であり、検査全体の 62.5%が目視確認やコンベック計測だった。残りの 37.5%は工程内チェックの検査作業であるが、検査 1 は絵符毎に作業進捗を事務所に報告しており、検査 2 は品質管理担当者による加工ロット毎の検査が義務づけられていた。B 社では絵符に印字されたバーコードを読み取ることで加工作業の終了工程を管理しており、終了がすなわち工程内チェックに問題がなかったことと読み替えていた。最後の検査 2 は鉄筋加工工場内に配置されている品質管理担当者が、出荷前に絵符ごとの抜き取り検査を実施しており、検査記録が残されていたが、出荷先の単位ではなく絵符単位だった。生産情報の記録は、作業進捗管理を除きすべての工程内チェックにおいて紙が媒体だった。

図 4-4 に工程内チェックの確認について実施者と使用する生産情報と確認の方法を示す。工程内チェックの実施者は事務所の事務員、ラインリーダー、技能労働者、運転手の 4 種類に分類することができた。鉄筋加工から出荷を担うすべての担当者が工程内チェックを担っていた。絵符の作成を担当する事務員は、加工帳に記載がある生産情報を参照しながら絵符を作成しており、それ以降の工程内チェックは出荷前の製品検査まで絵符に記載されている生産情報が流通していた。絵符の作成には部材毎の組立完成後のイメージは無く、加工ロット単位に変換された生産情報であり、鉄筋加工工場内では単に加工するロットで工程内チェックが実施されていた。出荷指示書も絵符単位で作成されているため、部材の組立に関わる不具合に気が付きようはないと言える。

図 4-5 に工程内チェックの検査について実施者と使用する生産情報と確認の方法を示す。工程内チェックの実施者は、加工を担当する技能労働者と鉄筋加工工場の品質管理担当者の 2 種類に分類することができた。工程内チェックに使用する生産情報は、すべて絵符に記載されている形状や数値を基にしていた。確認と同様に部材の組立に関わる不具合に気が付きようはないと言える。検査 2 の工程内検査においてはチェックシートが作成されているが、検査の結果は加工を依頼した職長や総合建設工事会社と情報共有はなされていなかった。

---

#### 4-4 工事現場内における工程内チェックの分析

---

##### (1) 搬入・間配り

鉄筋加工工場から工事現場に搬入車両が到着してから施工階に鉄筋を揚重するまでの工程分析図を図 4-6 に示す。加工された鉄筋材料が施工階に配置されるまでを一連の工程で構成されていた。搬入車両に積載された絵符が結束されている鉄筋束の積み込み順序は、工事現場の職長が鉄筋加工工場に加工帳を伝達する際に指示をしていた。受入れ時の工程内チェックは、職長が自ら作成した加工帳と鉄筋の束に結束されている絵符を照合するのみであり、加工寸法や材質までの工程内チェックはなされていない。基本的に業務を担っていたのは職長のみであった。工程の分類に従って工程記号の数を集計した結果を図 4-7 に示す。全体の工程数は 10 工程あり、加工工程：0、運搬工程：1、停滞工程：8、検査：1 であり、停滞工程が全体の 80.0%を占めていた。次いで運搬工程の 10.0%、検査工程の 10.0%が占めた。間配り工程では、揚重の段取り作業であるため、停滞の工程が大部分を占める結果になったと考えられる。検査項目を詳細に確認してみると、検査項目全体に対して、数量

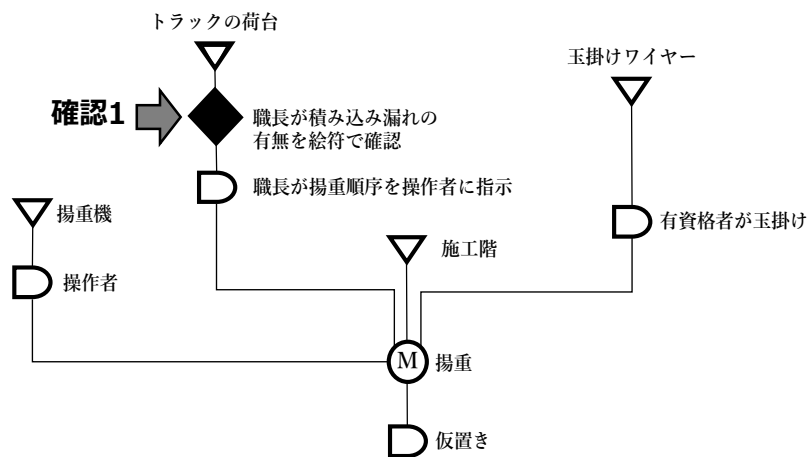


図 4-6 間配りの工程分析図

要素	加工	運搬	停滞		検査			合計
記号 名称	加工	運搬	貯蔵	滞留	数量 検査	加工 確認	計量 検査	
工程数 (工程)	0	1	4	4	0	0	1	10
割合 (%)	0	10.0	40.0	40.0	0	0	10.0	100

図 4-7 工程数 (間配り)

確認 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	職長	①絵符 ②加工帳	①部位, 加工形状 ②部位, 加工形状, 納品日	目視による自主チェッ ク

図 4-8 間配りにおける工程内チェック (確認作業)

検査：0，加工確認：0，計量検査：1であり，検査記録を残す必要が無い工程内チェックの確認作業がすべてを占めていた。工程内チェックの手法が単に絵符と加工帳を照合させて，施工階に揚重するのが主な作業であるため，この段階では配筋・組立時の不具合を想定することはできず，絵符に記載された加工形状や加工寸法の通りに納品されているのかも確認する術はないと言える。生産情報の閲覧は，すべての工程内において紙が媒体だった。図4-8に工程内チェックの確認について実施者と使用する生産情報と確認の方法を示す。なお検査は見当たらない。工程内チェックの実施者は，職長のみであった。工程内チェックに使用する生産情報は，絵符に記載されている形状や数値と自らが作成した加工帳を目視で照合するのみであった。

## (2) 柱の配筋・組立

柱筋の配筋・組立に関する工程分析図を図4-9に示す。技能労働者は間配りされた絵符が結束された鉄筋の束から配筋・組立に必要な本数の鉄筋を取り出し，加工寸法，鉄筋径を計測する。計測は絵符が結束された鉄筋の束から抜き取りで実施し，残りは目視で加工確認をしていた。そのため，絵符単位すなわち加工ロットに対する鉄筋の加工形状ミスは見つけ出すことができると考えられる。加工本数に関しては全数を確認していないため，過不足は配筋・組立作業が完了しないと気が付きにくい。この段階で絵符は破棄され，配筋図や加工図をもとにして鉄筋の配筋・組立が始まる。

施工階に仮置きされた鉄筋が配筋・組立が完了するまでを一連の工程で構成されていた。一連の作業における工程内チェックは，職長が自ら作成した加工帳と鉄筋の束に結束されている絵符を照合し，作業開始前に加工形状や加工寸法を確認していた。工程内チェックの実施は職長だけでなく，実際に配筋・組立作業をおこなう技能労働者も抜き取りで実施していた。工程の分類に従って工程記号の数を集計した結果を図4-10に示す。全体の工程数は29工程あり，加工工程：10，運搬工程：3，停滞工程：8，検査：8であり，加工工程が全体の34.5%を占めていた。次いで停滞工程の27.6%，検査工程の27.5%が占めた。配筋・組立作業が中心であるため，加工工程が約35%を占める結果になったと考えられる。検査項目を詳細に確認してみると，検査項目全体に対して，数量検査：4，加工確認：1，計量検査：3であり，検査記録を残す必要が無い工程内チェックの確認作業が5，検査記録を残す必要がある検査が3であった。図4-11に工程内チェックの確認と図4-12に検査について実施者と使用する生産情報と確認の方法を示す。工程内チェックの確認を実施する者は，配筋・組立作業を実際に担当する技能労働者が中心であり，手元で参照しているのは職長が作成した加工図と鉄筋加工工場で結束されている絵符である。実際の作業では構造図を参照することは稀であることが明確になった。ところが，配筋・組立作業が完了してからの検査数は3種類が確認され，それらはいずれも構造図に記載された生産情報が，その通りに配筋・組立をされているのかを確認していた。実施は3ステップあり，まずは鉄筋専門工事会社の職長の自主検査，その後，総合建設工事会社の鉄筋工事担当者の自主検査，そして最後に工事監理者立ち合いによる配筋検査で検査主体が異なっていた。

確認と検査で大きくチェック項目が変わる。前者は配筋・組立前の鉄筋の加工形状や加工寸法，加工本数を対象としているが，後者においては配筋・組立が完了した後に初めてチェックが必要になる項目が出現することである。例えばかぶり厚さの検査項目である。帯筋を例にすると，加工図の作成段階ではかぶり厚さは主筋位置との関係ですでに決まっており，帯筋の加工サイズは，考慮された寸法で加工されているはずである。正しく帯筋の配置が計画され加工がなされなければ，配筋検査の

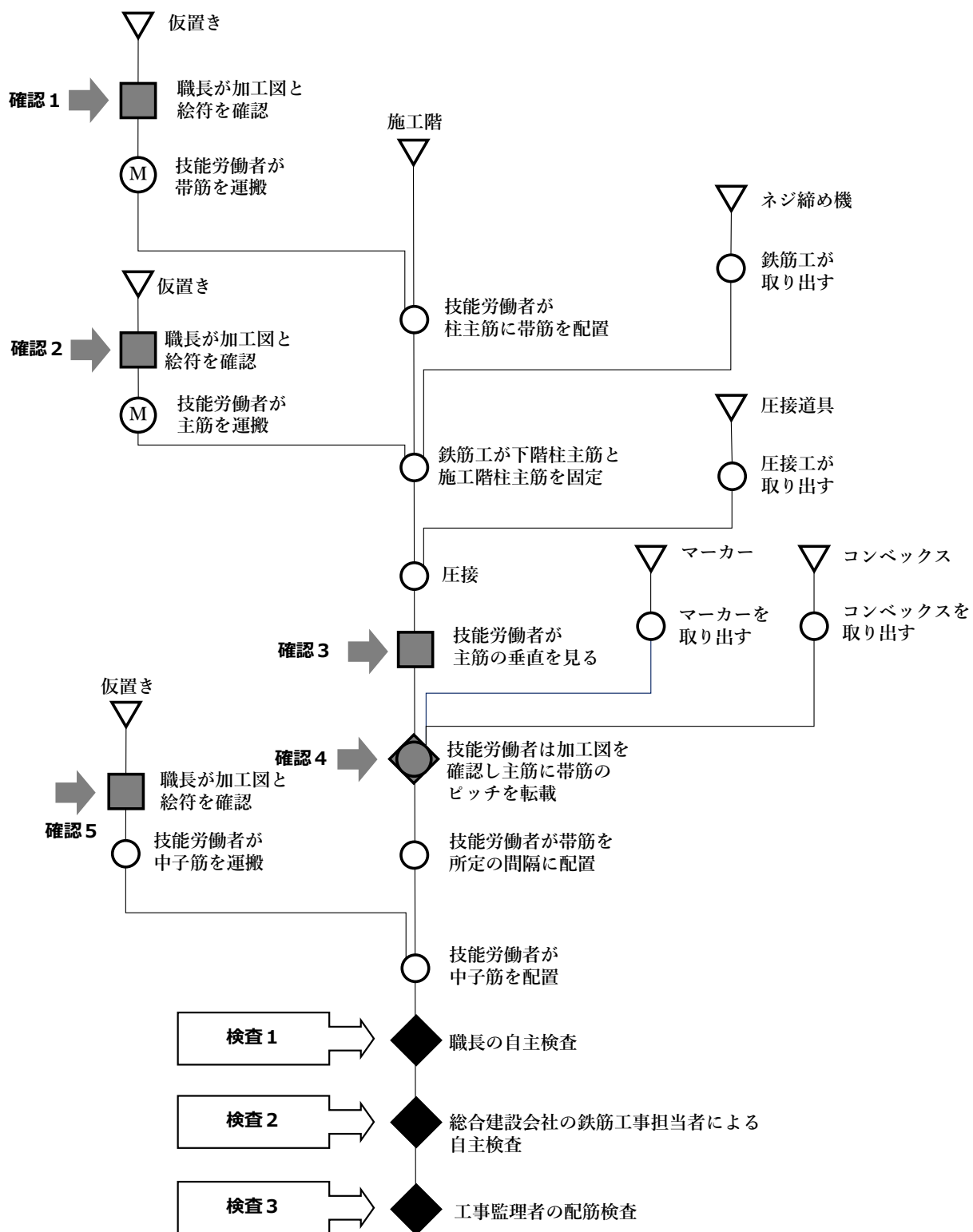


図4-9 柱鉄筋の配筋・組立における工程分析図



要素	加工	運搬	停滞		検査			合計
記号名称	加工	運搬	貯蔵	滞留	数量検査	加工確認	計量検査	
工程数 (工程)	10	3	8	0	4	1	3	29
割合 (%)	34.5	10.3	27.6	0	13.8	3.4	10.3	100

図4-10 工程数 (柱の配筋・組立)

確認 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	配筋・組立を担当する技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	・目視による自主チェック ・寸法はコンベックスによる抜き取り確認
2	配筋・組立を担当する技能労働者	①上階の加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	・目視による自主チェック ・寸法はコンベックスによる抜き取り確認
3	配筋・組立を担当する技能労働者	なし	なし	・目視による自主チェック
4	配筋・組立を担当する技能労働者	加工図	ピッチ	・目視でピッチを確認してから主筋に転載
5	配筋・組立を担当する技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	・目視による自主チェック ・寸法はコンベックスによる抜き取り確認

図4-11 工程内チェック (確認作業)

検査 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	【自主検査】 職長	①加工図 ②構造図	径, 本数, ピッチ, かぶり厚さ, 空き寸法, など	・コンベックスによる計測 ・目視による検査
2	【自主検査】 総合建設工事会社の 鉄筋工事担当者	構造図	径, 本数, ピッチ, かぶり厚さ, 空き寸法, など	・コンベックスによる計測 ・目視による検査
3	【配筋検査】 工事監理者	構造図	径, 本数, ピッチ, かぶり厚さ, 空き寸法, など	・コンベックスによる計測 ・目視による検査

図4-12 工程内チェック (検査作業)

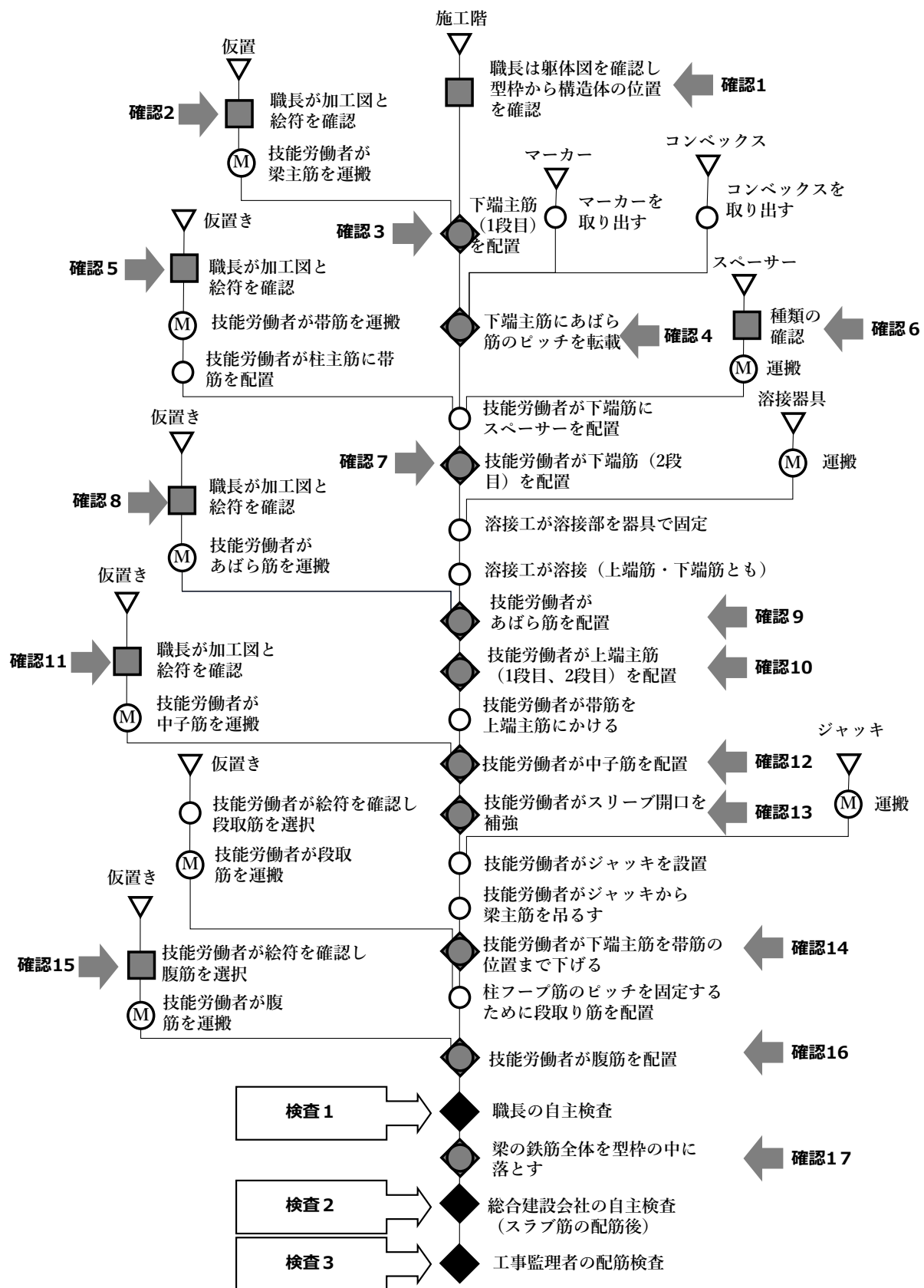


図 4-13 梁鉄筋の配筋・組立における工程分析図

タイミングで配筋・組立で不具合がなければ大きな間違いは発生しにくいと考えられる。柱鉄筋の配筋・組立時には型枠が存在しておらず、かぶり厚さが不足するような場合は、型枠を建て込んでから発覚するため、配筋・組立が完了した時点では確認することは難しい。なお、3つある検査で使用する検査シートは、ひとつの書式の中に記録しており、記載者により文字の色を変えて統一した情報の管理をする試みが見られたが、統一されていない場合もあることが指摘された。工事監理者の監理方針や工事現場における検査の考え方に依存しているものと考えられる。

配筋検査における検査項目と生産情報の関連性に関する分析は第5節で、工程内チェックの不具合が配筋検査時に発覚する関連性の分析を第6節において詳細に触れる。

### (3) 梁の配筋・組立

梁筋の配筋・組立に関する工程分析図を図4-13に示す。技能労働者は間配りされた絵符が結束された鉄筋の束から配筋・組立に必要な本数の鉄筋を取り出し、加工寸法、鉄筋径を計測する。計測は絵符が結束された鉄筋の束から抜き取りで実施し、残りは目視で加工確認をしている。そのため絵符単位すなわち加工ロットに対する鉄筋の加工形状不具合は見つけ出すことができると考えられる。加工本数に関しては全数を確認していないため、過不足は配筋・組立作業が完了しないと気が付きにくい。この段階で絵符は破棄され、構造図や加工図をもとにして鉄筋の配筋・組立が始まる。

施工階に仮置きされた鉄筋が配筋・組立が完了するまでを一連の工程で構成されていた。一連の作業における工程内チェックは、職長が自ら作成した加工帳と鉄筋の束に結束されている絵符を照合し、加工形状や加工寸法を確認していた。工程内チェックの実施は職長だけでなく、実際に配筋・組立作業をおこなう技能労働者も抜き取りで実施していた。工程の分類に従って工程記号の数を集計した結果を図4-14に示す。全体の工程数は53工程あり、加工工程：11、運搬工程：9、停滞工程：13、検査：20であり、検査工程が全体の37.8%を占めていた。次いで停滞工程の24.5%、加工工程の20.8%が占めた。配筋・組立作業をしながら確認をする項目が多いのが柱鉄筋との違いであった。

検査項目を詳細に確認してみると、検査項目全体に対して、数量検査：7、加工確認：10、計量検査：3であり、検査記録を残す必要が無い工程内チェックの確認作業が17、検査記録を残す必要がある検査が3であった。図4-15に工程内チェックの確認と図4-16に検査について実施者と使用する生産情報と確認方法を示す。工程内チェックの確認を実施する者は、配筋・組立作業を実際に担当する技能労働者が中心であり、手元で参照しているのは職長が作成した加工図と鉄筋加工工場に結束されている絵符の生産情報である。実際の作業では構造図を参照することは稀であり、柱主筋と同様である。ところが、配筋・組立作業が完了してからの検査数は3種類が確認され、それらはいずれも構造図に記載された生産情報が実際にその通りに配筋・組立をされているのかを確認していた。実施は3ステップあり、柱鉄筋と同様であった。

要素	加工	運搬	停滞		検査			合計
記号名称	加工	運搬	貯蔵	滞留	数量検査	加工確認	計量検査	
工程数 (工程)	11	9	12	1	7	10	3	53
割合 (%)	20.8	16.9	22.6	1.9	13.2	18.9	5.7	100

図4-14 工程数 (梁の配筋・組立)

確認 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	配筋・組立を担当する 技能労働者	躯体図	躯体の配置 (型枠の位置)	目視
2	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
3	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
4	配筋・組立を担当する 技能労働者	加工図	ピッチ	目視後, 主筋に転載
5	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
6	配筋・組立を担当する 技能労働者	加工図	かぶり寸法	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
7	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
8	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①加工形状, ピッチ ②加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
9	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①加工形状, ピッチ ②加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
10	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①強度, 径, 加工形状, 加工本数 ②強度, 径, 加工形状	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
11	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①加工形状 ②本数	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
12	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	①加工形状 ②本数	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認
13	配筋・組立を担当する 技能労働者	①躯体図 ②絵符	①スリーブ位置 ②加工形状, 本数	目視
14	配筋・組立を担当する 技能労働者	加工図	加工寸法	目視 (型枠との取り合いを 見る)
15	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	径, 本数	目視
16	配筋・組立を担当する 技能労働者	①加工図 ②絵符	径, 本数	目視
17	配筋・組立を担当する 技能労働者	①構造図 ②絵符	①配置位置 ②径, 長さ	寸法はコンベックスによる 抜き取り確認

図4-15 工程内チェック (確認作業)

検査 番号	実施者	使用する生産情報		確認の方法
1	【自主検査】 職長	①加工図 ②構造図	径、本数、ピッチ、かぶり厚さ、 空き寸法、など	・コンベックスによる計測 ・数量カウント
2	【自主検査】 総合建設工事会社の 鉄筋工事担当者	構造図	径、本数、ピッチ、かぶり厚さ、 空き寸法、など	・コンベックスによる計測 ・数量カウント
3	【配筋検査】 工事監理者	構造図	径、本数、ピッチ、かぶり厚さ、 空き寸法、など	・コンベックスによる計測 ・数量カウント

図4-16 工程内チェック（検査作業）

#### 4-5 配筋検査時に使用する生産情報の分析

配筋・組立の生産プロセスが終わると、工事監理者による配筋検査が最後におこなわれる。設計図書から始まる生産情報を最終の出来型として、可否をチェックする重要な業務である。配筋検査する項目は発注者の品質管理基準や総合建設工事会社の社内基準等で異なる。そこで、主に集合住宅を扱っている発注者2社と筆者が所属している企業における検査項目の比較を図4-17に柱を示し、図4-18に梁を示す。それぞれの図には検査の可否に及ぼすプロセスとして図面作成と配筋・組立作業として分類した。検査の項目はそれぞれの企業の検査項目から共通している項目を1項目として整理したところ25項目が抽出できた。

柱鉄筋の検査項目のうち3社で共通した項目は7項目であり、①鉄筋材質（ロールマーク）、②鉄筋径、③配筋本数、④ピッチ、⑤鉄筋相互のあき、⑥フック形状、⑦配置位置・範囲・方向が確認できた。いずれも設計図書に記載があり、図面作成プロセスで確定している項目である。配筋・組立プロセスの作業が終らないと確認できないような項目は25項目中の8項目だった。具体的には①保持方法、②圧接継手部分、③溶接継手部分、④機械式継手部分、⑤使用するスペーサーの種類、⑥結束・固定方法、⑦清掃状況、⑧差し筋を挙げることができる。そのため、検査項目の30%は工事現場における作業に依存するが、それ以外の70%は図面作成や鉄筋加工のプロセスで確定しており、計画された通りに配筋・組立作業ができていれば、不具合が発生しにくいと考えられる。

梁鉄筋の検査項目のうち3社で共通した項目は6項目であり、①鉄筋材質（ロールマーク）、②鉄筋径、③配筋本数、④ピッチ、⑤鉄筋相互のあき、⑥定着長さが確認できた。いずれも設計図書に記載があり、図面作成プロセスで確定している項目である。さらに配筋・組立プロセスの作業が終らないと確認できないような項目は25項目中の8項目だった。具体的には①保持方法、②圧接継手部分、③溶接継手部分、④機械式継手部分、⑤使用するスペーサーの種類、⑥結束・固定方法、⑦清掃状況、⑧差し筋を挙げることができる。そのため、検査項目の30%は工事現場における作業に依存するが、それ以外の70%は図面作成や鉄筋加工のプロセスで確定しており、計画された通りに配筋・組立作業ができていれば、不具合が発生しにくいと考えられる。

一方、かぶり厚さのように図面作成プロセスで確定されているが、その通りに作業をしなければいけないような項目がある。主筋の配置から帯筋やあばら筋のサイズが確定されており、加工形状に問題がなければ、配筋・組立プロセスで配置箇所の間違いに気がつくと考えられる。

番号	検査項目	A社	B社	C社	検査の可否に及ぼすプロセス	
					図面作成	配筋・組立
01	鉄筋材質（ロールマーク）	○	○	○	○	－
02	鉄筋径	○	○	○	○	－
03	配筋本数	○	○	○	○	－
04	ピッチ	○	○	○	○	－
05	鉄筋相互のあき	○	○	○	○	－
06	保持方法	○	－	－	－	○
07	フック形状	○	○	○	○	－
08	配置位置・範囲・方向	○	○	○	○	－
09	継手位置	－	○	○	○	－
10	継手長さ	－	○	○	○	－
11	圧接継手部	○	○	－	－	○
12	溶接継手部	○	－	－	－	○
13	機械式継手部	○	○	－	○	○
14	定着位置	－	－	○	○	－
15	定着長さ	－	○	○	○	－
16	機械式定着部	－	－	－	○	－
17	カットオフ長さ	－	○	－	○	－
18	かぶり厚さ	○	○	－	○	－
19	スペーサー種類・寸法・配置	○	－	○	－	○
20	スリーブのかぶり	－	－	－	○	－
21	結束・固定状況	○	－	○	－	○
22	清掃状況	－	－	○	－	○
23	柱絞り	－	○	○	○	－
24	スリーブ	－	－	－	○	－
25	差し筋	－	－	○	－	○

図4-17 検査項目一覧（柱）

番号	検査項目	A社	B社	C社	検査の可否に及ぼすプロセス	
					図面作成	配筋・組立
01	鉄筋材質（ロールマーク）	○	○	○	○	－
02	鉄筋径	○	○	○	○	－
03	配筋本数	○	○	○	○	－
04	ピッチ	○	○	○	○	－
05	鉄筋相互のあき	○	○	○	○	－
06	保持方法	○	－	－	－	○
07	フック形状	○	－	○	○	－
08	配置位置・範囲・方向	－	－	－	○	－
09	継手位置	－	○	○	○	－
10	継手長さ	－	○	○	○	－
11	圧接継手部	○	○	－	－	○
12	溶接継手部	○	○	－	－	○

番号	検査項目	A社	B社	C社	検査の可否に及ぼすプロセス	
					図面作成	配筋・組立
13	機械式継手部	○	○	—	○	○
14	定着位置	○	—	○	○	—
15	定着長さ	○	○	○	○	—
16	機械式定着部	○	—	—	○	—
17	カットオフ長さ	○	○	—	○	—
18	かぶり厚さ	○	○	—	○	—
19	スペーサー種類・寸法・配置	○	—	○	—	○
20	スリーブのかぶり	—	—	—	○	—
21	結束・固定状況	○	—	○	—	○
22	清掃状況	—	—	○	—	○
23	断熱材	—	○	—	○	—
24	スリーブ	—	○	○	○	—
25	差し筋	—	○	○	—	○

図4-18 検査項目一覧（梁）

#### 4-6 配筋検査時に発覚する施工不具合と工程内チェックとの関連性

工事監理者による配筋検査の前には、鉄筋加工工場内での自主検査、工事現場の職長による自主検査、総合建設工事会社の自主検査がおこなわれているが、配筋検査時に施工不具合が発覚する場合があります。樋脇らの調査により図4-19に示す事象が報告されている<sup>[5]</sup>。さらに、施工不具合を繰り返さない対策として自主検査が最も多い、と調査結果を報告しているが、配筋検査以前の生産プロセス内においてすでに不具合が発生していると考えなければいけない項目が多いと考えられる。

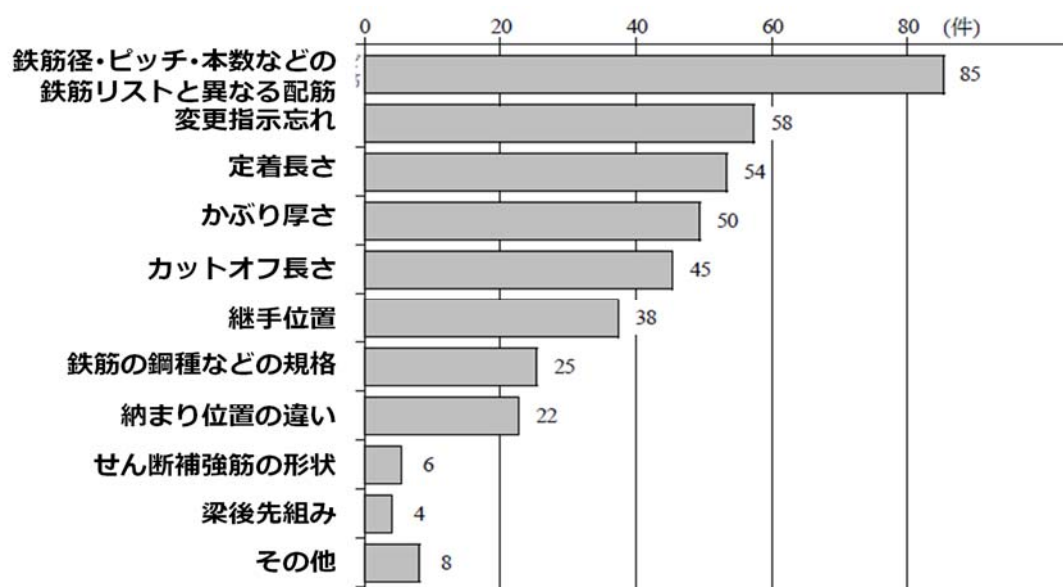


図4-19 施工不具合の事例

そこで、20 件以上の事例が見られた 8 項目について、図 4-9、図 4-13 で示した工程内チェックの箇所で施工不具合が見落とされたのかを考察する。

### (1) 鉄筋径・ピッチ・本数などの鉄筋リストと異なる配筋

構造図の部材断面リストと配筋・組立が完了した鉄筋が異なる事象は、多様な場合が考えられる。工事現場の総合建設工事会社の技術者から聞き取った代表的な事象と発生要因を示す。

#### ① 柱の XY 方向を間違える

構造図の断面リストの見間違いや覚え間違いによって施工不具合が生じる。主筋の本数自体は正しいため、柱の確認 2 による図面の照合でしか防ぐことができないが、職長による加工図の作成段階ですでに図面の読み間違いの不具合が発生している可能性もある。

#### ② 柱主筋の本数が不足している

職長が上階での柱主筋の本数増を見落とししている場合が大半である。一般的には階数が上がれば、鉄筋の本数が減っていくという思い込みにより見落としが生じやすい。職長が作成した加工図を第 3 者が構造図と照査する作業工程が見当たらないため、柱の確認 2 では、間違っている認識を持ちにくい。

#### ③ 柱主筋の絞り方向の間違い

加工図と躯体図の照合不足による見間違いや覚え間違いによると思われる。絞り方向は上階の躯体図を参照する必要がある。

#### ④ 梁主筋の下端筋本数不足

2 つの可能性が考えられる。1 つは加工図・加工帳を作成した段階ですでに加工本数が不足していた、もう 1 つは配筋・組立時の本数間違いである。前者は加工図か加工帳の間違いである。構造図の部材リストに記載されている本数が数字のため、組立作業時の覚え間違いにより、誤った指示により配筋・組立をした可能性がある。梁の確認 2 や確認 3、確認 10、確認 11 の中子筋組立時でしか気づくタイミングは無い。絵符は加工形状ごとに作成されているため、下端筋の配筋後に残ってしまった鉄筋の本数を確認することでも不足に気付くことができる可能性がある。

#### ⑤ 帯筋やあばら筋のピッチ間違い

例えば 100mm ピッチが一部 200mm となっていることがある。柱の確認 1 や梁の確認 4 にて主筋に正しくピッチを転写できれば間違いを防ぐことができるが、手作業での転写方法では勘違いまでは防げない。主筋にピッチを転記し間違えたことが要因だと考えられるが、加工帳を作成する際に勘違いが発生している可能性も否定できない。

### (2) 変更指示忘れ

変更指示項目の多くは、床段差位置やスリーブ位置のように躯体図を作成する時点で生産情報が確定される箇所と考えられる。鉄筋加工工場への聞き取り調査の際にもスラブ段差位置の変更が圧倒的に多いと指摘された。鉄筋の組立中に型枠形状との違いにより鉄筋が配筋できないことで初めて変更を知り、急遽再発注をされる場合がある。ふかし筋についても同様である。加工帳を作成した後に躯体形状に関する生産情報の変更指示が共有できていないことが要因と考えられる。一方で主架構に関わる柱や梁の主筋に関する変更はほぼ無い。



### **(3) 定着長さ**

加工図の作成段階での間違いが考えられる。ここでの間違いはそのまま加工帳に転載されるため、後工程では気がつかない。梁部材では配筋・組立時の確認 17 で型枠に落とし込む際に配置位置を間違えた可能性もある。

### **(4) かぶり厚さ**

例えば、梁の配筋においてかぶり厚さが確保できない場合、あばら筋の加工寸法の間違いが考えられる。定着長さ同様に加工図の間違いがそのまま加工帳に転載され後工程で気がつかない。一方で、加工図や鉄筋加工において不具合がなければ配筋・組立時の作業に原因がある。かぶり厚さを確保できるスペーサーを挿入することで解決されることもある。型枠の組立精度にも関連している。

### **(5) カットオフ長さ**

鉄筋の加工寸法が正確であればカットオフ長さは自ずと確保されるため、配筋・組立時の配置間違いとなる。梁の確認 10 で職長が確認している。また、カットオフの長さをスラブ型枠に構造図から転記することで組立時に確認している場合が見られる。加工寸法の間違いは、加工帳の間違いになる。

### **(6) 継手位置**

継手位置は構造図には具体的に明記されておらず、単体規定の数値が守られていればどこにあっても良い。総合建設工事が作成する配筋納まり図では指定をしていない。職長が加工図を作成する際に確定させて鉄筋加工をおこなう。配筋・組立では加工図を基に作業が進んでいるため、職長や技能労働者は間違いに気が付かない。総合建設工事会社においても自らが継手位置を指示していないため、自主検査や配筋検査に至るまでに気が付かない。継手位置は職長が加工図の作成段階で鉄筋切断位置を決める際の間違いと考えられる。

### **(7) 鉄筋の鋼種などの規格 (例えば SD390 が SD490)**

鉄筋加工工場における鉄筋の材料置き場から加工する場所に材料を運ぶ、倉出しの際に使用する材料を間違えた可能性がある。鉄筋加工工場の確認 2 のタイミングが重要である。倉出しでは生産ラインの担当者が絵符とメタルタグを照らし合わせているが、それ以降、鉄筋加工工場での材質についての自主検査はない。このようなことが無いように鉄筋加工工場では使用するメーカーの限定や規格毎に在庫管理をするなど加工前に不具合の発生を防ぐ取り組みを進めている。一方、総合建設工事が鉄筋専門工事に発注する際は、材料と人工に分けて発注する 경우가多く、材料は総合建設工事がメーカーに直接発注して、鉄筋加工工場に直接納入する。複数の工事現場から鉄筋加工を請負う加工工場では、使用するメーカーが複数にわたり混在した材料管理になる傾向がある。

### **(8) 納まり位置の違い**

納まり位置では柱と梁の仕口箇所が考えられる。配筋納まり図を作成した時にすでに勘違いが発生しているのか、配筋納まり図は正しく作成されていたが、工事現場における配筋・組立時に間違える 2 パターンが考えられる。前者の場合では、図面作成プロセスでの検討不足になる。後者の場合では加工図の作成段階で気が付かなければ配筋検査まで気が付かない。また、配筋・組立時の作業指示の間違いも考えられるが、主筋の配置に関連する箇所であれば他の箇所にも間違いが及んでしまう可能性がある。いずれにしても、図面作成段階における配筋・組立の完成形のイメージをきちんと掴んで加工図の作成や配筋・組立作業をしていれば、このような間違いを低減できる可能性が高い。

			設計期間		施工期間										
			設計図作成	図面作成					鉄筋加工			配筋・組立		配筋検査	
				設計図	躯体納まり	鉄筋納まり	鉄筋形状	鉄筋本数	加工指示	加工	運搬	間配り	組立	検査	
1	情報の基準となる図面類	図面類の作成者													
生産情報 が記載 されて いる図 面類	1 設計図	設計者	★	◆	◆								◆	◆	
	2 躯体図	総合建設会社の図面担当者		★	◆	◆							◆	◆	
	3 配筋納まり図	総合建設会社の図面担当者		▲	★	◆									
	4 加工図	職長			▲	★	◆					◆	◆		
	5 加工帳	職長				▲	★	◆							
	6 絵符	鉄筋加工場の事務担当者						★	◆	◆	◆				
2	検査項目【柱・梁の共通】	項目の作成者													
配筋検査 で検査 する生 産情報	A メーカー	総合建設会社	★											◆	
	B 強度	設計者	★				◆	◆						◆	
	C 符号	設計者	★	◆	◆	◆	◆	◆				◆	◆	◆	
	D 鉄筋径	設計者	★	◆	◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆	
	E 鉄筋本数（符号ごと）	設計者	★	◆	◆	◆						◆	◆	◆	
	F 鉄筋長さ（符号ごと）	設計者			●	★		◆	◆				◆	◆	
	G ふかし範囲（躯体形状）	総合建設会社	▲	★	◆	◆	◆						◆	◆	
	H 鉄筋相互のあき	総合建設会社	■	●	★	◆							◆	◆	
	I 継手位置（圧接・機械式）	総合建設会社	■	●	★	◆							◆	◆	
	J 定着位置（長さ・機械式）	総合建設会社	■	●	★	◆							◆	◆	
	K かぶり厚さ	総合建設会社	■	●	★	◆							◆	◆	
	L 配筋位置	職長	●	▲	★	◆	◆					◆	◆	◆	
	M 鉄筋本数（加工リスト）	職長					★	◆	◆				◆	◆	
	N 鉄筋長さ（加工リスト）	職長					★	◆	◆			◆	◆	◆	
	O フック、曲げ形状	設計者	★	◆	◆	◆	◆	◆	◆				◆	◆	
	P スペース（種類・配置）	職長	■										★	◆	
	Q 結束・固定状況	職長	■										★	◆	
	検査項目【柱】														
	R 帯筋ピッチ	設計者	★	◆	◆	◆								◆	◆
	検査項目【梁】														
	S あばら筋ピッチ	設計者	★	◆	◆	◆								◆	◆
	T 配筋方向	設計者	★	◆	◆	◆							◆	◆	◆
	U カットオフ長さ	設計者	★		◆	◆	◆	◆					◆	◆	◆
	V スリーブ補強	設計者	■		◆	★	◆	◆					◆	◆	◆
	W 段差位置（躯体形状）	総合建設会社	▲	★	◆	◆	◆							◆	◆
	X スリーブ位置	総合建設会社	▲	★	◆	◆								◆	◆

【凡例】 ■：特記仕様 | ●：仕様の範囲内で検討 | ▲：一時的に決定

★：最終的に確定 | ◆：確定後に使用（変更はしない）

図 4-20 生産情報の確定時期

---

#### 4-7 結び：鉄筋生産プロセスで使用する生産情報の確定時期

---

##### 生産情報の確定時期

図 4-2 と図 4-6、図 4-9、図 4-13 までの工程分析の結果から、配筋検査時に使用する生産情報の確定時期と確定された生産情報がどのように次工程で活用・照合されているのかを整理した一覧を図 4-20 に示す。横軸は第 3 章で提示した鉄筋工事の生産プロセスとした。縦軸の 1 つ目の項目は、「生産情報が記載されている図面類」とした。縦軸の 2 つ目の項目は、「配筋検査で検査する生産情報」とした。配筋検査の項目は、工事現場での聞き取り調査の際に入手した 2 現場の配筋検査チェックリストから柱と梁に関する項目を並べた。「生産情報が記載されている図面類」と鉄筋工事の生産プロセスとの関係は、設計者が「1. 設計図」を作成し、その後に総合建設工事会社が「2. 躯体図」と「3. 配筋納まり図」を作成し生産情報を確定させる。次に鉄筋専門工事会社が鉄筋の加工形状を部材毎に集計する「4. 加工図」を作成し、さらに「4. 加工図」から加工形状毎に加工本数などを集計した「5. 加工帳」を作成する。最後に鉄筋加工工場にて「5. 加工帳」から鉄筋加工工場の技能労働者が使用する「6. 絵符」が作成され鉄筋が加工される。加工後の鉄筋は、「6. 絵符」を結束して工事現場に搬入されるが、鉄筋の組立時や配筋検査時には「4. 加工図」や「1. 設計図」を使用する。

「配筋検査で検査する生産情報」と鉄筋工事の生産プロセスの関連性を、例えば「K. かぶり厚さ」で確認すると、設計段階では設計者が作成する「1. 設計図」(構造図)の特記仕様書内で具体的な数値が示される。「1. 設計図」を受領した総合建設工事会社では躯体や鉄筋の納まりを検討するために特記仕様書で示された範囲内に数値が納まっているのかを確認して「K. かぶり厚さ」の数値をあらためて決定する。決定した数値は「生産情報が記載されている図面類」欄の「3. 配筋納まり図」の中で表現される。横軸の鉄筋本数から間配りまでは「K. かぶり厚さ」の生産情報は必要とされず、ふたたび使用されるのは配筋・組立や配筋検査のプロセスである。

以上のように整理をした結果、生産情報は一度に確定されていない、確定した生産情報を記載する図面類はひとつではなく、生産プロセスの各段階で必要とされる情報を見やすい形式に変換して使用されていることが確認できた。図面作成から鉄筋加工までに配筋検査プロセスに必要な 24 項目の生産情報のうち 22 項目の約 91.7%が確定されており、配筋・組立作業に基づいた検査だけでなく、その前工程で作成される生産情報と鉄筋加工の正確さが鉄筋工事全体の生産性向上や不具合の低減に繋げる可能性がある」と指摘できる。

##### 考察

鉄筋工事の生産プロセスにおいて、設計図書から始まった生産情報をどの時期に誰が作成し、それを使用しながら加工、配筋・組立、自主検査や配筋検査を進めているのか明らかにした。その結果、設計図書から転載された生産情報のどこかで間違いが発生し、次工程に伝達されていても、設計図書との照合を都度おこなっていないため、間違った生産情報がそのまま次工程に渡されて使用している可能性が高いことが明らかとなった。生産プロセスの最後である配筋検査時点において、配筋・組立に間違いの発生に気がつく大きな要因のひとつと考えられる。また、生産情報を例えば ICT を活用して一元的に共有しながら工程内チェックをする試みもなされていなかった。

一方、各社が独自にソフトウェアを活用し、自部門の間違い低減や生産性を向上させる取り組みがなされていた。鉄筋加工工場では、生産ラインの担当者に加工に必要な生産情報を伝える手段として絵符が定着しており、各鉄筋加工工場が独自でシステム化をしている。しかし、絵符の作成に必要な生産情報は、前工程の加工帳に多くを依存している。加工帳の作成は職長による手書きが一般的であり、第3者による工程内チェックは見られなかった。生産情報の連携に ICT の活用は進んでいない。

#### **今後の課題**

建設業において生産性向上の取り組みが加速しているが、今回の鉄筋加工工場や工事現場での聞き取り調査等から、鉄筋工事の生産プロセスでは役割分担の細分化に伴い ICT の活用も部分最適的であることが明らかになった。結局は配筋・組立が完了した現物を信頼し最終の配筋検査をおこなっているのである。また施工不具合の対策としては、自主検査をすることが最も多いようである。間違いを適所で確実に排除する仕組みが整備されているとは言えないだろう。鉄筋の加工や配筋・組立に必要な生産情報の詳細寸法などは、設計段階では確定されておらず、施工段階における生産プロセスとともに順次確定している。鉄筋の継手位置などに関する加工寸法は、鉄筋専門工事会社の職長に一任されている。今後、鉄筋専門工事会社が担う生産情報の確定を総合建設工事会社が担うことは分業化が進む今の流れからは考えにくい。むしろ、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社が同じ生産情報を共有しながら生産プロセスを進めることで、配筋検査時で初めて発覚する施工不具合を無くす生産性向上の仕組みを構築することが急がれる。

鉄筋工事の生産情報は、総合建設工事会社からの視点だけではなく、鉄筋専門工事会社や鉄筋加工工場を含めて扱われることが必要になる。そして、生産情報を生産プロセス内で一貫してマネジメントし、不良品を後工程に流さない連携の手法を確立させる。品質の不具合を無くしかつ生産性を向上させるには、ICT や BIM の活用が重要になると指摘する。

## 註

- [1] 三根直人, 高田博尾, 梶 隆: 内装・設備工事の工程分析 集合住宅における内装工事に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第534号, pp.233-240, 2000.8
- [2] 大沢幸雄: 施工プロセスチャート手法の品質管理への展開 施工プロセスチャート手法による工程計画に関する研究(その5), 日本建築学会計画系論文集, 第519号, pp.217-224, 1999.5
- [3] 三根直人, 田村 恭, 李 興遠: 工程シミュレーション手法による工程計画 鉄筋コンクリート工事への適用, 日本建築学会構造系論文報告集, 第423号, pp.1-10, 1991.5
- [4] 日本建築学会: 『作業能率測定指針』, 日本建築学会, 1990.2
- [5] 樋脇 毅, 新妻尚祐, 工藤圭一, 中田喜久, 大塚秀三, 鈴木 直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実情に関するアンケート調査 その4 施工および配筋検査の実情, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.279~280. 2015.9

## 図版出典

- 図4-1: 筆者作成
- 図4-2: 筆者作成
- 図4-3: 筆者作成
- 図4-4: 筆者作成
- 図4-5: 筆者作成
- 図4-6: 筆者作成
- 図4-7: 筆者作成
- 図4-8: 筆者作成
- 図4-9: 筆者作成
- 図4-10: 筆者作成
- 図4-11: 筆者作成
- 図4-12: 筆者作成
- 図4-13: 筆者作成
- 図4-14: 筆者作成
- 図4-15: 筆者作成
- 図4-16: 筆者作成
- 図4-17: 筆者作成
- 図4-18: 筆者作成
- 図4-19: 参考文献 [5] 前掲書, p.280 の図版を筆者が作成しなおした
- 図4-20: 筆者作成

5

---

Theme **鉄筋加工工場における不具合発生要因の分析**

---





---

## 第5章 鉄筋加工工場における不具合発生要因の分析

---

5-1	本章の目的と構成	159
5-2	調査対象とした鉄筋加工工場の概要	161
5-3	鉄筋加工工場の生産プロセス	163
5-4	絵符に記載されている加工情報	163
5-5	鉄筋加工工場で記録された加工の不具合	165
5-6	不具合の属性	167
5-7	不具合発生要因の分析	171
5-8	不具合内容と加工ラインの関連性	176
5-9	結び：工事現場と鉄筋加工工場における生産情報の連携	177

---

### 5-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

第3章と第4章では、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社が生産情報を一貫してマネジメントすることの重要性を明らかにし、不良品を後工程に流さないことにより生産性を向上させるためにはBIM/ICTの活用が重要であることを指摘した。しかしながら、鉄筋加工工場で使用する生産情報が加工するロット単位であるのに対し、生産情報を作成するための検討・図面作成や工事現場での配筋・組立は部位単位である。このように、総合建設工事会社の技術者や鉄筋専門工事会社の職長、鉄筋加工工場の技能労働者が、生産情報を部位単位とロット単位にそれぞれの立場で変換をしている仕組みにおいて、工事現場の配筋・組立や配筋検査時に発覚する鉄筋加工の不具合が鉄筋加工のどの段階で生じるのかに関する詳細な考察が不十分であった。

そこで本章では多くの工事現場の加工依頼を同時進行で作業していることから、鉄筋の加工や品質管理の体制が確立されていると考えられる鉄筋加工を専業とする鉄筋加工工場を対象として、不具合の発生事象と加工工程や加工情報との関連性を分析する。工事現場から連携される生産情報の活用状況から鉄筋加工工場における品質確保の在り方を考察する。その結果は鉄筋工事の生産プロセスにおいてデジタル化された生産情報を連携するマネジメント体制の構築手法や工事現場における生産性の向上を具現化させるための基礎資料になると考えている。

## 既往の調査研究

鉄筋加工工場に関する研究では、中村らが生産管理工学の視点から、「棒鋼や鉄筋が滞らずに、できるだけ一方向に運搬され、作業員が機械操作や運搬歩行できるように、機械設備の配置を検討する」などと、鉄筋加工工場の機能や利用形態、建築計画上の指針を明らかにしている<sup>〔1〕</sup>。松田らは離散系シミュレーション<sup>〔2〕</sup>を用いて鉄筋加工工場の生産性を考察し、「作業員がクレーンに拘束されて加工量が大きく落ちる」と加工プロセスのボトルネックを示した<sup>〔3〕</sup>。鉄筋加工工場以外では、小早川がPCa部材を対象とした製造工程を調査・分析し、加工工場の製造歩掛りを明らかにしている<sup>〔4〕</sup>。品質の不具合に関しては高麗らが公表されている事故事例や報告書などの資料を検討し、設計者（監理者）、施工者（元請）、施工者（下請）の「善意のアプローチ」によって互いに補完することによって高い品質が確保されてきた」と日本の建築生産システムの実態を明らかにして脆弱性を指摘した<sup>〔5〕</sup>。新妻らは鉄筋専門工事会社への施工の実情に関するアンケート調査において、工事現場における配筋検査時に発覚する不具合は「鉄筋径・ピッチ・本数などの鉄筋リストと異なる配筋」が施工不具合全体の21.5%と突出して多いと報告した<sup>〔6〕</sup>。いずれの研究も鉄筋加工工場における製造ラインの配置計画や製造歩掛りへの着目、または工事現場における不具合事象を対象にしており、鉄筋加工工場で生じる不具合事象や加工ラインおよび生産情報の関連性を考察した研究事例は見られない。

## 本章の研究手法と構成

本章では鉄筋加工工場の加工工程で発生する不具合<sup>〔7〕</sup>と加工ラインとの関連性に着目し、工事現場で職長により作成された生産情報が、鉄筋加工工場の加工工程でどのように処理されて実物に転記されていくのかを明らかにする。合わせて鉄筋加工工場内や工事現場への納品時に発覚した加工や積み込みに関する不具合事象を分析し、生産情報の伝達における課題を抽出する。それらを考察することにより、鉄筋加工工場内における生産情報の変換が、工事現場との連携に与える影響を検証し、鉄筋の加工計画から配筋・組立に至る生産情報伝達のあるべき姿を考察する。最終的には、鉄筋加工や配筋・組立にかかわる組織が、BIM/ICTを活用して生産情報を共有・伝達できる仕組みを構築するための基礎的な知見を整理する。

本調査研究では、多くの工事現場の鉄筋加工を同時に進行させている状態での不具合事項を把握するために、鉄筋専門工事会社（以下、A社）から分離独立した鉄筋加工の専門会社（以下、B社）を対象にして鉄筋加工工場の実態把握と分析を実施した<sup>〔8〕</sup>。聞き取り調査の参加者は、筆者を含む調査員3名と、B社の生産管理部および品質安全管理部の責任者で、2018年10月12日にB社の事務所で実施した。調査は、「鉄筋加工工場にける品質管理の方法」、「不具合事象」、「不具合に関する対策」などをインタビュー方式で質問した。加工ラインの観察調査は、聞き取り調査後の2018年10月15日～16日と2018年10月22日～23日の計4日、2名の調査員で実施した。調査では作業内容の記述、写真撮影、ビデオ撮影を併用し、作業状況や情報の処理および加工プロセスの記録とともに技能労働者への聞き取り調査を実施した。

本章では先ず第2節「調査対象とした鉄筋加工工場の概要」において聞き取りを対象とした鉄筋加工工場の特徴を示す。そのうえで、第3節「鉄筋加工工場の生産プロセス」では鉄筋加工工場B社に聞き取り調査を実施し、当該加工工場における加工情報<sup>〔9〕</sup>の伝達および加工の流れを整理した。次に、第4節「絵符に記載されている加工情報」ではB社の絵符に記載されている生産情報の分析

を試み、工事現場で使用する生産情報との関連性を分析した。第5節「鉄筋加工工場で記録された加工の不具合」ではB社が把握している鉄筋加工工場内と工事現場で発覚した加工や積み込みに関する不具合記録を入手し、その発生要因を分析した。それらを踏まえ、第6節「不具合の属性」では不具合の発生事象と発生した加工ラインについて詳細に分析する。第7節「不具合発生要因の分析」では第6節で明らかになった不具合事象が多く見られる加工ラインについてB社の鉄筋加工工場において観察調査を実施した。加工情報をどのように技能労働者が処理をしているのかを記録するとともに、加工を担当する技能労働者の作業と加工ラインの配置との関連性を工程分析図として整理し、不具合と加工情報の関連性を分析した。第8節「不具合内容と加工ラインの関連性」では鉄筋加工工場における不具合事象と加工工程との関連性を考察し、鉄筋加工工場における不具合の発生を低減させる生産情報の在り方を示す。

## 5-2 調査対象とした鉄筋加工工場の概要

調査対象としたB社の鉄筋加工工場の規模は、敷地面積約44,800 m<sup>2</sup>、工場棟約9,000 m<sup>2</sup>、事務所棟約360 m<sup>2</sup>、厚生棟約824 m<sup>2</sup>である。配置図を図5-1に示す。B社は鉄筋専門工事会社A社から2001年に分離独立して設立された。現在では、A社以外の鉄筋専門工事会社からも鉄筋加工を受注しており、鉄筋加工の専門会社として経営が成り立っている。B社は国内最大級の鉄筋加工工場として平均月産約18,000tの加工を担っている。加工ラインはA～Hの8ラインある。加工ラインと加工する鉄筋の径や部位を図5-2に示す。屋外に設置されているFラインとHラインは加工作業がない定尺の鉄筋の仕分けや曲げ加工などに対応し、Gラインは物件ごとの特別対応を担っていた。それらの加工ラインに供給する鉄筋の生材<sup>[10]</sup>を置いておく倉<sup>[11]</sup>から加工ラインに鉄筋を運び出す際に、

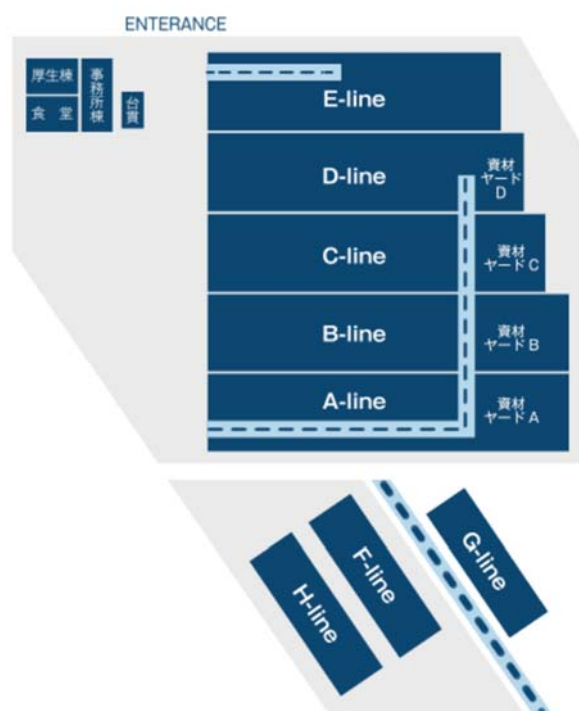


図5-1 鉄筋加工工場（配置図）

鉄筋強度と鉄筋メーカーの組み合わせの違いが生じるのを防ぐため、倉には鉄筋メーカーごとに鉄筋径や鉄筋種類を分ける工夫をしていた。

B社の管理組織は生産管理部と品質安全管理部で構成されており、前者は鉄筋の受注量のコントロール、鉄筋加工に関する加工情報の管理、加工ラインへの割り振りなどの検討業務を担当していた。後者は、鉄筋を加工した後の品質検査や技能労働者の安全管理を担当していた。品質検査は加工後に積み込みヤードに保管されている鉄筋の束に結束されている絵符ごとに抜き取り検査を実施していた。

		屋内					屋外		
		A	B	C	D	E	F	G	H
鉄筋径		D29 ～ D41	D19 ～ D38	D10 ～ D16	D10 ～ D13	D10 ～ D13	D10 ～ D13	D10 ～ D41	D10 ～ D41
柱	主筋	○	○				□	△	□
	帯筋				○		□	△	□
	その他					○	□	△	□
梁	主筋	○	○				□	△	□
	あばら筋				○		□	△	□
	その他					○	□	△	□
壁				○			□	△	□
床				○			□	△	□
その他	幅止め筋、など					○	□	△	□

【凡例】 ○：切断・曲げ | □：定尺の仕分け、曲げ | △：物件ごとの特別対応

図 5-2 加工ラインと加工する鉄筋径

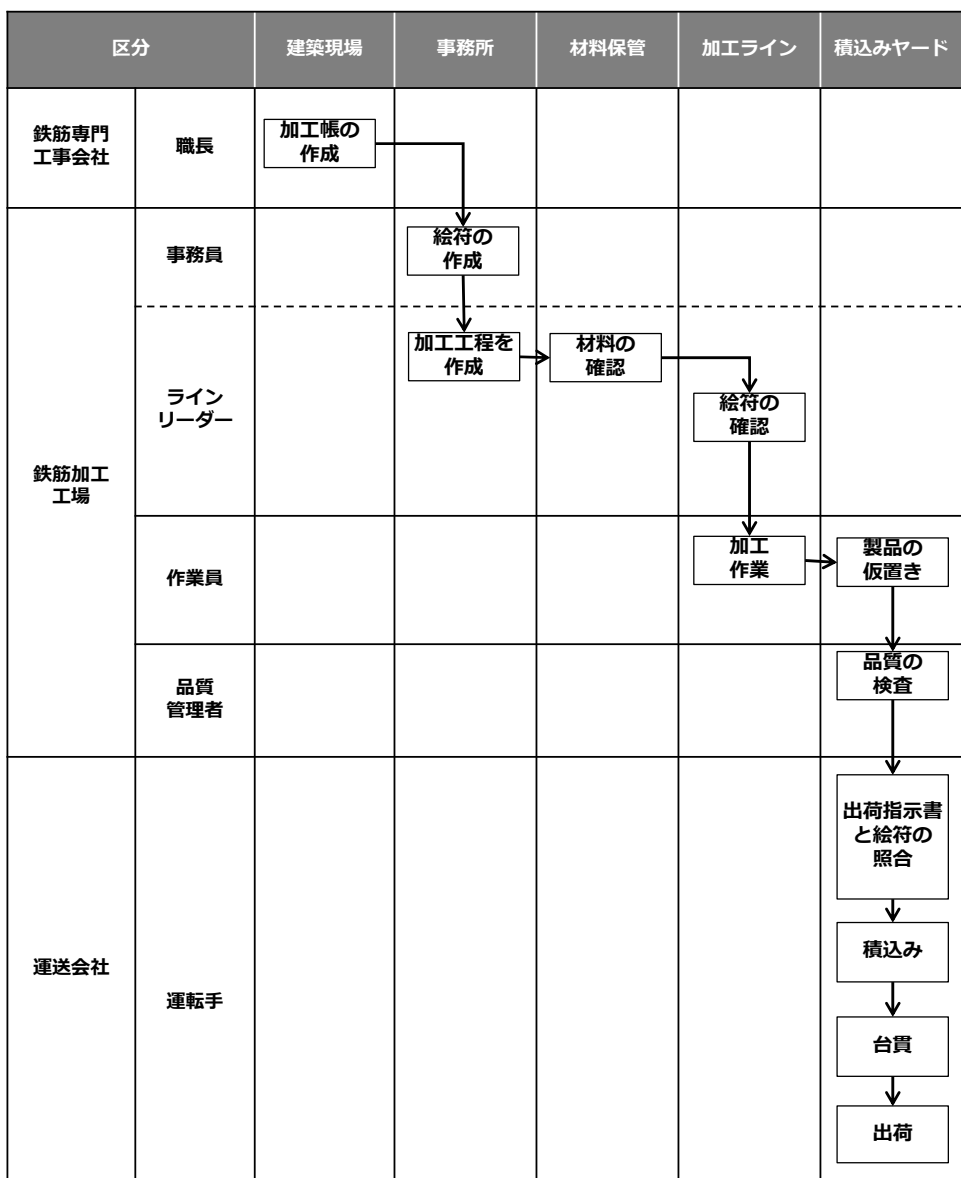


図 5-3 鉄筋加工工場における生産情報の流れ

---

### 5-3 鉄筋加工工場の生産プロセス

---

第3章で示した鉄筋工事の生産プロセスから、鉄筋の加工工程と作業を担当する方の役割分担を抜き出して再整理したものを図5-3に示す。B社に加工を依頼している鉄筋専門工事会社の職長は加工帳を作成すると、鉄筋加工工場にFAX送信やPDFファイルを電子メールに添付あるいはB社が導入している管理システムで読み込むことができるファイルを電子データとして送付する。加工図や加工帳の作成時に鉄筋加工工場が使用している管理システムと連携しているソフトウェアを使用している場合は、単純に読み込むだけで絵符の作成作業が完了する。FAXやPDFファイルを受け取った場合では、B社の事務員が加工帳の内容を精査しつつ自社の管理システムに鉄筋加工に必要な加工情報を手入力していた。

絵符の形で印刷された加工情報は、各加工ラインのラインリーダーに加工予定日の数日前に手渡される。B社では鉄筋を加工する順番や使用する加工機の選定に関するルールはなく、ラインリーダーの裁量に任されていた。ラインリーダーは毎朝、切断加工を担当する技能労働者に絵符の束を引き渡す。技能労働者は切断の加工作業が終わった鉄筋の束に絵符を仮結束し<sup>[12]</sup>、曲げ加工を担当する技能労働者に引き渡す。曲げ加工を担当する技能労働者は、加工が終わった鉄筋の束に絵符を本結束し<sup>[13]</sup>、加工ラインごとの積み込みヤードに移動させる。品質管理者は積み込みヤードに置かれた鉄筋の束に本結束されている絵符と現物を目視で照合し、問題がなければ工事現場に出荷されるまでそのまま置いておく。1日の加工スケジュールは加工ラインごとにラインリーダーが計画し、作業量に余力がある日は翌日以降の加工日となっている鉄筋の加工を行うと述べていた。そのため、加工予定日以外で加工された絵符が本結束された鉄筋の束も、積み込みヤードに置かれている場合がある。

工事現場への出荷の際は、運送会社の運転手が当日に事務所から受領する出荷指示書と積み込みヤードに置かれている鉄筋の束に本結束された絵符を照合し、加工ラインごとの積み込みヤードを移動しながら積み込み作業を行う。作業は夕方と朝方に集中しており、運転手は急いで次の運転手に場所を引き渡さなければいけない、という状況が見られた。運転手は鉄筋加工工場を出る前に台貫で重量のチェックを行い、過不足がなければ各工事現場に輸送する。出荷指示書に記載のある重量と比較し、積み込み漏れを防いでいた。台貫では重量の差異が10kgを超える場合は、積み込み間違いの可能性があるので再度積み荷を確認していたが、必要な鉄筋束が必ず積み込み車両に積まれていることを保障するものではなかった。

---

### 5-4 絵符に記載されている加工情報

---

B社で使用している絵符を図5-4に示す。記載されている加工情報は図5-5に示すように16項目だった。鉄筋加工工場のみで使用する項目は⑥バーコード、⑦加工ライン、⑧束重量指定、⑩加工日記号、⑪枝番号、⑫納入先業者名、⑭絵符重量、⑮QRコード、⑯備考の9項目、工事現場と鉄筋加工工場が共通して使用する項目は①鉄筋径・強度、②鉄筋長さ、③鉄筋本数、④鉄筋メーカー、⑤加工形状、⑨積み込み日の6項目、工事現場のみで使用する項目は⑬工区・部位の1項目だった。⑥バー

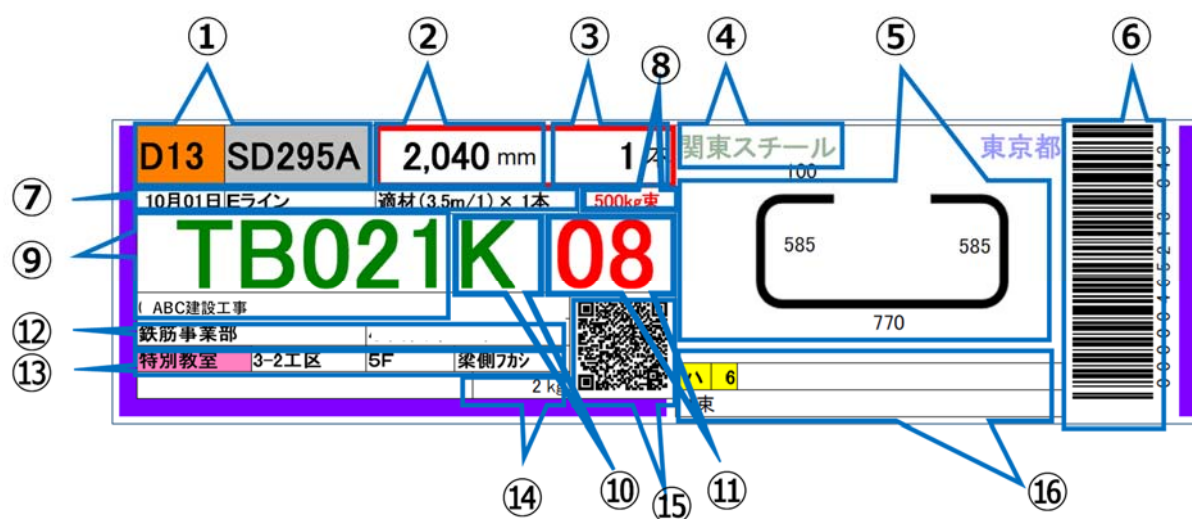


図 5-4 絵符

番号	項目	検査方法	備考
①	鉄筋径・強度	目視	ロールマーク・メーカータグの照合
②	鉄筋長さ	スケール	－
③	鉄筋本数	目視	マーカでチェック
④	鉄筋メーカー	目視	ロールマーク・メーカータグの照合
⑤	加工形状	目視・スケール	絵符の形状と照合
⑥	バーコード	－	加工作業前と後に読み込む
⑦	加工ライン	－	－
⑧	束重量指定	目視	指定重量以内で結束
⑨	工事名称	目視	－
⑩	加工日記号	目視	加工する曜日の目安
⑪	枝番号	目視	枝番号別に結束する
⑫	納入先業者名	－	－
⑬	工区・部位	－	－
⑭	絵符重量	目視	絵符の重量目安
⑮	QRコード	－	自動切断・曲げ機での加工時に読み込む
⑯	備考	－	－

図 5-5 絵符に記載されている生産情報



図 5-6 3次元方向の曲げ加工形状例

コードは、加工開始や完了の進捗情報を B 社の管理システムに読み込むためのものである。⑮QR コードは、QR コードに対応している加工機に読み込ませることで、加工形状と寸法および本数の自動設定、自動加工、加工本数の自動カウントができる。ただし、B 社が所有している QR コードに対応できる曲げ加工は 2 次元的な平面の曲げ加工<sup>[14]</sup>しか対応できないため、さらに図 5-6 に示すような 3 次元方向への曲げ加工を加える場合には技能労働者による加工をする必要がある。

B 社では絵符の作成は A 社関連のシステムベンダー会社（以下、C 社）が開発した管理システムを使用している。職長が C 社の開発した加工帳作成 CAD システムで加工帳を作成した場合は、絵符の①鉄筋径・強度、②鉄筋長さ、③鉄筋本数、⑤加工形状、⑧束重量指定、⑨工事名称、⑫納入先業者名、⑬工区・部位の 8 項目の加工情報は管理システムに自動入力される仕組みである。B 社への聞き取り調査では、C 社の CAD システムで加工帳が作成される割合は約 40%、残りの 60%は加工帳に記載された加工情報を手作業で管理システムに入力している模様である。

手作業による入力作業は、入力者による入力ミスが生じる可能性があるため 2 名で同じ加工帳を入力し、双方を突き合わせて内容に間違いがないかを確認してから絵符を発行していた。絵符に記載される加工情報は、鉄筋を加工するラインリーダーや技能労働者への指示書として使用されるだけでなく、鉄筋加工工場から工事現場への出荷や工事現場での受け入れ時に使用する荷札の役割も果たしており、鉄筋の加工プロセスと工事現場での組み立てプロセスを連携させる媒体となっていた。

## 5-5 鉄筋加工工場で記録された加工の不具合

B 社の品質安全管理部では、出荷した工事現場ごとに鉄筋加工工場内（以下、場内）や工事現場（以下、場外）で発覚した不具合が発生した順に記録していた。記録されていた項目は、発生日、工事現場名、発覚した場所、不具合の分類、不具合指摘事項、加工ライン、加工の形状、鉄筋の径などであった。今回の調査分析で対象とした不具合内容は、加工ラインを観察調査する 2 か月前の 9 月と 10 月とした。9 月と 10 月の出荷数量と発生した加工不具合の割合を図 5-7 に示す。不具合事象の発生件数は 96 件（9 月が 55 件、10 月が 41 件）だった。全出荷数量（t）に対する生材の不具合発生率（H）は 9 月が 0.008%、10 月が 0.023%、同様に加工材の不具合発生率（J）は 9 月が 0.071%、10 月が 0.047%となった。対象とした期間の不具合発生は出荷数量に対して 1%以下だった。一方、出荷する工事現場数に対して不具合が発生した割合（M）は、9 月が 6.7%、10 月が 8.4%となり、約 10%以下で不具合が発生していた。

具体的な不具合の事象を加工形状、本数、積込み、絵符、未加工、塗装、倉出しの 7 項目に分類した不具合の一覧を図 5-8 に示す。次節から具体的に不具合の属性を分析する。

2018年9月

No.	発覚	大分類	不具合指摘事項	ライン	形状	径	No.	発覚	大分類	不具合指摘事項	ライン	形状	径
1	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	片アンカー	D10	50	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	片アンカー	D10
2	場外	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	精密切断	D19	51	場外	横込み	積み落とし	Eライン 横込みヤード	幅止	D10
3	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	片アンカー	D25	52	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	1本バンド	D10
4	場外	加工形状	寸法	Aライン	精密切断	D32	53	場内	本数	不足	Aライン	切生材	D38
5	場外	本数	不足	Dライン	両アンカー	D10	54	場内	加工形状	寸法	Aライン	片アンカー	D32
6	場外	加工形状	寸法	Dライン	両アンカー	D13	55	場外	加工形状	寸法	Aライン	丸・R曲げ	D32
7	場内	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	片アンカー	D19	2018年10月						
8	場内	加工形状	形状	Cライン	両アンカー	D16	No.	発覚	大分類	不具合指摘事項	ライン	形状	径
9	場外	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	Tヘッド工法	D25	1	場外	加工形状	寸法	H line	片アンカー	D25
10	場外	加工形状	形状	Gライン	幅止	D10	2	場外	加工形状	寸法	Eライン	両アンカー	D10
11	場外	本数	不足	Gライン	1本バンド	D13	3	場外	絵符	処理ミス	事務所 Office	生材	D41
12	場外	本数	不足	Dライン	1本バンド	D13	4	台貫	横込み	積み落とし	Hライン 横込みヤード	生材	D29
13	場外	加工形状	寸法	Cライン	片フック	D16	5	場外	絵符	処理ミス	事務所 Office	割バンド	D16
14	場外	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	片アンカー	D19	6	場外	加工形状	寸法	Dライン	両アンカー	D16
15	場内	塗装	種類間違い	Aライン	片アンカー	D35	7	場内	加工形状	形状	Cライン	両アンカー	D16
16	場内	横込み	積み落とし	Eライン 横込みヤード	への字	D10	8	場外	本数	不足	Dライン	中子	D13
17	場外	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	片アンカー	D19	9	場外	本数	不足	Aライン	両アンカー	D19
18	場内	本数	不足	Bライン	切生材	D22	10	場内	加工形状	寸法	Aライン	への字	D41
19	場外	絵符	処理ミス	事務所	片アンカー	D13	11	場内	塗装	種類間違い	Aライン	精密切断	D41
20	場外	加工形状	寸法	Dライン	Uバンド	D10	12	場外	加工形状	形状	Cライン	片アンカー	D13
21	場内	未加工	未加工	Cライン	両アンカー	D16	13	台貫	横込み	積み落とし	Dライン 横込みヤード	片アンカー	D13
22	場内	本数	超過	Aライン	精密切断	D32	14	場内	塗装	種類間違い	Aライン	精密切断	D32
23	場内	本数	超過	Aライン	精密切断	D41	15	場内	本数	過剰	Cライン	切生材	D16
24	場内	横込み	本数超過	Gライン 横込みヤード	生材	D10	16	場内	加工形状	寸法	Cライン	片アンカー	D16
25	場内	本数	超過	Aライン	精密切断	D32	17	場外	本数	不足	Cライン	1本バンド	D16
26	場内	加工形状	寸法	Aライン	への字	D35	18	場外	加工形状	寸法	Eライン	片アンカー	D13
27	場内	本数	不足	Bライン	切生材	D25	19	場外	加工形状	寸法	Eライン	両アンカー	D10
28	場外	本数	不足	Fライン	片アンカー	D16	20	場内	加工形状	寸法	Bライン	両アンカー	D19
29	場外	未加工	未加工	Cライン	片アンカー	D10	21	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	片アンカー	D13
30	場外	絵符	処理ミス	事務所	への字	D41	22	場外	横込み	積み落とし	Fライン 横込みヤード	生材	D10
31	場外	加工形状	寸法	Gライン	両アンカー	D16	23	場外	本数	過剰	Bライン	両アンカー	D29
32	場内	本数	不足	Aライン	精密切断	D41	24	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	両アンカー	D10
33	場内	加工形状	寸法	Aライン	Tヘッド工法	D16	25	台貫	横込み	横込みみ異常	Fライン 横込みヤード	生材	D16
34	場内	加工形状	寸法	Bライン	柱絞り	D25	26	場外	本数	不足	Bライン	片フック	D25
35	場外	横込み	積み落とし	Dライン 横込みヤード	1本バンド 1 band	D10	27	場外	絵符	処理ミス	事務所	変形	D25
36	場内	加工形状	寸法	Cライン	両アンカー	D16	28	場外	本数	不足	Aライン	Tヘッド工法	D35
37	場内	加工形状	寸法	Bライン	片アンカー	D22	29	場外	本数	不足	Dライン	片アンカー	D13
38	台貫	横込み	積み落とし	Fライン 横込みヤード	生材	D13	30	場外	種類	メーカー違い	Cライン	生材	D16
39	場外	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	片アンカー	D19	31	場外	本数	積み落とし	Hライン	生材	D29
40	場外	加工形状	角度	Cライン	両アンカー	D16	32	場外	横込み	積み落とし	Bライン 横込みヤード	片アンカー	D22
41	場外	倉出し	径違い	Bライン	切生材	D19	33	場外	横込み	積み落とし	Eライン 横込みヤード	幅止	D13
42	場外	加工形状	寸法	Gライン	切生材	D16	34	場外	横込み	積み落とし	Eライン 横込みヤード	変形	D10
43	場外	加工形状	形状	Eライン	両アンカー	D10	35	場内	本数	過剰	Aライン	切生材	D29
44	場外	加工形状	寸法	Gライン	片アンカー	D19	36	場内	本数	不足	Aライン	精密切断	D35
45	場内	加工形状	形状	Dライン	幅止	D13	37	場内	本数	不足	Aライン	切生材	D29
46	場外	加工形状	寸法	Cライン	逆アンカー	D16	38	場内	本数	不足	Fライン	両アンカー	D16
47	場外	横込み	積み落とし	Cライン 横込みヤード	両アンカー	D10	39	場内	加工形状	形状	Bライン	切生材	D22
48	場外	加工形状	寸法	Hライン	両アンカー	D29	40	場外	本数	不足	Bライン	片アンカー	D22
49	場内	本数	不足	Aライン	精密切断	D29	41	場外	本数	不足	Bライン	切生材	D22

図 5-8 不具合事象リスト



			2018年	
		単位	9月	10月
出荷数量	生材 (A)	t	7,500.688	8,559.133
	加工 (B)	t	6,108.231	7,156.633
	合計 (C = A + B)	t	13,608.919	15,715.766
不具合発生件数	生材 (D)	件	2	6
	加工 (E)	件	53	35
	合計 (F = D + E)	t	55	41
不具合発生数量 (生材)	不具合 (G)	t	0.569	1.929
	発生率 (H = G/A)	%	0.008%	0.023%
不具合発生数量 (加工材)	不具合 (I)	t	9.627	7.364
	発生率 (J = I/B)	%	0.071%	0.047%
出荷現場数	出荷現場数 (K)	件	403	404
	不具合発生現場数 (L)	件	27	34
	不具合発生率 (M = L/K)	%	6.7%	8.4%

図 5-7 加工不具合の割合

## 5-6 不具合の属性

### (1) 不具合の区分

図 5-9 に不具合区分別の発生件数と不具合が生じた加工ラインの関係を示す。有効記録数は 96 件である。「加工形状」が 32 件 (全体の 33.3%) と最も多く、次いで「本数」と「積込み」が 26 件 (それぞれ全体の 27.1%) となっていた。それらの合計は 87.5% となり、不具合の半数以上を「加工形

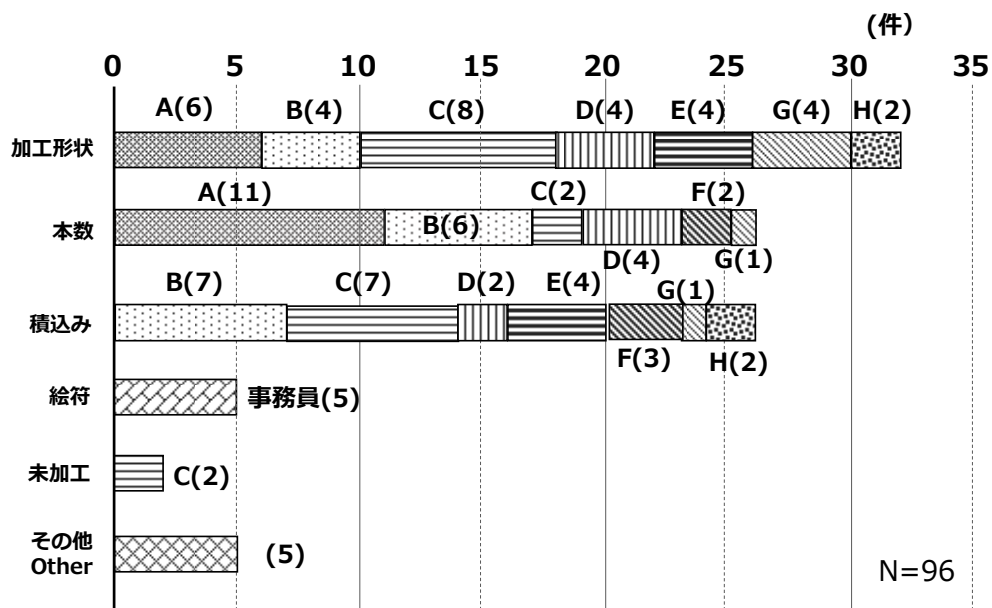


図 5-9 不具合の区分

状」,「本数」,「積込み」が占めている結果だった。また,「加工本数」や「積込み」の不具合が多い加工ラインはCライン(加工形状が8件,積込みが7件),「本数」の不具合が多い加工ラインはAラインの11件だった。

## (2) 不具合の発覚した場所

図 5-10 に不具合が発覚した場所別の不具合区分を示す。有効記録数は 96 件である。発覚場所は「場外(工事現場)」が 59 件(全体の 61.5%),「場内(台貫を含む)」が 37 件(全体の 38.5%)で,工事現場で発覚する割合が半数を超えていた。「場外」での発覚で頻度が多い不具合は「加工形状」と「積込み」がそれぞれ 19 件(場外の 32.2%),「本数」が 13 件(場外の 22.0%)だった。「場内」では「本数」と「加工形状」がそれぞれ 13 件(場内の 35.1%),「積込み」が 7 件(場内の 18.9%)だった。

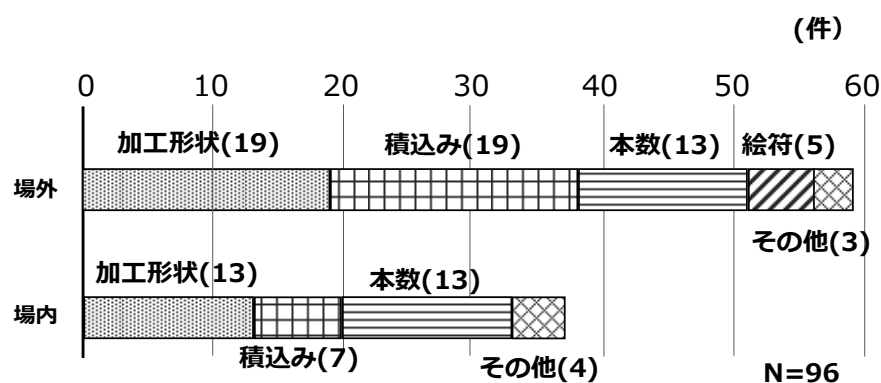


図 5-10 不具合の発覚した場所

## (3) 不具合が発生した加工形状

図 5-11 に加工形状別に不具合内容を整理した発生件数を示す。有効記録数は 32 件である。「両アンカー」では加工寸法不具合が 8 件(加工形状不具合の 25.0%),加工形状(角度の 1 件を含む)が 4 件(加工形状不具合の 12.5%)だった。「片アンカー」では加工寸法不具合が 6 件(加工形状不具合の 18.7%),加工形状は 1 件だった。「その他」は加工不具合が 1 件しかない加工形状を集計した。具体的には「切断(寸法)」,「片フック(寸法)」,「絞り(寸法)」,「R 曲げ(寸法)」,「逆アンカー(寸法)」などだった。

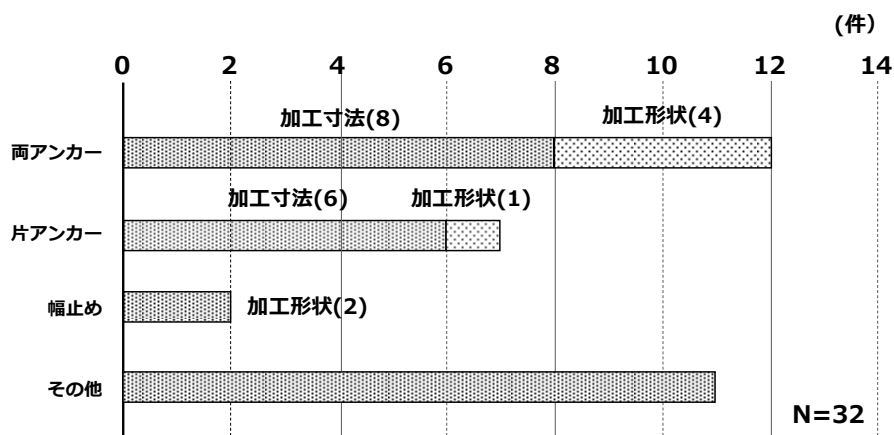


図 5-11 不具合が発生した加工形状

#### (4) 不具合が発生した鉄筋径

図 5-12 に鉄筋径別に不具合区分を整理した発生件数を示す。有効記録数は 96 件である。鉄筋径では「D16」が 19 件（全体の 19.8%）、次いで「D10」が 18 件（全体の 18.8%）, 「D13」が 13 件（全体の 13.5%）となり, 「D16」以下の細物の鉄筋の不具合が 50 件（全体の 52.1%）を占めていた。その中で一番多く見られた不具合は「加工形状」の 20 件である。内訳はアンカーの加工寸法や加工形状の不具合が 19 件（「加工形状」不具合の 95%）, 生材の切断寸法ミスは「D16」で 1 件（「加工形状」不具合の 5%）だった。

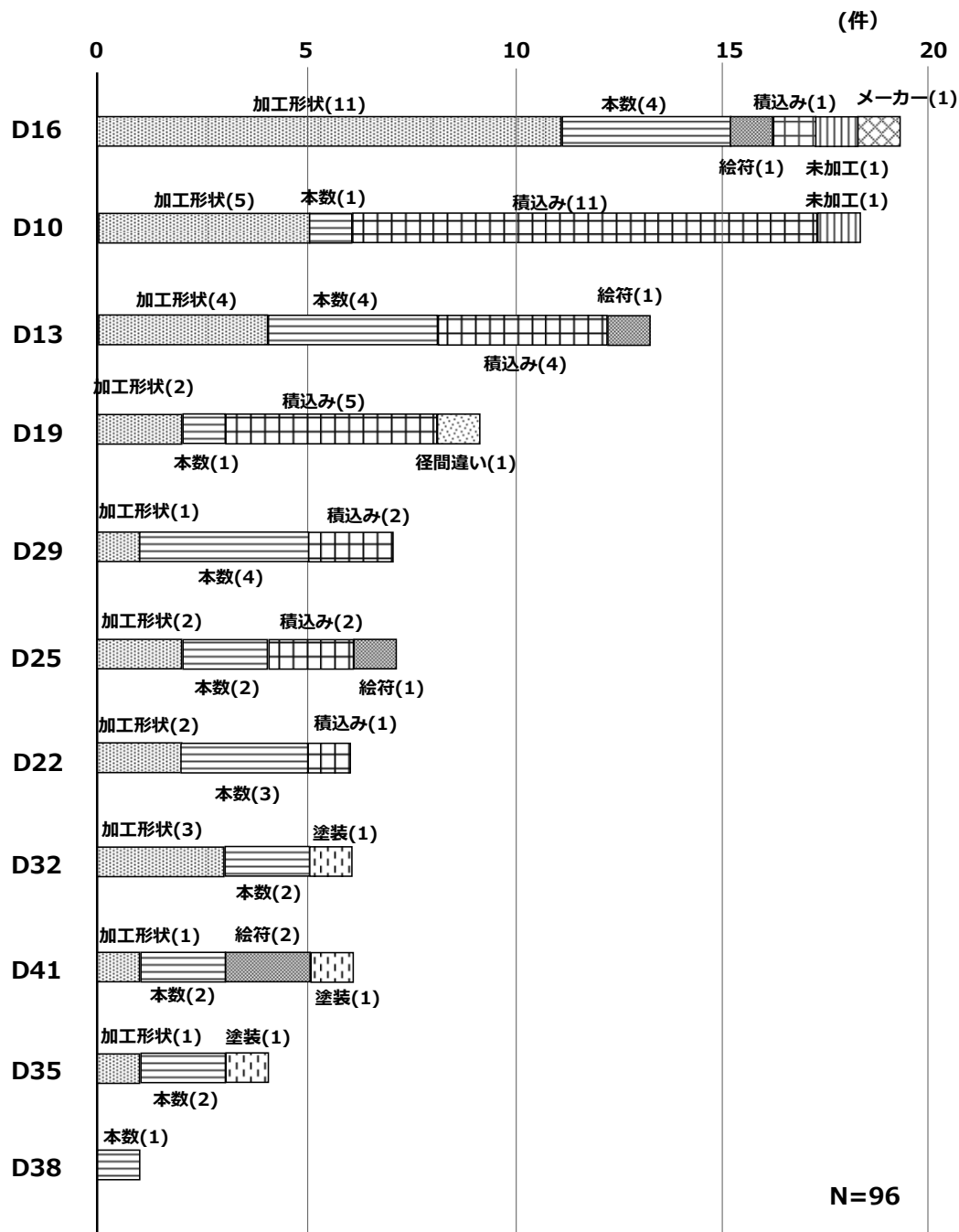


図 5-12 不具合が発生した鉄筋径

### (5) 不具合が発生した加工ライン

図5-13に不具合が発生した加工ラインごとに不具合区分を整理した発生件数を示す。有効記録数は96件である。「Aライン」と「Cライン」がそれぞれ20件（全体の20.8%）、次いで「Bライン」が18件（全体の18.8%）で、それら3つのラインで60.4%を占めていた。

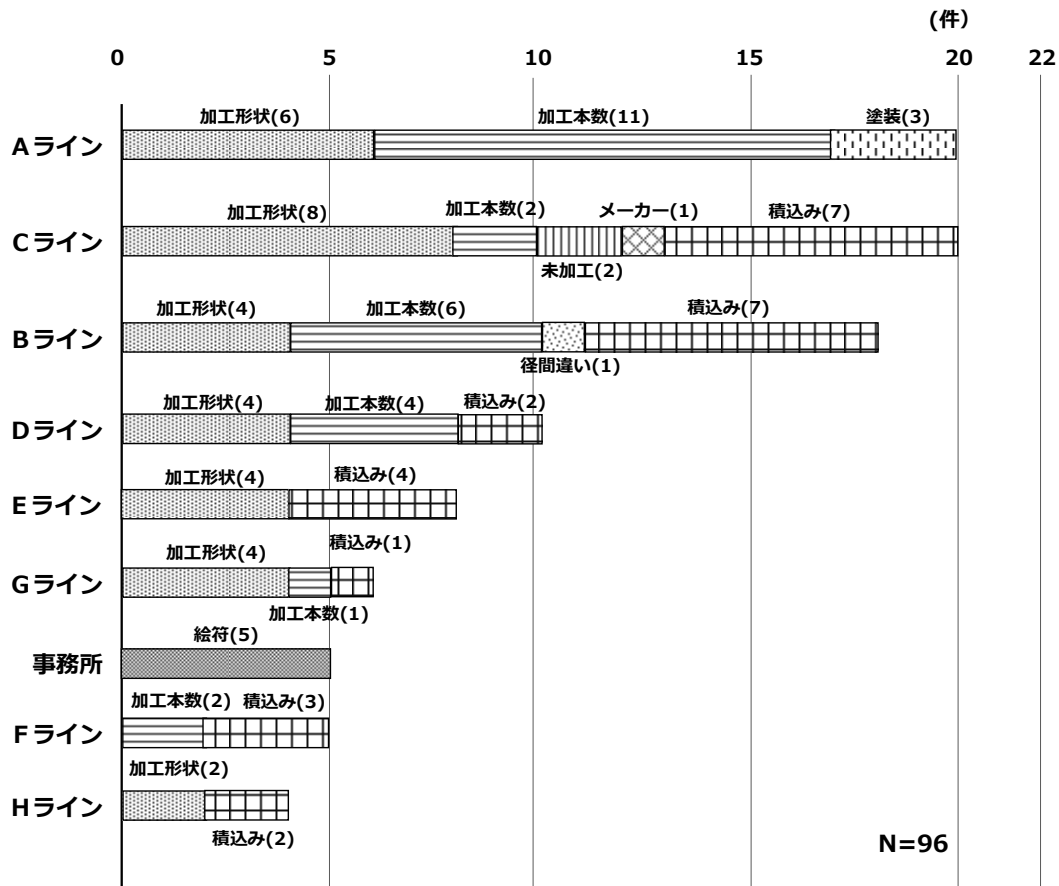


図5-13 不具合が発生した加工ライン

### (6) 不具合の傾向に関する整理

鉄筋加工工場内における不具合区分で最も多かったのは「加工形状」の32件（全体の33.3%）、次いで「本数」と「積込み」がそれぞれ26件（全体の27.1%）であった。この3項目で不具合全体の87.5%を占める。「D16」以下の細物鉄筋径で発生した不具合は50件（全体の52.1%）を占めていた。その中で「加工形状」に起因する不具合は20件（細物径全体の40%）であったが、生材の切断加工ミスは1件のみであり、残りの19件は加工形状ミスだった。一方、「積込み」の26件のうち19件（積込みの73.1%）が「場外」で発覚し、残りの7件（積込みの26.9%）は「場内」の台貫で発覚しており、ある程度の効果が見られた。

加工ライン毎の不具合は「Aライン」と「Cライン」で多く見られるが、両ラインで不具合の傾向が異なる。柱と梁の主筋（D29～D41）を加工している「Aライン」では、「積込み」の不具合は見られず「本数」の不具合が11件と全ライン中で最多であった。次いで「加工形状」の不具合が6件

と多く、その内訳はすべて加工寸法の間違いであった。一方、壁や床の鉄筋（D10～D16）を加工する「Cライン」では、「加工形状」で8件、「積み込み」で7件の不具合があった。事務所で発生している「絵符」に起因する不具合は5件（全体の5.2%）で、全て事務職員の入力ミスが原因だった。「場内」で技能労働者による工程内検査や加工後の検査員による検査方法では、不具合事象の37件（全体の38.5%）しか発見できておらず、残りの約62%は出荷先の工事現場で発見されていた。

## 5-7 不具合発生要因の分析

### （1）分析の方法

鉄筋加工工場の加工ライン毎の加工機の配置と技能労働者の動線を、観察調査の結果から工程分析図としてまとめる。対象とする加工ラインは、不具合の発生が多かったAラインとCラインとし、積み込みヤードは各ラインに配置されているため、それぞれの加工ラインに含む。第4章では生産情報のフローから見た工程内チェックの関係で鉄筋加工工場の工程分析図を示した。本調査研究では鉄筋加工工場の加工機の配置と技能労働者の作業手順の関連性から、鉄筋加工工場で発生する不具合を分析することを目的に、工程分析図を再編して考察する。加工ラインの配置記号を図5-14に示す。

工程分析図の作成方法は、加工ラインの配置図に技能労働者の作業の流れを水平線で連結して作業内容を示す。技能労働者が加工作業前に加工寸法、加工形状や本数を目視確認する行為を「確認」、加工作業が完了してから絵符を基にしてその通り加工できていることを技能労働者や検査員が検査する行為を「検査」とし、各々の行為を以下の通り定義した。工程図記号を図5-15に示す。

- ① 確認1：技能労働者が倉から鉄筋を出す時に絵符と鉄筋径、材質を目視で確認する。
- ② 確認2：技能労働者が加工機に鉄筋をセットし、絵符を目視で確認してから加工機に切断寸法や曲げ寸法を設定する。
- ③ 確認3：技能労働者が加工機に鉄筋をセットし、絵符を目視で確認してから加工機に曲げ角度を設定する。
- ④ 確認4：技能労働者が加工した鉄筋の束に絵符を本結束（または仮結束）する。
- ⑤ 確認5：運転手がトラックに積み込む前に出荷指示書と絵符の内容を確認する。
- ⑥ 検査1：技能労働者が曲げ加工機で曲げられた鉄筋を分度器で計測して絵符の数値と照合する検査のこと。
- ⑦ 検査2：技能労働者が加工中に切断寸法や曲げ形状を抜き取りで絵符と照合する検査のこと。
- ⑧ 検査3：技能労働者が本数を絵符と照合する検査のこと。
- ⑨ 検査4：検査員が積み込みヤードにおいて出荷前に絵符と照合して記録する製品検査のこと。

### （2）Aラインにおける鉄筋加工作業の工程分析

柱と梁の主筋（D29～D41）を加工するAラインの工程分析図を図5-16に示す。鉄筋の切断のみを受け持つA-1ラインと切断と曲げを受け持つラインA-2ラインに分けられるが、倉から1箇所しかない積み込みヤードまでは一方通行の加工ラインであった。

A-1ラインはQRコードに対応した切断加工機が設置されており、技能労働者による工程内検査は確認1と確認4の2つであった。切断寸法と本数のカウントは絵符に印刷されたQRコードを切

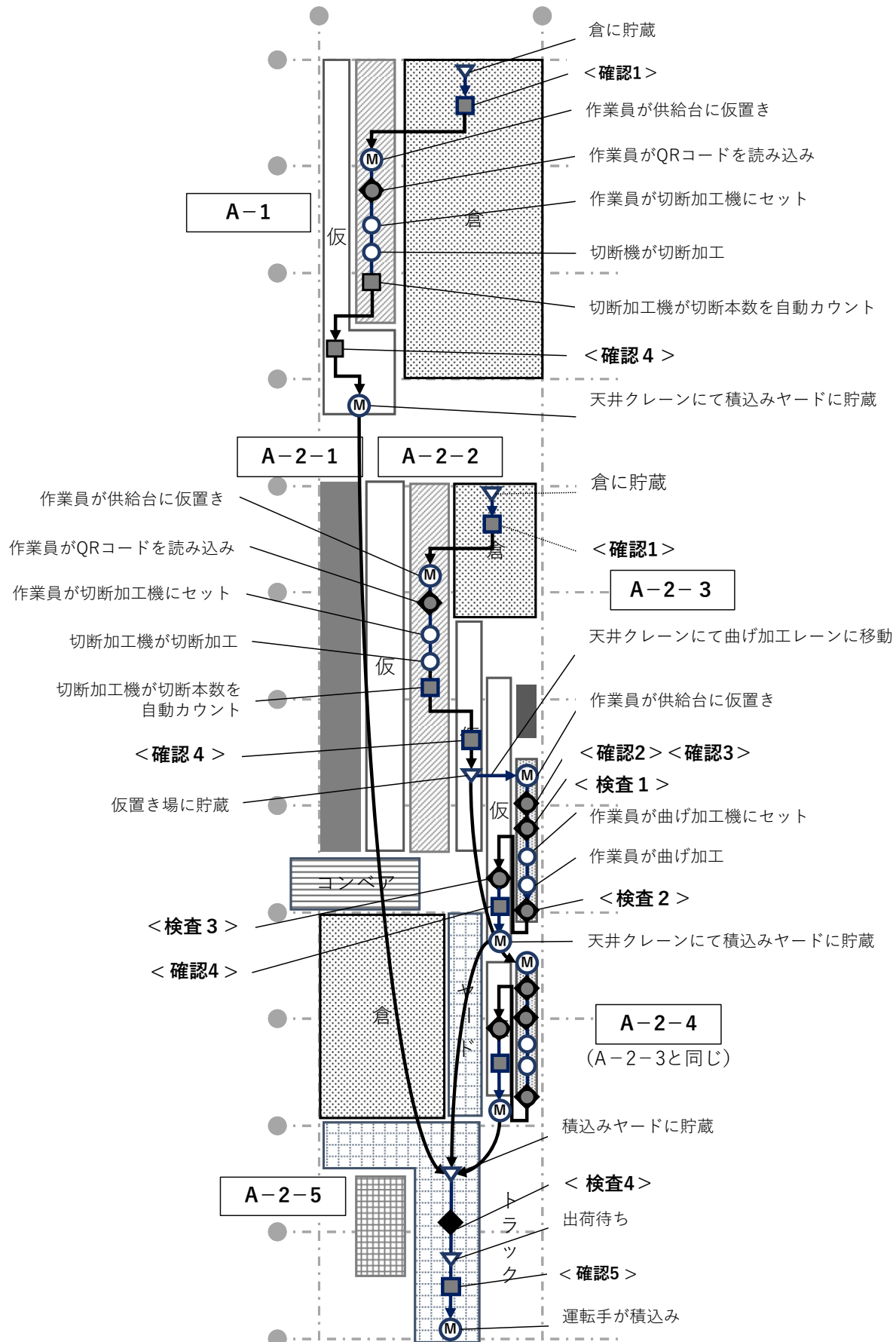


図5-16 Aラインの工程分析図










記号の名称	記号	記号の名称	記号	記号の名称	記号
切断機		仮置きヤード		未使用	
曲げ機		積込みヤード		コンベア	
切断曲げ機		倉		精密切断	

図 5-14 加工ラインの配置記号






要素工程	記号の名称	記号	意味
加工	加工		材料、部品または製品の形状の変化を与える過程
運搬	運搬		材料、部品または製品の位置に変化を与える過程
停滞	貯蔵		材料、部品または製品を計画的に貯えている過程
	滞留		材料、部品または製品が滞っている状態
検査	数量検査		材料、部品または製品の量、個数を測り、その結果を基準と比較して差異を知る過程
	加工と確認		加工を主としながら確認をおこなう
	計量検査		材料、部品または製品の品質や形状を確認し、その結果を基準と比較して個品の良、不良を判定する過程

図 5-15 工程分析記号

断加工機に読み込ませることで加工作業が制御されており、加工後は確認 4 のみで積込みヤードに移動していた。A-2 ラインの加工ラインは QR コードに対応した切断加工機が設置されている A-2-1 ラインと A-2-2 ラインの 2 ライン、QR コードに対応していない曲げ加工機が設置されている A-2-3 ラインと A-2-4 ラインの 2 ラインがあった。切断加工を担当する技能労働者と曲げ加工を担当する技能労働者は別である。A-2-1 ラインは調査時には稼動していなかった。A-2-5 ラインは精密切断を専門とする加工ラインであるが、調査時には稼動していなかった。聞き取り調査によると精密切断加工は鉄筋の切断と鉄筋端部の加工をひとつのラインで完結しており、本数と加工形状は検査員が

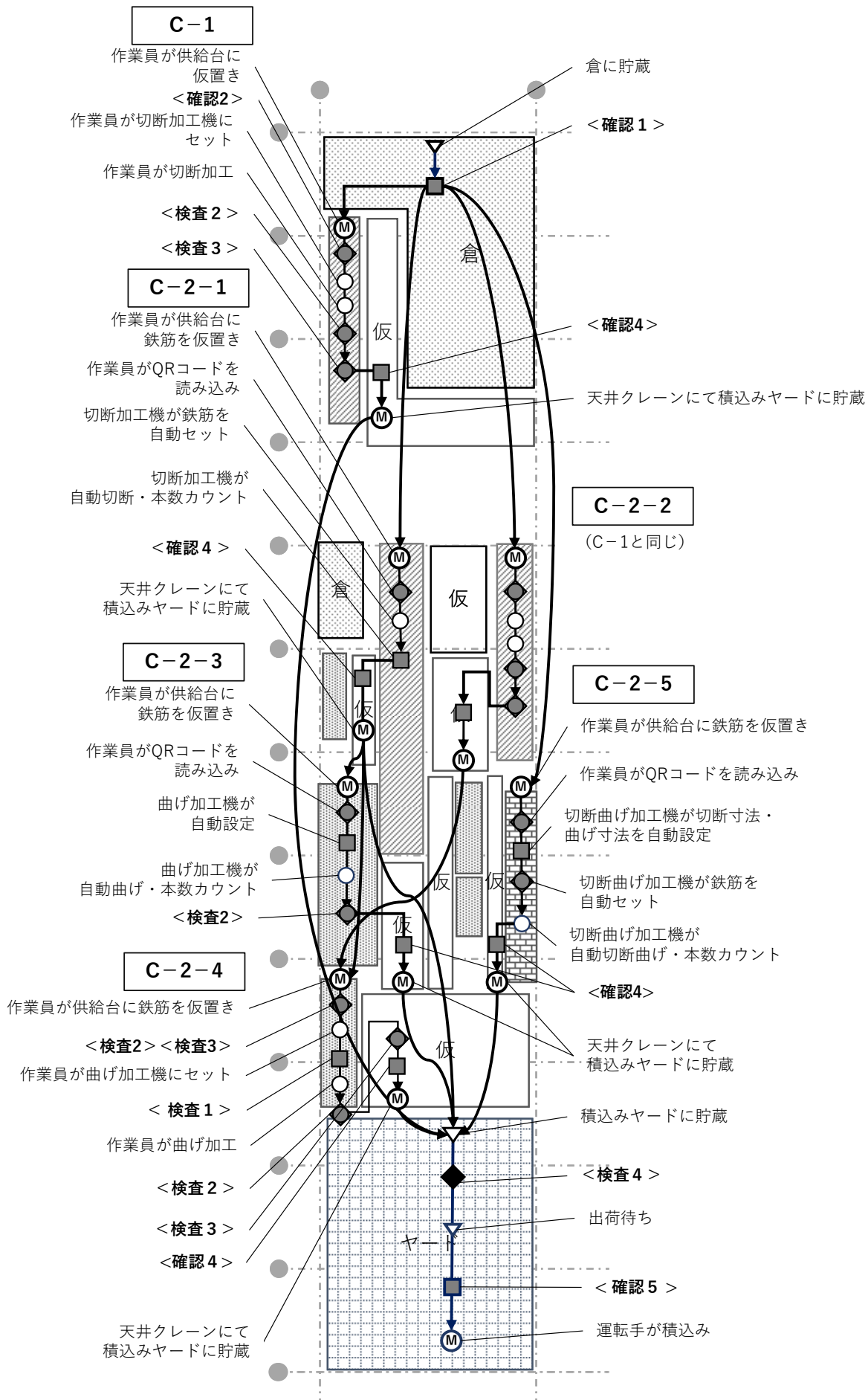


図5-19 Cラインの工程分析図



出荷前に必ず全数確認を徹底しているとのことだった。A-2-2 ラインの切断加工は A-1 ラインと同様に技能労働者が加工機に QR コードを読み込ませることで切断寸法、切断本数が制御されており、工程内検査は確認 1 と確認 4 の 2 つが確認できた。A-2-2 ラインで切断された鉄筋の束は技能労働者が天井クレーンで曲げ加工をする A-2-3 ラインと A-2-4 ラインに移動させる。同じ切断寸法であれば曲げ形状や曲げ寸法が異なる絵符でも、ひとつの鉄筋の束に仮結束された状態で次工程に引き渡されていた。A-2-3 ラインと A-2-4 ラインにおける技能労働者の工程内検査は、確認 2、確認 3、図 5-17 に示す検査 1、検査 2、検査 3 と確認 4 の 6 つが確認できた。曲げ加工の加工形状を設定する作業は、技能労働者が絵符を目視で確認する確認 2 と確認 3 を経て手作業でおこなう。その後、試し筋で検査 1 の工程内検査を実施して、問題がなければ技能労働者が鉄筋を 1 本ずつ曲げ加工機にセットして曲げ加工をおこない、加工中に検査 2 として抜き取り検査をしていた。曲げ加工をする鉄筋は、切断加工時には本数がカウントされて絵符が仮結束されている鉄筋の束から、技能労働者が必要な本数を抜き取っていた。

曲げ加工は 1 本ずつ手作業のため絵符は一旦取り外され、曲げ加工後に検査 3 の工程内検査を経てから確認 4 であらためて絵符を本結束していた。A ラインの積み込みヤードを図 5-18 に示す。加工した鉄筋の置き方は加工が完了した順番であったが、おおよそ出荷する工事現場別にまとまっていた。積み込みヤードにおける工程内検査は、検査 4 と確認 5 が確認できた。検査員による検査 4 の検査では ICT の活用は見られず目視による検査結果を手書きで記録していた。



図 5-17 曲げ加工の検査状況



図 5-18 A ラインの積み込みヤード

### (3) C ラインにおける鉄筋加工作業の工程分析

壁床の鉄筋 (D10～D16) を加工する C ラインの工程分析図を図 5-19 に示す。鉄筋の切断加工のみを受け持つ C-1 ラインと切断と曲げ加工を受け持つ C-2 ラインに分けられているが、倉から 1 箇所しかない積み込みヤードまでは一方通行の加工ラインであった。

C-1 ラインは QR コードに対応した加工機が設置されておらず、技能労働者の工程内検査は、確認 1、確認 2、検査 2、検査 3 と確認 4 の 5 つが確認できた。技能労働者が絵符を確認して加工機に切断長さや切断本数を設定する確認 2 の工程内検査を確認した。第 3 者のチェック体制は無く、入力値は、技能労働者の自主確認に依存していた。切断の加工寸法や加工本数のカウントは技能労働者が手入力した数値で自動加工されているが、検査 2 と検査 3 の工程内検査が見られた。最後は確認 4 の工程内検査で不具合が無ければ鉄筋を束ねてから絵符を本結束し、天井クレーンにて積み込みヤードまで運んでいた。C-2 ラインは鉄筋の切断と曲げ加工を一連の作業工程で進めるため C-2-1～C-2-5 の 5 つのラインに分かれていた。C-2-1 ラインは QR コードに対応した切断加工機が設置されており、

QRコードを切断加工機に読み込ませることで切断作業と切断本数のカウントが制御されていた。工程内検査は確認1と確認4の2つが確認できた。C-2-2ラインはC-1ラインと同様にQRコードに未対応の切断加工機が設置されており、技能労働者の工程内検査は、確認1、確認2、検査2、検査3と確認4の5つが確認できた。C-2-3ラインの曲げ加工機はQRコードに対応しており曲げ加工寸法と加工本数が制御され、工程内検査は検査2と確認4の2つが確認できた。C-2-4ラインの曲げ加工機はQRコードに対応していないため、工程内検査として確認2、確認3、検査1、検査2、検査3と確認4の6つが確認できた。C-2-5ラインではQRコードに対応した図5-20に示す切断曲げ加工機が設置されており、工程内検査は確認1と確認4の2つが確認できた。曲げ加工はQRコードを使用する場合と手作業の場合とで加工機を使い分けていた。前者が2次元的な曲げ加工を担い（C-2-3、C-2-5）、後者は3次元的な曲げ加工を担っていた（C-2-4）。

Cラインの積み込みヤードを図5-21に示す。加工した鉄筋の置き方は加工が完了した順番であったが、おおよそ出荷する工事現場別にまとまっていた。積み込みヤードにおける工程内検査は、検査4と確認5が確認できた。検査員による検査4の検査ではICTの活用は見られず目視による検査結果を手書きで記録していた。



図5-20 切断曲げ加工機



図5-21 Cラインの積み込みヤード

---

## 5-8 不具合内容と加工ラインの関連性

---

### (1) Aライン

Aラインの不具合は「本数」に関する項目が11件と最も多かった。11件の内訳は精密切断関係が10件、切断加工関係が0件、曲げ加工が1件である。精密切断はA-2-5の加工ラインで加工されているが、全ての不具合は工場内の全数検査で発見され出荷前に対処されていた。切断加工ができる加工機はすべてQRコードに対応しており、技能労働者が自ら切断本数のカウントや切断寸法を設定していなかった（A-1ライン、A-2-2ライン）。一方、曲げ加工の作業工程は、技能労働者が前工程で切断加工された鉄筋の束を崩して1本ずつ曲げ加工機にセットする作業が確認できた（A-2-3ライン、A-2-4ライン）。崩す鉄筋の束は、切断寸法が同じ鉄筋の束に複数の絵符が仮結束された状態であり、曲げ加工を担当する技能労働者が絵符を確認しながら鉄筋の束から必要な本数を抜き取っていた。そのため加工後に本数をあらためてカウントし、加工本数を検査（検査3）していた。切断工程ではQRコードを読み取って正しい本数が加工されていても、曲げ加工時に鉄筋の束から鉄筋を

引き抜くことで加工した本数の照合が必要となり、検査ミスが発生する可能性を指摘できる。

2番目に多い不具合は「加工形状」の6件であり、内訳はすべて加工寸法間違いだった。A-2-5ラインで単独で加工されている精密切断関連の2件を除いた4件はすべて曲げ加工のラインで発生しており、試し筋で加工形状を検査する検査1の工程内検査があるにも関わらず検査ミスが発生していた。作業工程から推測しても、技能労働者が曲げ寸法の設定を間違えた以外の要因を考えづらい。

## (2) Cライン

Cラインの不具合は「加工形状」に関する項目が8件と最も多かった。8件の内訳は切断加工に起因する項目が0件、曲げ加工に起因する項目が8件だった。切断加工の作業ラインは4ラインあり、C-1ラインとC-2-2ラインは技能労働者が手入力で切断寸法を設定、C-2-1ラインはQRコード対応の切断加工機、C-2-5ラインはQRコード対応の切断曲げ加工機で鉄筋を加工していた。C-2-1ラインで切断加工された鉄筋はC-2-3ラインで新たにQRコードを読み込ませることで曲げ加工をする加工作業であったが、加工形状としては2次元的な曲げ加工にしか対応できていなかった。一方、C-2-4ラインの曲げ加工は3次元的な曲げ加工のラインであり、技能労働者が手作業で加工していたため、加工形状の不具合はすべてこのラインで発生していると考えられる。C-2-5ラインでは技能労働者が絵符のQRコードを切断曲げ加工機に読み込ませることで切断と曲げの加工が一度に終わるため、不具合が発生しにくい。

2番目に多い不具合は「積み込み」で7件だった。Cラインで加工する鉄筋は主に壁や床で使用されるD10～D16のいわゆる細物鉄筋であり加工された鉄筋束が便宜的に置かれ、出荷する鉄筋束に本結束されている絵符を目視で探す作業は運転手の力量に依存していた。積み込み間違いや積み込み忘れを完全に防ぐことが難しい。

## 5-9 結び：工事現場と鉄筋加工工場における生産情報の連携

### (1) 不具合発生の要因

技能労働者が「絵符」に印刷されている加工情報を確認し、切断加工機や曲げ加工機への数値入力や自らが加工作業をする場合では、その数値や加工形状を第3者がチェックする作業工程は見当たらなかった。その対策として「絵符」のQRコードを鉄筋加工機にそのまま読み取らせることは有効だと考えられるが、QRコードに対応した機械で加工した後は積み込みヤードまで技能労働者の手作業が入らない加工ラインのレイアウトにするのが望ましい。

一方、ライン毎に設置されている積み込みヤードでは、Cラインのように細物の鉄筋径で積み残しが多い傾向にある。出荷する鉄筋を探す作業は運送会社の運転手が手元にある「出荷指示書」と積み込みヤードの「絵符」を1枚1枚目視で照合していた。ラインごとに積み込みヤードが分かれているとしても、当日出荷しない加工済みの製品や複数の現場の鉄筋も同じ場所に置いてあるため見つけ出すことが容易ではないと考えられる。なお、B社の「絵符」には加工日の目安が記号化されて記載されているが、現場搬入日を記載する欄がないため、運転手が該当する鉄筋の束を探しやすくする工夫が不具合の防止には重要になる。

「絵符」に記載する加工情報は、鉄筋加工工程で使用するのが大半であるが、鉄筋加工工場と工事

現場を結ぶ荷札の役割も果たす。印刷する情報に出荷に関する情報を分かりやすく記載するのが望まれる。その情報が工事現場の都合で変化する可能性があるならば、積み込みヤードは工事現場毎や出荷日毎に分かりやすく配置することが肝要で、同時に鉄筋加工工場内での製品の小運搬が発生しない配慮も考える必要がある。また、積み込み作業が集中することで運転手が焦ってしまうことも指摘できる。これらの作業を効率的に行うためには「出荷指示書」を撮影すると、置き場を示すような携帯情報端末のアプリケーションを開発することも考えられる。

検査員は積み込みヤードに置かれた「絵符」が本結束された鉄筋束を検査するが、抜き取りの目視検査であり、すべての不具合を発見できる手法ではなかった。

## **(2) 生産情報を共有・連携するポイントの整理**

工事現場と鉄筋加工工場におけるデジタル化された生産情報を、共有・連携するマネジメント体制の仕組みづくりの視点から以下の点を確認した。

- ① 工事現場の職長から鉄筋加工工場に伝達されるデジタル化された生産情報は、「絵符」の作成システムと連携することで、「絵符」を作成する不具合を防ぐ観点から有効であることを確認した。
- ② 「絵符」に記載された QR コードのデジタル情報を加工機に読み込ませることにより、切断する寸法や本数の不具合を防ぐことに有効であることを確認した。一方、QR コードに対応した加工機を使用するのが作業工程の一部である場合は、技能労働者に依存する作業が次工程で発生しており、加工形状、加工本数の不具合を発生させる要因と考えられる。
- ③ 工事現場の職長と鉄筋加工工場の事務員では、搬入予定日が共有されているが、「絵符」には記載されていないことを確認した。出荷を待つ鉄筋の束を運送会社の運転手がライン毎にある積み込みヤードで探しており、積み込みに関する不具合の防止には改善の余地がある。搬入日は工事現場の作業工程と密接な関係があるため、リアルタイムで双方向に日時を共有することが必要と考えられる。

本稿では鉄筋加工を専業とする鉄筋加工工場が発生する不具合事象と加工工程および加工情報との関連性を明らかにした。その結果、数量や加工形状を自動設定できる加工機では不具合が発生しておらず、技能労働者の手作業が介在する部分で不具合が発生していることを確認した。また QR コードと連携させた加工機が採用されていても、すべての加工機がそのような仕様になっていなければ、そのラインでの不具合発生は無くならないと推測される。また、加工ロットの違い、ライン内での小運搬、出荷などの作業ではデジタル化された加工情報を連携させづらいことも確認できた。そのような部分に対しては、「絵符」の生産情報と連携させた加工工程を支援できるデジタル情報の活用が期待される。一方、今回は鉄筋加工を専業とした鉄筋加工工場を対象としたため、各鉄筋専門工事会社の鉄筋加工工場における不具合事象の分析は今後の課題としたい。

ICT や BIM を活用して品質管理や生産性向上を支援するシステムの研究開発は、工事現場だけではなく、鉄筋加工工場においても同様の課題と指摘できる。例えば、鉄筋加工工場で見えなかった不具合や積み込みミスは工事現場で発覚する。しかし、鉄筋加工工場における加工ミスは鉄筋加工工場での検査システムを整備することで対策できるが、職長等の拾い出しなど「加工帳」の作成ミスは鉄筋加工工場への発注情報であるが故に、鉄筋加工工場内でそのミスを発見する手立てがない。したがって、おのおのが独自で生産情報のデジタル化を考えるだけでなく、工事現場と鉄筋加工工場が BIM モデルなどで加工帳の完成形を共有することも重要と言える。

## 註

- [1] 中村隆夫, 谷口汎邦: 鉄筋加工場における規模と面積配分 鉄筋加工場の建築計画に関する研究 その3, 日本建築学会計画系論文集, 第483号, pp. 129-136, 1996. 5
- [2] 生産活動やサービス活動をモデル化し, 解析を行うこと。
- [3] 松田 耕, 後藤礼彦: 鉄筋加工場を対象とした離散系シミュレーションの研究, 日本建築学会大会 学術講演梗概集, 建築社会システム, pp. 101-102, 2013. 7
- [4] 小早川 敏: 架構式プレキャスト鉄筋コンクリート工法の部材製造工程に関する工数調査および労働生産性の分析 架構式プレキャスト鉄筋コンクリート工法における労働生産性に関する調査研究 (その2), 日本建築学会計画系論文集, 第555号, pp. 287-293, 2002. 5
- [5] 高麗一大, 古阪秀三, 金多 隆, 平野吉信, 江頭知幸: 品質事故事例からみる建築生産システムの実態とその脆弱性, 日本建築学会計画系論文集, 第623号, pp. 183-190, 2008. 1
- [6] 新妻尚祐, 樋脇毅, 工藤桂一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第22巻, 第50号, pp. 5-10, 2016. 2
- [7] 本章で対象とする鉄筋加工の不具合は, 鉄筋加工工場の技能労働者に起因する加工寸法間違い, 加工形状間違い, 加工本数間違い, 品質検査員による不具合の見落とし, 運送会社の運転手による積込みの過不足, 事務所での絵符への入力ミスとした。加工図・加工帳の作成ミスは職長の作業に起因しているため対象外とした。また加工機の整備等に起因する不具合も含んでいない。
- [8] A社によると鉄筋の加工数量が増えるにともない自社内で鉄筋加工工場を拡大させてきたが, 自社の加工数量だけでは鉄筋加工工場の採算が悪いため, 他社の加工も受注できるようにB社として分離独立させたとのことだった。多くの鉄筋専門工事はリーマンショックの影響等で受注量が減っても鉄筋加工工場を固定費として維持する経費を負担することが激しくなっており, 近年では鉄筋加工工場を固定費ではなく変動費へと移行する傾向が見られると指摘があった。
- [9] 鉄筋加工工場において鉄筋の切断や曲げの加工をするために必要となる寸法や角度などの生産情報のこと。
- [10] 鉄筋メーカーから納品され加工をしていない鉄筋材料のこと。
- [11] B社によると明治時代以前より資材や食材酒類を保管していた場所を倉と呼んでおり, 鉄筋の加工工場でもその名残で使用している模様である。
- [12] 加工をした鉄筋を後工程でも使用できるように仮で束ねること。
- [13] 加工をした鉄筋を工事現場に輸送できる状態に束ねること。
- [14] L曲げ加工やフック加工を指す。主筋やフープ, スターラップなどの加工に用いられる。

## 図版出典

図5-1: B社のホームページによる

図5-2: 筆者作成

図 5-3： 筆者作成

図 5-4： B 社が提供を受けた画像に筆者が加筆

図 5-5： 筆者作成

図 5-6： 筆者撮影

図 5-7： 筆者作成

図 5-8： 筆者作成

図 5-9： 筆者作成

図 5-10： 筆者作成

図 5-11： 筆者作成

図 5-12： 筆者作成

図 5-13： 筆者作成

図 5-14： 筆者作成

図 5-15： 筆者作成

図 5-16： 筆者作成

図 5-17： 筆者撮影

図 5-18： 筆者撮影

図 5-19： 筆者作成

図 5-20： 筆者撮影

図 5-21： 筆者撮影



6



---

Theme **BIM/ICT を活用した鉄筋生産情報のシステム構築の在り方**

---



---

## 第6章 BIM/ICT を活用した鉄筋生産情報のシステム構築の在り方

---

6-1	本章の目的と構成	185
6-2	BIM/ICT を活用するアクターの想定	189
6-3	BIM/ICT を活用するユースケースの想定	193
6-4	BIM/ICT を活用したシステムの開発環境	194
6-5	BIM/ICT を活用したシステム構築の在り方	197
6-6	結び：BIM/ICT の活用が生産性向上と不具合低減に及ぼす影響	204

---

### 6-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

第3章と第4章、第5章では、工事現場での生産性を向上させるためには、総合建設工事会社だけでなく鉄筋専門工事会社や鉄筋加工工場を含めて BIM/ICT の正しいデジタル化された生産情報を一貫して活用し、お互いが連携できるマネジメント体制の構築が重要であることを指摘した。各生産プロセスを担う企業では自身が担う業務を対象にして、生産性の向上や不具合の防止を実現するために BIM/ICT の活用が始まっていた。生産プロセスのつなぎ目においては、同一企業グループ内における加工帳と絵符の作成範囲のみで、実装されたシステムが確認されるだけだった。一方、生産情報の連携は、たとえシステムのデジタル情報で連携されていなくても、例えばメールによる CAD データの受け渡しや FAX による手書きされた紙で運用されていることから、それらの生産情報をデジタルに置き換えて連携させる BIM/ICT を活用したシステムを構築することは可能であることも確認できた。

そこで本章では、鉄筋工事における鉄筋生産情報を4つのプロセス、すなわち図面作成、鉄筋加工、配筋・組立、配筋検査におけるつなぎ目において、BIM/ICT を活用してデジタル化された生産情報をどのように連携させてシステムを構築するのかを定義したい。設計図書から始まる生産情報が生産プロセスの進捗にしたがい順次確定されていく中で、各生産プロセス内で生産情報を扱う人(以下、

アクター<sup>〔1〕</sup>）がBIM/ICTを活用することにより後工程に不具合を流さないだけでなく、生産性の向上も実現させる要件を捉えることを目的とし、システム開発の在り方を考察する。

## 既往の調査研究

鉄筋のBIMモデル作成に関する研究では松田らが、鉄筋工事にBIMを適用する課題点を15項目に整理し、BIMによるシステム開発による課題の解決を図っている<sup>〔2〕</sup>。その課題点と解決方法を図6-1に示す。

ここに提示された課題に対する解決方法は、システムを使用するアクターが総合建設工事会社の職員を想定している。鉄筋専門工事会社の職長や鉄筋専門工事会社の技能労働者の役割は、作成されたデジタル情報を受領し、鉄筋加工をすることである。システムは総合建設工事会社独自のソフトウェアとして開発されており、鉄筋工事を担うすべてのアクターが本システムを使用することを想定している。生産情報を生産プロセス間で連携するというより、ひとつのシステムで完結させようとする試みと言えるため、鉄筋工事全体としての汎用性があるシステムとは言い難い。鉄筋工事における生産プロセス内で作成された生産情報を使用することが想定されるアクターは、構造設計者から工事監理者、総合建設工事会社の鉄筋工事担当者、鉄筋専門工事会社の職長、配筋・組立を担う技能労働者、さらには鉄筋加工工場で鉄筋加工を担当する技能労働者と多岐に渡っている。すでに職長が加工図・加工帳を作成するシステムや鉄筋加工工場においては絵符を作成するシステムが稼動している。すべてのアクターが同一のシステムに乗り換えて生産情報を一貫して連携する形態は、分業化により工事が進んでいる現状や各プロセス内ですでに完結しているシステムが存在していることから、工事現場の役割分担とシステムの運用範囲に乖離があると考えられる。

さらに職長が作成する加工図や加工帳がいまだに手書きの生産情報で流通していることを考えると、使い勝手が多岐に渡るシステムを導入するハードルが高く、デジタルの生産情報を流通させるこ

課題	課題の内容	RCSによる解決
①	構造設計時に配筋検討が不十分なことによる手戻りが生じる	ST-Bridgeに対応、配筋標準ロジックの組み込みによる詳細配筋の半自動生成
②	複数の主体が手間のかかる積算を重複して行なっている	配筋標準ロジックの組み込みによる詳細配筋の半自動生成
③	積算数量の突合せに手間がかかる	詳細配筋の可視化
④	配筋詳細計画に手間がかかる	配筋標準ロジックの組み込みによる詳細配筋の半自動生成、簡易編集機能
⑤	スリーブに関する複数の図面を個別に重ね合わせている	梁貫通孔機能
⑥	全ての貫通孔について複雑なルールを速く正確に確認する必要がある	梁貫通孔機能
⑦	加工図・加工帳の作成に手間がかかっている	加工図加工帳機能
⑧	加工図のエビデンス性が低い	加工図機能
⑨	鉄筋加工場においては工程ごとに加工情報を手作業で確認している	鉄筋曲げ機/切断機とのデータ連動による加工工程の効率化（未実装/構想のみ）
⑩	職長から作業員への作業指示に使える分かりやすい加工図を作成するには手間がかかる	加工図機能
⑪	配筋検査に手間がかかる	配筋検査機能
⑫	鉄筋をBIMソフトでモデル化すると重たくなる	3Dモデルの簡易表示機能
⑬	鉄筋の形状は複雑なため、3Dモデリングに手間がかかる	配筋標準ロジックの組み込み、簡易編集機能
⑭	鉄筋モデルのデータを異なるBIMソフト間でやりとりできない	ST-Bridgeに対応
⑮	既存のBIMソフトにおける鉄筋オブジェクトの取り扱いとは現実と整合していない	鉄筋オブジェクト単位の設定

図6-1 松田らが整理した課題点と解決方法

との阻害要因になっている可能性が高い。

課題解決の①②④の項目では、鉄筋 BIM モデルは半自動生成と記載されている。配筋検討の肝である柱・梁の仕口部分が「配筋検討を簡易に行うために、鉄筋の端部条件として『未決』という概念を導入した。『未決』とは仕口部の鉄筋納まりが確定していない状態を指す。『未決』状態の仕口においては、鉄筋の定着開始面に『未決マーク』（×印）を発生させ、仕口内の鉄筋は描画しない」とあり<sup>[3]</sup>、鉄筋の納まり検討箇所では柱・梁の仕口部という肝心な箇所についてのシステム化の試みがなされていなかった。技術者があらためて納まり検討をする余地が残っている。工事現場における配筋納まり図の作成が要求される箇所は、柱・梁の仕口箇所を対象とする場合が大半であり、仕口箇所の鉄筋の配置で柱主筋や梁主筋の位置が決まるため、肝心な検討箇所が手作業になってしまうと、鉄筋 BIM モデルにより主筋の配置をあらためて最初から調整しなければならない可能性が残る。

加工図や加工帳に関する作成機能が搭載されているが、第3章で整理したように工事現場を担当する鉄筋専門工事会社の職長が作成している場合が大半である。総合建設工事会社の鉄筋工事担当の技術者による作成やチェックが実施されていないのが現状であることから、システムを鉄筋専門工事会社が使用するか、あるいは総合建設工事会社側で加工する鉄筋の生産情報を確定させる必要がある。一方、ほとんどの鉄筋加工工場では、絵符を使用した独自の加工管理体制が確立されており、絵符の作成に必要な生産情報と本システムで作成された生産情報の連携に関する手法を考慮する課題が残されている。

原は施工 BIM に関するシンポジウムにおいて、施工図情報を職長に伝達させる重要性を指摘している<sup>[4]</sup>。総合建設工事会社側で鉄筋 BIM モデルを作成し、鉄筋専門工事会社の職長が使用しているシステムと連携できるとことを示したが、加工帳を作成するシステムに一方的にデータを渡す形態であるため、職長が加工帳を作成するのに必要な生産情報の正確性がどこまで担保されているのかは確認することができない。総合建設工事会社が作成した鉄筋 BIM モデルは、職長が作成する加工図の正確性を担保するものではないのである。

いずれの試みも、総合建設工事会社が鉄筋加工に必要となる一部の生産情報を鉄筋専門工事会社に一方的に渡すことで、連携後に発生する加工図の調整作業手間の低減や加工帳の作成作業の効率化に一定の成果が見られると報告されており、生産情報の連携が効果的であることが示された。一方、鉄筋加工に必要不可欠である絵符の作成までの生産情報の連携については触れられていないだけでなく、鉄筋加工工場における生産情報と図面作成プロセスにおける生産情報の連携に関する手法については論じられていない。

配筋・組立プロセスや配筋検査プロセスにおいては、検査結果の記録を残す部分において ICT の活用が見られ、構造図の生産情報を活用している。従来のシステム開発と同様に配筋検査時には実際の配筋・組立時に使用している生産情報を活用しているわけではない。実際の配筋・組立状況として配筋検査に使用できる情報量を持つ BIM モデルとして作成するには、実際に加工された鉄筋が表示されていない限り難しいのである。そのため、鉄筋 BIM モデルと配筋 BIM モデルの関連性について示されていないと言える。

## 本章の研究方法和構成

このように既往研究においては、鉄筋の納まり検討における BIM の重要性が指摘されるとともに、

加工帳の作成に必要な生産情報のデータ連携に関する必要性が論じられ、適用により一定の効果があることが示されていた。一方、各生産プロセスで生産情報を扱うアクターの視点からシステム開発を捉える試みはなされていない。しかしながら、生産プロセス内では部分的ではあるが、日常的に CAD データや手書きされた紙、FAX、PDF による生産情報のデータ連携が実施されていることから、図面作成プロセスから配筋検査プロセスに至るまで生産情報を一貫して連携させるシステムを構築する試みはアクターの分担を明確にすることで可能と考えられる。図面作成から鉄筋加工に必要な絵符の作成までには鉄筋工事において必要な生産情報の 91.7%が確定されている<sup>[5]</sup>。これらの段階で生産情報を正確に確定させ、不具合の無い鉄筋加工、配筋・組立の作業につなげる。その結果として、工事現場における生産性の向上や配筋・組立時の不具合の低減に寄与する、アクター視点によるデータ連携手法を定義することが肝要と考えられる。さらに、第2章において鉄筋工事のシステム開発が配筋検査に特化したシステムが多く確認されたことを指摘したが、配筋検査結果の報告書作成業務という「点」の業務に対する業務の効率化に一定の成果が確認されていた。鉄筋工事の生産プロセス全体の「面」としての生産性向上や不具合の低減には寄与できていないことから、これら既存のシステムも生産情報をマネジメントする観点から見直す必要もあると考えられる。図 6-2 に既存のシステム開発の手法と今回のシステム開発の手法の違いを示す。

そこで本章では、生産プロセスにおけるアクターの視点から鉄筋工事におけるシステム開発の方向性と運用方法の視点から、BIM/ICT によるデータ連携を含めたシステムの在り方に関する定義を試みる。先ず第2節「BIM/ICT を活用するアクターの想定」では、実際に BIM/ICT を活用するアクターについて整理すると共に、BIM と ICT の使い分けの考え方を定義する。次に第3節「BIM/ICT を活用するユースケースの想定」ではシステムとして考えられるユースケースについてアクターとシステムに要求される機能の関係性を示し、第4節「BIM/ICT を活用したシステムの開発環境」で

番号	項目	従来の手法	本研究で提示する手法
01	開発者	総合建設工事会社	総合建設工事会社 + 鉄筋専門工事会社が生産情報を連携する観点から一緒に開発する
01	アクター	総合建設工事会社	総合建設工事会社 + 鉄筋専門工事会社
02	ユースケース <sup>[6]</sup> (活用場面)	図面作成プロセス 配筋検査プロセス	図面作成プロセス 鉄筋加工プロセス 配筋・組立プロセス 配筋検査プロセス
03	鉄筋専門工事会社との 生産情報の連携手法	総合建設工事会社から一方通行の連携	総合建設工事会社と双方向の連携
04	システムの汎用性	自社オリジナル	汎用性のあるソフトウェアの追加機能として搭載

図 6-2 従来のシステム開発と今回のシステム開発の違い

は、システムの開発環境の概要を示し、第5節「BIM/ICTを活用したシステム構築の在り方」では、システムの全体概要を示し、鉄筋工事における生産情報の連携を中心としたシステム開発の在り方を考察する。

## 6-2 BIM/ICTを活用するアクターの想定

鉄筋工事で使用する生産情報は、図面作成プロセスにおいて約91.7%が確定されていることを第4章において述べた。それ以降の生産プロセス、すなわち鉄筋加工や配筋・組立、配筋検査では、図面作成プロセスで正確に確定できた生産情報に基づいて正しく鉄筋材料を加工し、加工された鉄筋を配筋・組立作業時に正しい位置に配置する。そのようになれば、鉄筋生産プロセスの最後になる配筋検査において指摘される項目は、配筋・組立時の作業に依存する、例えばかぶり（スパーサーの配置）や結束状況等に限定できると考えられる。そこで、本節ではBIM/ICTを活用して生産情報の作成や使用すると考えられるアクターとBIM/ICTの特徴から、活用する際の使い分けの考え方を以下に整理する。

### （1）アクター

最初に鉄筋工事に関する生産情報の作成や使用するアクターを想定する。既往のシステム開発の多くは、総合建設工事会社がすべての生産情報をひとつのシステムで作成することが前提であり、鉄筋専門工事会社は生産情報を一方的に受け取る場合が多く見受けられた。実際の業務分担と生産情報の活用方法とが乖離していたと指摘できる。一方、鉄筋工事以外でも加工工場において製品を製造する工種（例えば、鉄骨やサッシなど）では、ものづくりに必要な生産情報を専門工事会社やメーカー側が、製作に必要な図面を作成することで順次確定している。いわゆる分業化が進んでいる。今後はこの役割分担を総合建設工事会社がすべて担うというより、すでに鉄筋工事における生産プロセスを分析した通り、確立された分業化の体制で生産情報の確定が進むと考えられる。そこで、鉄筋工事に関する生産情報の連携は、生産情報を扱うアクターがそれぞれの立場で生産情報を正しく作成し、生産プロセスのつなぎ目において正しい生産情報をデジタル情報として次工程と連携できることが要求される。そのため、BIM/ICTを活用するシステムの構築に際しては、以下の方々をアクターとして想定する。

#### 構造設計者

構造耐力上必要な鉄筋量を計算した構造解析ソフトウェアのデータから、柱や梁の主筋の配置を考慮した部材断面を検討し、構造図と齟齬がない躯体BIMモデルと鉄筋BIMモデルを作成する。また、特記仕様書等により工事現場における配筋基準を示し、総合建設工事会社に構造図と齟齬が無い正しいBIMによる生産情報を渡す役割を担う。総合建設工事会社から鉄筋/配筋BIMに関する質疑にすみやかに回答する。

#### 総合建設工事会社の工事現場における技術者

構造設計者から受領した躯体BIMモデルから躯体図BIMモデルを作成する。躯体図BIMモデルの作成時には配筋基準に基づいて実際に鉄筋部材が配筋・組立できる可否を検証する。躯体図BIMモデルと鉄筋BIMモデルから鉄筋専門工事会社と共に施工手順を考慮した鉄筋の納まりを最終確定

させ、構造設計者から受領した鉄筋 BIM モデルを活用して生産情報の修正・追記を適宜実施する。さらに図面作成プロセスで最終的に確定される設備スリーブ位置や開口の位置から、鉄筋補強などの方法を確定させる。以上の手順から不具合が無いことが確認された鉄筋 BIM モデルから躯体配置や躯体形状、使用する鉄筋径、配置等（XYZ 座標）の生産情報を鉄筋専門工事会社の職長に渡す役割を担う。一方、鉄筋専門工事会社の職長が作成した鉄筋加工に関する生産情報を戻してもらい、鉄筋 BIM モデルを実際に配筋・組立の状態を再現できる配筋 BIM モデルを作成することで加工作業の前に加工図の作成に不具合が無いことを確認する役割も担う。問題が無ければ鉄筋の加工作業に移る。配筋・組立の作業中には、配筋 BIM モデルを参照しながら、配筋・組立が正しくなされているのかを確認し、作業が完了したら自主検査を実施する役割を担う。

### **鉄筋専門工事会社の職長**

総合建設工事会社の技術者から、躯体と鉄筋の配置等に関するデジタルの生産情報を受領し、鉄筋加工に必要な生産情報を付加し加工図と加工帳を作成する役割を担う。作成した結果は総合建設工事会社の鉄筋工事担当者にデジタルの生産情報を戻すことで、実際の工事現場における配筋・組立の状況を配筋 BIM モデルとして再現できる情報を提供する。総合建設工事会社が鉄筋加工工場で加工する鉄筋の本数や形状に問題が無いことを確認する手順を設ける。職長は鉄筋工事担当者から不具合が無いことを伝達されたら、加工図の生産情報を加工帳として集計し、鉄筋加工工場へ加工指示としてデジタルの生産情報を渡す役割を担う。その際に工事現場への搬入日時や配筋・組立作業をする箇所も加工帳を集計する際に合わせて指定する。職長は配筋・組立の作業中には配筋 BIM モデルを参照し、配筋・組立状況が正しくなされているのかを確認し、作業が完了したら自主検査を実施する役割を担う。

### **工事監理者**

鉄筋材料が加工される前の段階において、総合建設工事会社が作成する配筋 BIM モデルを仮想空間で事前に関連し、配筋 BIM モデルによる配筋検査を実施する役割を担う。配筋・組立後での客観的な指示事項や配筋基準に基づいていないような箇所が見つければ、仮想空間上で指摘し、鉄筋配置や加工形状等に関する生産情報の修正を総合建設工事会社の技術者に依頼をする役割を担う。配筋・組立後に実施する配筋検査では、配筋 BIM モデルを参照しながら、主に配筋・組立作業時に発生しがちな不具合（かぶり厚さや結束状況等）を中心とした配筋検査を実施する役割を担う。

### **鉄筋加工工場における絵符作成と加工を担う技能労働者、製品検査担当者**

鉄筋加工工場は、鉄筋専門工事会社の職長から受領したデジタルの生産情報である加工帳から絵符を作成し、加工を担当するラインリーダーに渡す役割を担う。鉄筋加工を担う技能労働者は QR コードに対応できている加工機と絵符に記載されている生産情報を連携させる役割を担う。製品検査担当者は、加工された鉄筋の自主検査を工事現場毎・絵符毎に実施し記録を残す役割を担う。また、職長から指示された搬入日を運送会社の運転手と共有し、絵符ごとに積み込み忘れを防止させるために生産情報を活用する役割も担う。

## **(2) BIM ソフトウェアを使用する範囲**

BIM/ICT を活用する目的は、後工程に不具合のある生産情報を流さないことに主眼をおくことを基本とする。そのため、正しい生産情報を効率的に作成しアクター間で連携するため、活用するソフ



トウェアをBIMとかICTのいずれかひとつに限定はしない。図面作成プロセスにおいては、作成される生産情報を3次的に可視化させることで鉄筋の配置検討を効率的に実施する必要がある。一方、鉄筋工事の生産プロセスに登場するすべてのアクターがBIMモデルを作成して生産情報を扱う必要はなく、確定されたデジタルの生産情報を扱うためにICTの活用のみを想定することも十分考えられる。アクターは最低限としてBIMモデルを閲覧できる、またはBIMモデルで作成された生産情報を扱えるICTを活用できることが望ましい。特に職長が作成する帳票は、いまだに手書きが6割以上であるものの、鉄筋加工工場においては鉄筋加工をするためのシステムがすでに完結している。それらのシステムをすべてBIMソフトウェアに合わせて大きく入れ替えることは投資費用も大きく、今すぐにすべてが変革できるとは考えにくい。いずれにしてもBIM/ICTを活用する人の環境に変革があった際には、ソフトウェアに依存することなく、正しい生産情報を生産プロセスのつなぎ目において連携し、活用することを主眼においたシステムにしておくことで、生産情報を連携するという拡張性により柔軟に対応できるはずである。そこで、鉄筋工事の生産プロセスで扱われるすべての生産情報の作成は、BIMモデルだけを前提にするのではなく、既存で完結されているそれぞれのICTによるソフトウェアと正しく連携できるインターフェースの在り方の開発に主眼をおくべきと考えられる。

事実、すでに鉄筋専門工事会社においては、アクターとして職長のみをターゲットにした加工図や加工帳を作成するシステムが存在し、かつ鉄筋加工工場の絵符を作成するシステムとの連携が図れているICTが存在している。システムではデジタルの生産情報を過不足なく連携させることに注力することで、鉄筋専門工事会社の職長がBIMを採用しなければいけないという精神的であり経営的なハードルを下げ、鉄筋加工や工事現場における配筋・組立に必要な正しい生産情報をデジタルで渡すことに特化したシステムを目指すことが現実的であると言える。

そこで、BIMソフトウェアとそれ以外を適用させる範囲を以下のように定義する。

### **BIMソフトウェアの範囲**

BIMモデルは周知のように3次元で形状を表すことが容易なため「見える化」が図られる。アクター間のコミュニケーションが図面より理解度が向上するだけでなく、図面等に記載されている生産情報を部材のBIMモデルに属性情報として付加することができる。構造設計者は構造解析データから属性情報を入力し、鉄筋BIMモデルとして配筋基準等に基づいた鉄筋部材を1本ずつ配置するだけでなく、BIMモデルから構造図の作成までを担える。総合建設工事会社は、構造設計者から受領した鉄筋BIMモデルに記載された属性情報から配置の可否や部材断面リストに記載のある鉄筋径や本数などを確認する。

総合建設工事会社の鉄筋工事担当者と鉄筋専門工事会社が、配筋納まりの検討段階で鉄筋BIMにより納まりの不具合箇所や配筋・組立時の施工手順から要望される改善項目を共有する。これらを設計段階で実施して、構造設計者に伝達することでも良い。例えば配筋・組立作業の際に扱いの邪魔にならない最適な鉄筋長さの確定等が該当する。鉄筋の配置が確定された後は、鉄筋BIMモデルで作成された正しい生産情報を、鉄筋専門工事会社が扱えるファイル形式として連携する。または、鉄筋専門工事会社が作成した加工図の生産情報を、配筋・組立時の状況として仮想空間で正確に再現させる。配筋・組立後の完成形を仮想空間上で自主検査する手段として配筋BIMモデルを活用することが想定できる。なお、BIMモデルの属性情報は生産プロセスのつなぎ目において連携する生産情報

STEP	生産プロセス	アクター	ユースケース名	概要	BIM/ICT
01	図面作成	構造設計者 (躯体工事担当者)	ST-Bridge ファイル 出力	構造解析ソフト (SS7 など) から ST- Bridge ファイルを出力する	ICT
02		構造設計者 (躯体工事担当者)	ST-Bridge ファイル 取り込み	ST-Bridge ファイルを取り込み、設計 BIM モデルを作成する	BIM (データ連携)
03		構造設計者 (躯体工事担当者)	躯体形状モデル入力	躯体情報不足分を入力し、設計 BIM モデルの不足分を追加する	BIM
04		構造設計者 (躯体工事担当者)	鉄筋情報取込	鉄筋属性の不足分を表計算ソフト等 でインポートして BIM に取り込む	BIM (データ連携)
05		構造設計者 (躯体工事担当者)	属性検査	鉄筋属性をチェックする	BIM
06		構造設計者 (躯体工事担当者)	鉄筋配置	鉄筋組み立ての配置ロジックに基づ き鉄筋を自動配置し、鉄筋 BIM モデ ルを作成する	BIM
07		構造設計者 (躯体工事担当者)	納まり検査	鉄筋 BIM モデルで納まりを自動チェ ックする。納まらない箇所を解決す る	BIM アクターが作業
08		構造設計者 (躯体工事担当者)	鉄筋の処理結果確認	納まりチェックの結果を確認する。 結果帳票を出力し、総合建設工事会 社の躯体工事担当者に渡す	BIM
09		躯体工事担当者	躯体図を作成・スリ ープ位置の確定	BIM により躯体図を作成し、スリー プ位置を確定させる	BIM
10		構造設計者 躯体工事担当者 鉄筋専門工事会社	鉄筋が納まることを 確認	躯体図の作成にともない、再度、鉄筋 BIM で納まりを自動チェックし、不 具合のある箇所を解決する	アクターが作業
11		躯体工事担当者	鉄筋情報出力	鉄筋 BIM 情報を ICT①で取り込める 形式で出力する	BIM+ICT①
12		鉄筋専門工事会社	加工図の作成	鉄筋 BIM 情報を ICT①に取り込み加 工図を作成する	ICT①
13		鉄筋専門工事会社	加工帳の作成	ICT①で集計する	ICT①
14		鉄筋専門工事会社	加工図の鉄筋情報を 出力	ICT①から配筋 BIM で読み取れる形 式で出力する	ICT①
15		工事監理者 躯体工事担当者	配筋・組立状況のバ ーチャル検査	加工情報を鉄筋 BIM と入れ替えて、 問題がないことを確認する	BIM+ICT①
16		鉄筋専門工事会社	加工帳を出力	ICT①から加工帳を出力し鉄筋加工 工場にデータを渡す	ICT①
17		鉄筋加工工場	絵符の作成	ICT②で作成する	ICT②
18	鉄筋加工	鉄筋加工工場	出荷指示書の作成	ICT③で作成する	ICT③
19		鉄筋加工工場	進捗確認	ICT③で管理する	ICT③
20		鉄筋加工工場	加工した鉄筋の検査	配筋 BIM の情報を使用する	ICT③
21		鉄筋加工工場	出荷の過不足確認	ICT③で確認する	ICT③
22	配筋・組立	鉄筋専門工事会社	揚重・間配り	ICT③で作業指示をする	ICT③
23		鉄筋専門工事会社	配筋・組立	技能労働者が作業する	アクターが作業
24	配筋検査	鉄筋専門工事会社	自主検査をする	配筋 BIM との適合を確認する	BIM+ICT④
25		鉄筋工事担当者	自主検査をする	配筋 BIM との適合を確認する	BIM+ICT④
26		工事監理者	配筋検査	配筋 BIM との適合を確認する	BIM+ICT④

図6-3 ユースケース一覧

になるため、ICT 側で読み込める形式でエクスポートかつインポートできるようなインターフェースを準備しておく。このように構造設計者と総合建設工事会社、鉄筋専門工事会社がお互いに鉄筋/配筋 BIM モデルを閲覧できる環境を整備する必要がある。

### **BIM ソフトウェア以外の範囲**

生産情報の扱いを BIM ソフトウェアでなくとも良い範囲は、アクターが扱いやすい ICT を使用することを前提とする。そこで、今回のシステム構築で ICT が担う範囲は、鉄筋専門工事会社がすでに使用している加工図や加工帳、絵符の作成ができるソフトウェアから選択し、BIM モデルの属性情報をインポートやエクスポートできるインターフェースを BIM ソフトウェアと同様に準備することにする。インターフェースには、総合建設工事会社から受領した生産情報を取り込み、鉄筋の加工に関する生産情報と連携できることが求められるため、鉄筋 BIM モデルから構造図に記載の部材リストに関する生産情報を取り込める仕様とする。

加工図の作成段階における間違いを手減させるために、作成されたデジタルの生産情報を総合建設工事会社に戻し、工事現場で実際に配筋・組立される状況を仮想空間で再現する。鉄筋 BIM モデルから受領した生産情報に、鉄筋の切断位置や加工長さ等を修正・追記した状態のデジタル情報を BIM モデルに戻すことができるエクスポートにも対応する。鉄筋 BIM モデルを配筋 BIM モデルに変換させることで、職長が作成した生産情報の間違いや配筋・組立の状況を再現し、仮想空間での配筋検査を実施できるように生産情報の連携を実施できるようにする。

---

## **6-3 BIM/ICT を活用するユースケースの想定**

本節ではシステムの在り方を示すために、前節で示したアクターと BIM と ICT の使い分けを具体的に誰がどのような業務を担うのかを想定する。ユースケースを定義しておくことが今回のシステム開発の在り方を定義する上において重要となり、さらにはアクターが実際に日常業務で活用できることを示す必要がある。そこで横軸にアクターとユースケース名を示し、縦軸に生産プロセス順として整理した一覧を図 6-3 に示す。BIM モデルの属性情報の入力から始まった生産情報の連携を中心とし、図面作成プロセスから配筋検査プロセスに至る 4 つの生産プロセス順にデジタル情報を連携して活用することを想定したフローとした。ステップは 26 項目あり、配筋・組立作業前に 91.7% の生産情報が確定されていることから、図面作成プロセスにおけるユースケースの想定が鉄筋/配筋 BIM システムにおけるステップの 65.2% を占める結果となった。アクターは構造設計段階では構造設計者が担うことを想定しているが、設計施工一貫方式で発注された場合では、検討の前倒しとして施工側の躯体工事担当者が施工 BIM として鉄筋 BIM モデルの作成を担い、課題点を構造設計者にフィードバックして構造計画を再検討し、設計段階で無理のない鉄筋部材を配置させるフローも考えられる。このような場合では、鉄筋専門工事会社の選定期間を早期におこない、設計段階から作業できるようにする体制づくりも必要である。

### **図面作成**

鉄筋工事における生産情報は、構造設計者の構造解析データの作成から始める (STEP01)。構造解析ソフトウェアのデータを BIM ソフトウェアにインポートする。通芯や階高、躯体断面、鉄筋は部

材断面リストから配筋基準に準拠して鉄筋部材を1本ごとに躯体BIMに自動配置させ、仮想空間上で自動配筋検査を実施する。アクターは自動配置や自動検査だけでは判断できなかった箇所を鉄筋BIMモデルにより確認する必要がある（STEP02～09）。自動配置や自動検査では、構造設計者が主観的な指摘とならないように配筋基準を標準化し、誰が実施しても抽出される項目は統一しておくようにシステム内で考慮する。その後、工事現場における躯体図作成段階で確定される生産情報（スリーブ位置、ふかし範囲、床段差位置等）から鉄筋配置を最終的に確定させ（STEP10）、BIMモデルの属性情報を鉄筋専門工事会社とデジタルの生産情報として連携させる（STEP11）。鉄筋専門工事会社が使用するシステムは、総合建設工事会社が使用するBIMソフトウェアでなくても良い。ここではICT①とした。ICT①により職長が鉄筋加工に必要な生産情報を付加する（STEP12～13）。作成された鉄筋加工の生産情報をもう一度、総合建設工事会社に戻し（STEP14）、配筋BIMモデルを作成させ、実際の配筋・組立の状況を再現する。鉄筋加工に関する生産情報に問題がないか確認を実施する（STEP15）。不具合が無いことが確認できたらICT①から出力された鉄筋加工や搬入日に関する生産情報を鉄筋加工工場に渡す（STEP16）。

### 鉄筋加工

鉄筋加工工場では、工事現場の職長から受領した加工帳の生産情報を絵符に変換するためにICT②の活用を想定する。ICT③はICT②と連携して加工日や加工進捗、出荷指示書、製品検査をするために生産情報を連携できるシステムとする（STEP17～21）。

### 配筋・組立

鉄筋加工工場で加工された鉄筋は、工事現場の職長が指示した納期で搬入される。そのため搬入して間配りをするまでは、鉄筋加工工場で活用する生産情報と共有される項目が多いため、鉄筋加工工場と同じICT③を活用すべきと考えられる（STEP22）。配筋・組立の作業は、技能労働者が実施するため、間配りされた鉄筋を配筋BIMモデルで確定された位置に運び、配筋・組立を実施するだけとなる（STEP23）。場合により施工階への揚重や間配りのガイダンスになるような生産情報が記載されているのが望ましい。

### 配筋検査

配筋・組立の作業が完了したら、図面作成プロセスで確定された躯体の位置や鉄筋の位置がその通り配置されているのかを検査する。結果は帳票に残す必要があるため、配筋BIMモデルとして再現された生産情報との整合を確認できるようにICT④を活用する。ICT④は配筋BIMモデルの生産情報と簡易に整合性が確認できるようなシステムを想定する（STEP24～26）。携帯情報端末等の使用が想定できる。

---

## 6-4 BIM/ICTを活用したシステムの開発環境

---

BIM/ICTを活用したシステムの構築では、定義した手法の有効性を検証するために、一般的なアクターが使用することを想定した汎用性がありパソコンで動作するソフトウェアを基本とした。システムの構築には、アドオン機能<sup>[7]</sup>を搭載して効果を検証する。なおBIMソフトウェアと相互に連携することを想定しているICT①やICT②についても、すでに職長や鉄筋加工工場

分類	バージョン	備考
基本 OS	Windows10	
実装メモリ	64bit	

図 6-4 システムの開発環境

分類	会社名	ソフトウェア名
BIM ソフトウェア	Autodesk 社	Revit 2019
BIM ビューアー	Autodesk 社	Navisworks
加工図・加工帳作成のソフトウェア (ICT①)	デーバーインフォメーションネットワークス株式会社	DIN CAD100
絵符作成のソフトウェア (ICT②③)	デーバーインフォメーションネットワークス株式会社	DIN 工場管理システム
配筋検査のソフトウェア (ICT④)	—	—
構造解析ソフトウェアと BIM ソフトウェアの連携	一般社団法人 building SMART Japan	ST-Bridge
表計算ソフトウェア	Microsoft 社	Excel 2018
施工ドキュメント管理ソフトウェア	Autodesk 社	BIM 360 DOCS (クラウド)

図 6-5 使用する汎用性ソフトウェア

での使用実績や絵符作成との連携を実現させている、汎用性のある既存のソフトウェアへのアドオン機能として搭載することを前提とした。本システムで使用するシステムの開発環境を図 6-4 に示し、使用するソフトウェアを図 6-5 に示す。鉄筋 BIM モデルや配筋 BIM モデルの構築は、図 6-6 に示す BIM のソフトウェアである Autodesk 社の Revit (レビット)<sup>[8]</sup> を使用する。Revit はファミリーという部品を組み立てて BIM モデルを作成するという概念があり、鉄筋の 1 本 1 本を BIM モデルで再現しやすいために選択した。開発する機能は図 6-7 に示すように Revit のアドオン機能としてソフトウェアに組み込むことにより、アクターは違和感なく BIM モデルを作成することができる。作成された BIM モデルは誰でも容易に閲覧できるように Autodesk 社の BIM ビューアーソフトウェアである Navisworks を使用する。パソコンだけでなく携帯情報端末でも閲覧することができるため、鉄筋工事担当者だけでなく職長や技能労働者の方でも身近に BIM モデルを扱うことができる。

ICT①や ICT②については、図 6-8 に示す鉄筋専門工事会社のグループ会社が作成したシステムである DIN-CAD100 システム<sup>[9]</sup> の使用を想定した。DIN-CAD100 システムの機能のひとつである加工図や加工帳の作成は、関東圏を中心として多くの鉄筋専門工事会社の職長により使用され、さらには鉄筋加工工場の絵符作成まで生産情報の連携がすでに実現できている。DIN CAD100 システムは職長向けに販売されており、特定の企業のみが活用しているわけではなくシステムに汎用性がある。総合建設工事会社が作成した躯体図の CAD データを単純に読み込む機能は搭載されているが、データを下敷きとして活用する程度であり、BIM ソフトウェアと生産情報を連携した実績はなかった。すでに ICT①②③の一部が実現できていることもあり、今回の BIM ソフトウェアの連携先とし

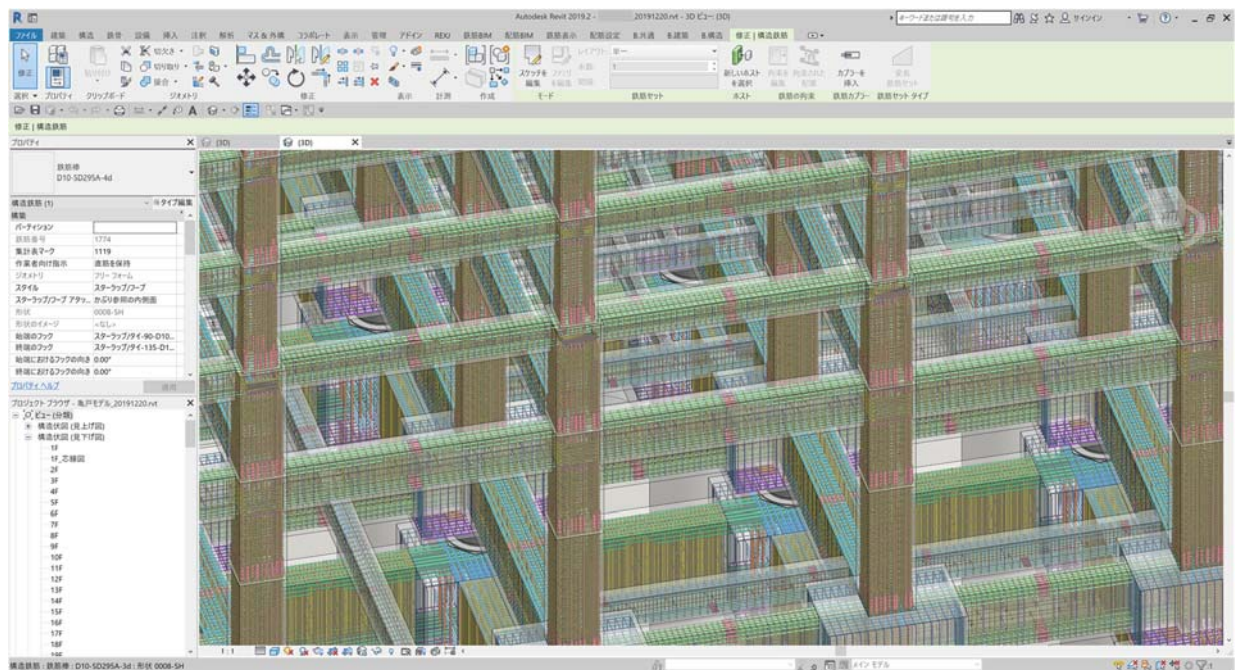


図 6-6 Revit の画面



図 6-7 Revit のメニューバーにアドオン機能として追加されたメニュー

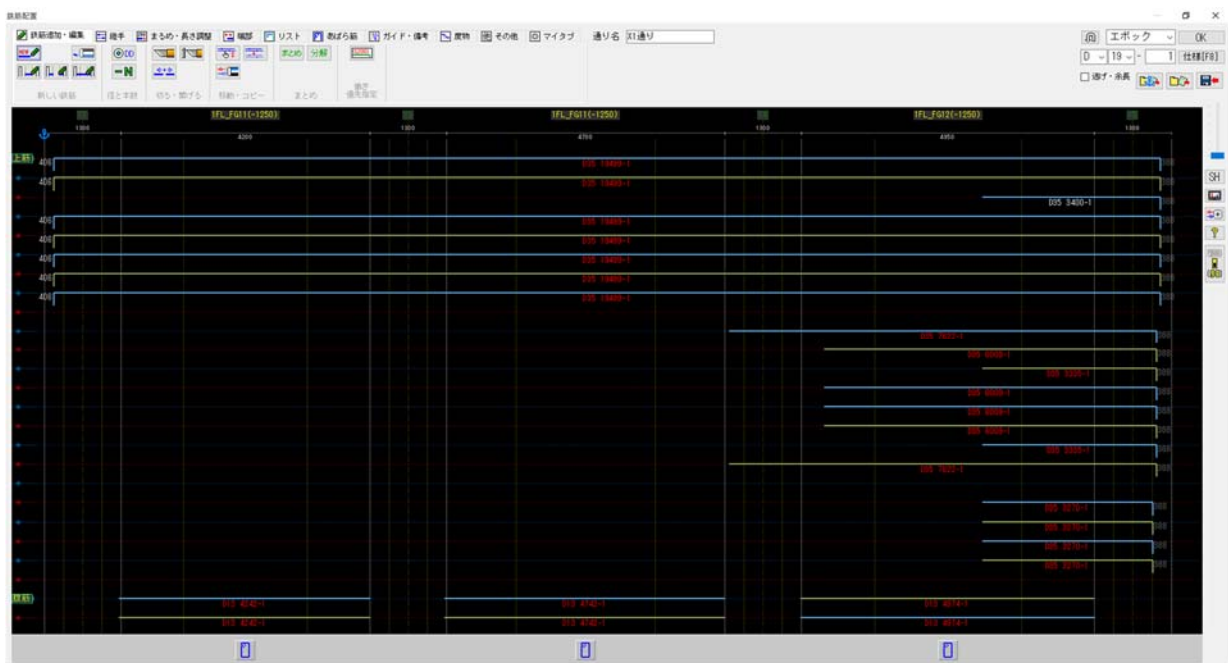


図 6-8 DIN-CAD100 の画面

て選択した。他のソフトウェアから生産情報を取り込む機能や取り出す機能は搭載されていないため、今回の開発ではこれらのインターフェースを開発することを前提とした。絵符に印刷される QR コードは加工工場における自動加工機との連携、バーコードは加工進捗の管理、さらには出荷指示書の作成まで生産情報の連携が実現できている（DINCAD100 システムと連携している DIN 工場管理システムを使用）。

ICT④に該当する配筋検査ソフトウェアは、配筋 BIM モデルと連携できる汎用性のあるシステムが存在していないため、システム構成としては在り方を論じるに留め、実際に開発をするシステムとの連携の次期開発の対象とした。

構造解析ソフトウェアと BIM ソフトウェアの連携については、一般社団法人 building SMART Japan が無償で公開している ST-Bridge<sup>[10]</sup> という標準フォーマットを採用する。構造計算データから BIM モデルを作成する際に一般的に使用されている。構造図の生産情報を BIM ソフトウェアに取り込む標準化がなされており、汎用性がある標準フォーマットである。標準フォーマットで作成されるドキュメントは表計算ソフトウェアの Excel 2018 を使用し、BIM モデルの属性情報を一元的にチェックできるような管理を実施する。

作成された生産情報の最新版を管理するために、クラウド環境で利用できる施工ドキュメント管理ソフトウェアとして Autodesk 社の BIM 360 DOCS を準備する。ID（メールアドレス）とパスワードによりアクセスし、管理者により付与された権限に応じてファイルを閲覧することができる。保管されるファイル形式は問わない。Revit や Navisworks のように同じ Autodesk 社のソフトウェアを使用して作成されたファイルは、ソフトウェアを保有していなくてもクラウド上で BIM モデルを閲覧することができる。

---

## 6-5 BIM/ICT を活用したシステム構築の在り方

---

### （1）生産情報の連携に必要な要件の整理

鉄筋工事における生産プロセスでは、総合建設工事会社の躯体・鉄筋工事担当者が図面作成プロセスにおいて躯体図や配筋納まり図等を作成し、その生産情報から鉄筋専門工事会社の職長が配筋図や加工図、加工帳を作成するプロセスを経て鉄筋加工工場において鉄筋を加工している。鉄筋専門工事会社の職長が作成した加工図や加工帳は自らで生産情報を管理しているため、第3者のチェックは実施されていない。作成時の間違いは工事現場で実際に配筋・組立が完了した時点で初めて発覚してしまう。そのため、鉄筋工事の最後に手戻り・手直しが発生してしまう要因のひとつになる。配筋検査フェーズでは職長が配筋・組立の後に自主検査（形状、寸法、数量など）を実施しているだけでなく、総合建設工事会社の鉄筋工事担当者の自主検査や工事監理者の配筋検査があり、同じ箇所を目視で何度も検査している。それぞれの検査項目は重複しているにもかかわらず、工事監理者による配筋検査において多くの指摘がなされているのが現状である。工事現場における配筋・組立の不具合は、図面作成プロセスにおける生産情報の検討不足や完成形の認識違いに起因することも多々あり、確実な事前検討により確定された生産情報に基づいて工事現場内における配筋・組立の作業が望まれる。これらの課題を解決するために BIM/ICT を活用したシステム構築に必要な要件を以下の通りに



整理する。

#### ① BIM ソフトウェアを使用して配筋設定に基づき鉄筋部材を自動配置させる

構造解析ソフトウェアで計算された生産情報は、ST-Bridge を経由して BIM モデルを自動的に生成することができる機能を搭載する。自動生成する際に、鉄筋の配置を技術者の技能に依存することなく、事前に設定された配筋設定に基づいて鉄筋を自動的に配置できるものとする。鉄筋の自動配置は BIM ソフトウェア側で配筋基準を設定することで解決できると考えられる。一方、柱と梁の仕口箇所のように具体的な基準が明確に示されていない箇所については、鉄筋の配置位置を自動的に決める自動配置ロジックを作成する。配置位置を標準化させることで、柱梁の仕口部分についても自動配置を実現させる。配筋設定の考え方については第 7 章において詳細に記述する。

#### ② 自動配置された鉄筋は BIM ソフトウェア上で自動配筋検査を実施する

配筋・組立後に実施される配筋検査は、目視での検査に依存してしまい、検査者の主観で指摘されることがある。そのため、構造図で指示されている配筋基準と鉄筋 BIM モデルの配置状況が、合致することを BIM の仮想空間上で自動的に判定させる。自動配筋検査は鉄筋/配筋 BIM モデルに適用され、その通りに鉄筋加工と配筋・組立に進めば、技能労働者の技量に依存する項目（かぶり厚さ、結束状況）のみの検査で済む。配筋検査の効率化や指摘事項の低減が期待できる。自動配筋検査項目の詳細は第 7 章で記述する。

#### ③ 職長が作成した加工図・加工帳の生産情報を配筋 BIM で再現する

鉄筋加工工場で加工される部材の生産情報を有する配筋 BIM モデルを作成して、配筋・組立の状況を再現する。鉄筋 BIM モデルと生産情報を入れ替えることで整合性を確認し、鉄筋加工前に加工図の内容から工事現場における配筋・組立の状況を BIM モデルにより仮想空間上で再現する。バーチャルの配筋検査を実施して加工図の内容をチェックする機能を搭載する。この図面作成プロセスで配筋検査を担当する工事監理者が配筋 BIM モデルを閲覧することで、配筋・組立の作業が完了してからしか完成形が見えなかった状態を仮想空間上で事前に検査し、不具合があれば先に指摘することにも対応できる。自主検査や配筋検査における指摘項目が低減されることが期待できる。さらに配筋・組立の作業中においても作業の手戻り・手直しを未然に防止することも容易になると考えられる。鉄筋加工工場における自主検査による検査結果をクラウドにある記録領域に入力させることで、加工された鉄筋の検査と部材を紐づけることも可能である。躯体図と加工図を作成するアクターが異なる場合でも、鉄筋加工で使用する生産情報と構造図や配筋基準との整合性を検証することが容易になる。

配筋 BIM モデルを総合建設工事会社の鉄筋工事担当者が事前に確認できるような作業フローにしておくことで、鉄筋専門工事会社の職長らが自ら BIM モデルの作成などの負担を強いられることなく、すでに鉄筋加工工場との連携において確立されている従来通りの ICT①を使用するワークフローを継続することも可能となる。職長は鉄筋加工前に自身が作成した加工帳の妥当性が検証された後に鉄筋加工されるため、図面作成の間違いに起因するリスクを低減させ、安心感を持って鉄筋加工の依頼ができる。生産情報を連携させるインターフェースの在り方は第 7 章において詳細に記述する。

#### ④ 鉄筋加工工場の加工日と工事現場への搬入日に関する工程管理を実施する



加工された鉄筋を工事現場に搬入する日は、職長が加工帳を作成する際に鉄筋加工工場に指示している。そこでクラウドにある記録領域で進捗管理ができるように属性情報を入力できる場所を用意しておく。これらにより鉄筋の部材毎に鉄筋加工から工事現場における搬入日までの進捗確認が可能となる。このように生産情報を管理することで、BIM モデルによる自動配筋検査の結果と実際に工事現場で配筋・組立が完了した状態を照合させ、配筋・組立の状況の合否判定を精度良く実施することにつながり、配筋検査における効率化と正確性を担保することにつながる。

#### ⑤ 各プロセスの生産情報はクラウドで管理されることを想定する

作成された生産情報の保管や更新作業は、各自が自身のパソコンのローカル環境で実施するのではなく、クラウド環境に保管されたファイルを更新して最新状態を管理するのが望ましい。アクターが生産情報を作成する場面は生産プロセスに合わせて一箇所でないため、ローカル環境だけでは最新版の生産情報を管理するには適していないと考えられる。今まではメールに生産情報を添付して連携することが一般的と言えるが、一貫した生産情報の管理とは言えない。配筋検査の検査結果についても部材毎に記録を保管する。

上記の5項目の要点を踏まえたシステム構築の全体像を図6-9に示す。

#### (2) 生産プロセスと鉄筋/配筋 BIM システムの関係性の定義

総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社の双方向による生産情報の連携を主眼としたシステムのフローを図6-10に示し従来の生産プロセスにおけるフローと比較した。図6-11には鉄筋工事の生産情報のデータ連携が分かるように、デジタルの正しい生産情報を次工程と連携するためのフローを示し、具体的なシステム（以下、Sと表示）の在り方を以下の通りに定義する。

#### S1：躯体と鉄筋の配置に必要な生産情報を取得

構造図を作成する際に使用する構造解析ソフトウェアのデータを、BIM ソフトウェアで取得するための準備である。取得した躯体と鉄筋に関するデータから鉄筋を配筋基準に合わせて自動配置するために配筋設定をする。配筋設定には配筋基準のルールだけでなく、配置位置（XYZの座標位置）を決めるための自動配置ロジック機能を搭載する。データのインポートはテキストデータとして処理されるため、技術者は表計算ソフトウェアで数値等を管理・チェックすることができる。

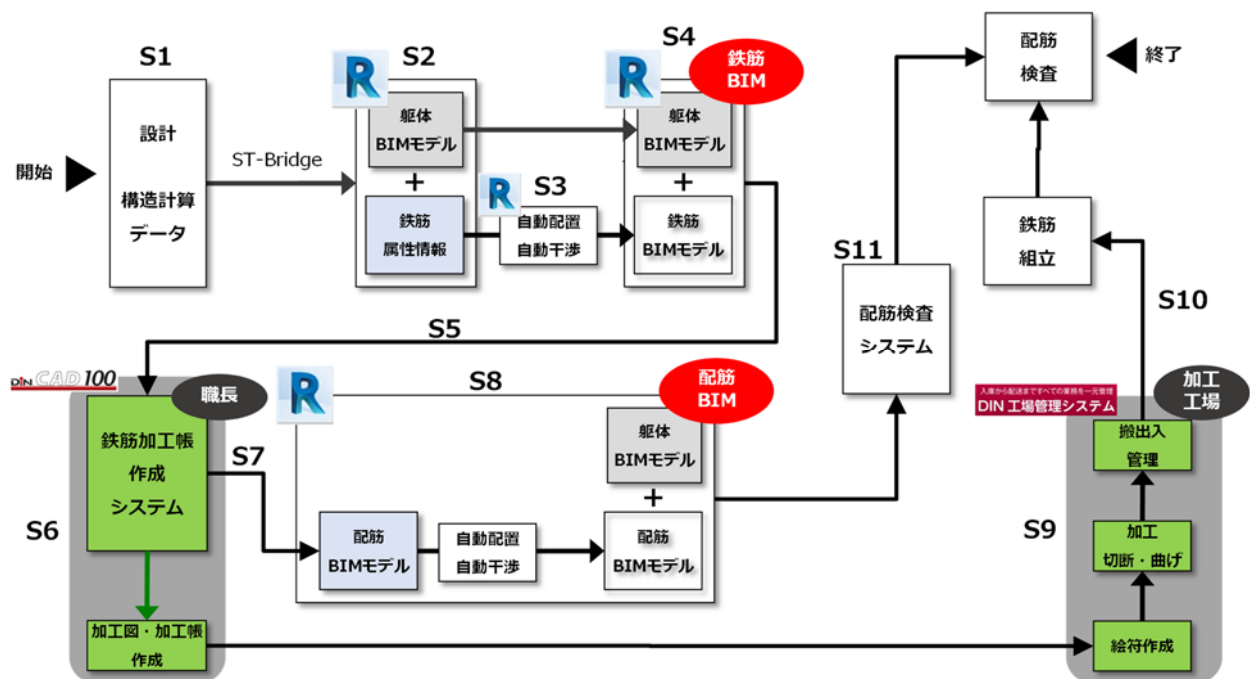
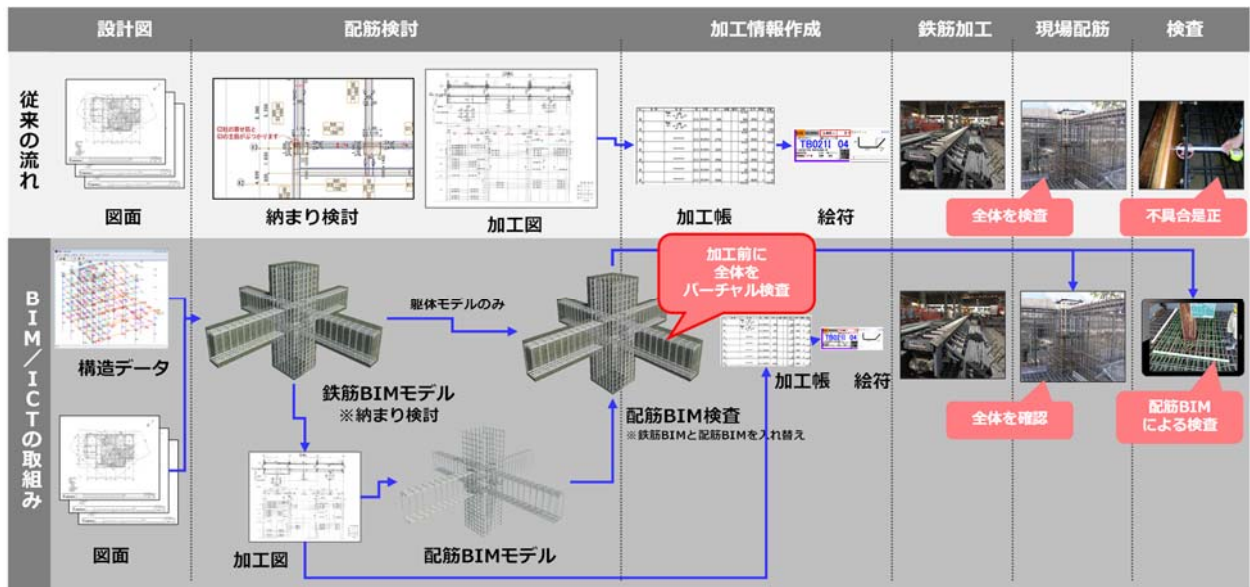
#### S2：生産情報から躯体 BIM モデルの自動生成と鉄筋の属性情報取得

構造解析ソフトウェアのデータから ST-Bridge を経由して通芯、階高、部材符号、断面寸法、躯体配置位置（XYZの座標位置）などを取得し、躯体 BIM モデルを自動作成する。躯体 BIM モデルの属性情報に鉄筋部材に関する生産情報が自動で記述される。

#### S3：鉄筋の属性情報から鉄筋部材を自動配置

躯体 BIM モデルに記述された鉄筋の生産情報を配筋設定に基づいた自動配置ロジックにより、鉄筋部材のライブラリを使用して鉄筋 BIM モデルを自動作成する。この際に鉄筋部材の1本1本に重複しない鉄筋要素IDを付加する。この段階では鉄筋加工に必要な生産情報は加味されなくてもよい。





#### **S4：鉄筋 BIM モデルを躯体図と合わせて自動配筋検査**

S1 から連携されている躯体 BIM モデルは、設計段階の躯体情報であるため、総合建設工事会社の技術者が、この段階で躯体図と同等の躯体図 BIM モデルとなるように躯体形状を修正する。この時にふかし位置、スリーブ位置などの生産情報が確定されるため、鉄筋 BIM モデルを修正する。修正後は自動配筋検査により修正項目が配筋設定に合致しているのかをあらためて確認する。

自動配筋検査により抽出された不適合箇所は、配置された鉄筋部材をハイライトさせて一覧で表示し、原因の特定を促すように理由についても記述しておく。鉄筋/配筋 BIM モデルによる自動配筋検査の対象は、鉄筋の鋼材種の表現（例、SD295A、SD345、SD390 等）、部材毎の鉄筋の継手方法（例、ガス圧接、機械式継手等）、部材毎の鉄筋の継手の形状や寸法、部材毎の鉄筋の定着の形状および方法（例、定着プレート、曲げ定着等）、鉄筋の折り曲げ加工時の形状や寸法、鉄筋同士の間隔の最小値、鉄筋のかぶり厚さの最小値、鉄筋のカットオフの長さおよび配置位置、増し打ち部の補強方法、開口補強を含める。不具合が特定された箇所がある場合は、遡り生産情報を修正することで、全ての適合条件を満たすまで S4 のステップを繰り返す。ここで作成された鉄筋 BIM モデルは、構造設計者と総合建設工事会社、鉄筋専門工事が BIM ビューアーにて状態を共有し、組立・配置の作業手順を仮想空間上で確認する。

#### **S5：躯体 BIM モデルと鉄筋 BIM モデルの属性情報をエクスポート**

S4 により作成された躯体図 BIM モデルと鉄筋 BIM モデルから、鉄筋加工に必要な属性情報を ICT①で読み込める XML のデータ形式でエクスポートする。

#### **S6：鉄筋 BIM モデルからエクスポートされた生産情報をインポートして加工図を作成**

ICT①にインポートできる機能を搭載する。ICT①にインポートされた躯体情報と鉄筋情報から職長が加工図を作成する。加工図を作成するために必要な生産情報は、デジタル情報として連携できているため、鉄筋加工に必要な切断位置と鉄筋加工する長さを 5mm 単位で数値を丸める作業等をするだけで良い。鉄筋 BIM で付与された鉄筋 1 本 1 本の鉄筋要素 ID は、配筋 BIM モデルの作成ができるように保持する。

#### **S7：加工図の生産情報をエクスポート**

ICT①で作成された鉄筋加工に関する生産情報を BIM ソフトウェアで読み込める XML 形式でエクスポートする。

#### **S8：鉄筋 BIM モデルをエクスポートされた加工図の生産情報から配筋 BIM モデルに置換**

鉄筋専門工社の職長が作成した加工図の生産情報は、S4 で作成された鉄筋 BIM モデルの鉄筋要素 ID が保持されている。S7 でエクスポートされた生産情報は、鉄筋要素 ID をガイドにして配筋 BIM モデルとして鉄筋部材を入れ替えて自動配置させる。加工する予定の部材数と同数の鉄筋の BIM モデルが作成され、加工図で計画された鉄筋の形状情報や配筋・組立に際して必要となる配置情報が取り込まれる。鉄筋/配筋 BIM モデルを作成するために事前に用意された加工形状毎のライブラリには、実際に配筋・組立をするためのデータベース（BIM モデルの属性）を作成することができるようになる。配筋 BIM モデルとして作成された状況は、配筋設定に基づいて仮想空間上で自動配筋検査を実施する。加工図で作成された鉄筋部材の加工情報（寸法、形状、配置位置等）についても仮想空間上で加工する鉄筋形状と合わせて改めて自動配筋検査の対象とする。配筋検査項目は

鉄筋 BIM モデルと同様で良い。生産情報を作成するアクターが異なる場合であっても、正しい生産情報を図面作成プロセス内で確実に工程内チェックすることができると考えられる。仮に加工図の作成段階で不具合があったとしても早期に検出することが容易になり、工事現場における配筋・組立後の各種検査による間違いの指摘が回避され、工事現場における生産性の向上や不具合発生の防止につながる事が可能となる。特記仕様書や JASS5 などの配筋基準に基づいて配筋設定をおこない、仮想空間において自動配筋検査をすることにより、適合性を評価することができ、加工する鉄筋部材の精度を高めることにつながる。ここで作成された鉄筋 BIM モデルは構造設計者と総合建設工事会社、鉄筋専門工事会社が BIM ビューアーにて状況を共有し、組立・配置の作業手順も確認する。自動検査をされた結果、適合 (OK) と判定された鉄筋 BIM モデルや配筋 BIM モデルにより次工程に正しい生産情報を受け渡すことが容易となる。

### **S9：鉄筋加工工場で鉄筋の加工進捗や品質の管理**

鉄筋加工工場で使用する絵符は、職長が ICT①で作成された加工帳を基にして ICT②で作成される。ICT②とデータ連携する ICT③では、加工の作業進捗や品質管理をするため、鉄筋部材の 1 本 1 本に付与された鉄筋要素 ID と鉄筋加工工場で加工される鉄筋 1 本 1 本に紐づけることにより、生産管理に生産情報を繋げることが可能と考えられる。加工した月日や加工終了後の製品検査の結果も鉄筋要素 ID に紐づける生産管理の手法が考えられる。鉄筋加工工場による製品検査は品質管理者が絵符毎に本数、加工形状の寸法確認が実施されており、配筋 BIM モデルに付与された鉄筋 1 本毎の鉄筋要素 ID と絵符の ID とを自動照合させることにより、事前に構築されているクラウドの記録領域へ自動的に検査結果を取り込むことができる。このような製品管理により、例えば工事現場において配筋・組立の作業後に実施される自主検査や配筋検査の項目の一部が検査されたこととみなす。加工時の検査と配筋検査による検査項目の重複を無くし検査項目を簡略化できる。配筋検査では工事現場で配筋・組立に由来する検査項目 (かぶり厚さ、結束状況等) のみを重点的に実施するように ICT④を活用し効率化を実現させる。鉄筋加工工場の出荷時には荷札として絵符が結束されているが、上述したように加工検査に合格した旨が、絵符の ID に組み込まれていても良い。このように ICT と BIM ソフトウェアで扱う生産情報が双方向に連携できるインターフェースをお互いに準備することで可能となる。また、工事現場における配筋検査時に配筋 BIM モデルを使用し、ICT③と ICT④を連携させることにより、加工工場における検査結果との照合をクラウドの記録領域を使用して確認することもできる。

職長が作成する鉄筋加工工場への指示書である加工帳には、工事現場への納品日の記載がある。鉄筋加工工場において絵符の作成時に出荷指示書を準備し、加工する順序を決めることになるため、加工日と同様に出荷予定日の生産情報を ICT③と配筋 BIM の情報と連携させることが考えられる。また、絵符に印刷されたバーコードと ICT③の連携により鉄筋加工工場内に仮置きされている位置も把握できるような生産情報の管理とする。運搬に関する生産情報も配筋 BIM モデルの鉄筋要素 ID とクラウドの記録領域と紐付けて記録する。加工、検査、運搬の進捗および工事現場で使用する鉄筋部材の作業進捗や生産管理も可能になる。

### **S10：工事現場への運搬情報、間配り先の生産情報を配筋 BIM モデルと紐付けて統合**

荷積みや荷下ろし、間配り先に関する運搬情報の属性を、ICT③と配筋 BIM モデルの鉄筋要素 ID

と紐付ける。鉄筋加工工場における加工に関する生産情報と運搬情報は絵符により管理されているため、絵符のバーコードを読み込むことでそれぞれの生産情報の確認を可能にする。鉄筋加工工場からの搬入順序は工事現場における配筋・組立を始める箇所により決まる。工事現場に仮置きするスペースが無い場合では、配筋・組立の作業をする日の朝に鉄筋材料が搬入されており、運搬順序が前後すると、場合によっては効率的な配筋・組立作業に支障が生じる可能性が考えられる。配筋 BIM モデルの鉄筋要素 ID と ICT③には、組立手順（作業日）との紐づけも有する。

### **S11：配筋・組立後の各種検査結果を配筋 BIM モデルと紐付けて統合**

配筋・組立が終了した後の各種検査には、配筋 BIM モデルと ICT④を使用する。例えば検査結果は配筋 BIM モデルにアクセス可能なタブレット端末からネットワーク通信を経由して ICT④を活用して配筋の検査結果がクラウドの記録領域に記述される。検査結果の情報は、検査担当者などが目視で鉄筋径や配置位置、端部の定着、配置ピッチなどを確認して結果を入力されることを想定するのが現実的である。一方、配筋検査する箇所に応じて記録が残りやすいように検査手法を組み合わせたシステムでも良い。実際に配筋・組立された状況が配筋 BIM と連携した ICT④に記録されると、配筋 BIM モデルとの差異が入力者の端末に返されることで合否判定がなされる。あるいは xR<sup>[11]</sup> を使用して配筋 BIM モデルと実際の完成形を重ね合わせるようにゴーグル上で投影されて合否判定ができて良い。さらには検査する数値や可否を音声入力で記録する機能や撮影された画像と配筋 BIM モデルの自動照合、撮影された動画と配筋 BIM モデルが自動照合できる等、ICT④が配筋 BIM モデルの生産情報と連携できるようにすることが望ましい。

### **配筋検査への適用（例えば、かぶり厚さ）**

配筋検査の重要な項目としてかぶり厚さがある。所定の位置に鉄筋を組み立ててコンクリートを打設するには、鉄筋が堅固に固定されかぶり厚さが確保されている必要がある。かぶり厚さを保持するにはスパーサー（ドーナツ）の配置が重要となり、目視でもかぶり厚さが確保できているかを瞬時に判断できる。スパーサーは既製品でグレー色が一般的であるが色付きのものもある。鉄筋/配筋 BIM モデルにはスパーサー類の配置までを仮想空間上に再現していないが、配筋検査で活用するための手法として、スパーサーの色と配筋 BIM モデルのかぶり厚さに同じ色をつけることでかぶり厚さを認識させることが考えられる。鉄筋径とかぶり厚さに準拠して配置されるスパーサーの色の組み合わせを業界全体で統一させ、配筋 BIM モデルのかぶり厚さの範囲も同色で表現する。これにより配筋 BIM モデルのかぶり色とスパーサーのかぶり色を例えば画像認識等で照合させることで配筋検査にも適用させることができる。スパーサーは鉄筋専門工事会社側で準備するのが一般的であるため、総合建設工事会社が工事見積の条件として提示することが必要になる。

---

## **6-6 結び：BIM/ICT の活用が生産性向上と不具合低減に及ぼす影響**

### **（1）使用するソフトウェアの汎用性**

本章で定義したシステム構築の実現性を考えるために、使用するソフトウェアを明確にした。いずれも総合建設工事会社がオリジナルで開発したものではなく、多くのユーザーがいる汎用性のあるソフトウェアを選択している。今回は BIM のソフトウェアについては Autodesk 社の Revit 2019、

ICT①のソフトウェアとしてはデーバーインフォメーションネットワークス株式会社の DIN-CAD100 システムを前提として、いずれも不足している機能をアドインとして搭載することを前提にした。そのため、既存のユーザーにとってみれば最初から操作を習得する必要はない。BIM ソフトウェアは Revit 以外にも存在しているが、今回のシステム構築に合わせてアドイン機能を搭載すれば、どのソフトウェアでも実現させることは可能である。しかし、最後に作成する図面は AutoCAD で作成されるのが一般的となるため、Revit2019 を使用する方が BIM モデルとデータの連携がしやすいと言える。他の BIM ソフトウェアでは作図機能が劣る傾向にあるため、作成したデータを AutoCAD に取り込んで図面化する運用が多いからである。そうすると BIM モデルと図面とに乖離が発生してしまい、図面を修正することに主眼がおかれてしまうため、BIM モデルが最新版を維持しにくい理由のひとつと言える。

一方、加工図や加工帳を作成するソフトウェアについても DIN-CAD100 システム以外に存在している。今回示したシステム構築では BIM モデルから出力されるデータ形式は XML 形式を前提としており、受け取るソフトウェア側でデータのインポート機能やエクスポート機能を搭載できれば、使用するソフトウェアに大きく依存することは無いと言える。

## **(2) BIM/ICT を扱える技術者等を育成する重要性**

総合建設工事会社の技術者においては BIM ソフトウェアを扱える人材が少ないだけでなく、2 次元 CAD を扱える人材も施工図の業務を担当している技術者に限定されている現状がある。工事管理においても業務が分業化されており、どうしても生産情報を活用する人と作成する人とに分かれてしまう。このように生産情報を扱う業務に応じた BIM/ICT の教育機会を設けることが、開発されたシステムを展開できる前提となる。活用・照合する人は鉄筋/配筋 BIM モデルを閲覧して正しい生産情報を導くことができる技術を習得し、作る人は BIM/ICT の操作を習得する機会を設けることである。もちろん正しい生産情報を判断できる技術も合わせて習得できていればなお良いが、操作を習得する期間より技術を習得する期間の方が長くなる。近年では職員の集合研修に BIM/ICT のソフトウェアの操作研修会を開催する総合建設工事会社が増えてきており、汎用 2 次元 CAD が普及したのと同様に、あと何年かすれば BIM モデルを閲覧できる技術者が増えるであろう。

一方、鉄筋専門工事会社における生産情報の作成や活用は、加工図・加工帳の作成を担う職長が大半である。各社において ICT に関する操作研修会等を定期的に開催していることは少なく、加工図を作成するシステムは、他社の職長が使用しているのを見て口コミで広がっている模様である。個人の IT リテラシーに依存しているが、鉄筋に関する技術を保有していることで ICT を有効に活用できている感も否めない。今後は職長の BIM/ICT に取り組む意欲による棲み分けが進む可能性も否定できない。

デジタル化された生産情報を鉄筋専門工事会社においても流通させるには、総合建設工事会社のスタンスも重要となる。発注条件にデジタル情報の活用を前提にすることで、専門工事会社のインセンティブを明確にしていく可能性は否定できないからである。そうすると専門工事会社側では従来型の業務の進め方では仕事を受注できない。総合建設工事会社は自らが BIM/ICT を活用できる環境をつくるのと同時に、操作教育やシステム活用の狙いを共有する機会を設ける取り組みが必要と思われる。このような機会を使って従来のように残業の時間を費やして手書きで帳票を作成すること

ではなく、デジタル化された正しい生産情報を双方向で連携することによる業務の在り方を示す。このような試みは、新規の技能労働者の確保にも有効に働く可能性が高い。これからは若手の技能労働者が専門の技術を保有しながら BIM/ICT を活用するが当たり前になる労働環境をつくることのできる専門工事会社のみが事業を継続することができるようになると思われる。

### **（３）配筋・組立作業をする機械化と BIM/ICT による生産情報の連携**

本章では BIM/ICT を活用し、鉄筋工事に必要な生産情報をデジタル情報として生産プロセスのつなぎ目で連携させることにより、配筋・組立の状況を仮想空間で正しく確実に再現させることが実現できるシステム構築の在り方を示した。総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社の技術者であっても現実の空間を見てはじめて不具合に気が付くこともある。前工程で生産情報の可視化や共有を進めることで、不良品を後工程に流さないシステムの構築は重要と考えられる。

一方、図 6-3 で示した「アクターが解決」や「アクターが作業」とされる項目については生産情報をシステムで連携させることだけでは解決できない。「アクターが解決」する分野では鉄筋 BIM モデルが配筋設定に合致しているのかを自動配筋検査した後に、抽出された不具合の解決をすべて自動化させるには、BIM ソフトウェア側の機能拡張に課題がある。BIM モデルでは自動配置ロジックで決められた項目で配置させることができるが、干渉回避やどうしても配置できない箇所が抽出された際の解決手法が構造設計者や技術者の技量にまだ依存しているのである。今後は BIM/ICT を活用した結果の配筋パターンが AI などの学習機能により体系化され、構造設計の段階で大所の鉄筋配置を自動的に決めることができるようになることが望まれる。BIM/ICT の操作を習得するより体系化ができるデータベースを構築する方がはるかに時間を要する。

同様に職長が工事現場において鉄筋加工工場から絵符単位で搬入されてくる鉄筋束を、加工ロットから部材単位に生産情報を変換してから間配りし、技能労働者が配筋・組立をする作業が技能労働者の技量に依存してしまうことも課題である。しかしながら、配筋 BIM モデルでは鉄筋 1 本 1 本に鉄筋要素 ID が付与されており、どの鉄筋がどの箇所に配置すべきなのかは明確になっている。鉄筋加工工場において、鉄筋要素 ID から配筋・組立を重視して配置する部材単位毎にパッケージ化して出荷するのか、工事現場において搬入された鉄筋束から鉄筋要素 ID を読み取り、配置される箇所に自動的に導くような仕組みにするのか、手法は 2 通り考えられる。前者においては鉄筋加工工場から出荷される荷姿から見直すことが必要になるため、鉄筋加工工場の生産ラインや敷地内のレイアウトそのものを変革し、絵符の在り方を含めた生産体制を見直すことが必要になる。鉄筋加工工場における作業手間が発生するため加工効率の低下が考えられ、加工費が割高になってしまうことをどこまで許容できるかになる。後者においては、絵符毎に結束された鉄筋の束から配置する箇所に必要な鉄筋を選択する作業を機械化し、鉄筋部材自身に鉄筋要素 ID を読み取れる仕掛けがなければ判断できない。

近年注目されている機械化ではスラブ筋を結束するロボットが開発<sup>[12]</sup>されている。例えば、配筋 BIM モデルの鉄筋部材には鉄筋要素 ID が付与されているため、それらを読み取れば、どこに配置すべきか明確になっている。間配りや配筋・組立を担う機械化との連携が考えられる。このような範囲は自動化だけを追求するのではなく、職長や技能労働者の作業をアシストできる機能を搭載したシステムと配筋 BIM モデルの鉄筋要素 ID が連携し、配置する箇所を示すことでも十分と考えられる。



生産情報の作成や合否判定は一貫してクラウドで管理できる環境をあわせて構築することが望ましい。S1～S11 を実行する BIM/ICT を活用するシステムがクラウド上にあることで、インターネットを経由するだけで処理をすることが可能になる。近年では VDI<sup>[13]</sup> の技術の発展が目覚ましく、自身が使用するパソコンのスペックに依存せずにクラウドにあるサーバー上で大容量のデータを処理することができるようになるため、BIM モデルの容量が大きくなっても自身が使用するパソコンのスペックに依存しない。今後はこのような ICT の周辺技術を組み合わせることを想定したシステム構築や生産情報の一元管理が有効であると考えられる。鉄筋工事に関する記録保管のアーカイブとして機能することも視野に入れることもできる。鉄筋工事は建物の品質を担保するための重要な部位であるため、総合建設工事会社では品質の記録として保管を義務づけており、コンクリートの中に埋め込まれた鉄筋の位置が正確に分かる配筋 BIM モデルと一緒に生産情報がクラウドの記録領域に保管されることは、改修工事や躯体の劣化状況を診断する際にも活用することが期待できる。

## 註

- [1] システムの利用者のこと。開発や検討をしようとしているシステムへの要求仕様を表現する際に使用される。
- [2] 松田 耕, 多葉井 宏: RC 一貫生産システム, 竹中技術研究報告 No.72 2016, pp. 5-15, 2016. 12
- [3] 参考文献[2] 前掲書, p. 8
- [4] 原 英文: BIM データを活用した情報化生産システムについて, 日本建築学会 材料施工委員会 建築生産運営委員会 施工 BIM 小委員会 シンポジウム資料, pp. 45-48, 2019.10
- [5] 第4章 図4-18 による。
- [6] システムの在り方を表現する方法のひとつである。アクターとの関係性からシステムの振る舞いをまとめること。
- [7] 既存にソフトウェアに後から機能を追加する拡張機能のこと。ソフトウェアを使用するユーザーが個別にインストールする必要があるため, アクターのパソコンにアドオン機能をインストールして, はじめて拡張機能として使用することができるようになる。
- [8] オートデスク社 (アメリカ) の製品である。AutoCAD に代表される Windows で動くソフトウェアを提供している。設計だけでなく施工や維持管理分野においても強く, 世界的なシェアを占めている。日本における導入済みの BIM のソフトウェアの調査結果では, 約 21%を占めている。調査は日本建設業連合会の BIM 専門部会が 2018 年 10 月に実施した。調査結果はホームページで公開されている。出典: 一般社団法人日本建設業連合会:《施工 BIM 導入・展開》に関するアンケート結果報告 ～回答編～, BIM 専門部会, p.31, 2019.10
- [9] 鉄筋専門工事会社である株式会社アイコーのグループ企業であるデバーインフォメーションネットワークス株式会社 (東京) の製品である。鉄筋工事を担う企業グループでソフトウェアの開発・販売をしている。ソフトウェアには「DINCAD シリーズ」と「DIN 工場管理システム」がある。職長の使用を想定しているのは前者であり, その中の「DINCAD100」が主流商品である。AutoCAD のアドオン機能として加工図の作成が可能であり, 作成された DWG ファイルから加工帳に生産情報を変換できる機能を搭載している。「DINCAD100」の販売先は主に鉄筋専門工事会社の職長で約 350 本の販売実績がある模様。アイコーグループ内だけでなく, グループ外にも販売をしている。後者は鉄筋加工工場内で使用されるシステムであり「DINCAD シリーズ」で作成された加工帳と生産情報を連携し絵符の作成ができる。なお, 入庫・出庫の確認や絵符に印刷されたバーコードから加工進捗の管理ができる。
- [10] ST-Bridge (エスティブリッジ) は日本国内における建築構造分野での情報交換のための標準フォーマットとして 2012 年に当時の一般社団法人 IAI 日本が無償で公開した。日本独自の図面表現がなされている生産情報 (通り芯、部材配置と断面符号、配筋情報) を BIM ソフトウェアの属性情報に取り込むことで, 躯体の BIM モデルが正しく自動で作成することができる。一方, 鉄筋に関する生産情報は BIM モデルの属性情報に書き込むことで連携しているが BIM モデルとして鉄筋部材を自動で生成することはできない。
- [11] xR (エクスアール) は仮想現実である VR (Virtual Reality) や拡張現実の AR (Augmented Reality), 複合現実の MR (Mixed Reality) などすべての仮想空間技術、空間拡張技術をまとめた総称である。x は変数である。VR と AR の違いは, VR は仮想空間をゴーグル等により没入感で体験することを

目的にしているが、AR は現実空間に対して情報を重ねる。MR は VR と AR を融合させる考え方で、仮想空間の情報を現実空間に重ね合わせて体験する。配筋 BIM モデルの作成が現実的になると画像認識とは異なり MR のような考え方による配筋検査システムの開発が現実的になることが考えられる。

- [12] 例えば大成建設株式会社らは 2017 年 10 月に「自律型鉄筋結束ロボット」の開発を発表している。作業の省人化・効率化による生産性向上と技能労働者（鉄筋工）の身体的負担の軽減などが可能となったとしている。
- [13] VDI（ブイディアイ）は Virtual Desktop Infrastructure の略称である。自分が使用するパソコンのローカル環境に OS やアプリケーションを置かず、代わりにサーバー上で一元化し、リモートで操作できる環境のため、BIM モデルのような大容量のファイルであってもローカルのパソコンのスペックに依存せずに扱うことができるようになる。ただし、処理速度は通信回線のスピードに依存する傾向があるため、インターネット環境もあわせて整備する必要がある。

## 図版出典

図 6-1：松田 耕，多葉井 宏: RC 一貫生産システム，竹中技術研究報告 No.72 2016, p. 15, 2016. 12

図 6-2：筆者作成

図 6-3：筆者作成

図 6-4：筆者作成

図 6-5：筆者作成

図 6-6：筆者作成（Autodesk 社の Revit 画面で表示）

図 6-7：筆者作成（Autodesk 社の Revit 画面で表示）

図 6-8：デーバーインフォメーションネットワークス株式会社提供

図 6-9：筆者作成

図 6-10：筆者作成

図 6-11：筆者作成

7

---

Theme **BIM/ICT を活用した鉄筋生産情報の構築手法に関する考察**

---



---

## 第7章 BIM/ICT を活用した鉄筋生産情報の構築手法に関する考察

---

7-1 本章の目的と構成	213
7-2 鉄筋配置に関する制約条件の整理	216
7-3 構造解析ソフトウェアとの連携（ST-Bridge の設定）	221
7-4 鉄筋自動配置に必要な配筋設定の定義	227
7-5 鉄筋自動配置に必要な自動配置ロジックの定義	239
7-6 鉄筋自動配置に必要な鉄筋形状の定義	249
7-7 鉄筋自動配筋検査に必要な検査項目の定義	254
7-8 鉄筋/配筋 BIM モデルと加工図との生産情報の連携	258
7-9 結び：BIM/ICT の活用と鉄筋生産情報との関係	263

---

### 7-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

第6章では鉄筋部材を正しく配筋・組立するために必要となる生産情報を早期に確定させ、後工程と連携させることの重要性を主眼としながら、総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場との鉄筋生産情報（本章では以降、単に生産情報と略す）の連携フローを示した。その結果、アクターが正しい生産情報を一貫して連携することで配筋検査プロセス時に発覚する不具合を低減させ、鉄筋工事全体で生産性を向上させる BIM/ICT を活用したシステムの在り方を提示した。BIM/ICT を活用して鉄筋部材の BIM モデルを作成する作業は、従来、BIM モデルを入力する担当者が構造図をすべて理解して鉄筋を1本ずつ配置するのが主流であった。鉄筋部材を配置する際に鉄筋の納まりに関する知識や技量が必要とされるだけでなく、属人的な入力作業により入力の不具合が発生する可能性が残っていた。そのような背景から松田らは、柱・梁の仕口箇所を除いた半自動化できる鉄筋配置の筋道（以下、自動配置ロジック）を検討し<sup>[1]</sup>、いち早くシステム化を実現させた。が、完全な鉄筋配置を実現させるには至っておらず、鉄筋 BIM モデルをいかに早く正しく作成できるかが、BIM/ICT を活用した場合の生産情報のマネジメントに求められる機能のひとつであることは容易に想像できる。

前章で示した BIM/ICT を活用したシステム開発を実現させるには、システムを運用する際に正し

い生産情報をどのように作成するのかをあらためて定義することが必要である。一方、鉄筋工事に必要な生産情報は、第4章で示したとおり図面作成プロセスで91.7%が確定しているため、まず手始めに図面作成プロセスにおける生産情報の構築手法を定義することが望ましいと考えられる。そこで今回のシステム開発と生産情報の連携を実際に検証する範囲は、第6章で示したS1～S11のシステム構成から図面作成プロセスの範囲であるS1～S8を対象にする。

本章では鉄筋工事の生産プロセス内の図面作成において、BIM/ICTを活用して生産情報をマネジメントするために必要となる、設計図書に記載されている生産情報のデータ連携や鉄筋部材の配置に関する自動配置ロジック、仮想空間における自動配筋検査の項目、鉄筋部材形状の標準化等に関する定義を試みる。

## 既往の調査研究

鉄筋部材の配置に関する手法は、書籍として刊行されている文献と設計図書の一部である標準配筋要領図に記載があることが知られている。代表的な書籍としては、日本建築学会の編集・著作による『建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事』（以下、JASS5）を挙げることができる。第10節に鉄筋工事に関する解説があり、鉄筋の最小間隔とあき、かぶり厚さ、鉄筋の折り曲げ形状および寸法、継手、かぶり厚さ、などが規定され、どちらかと言えば部材単体に関する規定（以下、単体規定）が中心であると言える。柱・梁の仕口のような箇所はお互いの単体規定の条件を満たした納まりにすることが求められるが、具体的に鉄筋部材の配置位置や干渉した場合の回避方法に関する複合的な規定（以下、複合規定）については触れられていない。同じく日本建築学会からはJASS5との整合性を担保された『鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説』（以下、配筋指針）が発行されている。発行の序文には「RC構造の鉄筋の納まり検討、配筋関連の設計図および配筋施工図の作成、ならびに鉄筋工事に関して多くの情報を提供してきた」とある。<sup>[2]</sup> JASS5同様に部材単体に関する鉄筋配置の標準ルールや具体的に鉄筋配置を検討する際の注意事項は示されているが、具体的な検討手順等には触れられていない。国土交通省からは『公共建築工事標準仕様書』（以下、標準仕様書）が発行されている。JASS5が鉄筋コンクリート造の施工に関する標準的な単体規定を示しているのに対して、標準仕様書では官庁で建設する建築物の一般的な数値等を示しており、民間工事に適用される場合もある。JASS5と標準仕様書では必ずしも同じ数値が規定されているわけではない。例えば、「かぶり厚さ」の項目では記載の数値等が異なっており、図7-1にJASS5の規定、図7-2に標準仕様書の規定を示す。

一方、設計図書の一部である構造図の冒頭には標準配筋要領図として構造設計者が所属する企業毎に決められた仕様が提示されている。一般的にはJASS5や配筋指針に準拠した内容になっているが、各企業が目指す品質管理の考え方が示されており、配筋位置等を検討する際の基準に統一性がない。そのため、構造図の特記仕様書には優先順位が示されており、一般的には、①特記仕様書（構造図）、②詳細図（構造図）、③標準配筋要領図（構造図）、④JASS5等の優先順序である。つまり、構造図のいろいろな箇所に記載される生産情報を最優先して図面作成プロセスにおける生産情報の構築を始める必要がある。このような背景から物件毎に構造図で示された単体規定を満たすと同時に複合規定として単体規定を遵守しながら鉄筋を配置できるような標準化をすることが求められる。最終的には配置された鉄筋部材が構造図やJASS5、配筋要領等に表示された規定に合致しているのか



最小かぶり厚さ

(単位：mm)

部材の種類		短期	標準・長期		超長期	
		屋内・屋外	屋内	屋外	屋内	屋外
構造部材	柱・梁・耐力壁	30	30	40	30	40
	床スラブ・屋根スラブ	20	20	30	30	40
非構造部材	構造部材と同等の耐久性を要する部材	20	20	30	30	40
	計画供用期間中に維持保全を行う部材	20	20	30	(20)	(30)
直接土に接する柱・梁・壁・床および布基礎の立上り部		40				
基礎		60				

設計かぶり厚さ

(単位：mm)

部材の種類		短期	標準・長期		超長期	
		屋内・屋外	屋内	屋外	屋内	屋外
構造部材	柱・梁・耐力壁	40	40	50	40	50
	床スラブ・屋根スラブ	30	30	40	40	50
非構造部材	構造部材と同等の耐久性を要する部材	30	30	40	40	50
	計画供用期間中に維持保全を行う部材	30	30	40	(30)	(40)
直接土に接する柱・梁・壁・床および布基礎の立上り部		50				
基礎		70				

図 7-1 JASS5 によるかぶり厚さ

(単位：mm)

構造部分の種類				最小かぶり厚さ
土に接しない部分	スラブ、耐力壁以外の壁	仕上あり		20
		仕上なし		30
	柱、梁、耐力壁	屋内	仕上げあり	30
			仕上なし	30
		屋外	仕上げあり	30
			仕上なし	40
	擁壁、耐圧スラブ			40
	土に接する部分	柱、梁、スラブ、壁		
基礎、擁壁、耐圧スラブ			60	
煙突等高熱を受ける部分				60

※柱、梁の鉄筋の加工に用いるかぶり厚さは最小かぶり厚さに10mmを加えた数値を基準とする。  
 ※「仕上あり」とは、モルタル塗り当の仕上のあるものとし、鉄筋の耐久性上有効ではない仕上げ（仕上塗材、塗装等）のものは除く

図 7-2 標準仕様書によるかぶり厚さ

を確認する必要がある。

## 本章の研究方法及構成

本章では、BIM ソフトウェアを使用して鉄筋部材を自動配置し、自動配筋検査を実行させるために、構造設計者や総合建設工事会社、鉄筋専門工事会社の技術者が普段から頭の中で鉄筋部材を配置している配置ロジックを明らかにする。明らかにする目的は第 6 章で提示した BIM/ICT を活用したシステムの S1～S8 を実現させるために必要となる生産情報を構築する手法を定義するためである。第 2 節「鉄筋配置に関する制約条件の整理」では、JASS5 や配筋指針等に記載のある単体規定以外の項目について職長が加工図を作成する際に気をつけている内容を整理し、鉄筋の配置ロジックに反

映をさせる項目を示す。第3節「構造解析ソフトウェアとの連携 (ST-Bridge の設定)」では鉄筋 BIM モデルを自動作成するためにスタートとなる構造解析ソフトウェアと連携できる項目を整理し、システムに取り込む生産情報を定義する。第4節「鉄筋自動配置に必要な配筋設定の定義」では、構造図に記載されている生産情報を、物件毎に設定する物件設定と JASS5 等によりほぼどの物件でも対応できる単体規定として設定する配筋要領の 2 つに分けて、自動配置するために必要となる単体規定の項目を定義する。なお2つをまとめて配筋設定とする。第5節「鉄筋自動配置に必要な自動配置ロジックの定義」では、単体規定に付加する複合規定として、特に柱部材と梁部材の主筋位置の確定方法や仕口箇所において鉄筋部材の干渉が発生した場合の回避方法に関する標準化をおこない、鉄筋納まりに関する自動配置ロジックを定義する。第6節「鉄筋自動配置に必要な鉄筋形状の定義」では、職長が鉄筋加工工場に発注する際にすでに標準化されている鉄筋加工形状から、仮想空間上で構築する鉄筋部材の形状に関する標準化を定義する。第7節「鉄筋自動配筋検査に必要な検査項目の定義」では、自動配置が完了した後に仮想空間上で実行する配筋検査の項目を実際の配筋検査プロセスを参照しながら定義する。検査項目は配筋設定で決められた規定通りに配置されているのかを自動判定させる。そして、第8節「鉄筋/配筋 BIM モデルと加工図との生産情報の連携」では、総合建設工事会社が鉄筋 BIM で作成した生産情報を鉄筋専門工事会社に渡すために必要となる項目を示す。そして鉄筋専門工事会社が受け取って加筆・修正した後の生産情報を、総合建設工事会社に戻して鉄筋 BIM を配筋 BIM として BIM モデルを入れ替える際に、双方向で連携するために必要となる生産情報の受け渡しに関する手法の定義を試みる。

---

## 7-2 鉄筋配置に関する制約条件の整理

---

### (1) 調査対象

BIM ソフトウェアを使用して鉄筋部材の自動配置や自動配筋検査を実施するには、構造設計者や総合建設工事会社の鉄筋工事担当者、鉄筋専門工事会社の職長がどのような箇所に注意を払って事前検討し、配筋納まり図や加工図を作成しているのかを整理して自動配置ロジック等に反映しておくことが望まれる。第1節で述べたように、すでに書籍化され流通している JASS5 や各社の特記仕様書、標準配筋要領図はあくまでも仕様書であるため、物件の構造図に示される躯体形状に応じてその都度鉄筋の配置を検討しているのが実情である。構造図の部材リストには配置する鉄筋部材の数値が示されているが、鉄筋の配置を決めるための検討手順等は示されていない。鉄筋部材の配置を検討する技術の多くは、日常で業務を担っている技術者や技能労働者の経験値として集積されているに過ぎない。特に加工図を作成している職長は、躯体図から使用する鉄筋部材 1 本 1 本の形状や寸法を最終的に決めていることが明らかになっている。鉄筋加工寸法や配筋・組立に関する考え方を一般化するためには、聞き取り調査から自動配置ロジックに反映をさせる項目を整理し、システムの有効性を高める必要がある。

### (2) 自動配置ロジックを検討する進め方

鉄筋工事に関する文献では、日本建築学会から JASS5 や配筋指針が発行されており、構造設計者や総合建設工事会社の技術者が参照しながら鉄筋の配置位置を決めている。しかしながら、施工段階

では設計施工分離発注だけでなく設計施工一貫発注においても工事現場で鉄筋専門工事会社と一緒に鉄筋の納まりを検討・確認する作業が必ず発生している。鉄筋専門工事会社における JASS5 の規定に関する理解度は、工藤らの調査によると「完全に理解できる」および「少し理解できる」が9割を占めており<sup>[3]</sup>、規定を遵守しながら鉄筋の配置検討や配筋・組立を担っていると考えられる。そのため、工事現場において規定を守りながら業務を担う総合建設工事会社の技術者だけでなく、鉄筋専門工事会社の職長らの経験値を体系的に整理することも重要になると思われ、重点的に聞き取り調査を実施した。鉄筋の位置を検討する考え方は、PCa 工法の場合と在来工法の場合で検討の精度が異なる。前者では鉄筋の位置から形状や長さまでを総合建設工事会社が確定に関与する度合いが高く、設計段階から構造設計者が主筋位置を検討している場合が多い。物件の特徴として確認申請前に構造評定の手続きがなされており、施工期間中に構造部材に関する変更が難しいことも要因と言える。さらに PCa 製造工場とは製作するすべての部材に PCa 版図の図面承認の工程があることも指摘できる。一方、在来工法の場合では鉄筋部材の形状や長さを詳細に記述した図面を総合建設工事会社が承認する手順が見当たらないのは、第3章においてすでに指摘している通りである。そこで、工事現場数が多い在来工法における鉄筋納まりの検討から始めることにした。基本の検討項目は PCa 部材の納まりにも応用できる。

検討する手順は総合建設工事会社の施工支援部門に所属しかつ BIM ソフトウェアの操作ができる技術者が、今までの経験値に基づいて鉄筋配置の納まりを検討する 62 項目をリスト化し鉄筋専門工事会社の考え方を聞き取る手順を経て、実際の自動配置ロジックの項目として実装することにした（62 項目を反映した内容は第4節と第5節にて定義する）。リスト化した項目は次のとおりである。①準拠する資料（設計図書・仕様書等の扱い方）、②検討手順（部材種類の検討手順・建物全体としての検討手順）、③部材共通項目（かぶり厚さ・鉄筋径・鉄筋本数・鉄筋材質・鉄筋最小間隔・鉄筋継手方法・鉄筋継手位置・継手の種類による検討方法の違い・鉄筋定着方法・定着長さ・定着の種類による検討方法の違い・在来と PCa の違い・スペーサー（ドーナツ）・打継部補強筋・スリーブ補強・鉄筋曲げ加工）、④柱（寄筋・心筋配置・仕口帯筋の位置・柱絞り・手筋本数が変わる場合の順序・PCa キー鉄筋・PCa グラウト注入孔・柱頭部フック・帯筋形状・第1帯筋位置・角鉄筋の配置）、⑤大梁（X-Y 方向の主筋位置関係・カットオフ長さ・寄り・主筋レベル・開口補強・側の鉄筋配置・鉄筋間隔・梁主筋レベル・梁手筋の定着判断）、⑥杭（杭頭補強筋）、⑦基礎（はかま筋位置・基礎主筋位置）、基礎梁（X-Y 方向の主筋位置関係・寄り・レベル・カットオフ・あばら筋形状・第一あばら筋位置・腹筋・2 段筋、3 段筋の鉄筋本数が少ない場合の配置位置・開口補強）、⑧その他（鉄骨部材・アンカーボルト・アンカーフレーム・埋め込み金物）。鉄筋専門工事会社と 5 回の打合せをおこない、検討期間は 2018（平成 30）年 4 月～6 月までの 3 ヶ月間だった。未確定の項目は継続して個別打合せとした。打合せの状況を図 7-3 に示す。

鉄筋専門工事会社が参加した打合せでは、構造設計者の考え方が反映されている設計図書の特記仕様書に記載される仕様の違いが、標準化の支障となることがたびたび指摘された。例えば、鉄筋の継手方法の選定では、ある総合建設工事会社がエンクロ溶接は採用不可であるが、別の会社では採用されるなどと指摘され、自動配置ロジックは誰がどのように使用する予定であるのかを明確にして欲しいなどの確認が求められた。継手位置については規定の範囲内であれば職長の裁量に大きく依存していた。そこには配筋・組立時における施工性の検討や経済性のある鉄筋長さにするなど、工事

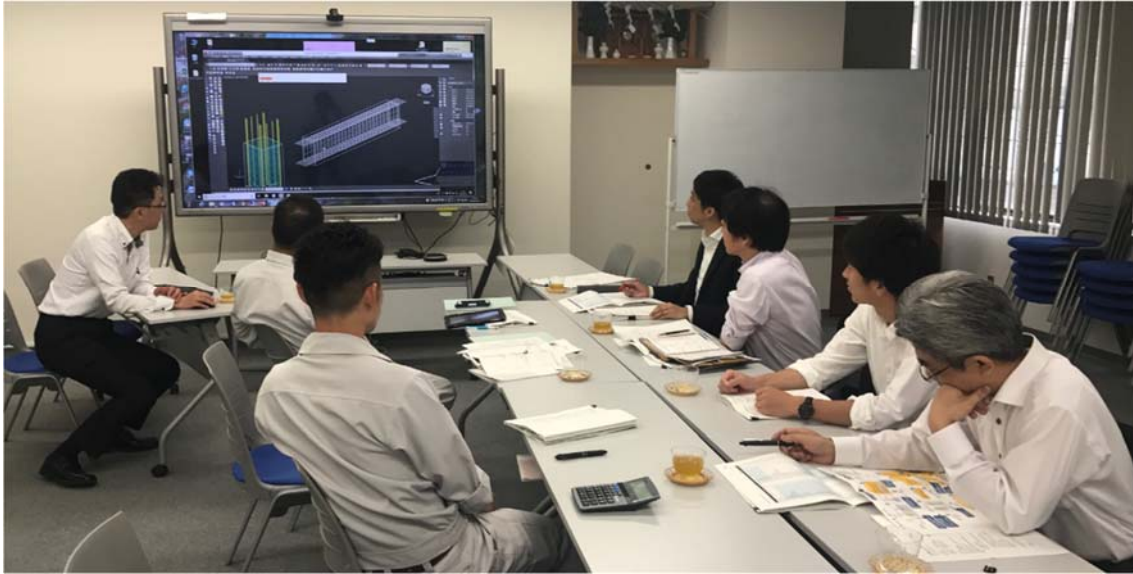


図 7-3 鉄筋専門工事会社との打合せ状況（2018 年 5 月）

現場の特徴や職長の過去の経験値が重要視されていた。標準化してデジタルデータの連携を考えるのは、職長の配筋・組立の思考ロジックの標準化の必要性をあらためて感じた。構造設計者への要望もあった。特に鉄筋の定着方法を考慮した設計が望ましいことが指摘された。定着方法の設計変更では構造計算を再計算する必要がある、お互いに避けたいところである。単純に納まりから決定されるだけではなく、鉄筋専門工事会社の鉄筋加工工場で加工できる工法が選択されるため、設計段階で鉄筋専門工事を選定しないと確定できない。

このような指摘から今回の自動配置ロジックは、ひとつの基準ですべてが決まるわけではないことをあらためて確認する機会となった。そのため、明確に作業方針を決めることができない範囲は、どこの構造設計者や総合建設工事会社が使用しても、配筋設定のパラメータ項目に入力することで採用する工法を柔軟に選択できるようなロジックを組み立てることに苦労することになった。一方、単純に自動配置ロジックを搭載したシステムを工事現場で適用するだけでは、生産性の向上や不具合の低減に大きく寄与しにくい。鉄筋専門工事会社の参画時期や使用する鉄筋材料メーカーの選定時期、構造設計者の役割分担、企業毎に異なる仕様を業界として統一させる取り組みと組み合わせるなど、BIM/ICT を活用できる環境整備の在り方についても意見交換をおこなった。

### （3）自動配置ロジックで対象とした鉄筋部材

鉄筋専門工事会社からは、在来工法の主架構（柱部材と梁部材）から検討を始めるのが望ましいと指摘があった。PC a 工法では、PCa 版図の作成段階で詳細な配筋納まりを検討しているが、在来工法では工事現場により検討度合いの精度にバラツキが見られるからであった。壁と床については、配筋納まり図を作成することは無く、躯体図の情報で作業ができるとのことだった。配筋検査の指摘事項は少なく、非構造部材であり優先順位は低い。配置検討が必要であれば BIM ソフトウェアで入力しても大きな手間にはならない。逆に言えば BIM ソフトウェアですべての部材を配置してしまうとデータ量の関係で画面が固まってしまう恐れも考えられた。図 7-4 に対象とする部材を示す。

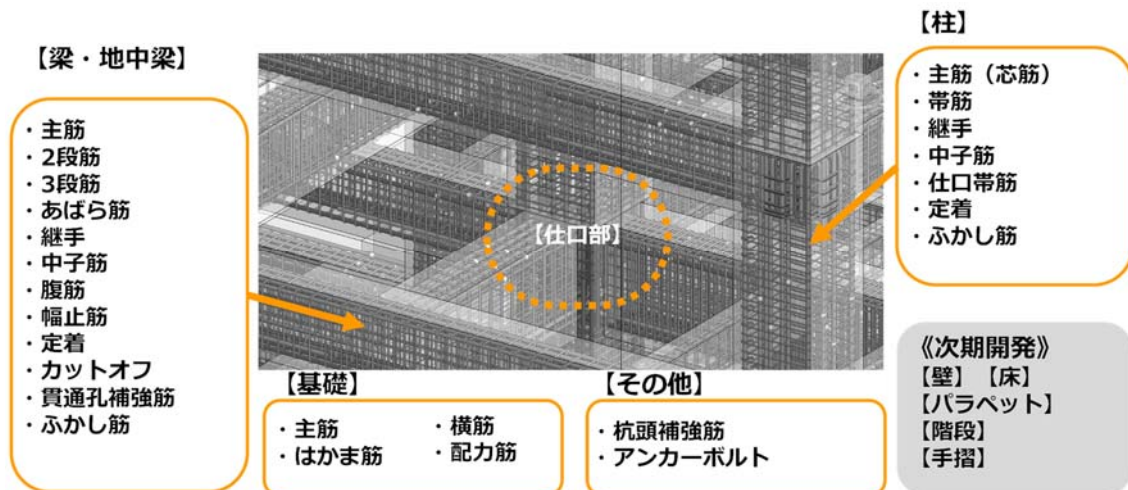


図 7-4 自動配置ロジックの対象とした鉄筋部材

#### (4) 聞き取り調査の概要

表 7-1 調査対象とした工事現場の概要

項目	B社の職長に聞き取りした工事現場(K計画)
用途	共同住宅（分譲）
構造	RC造（在来工法） 床とバルコニー・廊下はハーフPCa版
階数	地下1階、地上19階、塔屋1階
敷地面積	1,051.79 m <sup>2</sup>
建築面積	585.24 m <sup>2</sup>
延べ床面積	7,751.51 m <sup>2</sup>
基礎工法	杭基礎
調査期間	・2017年11月9日～11月24日 ・調査した施工階：基準階 ・職長への聞き取り：2017年11月13日

聞き取り調査の対象とした職長が担当していた工事の概要を表 7-1 に示す。1 次下請である鉄筋専門工事会社 A 社が鉄筋工事を受注し、さらに 2 次下請である鉄筋専門工事会社 B 社が配筋・組立と加工図・加工帳の作成業務を担っていた。今回の聞き取り調査は B 社の職長を対象とした。聞き取り調査の結果は DIN-CAD100 システムを開発している企業にも内容を確認していただき、内容に齟齬が無いことを最終的に確認する手順

とした。それらの結果は自動配置ロジックの考え方に反映させており、詳細項目は第 5 節で述べる。

職長から鉄筋の納まり検討が必要な箇所として挙げられたのは、柱は主筋位置と帯筋のサイズ、梁は主筋位置であった。柱や梁の主筋納まりの検討を優先するのは、それぞれの主筋は鉄筋径が太く、配筋・組立時にしならせて納めるような行為が難しいためである。また柱・梁の仕口箇所の配筋・組立は、柱主筋に帯筋を配置してから梁の下端主筋を配置し、さらに柱に帯筋を配置するような配筋・組立の手順を考慮しなければならないため、帯筋と梁主筋の上下関係を確実に事前検討しておく必要があると指摘された。柱と梁の主筋や帯筋やあばら筋以外の鉄筋については、配筋・組立の際に鉄筋径が細く、しならせて納めることが可能なため、特に納まり検討まではしていない、とのことだった。壁や床の配筋納まりは一般的な鉄筋コンクリート造の建物であれば、鉄筋径が細く 1 本 1 本の納まりは検討せずに配筋・組立時に加工図を参照して支障がないとのことだった。総合建設工事会社の鉄筋工事担当者においても作成をしていないことを確認した。



仕口箇所では柱の帯筋、X方向の梁主筋、Y方向の梁主筋が交差するため、必ず納まり検討をすることが一般的であった。検討の手順は、柱の主筋配置、長手方向の大梁配置、短手方向の大梁配置、柱の帯筋配置であった。大梁同士が交差する主筋の上下関係は、職長が決めているのではなく、構造設計者が構造図において指定した位置関係で検討を進める。大梁と小梁が交差する場合は、X方向、Y方向での主筋の位置関係を決める必要がある。このような場合は、構造図に記載がなく職長の判断で主筋の位置関係を決める。小梁の主筋の納まりは、大梁の構造体レベルに準じている。小梁の躯体天端が大梁の躯体天端と同じレベル以下の場合は、小梁の主筋を大梁主筋の下に入れる。小梁の躯体天端が大梁躯体天端のレベルを超えている場合は、小梁の主筋を大梁の主筋の上に乗せていた。

柱や梁の主筋を繋ぐ機械式継手の部分についても施工手順や納まり検討をしている箇所だった。機械式継手を使用する場合は、継手部分に配置される帯筋やあばら筋の寸法が、カプラーの半径分大きくなるため、カプラーの外側に配置されているあばら筋の外側からかぶり厚さを確保する必要があることによる。配置位置を十分に検討しておかないとかぶり厚さの不足が発生する。機械式継手の標準仕書には「目安として、1サイズダウンでピッチを倍」などと記載されており<sup>[4]</sup>、自動配置ロジックを検討する際には、第1節で触れた構造図の仕様書だけでなく、機械式継手の使用メーカーや材料の標準書に記載されている継手の寸法、必要かぶり厚さを計測する位置、継手の使用位置などの考え方についても考慮しておく必要がある。

鉄筋端部の定着方法の考え方についても同様である。構造図では曲げ定着であっても、職長から作業性を考慮して加工図の作成時に定着プレート等の使用を提案されることが見られ、配筋設定において継手や定着で使用する材料の選択肢を準備しておく必要がある。定着プレートにはメーカーによりEG定着板（合同製鋼株式会社）、Tヘッド工法（第一高周波鋼業株式会社）、DBヘッド定着方法（株式会社ディビーエス）等の種類があり、それらに合わせたサイズを自動的にBIMモデルとして作成されるように部材を準備する必要があった。

型枠工事や鉄筋工事が始まる直前に設計変更が発生すると、あわせて躯体図を変更する。主に床段差位置や貫通孔位置、ふかし範囲等の細かい変更が多く、この時期では柱梁の主架構自体に変更は見られない。逆にこの時期で主架構の変更は生産情報の停滞となり、最初から配筋納まりを見直すことになる。つまり柱梁の主加構で変更がある場合はやり直しになるということである。主架構については先に加工図の検討を進め、未確定箇所についてはその箇所の加工図は作成せず、決定した段階であらためて作業をしていた。いずれにしても躯体図に変更がある場合の変更指示は、確実に伝えられる体制を構築しておく必要があると言える。例えばクラウド環境に常に最新版がアップロードされていることは有意義であることも確認できた。

DIN-CAD100 システムを開発している企業からは、柱主筋の位置は基礎階から最上階までの鉄筋径と位置を先にすべて確認し、通す鉄筋を決めていると指摘があった。梁主筋については各階毎の検討で良いと指摘された。また、配筋納まりに関する数値の考え方が各社毎で異なることが検討を開始する時の思い込みにつながっており、BIM/ICTによる標準化の前に仕様書類で使われている数値や考え方がどの工事現場でも同じになっていれば、さらなる生産性の向上につながると大局的な指摘も受けた。

## (5) システム構成の整理

鉄筋部材の納まり検討が必要な箇所は、聞き取り調査により柱・梁の仕口箇所であった。JASS5 や配筋指針等には記載が無いような複合規定に関する検討フローと配置位置に関する自動配置ロジックの標準化を進める必要があった。また、鉄筋部材を自動配置させるのに必要となる生産情報は構造図に記載されている項目だけではなく、選択した機械式継手や端部の定着プレート等のようにメーカー側が事前に用意している標準図にも対応させる必要があった。加工図の作成段階で曲げ定着から定着プレートへと使用する材料の変更があると、構造設計者による構造計算による確認が必要となることから、定着方法は鉄筋 BIM モデルを作成する段階で確定しておくことが望まれる。しかし職長が加工図を作成する段階で変更提案がなされることがあるため、鉄筋 BIM モデルや配筋 BIM モデルの作成段階においても変更に対応できる仕様にしておく。対象とする構造部材は一般的な鉄筋コンクリート造の建物（在来工法）で考えると、柱・梁（地中梁含む）・基礎の鉄筋を自動配置させ、壁や床は検討が必要な範囲を個別で鉄筋 BIM モデルを作成することで充分であることを聞き取り調査で確認できた。上述した聞き取り調査の結果により、本システムでは下記の部材を対象として定義を進めることにする。

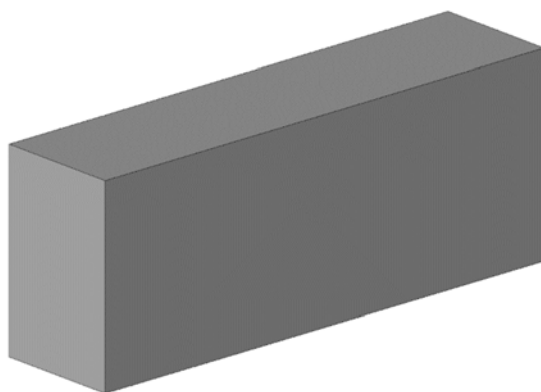
- ① 柱
- ② 大梁（基礎梁含む）
- ③ 小梁（基礎梁含む）
- ④ 片持梁（基礎梁含む）
- ⑤ 片持小梁（基礎梁含む）
- ⑥ フカシ（柱・梁）
- ⑦ 貫通孔、人通口
- ⑧ 杭頭補強

---

## 7-3 構造解析ソフトウェアとの連携（ST-Bridge の設定）

---

BIM/ICT を活用したシステムにおける生産情報の始まりは、図 7-5 に示すように構造解析ソフトウェアの構造計算データになる。構造計算データを BIM ソフトウェアにインポートするには日本における構造分野の生産情報を交換するための標準フォーマットである ST-Bridge（エスティーブリッジ）のファイル形式を用いるが、構造解析ソフトウェア側に ST-Bridge のファイルが出力できる機能があることが前提となる。ST-Bridge のインポート機能では、柱・間柱・柱脚・大梁・小梁・S ブレース・RC スラブ・デッキスラブ・スラブ開口・壁・壁開口・パラペット・基礎・布基礎・杭基礎のライラリに構造計算の結果から躯体形状を自動生成し BIM モデルが作成されるが、すべての躯体形状や鉄筋の生産情報を取り込めることはできていない。そのため、不足分の躯体 BIM モデルや躯体 BIM モデルに付与する鉄筋の生産情報から鉄筋 BIM モデルを自動生成させるためには、ST-Bridge ファイルを読み込む前に必要となる生産情報を事前に付加してから読み込ませる必要がある。そのようなニーズに対して Autodesk 社は「Mapping Table 2019」<sup>[5]</sup> として必要な項目を追加することができるアプリケーションを準備している。今回のシステム開発では日本における標準フ



梁部材の形状ファミリ（この部材の属性情報として以下の項目を取り込む）

タイプ プロパティ

ファミリ(F): RC大梁      ロード(L)...

タイプ(T): 1G4      複製(C)...

名前変更(R)...

タイプ パラメータ(M)

パラメータ	値
<b>鉄筋セット</b>	
主筋_鉄筋強度	SD345
あばら筋_鉄筋強度	SD295A
腹筋_鉄筋強度	SD345
横止め筋_鉄筋強度	SD295A
左端_上端筋_鉄筋径	D25
左端_上端1段筋_本数	5
左端_上端2段筋_本数	4
左端_上端3段筋_本数	0
左端_下端筋_鉄筋径	D25
左端_下端1段筋_本数	5
左端_下端2段筋_本数	0
左端_下端3段筋_本数	0
左端_あばら筋_鉄筋径	D13
左端_あばら筋_本数	3
左端_あばら筋_ピッチ	150.000000
左端_腹筋_鉄筋径	D22
左端_腹筋_本数	6
左端_横止め筋_鉄筋径	D10
左端_横止め筋_ピッチ	1000.000000
中央_上端筋_鉄筋径	D25
中央_上端1段筋_本数	5
中央_上端2段筋_本数	0
中央_上端3段筋_本数	0
中央_下端筋_鉄筋径	D25
中央_下端1段筋_本数	5
中央_下端2段筋_本数	1
中央_下端3段筋_本数	0
中央_あばら筋_鉄筋径	D13
中央_あばら筋_本数	3
中央_あばら筋_ピッチ	150.000000
中央_腹筋_鉄筋径	D22
中央_腹筋_本数	6
中央_横止め筋_鉄筋径	D10
中央_横止め筋_ピッチ	1000.000000
右端_上端筋_鉄筋径	D25
右端_上端1段筋_本数	5
右端_上端2段筋_本数	2
右端_上端3段筋_本数	0
右端_下端筋_鉄筋径	D25
右端_下端1段筋_本数	5
右端_下端2段筋_本数	0

[これらのプロパティの動作](#)

<< プレビュー(P)      OK      キャンセル      適用

図 7-6 梁部材の配筋に関する生産情報の取り込み状況





SS3 Link 2019 ST-Bridge Link 2019 RC断面リスト作成 2019 共通マッピングテーブル S断面リスト作成 2019							マッピングテーブルについて
マッピングテーブル登録							ファミリ種別背景色について
							パラメータについて
// 変換ファミリ設定 //							
種別	使用するファミリ名	種別	使用するファミリ名	種別	使用するファミリ名	種別	使用するファミリ名
RC柱	RC柱	ハンチ付き基礎梁	基礎梁	S片持梁清形鋼	Steel Girder Channel	ブレースH形鋼	Steel Girder H
RC円柱	RC円柱	片持基礎梁	片持基礎梁	S片持梁リップ清形鋼	Steel Girder Lip Channel	ブレース組立H形鋼	Steel Girder BH
S柱H形鋼	Steel Column H	基礎小梁	基礎小梁	S片持梁山形鋼	Steel Girder Angle	ブレース角形鋼管	Steel Brace Box
S柱組立H形鋼	Steel Column BH	ハンチ付き基礎小梁	基礎小梁	S小梁	Steel Beam H	ブレース組立角形鋼管	Steel Brace Box
S柱角形鋼管	Steel Column Box	片持基礎小梁	片持基礎小梁	S小梁組立H形鋼	Steel Girder BH	ブレース円形鋼管	Steel Brace Pipe
S柱組立角形鋼管	Steel Column BBox	RC大梁	RC大梁	S小梁清形鋼	Steel Girder Channel	ブレース清形鋼	Steel Girder Channel
S柱鋼管	Steel Column Pipe	ハンチ付きRC大梁	RC大梁	S小梁リップ清形鋼	Steel Girder Lip Channel	ブレースリップ清形鋼	Steel Girder Lip Channel
S柱T形鋼	Steel Column T	RC片持梁	RC片持梁	S小梁山形鋼	Steel Girder Angle	ブレース山形鋼	Steel Girder Angle
S柱清形鋼	Steel Column Channel	RC小梁	RC小梁	ハンチ付きS小梁	Steel Girder H	ブレースフラットバー	Steel Brace FlatPlate
S柱山形鋼	Steel Column Angle	ハンチ付きRC小梁	RC小梁	S片持小梁	Steel CG H	ブレース丸鋼	Steel Brace Re Bar
SRC柱H形(矩形)	SRC Column Rectangular H	RC片持小梁	RC片持小梁	S片持小梁組立H形鋼	Steel CG H	RC基礎矩形	Footing Rectangular
SRC柱+形(矩形)	SRC Column Rectangular Cross	S大梁	Steel Girder H	S片持小梁清形鋼	Steel Girder Channel	RC基礎矩形テーバー	Footing Rectangular
SRC柱T形(矩形)	SRC Column Rectangular T	S梁組立H形鋼	Steel Girder BH	S片持小梁リップ清形鋼	Steel Girder Lip Channel	RC基礎三角	Footing Triangle
SRC柱H形(円形)	SRC Column Round H	S梁清形鋼	Steel Girder Channel	S片持小梁山形鋼	Steel Girder Angle	RC基礎正三角形	Footing Equi Triangle
SRC柱+形(円形)	SRC Column Round Cross	S梁リップ清形鋼	Steel Girder Lip Channel	SRC大梁	SRC Girder icj	RC基礎八角形	Footing Octagon
SRC柱T形(円形)	SRC Column Round T	S梁山形鋼	Steel Girder Angle	SRC片持梁	SRC Girder icj	布基礎	Footing Continuous
CFT柱角形鋼管	CFT Column Box	ハンチ付きS大梁	Steel Girder H	SRC小梁	SRC Girder icj	場所打ち杭	Cast in place pile
CFT柱鋼管	CFT Column Pipe	S片持梁	Steel CG H	SRC片持小梁	SRC Girder icj	既製杭	Pile
基礎梁	基礎梁	S片持梁組立H形鋼	Steel CG H	ブレース	SS3Link ブレース		
// 変換パラメータ設定 //							
種別	項目名	パラメータ名	SS3 Link	STB Link	RC断面 リスト作成	S断面 リスト作成	備考
// RC柱-パラメータ //							
RC柱	構造マテリアル	構造マテリアル	必須	必須	未使用	未使用	構造マテリアルを示すパラメータを設定してください
RC柱	柱種別	柱種別	任意	任意	必須	未使用	RC断面リストに用いる柱種別を示すパラメータを設定してください
RC柱	柱の種類	柱の種類	未使用	任意	未使用	未使用	ST-Bridgeの柱の種類を示すパラメータを設定してください
RC柱	柱幅	柱幅	必須	必須	必須	未使用	柱幅を示すパラメータを設定してください
RC柱	柱せい	柱せい	必須	必須	必須	未使用	柱せいを示すパラメータを設定してください
RC柱	符号	符号	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋太径	柱頭 主筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋細径	柱頭 主筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋X方向1段太筋本数	柱頭 主筋 X方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋X方向1段細筋本数	柱頭 主筋 X方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋X方向2段太筋本数	柱頭 主筋 X方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋X方向2段細筋本数	柱頭 主筋 X方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋Y方向1段太筋本数	柱頭 主筋 Y方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋Y方向1段細筋本数	柱頭 主筋 Y方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋Y方向2段太筋本数	柱頭 主筋 Y方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 主筋Y方向2段細筋本数	柱頭 主筋 Y方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋太径	柱脚 主筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋細径	柱脚 主筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋X方向1段太筋本数	柱脚 主筋 X方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋X方向1段細筋本数	柱脚 主筋 X方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋X方向2段太筋本数	柱脚 主筋 X方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋X方向2段細筋本数	柱脚 主筋 X方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋Y方向1段太筋本数	柱脚 主筋 Y方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋Y方向1段細筋本数	柱脚 主筋 Y方向 1段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋Y方向2段太筋本数	柱脚 主筋 Y方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 主筋Y方向2段細筋本数	柱脚 主筋 Y方向 2段筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 フープ筋 鉄筋径	柱頭 フープ筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 帯筋X方向本数	柱頭 フープ筋 X方向本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 帯筋Y方向本数	柱頭 フープ筋 Y方向本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 帯筋ピッチ	柱頭 フープ筋 ピッチ	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 帯筋径	柱脚 フープ筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 帯筋X方向本数	柱脚 フープ筋 X方向本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 帯筋Y方向本数	柱脚 フープ筋 Y方向本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 帯筋ピッチ	柱脚 フープ筋 ピッチ	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	幅止筋径		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	幅止筋ピッチ		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 幅止筋ピッチ		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	柱頭 幅止筋X方向本数		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 幅止筋Y方向本数		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 幅止筋ピッチ		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	柱脚 幅止筋X方向本数		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱脚 幅止筋Y方向本数		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	芯鉄筋径	柱脚 芯鉄筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	芯鉄筋本数	柱脚 芯鉄筋 鉄筋本数	任意	任意	必須	未使用	
RC柱	柱頭 芯鉄筋本数	柱頭 芯鉄筋 本数	未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	柱脚 芯鉄筋本数	柱脚 芯鉄筋 本数	未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	躯体面から芯鉄筋X方向までの距離		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	躯体面から芯鉄筋Y方向までの距離		任意	任意	必須	未使用	
RC柱	コンクリート強度の低減率		任意	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋種別X	主筋 鉄筋強度 X方向	任意	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋種別Y	主筋 鉄筋強度 Y方向	任意	任意	未使用	未使用	
RC柱	副主筋強度	副主筋 鉄筋強度	未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	芯鉄筋種別	芯鉄筋 鉄筋強度	任意	任意	未使用	未使用	
RC柱	帯筋強度	フープ筋 鉄筋強度	未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	幅止筋強度		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	柱頭 寄せ筋方向	柱頭 寄せ筋方向	任意	任意	未使用	未使用	
RC柱	柱脚 寄せ筋方向	柱脚 寄せ筋方向	任意	任意	未使用	未使用	
RC柱	かぶり厚さ (X始)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	かぶり厚さ (X終)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	かぶり厚さ (Y始)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	かぶり厚さ (Y終)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	2段筋間隔		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋総本数	主筋・副主筋 総本数	未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	X形主筋総本数		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	X形主筋X方向本数		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	X形主筋Y方向本数		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋重心位置 (X始)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋重心位置 (X終)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋重心位置 (Y始)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	主筋重心位置 (Y終)		未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	断面ID	断面ID	未使用	任意	未使用	未使用	
RC柱	配置ID	配置ID	未使用	任意	未使用	未使用	配置IDを示すパラメータを設定してください
RC柱	配置名	NameMembers	未使用	任意	未使用	未使用	配置名を示すパラメータを設定してください
RC柱	ふかし厚さ (X始)		未使用	任意	未使用	未使用	ふかし厚さ (X始端)を示すパラメータを設定してください
RC柱	ふかし厚さ (X終)		未使用	任意	未使用	未使用	ふかし厚さ (X終端)を示すパラメータを設定してください
RC柱	ふかし厚さ (Y始)		未使用	任意	未使用	未使用	ふかし厚さ (Y始端)を示すパラメータを設定してください
RC柱	ふかし厚さ (Y終)		未使用	任意	未使用	未使用	ふかし厚さ (Y終端)を示すパラメータを設定してください

図 7-7 マッピングテーブル (①RC 柱)

SS3 Link 2019

ST-Brigde Link 2019

RC断面リスト作成 2019

共通マッピングテーブル

SS断面リスト作成 2019

// 変換ファミリ設定 //

種別	使用するファミリ名	原則	使用するファミリ名	原則	使用するファミリ名	原則	使用するファミリ名
RC柱	RC柱	ハンチ付き基礎梁	基礎梁	S片持梁薄形鋼	Steel Girder Channel	ブレース山形鋼	Steel Girder H
RC円柱	RC円柱	片持基礎梁	片持基礎梁	S片持梁リップ薄形鋼	Steel Girder Lip Channel	ブレース組立H形鋼	Steel Girder BH
S柱H形鋼	Steel Column H	基礎小梁	基礎小梁	S片持梁山形鋼	Steel Girder Angle	ブレース角形鋼管	Steel Brace Box
S柱組立H形鋼	Steel Column BH	ハンチ付き基礎小梁	基礎小梁	S小梁	Steel Beam H	ブレース組立角形鋼管	Steel Brace Box
S柱角鋼管	Steel Column Box	片持基礎小梁	片持基礎小梁	S小梁組立H形鋼	Steel Girder BH	ブレース円形鋼管	Steel Brace Pipe
S柱角形鋼管	Steel Column Box	RC大梁	RC大梁	S片持梁山形鋼	Steel Girder Channel	ブレース薄形鋼	Steel Girder Channel
S柱鋼管	Steel Column Pipe	ハンチ付きRC大梁	RC大梁	S小梁リップ薄形鋼	Steel Girder Lip Channel	ブレースリップ薄形鋼	Steel Girder Lip Channel
S柱T形鋼	Steel Column T	RC片持梁	RC片持梁	S小梁山形鋼	Steel Girder Angle	ブレース山形鋼	Steel Girder Angle
S柱清形鋼	Steel Column Channel	RC片持梁	RC片持梁	ハンチ付きS小梁	Steel Girder H	ブレースフラットバー	Steel Brace FlatPlate
S柱山形鋼	Steel Column Angle	ハンチ付きRC小梁	RC小梁	S片持小梁	Steel CG H	ブレース丸鋼	Steel Brace Re Bar
SRC柱H形(矩形)	SRC Column Rectangular H	RC片持小梁	RC片持小梁	S片持小梁組立H形鋼	Steel CG H	RC基礎矩形	Footing Rectangular
SRC柱土形(矩形)	SRC Column Rectangular Cross	S大梁	Steel Girder H	S片持小梁薄形鋼	Steel Girder Channel	RC基礎矩形チーバー	Footing Rectangular
SRC柱H形(矩形)	SRC Column Rectangular T	S梁組立H形鋼	Steel Girder BH	S片持小梁リップ薄形鋼	Steel Girder Lip Channel	RC基礎三角	Footing Triangle
SRC柱H形(円形)	SRC Column Round H	S梁薄形鋼	Steel Girder Channel	S片持小梁山形鋼	Steel Girder Angle	RC基礎正三角形	Footing Equi Triangle
SRC柱土形(円形)	SRC Column Round Cross	S梁リップ薄形鋼	Steel Girder Lip Channel	SRC大梁	SRC Girder icj	RC基礎八角形	Footing Octagon
SRC柱H形(円形)	SRC Column Round T	S梁山形鋼	Steel Girder Angle	SRC小梁	SRC Girder icj	赤基礎	Footing Continuous
CFI柱角形鋼管	CFI Column Box	ハンチ付きS大梁	Steel Girder H	SRC小梁	SRC Girder icj	場所打ち杭	Cast in place pile
CFI柱鋼管	CFI Column Pipe	S片持梁	Steel CG H	SRC片持小梁	SRC Girder icj		
基礎梁	基礎梁	S片持梁組立H形鋼	Steel CG H	ブレース	SS3Link ブレース	既製杭	Pile

// 変換パラメータ設定 //

種別	項目名	パラメータ名	SS3 Link	STB Link	RC断面リスト作成	S断面リスト作成	備考
// RC変換パラメータ //							
RC梁	構造マテリアル	構造マテリアル	必須	必須	未使用	未使用	構造マテリアルを示すパラメータを設定してください
RC梁	梁種別	梁種別	任意	任意	必須	未使用	RC断面リストに用いる梁種別を示すパラメータを設定してください
RC梁	梁の種別	梁の種別	未使用	任意	未使用	未使用	ST-Brigdeの梁の種別を示すパラメータを設定してください
RC梁	外端内端指定	外端内端指定	未使用	任意	未使用	未使用	
RC梁	始端 梁幅	中央 梁幅	必須	必須	必須	未使用	始端 梁幅を示すパラメータを設定してください
RC梁	中央 梁幅	中央 梁幅	必須	必須	必須	未使用	中央 梁幅を示すパラメータを設定してください
RC梁	終端 梁幅	終端 梁幅	必須	必須	必須	未使用	終端 梁幅を示すパラメータを設定してください
RC梁	始端 梁せい	始端 梁せい	必須	必須	必須	未使用	始端 梁せいを示すパラメータを設定してください
RC梁	中央 梁せい	中央 梁せい	必須	必須	必須	未使用	中央 梁せいを示すパラメータを設定してください
RC梁	終端 梁せい	終端 梁せい	必須	必須	必須	未使用	終端 梁せいを示すパラメータを設定してください
RC梁	ボックスハンチ 始端	ボックスハンチ 始端	必須	必須	未使用	未使用	
RC梁	ボックスハンチ 終端	ボックスハンチ 終端	必須	必須	未使用	未使用	
RC梁	始端 ハンチ長さ	始端 ハンチ長さ	必須	必須	未使用	未使用	始端 ハンチ長さを示すパラメータを設定してください
RC梁	終端 ハンチ長さ	終端 ハンチ長さ	必須	必須	未使用	未使用	終端 ハンチ長さを示すパラメータを設定してください
RC梁	符号	符号	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 本径	左端 上端筋 鉄筋径	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 細径	左端 上端1段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 1段筋細筋本数	左端 上端1段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 2段筋細筋本数	左端 上端2段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 2段筋細筋本数	左端 上端2段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 3段筋細筋本数	左端 上端3段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 3段筋細筋本数	左端 上端3段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 4段筋細筋本数	左端 上端4段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 4段筋細筋本数	左端 上端4段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 5段筋細筋本数	左端 上端5段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 5段筋細筋本数	左端 上端5段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 6段筋細筋本数	左端 上端6段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 6段筋細筋本数	左端 上端6段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 7段筋細筋本数	左端 上端7段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 7段筋細筋本数	左端 上端7段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 8段筋細筋本数	左端 上端8段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 8段筋細筋本数	左端 上端8段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 9段筋細筋本数	左端 上端9段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 9段筋細筋本数	左端 上端9段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 10段筋細筋本数	左端 上端10段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 10段筋細筋本数	左端 上端10段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 11段筋細筋本数	左端 上端11段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 11段筋細筋本数	左端 上端11段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 12段筋細筋本数	左端 上端12段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 12段筋細筋本数	左端 上端12段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 13段筋細筋本数	左端 上端13段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 13段筋細筋本数	左端 上端13段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 14段筋細筋本数	左端 上端14段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 14段筋細筋本数	左端 上端14段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 15段筋細筋本数	左端 上端15段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 15段筋細筋本数	左端 上端15段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 16段筋細筋本数	左端 上端16段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 16段筋細筋本数	左端 上端16段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 17段筋細筋本数	左端 上端17段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 17段筋細筋本数	左端 上端17段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 18段筋細筋本数	左端 上端18段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 18段筋細筋本数	左端 上端18段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 19段筋細筋本数	左端 上端19段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 19段筋細筋本数	左端 上端19段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 20段筋細筋本数	左端 上端20段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 20段筋細筋本数	左端 上端20段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 21段筋細筋本数	左端 上端21段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 21段筋細筋本数	左端 上端21段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 22段筋細筋本数	左端 上端22段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 22段筋細筋本数	左端 上端22段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 23段筋細筋本数	左端 上端23段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 23段筋細筋本数	左端 上端23段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 24段筋細筋本数	左端 上端24段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 24段筋細筋本数	左端 上端24段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 25段筋細筋本数	左端 上端25段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 25段筋細筋本数	左端 上端25段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 26段筋細筋本数	左端 上端26段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 26段筋細筋本数	左端 上端26段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 27段筋細筋本数	左端 上端27段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 27段筋細筋本数	左端 上端27段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 28段筋細筋本数	左端 上端28段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 28段筋細筋本数	左端 上端28段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 29段筋細筋本数	左端 上端29段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 29段筋細筋本数	左端 上端29段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 30段筋細筋本数	左端 上端30段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 30段筋細筋本数	左端 上端30段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 31段筋細筋本数	左端 上端31段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 31段筋細筋本数	左端 上端31段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 32段筋細筋本数	左端 上端32段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 32段筋細筋本数	左端 上端32段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 33段筋細筋本数	左端 上端33段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 33段筋細筋本数	左端 上端33段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 34段筋細筋本数	左端 上端34段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 34段筋細筋本数	左端 上端34段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 35段筋細筋本数	左端 上端35段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 35段筋細筋本数	左端 上端35段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 36段筋細筋本数	左端 上端36段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 36段筋細筋本数	左端 上端36段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 37段筋細筋本数	左端 上端37段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 37段筋細筋本数	左端 上端37段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 38段筋細筋本数	左端 上端38段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 38段筋細筋本数	左端 上端38段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 39段筋細筋本数	左端 上端39段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 39段筋細筋本数	左端 上端39段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 40段筋細筋本数	左端 上端40段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 40段筋細筋本数	左端 上端40段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 41段筋細筋本数	左端 上端41段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 41段筋細筋本数	左端 上端41段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 42段筋細筋本数	左端 上端42段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 42段筋細筋本数	左端 上端42段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 43段筋細筋本数	左端 上端43段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 43段筋細筋本数	左端 上端43段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 44段筋細筋本数	左端 上端44段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 44段筋細筋本数	左端 上端44段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 45段筋細筋本数	左端 上端45段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 45段筋細筋本数	左端 上端45段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 46段筋細筋本数	左端 上端46段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 46段筋細筋本数	左端 上端46段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 47段筋細筋本数	左端 上端47段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 47段筋細筋本数	左端 上端47段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 48段筋細筋本数	左端 上端48段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 48段筋細筋本数	左端 上端48段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 49段筋細筋本数	左端 上端49段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 49段筋細筋本数	左端 上端49段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 50段筋細筋本数	左端 上端50段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 50段筋細筋本数	左端 上端50段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 51段筋細筋本数	左端 上端51段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 51段筋細筋本数	左端 上端51段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 52段筋細筋本数	左端 上端52段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 52段筋細筋本数	左端 上端52段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 53段筋細筋本数	左端 上端53段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 53段筋細筋本数	左端 上端53段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 54段筋細筋本数	左端 上端54段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 54段筋細筋本数	左端 上端54段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 55段筋細筋本数	左端 上端55段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 55段筋細筋本数	左端 上端55段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 56段筋細筋本数	左端 上端56段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 56段筋細筋本数	左端 上端56段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 57段筋細筋本数	左端 上端57段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 57段筋細筋本数	左端 上端57段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 58段筋細筋本数	左端 上端58段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 58段筋細筋本数	左端 上端58段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 59段筋細筋本数	左端 上端59段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 59段筋細筋本数	左端 上端59段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 60段筋細筋本数	左端 上端60段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 60段筋細筋本数	左端 上端60段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 61段筋細筋本数	左端 上端61段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 61段筋細筋本数	左端 上端61段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 62段筋細筋本数	左端 上端62段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋 62段筋細筋本数	左端 上端62段筋 本数	任意	任意	必須	未使用	
RC梁	始端 上主筋						

図7-8 マッピングテーブル (⑦RC梁)



取り込んだ後にこれらの躯体 BIM モデルを作成する作業が発生する。躯体 BIM モデルを作成した後は RUTS<sup>〔6〕</sup>を使用して躯体 BIM モデルのファミリに鉄筋情報を手入力する作業が発生することも確認した。なお、RC 小梁、基礎小梁、RC 片持小梁、片持基礎小梁に関しては躯体情報までは ST-Bridge で対応できているが、鉄筋情報を入力できる項目がないため、Revit で躯体モデルが作成された後に同様に RUTS を使用して鉄筋情報を入力する必要がある。

## 7-4 鉄筋自動配置に必要な配筋設定の定義

鉄筋の納まり検討において鉄筋の配置位置を確定させるには、JASS5 や各企業が定めている配筋要領図等から配筋基準を読み取り、物件毎に設定する必要がある。すでに第 1 節において、かぶり厚さの数値が異なることを指摘したようにどのような物件にも対応できるように本システムでは図 7-9 と図 7-10 に示すように筆者が所属する企業が作成している「鉄筋コンクリート構造標準配筋要領図」で決められている項目をパラメータで設定できるようにした。鉄筋 BIM モデルを自動作成させるための配筋設定として物件設定と配筋要領を作成する。前者は物件毎にパラメータとして設定する項目（例えば、定着方法や継手方法の選択など）を表示する物件設定、後者は JASS5 の基準に準じて物件に関わらず決まっている項目（例えば、鉄筋の最外形寸法や折り形状の寸法など）を表示する配筋要領とする。前者は鉄筋 BIM モデルをはじめて使用する場合には必ず設定する必要がある。一方、後者については一般的な設定項目であるため、一度設定をしておけば変更をする必要がない項目になる。いずれも外部ファイル（指定書式で作成された Excel）で作成した設定項目をインポートすることができるものとした。なお、鉄筋 BIM モデルに反映される優先順位は、物件設定で指定された数値とする。外部ファイルの形式で設定項目を確認することができるようになるため、Revit の画面上で設定項目を確認する手間を無くした。なお、Revit で設定した項目をエクスポートして同様に確認することができる。以下から順に設定項目を示す。

### （1）物件設定の設定項目

物件毎にパラメータ設定する項目を表 7-2 に示す。グレーの項目は鉄筋 BIM モデルを作成するために、専用で定義している項目になる。設定する画面例として項番 10 の角主筋位置を図 7-11 に示し、項番 12 の定着設定を図 7-12 に示す

表 7-2 物件設定として設定する項目

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
1	物件設定	—
2	└ 建物情報	プロジェクト名を登録する
3	└ 配筋設定	—
4	├ └ 粗骨材寸法	使用する粗骨材の寸法を設定する
5	├ └ 鉄筋最小間隔	各鉄筋の呼び径単位に鉄筋最小間隔を配筋要領指定とするか、個別指定とするか設定する
6	├ └ 設計かぶり厚設定	各部材における設計かぶり厚を設定する
7	├ └ 鉄筋の配置設定	鉄筋を配置する際に移動する寸法の単位や干渉許容寸法を設定する

項番	ツリーレイアウト				設定できる内容
8			└	曲げ直径	鉄筋の呼び径、鉄筋強度別に曲げ直径を選択する
9			└	柱配筋	—
10			└	角主筋芯位置	角主筋の位置をかぶり厚から決定するか、角主筋位置指定とするかを設定する
11			└	寄せ筋間隔	寄せ筋の間隔を設定する
12			└	定着設定	各フロアにける定着方法を設定する
13			└	継手設定	各フロアにおいてどの継手を使用するかを設定する
14			└	継手位置	継手別に配置位置を設定する。継手にかかる帯筋の設定も可能とする
15			└	仕口部帯筋	仕口部帯筋の設定をする。Excel ファイルによるリストで個別に設定することも可能とする
16				梁配筋	—
17			└	側主筋芯位置	側主筋の位置をかぶり厚から決定するか、側主筋位置指定とするかを設定する
18			└	梁主筋芯レベル-1 段筋	1 段筋のレベル(高さ)をかぶり厚から決定するか、側主筋位置指定とするかを設定する
19			└	梁主筋芯レベル-2・3 段筋	2 段、3 段筋のレベル(高さ)を鉄筋最小間隔とするか、個別指定とするかを設定する
20			└	水平投影定着長さ	水平投影定着長さを設定する
21			└	主筋の一次筋方向	先落とし、後落としの方向を設定する
22			└	梁幅>柱幅の場合のあばら筋	梁幅が柱幅より大きい躯体の場合にあばら筋の配置方法を設定する
23			└	カットオフ長さ	カットオフの長さを Excel ファイルによるリストで個別に設定する
24			└	定着設定	—
25				└ 基礎梁	各部材、各フロアにおける定着方法を設定する
26				└ 基礎小梁	
27				└ 片持ち基礎梁	
28				└ 片持ち基礎小梁	
29				└ 大梁	
30				└ 小梁	
31				└ 片持ち大梁	
32				└ 片持ち小梁	
33			└	継手設定	—
34				└ 基礎梁	各部材、各フロアにおいてどの継手を使用するかを設定する
35				└ 基礎小梁	
36				└ 片持ち基礎梁	
37				└ 片持ち基礎小梁	
38				└ 大梁	
39				└ 小梁	
40				└ 片持ち大梁	
41				└ 片持ち小梁	
42			└	継手位置	—
43				└ 基礎梁	各部材、継手別に配置位置を設定する。継手にかかるあばら筋の設定も可能とする
44				└ 基礎小梁	

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
45	ト 片持ち基礎梁	
46	ト 片持ち基礎小梁	
47	ト 大梁	
48	ト 小梁	
49	ト 片持ち大梁	
50	L 片持ち小梁	
51	L 貫通孔補強	—
52	ト 基礎梁	各部材におけるスリーブ補強方法を設定する
53	ト 基礎小梁	
54	ト 片持ち基礎梁	
55	ト 片持ち基礎小梁	
56	ト 大梁	
57	ト 小梁	
58	ト 片持ち大梁	
59	L 片持ち小梁	
60	L 杭頭補強筋	杭頭補強筋の設定する

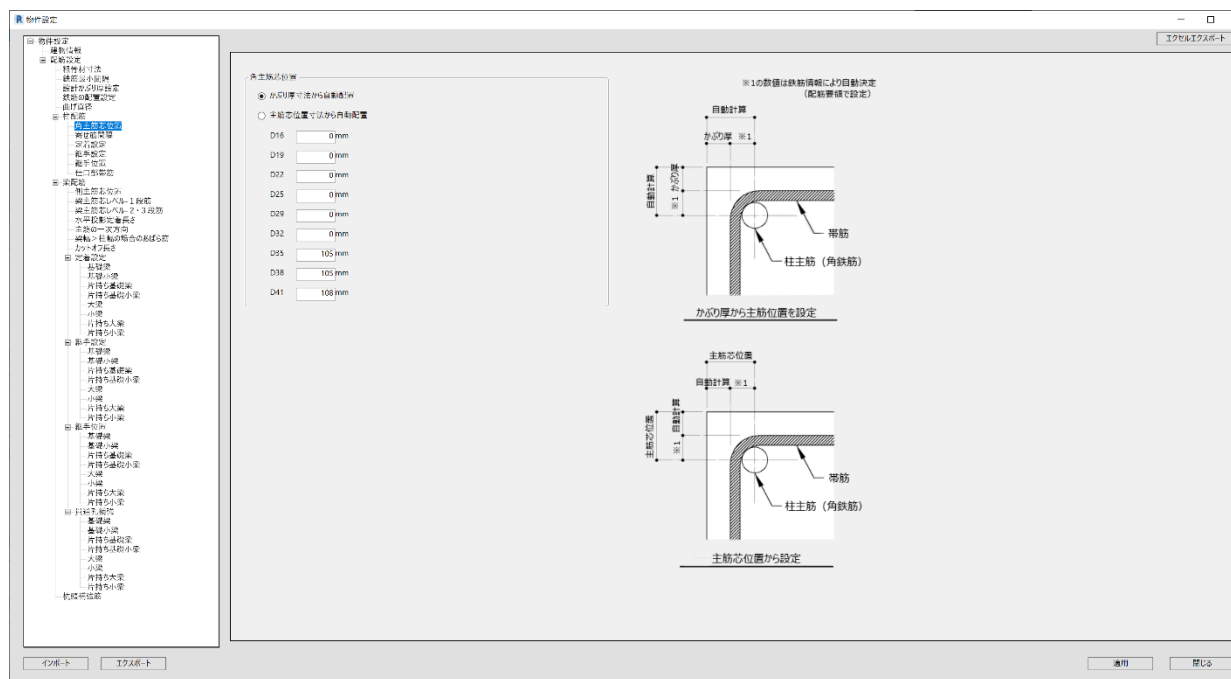


図 7-11 物件設定の画面（10 番の設定）

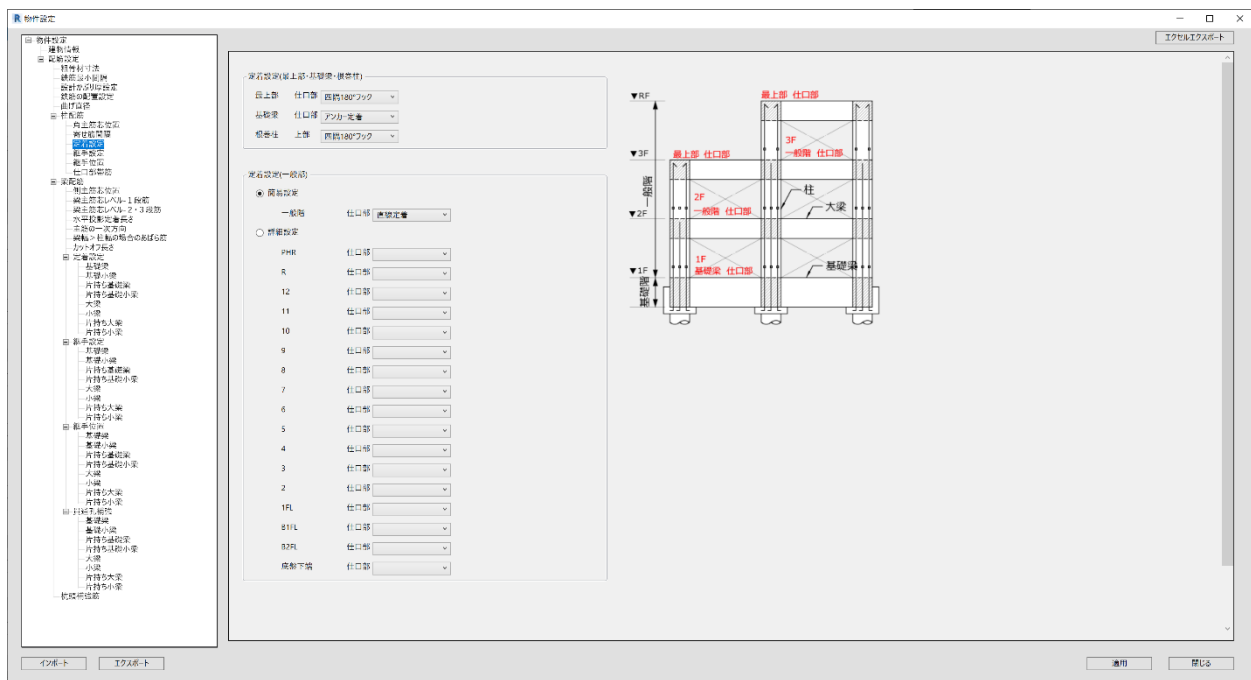
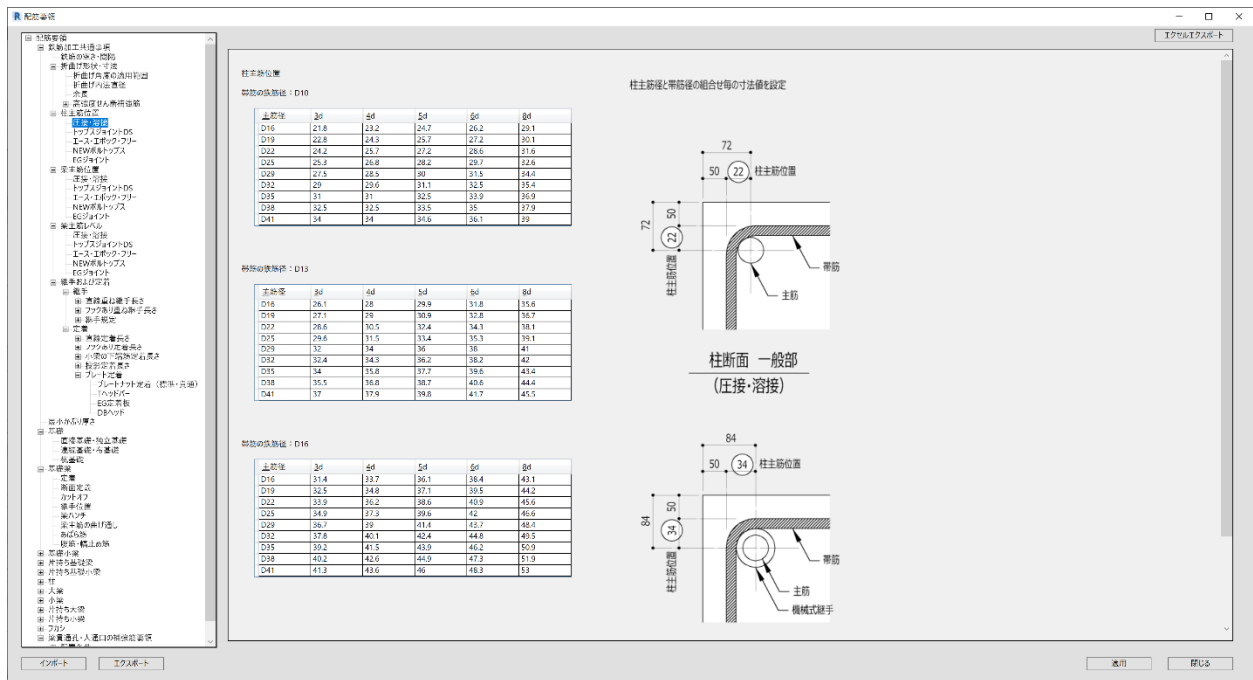


図 7-12 物件設定の画面（12 番の設定）





## (2) 配筋要領の設定項目

配筋要領としてパラメータ設定する項目を表 7-3 に示す。設定する画面例として項番 12 の圧接・溶接を図 7-13 に示し、項番 39 の重ね継手 (SD295A) を図 7-14 に示す。

表 7-3 配筋要領として設定する項目

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
	配筋要領	—
1	└ 鉄筋加工共通事項	—
2	├ └ 鉄筋のあき・間隔	鉄筋の呼び径別に鉄筋の最外径を設定する
3	├ └ 折り曲げ形状・寸法	—
4	├ └ └ 折り曲げ角度の適用範囲	角度の適用範囲を設定する
5	├ └ └ 折り曲げ内法直径	鉄筋の呼び径、鉄筋強度別に折り曲げ内法直径を設定する
6	├ └ └ 余長	角度と鉄筋の呼び径別に余長を設定する
7	├ └ └ 高強度せん断補強筋	—
8	├ └ └ └ KSS785	高強度鉄筋における余長と折り曲げ内法直径を設定する
9	├ └ └ └ SHD685	
10	├ └ └ └ SBPD1275	
11	├ └ 柱主筋位置	—
12	├ └ └ 圧接・溶接	継手別の柱主筋位置決定のための寸法を主筋径と帯筋径の組み合わせで設定する
13	├ └ └ トップスジョイント DS	
14	├ └ └ エース・エポック・フリー	
15	├ └ └ NEW ボルトトップス	
16	├ └ └ EG ジョイント	
17	├ └ 梁主筋位置	—
18	├ └ └ 圧接・溶接	継手別の梁主筋位置決定のための寸法を主筋径とあばら筋径の組み合わせで設定する
19	├ └ └ トップスジョイント DS	
20	├ └ └ エース・エポック・フリー	
21	├ └ └ NEW ボルトトップス	
22	├ └ └ EG ジョイント	
23	├ └ 梁主筋レベル	—
24	├ └ └ 圧接・溶接	継手別の梁主筋レベル(高さ)決定のための寸法を主筋径とあばら筋径の組み合わせで設定する
25	├ └ └ トップスジョイント DS	
26	├ └ └ エース・エポック・フリー	
27	├ └ └ NEW ボルトトップス	
28	├ └ └ EG ジョイント	
29	├ └ └ 継手および定着	—
30	├ └ └ 継手	—
31	├ └ └ 直線重ね継手長さ	—
32	├ └ └ └ L1	—
33	├ └ └ └ SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に重ね継手長さを設定する
34	├ └ └ └ SD345	

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
35	ト SD390	
36	L SD490	
37	ト フックあり重ね継手長さ	—
38	L L1h	—
39	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に重ね継手長さを設定する
40	ト SD345	
41	ト SD390	
42	L SD490	
43	L 継手既定	—
44	ト 圧接・溶接	圧接継手、溶接継手を使用した時の規定を設定する
45	L 機械式継手	—
46	ト トップスジョイント DS タイプ	トップスジョイント DS タイプを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
47	ト エースジョイント	エースジョイントを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
48	ト エボックジョイント	エボックジョイントを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
49	ト フリージョイント	—
50	ト F タイプ	フリージョイント F タイプを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
51	L FS タイプ	フリージョイント FS タイプを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
52	ト NEW ボルトトップス	NEW ボルトトップスを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
53	L EG ジョイント	EG ジョイントを使用した時の鉄筋間隔やあきを設定する
54	L 定着	—
55	ト 直線定着長さ	—
56	L L2	—
57	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
58	ト SD345	
59	ト SD390	
60	L SD490	
61	ト フックあり定着長さ	—
62	L L2h	—
63	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
64	ト SD345	
65	ト SD390	
66	L SD490	
67	ト 小梁の下端筋定着長さ	—
68	ト 直線定着長さ	—
69	L L3	—
70	ト 小梁	—
71	ト SD295A	

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
72	ト SD345	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
73	L SD390	
74	L 片持ち小梁	—
75	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
76	ト SD345	
77	L SD390	
78	L フックあり定着長さ	—
79	L L3h	—
80	L 小梁	—
81	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
82	ト SD345	
83	L SD390	
84	ト 投影定着長さ	—
85	ト La	—
86	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
87	ト SD345	
88	ト SD390	
89	L SD490	
90	L Lb	—
91	ト SD295A	鉄筋強度とコンクリート強度別に定着長さを設定する
92	ト SD345	
93	L SD390	
94	L プレート定着	—
95	ト プレートナット定着（標準・貫通）	プレートナット定着を使用した時のかぶり厚さ、定着長さ、柱頭補強筋の設定する
96	ト T ヘッドバー	T ヘッドバーを使用した時のかぶり厚さ、定着長さ、柱頭補強筋の設定する
97	L EG 定着板	EG 定着板を使用した時のかぶり厚さ、定着長さ、柱頭補強筋の設定する
98	L DB ヘッド	DB ヘッドを使用した時のかぶり厚さ、定着長さ、柱頭補強筋の設定する
99	ト 最小かぶり厚さ	
100	ト 基礎	—
101	ト 直接基礎・独立基礎	直接基礎・独立基礎への配筋について、定着方法、定着長さ、中子筋形状などを設定する
102	ト 連続基礎・布基礎	連続基礎・布基礎への配筋について、定着方法、定着長さ、中子筋形状などを設定する
103	L 杭基礎	杭基礎への配筋について、定着方法、定着長さ、中子筋形状などを設定する
104	ト 基礎梁	—
105	ト 定着	基礎梁おける定着設定する
106	ト 断面定義	躯体の断面境界(左端、中央、右端)の寸法を指定する
107	ト カットオフ	端部(左端、右端)と中央のカットオフ長さを設定する

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
108	└ 継手位置	継手を配置する位置を設定する
109	└ 梁ハンチ	ハンチのある梁の配筋について、折り曲げ通すか否か、定着長さを設定する
110	└ 梁主筋の曲げ通し	連続する梁において段差が発生している躯体への配筋について、折り曲げ通すか否か設定する
111	└ あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
112	└ 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※現システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
113	└ 基礎小梁	—
114	└ 定着	基礎小梁における定着設定する
115	└ 断面定義	躯体の断面境界(左端、中央、右端)の寸法を内端、外端で指定する
116	└ カットオフ	端部(左端、右端)と中央のカットオフ長さを設定する
117	└ 継手位置	継手を配置する位置を設定する
118	└ あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
119	└ 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
120	└ フカシ部への主筋定着	フカシ躯体への定着長さを設定する
121	└ 主筋の斜め定着	垂直定着できない場合に斜め定着するか水平定着とするかを設定する
122	└ 片持ち基礎梁	—
123	└ 定着	片持ち基礎梁における定着設定をする
124	└ 断面定義	躯体の断面境界(元端、先端)の寸法を指定する
125	└ カットオフ	元端と先端のカットオフ長さを設定する
126	└ 継手位置	継手を配置する位置を設定する
127	└ 梁ハンチ	ハンチのある梁の配筋について、折り曲げ通すか否か、定着長さを設定する
128	└ 梁主筋の曲げ通し	連続する梁において段差が発生している躯体への配筋について、折り曲げ通すか否か設定する
129	└ あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
130	└ 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
131	└ 片持ち基礎小梁	—
132	└ 定着	片持ち基礎梁における定着設定をする
133	└ 断面定義	躯体の断面境界(元端、先端)の寸法を指定する
134	└ カットオフ	元端と先端のカットオフ長さを設定する
135	└ 継手位置	継手を配置する位置を設定する
136	└ あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
137	ト 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
138	ト フカシ部への主筋定着	フカシ躯体への定着長さを設定する
139	L 主筋の斜め定着	垂直定着できない場合に斜め定着するか水平定着とするかを設定する
140	ト 柱	—
141	ト 定着	柱における定着設定をする
142	ト 断面定義	躯体の断面境界(柱頭、柱脚)の寸法を指定する
143	ト カットオフ	柱頭と柱脚のカットオフ長さを設定する
144	ト 継手位置	—
145	ト 圧接継手	継手を配置する位置を設定する
146	L A 級継手	継手を配置する位置を設定する
147	ト 仕口部の範囲	本システムにおける仕口部の識別範囲を提示する
148	ト 帯筋	帯筋筋(帯筋)の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
149	ト 柱最上部	柱最上部における定着長さの設定や、ひび割れ防止筋やかご型主筋の設定する
150	ト 柱最下部	柱最下部における基礎への定着長さを設定する
151	ト 柱絞り	柱の断面形状が変わる場合の柱主筋の折り曲げや定着方法、定着長さを設定する
152	L 柱仕口部の補強	60mm を超える構造物の仕口部に配置する補強筋の設定をする
153	ト 大梁	—
154	ト 定着	—
155	ト 一般階	一般階にある大梁の定着設定をする
156	ト 最上階	最上階にある大梁の定着設定をする
157	L 柱絞り部	柱絞り部の大梁の定着設定をする
158	ト 断面定義	躯体の断面境界(左端、中央、右端)の寸法を指定する
159	ト カットオフ	端部(左端、右端)と中央のカットオフ長さを設定する
160	ト 継手位置	継手を配置する位置を設定する
161	ト 梁ハンチ	ハンチのある梁の配筋について、折り曲げ通すか否か、定着長さを設定する
162	ト 最上部の柱頭補強	最上部の梁と柱に配置する柱頭補強筋の設定する
163	ト 梁主筋の曲げ通し	連続する梁において段差が発生している躯体への配筋について、折り曲げ通すか否か設定する
164	ト あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
165	L 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
166	ト 小梁	—
167	ト 定着	小梁における定着設定をする

項番	ツリーレイアウト	設定できる内容
168	ト 断面定義	躯体の断面境界(左端、中央、右端)の寸法を内端、外端で指定する
169	ト カットオフ	端部(左端、右端)と中央のカットオフ長さを設定する
170	ト 継手位置	継手を配置する位置を設定する
171	ト フカシ部への主筋定着	フカシ躯体への定着長さを設定する
172	ト 梁下同レベルの主筋定着	小梁に取りつく梁の主筋位置別に定着方法や定着長を設定する
173	ト 主筋の斜め定着	垂直定着できない場合に斜め定着するか水平定着とするかを設定する
174	ト 片持ち梁先端の納まり	片持ち梁に取りつく小梁に対して配置する補強筋の定着方法や定着長を設定する
175	ト あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
176	L 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
177	ト 片持ち大梁	—
178	ト 定着	—
179	ト 一般階	一般階にある片持ち大梁の定着設定をする
180	L 最上階	最上階にある片持ち大梁の定着設定をする
181	ト 断面定義	躯体の断面境界(元端、先端)の寸法を指定する
182	ト カットオフ	元端と先端のカットオフ長さを設定する
183	ト 継手位置	継手を配置する位置を設定する
184	ト 先端小梁内あばら筋	片持ち大梁に取りつく小梁に対して配置する補強筋を設定する
185	ト 梁ハンチ	ハンチのある梁の配筋について、折り曲げ通すか否か、定着長さを設定する
186	ト 梁主筋の曲げ通し	連続する梁において段差が発生している躯体への配筋について、折り曲げ通すか否か設定する
187	ト あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
188	L 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する (※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
189	ト 片持ち小梁	—
190	ト 定着	片持ち小梁における定着設定をする
191	ト 断面定義	躯体の断面境界(元端、先端)の寸法を指定する
192	ト カットオフ	元端と先端のカットオフ長さを設定する
193	ト 継手位置	継手を配置する位置を設定する
194	ト 先端小梁内あばら筋	片持ち小梁に取りつく小梁に対して配置する補強筋の設定をする
195	ト あばら筋	あばら筋の形状として使用して問題ない形状と、Revit 上に表現する形状を設定する
196	ト 腹筋・幅止め筋	腹筋の交差部長さや形状、幅止め筋の余長、折り曲げ内法直径、形状を設定する

項番	ツリーレイアウト			設定できる内容
				(※システムでは、腹筋の端部形状は直線(フック無し)のみ)
197		└	フカシ部への主筋定着	フカシ躯体への定着長を設定する
198		└	梁下同レベルの主筋定着	小梁に取りつく梁の主筋位置別に定着方法や定着長を設定する
199		└	主筋の斜め定着	垂直定着できない場合に斜め定着するか水平定着と するかを設定する
200		└	フカシ	—
201		└	柱フカシ	各部材のフカシに配置する各種フカシ筋について定 着方法、定着長を設定する
202		└	梁フカシ	
203		└	梁貫通孔・人通口の補強筋要領	—
204		└	配置条件	—
205		└	在来補強	—
206			└ 基礎梁	躯体別に在来補強にて梁貫通孔・人通口に補強を行 う場合の孔に対する制限事項を設定する
207			└ 基礎小梁	
208			└ 片持ち基礎梁	
209			└ 片持ち基礎小梁	
210			└ 大梁	
211			└ 小梁	
212			└ 片持ち大梁	
213			└ 片持ち小梁	
214		└	既製品	—
215			└ MAX ウェブレン	MAX ウェブレンにて梁貫通孔・人通口に補強を行う 場合の孔に対する制限事項を設定する
216			└ ダイヤレン NS	ダイヤレン NS にて梁貫通孔・人通口に補強を行う 場合の孔に対する制限事項を設定する
217		└	U 形補強筋の配置	U 形補強筋の配置条件、鉄筋径、鉄筋強度を設定す る
218		└	補強筋条件	—
219		└	在来補強	—
220		└	φ 25- φ 100	在来補強にて孔径別に補強筋(タテ筋、ヨコ筋、斜め 筋、上下あばら筋)を設定する
221		└	φ 125- φ 200	
222		└	φ 225- φ 300	
223		└	φ 325- φ 400	
224		└	φ 450- φ 600	
225		└	φ 650- φ 800	
226		└	φ 850- φ 1000	
227		└	既製品	—
228		└	MAX ウェブレン	MAX ウェブレンにて孔径別に補強筋(孔際あばら 筋、水平補強筋、上下あばら筋)を設定する
229		└	ダイヤレン NS	ダイヤレン NS にて孔径別に補強筋(孔際あばら筋、 水平補強筋、上下あばら筋)を設定する



## 7-5 鉄筋自動配置に必要な自動配置ロジックの定義

前節では鉄筋 BIM モデルを自動配置するために設定が必要な項目を、配筋設定（物件設定と配筋要領）として示した。それらはあくまでも単体規定であるため、実際に鉄筋部材を自動配置するためには、配筋設定で決められた数値等を守りながら鉄筋を自動配置する作業フローと複合規定として鉄筋の納まりを確定させるための自動配置ロジックを準備する必要がある。すでに日常業務の中で総合建設工事会社の鉄筋工事担当者や鉄筋専門工事会社の職長が構造図を見ながら頭の中で鉄筋の配置をイメージしており、それらの知見から鉄筋配置を検討する際の全体ワークフローや柱主筋・梁主筋を配置するワークフロー、仕口部分において鉄筋が干渉した場合の回避方法を中心として鉄筋 BIM モデルの自動配置を実施するための作業の標準化を試みる。

表 7-4 に鉄筋部材の自動配置を対象とする部材名称と鉄筋分類、鉄筋種類を示す。

表 7-4 配置する部材と鉄筋種類一覧表

大分類	部材名称	鉄筋分類	鉄筋種類
構造柱	RC 柱	主筋・芯鉄筋	主筋、芯鉄筋
		主筋以外	帯筋、中子筋、ひび割れ防止筋、かご型主筋、かんざし筋、仕口部補強筋
構造フレーム	RC 大梁 RC 小梁 基礎梁 基礎小梁 RC 片持梁 RC 片持小梁 片持基礎梁 片持基礎小梁	主筋	主筋
		主筋以外	あばら筋、中子筋、腹筋、幅止め筋、先端補強あばら筋、柱内拘束筋
一般モデル	独立基礎 A 独立基礎 B 連続基礎	基礎	上端筋（はかま筋）、下端筋、中子筋、横筋
構造基礎	杭	杭頭補強筋	杭頭補強筋
一般モデル	柱フカシ	フカシ筋	フカシ主筋、フカシ帯筋
	梁フカシ	フカシ筋	フカシ主筋、フカシあばら筋、フカシ腹筋
	梁貫通孔 円形 梁貫通孔 半円形 梁貫通孔 角形 人通口 円形 人通口 半円形 人通口 角形	スリーブ補強筋	上部・下部あばら筋、U 形補強筋、斜め筋、水平補強筋、MAX ウェブレン、ダイヤレン NS

### 鉄筋配置の全体ワークフロー

初めに総合建設工事会社の技術者や鉄筋専門工事会社の職長らが鉄筋配置を検討するために頭の中で浮かべている作業手順を前提にして、鉄筋 BIM モデルの自動配置に関わる全体ワークフローを図 7-15 に示す。全体のワークフローの考え方を述べた後に「①柱主筋の配置」から「⑨杭頭補強筋」に関する自動配置ロジックを順次述べる。

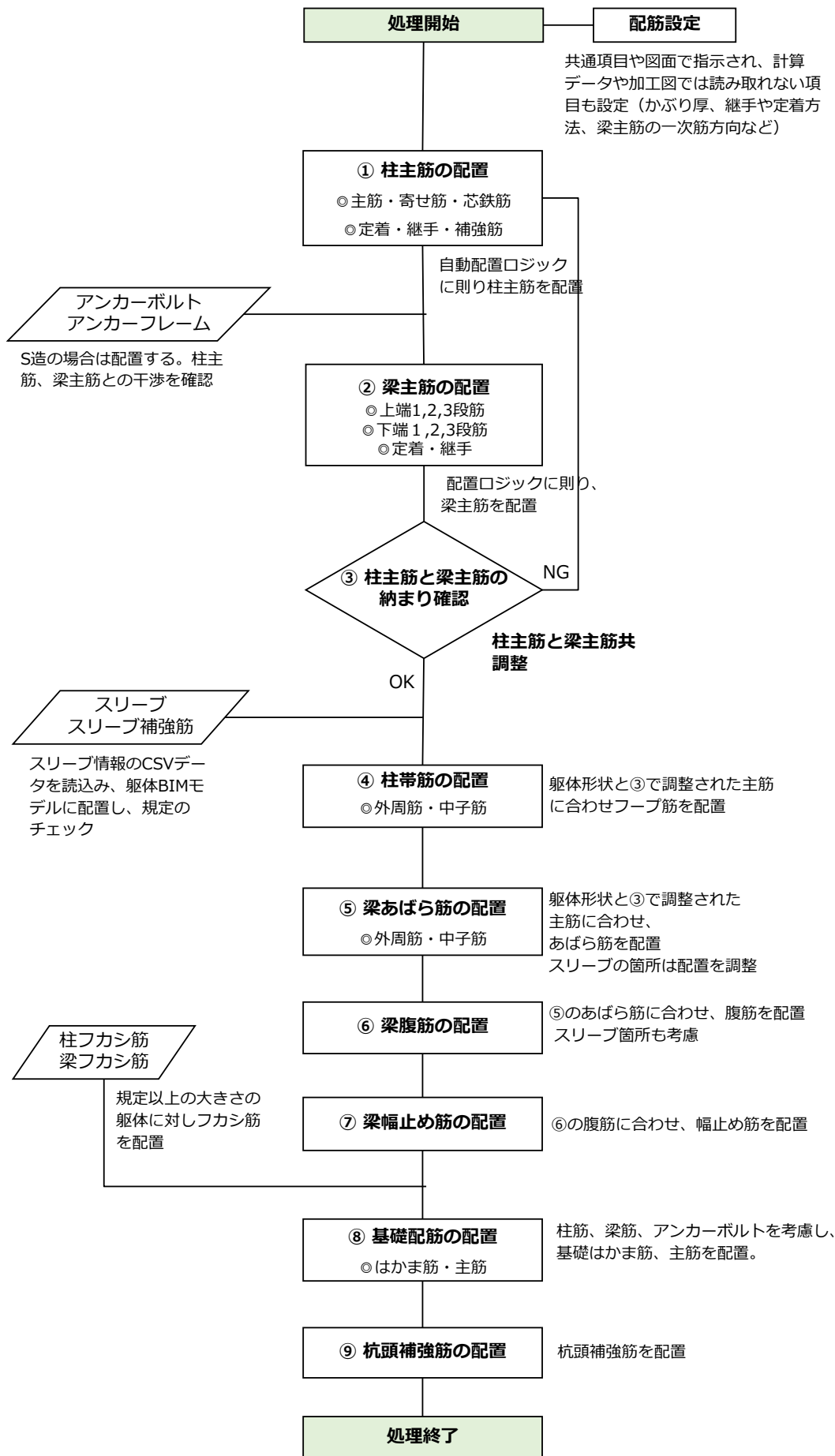


図 7-15 鉄筋配置の全体フロー図

鉄筋 BIM モデルの自動配置を実行する前には、必ず配筋設定においてパラメータの設定をする。設定された後の第一段階では「①柱主筋の配置」を実行する。柱主筋は最下部から最上階まで全フロアを対象として各階の部材断面リストを参照する。各階毎に主筋が仮配置されたら、かぶり厚さや鉄筋最小間隔などの配筋設定のパラメータで指定された入力値により自動配置する。配置位置は均等配置を基準として定着や継手の処理を実行する。この段階で柱主筋同士が配筋設定に準拠した状態をつくる。柱主筋が配置された後には「②梁主筋の配置」を実行する。梁主筋については各階毎の部材断面リストを参照するのみで良い。柱主筋と同様に配筋設定で入力された値を遵守して配置させる。定着の納まりまで検討し、梁主筋同士が配筋設定に準拠した状態にするが、柱主筋との干渉はこの段階では気にしない。柱主筋と梁主筋が配置された後は、「③柱主筋と梁主筋の納まり確認」としてお互いの配置位置から干渉の状況を確認する。主筋同士が干渉する場合は、配筋設定の基準内でそれぞれの主筋を自動で移動させて主筋同士の干渉を回避させる。その際は柱主筋と梁主筋を移動させて回避させる自動配置ロジックを使用する。自動配置で解決できない場合は、技術者がシステムから抽出された不具合理由を解決させるために、主筋の配置方法や構造断面寸法の変更を考える必要がある。

柱主筋と梁主筋の配置に問題がないことが確認されたら、「④柱帯筋の配置」と「⑤梁あばら筋の配置」、「⑥梁腹筋の配置」、「⑦梁幅止め筋の配置」を実行する。これら一連の作業が完了したら「⑧基礎配筋の配置」として柱主筋と基礎梁主筋の鉄筋と干渉しない箇所に基礎の鉄筋を配置させる。鉄筋の配置は可能な範囲で均等配置とする。最後に「⑨杭頭補強筋の配置」を実行し所定の本数を均等配置する。

梁貫通孔や人通口への補強筋の配置は、躯体図 BIM モデルの躯体情報から配置位置を自動判定し、配筋設定を遵守して主筋との干渉やあばら筋等の配置位置を調整する。補強筋を配置する際は配筋設定で指定した仕様や数値等で配置するとともに、躯体の断面サイズに対してスリーブ径の大きさや配置位置に問題がないかも確認する。フカン筋は、柱と梁の鉄筋配置後、配置された帯筋やあばら筋のピッチに合わせて配置する。

#### ① 柱主筋配置の自動配置ロジック

柱主筋配置のワークフローを図 7-16 に示す。「フロー 1」として初めに柱部材の断面リストを最下部から最上部まで全フロアを参照して主筋の最大径と最大本数、帯筋の最大径から最大となる組み合わせを抽出し、柱主筋のみを対象として配置位置を決定させる。このような手順にするのは、最下部から最上部まで通す柱主筋を決めるためである。また、柱主筋は上階にいくに従い、主筋本数の減少や鉄筋径が細くなると考えがちであるが、場合により主筋本数の増加や鉄筋径が太くなる可能性が考えられるため、断面リストの見落としを防ぐための処置でもある。最下部から最上部までの通す主筋を選択するためにも重要な手順となる。「フロー 2」では「フロー 1」で確定された主筋の最大の鉄筋径と帯筋の径から角鉄筋の位置を決める。決める際は、構造躯体面から指定のかぶり厚さを帯筋の外周から確保し、帯筋の径と主筋径の組み合わせにより主筋芯を決める。主筋位置を標準化するために配筋設定で鉄筋径による組み合わせの数値を準備しておく。機械式継手を使用する場合は、主筋径より機械式継手の外形が大きくなるため、かぶり厚さの不足が発生しないように配置を決める。「フロー 3」では寄せ筋の有無を最下階から最上階まで全ての階で確認し、配置が必要な場合は鉄筋

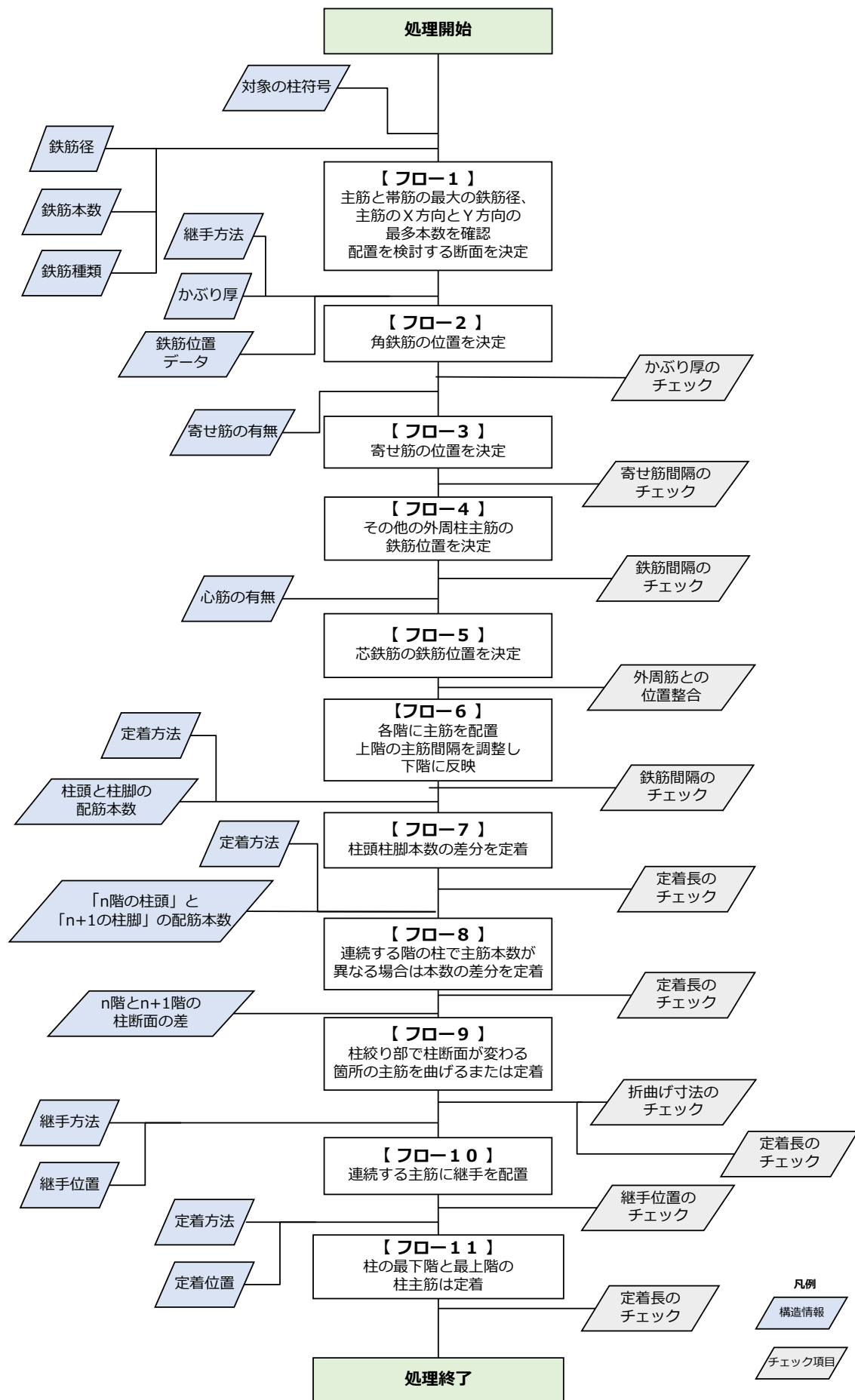


図 7-16 柱主筋の配置フロー図

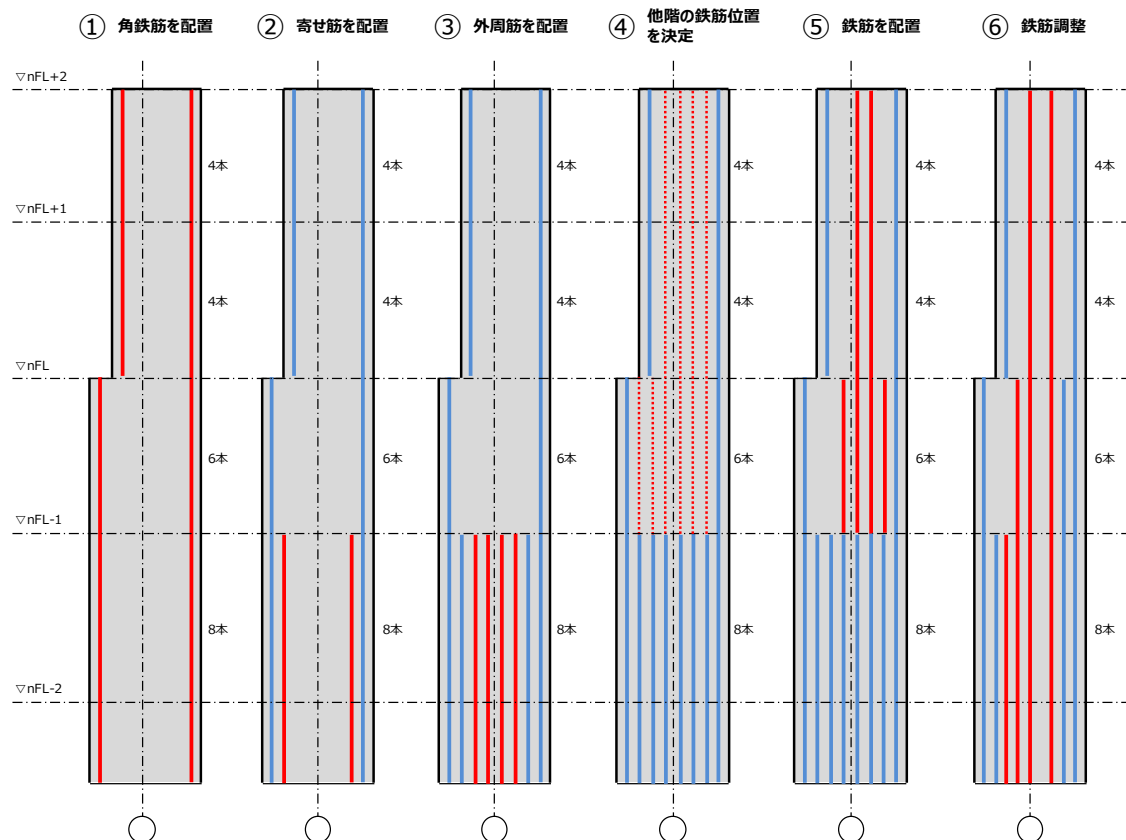


図 7-17 各階に柱主筋を配置するロジック図

の最小間隔で主筋の横に配置する。「フロー 4」では角鉄筋と寄せ筋の本数を除いた配置本数を確認し均等割で計算し主筋位置を決める。半端な数値が出る場合は両端で調整を実施する。その際には鉄筋の最小間隔が確保できているのか確認する。「フロー 5」では外周の主筋と同じ位置に芯鉄筋を配置する。構造図に記載がある場合はその位置に従うが、読み取れない場合は四角形を構成するように配置する。ここまでは抽出された柱主筋のみを対象としたが、「フロー 6」ではじめて各階に主筋を配置していく。各階に主筋を配置する自動配置ロジックを図 7-17 に示す。柱主筋の配置順序は、①各階の角鉄筋、②寄せ筋、③最多配筋本数の階に外周筋を配置する。④では③で決めた位置を他階の主筋の位置として必要本数との調整をはかる。調整方法の順序は必要でない主筋を除外する。除外する手順は、柱躯体から外れる場合、角鉄筋の外側に配置される場合、角鉄筋の内側に配置されるが鉄筋間隔が不足する場合は除外の対象となる。⑤他階の主筋を本数に合わせて配置させるが、この時に上階までの通る鉄筋を決める。⑥主筋が各階に配置されたら主筋の間隔が大きい箇所を抽出し、その階の主筋位置を調整し確定させる。「フロー 7」では柱頭と柱脚の主筋本数が異なる場合に主筋位置を規定の長さで止める。「フロー 8」では  $n$  階の柱頭と  $n+1$  階の柱脚で主筋本数が異なる場合は本数が多い主筋を規定の長さで止める。「フロー 9」では連続する階で柱部材の躯体断面寸法が異なる場合に主筋の柱絞りの処理（鉄筋を曲げる）を仕口箇所で行い、基本的には主筋を連続させる。主筋の曲げ角度が  $1/6$  を超える場合や柱躯体の段差が 150 を超える場合は主筋を規定の長さで定着させる。「フロー 10」では連続する主筋に対して継手を配置する。継手の位置は継手の種類により

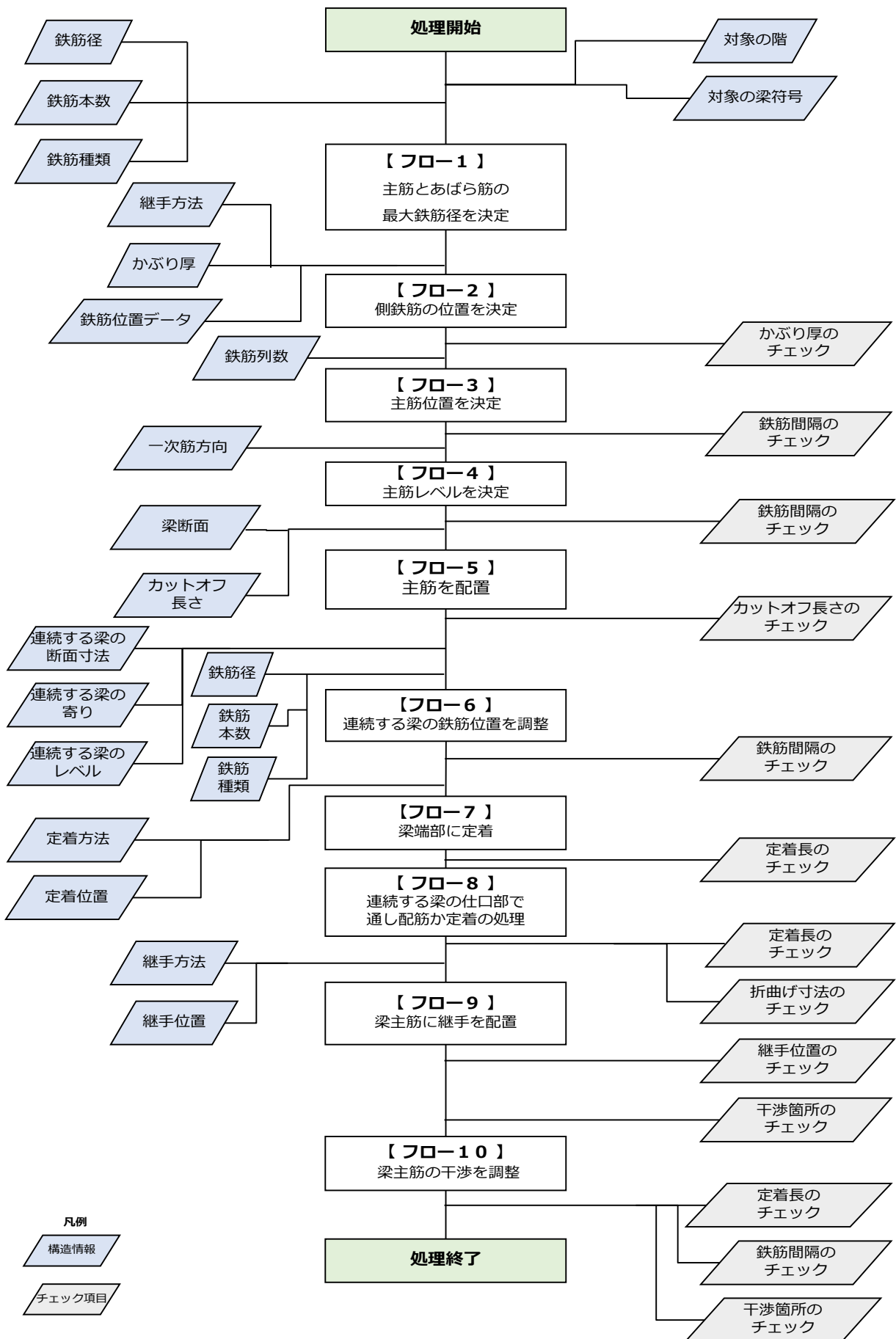


図 7-18 梁主筋の配置フロー図

異なるため、配筋設定に準拠した位置に配置する。「フロー11」では最下階と最上階の主筋と心筋の定着処理を配筋設定に準拠して処理する。以上の処理で柱主筋の配置を終わらせる。

## ② 梁主筋配置の自動配置ロジック

梁主筋配置のワークフローを図 7-18 に示す。梁主筋は柱主筋と異なり階ごとに梁部材リストを参照して梁主筋を配置する。検討は梁部材単独として柱主筋の配置はこのタイミングでは考慮しなくても良いものとし、調整は次の段階とする。「フロー 1」として検討する階における梁躯体の断面寸法を確認し、梁主筋とあばら筋の最大径を確認し、最大主筋径と最大あばら筋径を抽出する。柱主筋と同様にできるだけ主筋を曲げずに配置検討を実施したいからであり、径の小さい主筋で鉄筋間隔を決めると鉄筋間隔が不足してしまう恐れがある。「フロー 2」では「フロー 1」で抽出した梁主筋とあばら筋の径とかぶり厚さから側の主筋の水平位置を確定する。機械式継手を使用する場合は、主筋径より機械式継手の外径が大きくなり、かぶり厚さが不足する可能性が考えられるため、外径寸法を考慮する必要がある。「フロー 3」では側主筋を除いた主筋本数を確認し均等割で計算して残りの主筋配置を決める。半端な数値が出る場合は両端で調整を実施する。上端筋と下端筋、2 段筋、3 段筋は同じ配置位置とする。配置後は鉄筋の最小間隔が確保できているのか確認する。「フロー 4」では梁躯体断面に対して主筋のレベルを確定させる。X 方向に掛かる梁と Y 方向に掛かる梁が仕口箇所で交差するため、掛かる方向により梁主筋のレベルを変える必要がある。1 段筋を 1 次筋（先落とし）と 2 次筋（後落とし）で主筋レベルを変える。上端筋と下端筋ともに対象とする。「フロー 5」では、梁躯体に合わせて主筋を配置する。梁部材リストで端部と中央など鉄筋本数等が異なる場合は、

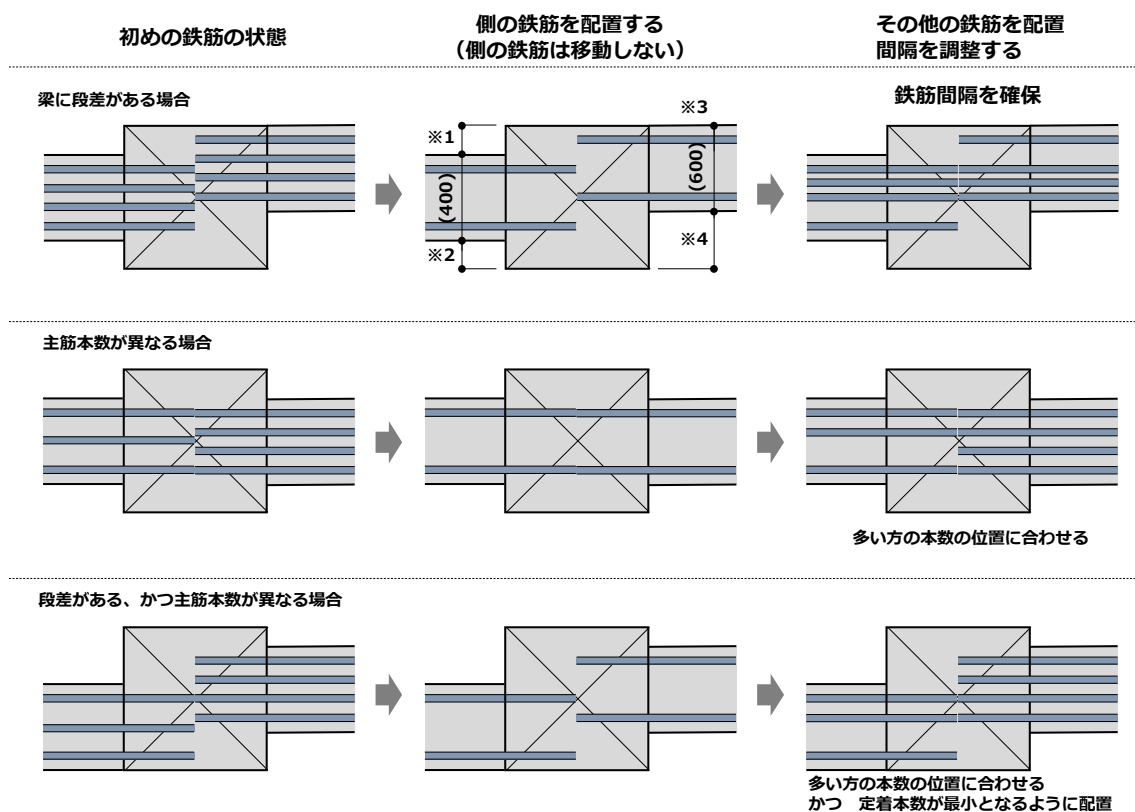


図 7-19 連続する梁主筋の接続に関する自動配置ロジック図 (平面)

配筋設定で決められた規定の定着長さで主筋を配置する。定着長さは直線定着でよい。梁の主筋定着やカットオフ長さ、継手位置は配筋設定に準拠させる。「フロー6」では連続する大梁の主筋を配置し主筋の位置がずれている場合は調整をする。

平面配置に関する自動配置ロジックを図7-19に示す。まず側の梁主筋を配置させるが、原則として側の主筋は動かさない。その後残りの主筋を配置し仕口箇所で定着本数が少なくなるように調整する。その際は最小鉄筋間隔を確保させる。立面の自動配置ロジックを図7-20に示す。基本的に平面の考え方と同様とし連続する主筋を調整し連続する主筋の位置を揃える。その際に鉄筋間隔が最小間隔以上の数値を確保できている場合は移動させず、確保できていない場合は主筋を移動させる。1段筋と2段筋など段数が異なってもつながることができるものとする。直交する梁主筋と干渉が発生する場合は、2段筋や3段筋を移動させるが、1段筋同士が干渉する場合は1本の鉄筋に対して干渉箇所が多い鉄筋を移動させる。「フロー7」では梁が連続していない端部の定着を確定させる。

定着位置は配筋設定を参照して配置する。「フロー8」では連続する梁の端部の主筋は通し配置とし、連続しない主筋の場合は定着させる。この段階の定着位置は配筋設定に準拠し直交方向の梁主筋との干渉は考慮しなくても良いものとする。「フロー9」では梁主筋に継手を設ける。継手位置はスパン毎に1箇所とし配筋設定から継手を配置させる。「フロー10」では梁主筋の定着が干渉している部分を調整する。定着処理を実施した梁主筋に直交方向の梁主筋が干渉している場合は、定着主筋を移動させて干渉を回避させる。

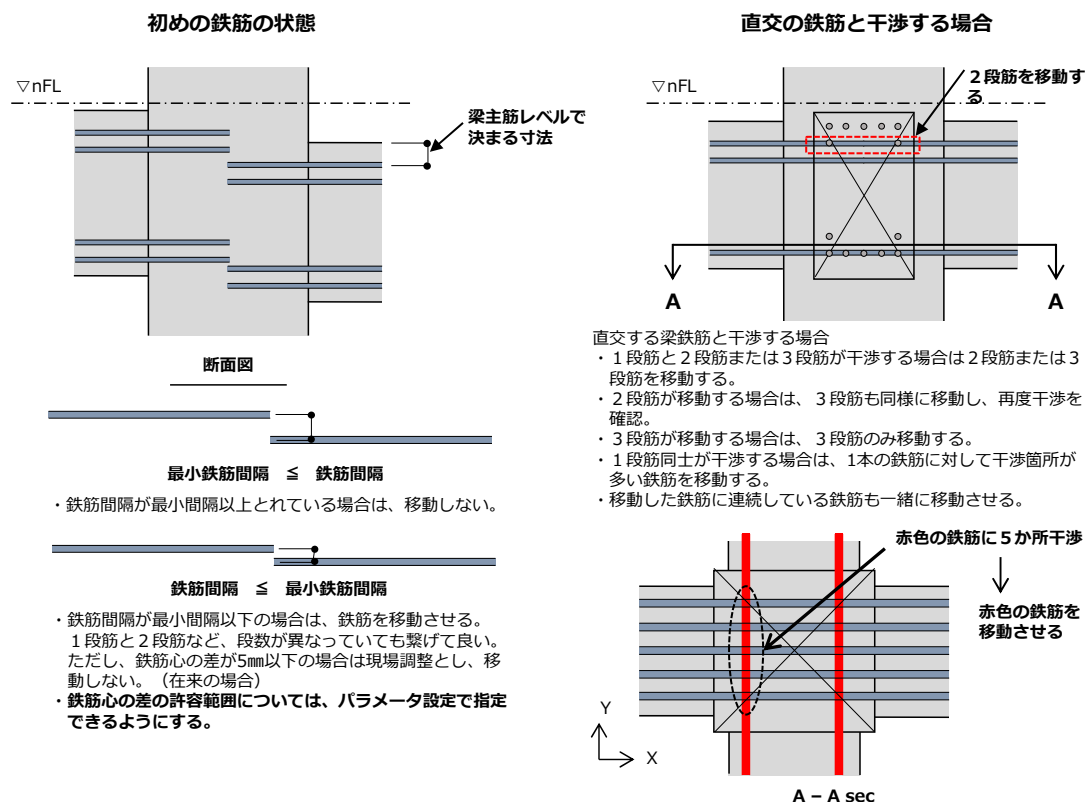


図 7-20 連続する梁主筋の接続に関する自動配置ロジック図 (立面)



### ③ 柱主筋と梁主筋の仕口箇所の自動配置ロジック

柱主筋と梁主筋の干渉回避に関する自動配置ロジックを図7-21に示す。はじめに柱主筋に対して梁主筋が干渉している箇所を抽出する。柱主筋と梁主筋のいずれかを移動させるのだが、柱主筋と梁主筋の側鉄筋は移動させないのを原則とする。ただし、梁の側鉄筋が柱の側鉄筋と干渉している場合は、梁の側鉄筋を柱主筋の内側に移動させるとし、柱の側鉄筋は移動させない。鉄筋調整の条件は以下とする。

- ・最小鉄筋間隔以上とする。
- ・梁主筋と柱主筋が干渉している場合は梁主筋を最初に移動させる
- ・ただし梁主筋が側鉄筋の場合は柱主筋を移動させる
- ・移動量が小さい方向に移動させる（等しい場合は内側へ移動）
- ・梁の主筋間隔<300、柱の主筋間隔<300とする
- ・梁幅≦柱幅のときは梁主筋を柱の角鉄筋の内側のみに配置する
- ・柱幅<梁幅のときは梁主筋を柱の角鉄筋の外側に配置して良い
- ・主筋の移動後は各々の梁の鉄筋間隔の差が最小となる位置とする（柱主筋も同様）

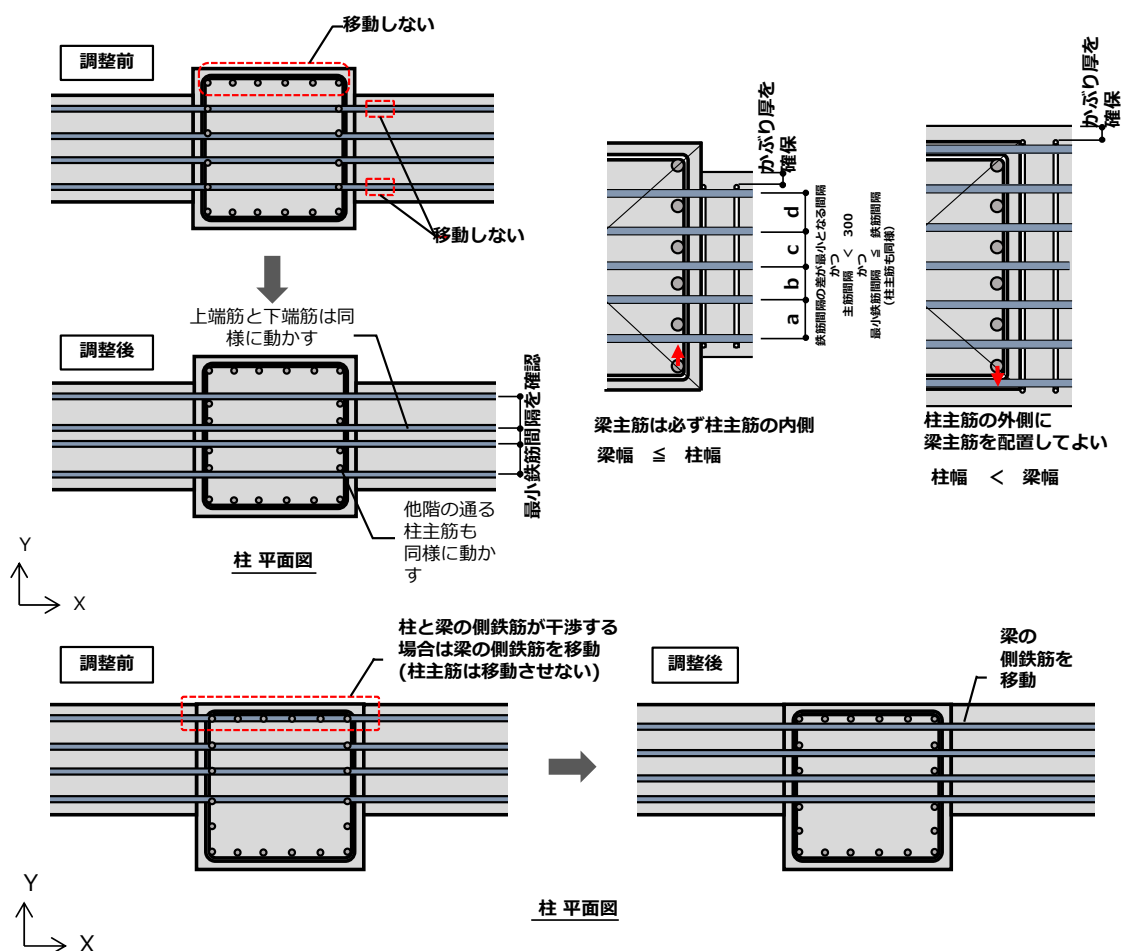


図7-21 柱主筋と梁主筋の配置調整

#### ④ 柱帯筋の自動配置ロジック

X 方向, Y 方向それぞれの帯筋のピッチを確認し柱主筋外周と中小筋を配置する。帯筋の割り付けは、柱脚部分は梁上端主筋の直上に配置し、柱頭部分は梁下端主筋の直下に配置する。配置本数は  $H_0/\text{ピッチ}$  の値を繰り上げて 1 本追加する。ピッチの調整は上部から帯筋ピッチで配置し柱脚部分で端数を調整する。仕口箇所は図 7-22 に示すように上端筋と下端筋の間に配置する。配置するピッチは通常部のピッチ  $\times 1.5$  倍もしくは構造図で指示された配置とする。仕口箇所の範囲は配筋設定で指定する。

#### ⑤ 梁あばら筋の自動配置ロジック

梁部材のあばら筋と中子筋を配置する。梁部材リストの断面情報からあばら筋のピッチを取得する。配置本数は  $L/\text{ピッチ}$  の値を繰り上げ 1 本追加する。あばら筋のピッチが端部と中央で本数が同じ場合は、図 7-23 に示すように柱面に第一あばら筋を配置し、通芯の若い方から片追いで配置し、最後に調整する。端部と中央でピッチが異なる場合は、端部 ( $L_0/4$ ) の位置と柱面に第一あばら筋を配置し、柱面から端部ピッチで配置し最後に調整する。中央は通芯の若い方から中央ピッチで片側から配置し、最後に調整する。

#### ⑥ 梁腹筋の自動配置ロジック

梁腹筋の本数を取得する。梁全長から配置する長さを決めるが端部は第一あばら筋の側から 30 外側に出す。腹筋の割り付けはあばら筋の上端と下端を均等に割り付ける位置に配置させる。

#### ⑦ 梁幅止め筋の自動配置ロジック

腹筋の位置に合わせて端部の腹筋とあばら筋の交差部に配置する。1000 ピッチ以内であばら筋のピッチに合わせて配置する。幅止め筋は上下の位置を揃えず斜めに配置する。

#### ⑧ 基礎配筋の自動配置ロジック

構造図から配筋の情報を取得する。かぶり厚さをパラメータから取得する。基礎主筋とはかま筋を配置する。定着方法は配筋設定のパラメータにて設定しておく。

#### ⑨ 杭頭補強筋の自動配置ロジック

構造図から杭情報を取得する。杭形状に合わせて杭頭補強筋を配置する。杭の内部の配筋は表現させない。杭頭補強筋は均等割で配置する。杭の位置は実際の施工状況により異なるため、鉄筋 BIM

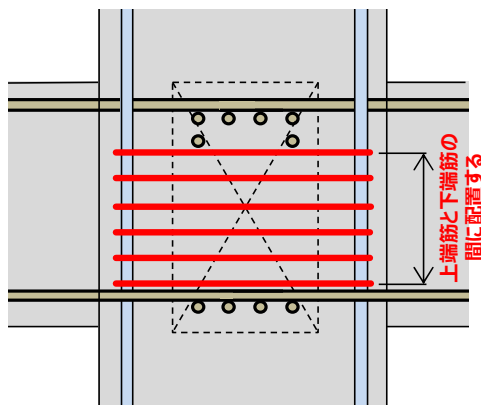
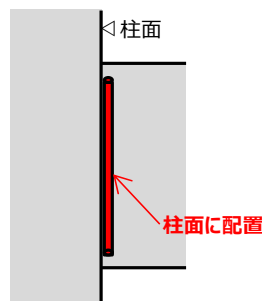


図 7-22 仕口部帯筋の配置



第一スターラップ位置

図 7-23 第1あばら筋の配置

モデルの段階で干渉を確認して調整をする処理は対象外とする。

## 7-6 鉄筋自動配置に必要な鉄筋形状

鉄筋 BIM モデルや配筋 BIM モデルを作成する際に、図 7-24 に示すように実際に加工をする鉄筋形状に合致した鉄筋形状のライブラリを事前に準備しておく必要がある。そこで、加工図・加工帳を作成するソフトウェア（DIN-CAD100 システム）においてすでに標準化されている加工形状から、BIM モデルに初期設定として準備しておくのが望ましい鉄筋形状の標準化を図った。物件により加工形状のライブラリが不足していても、既存の鉄筋形状のライブラリを編集することで、必要になる時に新規で作成することが可能である。今回の初期設定では、使用頻度が高いと思われる鉄筋形状を中心に初期設定を実施した。

DIN-CAD100 システムには図 7-25 や図 7-26 に示すように 617 タイプの鉄筋形状が用意されていた。システム開発を担っている担当者によると、絵符に加工形状を印刷するために求められるまま加工形状を用意した結果であり、すべては必要ないとの事だった。そこで 617 タイプの加工形状を「●：梁主筋で使用」、「●：梁部材で使用」、「■：柱主筋で使用」、「■：柱部材で使用」、「▲：梁（斜め）部材で使用」の 5 タイプに分類し、実際の建物で使用していた絵符の状況を参照して、印がつけられた 39 タイプのすべてを鉄筋/配筋 BIM システム用の鉄筋形状として準備することにした。鉄筋形状を柱（主筋・帯筋）、梁（主筋・あばら筋）と 4 つに分けて使用部位として準備した鉄筋形状の一覧を表 7-5 に示す。

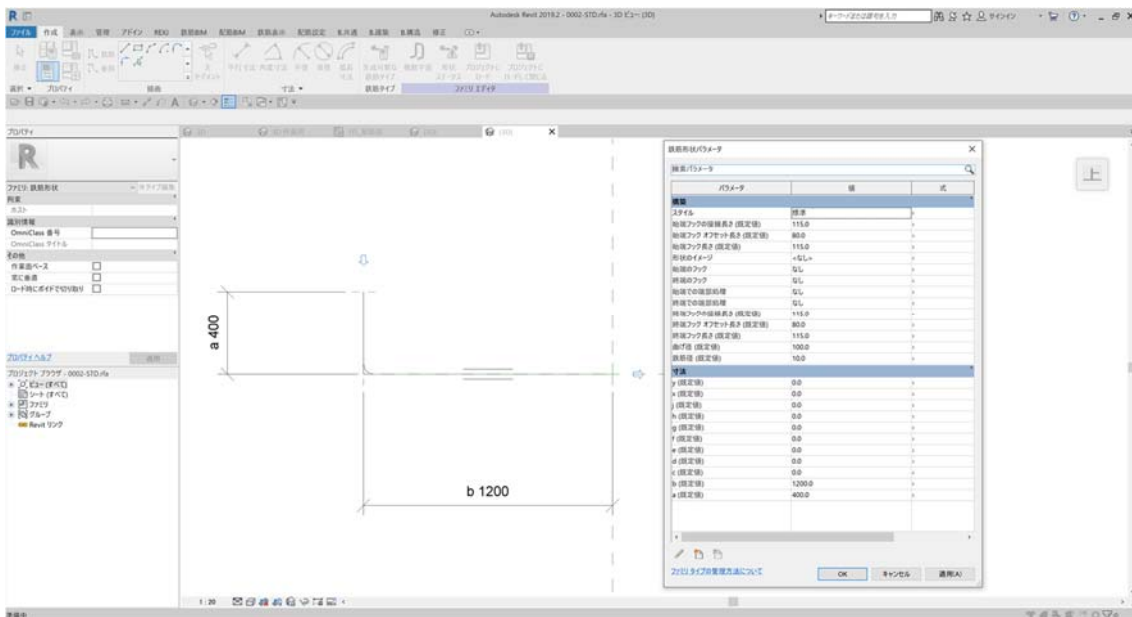


図 7-24 鉄筋形状のライブラリ（例）

0001	-	0002	-	0003	-	0004	-	0005	-
0006	-	0007	-	0008	-	0009	-	0010	-
0011	-	0012	-	0013	-	0014	-	0015	-
0016	-	0017	-	0018	-	0019	-	0020	-
0021	-	0022	-	0023	-	0024	-	0025	-

図 7-25 加工図・加工帳を作成するソフトウェアにある鉄筋形状 (部分 1)

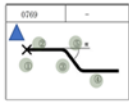
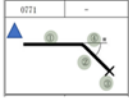
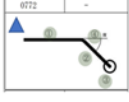


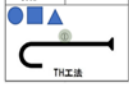
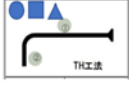
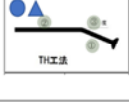
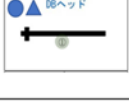




6421	-	6422	-	6423	-	6425	-	6426	-
支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64	
6427	-	6428	-	6429	-	6430	-	6432	-
支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64	
6451	-	6461	-	6462	-	6465	-	7802	-
支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)64		支点ローラー(ダボ)78	
7803	-	7806	-	7808	-	7809	-	7810	-
支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78	
7816	-	7821	-	7824	-	7842	-	8202	-
支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)78		支点ローラー(ダボ)82	

図 7-26 加工図・加工帳を作成するソフトウェアにある鉄筋形状 (部分 2)

表7-5 鉄筋形状一覧表

項番	イメージ	鉄筋形状 番号	鉄筋形状 ファミリ (.rfa)	柱		梁		始端フック (デフォルト値)	終端フック (デフォルト値)	備考
				主筋	帯筋	主筋	肋筋			
1		0001	0001-STD	○	—	○	—	—	—	
2		0002	0002-STD	○	—	○	—	—	—	
3		0003	0003-STD	○	—	○	—	—	—	
			0003-SH	—	○	—	○	—	—	
4		0004	0004-STD	○	—	○	—	—	—	
5		0008	0008-STD	○	—	○	—	180	180	
			0008-SH	—	○	—	○	180	180	
6		0009	0009-SH	—	○	—	○	*(135)	*(135)	②、③が未入力の場合、135°とする。
7		0014	0014-STD	—	—	○	—	—	—	
8		0015	0015-STD	○	—	○	—	—	—	
9		0021	0021-STD	—	○	—	○	135	135	
10		0023	0023-STD	—	—	—	○	135	90	
11		0025	0025-STD	—	—	—	○	180	180	
12		0026	0026-SH	—	—	—	○	*(135)	*(135)	④の入力値は、両端のフックに適用する。
13		0027	0027-SH	—	—	—	○	90	90	

項番	イメージ	鉄筋形状 番号	鉄筋形状 ファミリ (.rfa)	柱		梁		始端フック (デフォルト値)	終端フック (デフォルト値)	備考
				主筋	帯筋	主筋	肋筋			
14		0101	0101-STD	○	—	○	—	180	—	
15		0102	0102-STD	—	—	○	—	—	—	
16		0225	0225-SH	—	—	—	○	180	—	①、③は未入力の場合がある。①は⑤の角度から適用範囲の角度を取得して余長を設定する。③は180°の場合の余長を設定する。 ③が入力されていた場合は、180°フックの余長(Ord)に変換して鉄筋フックファミリにパラメータを設定する。
17		0230	0230-SH	—	○	—	○	135	90	
18		0231	0231-SH	—	—	—	○	180	90	
19		0232	0232-STD	○	—	○	—	180	—	
20		0234	0234-STD	○	—	○	—	—	180	
21		0235	0235-STD	—	—	○	—	—	—	
22		0236	0236-STD	—	—	○	—	—	—	
23		0346	0346-SH	—	○	—	—	90	135	
24		0403	0403-STD	—	—	○	—	—	—	
25		0480	0480-SH	—	○	—	○	—	—	
26		0768	0768-STD	—	—	○	—	—	—	

項番	イメージ	鉄筋形状 番号	鉄筋形状 ファミリ (.rfa)	柱		梁		始端フック (デフォルト値)	終端フック (デフォルト値)	備考
				主筋	帯筋	主筋	肋筋			
27		0769	0769-STD	-	-	○	-	-	-	
28		0771	0771-STD	-	-	○	-	-	-	
29		0772	0772-STD	-	-	○	-	-	-	
30		1001	1001-STD	○	-	○	-	-	-	
31		1002	1002-STD	○	-	○	-	-	-	
32		1003	1003-STD	○	-	○	-	180	-	
33		1004	1004-STD	○	-	○	-	-	-	
34		1006	1006-STD	○	-	○	-	-	-	
35		5000	5000-STD	-	-	○	-	-	-	
36		5001	5001-STD	-	-	○	-	-	-	
37		5002	5002-STD	-	-	○	-	-	-	
38		5003	5003-STD	-	-	○	-	-	-	
39		0022	0022-SH	-	-	-	○	180	90	

## 7-7 鉄筋自動配筋検査に必要な検査項目の定義

鉄筋 BIM モデルや配筋 BIM モデルの作成後は、仮想空間上で配置された鉄筋部材の配筋検査を実施する。基本的には工事現場で実施されている自主検査や配筋検査を仮想空間で実施することが目的のため、検査項目は実際の配筋検査の項目と一致させるのが望ましい。一方、配筋検査の項目は工事現場で配筋・組立が完了した状態の検査であるが、鉄筋/配筋 BIM モデルにおける仮想空間上では配筋設定で定められた数値で配置できているのかも合わせて確認する必要がある。表 7-6 に BIM の仮想空間上で自動配筋検査する項目を示す。

表 7-6 自動配筋検査を実施する項目

番号	検査種類	検査項目	検査対象の鉄筋	検査概要
1	鉄筋の位置	鉄筋干渉とかぶり厚の検査	すべての鉄筋	鉄筋が他の鉄筋と干渉していないか、かぶり厚より内側に納まっているか検査する
2	鉄筋情報	階の検査	すべての鉄筋	鉄筋が正しくフロアに配置されているかを検査する
3	鉄筋情報	部材符号の検査	すべての鉄筋	鉄筋が指定された部材に対して配置されているかを検査する
4	鉄筋本数	鉄筋本数検査	柱主筋、梁主筋、フカシ主筋	鉄筋が指定された本数配置されているかを検査する
5	鉄筋情報	鉄筋径検査	すべての鉄筋	鉄筋が指定された鉄筋径で配置されているかを検査する
6	鉄筋情報	鉄筋強度検査	すべての鉄筋	鉄筋が指定された鉄筋強度で配置されているかを検査する。ただしロールマークの検査は付加
7	継手	継手間隔検査	柱主筋、梁主筋	圧接継手、溶接継手、機械式継手を使用した際の継手間隔の配筋設定等を満たしているかを検査する
8	鉄筋の位置	鉄筋のあき検査	すべての鉄筋	鉄筋が最小間隔を満たしているか、制限している最大間隔未満かを検査する
9	鉄筋の位置	寄せ筋間隔検査	柱主筋	寄せ筋の間隔が配筋設定等を満たしているかを検査する
10	鉄筋本数	ピッチ検査	帯筋、あばら筋（上部、下部あばら筋含む）、中子筋、幅止め筋、仕口部補強筋、柱内拘束筋、先端補強あばら筋	配置ピッチが指定された間隔を満たしているかを検査する
11	鉄筋本数	外周筋、中子筋本数検査	帯筋、あばら筋（上部、下部あばら筋含む）、中子筋	帯筋、あばら筋の本数が指定された本数配置されているかを検査する
12	鉄筋本数	補強筋ピッチ適正値検査	ひび割れ防止筋、かんざし筋、U形補強筋	配置ピッチが配筋設定等を満たしているかを検査する



番号	検査種類	検査項目	検査対象の鉄筋	検査概要
13	鉄筋本数	仕口部における補強筋の本数とピッチ検査	仕口部帯筋、仕口部中子筋	仕口部における帯筋と中子筋が指定された値、もしくは配筋設定等を満たしているか検査する
14	鉄筋本数	かご型主筋本数検査	かご型主筋	かご型主筋の本数が柱主筋の本数との関係において配筋設定等を満たしているかを検査する
15	鉄筋の位置	補強筋端部寸法検査	ひび割れ防止筋、かんざし筋、仕口部補強筋、柱内拘束筋、先端補強あばら筋	補強筋の端部寸法が配筋設定等を満たしているかを検査する
16	鉄筋の位置	かご型主筋位置検査	かご型主筋	かご型主筋の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
17	鉄筋本数	スリーブ補強筋本数検査	斜め筋、水平補強筋	スリーブ補強筋（在来）の本数が配筋設定等で指定された数配置されているかを検査する
18	鉄筋の位置	上部あばら筋、下部あばら筋位置検査	上部あばら筋、下部あばら筋	上部、下部あばら筋（スリーブ補強筋）の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
19	鉄筋の位置	U 形補強筋位置検査	U 形補強筋	U 形補強筋（スリーブ補強筋）の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
20	鉄筋の位置	斜め筋位置検査	斜め筋	斜め筋（スリーブ補強筋）の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
21	鉄筋の位置	水平補強筋位置検査	水平補強筋	水平補強筋（スリーブ補強筋）の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
22	鉄筋の位置	既製品補強位置検査	既製品補強	スリーブ補強筋（既製品）の配置位置が配筋設定等の仕様を満たしているかを検査する
23	鉄筋情報	既製品の型番検査	既製品補強	スリーブ補強筋（既製品）が配筋設定等で指定された型番を使用しているかを検査する
24	鉄筋本数	既製品の組数検査	既製品補強	スリーブ補強筋（既製品）の組数が配筋設定で指定された数配置されているかを検査する
25	鉄筋本数	孔際あばら筋の本数検査	あばら筋	孔際あばら筋の本数が配筋設定等の数が配置されているかを検査する
26	鉄筋本数	基礎の鉄筋本数とピッチ検査	はかま筋、基礎主筋、(基礎)上端筋、(基礎)下端筋、横筋	基礎の鉄筋の本数とピッチが躯体ファミリーで記述された本数配置されているかを検査する
27	鉄筋本数	フカシ帯筋、あばら筋の本数検査	フカシ帯筋、フカシあばら筋	フカシ筋の本数が配筋設定等の設定を満たしているかを検査する
28	定着	定着方法検査	柱主筋、梁主筋、はかま筋、基礎主筋、(基礎)上端筋、	定着が配筋設定で指定された定着方法となっているかを検査する

番号	検査種類	検査項目	検査対象の鉄筋	検査概要
			(基礎)下端筋、フカシ主筋、フカシ帯筋、フカシあばら筋、フカシ腹筋	
29	定着	柱主筋の定着検査	柱主筋	柱主筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
30	定着	梁主筋の定着検査	梁主筋	梁主筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
31	定着	基礎主筋の定着検査	基礎主筋、(基礎)下端筋	基礎主筋と(基礎)下端筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
32	定着	はかま筋の定着検査	はかま筋、(基礎)上端筋	はかま筋と(基礎)上端筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
33	定着	横筋の定着検査	基礎横筋	基礎横筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
34	定着	杭頭補強筋の定着検査	杭頭補強筋	杭頭補強筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
35	定着	連続基礎とフカシにおける隣接部材に入る定着検査	(基礎)上端筋、(基礎)下端筋、フカシ主筋、フカシ帯筋、フカシあばら筋、フカシ腹筋	連続基礎とフカシにおいて、隣接部材にて定着する鉄筋の定着長が配筋設定等を満たしているかを検査する
36	定着	柱主筋の折り曲げ位置検査	柱主筋	柱部材の断面寸法が変わった際の曲げ通しが発生した鉄筋の折り曲げ位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
37	定着	梁主筋の折り曲げ位置検査	梁主筋	梁部材の断面寸法が変わったり、梁段差が発生したりした際の曲げ通しが発生した鉄筋の折り曲げ位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
38	鉄筋情報	フック形状検査	フックを持つ鉄筋すべて	フックの形状が配筋設定等を満たしているかを検査する
39	継手	継手方法検査	柱主筋、梁主筋	使用している継手が配筋設定等で指定された継手となっているかを検査する
40	継手	柱の継手位置検査	柱主筋	使用している継手の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
41	継手	梁の継手位置検査	梁主筋	使用している継手の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
42	継手	片持ち梁の継手位置検査	梁主筋	使用している継手の配置位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
43	鉄筋情報	曲げ直径検査	すべての鉄筋	鉄筋を曲げる際の曲げ直径が配筋要領等を満たしているかを検査する
44	定着	カットオフ検査	柱主筋、梁主筋	カットオフ長さが指定された値、もしくは配筋設定等を満たしているかを検査する
45	鉄筋情報	折り曲げ余長検査	すべての鉄筋	折り曲げ余長が配筋設定等を満たしているかを検査する

番号	検査種類	検査項目	検査対象の鉄筋	検査概要
46	定着	柱主筋の定着位置検査	柱主筋	柱主筋の定着（アンカー、フック、機械式定着）の位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
47	定着	梁主筋の定着位置検査	梁主筋	梁主筋の定着（アンカー、機械式定着）の位置が配筋設定等を満たしているかを検査する
48	定着	梁腹筋の定着位置検査	腹筋	腹筋の定着の位置が配筋設定等を満たしているかを検査する

項目フィルタ  
☒ NGのみ表示 対象: 値:

No.	レベル	部材	部材符号	X軸①	X軸②	Y軸①	Y軸②	部材ID	鉄筋種別	検査項目	結果	正常値	検査値	内容
1	B1F	基礎梁	FG2	X1	X2	Y1		2925807	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206612	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
2	B1F	基礎梁	FG2	X1	X2	Y1		2925807	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206612	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
3	B1F	基礎梁	FG1	X2	X3	Y1		2925370	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206613	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
4	B1F	基礎梁	FG1	X2	X3	Y1		2925370	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206613	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
5	B1F	基礎梁	FG1	X2	X3	Y1		2925370	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206613	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
6	B1F	基礎梁	FG1	X2	X3	Y1		2925370	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206612	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
7	B1F	基礎梁	FG1	X2	X3	Y1		2925370	主筋X方向	鉄筋間隔	NG	300	303.930579206612	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最大鉄筋間隔を満たしていません。
8	B1F	片持基礎梁	CFG1	X1	X1-4500	Y1		3158528	主筋X方向	鉄筋の移動	NG			鉄筋を移動させることはできません。
9	B1F	基礎小梁	FB2	Y2-2404.979		X1	X2	3159143	主筋X方向	鉄筋の移動	NG			鉄筋を移動させることはできません。
10	B1F	基礎小梁	FB3	Y2-2404.979	Y2	X1+2413.667	-	3186427	主筋Y方向	配置エラー	NG			鉄筋は完全にホストの外側に配置されています。
11	B1F	基礎小梁	FB3	Y2-2404.979	Y2	X1+2413.667	-	3186427	主筋Y方向	配置エラー	NG			鉄筋は完全にホストの外側に配置されています。
12	B1F	基礎小梁	FB3	Y2-2404.979	Y2	X1+2413.667	-	3186427	主筋Y方向	配置エラー	NG			鉄筋は完全にホストの外側に配置されています。
13	B1F	基礎小梁	FB3	Y2-2404.979	Y2	X1+2413.667	-	3186427	主筋Y方向	配置エラー	NG			鉄筋は完全にホストの外側に配置されています。
14	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。
15	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。
16	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。
17	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。
18	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。
19	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。
20	B1F	RC柱	C1	X1	-	Y2	-	2583485	副主筋	鉄筋間隔	NG	108	-13	鉄筋位置調整を実行後の鉄筋間隔が最小鉄筋間隔を満たしていません。

図 7-27 自動配筋検査の結果表示

鉄筋 BIM モデルを自動配置した後の配筋検査では、図 7-27 に示すように検査結果を一覧で表示させる。自動配筋検査の結果は不具合の理由も合わせて表示するものとする。検査項目は ST-Bridge Link を読み込んだ際に記述された部材断面リストの鉄筋情報と配筋設定に基づいているのかを検査するため、鉄筋部材が設計図通りの配置並びではどうしても納まっていない箇所も合わせて抽出される。鉄筋を配置する際は、配筋設定を守りながら自動配置ロジックに合わせて鉄筋同士の干渉が少なくなるような納まりで処理されるが、どうしても解決できない箇所が発生すると考えられる。そのような箇所は、検討を始める前から構造躯体の断面サイズでは配置できないことになる。そのため、仮想空間による配筋検査の実施が工事開始後になると、構造設計者や総合建設工事会社の技術者、鉄筋専門工事会社の職長が鉄筋を納めるためにあらためて構造計画から再検討する作業が発生する場合が考えられる。納まりに関する検討時間は、そのような箇所を解決させることが目的になるが、図面という平面ではなく鉄筋 BIM では立体的に鉄筋の配置状況が確認できるため、構造設計段階から配筋・組立の完成形を共有することで、技術者の解決策に向けた検討時間の短縮につながる効果がある。すべての構造設計者や技術者が、構造図の図面だけで配筋・組立後の完成形イメージを、お互いに共有できていないことは聞き取り調査で判明している。

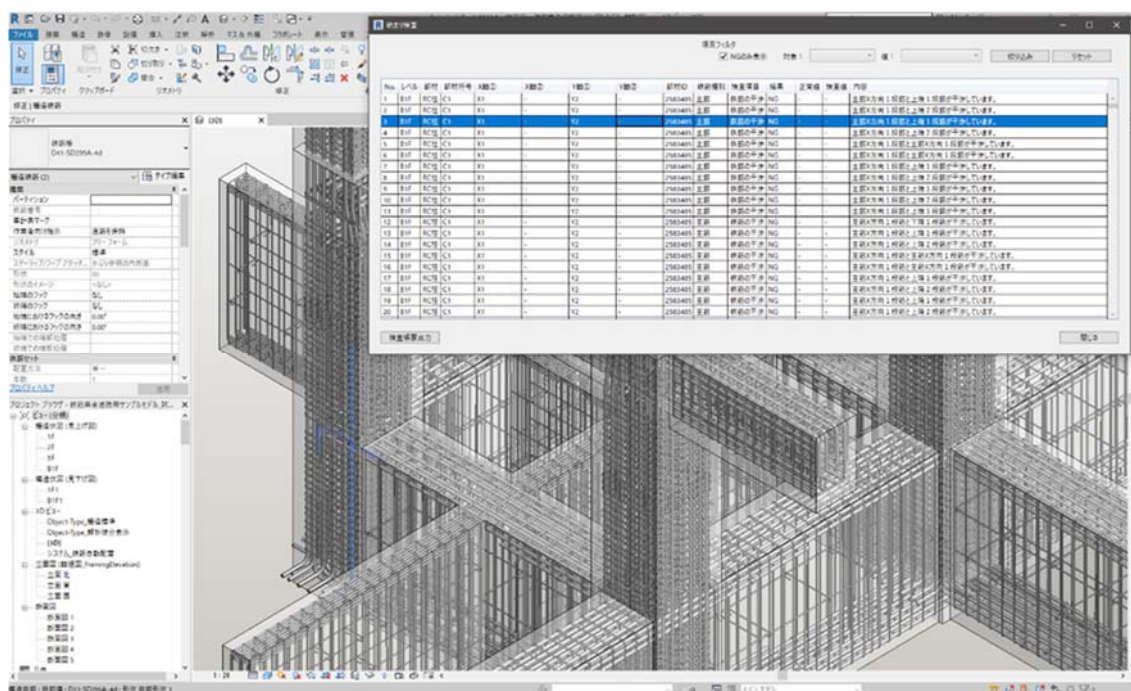


図 7-28 鉄筋位置の調整が必要な箇所の表示方法

図 7-28 に示すように仮想空間の配筋検査で指摘される不具合の箇所は、表示されたリストから該当項目をクリックすると、納まっていない箇所がハイライト表示させることができる。そのような箇所の鉄筋部材を適切な位置に配置しなおすことに注力することができる。従来の検討時ではこのような箇所を抽出するのに多大な時間を要しており、課題点を見落とす可能性が大いにあった。鉄筋の配置を修正した後も自動配筋検査をあらためて実行させる。仮想空間上の鉄筋/配筋 BIM モデルにおいて配筋・組立の作業時に発覚する可能性がある項目を事前に解決させておくことが容易になった。配筋 BIM モデルについても自動配筋検査の項目は同じでよい。基本的に配置位置は鉄筋 BIM モデルとの入れ替えになるため、加工図における加工寸法の過不足や本数の不具合を確認することも容易になった。このような結果から配筋 BIM モデルにおいても自動配筋検査で不具合が無く、鉄筋加工工場において絵符の通りに正しく鉄筋の加工がなされ、その通りに配筋・組立の作業が実施されれば、工事現場における自主検査や配筋検査における重点検査項目は、鉄筋材質（ロールマーク）、保持方法、スパーサー種類・配置、結束・固定方法、清掃状況などを確認することに注力できるようになると考えられる。

## 7-8 鉄筋/配筋 BIM モデルと加工図との生産情報の連携

総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社との生産情報の連携は、第 6 章で定義した S5 と S7 に該当する。本節では鉄筋/配筋 BIM モデルで作成された生産情報と加工図・加工帳を作成するソフトウェアで作成された生産情報が双方向に連携するために必要となる生産情報を定義する。自動配筋検査を経て納まりに不具合がないことが確認された鉄筋 BIM モデルの生産情報は、総合建設工事会社の

技術者から加工帳を作成する鉄筋専門工事会社の職長に渡される。職長は受領した生産情報を加工図作成のために取り込み、鉄筋の加工形状や加工寸法、加工本数を確定させる。確定させたら加工図の生産情報を出力し、総合建設工事会社にもどす。総合建設工事会社の鉄筋工事担当者は、加工図から出力された実際に加工される鉄筋形状のデータを鉄筋 BIM モデルに読み込み、配筋 BIM モデルとして鉄筋部材を入れ替える。自動配筋検査をこの段階においても実行することで加工図の作成段階で不具合が生じていないのかが確認でき、不具合箇所が見つければ職長に検討箇所として生産情報を戻すことで鉄筋加工や配筋・組立時に発生する不具合を無くすることにつながる。

### (1) 鉄筋 BIM モデルから出力する生産情報

鉄筋 BIM モデルから出力される生産情報は、そのままでは加工図を作成する生産情報として読み込めないため中間ファイル (XML 形式) に変換し、以下の 3 種類に分けてファイルの出力をおこなう。対象とする部位を図 7-29 に示し、連携する生産情報を図 7-30 に示す。

連携する生産情報は鉄筋 BIM 側のソフトウェアが持つ各種 ID の番号を保持することで連携させる。①建物基本情報は、「通り芯」名称と「階 (レベル)」になる。②部材情報では、躯体に関する生産情報を連携する。「部材要素 ID」の考え方を図 7-31 に示す。「部材種別 ID」は部材別に ID を保持させる。具体的には、RC 柱、RC 円柱、基礎梁、片持基礎梁、RC 大梁、RC 片持梁、基礎小梁、片持基礎小梁、RC 小梁、RC 片持小梁、梁フカシ、柱フカシ、基礎、布基礎、杭頭補強、梁貫通孔、

番号	連携する生産情報	対象とする部材
①	建物基本情報	通り芯(補助芯)・階(レベル)
②	部材情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ RC 柱, RC 円柱</li> <li>・ 基礎梁, 片持基礎梁</li> <li>・ 基礎小梁, 片持基礎小梁</li> <li>・ RC 大梁, RC 片持梁</li> <li>・ RC 小梁, RC 片持小梁</li> <li>・ 基礎梁フカシ, 片持基礎フカシ, 基礎小梁フカシ, 片持基礎小梁フカシ, RC 大梁フカシ, RC 片持梁フカシ, RC 小梁フカシ, RC 片持小梁フカシ, RC 柱フカシ</li> <li>・ 基礎, 布基礎, 杭頭補強筋</li> </ul>
③	鉄筋情報	各部材内に存在する鉄筋 1 本 1 本の情報

図 7-29 連携する中間ファイル

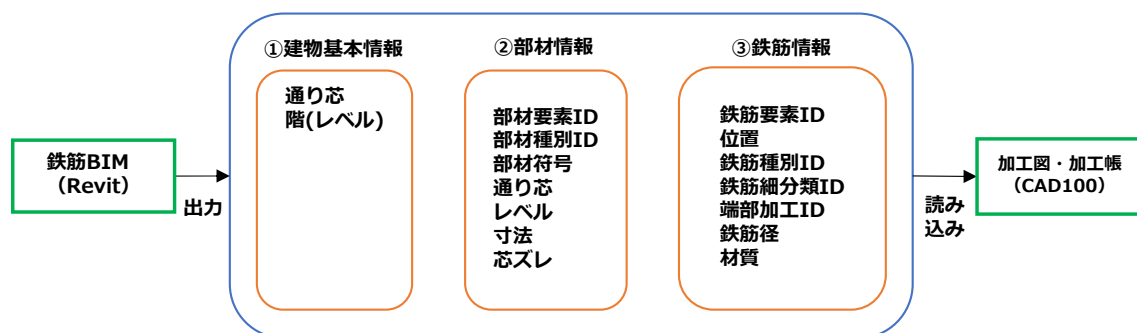


図 7-30 連携する中間ファイル



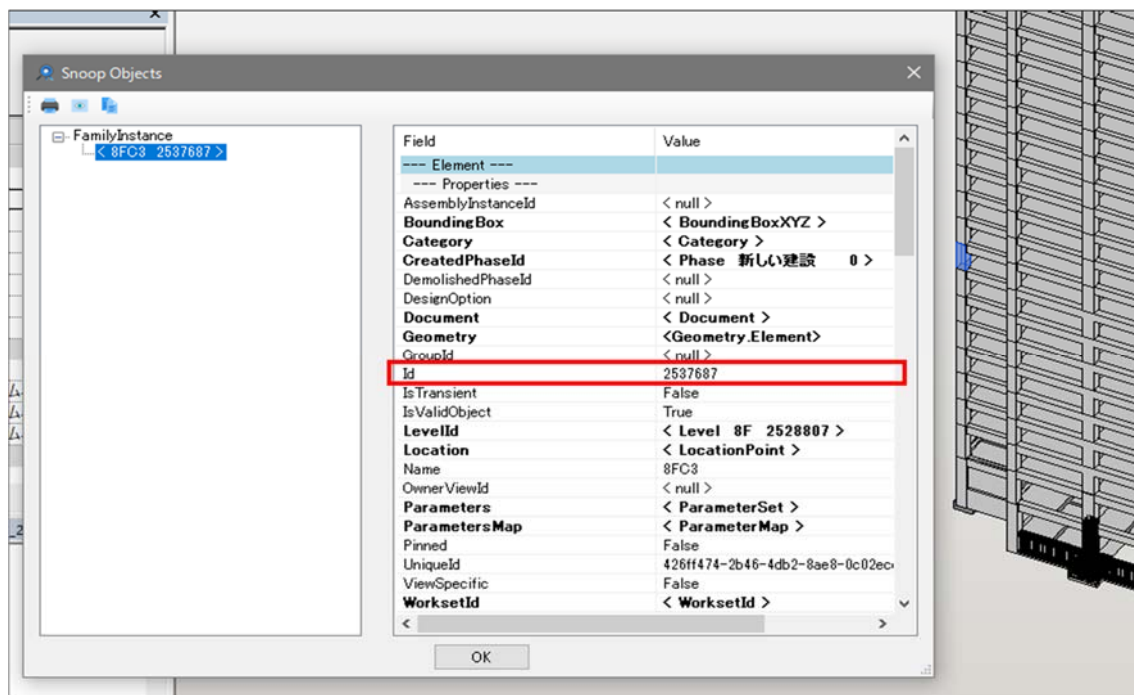


図 7-31 BIM モデルにある部材要素 ID

人通口、鉄筋継手、機械式継手、機械式定着である。「部材符号」は BIM モデルの属性に記載のある部材名称である。「通り芯」情報は部材を配置する位置を示し、「レベル」は配置する階（レベル）、「寸法」は部材断面サイズ（幅やせい）、「芯ズレ」は通り芯に対して部材の中心位置とのズレの寸法である。

③鉄筋情報では部材に配置される鉄筋部材に関する生産情報である。「鉄筋要素 ID」は「部材要素 ID」と同様に BIM ソフトウェアが保有する ID である。「位置」は鉄筋部材の始点と終点の座標(X,Y,Z)の数値である。

「鉄筋種別 ID」は鉄筋が配置される際の名称であり、具体的には主筋、副主筋、芯鉄筋、帯筋、柱内拘束筋、ひび割れ防止筋、かご型主筋、仕口部補強筋、主筋 X 方向、主筋 Y 方向、あばら筋、腹筋、幅止筋、先端補強あばら筋、エボックジョイント、フカシ主筋、トップスジョイント、DS タイプ、フカシ副主筋、ボルトトップス、フカシあばら筋、フリージョイント、フカシ腹筋、EG ジョイント、フカシ帯筋、プレートナット標準タイプ、はかま筋 X 方向、プレートナット貫通タイプ、はかま筋 Y 方向、T ヘッド工法、基礎主筋 X 方向、EG 定着板、基礎主筋 Y 方向、かんざし筋、独立基礎中子筋、DB ヘッド、はかま横筋、DB ヘッド補強筋、上端主筋、上端配力筋、下端主筋、下端配力筋、横筋、連続基礎中子筋とする。

「鉄筋細分類 ID」としては、1 段筋、2 段筋、外周筋、中子筋、仕口部外周筋、仕口部中子筋、上端 1 段筋、上端 2 段筋、上端 3 段筋、下端 1 段筋、下端 2 段筋、下端 3 段筋、補強 L 型、補強コ型、補強外周筋、補強中子筋とする。

「端部加工 ID」は、鉄筋部材の端部の状態を示す。具体的には、加工無し、90°、135°、180°、直線定着、L 型定着、L 型定着+90° フック、L 型定着+180° フック、プレートナット標準、プレートナット貫通 T ヘッドバー、EG 定着板、DB ヘッド、圧接、溶接、トップスジョイント、DS エー

スジョイント、エポックジョイント、フリージョイント F タイプ、フリージョイント FS タイプ、NEW ボルトトップス、EG ジョイントである。「鉄筋径」や「材質」は BIM モデルの属性情報とする。

## (2) 加工図作成のソフトウェアから出力する生産情報

加工図を作成するソフトウェアに、梁部材が読み込まれた状態を図 7-32、あばら筋の場合を図 7-33 に示す。白枠で示した項目は加工図作成ソフトウェアで表現される項目である。黄枠の項目は BIM ソフトウェアと連携させるために、加工図作成ソフトウェアにおいても保持をしながら編集作業をおこなう。BIM ソフトウェアに戻すために、中間ファイルとして出力する項目である。

加工図で確定された生産情報を鉄筋 BIM モデルに戻して配筋 BIM モデルを作成するために必要となる生産情報は、躯体 BIM モデルを識別するために必要となる②部材情報の部材要素 ID と部材種別 ID、③鉄筋情報である。具体的に③鉄筋情報で必要となる項目は、鉄筋要素 ID、鉄筋位置（始点座標、中間座標、終点座標）、鉄筋種別 ID、鉄筋細分類 ID、端部加工 ID（始点側、終点側）、鉄筋径、鉄筋材質、スリーブの取り付け部材要素 ID、スリーブ形状 ID、スリーブ孔径、鉄筋形状番号（寸法、角度）である。これら生産情報の連携は、加工図作成ソフトウェアのアドオン機能として生

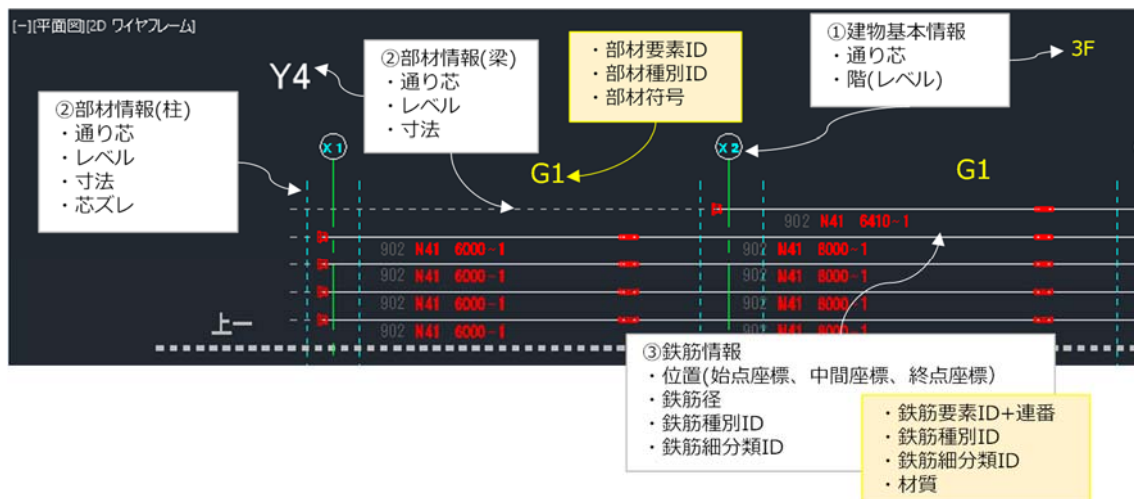


図 7-32 加工図を作成するソフトウェアに取り込んだ状況（梁主筋の場合）



図 7-33 加工図を作成するソフトウェアに取り込んだ状況（あばら筋の場合）





産情報を保持して戻せるようにカスタマイズしているが、画面上には ID などの新たな情報を表示せず、裏で保持できるように配慮した。職長らはいままで通りにソフトウェアを使用することができる。

### （３）鉄筋に付与した鉄筋要素 ID の連携に関する考慮

鉄筋 BIM モデルと加工図の作成に必要な鉄筋情報の連携では、BIM ソフトウェア上で鉄筋 1 本毎に付与した鉄筋要素 ID により連携させている。鉄筋要素 ID の連携時に考慮しなければいけないことは、鉄筋の切断位置を確定させることにより鉄筋要素 ID が分断されてしまうことである。鉄筋 BIM モデルでは鉄筋の途中に継手位置があったとしても、鉄筋径でひとつの鉄筋要素 ID を付与しているため、想定している鉄筋継手位置には継手の BIM モデルを配置することで表現している。これは総合建設工事会社側に鉄筋の切断位置や鉄筋を切断した後の加工寸法を確定させる責任を負っていないことによる。つまり鉄筋 BIM モデルでは BIM モデル上において鉄筋部材を切断していないのである。一方、加工図の作成では職長により正確に鉄筋加工をする長さが確定されるため、ひとつの鉄筋要素 ID では鉄筋 BIM モデルを配筋 BIM モデルとして再配置することは難しい。そこで、同じ鉄筋径で切断する場合は加工図の作成段階で鉄筋 BIM モデルと連携した鉄筋要素 ID に枝番をつけて鉄筋 BIM モデルに戻し、配筋 BIM モデルを作成するように考慮した。鉄筋要素 ID に枝番を付与するのは柱主筋と梁主筋が該当しており、柱主筋の考え方を図 7-34、梁主筋の考え方を図 7-35 に示す。

帯筋やあばら筋は加工図の作成段階でひとつの形状に対して何本必要になるのかのようにまとめて処理をされていた。鉄筋 BIM モデルでは、同じ形状であっても鉄筋 1 本 1 本に鉄筋要素 ID が付与しているが、加工図の作成ではひとつの形状にひとつの鉄筋要素 ID を保持させることが機能的に難しかった。鉄筋 BIM モデルに付与した鉄筋要素 ID を使用せずに、躯体 BIM モデルに付与される部材種別 ID を保持させることで、鉄筋 BIM モデルに戻された際は、帯筋やあばら筋に関する自動配置ロジックに基づいて部材内に再配置して配筋 BIM モデルを作成することにした。

配筋 BIM モデルとして再配置して不具合が無いことが確認されたら、職長は加工図から加工帳を作成して鉄筋加工工場に加工の依頼をする。鉄筋加工工場では、専用のソフトウェアに加工帳の生産情報を取り込むことで絵符を作成する。このように、図面作成プロセス内において正しい生産情報が絵符の作成まで連携できることになった。

---

## 7-9 結び：BIM/ICT の活用と鉄筋生産情報の関係

---

総合建設工事会社が作成した鉄筋 BIM モデルの属性情報と鉄筋専門工事会社の職長が作成する加工図を連携させることで、図面作成プロセスにおける正しい鉄筋生産情報の構築手法を示すことができた。このような取り組みにより鉄筋納まり図から加工図・加工帳の作成を経由して絵符を作成するまで正しい生産情報を一貫して運用することが可能になった。今までは配筋・組立の完成形を構造設計者や工事監理者、総合建設工事会社、鉄筋専門工事会社の工事関係者間で共有することは工事現場における配筋・組立の作業が終わるまでは難しかったが、今回提示したように鉄筋/配筋 BIM モデルを仮想空間上で構築することで、事前に共有することが容易になった。その結果として配筋・組

立の作業前に配筋設定や自動配置ロジックのルールに合致していない箇所を機械的に指摘できるようになり、配筋検査プロセスにおける不具合の指摘事項が低減される効果が期待できる。

一方、課題のひとつとして自動配筋検査により抽出された項目の中には、鉄筋部材がどうしても構造躯体の中に納めることができない場合が見られた。このような箇所は構造設計者と個別の打ち合わせにより解決策をさぐることが必要になる。つまり、このような箇所が発覚する要因のひとつには、構造設計段階における部材の断面サイズと鉄筋の配列がそもそも成立していないことが考えられる。構造設計段階から鉄筋/配筋 BIM モデルの活用が期待される。自動配置ロジックでは壁筋や床筋に関しては次期開発としているが、図 7-36 の床筋のように必要に応じて表現して対応することは可能である。近年では、フロントローディングの取り組みにより、施工側の技術者が実施設計段階から参画する体制の構築が提唱されているが<sup>[7]</sup>、単に鉄筋の納まりを検討する取り組みで終わらないように考慮する必要がある。例えば、設計数量の積算には鉄筋 BIM モデルの使用が期待できる。設計図面のテンプレートを準備しておけば、構造図（伏図・軸組・部材リスト）の作成まで生産情報を連携するとも可能になる。BIM の取り組みとは直接関係ないが、鉄筋材料のメーカー選定や継ぎ手の手法、定着の手法を選定する作業も効率的でなければならない。

今後はこのように納まり検討を先行させることで、構造設計者にとっては工事が始まってから工事現場から出てくる質疑対応の時間や、配筋検査の是正対応指示を低減させる効果も想定して、構造設計からのシステム活用方法を視野に入れることが期待できる。

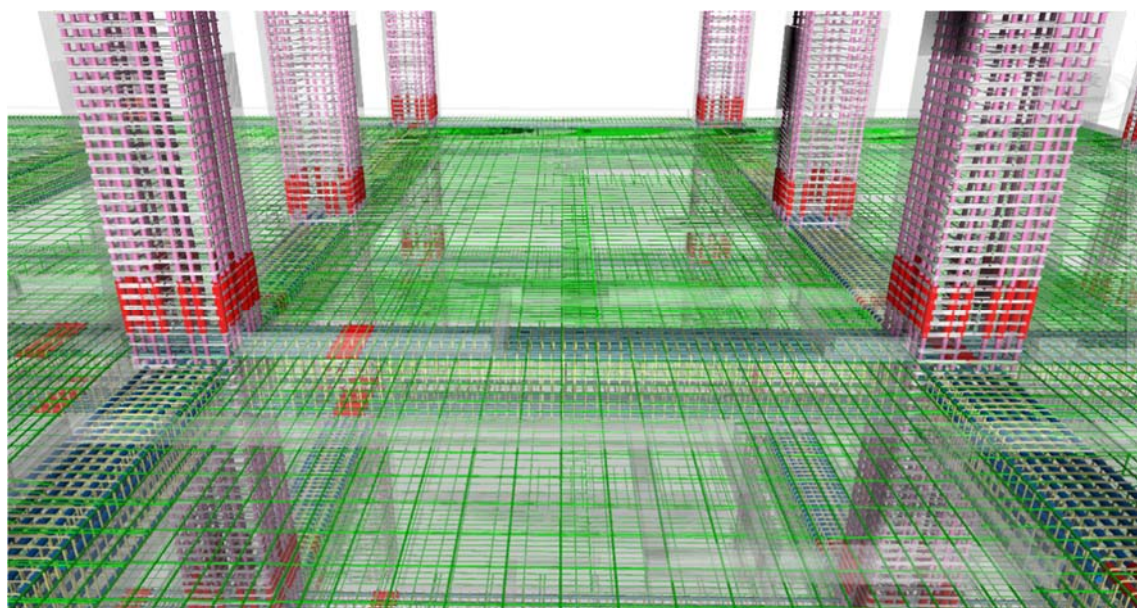


図 7-36 床筋の入力状況

## 註

- [1] 松田 耕, 多葉井 宏: RC 一貫生産システム, 竹中技術研究報告 No.72 2016, pp. 5-15, 2016. 12
- [2] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説, 日本建築学会, p. 序 (平成 22 年度), 2010. 11
- [3] 工藤桂一, 新妻尚祐, 樋脇 毅, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木 直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査, その 3 施工計画の実状, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 材料施工, pp.277-278, 2015. 9
- [4] 東京鉄鋼株式会社: 機械式継手標準書, 評定番号 BCJ-RC0222-04, 継手部のせん断補強筋の解説文による。
- [5] Mapping Table 2019 (マッピングテーブル) は, 2019 年 1 月に Autodesk 社が開発したアプリケーションである。主に「ST-Bridge Link」, 「SS3 Link」, 「RC 断面リスト作成」, 「S 断面リスト作成」を使用して読み込むファイルを編集する際に使用する。編集機能では Excel が起動して編集できるようになる。
- [6] RUTS (ラッツ) は, 2013 年に RUG が公開した Revit の無償アドオン機能である。Revit のファミリーに記載されたパラメータをエクスポートして, エクセル形式で追加編集した後にインポートしてパラメータを更新することができる機能である。
- [7] 日本建設業連合会, 建築生産委員会施工部会, 設備部会, 建築設計委員会設計企画部会: フロントローディングの手引き 2019, 日本建設業連合会, 2019. 7

## 図版出典

- 図 7-1 : 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2015, p. 202, 2015. 7
- 図 7-2 : 国土交通省大臣官房官庁営繕部: 公共建築工事標準仕様書 (建築工事編) 平成 28 年度版, p. 31, 2016. 6
- 図 7-3 : 筆者撮影
- 図 7-4 : 筆者作成
- 図 7-5 : 筆者作成
- 図 7-6 : 筆者作成
- 図 7-7 : Autodesk 社提供
- 図 7-8 : Autodesk 社提供
- 図 7-9 : 前田建設工業提供
- 図 7-10 : 前田建設工業提供
- 図 7-11 : 筆者作成
- 図 7-12 : 筆者作成
- 図 7-13 : 筆者作成
- 図 7-14 : 筆者作成
- 図 7-15 : 筆者作成

図 7-16：筆者作成  
図 7-17：筆者作成  
図 7-18：筆者作成  
図 7-19：筆者作成  
図 7-20：筆者作成  
図 7-21：筆者作成  
図 7-22：筆者作成  
図 7-23：筆者作成  
図 7-24：筆者作成  
図 7-25：デーバーインフォメーションネットワークス株式会社提供  
図 7-26：デーバーインフォメーションネットワークス株式会社提供  
図 7-27：筆者作成  
図 7-28：筆者作成  
図 7-29：筆者作成  
図 7-30：筆者作成  
図 7-31：筆者作成  
図 7-32：デーバーインフォメーションネットワークス株式会社提供  
図 7-33：デーバーインフォメーションネットワークス株式会社提供  
図 7-34：筆者作成  
図 7-35：筆者作成  
図 7-36：筆者作成



8

---

Theme **BIM/ICT を活用したシステムの工事現場への適用**

---





---

## 第8章           BIM/ICT を活用したシステムの工事現場への適用

---

8-1	本章の目的と構成	271
8-2	鉄骨造の基礎躯体への適用	272
8-3	適用結果と考察	273
8-4	結び：課題と今後の展開	282

---

### 8-1 本章の目的と構成

---

#### はじめに

本章では第6章と第7章において定義したBIM/ICTを活用したシステムの在り方や構築手法を、実際にS1からS8の範囲でシステムの開発をおこない、工事現場において試行した結果を報告する。試行の目的は、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社との間において、双方向による生産情報の連携が及ぼす効果や課題を把握することで、実運用への適用を目指す基礎資料にすることである。特に今回のシステムは、想定しているアクターが総合建設工事会社の技術者だけでなく鉄筋専門工事会社の職長も含み、それぞれが担う役割を明確にしている。さらにはひとつのシステムで生産情報の作成を完結させることなく、それぞれの立場で正しい生産情報の作成や次工程における生産情報の活用・照合を確実に実施することに主眼をおいている。そのため、試行した工事現場では施工段階における図面作成プロセスにおいて、正しい生産情報の作成が次工程に与える影響についても着目し、効果や課題点の検証を進めた。

実施設計段階では本システムを試行しておらず、構造設計者は施工段階で作成した鉄筋/配筋BIMモデルを閲覧するのみとした。試行する箇所は、新妻らが鉄筋専門工事会社を対象としたアンケート調査において、設計図書から施工図・製作図を作成する際に生産情報を連携することが困難になる事象のひとつに「杭鉄筋と基礎・地中梁の鉄筋が干渉して納まらない」ことを示していたため<sup>[1]</sup>、小

規模の鉄骨造の基礎躯体工事を対象とした。

本章では第2節「鉄骨造の基礎躯体への適用」において、適用したプロジェクトの概要と実施体制を示し、第3節「適用結果と考察」では自動配置ロジックと自動配筋検査の正確性、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社の双方向における生産情報の連携の有効性に関する検証をおこない、総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社からの聞き取り調査等から効果と課題を考察する。

## 8-2 鉄骨造の基礎躯体への適用

### (1) プロジェクト概要

本システムの有効性を検証するために、設計施工一貫方式で受注した新築工事の基礎躯体に適用した。適用した工事の概要は建築面積が約 645 m<sup>2</sup>、延床面積が約 7,645 m<sup>2</sup>、構造は鉄骨造、地上 14 階の事務所ビルである。基礎躯体工事の期間は 2020 年 4 月～2020 年 7 月だった。鉄筋の数量は約 265t である。基礎躯体工事期間の施工状況を図 8-1 に示す。工事現場の鉄筋工事担当者（躯体工事を含む）は鉄筋工事に関する経験値を十分有している建築課長とした。また BIM ソフトウェアは Revit2019 を採用している。しかしながら、鉄筋/配筋 BIM モデルの作成や修正に対応できる総合建設工事会社の職員が、工事現場には配属されていなかったため、本社で施工 BIM を支援する部門の技術者 1 名が BIM モデルの作成・修正や配筋納まり図を作成した。工事現場では、作成された鉄筋/配筋 BIM モデルを閲覧してチェックする業務と、構造設計者への質疑回答をとりまとめた。

一方、鉄筋工事を請け負う鉄筋専門工事会社は本システムの検証を進める前に決定していた。配置される予定の職長が、加工図・加工帳作成システム（DIN-CAD100 システム）を使用して加工図・加工帳を作成することが可能であったため、計画通り試行を進めることにした。なお、鉄筋専門工事会社の本社からも検証に関する支援をいただく体制も構築した。

### (2) 作業期間と作業内容

本システムの検証期間は設計者が確認申請図書を提出（2019 年 10 月）した後の 2019 年 11 月から 2020 年 6 月の鉄筋工事が始まる前までの 7 か月間である。適用したシステムは第 7 章で定義した生産情報を作成する範囲である S1～S8 とし、対象とする鉄筋部材は、柱（主筋、帯筋、中子筋）、基礎梁（主筋、あばら筋、中子筋、腹筋、幅止め筋、カットオフ、圧接継手、定着プレート）、基礎（基礎主筋、はかま筋、中子筋）、基礎梁の貫通孔補強（既製品）とした。対象外として手入力した部位



図 8-1 施工中の状況

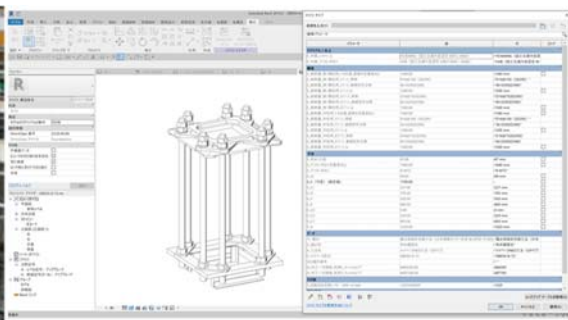


図 8-2 アンカーボルトのファミリ

は基礎と地中梁の底にある段差部分バットレス補強筋とキャップ式の既製品杭頭補強筋とした。今回は鉄骨造のため地上階鉄骨のアンカーボルトと鉄筋部材の干渉を確認する必要があった。そこでアンカーボルトについては図8-2に示すようにメーカーで事前に準備していた Revit ファミリを使用した。

### 8-3 適用結果と考察

#### (1) 作業期間と作業内容

図8-3にS1からS8までの作業内容と作業期間を示す。S1からS3までは主に施工BIMの支援部門が、構造設計者から入手した構造計算ソフトウェアのデータを活用して、躯体BIMモデルと鉄筋BIMモデルを作成した。その後、自動配筋検査機能を活用して不具合箇所を抽出し、それらの箇所を重点的に構造設計者と打合せを進めた。その結果、基礎柱のサイズや基礎梁の梁幅、天端レベルを変更しないと不具合箇所が解決しないことが判明した。構造設計者は構造断面の再計算をしている。約3ヶ月を有した。その後S4では、構造計算ソフトウェアのデータを読み込んで作成した躯体BIMモデルを躯体図と同等の躯体図BIMモデルとして加筆・修正し、鉄筋BIMモデルを再配置して鉄筋専門工事会社と一緒に納まりや配筋・組立時に想定される不具合の低減を図った。S4だけで2ヶ月を有した。その後、確定された生産情報を双方向で連携して加工図・加工帳の作成や配筋BIMモデルで加工情報の自動配筋検査を実行した。この期間が約2ヶ月で、合計7ヶ月の取り組みとなった。鉄筋専門工事会社との打合せ状況を図8-4に示し、S8までの作業が完了した後の成果や課題の聞き取り調査の状況を図8-5に示す。

#### (2) 自動配置と自動配筋検査の検証

構造設計者が作成した構造計算解析データを鉄筋BIMモデルに変換した状態を図8-6に示す。自動配置機能については問題なく機能していることを確認した。この時期の躯体BIMモデルは、躯体図BIMモデルを作成開始する前後のため構造図と同等としており、梁貫通孔やふかし筋は再現せず、構造躯体の断面と基礎柱や基礎梁の主筋位置を確認するのが主な目的とした。自動配置を実行する際は配筋設定（物件設定と配筋要領）において設定した数値と配置ロジックに基づいて鉄筋の位置をシステム内で自動調整しながら鉄筋BIMモデルが配置された。配置された結果を自動配筋検査の対象である133,496箇所を確認したところ10,013箇所（検査対象の約7.5%）で配筋設定を満たしていない箇所が見つかった。



図8-4 職長との打合せ状況（2020年3月）



図8-5 聞き取り調査の状況（2020年6月）

No.	システム名	適用期間	適用内容	アクター	備考
01	S1	2019 年 11 月 中旬	・確認申請で提出した構造図と同等の構造計算書 データを入力	構造設計者	
02	S2	2019 年 11 月 下旬	①躯体 BIM モデルの作成 ②鉄骨のアンカーボルトのファミリー準備 ③不足している鉄筋情報（基礎梁の幅止め筋、小 梁）を追加入力	支援部門	
03	S3	2019 年 12 月 月上旬 ～ 2020 年 2 月 月中旬	①鉄筋 BIM モデルの自動配置 ②自動配筋検査で不具合箇所の抽出 ③仕口箇所の図面化と不具合箇所まとめ ④構造設計者へ主に主筋配置に関する質疑 ⑤質疑回答	①支援部門 ②支援部門 ③支援部門 ④工事現場 ⑤構造設計者	基礎柱サイ ズ・基礎梁 幅・基礎梁 レベル変更
04	S4	2020 年 2 月 月下旬 ～ 2020 年 4 月 月下旬	①躯体 BIM モデルを躯体図 BIM モデルに置き換 え ②鉄筋 BIM モデルの再配置 ③鉄筋 BIM モデルの自動配筋検査 ④仕口箇所の図面化と不具合箇所まとめ ⑤工事現場において鉄筋 BIM モデルを閲覧し納 まり状況を確認 ⑥鉄筋専門工事が鉄筋 BIM モデルを閲覧し 納まり状態と工事現場での施工性検討、加工形状 の可否を検討 ⑦梁貫通孔の補強検討 ⑧構造設計者へ主に配置に関する質疑 ⑨質疑回答 ⑩組立・配筋の完成形イメージを確認 ⑪仮想空間で配筋検査 ⑫承認 ※⑨質疑回答の結果から①から⑧を 3 回繰り返した	①支援部門 ②支援部門 ③支援部門 ④支援部門 ⑤工事現場  ⑥職長  ⑦構造設計者 ⑧工事現場 ⑨構造設計者 ⑩工事現場・職長 ⑪構造設計者・工 事現場 ⑫構造設計者	
05	S5	2020 年 5 月 月上旬	・加工図を作成するための生産情報の連携	支援部門	
06	S6	2020 年 5 月 月中旬 ～ 2020 年 6 月 月上旬	・加工図の作成	職長	
07	S7	2020 年 6 月	・加工図から加工情報に関する生産情報を工事現 場に戻す	職長	
08	S8	2020 年 6 月	①配筋 BIM モデルに更新して自動配筋検査 ②加工帳を作成し、加工工場に加工を依頼（職長）	支援部門	

図 8-3 作業期間と作業内容



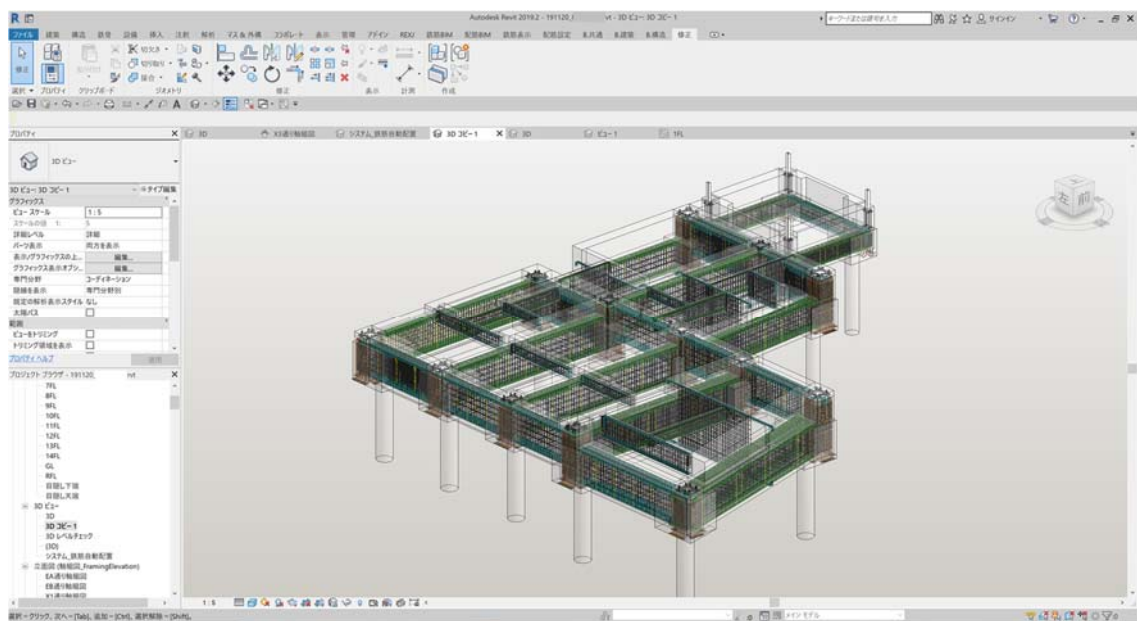


図 8-6 鉄筋 BIM モデル (鳥瞰)

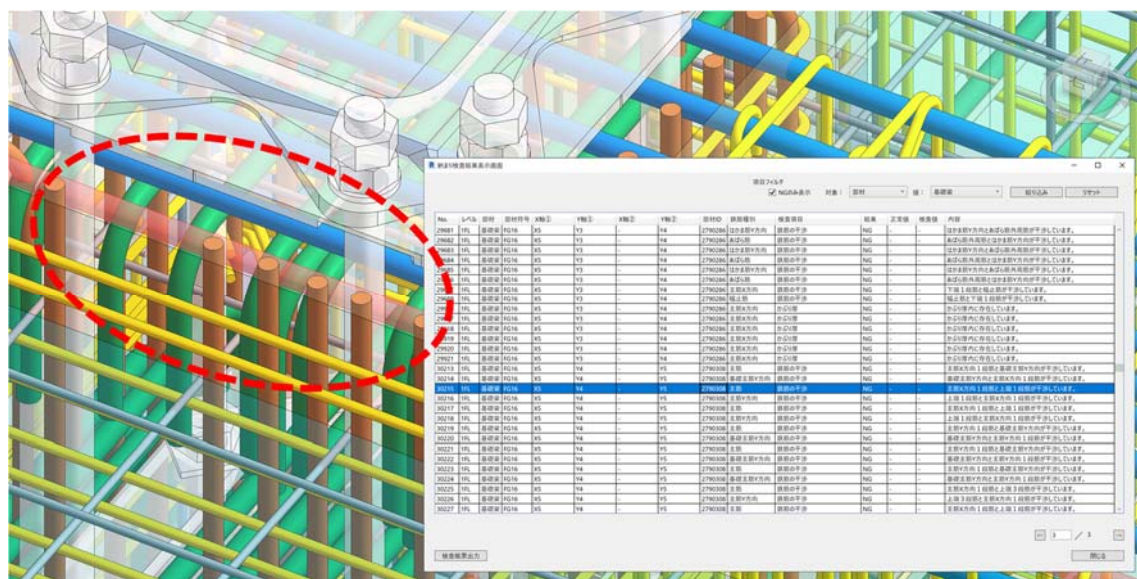


図 8-7 不具合箇所の抽出結果

配筋検査箇所数のカウントは干渉している箇所数ではない。鉄筋部材に付与されている1本のIDに干渉している鉄筋が2本あれば、箇所数は3箇所となる。図8-7に不具合箇所が自動検出されている状況を示す。

自動配筋検査を実行したことにより、配筋設定の項目で設定した数値を確保するためには基礎柱のサイズと基礎梁の梁幅や梁レベルを変更しないと必要な本数の鉄筋が納まらないことが明確になった。そのため最終的には躯体断面サイズを変更して鉄筋を納めることになった。一方、不具合箇所として抽出された結果の中には、例えば図8-8に示すような干渉箇所が含まれていた。在来工法では、実際の配筋・組立時に技能労働者が鉄筋部材を少し回転させることで解決することができる。こ

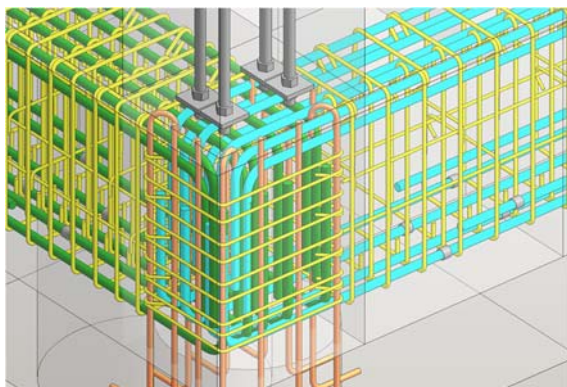


図 8-8 梁主筋の定着部分同士が干渉

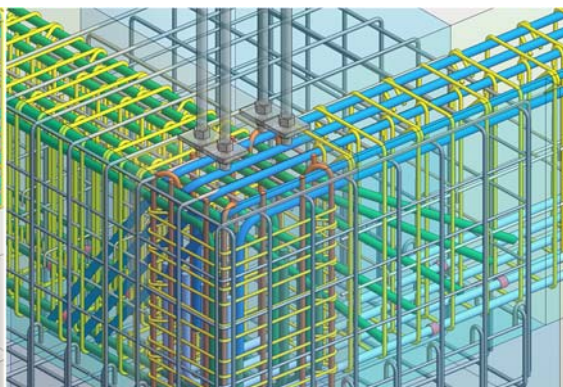


図 8-9 梁主筋を回転させて干渉を回避

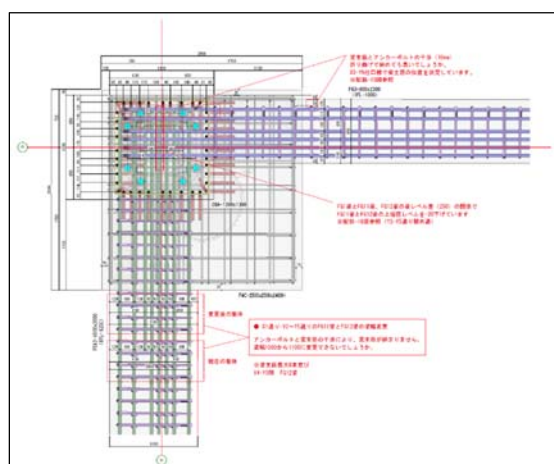


図 8-10 配筋納まり図（平面）

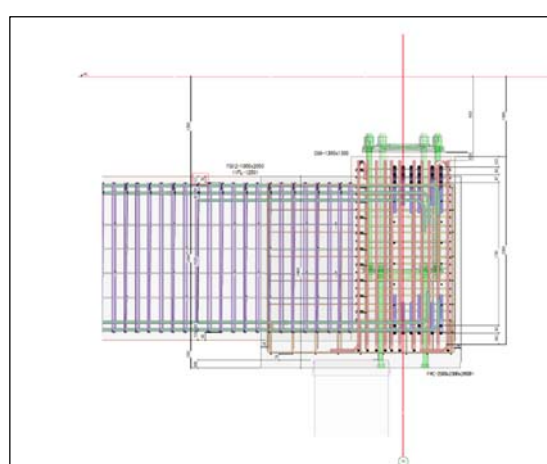


図 8-11 配筋納まり図（立面）

のような箇所の干渉については、図8-9に示すように回避させる配置に鉄筋BIMモデルを修正した。微調整の修正は手作業となった。このような手順により実際に配筋・組立時の状況を再現できることを確認した。検討作業や打合せにおける BIM モデルは主に閲覧の用途に使用し、具体的な寸法の確認には図 8-10 に示す配筋納まり（平面）や図 8-11 に示すように配筋納まり（立面）を鉄筋 BIM モデルから切り出して寸法を加筆した図面を用いた。

### （3）加工図と生産情報の連携

最終的に鉄筋 BIM モデルで納まりに問題がないことが確認された後は、通芯や階（レベル）の建物基本情報とコンクリート躯体の部材情報、鉄筋部材の鉄筋情報として 3 ファイルを鉄筋専門工事会社の職長に渡して加工図作成と生産情報の連携を実施した。加工図の作成後は確定された生産情報を総合建設工事会社に戻し、双方向の連携により鉄筋加工に問題がないことを確認した。配筋 BIM モデルを図 8-12 に示す。3 スパン分を切り出して生産情報を連携した状態を比較できるようにした鉄筋 BIM モデルを図 8-13、加工図の作成状況を図 8-14、そして加工図から出力された鉄筋の加工情報を鉄筋 BIM と入れ替えた配筋 BIM モデルを図 8-15 に示す。加工図を作成中に職長から梁主筋の 2 段筋の定着を曲げの定着から定着プレートに変更したい要望が出されたため、鉄筋 BIM モデルの端部の形状が鉄筋 BIM モデルと配筋 BIM モデルで異なることになった。生産情報の双方向の連



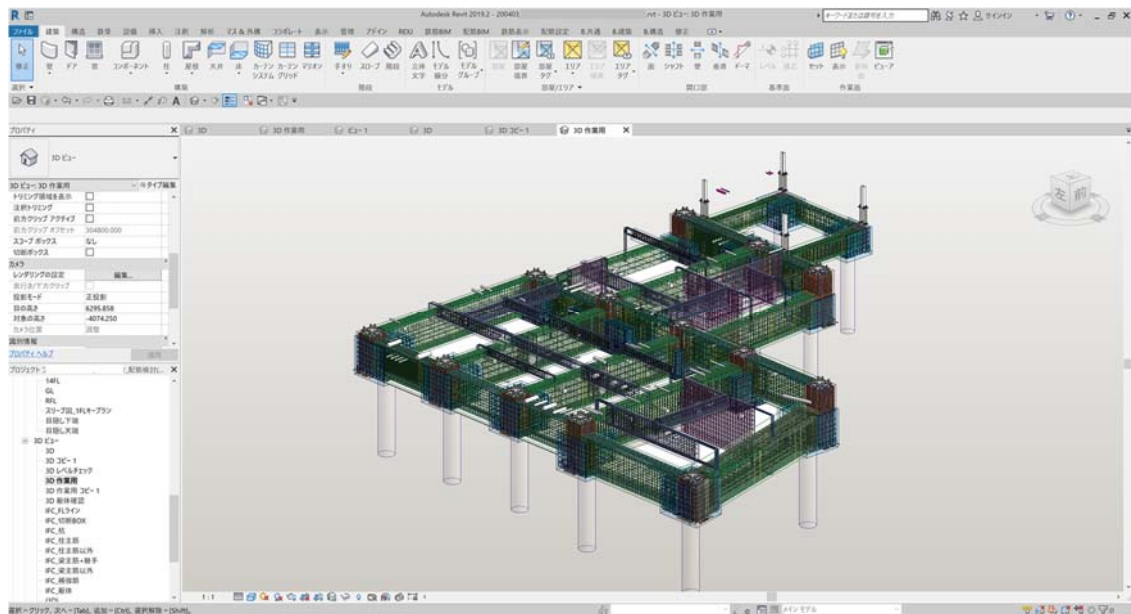


図8-12 配筋BIMモデル（鳥瞰）

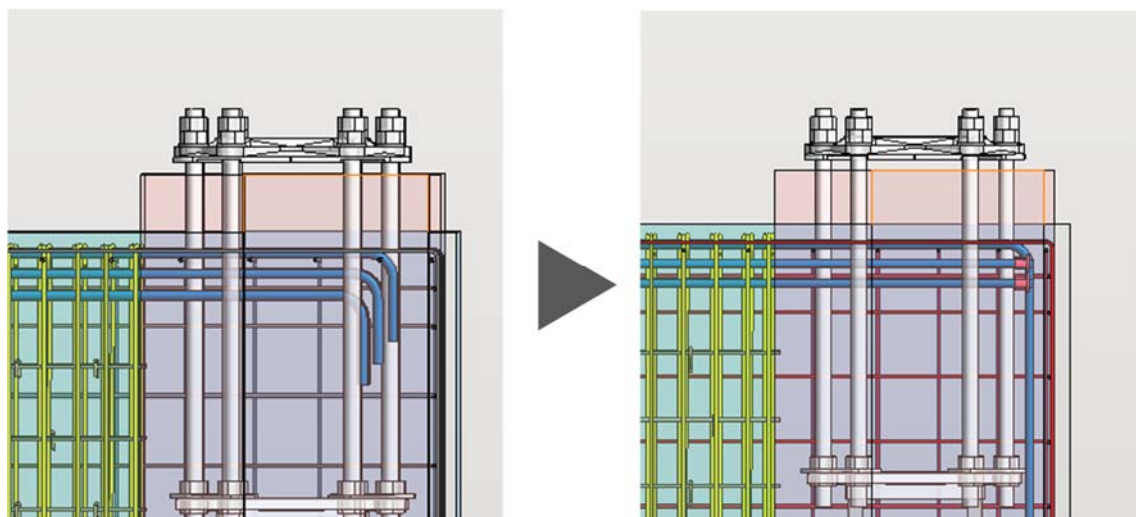


図8-16 梁主筋の端部の着着（左が鉄筋 BIM モデル，右が配筋 BIM モデル）

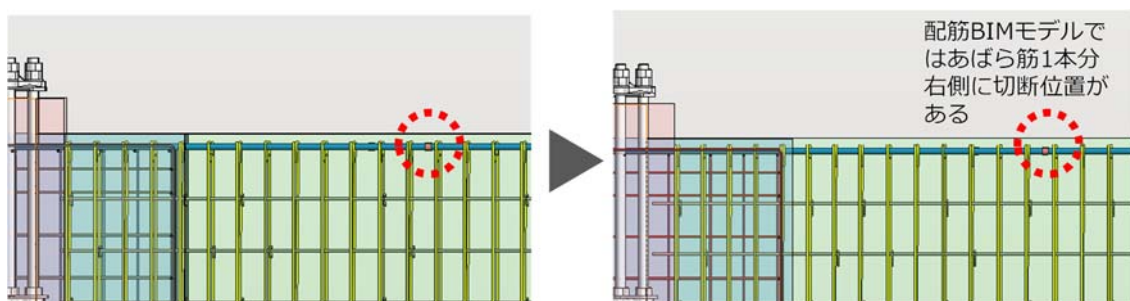


図8-17 梁主筋の切断位置（左が鉄筋 BIM モデル，右が配筋 BIM モデル）

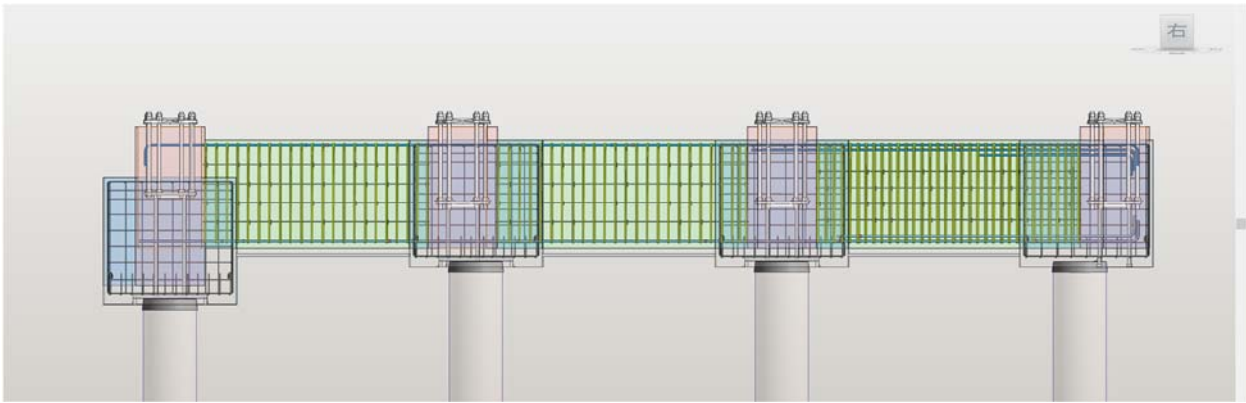


図8-13 鉄筋BIMモデル（立面）

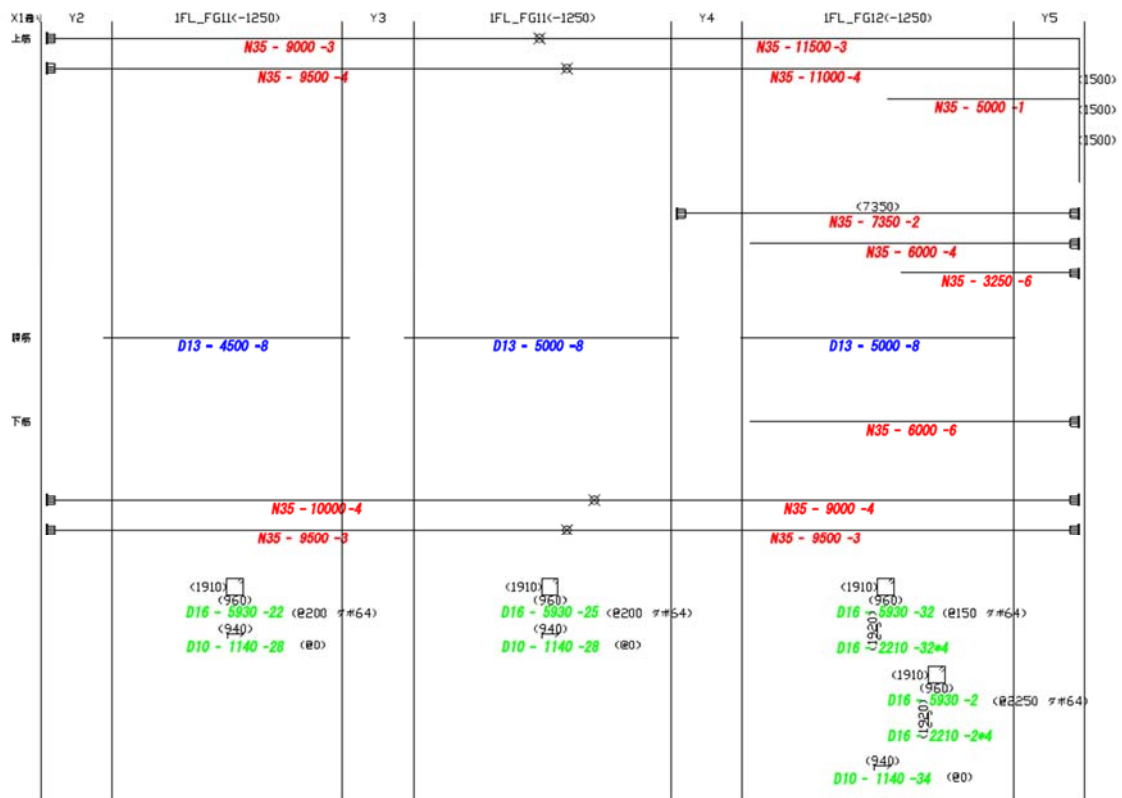


図8-14 加工図の作成（立面）

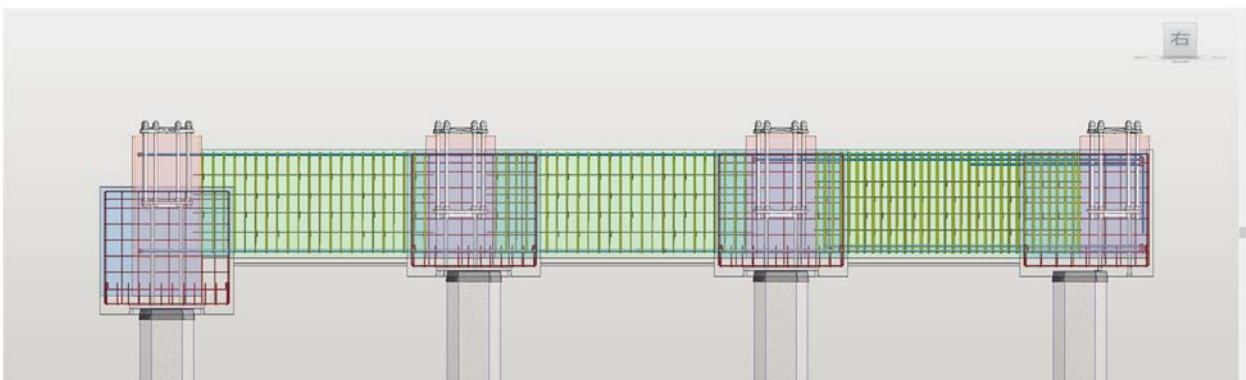


図8-15 配筋BIMモデル（立面）



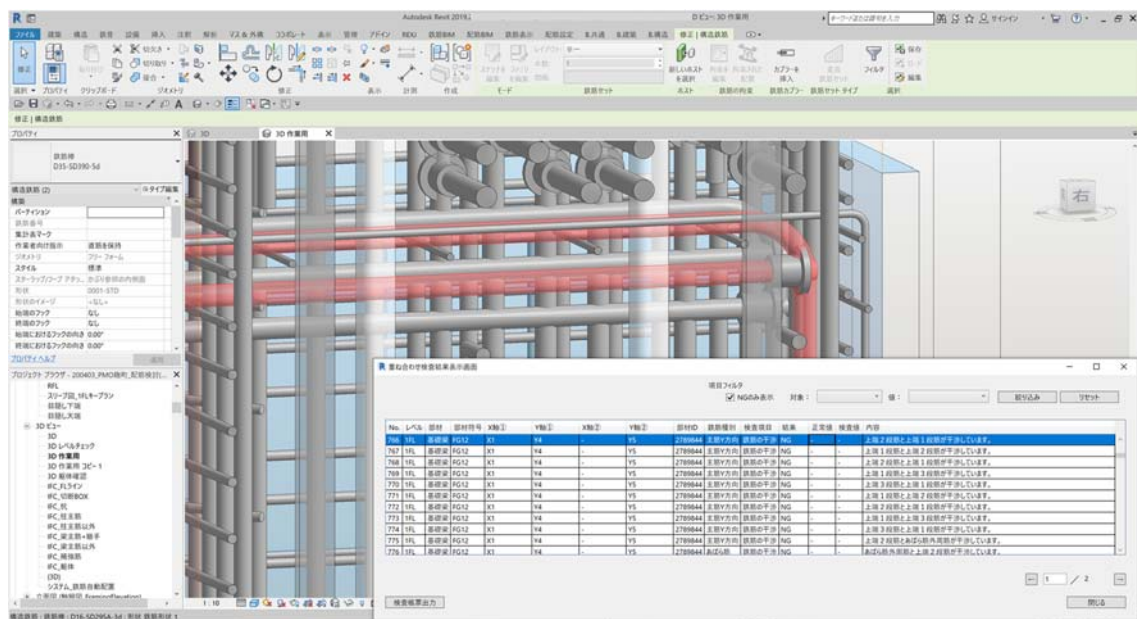


図 8-18 配筋 BIM モデルによる自動配筋検査の結果

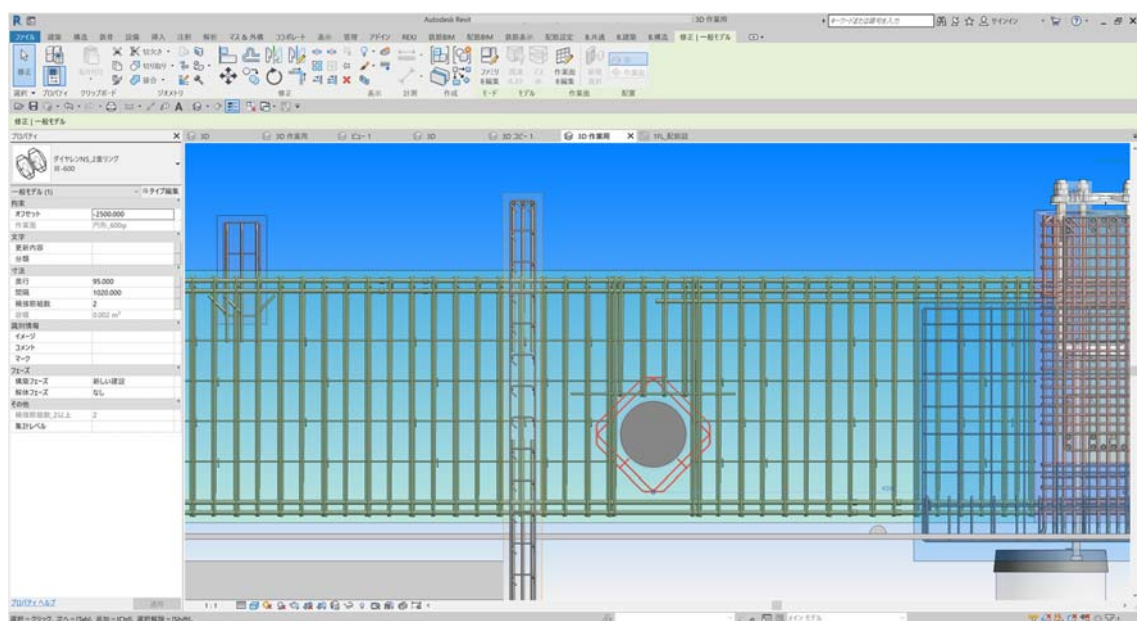


図 8-19 人通口の補強

携において再現できていることを図 8-16 に示すように確認した。また、主筋の切断位置の確定により鉄筋の要素 ID の枝番号が加工図作成の段階で付与される連携についても、切断位置が問題なく再現できていることを確認できた。主筋切断位置の再現について図 8-17 に示す。

配筋 BIM モデルの作成後はあらためて自動配筋検査を実行している。ところが加工図により切断寸法を調整したことで、図 8-18 に示すように梁主筋の 2 段筋定着プレートが 1 段筋と干渉するような状態が確認された。2 段筋は梁端部のみの配置であったこともあり配筋・組立の際に微調整をすることで干渉を回避できることを確認した。仮想空間での再現と工事現場における技能労働者による

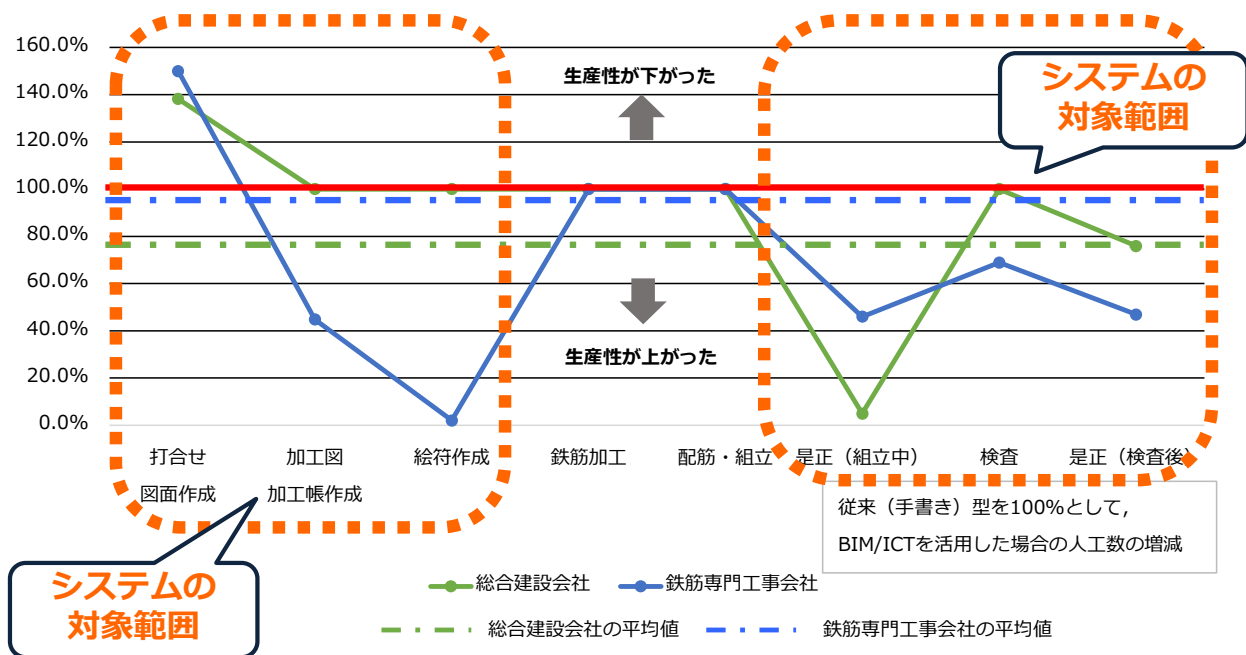


図 8-20 効果の比較 (手書きの作業を 100 とした場合の人工数の増減割合を示した)

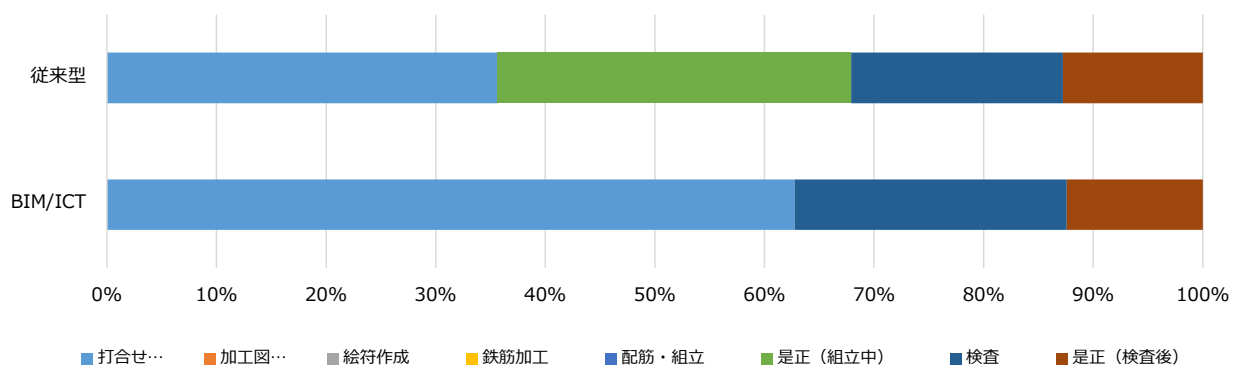


図 8-21 総合建設工事会社の生産プロセスに対する作業人工の割合

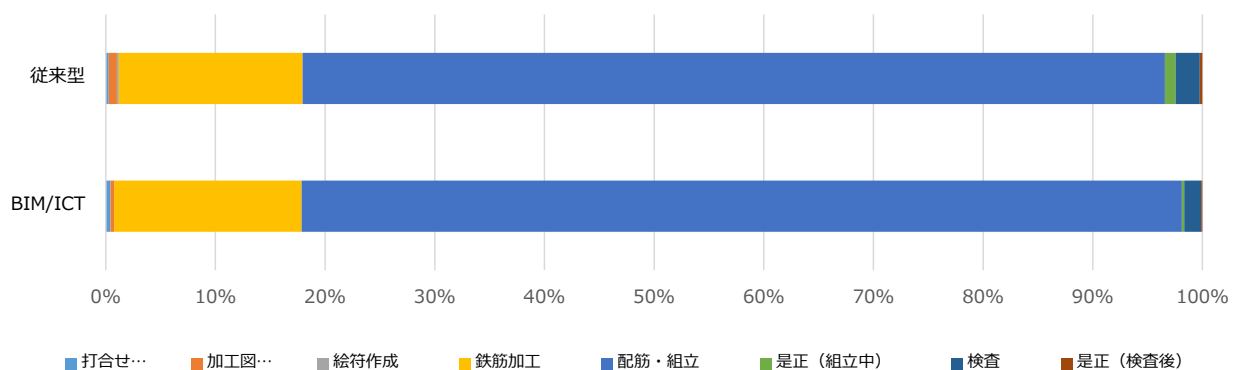


図 8-22 鉄筋専門工事会社の生産プロセスに対する作業人工の割合

細かい微調整をどこまで対応する必要があるのかを検討する余地は残ったが、工事現場での許容範囲内であったため配筋 BIM モデルでの配置はそのままとした。

人通口に関する補強は、鉄筋 BIM モデルの検討時では確定されていなかったため、配筋 BIM モデルを作成する際に、配筋設定に基づいて配置できるかを検証した。その結果、問題なく配置できていることを確認した。配筋 BIM モデルで配置された状況を図 8-19 に示す。補強筋は下部には配置されていないため、イメージとして補強筋を入れたくなるが、既製品（ダイヤレン）の補強方法の設計仕様書に準拠しており問題はない。このような箇所が配筋検査時に構造設計者から補強筋を挿入しておいてください、などの是正指示事項として感覚で指摘される可能性がある。今回は構造設計者が事前に配筋 BIM モデルを閲覧していたため、配筋検査時に指摘されることはなかった。

#### **（４）効果と課題**

BIM/ICT を適用した場合の効果を検証するために、従来のように納まり図等の図面作成は 2 次元 CAD を使用し、加工図・加工帳の作成では手書きを適用した場合（以下、従来型）の想定人工数を 100 として、人工数の増減を比較した結果を図 8-20 に示す。人工数は総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社において、BIM/ICT を活用した実績値から使用しなかった場合の人工数を過去の歩掛かり数値から想定して算出した。

図面作成プロセスの打合せ・配筋納まり図の作成では、従来型と比較して総合建設工事会社の作業量が約 38% 増え、それに合わせて鉄筋専門工事会社においても 50% 増えていた。従来型では、仕口部分を中心として主筋とアンカーボルト位置の干渉を中心とした検討で留まる場合が多く、躯体全体で鉄筋部材を配置することは少ない。鉄筋 BIM モデルによる検証では、従来型では見えにくかった納まりが見えてしまうため、気がつかなかった箇所に対する検討や構造設計者への質疑、鉄筋専門工事会社の職長を巻き込んで事前に不具合箇所を解決できたと考えられる。従来型では納まり図を作成したとしても 3 次元的な検討の不足で不具合箇所を見落とす場合があり、配筋・組立段階において初めて検討不足が発覚し、鉄筋の再加工が必要になることも想定された。

加工図・加工帳の作成においては、従来型と比較すると鉄筋 BIM モデルとの連携により約 56% 作業量の低減が見られた。なお、職長が DIN-CAD100 システムを使用していた場合でも約 32% の作業量の低減が期待できる結果となった。正しい生産情報の連携が効果的であることが確認できた。絵符の作成については、DIN-CAD100 システムによる生産情報の連携により約 98% の削減効果が確認できた。総合建設工事会社では加工図・加工帳や絵符の作成は、従来型でも関与していないため人工数の増減はない。

鉄筋加工や配筋・組立は従来型と変わらないが、効果が確認できたのは配筋・組立の作業中に発生が考えられる、加工された鉄筋が納まらない事象に対する検討作業や鉄筋加工のやり直し等の是正作業の低減だった。総合建設工事会社では鉄筋 BIM の仮想空間による検討時間が増えたものの、従来型で想定された作業中の確認業務が約 95% 削減を見込める結果となった。鉄筋専門工事会社においても 55% の削減効果が同様に試算された。総合建設工事会社の鉄筋工事担当者からは、コンクリート打設日の延期や技能労働者の残業や手待ちの発生リスクを低減することが出来ると考えられ、人工試算には含まれない効果があることも指摘された。

自主検査・配筋検査では、総合建設工事会社が従来型と同じように目視検査と手書きで検査結果

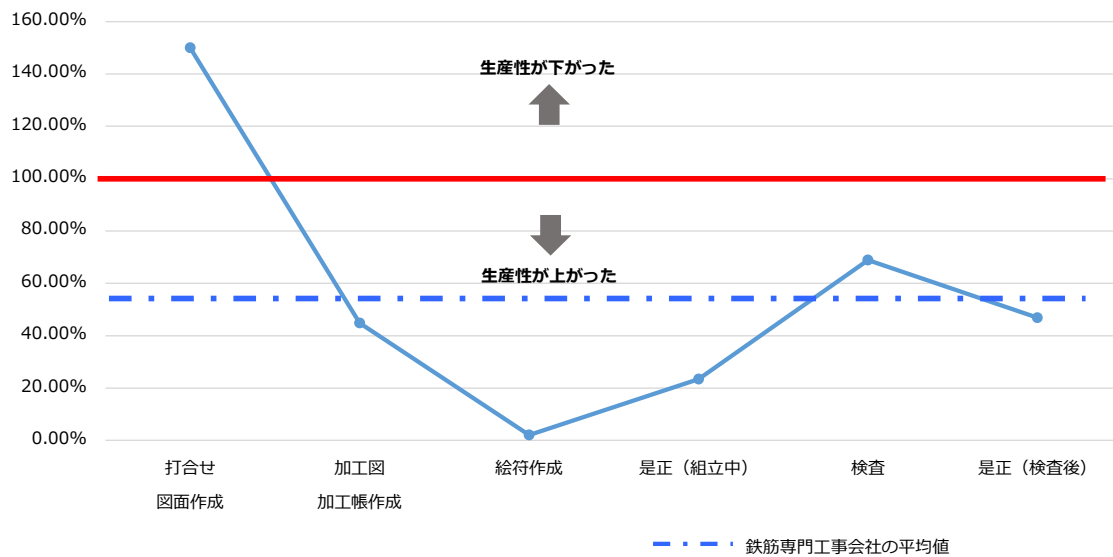


図 8-23 鉄筋専門工事会社の効果（鉄筋加工と配筋・組立作業を除いた場合）

を記録したため大きな違いは見られない。配筋検査後の是正指示に関する項目の減少にともない、是正に関する作業が約 24%減少した。鉄筋専門工事会社においては自主検査・配筋検査で約 31%の作業量の減少、是正作業についても約 53%の作業量の減少が試算された。

鉄筋工事の生産プロセス全体における効果を試算してみると、総合建設工事会社では従来型と比較して約 20%の作業量の低減効果が期待できることが確認できた。打合せ・図面作成の時間が増えているが、配筋・組立時の是正に関する作業手間を吸収することで効果が出ていると考えられる。図 8-21 に時間配分の割合を従来型と BIM/ICT を使用した場合の比較を示す。一方、鉄筋専門工事会社では約 2%の作業量の低減に留まった。鉄筋加工や配筋・組立の時間が従来型で運用されているため、時間配分に変化が無かったことが大きく影響した。図 8-22 に時間配分の割合を従来型と BIM/ICT を使用した場合の比較を示す。鉄筋加工と配筋・組立の 2 つの作業が従来型では約 95.4%を占めており、BIM/ICT を活用した場合でも 97.3%を占めていたことが大きく影響していると考えられる。そこで、鉄筋加工と配筋・組立を除いて BIM/ICT を活用した効果を試算した結果を図 8-23 に示す。全体では約 44%の作業手間の削減が確認でき、生産情報の連携が寄与している作業の生産性向上や不具合の削減に効果があることが確認できた。

#### 8-4 結び：課題と今後の展開

総合建設工事会社が構造解析データと連携して鉄筋 BIM モデルを作成し、自動配筋検査をおこなった生産情報から鉄筋専門工事会社の職長が加工図を作成する。加工図の生産情報から鉄筋 BIM モデルを配筋 BIM モデルに置き換え、問題がなければ加工帳の作成と鉄筋加工工場では絵符を作成する。このような一連の生産情報を連携する BIM/ICT を活用したシステム（S1～S8）は、鉄筋工事全体の生産性の向上や不具合の低減に寄与できることが確認できた。

打合せ時間や配筋納まり図を作成して検討する時間は、大きく増える結果となった。この時期での検討に時間をかけることが、工事現場の配筋・組立の作業時に発覚する不具合を低減させるだけでなく、配筋検査時に発覚する不具合も防ぐことに有効であることも確認できた。鉄筋工事の生産性を向上させることは、総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社のそれぞれがBIM/ICTを活用できることが必要不可欠と言える。職長との生産情報の連携には、鉄筋専門工事会社の支援部門のサポートが必要であった。しかしながら、職長がDIN-CAD100システムを使用できる技術を有していることから、日常業務で定着できれば連携に問題はないと思われる。しかしながら鉄筋専門工事会社では、生産情報の連携に費やす時間より鉄筋加工や配筋・組立に要する時間が鉄筋工事全体の約90%を占めており、これらの作業についても生産性を向上させる取り組みと一緒に考えない限り、鉄筋工事全体で大きな効果を得ることは難しいことも確認できた。

今回の試行では、実施設計が完了した後からBIM/ICTの活用を始めた。その結果、打合せ・図面作成の段階で鉄筋配置を納めるための設計変更があり、構造設計者に課題点を戻して再検討する作業が発生した。施工者が構造設計段階に参画して構造設計者に継ぎ手工法や定着工法を含めて正確な生産情報を逆に渡すような解決の道筋を、構造設計者と施工者が受け入れる必要がある。設計者は施工者が提供する鉄筋/配筋BIMシステムを活用して、鉄筋BIMモデルを生成し自動配筋検査を実行することで不具合箇所をすぐに確認する。このように施工者側で開発された技術を構造設計者が取り入れることで、配筋・組立の出来形を確認しながら構造図の作成業務と連携できる可能性が高い。試行後の構造設計者への聞き取り調査からは、設計段階から出来形を関係者でイメージして共有することの重要性も指摘された。さらには施工段階において鉄筋が納まらない箇所の再検討に追われる日常から開放される可能性が高いことも示された。今後は鉄筋工事の生産プロセスを見直すことだけでなく、正しい生産情報をいつ確定させるのか、それを誰が担うのかを明確にした役割分担にBIM/ICTを適用して、正しい生産情報を次工程と連携できるプロセスを提唱することが重要になると指摘できる。

今回対象とした基礎躯体の鉄筋数量が約265tであり、規模によるスケールメリットが少なかったことも配筋・組立作業時間の割合が大きくなった要因と考えられる。今後は鉄筋コンクリート造（在来工法）の地上躯体においての検証を進めたい。

## 註

- [1] 新妻尚祐, 樋脇 毅, 工藤桂一, 中田善久, 大塚秀三, 鈴木 直, 宮田敦典, 荒巻卓見: 関東地方における鉄筋工事業者の施工の実状に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第 22 巻, 第 50 号, pp. 8-9, 2016. 2.

## 図版出典

- 図 8-1 : 筆者撮影  
図 8-2 : 筆者作成  
図 8-3 : 筆者作成  
図 8-4 : 筆者撮影  
図 8-5 : 筆者撮影  
図 8-6 : 筆者作成  
図 8-7 : 筆者作成  
図 8-8 : 筆者作成  
図 8-9 : 筆者作成  
図 8-10 : 筆者作成  
図 8-11 : 筆者作成  
図 8-12 : 筆者作成  
図 8-13 : 筆者作成  
図 8-14 : 鉄筋専門工事会社提供  
図 8-15 : 筆者作成  
図 8-16 : 筆者作成  
図 8-17 : 筆者作成  
図 8-18 : 筆者作成  
図 8-19 : 筆者作成  
図 8-20 : 筆者作成  
図 8-21 : 筆者作成  
図 8-22 : 筆者作成  
図 8-23 : 筆者作成



結



---

Theme **建築工事における BIM/ICT の受容**

---



---

## 結章 建築工事における BIM/ICT の受容

---

1 はじめに	289
2 鉄筋工事における生産情報と BIM/ICT の在り方	290
3 建築工事における BIM/ICT の受容	295
4 おわりに - 設計・加工・施工の生産情報の連携 -	298

---

### 1 はじめに

---

本研究では、まず第1章にて1985（昭和60）年から2017（平成29）年の33年間を対象として、日本建築学会において発表された論文の題目を、建築生産における BIM/ICT に関する技術開発に着目し、開発されたシステムのユーザーが活用する施工管理分野（品質管理、原価管理、工程管理、安全管理、環境管理）と施工計画分野（工程計画、施工計画、建設ロボット・情報化施工、携帯情報端末、等）の目的別に分類した。そして、社会情勢や国・民間団体の動向、コンピュータ関連技術との関連性から変遷や傾向の分析を試みた。第2章から第5章においては、鉄筋工事における生産情報のマネジメント技術を導くために、生産性の向上や不具合の発生を防止する視点から、生産情報の連携に着目した分析や鉄筋配置に関わる知識の体系化をおこなった。第2章では、鉄筋工事において BIM/ICT を活用して開発された技術の目的や特徴を分析し、第3章から第5章では、総合建設工事会社や鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場への聞き取り調査と現地調査から、生産プロセスの整理と生産情報の扱い方に関する実態や、個々のプロセス内における不具合発生要因の分析を横断的に捉えた。次工程に生産情報がどのように連携されているのかを把握し、それらの現状が鉄筋工事における生産性向上や品質の確保に与える影響の解明を試みた。そして第6章と第7章では、生産情報のマネジメントに適する BIM/ICT を活用したシステムを構築するために、生産情報の連携フローを示した。第2章から第5章において分析した鉄筋工事の生産プロセス内における生産情報の作成手法や

次工程との連携、不具合の発生要因等からシステム構築の在り方や鉄筋部材に関する生産情報の構築手法に関する知識を体系化した。そして第8章では、BIM/ICTの活用を実際の工事現場の鉄筋工事の生産プロセスに適用して効果の検証をおこない、生産情報の連携による取り組みが有効であることを確認した。

結章では、鉄筋工事における設計・加工・施工の生産情報の連携に着目して、現状の整理や分析結果とシステム構築手法を重ね合わせる。BIM/ICTを活用した技術的解決の手法から、建築工事におけるBIM/ICTの受容について総括する。

---

## 2 鉄筋工事における生産情報とBIM/ICTの在り方

---

### 鉄筋工事における生産情報の在り方

第1章では日本建築学会で発表された論文の題目から、BIM/ICTを活用して開発されたシステムを、施工管理分野と施工計画分野の目的別に分類して通史的に分析をした。その結果、施工管理分野では2000年代中頃から品質管理を目的としたシステム開発が多く見られるようになり、施工計画分野では2000年代中頃まで工程計画や建設ロボット、施工管理の分野に集中していたことを示した。システム開発の分野が時代とともに変遷してきているのは、パソコンや携帯情報端末、インターネットの整備等を始めとするコンピュータ周辺技術の進化と関連性があると考えられる。一方で開発の目的として対象となった分野は、品質管理では施工管理や検査等、施工計画分野では工程計画や施工計画等のように特定の分野に集中しており、適用目的に大きな広がりは見られなかった。ひとつの分野においてシステムの活用目的が多岐に及ぶのではなく、入退場管理システムや内装検査システム等のように特定の業務に限定されていた。そして、コンピュータ周辺技術の進化に合わせるようにして同じ目的の似たようなシステム開発が時代に合わせて各社において繰り返されている傾向だった。

システムを活用する範囲を建築生産プロセスに当てはめてみると、生産情報を連携しながら使用するような「面（マネジメント）」として活用されるのではなく、各種検査や各種計画で見られるように、対象としたひとつの業務だけに使用するような「点（業務）」として使用されることを想定している場合が多かったと言える。そのようなことから、使用する生産情報は、設計図書に記載されている項目を開発されたシステムに手入力やCADデータ、設計BIMモデルから構築することを想定しており、施工中に設計図から施工図や製作図に変化していく施工段階の生産情報がシステムの運用に与えた影響は少なかったと考えられる。開発されたシステムを使用するユーザーは、総合建設工事会社の工事現場における技術者であり、使用する生産情報はシステムを開発した総合建設工事会社内で完結しているか、または作成した生産情報を専門工事会社に一方的に渡して連携することで完結していた。

一方、1980年代には建築工事全体において、生産情報の連携を試みる壮大なシステム構築や生産設計のような設計と施工の橋渡しをする考え方、専門工事会社の在り方、ロボット化等が示されていた。今読み返してみると形状と生産情報の扱い方は、まさしくBIMであり、検討の前倒しをするフロントローディングの先取りであったと言える。その後はコンピュータ関連技術の進化により、当初考えていた生産情報の一部は、全社基幹システムに取り込まれ、独自開発された専用CADが対象と

していた生産情報は、汎用 CAD の普及にともない線と文字のデジタル情報になった。汎用性が高いことがかえって多くの技術者間でデジタル情報が流通するきっかけになったが、ひとつの特定の業務にのみ適用され続け、正しい生産情報が下流にまで連携し、生産性向上に寄与する体制が構築できるところまでに至らなかった。1990 年代前半のバブル崩壊による社会情勢の変化に巻き込まれ定着するまでには至らなかった BIM/ICT を活用する技術が、働き方改革や生産性向上の名の下に 2010 年以降あらためて技術開発が再開され、約 30 年前と同じようなビジョンが示されるようになった。建築業界における BIM/ICT を活用した技術開発は失われた 30 年であったとも言えるだろう。

第 2 章においては、鉄筋工事を対象として日本建築学会で発表された論文の題目からシステム開発に関する分野を分析した。その結果、配筋検査に関するシステム開発がシステム関連開発の約 7 割を占めていることが明らかとなった。鉄筋工事の生産プロセスの最後である配筋検査を、システム化することで検査を漏れなく実施し、報告書の作成業務を効率化させる試みが開発の対象だったのである。一方でシステムを使用する前には構造図をシステムに取り込み、検査する部材と断面リスト等の関連付けをする作業が発生しており、生産情報の事前登録や設定に課題があることが示されていた。配筋検査のシステム開発が活発になる前後には鉄筋工事に関する不具合事象がマスコミで大きく取り上げられており、社会的にも工事現場における厳格な品質管理やトレーサビリティが要求された背景との関連性を指摘できる。しかしながら、開発されたシステムでは、実際に配筋・組立された状態を技術者が携帯情報端末に取り込まれた構造図に記載されている生産情報（部材毎の符号や鉄筋径、鉄筋本数等が記載されている部材の伏図や断面リスト）と目視で見比べた結果の記録や配筋写真をデジタル情報として整理する内容がすべてだった。加工図や配筋検査前におこなわれる自主検査との整合性は図られていなかった。やはり「点」の技術開発と言える。一方、画像認識や 3 次元スキャナーにより柱や床の配筋・組立の状況を測定し、構造図と照合させる取り組みも試行された。一定の精度まで検証できることが報告されているが、配置されているすべての鉄筋部材を対象としてデータを取得し、構造図と照合して合否を判定するには、伏図や部材リストだけでの生産情報では不十分である。例えば柱と梁の仕口部分に見られる主筋が定着する納まりや主筋の配列などのように、鉄筋工事の図面作成プロセス内で検討した結果が配筋・組立の完成形として出来上がっている。このように構造図から変更したり詳細を確定したりした生産情報と、整合性を判定する作業も必要になる。実際の配筋・組立の完成形と構造図を比較して合否を判定させることは、大量のデータを取得し、その場で処理をして瞬時に判定される技術が求められるが、コンピュータ関連の周辺技術がまだまだ追いついていない。開発された配筋検査システムでは、施工段階で鉄筋専門工事が関与して確定される生産情報との関連性については言及されておらず、第 1 章で指摘したのと同様に総合建設工事事務所側の視点による技術開発であったと言える。

鉄筋工事分野における BIM/ICT に関わる開発においても、1990 年代前半には鉄筋工事全体で生産情報を活用するだけでなく鉄筋加工工場とのデータ連携に関するシステムが試行されていた。しかし、当時のコンピュータ関連技術の処理能力の限界やバブル経済の崩壊などによる社会情勢の変化からか、独自開発の専用 CAD を保有するのではなく、市販されている汎用 CAD により作成されたデータが流通し始めた。各社毎で独自の生産情報のデータフォーマットを決めてきた、技術開発の限界点であったとも言える。

第3章から第5章では、鉄筋工事における生産情報の使用形態を、工事現場や鉄筋加工工場への聞き取り調査と現地調査から紐解くことにより、個々の生産プロセス内において生産情報が確定されるプロセスや不具合の発生要因との関連性を横断的に捉えた。それらの結果から、配筋・組立に必要な生産情報は、生産プロセスに合わせて順次確定していたことを明らかにした。確定された生産情報は、個々の生産プロセス内で使用する目的に合わせて抜き出され、ユーザーが見やすい形式に変換して使用していた。単純に構造図の状態がそのまま配筋・組立の完成形になっていないことも示した。鉄筋加工工場では、加工を担当する技能労働者は加工するロット単位のプロセス情報しか必要としておらず、完成形はイメージする必要がないことも指摘した。

鉄筋工事の生産プロセス内における生産情報の状態と不具合事象との関連性を総括的に捉えるため、第3章で提示した鉄筋工事の4つの生産プロセス、すなわち図面作成プロセス、鉄筋加工プロセス、配筋・組立プロセス、配筋検査プロセスと第4章で提示した工事現場における工程分析と不具合との関連性、第5章で提示した鉄筋加工工場における不具合事象を重ね合わせる。その結果として4つの生産プロセスにおける生産情報の在り方を整理する。

まず、図面作成プロセスにおいては、建築工事を請負う総合建設工事事務所が設計者から設計図書を受領し躯体図を作成することから始まる。設計図書では鉄筋部材を配置するすべての位置が具体的に示されていないため、部材リストや標準仕様書などに記載がある規定に準拠して鉄筋の納まりを検討する配筋納まり図を作成する。作成する箇所は鉄筋が複雑に配置される柱と梁の接合部のいわゆる仕口箇所にある主筋の配置を中心としていた。これらの図面は施工図を作成する技術者が汎用性のある2次元CADを使用して作成しているが、構造図に記載のある生産情報を参照しながらトレースするように作成することが一般的となっており、構造解析データのようなデジタル情報との連携は見られない。作成された配筋納まり図により鉄筋の配置位置が確定されるため、実際の配筋・組立プロセスにおいて図面通りに配置できていれば不具合の発生は見られないと考えられる。しかし、総合建設工事事務所が作成した配筋納まり図のプロセス情報だけでは鉄筋を加工するのに不十分である。鉄筋専門工事事務所の職長が構造図や躯体図、配筋納まり図を参照して鉄筋の配置や加工に必要な生産情報をあらためて確定させるために、配筋図の作成や加工する鉄筋の形状や加工する寸法や角度を決める加工図、そして加工図から鉄筋加工工場に加工の依頼をする加工帳に生産情報が変化する。職長が作成するこれらのプロセス情報は約6割が手書きで作成されており、構造図や躯体図とデジタルのプロセス情報が連携しているのはごく稀であった。加工図や加工帳は第三者によるチェック作業はなく、職長の自主チェックしかみられなかった。プロセス情報の単位は加工図までは部材単位であったが、加工帳になると加工するロット単位に変換され、この時点で構造図に記載されたプロセス情報との照合は難しくなる。

鉄筋加工プロセスになると、職長が作成した加工帳から加工工場において絵符という媒体に生産情報が変換される。絵符は鉄筋加工工場内において加工作業の指示書の役割を果たすプロセス情報となるが、手書きではなくすべてがデジタルのプロセス情報として扱われていた。一部の取り組みでは加工帳作成システムで作成されたプロセス情報が、絵符に記載されるプロセス情報に自動的に変換できる活用手法が見られた。加工帳が手書きの場合にはオペレータが手入力によりデジタル情報に変換していた。絵符の作成ミスによる不具合は、不具合全体（出荷数量に対して1%以下）の5%であり、転載ミスが

少なからず発生していた。鉄筋加工工場における不具合は、加工形状や加工本数、積み込みに関する項目が不具合全体の約 60%を占めていた。加工作業の工程内チェックは、目視やコンベックスによる寸法測定がなされていた。絵符には QR コードが印刷され、鉄筋加工機に読み込ませることにより、切断する寸法や本数の不具合を防ぐことに有効であることが確認できた。一方、QR コードに対応した加工機を使用するのが作業工程の一部である場合では、後工程で技能労働者による手作業が発生しており、加工形状や加工本数の不具合を発生させる要因と考えられる。鉄筋加工工場における不具合には積み込みも多く見られた。加工された鉄筋は積み込みヤードに仮置きされているが、工事現場に出荷する鉄筋の積み込みでは、工事現場に搬入する車両の運転手が出荷指示書と積み込みヤードに仮置きされている鉄筋の束に結束されている絵符を探す状況が見られた。鉄筋加工工場と工事現場をつなぐ生産情報の連携方法に課題があることが確認できた。同時に絵符は荷札の役割をはたしていることも確認した。鉄筋加工工場における品質検査は、積み込みヤードに置かれている鉄筋の束に結束されている絵符を任意で抜き取り、絵符に記載された加工形状と実物を照合することによりおこなわれていた。品質管理者による目視での検査であるため、形状については確認しやすいと言えるが、鉄筋の束になっている本数の検査を目視で正確にカウントするのは難しい。

配筋・組立プロセスでは、加工された鉄筋が工事現場に搬入されると、加工ロット単位から部材単位へと生産情報が戻る。そのため荷札の役割を果たしてきた絵符はここで不要となり、図面作成プロセスで職長が作成した配筋図や加工図に基づいて技能労働者が配筋・組立の作業をしていた。この作業では構造図を参照するのではなく、職長が作成した生産情報に基づいて作業が進む。鉄筋加工工場による加工不具合の約 6 割がこのタイミングで発覚していた。配筋・組立プロセスにおける工程内チェックは技能労働者による自主チェックが複数回なされているが、構造図との照合ではなく職長が作成した配筋図や加工図を基にして確認をしていた。配筋・組立プロセスで必要となる生産情報の約 91.7%は鉄筋加工前までに確定されており、正しい生産情報が配筋・組立までに連携されていれば、残りの約 8%、つまり実際の作業時でないと見えてこないかぶり厚さや定着長さ等に配慮した組立作業に注力することで次工程における各種検査での指摘は低減できる可能性がある。

そして配筋検査プロセスでは、工事監理者により構造図に記載のある部材毎の断面リストや詳細図、仕様書等との照合が目視によりおこなわれる。配筋検査の前には職長や鉄筋工事担当者の自主チェックがなされているが、これをすり抜けて鉄筋径・ピッチ・本数等の不具合が指摘されることも少なくない。技術者であっても構造図に記載される数値や一般的な基準だけでは、最終の完成形をすべてイメージしながら検査を進めることが難しいことを示している。

このように鉄筋工事に係わる生産情報の扱いは個々のプロセスにより変わっていた。設計図書から転載された生産情報のどこかで間違いが発生し、次工程に伝達されていても設計図書との照合を都度おこなっていないため、間違った生産情報がそのまま次工程に流れる可能性が高いことを明らかにすることができた。一方で各生産プロセスのつなぎ目にデジタル情報として正しい生産情報の連携による生産性の向上への取り組みは少なかったが、個々のプロセス内においては自らの業務の効率化としてデジタルにした生産情報を扱う傾向があることが読み取れた。

## 鉄筋工事における BIM/ICT の在り方

第 6 章から第 8 章では、鉄筋工事に関する生産情報をデジタル情報として取り扱い、生産プロセ

スのつなぎ目において連携できるワークフローや生産情報の構築手法を示し、実際の工事現場に適用することで有効性を示した。

第6章ではシステムを活用するユースケースを最初に想定した。鉄筋工事の4つの生産プロセスをさらに26項目に細分化して、第3章から第5章で分析した結果から総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社、鉄筋加工工場において正しい生産情報を使用するまたは確定させるアクターとユースケースの関連性を明確にした。BIM/ICTを単に生産プロセスに当てはめることを目的にするのではなく、正しい生産情報を次工程に正しく連携させることに主眼をおいた。生産情報は汎用性のある形式とするため、市販されているソフトウェアのアドオンとして機能を追加することで、ユーザーが新たなソフトウェアを導入して操作を一から覚えることを無くし、一般的に流通しているファイル形式でデジタル化された生産情報が連携できるように配慮した。

BIM/ICTを活用した生産情報の連携では、必要となるシステムをS1（施工図作成に必要な生産情報を取得）からS11（配筋・組立後の各種検査結果を配筋BIMモデルに統合）までの11項目に分類してそれぞれを定義した。従来のシステム開発では、総合建設工事会社が作成した生産情報を一方的に専門工事会社に渡す場合が多く見られたが、今回の特徴は鉄筋専門工事会社と双方向に生産情報を連携することを提示した。総合建設工事会社は正しく鉄筋の加工ができるように鉄筋BIMモデルの生産情報を職長と連携する。一方、職長は鉄筋加工に必要な生産情報を精査・確定したら、そのデータを総合建設工事会社に戻す。今回は鉄筋の配置を検討する鉄筋BIMのデータを実際に配筋・組立される出来型を示す配筋BIMモデルに変換する手法を提示した。第3章において職長が作成した生産情報は、第3者によるチェックがなされていないため、加工図を作成する不具合を低減させるためのひとつの手法である。それとともに実際に配筋・組立の状況を配筋BIMモデルとして仮想空間で再現させることは、加工に関する指示ミスの低減や画面上で配筋検査の実施が容易となり、配筋・組立時の不具合の低減につながる可能性を示した。一方、BIM/ICTの活用による生産情報の連携だけでは解決しにくい範囲が残されていた。例えば鉄筋BIMモデルが配筋設定に合致しているかを自動で配筋検査をすることが容易になったが、抽出された不具合を解決する手法が、BIM/ICTの活用だけでは完全に解消することができないことである。工事現場における配筋・組立の作業についても同様である。

正しい生産情報により配置された鉄筋は、1本毎に鉄筋要素IDとして生産情報と関連性を持たせており、どの鉄筋要素IDがどこに配置されるかは明確になっている。ところが鉄筋加工工場と工事現場において扱う生産情報の単位が、前者は加工ロット単位であり後者は部材単位と個々の生産プロセスにおいて管理する単位が異なっている。ひとつの絵符には加工形状が同じで配置位置がばらばらな鉄筋要素IDが付与された鉄筋部材が束ねられているのである。これらは鉄筋加工工場における作業の効率化を考えると、同じ加工形状はまとめて加工をしたいとの意見は当然である。一方で絵符に記載されている生産情報の在り方は、加工形状や積み込みに関する不具合が多く見られることから再考する必要がある。そのためには、鉄筋加工工場における生産情報の在り方やQRコードと連携できる加工機の配置、加工ライン、積み込みヤードなどのように鉄筋加工工場内におけるレイアウトとの関連性と一緒を考える必要がある。鉄筋加工工場ごとで絵符に記載されている生産情報は異なっており、BIM/ICTを活用した生産情報の連携だけでは解決しにくい今後の課題と言える。



第7章では実際にシステムを構築する範囲を、S1 から S8（配筋 BIM モデルを自動配置・自動配筋検査）の約 73%として鉄筋/配筋 BIM モデルの構築手法を示した。この範囲は鉄筋工事で必要とされる生産情報の約 91.7%が絵符を作成するまでの図面作成プロセスで確定されており、それを包含している範囲だからである。BIM ソフトウェアで鉄筋を自動配置させるには配筋設定（物件設定＋配筋要領）の項目と自動配置ロジックが必要になる。自動配置ロジックの策定には、鉄筋の納まりを熟知している鉄筋専門工事会社の職長などから聞き取り調査を実施して確定させた。これらは知識のプログラム化である。経験値で培われた技術を標準化することで、生産情報を誰もが正しく扱うことができるような業務の進め方を提示した。

合わせて BIM モデルで必要となる鉄筋形状のライブラリは、使用する部材から 39 タイプを選定した。総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社における部品の共通化である。仮想空間における自動配筋検査が必要な項目も示した。総合建設工事会社と鉄筋専門工事会社が双方向で生産情報を扱えるように鉄筋に振り当てる鉄筋要素 ID の連携手法についても定義をおこない、第6章で提示したワークフローと第7章で提示した BIM モデルの作り方や連携手法を基にして実際のシステム開発をおこなった。

第8章では BIM/ICT を活用したシステムを実際の工事現場において試行した。対象とした工事は設計施工一貫で発注された鉄骨造の基礎躯体工事とした。従来型と BIM/ICT を活用した場合とで作業に要した人工数を比較することで効果の検証を試みた。従来型を 100 として数値を試算したところ、総合建設工事会社では鉄筋工事の生産プロセス全体で約 20%の生産性向上が可能であった。鉄筋専門工事会社では、システム開発の対象プロセスだけを見ると、約 44%の生産性向上の効果が試算された。一方、鉄筋工事の生産プロセス全体で見ると、約 2%の生産性向上になると算出された。これは鉄筋加工や配筋・組立に要する作業時間が鉄筋工事全体の約9割を占めており、この部分についてはシステム開発の対象外だったことから生産プロセス全体での伸びが少なかったと言える。両社とも打合せ・図面作成段階では約4割から5割も時間が増えていたが、配筋・組立時に発覚する不具合の箇所を是正する時間が大きく削減できていた。これらの検証結果により生産情報を双方向で連携する効果が大きいことを示すことができたが、鉄筋専門工事会社においては鉄筋加工や配筋・組立の作業についても生産情報と連携した取り組みを進めることにより鉄筋工事全体の生産性につながることも指摘した。

以上、述べたように本研究で明らかにしたことをまとめる。

- ① 設計と施工をデジタル情報で繋ぐことで双方の BIM が連携する手法を示した。
- ② 鉄筋加工と組立・配筋の現地調査から BIM/ICT で解決できる課題を見出した。
- ③ 配筋基準に職長等の知識を加え、鉄筋 BIM を自動生成できる手法を示した。
- ④ 総合建設工事会社と専門工事会社が連携してデータを作成することで、配筋検査時の指摘事項が減る可能性を示した。

---

### 3 建築工事における BIM/ICT の受容

---

#### 建築工事において BIM/ICT を活用する3つの視点

本節では前節で整理した鉄筋工事における生産プロセスにおける生産情報の在り方や、BIM/ICTを活用する在り方を、序章にて本研究の目的として提示した3つの論点から捉えることにより、建築工事においてBIM/ICTを活用するための新たな視点を示したい。

1点目は建築生産におけるデジタル情報の技術開発には、専門工事会社との協創が重要になる視点である。建築工事において開発されてきたBIM/ICTのシステムは、誰が正確な生産情報を作成してそれらを誰が使用し、最終的に誰が効果を楽しむのかを再考する必要がある。今までのシステム開発は、総合建設工事会社が担当し、他社との差別化として開発をした総合建設工事会社のみが使用できるシステムが多数であった。システム内で必要とされる生産情報は、総合建設工事会社にとって工事管理等に必要であると思われるが、それらは専門工事会社も必要としている生産情報と合致しているのかを考慮する必要がある。正確な生産情報が総合建設工事会社の生産プロセス内のみでしか流通しなくなり、生産プロセス全体から見ると滞留してしまう。工事現場の生産性を向上させる取り組みは、何度も同じ目的のシステム開発がそれぞれ時代における最新のソフトウェアやハードウェアに合わせておこなわれてきた。例えば、2020（令和2）年8月の日本経済新聞の紙面では『建設大手、現場×IT 急ぐ』との記事が掲載され、専用スマートフォンや複合現実（MR）を導入することが紹介されていた<sup>[1]</sup>。専用スマートフォンにより従来は総合建設工事会社の技術者が、現場を巡回して紙に記入していた作業進捗をリアルタイムに把握できる取り組みにより、専門工事会社の技能労働者が作業工程を工夫しやすくなると示されていた。1990年代から始まった工程管理に関するシステム開発で進捗管理に関するシステムがいまだに継続されている。ここで扱われる生産情報は、施工管理における作業進捗の情報になると考えられるが、専門工事会社にとってみると、誰が進捗状況を正しく入力・更新し、具体的に享受できる効果（例えば4週8閉所の実現や賃金の向上、等）と関連付けることによるインセンティブ（動機付け）が示されることも必要になるだろう。情報管理に関する対価の提示も推進を図る上で重要になると考えられる。

総合建設工事会社が自社で独自開発したシステムを、自社の工事現場内のみで技能労働者に一方的に生産情報の更新を要求するだけでは、システムを定着させることは難しい。今までのシステム開発の適用を考えれば明白である。記録された生産情報を次工程で活用することが無く、一過性の記録として活用するのであれば、SNSのような既製品のアプリケーションで十分対応できる可能性も残されている。技能労働者は他の工事現場と掛け持ちをしている場合も想定されるため、今後はシステムを開発した会社の一部の工事現場だけが使用するのではなく、多くの工事現場を横断した生産情報の更新や管理をするような視点が必要になるだろう。総合建設工事会社のシステム開発が、個々の興味対象として部分最適を目指した「点（業務）」のシステムになってはいけないことも意識すべきである。

2点目は総合建設工事会社の技術者や専門工事会社の技能労働者が保有する経験値を知識としてプログラム化し、それらを運用するプロセスと業務のプロセスを紐付ける視点である。今回はBIMソフトウェアに鉄筋部材を配置するロジックを聞き取り調査から実装した。建築工事にBIM/ICTを活用する中で、BIMモデルだけではすべての業務に対応できるひとつのデータベースには成り得ないことも示した。BIMモデルは「必要とされる建築の情報を「生成・活用・運用」するための「建築知＝知識・方法・技術」を育むプラットフォームといえる」との指摘があるように<sup>[2]</sup>、設計・施工・

維持管理に渡る建築生産全体でひとつのデータベースとして語られる場面が多い。一方、鉄筋工事における生産プロセスにおいて分析した通り、正しい生産情報の連携を実現させるには、アクターとの関係から BIM ソフトウェアだけでなくデジタル情報として扱える CAD や表計算ソフトウェアのような ICT の存在を見逃してはならない。そして、知識の体系化も必要不可欠だった。技術者や技能労働者が欲しいのは BIM モデルではなく、デジタル化された正しい生産情報なのである。そのため、あらゆる工種において生産情報の作成手法や連携手法、構築手法を詳細に検証し、設計図書から始まる生産情報がどのように読み替えられて、建物が完成しているのか、膨大になる生産情報と BIM/ICT の活用を関連づける、つまり経験値による知識を体系化したプログラムを業務のプロセスに組み込むことを考えるべきである。BIM/ICT の活用は、知識の体系化によるプログラム化と、生産情報をマネジメントする「面」としての方法を提示することである。すでに多くのシステム開発がおこなわれかつ繰り返されてきたてきた分野である施工管理業務や検査業務、または工程計画や施工計画等が技術開発として重要なテーマであることは間違いないが、今後も「点」としての技術開発のみが進んでしまうと、近年における BIM/ICT やコンピュータ周辺技術の目覚ましい進化に追従した今までと同様なシステム開発が続く可能性を指摘できる。経済産業省による DX の推進施策としてのデジタル技術の活用による新たなビジネス・モデルの創出や国土交通省による i-Construction による生産性向上を実現させるには、デジタル化された生産情報と知識のプログラム化がシステムの運用に与える影響を、アクターと生産プロセス間のつなぎ目の連携実態等から分析し、各工種における生産情報の実態を再検証することである。そのようにしない限り「点」としての活用方法が主流になってしまう恐れがある。当然、携帯情報端末でデジタル情報を閲覧できるというような「点」の活用方法が、有効であることは周知の事実であるが、建築生産プロセスにおいて工事全体の生産性向上にどれほど貢献するのかは甚だ疑問である。閲覧をするような技術は、他産業における技術の進化により今後も発展すると思われる。しかしながら、建設業界にいる技術者として私たちが常に接している生産情報を正しくマネジメントできる「面」の技術を示さない限り、はたして携帯情報端末で見えている生産情報が正しいのか正しくないのか判断がつかない状態で運用することになる。このような視点を有しない限り、今までの技術開発のように試行で終わってしまう可能性がある。

一方、鉄筋工事では超高層 RC 住宅の建設において PC a 工法の採用が増えるに伴い、太径で高強度の鉄筋を使用する必要から鉄筋の継ぎ手・定着工法がさまざまに開発されてきた。在来工法においても高強度の太径の鉄筋が使用されるようになると、従来の圧接工法だけでは対応できなくなってきた。そのため、鉄筋の納まり検討時には、多様化している鉄筋端部の継ぎ手や定着の方法を確定させなければいけない。継ぎ手では圧接・溶接、重ね継ぎ手だけでなく機械式継手のメーカーを選択し、定着についても同様に直線・曲げ定着だけでなく、プレート定着のメーカーを選択しなければならない。これらは納まりだけでなく構造計算やコスト、作業手順等にも影響がある。特に建物高さが 60m を超える高層 RC 造の場合では第三者機関による審査がおこなわれており、比較的早期の設計段階や積算・調達段階で方向性が決められる。在来工法では総合建設工事会社の技術者や鉄筋専門工事会社が参画した時点で変更されることも多々見られる。技術者の経験値から施工のやりやすさの判断や、鉄筋加工工場の加工設備により加工の可否、職長の判断で施工のやりやすさから設計変更されるのが大半である。設計変更にともない構造設計者は、再度構造計算をする必要に迫られる。構造設計段階で鉄筋専門工事会社が選定されることは少ないため、どうしても後工程での確定事項になって



図9-1 鉄筋 NC 加工機



図9-2 コイルの鉄筋材料

しまう。特に柱梁の仕口部分の納まりに関連する定着方法については、一旦納まっていても施工のやりやすさから変更される事が考えられるため、工事を担う鉄筋専門工事会社からの意向を反映させた構造計画や構造計算をすることが望まれる。鉄骨工事においては先行して業者選定をおこない、鉄骨部材の作り易さを反映させる場面が増えてきているのと同様に、継ぎ手工法や定着工法の選定についてもそのような体制を考えることが、鉄筋/配筋 BIM システムを有効に活用し、生産情報を分断させない重要な要素になる。

3点目は BIM モデルと既存のシステムと組み合わせることで、部分最適で使われていた生産情報を生産プロセス内で流通できる視点である。流通の範囲は工事現場だけでなく、工場におけるものづくりや加工した商品を工事現場に運ぶ物流に及ぼす影響も見逃してはいけない。例えば鉄筋加工工場における加工機の製造について海外に目を向けると、すでに図 9-1 に示すようにイタリア製の鉄筋自動 NC 加工機が存在が知られている<sup>[3]</sup>。鉄筋径 D10 から D29 までの鉄筋を切断曲げ加工から仕分けまでが可能である。さらに加工する鉄筋材料についても考える必要を指摘できる。日本においては鉄筋加工をする鉄筋材料は定尺であるためどうしても材料のロスが発生してしまうが、コイル鉄筋の製品を NC 加工機にセットすることで加工効率が大幅に向上し、ロス率が低くすることも可能である。図 9-2 に示すように日本でコイル鉄筋を供給するメーカーも現れてきた。このように加工工場と連携する生産情報の在り方だけを考えるのではなく、加工プロセスや加工機、さらには材料の在り方までを体系的に網羅して加工工場のレイアウトを決めていく視点も今後は必要になるだろう。

#### 4 おわりに – 設計・加工・施工の生産情報の連携 –

最後に建築生産における設計・加工・施工にわたる建築生産情報のマネジメント技術の在り方を、生産情報の作成と生産情報を活用・照合の視点から総括する。図 9-3 に設計・加工・施工の生産情報の連携の考え方を示す。

正確に生産情報を作成する視点としては、すでに 1980 年代後半から議論されてきたが、業務の分業化にともない設計者（意匠・構造・設備）と施工者（総合建設工事会社・専門工事会社）の役割分担と参画する工程を見直し、積年の課題である建築生産の体制の再編を実現させなければならない時期にきていることである。加工工場の役割分担も同様に含めるべきであろう。鉄筋工事の生産プロセスの分析からは加工工場における加工体制や加工機の配置等も工事全体の生産性と関連性があり、

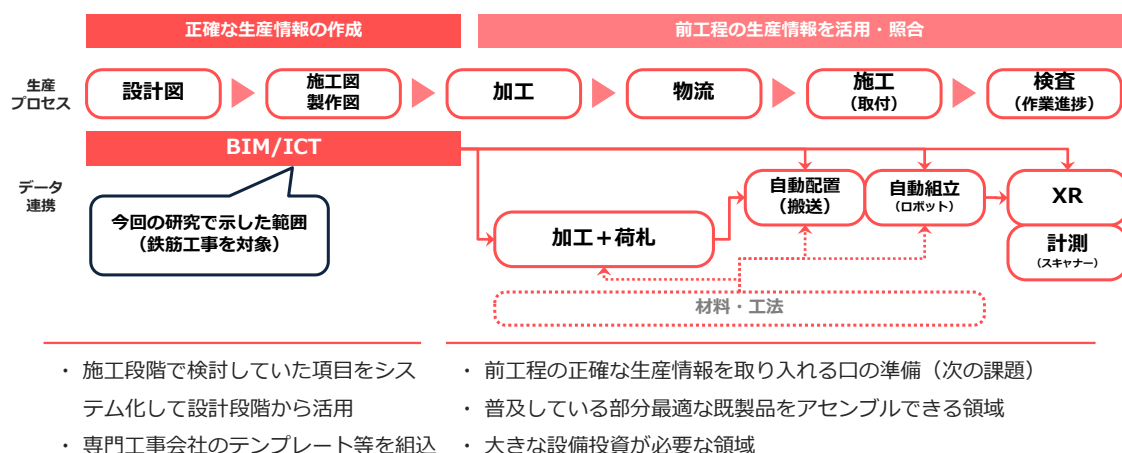


図9-3 設計・加工・施工の生産情報の連携

一緒になって建設業の生産性を考えなければならないことを明らかにした。単純に工事現場における技術者や技能労働者が担う「点」の業務のみを対象にしたBIM/ICTを活用した技術開発は臨界点に達している。

一方で鉄筋/配筋BIMシステムの試行では、多様化してきた継ぎ手工法や定着工法を選定することにより自動配筋ロジックは機能したが、選定する時期にゆらぎがあると施工が始まってから設計変更が生じた。このような事象は構造設計者を含めて再度作業が発生する要因となり、生産情報の滞留や逆流につながる。これらの業務についても、生産性の向上や不具合を低減させる視点に包含されなければならない。設計段階だから構造設計者がすべて担うということではないだろう。生産情報を扱う技術者や専門工事会社がどのように参画して協創できるのかを考えることである。施工者は設計者が決めることを強要するだけでなく、逆説的に生産情報を確定できる技術開発されたBIM/ICTを、設計段階に提供して、設計者と一緒に活用できる体制を提案できることが望まれる。

生産情報を活用・照合する視点では、役割分担の中で物流も加えるべきであろう。鉄筋工事で見たと絵符のような荷札が鉄筋工事以外でも工事現場で見られる。例として図9-4にサッシの部材に取り付けられた荷札を示し、図9-5にガラスに貼られた荷札を示す。これらは加工工場において貼り付けられた。部材が所定の場所に取り付けられた後は絵符と同様に破棄される。設計図書から施工図・製作図を作成し、加工に必要な詳細を確定させているが、その後に加工工場ではものづくりして工事現場に搬入し、技能労働者が所定の位置に取り付ける。このプロセスでは、工事現場の生産情報と加工工場との生産情報が荷札を媒体として連携していると考えられる。加工工場でもものづくりがある限り、このようなプロセスが大きく変わるとは考えにくい。鉄筋工事で使用されている絵符は海外の鉄筋加工工場においても図9-6に示すように確認されている。つまり加工するために必要な生産情報は、工事現場から伝達されてから加工工場で作成され、工事現場に搬入する際には荷札として加工工場で作成された生産情報を貼り付けているのである。

現在、工事現場における自動化や機械化が1990年代と同様に技術開発が進んでいる。しかしながら単純に工事現場の技能労働者の作業を簡素化させるだけでなく、加工工場の製造から出荷、工事現場における搬入そして間配りのプロセスにおいても生産情報を連携させることが望まれる。そのた





図 9-4 外装サッシに取り付けられた荷札

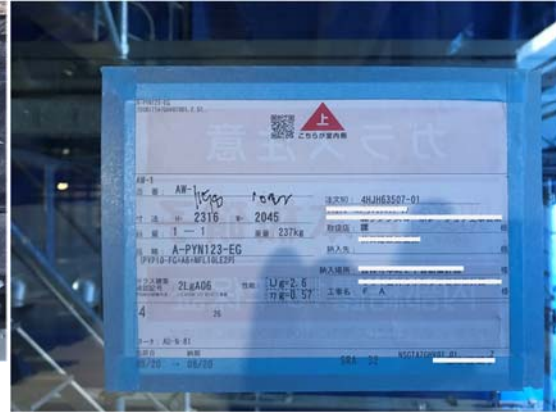


図 9-5 ガラスに張り付けられた荷札



図 9-6 海外で作成されていた絵符



図 9-7 間配りを待つ鉄筋束

めには、荷札に記載される生産情報の在り方を工種毎に見直し、工事現場と加工工場をつなげることで自動化や機械化につながる「面」として BIM/ICT の活用を模索することが望まれる。

在来工法の鉄筋工事では図 9-7 に示すように絵符が結束され施工階に荷揚げされた鉄筋束から配置すべき箇所が指示できるような自動化を進めることが次のフェーズで必要となるデジタル化された生産情報の活用と思われる。

一方、BIM の活用には生産プロセスの変革が必要と言われてきた。工業化におけるものづくりでは、すでに確立されている一連の生産プロセスを大きく変えることは現実的ではない。本論で示した鉄筋工事では、図面作成、鉄筋加工、配筋・組立、配筋検査の 4 つの生産プロセスを軸として論じてきたが、作業をするロケーションは変わったとしても順序の入れ替わりやスキップはできないのである。変革をしなければいけない本質は、建築生産プロセス内で扱われる生産情報を正しく作成して次工程と連携し、活用・照合するプロセスの確立と考えられる。設計図書から始まる生産情報を、加工工場と工事現場でつなげることは、日本だけのワークフローではなく海外においても鉄筋の絵符を示したように同様なワークフローであると指摘できる。

このように正しい生産情報を作成して次工程で活用・照合するマネジメント技術の確立には、各工種における生産情報のワークフローをより詳細に検証する必要がある。設計図書の構成にどのよう

に影響を与え、施工図・製作図の作成にどのように読み替えられてものづくりがおこなわれ、工事現場が構成されているのかを、生産情報をマネジメントする視点から捉える。BIM/ICT の活用は、生産情報を切り取って「点」としての活用する視点で得られる効果を追及することだけではない。専門工事会社や加工工場も含んで正しい生産情報の作成から活用・照合する建築生産情報のマネジメント技術を追求し、ワークフローを構成する「面」として生産情報を活用する視点から今一度検証する必要がある。

発注者にとってこのような「内向的」な技術開発は、「外向的」な技術開発と異なり目にすることは少ない。しかしながら、設計段階で BIM/ICT を活用できる体制の構築には知らず知らずに大きな影響を与えている。施工者の選定期間や使用するソフトウェアを早期に指定することが、コスト高や施工品質の低下に繋がることを危惧することで、決定を先送りしてしまう場合が見受けられるからである。そのような懸念事項に対して総合建設工事会社からは、積極的な情報発信を考える必要がある。発注者は「内向的」な技術開発から得られる生産情報のマネジメント技術が、生産性の向上や不具合の低減に関与する直接的なメンバーではないかもしれないが、間接的に関与していると言える。デジタル化された生産情報はプリミティブ（基本の構成要素）である。建築生産プロセスの体制構築を含めた生産情報の扱い方に参画することは、今後の BIM/ICT を活用した技術開発が定着できるのか、同じ技術開発が繰り返されるのか、いずれかの鍵を握ることになるであろう。

本研究で主題とした鉄筋工事は、建物の品質に大きな影響を及ぼし完成後は見えなくなる工種であるが、建築工事全体からみると一側面でしかない。今後は鉄筋工事以外の各工種における建築生産プロセスと建築生産情報の作成や活用・照合との関連性、BIM/ICT の在り方、構築手法の再検証を進める必要がある。設計・加工・施工において BIM/ICT によりデジタル化された正確な生産情報を容易にマネジメントする技術を追及することが、建築生産における生産性の向上や不具合を低減させるだけでなく、発注者・設計者・施工者（総合建設工事会社・専門工事会社）・加工工場を包含したビジネス・モデルの創出やデジタルデータの活用について新たな知見を得る手法になると考える。

## 註

- [1] 日本経済新聞社: 建設大手, 現場×IT, 日本経済新聞 11 版, 企業 1, p. 16, 2020. 8. 27
- [2] 日本建築学会: BIM のかたち Society5.0 へつながる建築知, 彰国社, p. 12, 2019. 7
- [3] 株式会社ディビーエスのホームページによる。

## 図版出典

- 図 9-1 : 株式会社ディビーエスのホームページによる。
- 図 9-2 : 筆者撮影
- 図 9-3 : 筆者作成
- 図 9-4 : 筆者撮影
- 図 9-5 : 筆者撮影
- 図 9-6 : 筆者撮影
- 図 9-7 : 筆者撮影





## 初出一覧

### 第3章

#### ◎日本建築学会計画系論文集

題目 : 鉄筋工事における生産情報のマネジメントに関する考察 ―総合建設工事会社と専門工事会社の事例を題材として―

著者名 : 曾根巨充, 田中大土, 志手一哉

出典 : 日本建築学会計画系論文集, 第 83 巻, 第 754 号, pp. 2359-2369

発表年 : 2018.12

#### ◎日本建築学会 建築生産シンポジウム

題目 : 鉄筋工事における ICT の活用に関する考察 2

著者名 : 田中大土, 志手一哉, 曾根巨充, 渡邊寛也

出典 : 日本建築学会, 第 34 回建築生産シンポジウム論文集, pp. 55-62

発表年 : 2018. 7

題目 : 鉄筋工事における ICT の活用に関する考察

著者名 : 田中大土, 志手一哉, 曾根巨充

出典 : 日本建築学会, 第 33 回建築生産シンポジウム論文集, pp.239-244

発表年 : 2017. 7

#### ◎日本建築学会大会学術講演梗概集

題目 : 鉄筋工事の実態分析 その 2 加工図作成の手順

著者名 : 田中大土, 曾根巨充, 大場巧巳, 志手一哉

出典 : 日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集, 建築社会システム, pp. 145-146

発表年 : 2018. 7

題目 : 鉄筋工事の実態分析 その 1 加工図作成に必要な情報

著者名 : 大場巧巳, 曾根巨充, 田中大土, 志手一哉

出典 : 日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集, 建築社会システム, pp. 143-144

発表年 : 2018. 7

題目 : 鉄筋工事における ICT の活用に関する研究 その 2)建設現場の考察

著者名 : 田中大土, 曾根巨充, 志手一哉

出典 : 日本建築学会大会 (中国) 学術講演梗概集, 建築社会システム, pp. 339-340

発表年 : 2017. 7

題目：鉄筋工事における ICT の活用に関する研究 その1 専門工事会社の考察

著者名：曾根巨充, 田中大土, 志手一哉

出典：日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集, 建築社会システム, pp. 337-338

発表年：2017.7

## 第4章

### ◎日本建築学会計画系論文集

題目：鉄筋工事における生産情報のマネジメントに関する考察 ―総合建設工事会社と専門工事会社の事例を題材として―

著者名：曾根巨充, 田中大土, 志手一哉

出典：日本建築学会計画系論文集, 第83巻, 第754号, pp. 2359-2369

発表年：2018.12

## 第5章

### ◎日本建築学会計画系論文集

題目：鉄筋加工場の不具合発生要因に関する調査研究 ―不具合事象と加工工程および加工情報の関連性を対象として―

著者名：曾根巨充, 遠藤裕太, 志手一哉

出典：日本建築学会計画系論文集, 第85巻, 第773号, pp. 1535-1545

発表年：2020.7

◎ 博士論文をまとめるに際しては、既往発表論文に加筆・修正をしました。

## あとがき

2003（平成15）年9月に名古屋から東京に転勤で出てきて、3D-CADを活用した新しい仕事の進め方を検討するプロジェクトに参画したことがBIM/ICTに関わった始まりでした。あれから18年が経ち、干支で言うともう一回り半を過ごしたことになります。参画した当時は設計施工一貫発注で超高層RC住宅のプロジェクトが増え始め、PCa化のように部材を組み立てる工業化工法に3D-CADを適用することが推進されていた時期でした。PCa部材の納まり検討や板図の作図を効率的に進めるには経験者による知識の体系化を通じて、設計段階と施工段階を連携させる標準化が必要不可欠との結果に至り、PCa部材の設計編や施工編に関する社内標準の制定にも参画することができました。

社内標準の編集作業と並行しておこなった工事現場や製造工場への聞き取り調査の中で、工事現場だけでなく製造工場においても担当者らが丹念に課題点を解決するアイデアを出し、業務の生産性を考え実践してきた姿勢を見ることができました。工事現場の生産性には専門工事会社や製造工場からの視点も重要であることに気付いたことが契機となり、専門工事会社や製造工場と協創したBIM/ICTとの関係を考え始めたのもちょうどこの頃です。

それ以降、鉄筋工事に関する不具合が一般のメディア等に取り上げられることが続き、これらの事象をBIM/ICTを活用した技術開発により低減させることができないものか、とあらためて考えるようになりました。研究を進めるにあたって芝浦工業大学の志手一哉教授からは、2017年4月の博士課程（後期）に入学して以来、基礎研究の大切さや現地調査の結果を丁寧に分析する視点等をご教授いただきました。鉄筋工事における生産情報の扱い方をまとめるための論点整理や構成方法、まとめ方を親切丁寧に指導いただくだけでなく、博士論文審査委員会の主査にもなっていました。心より御礼申し上げます。

蟹澤宏剛教授（芝浦工業大学）には副主査を引き受けていただき、過去の建築生産における技術開発を分析する上において、非常に重要なお指摘をいただきました。建築構造専攻の椋山健二教授（芝浦工業大学）には、ソフトウェアの汎用性に関する視点の大切さをご教授いただきました。また、建築材料専攻の濱崎仁教授（芝浦工業大学）には、専門工事会社にも視野を広げてITリテラシーを捉える視点をご教授いただきました。そして、学外審査委員を引き受けていただいた金多隆教授（京都大学）には、成果のまとめ方や後続の研究者に研究成果を引き継げる視点について、ご指導をいただきました。

どちらかと言えば実務への適用を考えた視点から始まった研究でしたが、様々な専攻分野の先生方から博士論文の審査をしていただき、心より御礼申し上げます。

鉄筋工事の生産プロセスの現状を分析し、デジタル化された生産情報の扱い方に着目した研究を継続できたことは、ひとえに会社での周囲の方々のご理解とご配慮によるものです。常に技術開発は社会実装が必要との視点をご教授していただいた前田操治氏（代表取締役社長）、これらの研究成果を博士論文としてまとめることを勧めていただいた大川尚哉氏（専務執行役員）、井上誠喜氏〔建築

技術部長（当時）]を始めとする前田建設工業での上長の方々には心より御礼申し上げます。

本論文の第6章と第7章の基になった鉄筋/配筋 BIM システムの構想や実現には、渡邊寛也氏が建築技術部 TPM 推進グループに異動してきたときから多大なご協力をいただきました。鉄筋 BIM モデルの重要性や実運用に関する課題点の解決策にもお付き合いをいただき、助言と暖かい励ましなしでは本論文は成り立ちませんでした。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

第1章と第3章、第4章、第5章は志手研究室（建築生産マネジメント研究室）と共同で調査・研究を進めることができました。第1章では筆者が担当した IT 歴史ゼミナール（2017 年度前期と 2018 年度前期に開催）において調査した論文リストの成果等が基本となっています。調査では修士学生の齊藤由姫さん（当時）をはじめとする多くの学生のみなさんの協力を得ることができました。第3章から第5章の現地調査では、修士学生や学部学生の田中大土君（当時）、大場巧巳君（当時）、遠藤裕太君、茅根靖人君（当時）の協力を得て貴重なデータを揃えることができました。鉄筋専門工事会社や鉄筋加工工場への聞き取り調査には、藤池晴行氏（株式会社アイコー常務執行役員）と長嶋一浩氏（デーバーインフォメーションネットワークス株式会社取締役 CTO）をはじめとする方々に多大なご配慮をいただくだけでなく、生産情報を連携する上でのあるべき姿や BIM/ICT の技術開発の今後についても貴重なご意見をいただきました。みなさまに深く感謝を申し上げます。

BIM/ICT の取り組みを進める上において、社外での活動や社内での業務を通じて、多くの方々と出会い、刺激を受ける機会に恵まれました。日本建築学会の委員会活動や建築生産シンポジウムを通じて嘉納成男先生（早稲田大学名誉教授）や古阪秀三先生（立命館大学客員教授・元京都大学教授）、石田航星先生（早稲田大学専任講師）からは長きに渡り建築生産分野の研究領域の視野を広げる助言をいただきました。また、芝浦工業大学 SIT 総合研究所グローバル建築技術研究センターの活動を通じては、安藤正雄先生（千葉大学名誉教授）や平野吉信先生（広島大学名誉教授）を初めとするメンバーからも建築生産が抱える課題点や解決に導く道筋などの助言をいただきました。

BIM や ICT の推進に関しては、設計 BIM の在り方の助言をしていただいた藤井裕彦氏（建築設計第1部長）や建築技術部 TPM 推進グループに在籍した藤井周太氏、大野茂氏をはじめ、多くの建築作業所長などのご協力がなければ取り組みは進みませんでした。また、博士論文をまとめるにおいては幡鎌裕二氏（取締役専務執行役員建築事業本部長）、田川亮氏（常務執行役員建築事業本部副本部長）、鉄筋専門工事会社をご紹介いただいた脇屋仁氏（執行役員東京建築支店長）、江原雅夫氏（建築事業本部建築部長）には多大なる配慮をいただきました。

改めて、機会を与えていただいた全ての皆様に感謝を申し上げます。

最後になりますが、研究と執筆にあたりあたたく見守ってくれた家族に、心より感謝いたします。

2021 年 3 月 曾根 巨充

2020（令和2）年度 芝浦工業大学博士学位論文

---

建築生産情報のマネジメント技術に関する研究

鉄筋工事における設計・加工・施工の生産情報の連携に着目した技術的解決方策について

2021（令和3）年3月17日

曾根巨充

---