

芝浦工業大学

博士学位論文

AR・VR技術を応用した  
建築技術者・技能者の育成手法開発と評価

平成 30 年 3 月

西澤 秀喜



# AR・VR 技術を応用した建築技術者・技能者の育成手法開発と評価

## 目 次

### 第 1 章 序論（研究の背景と目的）

1 節	昨今の建設業界の課題	1
2 節	行政や建設業界の動向	3
3 節	技能者が不足する原因とその対策	3
4 節	教育・訓練の制度に関する現状と課題	4
5 節	教育・訓練のプログラムや教材に関する課題	5
6 節	施工実習における初心者のミスについての研究結果	8
7 節	これまでの研究の経過	13
8 節	スマートフォンの爆発的普及	14
9 節	既往の研究文献	15
10 節	本研究の位置づけと目的	16

### 第 2 章 ICT を活用した拡張 3D 教材群の開発

1 節	3 次元 CAD を活用して初心者にもわかり易い鉄筋配筋図の制作	17
2 節	初心者にもわかり易い施工手順図の制作	18
3 節	初心者にもわかり易い施工手順動画の制作	21
4 節	AR（拡張現実）技術の適用	22
5 節	拡張 3D 教材群の構成と制作手順	26
6 節	標準となり得る施工実習モデルの選定と拡張 3D 教材群の制作	31
7 節	拡張 3D 教材群の使用方法	91

### 第 3 章 開発した拡張 3D 教材群の効果検証

1 節	施工実験の概要	95
2 節	施工実験の結果	98
3 節	施工実験の考察	99
4 節	被験者に対するアンケート調査	101
5 節	拡張 3D 教材群の使用状況について	105
6 節	「図面の読み取り」のスキルについて	105

<b>第4章</b>	<b>ロケーションベース型 AR 方式による実習教材開発</b>	
1 節	マーカー型（画像認識型）AR 教材の課題	107
2 節	ロケーションベース型（位置情報型）AR 表示の仕組み	108
3 節	ロケーションベース型 AR アプリの開発手順	109
4 節	開発したロケーションベース型 AR アプリの特長	112
5 節	アプリ集約サイトへの登録	113
6 節	ロケーションベース型 AR アプリの活用方法	115
<b>第5章</b>	<b>マーカー型 AR 方式による施工手順図の開発</b>	
1 節	AR 施工手順図の仕組み	117
2 節	AR 施工手順図の「作業指示書」への応用	122
<b>第6章</b>	<b>開発した拡張 3D 教材群の職業訓練指導員による評価</b>	
1 節	アンケートの概要	123
2 節	アンケートの結果	126
<b>第7章</b>	<b>結 論</b>	
1 節	本研究の成果	137
2 節	今後の展望	138
<b>補 章</b>	<b>開発した拡張 3D 教材群の普及・展開の状況</b>	
1 節	職業能力開発促進センターへの提供	139
2 節	学生募集パンフレットへの適用	140
3 節	全国鉄筋工事業協会・年次総会での講演	142
4 節	日刊建設工業新聞への掲載	143
5 節	かながわ しごと・技能体験フェスタ 2017 への出展	143
6 節	2017 実践教育研究発表会・東京大会にパネル展示	144
7 節	建設技術展 2017 近畿に出展	145
8 節	鉄筋 EXP02017 に出展	145
9 節	日本建築積算協会編「建築積算」テキストへの適用	146
	<b>【参考文献】</b>	147
	<b>【注】</b>	149
	<b>【既発表論文等のリスト】</b>	151
	<b>【謝 辞】</b>	154
	<b>【付 録】</b>	



# 第1章 序論（研究の背景と目的）

## 1 節 昨今の建設業界の課題

近年、建築生産に関わる技能者や施工管理技術者が全国的に不足している。特に建築躯体の技能者（鉄筋工・型枠工など）の不足が著しく、全国の有効求人倍率が7.89倍（H26/11）<sup>1)</sup>となっている（図1）。また、被災地の宮城県では、建築躯体技能者の有効求人倍率が、平成24年12月に16.43倍<sup>2)</sup>まで上昇している。この結果、公共工事の工期遅延や入札不調の増加などの問題にも発展している。

この原因は、国内の建設投資が平成20年秋のリーマンショック以降に落ち込み、建設業就業者数が減少<sup>注1)</sup>したところに、震災復興事業・東京五輪関連事業・積極的な経済政策（アベノミクス等）によって、建設投資額が増加に転じたためといわれている。

ところが建設産業では、従来から技能者や施工管理技術者の高齢化と、新規入職者の減少といった構造的な問題を抱えており、人材不足は一過性の問題ではないと認識されている。すなわち、建設産業にとって「担い手の確保・育成」は、産業の持続可能性に関わる最重要な課題の一つに挙げられる。

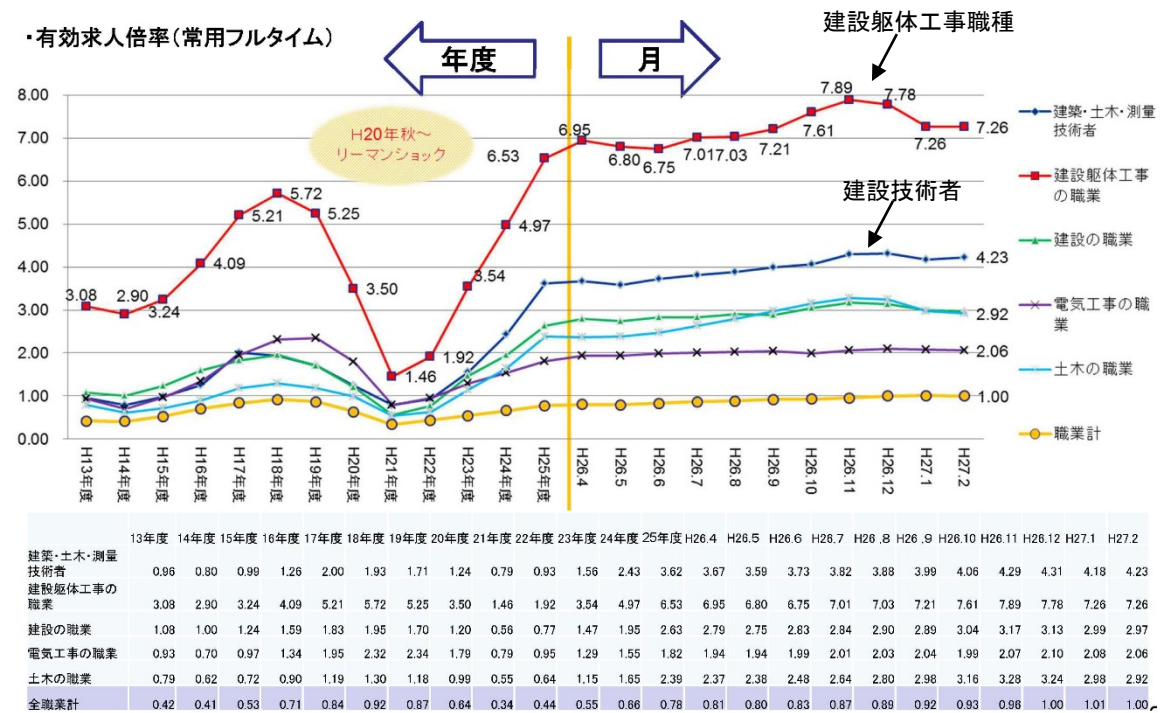


図1 有効求人倍率の推移（全国平均）[出展：職業安定業務統計]

表1のように、建設業就業者は1995年から2010年までの15年間に216万人減少している。また、2000年以降は5年ごとに90万人ずつ減少している。

技能労働者については、1995年から2010年までの15年間に129万人減少し、特に2005年から2010年では69万人と大幅な減少となっている。

図2では、2013年において建設業の55歳以上の割合は34.3%であり、全産業の55歳以上の割合の28.6%を上回っている。

また、2013年において建設業の29歳以下の割合は10.2%で、全産業の16.6%を下回り、建設業就業者の高齢化と若年就業者の低下を示している。

表1 建設業就業者、技能労働者の推移<sup>3)</sup>

		(単位:万人)				
		1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
国勢調査	建設業就業者	584	663	629	539	447
	技能労働者 <sup>*1</sup>	389	429	407	369	300
労働力調査	建設業就業者	588	663	653	568	498
	技能労働者 <sup>*2</sup>	403	447	440	388	337

<sup>\*1</sup> 国勢調査の技能労働者数は職業分類のうち、  
 2010年.....生産工程従事者+輸送・機械運転従事者+建設・採掘従事者  
 2000～2005年..生産工程・労務作業  
 1990～1995年..技能工、採掘・製造・建設作業及び労務作業  
<sup>\*2</sup> 労働力調査における建設業の生産工程・労務作業

資料：国勢調査・労働力調査(総務省)

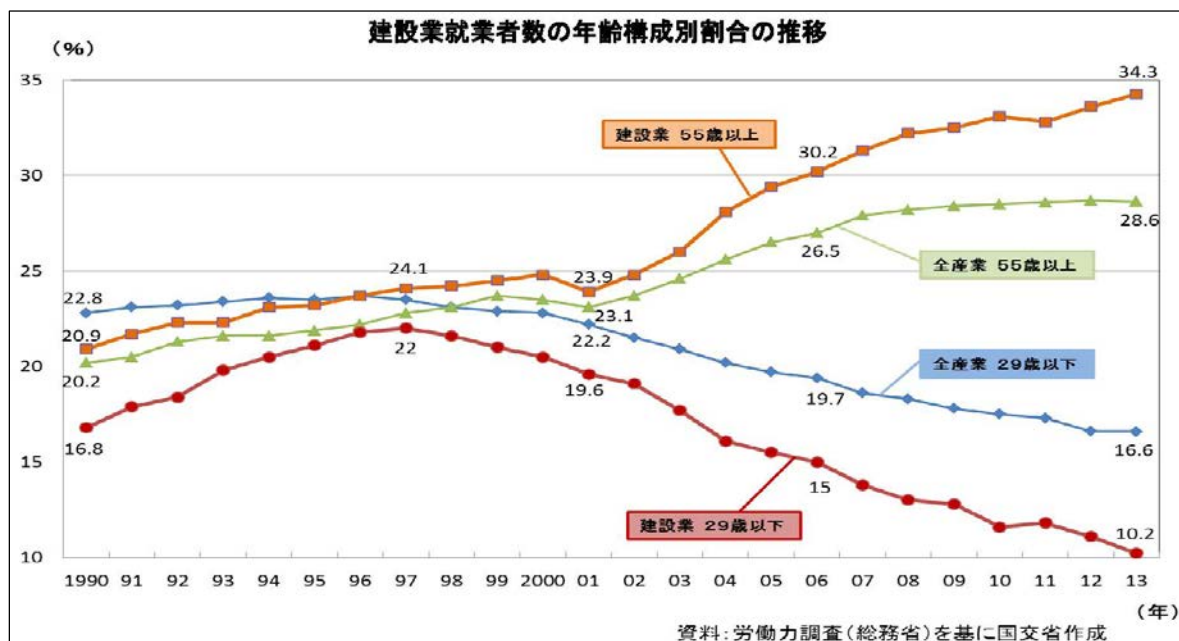


図2 建設業就業者数の年齢構成別割合の推移<sup>3)</sup>

## 2 節 行政や建設業界の動向

「担い手の確保・育成」は、建設産業に関連する多様な組織に共通する最重要課題との認識の下、国・建設業団体・総合建設業・専門工事業などが、一斉にその対策に乗り出している。

国は技能者の処遇改善につながる法律（担い手3法と称される公共工事品確法、建設業法、入札契約適正化法）の改正を平成26年6月に実施し、受注者の適正な利潤確保に配慮することによって、発注者の責任を果たすこととした。

さらに国土交通省は、適切な賃金の支払い、社会保険加入の促進、ダンピング対策の強化、休日の拡大、教育訓練の充実強化、女性の更なる活躍の推進など、労働者の処遇改善を中心とした方策を定めて、「担い手の確保・育成」に官民一体で取り組んでいる。

厚生労働省では、「建設労働者確保育成助成金」として約50億円の予算を確保して、様々な支援事業を行っている。その中には、建設産業関係事業団体等に建設技能職種の職業訓練と就職支援をパッケージで委託する「建設労働者緊急育成支援事業」も含まれ、平成27年度からの5年間に5千人の人材育成を目指している。

人材不足が特に顕著な建設技能職種は、鉄筋工、型枠工、とび工などの躯体工事関連職種であるが、同事業では離転職者、新卒者、未就職卒業者等を対象にして、座学と施工実習を組み合わせた職業訓練を実施して、建設業界の人手不足の解消を目指すものである。現在全国21ヶ所において多用な職種の訓練コースが設置されており、その多くは概ね10日間前後のコースを繰返し実施している。

また、建設産業団体、関係行政機関、職業訓練校、教育機関等が参加して「建設産業担い手確保・育成コンソーシアム」（事務局：一般財団法人建設業振興基金）を構成し、若年者の入職促進、育成、定着を図るために、産・学・官が連携して様々な取り組みを推進している。

これらに加えて、建設業の元請・下請などの業界団体や、各職種の個別企業において、認定職業訓練を新たに設置する動きも見られる。

## 3 節 技能者が不足する原因とその対策

建設関係の技能者が不足するのは、高齢になって引退する技能者が増える一方で、新たに入職する技能者が少ないためである。その主な原因は、賃金が低く、そのピーク年齢も低いといわれている。

例えば建設技能者の代表格である大工は、年収のピークが約440万円であり<sup>注2)</sup>、ピーク年齢は40歳前半である。一人前になるのに10年、熟練するのに20年を

要するといわれるが、熟練した頃には賃金のピークを迎え、その後は徐々に下降線をたどることになる。すなわち、体力のピークが賃金のピークという現実である。鉄筋工や鳶工、並びに左官などの職種も同様の状況にある。

一方、高卒の総合工事業の社員（従業員 1000 人以上の規模）では、年収のピークが約 780 万円で、ピーク年齢は 50 歳台後半である。また、電気工の年収のピークは約 550 万円、旋盤工が 500 万円である<sup>注2)</sup>。

このように建設技能者の賃金が低い原因は、労働生産性が低いためである。建設業の労働生産性は、情報通信業の 1/2、不動産業の 2/3 程度であり、多くの産業を下回っている<sup>注3)</sup>。

建設業の労働生産性向上の方策としては、①技能者の社員化による繁閑差の縮小と稼働率の向上（社会保険への加入を含む）、②教育・訓練を充実して能力向上を図り作業の歩掛を高める（多能工化を含む）、③職業能力評価基準の確立によってきめ細かな賃金水準の設定、④過度な分業化や重層下請の解消、などが挙げられている。

このような方策は、発注者（公共・民間）、元請工事業、専門工事業、行政機関、教育訓練機関など、建設産業に関わる多様な組織が協力して進める必要があり、個々の利益を優先する姿勢では実現は困難であると思われる。

#### 4 節 教育・訓練の制度に関する現状と課題

人の能力を向上させるには、教育や職業訓練が必須である。しかしながら、わが国には入職から熟練までをカバーする総合的な職業訓練の体系的な仕組みがないといわれる<sup>4)</sup>。

わが国の職業訓練や職業能力検定に関しては、「職業能力開発促進法」が制定されている。

職業訓練は、「公共職業訓練（国や都道府県が設置・運営）」と、事業主等が雇用する労働者に対して実施するものに大別される。事業主等が行うものでも、法が定める基準に適合する内容と都道府県知事が認定したものが「認定職業訓練」である。これらを合わせた職業訓練施設の数、全国で千四百箇所を超える<sup>注4)</sup>。

公共職業訓練の実質的な目的は、多くの場合離職者の再就職の促進であり、継続的な能力向上や入職前および入職時の教育・訓練等はまだまだ低調である。

次に、わが国の技能検定制度は、128 職種において基本的に 1 級・2 級・3 級の 3 等級に分けて、技能の習得レベル評価を実施するものである。建築関係では、建築大工・鉄筋施工・型枠施工・とび・配管・左官・タイル張り・塗装などが含まれる。ところが、欧米に見られる三位一体の制度運営（教育・訓練、技能の評価、評価に

見合った処遇)には及ばない状況にある。

例えば、英国の NVQ (National Vocational Qualifications) では、5 段階のレベルを設定し、それぞれに求められる能力要件を規定して、職種や業種を問わない職業能力評価基準を設けている。また、CSCS (Construction Skills Certification Scheme) では、技能者のみならず設計者や現場管理技術者など、建設に関わる全ての関係者を対象に職業能力の証明と就労履歴の登録が行われている<sup>4)</sup>。

このような制度運営につなげることを目指して、職業能力基準を新たに作成する取り組みが始まっている。「木造技能者育成検討委員会 (木造住宅に関わる 6 つの業界団体と専門家等で構成)」は、大工技能者職業能力基準 (案) の検討・整備を進めている。また、「建設産業担い手確保・育成コンソーシアム」(事務局: 一般財団法人建設業振興基金) の下に設置した「プログラム・教材等ワーキンググループ」では、鉄筋・型枠・とび・左官の 4 職種と、各職種に共通して求められる共通編の 5 種類について、職業能力基準(案)の作成を進めている<sup>5)</sup>。

以上のように、技能者の入職から熟練までをカバーする総合的な教育・訓練の体系的な仕組みの構築、職種や業種を問わない職業能力評価基準による技能の評価、評価に見合った処遇などが、今後の課題であると考ええる。

## 5 節 教育・訓練のプログラムや教材に関する課題

熟練の技能者や技術者が全国的に不足する状況下では、現場で技能・技術を体得させる OJT も十分に行う余裕がなくなりつつある。したがって、技能者・技術者の教育・訓練に関しては、職業能力開発施設が行う OFF-JT の役割が、今後益々重要になって来ると考える。

ところで、職業能力開発促進法第 19 条では、職業訓練の基準については「訓練課程ごとに教科・訓練時間・設備その他を省令で定める」としている。また、同法第 20 条では、教材については「大臣の認定を受けた教科書その他の教材を使用するように努めなければならない」と規定する。

職業能力開発促進法施行規則 (省令) では、訓練基準については訓練期間、訓練時間等を定める他、別表にて最低限必要とする科目を列記して、これを標準とするとして規定する。すなわち、訓練内容の詳細については、職業訓練施設や担当する講師に委ねられている状況である。したがって、施設や講師が替わっても同様の訓練を実施するためには、汎用性のあるプログラムや教材を開発して、全国の職業訓練施設、企業連合や組合、個別企業等に提供していく必要がある。

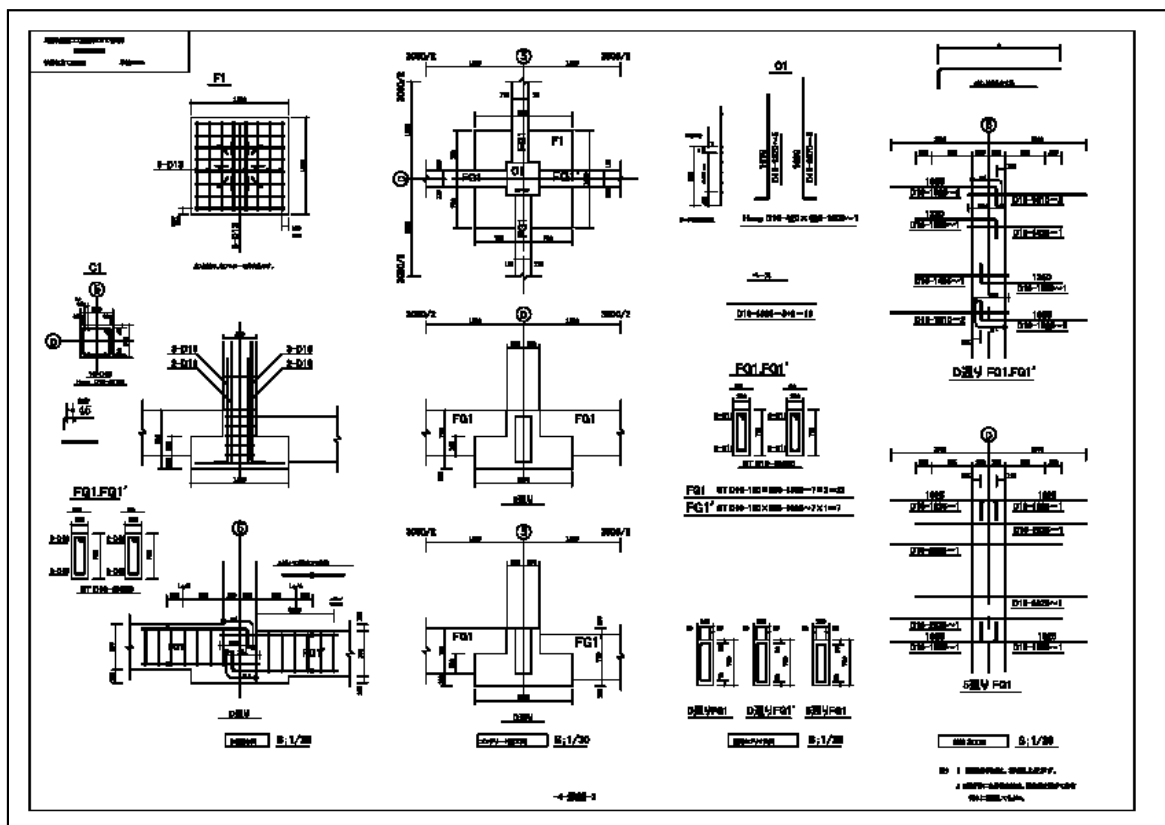
一つの典型例として、小島聡教諭 (全国高等学校建築教育連絡協議会、事務局長) が制作した、技能検定・2 級鉄筋施工 (鉄筋組立て作業) の実技試験課題に関する

配筋図（図 3）および配筋パース（図 4）がある。これは、多くの工業高校において施工実習の教材として使用され、また、（公社）全国鉄筋工事業協会が実施する工業高校等への「出前講座」で効果的に活用されている。このように、幅広く利用され得る教材やマニュアル等を開発・制作し、全国に普及・展開する必要がある。

例えば、初心者を対象として、建築の躯体工事に関する技能者や施工管理技術者を育成するための教育・訓練を想定すると、座学に加えて実物大の施工実習教育が効果的である。ところが、施工実習の標準的な課題モデルや実習教材、並びに施工実習授業のカリキュラムや指導者用のマニュアルなど、公開されたものはほとんど見当たらない状況である。

したがって、教育・訓練にあたる施工実習の担当者が、自らの経験や知識に基づいて独自の施工実習課題モデルや実習教材を制作し、これを用いて教育・訓練を実施している。すなわち、各所で行われている同一職種の教育・訓練は、それぞれ異なる施工実習の課題モデルや実習教材によって実施されている状況にある。

このような状況は、（独）高齢・障害・求職者雇用支援機構が設置・運営する全国の職業能力開発促進センターにおける求職者を対象とした職業訓練コースにおいても同様である。また、職業能力開発大学校や職業能力開発短期大学校における「建築施工実習（RC 造）」の授業においても、各校がそれぞれ異なる施工実習課題モデ



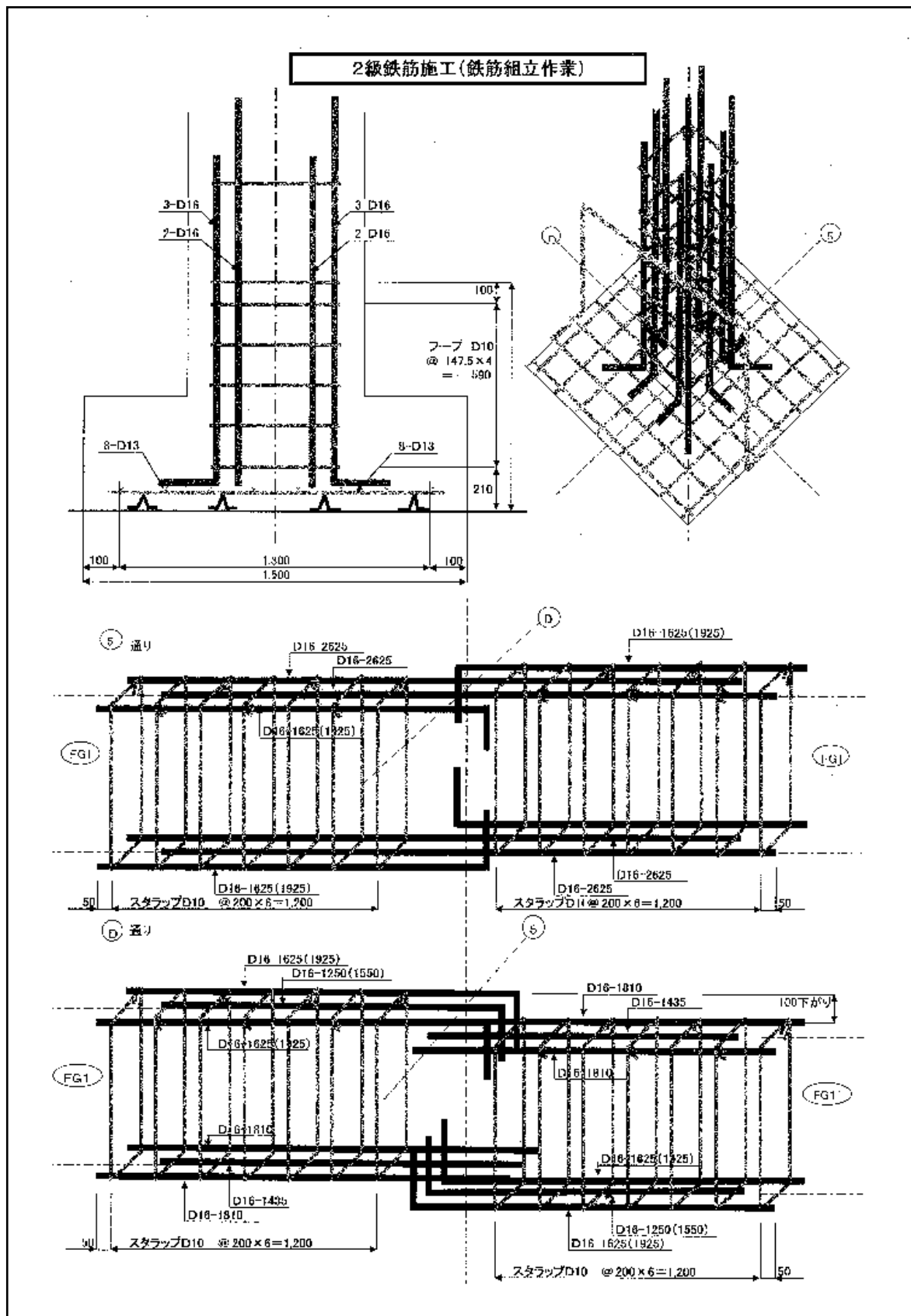


図 4 小島教諭の配筋パース



ルや実習教材によって実施している状況である。

その結果、建築躯体に関する共通仕様書・規準・指針等が改定された場合でも、施工実習の課題モデルや実習教材への反映が間に合わないケースなどが散見され、旧規定に基づく課題モデルや実習教材を使い続けている状況が複数の施設で確認された。したがって、最新規準に基づく施工実習課題モデルや実習教材を開発し、これを標準として各所の教育・訓練に普及・展開することが重要であるとする。

## 6 節 施工実習における初心者のミスについての研究結果

RC 造の施工に関する技能・技術の習得段階において、初心者が犯しやすいミスの内容や要因を分析・検討することにより、初心者にとって理解しにくい部分や、間違いやすい部分が明確にできると考えて、数年来このテーマに取り組んできた。これらを反映することによって、初心者にとっては理解しやすく、また指導者にとっては実習授業に即した実践的かつ効果的な施工実習課題モデルと実習教材が制作できるものと期待できる。以下に、こうした実施済の研究要旨を記述する。

### 1.6.1 配筋施工の失敗事例とその要因①

職業能力開発大学校・応用課程の4年次には、「開発課題実習」と「応用課題実習」が必修科目として設定されている。いわゆる卒業制作・卒業研究に該当するが、「建築の施工および施工管理上の技術的課題に対して、具体的なものづくりの体験を通じて、創造的かつ実践的な解決方法を習得すること」を目的としている。

このケースでは、実寸大の鉄筋工事を学生が自ら計画・設計・施工して、どの部分が理解しにくいのか、どんな間違いが起こるのか、またその原因は何か、などを探求するテーマを設定し、3人の学生チーム(男子2名、女子1名)が取り組んだ。

なお、彼らは後述する3年次の「RC造施工実習」を受講しており、建築躯体工事の施工管理技術者および技能者の初級レベルに該当する知識・技術・技能を有する状態と考えられる。

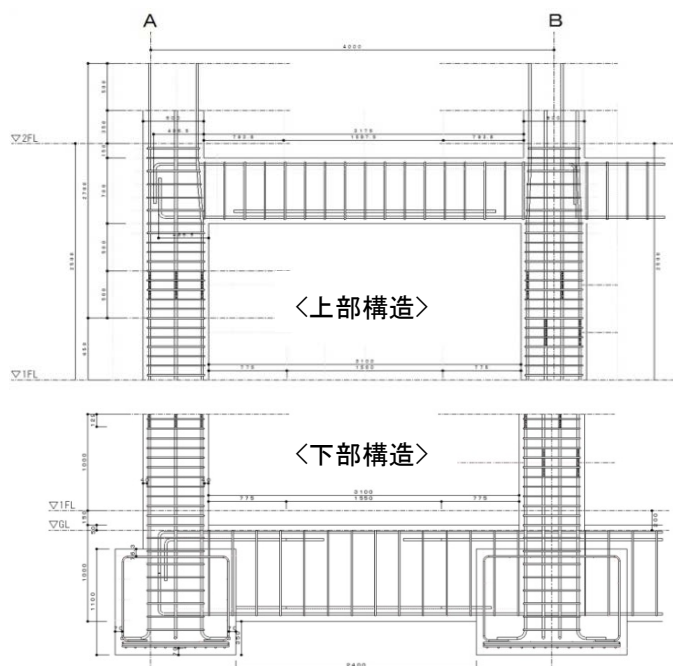


図5 卒業研究テーマの鉄筋配筋図



学生は初めに設計図書を読取り、各種の規準・指針からの留意事項を反映して、図5の鉄筋施工図（配筋図）を作成した。また、組立手順の確認のために3D-CADによる配筋パースも作成した。これは複雑な納まりの検討用を除いては、実務でもほとんど実施されていない。



写真1 卒業研究の鉄筋配筋状況（下部構造）

ここまでの配筋図作図段階でも、設計図書を読取り不足や理解不十分により度々修正する必要があり、初級技術者や技能者にとっての難解な部分が幾つか確認できた。さらに、鉄筋加工図・型枠支保工計画図・仮設足場計画図および工程表を作成して、部材の切断・加工および組立施工に進んだ。

写真1に、下部構造の鉄筋配筋状況を示す。基礎梁および基礎柱の主筋はD25（SD345）を使用した。

鉄筋工事の各段階で発生した不具合項目を列記すると、以下のようになった。

**【1】作図段階で発生した主な不具合項目**

- ①基礎梁と2階梁においてあばら筋間隔を間違えた
- ②2階梁の直行梁において梁の天端レベルを間違えた
- ③2階梁の梁せいについてX方向とY方向を混同して間違えた
- ④柱主筋の機械式継手の位置（高さ）を間違えた
- ⑤基礎柱において増打ちを考慮しなかった

**【2】部材加工段階で発生した主な不具合項目**

- ⑥ベースの斜め筋の長さを全て同一長さとして切断した
- ⑦はかま筋の横筋を見落とした
- ⑧コの字型のはかま筋をすべて一体で加工制作したため組立てが出来なかった
- ⑨幅止筋のフックを両端とも135°とした

**【3】鉄筋組立施工段階で発生した主な不具合項目**

- ⑩基礎柱の帯筋配筋後にはかま筋を入れようとして失敗した
- ⑪基礎梁の主筋とあばら筋の配筋手順を間違えた
- ⑫基礎梁のあばら筋の割付け開始位置を間違えた
- ⑬帯筋の加工で機械式継手のスリーブ厚を考慮しなかった
- ⑭柱のダイヤフープ（対角線の交差）を片側ずつ取り付けた

次に、上記の不具合が発生した要因を検討した。要因が明確なものと推測によるものが含まれるが、以下の6項目に分類して表2にまとめた。

- ア) 設計図面に不整合があった（特記仕様書と構造図の食い違いなど）
- イ) 設計図面において詳細が不明な部分があった
- ウ) 最新基準ではなく慣用的な設計方法による構造図等の記載があった
- エ) 完成状態や組立手順をイメージできない部分があった
- オ) 人的な単純ミスや勘違いなどがあった
- カ) 知識不足によりミスに気付かずに組立施工を進めてしまった

こうした結果から、経験の浅い技術者や技能者が、鉄筋工事のどの部分でつまずき、何がイメージしにくいのか、その手がかりの一部を得ることができた。発生した不具合項目の中には、経験豊富な指導者にとってはまったく想定外の項目（⑨や⑭など）もあり、指導者のイメージと初心者の理解内容との乖離も把握できた。

以上の記述内容は、図5・写真1・表2を含めて、西澤秀喜：「大学生の施工実習教育における配筋ミスの内容と原因」、2014年度日本建築学会大会（近畿）学術講演会、教育部門13006を参照している。

表2 配筋ミスの分類と内容

原因分類	配筋ミスの内容
図面の不整合	特記仕様書と構造図で、帯筋とあばら筋の鉄筋径が違っていた
	構造図において、ベース筋の本数が縦と横で異なっていた
	特記仕様書の鉄筋工事標準図が、改訂前の内容であった
詳細が不明	構造図にダイヤフープの表記があるが、鉄筋径・本数・ピッチが不明
	構造図に基礎柱の寸法記載がなく、かぶり厚さの変化への対応が不明確
慣用的設計	基礎筋では斜め筋を無くす方向にあるが、構造図に記載されている
	はかま筋は通常必要としない方向であるが、構造図に記載されている
	柱筋の対角線に配置するダイヤフープは無くす方向であるが記載されている
組立手順ミス (イメージ不足)	基礎柱・基礎梁・はかま筋(縦・横)の錯綜状態がイメージできず、度々手直し
	2階梁でレベル差のある部分がイメージできず、加工と組立手順を間違えた
単純ミス (勘違い)	幅止め筋のフックを両端135°としたため、配置にてこずった
	基礎梁のあばら筋ピッチで、2階梁のあばら筋を配置してしまった
知識不足	機械式継手のスリーブ厚を考慮せず、帯筋を加工した
	第1あばら筋を柱面とせず、帯筋からとした
	柱筋の対角線に配置するダイヤフープを、片側ずつ交互に配置した

### 1.6.2 配筋施工の失敗事例とその要因②

次に、RC 造に関してはほぼ初心者と見なせる大学3年生を対象とした事例研究を行った。職業能力開発総合大学校の総合課程・建築専攻3年生が行う「RC 造の施工実習」を対象とした。構築する構造物は、RC 造2階建てのうち、基礎と1階部分を実物大で施工する内容である。

実習モデルは、マット基礎の上に400mm×400mmの柱を4か所設置し、これに2階梁と床スラブおよび壁を構築する内容で、柱のスパンは2m×2m、階高も2mとした(写真2)。

施工実習には18名の学生(内3名が女子学生)が参加した。これを4班に分け、各班が柱・梁を各1台と壁1面を担当することとし、2階床スラブは共同作業とした。実習期間は6カ月間で、週に2日間の授業時間を割り当てた。

はじめに、対象建物の意匠図・構造図を配布した。学生はこれを読み取り、躯体図を作成する。

次に鉄筋の継手・定着の規定やコンクリートの被り厚さの規定を説明し、これらを反映して鉄筋配筋図を作成した。さらに、鉄筋の切断・加工のために鉄筋加工図を作成した。これらを使って鉄筋を生材から切断し、曲げ加工等を行った。



写真2 職業大3年生の施工実習モデル

表3 施工実習の主な作業内容

回数	作業内容
1	通り芯墨出し
2	スラブ筋の切断・加工
3	捨てコンクリート打設
4	柱筋・梁筋の切断・加工
5	壁筋の切断・加工、柱型枠の加工
6	鉄筋工事用足場の設置・組立て
7	柱筋の組立て、柱型枠の設置
8	壁筋の組立て
9	梁・壁・スラブ型枠の加工
10	梁型枠・内壁型枠の設置
11	支保工・スラブ型枠の設置
12	梁筋・壁筋・スラブ筋の組立て
13	外壁型枠の設置、型枠の締固め
14	コンクリート打設
15	支保工撤去、型枠脱型、

表4 鉄筋施工に関する主な不具合項目

番号	項目
1	柱主筋とベース筋の取り合いが軸組図と異なる
2	耐圧版の主筋末端部のフック忘れ
3	柱主筋の継手位置が同じ箇所に揃っている
4	柱のかぶり厚さ不足
5	壁の差筋の重ね継手長さの不足
6	壁の差筋のかぶり厚さ不足
7	梁フープ筋の交互配置不良
8	直行する梁主筋の干渉
9	梁下端主筋の定着方向不良
10	開口補強筋の設置忘れ

鉄筋の加工寸法の許容差は、建築工事標準仕様書・同解説（JASS5）鉄筋コンクリート工事 2009（日本建築学会）を参照し、あばら筋・帯筋については±5mm 以下、主筋（D25 以下）については±15mm 以下とした。

型枠については、作成した躯体図を基に型枠加工図を作成し、合板・栈木の生材から切断・加工を行った。

一連の作図作業、鉄筋・型枠の切断・加工作業の後、屋内の実習場にて組立て作業を進め、最終的にコンクリート打設まで実施した（写真 2）。表 3 に、施工実習の主な作業内容を示す。

なお、対象の学生は建築専攻の 2 年次において、「RC 造の基本」と「柱・梁の構造計算」を座学で学習している。また、材料実験において梁を縮小した供試体を作成し、曲げ試験等を実施している。したがって、建築施工に関する実践的な知識や技能は有しておらず、ほぼ初心者に該当するレベルである。各種の作図、材料の切断・加工、組立施工の各段階にあたり、その都度説明を行って施工実習を進めた。

上記の施工実習において、各段階の検査等で発見した問題点や不具合を集計した。鉄筋施工に関する不具合項目を表 4 に示す。毎回教員が説明を行った上で実習を進めており、不具合が発生した項目については、初心者にとって分かりにくい部分であるか、あるいは説明が不十分であったと推定される。

また、不具合が発生した部分の施工を担当した学生へのヒアリングを実施して、その要因を推測すると、以下の 5 項目に分類できた。

- ①設計図書の読解力不足
- ②各種規準・指針の理解不足
- ③加工および組立て時の施工誤差
- ④隣接班との打ち合わせ不足
- ⑤思い込みや単純ミス

上記の不具合発生要因には、前項の大学 4 年生の事例との共通な部分も見られた。

以上の記述内容は、写真 2・表 3・表 4 を含めて、吉田・西澤・定成・船木：「鉄筋加工の失敗事例とその要因」、公益財団法人 建築技術教育普及センター、H26 年度調査・研究助成報告書を参照している。

### 1.6.3 初心者の特徴について

RC 造の実物大の施工実習を教育・訓練において実施する場合、その主要な教材は鉄筋配筋図や鉄筋加工図などの 2 次元図面である（図 6）。建築の専門教育を何年か受けた場合や、実務経験を積んだ技術者・技能者は、平面図・立面図・断面図などの 2 次元図面をそれぞれ見ると、頭の中に組立てが完了した 3 次元の立体構造をイメージすることができる（図 7）。

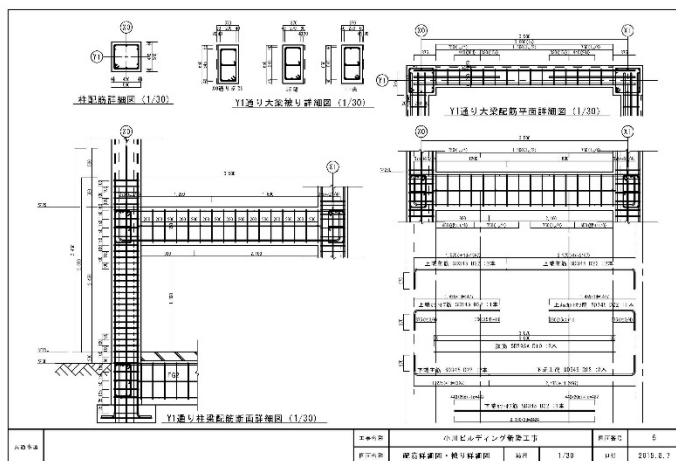


図6 鉄筋配筋図（平・立・断面図）

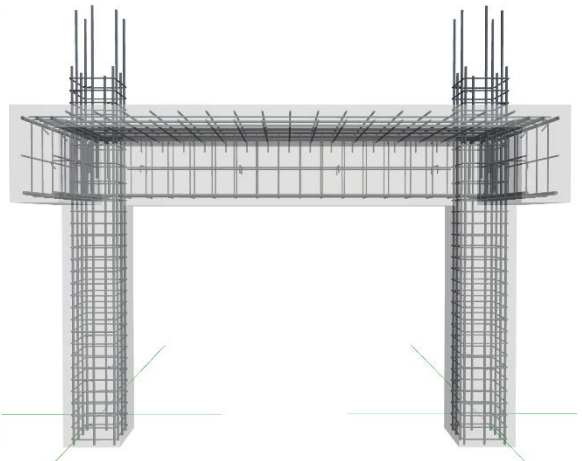


図7 3次元完成モデル

ところが、建築の初心者（学生や経験の浅い技術者・技能者等）にとっては、複数の2次元図面を組み合わせる参照しても、頭の中に3次元の完成状態をイメージすることが難しい。その結果、施工実習授業において、あらかじめ組立手順や留意事項を毎回説明しても、加工・組立の段階で多くの間違いが発生し、手直しや手戻りに多大な時間を要することが少なくない。1.6.1および1.6.2に記述した大学生の施工実習における施工ミスも、こうした初心者の特徴に起因すると考えられる。

## 7 節 これまでの研究の経過

著者らは、建築の技術や技能の教育訓練に長年携わってきた。学生を対象とする大学等での施工実習授業や、求職者を対象とする職業訓練における施工実習を担当する間に、初心者にもわかり易く、かつ効率的に技能や技術を習得させる方法を模索してきた。

通常、教育訓練の指導者側は高度な技能や技術を習得しているのに対して、受講者側（学生や求職者訓練の受講者）は建築の初心者である。そこで、初心者にとっての「わかりにくさ」の研究を行った。すなわち、施工実習において初心者が起こし易い施工ミスの内容やその原因を探索する研究を行い、「大学生の施工実習教育における配筋ミスの内容と原因」（2014 年度日本建築学会大会・近畿）<sup>6)</sup>の講演発表を行った。また、「配筋加工の失敗事例とその要因」（公益財団法人建築技術教育普及センター、平成 26 年度調査・研究助成）<sup>7)</sup>の研究報告書を提出した。

次に、各所で行われている RC 造の施工実習に関して、標準的な施工実習課題モデルが見当たらないことから、標準モデルの制作に取り組み、「建築躯体技能工養成のための RC 造施工実習モデルの開発」（2015 年度日本建築学会大会・関東）<sup>8)</sup>、並びに「RC 造の技術者・技能工育成のための施工実習モデルと教材の開発」（第 15



回建築教育シンポジウム)<sup>9)</sup>として提案・発表してきた。

さらに、こうした研究内容を発展させて、初心者にもわかり易い施工実習教材の開発と制作を進めてきた。それらの内容は、「BIM を活用した建築躯体技能工の育成システムに関する研究」(第 32 回建築生産シンポジウム)<sup>10)</sup>、および「スマートフォンを活用する施工実習用教材の開発」(2016 年度日本建築学会大会・九州)<sup>11)</sup>、並びに「AR/VR 技術を応用した施工実習のための新型教材の開発実施例」(第 16 回建築教育シンポジウム)<sup>12)</sup>などの講演発表を行ってきた。

## 8 節 スマートフォンの爆発的普及

近年、わが国ではスマートフォンが爆発的に普及している。世帯あたりの普及率は、2010 年の 9.7%から 2016 年には 71.8%と、6 年間で 7.4 倍に上昇している。その結果、2016 年にはパソコンの世帯あたりの普及率 (73.0%) に並んだ (図 8)。

2007 年に iPhone が米国で発売されてから 10 年になるが、スマートフォンの普及は先進国に限らず世界的な状況である。

スマートフォンの個人保有率も 2011 年(14.6%)から 2016 年 (56.8%) と、5 年間に 4 倍になっている。20 代・30 代の普及率は 90%を超え、50 代でも 66%に及ぶ (図 9)。

スマートフォンの特徴は、従来の携帯電話に比べて画面が大きく、多くの文字が表示でき、画像や動画が見やすい点にある。

このように携帯端末が多く世代に幅広く普及している状況から、教育訓練にもこれを活用するのは当然の流れと考える。



図 8 情報通信機器の保有状況の推移 (世帯) 13)

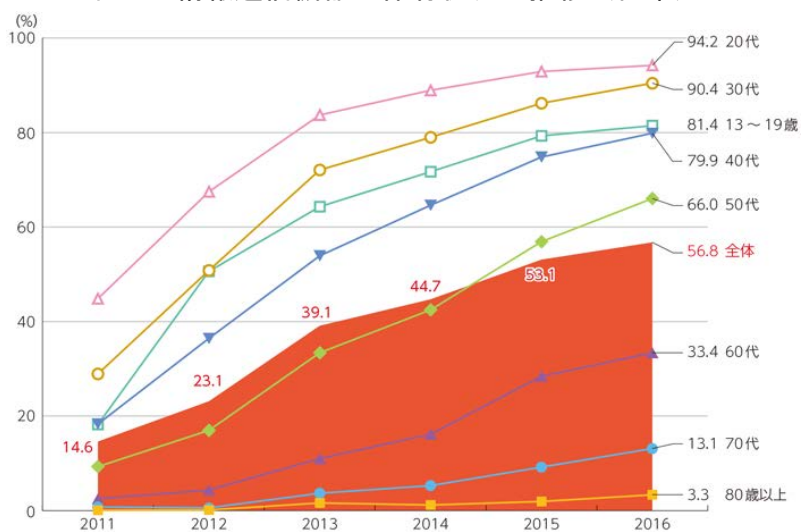


図 9 スマートフォンの個人保有率の推移 13)

## 9 節 既往の研究文献

携帯端末を教育訓練の「教材」に利用する研究では、奥本・加藤による「事前学習と館内鑑賞支援を連動させた博物館における展示鑑賞支援システムの開発」<sup>14)</sup>がある。鑑賞者が持つ携帯端末に対して、展示鑑賞動線や展示資料の解説など、館内学習支援教材を提供する研究である。携帯端末に表示する画像は実際の展示資料の一部分やその解説内容であり、3次元モデルを活用して完成時の構造物を表示し、「初心者イメージづくりを支援」する本研究の内容とは異なる。

また、Jaime SELWOOD による「携帯端末を用いたペーパーレスな授業実践：その利点と注意点」<sup>15)</sup>がある。従来は禁止していた教室内での携帯端末の使用を解禁し、デジタル化された教材を使って、英語教育をペーパーレスで行う研究である。今後、教員・出版社・教育機関は、スマートフォンを中心に教材開発や授業運営を進める必要があるとしている。本研究はペーパーレス化が目的ではなく、印刷された2次元図面のわかり難さを、携帯端末に3次元モデルを表示して補足する方法を検討するもので、研究の目的が異なる。

携帯端末を「実習」に利用する研究では、山下・中島・加藤による「携帯端末を用いた自己評価による実習補助者の指導力育成」<sup>16)</sup>がある。この研究は、オフィスソフトの基礎的な操作を習得するための実習授業において、受講者の学生をサポートする実習補助者の指導力向上を目的に、補助者自身の携帯端末を利用して授業内で自己評価を行うための情報システムを開発している。このシステムはwebアプリケーションであり、実習補助者が携帯端末を操作して4件法のアンケートに回答すると、サーバー上のデータベースに結果が記録される仕組みである。私物の携帯端末を使用する点や実習授業内で操作する点では本研究と共通であるが、実習授業の受講者である学生が対象ではない点と、携帯端末をアンケートの入力専用媒体として利用する点などが本研究とは異なる。また、携帯端末に表示するコンテンツは、文字情報を主体とするアンケート形式であり、3次元モデルを主体とするCGや動画による実習用教材を表示する本研究とは異なる。

携帯端末を「施工」に利用する研究では、清水・田辺・佐藤による「次世代携帯端末を用いた施工管理手法の開発 その3. 業務効率化検証」<sup>17)</sup>がある。この研究は、携帯端末を利用して現場の検査業務を効率化することが目的である。検査場所において、携帯端末にクラウド上から平面図のデータをダウンロードする。検査時の写真と、検査の指摘事項等のテキストデータを、平面図上の検査ポイントに紐付けて保存する仕組みである。その結果、検査場所では従来と同等のスピードで検査が実施でき、検査後の書類作成や写真整理の時間が大幅に短縮できる。携帯端末に表示するのは2次元の平面図であり、これに撮影した写真と入力したテキストを合

わせた検査結果帳票を、事務所に戻って出力することができる。本研究は、施工の前に施工結果の3次元モデルを受講者の携帯端末に表示して、初心者のイメージづくりをサポートしようとするものであり、目的も方法も異なっている。

そのほか、携帯端末を「施工実習」に利用する研究、携帯端末を「実習教材」に利用する研究、携帯端末を「建築躯体」に利用する研究等は、現在のところ見当たらない。

## 10 節 本研究の位置付けと目的

全国的に不足する建設業の施工管理技術者や技能者を確保・育成するためには、教育・訓練の充実が必要である。また、入職した技術者や技能者のスキルアップのためには、段階的な教育・訓練プログラムも求められる。

建築の躯体工事については、建物の性能確保や耐久性維持の観点から、多くの規準や指針が設定されている。このような詳細規定を、教育・訓練において効果的に習得できるような実物大の「施工実習モデル」の開発と、「初心者にもわかり易い施工実習教材」の開発が必要であると考ええる。

前者の「施工実習モデル」については、現行のように各所で行われている施工実習が、それぞれ異なったモデルで実施されているのはたいへん非効率である。したがって、標準的な施工実習モデルの開発と普及が必要である。

後者の「初心者にもわかり易い施工実習教材」については、近年において発展が著しい ICT 技術を活用した教材の開発・制作が必要と考える。例えば、実用段階に至った VR（仮想現実）技術や AR（拡張現実）技術などを利用するソフトウェアと、大幅に進歩したスマートフォンやタブレット端末などのハードウェアを組み合わせることにより、これまでにはない新型の教材開発が可能と考える。

そこで、ソフトとハードを組み合わせた ICT の活用により、初心者を対象として、建築技術者や技能者を効率的かつ短期間に確保・育成するための新たな手法開発とその評価を、本研究の目的とする。



## 第2章 ICT を活用した拡張 3D 教材群の開発

### 1 節 3 次元 CAD を活用して初心者にもわかり易い鉄筋配筋図の制作

建築の専門教育を何年か受けた場合や、実務経験を積んだ技術者・技能工は、平面図・立面図・断面図などの 2 次元図面をそれぞれ見ると、頭の中に 3 次元の立体構造をイメージすることができる。ところが、初心者にはそれが難しい。

これを解決する方法として、3 次元 CAD による配筋図や配筋詳細図が有効であると考えた。これにより、初心者にとっては苦手な立体のイメージづくりをサポートできるものと期待される。

3 次元モデルの制作に当たっては、BIM(Building Information Modeling)ソフトを使用することとし、ArchiCAD<sup>注 5)</sup>を主に使って、鉄筋の 3D 完成モデルを制作した。図 10 は全体表示、図 11 は拡大表示の例である。

従来の 2 次元図面による配筋図・配筋詳細図(図 12)に比べて格段にわかり易い。また、3D 完成モデルは、PC や携帯端末で拡大・縮小・回転が自在にできるので、鉄筋相互の納まりが複雑な部分など、いつでも詳細を確認できる利点がある。

ところで、いわゆる 2 次元の CAD は詳細図面の作成が目的であるが、BIM は 3D モデルの制作が中心である。コンピューターの中に 3D 完成モデルを制作し、平面図・立面図・断面図などは 3D 完成モデルから切り出して出力する。したがって、図面間での食い違いは起こらない。

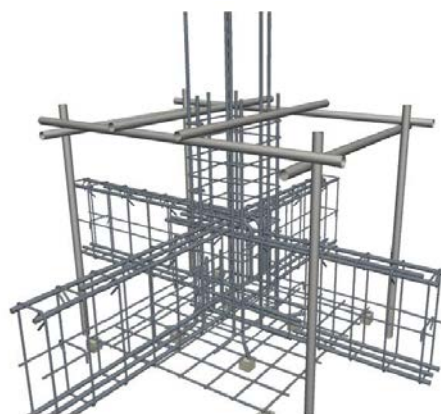


図 10 基礎配筋の 3D 完成モデル

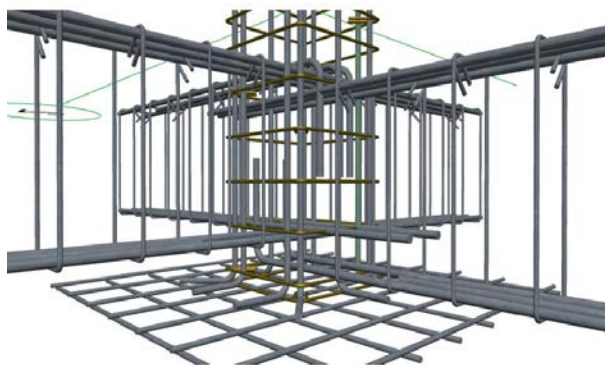


図 11 基礎配筋の 3D 完成モデル(拡大)

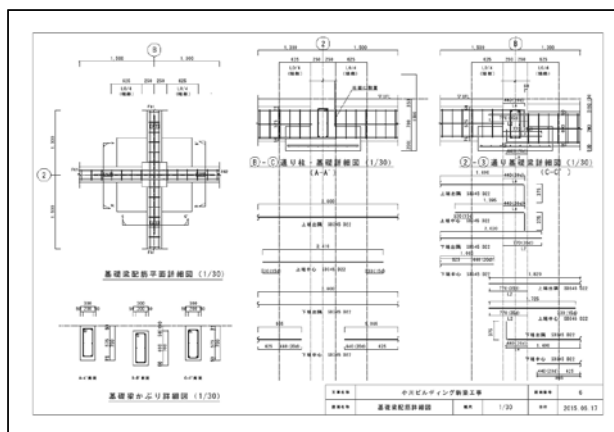


図 12 鉄筋配筋図(2次元)

BIM アプリケーションは「バーチャル・ビルディング」とも呼ばれるが、コンピュータの中で部材を組み上げながら、建物を作り込んでいくことを指している。また、入力した各部材にはコスト・仕上げ・内部構造・管理情報などの属性データを与えることができ、数量や各種一覧表とも連動させられるので、建築物のデータベースともいわれる。

なお、BIM ソフトは一般に、2 次元 CAD や他の 3 次元 CAD などとのデータ連携が可能であり、これらを利用することでゼロからの部材入力を省略できる場合がある。しかも、データ保存の際には多様なデータ形式が選択できる利点もある。

通常 BIM ソフトの入力メニューには、柱・梁・壁・床・屋根など、建物を構成する要素部材のツールが用意されている。今回使用した ArchiCAD で鉄筋を入力するためには、パイプツール（機能拡張用の add on soft）を使用した。D10（直径 10mm の異形棒鋼）は、最大外径に併せて直径 11mm のパイプとして入力する。したがって、異形鉄筋のリブや節までの表現は困難だが、教育・訓練用教材としての利用に支障はない。

パイプツールを使って鉄筋を入力・編集する方法は、（株）シェルパが「シェルパブログ<sup>注 6）～注 9）</sup>」に公開している。【デザイン】－【デザイン補助】－【パイプ設定】－【円形断面】を選択し、描画する鉄筋の最大外径と曲げ半径を設定する。鉄筋工事の標準仕様書には、折曲げの内法直径の数値が規定されているので、曲げ半径の設定値には注意する必要がある。

次に ArchiCAD の平面上で鉄筋の中心線をプロットしていき、主筋・帯筋・あばら筋などの部材を作成する。続いて【平行投影】－【3D 投影の設定】を行うと、平面上に作成した鉄筋部材が、真上から見た状態に立ち上がる。これらはコピー・貼り付け等が可能なので、この手順によって図 10・図 11 のような初心者にもわかり易い 3D 完成モデルが制作できる。

（当初はこうして 3D 完成モデルを制作したが、その後、モデリングソフトを使用して鉄筋部材を入力し、ArchiCAD に転送する方法も併用した。）

## 2 節 初心者にもわかり易い施工手順図の制作

### 2.2.1 合理的な施工手順の検討

制作した鉄筋の 3D 完成モデル（全部材を入力したもの）を、各施工段階に区分すれば、わかり易い「施工手順図」として活用できる。そのためには、施工手順の数だけ ArchiCAD 上にレイヤーを作成しておき、各鉄筋部材をこれに割付ける操作を行う。レイヤーの指定や変更は、チェックボックスをクリックするだけの簡単な操作で行える。

この操作の段階で、鉄筋相互の納まりや、組立手順の矛盾点が発見できる。コンピューターの中で組立手順を検討することにより、施工前のシミュレーションになり、難しい納まりや無理な手順に気付くことができる。したがって現場施工段階で発生する問題を早期に発見し、対策を立案して事前に回避することが可能となる。

例えば、図 13 のように柱筋の組立段階で帯筋を所定のピッチに結束すると、折り曲げ定着となる梁主筋が入りにくくなり、結束した帯筋を一端ずらして梁主筋を配置し、その後に帯筋を再度所定のピッチに戻して結束し直すという「手戻り作業」が発生する。図 14 のように当初は帯筋を仮にまとめておき、折り曲げ加工した梁主筋を配置後に、帯筋を所定の位置に設置して結束すれば、1回で効率よく配筋できる。

また、梁が交差する部分では、それぞれの上端筋・下端筋が通し筋の場合と、折り曲げ定着となる場合によって、合理的な組立手順が違ってくる。これも、3D 完成モデルによってあらかじめ組立手順を検討することで、手戻りのない合理的な手順が見つけられる。

さらに、建物外周部において、柱主筋と梁主筋が同一のかぶり厚さとなる場合には、柱と梁の主筋同士がぶつかってしまい、現実には配筋できない。通常、梁主筋を柱主筋の内側に入れるが、その結果あばら筋の幅が狭くなり、梁主筋同士の「あき寸法」が確保できない場合もある。あき寸法の確保には、梁主筋を2段配筋とするか、梁幅をふかす(増打ち)などの対策が考えられる。このような内容も、事前に検討すれば現場施工段階での変更は回避できる。

ところで、BIM ソフトで制作した 3D 完成モデルは、一般に大きなデータ量となるが、編集機能を除外して閲覧だけの機能に限定すれば、スマートフォンやタブレットでも扱えるようなデータ量に圧縮することが可能である。

BIM ソフトには概ね「ビューアー」と呼ばれる専用アプリが付随する。図 15 は ArchiCAD のビューアーである「BIMx<sup>注10)</sup>」の表示例である。これは、完成した 3D 完成モデルのデータを、合理的な施工手順に分割(レイヤーに割付け)した上で、それぞれの施工段階のデータを圧縮して保存し、利用者のスマートフォンに配布したものである。

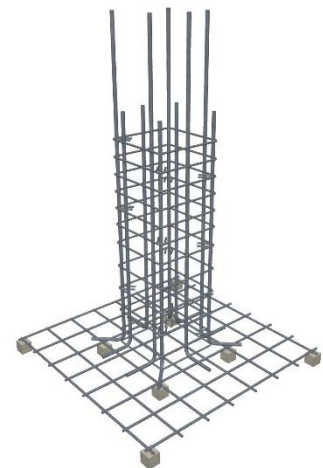


図 13 柱筋の組立て

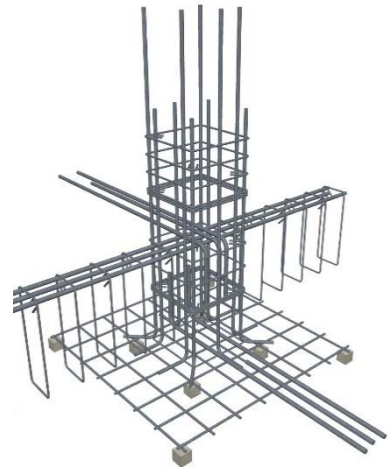


図 14 梁筋の組立て

この際、施工段階毎にデータを圧縮して保存しておき、これらを一括して利用者のスマートフォン等に転送すれば、図 16 のように施工段階図の一覧が表示される。利用者は参照したい施工段階を選択すれば、図 15 のような 3D 完成モデルの表示となり、画面をタッチすることにより拡大・縮小・回転などが行える。

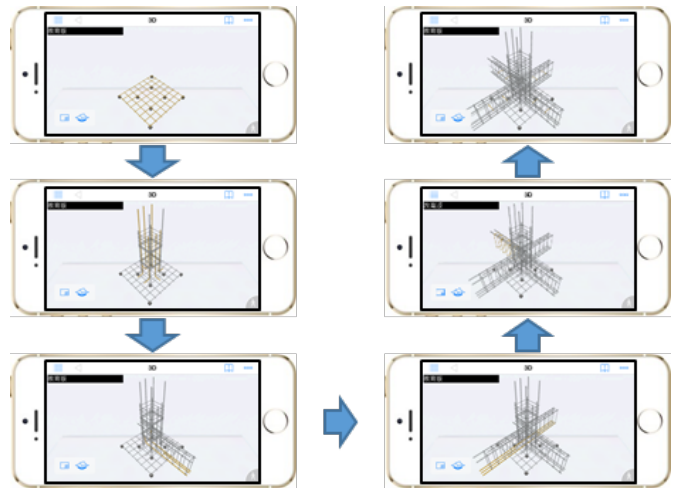


図 15 スマートフォン用の合理的な施工手順図

なお、スマートフォンやタブレット端末用には、無料の表示用アプリが公開されており、利用者は自身の携帯端末にアプリをダウンロードすれば、3D 完成モデルの施工手順図がいつでも利用可能になる。

これらは、教育・訓練用のわかり易い配筋図であると同時に、現場施工段階で活用すれば、合理的な組立手順によって手戻りなく配筋作業が進められると考える。また、勘違いなどのケアレスミスによる鉄筋量の不足などの予防効果も期待できると考えている。

## 2.2.2 鉄筋組立てミニモデルによる手順の確認

前述の基礎配筋の事例は、鉄筋技能士・2 級鉄筋施工（鉄筋組立て作業）の実技試験課題に準拠したモデルである。（公社）全国鉄筋工事業協会では、この技能検定課題のミニモデル（縮尺 1/4）<sup>注 11)</sup>を販売している。

そこで、BIM ソフトを使って決定した合理的な施工手順について、「鉄筋組立ミニモデル」での検証を試みた。

このテーマに関する卒業研究を進めている学生が、BIM（バーチャル・ビルディング）を利用して決定した合理的な組立手順に則り、ミニモデルを組立ててみた（写真 3）。その結果、手戻りなく組立てが完了できることがわかり、BIM による施工手順検討の有効性が確認できた。



図 16 スマホに転送した施工手順図のリスト



写真 3 ミニモデルによる検証



なお、1 級鉄筋施工の実技試験課題は、2 級の課題内容に加えて、基礎梁端部の上端筋・下端筋が 2 段配筋になっている。今後、これについても 3D 完成モデルと合理的な施工手順図を制作する予定である。

### 3 節 初心者にもわかり易い施工手順動画の制作

3D 完成モデルの制作にあたり、ArchiCAD の他に SketchUP Pro<sup>注 12)</sup> も使用している。SketchUP Pro はモデリングソフトと呼ばれ、初心者が部材入力に使用するソフトとしては、ArchiCAD での直接入力以上に扱い易いと思われる。

SketchUP Pro 2015 以降では、64bit OS に対応して処理速度が向上している。また、IFC 形式データのエクスポートのみでなく、インポートも可能になった。さらに 3D モデルのデータを ArchiCAD にエクスポートすることも可能で、学生の卒業研究の着手時には、SketchUP Pro からスタートしている。図 17 は、SketchUP Pro で入力した 3D モデルの例である。

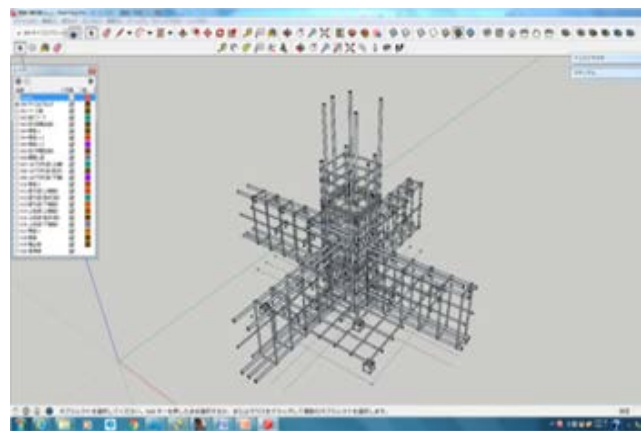


図 17 SketchUP Pro で入力した 3D モデル

次に SketchUP Pro では、各施工段階毎に区分した 3D モデルを「アニメーション」と呼ばれる機能によって動画に編集することが可能である。静止画像を一定時間間隔で切替えて連続的に表示するものだが、組立作業の全体像を短時間にイメージでき、施工手順の概要説明等に役立つ。

【表示】－【アニメーション】－【シーンを追加】を使って、各施工段階を「シーン」として登録していく。各シーンはレイヤーの表示／非表示により、鉄筋部材が順次付け加わっていくように構成する。こうして全ての施工段階をシーンとして登録する。

続いて、【アニメーション】－【シーンの切替】において、各シーンの表示時間（秒数）を設定する。この結果、制作した合理的な施工手順図が、「施工手順動画」に編集できる（図 18）。

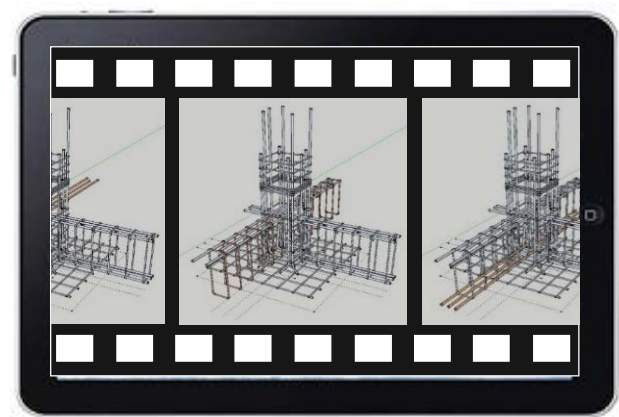


図 18 タブレットに表示した施工手順の動画

なお、このような動画についても、スマートフォンやタブレットで再生可能な程度のデータ量に収まる。また、再生中の一時停止も可能であり、鉄筋組立の施工実習において、スマートフォンで合理的な施工手順を確認するといった活用方法も考えられる。

さらに、SketchUP Pro のデータを ArchiCAD にエクスポートすれば、ArchiCAD で部材入力作業を省略でき、3D 完成モデル制作の省力化が図れる。

以上のように、3D 完成モデルをベースとして制作・編集した施工手順図（静止画）や施工手順動画（アニメーション）など、それぞれに特長のある素材を「初心者にもわかり易い教材」として、従来の 2 次元図面と共に複数組み合わせ併用することにより、効率的な「建築技能者・技能者の育成手法」が構築できると考える。

## 4 節 AR（拡張現実）技術の適用

### 2.4.1 VR（仮想現実）技術と AR（拡張現実）技術の特長

VR (Virtual Reality) は、「仮想現実」と翻訳されている。コンピューターによって作られた人工的な現実世界という意味である。HMD (Head Mount Display) と呼ばれるゴーグル型のディスプレイを装着すると、視界に 360° の映像空間が現れて、その空間に入り込んだように感じるものである。

一方、AR (Augmented Realty) は、「拡張現実」または「拡張現実感」と翻訳される。現実の背景の上に、コンピューターで制作した各種の情報を重ね合わせて表示する技術のことである。

「Augmented」とは、「拡張された」または「強化された」という意味で、デジタル端末の内蔵カメラが映し出す現実を背景にして、肉眼では見えないデジタル・コンテンツなどを重ね合わせて表示し、スマートフォンやタブレットを通して見ることによって新たな現実感を生み出すものである。したがって、「重畳表示」とも呼ばれる（図 19）。

VR と AR の決定的な違いは、現実の背景が映るか否かによるが、両者とも 1965 年にハーバード大学で研究が始められたものといわれる<sup>注 13)</sup>。したがって、VR も AR も決して新しい技術ではない。ところが、近年の携帯端末機器の進歩によって、VR 技術や AR 技術を容易に活用できる環境となった。かつては大型コンピューターを必要としたのだが、現在ではスマートフォンやタブレットで十分に利用可能である。

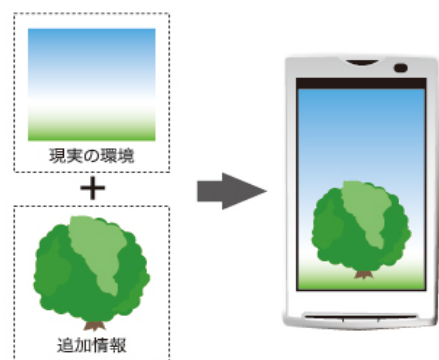


図 19 AR（重畳表示）の原理<sup>18)</sup>

わかり易い例では、平成 28 年 7 月 6 日に公開され、世界的大反響となった「Pokemon GO」が、この AR 技術を用いている。スマートフォンのカメラが現実の背景を映し出し、その中に各種のキャラクターを重畳表示する仕組みである（図 20）。



図 20 ポケモン Go の画面表示の例<sup>注 14)</sup>

現在市販されている大半のスマートフォンやタブレットは、大きな液晶ディスプレイと高画質のカメラを内蔵している。また、位置を特定する GPS、方角を割り出す地磁気センサー、傾斜を検出するジャイロセンサー、移動速度を検出する加速度センサー、さらに気圧計などを搭載する機種もある。CPU の性能はかつてのワークステーション並みで、当然通信機能を備えている。このようなスマートフォンやタブレット端末を、ほとんどの学生が保有している状況である。

その結果、教育・訓練の分野において、AR 技術・VR 技術を活用した教材システムを構築して、講義や実習に利用可能な環境が整っている状況といえる。

#### 2.4.2 AR 技術を活用した教育・訓練教材の制作

AR の一般的な利用形態は、マーカー型（画像認識型）とロケーションベース型（位置情報型）に分類される。前者はマーカーと呼ばれる目印画像を携帯端末が感知すると、あらかじめ登録したデジタル・コンテンツをクラウド・サーバー等から読み出して、携帯端末のディスプレイに重畳表示する仕組みである。後者は GPS などを利用して携帯端末の位置情報取得し、これに関連付けられたデジタル・コンテンツを重畳表示する仕組みである。

マーカー型 AR を活用すると、「初心者にもわかり易い施工実習教材」が開発できると考えた。まず、初心者にとっては難解な 2 次元図面（配筋図・配筋詳細図等）の一部をマーカー画像として登録しておく。そして初心者が自身のスマートフォンやタブレットをその図面上にかざすと、図 21 のように BIM ソフトで制作した完成状態の立体を重畳表

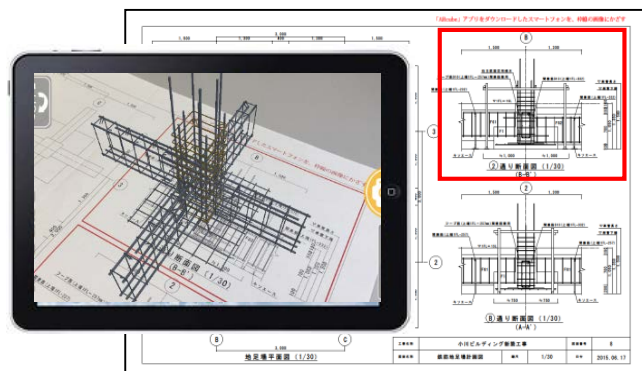


図 21 AR 重畳表示コンテンツの例

示する仕組みを構築した。こうした AR 技術を活用した教材は、初心者の図面情報の読み取りを大幅に促進できると考える。

画像認識方式の AR 重畳表示は、携帯端末をマーカー画像に近づけると重畳表示された 3D モデルが拡大し、遠ざけると縮小になる。また携帯端末とマーカー画像の角度を変えると重畳表示された 3D モデルも回転する。これは、マーカー画像を認識し、重畳表示の大きさや角度を調整しているからである。したがって、重畳表示された 3D モデルの全体から細部まで、携帯端末の画面上で確認可能である。

ただし、現状では重畳表示された 3D モデルから寸法を読み取ることができない。しかしながら、従来の 2 次元図面をマーカー画像として利用して、構造物が完成した状態の立体イメージづくりをサポートでき、鉄筋相互の収まりも確認できるなど、「わかり易い施工実習教材」として圧倒的な効果が期待できる。

鉄筋施工実習における AR 教材の活用方法としては、これから実大の鉄筋モデルを組み立てようとする位置にマーカー画像を置き、これに携帯端末をかざして完成状態の 3D モデルを表示し、全体像の確認に使用できる（写真 4）。施工実習の受講者は、完成形を常に手元で確認しながら、見たままに・手本通りに鉄筋組立作業を進められる。

実習中に発生する間違いを繰返し修正することで、正しい手順を習得させる方法もあるが、解体してやり直しになるような大幅な手戻りは効率的な実習授業とはいえない。合理的な手順を提示する時期や方法は、指導者の裁量によって検討すれば良いと考える。

次に、現実の背景が画面に映ることが AR 重畳表示の最大の特長であるから、施工実習の途中段階で AR 教材を用いると、既に組立てた実配筋の上に各施工段階の完了状態の 3DCG が重畳表示できる。これを比較すると、配筋ミスや出来形の確認が可能である（写真 5）。

このような AR 表示を行うツールについては、今回は AR クラウド・サービスを利用した。これを利用すると、マーカー画像のデータ形式やサイズ、重畳表示するデジタル・コンテンツのデータ形式やサイズに一定の制約があるが、条件を満



写真 4 施工実習における AR 教材の例①



写真 5 施工実習における AR 教材の例②



たせば 3D モデル・動画・写真・書類・音声・WEB サイトなどのデジタル・コンテンツを手軽に重畳表示することができ、独自のプログラム開発などは不要である。

なお、スマートフォンやタブレット端末に AR 画像を表示するためのアプリは無料で提供されている。現状では、iOS と Android OS に対応している。また、眼鏡型のウェアラブル端末である MOVERIO（エプソン社製）にも対応している。したがって、受講者が自身の端末にあらかじめアプリをダウンロードしておき、インターネットに接続した状態でアプリを起動してマーカー画像にかざせば、何時でも何処でもわかり易い施工実習教材が利用可能となる。

図 22 は、AR クラウド・サーバーの管理画面の表示例である。Web ベースのために容易に操作ができる。この画面を使ってマーカー画像と重畳表示するデジタル・コンテンツを登録すれば、AR 教材がすぐに利用可能になる。

今回利用した AR クラウド・サーバー・サービス<sup>注 15)</sup>については、使用マーカー数が 100 画像まで、並びにデジタル・コンテンツの容量が合計で 10GB までのスタンダードプランとしたが、ランニング・コストは 3 万円／月であった。


ログアウト

**職業能力開発総合大学校** 様管理画面  
 使用容量 914.51MB / 10240MB 使用マーカー数 50 / 100 全表示回数 3265  
[ユーザープロフィール](#)

**アプリ情報**

サービス開始日	2016年01月18日00時
サービス終了日	2017年09月30日00時

**コンテンツ一覧**  
[コンテンツ新規登録](#) [全コンテンツ削除](#)

<< [1](#) [2](#) 3

NO.▼	コンテンツ名	マーカー	コンテンツ	表示回数	リンク	形式	公開設定	編集	更新日▼	削除
4	基礎十字梁・手順01		<a href="#">ios</a> <a href="#">android</a>	71回 <a href="#">詳細</a>		3D	<a href="#">無効にする</a>	<a href="#">編集</a>	2017年 3月24 日	<a href="#">削除</a>
3	十字モデル・完了（地足場なし）_160119		<a href="#">ios</a> <a href="#">android</a>	892回 <a href="#">詳細</a>		3D	<a href="#">無効にする</a>	<a href="#">編集</a>	2017年 3月24 日	<a href="#">削除</a>
2	Foundation Cross Model_10c		<a href="#">ios</a> <a href="#">android</a>	126回 <a href="#">詳細</a>		3D	<a href="#">無効にする</a>	<a href="#">編集</a>	2017年 3月24 日	<a href="#">削除</a>
1	R C実習モデル_150717（スラブ付）透明躯体無		<a href="#">ios</a> <a href="#">android</a>	373回 <a href="#">詳細</a>		3D	<a href="#">無効にする</a>	<a href="#">編集</a>	2017年 3月24 日	<a href="#">削除</a>

<< [1](#) [2](#) 3

図 22 AR クラウド・サーバーの管理画面

## 5 節 拡張 3D 教材群の構成と制作手順

### 2.5.1 拡張 3D 教材群の構成

ICT を活用した初心者にもわかり易い施工実習用の教材開発を進めた結果、5 種類の教材を 1 組として制作する方法と手順を考案した。その構成は、(1)課題図面（鉄筋配筋図、鉄筋加工図、型枠加工図、型枠支保工組立図などの 2 次元 CAD）、(2)3 次元完成モデル（全部材を入力したもの）、(3)施工手順図（施工手順毎のレイヤーに分割した 3 次元モデル）、(4)施工手順動画（施工手順図を一定時間間隔で連続表示したもの）、(5)AR（拡張現実）技術による重畳表示、の 5 種類である。

これらをまとめて「拡張 3D 教材群」と呼ぶこととする。その特長は、3 次元モデルを十分に活用することと、受講者自身の携帯端末で操作できることである。以下に、拡張 3D 教材群の制作手順を具体的に示す。

### 2.5.2 課題図面（鉄筋配筋図・鉄筋加工図等）[2 次元 CAD]の制作

はじめに、施工実習の対象とする建物（構造物）の意匠図や構造図等を用意する。実施物件では規模が大きすぎる場合が多く、小規模な建物に修正して作成する場合もある。この際、Jw\_cad を使用している。

例えば鉄筋工事の施工実習において、最低限必要な課題図面は、平面図、立面図、断面図、仕上表、伏図、軸組図、配筋リスト、断面詳細図などである。すなわち、受講者が施工のための鉄筋配筋図や鉄筋加工図を作図する課題において、必要な情報を読み取るための内容を含んだ意匠図と構造図を準備する。これらは課題図として受講者に提示するもので、この課題図は作図やトレースなどの対象ではない。

こうした課題図に基づき、2 次元 CAD ソフトにより鉄筋配筋図（図 23）と鉄筋加工図（図 24）を制作する。これも Jw\_cad を使用している。鉄筋配筋図には平面図と側面図を描き、主要な鉄筋部材の配置を示す。鉄筋加工図には、基礎のベース筋、柱・梁の主筋、帯筋、あばら筋、腹筋、幅止筋などについて、通常は切断や曲げ加

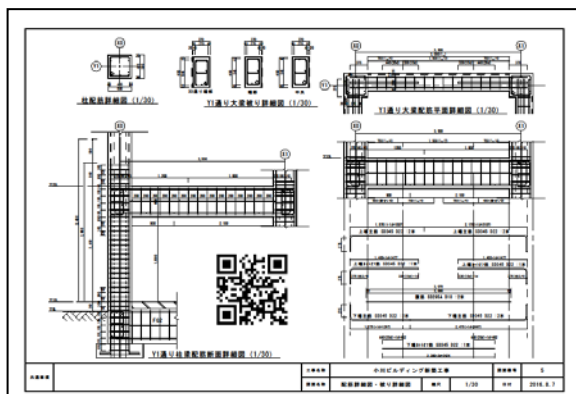


図 23 鉄筋配筋図

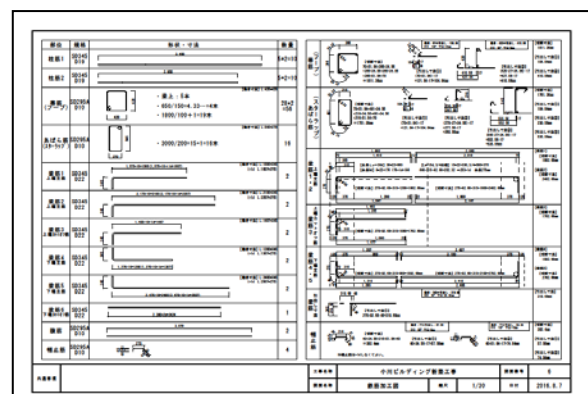


図 24 鉄筋加工図

工が終了した状態の寸法をそれぞれ表示する。なお、型枠も含む施工実習課題モデルでは、型枠加工図、型枠支保工組立図等も制作する。

### 2.5.3 3次元完成モデル（CG）の制作

次に、施工実習課題モデル（鉄筋配筋図や鉄筋加工図、並びに型枠加工図や型枠支保工組立図等）に含まれる鉄筋部材や型枠部材を全て描いた 3D 完成モデルを制作する。今回の事例では SketchUP Pro を使用して全部材を入力し、このデータを ArchiCAD に読み込む方法で行った。こうして全ての部材を入力すると、施工実習課題モデルが完成した状態の 3D 完成モデル（図 25）が表示できる。

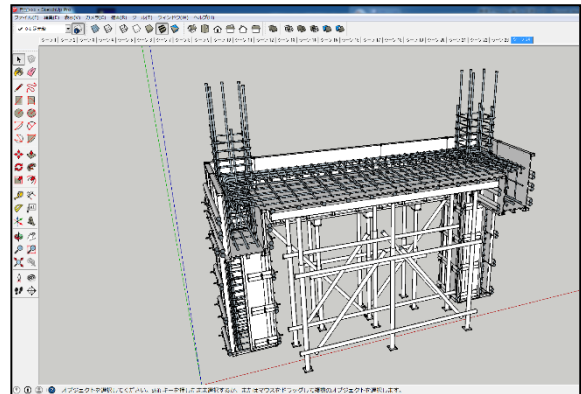


図 25 3D 完成モデルの例

### 2.5.4 施工手順図の制作

施工手順図は、全ての部材を入力した 3D 完成モデルにおいて、施工段階別にレイヤーを設けて、これに各部材を割付けることによって制作する。この操作は、部材入力に使用した SketchUP Pro で行うこともできるし、入力データを ArchiCAD に読み込んだ後に行うことも可能である。今回は SketchUP Pro においてレイヤー分割を行った。それは、後述する施工手順動画を SketchUP Pro で制作するためである。柱・梁モデルでは、24 段階の施工手順となった（図 26）。

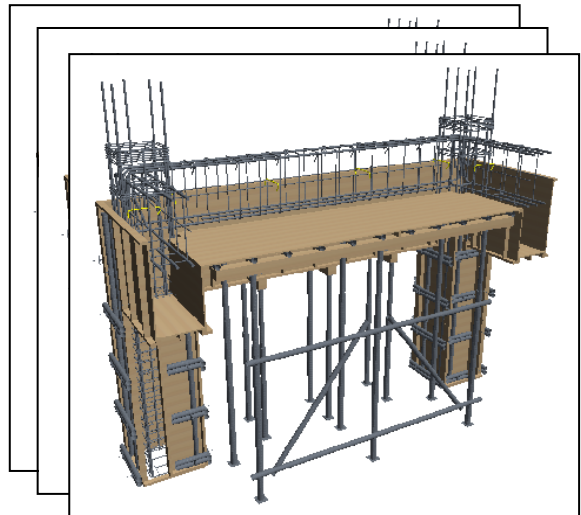


図 26 3D 施工手順図の例

こうして制作した施工手順図を、受講者自身の携帯端末に表示するためには、データの圧縮変換が必要になる。

ArchiCAD には BIMx というビュー専用アプリが無償で提供されており、専用のデータ形式 (.bimx) で保存を実行すれば元データが変換される。

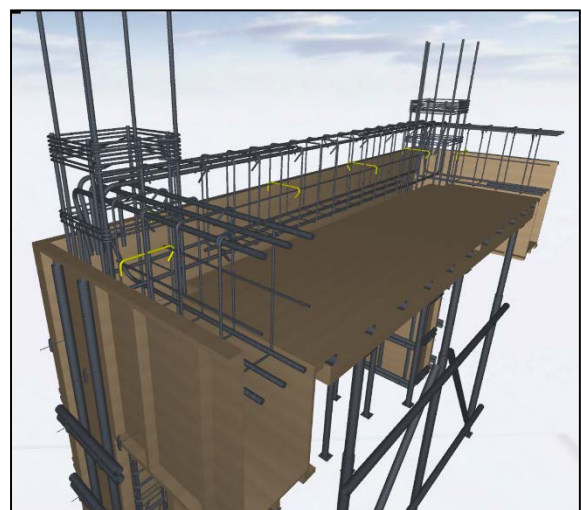


図 27 3D 施工手順図（拡大）の例

その結果、3D 完成モデルのデータが圧縮されて、携帯端末上での操作が可能になる。この際、編集機能が失われるから、携帯端末上での修正等は出来なくなる。

無償ビューソフトの BIMx は、iOS 用、Android 用、Windows 用がそれぞれ用意されており、受講者が自らの携帯端末に合わせてインストールすれば、施工手順図（図 26）を自身の携帯端末に表示することが出来る。この表示は、回転・拡大・縮小が可能な 3D モデルであり、全体像の確認から細部の納まりまで、いつでも手元で確認できて、たいへん使い勝手の良い教材となる（図 27）。

ただし、施工手順図のデータを各携帯端末に保存する必要があり、データの転送方法などに工夫が必要である（図 28）。

#### 2.5.5 施工手順動画の制作

施工手順動画は、SketchUP Pro の「アニメーション」機能を使って制作した（図 29）。

施工手順図における各施工段階の 3D モデルを、アニメーションの 1 シーンとして設定していく。各シーンは静止状態だが、一定間隔（数秒程度）で切り替えて連続表示するので、いわゆるスライドシ



図 28 携帯端末に保存した施工手順図のデータ

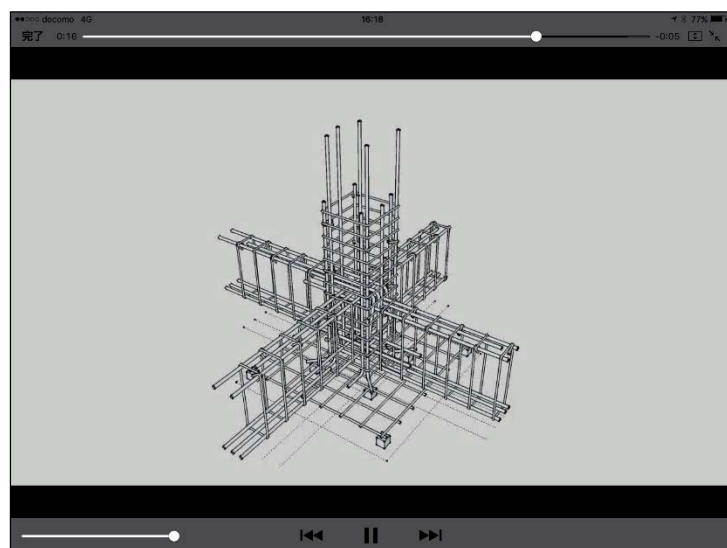


図 29 携帯端末で再生できる施工手順図動画の例



ョーの状態となり、組立施工の流れを最初から最後まで短時間に把握できる動画教材となる。こうして制作した施工手順動画は mp4 形式のデータであり、全体が短時間（数分間程度以内）でもあることから、携帯端末で十分に扱えるデータ量に納まる。この動画データは、携帯端末に保存しておく方法と、AR クラウド・サーバーから読み出しながら再生する方法がある。

## 2.5.6 AR 技術による重畳表示の制作

AR 技術を利用した重畳表示には、目印画像を用いる方式（マーカー型）と、GPS の位置情報を用いる方式（ロケーションベース型）がある。

2 次元図面（鉄筋配筋図等）に表現された構造物について、これが組立完了した状態の 3D 完成モデルを 2 次元図面上に重畳表示することによって、初心者のイメージづくりをサポートすることが目的であるから、目印画像を用いる方式（マーカー型）を利用した。

従前であれば複雑なプログラミングが必要であったが、現在では簡単に AR 重畳表示が制作できるクラウド・サービスが提供されている。マーカー型の場合には、目印画像（図面や写真等）と、これに重畳表示する 3D 完成モデルを、一対でクラウド・サーバーに登録すれば良い。

この際データの形式には制限があり、目印画像は JPEG、3D モデルは OBJ または FBX であった。ArchiCAD はデータ保存の際に約 30 種にも及ぶデータ形式が選択できるため、AR 用クラウド・サーバーにデータを登録する際のデータ形式の制限にも十分に対応できた。

受講者が AR 重畳表示を利用するには、クラウド・サービスが提供する無償アプリを携帯端末にインストールして、その携帯端末を 2 次元図面の上にかざせばよい。携帯端末のカメラが捕らえた画像が登録済の目印画像と合致すれば、これに対応する 3D 完成モデルをクラウド・サーバーから読み出して重畳表示する仕組み

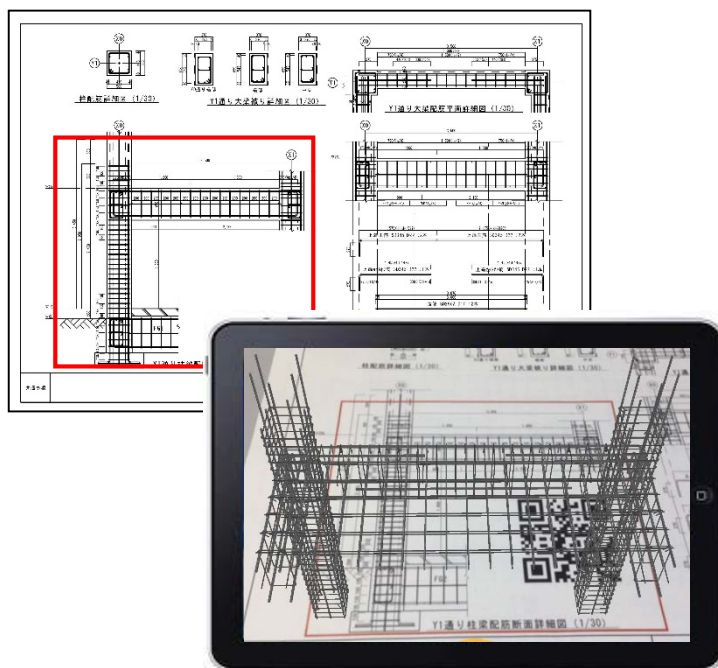


図 30 2 次元図面上に 3D モデルを重畳表示した例

みである（図 30）。したがって、受講者の携帯端末には目印画像や 3D 完成モデルのデータを保存する必要がない。

図 31 に、制作した 3D 拡張教材群のデータ連携図を示す。カッコ内の記号はデータ形式を示す拡張子である。

なお、スマホ用の施工手順図については、図 28 のように各受講者の携帯端末内に 3DCG のデータ（.bimx 形式）を保存する必要がある。

施工手順動画（図 29）については、受講者の携帯端末内に動画データ（.mp4 形式）を保存する方法と、3D モデルの AR 重畳表示と同様に 2 次元図面のマーカー画像に紐付けてクラウド・サーバーから読み出す方法がある。前者の場合は、あらかじめ受講者の携帯端末に動画データを転送する手間が必要になる。一方、後者の方法は、動画データをクラウド・サーバーから自動的に読み出すので、あらかじめ転送する手間が掛からない。したがって、より手軽に活用できる。

なお、後者の方法はストリーミング再生方式のため、クラウド・サーバーから動画データを読み出しながら再生を行うが、携帯端末自身の通信速度が低い場合には動画がスムーズに再生できない場合がある。しかしながら、受講者の携帯端末の内臓メモリー容量が一杯の場合などで、施工手順の動画データを保存できないケースも想定されるので、画像認識によってクラウド・サーバーから読み出す方法が使い勝手が良いと考えている。

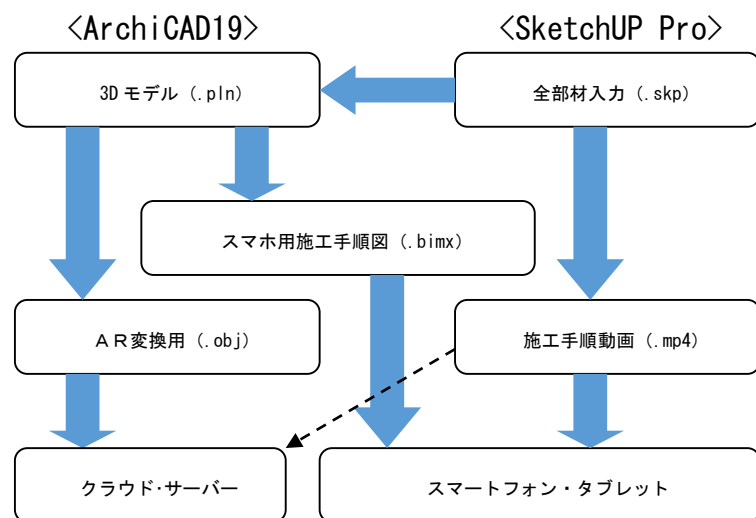


図 31 拡張 3D 教材群のデータ連携図

## 6 節 標準となり得る施工実習モデルの選定と拡張 3D 教材群の制作

初心者にもわかり易い施工実習用の教材群を制作する対象として、標準となり得る施工実習課題モデルの選定を行った。それは、各所で行われる教育訓練に提供する場合、諸条件に合わせて施工実習課題モデルを選択できるように複数モデルとするためである。

具体的には、図 32 から図 36 に示す 5 つのモデルに絞り込んだ。これらは職業能力開発総合大学校にて学生を対象とする「施工実習授業」で活用している課題モデルや、職業能力開発促進センターにて求職者に対する職業訓練で活用している課題モデル等がベースである。これまではほとんど 2 次元図面の教材しか無かったが、全てのモデルに対して ICT を活用した新型の拡張 3D 教材群を制作していく。

図 32 は、鉄筋だけの施工実習課題モデルである。基礎、基礎柱、基礎梁の取合い部分が対象であり、技能検定「鉄筋施工（鉄筋組立て作業）2 級」の実技試験課題に準拠している。

1 方向の基礎梁については、100mm の段差が付いている。したがって、全てのはり主筋を通し配筋とすることができず、一部の梁主筋を柱内に折り曲げ定着としなければならない。

また、直行方向の基礎梁は、水平方向に 50mm 偏芯している。したがって、一部の梁主筋を柱内に折り曲げ定着としなければならない。

図 33 は、住宅基礎の鉄筋と型枠を対象とする施工実習課題モデルである。いわゆるベタ基礎の鉄筋と立ち上り部分の鉄筋、および型枠と支保工が含まれる。木造系の教育・訓練コースにおいて、そのカリキュラムの一部に RC 造の施工実習を取り入れる場合があり、そのようなケースでは最も違和感のないモデルと考える。

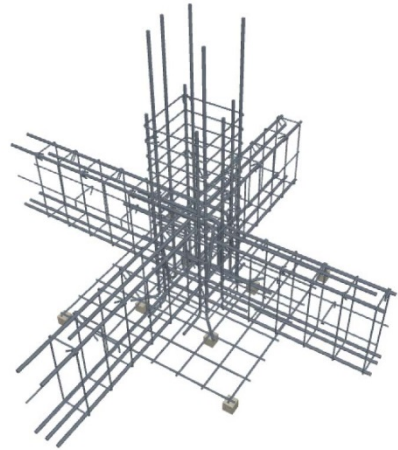


図 32 鉄筋モデル

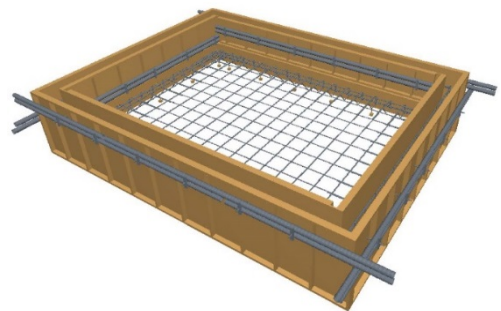


図 33 住宅基礎モデル

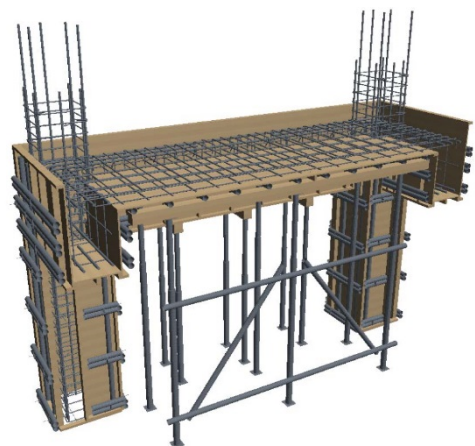


図 34 柱・梁モデル

図 34 は、柱と梁で構成するラーメン構造の一部分（1 層、1 列）を切り出した状態の施工実習課題モデルであり、鉄筋も型枠も型枠支保工も含んでいる。また、床支保工、床型枠、スラブ筋などを省略することも可能である。実習のスペースが限られる場合で、鉄筋と型枠を含む施工実習を実施したい場合に適した複合モデルとなっている。

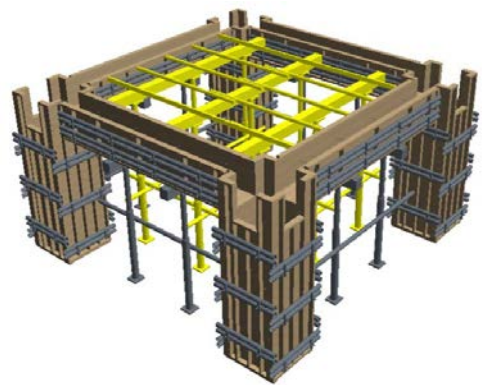


図 35 型枠モデル

図 35 は、型枠だけの施工実習課題モデルである。柱が 4 箇所あり、それに梁を設置し、さらに床スラブのせき板を設置する。柱筋・梁筋・スラブ筋を含めて組み立てることもできるが、型枠と型枠支保工だけを組み立てる型枠のみの課題モデルとして活用することを想定している。なお、このモデルの実施には外部足場の設置が必要であり、実習スペースが限られる条件では選択が難しいこともある。

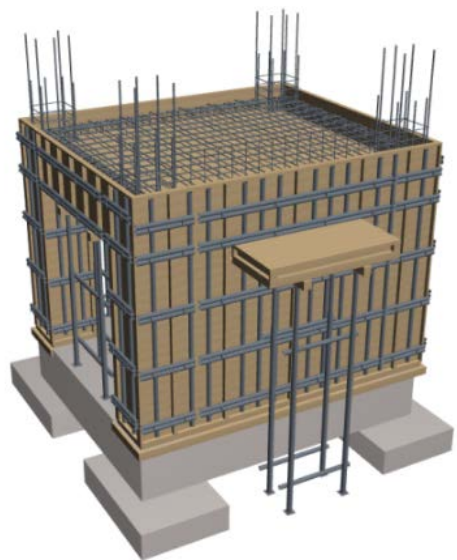


図 36 総合モデル

図 36 は、4 箇所の独立基礎の上に、基礎梁と 1 階床スラブを設置し、さらに 1 階柱と壁、および 2 階梁と 2 階床スラブまでを含む RC 造の総合的な施工実習課題モデルである。

独立基礎・基礎梁・1 階立上りにおいて、コンクリートを 3 回打設することを想定しており、短期間で実施するのは困難である。すなわち、まとまった訓練時間が確保できる場合に選択可能な施工実習課題モデルである。

なお、このモデルは職業能力開発総合大学の 3 年次に実施する「鉄筋コンクリート施工実習」の課題をアレンジしたもので、施工手順図は 60 段階を超える。

以上のように、標準となり得る施工実習課題モデルとして 5 つのモデルを選定した。これらの各モデルについて、①課題図面（鉄筋配筋図、鉄筋加工図、型枠加工図、型枠支保工組立図等）[2 次元 CAD]、②3D 完成モデル、③施工手順図、④施工手順動画、⑤AR（拡張現実）技術による重畳表示、の 5 種類からなる拡張 3D 教材群を制作していく。

以下に、各施工実習課題モデルについて、制作した課題図面（2 次元 CAD）と施工手順図、および制作した AR 重畳表示と施工手順動画を示す。



2.6.1 制作した鉄筋モデルの課題図面（2次元 CAD）

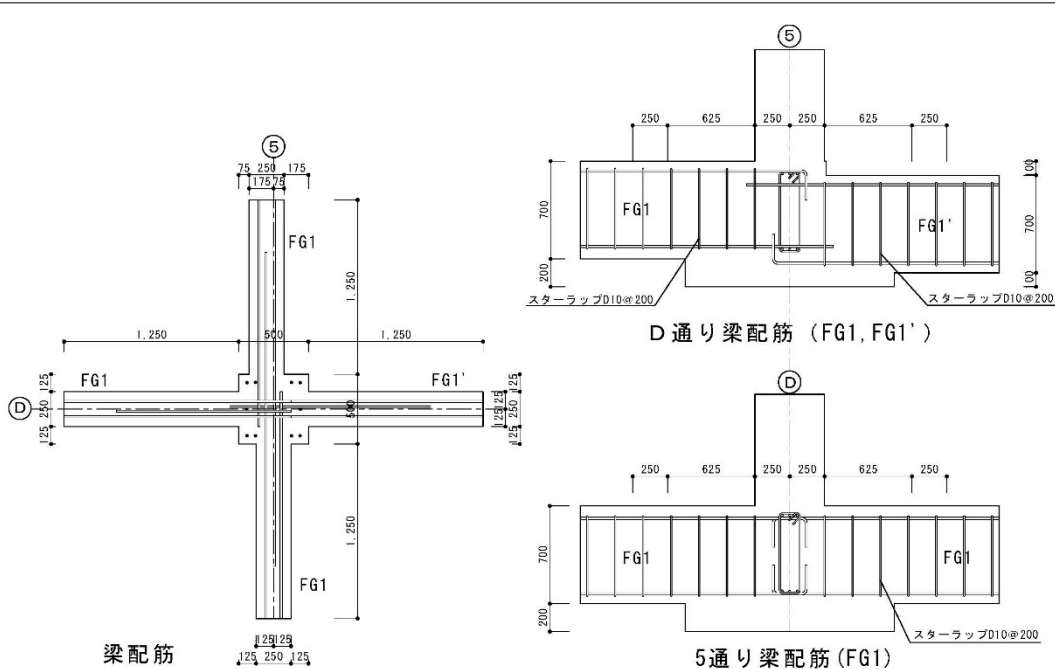
# 建築施工実習（RC造）

## 鉄筋技能士・実技試験モデル

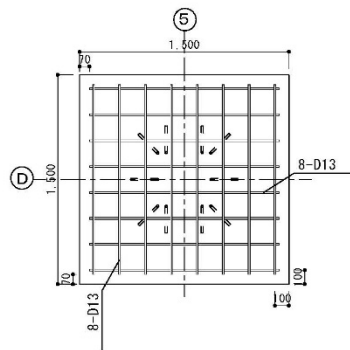
<鉄筋工事>

職業能力開発総合大学校

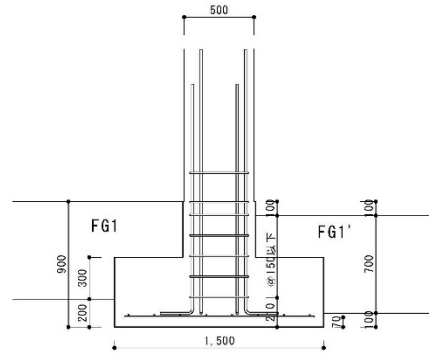
[ ] 班・氏 名



工事名称	鉄筋配筋図			図面番号	1
図面名称	縮尺	1/20	日付		

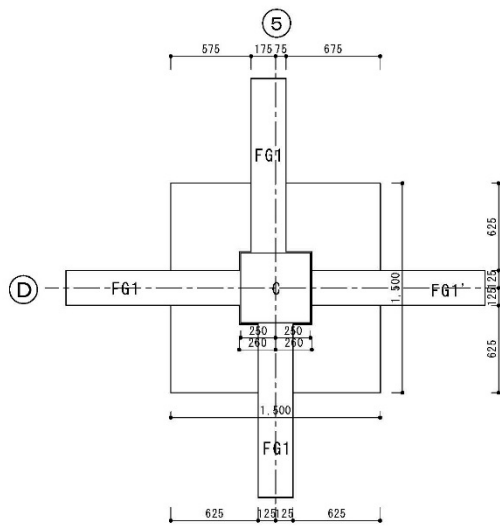


基礎配筋

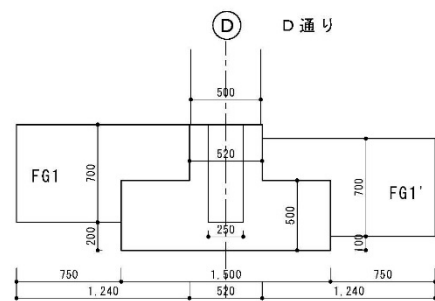
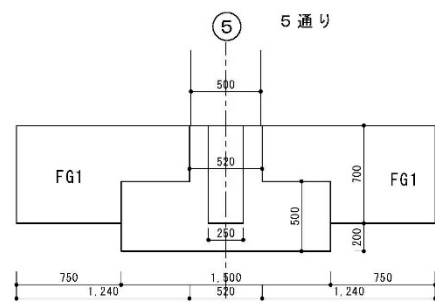


柱配筋

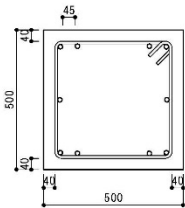
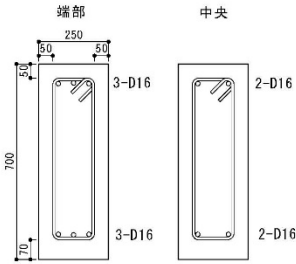
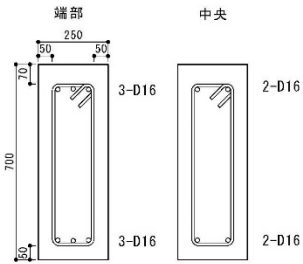
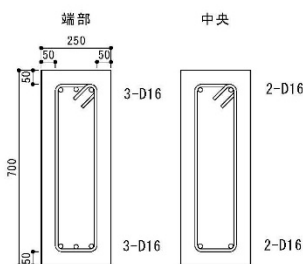
工事名称	鉄筋配筋図		図面番号	2
図面名称	階尺	1/20	日付	



躯体図 (上から)



工事名称	コンクリート躯体図		図面番号	3
図面名称	階尺	1/20	日付	

柱 C		D 通り FG1			
					
5 通り FG1		D 通り FG1'			
					
工事名称	柱・梁リスト			図面番号	4
	図面名称	縮尺	1/10	日付	

柱主筋

D13-1360~8+8=16

ベース筋

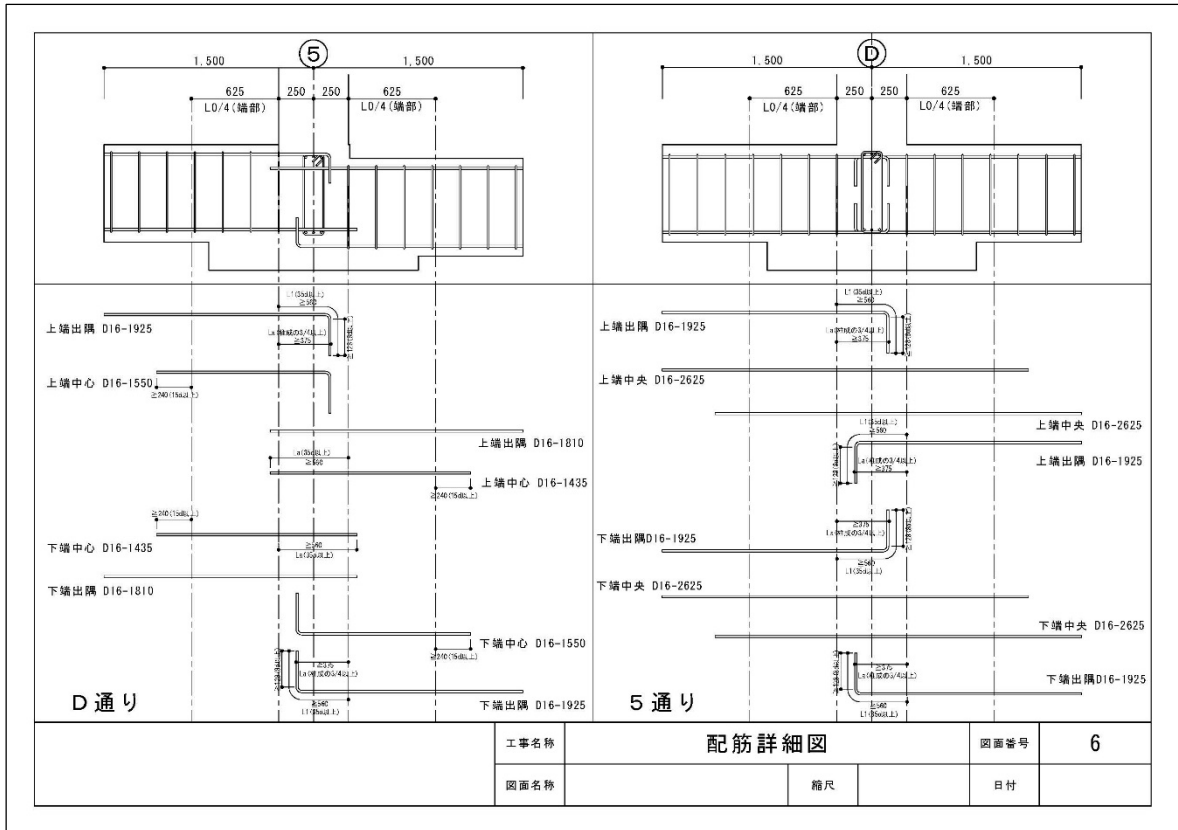
D10-420×420-1800~7

フープ

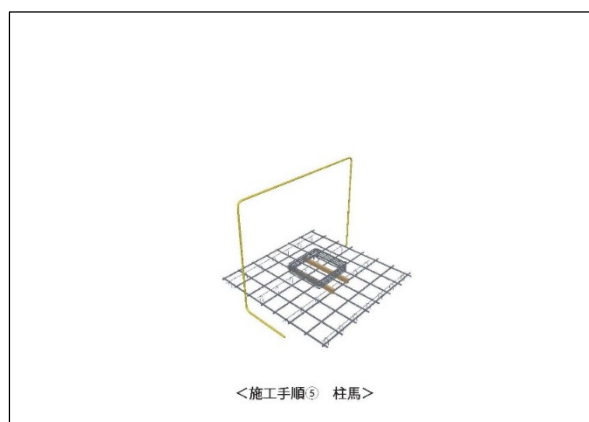
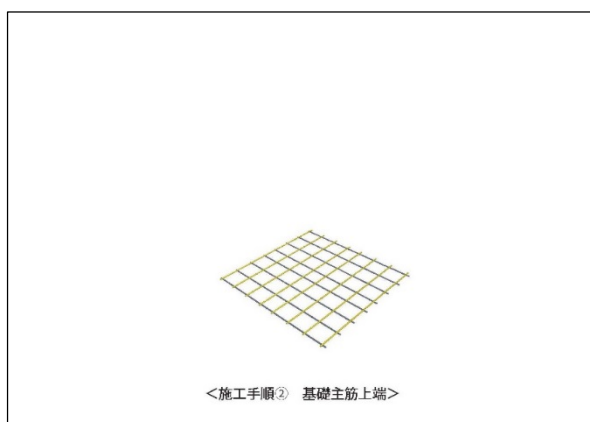
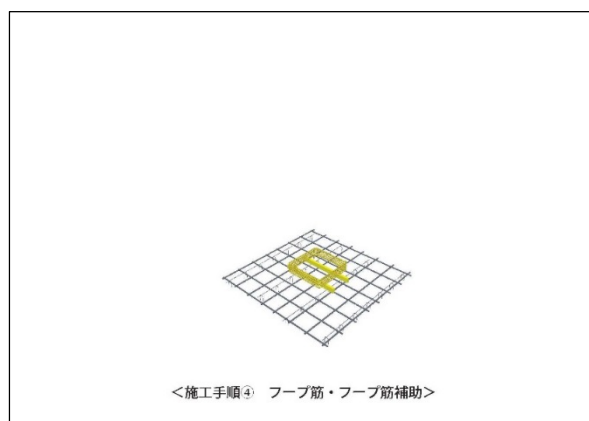
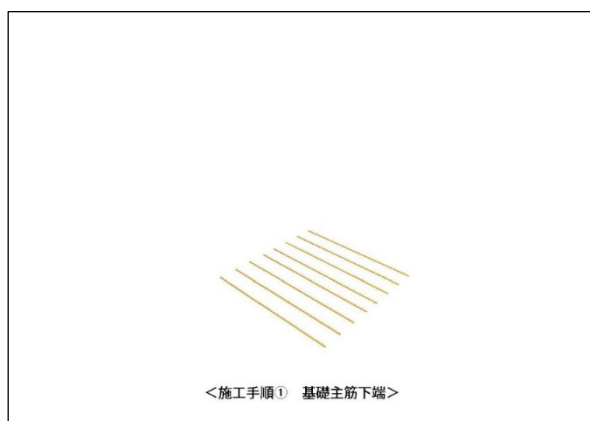
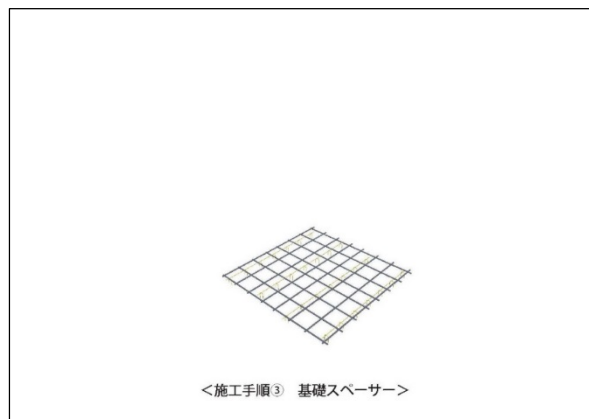
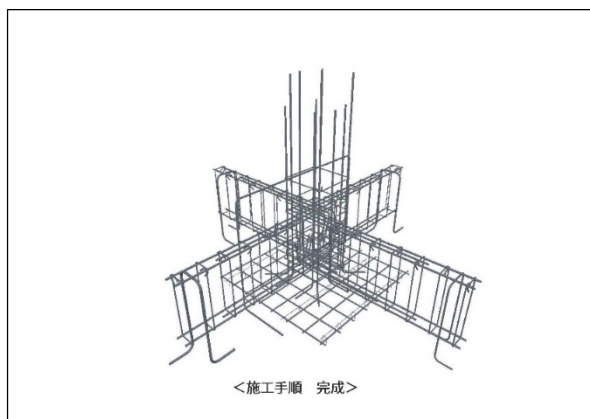
F61 D10-150×580-1580~7×3=21  
FG1' D10-150×600-1620~7×1=7

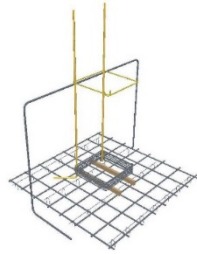
スターラップ

	工事名称	鉄筋加工図			図面番号	5
	図面名称		階尺		日付	

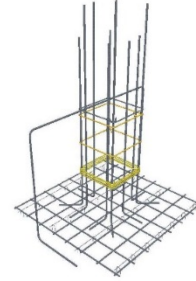


## 2.6.2 制作した鉄筋モデルの施工手順図

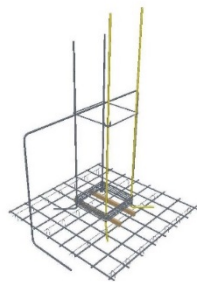




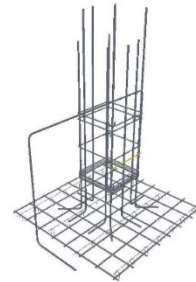
<施工手順⑥ 四隅馬側柱主筋・フープ筋>



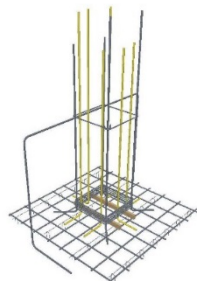
<施工手順⑨ フープ筋移動>



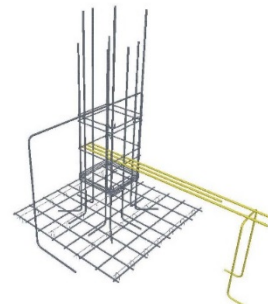
<施工手順⑦ 四隅反対側柱主筋>



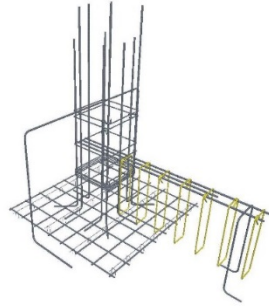
<施工手順⑩ 間差し筋>



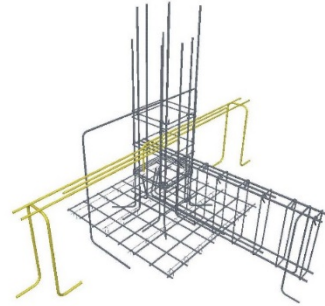
<施工手順⑧ 内側柱主筋>



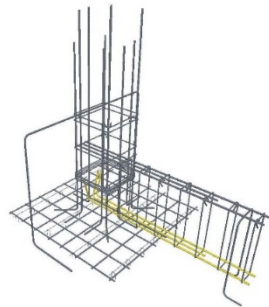
<施工手順⑪ D通りFG1'上端主筋>



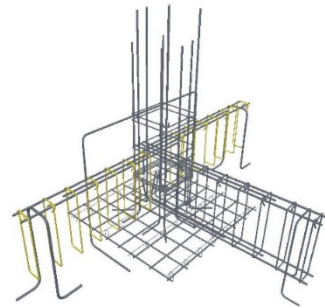
<施工手順⑫ D通りFG1'スターラップ>



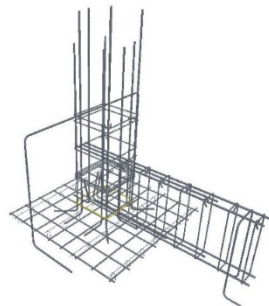
<施工手順⑬ 5通りFG1'上端主筋>



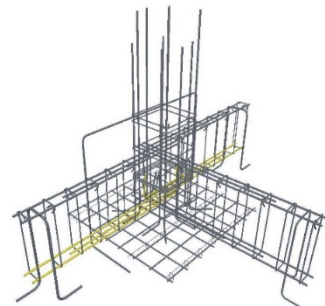
<施工手順⑭ D通りFG1'下端主筋>



<施工手順⑮ 5通りFG1'スターラップ>

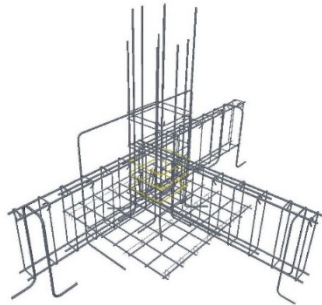


<施工手順⑯ フープ筋移動>

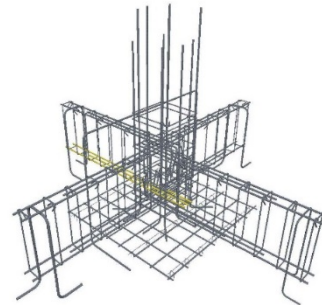


<施工手順⑰ 5通りFG1'下端主筋>

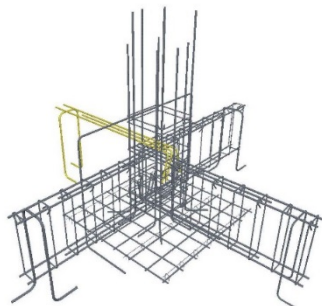




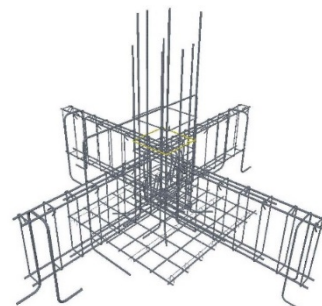
<施工手順18> フープ筋移動>



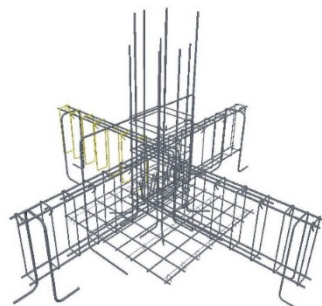
<施工手順21> D通りFG1下端主筋>



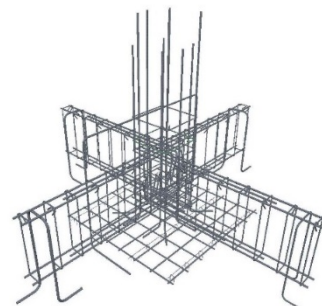
<施工手順19> D通りFG1上端主筋>



<施工手順22> フープ筋移動>

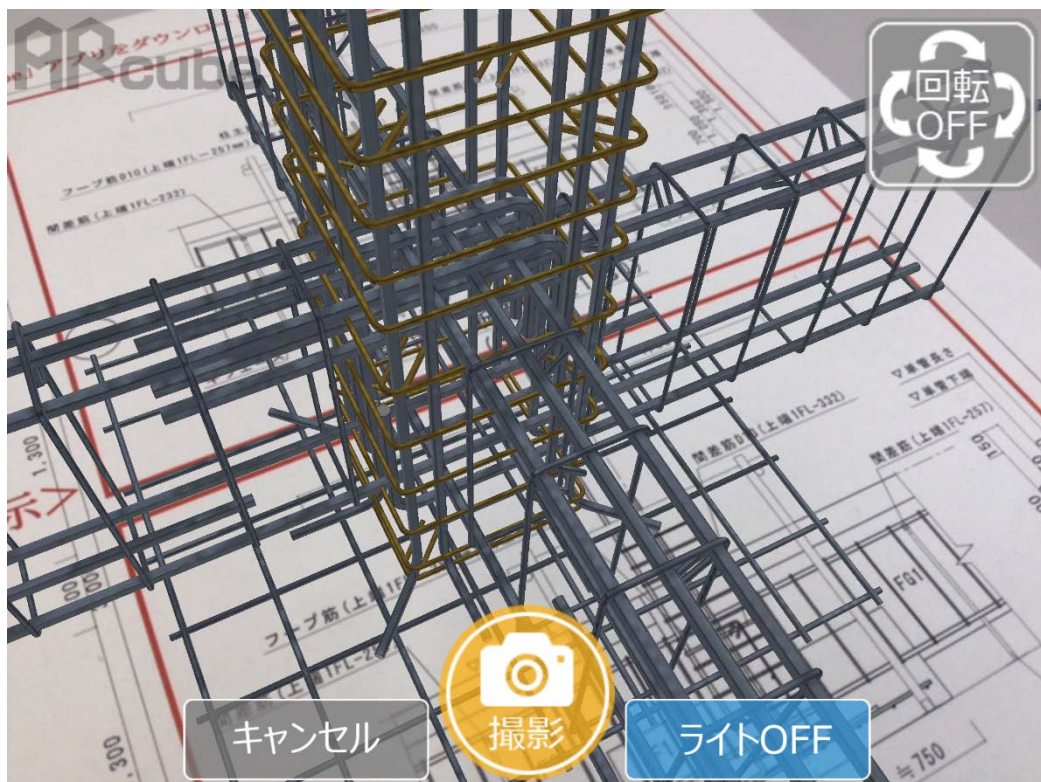
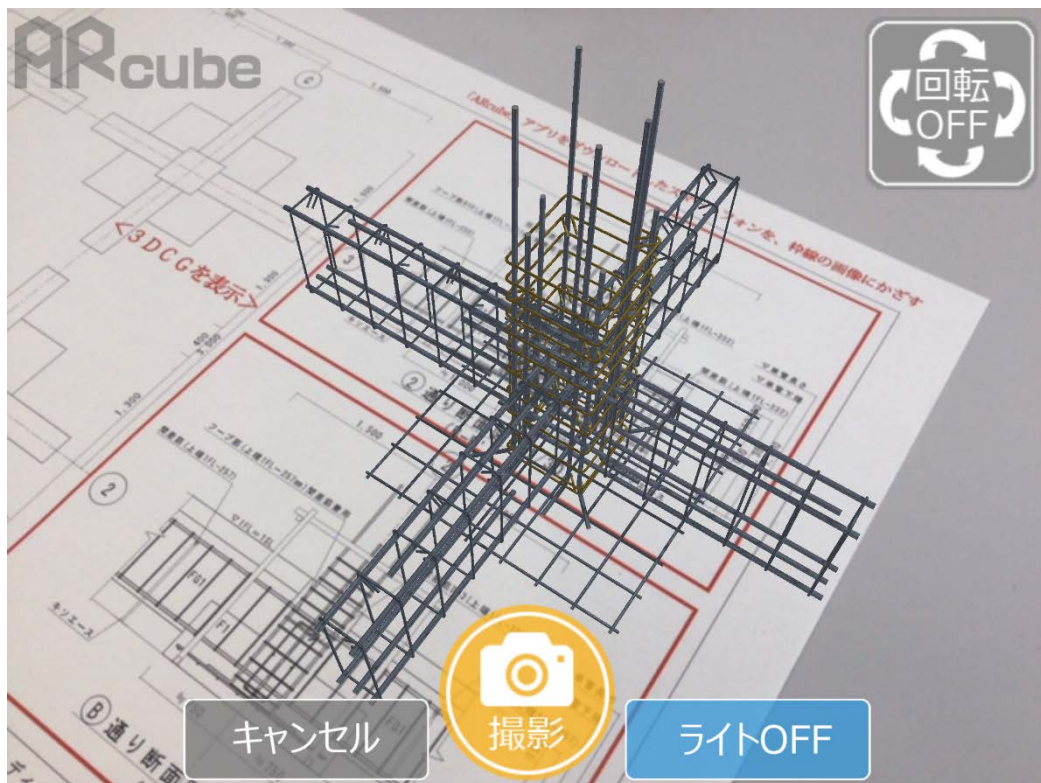


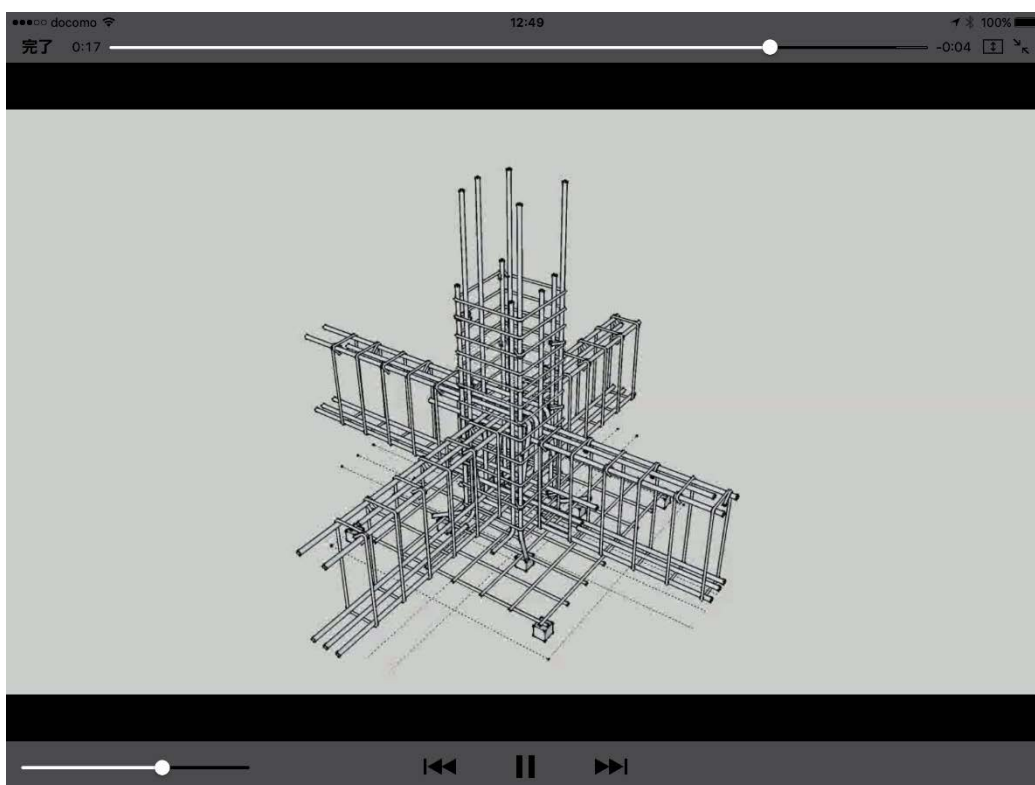
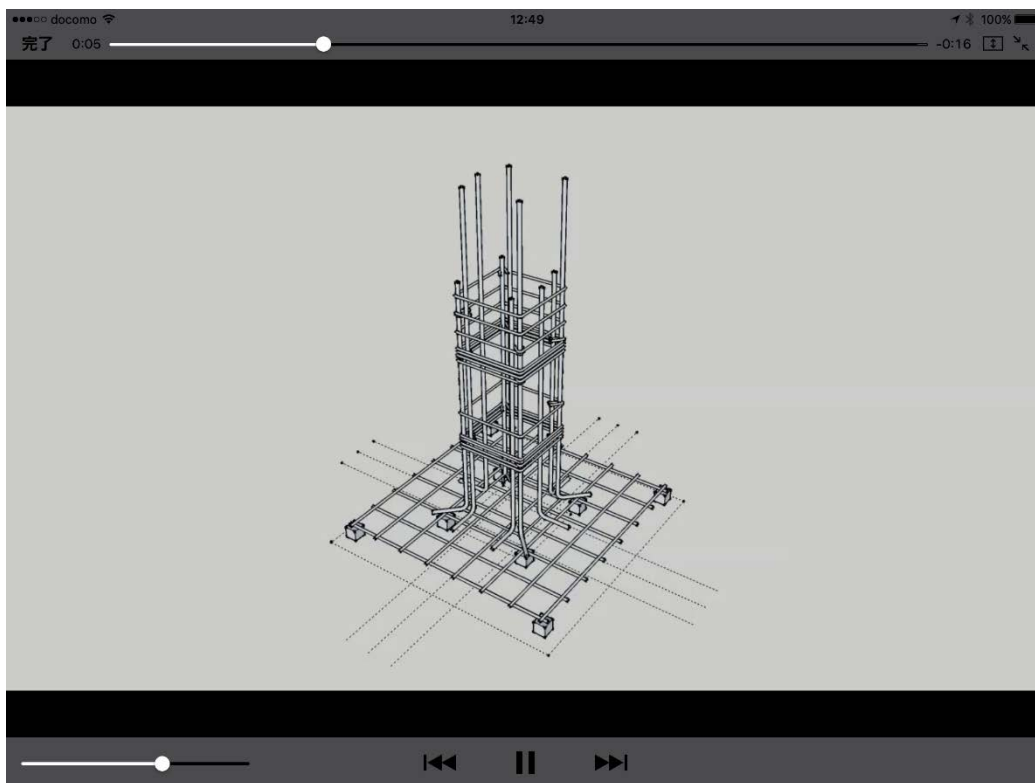
<施工手順20> D通りFG1スターラップ>



<施工手順 完成>

### 2.6.3 制作した鉄筋モデルのAR重畳表示と施工手順動画





2.6.4 制作した住宅基礎モデルの課題図面（2次元CAD）

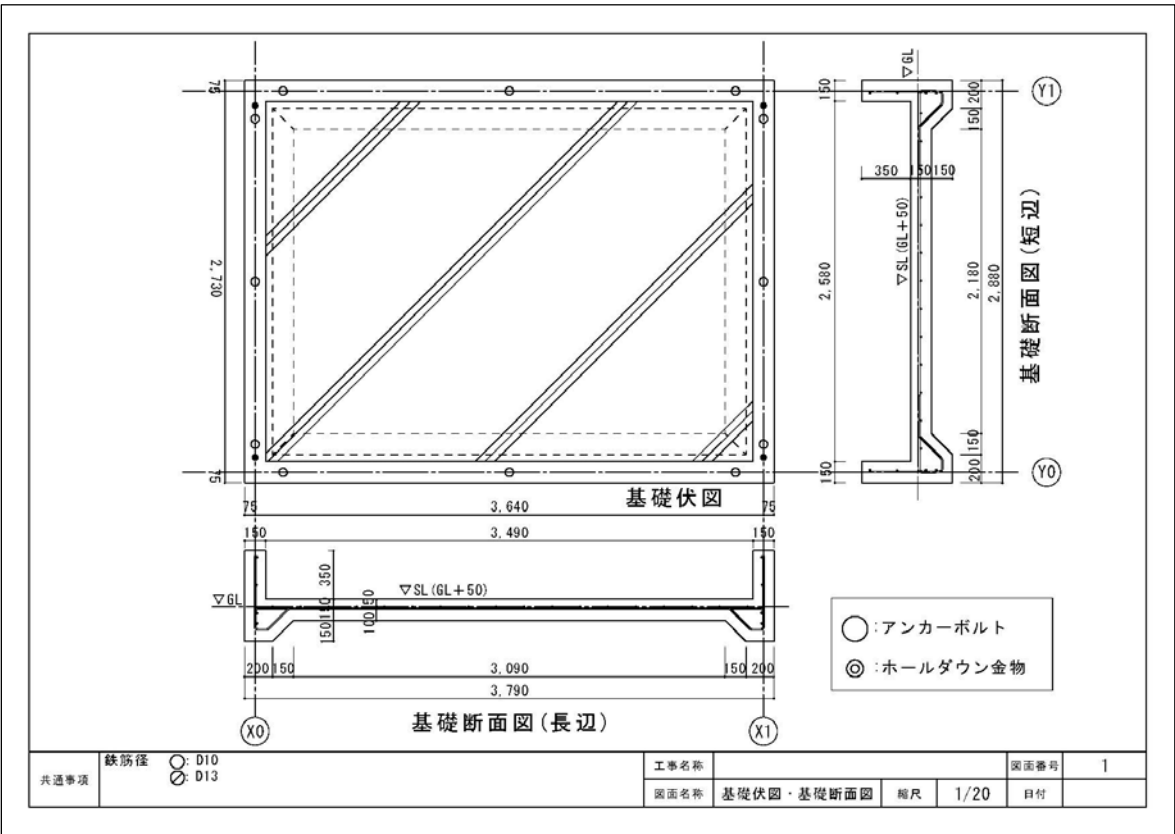
# 建築施工実習（RC造）

## 小川住宅新築工事

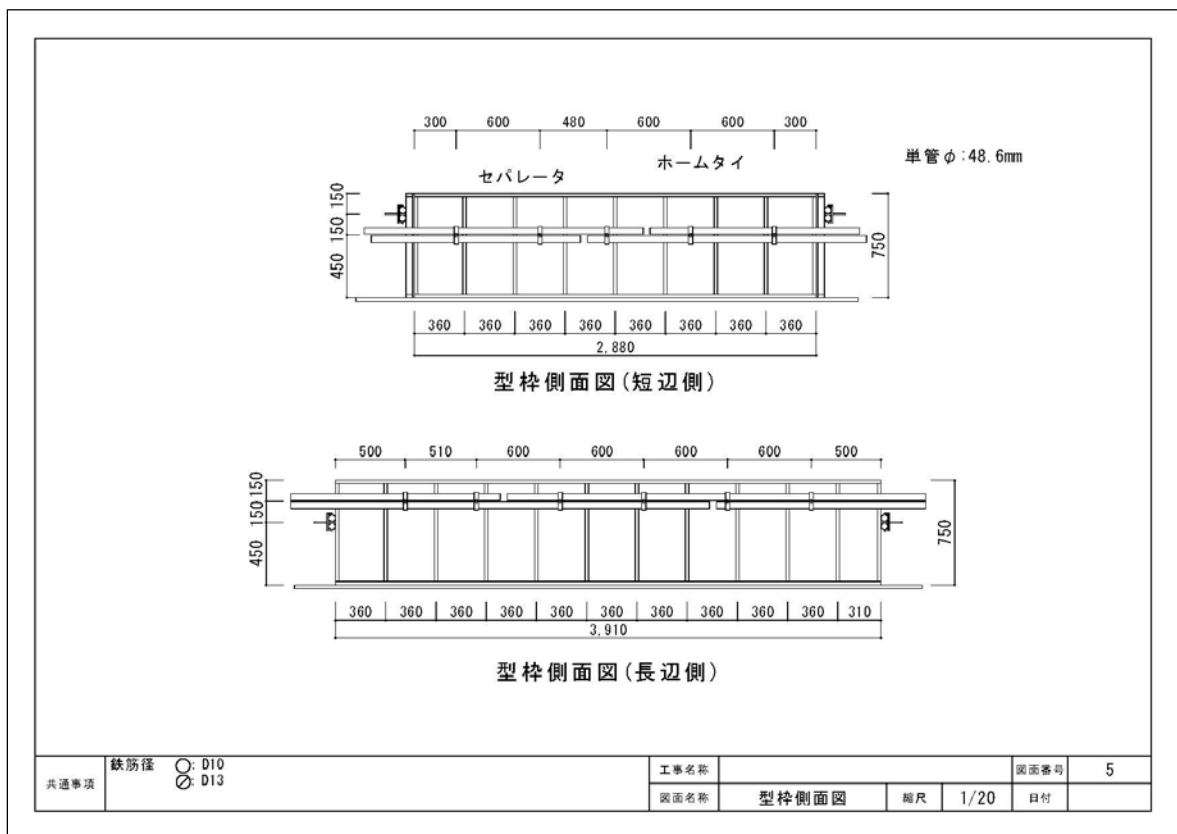
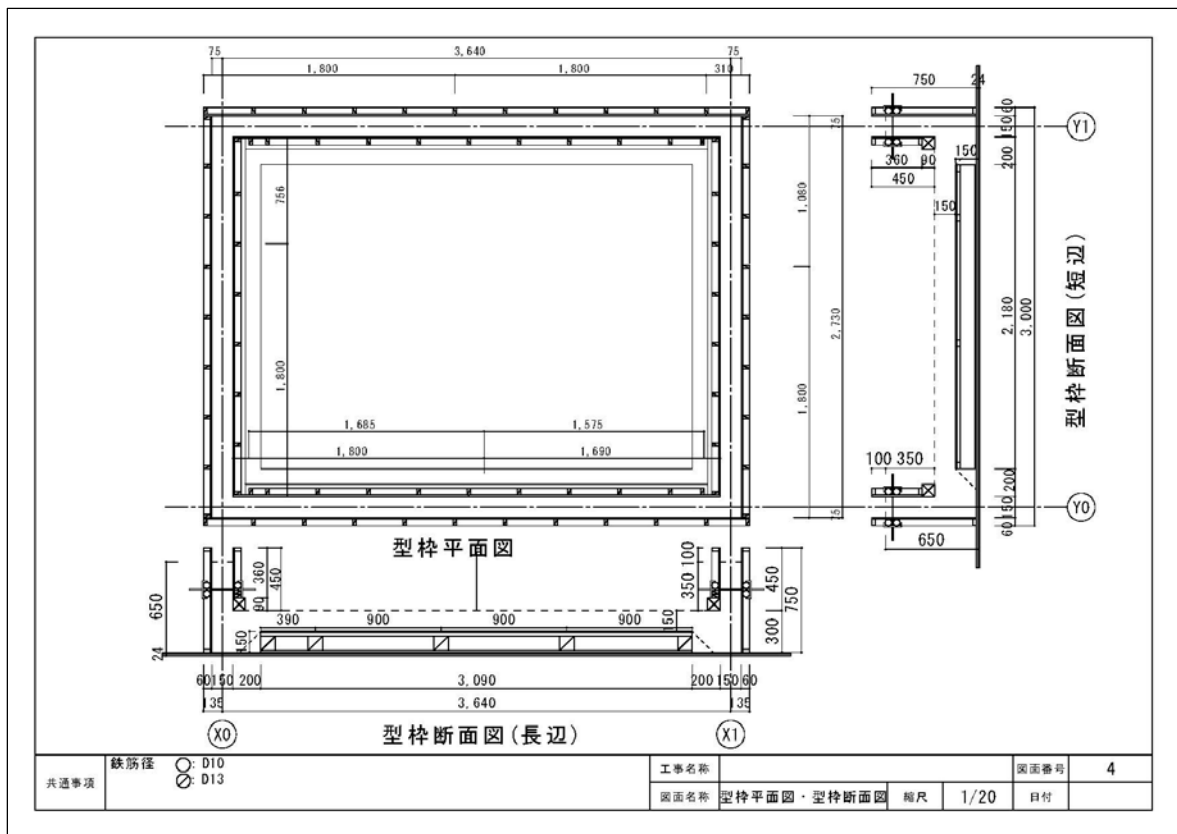
### <基礎工事>

職業能力開発総合大学校・指導員研修

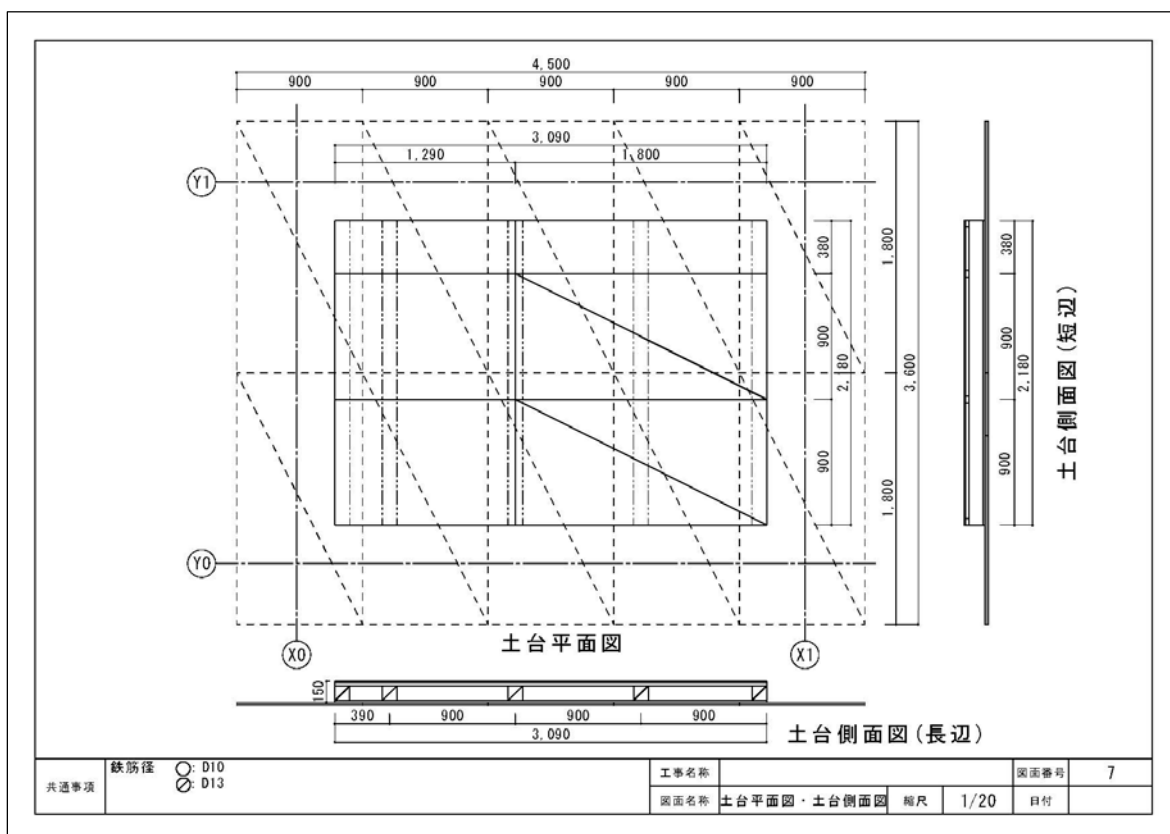
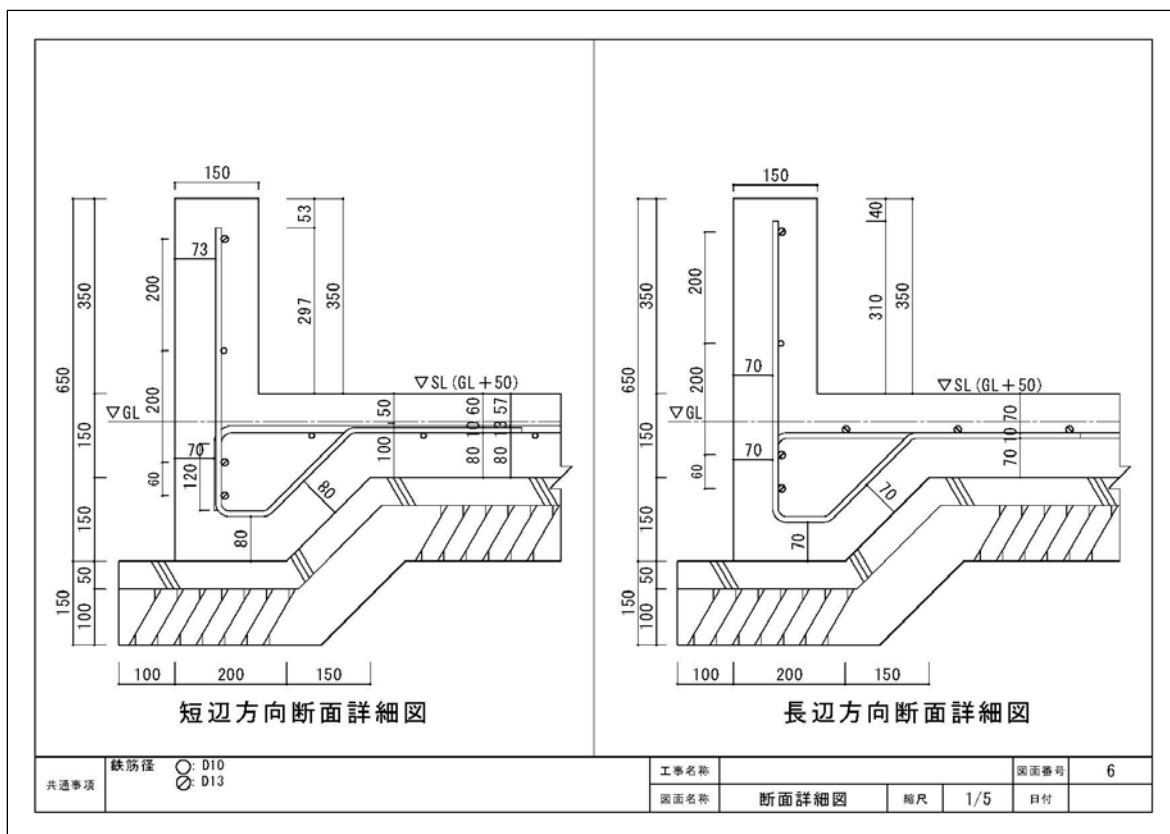
[ ] 班・氏 名 \_\_\_\_\_



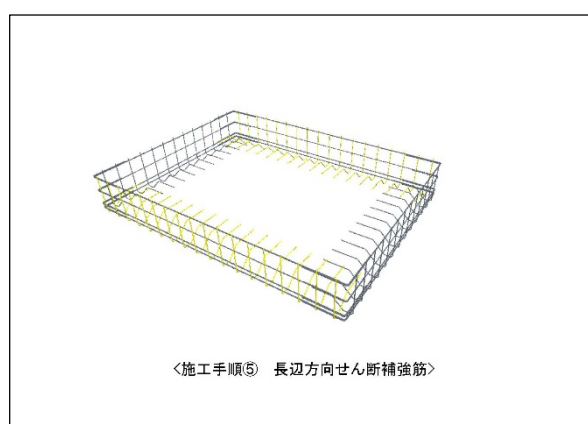
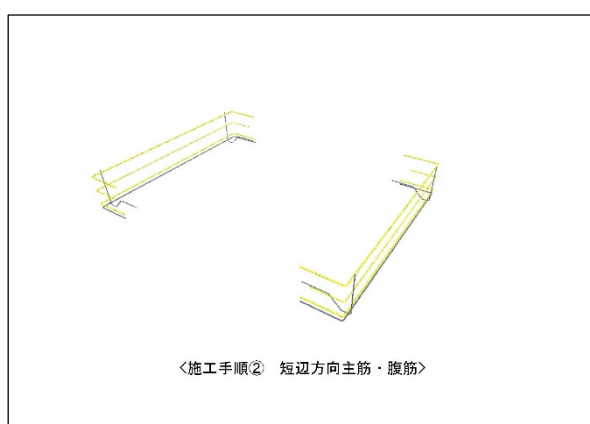
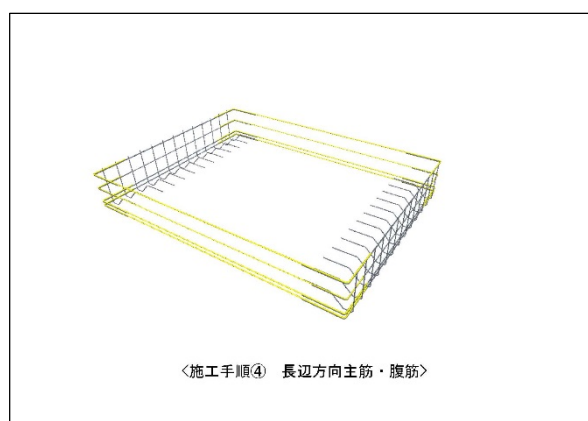
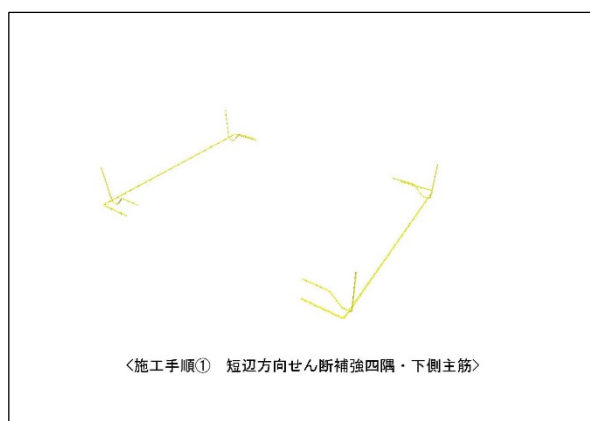
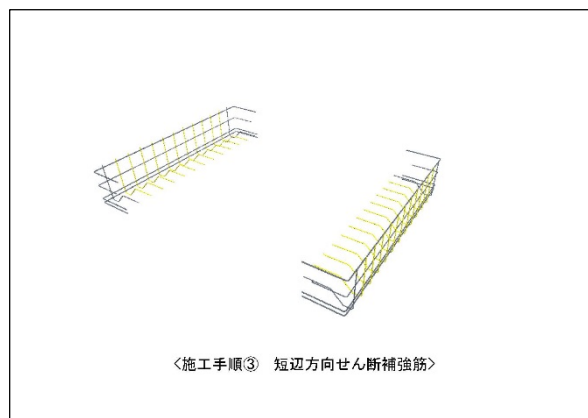
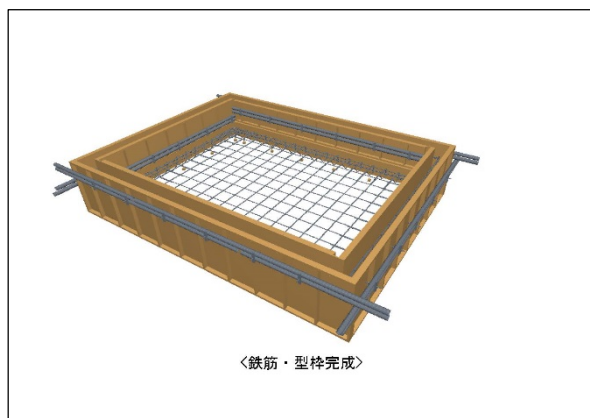


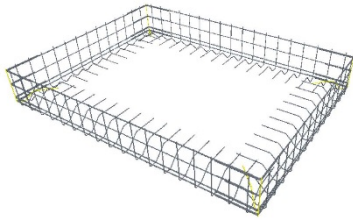




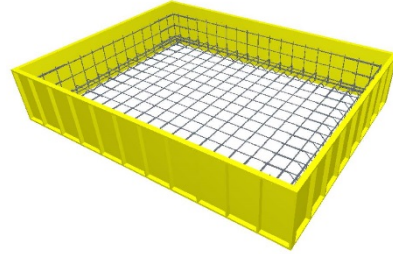


## 2.6.5 制作した住宅基礎モデルの施工手順図

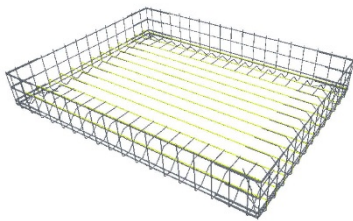




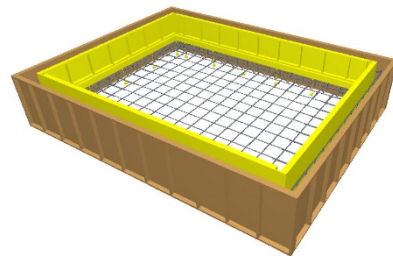
〈施工手順⑥ せん断補強筋四隅〉



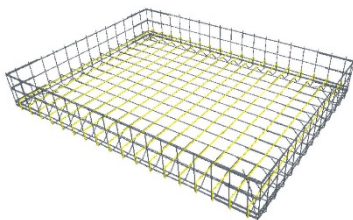
〈施工手順⑨ 外型枠〉



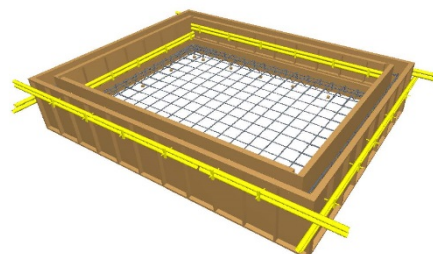
〈施工手順⑦ 長辺方向スラブ筋〉



〈施工手順⑩ 内型枠〉

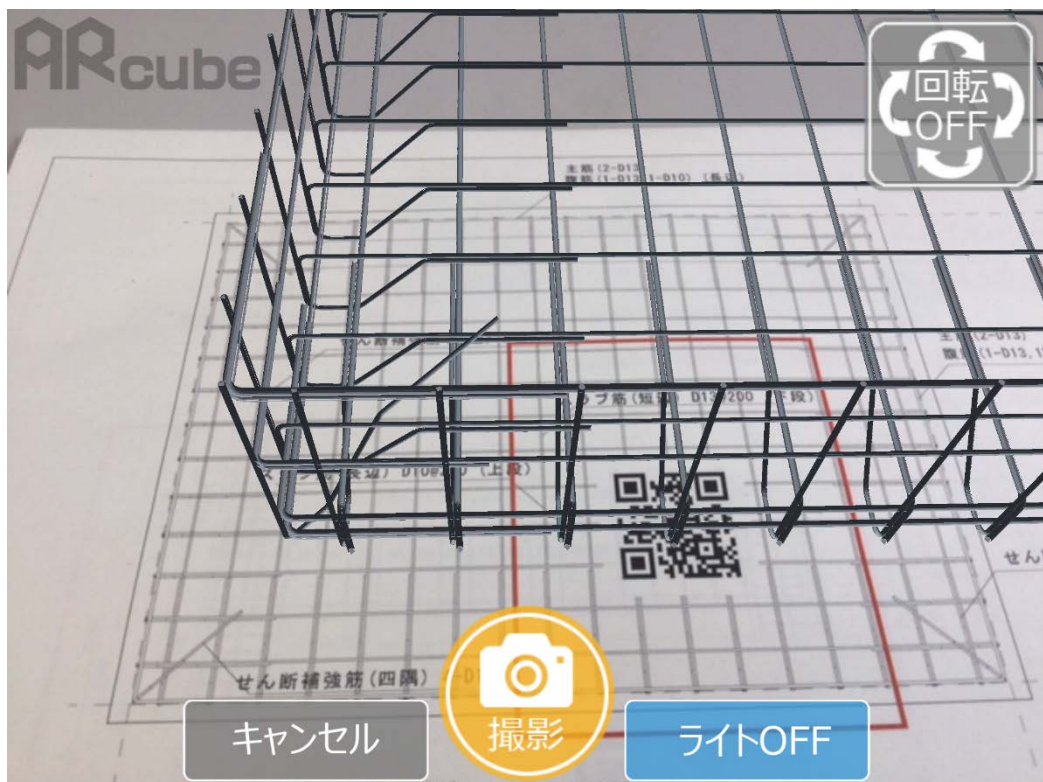
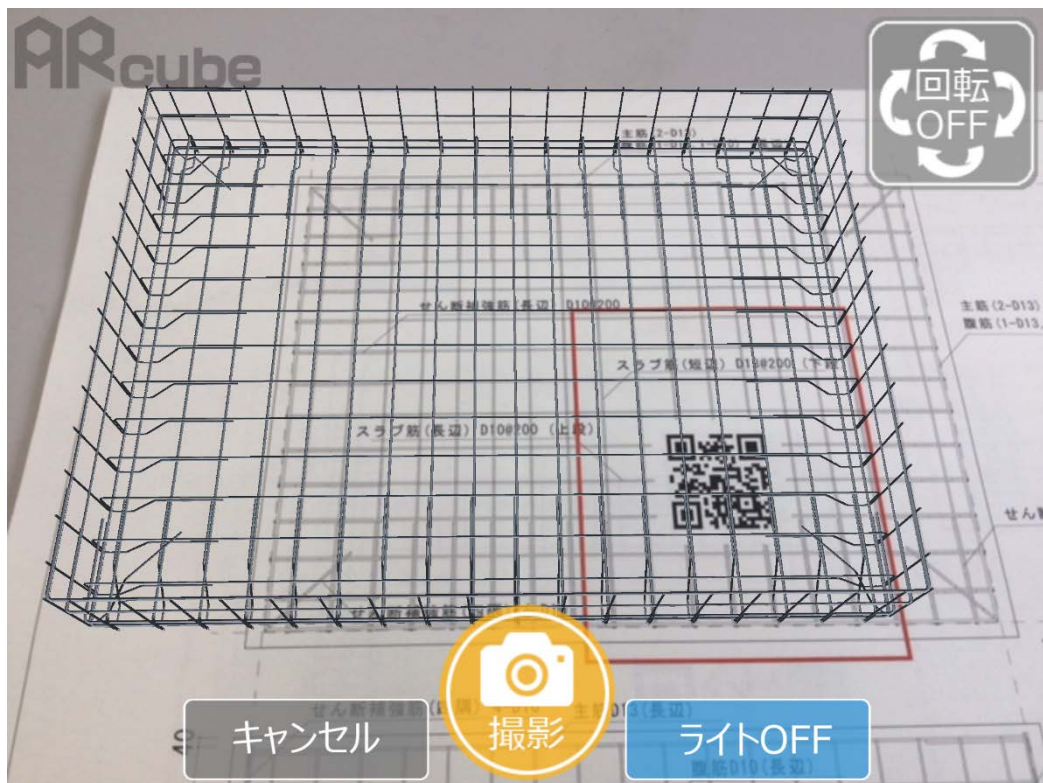


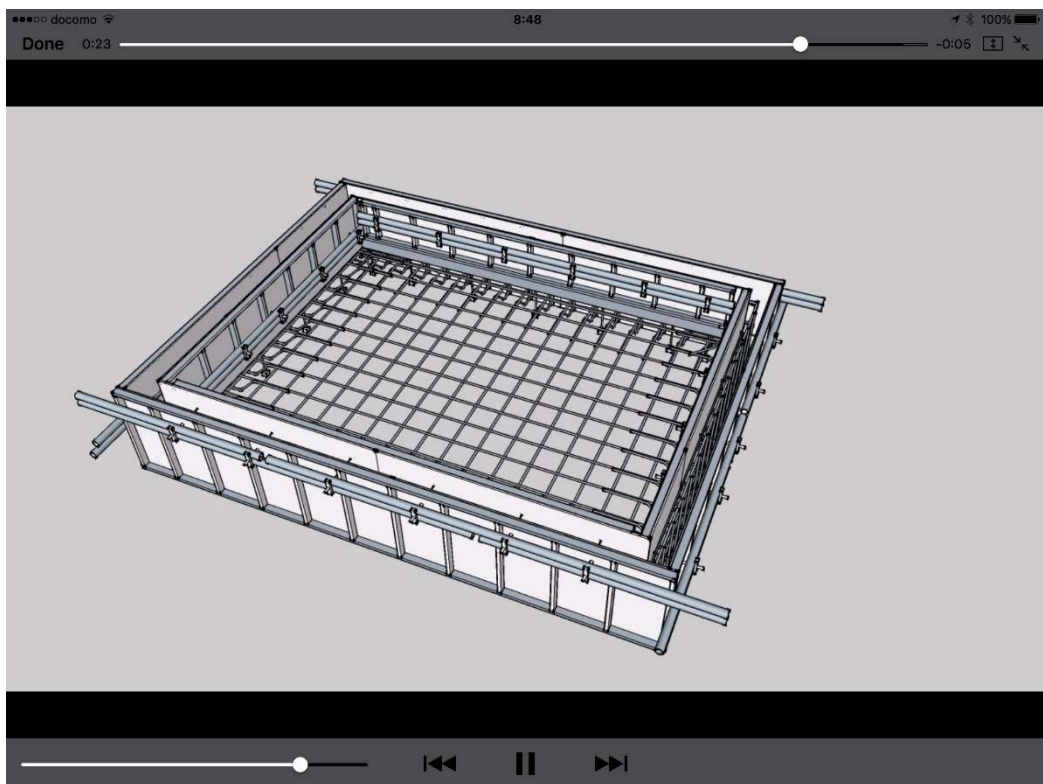
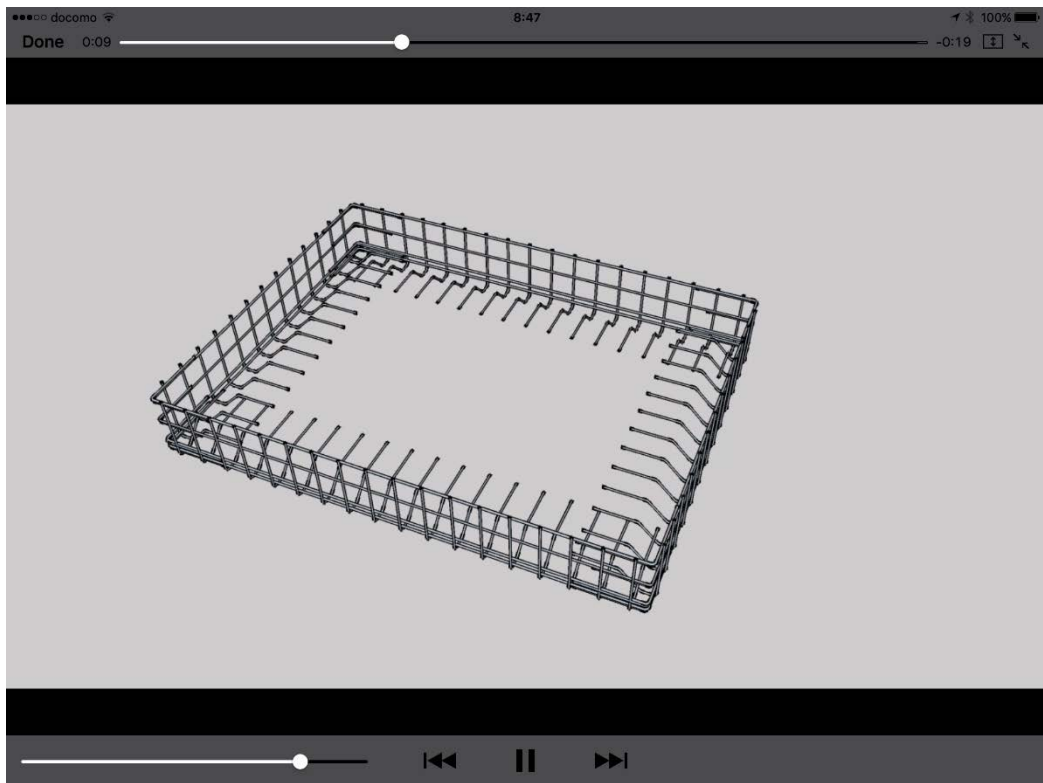
〈施工手順⑧ 短辺方向スラブ筋〉



〈施工手順⑪ セパレーター・ホームタイ・単管〉

## 2.6.6 制作した住宅基礎モデルのAR重畳表示と施工手順動画







2.6.7 制作した柱・梁モデルの課題図面（2次元 CAD）

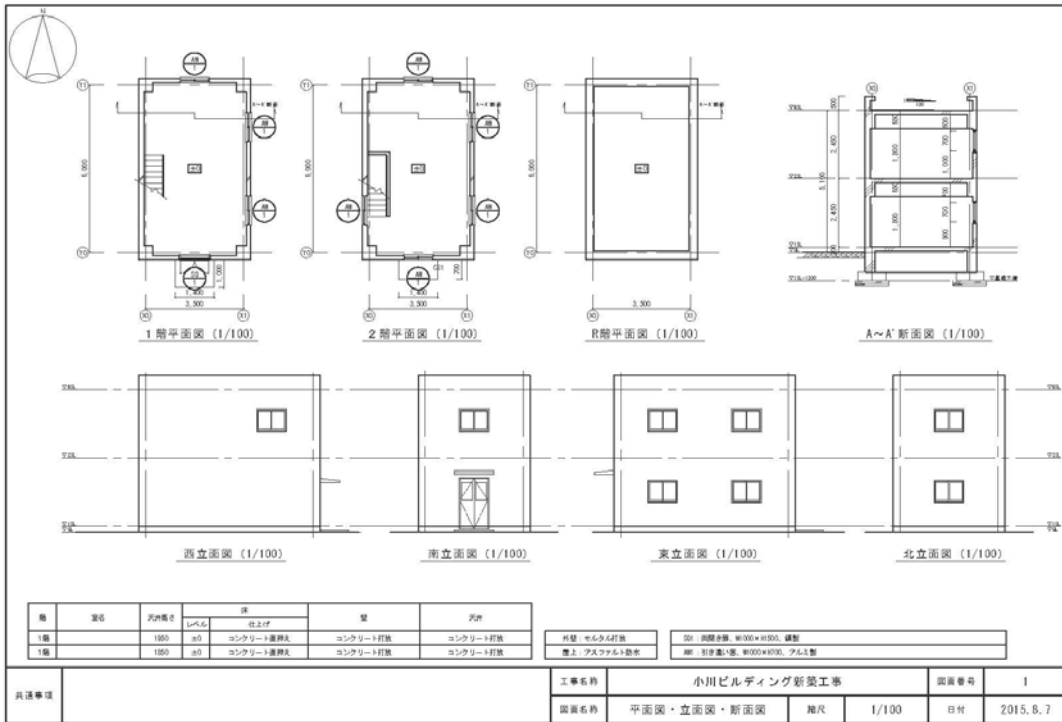
# 建築施工実習（RC造）

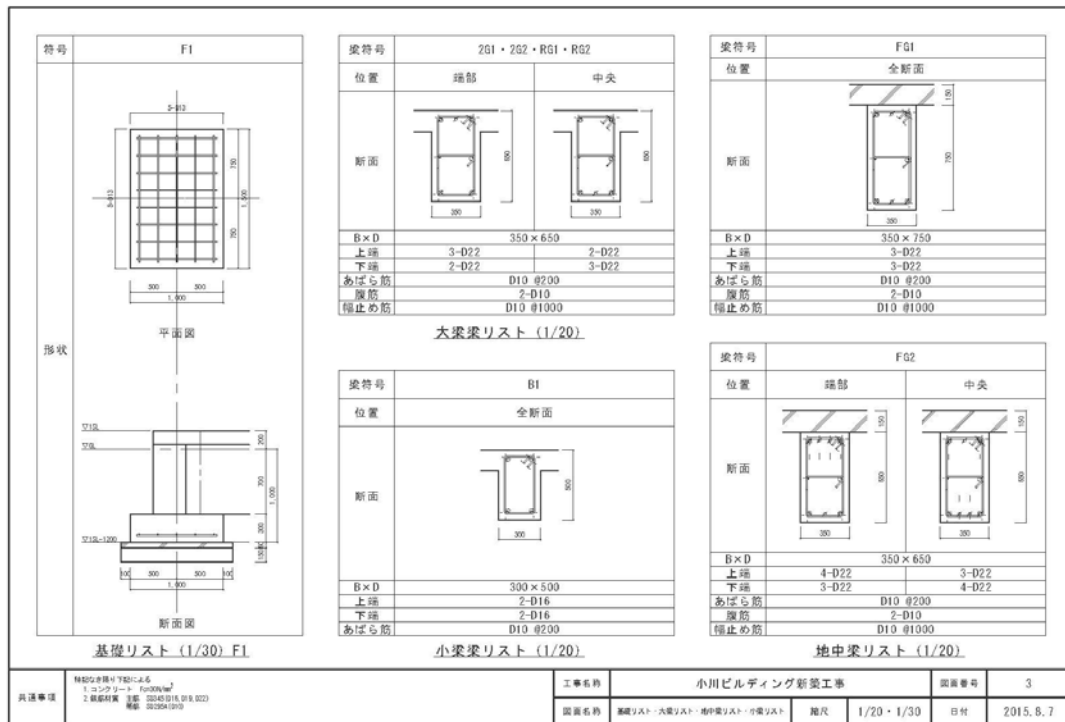
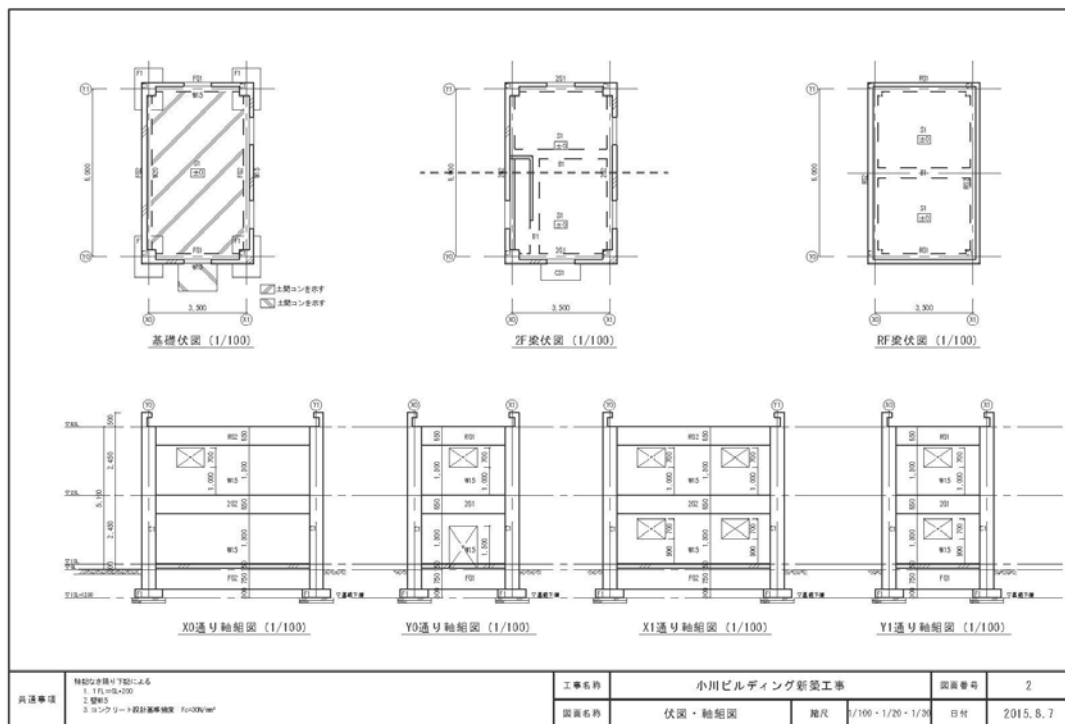
## 小川ビルディング新築工事

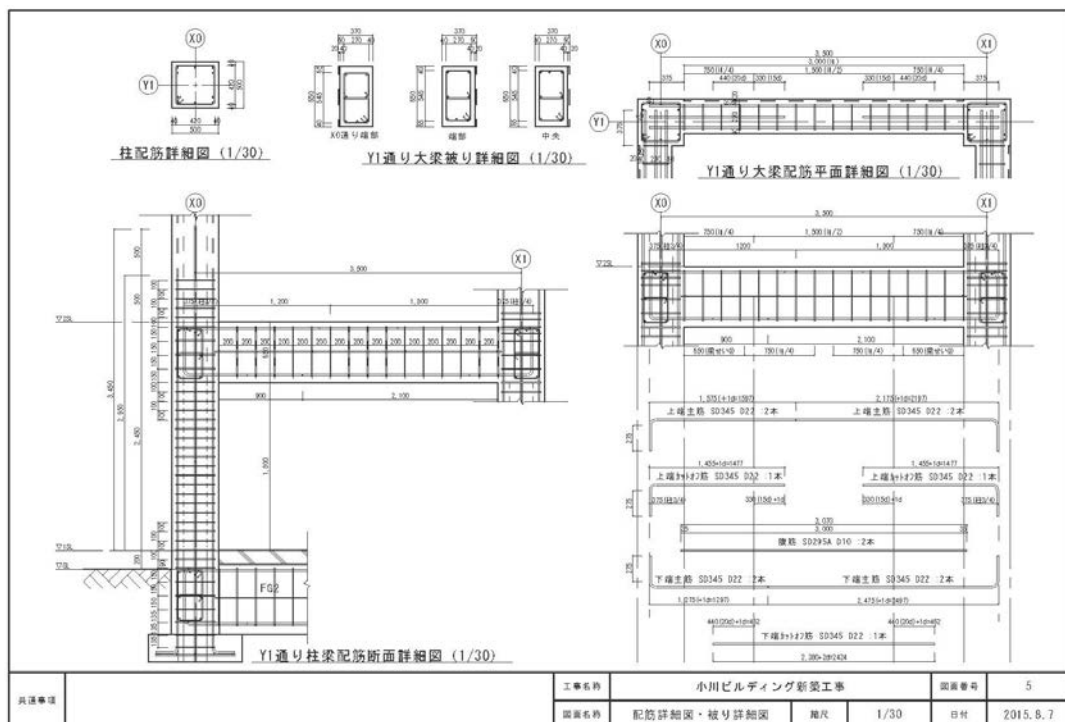
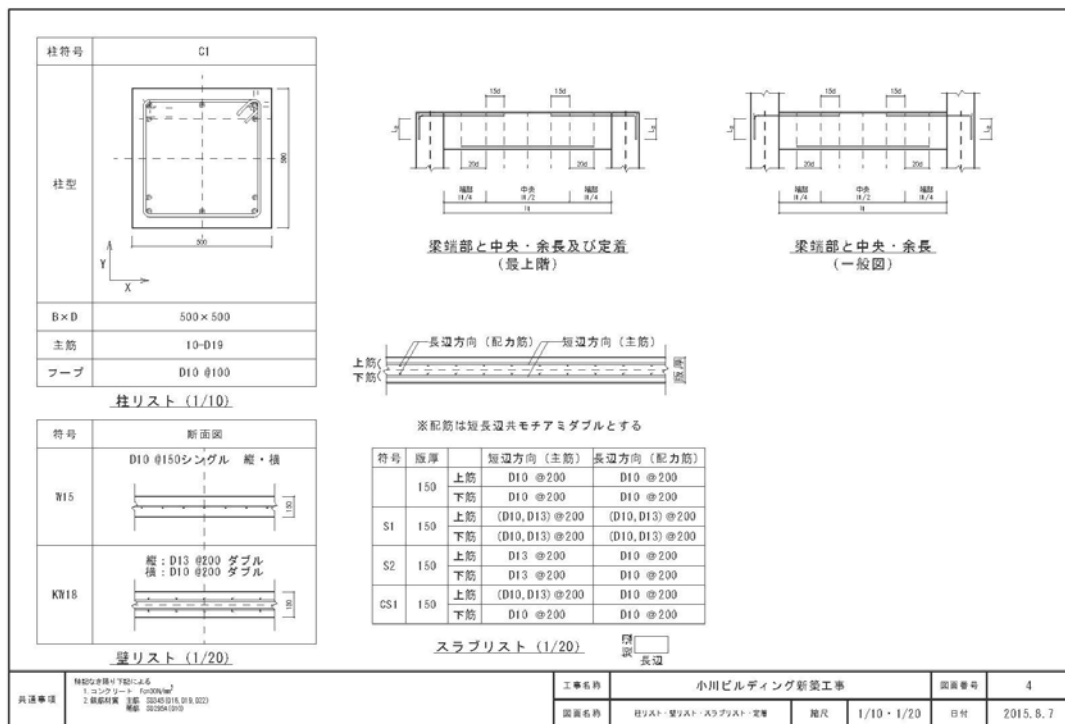
＜鉄筋・型枠工事＞

職業能力開発総合大学校

[ ] 班・氏 名

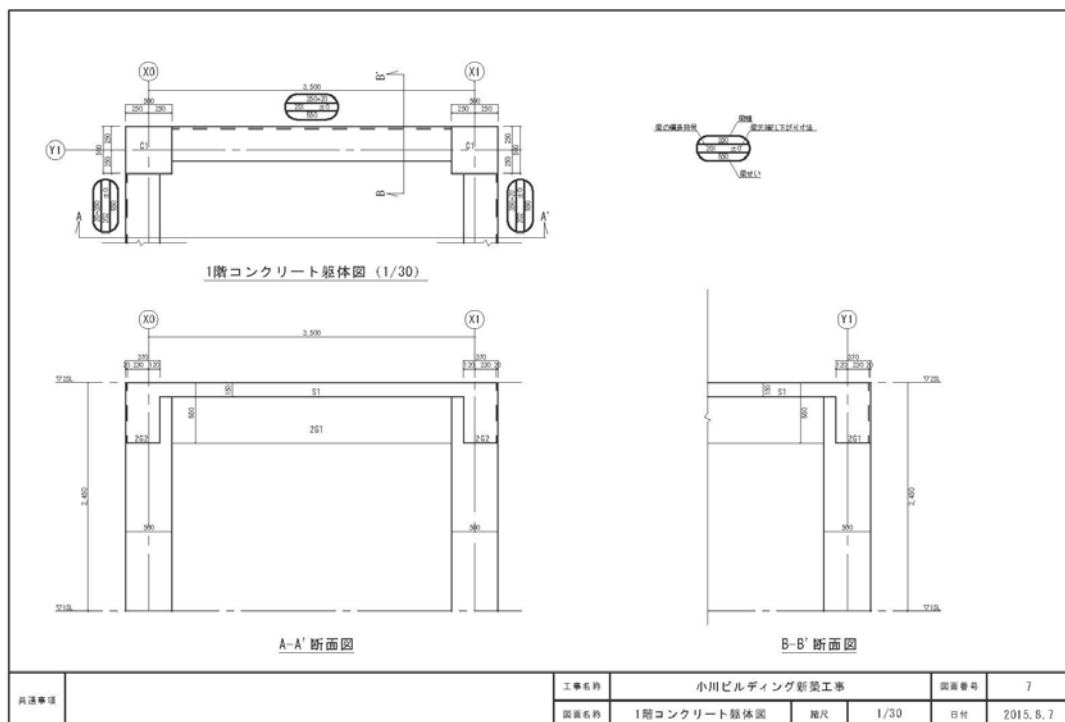
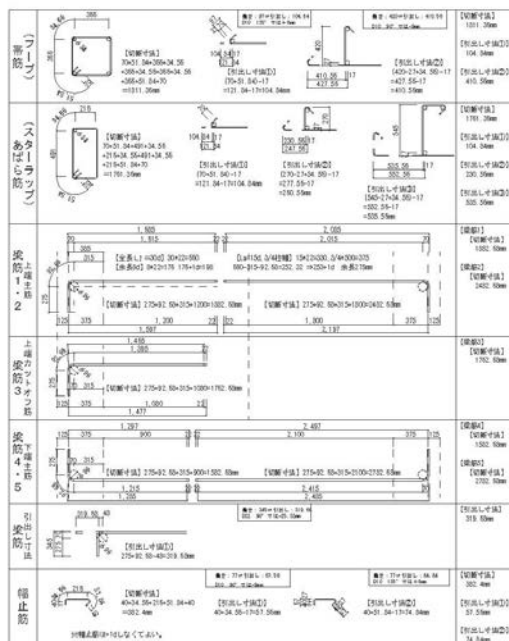




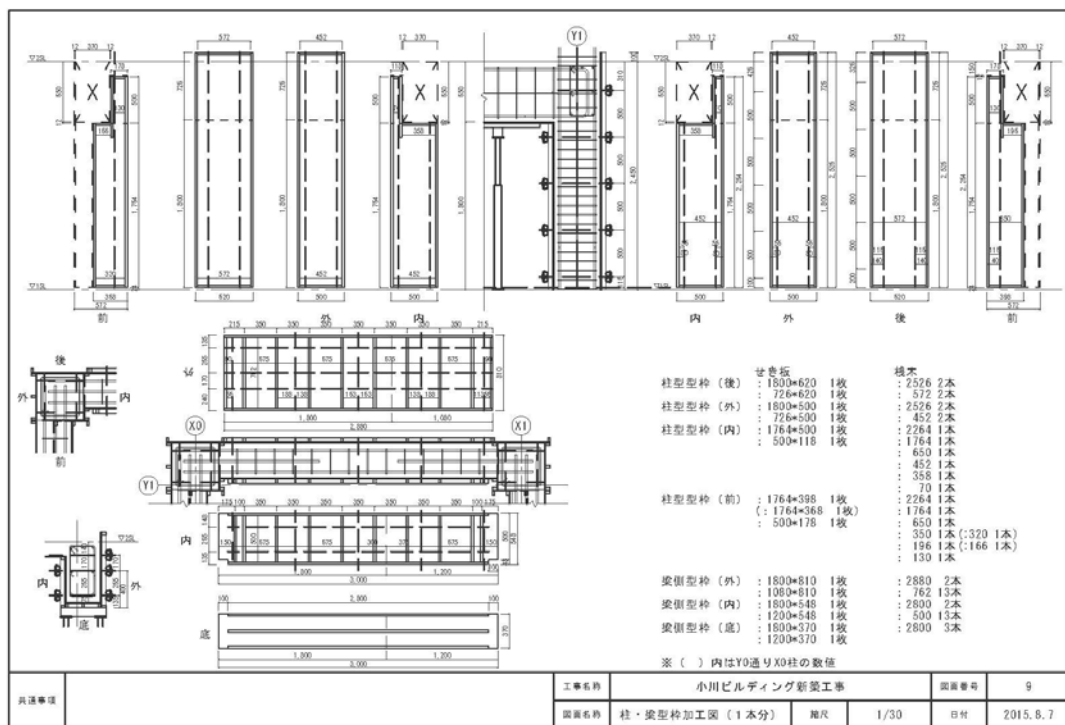
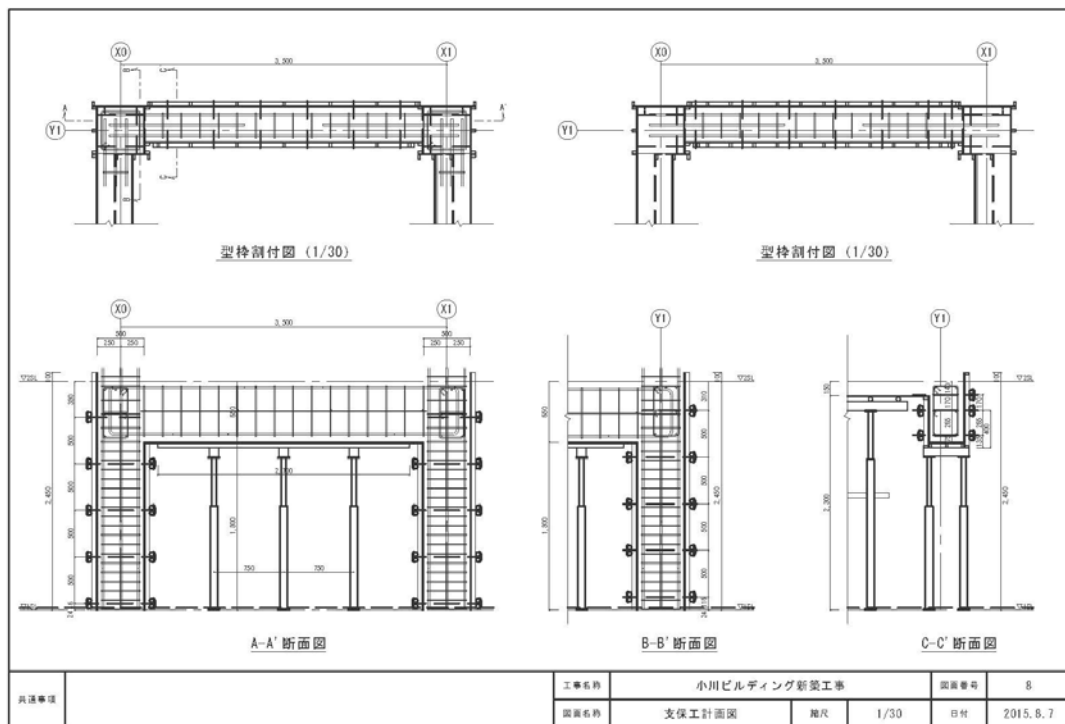


部位	規格	形状・寸法	数量
柱筋1	SD345 D19		5×2=10
柱筋2	SD345 D19		5×2=10
帯筋 (ブレース)	SD295A D10	 ・梁上: 5本 ・650/150=4.33...=4本 ・1800/100+1=19本	28×2 =56
あばら筋 (スラブ)	SD295A D10	 ・3000/200=15+1=16本	16
梁筋1 上端主筋	SD345 D22	 1,535+19×250(1,535+10+19×250)	2
梁筋2 上端主筋	SD345 D22	 3,135+19×250(3,135+10+19×250)	2
梁筋3 上端主筋	SD345 D22	 1,400+19×250(1,400+10+19×250)	2
梁筋4 下端主筋	SD345 D22	 1,225+19×250(1,225+10+19×250)	2
梁筋5 下端主筋	SD345 D22	 2,425+19×250(2,425+10+19×250)	2
梁筋6 下端主筋	SD345 D22	 3,300+19×250(3,300+10+19×250)	1
腹筋	SD295A D10		2
留止筋	SD295A D10		4

筋節 (スラブ筋)	
--------------	--



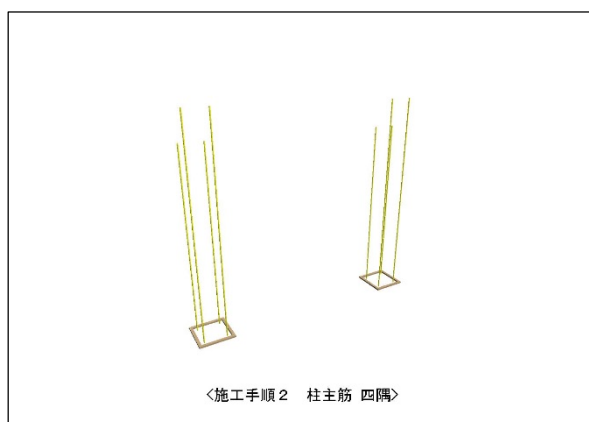
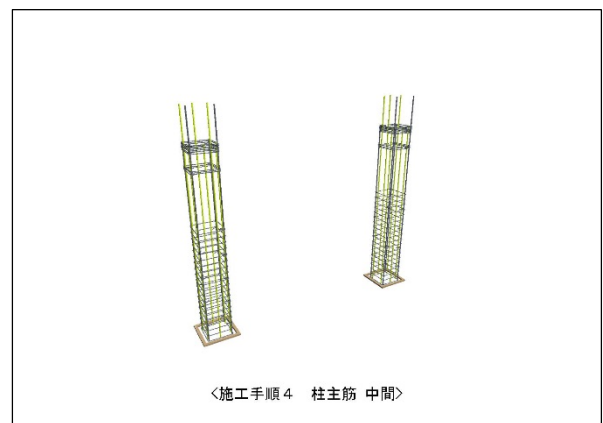
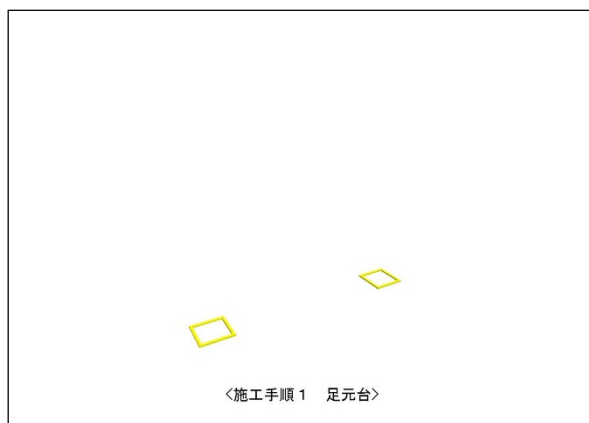
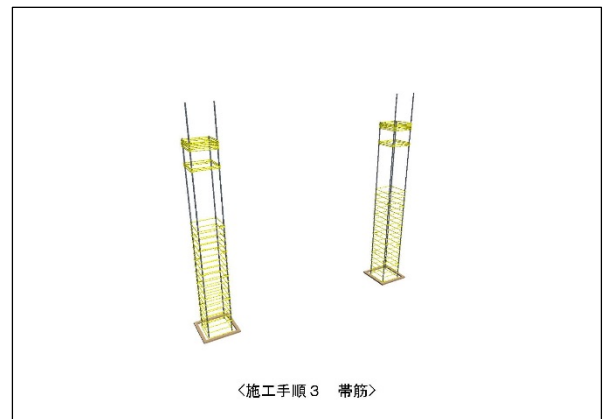
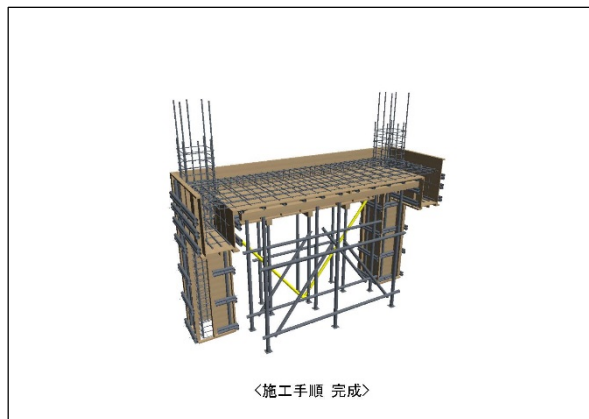
共通事項		工事名称	小川ビルディング新築工事			図面番号	7
		図面名称	1階コンクリート躯体図	縮尺	1/30	日付	2015.8.7

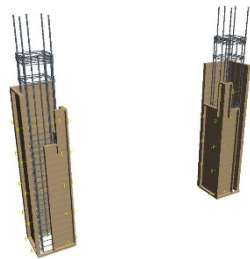




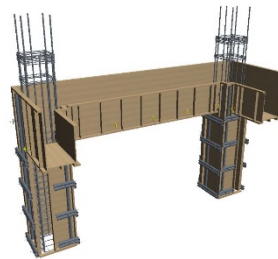


## 2.6.8 制作した柱・梁モデルの施工手順図

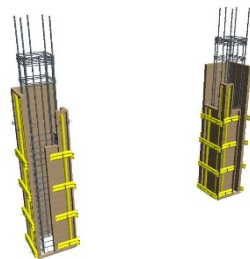




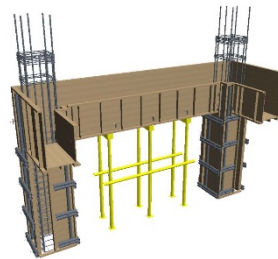
〈施工手順6 柱 セパレータ・フォームタイ〉



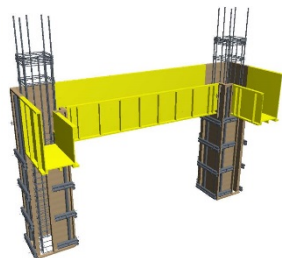
〈施工手順9 梁 支保工〉



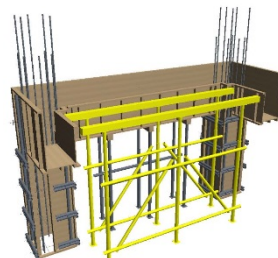
〈施工手順7 柱 単管〉



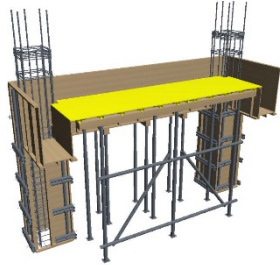
〈施工手順10 梁 下側セパレータ・フォームタイ〉



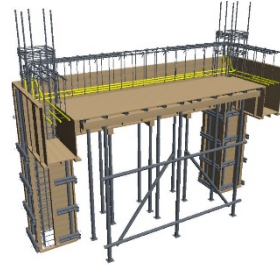
〈施工手順8 梁型枠〉



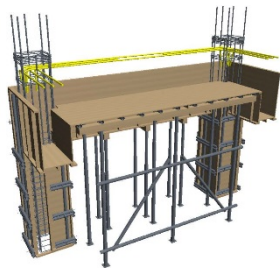
〈施工手順11 床 支保工〉



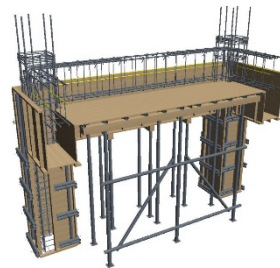
＜施工手順12 単管・スラブ型枠＞



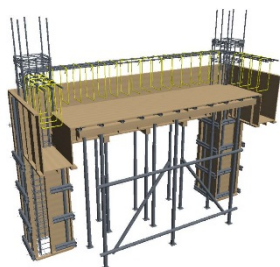
＜施工手順15 梁主筋 下端＞



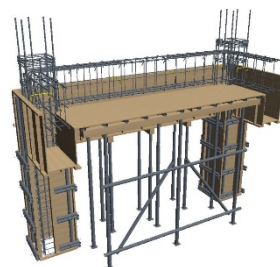
＜施工手順13 梁主筋 上端＞



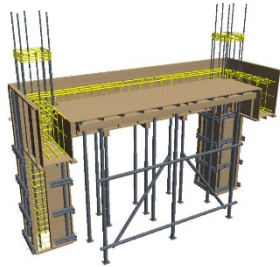
＜施工手順16 腹筋＞



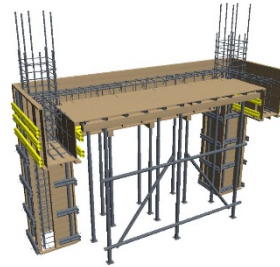
＜施工手順14 あばら筋＞



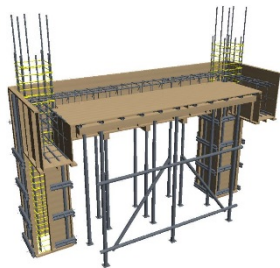
＜施工手順17 幅止筋＞



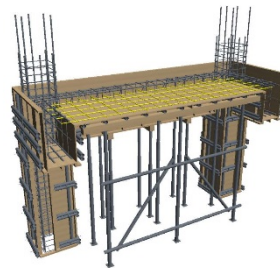
〈施工手順18 梁 落とし込み〉



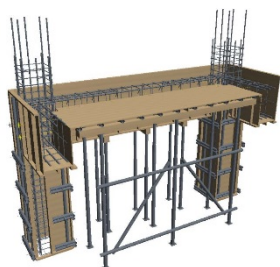
〈施工手順21 梁 単管〉



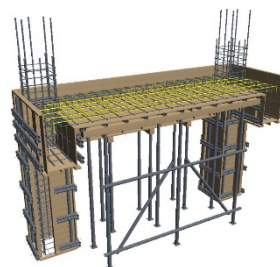
〈施工手順19 帯筋展開〉



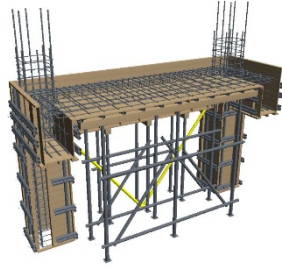
〈施工手順22 スラブ筋 下端〉



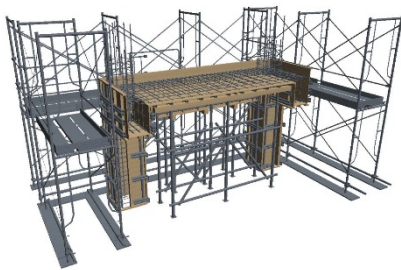
〈施工手順20 梁 上側セパレータ・フォームタイ〉



〈施工手順23 スラブ筋 上端〉



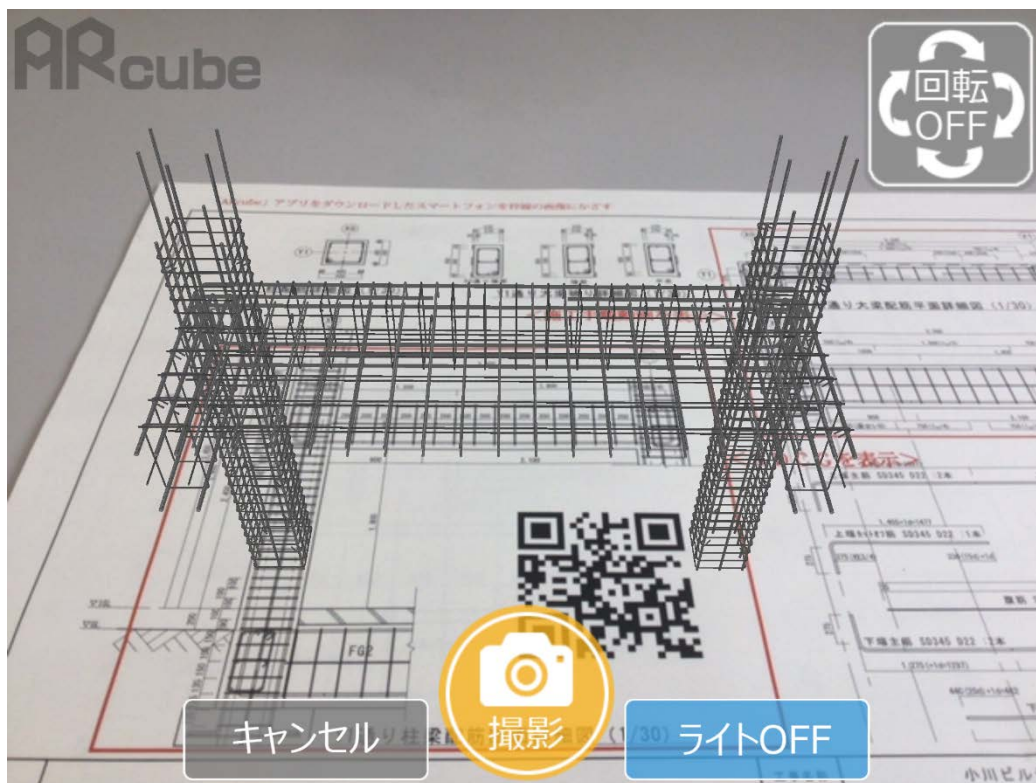
〈施工手順24 梁 ななめ支保工〉

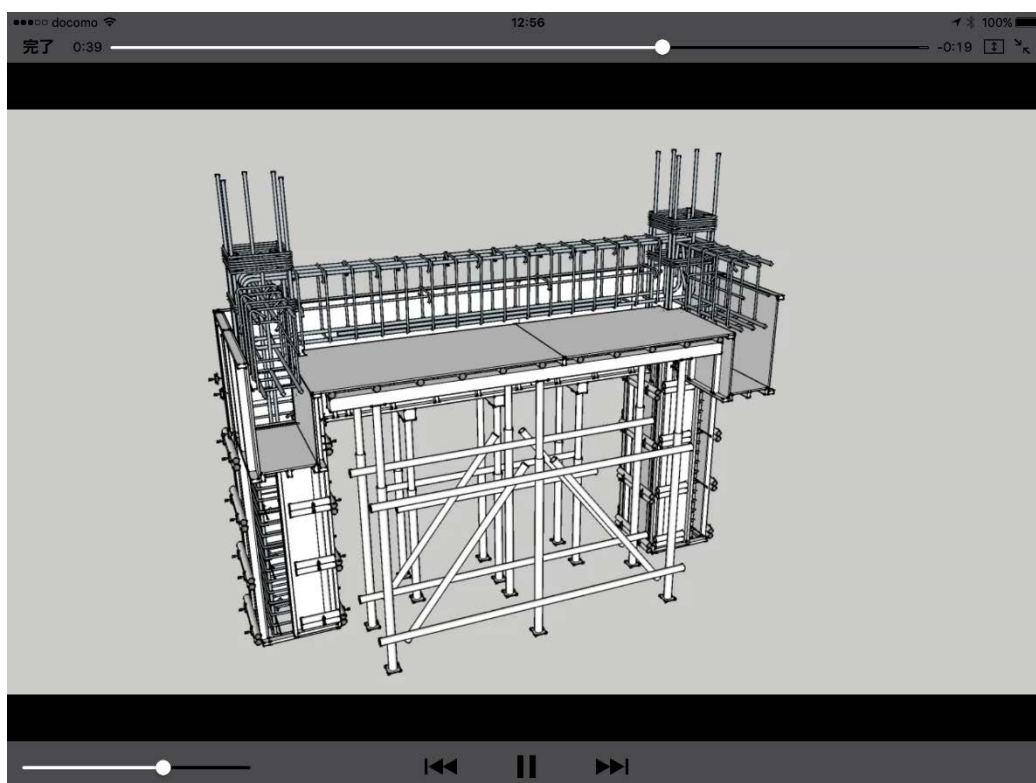
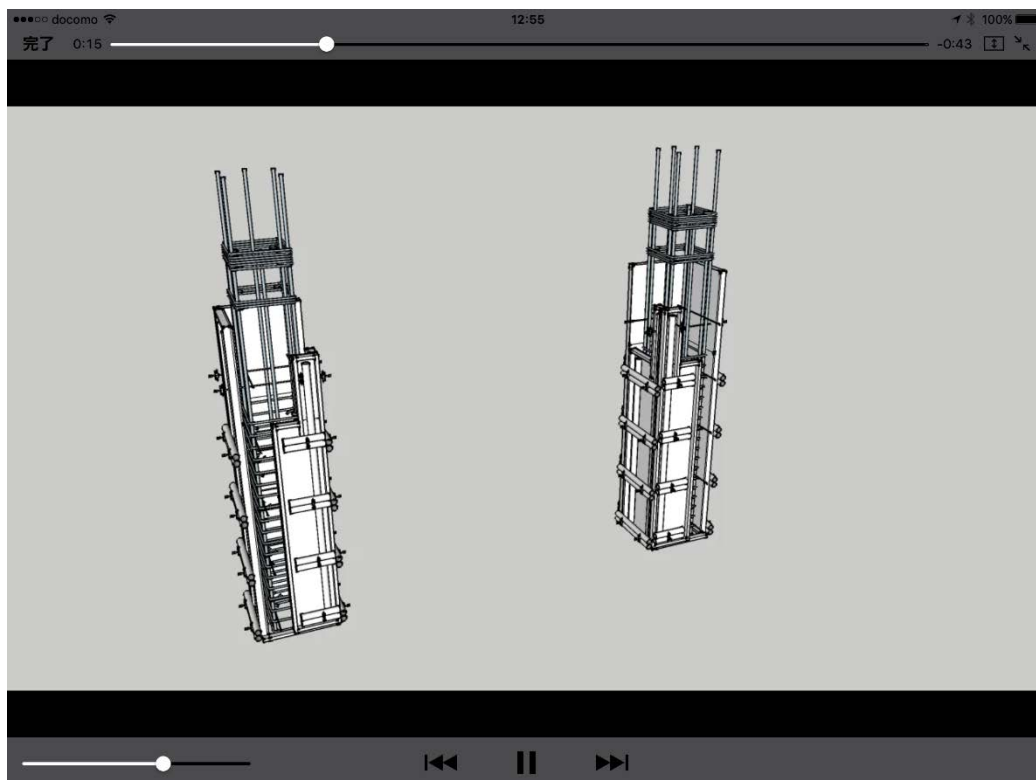


〈完 成〉



## 2.6.9 制作した柱・梁モデルのAR重畳表示と施工手順動画





2.6.10 制作した型枠モデルの課題図面（2次元CAD）

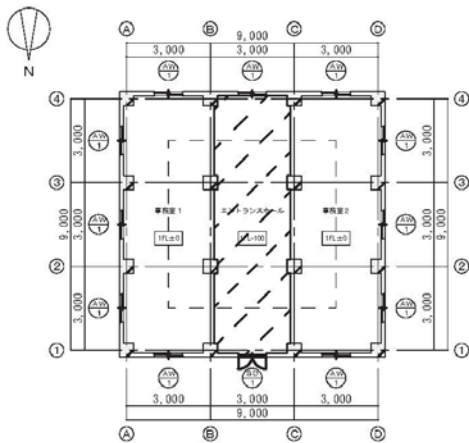
# 建築施工実習Ⅱ（RC造）

## 小川ビルディング新築工事

＜型枠工事＞

職業能力開発総合大学校

[ ] 班・氏 名



1階平面図

内部仕上表

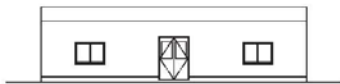
階数	室 名	天井高さ	床	壁	天 井
1層	エントランスホール	1,950	±100	コンクリート置群式	コンクリート打放
1層	事務室1・2	1,850	±0	コンクリート置群式	コンクリート打放

外部仕上表

外壁：コンクリート打放
屋上：シート防水

建具表

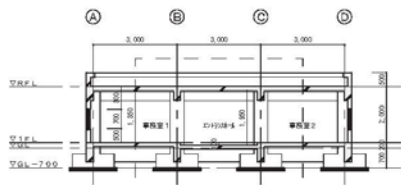
S D 1：両開き扉、W1,000×H1,500、鋼製
AW 1：引き違い窓、W1,000×H700、アルミ製



北立面図

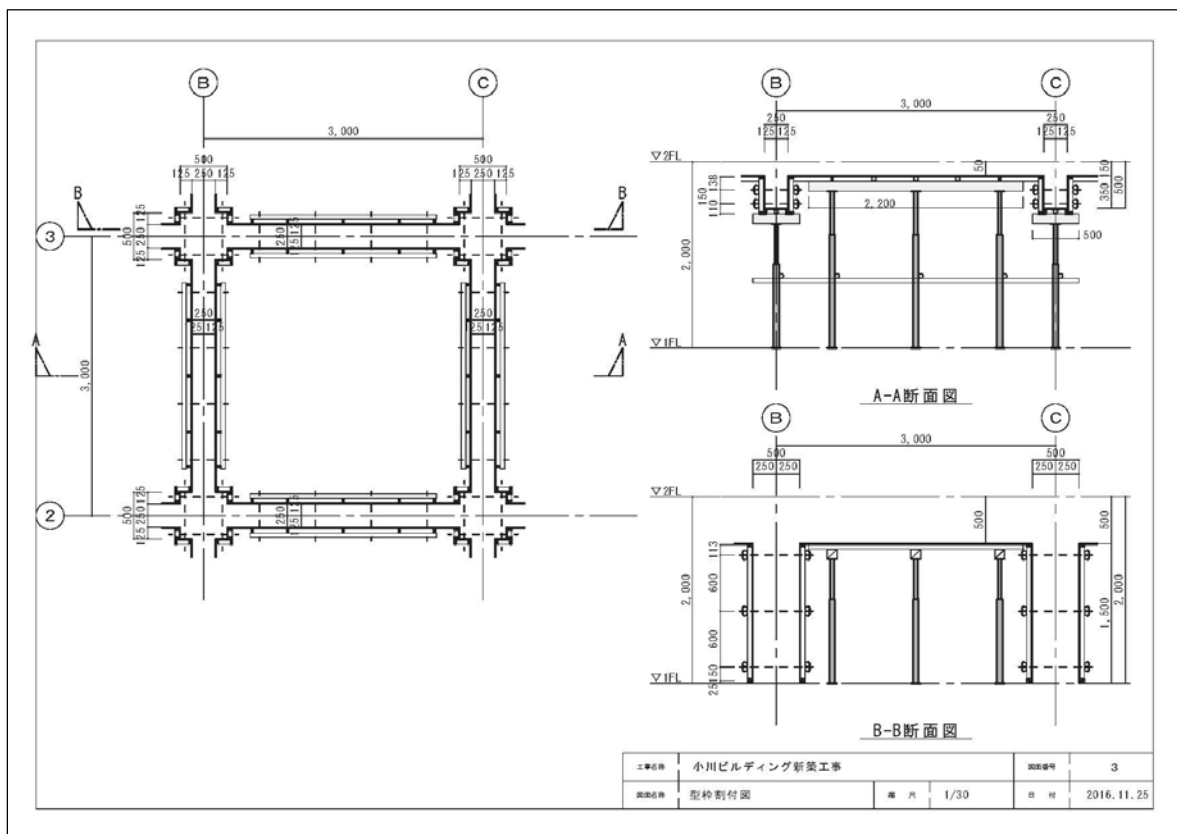
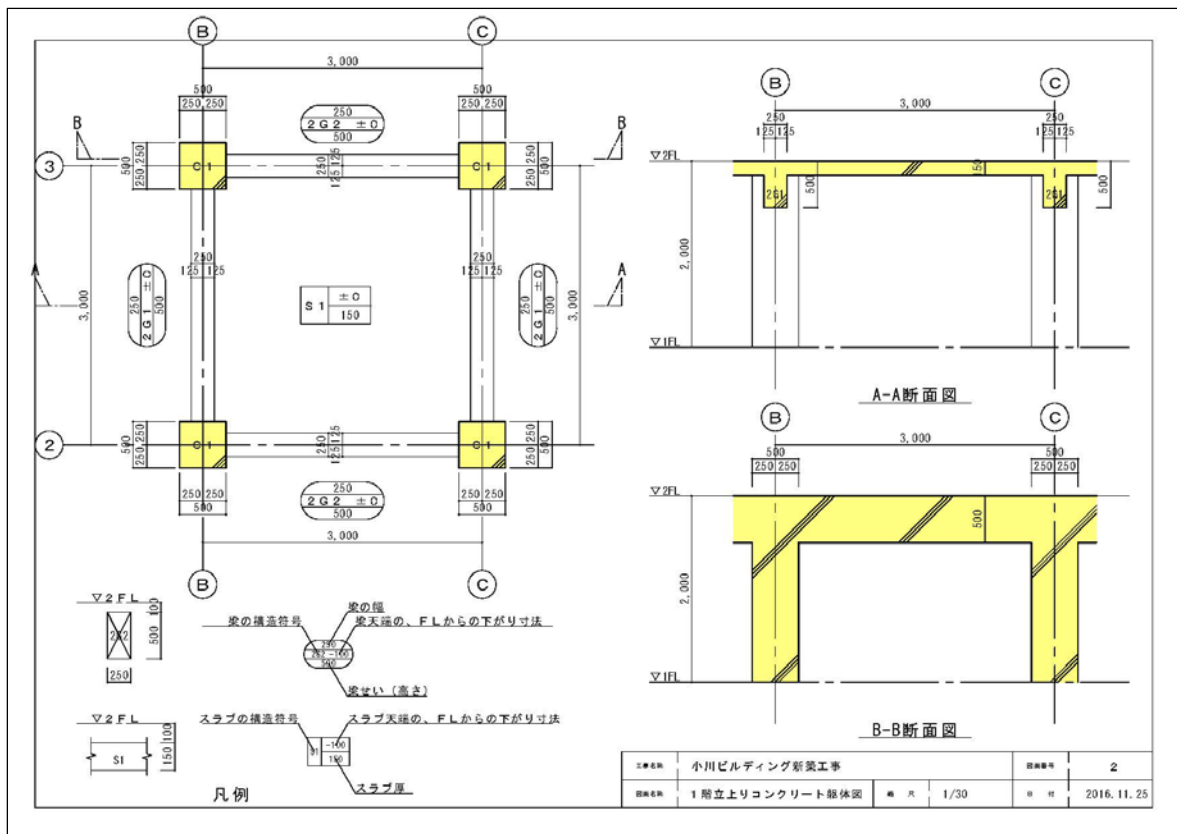


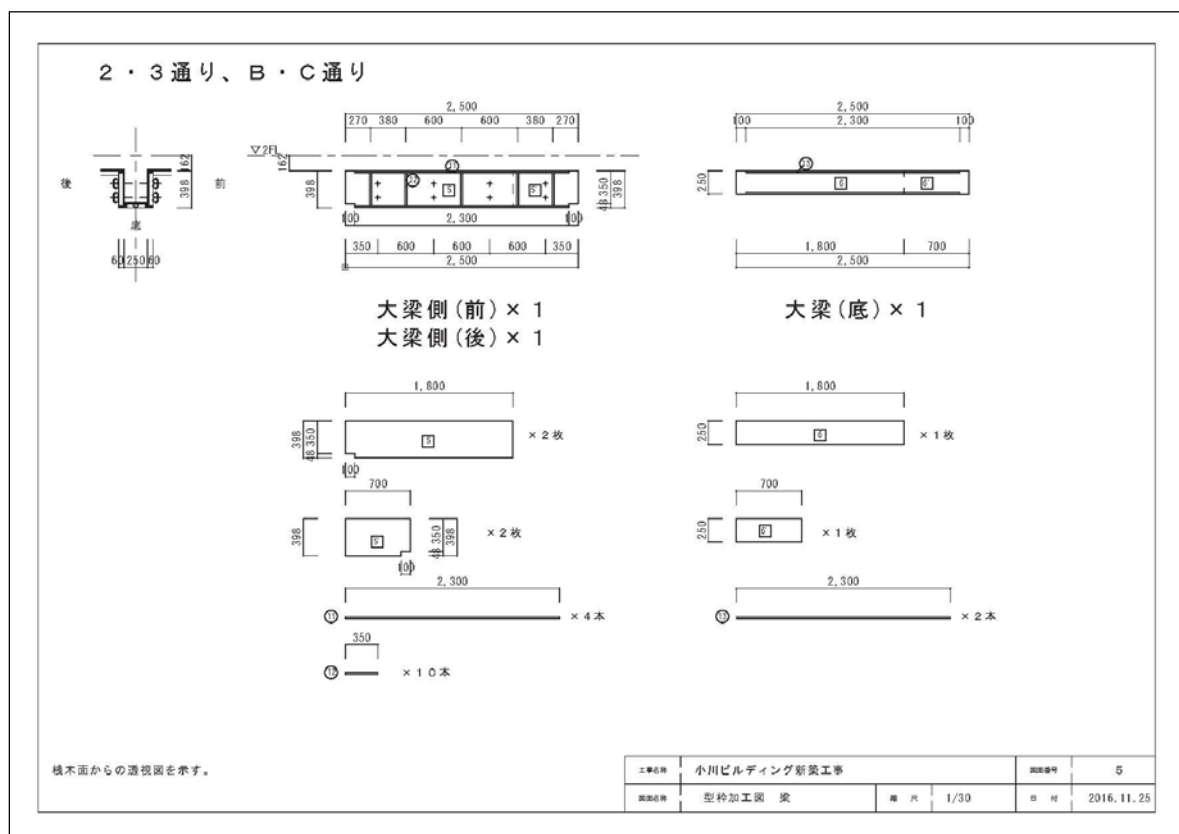
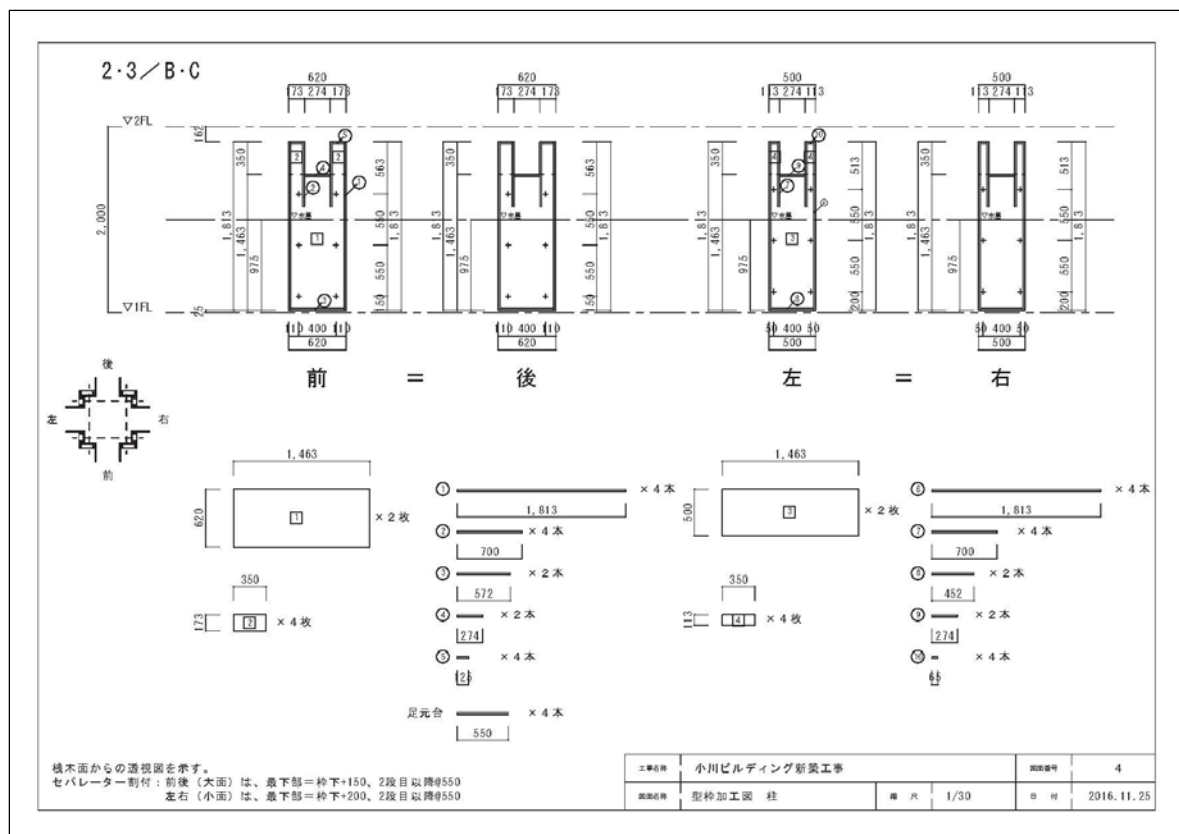
西立面図

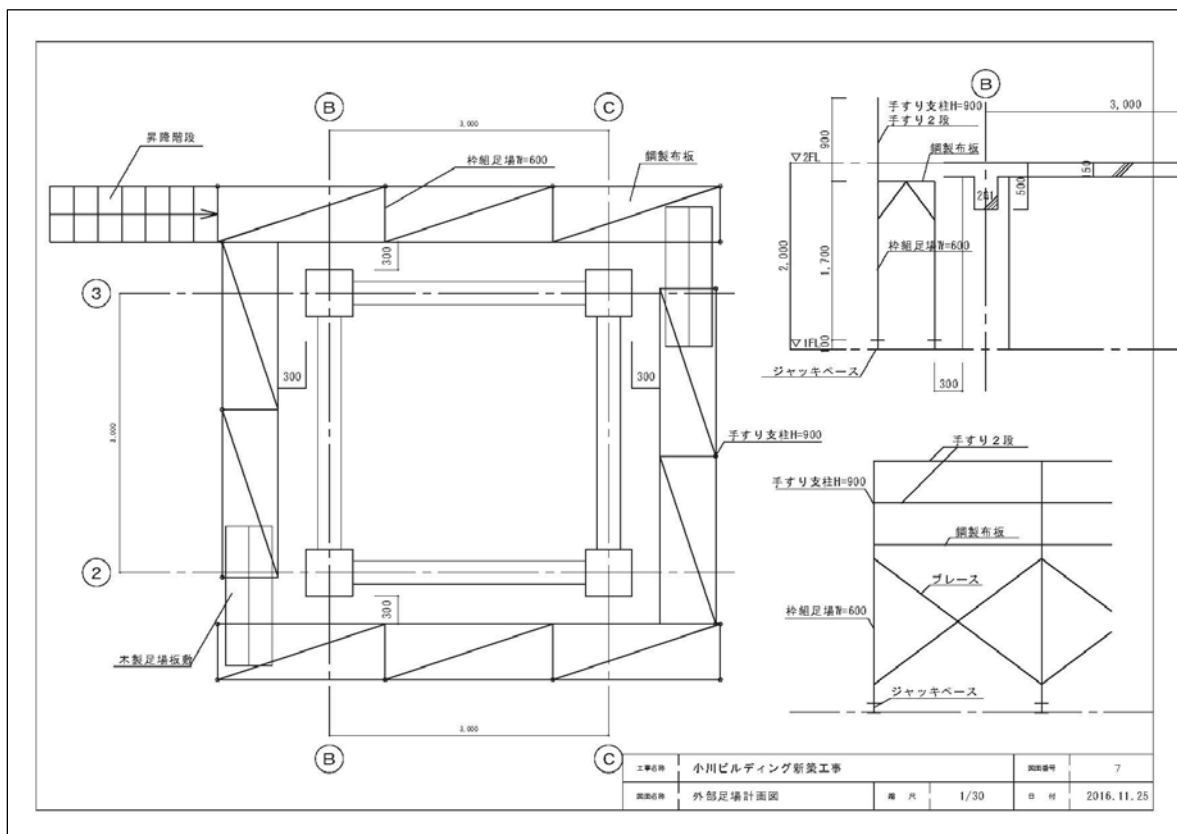
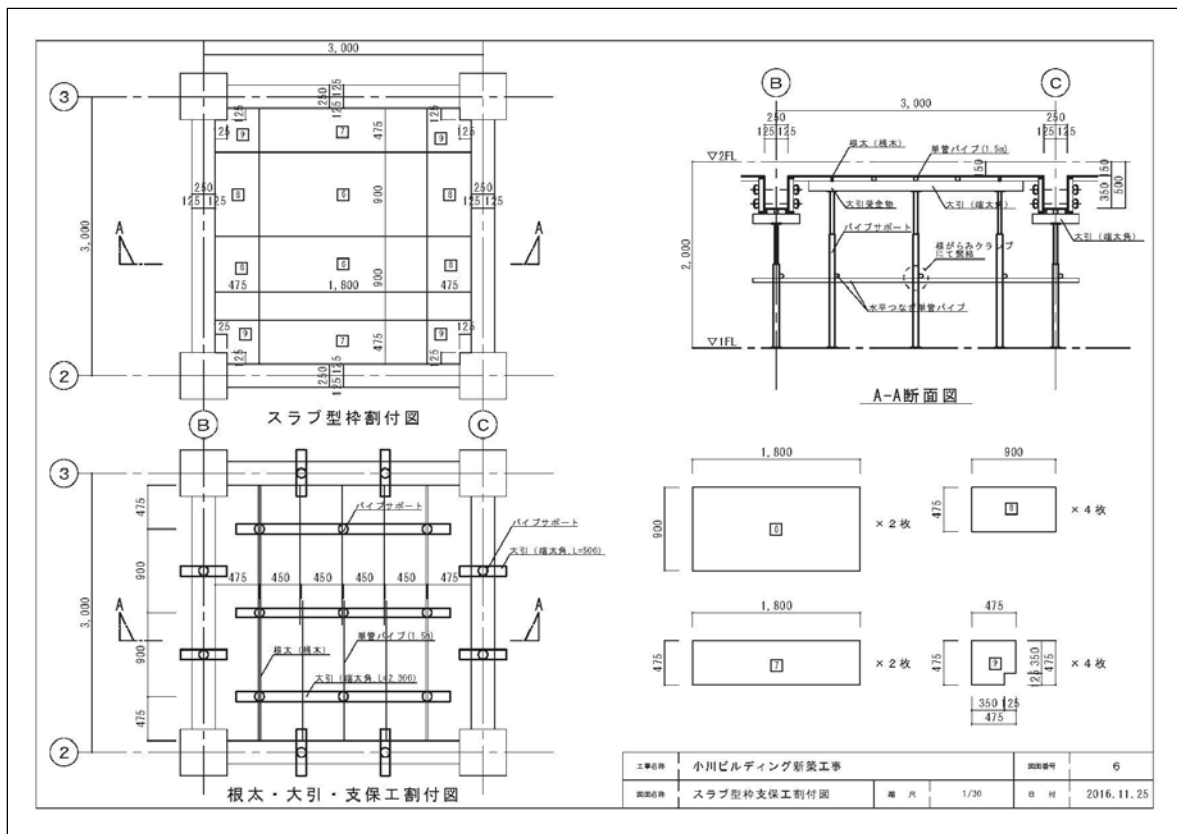


A～A'断面図

工事名称	小川ビルディング新築工事	図面番号	1
図面内容	平面図・立面図・断面図	縮 尺	1/100
		日 付	2016.11.25

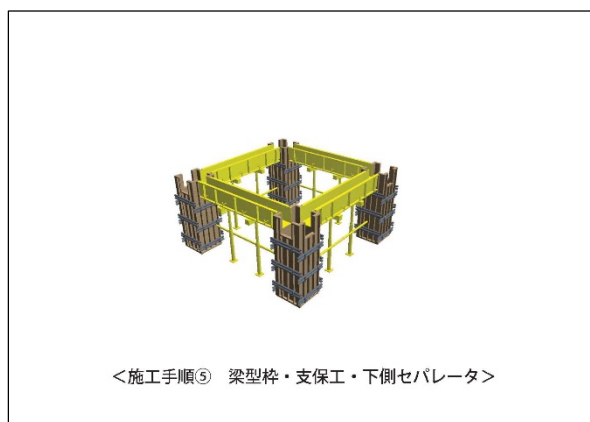
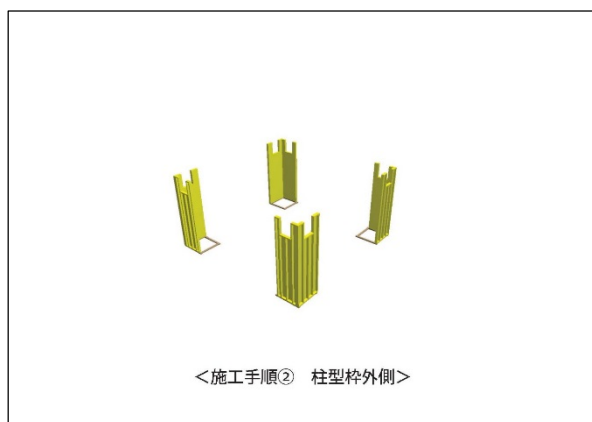
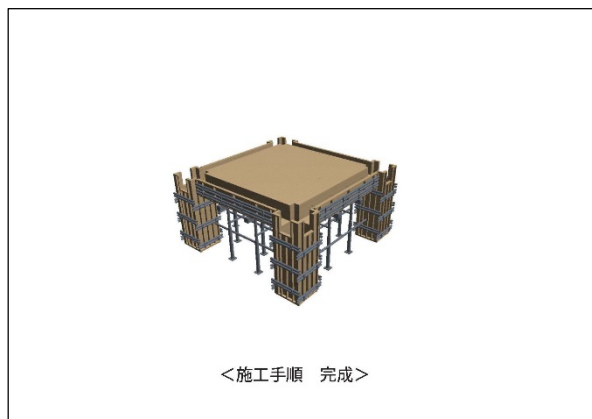








## 2.6.11 制作した型枠モデルの施工手順図





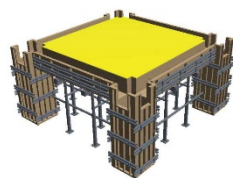
<施工手順⑥ 上側セパレータ・単管>



<外周足場>

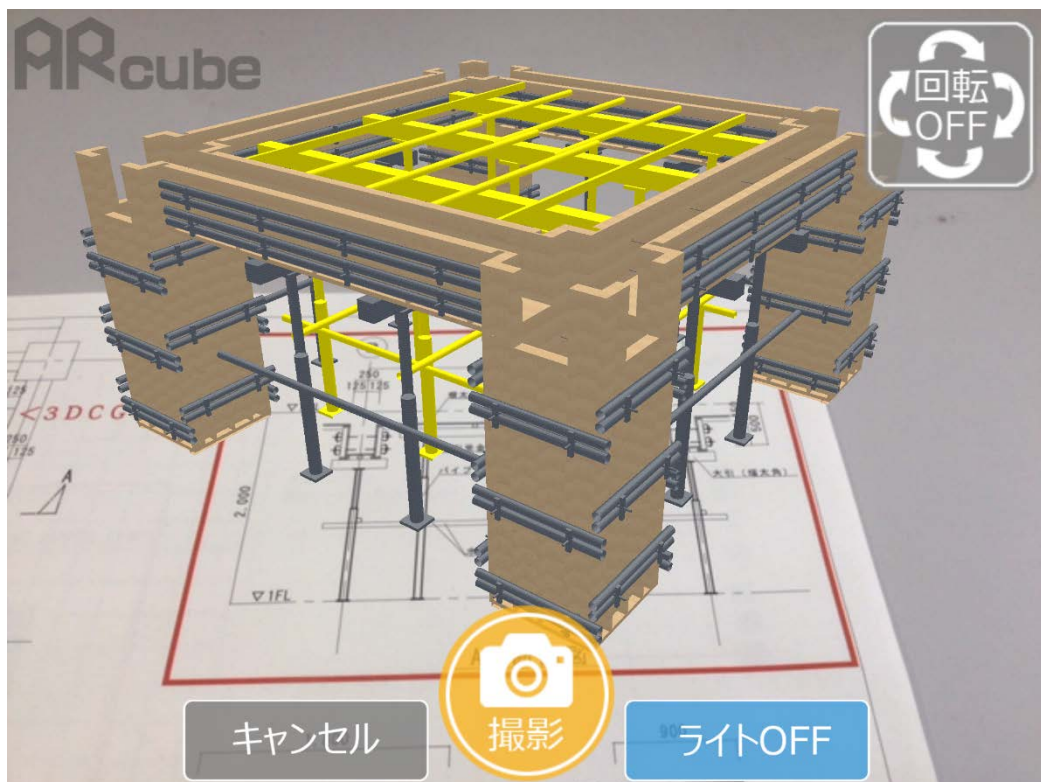
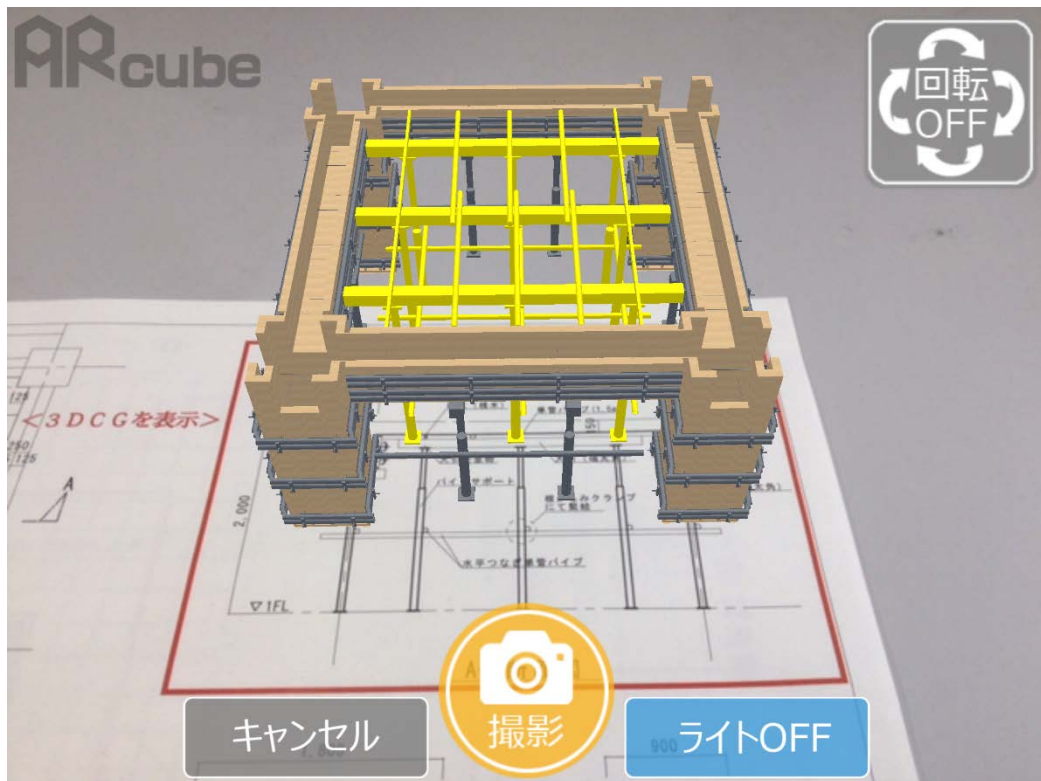


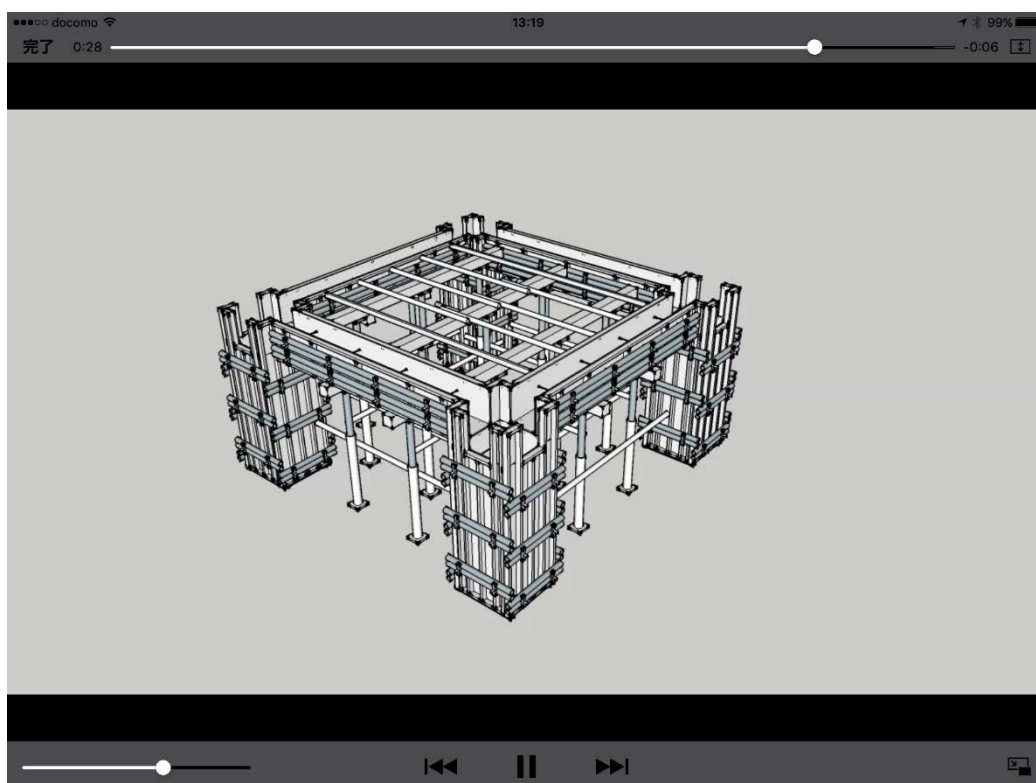
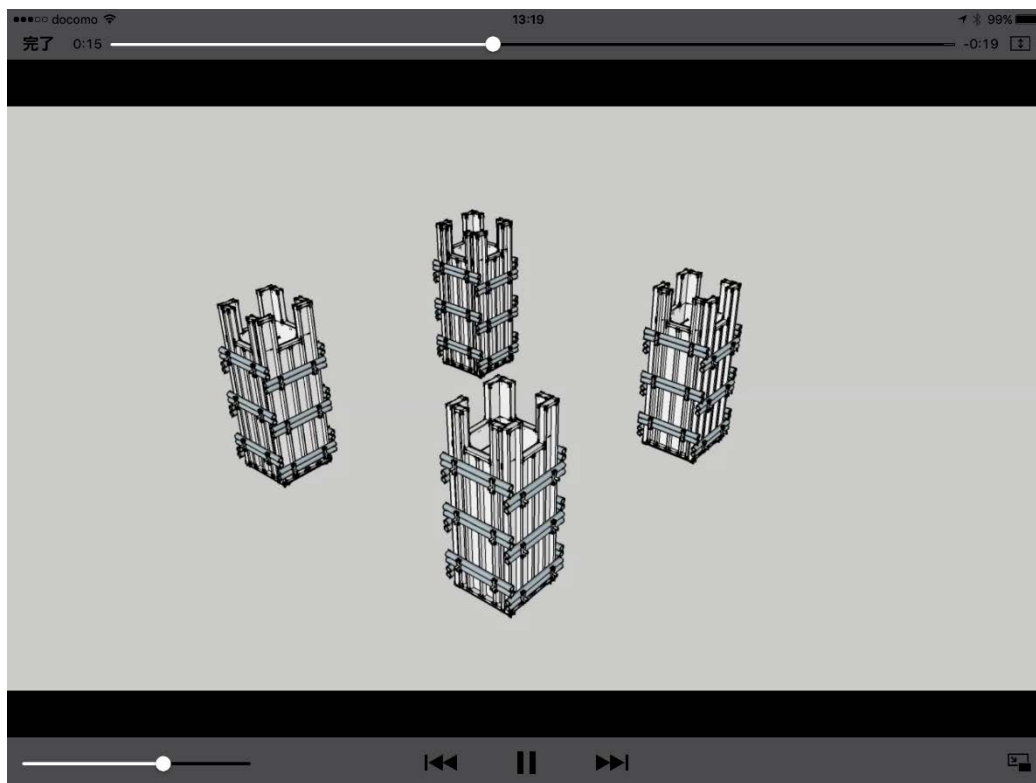
<施工手順⑦ スラブ支保工・大引き・根太>



<施工手順⑧ スラブ型枠>

## 2.6.12 制作した型枠モデルのAR重畳表示と施工手順動画





2.6.13 制作した総合モデルの課題図面（2次元 CAD）

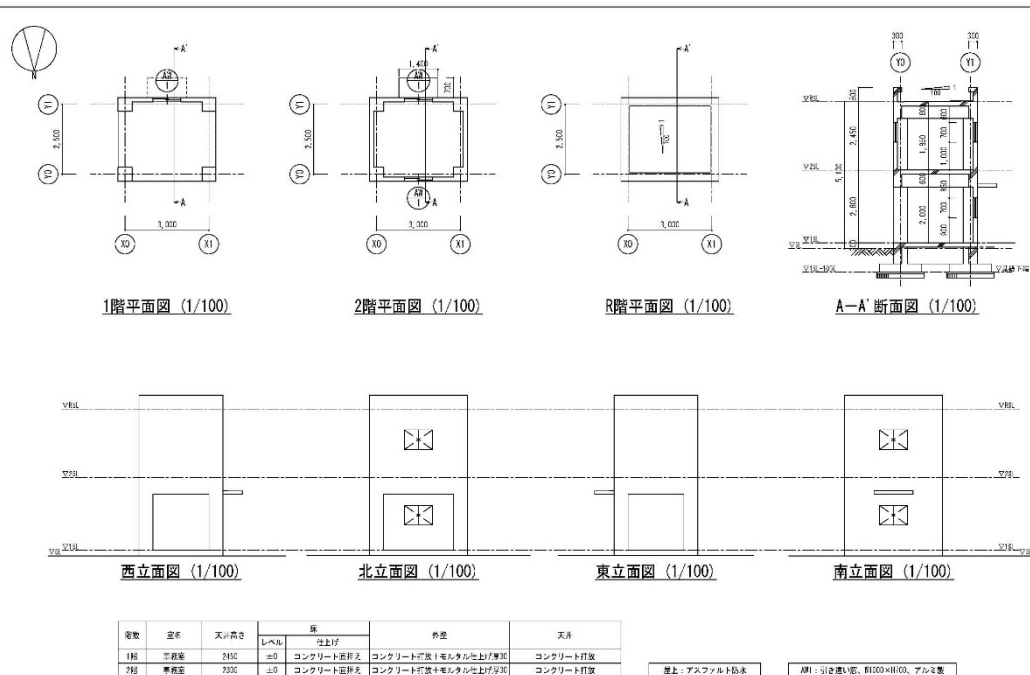
# 建築施工実習（RC造）

## 小川ビルディング新築工事

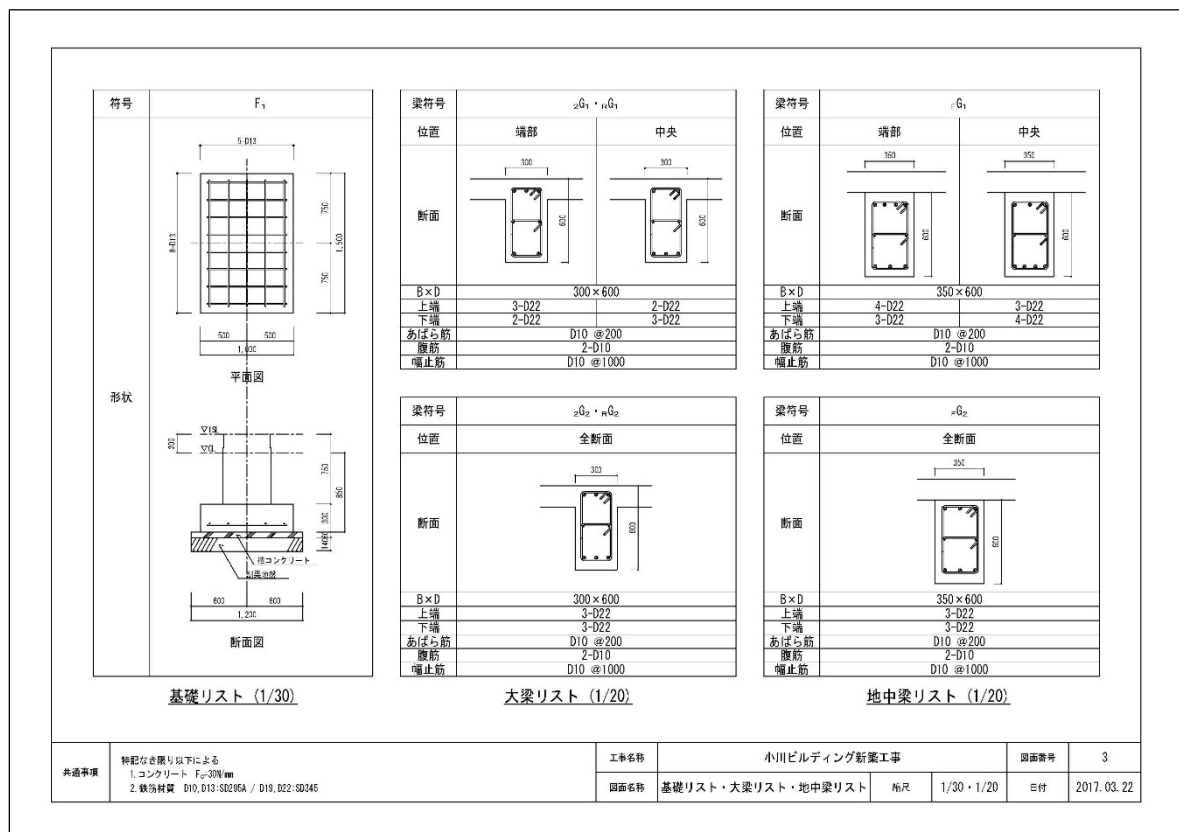
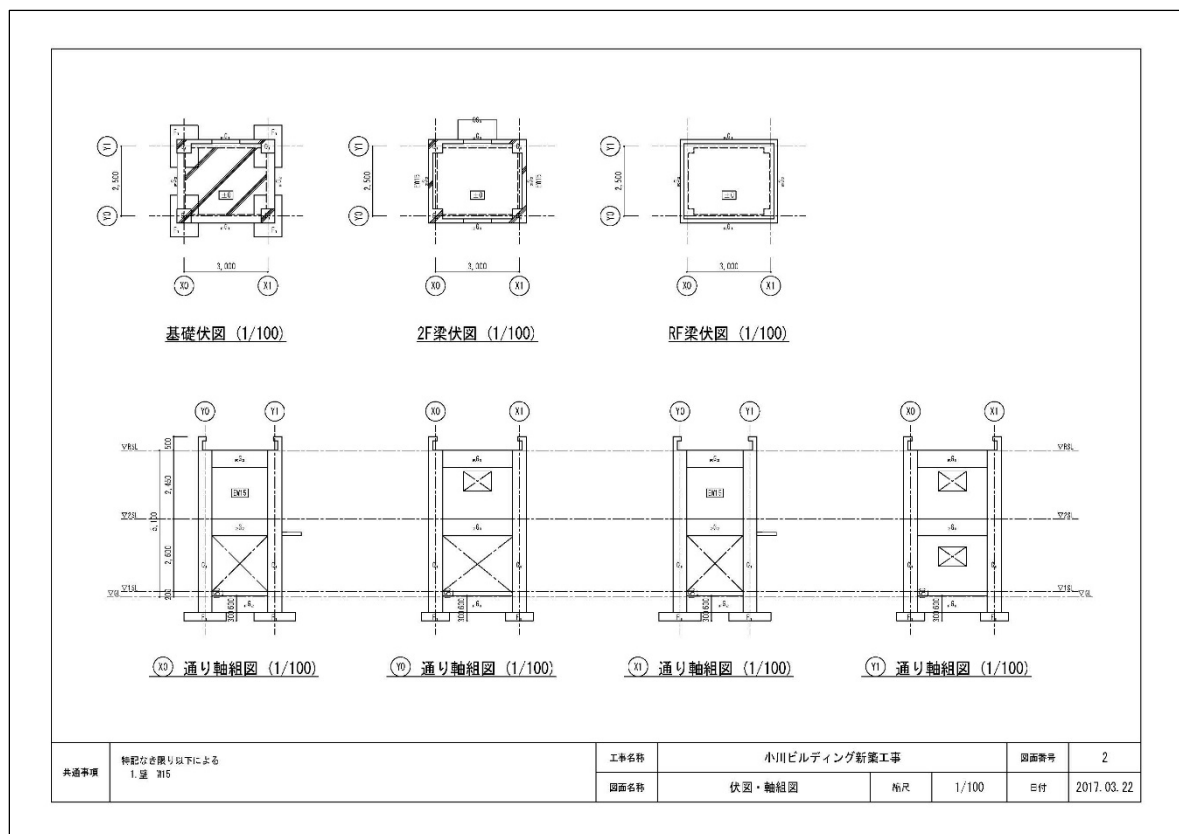
<鉄筋・型枠・コンクリート工事（総合モデル）>

職業能力開発総合大学校

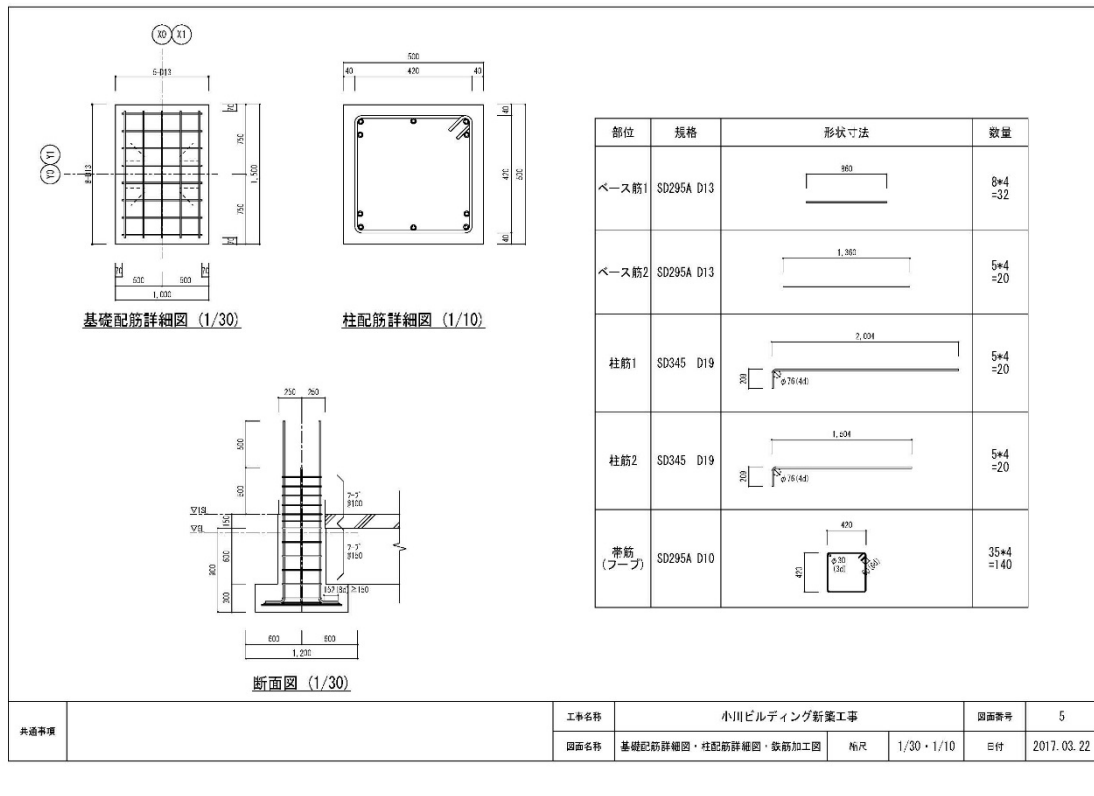
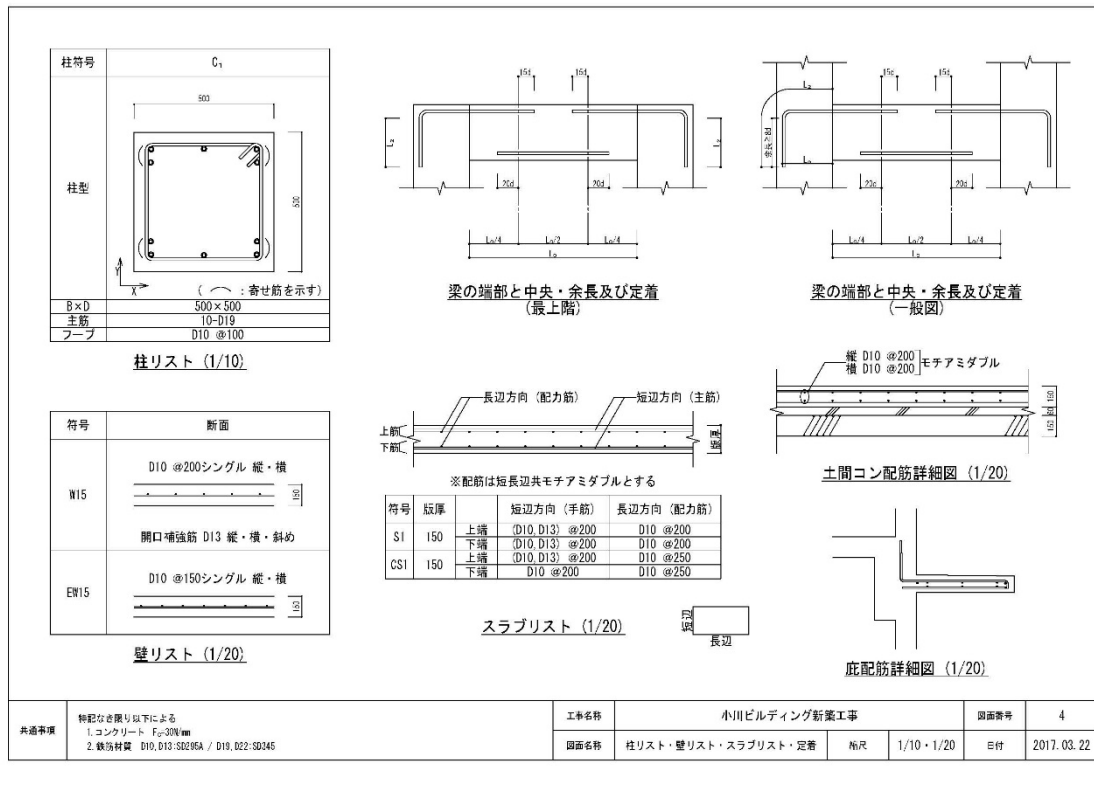
[ ] 班・氏 名



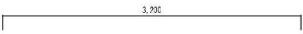
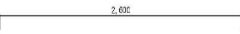
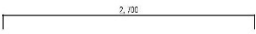

共通事項		工事名称	小川ビルディング新築工事			図面番号	1
		図面名称	平面図・立面図・断面図	縮尺	1/100	日付	2017.03.22

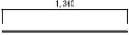

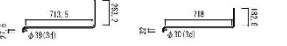




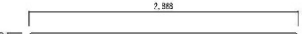


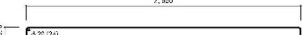




部位	規格	形状寸法	数量
床筋 長辺1	SD295A D10		10*2 =20
床筋 長辺1端	SD295A D10		2*2 =4
床筋 短辺1	SD295A D13 SD295A D10		6 13*7 =20
床筋 短辺1端	SD295A D13 SD295A D10		2 2

部位	規格	形状寸法	数量
応筋 長辺	SD295A D13 SD295A D10		4 6
応筋 短辺1	SD295A D10		7
応筋 短辺2	SD295A D13 SD295A D10		3 4

共通事項

部位	規格	形状寸法	数量
床筋 短辺2	SD295A D13 SD295A D10		6 13*7 =20
床筋 短辺2端	SD295A D13 SD295A D10		2 2
床筋 長辺2	SD295A D10		10*2 =20
床筋 長辺2端	SD295A D10		2*2 =4

工事名称

小川ビルディング新築工事

図面番号

8

図面名称

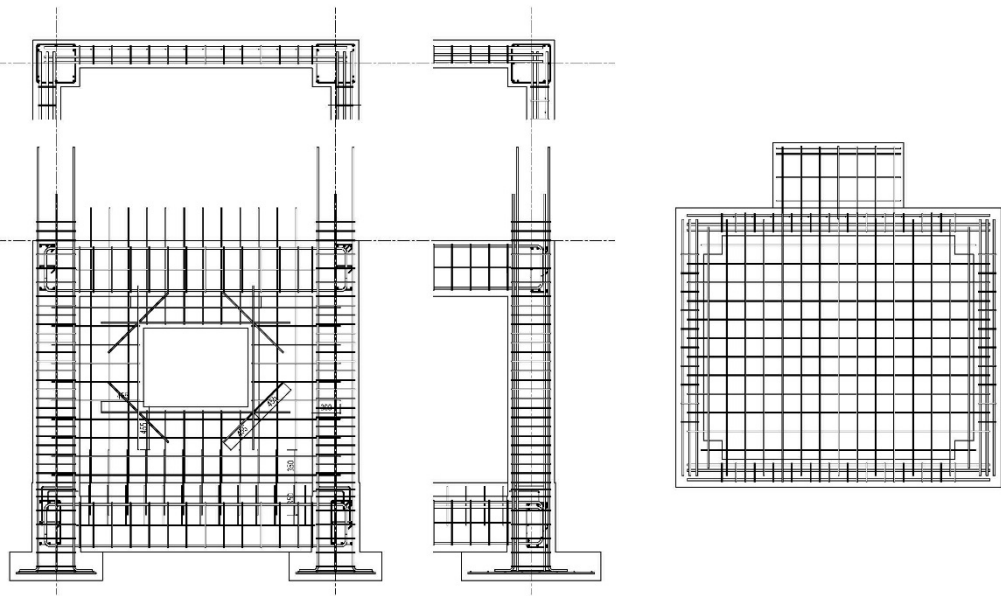
鉄筋加工図 2

縮尺

1/30

日付

2017.03.22



共通事項

特記なき限り以下による  
1. コンクリート F<sub>cd</sub>30N/mm  
2. 鉄筋材質 D10, D13: SD295A / D19, D22: SD345

工事名称

小川ビルディング新築工事

図面番号

9

図面名称

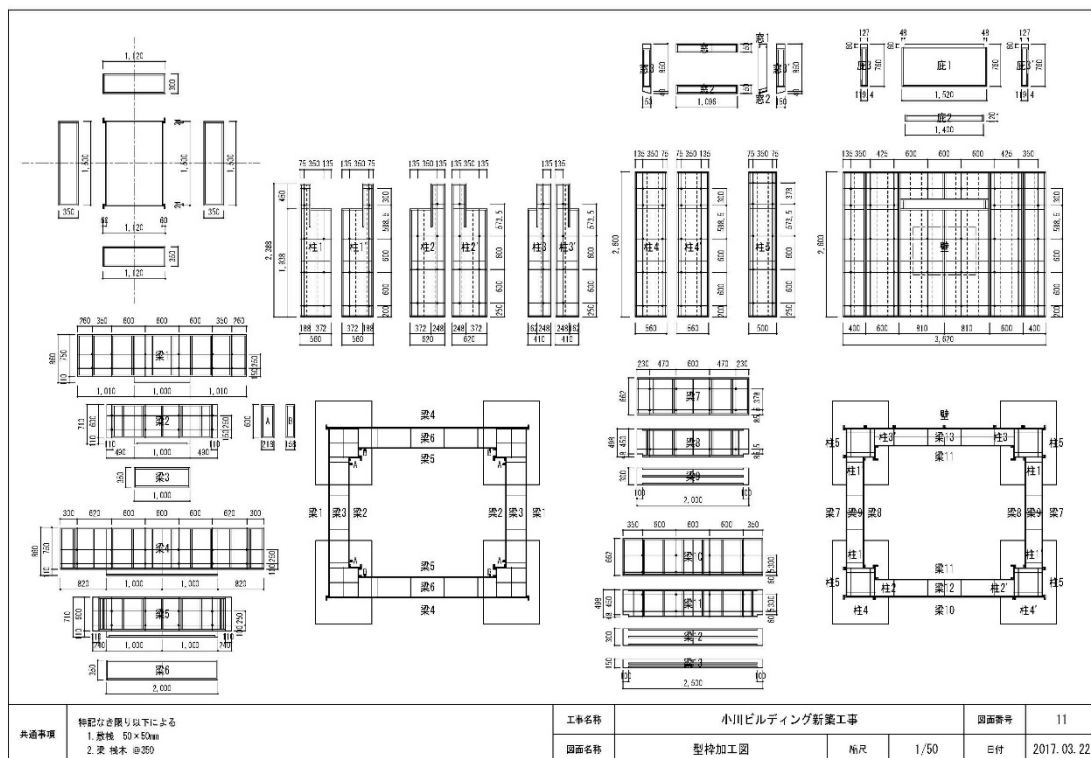
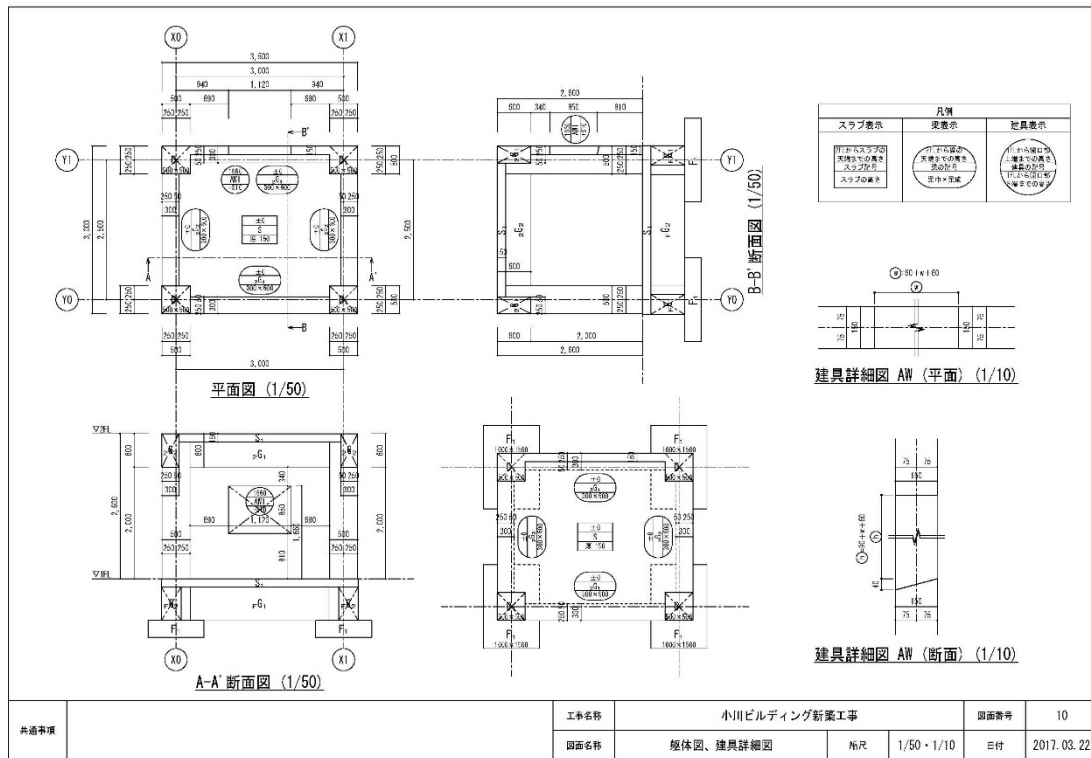
躯体配筋図

縮尺

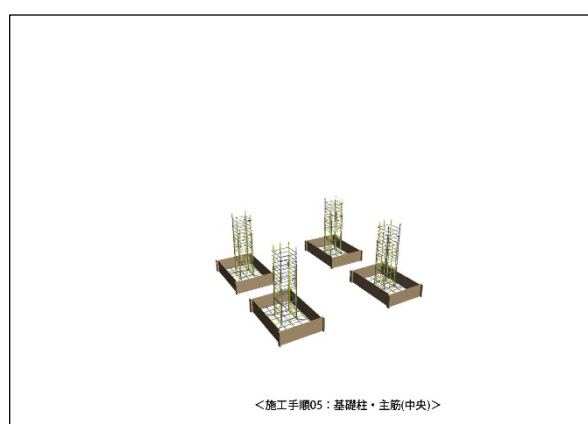
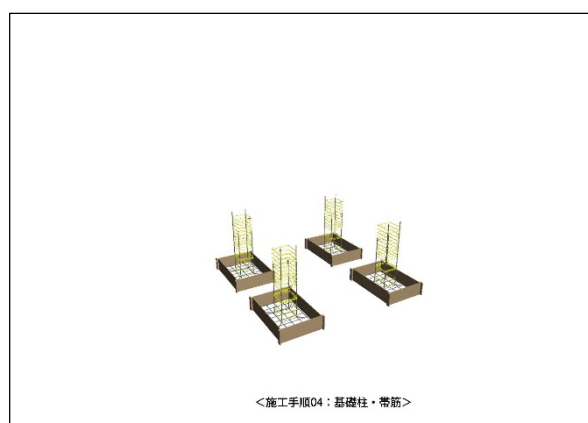
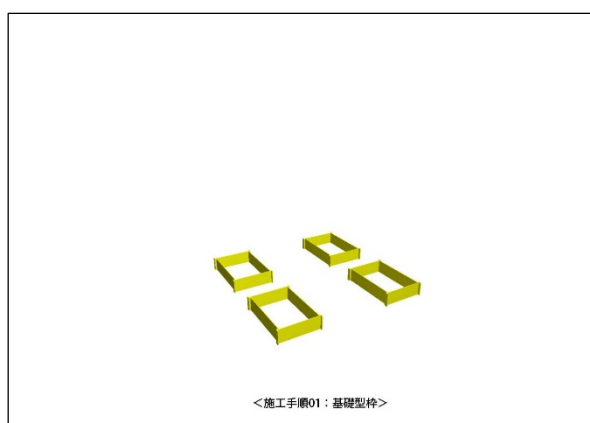
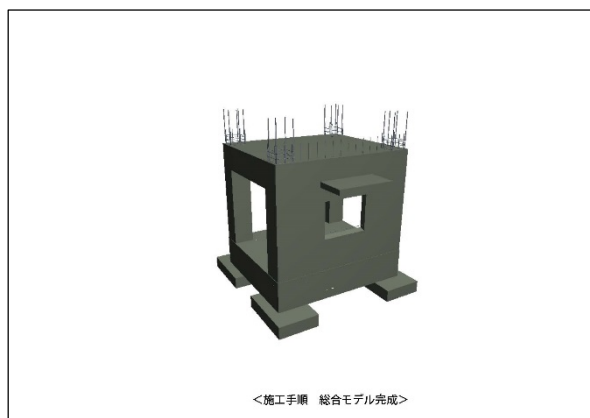
1/30

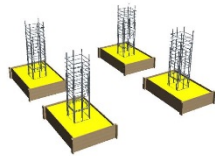
日付

2017.03.22



## 2.6.14 制作した総合モデルの施工手順図

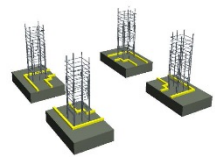




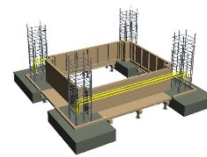
<施工手順06：基礎・コンクリート打設>



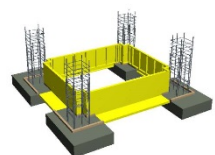
<施工手順09：基礎梁・支保工>



<施工手順07：基礎梁・根巻>



<施工手順10：基礎梁・上端主筋(長辺)>



<施工手順08：基礎梁・型枠>



<施工手順11：基礎梁・あばら筋(長辺)>





<施工手順12：基礎梁・下端主筋(長辺)>



<施工手順15：基礎梁・下端主筋(短辺)>



<施工手順13：基礎梁・上端主筋(短辺)>



<施工手順16：基礎梁・腹筋、幅止筋>



<施工手順14：基礎梁・あばら筋(短辺)>



<施工手順17：基礎柱・帯筋展開>



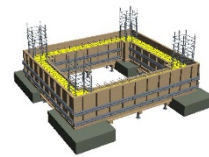
<施工手順18：基礎梁・スラブ差筋>



<施工手順21：基礎梁・横端太>



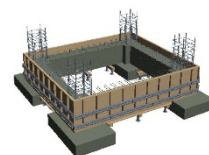
<施工手順19：基礎梁・型枠>



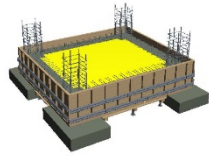
<施工手順22：基礎梁・コンクリート打設>



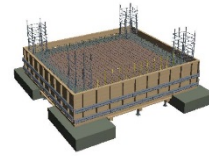
<施工手順20：基礎梁・セパレーター>



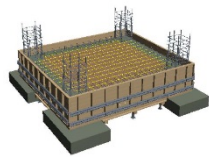
<施工手順23：基礎梁・型枠解体(内側)>



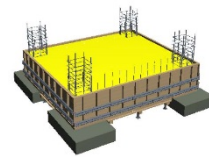
<施工手順24：基礎梁・埋め戻し>



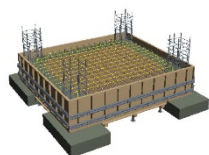
<施工手順27：土間スラブ・壁差筋(起し)>



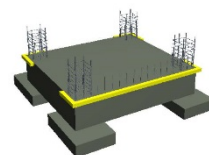
<施工手順25：土間スラブ・下端配筋>



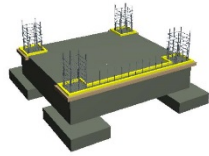
<施工手順28：土間スラブ・コンクリート打設>



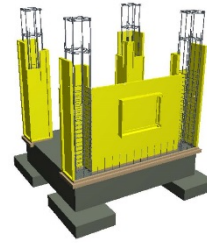
<施工手順26：土間スラブ・上端配筋>



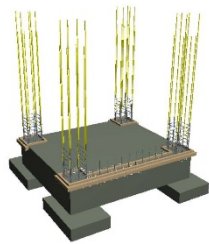
<施工手順29：1階・型枠受け>



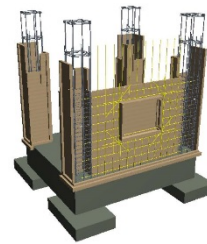
<施工手順30：1階・根巻き>



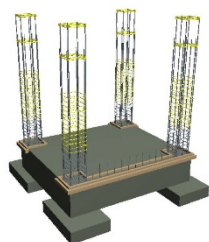
<施工手順33：1階柱・型枠、壁型枠(片側)>



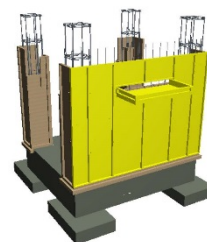
<施工手順31：1階柱・主筋>



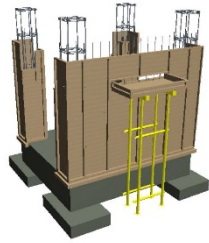
<施工手順34：1階・壁配筋>



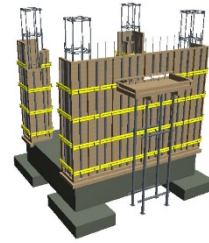
<施工手順32：1階柱・帯筋>



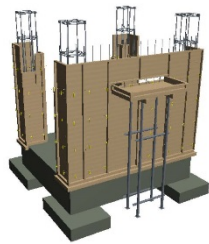
<施工手順35：1階・壁型枠、底型枠>



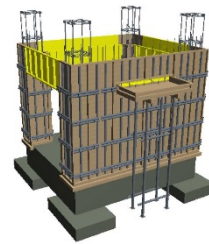
<施工手順36: 1階・底支保工>



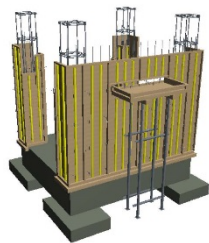
<施工手順39: 1階・横端太>



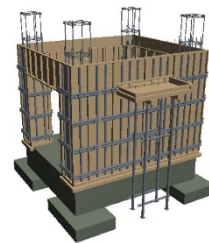
<施工手順37: 1階・セパレーター>



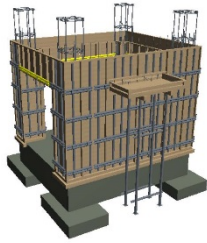
<施工手順40: 2階梁・型枠>



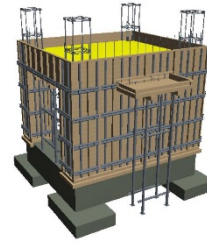
<施工手順38: 1階・縦端太>



<施工手順41: 2階梁・セパレーター(下段)>



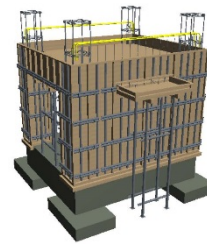
<施工手順42：2階梁・横端太(下段)>



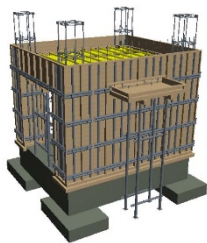
<施工手順45：2階床・せき板>



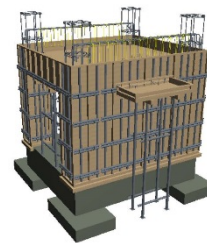
<施工手順43：2階梁・支保工>



<施工手順46：2階梁・上端主筋(長辺)>



<施工手順44：2階床・支保工>



<施工手順47：2階梁・あばら筋>





<施工手順48：2階梁・下端主筋(長辺)>



<施工手順51：2階梁・下端主筋(短辺)>



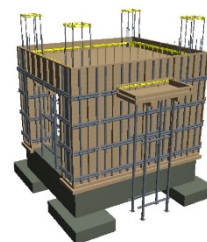
<施工手順49：2階梁・上端主筋(短辺)>



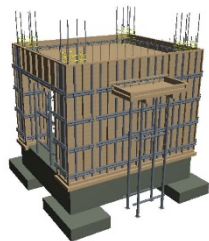
<施工手順52：2階梁・腹筋、幅止筋>



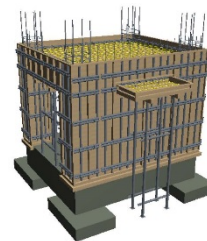
<施工手順50：2階梁・あばら筋(短辺)>



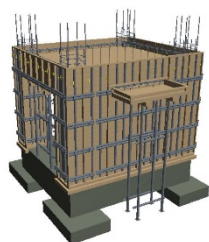
<施工手順53：2階梁・梁筋落とし込み>



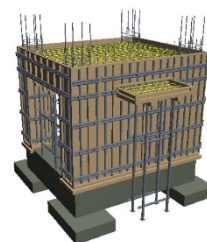
<施工手順54：2階柱・帯筋>



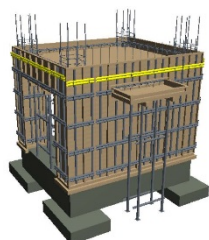
<施工手順57：2階床・下端配筋>



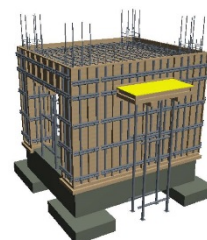
<施工手順55：2階梁・セハレーター(上段)>



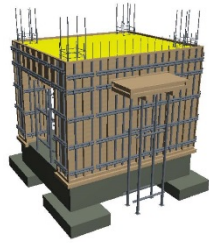
<施工手順58：2階床・上端主筋>



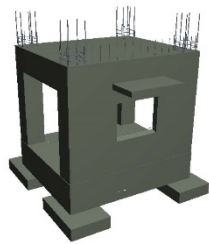
<施工手順56：2階梁・横端太(上段)>



<施工手順59：1階柱、壁、庇・コンクリート打設>

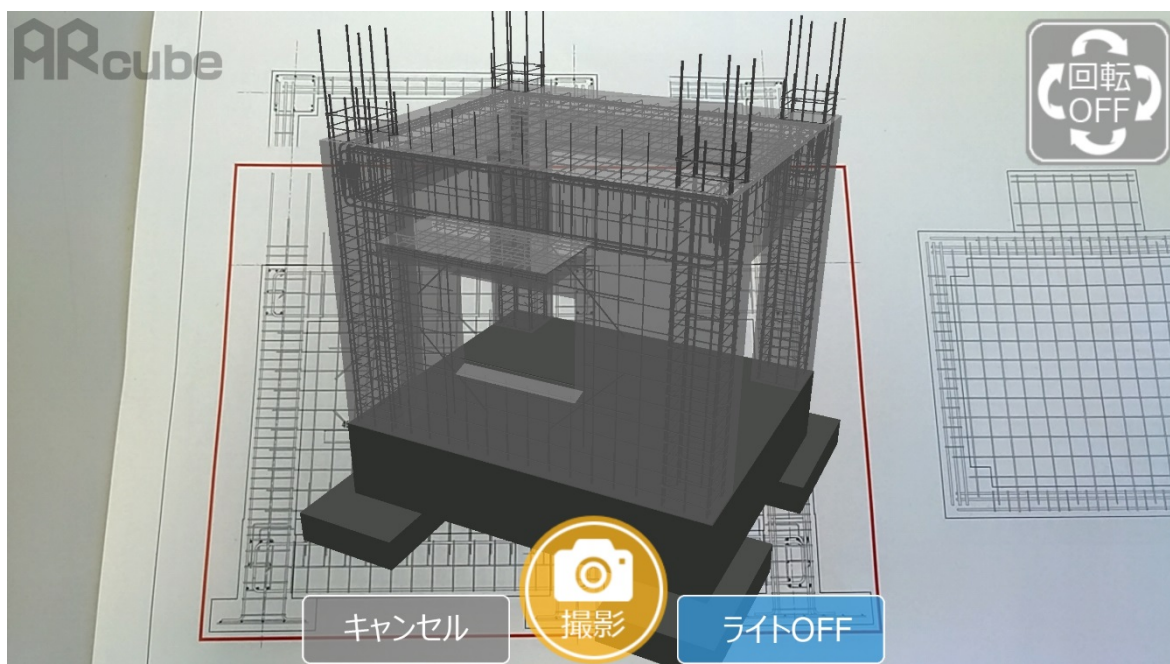


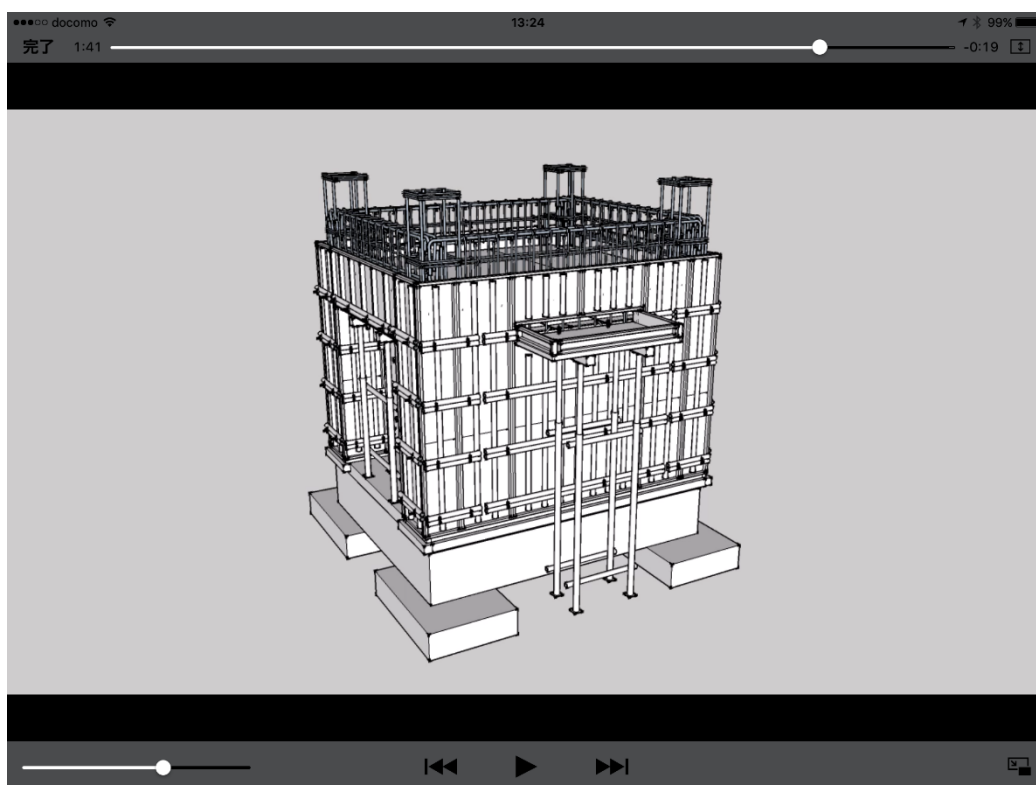
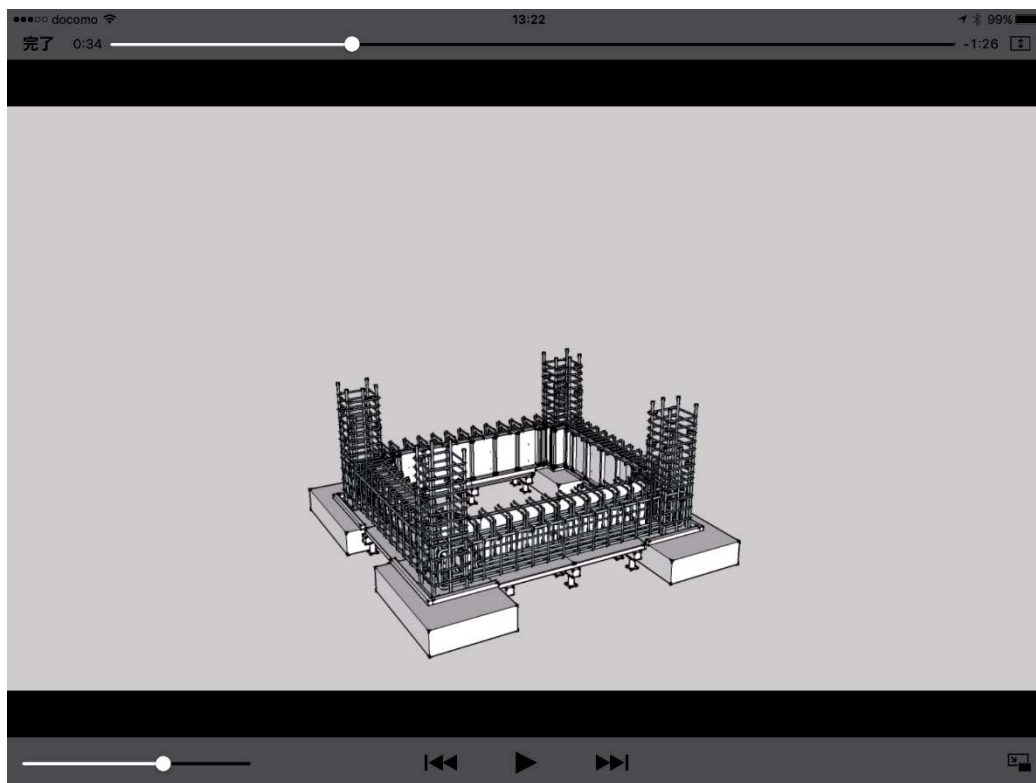
<施工手順60：2階梁、床・コンクリート打設>



<施工手順61：1階立上り・型枠解体>

## 2.6.15 制作した総合モデルのAR重畳表示と施工手順動画





## 7 節 拡張 3D 教材群の使用方法

実物大の構造物の部材加工や組立施工を行う施工実習は、通常、①「作図（2次元図面等）」、②「部材の切断と曲げ加工」、③「部材の組立施工」の順序で進めている。実習時間が不足する場合には、①「作図」を省く場合もある。また、加工済の材料を再使用することにより②「部材の切断と曲げ加工」を省く場合もある。

### 2.7.1 ①「作図」段階に適する教材

標準となり得る施工実習課題モデルのうち、鉄筋モデル（図 32）の実習の例では、「作図」の段階で対象となる建物（構造物）の意匠図や構造図を提示して、これを施工するために必要な鉄筋配筋図と鉄筋加工図を受講者が作図する課題を実施する。この際、建築工事標準仕様書等に記載された鉄筋工事に関する多くの規定を反映する必要がある、その内容を説明しながら「作図」の課題を進めていく。

具体的には、鉄筋の継手位置、鉄筋の重ね継手の長さ、鉄筋の定着の長さ、定着起点、かぶり厚さ、鉄筋相互のあき、隣り合う継手の位置、鉄筋の折曲げ形状および寸法などの規定を正しく理解して、自ら作図する「鉄筋配筋図」や「鉄筋加工図」に反映していく。

まったくの初心者を対象とする教育訓練の場合には、鉄筋配筋図と鉄筋加工図の手本をはじめから提示して、これをトレースする方法で施工実習の「作図」課題を進める場合もある。なお、こうした2次元図面の作図には、Jw\_cad等の2次元CADソフトを使用する場合が多い。

鉄筋配筋図や鉄筋加工図をトレースする場合においても、単なる丸写しでは鉄筋工事に関する理解度が向上せず、次工程となる②「部材の切断と曲げ加工」、および③「部材の組立施工」において間違いが多発して、その修正に多くの時間を要することにつながる場合が多い。

先行研究<sup>6)</sup>によれば、初心者は意匠図や構造図並びに鉄筋配筋図や鉄筋加工図などの2次元図面からは、構造物の完成状態を頭の中にイメージすることが難しく、これが「部材の組立施工」段階における施工ミスの主要な原因であると推測できた。

したがって、「作図」段階で課題図面（2次元）の上に3D完成モデル等を重畳表示すれば、初心者のイメー



写真 6 作図段階に適する AR 教材



ジづくりをサポートして、施工実習課題モデルに対する理解度が向上することが期待できる。これには、AR 技術による重畳表示教材（図 30）が適している。受講者は、手本として配布された鉄筋配筋図や鉄筋加工図に、自身の携帯端末をかざして組立が完了した 3D 完成モデルを確認しながら、トレースによる作図課題を進めることができる（写真 6）。

### 2.7.2 ②「部材の切断と曲げ加工」段階に適する教材

この段階では、2 次元の鉄筋配筋図と鉄筋加工図が不可欠である。それは、鉄筋部材の切断や曲げ加工にあたり、詳細な寸法を 2 次元図面から読み取る必要があるためである。この際、2 次元図面のデータを携帯端末に保存して利用する方法もあるが、画面サイズが小さいスマートフォンでは使いにくく、現行では紙にプリントして配布している（写真 7）。



写真 7 2 次元図面から加工寸法の算出

また、施工の手順を段階的に示した「施工手順図」（図 15）が、部材の切断と曲げ加工を行う初心者にとって有効である。全ての部材が描かれた「3D 完成モデル」よりも、施工段階毎の 3 次元モデルである「施工手順図」のほうが、切断や曲げ加工を行う個々の部材の納まり（重なり具合など）を確認し易く、扱い易い。

このように、「部材の切断と曲げ加工」の段階では、2 次元の「鉄筋配筋図と鉄筋加工図」、および拡張 3D 教材群の「施工手順図」を使用する。

### 2.7.3 ③「部材の組立施工」段階に適する教材

この段階では、「施工手順図」と、これを連続的に表示する「施工手順動画」（図 37）が有効な教材である。

初心者が「施工手順動画」を視聴すると、これから着手する鉄筋部材の組立施工の全体概要を、短時間に容易に把握することができる。したがって、組立施工の実習作業に着手する前に、作業全体の流れを把握するのに最も適している。

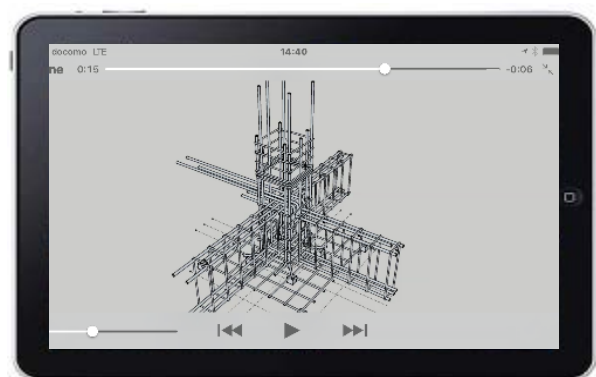


図 37 拡張 3D 教材群の施工手順動画



また、個々の鉄筋部材の組立施工にあたっては、施工段階毎の 3 次元モデルである「施工手順図」が最も有効である。これを参照すると、正しい手順で組立施工を進められ、配筋ミスが予防できる（写真 8）。

さらに、この「施工手順図」は受講者自身の携帯端末で操作できるから、画面上で拡大・回転等を行って部材の配置や納まりを常に手元で確認しながら、携帯端末上の手本通りに組立作業を進めることができる（図 38）。その結果、「施工ミスが多発してその修正に多くの時間を取られ、予定の訓練時間内に課題モデルの組立施工を完成まで進められない」といった事態の防止につながる（写真 9）。

このように、「部材の組立施工」の段階では、拡張 3D 教材群の「施工手順動画」（図 37）および「施工手順図」

（図 38）を使用するが、帯筋やあばら筋の間隔や主筋の定着長さ、といった詳細寸法に関する情報は、2 次元の「鉄筋配筋図と鉄筋加工図」から読み取る必要があり、現状では欠かせない教材となっている。

以上のように、施工実習の内容（段階）に応じて効果的な教材が異なる。従来は 2 次元図面が主要な教材であったが、これに加えて複数の種類の拡張 3D 教材群（AR 重畳表示、施工手順図、施工手順動画等）をあらかじめ用意しておき、実習内容に応じてこれらを選択して活用すれば、初心者に対する施工実習を最も効果的に進めることができると考える。



写真 8 施工手順図を使用した実習状況

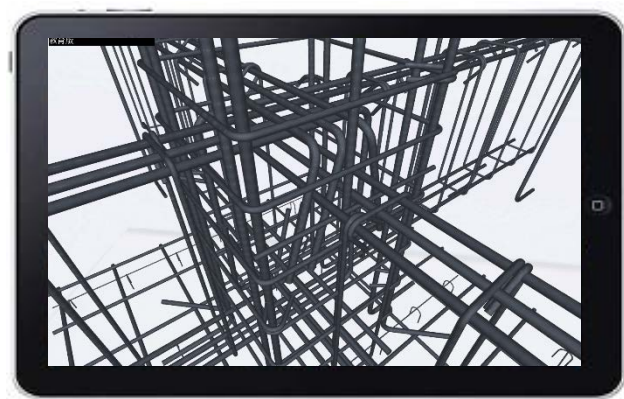


図 38 施工手順図の拡大表示



写真 9 組立が完了した鉄筋モデル

## 2.7.4 標準仕様書等の難解な規定にわかり易い説明を加える

鉄筋工事においては、施工の対象となる建物の図面や特記仕様書に従って詳細図（配筋図・加工図）が作成されなければならない。さらに、参照すべき図書として標準仕様書（公共建築工事標準書、日本建築学会・建築工事標準仕様書等）がある。このような一連の設計図書の中に、鉄筋の加工、組立、継手、定着、かぶり厚さ、間隔などが詳細に規定されている。

初心者にとってわかりにくい部分として、鉄筋の定着の規定がある。直線定着、フックあり定着、投影定着の3種類であるが、管理すべき寸法が異なる（図39）。

そこで、拡張3D教材群をアレンジして、公共建築工事標準仕様書（平成28年版）の該当頁（P38～P39）<sup>19)</sup>に、補足図を重畳表示することとした。図40は2次元の説明図であり、図41は3次元CGである。これらを講義の中で活用した結果、難解な鉄筋の定着の規定が、初心者にもたいへんわかり易くなった。

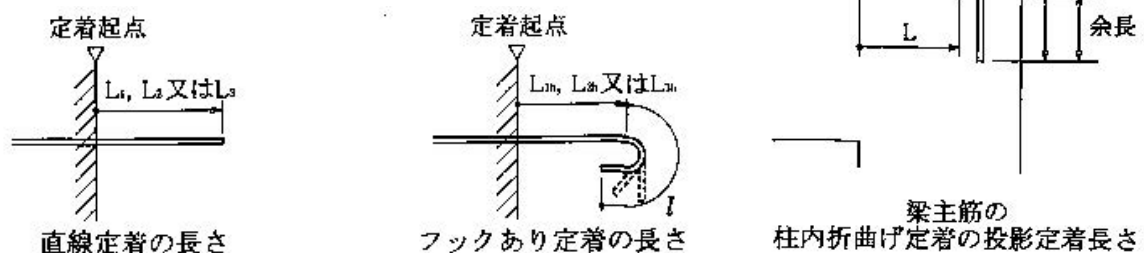


図39 公共建築工事標準仕様書の説明図

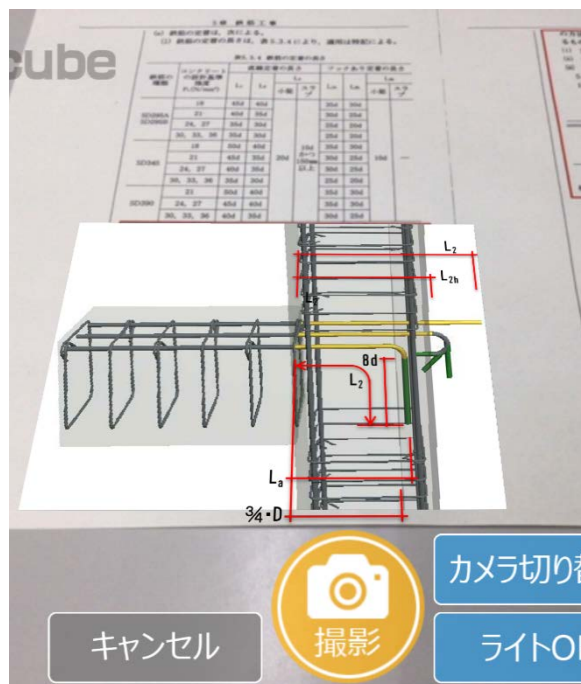


図40 補足図（2D）をARで重畳表示

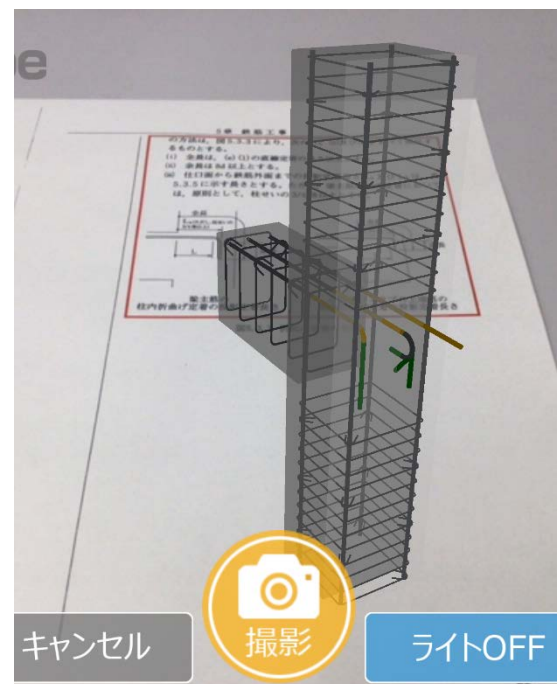


図41 補足図（3D）をARで重畳表示



## 第3章 開発した拡張 3D 教材群の効果検証

### 1 節 施工実験の概要

#### 3.1.1 施工実験の方法

初心者を対象とする RC 造の施工実習に用いるわかり易い教材の開発を進めたが、完成した拡張 3D 教材群の効果を評価・検証するために、拡張 3D 教材群を使用する場合と、使用しない場合について、実際に組立施工の実験を行った。

今回の施工実験には、鉄筋だけの施工実習課題モデル（図 32）を選択し、加工済みの鉄筋部材等を使用して組立施工実習を行った。被験者は、実物大の鉄筋加工や組立施工の経験が無い男子大学生を 2 人一組として、拡張 3D 教材群を使用するケースを 2 チーム、使用しないケースを 2 チームとして実施した。4 チームの施工実験は全て別日程で行い、組立手順等を互いに参照できないように配慮した。

使用する教材については、紙に印刷した課題図面（意匠図・構造図・鉄筋配筋図・鉄筋加工図等）[2 次元]を各チーム共に 1 部配布した。拡張 3D 教材群を使用しない 2 チームでは、この 2 次元図面のみが実習教材となる（写真 10）。

一方、拡張 3D 教材群を使用する 2 チームには、紙の 2 次元図面に加えて、施工手順図・施工手順動画・AR 重畳表示アプリを格納したタブレット端末を、チームに 1 台貸与した（写真 11）。

ほとんどの被験者が、実物大の鉄筋を結束するのは初めての経験という状態であったため、施工実験の開始前に 2 次元図面の概略説明を 30 分程度と、鉄筋の結束練習を 30 分程度、各チームに対して同様に行った。また、拡張 3D 教材群を使用するチームには、タブレット内の拡張 3D 教材群の操作方法も説明した。

施工実験に使用した鉄筋モデルは、技能検定「鉄筋施工（鉄筋組立て作業）2 級」の実技試験課題である。



写真 10 2 次元図面のみによる鉄筋組立施工

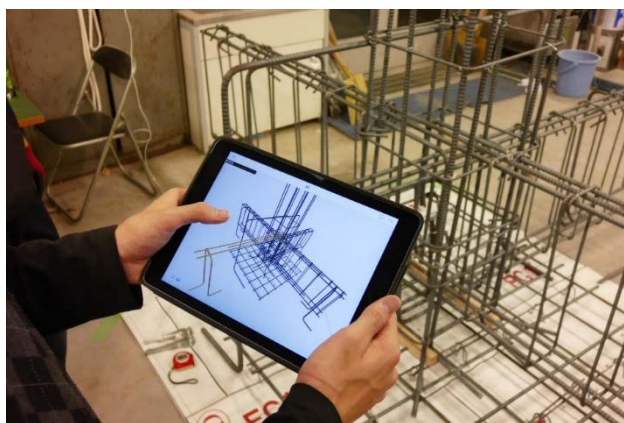


写真 11 拡張 3D 教材群を使用した鉄筋組立施工

部材の構成は、ベース筋が D13、柱主筋が D16、帯筋が D10、梁主筋が D16、あばら筋が D10 である。

また、柱筋と梁筋の組立用に、鉄筋を曲げ加工した「うま」（柱筋用 1 台、梁筋用 4 台）が用意されており、地足場は不要である。

さらに、通り芯と基礎・基礎柱・基礎梁の小墨を表示したシートが用意されており、被験者による墨出し作業は不要である。

### 3.1.2 施工実験の記録と評価方法

4 組の施工実験の様子は、定点からの 1 分間隔のインターバル撮影（写真）と、ビデオカメラによる作業全体の動画撮影によって記録した。

撮影した動画は、「作業分析ソフト<sup>注 16)</sup>」（図 42）を使用して検討を行った。

操作手順は、作業分析ソフト上で再生画像を流しながら、作業内容が切り替わるポイントでクリックしていく。

その結果、一連の作業を約 100 段階程度の個別作業に分割できた（表 5）。次に、分割した個々の作業データに具体的な作業名を記入すると、約 30 種類程度の作業内容に分類できた（表 6）。さらに 4 種類の作業項目（通常作業、手戻り、手直し、打合せ）に分析仕訳を行った（図 43）。

ここで、「通常作業」は、ベース筋、柱筋、梁筋等の組立作業に掛かった正味の時間であり、省くことができないものである。

「手戻り」は、組立作業中に配筋ミスに気付く、前の工程で組立（結束）を完了した鉄筋部材に遡って修正することとした。すなわち、固定済の鉄筋の結束を一旦外し、鉄筋の位置を移動してから、次工程の鉄筋部材を配置した後に、一旦移動した鉄筋を元に戻して再結束することである。

「手直し」は、現在組立中の部材の是正作業であり、前工程には遡らないものである。

「打合せ」は、2 次元図面の確認やタブレットに格納した拡張 3D 教材群の使用を含めて、2 人の被験者間での相談時間とした。



図 42 作業分析ソフトの操作画面

表 5 作業分析ソフトによる分類・仕訳の例

NO.	名称	計測時間	編集時間	分析仕訳	作業分類	組合せ	メモ
1	分析動作 1	32.30	32.30	打合せ		手作業	
2	分析動作 2	11.10	11.10	通常作業	基礎スぺーサー	手作業	
3	分析動作 3	4.00	4.00	打合せ		手作業	
4	分析動作 4	10.10	10.10	通常作業	基礎下	手作業	
5	分析動作 5	19.30	19.30	打合せ	相談	手作業	
6	分析動作 6	23.50	23.50	通常作業	基礎スぺーサー	手作業	
7	分析動作 7	33.20	33.20	通常作業	基礎下	手作業	
8	分析動作 8	46.90	46.90	通常作業	基礎上	手作業	
9	分析動作 9	226.70	226.70	通常作業	基礎結束	手作業	
10	分析動作 10	63.70	63.70	打合せ		手作業	
11	分析動作 11	73.70	73.70	通常作業	基礎結束	手作業	
12	分析動作 12	14.70	14.70	打合せ	相談	手作業	
13	分析動作 13	29.30	29.30	通常作業	基礎結束	手作業	
14	分析動作 14	48.20	48.20	打合せ	相談	手作業	
15	分析動作 15	8.80	8.80	通常作業	基礎結束	手作業	
16	分析動作 16	12.00	12.00	アドバイス	アドバイス	手作業	
17	分析動作 17	259.60	259.60	通常作業	基礎結束	手作業	
18	分析動作 18	68.00	68.00	打合せ		手作業	
19	分析動作 19	20.60	20.60	通常作業	柱	手作業	
20	分析動作 20	11.10	11.10	打合せ		手作業	
21	分析動作 21	40.90	40.90	アドバイス	アドバイス	手作業	
22	分析動作 22	11.70	11.70	通常作業	柱	手作業	
23	分析動作 23	115.10	115.10	打合せ		手作業	
24	分析動作 24	25.80	25.80	手直し	柱	手作業	
25	分析動作 25	144.70	144.70	打合せ		手作業	
26	分析動作 26	16.20	16.20	通常作業	柱	手作業	
27	分析動作 27	80.60	80.60	打合せ		手作業	
28	分析動作 28	207.90	207.90	通常作業	柱結束	手作業	
29	分析動作 29	47.40	47.40	打合せ		手作業	
30	分析動作 30	55.60	55.60	通常作業	柱	手作業	

<以下省略>

表 6 作業分析ソフトによる作業内容別集計の例

名称	要素数	時間	割合	1回時間
相談	21	1102.60	7.31	52.50
非作業	3	73.40	0.49	24.50
	30	1930.50	12.79	64.30
AR	0	0	0	0
VR(BIM)	0	0	0	0
VR(動画)	0	0	0	0
	0	0	0	0
フープ	0	0	0	0
基礎	0	0	0	0
基礎結束	5	598	3.96	119.60
基礎上	1	46.90	0.31	46.90
基礎下	2	43.20	0.29	21.60
基礎スぺーサー	2	34.60	0.23	17.30
柱	19	3420.50	22.67	180
柱結束	5	1102.30	7.30	220.50
柱(馬側)	0	0	0	0
柱(反対側)	1	103.70	0.69	103.70
柱(その他)	3	315.50	2.09	105.20
D-FG1'	2	76.40	0.51	38.20
D-FG1'結束	5	1073.40	7.11	214.70
D-FG1'上端	4	204.80	1.36	51.20
D-FG1'下端	2	367.20	2.43	183.60
D-FG1'スターラップ	2	247.60	1.64	123.80
D-FG1	2	345.20	2.29	172.60
D-FG1結束	2	915.80	6.07	457.90
D-FG1上端	3	219.80	1.46	73.30
D-FG1下端	2	240.60	1.59	120.30
D-FG1スターラップ	1	133.10	0.88	133.10
5ーFG1	1	21.80	0.14	21.80
5ーFG1結束	5	1114.20	7.38	222.80
5-FG1上端	2	70.60	0.47	35.30
5-FG1下端	2	532.40	3.53	266.20
5-FG1スターラップ	2	297.20	1.97	148.60

## 2 節 施工実験の結果

はじめに鉄筋組立作業の完了までの所要時間を比較する。表 7 のように拡張 3D 教材群を使用した A チームが 145 分、B チームが 152 分で、平均は 149 分であった。拡張 3D 教材群を使用しない C チームは 214 分、D チームは 245 分で、平均は 230 分となった。その差は 81 分に及び、拡張 3D 教材群を使用すると、鉄筋組立作業の所要時間が 35%短縮できた。

「通常作業」の所要時間は、拡張 3D 教材群を使用した 2 チームの平均が 123 分、使用しない 2 チームの平均が 133 分であった（表 7）。その差は僅か 10 分であり、被験者間の個人差を考えると、鉄筋部材の組立施工に必要な正味の作業時間には、ほとんど差が無いと思われる。

「手戻り」については、拡張 3D 教材群を使用した 2 チームには全く発生せず、使用しない 2 チームでは手戻りの平均が 30 分であった（表 7、図 44）。拡張 3D 教材群を使用する場合には、施工手順図を参照できるため、その

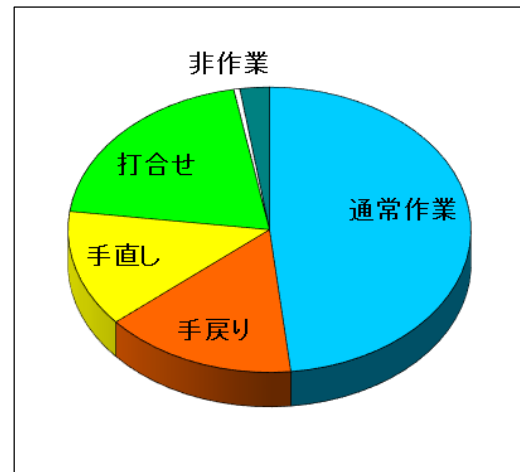


図 43 分析仕訳の例

表 7 施工実験の作業項目別所用期間（単位：分）

ケース 作業項目	新型教材群 使用			新型教材 未使用		
	Aチーム	Bチーム	平均	Cチーム	Dチーム	平均
通常作業	117.4	128.2	123	144.4	122.4	133
手戻り	0.0	0.0	0	20.4	39.2	30
手直し	7.7	6.3	7	21.4	33.1	27
打合せ	20.2	17.8	19	28.3	50.3	39
合計	145	152	149	214	245	230

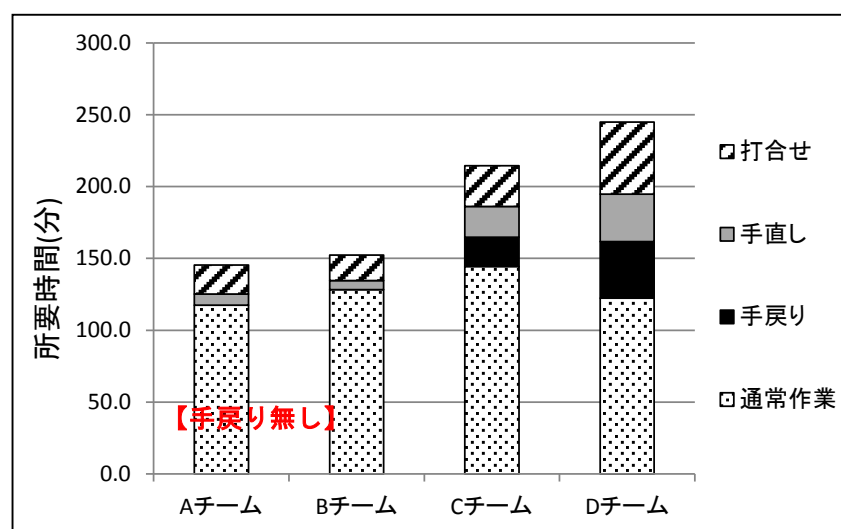


図 44 チーム毎の所要時間の構成



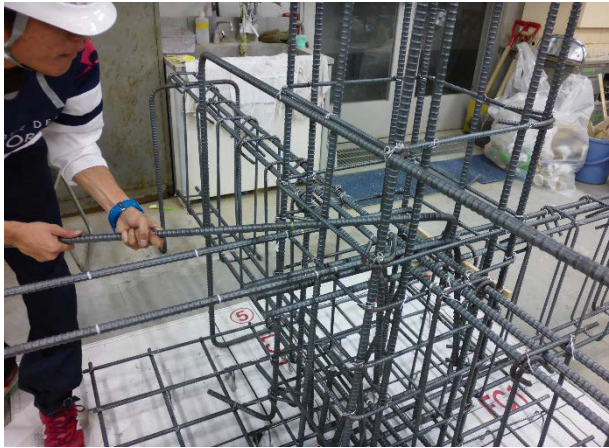


写真 12 手戻り作業につながる状況

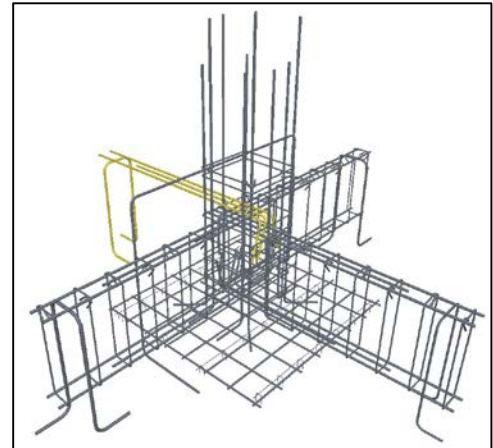


図 45 施工手順図での帯筋の位置

通りに組立作業を行えば手戻りは発生しない。2次元図面のみで組立作業を行うと、施工手順が示されていないため、試行錯誤の結果、手戻りにつながる。

「手直し」（工程内での修正）については、拡張 3D 教材群を使用した 2 チームの平均が 7 分、使用しない 2 チームの平均は約 4 倍の 27 分であった（表 7）。

「打合せ」については、拡張 3D 教材群を使用した 2 チームの平均が 19 分、使用しない 2 チームの平均は約 2 倍の 39 分であった（表 7）。

### 3 節 施工実験の考察

拡張 3D 教材群を使用した場合には、タブレット内の施工手順図等を参照できることから、前工程に遡る手戻りは発生せず、手直しも 2 チームの平均で 7 分程度と非常に短時間であった。これは、拡張 3D 教材群の施工手順図の通りに鉄筋組立作業を進めた結果、ミス無く早く完了する合理的な施工手順になったためである。

手戻りについては、拡張 3D 教材群を使用しない 2 チームのみに発生した。例えば、柱筋の組立段階で、柱主筋に帯筋を所定の間隔（@100～150）に結束してしまうと、後工程の梁配筋の段階で、定着部分を折り曲げ加工した梁主筋の配置が難しくなる（写真 12）。止むを得ず既に結束した帯筋を動かして梁主筋を配置し、再度帯筋を元の位置に戻して結束し直すと手戻りになる。

このように 2 次元図面による組立作業では、前工程で完了した部分に遡っての修正が多発する。

図 45 は、写真 12 に該当する工程の施工手順図である。帯筋は、梁配筋の前には所定のピッチに結束せず、折り曲げのある梁主筋の配置が終わるまでは上下の間隔を広げて仮固定の状態にしてある。



手直しは、拡張 3D 教材群を使用しない 2 チームの平均が 27 分（拡張 3D 教材群を使用したチームの約 4 倍）を要したが、2 次元図面からは完成した立体形状が明確にイメージできず、試行錯誤による配筋作業となったためである。

打合せについては、拡張 3D 教材群を使用した 2 チームの平均（19 分）は、拡張 3D 教材群を使用しない 2 チーム平均（39 分）の半分であった。拡張 3D 教材群を使用するチームは、紙に印刷した 2 次元図面の他にタブレット内の施工手順図、施工手順動画、AR 重畳表示を参照できるので、これに相当の時間を使うものと推測していたが、事前の想定を下回った。これは、拡張 3D 教材群のわかり易さを示すものとする。タブレット内の拡張 3D 教材群は全て 3 次元 CG で構成されており、初心者にも容易に理解でき、短時間に必要な情報が読み取れた結果である。

拡張 3D 教材群を使用しない D チームでは、打合せに 4 チーム中で最大となる 50 分を要した。やはり 2 次元図面は初心者にとっては難解で、読み取りに手間取ったためである。また、図面情報を正しく読み取れずに鉄筋組立作業を進めたため、手戻り（39 分）や手直し（33 分）など、配筋ミスの修正に多くの時間が掛かっているといえる（表 7）。

ところで、拡張 3D 教材群を使用した場合と、使用しない場合の合計所要時間の差は、2 チームの平均で 81 分であった。その内訳は、通常作業が +10 分、手戻りが +30 分、手直しが +20 分、打合せが +20 分であり、いずれも拡張 3D 教材群を使用しないチームが長く掛かっている。

拡張 3D 教材群を使用した A チームのパレート図（図 46）では、通常作業が 81% を占め、打合せと手直しが合わせて 19% に収まり、手戻りは無かった。すなわち、無駄な時間はほとんど無かったと考える。

一方、拡張 3D 教材群を使用しない D チームのパレート図（図 47）では、通常作業の割合が 50% であり、手戻り・手直し・打合せの合計時間の割合が 50% に及んだ。この部分は、拡張 3D 教材群を使用すれば時間短縮が可能となる（改善可能な）部分である。

以上の考察から、初心者を被験者とした鉄筋組立の施工実験によって、これまでに制作した拡張 3D 教材群の有効性が確認できた。

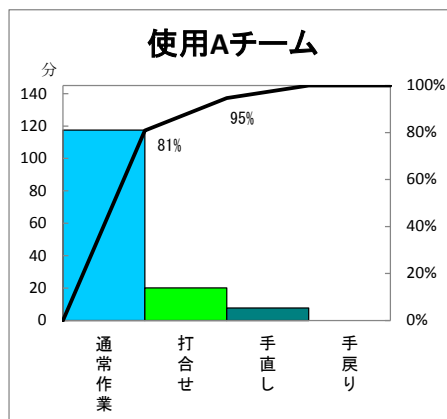


図 46 A チームのパレート図

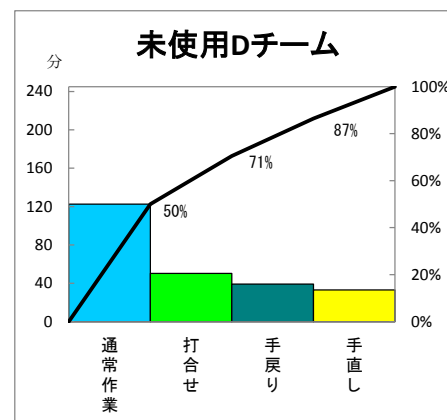


図 47 D チームのパレート図

すなわち、拡張 3D 教材群を使用することによって、「短時間に正確に」鉄筋組立作業が実施できることが判った。

なお、通常の施工実習における「作図」段階と「部材の切断と曲げ加工」段階についての検証実験は、今後の課題とする。

## 4 節 被験者に対するアンケート調査

### 3.4.1 被験者の基礎知識の調査について

施工実験における鉄筋部材の組立施工の前に、鉄筋工事に関する基礎知識を確認する質問に回答してもらった。内容は、図 48 のように、鉄筋の組立施工にあたって配慮すべき重要な数値と、鉄筋の組立作業に使用する道具や部材の名称などの合計 10 問である。なお、この質問は施工実験の終了後にも、別の用紙に再度回答してもらった。




【基礎知識の確認】

◇柱・梁(仕上げなし、屋内)の最少かぶり厚さは何ミリですか (1) [mm]

◇施工調整のため、最少かぶり厚さに加える数値は何ミリですか (2) [mm]

◇鉄筋同士のあき寸法は何ミリですか (3) [mm]





◇以下の道具や部材の名称を書いてください

(4) [ ]

(5) [ ]

(6) [ ]

(7) [ ]

(8) [ ]

(9) [ ]

(10) [ ]

図 48 基礎知識調査の質問票 (10 問)

例えば被験者 A①は、事前の回答では正解が 3 問、無回答が 7 問であった。これが事後の回答では、正解が 9 問、不正解が 1 問、無回答は無しになった (図 49 上段)。

また、被験者 A②は、事前の回答では正解が 5 問、不正解が 1 問、無回答が 4 問であった。これが事後の回答では、全問正解となった (図 49 上段)。

なお、図 49 の上段は拡張 3D 教材群を使用した A チームと B チームの調査結果であり、図 49 の下段は拡張 3D 教材群を使用しない C チームと D チームの結果である。

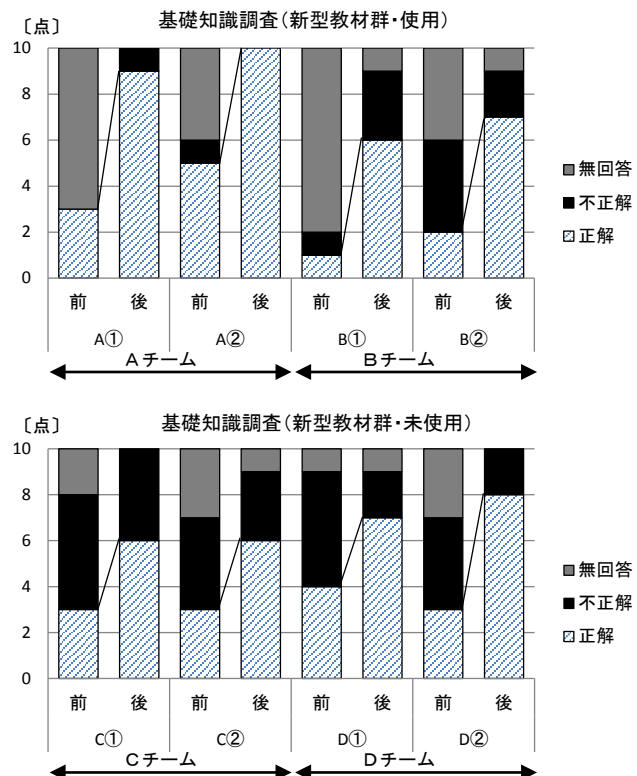


図 49 基礎知識調査の結果

表 8 は、基礎知識調査の質問に対する正解数を集計している。A チームは、被験者 2 名の事前の正解の平均が 4.0 点、事後の平均が 9.5 点で、正解数の伸びは 5.5 点となった。B チームは、被験者 2 名の事前の正解の平均が 1.5 点、事後の平均が 6.5 点で、正解数の伸びは 5.0 点となった。

表 8 基礎知識調査における正解数の集計

メンバー	A①	A②	B①	B②	C①	C②	D①	D②
前・正解	3	5	1	2	3	3	4	3
後・正解	9	10	6	7	6	6	7	8
伸び	6	5	5	5	3	3	3	5
チーム	Aチーム(使用)		Bチーム(使用)		Cチーム(未使用)		Dチーム(未使用)	
前・AVE	4.0		1.5		3.0		3.5	
後・AVE	9.5		6.5		6.0		7.5	
伸・AVE	5.5		5.0		3.0		4.0	
ケース	新型教材群・使用				新型教材群・未使用			
前・AVE	2.75				3.25			
後・AVE	8.00				6.75			
伸・AVE	5.25				3.50			

同様に C チームは、被験者 2 名の事前の正解の平均が 3.0 点、事後の平均が 6.0 点で、正解数の伸びは 3.0 点となった。D チームは、被験者 2 名の事前の正解の平均が 3.5 点、事後の平均が 7.5 点で、正解数の伸びは 4.0 点となった。

事前の得点が最も高かったのは A チーム (4.0 点) で、事後の得点が最も高かったのも A チーム (9.5 点) である。事前と事後の差である伸びについては、最も高かったのはやはり A チーム (5.5 点) で、最も低かったのは C チーム (3.0 点) であった。

さらに、拡張 3D 教材群の使用と未使用に分けて集計してみると、拡張 3D 教材群を使用した 2 チーム (A・B) の事前の正解の平均は 2.75 点、事後の平均が 8.0 点で、正解数の伸びは 5.25 点となった。

また、拡張 3D 教材群を使用しない 2 チーム (C・D) の事前の正解の平均は 3.25 点、事後の平均が 6.75 点で、正解数の伸びは 3.50 点であった (表 8)。

したがって、拡張 3D 教材群を使用したチームは、事前の正解は少なかった (2.75 点) が、事後は拡張 3D 教材群を使用しないチーム以上に点数が伸びて (+5.25 点)、事後の点数 (8.00 点) は拡張 3D 教材群を使用しないチーム (6.75 点) を上回ったことになる。

次に、個々の被験者の伸びに着目してみると、被験者 A①は施工実験の前後で 6 点伸びている。また、被験者 A②・B①・B②の伸びが 5 点である。この 4 名は拡張 3D 教材群を使用している。一方、拡張 3D 教材群を使用しないケースでは、被験者 D②の伸びが 5 点であったが、被験者 C①・C②・D①の伸びは 3 点に留まった。すなわち、拡張 3D 教材群を使用した被験者の施工実験前後の正解数の伸び (+5.25

点)は、拡張 3D 教材群を使用しない被験者の施工実験前後伸び (+3.50 点)を明らかに上回った。

こうした結果から、施工実習にあたって拡張 3D 教材群を使用すれば、鉄筋組立施工の基礎知識の習得度も向上すると言いたいところだが、サンプル数 8 件と少ないところから、このデータだけで断定するのは難しいと考えている。

ところで、前述した鉄筋組立施工の所要時間の比較では、拡張 3D 教材群を使用すれば合計所要時間が 35%短縮できるなど、大幅な効果が見られた。表 8 によれば、拡張 3D 教材群を使用したチームの方が、事前の基礎知識の正解数が低かった (2.75 点)にも関わらず、所要時間が短縮できたことになる。

### 3.4.2 被験者の図面読取力の調査について

各被験者が、「鉄筋モデル」の 2 次元課題図面から、鉄筋組立施工に必要な寸法などを正しく読み取れるかの調査のため、質問票 (全 11 問)に回答してもらった (図 50)。こちらも施工実験の前後で実施した。

また、被験者が課題図面に表示された構造物の完成形状を、正しく把握できたのかを確認するため、4 つの 3 次元完成モデル

ルから選択してもらった (図 51)。これは、施工実験の前だけに行った。

図面読取力調査では、C チームの 2 名が事前段階で全問正解であり、事後も全問正解を出した。D チームの 2 名も、事前段階で 9 問正解と 7 問正解であるが、事後はいずれも全問正解となっている。その結果、拡張 3D 教材群を使用しない 2 チーム (C・D) の事前の平均は 9.5 点、事後の平均は 11 点満点と、たいへんな高得点であった (表 9、図 52 下)。

【図面から以下の寸法を読取ってください】

◇鉄筋径は (1)ベース筋：\_\_\_\_、(2)柱主筋：\_\_\_\_、(3)帯筋：\_\_\_\_  
 (4)梁主筋：\_\_\_\_、(5)あばら筋：\_\_\_\_

◇あばら筋のピッチは何ミリですか (6)\_\_\_\_\_ [mm]

◇どの梁の上端筋が一番上にありますか (7)\_\_\_\_\_

◇柱の幅は何ミリですか (8)柱：\_\_\_\_\_ [mm]

◇梁の幅は何ミリですか (9)梁：\_\_\_\_\_ [mm]

◇柱筋のかぶり厚さは何ミリですか (10)\_\_\_\_\_ [mm]

◇D 通り FG1' 梁の上側のかぶり厚さ何ミリですか (11)\_\_\_\_\_ [mm]

図 50 図面読取力調査の質問票 (11 問)

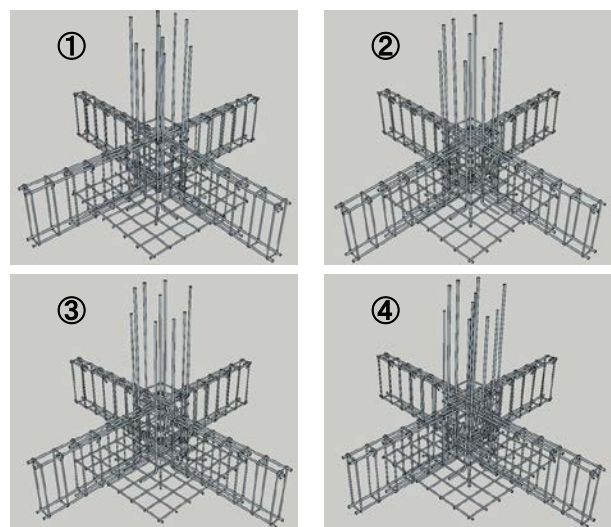


図 51 3 次元完成モデルの選択問題

一方、拡張 3D 教材群を使用する 2 チーム (A・B) でも、被験者 A②と B②の事前段階は 10 点であり、事後では被験者 A②と B①が 11 点満点となった (表 9、図 52 上)。

拡張 3D 教材群の使用と未使用の比較では、使用した 4 名は事前平均の 6.25 点から事後平均は 10.25 点へ向上した。未使用の 4 名は事前平均の 9.50 点から事後平均は 11.00 (満点) へ向上した (表 9)。伸びについては、C・D チームの事前得点がかかなり高いことから、評価はしないこととした。

なお、被験者 B①は事前の 2 点から事後の 11 点満点に向上したが、8 名中 6 名が事後は 11 点となるなど、事後は全員が高得点になった。

3 次元完成モデルの選択問題 (図 51) については、地中梁の 1 方向は天端レベルに 100mm の段差がある。また、直行方向の地中梁は水平方向に 50mm 偏芯している。この部分は、断面図と平面図から読取可能だが、正解は被験者 B②と C②の 2 名だけだった。いずれも事前の図面読取力の得点が 10 点と 11 点であり、読取力

が元々高かったといえる。ところが、同様に事前の得点が 10 点と 11 点の被験者 A ②と C①は、この 4 択問題では誤答となった (表 9 下段)。

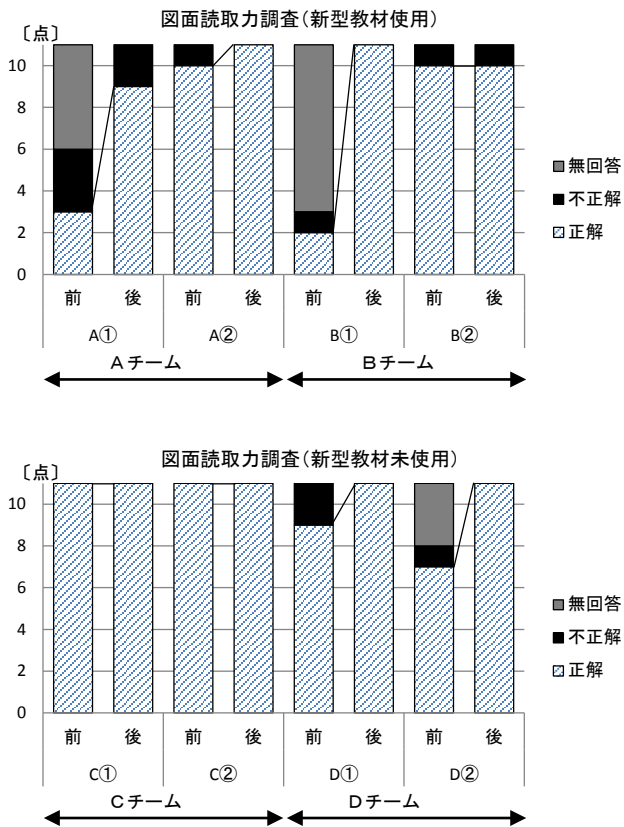


図 52 図面読取力調査の結果

表 9 図面読取力調査における正解数の集計

メンバー	A①	A②	B①	B②	C①	C②	D①	D②
前・正解	3	10	2	10	11	11	9	7
後・正解	9	11	11	10	11	11	11	11
伸び	6	1	9	0	0	0	2	4
チーム	Aチーム(使用)		Bチーム(使用)		Cチーム(未使用)		Dチーム(未使用)	
前・AVE	6.5		6.0		11.0		8.0	
後・AVE	10.0		10.5		11.0		11.0	
伸・AVE	3.5		4.5		0.0		3.0	
ケース	新型教材群・使用				新型教材群・未使用			
前・AVE	6.25				9.50			
後・AVE	10.25				11.00			
伸・AVE	4.00				1.50			
3D:4択	③	③	①	④	③	④	③	③
正誤	誤	誤	誤	【正】	誤	【正】	誤	誤



今回の各チームのペアリングは、あらかじめ基礎知識や図面読取力の調査を行った上で決定したものではない。したがって、チーム毎にある程度の能力差が存在する。結果的に、図面読取力においては拡張 3D 教材群を使用しないチームの側が若干優位な状況であったことになる。

## 5 節 拡張 3D 教材群の使用状況について

今回の施工実験に使用した拡張 3D 教材群の使い勝手等について、施工実験終了後に 8 人の被験者にヒアリングを行った。以下にその要旨を記す。

①紙に印刷した 2 次元図面は、構造物の完成状態がイメージしにくく、情報の読み取りに苦心した。また、施工手順も読み取れなかった。しかし、詳細な寸法を確認する方法は他に無く、何度も参照した。

②タブレット内の 3DCG による施工手順図は、最もわかり易く、しかも使い易かった。組立施工中に各部材の納まりを拡大・回転して確認できたり、次の工程の作業内容を確認するなど、頻繁に参照した。

③タブレット内の施工手順動画は、組立施工のはじめに、作業全体の流れを把握するのに使用した。ただし、組立施工の途中で参照することは無かった。

④タブレット内の AR 重畳表示アプリは、組立施工のはじめに 2 次元図面が示す構造物の完成状態を確認するために使用した。構造物の立体イメージが把握できたので、2 次元図面の読み取りもスムーズにできた。ただし、組立作業の途中ではあまり使わなかった。

このように、初心者が各種の教材をどのように使用したかについて聞き取ることができた。概ね事前に想定した通りの内容であった。

したがって、種類の異なる教材を組み合わせる拡張 3D 教材群として提供し、従来の 2 次元課題図面と併用することは、初心者を対象とする施工実習においても十分に効果的であることが確認できた。

## 6 節 「図面の読み取り」のスキルについて

建築躯体工事に関わる技能者や技術者にとって、「図面の読み取り」のスキルは重要である。教育訓練の指導者によっては、失敗とその是正を繰り返すことによって、技能や技術がしっかりと身に付くとの考えもある。また、現場経験を積んだ結果、ようやく図面が読み取れるようになるとの考えもある。

従来の徒弟制度の下では、若い職人に対して「見て覚えろ」と教える場合が多かった。そのため、間違った手順や、性能確保上やってはならない施工方法を覚えて

しまう可能性もあった。親方自身も同様に「見て覚えろ」といわれてきたため、構造・品質・工程の観点から、合理的な手順や望ましい施工方法を知らない場合も少なくなかったと考える。著者らは、これからの技能や技術の教育・訓練は、「見て覚えろ」からの脱却が不可欠であるとの基本的立場に立っている。

ところで、「図面が読み取れる」とは、2次元図面をきっかけにして、図面には表現されていない情報（過去の経験や、習得した知識・技能・技術など）を、引き出すことであると考え。したがって、初心者が2次元図面を凝視したところで、何かを引き出すことはできない。

今回制作した拡張3D教材群を用いると、初心者でもはじめから合理的な（手戻りや手直しがなく、結果的に早く完了する無駄の無い）施工手順を実施できる。また、2次元図面には表現されていない部材の詳細な納まりなども、拡張3D教材群によって手元で確認できる。その結果、無駄なく正確に構造物を完成させられる。

こうして出来上がった現物と、これを表現した2次元図面とを見比べることにより、見えない部分までを2次元図面から読み取るスキルを、早期に習得できると考えている。

このように、「図面の読み取り」という重要なスキルについても、経験の積み重ねだけではなく、肉眼では見えないものを可視化する拡張3D教材群の使用によって、初心者に対して短期間に効率的に習得させ得る点に価値があると考え。



## 第4章 ロケーションベース型 AR 方式による実習教材開発

### 1 節 マーカー型（画像認識型）AR 教材の課題

これまでに制作した「AR 教材」の仕組みは、あらかじめ鉄筋等の 3D 完成モデルを BIM (Building Information Modeling) ソフトなどで制作し、さらに 2 次元図面の一部をマーカー画像（目印）に設定して、その 1 対をクラウド・サーバーに登録しておく方式である。これは、「マーカー型（画像認識型）AR 方式」と呼ばれる。

利用者が 2 次元図面の上に、AR 表示用のアプリをインストールしたスマートフォンやタブレットをかざすと、内臓カメラがマーカー画像を認識して、これに関連付けた 3D 完成モデルなどをクラウド・サーバーから読み出して表示する。

この方式の課題は、マーカー画像と携帯端末（スマートフォンやタブレット）の距離を大きくは取れない点にある。すなわち、マーカー画像と携帯端末が離れすぎると、携帯端末のカメラに映るマーカー画像のサイズが小さくなり過ぎて、マーカー画像として認識できなくなる。その結果、携帯端末はマーカー画像に関連付けておいた 3D 完成モデルなどのデジタル・コンテンツを、クラウド・サーバーから読み出すことが出来ない。

この課題の解決策として、AR 活用方式の主要な 2 種類の内のもう一方である「ロケーションベース型（位置情報型）AR 方式」を利用すれば良いと考えた。これは、GPS（全地球測位システム）などを利用して、携帯端末の位置情報を取得し、これに関連付けられたデジタル・コンテンツを重畳表示する仕組みであり、マーカー画像は必要ない。したがって、携帯端末とマーカー画像の距離に起因するマーカー型 AR 方式の課題を解決できる。

例えば、写真 13 のように RC 造の柱・梁で構成するラーメン構造の一部を施工実習モデルとした場合、あらかじめ 3D 完成モデルを制作しておけば、図 53 のように 2 次元図面の上にかざしたタブレット端末等に、3D 完成モデルを重畳表示することができる。

この教材は、机上で施工手順や部材加工の検討をする段階ではたいへん使い勝手が良い。

ところが、実大の構造物を組立てる施工実習を開始して、組立て途中の構造物に重なるように 3D 完成モデルを



写真 13 RC 造柱・梁モデルの施工実習

重畳表示しようとする、背景の構造物（施工中）が携帯端末のカメラの画角に納まるまで後退する必要がある、4～5mの離隔距離になる。その位置で携帯端末が認識できるマーカー画像を想定すると、かなりの大きさが必要となって現実的ではない。

そこで、マーカー画像を必要としないロケーションベース型のAR方式を活用して、実大の施工実習を開始した場合にも利用できるAR教材の開発を進める。

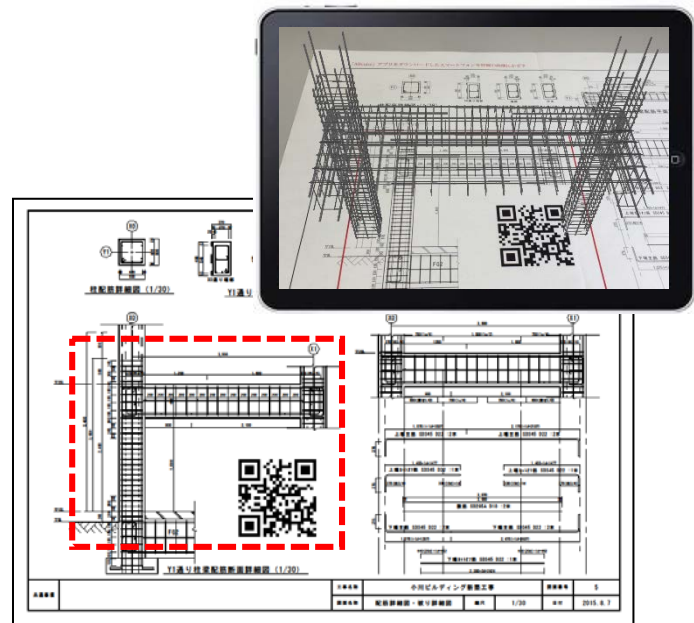


図 53 マーカー型によるAR教材

## 2 節 ロケーションベース型（位置情報型）AR 表示の仕組み

ロケーションベース型AR方式を活用して、マーカー画像無しで3次元配筋図をスマートフォンやタブレットに重畳表示するために、「Wikitude SDK Pro」<sup>注17)</sup>というソフトウェアを使用した。これは、2015年10月から国内で発売されたものである。

Wikitude SDK Proで制作したアプリをスマートフォンやタブレットなどの携帯端末にインストールすると、GPSを利用して緯度・経度・高度のデータを取得し、携帯端末自身の位置を3次元で認識する。そして、携帯端末の位置の近傍に配置されたデジタル・コンテンツを、現実の背景に重ね合わせて重畳表示することができるものである。

最近の多くの携帯端末には、「A-GPS」（アシスト型GPS）と呼ばれる仕組みが導入されており、通信回線の基地局からの電波を補助的に利用して、GPSからの位置情報を補正する機能を持っている。これにより、市街地であれば5～10m程度以内の誤差で携帯端末の現在位置を把握できるといわれている。

Wikitude SDK Proの最大の特長は、HTML/JavaScript/CSSなどのWeb標準技術を使用してARアプリを開発できる点にある。ARアプリの開発は、これまでは専門知識と特殊な環境が必要とされたが、Wikitude SDK Proによって、Web標準技術でのアプリ開発が可能になり、ARアプリ開発のハードルが下がったといわれる。

ただし、これまでのマーカー型AR方式においては、マーカー画像とデジタル・コンテンツの1対をクラウド・サーバーに登録するだけの操作により、ノンプログ

ラミングで AR 教材の追加や変更が可能であったが、Wikitude SDK Pro を使用したロケーションベース型 AR 方式では、少なくとも Web 標準技術の理解が必要になる。

なお、ロケーションベース型 AR 方式においても、重畳表示するデジタル・コンテンツのデータをクラウド・サーバーに保存する方法と、アプリ自体に組み込む方法があり、今回は表示するモデル数が限られることから後者の方法とした。

### 3 節 ロケーションベース型 AR アプリの開発手順

#### 4.3.1 3D 完成モデルの制作

ロケーションベース型 AR 方式であっても、マーカー型 AR 方式であっても、あらかじめ重畳表示の対象となるデジタル・コンテンツの制作が必要である。今回は、鉄筋の 3D 完成モデルがそれに当たる。

鉄筋の 3D 完成モデルの制作は、これまでは SketchUP Pro や ArchiCAD を使用して描画する方法で行ってきた。具体的には、鉄筋を 1 本ずつ入力していき、3D 完成モデルを制作した。

この他に、一貫構造計算ソフトの結果データから、鉄筋の情報を抽出して、数次の変換を経て ArchiCAD に取り込み、手作業での部材入力操作を省略して 3D 完成モデルを制作する方法を見出した。

この方法によれば、建物 1 棟分の 3D 完成モデルであっても、かなり短時間に制作できる (図 54)。今回は、一貫構造計算ソフト「Super Build/SS3」<sup>注 18)</sup> のデータを、構造図作成ソフトの「SIRCAD」<sup>注 19)</sup> に読み込み、さらに BIM ソフトの ArchiCAD に読み込む方法で行った。

また、一貫構造計算ソフトの結果データから、鉄筋の情報を抽出する際に、階数・通り・スパンなど、範囲を指定できることから、建物 1 棟全部ではなく、一部分の配筋図を抽出して 3D 完成モデルを制作することも出来る (図 55)。

いずれの場合においても、BIM ソフト (今回は ArchiCAD) が必要である。それは、後工程のロケーションベース型 AR アプリ開発ソフト (今回は Wikitude SDK Pro) に転送する際に、対応できるデータ形式には制限がある。特に ArchiCAD では、データの保存形式が 30 種程度から選択できるため、ロケーションベース型 AR アプリ開発ソフトに転送可能なデータ形式に対応できるためである。

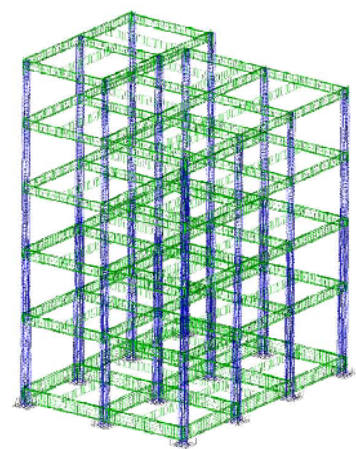


図 54 1 棟分の 3D 配筋図

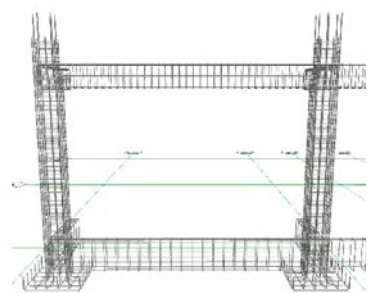


図 55 1 部分の 3D 配筋図

#### 4.3.2 3D 完成モデルをロケーションベース型 AR アプリ開発ソフトに組み込む

AR 技術によって重畳表示ができるデジタル・コンテンツには、3D モデル・動画・静止画像・テキスト・音声などがある。この内、3D モデルのデータについては、一定の前処理が必要になる。

今回の場合には、使用したロケーションベース型 AR アプリ開発ソフトである Wikitude 専用の「Wikitude 3D Encoder」を使用した。3D モデリングソフトでは一般的な[.fbx]形式から[.wt3]形式に変換する前処理を行った上で、ロケーションベース型 AR アプリに組み込む手順とした。この前処理を行うと、3D 配筋図のデータが圧縮されて、ファイルサイズ小さくなる。

前述したように、今回使用したロケーションベース型 AR アプリ開発ソフトは、Web 標準技術 (HTML/JavaScript/CSS など) を使用しており、従来よりも簡易になっているとはいえ、図 56 のようなソースコードで記述されている。今回は、この部分を情報処理の専門家に委ねることとした。

```
var World = {
  loaded: false,

  init: function initFn() {
    this.createOverlays();
  },

  createOverlays: function createOverlaysFn() {
    this.tracker = new AR.ClientTracker("assets/magazine.wtc", {
      onLoad: this.worldLoaded
    });

    var imgOne = new AR.ImageResource("assets/imageOne.png");
    var overlayOne = new AR.ImageDrawable(imgOne, 1, {
      offsetX: -0.15,
      offsetY: 0
    });
  }
};
```

図 56 AR アプリ開発ソフトのソースコード

なお、実大の施工実習の教材として使用するため、建物 1 棟分の「全体モデル (図 54)」と、実大の施工実習の対象とする「部分モデル (図 55)」の 2 ケースを、開発するロケーションベース型 AR アプリに組み込むこととした。

#### 4.3.3 3D 完成モデルを配置する座標の設定

ロケーションベース型 AR 方式では、重畳表示するデジタル・コンテンツに対して、配置する位置の緯度・経度・高度のデータを設定する。今回は、職業大 (東京都小平市小川西町) のキャンパス内の位置データを設定し、これを「固定位置」とした。部分モデルも全体モデルも同様に設定した。

したがって、利用者の携帯端末 (スマートフォンやタブレット) が、小平キャンパス内の固定位置の近傍に来れば、選択した部分モデルか全体モデル



図 57 開発した AR アプリの選択画面



の 3D 配筋図が重畳表示されるが、小平キャンパスに来なければ携帯端末の画面に重畳表示はできないことになる。

小平キャンパスから遠く離れた教育・訓練施設においても、鉄筋の 3D 完成モデルをマーカー画像なしで重畳表示するために、「現在位置」というオプション機能を追加した。これは、携帯端末が取得した位置情報に対して、一定のオフセット距離を設定して重畳表示を行うもので、携帯端末が地球上のどの位置にあっても、3D 配筋図の重畳表示が可能になる。

以上のように、部分モデルと全体モデル、固定位置と現在位置を選択可能としたが、スマートフォンやタブレットの画面に複数のモデルを同時に表示するのは実用的ではなく、図 57 のようにアプリの初期画面で選択するように設計した。

#### 4.3.4 初期画面の表示状態の調整と手動調整機能の実装

ロケーションベース型 AR アプリの開発を進める段階で、実際にアプリを起動してみると、図 58 のような表示になった。これは、「部分モデル」の「固定位置」を選択した場合である。

小平キャンパスの中庭に固定した鉄筋の部分モデルの 3D 配筋図が、マーカー画像なしで現実の背景に重畳表示されている。ただし、初期状態としては倍率が大きすぎる。

そこで、初期の表示倍率の数値を修正して、図 59 のように部分モデルのほぼ全体が携帯端末の画面内に納まるように調整した。

ロケーションベース型 AR アプリでは、携帯端末は GPS から取得した自身の位置と、近傍に配置されたデジタル・コンテンツの座標を計算して重畳表示を行っている。したがって、デジタル・コンテンツが配置された座標に携帯端末が近づけば重畳表示が拡大し、回り込めば重畳表示が回転する仕組みである。ところが、これはかなり緩やかな動きであり、実用上は問題有りと考えた。

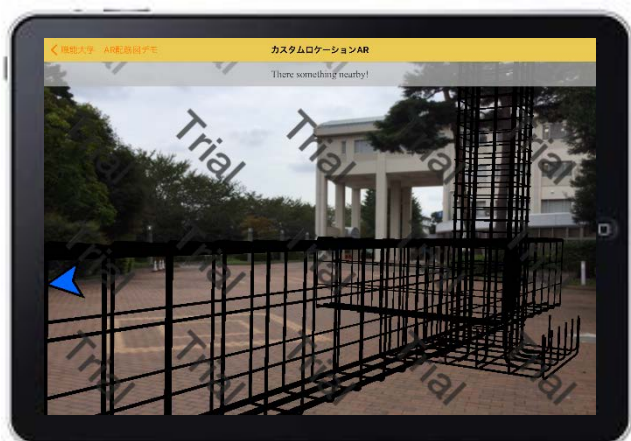


図 58 倍率の調整前の画面表示

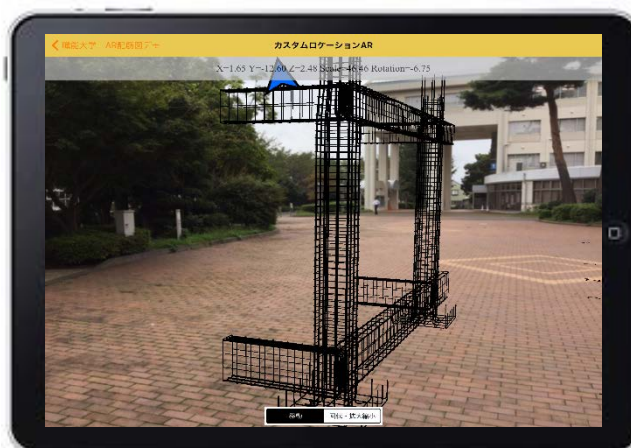


図 59 初期倍率と手動調整機能の実装

すなわち、実大の施工実習の現場においては、画面に指でタッチして拡大・縮小・回転や水平方向・上下方向の移動ができると一層便利である。そこで、こうした機能を追加することとしたが、誤動作を防止するために、移動と、拡大・縮小・回転とを分離して、選択メニューとして実装した（図 59、画面下側のボタン）。

#### 4 節 開発したロケーションベース型 AR アプリの特長

今回開発したロケーションベース型 AR アプリの最大の特徴は、マーカー画像が不要な点にある。そのため、スマートフォンやタブレットさえあれば、鉄筋の 3D 完成モデルをいつでも重畳表示できる。また、固定位置の他に、携帯端末の現在位置にも対応しているので、全国どこでも重畳表示が可能である。

さらに、画面に触れることで平行移動と拡大・縮小・回転ができるため、鉄筋の納まりなどの詳細を携帯端末の画面上で確認できる。

図 60 は、建物 1 棟全体の配筋図を、固定位置（小平キャンパス内の建設地）に表示した例である。また、図 61 は拡大表示の例だが、3D 配筋図の任意の部分詳細を、画面上で自在に確認・検討できる。工事の着手前にこのような表示が可能となれば、施工実習用の教育・訓練教材を超えて、施工現場における配筋ミスの予防や、施工管理、配筋検査などの支援ツールとしても活用の可能性があると考えている。

なお、今回開発したロケーションベース型 AR アプリでは、インストール・データの中に配筋図のデータも組み込んであるため、その都度クラウド・サーバーからデジタル・コンテンツのデータをダウンロードする場合に比べて、表示の速度がかなり速くなっている。

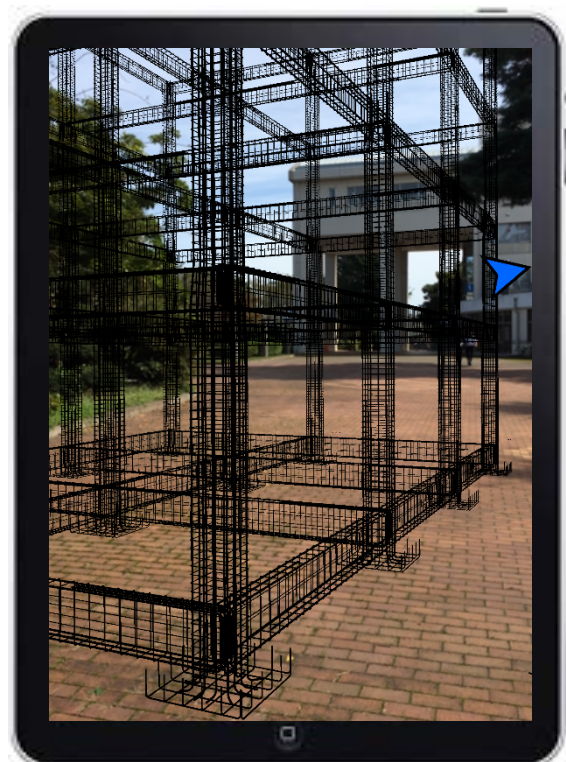


図 60 建物全体モデル・固定位置の表示

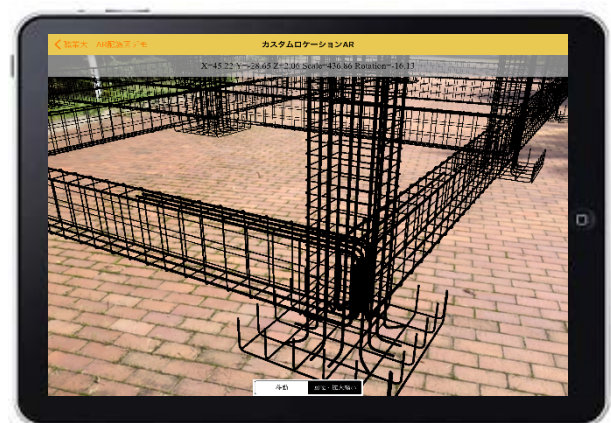


図 61 建物全体モデルの拡大表示



## 5 節 アプリ集約サイトへの登録

### 4.5.1 職業大 AR 配筋図アプリ

実大の施工実習を開始してから活用できる AR 教材として、ロケーションベース型の AR アプリを開発したが、AR アプリ開発ソフトの Wikitude SDK Pro は、iOS または Android OS 用のアプリを開発・制作するものである。

したがって、完成したアプリを教育・訓練の受講者が自身の携帯端末に自由にインストールするためには、携帯端末用のアプリ集約サイト (AppStore や GooglePlay ストア) などに登録する必要がある。そのためには、開発したアプリに対して登録用の改修を行って、登録申請の上で、サイト側の審査に合格する必要がある。

今回の 3D 配筋図を表示するアプリは、「職業大 AR 配筋図アプリ」と名付けて、まずは AppStore に登録した (図 62)。

このアプリをダウンロードして、実習場で打設済の基礎梁の上に「部分モデル」を重畳表示すると図 63 のようになる。

基礎梁の型枠に重なった部分は、コンクリート内に打ち込まれた配筋であり、1 階床から上部の柱及び 2 階梁は、これから配筋施工を行う部分である。

この際、携帯端末の画面にタッチして平行移動と拡大・縮小・回転ができる機能を使って、現実の背景の上に重なるように微調整ができる機能が役立っている。

また、打設した基礎梁と携帯端末との相対位置を変えるために、端末を持って移動する方法では、なかなか思い通りに調整できないことがわかった。



図 62 職業大 AR 配筋図アプリの説明画面

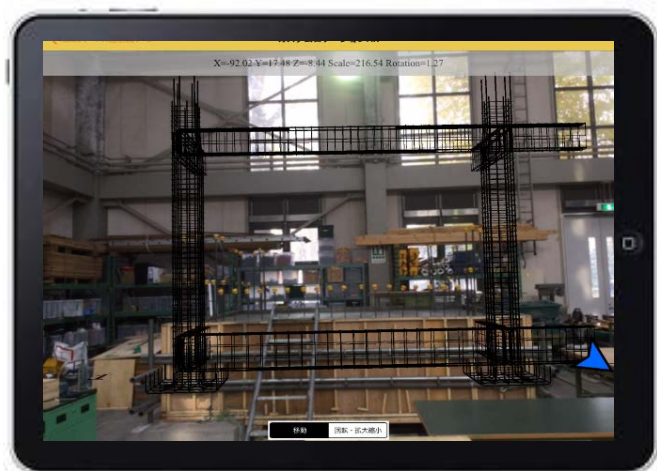


図 63 ロケーションベース型 AR アプリの表示



#### 4.5.2 職業大 AR 鉄骨図アプリ

ロケーションベース型の AR アプリの第 2 弾として、「職業大 AR 鉄骨図アプリ」の開発を行った(図 64)。

アプリの仕組みは基本的に「職業大 AR 配筋図アプリ」と同様である。携帯端末の位置情報を取得して、その付近に紐付けた鉄骨図の 3DCG を重畳表示するものである。

最初に開発した配筋図アプリでは、建物全体の配筋と、建物の部分配筋(1 層 1 列)の 2 モデルを選択する設定としたが、鉄骨図アプリでは建物全体の 1 モデルとした。

また、間柱やブレースなどの部材を省略して、柱・梁などの主要な骨組の建方工事が完了した状態のイメージを把握するコンテンツとした。

さらに、教材としての利用を前提とするため、絶対位置の選択肢を省略し、利用する携帯端末の位置情報に連動して重畳表示するシンプルな構成とした。

こうして制作した「職業大 AR 鉄骨図アプリ」も、アプリ集約サイトの AppStore に登録した。

最近、AR 技術の普及が拡大し、AR 関連のアプリ開発も盛んになっている。その結果、単なる重畳表示を行うだけの機能では、アプリの登録審査に通らない場合があるようだが、「職業大 AR 鉄骨図アプリ」については登録審査を通過して、誰でも手軽に自身の携帯端末にインストールして利用可能な状態となっている。



図 64 職業大 AR 鉄骨図アプリの説明画面

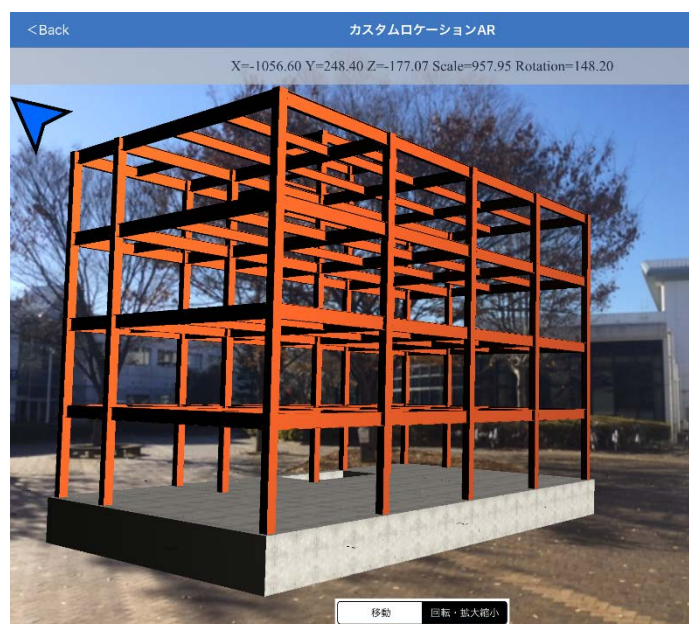


図 65 職業大 AR 鉄骨図アプリの表示画面

## 6 節 ロケーションベース型 AR アプリの活用方法

ロケーションベース型 AR アプリの開発目的は、実習場において実大の施工実習をはじめると、画像マーカを用いるマーカ型 AR 方式では使い勝手が悪いために、これに対応することになった。

したがって、実大の施工実習の最中に、施工途中の構造物の上に 3DCG を重畳表示して確認するという活用方法を想定している。

図 66 は、既に打設した基礎の上に、部分モデルの配筋図を重畳表示した状態である。1 階柱の配筋を始めているが、今後施工する 2 階梁の配筋状態などを携帯端末で確認できる。

さらに図 67 は、配筋済の 1 階柱の柱脚付

近に、ロケーションベース型 AR アプリによって 3DCG を重畳表示したものである。現状では、実配筋に 3DCG を完全に重ね合わせて、配筋ミスの確認を行うことまでは出来ないが、主筋の本数などの確認は可能である。また、鉄筋径の違いを着色するなどの方法によって、施工途中の活用性を向上させるようなアプリの改善を実施する計画である。

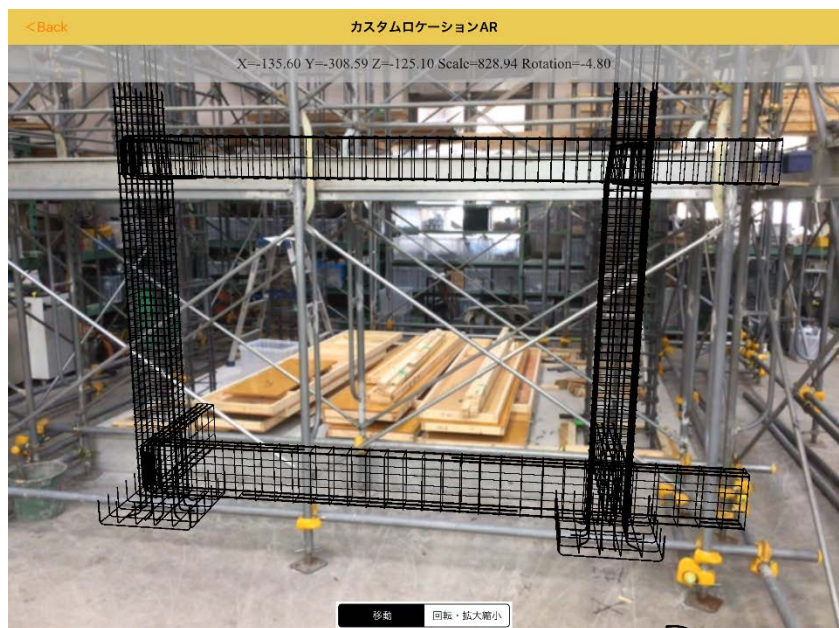


図 66 施工中の構造物に 3DCG を重畳表示する AR アプリ

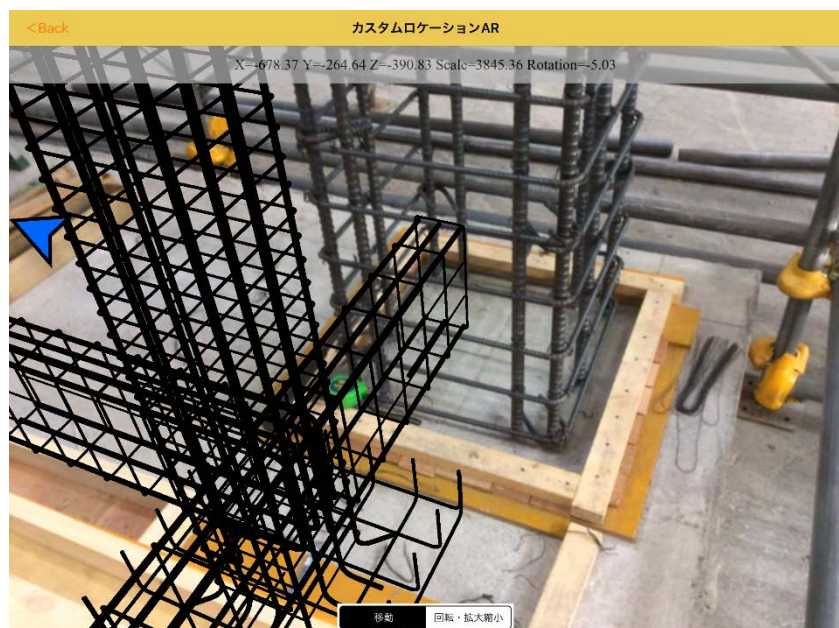


図 67 実配筋の近傍に 3DCG を重畳表示する AR アプリ

このように、ロケーションベース型 AR 方式は、マーカー型 AR 方式に比べて、重畳表示の目印となるマーカー画像が不要という大きな利点を有している。

一方で、現状では単独のアプリとして開発しなければならないという課題を有している。すなわち、重畳表示の対象となる 3DCAD のデータを、アプリの中に書き込む必要がある。したがって、3DCAD データの書き換えが簡単ではない。

教育・訓練の場面では、標準的な建築物を 1～2 モデル用意すれば足りるが、建築生産の現場では毎回異なる建物を施工するため、配筋や鉄骨の 3DCAD データも毎回違うものに置き換える必要がある。この点に課題があると考えている。

また、ロケーションベース型 AR アプリを利用するためには、App Store や Google Play ストアといったアプリ集約サイトに登録する必要がある。最近では、登録審査の期間は概ね数日間のようなのだが、この点においても Web ベースの管理画面から重畳表示コンテンツの変更・追加・削除が簡単に実施できるマーカー型 AR 方式 (ARcube) の方が現状では優れている。

いずれにしても、ロケーションベース型 AR 方式およびマーカー型 AR 方式の特徴を活かして、双方を併用することによって、受講者にとってわかり易い施工実習教材を制作・運用していく計画である。

## 第5章 マーカー型 AR 方式による施工手順図の開発

### 1 節 AR 施工手順図の仕組み

マーカー型の AR 方式は、あらかじめ目印となるマーカー画像を登録しておき、携帯端末のカメラが捉えた画像がこのマーカー画像と一致したときには、やはりあらかじめ登録した CG や動画などのコンテンツをクラウド・サーバーから読み出して、背景の画像に重畳表示する仕組みである。

したがって、ひとつの画像マーカーに対してひとつのコンテンツを紐付ける方法である。すなわち、多数のコンテンツを表示するためには、それと同じ数の画像マーカーを用意して、携帯端末のカメラをかざす画像を変更する必要がある。

そこで、ひとつの画像マーカーに複数のコンテンツが紐付けられるアプリを開発した。最初は画像マーカー（図 68）からメニュー画面（図 69）を呼出して、表示するコンテンツを選択するが、その後は重畳表示の画面上の左右のボタン（◀▶）で、コンテンツを前後に移動できる（図 70～81）。

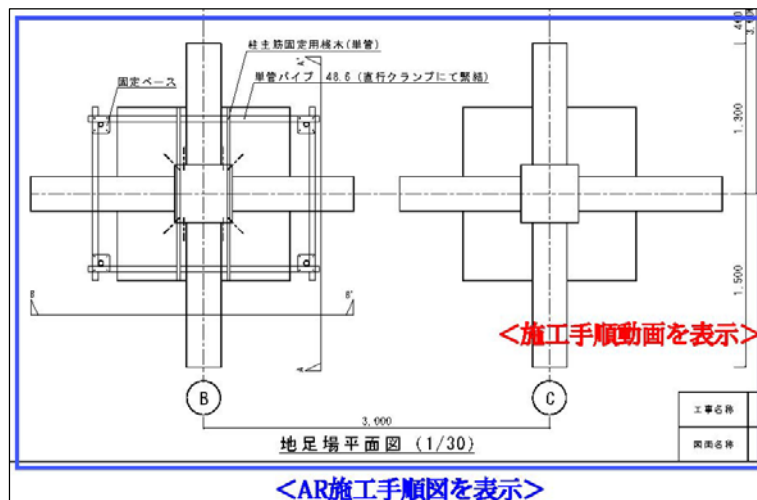


図 68 AR 施工手順図用の画像マーカー（1 枚）

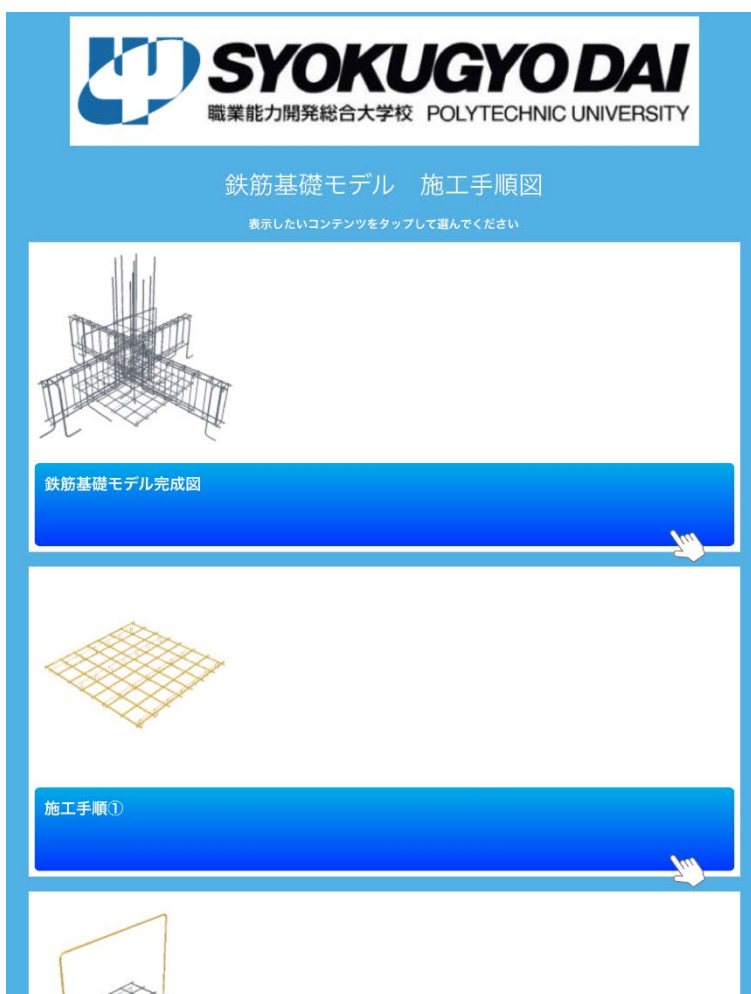


図 69 AR 施工手順図のメニュー画面（12 コンテンツ）



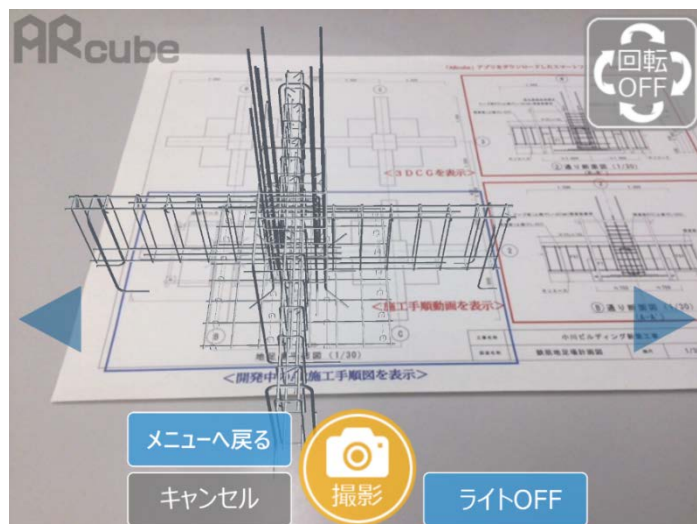


図 70 組立完了状態



図 71 施工手順①



図 72 施工手順②

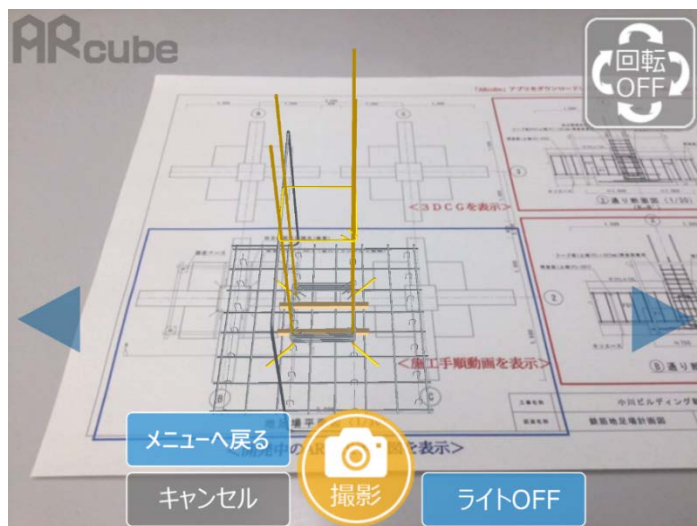


図 73 施工手順③

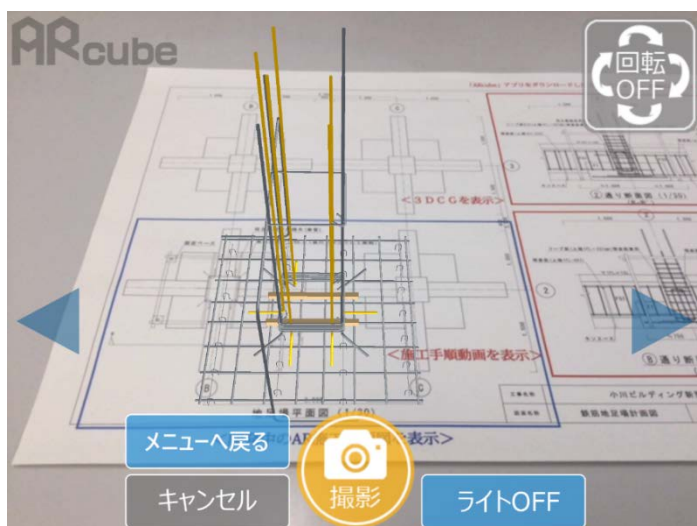


図 74 施工手順④

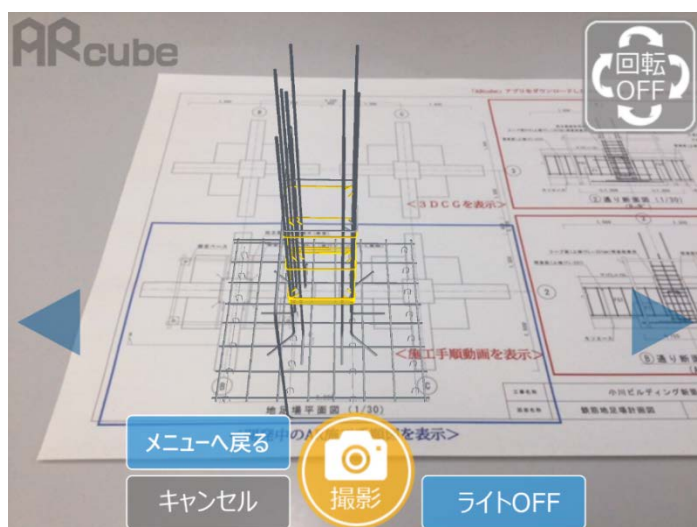


図 75 施工手順⑤



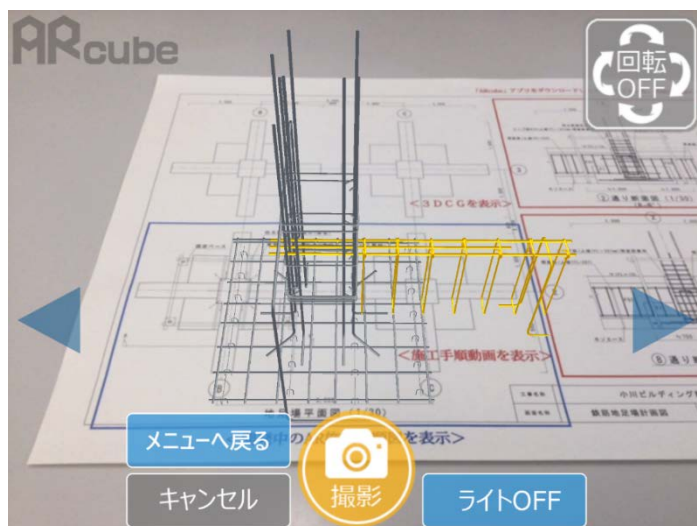


図 76 施工手順⑥

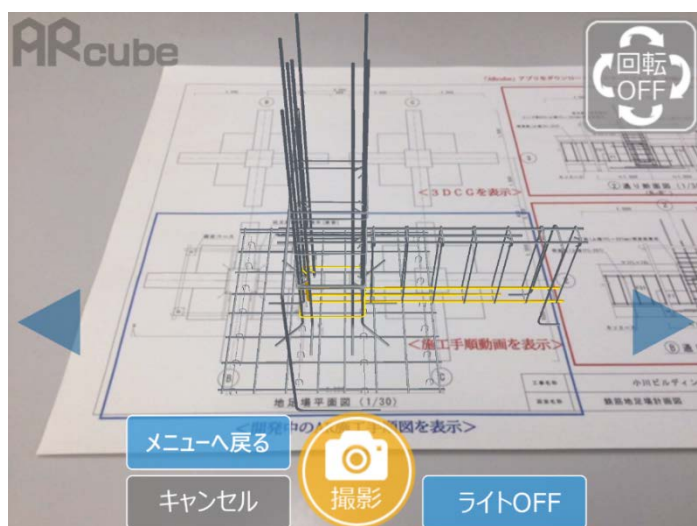


図 77 施工手順⑦

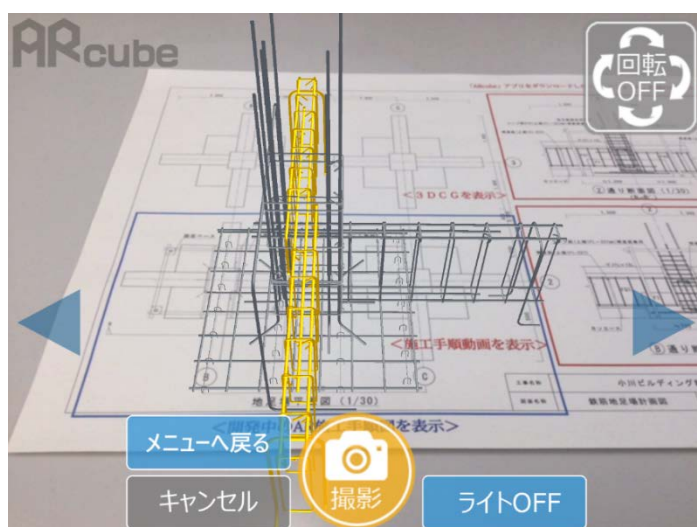


図 78 施工手順⑧

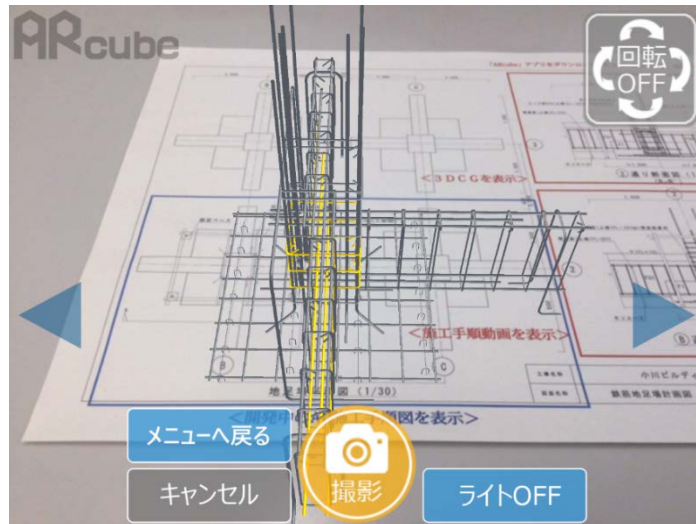


図 79 施工手順⑨

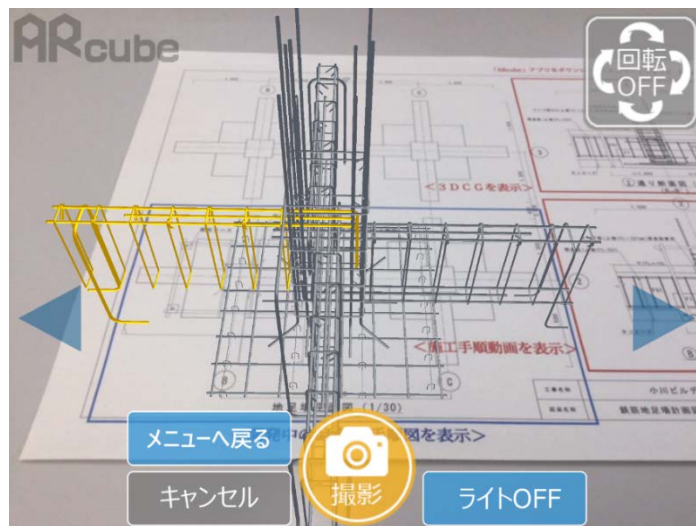


図 80 施工手順⑩

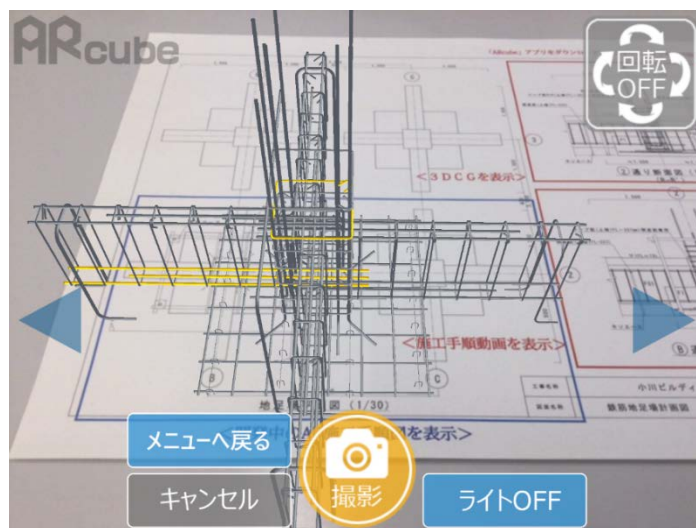


図 81 施工手順⑪

重畳表示する施工手順図の各画像を、左右のボタンで移動する際に、クラウド・サーバーからその都度読み出す方法を標準設定とした。また、あらかじめ各手順の表示コンテンツを読み出しておき、通信回線がオフラインの状態でも、施工手順間の画像の移動ができるような設定も可能にする計画である。

図 70～図 81 の例では、ひとつの画像マーカー（図 68）に 12 段階の 3D コンテンツが紐付けられたことになり、一連の施工手順図としての利用が可能である。

## 2 節 AR 施工手順図の「作業指示書」への応用

このように、ひとつの画像マーカーから一連の施工手順図を読み出すことが可能になると、いわゆる「作業指示書」として利用できる可能性がある。

従来の「作業指示書」は、2 次元図面や文字で書かれた書類であった。これらは経験の浅い技能工にとっても難解である場合が少なくない。一方、AR を利用した施工手順図は、現場で実施すべき内容を作業段階毎に 3D コンテンツで示すことができる。

したがって、経験の浅い技能工に対して、合理的な作業手順を示すことができ、熟練工が実施するのと同様の手順で現場の施工作業を進めることが可能になる。

このように、AR を利用した施工手順図を「作業指示書」として利用する場合には、写真 14 や写真 15 のようなウェアラブル端末での活用が理想である。ウェアラブル端末は、一般的な携帯端末のように手で保持する必要がないので、両手がフリーになるのが特長である。

その結果、視界に映る「作業指示書」で手順を確認しながら、両手で従来通りに加工・組立作業が実施できる。



写真 14 ゴーグル型ウェアラブル端末<sup>注 20)</sup>



写真 15 ヘルメット型ウェアラブル端末<sup>注 21)</sup>

## 第6章 開発した拡張 3D 教材群の職業訓練指導員による評価

### 1 節 アンケートの概要

開発した拡張 3D 教材群について、現役の職業訓練指導員を対象にして、アンケートによる評価を行った。対象者は、職業訓練指導員の経験年数が 2 年程度の新人から、20 年を超えるベテランまでが含まれる。また、RC 造の施工実習を実際に実施している指導員と、現状では実施していない指導員が含まれる。

表 10 に示すアンケート票を用いたが、受講者の視点と指導者の視点に立って回答してもらった。質問の内容は、受講者の視点と指導者の視点では異なる内容としている。それぞれの質問に対しては、5 段階の選択肢を用意した。

評価の対象としたのは、①AR 組立完成図（図 82）、②AR 施工手順動画（図 83）、③AR 施工手順図（図 84）、④BIMx 施工段階図（図 85）、⑤PDF 施工段階図（図 86）、⑥PDF 課題図面（図 87）の 6 種類の教材である。

①AR 組立完成図（図 82）は、従来の施工実習において主要な教材であった 2 次元図面に対して、その一部をマーカー画像として登録し、これに携帯端末をかざすと、組立が完成した状態の構造物を 3 次元で表示する教材である。初心者の場合、

表 10 指導員へのアンケート票

教材種別		質問内容	教材種別		質問内容
受講者の視点	AR 組立完成図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	指導者の視点	AR 組立完成図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			指導者にとって説明し易い教材である
		受講者が鉄筋の細部の組みを確認できる			施工実習の進行に役立つ教材である
		受講者にとってわかり易い実習教材である			鉄筋施工実習を担当する場合には使用する
	AR 施工手順動画	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる		AR 施工手順動画	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			指導者にとって説明し易い教材である
		受講者が鉄筋の細部の組みを確認できる			施工実習の進行に役立つ教材である
		受講者にとってわかり易い実習教材である			鉄筋施工実習を担当する場合には使用する
	AR 施工手順図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる		AR 施工手順図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			指導者にとって説明し易い教材である
		受講者が鉄筋の細部の組みを確認できる			施工実習の進行に役立つ教材である
		受講者にとってわかり易い実習教材である			鉄筋施工実習を担当する場合には使用する
	BIMx 施工段階図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる		BIMx 施工段階図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			指導者にとって説明し易い教材である
		受講者が鉄筋の細部の組みを確認できる			施工実習の進行に役立つ教材である
		受講者にとってわかり易い実習教材である			鉄筋施工実習を担当する場合には使用する
	PDF 施工段階図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる		PDF 施工段階図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			指導者にとって説明し易い教材である
		受講者が鉄筋の細部の組みを確認できる			施工実習の進行に役立つ教材である
		受講者にとってわかり易い実習教材である			鉄筋施工実習を担当する場合には使用する
	PDF 課題図面	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる		PDF 課題図面	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			指導者にとって説明し易い教材である
		受講者が鉄筋の細部の組みを確認できる			施工実習の進行に役立つ教材である
		受講者にとってわかり易い実習教材である			鉄筋施工実習を担当する場合には使用する



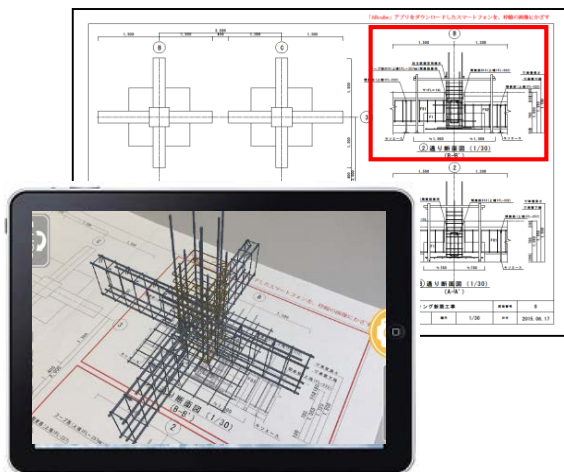


図 82 AR 組立完成図

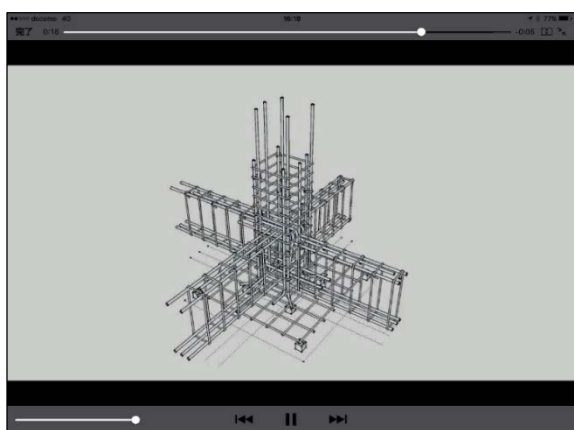


図 83 AR 施工手順動画



図 85 BIMx 施工段階図

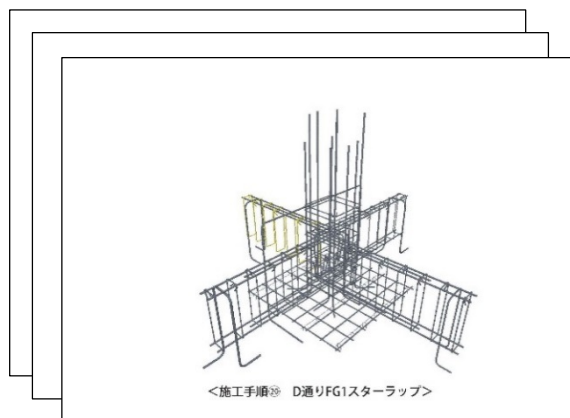


図 86 PDF 施工段階図



図 84 AR 施工手順図

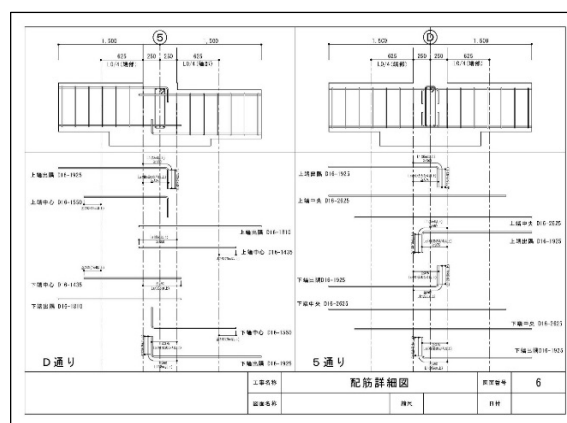


図 87 PDF 課題図面

2次元図面を見ても構造物が完成した状態をイメージすることが難しいため、携帯端末によって2次元図面に3DCGを重畳表示すると、初心者イメージづくりをサポートして、施工実習における技術・技能の習得を促進できると考えている。

この教材は、教室において施工実習の課題図面を示して、実施に部材を加工して組立てる構造物の説明を行う際に使用することを想定している。

②AR 施工手順動画（図 83）は、実物大の施工実習において構築する構造物の全ての部材を3DCADソフトに入力した後、合理的な組立手順を検討して各部材をレイヤーに分割し、施工手順図を制作する。これを連続的に表示することで、組立手順の流れを短時間に把握できる教材である。

この教材は、部材の組立作業に着手する前に、組立手順の全体概要を説明する際に使用することを想定している。動画の再生中に携帯端末には背景が映らないからいわゆるARではないが、マーカー画像を利用してクラウド・サーバーから動画データを読み出しながら再生する方式を採用している。

③AR 施工手順図（図 84）は、従来のマーカー型ARの表示方法を改善した改良版のマーカー型AR方式を活用している。従来型は1つの画像マーカーに対して1つのコンテンツ（3DCG・動画・写真等）を重畳表示するものであったが、改良型は1つの画像マーカーに対して複数のコンテンツを重畳表示できる。この結果、重畳表示した3DCGの画面上に左右の矢印を表示して、これをタップすると施工手順を1段階ずつ移動することができるようになった。個々の手順図は、拡大・回転・縮小が可能であり、部材の細部の納まりも確認できる。

この教材は、教室における部材の組立手順の説明に使用するほか、実際の組立作業を始めてから、受講者自身が部材の組立手順や部材相互の納まりを確認する際に使用することを想定している。

④BIMx 施工段階図（図 85）は、施工実習の対象となる構造物の全部材を入力して3DCGを制作し、さらに組立手順ごとにレイヤーに分割して施工手順図を制作したCADデータを、携帯端末用のビューソフトで表示するものである。ARではないため、携帯端末に背景は表示しない。ただし、画像マーカーとの距離や角度に連動した表示調整がないため、画面は安定している。欠点は、CADデータをクラウド・サーバーから読み出すことができず、あらかじめ受講者の携帯端末に各段階の施工手順図のCADデータを転送する必要がある。

この教材は、実際の組立作業を始めてから、受講者自身が部材相互の納まりなどを詳細に確認する際に使用することを想定している。

⑤PDF 施工段階図（図 86）は、3DCADの施工手順図を、一定の角度に固定してPDFのデータ形式で保存したものである。各施工段階において組立てる部材に着



色してあり、組立が終了した部材との区別を明確にしている。ただし CAD データではないので、画像の回転はできない。

この教材は、施工手順図全体を印刷して受講者に配布する場合や、プロジェクターに投影して説明する場合に使用することを想定している。

⑥PDF 課題図面（図 87）は、従来型の 2 次元の施工実習教材であり、実物大の施工実習の対象となる構造物の平面図・立面図・断面図等を 2 次元 CAD ソフトで描き、PDF のデータ形式で保存したものである。携帯端末の画面に重畳表示された 3D コンテンツからは、現状では詳細な寸法が読取れないため、施工実習の教材として 2 次元の課題図面は不可欠である。

この教材は、施工実習の受講者全員に印刷して配布することを想定している。受講者の携帯端末にデータを転送し、画面上で利用することもできるが、5～6inch 程度の画面サイズのスマートフォンでは、使い勝手が良くないと思われる。

## 2 節 アンケートの結果

アンケートは 14 名の職業訓練指導員に配布し、全員から回収できたが、一部の設問に空白の回答もあり、受講者の視点の各設問に対しては 10～11 名の回答、指導者の視点の各設問にたいしては、13～14 名の回答数となった。

各設問に対する選択肢は、そう思う【5 点】～【4 点】～普通【3 点】～【2 点】～そう思わない【1 点】の 5 選択肢としている。

### 6.2.1 受講者の視点に関するアンケート結果

受講者の視点に対する回答の集計を表 11 に示した。また、図 88 に、各教材に対する回答数の分布を示した。

①AR 組立完成図（図 82）に関して、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、そう思う【5 点】を 10 名が選択し、平均は 4.9 点であった。「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、普通【3 点】が最多の選択数（5 名）となったが、そう思わない【1 点】の選択数も 4 名となり、平均は 2.3 点であった。「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」については、【4 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 3.7 点であった。「受講者にとってわかり易い実習教材である」は、【4 点】が最多の選択数（5 名）であったが、そう思う【5 点】の選択数も 4 名であり、平均は 4.1 点であった。

以上から、①AR 組立完成図（図 82）については、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」についてかなり高評価であり、「受講者にとってわかり易い実習教材である」がそれに次ぐ高評価となった。

表 11 選択数の集計（受講者の視点）

教材種別		質問内容	回答人数					AVE
			5点	4点	3点	2点	1点	
受講者の視点	AR組立完成図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	10	1				4.9
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる		1	5	1	4	2.3
		受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる	2	5	3	1		3.7
		受講者にとってわかり易い実習教材である	4	5	1	1		4.1
	AR施工手順動画	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	7	2	1			4.6
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる	3	7				4.3
		受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる	1	2	4	3		3.1
		受講者にとってわかり易い実習教材である	5	2	3			4.2
	AR施工手順図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	7	3	1			4.5
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる	8	2		1		4.5
		受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる	3	7		1		4.1
		受講者にとってわかり易い実習教材である	5	4	2			4.3
	BIMx施工段階図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	8	1	1			4.7
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる	6	3	1			4.5
		受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる	5	4	1			4.4
		受講者にとってわかり易い実習教材である	5	4	1			4.4
	PDF施工段階図	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	5	4	1	1		4.2
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる	5	3	3			4.2
		受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる		2	5	3	1	2.7
		受講者にとってわかり易い実習教材である	3	3	5			3.8
	PDF課題図面	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる		1	3	5	2	2.3
		受講者が鉄筋の組立手順を理解できる			2	4	5	1.7
		受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる			4	6	1	2.3
		受講者にとってわかり易い実習教材である		1	4	5	1	2.5

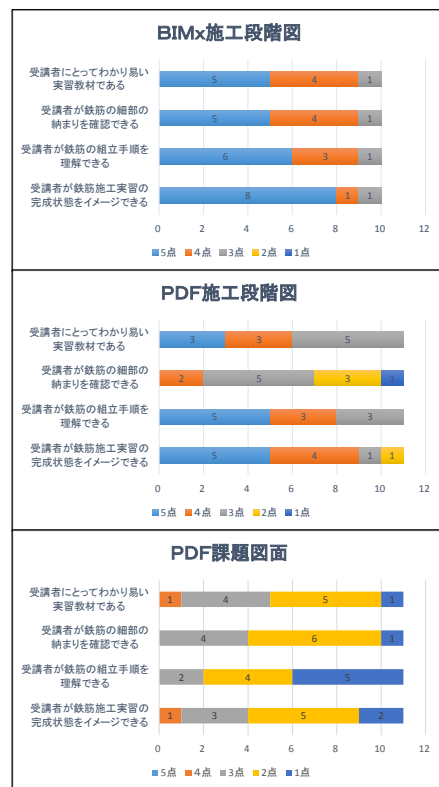
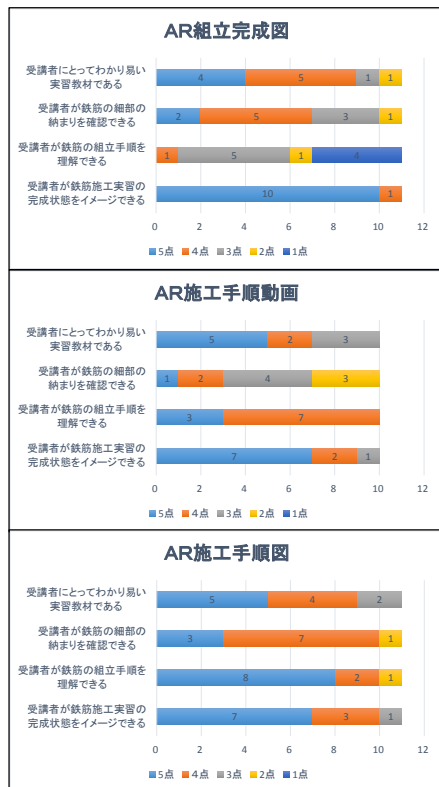


図 88 教材ごとの選択数（受講者の視点）

②AR 施工手順動画（図 83）に関して、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（7 名）となり、平均は 4.6 点であった。「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、【4 点】が最多の選択数（7 名）となり、平均は 4.3 点であった。「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」については、普通【3 点】が最多の選択数（4 名）となり、平均は 3.1 点であった。「受講者にとってわかり易い実習教材である」は、そう思う【5 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 4.2 点であった。

その結果、②AR 施工手順動画（図 83）については、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」について高評価であり、「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」がそれに次ぐ評価となった。

③AR 施工手順図（図 84）に関して、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（7 名）となり、平均は 4.5 点であった。「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（8 名）となり、平均は 4.5 点であった。「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」については、【4 点】が最多の選択数（7 名）となり、平均は 4.1 点であった。「受講者にとってわかり易い実習教材である」は、そう思う【5 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 4.3 点であった。

その結果、③AR 施工手順図（図 84）については、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」と、「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」が同様の高評価であり、「受講者にとってわかり易い実習教材である」それに次ぐ評価となった。

④BIMx 施工段階図（図 85）に関して、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（8 名）となり、平均は 4.7 点であった。「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（6 名）となり、平均は 4.5 点であった。「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 4.4 点であった。「受講者にとってわかり易い実習教材である」も、そう思う【5 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 4.4 点であった。

その結果、④BIMx 施工段階図（図 85）については、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」について高評価であり、ほかのすべての設問もそう思う【5 点】が最多の選択数となったことから、いずれも高評価となった。

⑤PDF 施工段階図（図 86）に関して、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 4.2 点であった。「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（5 名）となり、平均は 4.2 点であった。「受講者が鉄筋

の細部の納まりを確認できる」については、普通【3点】が最多の選択数（5名）となり、平均は2.7点であった。「受講者にとってわかり易い実習教材である」は、普通【3点】が最多の選択数（5名）となり、平均は3.8点であった。

その結果、⑤PDF 施工段階図（図 86）については、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」と、「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」が同様の高評価であった。

⑥PDF 課題図面（図 87）に関して、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、【2点】が最多の選択数（5名）となり、平均は2.3点であった。「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、そう思わない【1点】が最多の選択数（5名）となり、平均は1.7点であった。「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」については、【2点】が最多の選択数（6名）となり、平均は2.3点であった。「受講者にとってわかり易い実習教材である」は、【2点】が最多の選択数（5名）となり、平均は2.5点であった。

その結果、⑥PDF 課題図面（図 87）については、「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」が最低評価となり、「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」と「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」がそれに次ぐ低評価となった。

### 6.2.2 指導者の視点に関するアンケート結果

指導者の視点に対する回答の集計を表 12 に示した。また、図 89 に、各教材に対する回答数の分布を示した。

①AR 組立完成図（図 82）に関して、「指導者にとって扱い易い教材である（準備等）」については、【4点】が最多の選択数（7名）となり、平均は4.0点であった。

「指導者にとって説明し易い教材である」については、そう思う【5点】が最多の選択数（6名）となり、平均は4.1点であった。「施工実習の進行に役立つ教材である」については、【4点】が最多の選択数（7名）となり、平均は4.4点であった。

「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、そう思う【5点】が最多の選択数（5名）となり、平均は3.9点であった。

その結果、①AR 組立完成図（図 82）については、「施工実習の進行に役立つ教材である」が高評価であり、「指導者にとって説明し易い教材である」がそれに次ぐ評価となった。

②AR 施工手順動画（図 83）に関して、「指導者にとって扱い易い教材である（準備等）」については、そう思う【5点】が最多の選択数（5名）となり、平均は4.1点であった。「指導者にとって説明し易い教材である」については、そう思う【5点】が最多の選択数（7名）となり、平均は4.4点であった。「施工実習の進行に役立つ教材である」については、そう思う【5点】と普通【3点】が最多の選択数（5名）

表 12 選択数の集計（指導者の視点）

教材種別		質問内容	回答人数					AVE
			5点	4点	3点	2点	1点	
指導者の視点	AR組立完成図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)	4	7	2	1		4.0
		指導者にとって説明し易い教材である	6	5	2	1		4.1
		施工実習の進進に役立つ教材である	6	7	1			4.4
		鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	5	4	4	1		3.9
	AR施工手順動画	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)	5	4	4			4.1
		指導者にとって説明し易い教材である	7	4	2			4.4
		施工実習の進進に役立つ教材である	5	3	5			4.0
		鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	6	4	3			4.2
	AR施工手順図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)	7	4	3			4.3
		指導者にとって説明し易い教材である	9	2	3			4.4
		施工実習の進進に役立つ教材である	7	5	2			4.4
		鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	5	5	4			4.1
	BIMx施工段階図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)	4	5	3	1		3.9
		指導者にとって説明し易い教材である	6	3	4			4.2
		施工実習の進進に役立つ教材である	7	3	3			4.3
		鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	7	3	3			4.3
	PDF施工段階図	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)	8	1	5			4.2
		指導者にとって説明し易い教材である	7	3	4			4.2
		施工実習の進進に役立つ教材である	5	4	5			4.0
		鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	7	2	5			4.1
	PDF課題図面	指導者にとって扱い易い教材である(準備等)	3	4	3	4		3.4
		指導者にとって説明し易い教材である	3	4	3	4		3.4
		施工実習の進進に役立つ教材である	3	4	6	1		3.6
		鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	6	3	4	1		4.0

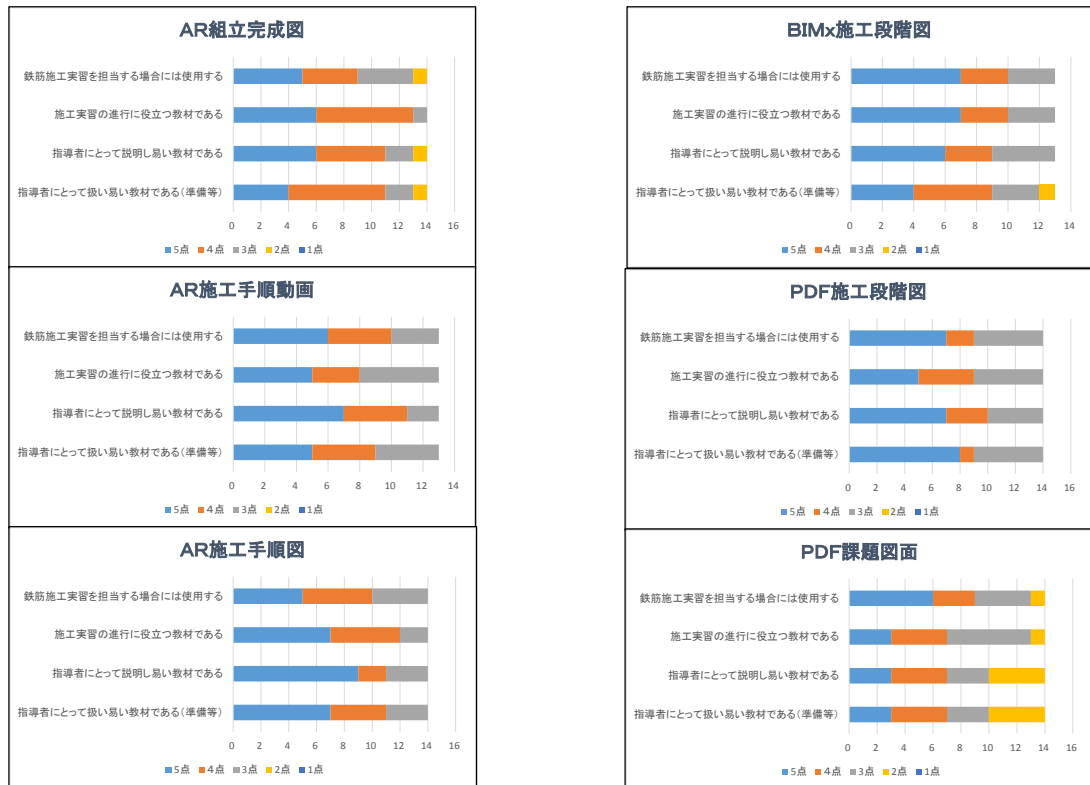


図 89 教材ごとの選択数（指導者の視点）

となり、平均は 4.0 点であった。「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(6 名)となり、平均は 4.2 点であった。

その結果、②AR 施工手順動画(図 83)については、「指導者にとって説明し易い教材である」が高評価であり、「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」がそれに次ぐ評価となった。

③AR 施工手順図(図 84)に関して、「指導者にとって扱い易い教材である(準備等)」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(7 名)となり、平均は 4.3 点であった。「指導者にとって説明し易い教材である」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(9 名)となり、平均は 4.4 点であった。「施工実習の進行に役立つ教材である」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(7 名)となり、平均は 4.4 点であった。「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、そう思う【5 点】と【4 点】が最多の選択数(5 名)となり、平均は 4.1 点であった。

その結果、③AR 施工手順図(図 84)については、「指導者にとって説明し易い教材である」と「施工実習の進行に役立つ教材である」が同等の高評価となった。

④BIMx 施工段階図(図 85)に関して、「指導者にとって扱い易い教材である(準備等)」については、【4 点】が最多の選択数(5 名)となり、平均は 3.9 点であった。「指導者にとって説明し易い教材である」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(6 名)となり、平均は 4.2 点であった。「施工実習の進行に役立つ教材である」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(7 名)となり、平均は 4.3 点であった。「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(7 名)となり、平均は 4.3 点であった。

その結果、④BIMx 施工段階図(図 85)については、「施工実習の進行に役立つ教材である」と「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」が同等の高評価となった。

⑤PDF 施工段階図(図 86)に関して、「指導者にとって扱い易い教材である(準備等)」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(8 名)となり、平均は 4.2 点であった。「指導者にとって説明し易い教材である」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(7 名)となり、平均は 4.2 点であった。「施工実習の進行に役立つ教材である」については、そう思う【5 点】と普通【3 点】が最多の選択数(5 名)となり、平均は 4.0 点であった。「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、そう思う【5 点】が最多の選択数(7 名)となり、平均は 4.1 点であった。

その結果、⑤PDF 施工段階図(図 86)については、「指導者にとって扱い易い教材である(準備等)」と「指導者にとって説明し易い教材である」が同等の高評価となった。



⑥PDF 課題図面（図 87）に関して、「指導者にとって扱い易い教材である（準備等）」については、【4 点】と【2 点】が最多の選択数（4 名）となり、平均は 3.4 点であった。「指導者にとって説明し易い教材である」についても、【4 点】と【2 点】が最多の選択数（4 名）となり、平均は 3.4 点であった。「施工実習の進行に役立つ教材である」については、普通【3 点】が最多の選択数（6 名）となり、平均は 3.6 点であった。「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、そう思う【5 点】が最多の選択数（6 名）となり、平均は 4.0 点であった。

その結果、⑥PDF 課題図面（図 87）については、「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」が高評価となったが、「指導者にとって扱い易い教材である（準備等）」と「指導者にとって説明し易い教材である」が同等の低評価であった。

### 6.2.3 受講者視点からの教材の評価

受講者の視点から見た質問内容ごとの各教材の平均点を表 13 に示した。

「受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる」については、AR 組立完成図（4.9 点）>BIMx 施工段階図（4.7 点）>AR 施工手順動画（4.6 点）>AR 施工手順図（4.5 点）>PDF 施工段階図（4.2 点）>PDF 課題図面（2.3 点）の順となった。

最高評価となった AR 組立完成図は、2 次元図面の上に構造物が完成した状態の 3DCG を重畳表示する教材であり、施工実習の導入段階において、課題図面の概略説明時に使用することを想定しており、「完成状態をイメージできる」というも目的に整合する評価が得られた。また、PDF 課題図面は 2 次元の平面図・立面図・断面図であり、完成状態を立体では表示していないので、最低評価となったのは妥当な結果である。

「受講者が鉄筋の組立手順を理解できる」については、AR 施工手順図（4.5 点）=BIMx 施工段階図（4.5 点）>AR 施工手順動画（4.3 点）>PDF 施工段階図（4.2 点）>AR 組立完成図（2.3 点）>PDF 課題図面（1.7 点）の順となった。

最高評価は AR 施工手順図と BIMx 施工段階図であった。AR 施工手順図は、一つのマーカー画像に対して複数の施工手順図を紐付けたもので、画面の左右の矢印をタップすると施工手順を 1 段階ずつ移動できる。また、BIMx 施工段階図は、各施工段階の 3DCG データを別々に保存したもので、受講者が選択して表示する。従って、「組立手順を理解できる」という観点では妥当な評価が得られた。

「受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる」については、BIMx 施工段階図（4.4 点）>AR 施工手順図（4.1 点）>AR 組立完成図（3.7 点）>AR 施工手順動画（3.1 点）>PDF 施工段階図（2.7 点）>PDF 課題図面（2.3 点）の順となった。

最高評価は BIMx 施工段階図であった。これは AR ではないので、マーカー画像との距離や角度による重畳表示コンテンツの調整が必要なく、画面表示が安定してい

表 13 教材ごとの平均点（受講者の視点）

質問内容		AR組立完成図	AR施工手順動画	AR施工手順図	BIMx施工段階図	PDF施工段階図	PDF課題図面
受講者	受講者が鉄筋施工実習の完成状態をイメージできる	4.9	4.6	4.5	4.7	4.2	2.3
	受講者が鉄筋の組立手順を理解できる	2.3	4.3	4.5	4.5	4.2	1.7
	受講者が鉄筋の細部の納まりを確認できる	3.7	3.1	4.1	4.4	2.7	2.3
	受講者にとってわかり易い実習教材である	4.1	4.2	4.3	4.4	3.8	2.5

表 14 教材ごとの平均点（指導者の視点）

質問内容		AR組立完成図	AR施工手順動画	AR施工手順図	BIMx施工段階図	PDF施工段階図	PDF課題図面
指導者	指導者にとって扱い易い教材である（準備等）	4.0	4.1	4.3	3.9	4.2	3.4
	指導者にとって説明し易い教材である	4.1	4.4	4.4	4.2	4.2	3.4
	施工実習の進行に役立つ教材である	4.4	4.0	4.4	4.3	4.0	3.6
	鉄筋施工実習を担当する場合には使用する	3.9	4.2	4.1	4.3	4.1	4.0

る。また、拡大や回転が容易なので、「細部の納まりを確認できる」という観点で妥当な評価が得られた。

「受講者にとってわかり易い実習教材である」については、BIMx 施工段階図（4.4 点）＞AR 施工手順図（4.3 点）＞AR 施工手順動画（4.2 点）＞AR 組立完成図（4.1 点）＞PDF 施工段階図（3.8 点）＞PDF 課題図面（2.5 点）の順となった。

最高評価は BIMx 施工段階図であった。「わかり易い実習教材である」という質問がいささか曖昧であったようだ。ほとんど直感的に完成状態をイメージできるという意味では AR 組立完成図（4 位）だと思われるが、細部の納まりまで確認できてわかり易いと考えれば BIMx 施工段階図がトップになるのは妥当な評価と考える。

#### 6.2.4 指導者視点からの教材の評価

指導者の視点から見た質問内容ごとの各教材の平均点を表 14 に示した。

「指導者にとって扱い易い教材である（準備等）」については、AR 施工手順図（4.3 点）＞PDF 施工段階図（4.2 点）＞AR 施工手順動画（4.1 点）＞AR 組立完成図（4.0 点）＞BIMx 施工段階図（3.9 点）＞PDF 課題図面（3.4 点）の順となった。

最高評価は AR 施工手順図であった。これは一つのマーカー画像に対して複数の施工手順図を紐付けたもので、「（準備を含めて）扱い易い教材である」という観点では妥当な評価と考える。第 2 位は PDF 施工段階図となった。印刷して紙媒体で配布するケースや、プロジェクターに投影して説明するケースを考えると、妥当な評

価である。BIMx 施工段階図が第 5 位となったが、これは施工段階毎の複数データを受講者の端末に転送する手間が掛かるから、妥当な評価であると考ええる。

「指導者にとって説明し易い教材である」については、AR 施工手順動画 (4.4 点) = AR 施工手順図 (4.4 点) > BIMx 施工段階図 (4.2 点) = PDF 施工段階図 (4.2 点) > AR 組立完成図 (4.1 点) > PDF 課題図面 (3.4 点) の順となった。

最高評価は AR 施工手順動画と AR 施工手順図であった。AR 施工手順動画は、施工手順全体を短時間に視聴することを目的とした教材であり、「指導者にとって説明し易い教材である」という観点では妥当な評価である。AR 組立完成図が第 5 位となったが、完成状態の 3DCG を重畳表示するもので施工手順の説明には使えない。そのため、「説明し易い教材である」という質問に対して順位が低かったものと考ええる。ただし、評価の数値は僅かの差であった。

「施工実習の進行に役立つ教材である」については、AR 組立完成図 (4.4 点) = AR 施工手順図 (4.4 点) > BIMx 施工段階図 (4.3 点) > AR 施工手順動画 (4.0 点) = PDF 施工段階図 (4.0 点) > PDF 課題図面 (3.6 点) の順となった。

最高評価は AR 組立完成図と AR 施工手順図であった。施工実習の導入時に教室内で使用する AR 組立完成図と、実際の組立施工実習に着手してから細部の納まりの確認にも使用できるのが AR 施工手順図であり、「進行に役立つ教材である」という観点では妥当な評価と考える。

「鉄筋施工実習を担当する場合には使用する」については、BIMx 施工段階図 (4.3 点) > AR 施工手順動画 (4.2 点) > AR 施工手順図 (4.1 点) = PDF 施工段階図 (4.1 点) > PDF 課題図面 (4.0 点) > AR 組立完成図 (3.9 点) の順となった。

最高評価は BIMx 施工段階図となった。これは、「指導者にとって扱い易い教材である (準備等)」という観点では第 5 位となったが、「実習を担当する場合には使用する」という観点ではトップになった。データの扱いに手間が掛かる点はあるが、それ以上のメリットがあるとの評価と考える。

想定外は AR 組立完成図が最下位となったことである。評価の数値は僅かの差ではあるが、想定外の結果であった。ただし、AR 施工手順図の最終段階 (完成状態) に AR 組立完成図と同様の 3DCG が含まれることから、完成段階だけの 3DCG を単独で使用するケースは少ないと考えた結果と推測できる。

#### 6.2.5 自由記述における各教材の評価

アンケート票には、選択欄と共に自由記述欄を設けた。各教材について、参考になる記述や注目すべき記述内容について、以下に抜粋を示す。

①AR 組立完成図 (図 82) については、

- ・受講者が自分自身で操作して確認でき、多くの説明を要しない。

- ・何を作るのか目標が可視化できる。
- ・施工実習のほか、一般構造の授業の資料として使用できる。
- ・事前にイメージを掴みやすく、写真よりわかり易い。
- ・導入段階での提示に効果的である。
- ・実物と対比する補助としても活用できる。
- ・図面を読めない受講者でも、完成イメージを把握できる。
- ・完成状態のイメージを直感的に把握できる。

②AR 施工手順動画（図 83）については、

- ・動画を停止して確認でき、施工手順の理解に役立つ。
- ・作業の流れが理解でき、口頭で示す必要がない。
- ・スマホでは表示が小さく、タブレットに向いている。
- ・全体の流れを把握するのに有効。
- ・受講者自身で組立手順を把握できる。

③AR 施工手順図（図 84）については、

- ・画像の記録保存ができ、報告書の作成に役立つ。
- ・次の作業との関連がわかる。
- ・回転拡大で細部の納まりまで確認できる。
- ・受講者自身で操作でき、自身で疑問点を解決できる。
- ・前後の作業を確認しながら把握できる。
- ・組立手順の振返りができる。
- ・図面と 3D を照合させて手順を確認できる。
- ・見たい部分を選んで表示できる。

④BIMx 施工段階図（図 85）については、

- ・画像の回転や拡大ができ、細部の納まりが確認できる。
- ・施工上の注意点を説明する場合にも、わかり易い。
- ・作業の要点を解説するのには一番使いやすい。
- ・表示が安定しており、操作性が良い。
- ・拡大縮小がしやすい。
- ・受講者の疑問に的確に応じることができる。
- ・一度データ読込むと、オフラインで活用できる。
- ・受講者自身が興味を持って、自分のペースで細部を何時でも確認できる。
- ・施工前の積算にも有効である。

⑤PDF 施工段階図（図 86）については、

- ・ 施工手順ごとに部材に着色してあり、わかり易い。
- ・ プロジェクターに投影する場合に、扱いやすい。
- ・ 紙媒体で配布でき、書き込めるのと、資料が手元に残る。
- ・ 作業の流れはわかり易いが、細部まではわかりにくい。
- ・ 色分けが効果的で、教室での説明に使いやすい。
- ・ 施工段階ごとに作業部位が整理され、わかり易い。
- ・ 鉄筋の本数が確認できる。
- ・ 事前の準備が不要で、手軽に組立手順を確認できる。

⑥PDF 課題図面（図 87）については、

- ・ 鉄筋加工図を作成する課題の実施には不可欠。
- ・ 他の資料と併用して効果が出る。
- ・ 完成状態や組立手順はわかりにくいですが、必ず必要な図面である。
- ・ 詳細な寸法を確認するためには、配布資料として必須である。
- ・ 部材の数量を確認できる。
- ・ 受講者の図面読取力が必要である。

各教材について、以上のようなコメントが得られた。概ね肯定的な評価であった。一方、現役の職業訓練指導員の中には、教材のアレンジや制作を自ら行いたいという意向があり、拡張 3D 教材群は相当ハードルが高いとの指摘もあった。

今回は、「標準的に使用できる初心者にもわかり易い施工実習教材」を目指して開発・制作を進めてきた。完成した教材のアレンジや、指導者による独自教材の制作方法等については、今後の課題として把握しておくこととする。

## 第7章 結 論

### 1 節 本研究の成果

近年、建築躯体に関する技能者や施工管理技術者が全国的に不足していることから、これを効率的かつ短期間に確保・育成することが必要となっている。初心者を対象とする建築の技能や技術の教育・訓練では、座学に加えて実物大の施工実習が効果的であるが、施工実習の課題モデルやカリキュラムなど標準的なものは見当たらず、教材も2次元図面が中心で、初心者にとってはわかりにくい状況であった。

こうした問題点に対処するために本研究に取り組み、得られた成果を以下に列記する。

【1】ICT（AR 技術・VR 技術等）を利用して、①鉄筋配筋図や配筋詳細図などの2次元図面、②3次元完成モデル、③施工手順図、④施工手順動画、⑤AR 重畳表示コンテンツの5種類を1組とした「拡張3D教材群」を制作する方法を考案した。

【2】上記のうち、③、④、⑤、の教材データを圧縮し、受講者自身の携帯端末でいつでも利用できる仕組みを構築した。

【3】標準となり得る施工実習課題モデルとして、5つの異なるモデル（①鉄筋モデル、②型枠モデル、③住宅基礎モデル、④柱・梁モデル、⑤総合モデル）を選定した。また、選定した5つの施工実習課題モデルについて、それぞれに拡張3D教材群を制作した。その結果、様々な条件下で実施されるRC造の施工実習において、実施する課題モデルを選択できる環境が整った。

【4】開発・制作した拡張3D教材群の効果を検証するために、初心者を被験者として、「鉄筋モデル」の組立施工を行う施工実験を実施した。その結果、2次元図面のみの教材で組立施工を実施する場合に比べて、携帯端末で操作する拡張3D教材群を併用した場合には、ミス無く正確に組み立てられ、しかも合計所用時間が35%短縮できた。この結果から、開発・制作した拡張3D教材群の有効性を確認した。

【5】拡張3D教材群を使用することにより、初心者には2次元図面からは読み取れない部分も可視化でき、短期間に正確に組立施工が完了できることがわかった。すなわち、技能者や技術者にとって重要な「図面の読み取り」のスキルについても、初心者に効率的に習得させ得るとの示唆を得た。

【6】画像認識による「マーカー型AR方式」の他に、GPSの位置情報を利用する「ロケーションベース型AR方式」を活用して、建物の配筋図や鉄骨図をマーカーレスで重畳表示するアプリを開発した。これにより実大の施工実習を開始した後でも、施工途中の構造物を背景にして、3Dの配筋図や鉄骨図を重畳表示できる。なお、これはアプリ集約サイトのAppStoreに登録しており、誰でも無料で利用できる。



【7】従来の「マーカー型 AR 方式」は、一つのマーカー画像に対して一つのデジタル・コンテンツを紐つける仕組みであり、施工手順を表示することができなかった。そこで、一つのマーカー画像に対して複数のデジタル・コンテンツを紐つける仕組みを開発し、AR 施工手順図を制作した。その結果、実際の施工現場において利用できる「AR 作業指示書」の開発についての可能性が広がった。

【8】開発・制作した拡張 3D 教材群と、従来型の 2 次元図面による施工実習教材に関して、職業訓練指導員を対象にアンケートによる評価を行った。受講者の視点と指導者の視点からの評価としたが、拡張 3D 教材群はいずれも高評価となった。また、今後の改善への重要な示唆を得た。

このように開発・制作した拡張 3D 教材群は、系列の職業能力開発促進センターに提供して求職者訓練での活用を開始した。また、業界紙への掲載、各種のイベントへの出展、テキストやパンフレットへの適用など、普及・展開を図っている。

さらに、建設業団体や事業主が実施する教育・訓練や工業高校などにも広く公開する計画である。

## 2 節 今後の展望

ソフトウェアとハードウェアを含めた ICT の活用によって、今後、従来の教育・訓練教材が大幅に変化するものと考えている。今回は初心者を対象とする施工実習用として、標準となり得る実習モデルと拡張 3D 教材群の開発・制作を行ったが、今後は経験者を対象とするスキルアップ訓練等に関しても、ICT を活用して効果的な教育・訓練手法や教材開発を進めて行く所存である。

また、実際の生産現場においても利用できる仕組みの構築を検討していく計画である。例えば、配筋施工が完了した鉄筋の上に、一貫構造計算の結果から鉄筋のデータを取り出して制作した 3DCG を重畳表示すれば、組み立てられた配筋の間違えを容易に発見できる。すなわち、配筋検査を支援する仕組みの構築が考えられる。

さらに、施工手順図をアレンジして 3 次元の AR 作業指示書を実用化することも検討していく。これにより、技能や技術が十分ではない未熟練の技能者であっても、ミス無く正確に、しかも短時間に構造物の施工を完成させられる。

ところで、「熟練者が持つ技能・技術の伝承」という重要な課題がある。これは建設産業に留まらず、あらゆる産業に共通の課題である。このテーマについても、AR・VR 技術をはじめとする ICT の活用によって、技能・技術の伝承に有効な手法の開発に挑戦する計画である。

## 補章 開発した拡張 3D 教材群の普及・展開の状況

### 1 節 職業能力開発促進センターへの提供

標準となり得ると考えて選定した 5 つの施工実習課題モデルと、それぞれに制作した拡張 3D 教材群によって、施工実習授業の指導者は、実施する状況に応じて選択して利用できる環境が整ったことになる。すでに系列の職業能力開発促進センター（以下、ポリテクセンター）には、拡張 3D 教材群の提供を始めている。

北海道ポリテクセンターでは、「柱・梁モデル」を活用して求職者訓練を実施している。受講者数は 10 名程度で、実習モデルを 1 基設置していた（写真 16）。

青森ポリテクセンターでは、「住宅基礎モデル」を活用して求職者訓練を実施している。なお、6 ヶ月間の職業訓練コースを 3 ヶ月毎に募集しており、2 コースの実習授業を合同で行うため、受講者数が 27 名となっていた。そこで、住宅基礎の実習モデルを 2 箇所設置して、同時に組み立てる内容となった（写真 17）。

千葉ポリテクセンターでは、「柱・梁モデル」を活用して求職者訓練を実施している。受講者数が 8 名程度であり、実習モデルは 1 基で実施していた（写真 18）。

高知ポリテクセンターでは、「住宅基礎モデル」と「柱・梁モデル」の両方を求職者訓練コースに取り入れて実施していた（写真 19）。

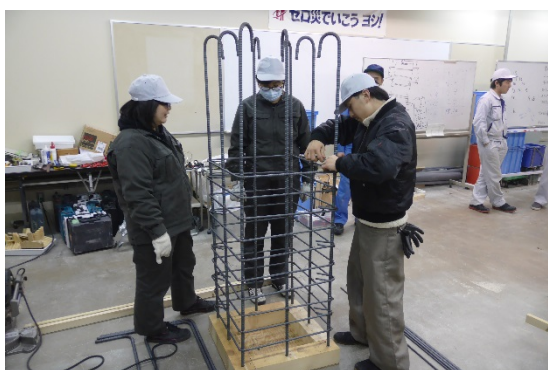


写真 16 北海道 PC の施工実習



写真 17 青森 PC の施工実習



写真 18 千葉 PC の施工実習



写真 19 高知 PC の施工実習

ところで、各地のポリテクセンターや都道府県の職業訓練施設において、求職者訓練に携わる職業訓練指導員に対して、職業能力開発総合大学校では「指導員研修コース」を設置している。RC 造に関する施工実習を新たに各施設の職業訓練コースに組み込む場合には、指導員研修コースを受講すれば、該当モデルに関する拡張 3D 教材群が入手できると共に、自ら実習モデルの加工・組立てをあらかじめ体験することができる仕組みである。

そこで、標準となり得ると考えて選定した 5 つの施工実習課題モデルのうち、職業能力開発大学校等における RC 造施工実習（6 ヶ月間）を想定した「総合モデル」を除いた 4 つの施工実習課題モデルについて、指導員研修コースを設置して拡張 3D 教材群の普及・展開を図っている（写真 20、21）。



写真 20 柱・梁モデルの指導員研修



写真 21 鉄筋モデルの指導員研修

## 2 節 学生募集パンフレットへの適用

職業能力開発総合大学校・学生部では、毎年制作する学生募集パンフレットを、より訴求効果の高いものにする検討を続けてきたが、AR に関する本研究の成果を反映して、2016 年から AR 技術を導入した。

AR を利用するためには、利用者自身の端末に無料のアプリをインストールし、これを起動した上で、携帯端末の内臓カメラをパンフレットにかざせば良い。

図 90 は、パンフレットの画像をマーカー（目印）として、職業訓練指導員の紹介映像と、建築施工実習の授業内容の紹介映像を呼び出して再生するものである。このように、パンフレットに印刷していない情報を、携帯端末上に呼出することができる。



図 90 学生募集パンフレットに AR 適用



図 91 は鉄筋の CG を、図 92 は最寄り駅の時刻表を重畳表示した例である。これらの表示は、画面に指でタッチして拡大・縮小・回転が自在にできる。

また、全天球カメラを使って 360° 写真を撮影し、キャンパスマップに埋め込むこともできる (図 93)。これは、スマートフォンの向きにも連動して動くので、画面上を指でスライドする代わりに、スマートフォン自体の角度を変えても良い。

このシステムの運用には、月額 3 万円のクラウド・サーバー利用料が掛かるが、その他に特別なソフト・ハードは必要なく、印刷済みのパンフレットにも適用可能であることが利点である。

このようなパンフレットを、オープンキャンパスや高校訪問の機会に、説明対象者に紹介している。大方のケースでは興味を持って聴いていただける。また、説明相手が自身のスマートフォンに無料アプリをインストールして、自ら確かめる場合も多い。

時間があれば、施工実習の教材としての活用についても紹介することになっている。パンフレットと同様の仕組みであるが、2 次元図面から完成状態の 3D 完成モデルが現れると、教材としての有効性を理解してもらえる。このようにして、AR・VR 技術の普及・展開を進めている。



図 91 パンフレットから 3DCG を表示



図 92 最寄り駅の時刻表を重畳表示



図 93 キャンパスマップから校内各所の 360° 写真を重畳表示

### 3 節 全国鉄筋工事業協会・年次総会での講演

平成 29 年 5 月 23 日（火）、公益社団法人・全国鉄筋工事業協会の第 6 回社員総会が開催された。議事が一通り終了した後の特別講演のテーマの一つとして、「AR・VR 技術を応用した拡張 3D 教材群」のプレゼンテーションを行った。

参加者は、全国各地の鉄筋工事業協会の役員であり、ほとんどが鉄筋工事業の経営者でもある。したがって、「担い手の確保・育成」の課題を身近に感じている方々であり、教育・訓練教材としての有効性をすぐに理解していただき、多くの質問もいただいた。図 94 は当日の配布資料である。

この第 6 回社員総会において、蟹澤宏剛教授が公益社団法人・全国鉄筋工事業協会の役員に就任されたことがきっかけであるが、鉄筋工事業の第一線の経営者の方々に研究内容を聞いていただけたことは、その後に大きな波及効果があった。

まず、神奈川県鉄筋業協同組合の依頼を受けて「かながわ しごと・技能体験フェスタ 2017」に、初心者にもわかり易い施工実習教材のパネルを出展することになった。また、関西鉄筋工業協同組合の要請により「建設技術展 2017 近畿」に AR・VR 技術を応用した研究成果を出展することにつながった。さらに、「鉄筋 EXP02017」への出展にもつながった。

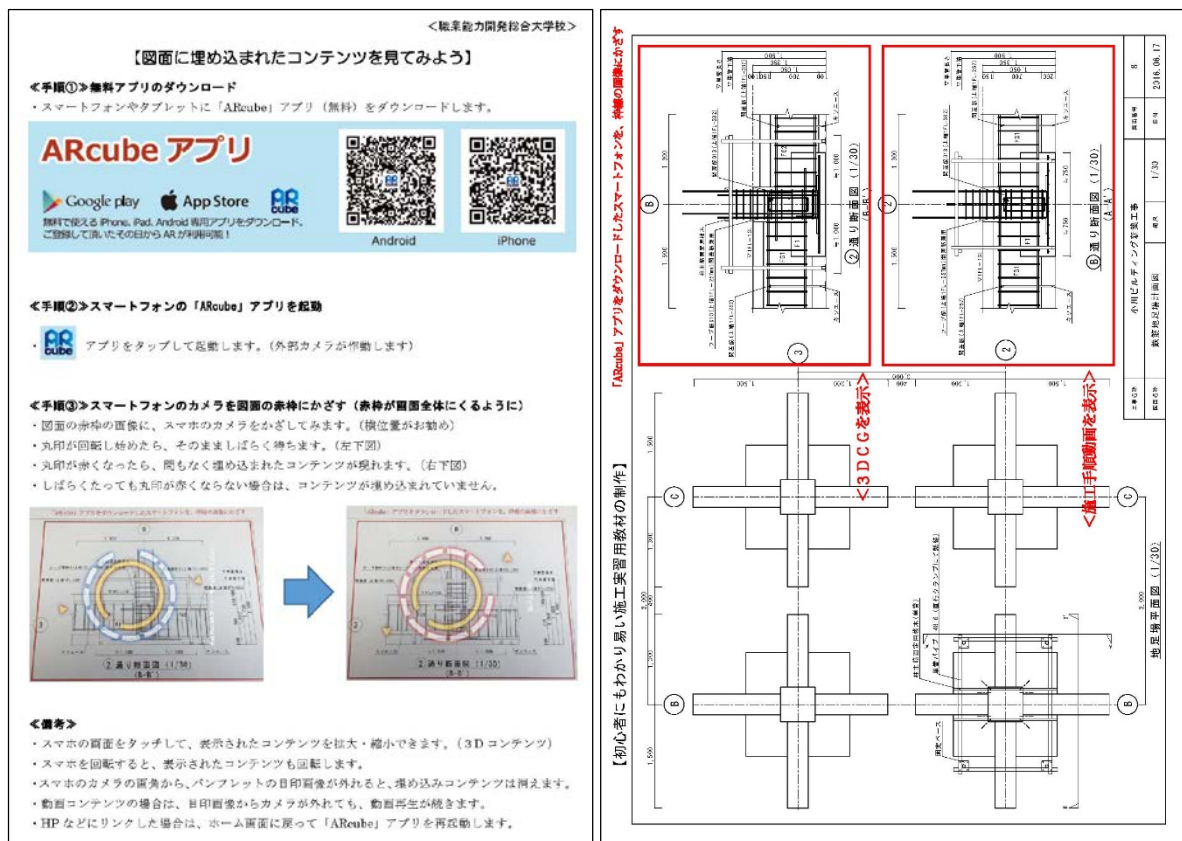


図 94 当日の配布資料（AR アプリの使用法とマーカー画像）



#### 4 節 日刊建設工業新聞への掲載

前節の公益社団法人・全国鉄筋工事業協会の第6回社員総会における特別講演を聴講していただいた日刊建設工業新聞社・編集局の岩本編集部長より、後日、研究の内容に関する取材依頼をいただいた。その結果、平成29年6月20日の紙面に研究内容が紹介された（図95）。

「スマホで施工実習効率化」という見出しで、初心者には難解な従来型の2次元図面による施工実習教材の上にスマートフォンをかざすと、完成状態の3次元CGが浮き上がるように表示され、受講者の理解を促進すると共に、実習授業が効率的に実施できることが説明された。



図 95 研究内容の紹介紙面

#### 5 節 かながわ しごと・技能体験フェスタ 2017 への出展

このイベントは、小・中・高校生を対象にして、多様な職種の団体が「ものづくりの技能」を体験できるようなプログラムを用意して開催したものである。主催は神奈川県職業能力開発協会であり、若年技能者人材育成支援事業（厚生労働省委託）に位置付けられている。

これに参加する神奈川県鉄筋業協同組合の依頼を受けて、鉄筋工事の施工実習用のわかりやすい新型教材として、パネル展示と活用体験を行った。

鉄筋業協同組合の全体的な展示・体験の内容は、鉄筋の結束、鉄筋の曲げ・切断、鉄筋の重さ当てなどであった（写真22）。その一角で、AR教材のパネル展示とタブレットによる体験を実施した（写真23）。

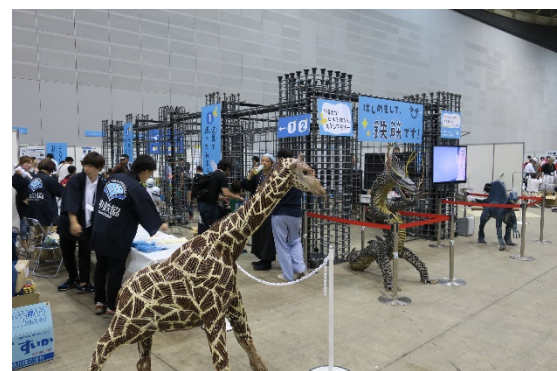


写真 22 鉄筋業協同組合の展示ブース



写真 23 AR・VR教材の展示コーナー



来場者の多くは小・中学生とその保護者である。小学生も興味深くタブレットを動かしていたが、一般の主婦と思われる母親層にたいへん興味を持っていただけたことは驚きであった。3次元CGを中心とするAR・VR教材が、初心者にとっていかにわかり易いかを改めて感じる事ができた。

## 6 節 2017 実践教育研究発表会・東京大会にパネル展示

一般社団法人 実践教育訓練研究協会は、昭和 61 年に設立された。同協会は、生産技術の高度化により技能と技術の融合化が進展していることに伴い、高度な実践的技能および知識を有する人材の育成を行うための教育訓練（実践教育訓練）に関わる技法の確立および普及を図り、もってわが国における労働者（実践技術者）の職業能力の開発および向上に貢献することを目的として、厚生労働大臣の認可を受けて設立されたものである。

2017 年は、協会設立 30 周年にあたり、第 30 回の実践教育研究発表会・東京大会が、職業能力開発総合大学校を会場に開催された。大会の内容は、投稿者による講演発表、特別講演、シンポジウム、企業展示などである。

企業展示の中で、(株) 大塚商会と (株) プラージュが共同で AR クラウド・サービスの紹介展示を行った (写真 24)。その中心的なコンテンツは、本研究で開発してきたマーカー型の AR 教材である (図 96)。

参加者の多くは、日ごろ教育訓練に携わる教員や指導員であり、マーカー型の AR 技術を応用した教材に対して大きな反響があった。それは、既に印刷済のテキストや資料および図面等に対して、3DCG や動画および写真や補足資料などを紐つけて、携帯端末に重畳表示できる点が高く評価されたものである。



写真 24 AR・VR 教材の展示コーナー

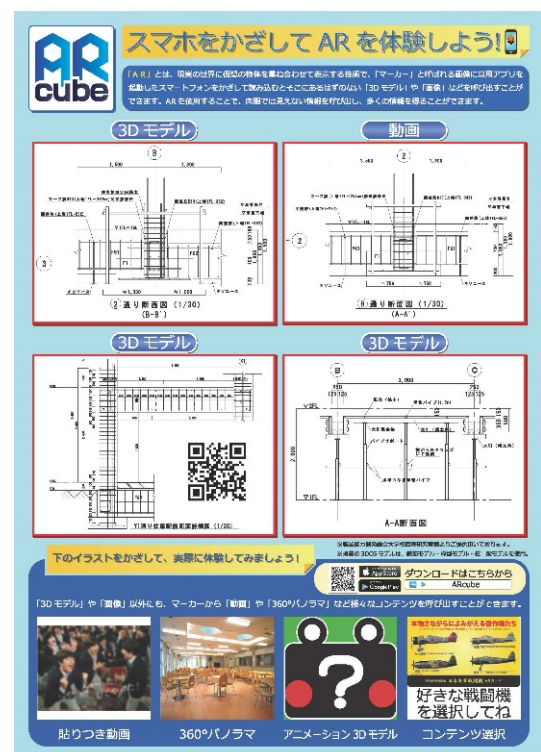


図 96 AR・VR 教材の紹介パネル

## 7 節 建設技術展 2017 近畿に出展

平成 29 年 10 月 25 日（水）～26 日（木）、  
「建設技術展 2017 近畿」が開催された。主  
催は日刊建設工業新聞社と、（一社）近畿建  
設協会である。また、（公社）土木学会関西  
支部が特別共催していた。会場は、大阪市  
の中心部にある「マイドームおおさか」で  
あった。

内容は、建設事業に関連した多彩な技術  
展示であるが、後援する国土交通省近畿地  
方整備局では「i-Construction」に関心を寄せており、ICT 関連技術の出展に期待  
していることを受けて、IT・ICT の出展も多かった。

これに参加する関西鉄筋工業協同組合の要請により、AR・VR 技術を応用した研  
究成果を展示した。関西鉄筋工業協同組合は、近畿建設躯体工業協同組合、日本プ  
ラスチック型枠工業界、関西圧接業協同組合と連携して巨大な展示ブースを設置し  
たが、その一画に VR・AR 体験コーナーを設置した。隣接の VR 体験展示と共に、AR  
技術による施工実習教材の体験展示を行った（写真 25）。



写真 25 VR・AR の体験コーナー

## 8 節 鉄筋 EXP02017 に出展

平成 29 年 11 月 24 日（金）～26 日（日）、  
わが国で初めての「鉄筋 EXP02017」が幕張  
メッセで開催された。主催は鉄筋 EXP02017  
実行委員会であるが、（公社）全国鉄筋工事  
業協会、（公社）日本鉄筋継手協会、全国圧  
接業協同組合連合会、普通鋼電炉工業会の  
共済であった。

鉄筋工事業だけでなく、鉄筋メーカー、  
鉄筋加工機メーカー、継手、検査等の業界、  
さらに設計者やゼネコンを含んだ世界初の「鉄筋の博覧会」であった。

この中に、職業能力開発総合大学校の展示コーナーを設置して、開発してきた  
AR・VR 技術を応用した施工実習教材のパネル展示と、タブレットを用いた体験を  
実施した（写真 26）。2 次元図面にかざしたタブレットに 3DCG が重畳表示される瞬  
間には、多くの参加者が驚きの声を上げていた。



写真 26 AR・VR の教材展示

## 9 節 日本建築積算協会編「建築積算」テキストへの適用

(公社)日本建築積算協会が発行する「建築積算」は、多くの大学や工業高校等で教科書に採用されている(図 97、左)。今回、同協会からの依頼を受けて、鉄筋・型枠等の数量拾いに関する例題図面の部分に、AR・VR 技術を適用して、初心者にもわかり易い重畳表示教材を制作することとした。

その結果、既に印刷済のテキストの 2 次元図面(図 97、右)の上に、スマートフォンをかざせば、構造物が完成した状態の 3 次元モデルが表示され、初心者の理解を大幅に促進することができた。

基礎梁の躯体の数量拾い(コンクリート、型枠、鉄筋)の例題では、平面図・側面図・配筋リストが提示されているが、鉄筋配筋図等は無く、受講者は配筋リストから鉄筋の配置を想定しなければならない。それにより、鉄筋の定着長さや余長を算定する課題である。この際、梁の配筋リストにおいては端部と中央部の主筋本数が異なっており、梁主筋がどのように配置されているのかをイメージすることが、初心者にとっては最初のハードルになっていた。

そこで、拡張 3D 教材群の 3D 完成モデル(図 98)を見せれば一目瞭然である。ただし、最初から回答を提示せず、ある程度の検討時間を置

いてから AR 重畳表示を紹介するといった授業の進め方が考えられる。

さらに AR 施工手順図の仕組みを活用し、基礎・基礎柱・基礎梁の各部材毎に、段階を分けて表示する重畳表示教材を制作中であり、積算協会の関係者とのすり合わせを経て、広く公開する予定である。



図 97 建築積算の表紙と例題のページ

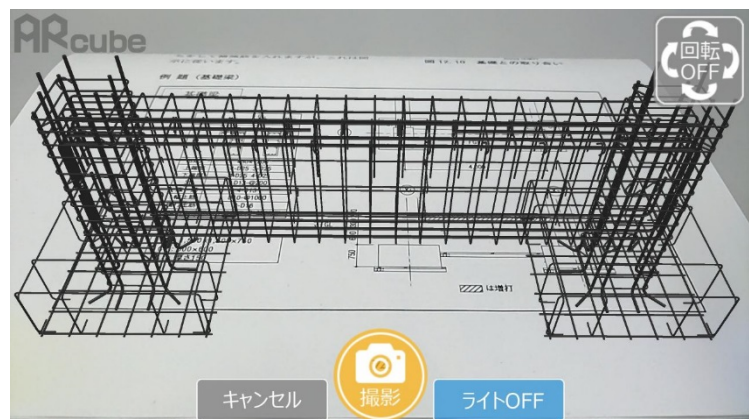


図 98 例題の鉄筋の AR 重畳表示



## 【参考文献】

- 1) 国土交通省・厚生労働省：建設業の人材確保・育成に向けて、職業安定局 雇用開発部、  
[http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11606000-Shokugyouanteikyoku-Kensetsukouwantaisakushitsu/0000083736\\_1.pdf](http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11606000-Shokugyouanteikyoku-Kensetsukouwantaisakushitsu/0000083736_1.pdf)、2015. 4. 24
- 2) 伊藤 実：東日本大震災の復興状況と雇用創出、(独) 労働政策研究・研修機構、JILPT Discussion Paper 13-02、pp. 16、2013. 7、  
<http://www.jil.go.jp/institute/discussion/2013/documents/DP13-02.pdf>
- 3) (一社)日本建設業連合会：「建設技能労働者の確保・育成について」、2014. 5. 19  
[http://www.nikkenren.com/sougou/pdf/ikusei/10/about\\_ikusei\\_2014\\_0519.pdf](http://www.nikkenren.com/sougou/pdf/ikusei/10/about_ikusei_2014_0519.pdf)
- 4) 蟹澤宏剛：建設技能者を取り巻く課題、公共建築／57-2 #209、pp15～19、2015. 10
- 5) (一財)建設業振興基金：建設産業担い手確保・育成コンソーシアム、第8回プログラム・教材等ワーキンググループ、資料 1-1～1-6、2016. 3. 16
- 6) 西澤秀喜：大学生の施工実習教育における配筋ミスの内容と原因、日本建築学会大会・近畿、講演番号 13006、教育部門 pp. 11-12、2014. 9
- 7) 吉田競人、西澤秀喜、定成政憲、舩木裕之：配筋加工の失敗事例とその要因、(公財)建築技術教育普及センター、平成 26 年度調査・研究助成、調査報告書、2015. 3
- 8) 西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之：建築躯体技能工養成のための RC 造施工実習モデルの開発、日本建築学会大会・関東、講演番号 13014、教育部門 pp. 27-28、2015. 9
- 9) 西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之：RC 造の技術者・技能工育成のための施工実習モデルと教材の開発、日本建築学会・建築教育研究論文報告集、No. 15、pp. 41-46、2016. 1
- 10) 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之：BIM を活用した建築躯体技能工の育成システムに関する研究、日本建築学会・第 32 回建築生産シンポジウム論文集、pp. 269-274、2016. 7
- 11) 西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之：スマートフォンを活用する施工実習教材の開発、日本建築学会大会・九州、講演番号 13027、教育部門 pp. 53-54、2016. 8
- 12) 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之：AR／VR 技術を応用した施工実習のための新型教材の開発実施例、日本建築学会・建築教育研究論文報告集、No. 16、pp. 49-54、2016. 11
- 13) 総務省：H29 年版 情報通信白書、第 1 章第 1 節・スマートフォン社会の到来、2017. 7  
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n1100000.pdf>
- 14) 奥本素子、加藤浩：事前学習と館内鑑賞支援を連動させた博物館における展示鑑賞支援システムの開発、日本教育工学会論文誌 36(1)、1-8、2012. 7
- 15) SELWOOD Jaime：携帯端末を用いたペーパーレスな授業実践：その利点と注意点、広島外国語教育研究(18)、pp165-177、2015
- 16) 山下祐一郎、中島平、加藤暢恵：携帯端末を用いた自己評価による実習補助者の指導力育成、教育情報学研究(13)、pp43-49、2014. 9

- 17) 清水友理、田辺要平、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 3  
業務効率化検証、日本建築学会大会（東海）、材料施工、pp149-150、2012. 9
- 18) @ I T：モバイルARアプリ開発超入門（1）より転載、2011. 9. 26  
<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1109/26/news136.html>
- 19) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：公共建築工事標準仕様書(建築工事編)平成 28 年版  
(e)鉄筋の定着（P38-P39）

## 【注】

- 注 1) 建設業就業者数（国勢調査）は、ピーク時に 663 万人（1995 年）、2010 年には 447 万人で、△32.6%（216 万人減少）となっている。
- 注 2) 年収額は、厚生労働省・賃金構造基本統計調査（2014 年）による。なお、年収は企業規模（計 10 人以上）の値で、決まって支給する現金給与額を 12 倍し、年間賞与その他特別給与を加えた額としている。また、総合工事業に関しては、毎月勤労統計調査の数値を用いている。
- 注 3) 労働生産性の数値は、2012 年度の経済センサス（総務省）を用いた。
- 注 4) 公共職業能力開発施設 291 校（厚労省 HP より、2015 年 4 月時点）、認定職業訓練施設 1139 施設（国交省建設市場整備課の資料より、2012 年度）
- 注 5) グラフィソフトジャパン(株)、<http://www.graphisoft.co.jp/archicad/>
- 注 6) (株)シェルパ：基礎鉄筋の検討モデルを作成 1 日目、2013.6.24、  
<http://sherpa-net.blogspot.jp/2013/06/archicad1.html>
- 注 7) (株)シェルパ：基礎鉄筋の検討モデルを作成 2 日目、2013.6.25、  
<http://sherpa-net.blogspot.jp/2013/06/archicad2.html>
- 注 8) (株)シェルパ：基礎鉄筋の検討モデルを作成 3 日目、2013.6.26、  
<http://sherpa-net.blogspot.jp/2013/06/archicad3.html>
- 注 9) (株)シェルパ：基礎鉄筋の検討モデルを作成 4 日目、2013.6.27、  
<http://sherpa-net.blogspot.jp/2013/06/archicad4.html>
- 注 10) グラフィソフトジャパン(株)、<http://www.graphisoft.co.jp/bimx/>
- 注 11) (公)全国鉄筋工事業協会、技術資料、鉄筋組立ミニモデル  
<http://www.zentekkin.or.jp/images/pdf/kumitate.pdf>
- 注 12) (株)アルファコックス（日本販売総代理店）、<http://www.alphacox.com>
- 注 13) Ivan Edward Sutherland が、1965 年から 1968 年の間にハーバード大学で世界初の HMD を製作し、VR と AR の実験を同時に行った。
- 注 14) uniteness：【ポケモン GO】東大寺付近の出現スポットは！？種類や場所を調査！！  
<http://uniteness.com/2016/07/30/post-1440/>
- 注 15) ARcube、(株)プラージュ、<https://www.prage.jp>
- 注 16) Time Prism、(株)日本生工技研、<http://www.jiet.co.jp/timeprism.php>
- 注 17) グレープシティ(株)、<https://wikitude.grapecity.com/topics/news-20151020>
- 注 18) ユニオンシステム(株)：一貫構造計算ソフト「Super Build/SS3」、  
<http://www.unions.co.jp/service/structure/ss3/>
- 注 19) (株)ソフトウェアセンター：建築構造図躯体図作図・設計数量算出ソフト「SIRCAD」、  
<http://www.scinc.co.jp/contents/products/sircad/pamph.html>



注 20) Microsoft HoloLens の新機能 : 「複合現実パートナープログラムのご紹介」 より転載、  
<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>

注 21) ITmedia NEWS : 「拡張現実アプリの Daqri、業務用スマートヘルメットを発表」 より転載  
2014. 9. 8、<http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1409/08/news058.html>

## 【既発表論文等のリスト】

### (1) 学術論文（査読有）

- ①携帯端末を利用する施工実習用教材群の開発と評価、  
西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之  
日本建築学会環境系論文集、第 82 巻 第 740 号、pp. 905-913、2017/10
- ②AR／VR を利用した施工実習用新型教材群の効果検証、  
西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之  
日本建築学会・建築教育研究論文報告集、No. 17、pp. 25-30、2017/11
- ③AR／VR 技術を応用した施工実習のための新型教材の開発実施例、  
西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之  
日本建築学会・建築教育研究論文報告集、No. 16、pp. 49-54、2016/11
- ④RC 造の技術者・技能工育成のための施工実習モデルと教材の開発、  
西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之  
日本建築学会・建築教育研究論文報告集、No. 15、pp. 41-46、2016/01
- ⑤大きな間隙を考慮した座屈拘束ブレース拘束材の必要剛性、  
吉田競人、西澤秀喜、舩木裕之  
日本建築学会・構造工学論文集、Vol. 63B、pp. 141-146、2017/04
- ⑥座屈拘束ブレース拘束材設計式のための適切な間隙、  
吉田競人、西澤秀喜、岸川樹生  
日本建築学会・構造工学論文集、Vol. 64B、2018/03、(掲載決定)
- ⑦電食によりかぶりコンクリートの剥落が生じた RC 柱の曲げ終局強度に関する研究、  
舩木裕之、吉田競人、西澤秀喜、岸川樹  
日本建築学会・構造工学論文集、Vol. 63B、pp. 385-391、2017/04

### (2) 国際学会口頭発表

- ①Development of the education training system which utilized BIM and Portable device、  
西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之  
The 11th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia、  
Article Number A-4-2、4P、2016/09

### (3) 学術論文（査読なし）

- ①携帯端末で操作する RC 造施工実習用の教材開発と効果検証について、  
西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之  
日本建築学会・第 33 回建築生産シンポジウム論文集、pp. 229-234、2017/07

- ②B I Mを活用した建築躯体技能工の育成システムに関する研究、

西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之

日本建築学会・第32回建築生産シンポジウム論文集、pp. 269-274、2016/07

#### (4) 国内学会口頭発表

- ①A R (Augmented Realty) 技術を利用した教材開発と効果検証、

西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之

第25回職業能力開発研究発表講演会・論文集、査読無、論文番号20-F-4、2017年

- ②A R技術（マーカー型・ロケーション型）を利用した施工実習用の教材開発、

西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、舩木裕之

日本建築学会大会・中国、講演番号13031、教育部門 pp. 61-62、2017/09

- ③A R/V R技術を応用した教育・訓練システムの構築、

西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之

第24回職業能力開発研究発表講演会、11-G-4、2016/11

- ④A R（拡張現実）技術を活用した学生募集パンフレットの制作、

板野隆文、西澤秀喜

第24回職業能力開発研究発表講演会、11-D-7、2016/11

- ⑤スマートフォンを活用する施工実習教材の開発、

西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之

日本建築学会大会・九州、講演番号13027、教育部門 pp. 53-54、2016/08

- ⑥R C造施工実習のための指導員研修の構築と実践、

西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之

第23回職業能力開発研究発表講演会、pp. 242-243、2015/11

- ⑦建築躯体技能工養成のためのR C造施工実習モデルの開発、

西澤秀喜、吉田競人、舩木裕之

日本建築学会大会・関東、講演番号13014、教育部門 pp. 27-28、2015/09

- ⑧震災復興離職者訓練におけるR C造施工実習の実践報告、

西澤秀喜

第22回職業能力開発研究発表講演会、pp. 52-53、2014/10

- ⑨大学生の施工実習教育における配筋ミスの内容と原因、

西澤秀喜

日本建築学会大会・近畿、講演番号13006、教育部門 pp. 11-12、2014/09

<以下省略>

## **(5) 競争的資金獲得実績**

### ①AR (拡張現実) 技術を応用した建築躯体技能工の育成システム開発

平成 27 年度科学研究費助成事業、基盤研究 (C)、課題番号 15K01009、合計 468 万円

研究代表者：西澤秀喜、研究分担者：吉田競人、連携研究者：嘉納成男、2015～2017

### ②技能要素を考慮した型枠技能者育成のための通信訓練カリキュラム構築に関する研究

平成 29 年度科学研究費助成事業、基盤研究 (C)、課題番号 17K01170、合計 364 万円

研究代表者：船木裕之、研究分担者：西澤秀喜、吉田競人、新井吾郎、塚崎英世、2017～2019

### ③配筋加工の失敗事例とその要因

(公財) 建築技術教育普及センター、平成 26 年度調査・研究助成金、合計 50 万円

調査・研究実施者：吉田競人、共同実施者：西澤秀喜、定成政憲、船木裕之、2014

## **(6) その他（招待講演、新聞掲載、イベント出展他）**

### ①招待講演：「技能検定・2 級鉄筋施工実技試験のための新型教材開発」、

西澤秀喜、(公社) 全国鉄筋工事業協会、第 6 回社員総会、2017/5/23

### ②新聞掲載：日刊建設工業新聞、スコープ技能教育「スマホで施工実習効率化」、2017/6/20

### ③イベント出展：「神奈川 しごと・技能体験フェスタ 2017」、パシフィコ横浜、2017/7/22～23

### ④イベント出展：「2017 実践教育研究発表会 東京大会」職業大小平キャンパス、2017/8/24～25

### ⑤イベント出展：「建設技術展 2017 近畿」、マイドームおおさか、2017/10/25～26

### ⑥イベント出展：「鉄筋 EXPO2017」、幕張メッセ、2017/11/24～26

## 【謝 辞】

本研究は、平成 27 年度 JSPS 科研費（15K01009）の助成を受けたものであります。ここに謝意を表します。

芝浦工業大学大学院・地域環境計画分野の蟹澤宏剛教授には、本研究の推進にあたり、終始懇切なるご指導をいただきました。心からお礼を申し上げます。

また、効果検証のための施工実験にご協力をいただいた蟹澤研究室の修士課程および学部生の皆さんに、お礼を申し上げます。

博士学位論文の予備審査・最終審査にあたっては、主担当の蟹澤宏剛教授、副担当の志手一哉准教授、並びに本橋健司教授、伊藤洋子教授に、貴重なご指摘をいただきました。そうした内容を精一杯反映して本論文をまとめることができましたので、あらためて感謝を申し上げます。

早稲田大学理工学術院の嘉納成男教授には、科研費助成に関わる研究課題の実施に関して多くの助言をいただきました。また、博士論文審査の学外審査委員になっていただきました。あらためて感謝を申し上げます。

職業能力開発大学校の教員と関係者の皆様、そして卒業研究テーマとして数年来一緒に取り組んで来た学生の皆さんに、心から感謝いたします。

ICT の関するソフト・ハードの開発・運用に関しては、(株)プラージュ、グレープシティ(株)、(株)ステークホルダーコム、(株)ソフトウェアセンター、(株)大塚商会の皆様にお世話になりました。お礼を申し上げます。

最後に、本研究の実施と本論文のとりまとめについて、終始応援してくれた家族に感謝いたします。

## 【図面に埋め込まれたコンテンツを見てみよう】

## 《手順①》無料アプリのダウンロード

- ・スマートフォンやタブレットに「ARcube」アプリ（無料）をダウンロードします。

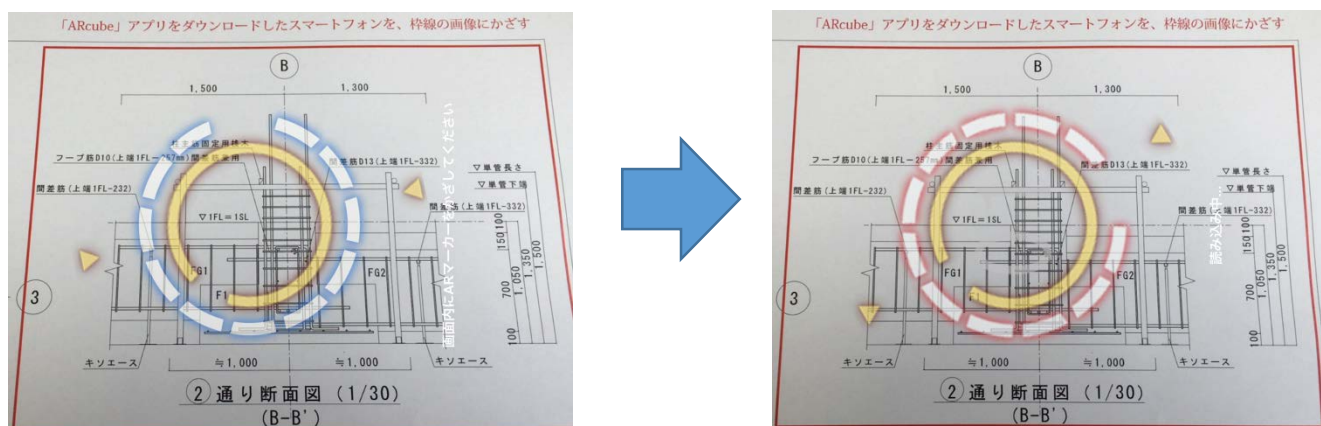


## 《手順②》スマートフォンの「ARcube」アプリを起動

- ・  アプリをタップして起動します。（外部カメラが作動します）

## 《手順③》スマートフォンのカメラを図面の赤枠にかざす（赤枠が画面全体にくるように）

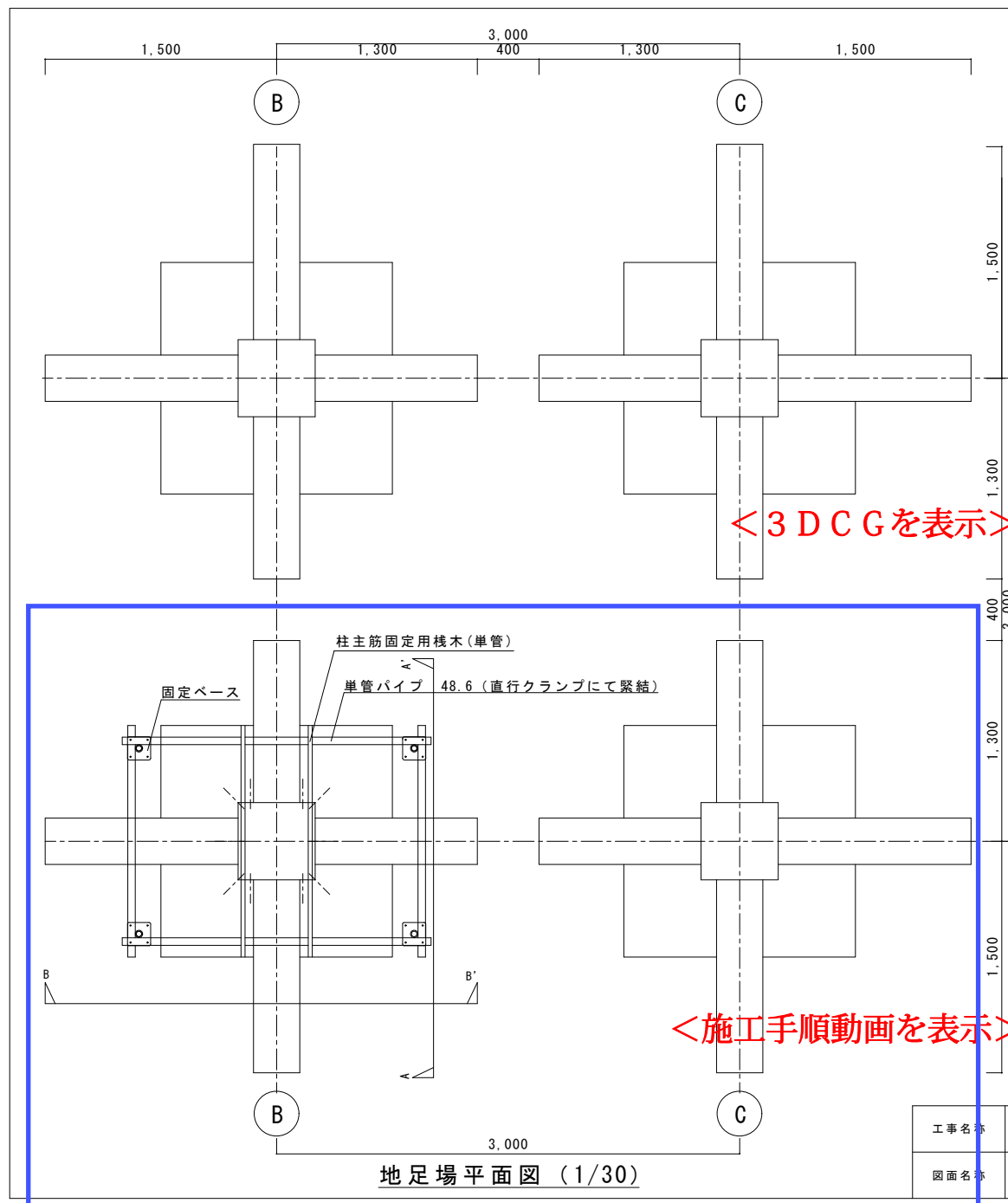
- ・ 図面中の赤枠の画像に、スマホのカメラをかざしてみます。【横位置がお奨め】
- ・ 丸印が回転し始めたら、そのまましばらく待ちます。（左下図）
- ・ 丸印が赤くなったら、間もなく埋め込まれたコンテンツが現れます。（右下図）
- ・ 丸印が赤くならない場合は、カメラを前後に動かしてみます。（拡大←→縮小）
- ・ しばらくたっても丸印が赤くならない場合は、コンテンツが埋め込まれていません。



## 《備考》

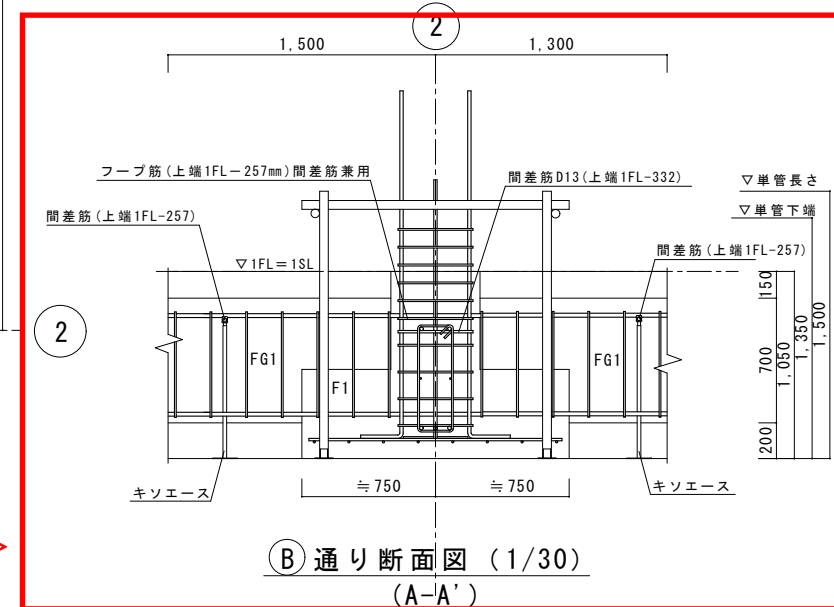
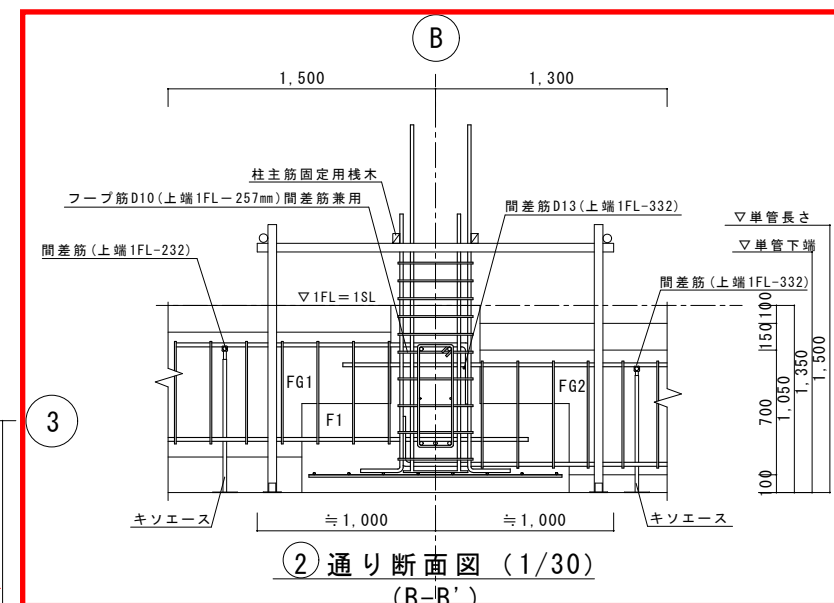
- ・ スマホの画面をタッチして、表示されたコンテンツを拡大・縮小できます。（3D コンテンツ）
- ・ スマホを回転するか、図面を回転すれば、表示されたコンテンツも回転します。
- ・ 図面の目印画像（赤枠）から、スマホのカメラが外れても、表示したコンテンツは消えません。
- ・ 動画コンテンツの場合も、目印画像からカメラが外れても、動画再生が続きます。
- ・ HP などにリンクした場合は、ホーム画面に戻って「ARcube」アプリを再起動します。



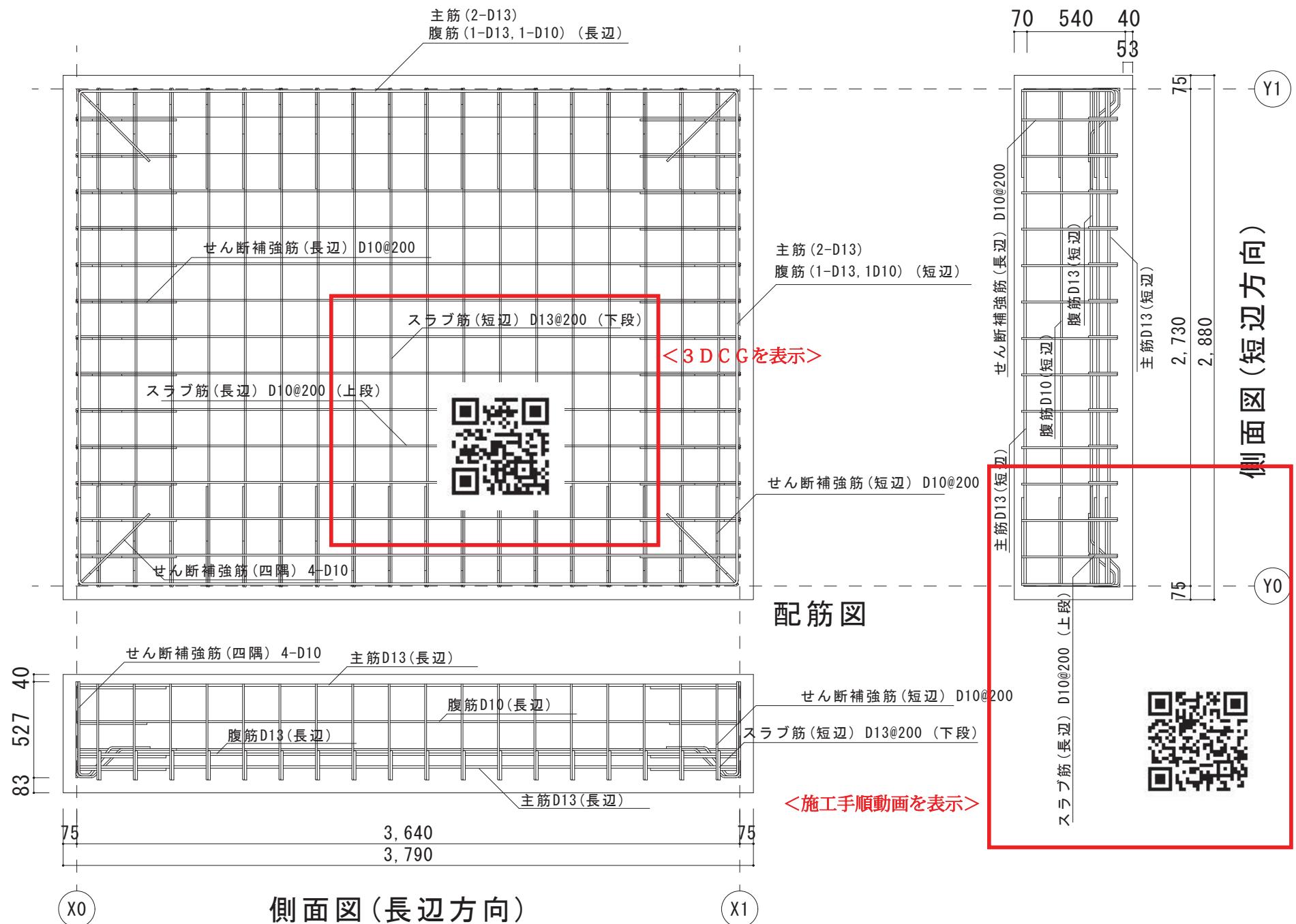


<施工手順動画を表示>

<AR施工手順図を表示>

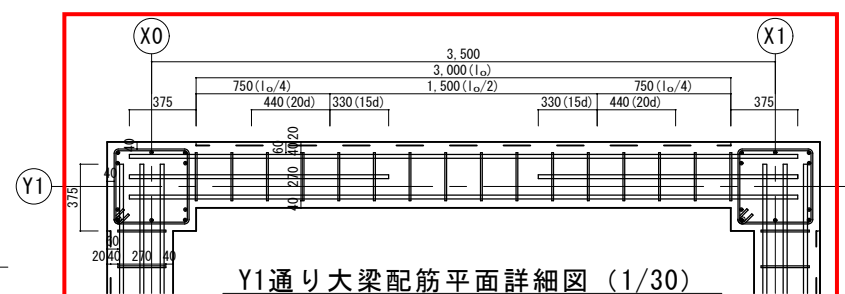
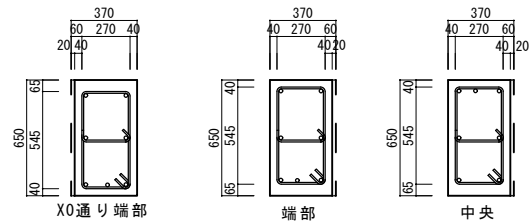
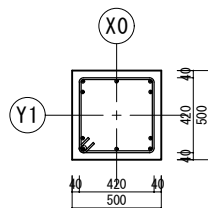


工事名称	小川ビルディング新築工事			図面番号	8
図面名称	鉄筋地足場計画図	縮尺	1/30	日付	2016.06.17

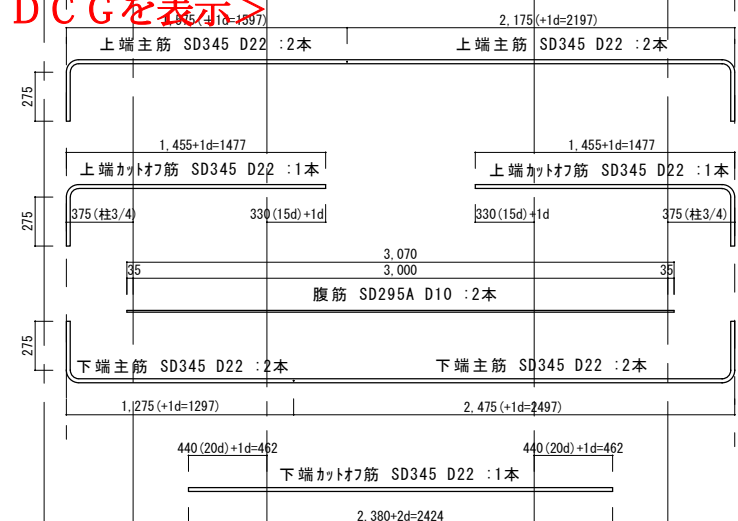
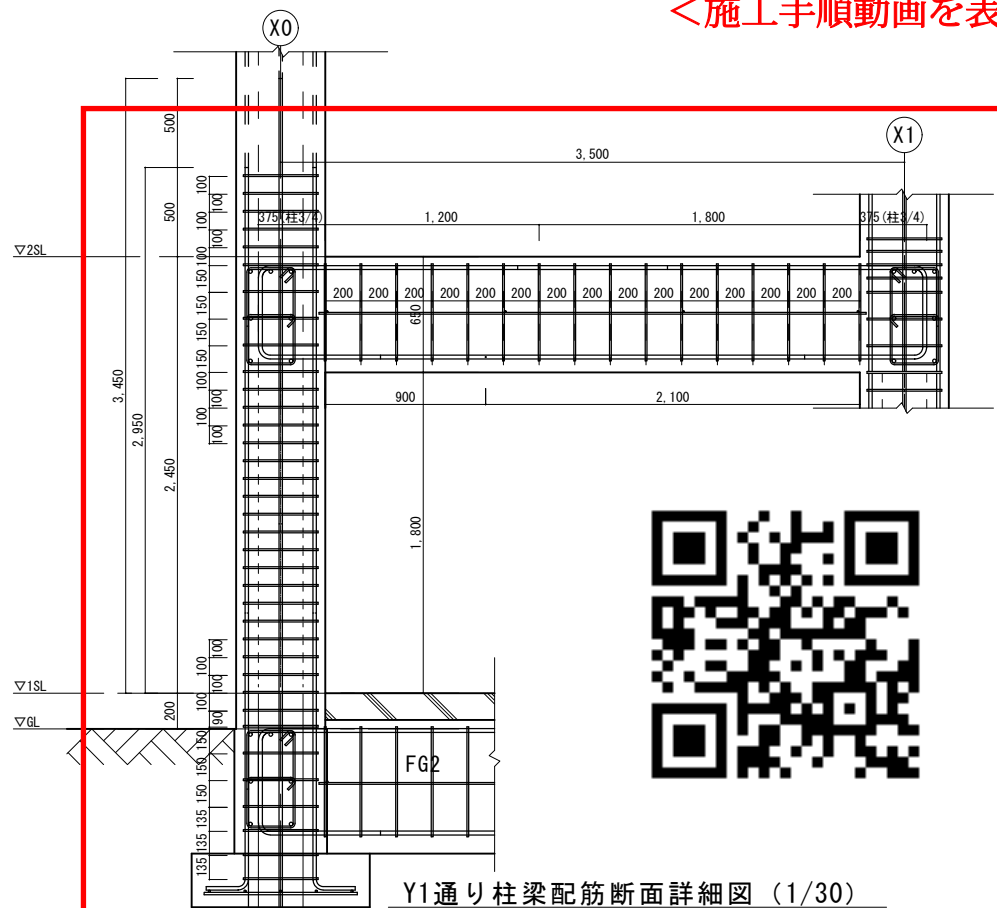


共通事項	鉄筋径 ○: D10 ⊗: D13	工事名称	木造住宅・基礎		図面番号	2
		図面名称	配筋図・側面図	縮尺	1/20	日付

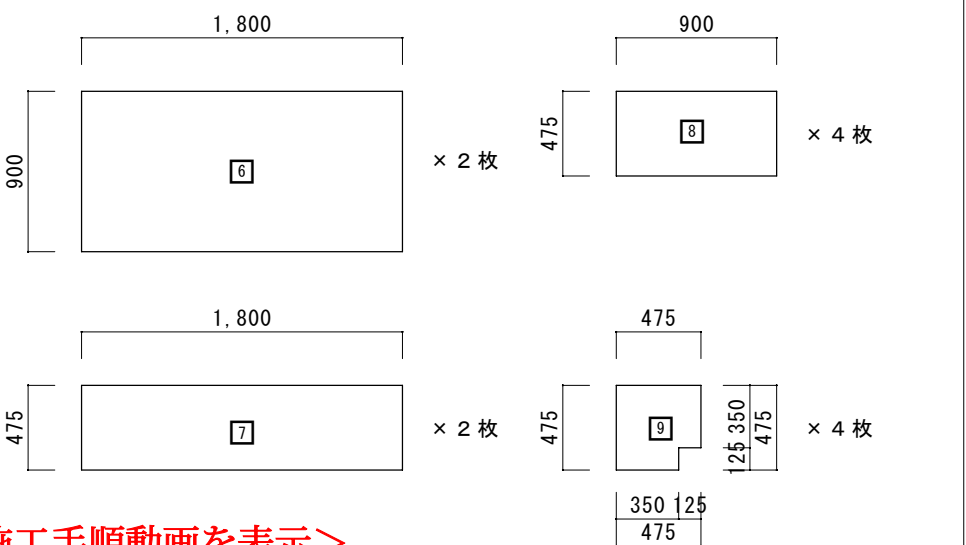
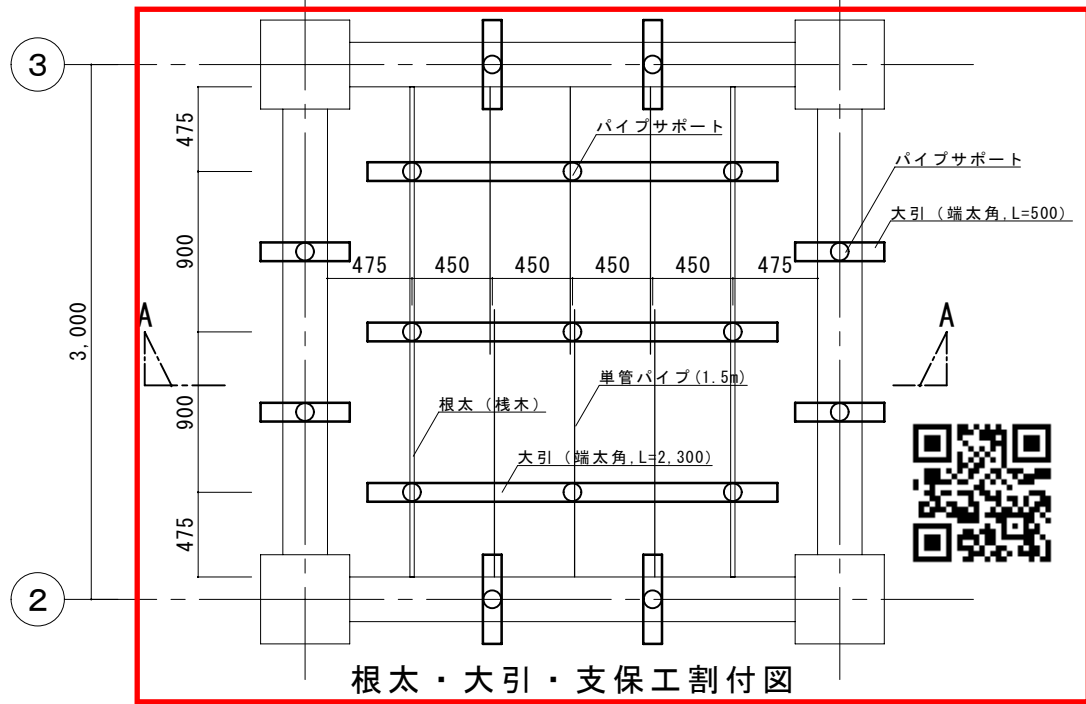
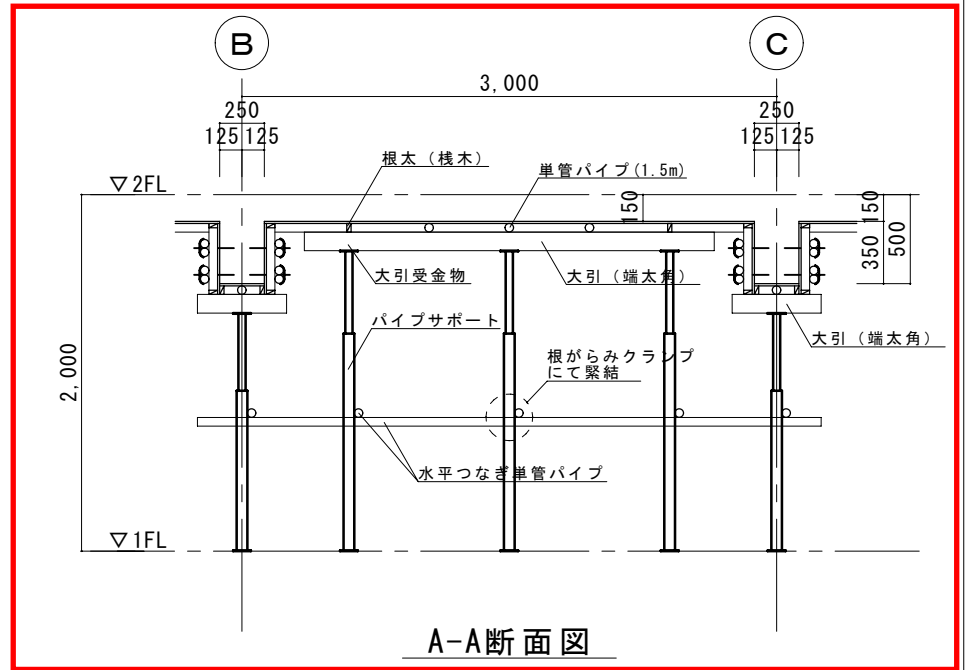
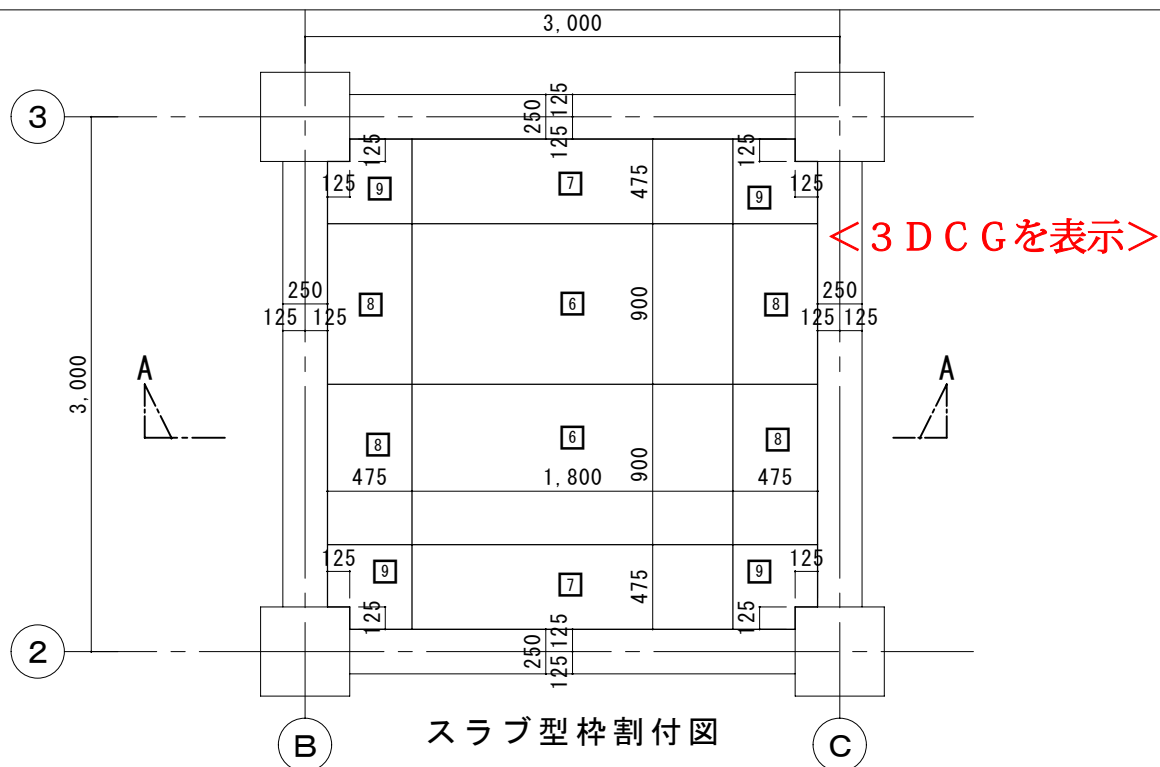
「ARcube」アプリをダウンロードしたスマートフォンを枠線の画像にかざす



＜施工手順動画を表示＞

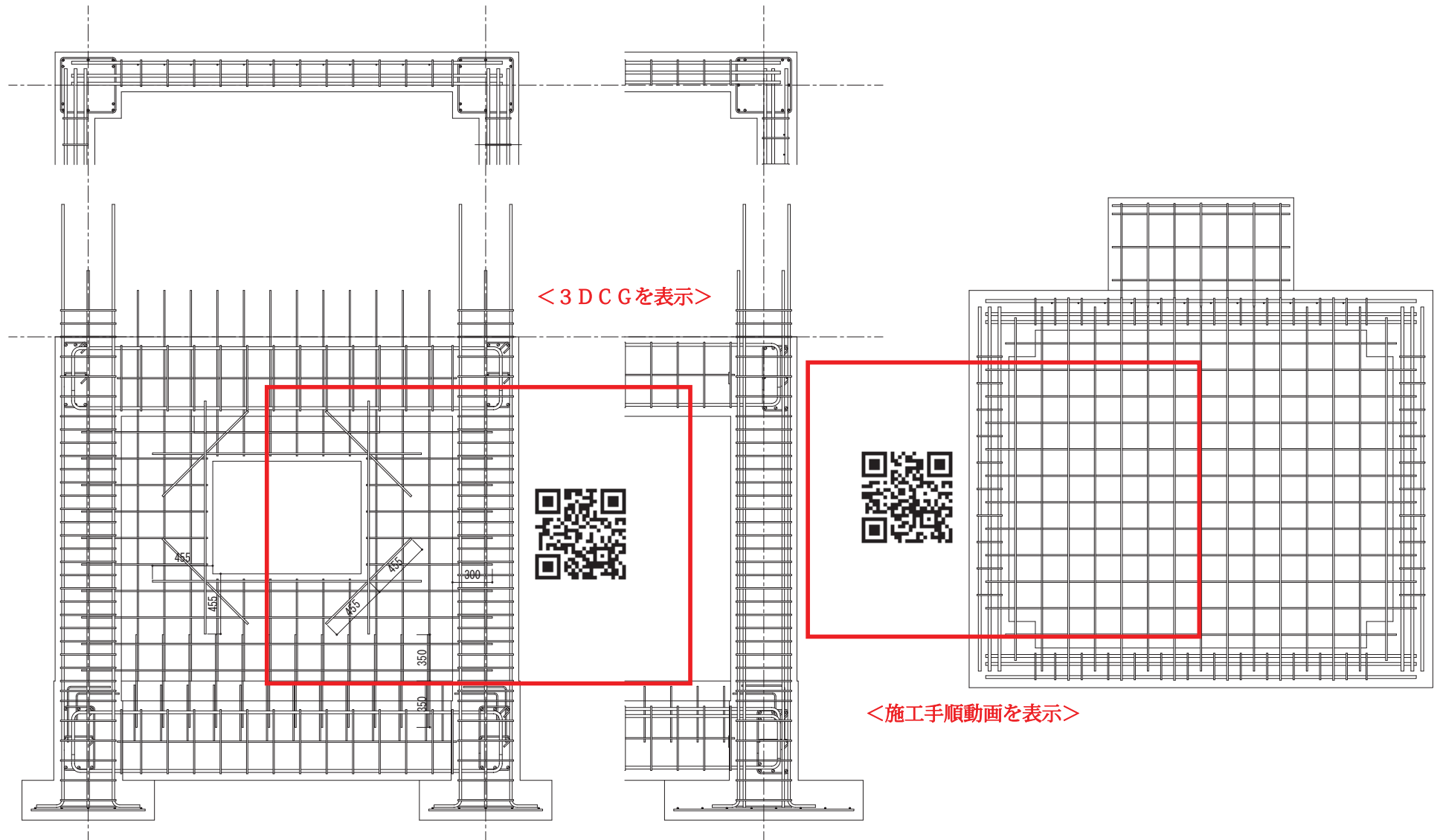


共通事項		工事名称	小川ビルディング新築工事			図面番号	5
		図面名称	配筋詳細図・被り詳細図	縮尺	1/30	日付	2015.8.7



<施工手順動画を表示>

工事名称	小川ビルディング新築工事			図面番号	19
図面名称	スラブ型枠支保工割付図	縮尺	1/30	日付	2016.11.25



共通事項	特記なき限り以下による 1. コンクリート $F_c=30N/mm$ 2. 鉄筋材質 D10, D13:SD295A / D19, D22:SD345	工事名称	小川ビルディング新築工事			図面番号	9
		図面名称	躯体配筋図	縮尺	1/30	日付	2017.03.22

5章 鉄筋工事

(e) 鉄筋の定着は、次による。

(1) 鉄筋の定着の長さは、表 5.3.4 により、適用は特記による。

表5.3.4 鉄筋の定着の長さ

鉄筋の種類	コンクリートの設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	直線定着の長さ				フックあり定着の長さ			
		$L_1$	$L_2$	$L_3$		$L_{1h}$	$L_{2h}$	$L_{3h}$	
				小梁	スラブ			小梁	スラブ
SD295A SD295B	18	45d	40d	20d	10d かつ 150mm 以上	35d	30d	10d	—
	21	40d	35d			30d	25d		
	24, 27	35d	30d			25d	20d		
	30, 33, 36	35d	30d			25d	20d		
SD345	18	50d	40d			35d	30d		
	21	45d	35d			30d	25d		
	24, 27	40d	35d			30d	25d		
	30, 33, 36	35d	30d			25d	20d		
SD390	21	50d	40d			35d	30d		
	24, 27	45d	40d			35d	30d		
	30, 33, 36	40d	35d			30d	25d		

- (注) 1.  $L_1$ ,  $L_{1h}$ : 2. 以外の直線定着の長さ及びフックあり定着の長さ  
 2.  $L_2$ ,  $L_{2h}$ : 割裂破壊のおそれのない箇所への直線定着の長さ及びフックあり定着の長さ  
 3.  $L_3$ : 小梁及びスラブの下端筋の直線定着の長さ（基礎耐圧スラブ及びこれを受ける小梁は除く。）。なお、片持小梁及び片持スラブの場合は、20d 及び 10d を 25d 以上とする。  
 4.  $L_{3h}$ : 小梁の下端筋のフックあり定着の長さ  
 5. フックあり定着の場合は、図 5.3.2 に示すようにフック部分  $l$  を含まない。また、中間部での折曲げは行わない。  
 6. 軽量コンクリートの場合は、表の値に 5d を加えたものとする。

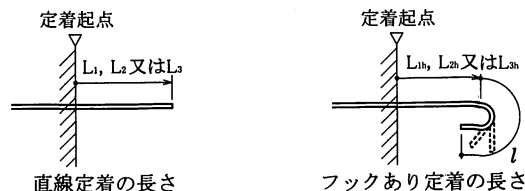


図5.3.2 直線定着の長さ及びフックあり定着の長さ

(2) 仕口内に縦に折り曲げて定着する鉄筋の定着長さ  $L$  が、表 5.3.4 のフックあり定着の長さを確保できない場合の折曲げ定着

5章 鉄筋工事

の方法は、図 5.3.3 により、次の (i), (ii) 及び (iii) をすべて満足するものとする。

(i) 全長は、(e) (1) の直線定着の長さ以上とする。

(ii) 余長は 8d 以上とする。

(iii) 仕口面から鉄筋外面までの投影定着長さ  $L_a$  及び  $L_b$  は、表 5.3.5 に示す長さとする。ただし、梁主筋の柱内定着においては、原則として、柱せいの 3/4 倍以上とする。

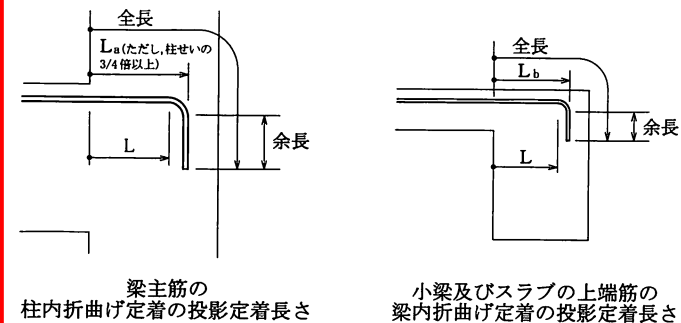


図5.3.3 折曲げ定着の方法



4. 基礎梁

基礎梁は、柱の内法部分をいいます。  
図 12.9 において基礎梁の長さは、L です。基礎の内法長さ L' ではありません。  
基礎との接続部分による基礎梁の断面欠損部分についてはすべて考慮します。  
そこで図 12.9 に示すハッチング部分の基礎との取り合いは、コンクリート、型枠ともに差し引きます。

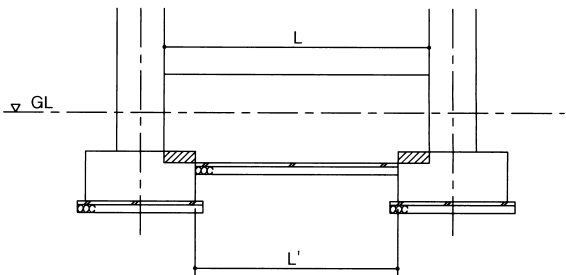


図 12.9 基礎梁

型枠は基礎梁の両面のみを計測・計算します。梁底は地業になります。  
鉄筋は、基礎による断面欠損を考慮しないで計測・計算します。  
鉄筋の計測・計算方法は、一般階の梁と同様になります。  
また、図 12.10 のように、基礎梁底面と基礎が離れている場合は、一般に増打ちをして補強筋を入れますが、これは図示に従います。

<部材毎の段階図動画を表示>

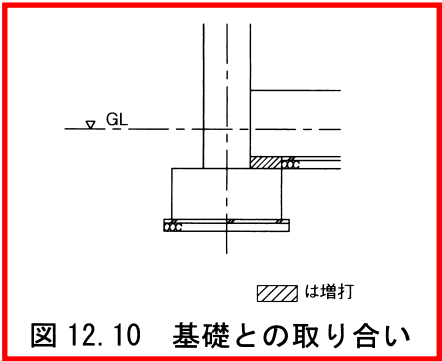
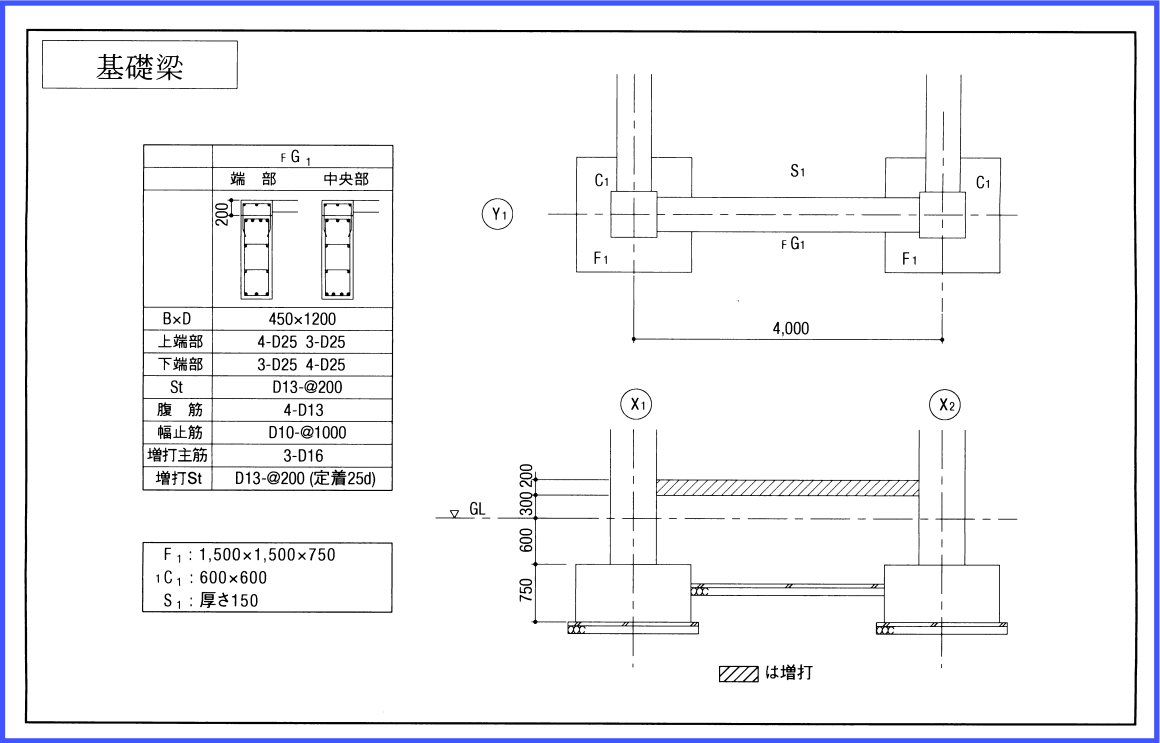


図 12.10 基礎との取り合い

例 題 (基礎梁)

<部材毎の段階図を表示>



<※ARcubeアプリをインストールしたスマホを赤枠内にかざす>