AR 技術を利用した建築施工実習用教材群の開発

○西澤　秀喜*1　蟹澤　宏剛*2
吉田　競人*3　舩木　裕之*4

キーワード：ＡＲ　ＶＲ　教材開発　建築施工実習　教育訓練

１．はじめに

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。建設産業では、従来から技能者や技術者の高齢化と、新規入職者の減少という構造的は問題を抱えており、人材不足は一過性の問題ではないと認識されている。したがって、「担い手の確保・育成」が、建設産業に関連する多様な組織に共通の最重要課題の一つとなっている。

建設産業関係の事業団体では、厚生労働省の委託を受けて、職業訓練と就職支援をパッケージで推進するケースもある（建設労働者緊急育成支援事業等）。また、総合建設業や専門工事業の中には、自ら職業訓練コースを設置するケースもある。

初学者を対象とする建築の技能・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。ところが RC（鉄筋コンクリート）造の施工実習においては、標準的な実習課題モデルや、わかり易い実習教材等が見当たらない状況にある。

施工実習に使用する教材は、従来 2 次元図面が主体であった。RC 造の施工実習においては、鉄筋配筋図や配筋詳細図（図 1）などを利用してきた。初学者にとっては、2 次元図面（平面図・立面図・断面図）をそれぞれ見ても、これが完成した状態の 3 次元の立体構造（図 2）を頭の中にイメージすることが難しい。その結果、図面からの情報の読み取りが不十分となり、また指導者の説明も理解しにくい状態となって、技能や技術の習得を妨げる要因となっていた。

２．研究の目的

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。また、生産現場の施工管理技術者も全国的に不足している。

そこで、ソフトウェアとハードウェアを組み合わせた ICT の活用により、初学者を対象として、不足する建築の技能者や技術者などを効率的かつ短期間に確保・育成するための、新たな教育訓練教材等の開発を本研究の目的とした。

３．研究の方法

建築生産に関わる技能者や技術者を、効率的に確保・育成するためには、「初学者にもわかり易い施工実習教材の開発」と、「標準的な施工実習課題モデルの開発」が必要であると考えた。なお、建築施工実習用の教材開発に AR 技術を利用した研究例は、ほとんど見当たらない。

(1)前者の「初学者にもわかり易い施工実習教材の開発」については、近年において発展が著しい ICT の活用によって可能になる。

例えば、AR（Augmented Realty）は「拡張現実」と翻訳されるが、現実の背景の上にコンピューターで制作した各種のコンテンツを重ね合わせて表示する技術のことである。携帯端末の内臓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するために、「重畳表示」とも呼ばれる。

また、VR（Virtual Reality）は「仮想現実」と翻訳され、「コンピューターで作られた人工的な現実世界」と

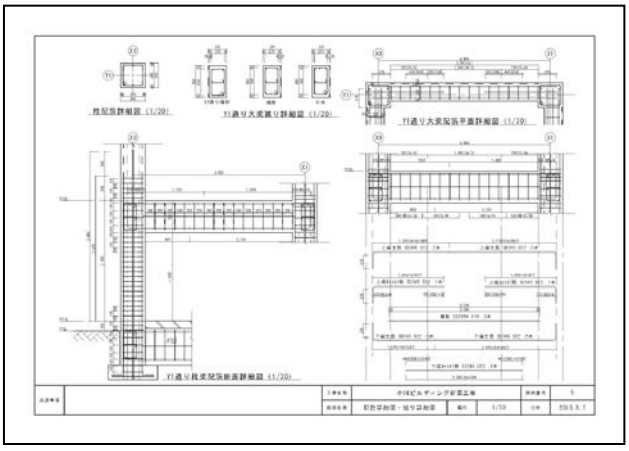

図１　配筋詳細図（2 次元図面）

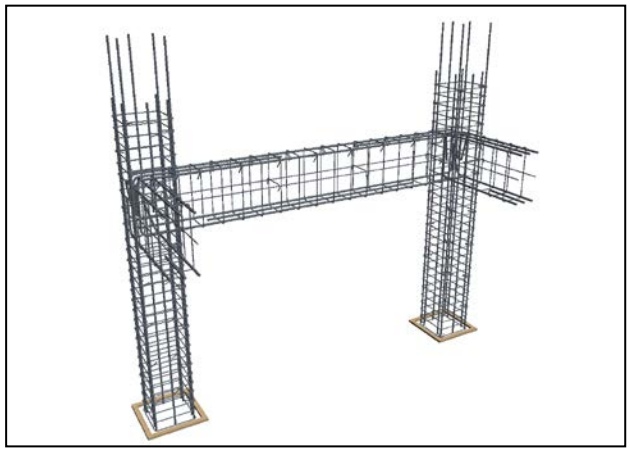

図２　図１の 3 次元完成モデル

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ーを装着すると、視界に 360°の映像空間が現れて、その中に入り込んだように感じる技術である。

近年の携帯端末機器の大幅な進歩によって、AR 技術や VR 技術を容易に活用できる環境が整った。かつては大型コンピューターを必要としたが、現在ではスマートフォンやタブレット端末で十分に利用可能である。したがって、AR・VR などのソフトウェアと、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て、これまでには無い「初学者にもわかり易い施工実習教材の開発」を進めた。

(2) 後者の「標準的な施工実習課題モデルの開発」については、各所で行われる実物大の施工実習において活用することを想定すると、実習期間、受講者数、実習場所、保有機器等の様々な条件に対応できる必要がある。すなわち、施工実習の指導者が、諸条件に合わせて施工実習課題モデルを選択できる状態が望ましい。そこで、複数の施工実習課題モデルを開発し、標準化を目指した。

具体的には、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」で実施している課題モデルや、全国の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実施している課題モデル等をベースにして、これらに改良や修正を加えて、複数の標準的な施工実習課題モデルを開発することとした。

4．研究の成果

(1) 開発・制作した「拡張 3D 教材群」の構成

初学者（大学生や職業訓練の受講者）にもわかり易い施工実習用の教材開発をテーマに研究を進めて、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鉄筋配筋図や配筋詳細図などの 2 次元図面、②全部材を入力した 3D 完成モデル、③AR 重畳表示コンテンツ、④施工手順図、⑤施工手順動画の 5 種類である（図 3）。これらを「拡張 3D 教材群」と称することとした。

制作手順は、はじめに施工実習の対象とする構造物の設計図（意匠図・構造図等）から、2 次元の施工図を制作する。これが図 3 における「①2 次元図面（配筋図・配筋詳細図等）」である。これには JW-CAD を使用した。

次に図 3 の「②3D 完成モデル（全部材入力）」は、「①2 次元図面」に記入した全部材を入力して制作した。さらに「③AR 重畳表示コンテンツ」、「④施工手順図」、「⑤施工手順動画」を制作するが、その手順は以下に詳述する。これらの 5 種類の教材を一組とするのが「拡張 3D 教材群」であるが、受講者自身のスマートフォンやタブレット端末などで利用するのは図 3 にける③・④・⑤の教材である。

(2) AR 技術を利用した重畳表示教材の制作

2 次元図面をそれぞれ見ても、3 次元の立体形状を頭の中にイメージすることが難しい初学者のために、3 次元完成モデルのイメージづくりをサポートする「AR 重畳表示教材」を開発した。図 4 のように、2 次元図面の上にスマートフォンやタブレットなどをかざすと、携帯端末の画面に 3D 完成モデルを重畳表示することができる。これには、画像マーカー型 AR 方式を活用している。

はじめに 2 次元図面の一部を画像マーカー（目印画像）に設定する。また、重畳表示するためのコンテンツ（3D モデル、動画、写真、音声など）をあらかじめ制作しておく。次に、これらを一対にして AR クラウド・サーバーに登録する[注 1)]。携帯端末のカメラが登録済の画像マーカーを捉えれば、これに対応するコンテンツをクラウド・サーバーから読み出して、スマートフォンやタブレットの画面に重畳表示する仕組みである。

画像マーカー型 AR 方式では、携帯端末と画像マーカーの距離や角度を感知して、自動的に表示調整が行われる。したがって、携帯端末を画像マーカーに近づければ 3D 完成モデルは拡大する。また、携帯端末を図面にかざす

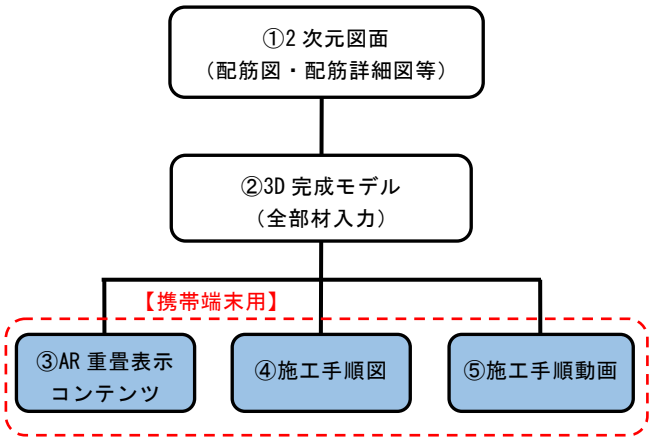

図 3　拡張 3D 教材群の構成

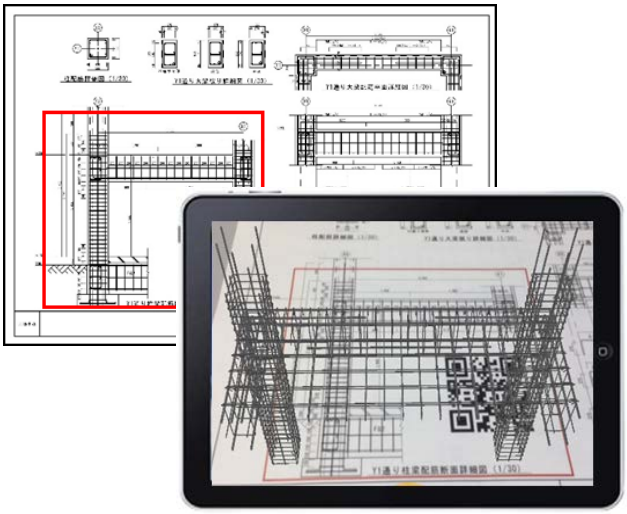

図 4　2 次元図面に 3 次元完成モデルを重畳表示した例

角度を変えれば、重畳表示される 3D 完成モデルのアングルが変わる。さらに、携帯端末の画面上を指でタップして拡大・縮小・回転などの操作もできる。そのため、利用者は自身が見たい部分をいつでも自在に確認できる。

その結果、実物大の施工実習を開始する前に、受講者はこれから組立てる構造物の完成形状を 3D で確認でき、図面からの情報の読み取りが促進できる。また、組立施工に関する注意事項など、指導者の説明についても理解度が向上する。

なお、3D 完成モデルは、3D モデリング・ソフト[注2)]や、BIM（Building Information Modeling）ソフト[注3)]を活用して制作した。この際、建築工事標準仕様書や鉄筋コンクリート造配筋指針など、多くの規準類を正しく反映する必要がある。中には数年毎に改定される規準等もあり、最新版[1)]を参照して 3D 完成モデルを制作している。

(3) 施工手順図の制作

3D 完成モデルは、実物大の施工実習の対象とする構造物の全部材を入力して制作した。こうして入力した各部材を、施工手順の数だけレイヤーを用意して、これに割り付ける操作を行えば、3D の施工手順図が制作できる。各レイヤーへの割り付けにあたっては、後工程で手戻りが発生しないように部材の組立順序に十分配慮した。

こうして制作した施工手順図（図 5）を、スマートフォンやタブレットに表示するために、BIM ソフトのメーカーが無償で提供するビュワー専用ソフト[注4)]を利用した。BIM ソフトで制作した 3D 完成モデルのデータは大きなファイルサイズになるが、ビュワー専用に変換すると携帯端末で扱えるファイルサイズに圧縮できる。

完成した施工手順図は、画面表示の拡大・縮小・回転などが自在に行える。また、画像マーカー型 AR 方式とは異なり、距離や角度による画面表示の自動調整機能はない。そのために画面表示が非常に安定している。したがって、鉄筋相互の複雑な納まりの確認などに活用できる。すなわち、2 次元図面では表現できない背面部分までも可視化できる教材である。

ただし、画像マーカー型 AR 方式のように、3D モデルのデータをクラウド・サーバーからその都度読み出すことが出来ず、あらかじめ施工手順図の各モデルのデータを受講者の携帯端末に転送・保存する手間が必要である。

(4) 施工手順動画の制作

施工手順動画は、前節で制作した施工手順図を、一定時間間隔（数秒程度）で切り替えて連続的に表示したものであり、いわゆるスライドショーの状態である（図 6）。

スマートフォンやタブレットの標準的な動画アプリで再生でき、途中で停止することもできる。ただし、画像の拡大・縮小・回転などの操作は出来ない。動画とはいえ全体が短時間（1～2 分程度）であるから、携帯端末で十分に扱えるファイルサイズに収まる。

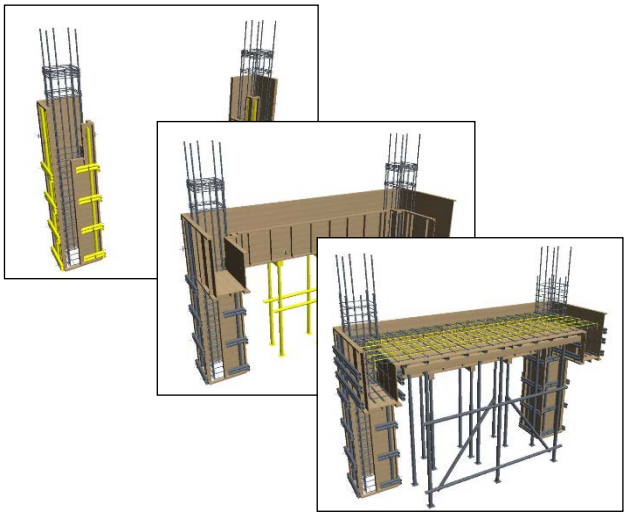

図 5　3D 施工手順図の例

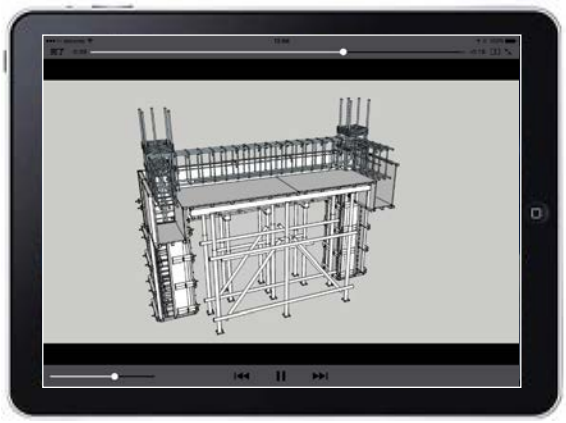

図 6　施工手順動画の表示例

実物大の施工実習においては、組立施工に着手する前に、施工手順の全体像を短時間で確認するのに最も適した教材である。図 6 のように、再生動画の見易さを優先して背景が映らない設定としている。したがって AR 重畳表示とは異なり、広義の VR と考える。ただし、AR クラウド・サーバーに動画データを登録しておき、2 次元図面上の画像マーカーに紐付けて、動画データをクラウド・サーバーから読み出しながら再生することが出来る。この方法は、動画データをあらかじめ受講者の携帯端末に転送・保存する手間が掛からず、簡単に利用できる。

5．「拡張 3D 教材群」の効果検証

開発・制作した「拡張 3D 教材群」の効果を検証するため、実物大の鉄筋モデル（基礎配筋の一部分）を組立施工する実験を行った。初学者の男子大学生を 2 人 1 組として 4 チームを作り、2 チームは 2 次元図面のみの教材で、他の 2 チームには 2 次元図面に加えてタブレットで操作する「拡張 3D 教材群」を提供した。4 チームの施

工実験は全て別日程で実施した。それは、重複して行うと隣のチームの組立状況が観察できるため、そこから学習することを防ぐためである（写真 1）。

施工実験の様子は作業全体をビデオカメラで記録して、映像の分析を行った。まず動画を作業内容毎に分解した上で、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。

鉄筋モデルの組立に要した合計所要時間は、「拡張 3D 教材群」を使用した 2 チームの平均が 149 分、2 次元図面のみで行った 2 チームの平均が 230 分となった(表 1)。この結果から、「拡張 3D 教材群」を使用すれば、鉄筋モデルの組立所要時間が 35%短縮できたことになる。

「通常作業」（正味の鉄筋組立作業）においては、使用と未使用の差は平均で 10 分しか無かった（表 1）。

「手戻り」（前工程で完了した部分に遡っての修正）は、使用した 2 チームには全く発生しなかった（図 7）。

「手直し」（現在の作業工程内での修正）は、使用した 2 チームの平均は未使用の 2 チームの平均の約 1/4 であり、「打合せ」（教材の参照を含めた 2 人の被験者間の相談）についても、使用した 2 チームの平均は未使用の 2 チームの平均の約 1/2 であった（表 1）。

すなわち、正味の鉄筋組立作業に要する時間(通常作業)では、「拡張 3D 教材群」の使用・未使用の違いはほとんど見られなかった。ところが、手戻り・手直し・打合せについては、いずれも未使用のチームが多くの時間を要した（図 7）。これは、2 次元図面からでは組立手順が読取れず、試行錯誤による組立作業となった結果である。

以上のように、「拡張 3D 教材群」を使用すれば、初学者でも「短時間にミス無く正確に」鉄筋の組立作業が完了できる。その結果、本研究において開発・制作した「拡張 3D 教材群」の有効性が確認できた。（以上の 5 章の記述は研究内容を明確にするために [2] より転載している）

写真 1　鉄筋組立施工実験の様子 [2]

表 1　施工実験の作業項目別所要時間（単位：分）[2]

ケース / 作業項目	拡張3D教材群 使用			拡張3D教材群 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

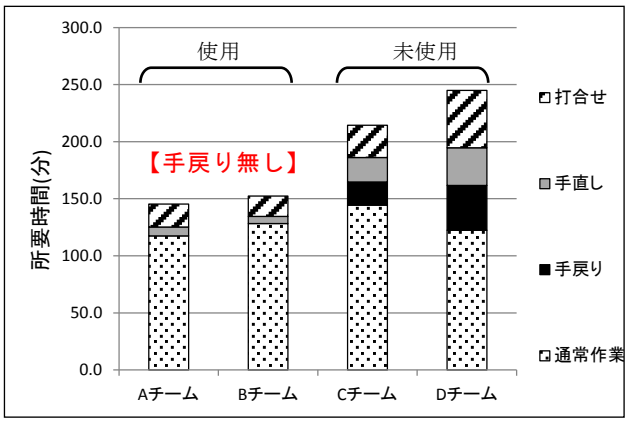

図 7　チーム毎の所要時間の構成 [2]

6．標準的な施工実習課題モデルの開発

複数の標準的な施工実習課題モデルの開発を目指した結果、図 8 に示す 5 つのモデルを選定し、それぞれに対して「拡張 3D 教材群」を制作した。こうして施工実習用の複数の標準的な課題モデルが完成した。

図 8(A)は、基礎柱と基礎梁の交差部の鉄筋モデルである。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。(B)は、住宅基礎の鉄筋と型枠のモデルである。(C)は、柱・梁と床スラブの一部からなる鉄筋と型枠の複合モデルである。(D)は、型枠と型枠支保工のモデルである。(E)は、鉄筋と型枠とコンクリートの総合モデルで、独立基礎・基礎梁・1 階立上りの合計 3 回、コンクリート打設を想定したモデルである。

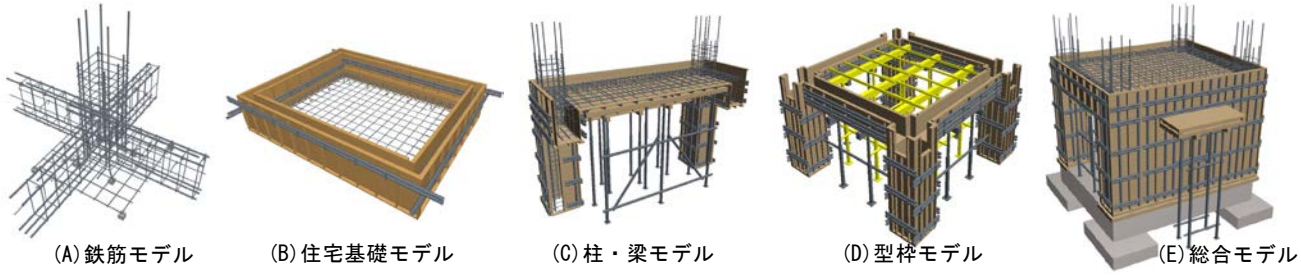

図 8　開発した 5 つの標準的な施工実習課題モデル [2]

この結果、実物大の施工実習等の指導者は、実習課題を複数の標準モデルから選択可能な環境が整った。

7．開発・制作した教材群の改良

(1)画像マーカー型 AR 方式の改良

画像マーカー型 AR 方式は、基本的には一つの画像マーカーに対して一つのコンテンツ（3D モデルや動画など）を紐付ける仕組みである。したがって 1 モデルのみの重畳表示が一般的である。ところが、図面にかざしたタブレット上で施工手順図が見られれば便利である。そこで、一つの画像マーカーに対して複数のコンテンツが紐付けられるように AR アプリの改良を行った。その結果、図 9 のように AR 重畳表示の画面上において、左右のボタン（◀ ▶）によって表示する 3D モデルを前後に切替えできるようになった。これで AR の施工手順図が完成した。

(2) ロケーションベース型 AR 方式によるアプリ開発

実物大の施工実習を始めてみると、画像マーカー型 AR 方式の利用が難しくなる。すなわち、実物大の施工実習課題モデルは幅が 3m～4m 程度あるため、全体を携帯端末のカメラに納めるためには、かなり後退する必要がある。その結果、A3 版程度の画像マーカーでは認識できない。解決策としてロケーションベース型 AR 方式を用いた。これは GPS（全地球測位システム）などにより携帯端末の位置情報を取得し、これに関連付けたコンテンツを重畳表示する仕組みであり、画像マーカーは必要ない。

図 10 は、施工実習中の基礎構造物の上に、鉄筋の 3D 完成モデルを重畳表示した例である。基礎に重なる部分は既にコンクリートに打ち込んだ配筋であり、これから施工する柱・梁の配筋が確認できる。これは専用アプリとして開発し、アプリ登録サイトに公開している（図 11）。

8．まとめ

初学者にもわかり易い施工実習教材の開発を進めて、5 種類の教材を一組とする「拡張 3D 教材群」を開発した。このうち、③AR 重畳表示コンテンツ、④施工手順図、⑤施工手順動画の 3 種類が、受講者自身の携帯端末で利用できる。④・⑤は画面に現実の背景が映らないために、広義の VR と考えている。（○内の数字は図 3 に対応）

開発した「拡張 3D 教材群」を用いて初学者による施工実験を行い、「短時間にミス無く正確に」実物大の鉄筋組立作業が完了できたことから、教材の有効性を確認した。

また、実物大の施工実習は様々な条件下で実施されるため、標準的な施工実習課題モデルとして 5 つのパターンを選定し、それぞれに「拡張 3D 教材群」を制作した。

さらに、教材群を実際に使用して判明した課題に対し、AR 施工手順図の開発や、ロケーションベース型 AR アプリの開発を行って、「拡張 3D 教材群」の改良を実施した。

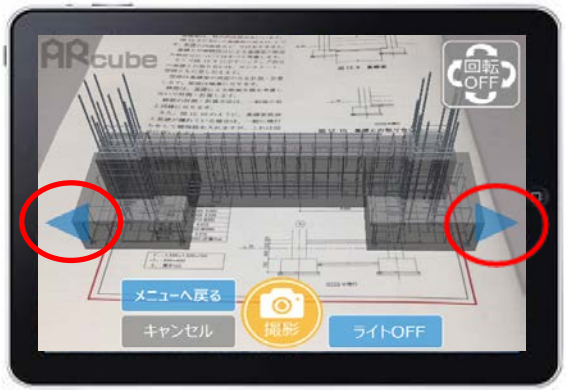

図 9　AR 重畳表示による施工手順図の表示例

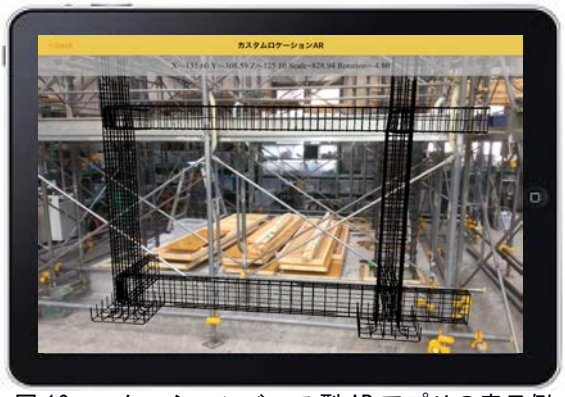

図 10　ロケーションベース型 AR アプリの表示例

図 11　アプリ登録サイト(AppStore)の検索画面

[参考文献]

1) 公共建築工事標準仕様書（建築工事編）平成 28 年版、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修

2) 西澤、蟹澤、吉田、舩木：携帯端末を利用する施工実習用教材群の開発と評価、日本建築学会環境系論文集、第 82 巻、第 740 号、pp.905-913、2017/10

[注]

注 1）ARcube、(株)プラージュ、http://www.prage.jp/arcube

注 2）SketchUp Pro、(株)アルファコックス

注 3）ArchiCAD、グラフソフトジャパン(株)

注 4）BIMx デスクトップビュワー、グラフソフトジャパン(株)

＊1　職業能力開発総合大学校　准教授　博士(工学)

＊2　芝浦工業大学建築学部　教授　博士(工学)

＊3　第一工業大学建築デザイン学科　教授　博士(工学)

＊4　職業能力開発総合大学校　助教　博士(工学)

Development of a Series of Teaching Materials for Building Construction Practice Applied AR Technology

○Hideki NISHIZAWA*1 Hirotake KANISAWA*2
Keito YOSHIDA*3 Hiroyuki FUNAKI*4

Keywords : AR, VR, Development of teaching materials, Building construction practice, Education and Training

There has been a shortage of skilled workers and construction management engineers in building production nationwide. This problem is not transient in the construction industry as it is recognized. Therefore, fostering them is a common and most important issue in various organizations related to the construction industry.

Actual practice training in addition to lectures will be effective for novices. The reinforcing bar arrangement diagram and the detailed bending schedules drawings which are the teaching materials used for the education and training are two-dimensional drawings. However, for novices, it is somewhat difficult for them to image a three-dimensional structure from a two-dimensional drawing such as a plan, an elevation, or a cross-section. As a result, it seems that it was often difficult for them to master skills and techniques.

To solve the problem, we aimed to develop a new training method to utilize ICT which combines new software and hardware, efficiently and to nurture them in a short period of time.

Firstly, we developed teaching materials for construction practice which is easy to understand for the first scholars. This is the application of Augmented Reality (AR) technology and VR (Virtual Reality) technology. The three-dimensional model of the completed structure could be superimposed and displayed by overlapping the smartphone or the tablet terminal on the two-dimensional drawing. The animation of the construction procedure also can be displayed. Such teaching materials are new construction practice teaching materials that have not existed so far. One of the features of these teaching materials is that each person can use it at each cell phone so that questions can be easily solved at any time.

Also, the environment in which construction training is conducted is different at each site. Based on that assumption, five types of standard construction practice task models were developed to be able to deal with various conditions such as practical training period, several students, training place, owned equipment and so on. All developed construction practice task models are new construction training materials using ICT. By doing this, the leaders of the construction practice made it possible to select the preferable construction practice task model for each practical training environment and to carry out the construction training.

We carried out the assembly work of the reinforcement model by the novices and examined the effect of the developed practice teaching material. This verification was carried out by comparing the construction time spent by two pairs of novices' groups to perform rebar assembly by using the teaching material by using both the conventional two-dimensional drawing and the developed construction practice teaching material. As a result, it was found that when new teaching materials were used, the spent time for assembling could be reduced by 35% compared with the conventional case of only two-dimensional drawings. Also, there was little redo due to construction errors. In other words, if new teaching materials are used, it was confirmed that even the novices could complete the assembling work accurately without mistakes in a short time.

The new construction training materials developed in this paper are should being utilized in construction practice lessons for university students, and in occupational training for job seekers, they are beginning to be used in multiple facilities.

*1 Associate Professor, Polytechnic University, Dr. Eng.
*2 Professor, School of Architecture, SHIBAURA Institute of Technology, Dr. Eng.
*3 Professor, Architectural Design Department, Daiichi Institute of Technology, Dr. Eng.
*4 Assistant Professor, Polytechnic University, Dr. Eng.