

## 28. 3次元計測／出来形管理システムの開発と建築工事への適用

大林組 技術研究所 ○ 池田 雄一  
 大林組 技術研究所 金子 智弥  
 大林組 技術研究所 浜田 耕史

### 1. はじめに

近年、建築工事においても鉄骨工事や PCa 工事などでトータルステーション（以下、TS）の利用機会が増えてきている。TSによる測量は1名で可能だが、建築工事特有の様々な理由により、必ずしも測量作業の工数削減、施工管理業務の省力化効果が得られていない。一方、最近、部材形状・配置が複雑な構造物が増えてきており、構造物全体や節・フロア単位での建入精度や収まりを従来より効率良く把握することが求められている。

そこで、著者らは、鉄骨工事や PCa 工事において、部材の建入精度をTSの利用により簡便に計測でき、その建入精度を含む出来形を簡単に管理できる3次元計測／出来形管理システムを開発した。システムは、3次元計測システムと出来形管理システムで構成される。前者は、TSを利用した計測・測量作業の工数削減、施工管理業務の省力化を図るためのシステムである。後者は、計測した部材の建入精度（設計座標に対する施工誤差）を3次元または2次元で表示するシステムである。

本報では、システム開発の背景、システム概要、工事適用結果や得られた知見について報告する。

### 2. システム開発の背景

#### 2.1 建築工事における情報化施工の現状

近年、土木工事では、電子化された設計データを施工時に有効利用する情報化施工が広く普及してきている。情報化施工では、設計データから竣工データまで一貫して、3次元モデルなどの電子データを取扱うことでコスト低減や施工品質の向上、透明化などの効果を得ている<sup>1)</sup>。一方、建築工事における情報化施工は、以下の3つの理由から部分的な適用に留まることが多い。

- ① 建築工事はほとんどが民間工事であるため、設計データの標準化が進んでいない
- ② 同理由により、電子納品を求められていない
- ③ 3次元CADを利用しなくても、設計や施工が可能な建築物の割合が高い

上記の理由から、建築工事で情報化施工を実施するには、情報化施工で利用できる専用の設計デ

ータを新たに準備するか、現状の設計データを利用しやすい形式に電子化する専用ソフトが必要になる。この結果、余分なコストや手間が発生し、情報化施工を導入したことによるコスト低減効果を得にくい背景がある。

建築工事で情報化施工を実現するためには、設計データを電子データの状態で施工まで効率的かつ継続的に扱うかが重要である。近年、建築工事においても、BIM（Building Information Modeling）の利用が少しずつ進められつつあるが、現状では、対象工事が限定的である。そこで、BIMを導入していない多くの建築工事でも情報化施工を簡易に実現できる汎用性の高いシステムを開発することで、土木工事と同等の効果を建築工事でも効率良く得られることが期待されている。

#### 2.2 専用システムの構築

鉄骨工事や PCa 工事では、部材全数の建入精度を計測し、その結果を帳票にまとめ、監理者へ節またはフロアごとに提出しなければならない。著者らは、これらの作業全体の業務の効率化およびコスト低減を実現するため、情報化施工の概念を導入した図-1のような全体システムを構築した。まず、計測する点の座標（設計座標）を部材ごとに抽出し、3次元計測システムに登録する。TS

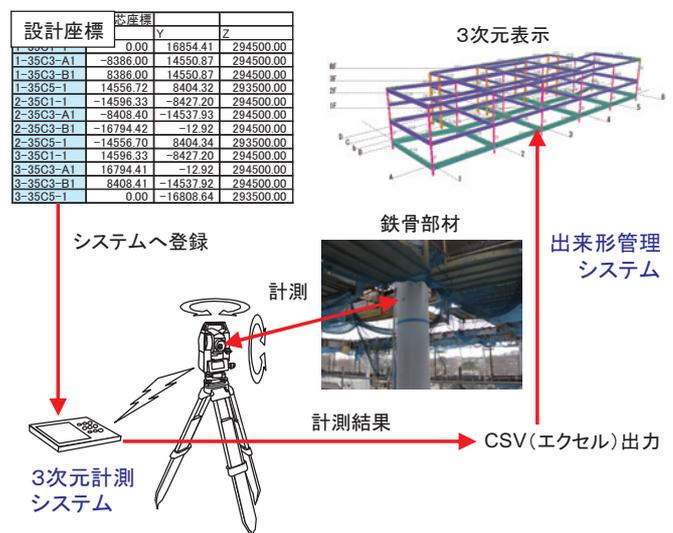


図-1 全体システム構成

で各部材の計測点を自動計測し、設計座標との誤差を電子データとして記録し、外部出力する。外部出力したデータを出来形管理システムに取り込み、出来形モデルを3次元または2次元で表示し、帳票などとして外部出力する。

### 3. 3次元計測／出来形管理システムの開発

#### 3.1 3次元計測システムの開発

##### 3.1.1 建築工事における計測作業の現状

建築工事では、図-2に示すようにトランシットやオートレベルなどの測量器を利用して現場内に設けた基準に対する相対値を計測することが多い。事前に多数の基準線（例えば、通り芯の返り墨や基準レベルなど）を準備し、基準線ごとに測量器を盛り替えしなければならない。基準線にスケールを当てて相対値を計測するため、2名1組での作業が普通であり、工数が多く掛かる。それに対して、TSを利用した測量は、座標が既知な基準点を2点以上準備し、対象部材にターゲットを取り付ければ、1名で計測作業が可能である。しかし、計測の主な作業が座標管理となったことで、各計測点の準備・登録や計測結果の整理など新たな作業項目が増えた。

##### 3.1.2 システム開発

鉄骨工事とPCa工事の計測対象や管理内容が大きく異なるため、ソフトウェア（以下、SW）は共通部分と個別工事対応部分に分割した。SWは、工事図面、設計座標などのデータベースと、座標計算、計測結果表示などの機能から構成される。共通部分の特徴を以下に示す。

- ・設計座標を専用フォーマットのエクセルにまとめてSWへ自動登録
- ・対象部材の形状は自由（何でも対応可能）
- ・通り芯や座標系を自由に設定可能
- ・目的に合わせてターゲット（プリズム、シール、ノンプリズム）を選定
- ・プリズム利用時に自動計測が可能
- ・計測結果をエクセル出力

ターゲットにシールまたはノンプリズムを選択すると計測時に事前に登録した設計座標に向かってTSが自動的に回転する（半自動計測）。プリズムを選択すると回転後、自動視準および追尾計測が可能である（自動計測）。

##### (1) 鉄骨工専用システム

鉄骨工事では、柱全数を計測し、その倒れをJASS6の限界許容差内（1/700かつ±15mm以下）に収めなければならない。鉄骨柱に設定した設計座標のうち、できるだけ少ない計測点で建入精度を効率良く的確に把握する必要がある。鉄骨工専用のSWには、以下のような特徴を持たせた。

- ・設計座標を柱1本あたり最大8点登録可能

- ・上記のうち、任意の2点を計測すると柱芯の誤差とねじれを計算・表示
- ・建入ナビゲーション機能として、前節の計測結果から柱の倒れを算出し、JASS6の倒れの管理許容差の範囲を表示

##### (2) PCa工専用システム

PCa部材の建方精度は、JASS5やJASS10、品確法などで細かく規定されており、柱・梁部材の建方精度を全数計測する必要がある<sup>2)</sup>。PCa工専用のSWには、以下のような特徴を持たせた。

- ・計測点を1部材あたり最大16点登録可能
- ・2点選択時、交互自動計測が可能

##### 3.1.3 システム構成

システムのハードウェア構成を図-3に示す。TS、ノートパソコン（以下、ノートPC）、ターゲットで構成される。ノートPCにSWを搭載し、TSを無線遠隔操作する。計測結果は、すべてノートPCに取り込まれる。TSには、ノートPCからの操作が可能で自動視準・追尾式の機種を選択した。ノートPCには、屋外での使用を考慮して、堅牢・防水タイプを選択した。操作が楽なタッチパネル式のモニタや無線通信機能付きで両手を自由にできる小型の首掛け可能な機種を選択した。ターゲットは、プリズム、シール、ノンプリズムの中から選択可能である。工事種、部材形状、計測目的に応じて使い分けできる。

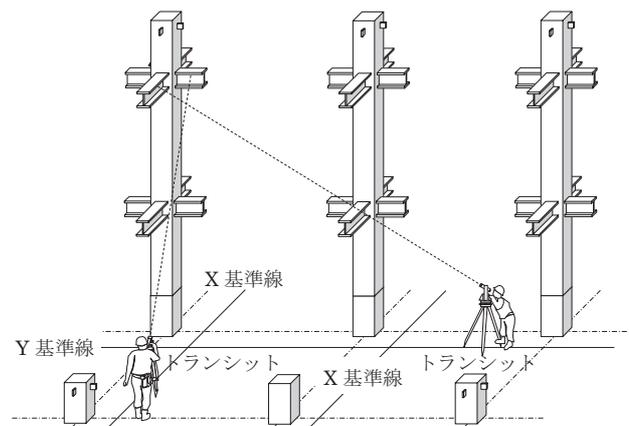


図-2 在来測量

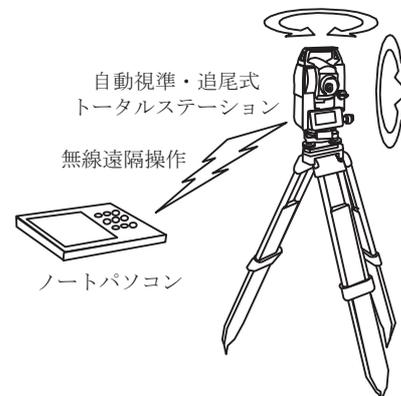


図-3 3次元計測システムの構成

### 3.2 出来形管理システムの開発

#### 3.2.1 開発の背景

3次元計測システムにより計測結果を得て、品質管理の帳票などにまとめ直すことで、節またはフロア全体の建入精度を把握できる。しかし、近年、形状や配置が複雑な工事も増加しつつあり、迅速に効率良く精度を把握する必要がある。鉄骨の場合、1節あたり3階などが普通であり、各階の建入精度を把握するには、多くの労力を要する。

#### 3.2.2 システム開発

対象は、柱、梁の区分が明確な鉄骨工事や PCa 工事である。システム上の構造設定（柱、梁の構成）は、各部材の端点（始点・終点）定義ファイルで構成される。端点の座標リストは、柱部材のみ必要であり、梁部材は不要で、柱に合わせて描画される。また、部材形状、断面サイズ、通り芯、階高情報などは別のファイルで設定する。システムの特徴を以下に示す。

- ・入力データはすべてエクセル形式で、3次元計測システムの入力データを利用可能
- ・3次元表示はポリゴン、線画、点から選択可能で、2次元表示は線画、点で管理値に応じた色別表示が可能
- ・3次元計測システムから得た日時データから施工実績の3次元アニメーションが可能

### 4. システム適用

#### 4.1 研究施設の鉄骨工事への適用

##### 4.1.1 工事概要

システムを表-1 に示す3階建て研究施設の鉄骨工事へ適用した。平面形状は約90×30mの長方形であり、桁行方向はスパン長18mの大スパン構造である。柱の節割は2節であり、柱符号により継手階が異なるため、建入精度管理が重要視された。

##### 4.1.2 システム適用計画

鉄骨建方時の玉掛け用ワイヤーや吊り足場との接触による破損を懸念して、高価なプリズムの代わりに鉄骨表面へ安価なターゲットシールを貼付した。事前に建物の3次元CADデータを用いて、ターゲットシールの貼付位置の計画を行った。ジョイント位置が極端に低い第1節の柱については、視認できない可能性もあったため、梁下にターゲットシールを貼付する計画とした。第2節の柱についても最上階の梁下にターゲットシールを貼付した(写真-1)。ターゲットシールの貼付位置には、鉄骨ファブで罫書きを入れ、現場搬入後、ターゲットシールを貼付した。外周柱の外周面を除き、柱1本あたり東西南北面の芯(4箇所)に貼付した。その他の柱は、柱頭付近に貼付する計画とした。なお、鋼管の溶接シームがある面は、シームを避けて水平に50mmずらして貼付した。

表-1 工事概要

建物用途	研究施設
階数	地上3階
構造	S造
建築面積	2,900m <sup>2</sup>
延床面積	5,600m <sup>2</sup>
最高高さ	16.7m
工期	2009.11~2010.8(10ヵ月)



写真-1 ターゲットシール貼付状況



写真-2 計測状況

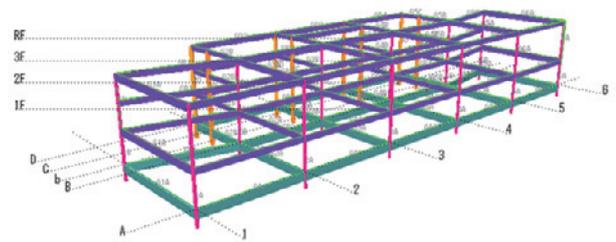


図-4 3次元表示

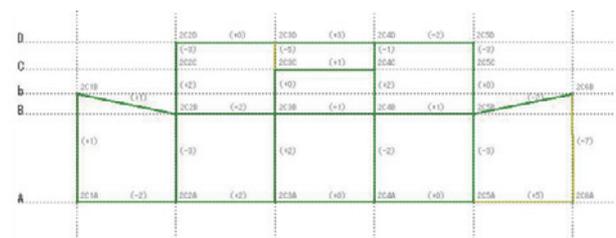


図-5 2次元表示

### 4.1.3 適用結果

鉄骨建入の計測作業は、1名で行った(写真-2)。システムの半自動計測機能を利用して、効率良く計測を実施できた。3次元計測システムの計測結果を出来形管理システムに読み込み、3次元表示したものを図-4に示す。柱、梁符号別に色を区別して表示できる。また、スパン間距離を2次元表示したものを図-5に示す。スパン間距離の長短に応じた管理値を設定し、その管理値区分によって色を変えて各スパンの梁を表示した(一次管理値以内:緑、一次管理値超:黄、二次管理値超:赤)。

## 4.2 大屋根トラス鉄骨工事への適用

### 4.2.1 工事概要

大都市ターミナル駅のホーム上に架設される大屋根トラスの鉄骨工事へシステムを適用した。工事概要を表-2に、大屋根トラス鉄骨工事の施工計画を図-6に示す。先に施工した橋上駅架構の上部を作業構台とし、その上に仮受けベントを2セット分構築して、東西に2分割した大屋根トラスをそれぞれ1列ずつ地組した。ベント上で溶接作業まで完了するとトラスをジャッキダウンさせ、隣のトラスとのつなぎ梁を建方した後、1スパン分約11mスライドさせる。東西ともに7回スライドを実施した。スライドの工程とともにトラス上面の仕上げ工事に着手する<sup>3)</sup>。仕上げ材はガラスと折板の2種類あるが、仕上げ工事の進捗により、隣同士のトラスのたわみ量が異なり、つなぎ梁を建方する際にレベル差を管理する必要があった。このため、3次元計測/出来形管理システムを利用して変位(主にたわみ)を管理した。

### 4.2.2 システム適用計画

大屋根トラスの変位計測計画を図-7に示す。トラスは1列あたり8ブロックに分割される。そこで、トラス1列につき、各ブロックの上端付近と最下ブロック下端の計9箇所を計測する計画とした。場所により計測しやすい点は異なり、スライドとともに徐々に変化するので、上弦材2本と下弦材1本の計3本の左右下それぞれ3箇所ずつ(図中、B、C、D点)計9箇所の計測点を計画した。すなわち、トラス1列あたり合計81点の計測点を準備した。トラス鉄骨は白色の重防食塗装仕上げであり、意匠的にターゲットシールを剥がす必要があった。線路・ホーム上ではターゲットシールを剥がせないため、多少計測精度が悪化するが、ターゲットシールを貼付しないノンプリズムを選択した。トラスの計測点にマジックで十字を罫書き、そのポイントを計測する計画とした。

トラスの3次元モデルは、弦材とブレース材を細かく分割して作成した。節点には各部材の端点のほか、計測点と構造解析に利用した節点を含めた。設計データは、トラスに仕上げ材の全荷重が

表-2 工事概要

用途	駅上屋根架構
構造	S造トラス構造
大きさ	176m×96m
重量	約20,000kN
工期	2009.12～2010.9(10ヵ月)

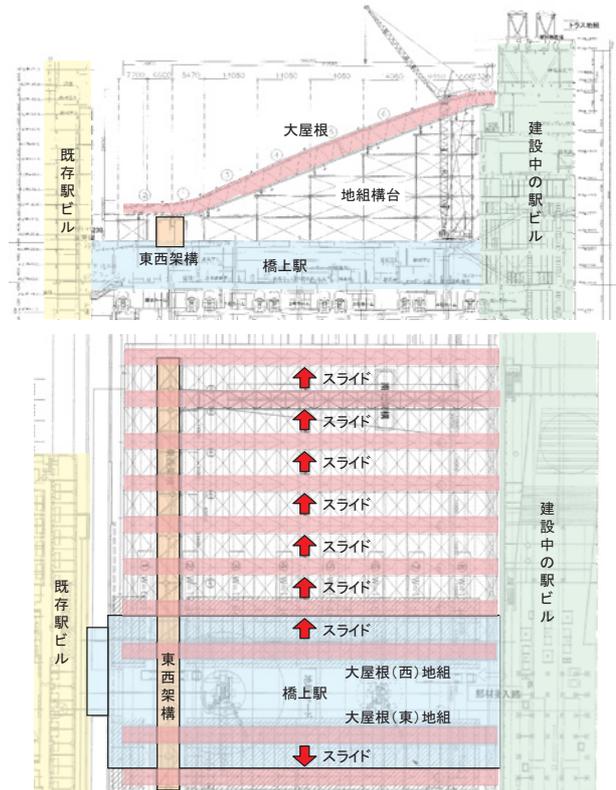
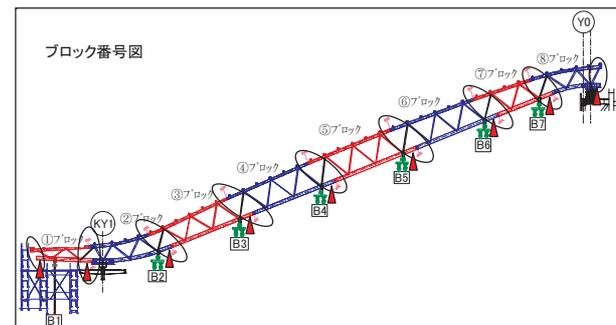


図-6 大屋根トラス鉄骨工事の施工計画



各ブロックにおける計測位置について(2ブロックの例)

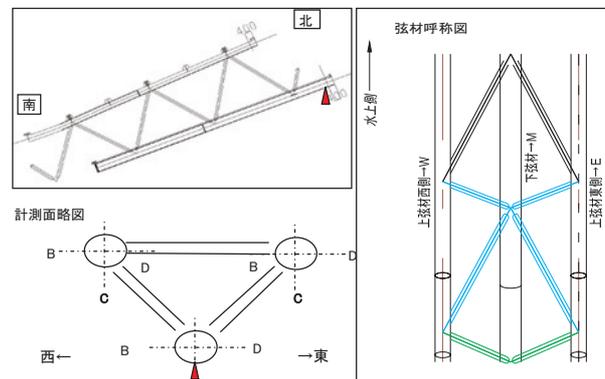


図-7 大屋根トラスの変位計測計画

掛かった最終状態のものであり、構造解析結果から逆算して、ベント上における地組時の鉄骨の設計データを施工者側で作成した。各施工ステップのトラスのたわみ状態（ジャッキダウン後の自重による変形、仕上げ材荷重半分による変形）のモデルは、構造解析結果を利用して表示用モデルのみを作成した。全部で4種類のモデルを作成した。

全長約100mのトラス1列のうち、9点しか計測せずにトラス全体の変位を効率良く表現するため、各モデル上の計測点と実測値の差を元にトラス全体の形状を描画した。計測点以外の各節点の変位量は、最も近い計測点2点からの距離に応じて線形配分した。なお、計測点の外側に位置する節点については、当該計測点の変位量と同一とした。

#### 4.2.3 適用結果

ベント上での地組完了後とジャッキダウン後、各回スライド工事後の大屋根トラスの変位を計測した。計測結果を読み込み、出来形管理システムでトラスの変位を3次元表示した。東西ともに7回のスライド工事が終了した時点でのトラス変位を3次元表示したものを図-8に示す。2次元でトラス断面の各節点の変位を表示したものを図-9に示す。設計座標または構造解析結果に対する管理値を設定し、図-5と同様に色別表示した。各節点の変位量は、設計座標または構造解析結果の概ね8割以内で収まったことを確認した。

システムでは、各スライド前後の大屋根トラスの変位を紙芝居のようにステップ表示できるため、スライド前後の変形量の差を簡単に確認することができた。本システムを利用したことにより、構造解析結果と実際のトラスの変位の差を確認しながら安心してスライド工事を進めることができた。

### 4.3 超高層集合住宅のPCa工事への適用

#### 4.3.1 工事概要

システムを表-3に示す55階建て超高層集合住宅のPCa工事へ適用した。平面形状はコーナー部にセットバックがある正方形で中央に吹抜部を有する。6階から55階の基準階および塔屋階において、柱梁接合部をPCa化したオールPCa化工法(LRV工法)が採用された(図-10)。約1,600m<sup>2</sup>の基準階に対して、柱48ピース、梁36ピースが割り付けられ、1フロアあたり3日のサイクル工程でPCa部材の建方が計画された<sup>4)</sup>。

従来のPCa部材の建入計測は、トランシットを利用して各通り芯の返り墨からの離れをx, yの2方向で行い、オートレベルを利用して高さを計測していた。計測およびPCa部材の位置調整作業に関する工数は、5名(墨出し工3名、位置調整工2名)であった(写真-3)。

#### 4.3.2 システム適用計画

TSを利用した計測作業には、基準点(座標が

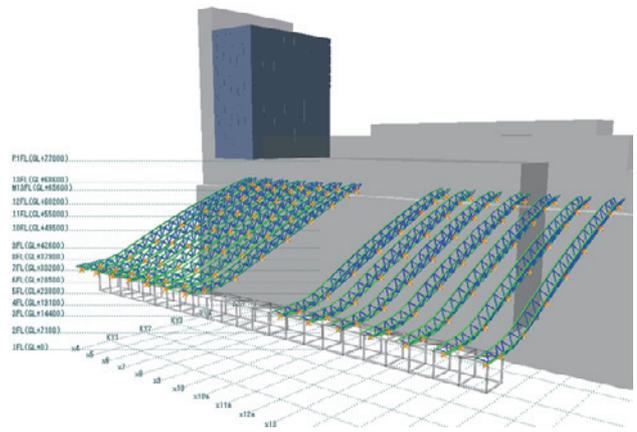


図-8 大屋根の3次元表示

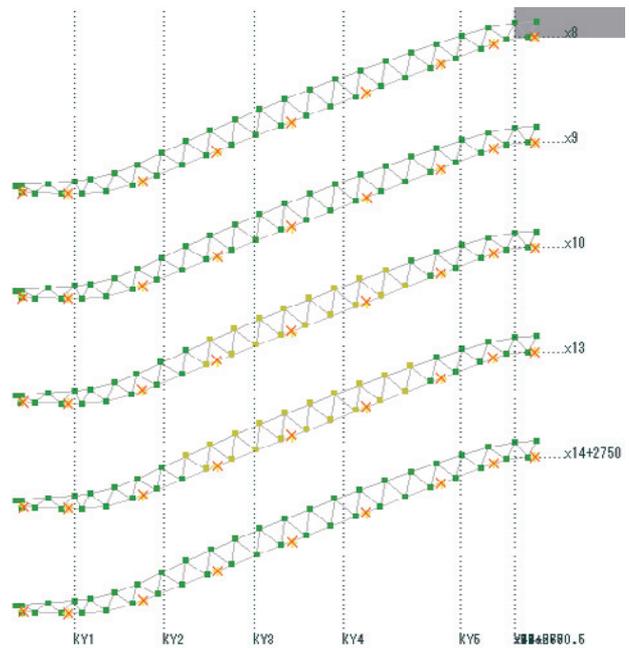


図-9 大屋根の2次元表示(断面)

表-3 工事概要

建物用途	主として集合住宅
階数	地下2階、地上55階
構造	RC造
建築面積	4,300m <sup>2</sup>
延床面積	87,600m <sup>2</sup>
最高高さ	192m
工期	2007.8~2010.8(36ヵ月)
基準階面積	1,600m <sup>2</sup>

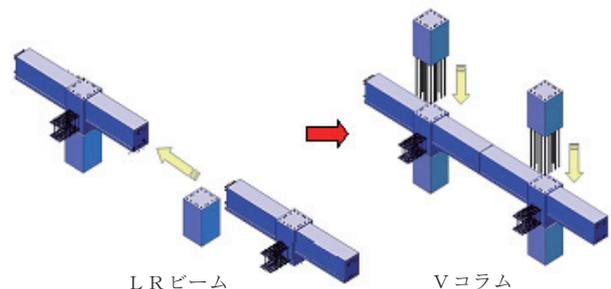


図-10 LRV工法

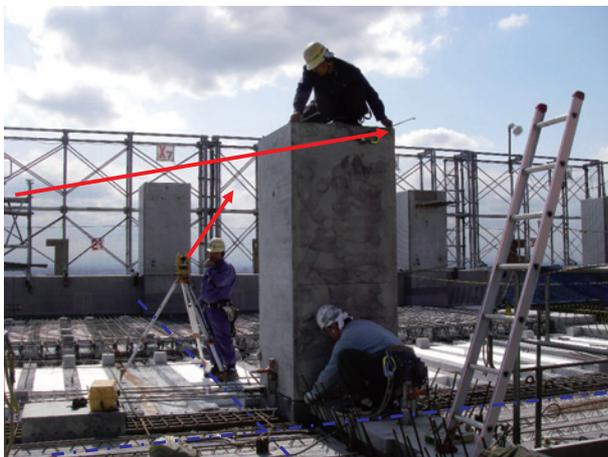


写真-3 従来の計測作業



写真-4 3次元計測システムによる計測作業

既知であるポイント)が作業階に数箇所必要である。PCa 部材の足元にターゲットシールを貼付し、基準点とした。TS を N+1 階 (グラウト充填の終了した柱部材や梁部材の上) にセットし、ノート PC から無線遠隔操作した。また、自動計測を実施するため、ターゲットにプリズムを選択した。PCa 部材のコーナーへプリズムを正確にセットするため、写真-4 に示す専用のアルミ製架台を製作した。この架台によって、PCa 部材のコーナー部より 50mm 高い位置へプリズムが確実にセットできるため、設計座標として、z 座標 (高さ) のみ 50mm オフセットした値を登録した。

#### 4.3.3 適用結果

操作端末の画面上には、各フロアの図面・部材形状や計測点の座標を表示できる。また、PCa 部材の位置調整時には、部材の動きに追従してリアルタイムに計測結果を表示できる。N階で行われるスラブ配筋やコンクリート打設作業との干渉がなくなり、測量器の盛替回数を最小限にすることができたため、計測精度の向上・安定化が実現した。本システムを利用したことで、位置調整に必要な工数を3名 (墨出し工1名、位置調整工2名) に削減することができた (写真-4)。これは、TS

1台でx, y, zのすべての座標が把握できるようになったことと自動計測機能を備えたことが大きな理由である。また、トランシットを利用した従来の計測では、通り芯の返り墨を直角平行にほぼ全数出す必要があった。これに対して、本システムでは、フロア内の数箇所に基準点を作成するだけで良いため、墨出し関連作業が大幅に削減できた。

また、3次元計測システムの計測結果を集計して建方精度管理の帳票 (エクセル) をフロアごとに自動作成する機能によって、担当職員の品質管理業務を大幅に効率化できた。

## 5. おわりに

本報では、3次元計測/出来形管理システムを開発し、鉄骨工事やPCa工事に適用した。その結果、以下に示す知見を得た。

- システム適用により、計測や墨出しに関する工数を50%程度削減でき、関連作業全体においてコスト低減効果を得た (3次元計測)
- 建入精度に関する帳票の自動作成機能により、担当職員の品質管理に関する業務を大幅に効率化できた (3次元計測)
- 建入精度を3次元または2次元で簡易に表示することで、構造物の建入精度を関係者間で共有することが容易になった (出来形管理)
- 3次元計測システムで得られた計測結果 (点データ) を線 (部材単位: 1次元)、面 (節、断面: 2次元)、立体 (3次元) へと容易に再構成できるため、計測していない点の計測値の補間や構造物全体の精度把握が容易になった (システム全体)
- アニメーション機能により、建方手順を後で再確認できるため、建方手順の改善などに寄与した (システム全体)

最後にシステム開発から工事適用まで御協力頂いた関係者全員に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 古屋: 情報化施工に取り組む現場—事例紹介—, 建設マネジメント技術, No. 384, pp. 41-51, 2010. 05
- 2) 池田, 金子, 浜田, 森岡: 三次元計測システムの開発と工事適用 その3 機能追加とPCa工事への適用, 日本建築学会2010年度大会 (北陸) 学術講演梗概集, A-1 (材料施工), pp. 119-120, 2010. 07
- 3) 池田, 川上, 端山: スライド工法における計測・監視システムの開発, 第18回建築の自動化技術シンポジウム, 日本建築学会, pp. 9-14, 2010. 01
- 4) 大山, 栗田, 池田, 藤生: オールプレキャスト化工法を使用した超高層集合住宅の施工—地上55階超高層集合住宅建設における採用工法の紹介—, コンクリート工学, Vol. 48, No. 7, pp. 22-27, 2010. 07