

# 三次元モデルを活用した建設生産性向上 研究小委員会報告

渡邊 武志<sup>1</sup>・中嶋 道雄<sup>2</sup>・井口 重信<sup>3</sup>・柳川 正和<sup>4</sup>・松下 裕昭<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地)

E-mail: takeshi.watanabe@os.pacific.co.jp(Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 東洋建設株式会社 土木技術部 (〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目 105 番地)

E-mail: nakajima-michio@toyo-const.co.jp

<sup>3</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事部 (〒101-0051 東京都渋谷区代々木二丁目 2 番 2 号)

E-mail: s-iguchi@jreast.co.jp

<sup>4</sup>清水建設株式会社 土木技術本部 イノベーション推進部 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1)

E-mail: m-yanagawa@shimiz.co.jp

<sup>5</sup>丸栄コンクリート工業株式会社 建設工事部 (〒101-0047 東京都千代田区内神田二丁目 12-6)

E-mail: h-matsushita@maruei-con.co.jp

本報は土木情報学委員会「三次元モデルを活用した建設生産性向上研究小委員会」での活動内容(期間 R1.7~R2.7)について報告するものである。本小委員会は発注者、受注者(設計・施工)、メーカー、ソフト会社のメンバーで構成されている。本小委員会活動で得られた建設生産性向上に関する知見を以下に示す。①構造物設計段階での 3D モデルは鉄筋干渉部に着目したモデル作成が重要である。②新たな建設プロセスの導入により、フロントローディングが推進される可能性がある。③PCa ブロックを用いた構造物構築の可能性を 3DFEM 解析により確認し、実験計画を立案した。

**Key Words:** BIM/CIM, 建設アライアンス, フロントローディング, 生産性向上, PC a ブロック

## 1. はじめに

我が国の建設業界は少子高齢化に起因する労働力不足を解消し、生産性向上を図る手段として BIM/CIM を積極的に導入してきた。その結果、土工を対象として一定の効果が確認されている。その一方で、BIM/CIM 導入の目的である生産性向上が建設プロセス(設計・施工・維持管理)の各段階で図れていない場面も散見される。こうした状況を踏まえ、本研究小委員会では現状における建設プロセスの課題と解決の方向性について議論を重ねてきた。以下に本研究小委員会活動で得られた知見、および解決の方向性について記す。

## 2. 建設プロセスにおける課題抽出

### (1)目的

現状において BIM/CIM を導入しているにも関わらず建設生産性向上が進まない要因を把握すること、および 3次元化時(BIM/CIM の導入時)の留意点を明確にすることを目的とする。なお、検討は①課題抽出、②解決の方向性検討の順で実施した。

### (2) 課題抽出

本研究小委員会のメンバー構成(発注者、受注者(設計・施工)、メーカー)を考慮すると各メンバーが日々感じている現状における建設プロセス(設計・施工・維持管理の各段階)の課題をまとめることで全体像を把握することが可能になると考えた。そこで、メンバー全員で、建設プロセスの課題(最低 10 個人)を抽出し、付箋紙に書き出した。課題の抽出は「○○がない。」という単文での記載とした。これを小委員会の中でワーキング形式でとりまとめた。とりまとめは「新QC七つ道具」の「問題点系統図」を用いて整理した。写真-1に検討結

果を示す。主な課題は下記5項目であった。①鉄筋干渉チェック後の配筋図修正に時間を要する。②設計から施工へのデータ受け渡しができていない。③施工段階では設計内容の変更提案が出来ない。④労働力が不足している。⑤品質が低下している。



写真-1 問題点系統図

### (3) 解決策

問題点系統図の作成により確認された主な課題とその内容、解決策を表-1に示す。

表-1 建設プロセスにおける主要な課題と内容

| 項 目                    | 内 容                                             | 解決策               |
|------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|
| 鉄筋干渉チェック後の配筋図修正に時間を要する | 配筋図作成⇒3Dモデル作成<br>⇒干渉チェック⇒3Dモデル修正<br>⇒配筋図修正のプロセス | メリハリをつけた<br>モデル構築 |
| 設計から施工へのデータ受け渡しができていない | 3Dモデル(設計)がそのまま施工では使えないため、施工者は3Dモデルを再構築している      | 新たな建設プロセス<br>の導入  |
| 施工段階では設計内容の変更提案が困難である  | 施工段階では施工者が提案できる事項が施工部分に限定されてしまう                 |                   |
| 労働力が不足している             | 建設業界に従事する人口が減ってきている                             | プレキャスト化           |
| 品質が低下している              | 技術伝承ができていない<br>職人(鉄筋・型枠)が不足している                 |                   |

## 3. 解決の方向性

### (1) メリハリをつけた3Dモデルの構築

設計段階では3Dモデル(設計)による鉄筋干渉チェックが生産性低下要因となっている。このため、施工段階における3Dモデル(設計)の活用実態について確認した。以下に活用実態を記す。①3Dモデル(設計)は設計の概念図として捉えている。②D25以下の鉄筋なら現場で再配置可能である。③その一方で設計段階から干渉チェックを実施しなければ施工時に問題となる箇所(表-2)もある。以上より、現状においては、鉄筋干渉を「許容しない箇所」、「許容する箇所(現場で対応可

能)」というようにメリハリをつけた3Dモデル(設計)を作成することが重要であると考えられる。

表-2 鉄筋干渉チェック箇所

|   |                    |
|---|--------------------|
| ① | D29以上の鉄筋が配置されている箇所 |
| ② | 橋梁の支承部             |
| ③ | PCケーブル定着部          |
| ④ | フーチング・杭頭接合部        |
| ⑤ | 柱・フーチング接合部         |

### (2) 新たな建設プロセスの導入

設計・施工分離発注の制度下では施工者のノウハウ活用の範囲が施工部分に留まる。また、施工に関する経験や知識はゼネコン>>建設コンサルである。設計段階から施工を踏まえた設計を行うことで、フロントローディングが可能になり、施工段階での手戻りやゼネコン受注後の設計チェック(再検討や3Dモデル(施工))のプロセスを省略ができると考え、現行の建設プロセスに加えて、新たな建設プロセス導入について検討を行った。



図-1 建設プロセス導入イメージ

図-1に建設プロセス導入のイメージ(案件別にコンサル・ゼネコンが建設アライアンスを構築し対応)を示す。フロントローディングにより建設生産性の向上が図れることは周知であるが土木構造物は公共性が高く、入札、契約のプロセスの透明性確保が求められている。このため、新たな建設プロセス導入時における官積算の考え方(案)も合わせて示す(図-2)。

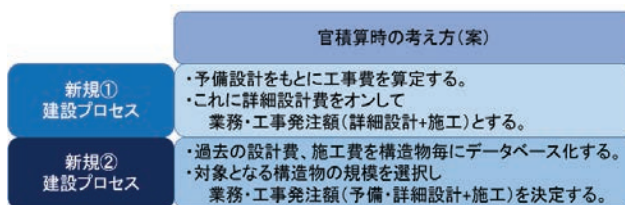


図-2 建設プロセス導入イメージ

### (3) PCa化

PCaブロックの導入検討にあたり、下記を考慮した。①労働力不足・品質低下への対応、②汎用部材化による製造コストの縮減、③壊れた部材のみを取り換えることでのLCCの低減

本研究小委員会ではこれまでPCaブロックを用いた構造物構築の可能性について検討を行ってきた<sup>1)2)</sup>。その中でPCaブロックを接合する場合、接合部に引張り応力が集中することをFEM解析(2D, 3D)で確認している。今後、解析から実装に向けて検討ステップを進めるにあたり、部材接合部の条件、実装化時のイメージ(曲げとせん断の伝達方法)の具体化に着目した。

#### a) PCa 部材形状

基本的な考え方は、PCaブロックをレゴブロックのように組み合わせる事で、組み立て、取り外しが可能な形状を考案した。以下にその概念図(図-3)を示す。直線部分をベースにそれらをつなぎ合わせることができる土台パーツやコーナーパーツを組み合わせ、ラーメン形状(梁、柱)が構成可能なようにした。部材の大きさは10tトラックで輸送が可能のように1.0m×1.0m×4.0mを想定した。このとき、部材重量は9.8t程度である。

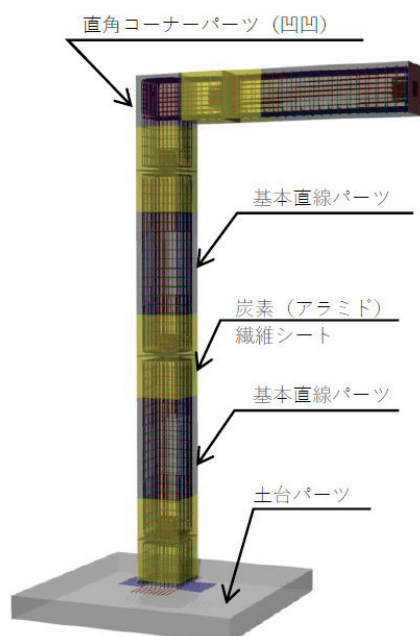


図-3 プレキャスト部材の構成概念図

#### b) 接合部形状

接合部は施工性を考慮し四角い突起状のオス部分と、穴状のメス部分を結合する形状とした(図-4)。この部分は機械的精度を高くするため、鉄板で形成し、内部(外周部)は鉄筋コンクリートで保持される構造とした。単に挿入するだけでは抜けに対する抵抗が無ければ、曲げモーメントの伝達が難しいため、主筋と同強度の炭素(アラミド)繊維シートで周囲を巻いてモーメント伝達を行っている。試算ではD19×9本程度の主筋に対して $t=0.193\text{mm}$ のAK40tアラミド繊維シートを90cm範囲で接着すればよいことを確認している。接合部の詳細図を(図-5)に示す。なお、接合部はコンクリートが分断されるため、せん断に対しても弱点となる。これを解消するため、補強用の繊維シートは軸方向及び

軸直角方向の2方向繊維を使用した。

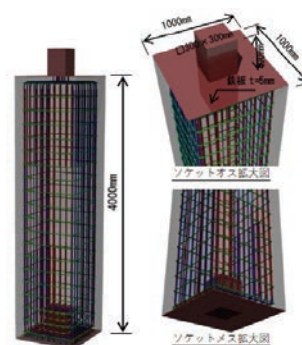


図-4 基本直線パーツ構造図

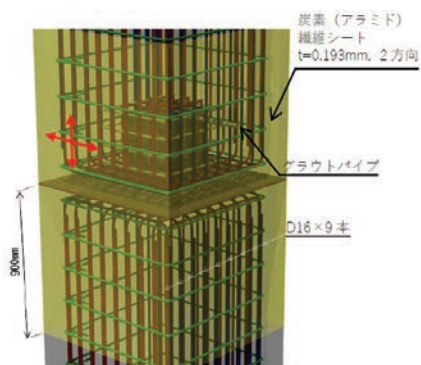


図-5 接合部詳細図

#### c) 取り換え方法

劣化した部材の取り換え手順を図-6に示す。取り換えパーツに隣接するシートをスクレイパー等で撤去し、対象パーツを取り外す。取り外しが難しい場合は取り壊しを行う。その後上部パーツをジャッキで持ち上げ、その後は図-6の手順で新しいパーツを設置する。

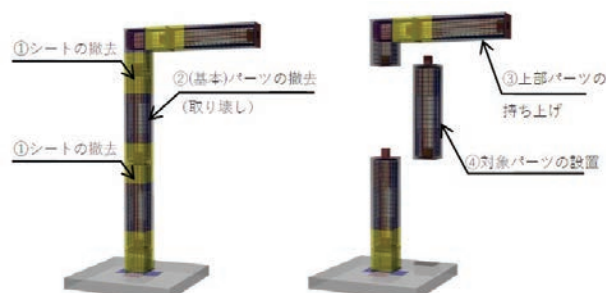


図-6 劣化部材の取り換え手順

## 4. PCa 化に向けた実験計画

### (1) PCa 化に向けた課題と実験ケース

構造部材をPCa化しシートで桁を補強した場合、表-3に示す課題が想定された。このため、1/3サイズの試験体(実験場の载荷能力を考慮)を製作し、载荷試験を行う計画とした。

表-3 PCa 化に向け想定される課題

|                            |
|----------------------------|
| ①接手部のせん断耐力が低い              |
| ②軸回転方向のねじりに対して弱い           |
| ③施工精度によって接合部が密着しない場合がある    |
| ④取り換え時にグラウトが密着し抜けないのではないかな |
| ⑤繊維シート接着耐力は不明確な点が多い        |

荷重試験は試験体の形状（連続・2 分割），試験体の配筋，繊維シートの有無を考慮した 4 ケース（表-4）について実施するものとした。

表-4 荷重試験ケース

| 種類     | 記号          | 実験桁の形状 | シートの有無 | 備考         |
|--------|-------------|--------|--------|------------|
| PCa試験体 | PCa-B-1     | 2 分割   | —      |            |
|        | PCa-B-2     |        | ○      |            |
| 比較試験体  | Control-B-1 | 分割なし   | —      | Pca部材と同じ配筋 |
|        | Control-A-2 |        | —      | 連続鉄筋       |

試験体の配筋イメージを図-7に示す。



図-7 試験体の配筋イメージ

## (2) PCa 化に向けた予備検討

### a) FEM 解析による応力状況の把握

荷重試験に先立ち上記検討ケースについて 3DFEM 解析を実施し，荷重-変位関係を把握した。試験体（PCa-B-2）の FEM モデルを図-8に示す。

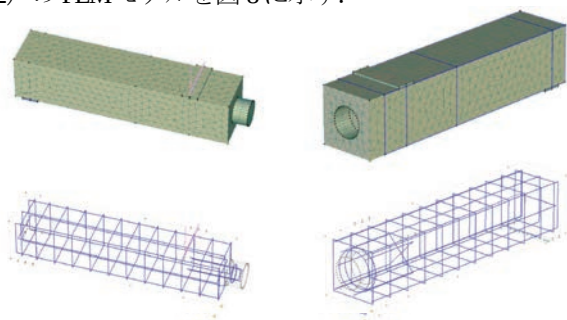


図-8 試験体（PCa-B-2）の FEM モデル

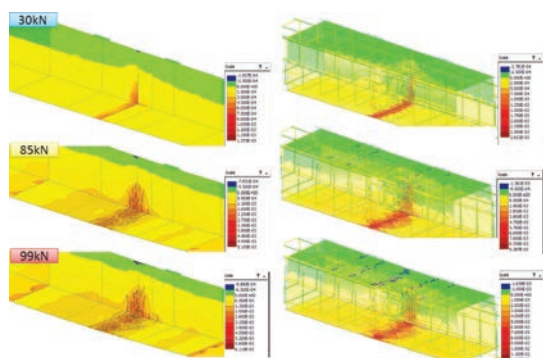


図-9 各荷重時の軸方向ひずみ分布（PCa-B-2）

## b) 解析結果

図-9 に各荷重時の軸方向ひずみ分布，図-10 に荷重-変位図（試験ケース別）を示す。プレキャスト部材を単純に接合させた（PCa-B-1）は明確な降伏点が現れず，同一配筋で一体打設の（Control-B-2）の終局耐力に漸近することが確認された。一方，接継部をシートで補強した（PCa-B-2）は主鉄筋を連続して配置した（Control-A-2）をトレースするような荷重-変位関係となることが確認された。

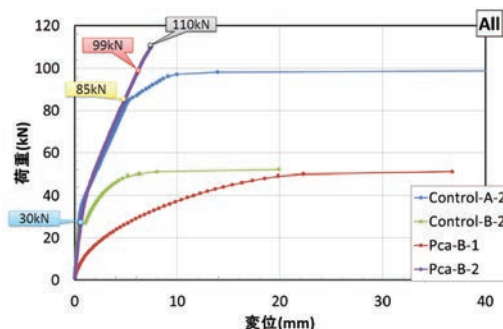


図-10 荷重—変位図（試験ケース別）

## 5. まとめ

本報で報告した建設生産性向上方策を以下に示す。

- ① 設計段階での 3D モデルは鉄筋干渉部に着目したモデル化が重要である。
- ② 新たな建設プロセスを導入することで生産性向上が図れる可能性がある。
- ③ PCa ブロックの形状について検討を行い，力学特性を FEM 解析で把握した結果，シートで接合部を補強することで連続梁と同等の力学特性を示すことが確認された。

## 参考文献

- 1) 黒台昌弘，渡邊武志：汎用 PCa 化による建設生産性向上の可能性に対する一考察，土木学会第 73 回年次学術講演概要集 VI-643，2018。
- 2) 渡邊武志：汎用 PCa 化による建設生産性向上の可能性に対する一考察（その 2），土木学会第 74 回年次学術講演概要集 CS11-008，2019。