

# 研究委員会 接合部を有するプレキャスト・プレストレストコンクリート構造の設計法研究委員会

三木朋広\*1・大島義信\*2・丸田 誠\*3・谷 昌典\*4・竹内 崇\*5・坂田博史\*6・大窪一正\*7・市澤勇彦\*8・大城壮司\*9

**要旨:** コンクリート構造物においてプレキャスト (PCa) 構造を適用する場合, PCa 部材同士もしくは PCa 部材と現場打ちコンクリート間において必然の「接合部」を適切に取り扱う必要がある。本委員会では, PCa 部材の接合部に関する国内外の設計基・規準類を調査するとともに, 接合部を有する PCaRC 部材, PCaPC 部材, PCa 部材をプレストレスにより一体化した耐震補強の構造性能の評価式, ならびに適用事例を整理した。また, 研究開発された今後, 適用が期待される構造や材料を調査した。さらに, 設計・施工事例を調査し, 接合方法が採用された理由や経緯を調べ, 土木, 建築分野における傾向や課題を整理, 分析した。

**キーワード:** プレキャスト構造, 接合部, PCaRC, PCaPC, 性能評価, 設計施工事例

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景と目的

コンクリート構造物の建設において, プレキャスト (PCa) 構造の適用は構造物の設計・施工における生産性向上の効果的方策の一つとして挙げられる。PCa 構造を用いた構造物の設計では, 現場打ちコンクリートを用いた構造物と同等の性能を有することをあらかじめ確認し, 施工においてその構造・工法が実現できれば, 従来のコンクリート部材と同様に設計することができる。ただし, PCa 部材同士, もしくは PCa 部材と現場打ちコンクリート間において必然の「接合部」を適切に取り扱う必要がある, この点が重要課題となる。

従来の PCa 構造設計では, 現場打ちコンクリートと同等として性能担保していたが, 今後, 多様化が予想される構造に対して, 「接合部」の存在を明確にとらえ, 接合により一体化した部材を終局状態まで適切に制御する必要がある。そのため, プレストレスによる圧着接合などによって使用状態を制御するだけでなく, 接合部位の特性を終局状態まで十分に把握する必要がある。そこで, 特に PCa 構造の接合に着目した調査研究を行うため, JCI-TC-183A「接合部を有するプレキャスト・プレストレストコンクリート構造の設計法研究委員会」(委員長: 三木朋広 (神戸大学)) を 2018 年に設置し, 2 年間の調査研究を行った。本委員会は大学研究者, 道路・鉄道等の発注・維持管理に携わる方々, 構造設計, 施工, 材料開発に係わる方々に参画いただき, 多面的かつ実務的な調査研究を行ったものである。

本委員会の活動目的は以下の 4 点である。それぞれあわせて示す WG に分かれて調査研究を行った。本委員会

の委員構成と WG メンバーの分担を表-1 に示す。

- 1) PCa 構造の設計基・規準類の比較による現状把握 (WG1: 基準類 WG) : PCa 部材の接合 (PCa 構造と現場打ちコンクリート間, ならびに PCa 部材間) に関する国内, 海外の設計基・規準類, ならびにそれらの根拠研究に関する情報収集, 設計事例収集
- 2) PCa 構造における接合部の性能評価 (WG2: 性能評価 WG) : 接合部を含む構造性能の明確化, 構造一体性の評価に資する研究動向の調査
- 3) PCa 構造に関連する今後, 適用が期待される構造 (WG3: 新構造・新材料 WG) : 建築・土木分野で今後適用が期待される構造および新材料に関する調査
- 4) 接合部の設計施工内容の把握と課題抽出を目的とした設計施工事例 (WG4: 設計施工 WG) : PCa 部材同士, または PCa 部材と他部材との接合部を含む部材または構造物, 構法を対象として, 接合部の設計施工内容の把握

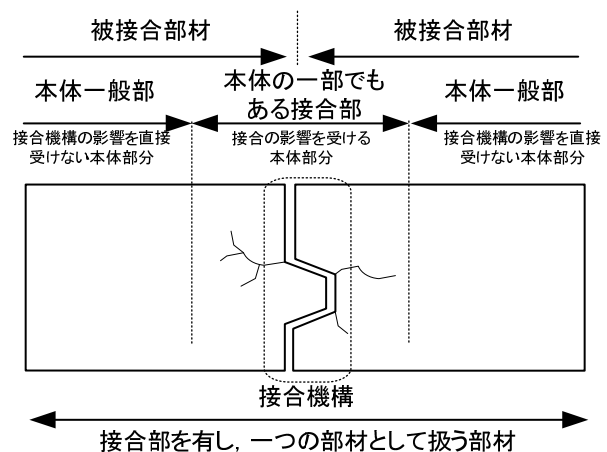


図-1 本研究委員会で対象とする接合部の領域の例

\*1 神戸大学 博士(工学) (正会員)

\*5 神戸大学 博士(工学) (正会員)

\*9 西日本高速道路 (正会員)

\*2 ナカノフドー建設 博士(工学) (正会員)

\*6 建研 博士(工学) (正会員)

\*3 静岡理工科大学 博士(工学) (正会員)

\*7 鹿島建設 博士(工学) (正会員)

\*4 京都大学 博士(工学) (正会員)

\*8 ピーエス三菱 修士(工学) (正会員)

表-1 委員構成とWGメンバーの分担

| 委員長    | 三木朋広 | 神戸大学               | WG1 | WG2 | WG3 | WG4 |
|--------|------|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| 幹事     | 大島義信 | ナカノフドー建設           | 主査  | ○   |     |     |
| 〃      | 丸田 誠 | 静岡理工科大学            | 副主査 |     |     |     |
| 〃      | 谷 昌典 | 京都大学               |     | 主査  | ○   |     |
| 〃      | 竹内 崇 | 神戸大学               | ○   | ○   |     |     |
| 〃      | 坂田博史 | 建研                 |     |     | 主査  | ○   |
| 〃      | 大窪一正 | 鹿島建設               |     |     | 副主査 | ○   |
| 〃      | 市澤勇彦 | ピーエス三菱             |     |     |     | 主査  |
| 〃      | 大城壮司 | 西日本高速道路            | ○   |     |     | 副主査 |
| 委員     | 北原 隆 | 富士ピー・エス            |     | ○   |     |     |
| 〃      | 幸田英司 | 東京製網インターナショナル      |     |     | ○   |     |
| 〃      | 小坂 崇 | 阪神高速道路             |     | ○   |     | ○   |
| 〃      | 島田安章 | オリエンタル白石           |     |     |     | ○   |
| 〃      | 杉本訓祥 | 横浜国立大学             | ○   | ○   |     |     |
| 〃      | 田所敏弥 | 鉄道総合技術研究所          |     | ○   |     |     |
| 〃      | 福田圭祐 | ジェイアール西日本コンサルタンツ   | ○   |     |     |     |
| 〃      | 堀 慎一 | 西日本旅客鉄道(2018.6 から) |     |     |     | ○   |
| 〃      | 前田友章 | 西日本旅客鉄道(2018.6 まで) |     |     |     |     |
| 〃      | 松原喜之 | 住友電気工業             |     |     | ○   |     |
| 〃      | 村田裕志 | 大成建設               |     |     | ○   | ○   |
| 海外通信委員 | 尹 亨在 | N.C.P. Inc.        | ○   | ○   |     |     |

WG1: 基準類 WG, WG2: 性能評価 WG, WG3: 新構造・新材料 WG, WG4: 設計施工 WG

表-2 接合部の考え方

|                |   |
|----------------|---|
| 設計コンセプト        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一体打ち構造と同等<br/>→従来 RC 構造, PC 構造として設計</li> <li>・ 一体打ち構造と同等ではない<br/>→PCa 構造として設計 (RC 構造, PC 構造の設計を修正し適用)</li> </ul> |
| 部材性能, 抵抗機構のモデル | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 同じ構造部材 (軸方向)</li> <li>・ 異なる構造部材 (直交方向)</li> <li>・ ハーフプレキャスト, PCa 合成構造など, 断面内で接合する構造部材</li> </ul>                 |
| 接合面の性状         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PCa 部材同士 (ウェット, ドライ, 機械式など)</li> <li>・ PCa と現場打ちコンクリート</li> </ul>  |

と課題抽出を目的とした設計施工事例の調査

本稿では本委員会の活動内容の概要を紹介する。

## 1.2 接合部の定義

本委員会で対象とする PCa 構造における「接合部」とは、単に異なる部材間の仕口面、同じ構造部材間における接合面 (仕口面) といった限定部位ではなく、PCa-PCa 間、PCa-現場打ちコンクリート間といった接合に要する「領域」を示す。接合部の領域を例示すると図-1 のようになる。

この PCa 構造における接合部は、構造設計・施工におけるとらえ方が多岐にわたるため、これまで統一された評価方法はない。設計における対象構造、抵抗機構、作用荷重等の考え方によって、接合部をどのように設計で考えるか (設計コンセプト)、接合部を有する部材の性能、ならびに接合面で抵抗機構に関するモデル化、接合面におけるコンクリートや接合方法等の性状によって表-2 のように分類することができる。これらは対象の構造において明確に分類できるわけではなく、例えば基準や指

針、マニュアル等において、それぞれの考え方や取扱いがなされているため、それらを次章にて整理する。

## 2. プレキャスト接合部に関する基・規準類

PCa 部材の接合 (PCa 構造と現場打ちコンクリート間、ならびに PCa 部材間) に関する国内、および海外の設計基・規準類 (図-2)、ならびにそれらの根拠に関する情報や設計事例を収集した。特に、各基・規準類の比較を行い、対象部材と接合部設計の考え方等を整理したうえで、相互比較によりそれぞれの基・規準類で示されている事項の特長を把握した。

この調査によって、建築分野では PCa 部材の接合部が RC 構造となる場合には、現場打ちコンクリート構造と同等の性能を有するよう設計・施工することで、RC 構造の設計法を適用できる規準・指針類が整備されていること、また、PC 構造となる場合には、上記に加えプレストレスによる摩擦力の見込み方が規定化されていることがわかった。

一方、土木分野では、PCa 部材の接合部が RC 構造となる場合には、継手構造の規定を満足することによって、現場打ちコンクリート構造と同等の性能があることを保証していること、また、PC 構造となる場合には、力学的特性の違いを陽な形で考慮していないものの、急激な破壊に至らない構造とすることが基準として求められていることがわかった。このような違いは、不静定次数が大きく塑性設計する骨格部材の接合部が多い建築構造と、不静定次数が小さくはり部材や床版部材の接合が基本となる土木 (橋梁) 構造において、全体系に対する安全確保の考え方が異なることが要因と推察される。

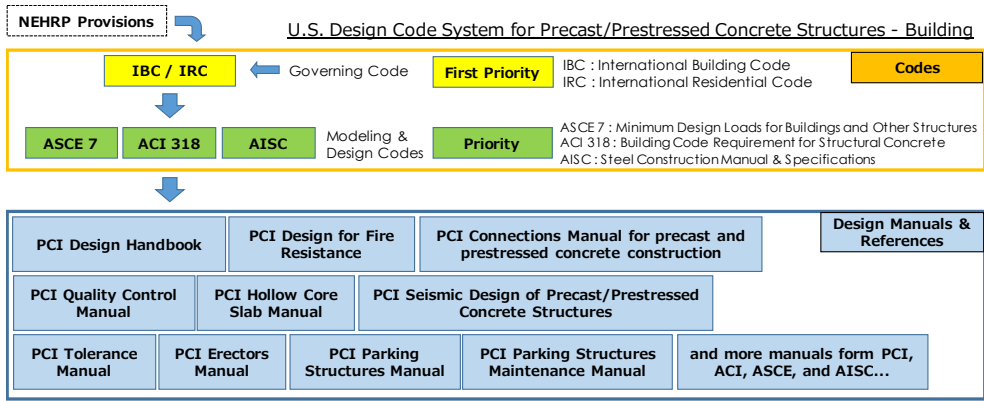


図-2 米国におけるプレキャスト構造と関係する基準とマニュアルの体系

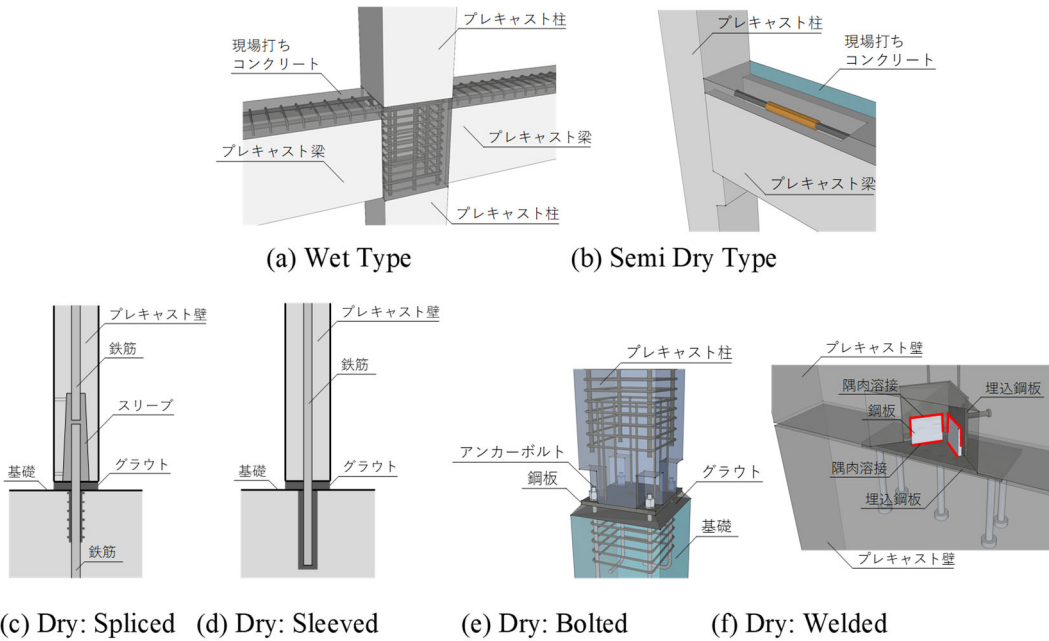


図-3 米国で用いられる各種継手構造の例

また、米国では、PCa 構造での接合方法は大きく 2 つに分けられ、RC 構造と同等の性能を有するように接合部を設計する「Emulative」接合と、接合面で制御されたロッキングを通じて構造物の非線形回転を意図的に生じさせる「Jointed」接合があり、それぞれのコンセプトを実現するよう基準類が整備されていることがわかった。米国で用いられる各種継手構造の例を図-3 に示す。なお、米国では一般にプレキャストコンクリートと呼ばれる部材や構造には、プレテンション方式の PCaPC が含まれている点に留意する必要がある。

### 3. 接合部の耐荷機構と評価式、ならびに適用事例

#### 3.1 性能評価における接合部の設計の考え方

ここでは、接合部を有する PCaRC 部材、PCaPC 部材、PCa 部材をプレストレスにより一体化した耐震補強の構造性能評価について、接合部における応力の伝達機構(例えば図-4)とその評価式ならびに評価の考え方を整理した。さらに、米国における PCa 部材を用いた接合部を有する構造物の耐震性能評価に関する事例を紹介している。

まず、性能評価における接合部の設計の考え方をみると、建築分野、土木分野ともに、接合部の剛性、耐力が

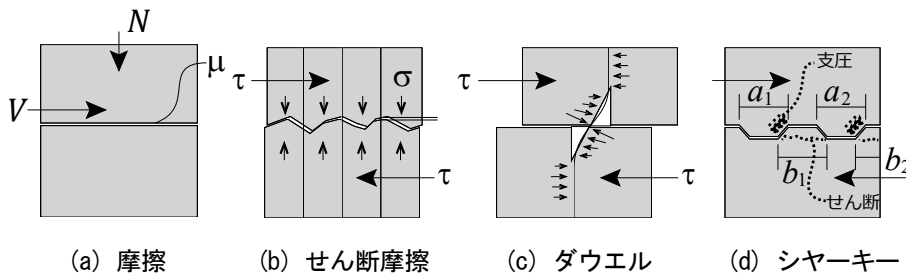
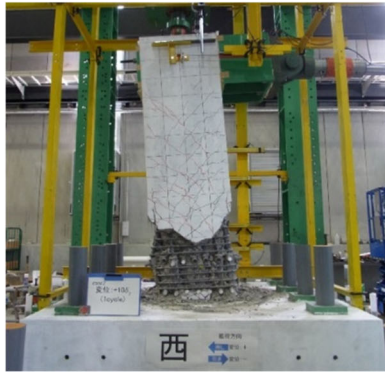


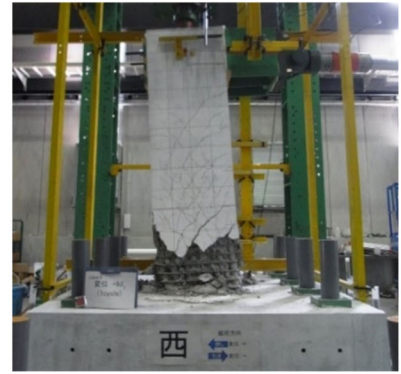
図-4 接合要素の応力伝達の種類



(a) No. 1 終了時



(b) No. 2 終了時



(c) No. 3 終了時

写真-1 接合部を有する PCa 部材の正負交番載荷実験

現場打ち同等と考えられる場合は一体構造とみなして性能評価を行い、剛性、あるいは、耐力が異なると考えられる場合は、接合部を適切にモデル化して性能評価を行うことが原則である点は共通している。

ただし、建築分野では、日本建築学会をはじめとする学協会の指針類に基づき、接合面でのせん断抵抗機構を想定し、接合部に作用するせん断力に対してせん断耐力を確保して、PCa 部材を現場打ち同等と扱うことがごく一般的に行われている。これは、土木分野では PCa 化する部材の種類が多く、構造性能に加えて疲労耐久性等の検証も必要となるが、建築分野の構造形式のパターンや検証項目が少なく、現場打ち同等の評価手法が比較的網羅されており、通常の現場打ち RC 建物の構造計算で用いられる一貫構造計算プログラム等の汎用設計ツールの使用を前提にできることが背景にあると考えられる。

一方、PCa 部材をプレストレスで圧着接合して架構を構築する PCaPC 構造では、普通鉄筋が接合部を貫通していないことによる構造性能の影響を考慮して評価する必要があり、普通鉄筋を有する現場打ちの PC 構造の評価法を修正して用いる。

なお、土木分野では、基準や指針にある程度の性能評価法は整備されているものの、PCa 部材の適用対象や照査項目も多岐に渡ることから、実際の耐荷状況を想定した個別の検証実験によって性能を検証した上で、接合部を適切にモデル化し、応答値、限界値を算定することで、照査を行う事例が多い。建築分野でも、主に施工合理化を目的とした構法の技術開発として、個別の実験や解析検討による性能検証に基づいて第三者機関の性能証明を取得し、法令の技術基準を満足するものとして実物件に適用する事例が多くみられる。

### 3.2 接合部に対する要求性能と性能照査のありかた

建築分野では、RC 構造においては、接合部に作用するせん断および曲げに対して、十分な剛性および耐力を確保することによって、現場打ち同等として耐震設計を行

うのが一般的となっている。接合部に作用するせん断力に対しては、摩擦、せん断摩擦、ダウエル、シヤーカーなどで抵抗させることで、また、曲げに対しては、十分な強度、剛性を有する機械式継手を使用することで、それぞれ現場打ち同等の性能を担保させている。一方、PC 構造においては圧着接合を用いることが多く、接合部における離間は許容しているが、曲げひび割れ耐力やせん断終局耐力の評価において、接合部の存在による影響を考慮する必要がある。せん断力に対しては基本的には接合面における摩擦のみで抵抗することとしている。

一方、土木分野では、道路橋の PCa セグメント桁では、せん断力とねじりモーメントによって接合キーに作用するせん断力が制限値を超えないように設計する。接合部におけるせん断伝達力は、従来はせん断キーと摩擦耐力の和としていたが、平成 29 年制定の道路橋示方書では、前者にプレストレスの効果を考慮して計算することとしている。また、道路橋の PCa 床版については、接合部を RC 断面として計算するためのループ継手の必要重ね継手長さを満足するように設計するとともに、疲労耐久性は輪荷重走行試験により確認する。

鉄道構造物のラーメン高架橋の接合部の設計法に関しては、統一的な設計法や照査法が無いため、PCa 構造が適用される構造物を模擬した試験体に対する載荷試験（例えば、写真-1）等により、構造性能や疲労耐久性を確認することで性能照査に代えている。

## 4. 今後、適用が期待される構造

建築分野ならびに土木分野で今後適用が期待される構造や新材料に関する調査を行った。ここでは、日本建築学会、JCI、ならびにプレストレスコンクリート工学会の論文集の中から、接合部を有する PCaPC 構造に関する最近の文献を収集し、建築分野では研究開発段階に限らず、実施例がある場合も含めて調査し、土木分野では研究開発段階でまだ実際には適用されていない構造につ



写真-2 柱梁接合部一体型のPCa部材の架設状況<sup>1)</sup>

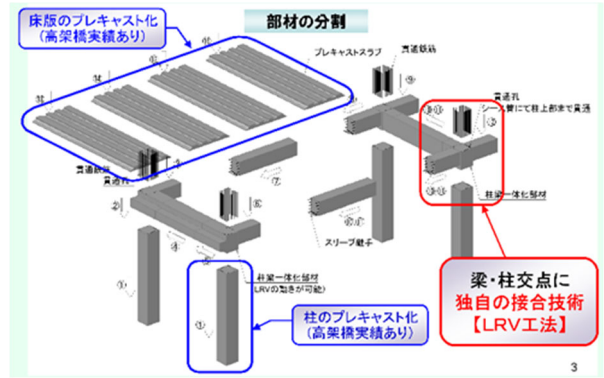


図-6 鉄道高架橋におけるオールPCa工法の概要<sup>3)</sup>

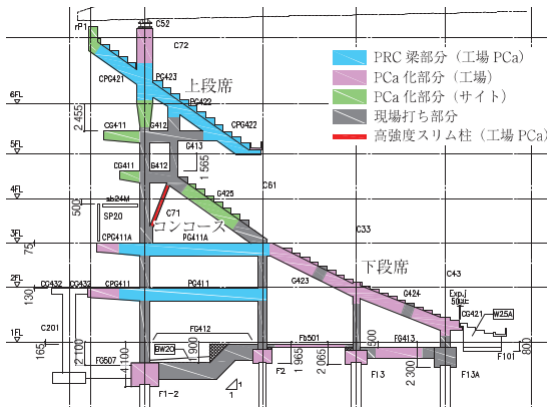


図-5 スタンド軸組図(PCa部材の範囲図)<sup>2)</sup>

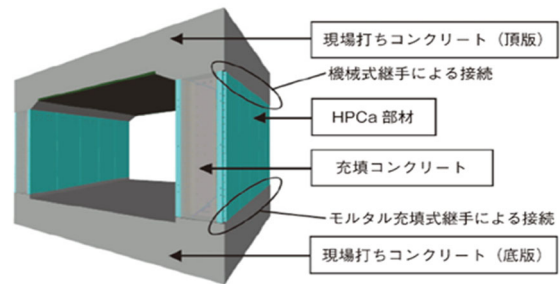


図-7 ハーフPCaボックスカルバートの構造概要<sup>4)</sup>

いて調査した。

建築分野では、構造部材や構造形式(壁部材、梁部材、柱梁接合部、接合面・接合部、壁式、圧着、耐震補強)に関する研究を整理し、土木分野では、構造物の形式(地下構造物、中空タワー・タンク、PCaPC床版)の分類で研究を整理した。また、新材料については、補強材、各種コンクリートに関する情報を整理した。

一連の調査の結果、建築分野では、壁や梁などの部材で様々な提案とそれらの構造性能が確認されていること、施工の合理化、ならびにアンボンドPCや超高強度繊維補強コンクリートなどの適用による構造性能の向上を目的とした研究が多いことがわかった。一方、土木分野では、接合部へのプレストレスの導入や高耐久な材料の使用など、構造物の耐久性向上を目的とした研究開発が多い傾向がわかった。新材料に関しては、高強度、高耐久など、様々なニーズに対応した各種材料が開発されている動向がわかった。

## 5. 接合部を含む部材または構造物の設計施工事例に基づく課題抽出のためのケーススタディ

### 5.1 接合部を含む設計施工事例の調査の目的と概要

PCa部材同士、またはPCa部材と他部材との接合部を含む部材または構造物、構法を対象として、接合部の設計施工内容の把握と課題抽出を目的とした設計施工事例

の調査を実施した。調査は、建築分野と土木分野に分けて、接合部を含むPCa部材や構造物が採用または開発された理由や背景、設計施工事例のその後の適用状況、具体的な設計施工内容に注力して行った。

建築分野における設計施工事例は、プレキャスト、プレストレス、圧着、接合、継手をキーワードにして、建物用途別(集合住宅、競技場、複合施設、物流施設、事務所、病院、教育施設の8種類)に分類して14事例を紹介した。土木分野では、対象構造別(鉄道橋・ラーメン高架橋、道路桁、床版、壁高欄、橋脚、ボックスカルバート、シールドトンネル、LNGタンクの8種類)に分類して21事例を紹介した。

### 5.2 建築分野における接合部を含む部材の設計施工事例

集合住宅の事例では、超高層RC造躯体を高品質で合理的に施工するために、柱梁接合部までPCa化し、柱および梁主筋を貫通孔と機械式継手により接続した後に双方にモルタルを充填することで一体化を図るオールPCa工法の採用が多い。柱梁接合部と梁を一体化したPCa部材の架設状況<sup>1)</sup>を写真-2に示す。

競技場の事例では、工期短縮と現場の生産効率向上を目指して、可能な限りPCa工法を適用した事例がある。スタンド軸組図<sup>2)</sup>を図-5に示す。この事例では基礎部材の大部分をPCa工法で施工することで大幅な工期短縮が得られている。

### 5.3 土木分野における接合部を含む部材の設計施工事例

鉄道橋・ラーメン高架橋では、営業走行している在来

表-3 建築分野のPCa工法の採用理由一覧

| 建物用途      | 採用理由・適用状況 |       |       |      |      |     |     |       |        |          |
|-----------|-----------|-------|-------|------|------|-----|-----|-------|--------|----------|
|           | 工期短縮      | 現場省力化 | コスト縮減 | 品質向上 | 性能向上 |     |     |       | 環境との調和 | その他      |
|           |           |       |       |      | 使用性  | 安全性 | 耐久性 | 維持管理性 |        |          |
| 集合住宅1     | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |          |
| 集合住宅2     | ○         | ○     | ○     | ○    |      |     |     |       | ○      |          |
| 集合住宅3     | ○         |       |       | ○    |      |     |     |       | ○      |          |
| 集合住宅4     | ○         |       | ○     |      |      |     |     |       |        |          |
| 競技場1      | ○         | ○     | ○     |      |      |     |     |       |        | 新材料      |
| 競技場2      | ○         | ○     | ○     | ○    |      |     |     |       |        | デザイン・施工性 |
| 複合施設1     | ○         | ○     | ○     | ○    |      |     |     |       |        |          |
| 複合施設2     |           |       |       |      | ○    | ○   | ○   |       |        | 軽量化・新技術  |
| 複合施設3     |           | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |          |
| 物流施設      | ○         | ○     | ○     | ○    |      |     |     |       |        |          |
| 事務所1      |           | ○     |       | ○    | ○    | ○   | ○   | ○     | ○      | 省エネ・デザイン |
| 事務所2      |           |       |       |      | ○    | ○   | ○   |       |        | 新材料・新技術  |
| 病院        | ○         | ○     |       | ○    |      | ○   |     |       |        | 新材料・新技術  |
| 教育施設      |           |       |       |      |      |     |     |       |        |          |
| 集計(全14事例) | 9         | 9     | 6     | 9    | 3    | 4   | 3   | 1     | 3      | 11       |

線の線路に隣接して整備された新幹線の高架橋の建設工事で、梁部材と柱梁接合部を一体化したオールPCa工法を適用した事例がある。鉄道高架橋におけるオールPCa工法の概要<sup>3)</sup>を図-6に示す。制約が多い施工条件下で工期短縮や品質向上による構造物の耐久性向上を目的として採用している。

ボックスカルバートでは、自動車専用道路の函体建設工事で、現場作業の省力化や工期短縮を目的として函体の側壁部にPCa板を用いてボックスカルバートを構築した事例がある。ハーフPCaボックスカルバートの構造概要<sup>4)</sup>を図-7に示す。

5.4 設計施工事例に基づくケーススタディ

建築分野のPCa工法の採用理由一覧を表-3に示す。建築分野では、集合住宅での採用が多く、民間主体の事業で建設費を圧縮するための具体策として工期短縮を行ってコスト縮減につなげていること、また、基礎構造や大型部材にPCa部材を採用した競技場やS部材との併用、ならびに超高強度コンクリートを適用した複合施設や事務所の事例があることがわかった。ただし、都市部で計画されることが多い建築分野では、部材運搬や楊重に対する制限や施工時期より早期に部材製作を進める必要があるPCa構工法に固有の特殊性のため、その採用が一般化されていない状況も把握できた。

土木分野のPCa工法の採用理由一覧を表-4に示す。土木分野では、鉄道のラーメン高架橋やシールドトンネル、LNGタンクのように構造形式が統一された場合、部材のほとんどにPCa部材を採用している一方で、道路橋では狭い作業環境での施工や工期短縮などを理由にPCa部材を部分的に採用している事例が多く見られた。これは地形や線形が一樣ではなく部材寸法の統一が不合理になるためと推察される。また、超大構造物の重量軽減、現場作業時の安全性確保の観点からPCa工法が採用された傾向があった。

これら事例調査に関するケーススタディによって、

表-4 土木分野のPCa工法の採用理由一覧

| 対象構造      | 採用理由・適用状況 |       |       |      |      |     |     |       |        |       |
|-----------|-----------|-------|-------|------|------|-----|-----|-------|--------|-------|
|           | 工期短縮      | 現場省力化 | コスト縮減 | 品質向上 | 性能向上 |     |     |       | 環境との調和 | その他   |
|           |           |       |       |      | 使用性  | 安全性 | 耐久性 | 維持管理性 |        |       |
| 鉄道高架橋1    | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |       |
| 鉄道高架橋2    | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |       |
| 鉄道高架橋3    | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |       |
| 鉄道高架橋4    | ○         |       |       | ○    |      |     |     |       |        | ○     |
| 鉄道高架橋5    | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |       |
| 道路橋・桁1    | ○         | ○     | ○     | ○    |      |     |     |       |        |       |
| 道路橋・桁2    | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     | ○     |        | 軽量化   |
| 道路橋・桁3    | ○         | ○     |       |      |      |     |     |       |        |       |
| 道路橋・桁4    | ○         | ○     |       | ○    |      | ○   | ○   | ○     |        | 桁高制限  |
| 床版1       | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     | ○     |        |       |
| 床版2       | ○         |       |       |      |      |     |     | ○     |        | 通行制限  |
| 床版3       | ○         | ○     | ○     | ○    |      |     |     | ○     | ○      |       |
| 床版4       | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     | ○     |        |       |
| 床版5       | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     | ○     |        | 軽量化   |
| 壁高欄1      | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        |       |
| 壁高欄2      | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     | ○     | ○      |       |
| 橋脚1       | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        | 作業安全性 |
| 橋脚2       | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        | 作業安全性 |
| BOXカルバート  | ○         | ○     |       |      |      |     |     |       |        |       |
| シールドトンネル  |           |       |       |      |      |     |     | ○     | ○      | 止水性向上 |
| LNGタンク    | ○         | ○     |       | ○    |      |     |     |       |        | 作業安全性 |
| 集計(全21事例) | 20        | 19    | 2     | 17   | 0    | 2   | 15  | 5     | 1      | 8     |

PCa化を推進するには、PCa化のメリットを先行事例から学び、その適用箇所や工程などについて計画段階から配慮しておく必要があることがエビデンスをもとに理解できた。

6. まとめと今後の展望

本委員会の報告書では、国内の土木分野、建築分野ならびに米国におけるPCa部材の接合部に関する設計基・規準類を調査し、対象部材と接合部設計の考え方を整理するとともに、規定内容の特長を把握した。また、接合部の耐荷機構とその評価式、ならびに適用事例についてもまとめている。建築、土木分野で今後適用が期待される構造や新材料に関する調査によって、最近の研究開発の動向を把握した。さらに、設計施工事例に基づく課題抽出のためのケーススタディでは、接合部を含むPCa部材や構造物が採用または開発された理由や背景、設計施工事例のその後の適用状況の具体を理解するとともに、建築、土木分野における動向と課題を整理した。

以上の調査研究を踏まえ、今後の展望として以下3点を挙げて報告書のまとめとする。

- 1) PCa部材の施工上のメリットは非常に大きく、より効率的な設計手法を構築することでメリットをさらに拡大することができる。例えば、接合部の影響を適切に考慮できる一貫プログラムのような評価方法の標準化が求められる。PCa部材やPCa構工法自体の標準化は、構造設計の自動化、AIの活用への展開も可能となる。
- 2) 作業員、専門技術者が完全に不足する時代には、省力化、ロボットによる作業補助、自動化が求められるが、ここでもPCa部材の利用が肝要となる。その際、工

場製作時に各種情報をスムーズに伝達することや様々な情報の一元管理が必要となり、BIM、CIM等のプラットフォームの活用を期待したい。一方、建設現場に目を向けると、現場整理整頓、型枠等の資材軽減から廃棄物を減らすといった環境負荷の低減、さらには運搬、仮設を容易にする PCa 部材の小型化、軽量化の方向は、使用するコンクリートを減らすことにはなるが、結果として CO<sub>2</sub> 等温暖化ガスの排出量の縮小、カーボンニュートラルへ向けた貢献ができる点も指摘したい。また、全ての現場ではないが、PCa 化によるトータルとしての労働人員の削減に加え、労働災害のリスク低減のメリットがある点も強調したい。

- 3) 接合部の一体化において、プレストレスの活用は有望である。構造メリットだけではなく、意匠、環境負荷低減、品質確保など、多面的な PC 構造のメリットを活かす必要がある。その際、鉄筋継手の構造改良も必要であり、シンプルかつ PCaPC の圧着接合の特徴を活かした、例えばエネルギー吸収性能を付与するデバイスの適用など、新しい接合方法の開発が求められる。また、米国における Jointed 接合のようなロッキングを活用した地震時損傷の制御、復元効果(セルフセンタリング)の活用も範疇とする評価手法の

確立も期待される。なお、接合部を含む構造物の挙動をどこまで制御するかに応じて、接合部設計の高度化レベルも異なることから、部材の使われ方に応じた設計法を整備していくのがよい。あわせて、PC 構造に対する教育、設計者における理解度向上の方策、発注・積算体系の整備等、PCa、PCaPC 構造の適用展開へ向けた公的サポートや体制も求められる。

#### 参考文献

- 1) 塚田泰三, 遠藤芳雄, 淵本正樹, 片山行雄: 超高層 RC 集合住宅の工業化と高速施工技術について, コンクリート工学, Vol.53, No.10, pp.882-888, 2015.10
- 2) 奥出久人, 木原隆志, 中野達男, 石川裕次: プレキャスト工法を活用した(仮称)吹田市立スタジアムの設計・施工, コンクリート工学, Vol.53, No.11, pp.986-991, 2015.11
- 3) 喜多直之, 三倉寛明, 岡本大, 田所敏弥: 建築プレキャスト工法の鉄道高架橋への展開, コンクリート工学, Vol.55, No.9, pp.815-819, 2015.12
- 4) 宗像慎也, 広地豪, 竹内大輔, 中谷郁夫: 開削トンネルの RC 壁部材に用いるハーフプレキャスト部材によるボックスカルバート施工, コンクリート工学, Vol.56, No.10, pp.836-837, 2018.10