

委員会報告 プレキャストコンクリート製品の性能設計と 利用技術研究委員会

久田 真*1・中田善久*2・川上 洵*3・石川雅美*4・松山哲也*5・小野里憲一*6・伊藤 始*7

要旨: プレキャストコンクリート製品(以下PCa製品)は、品質の安定性、工期の短縮、各種リサイクル材の利用推進など、循環型社会の構築に大きな貢献が期待されている。本委員会では、PCa製品特有の課題を整理検討することを目的として、2007～2008年度の2年間にわたる調査研究活動を行ったJCI-TC071A委員会の成果を踏まえつつ、PCa製品ならびにこれを用いた構造物の性能設計手法に資するための技術資料を構築することを目的として、委員会を製品設計WG、構造物評価WGの2つに分けて調査研究活動を行った。本文はその主な活動内容を取りまとめたものである。

キーワード: プレキャストコンクリート、性能設計、継ぎ手、施工

1. はじめに

プレキャストコンクリート製品(以下、PCa製品と記す)は、品質の安定性、工期の短縮、各種リサイクル材の利用が可能であることなどの点から、循環型社会の構築に大きな貢献が期待されている。特に、遠くない将来にわが国が直面する少子高齢化に伴う建設労働者人口の減少を考えると、PCa製品およびこれを用いた構造物の適切な性能設計と利用技術を整備することは、わが国の社会基盤を信頼性のあるものとするためにもコンクリート技術者の使命である。

PCa製品特有の課題を整理検討することを目的としてJCI-TC071A「プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会」を発足させ、2007～2008年度の2年間

にわたって調査研究活動を行った。この委員会では、PCa製品の設計方法、高機能PC製品、技術者育成および低品質およびリサイクル材利用などに着目してWGを設け、PC製品を性能規定化するために必要と考えられる項目を整理することができたが、その一方で、以下のような課題が残されていることが明確になった。

- 1) PCa製品は多岐にわたり品目ごとに要求性能が異なっていて、これらの多くが未だに性能規定的な設計手法で製造されておらず、PCa製品の品質確保において技術的な課題が残されている。
- 2) PCa製品の設計に関して、製品としての設計とともにこれを用いた構造物としての設計が重要であるにもかかわらず、体系的な設計手法が確立されていない。

表-1 委員会構成

委員長	久田真(東北大学大学院)
顧問	國府勝郎(首都大学東京名誉教授)
幹事長	中田善久(日本大学)
幹事	川上洵(秋田大学大学院), 石川雅美(東北学院大学), 小野里憲一(工学院大学), 清水和久(旭コンクリート(株)), 松山哲也(日本興業(株)), 伊藤始(富山県立大学)
委員	星田典行(株ミルコン), 松岡智(ランデス(株)), 北辻政文(宮城大学), 入江正明(日本躯体工事(株)), 新村亮(株大林組), 西本好克(三井住友建設(株)), 中根博(大木建設(株)), 金子修(前田製品販売(株)), 湯浅典人(千葉窯業(株)), 田所雄治(興建産業(株)), 中山壮一郎(石川島建材(株)), 梅村靖弘(日本大学), 上原子晶久(弘前大学), 岡本大(財鉄道総研), 服部敦志(大成建設(株)), 香取慶一(東洋大学), 下谷裕司((独)土木研究所寒地土木研究所), 長田浩治(株フローリック), 片平博((独)土木研究所), 清水俊一(株ピーエス三菱), 宍戸英昭(株ホクエツ)

*1 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻 教授 工博 (正会員)

*2 日本大学理工学部建築学科 准教授 工博 (正会員)

*3 秋田大学大学院工学資源学研究科土木環境工学専攻 教授 工博 (正会員)

*4 東北学院大学工学部 環境建設工学科 教授 工博 (正会員)

*5 日本興業(株) 開発部 工博 (正会員)

*6 工学院大学 建築学部建築学科 准教授 工博 (正会員)

*7 富山県立大学 工学部環境工学科 准教授 工博 (正会員)

このような状況を鑑みて、JCI-TC071A 委員会の成果を踏まえつつ、PCa 製品ならびにこれを用いた構造物の性能設計手法に資するための技術資料を構築することを目的として、JCI-TC093A「プレキャストコンクリート製品の性能設計と利用研究委員会」（英語名称： Technical Committee on Performance-based Design and Utilization of Precast Concrete Products）を新たに発足させ、2009～2010年度の2年にわたり、2つのワーキンググループに分けて調査研究活動を行った。

本委員会では、現状でなされているさまざまな分類に配慮しつつも、これまでの視点とは異なり、上流（構造物）側から遡ってPCa 製品を規定し、それを設計や製造に反映させることを検討の出発点と位置付けた。よって、PCa 製品の設計、製造から構造物設計、施工までの作業の流れとPCa 製品に要求される性能の導出、さらに「取り替えのし易さ」を従来設計に取り入れることが可能かどうかなどについて議論を重ね、以下の骨子を定めるに至った。

- ・骨子1：構造物の要求性能に基づくPCa 製品の設計、製造および構造物の設計・施工のあり方
- ・骨子2：PCa 製品の設計製造上の留意点（特に薄肉構造の力学的設計方法およびかぶりの考え方やその評価法などの耐久性設計方法
- ・骨子3：PCa 製品を用いた構造物の設計、施工上の留意点
- ・骨子4：(今後の課題として)PCa 製品を用いた構造物の維持管理上の留意点

2. 構造物の要求性能に基づくPCa 製品の設計・製造および構造物の設計・施工のあり方

コンクリート構造物の設計、施工・製造、維持管理における性能規定の枠組みでは、構造物に要求される性能は安全性、使用性、復旧性、その他（美観・景観など）およびこれらの性能の時間変化に対する抵抗性としての耐久性であり、これらの照査手続きに基づいて、構造物に使用されるコンクリートの使用材料、配合、配筋、かぶりなどが規定されるのが一般的である。

これに対し、これまでのPCa 製品は、JISをはじめとする仕様規定的な「規格」を満足していれば、製品としては成り立つものであったと思われる。しかしながら、これまでのPCa 製品は、現場打ちコンクリートであれば検討されるであろうの要求性能を満足するための諸検討がなされてこなかったのが実態であろう。例えば、PCa 製品の製造時において、配合設計や養生期間（温度、湿度、日数の管理など）は、耐久性の確保という目的より、むしろ外観上の色むらなどの不良率の低減や製造コストの低減を主な目的として定められる場合が現状で

あろうと思われる。

しかしながら、このような状況は特に小規模製品について言えることであり、建築部材として使用される大型のPCa 製品などのように、要求性能を満足するための諸検討がなされているものもある。このように、PCa の種類は多岐にわたっているが、既往の学協会活動でまとめられた報告書等では、建築あるいは土木といった用途に着目した分類や、製品の大きさに着目した分類、JIS による規定の有無に着目した分類など、様々な分類が示されている。

3. PCa 製品の設計・施工上の留意点

3.1 概要

PCa 製品の設計と施工に関わる留意点をまとめている。まずJIS 規格や設計施工マニュアル等のPCa 製品に適用する基準・規格から要求性能と評価指標を整理した。次に、性能設計に基づきPCa 製品の使用性や耐久性、安全性の照査が可能となるように、限界状態設計法に移行した時の課題を抽出し、その課題を解決するための手法を提案している。そして、主なPCa 製品を取り上げ、従来からの設計法と性能設計の両方で性能照査を行い、設計法の相違による照査結果の違いを比較した。

さらに、製造プロセスや製品検査を通じた品質確保技術を検討するとともに、再生骨材コンクリートや溶融スラグ骨材使用コンクリート等の環境負荷低減を考慮したPCa 製品の設計・施工上の留意点を検討している。

3.2 PCa 製品の限界状態設計法

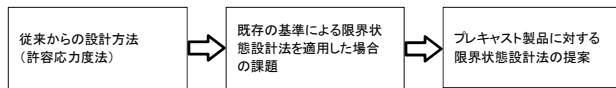
PCa 製品は、多くの指針や基準が対象とする現場打ちコンクリートと異なり、部材側面からの打込みや遠心成形締固めなど、成形方法を工夫することで、製作時の鉄筋かぶりを小さくすることが可能である。しかしながら、鉄筋かぶりが小さいために、ひび割れ幅、中性化や塩害による鋼材腐食などの耐久性の照査を満足できない可能性もある。

PCa 製品に限界状態設計法を適用するためには、このような課題を検討し、現場打ちコンクリートとPCa 製品の組合せによる構造物の構築の経済性もしくは技術的合理性が失われないようにすることが重要と考えられる。

PCa 製品に対する限界状態設計法の提案にあたって、図-1に示すように、まず通常のコンクリート構造物に対する限界状態設計法をPCa 製品に適用した場合、規定値もしくは限界値を満足しない項目や不整合な項目について検討した。その上で、PCa 製品に適用できる方法を提案することとした。

検討項目は、前委員会報告書で課題として挙げた曲げひび割れ強度と曲げひび割れ幅、従来からの設計では照

査対象でなかった中性化や塩害による鋼材腐食、断面の仕様が大きく影響する曲げ耐力を取り上げた。加えて、限界状態設計法で使用する材料特性のばらつきを考慮した設計値や計算式の不確実性などを見込むための安全係数についても検討した。



特に曲げひび割れ強度の検討では、基準類の算定式の対象範囲が 200mm 以上であることや図-2 のように適用する基準・規格の違いにより値が大きく異なり、部材厚さの薄い PCa 製品に適用できない問題点があった。そのため、JIS 協議会で実施した部材厚さ 100mm 程度の実験結果を、破壊エネルギーや断面高さと同骨材寸法の比で整理する新たな算定方法を検討し、新しい算定方法を提案した。

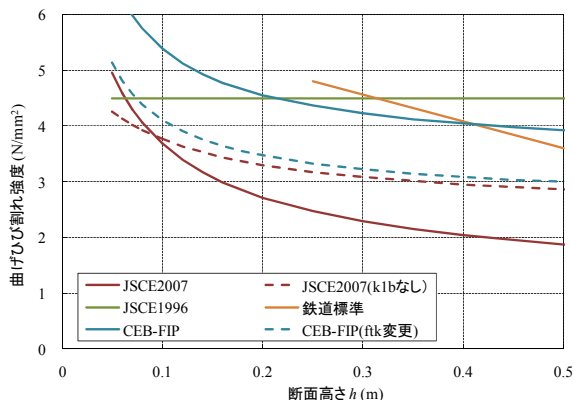


図-2 各種の基準による曲げひび割れ強度の比較

3.3 製品への性能照査型設計の適用・課題

PCa 製品は比較的大型の擁壁、ボックスカルバート、建築製品、橋桁などから、小型で薄肉の U 型側溝、無筋コンクリート平板まで多岐にわたる。これらのプレキャスト製品は現状でもほとんどの製品が許容応力度設計法に基づいて設計されている。

一方で、構造物の置かれた自然条件、社会条件、構造物の施工性、経済性、環境適合性などを考慮し、個別の構造物に必要とされる目標性能（安全性、使用性、復旧性など）を設定し、それを試験や解析により照査することにより、合理的な設計が行える性能照査型設計法への移行の動きがある。しかし、プレキャスト製品の設計には性能照査型設計法が未だ十分に普及していない。

そこで、個別の PCa 製品に対して、具体的な要求性能と性能照査事例を示すことにより、従来設計法（許容応

力度設計法）で設計を行った結果との比較を行った。これにより、性能照査型設計法を PCa 製品へ適用するための、問題点や課題を明らかにした。

PCa 製品は一般に薄肉でありかぶりが小さい。しかし、品質は安定しており、製品での強度確認が可能といった特徴を有する。そこで、このような PCa 製品の設計に適した性能照査手法の有効性を示した。

本委員会では、下記の 9 製品を対象に、従来設計法と性能照査型設計法の比較・検討を行った。

- ① L 型擁壁
- ② ボックスカルバート
- ③ シールド工用セグメント
- ④ パイル
- ⑤ ヒューム管
- ⑥ プレストレストコンクリートけた
- ⑦ 建築製品
- ⑧ 側溝
- ⑨ 無筋コンクリート製品

なお、建築構造物では現場打ちコンクリートと同等な性能が求められ、製品としての性能が規定しにくいいため、PCa 製品特有の必要性能（製造、運搬、組立、コンクリート打設）を紹介する。

3.4 PCa 製品の品質確保技術

PCa 製品は、JIS 規格化された土木用 PCa 製品などにおける製品製造の専門工場内で製造する場合と、製品の運搬を考慮した施工現場近隣の仮設工場で製造する建築部材や軌道スラブおよび橋梁部材等の場合があり、いずれも製品としての要求性能を満足するための品質確保は重要な事項である。

建築部材では、建築学会の標準示方書(JASS5)および PCa に関する仕様書(JASS10)および関連施工指針への遵守した品質確保技術により最終構造物の品質を確保している。

一般的な土木用 PCa 製品における専門工場での製造では、現場施工による場所打ち構造物との作業環境の違いや製造設備および各種試験設備の保有により製造工程や工程管理も標準化が進んでおり、さらに製品への直接試験が実施可能で且つ、現場施工前に製品の良否が判定可能であり PCa 製品の品質確保に対する優位性は判断可能と思われる。

本節では土木用 PCa 製品について今後の性能照査型設計法への移行による限界状態設計法に用いられる材料品質の変動の影響を考慮した安全係数の低減の可能性を有する PCa 製品独自の品質管理技術について下記項目ごとに具体的な事例を紹介する。

- 1) 管理、検査および試験
- 2) 製造プロセス技術

3) 製品不良への対処, 事例

4) 耐久性の事例

特に4)に関しては、環境の厳しい地域のPCa製品の劣化、補修および取換え状況についてアンケート調査を行って現状を確認した。選定した地区の北海道は、冬季は厳しい凍結融解環境にあり、また円滑な交通確保のため、塩化物系凍結防止剤の散布が行われている。このため、PCa製品を含む北海道地区のコンクリート構造物は、凍害劣化およびコンクリート中に侵入した塩分が凍害劣化を促進させる複合劣化の影響を受けており、全国の中でも特に厳しい環境条件下で供用されていると考えられる。以上のことから、PCa製品の耐用年数および交換・補修時期の設定に関する一資料とすることを目的とし、道路および河川管理者を対象として、①～③に示す項目に関するアンケート調査を実施した。

- ① 製品情報 (種別, 配合, 製造方法), 環境条件
- ② 製品の劣化状況
- ③ 製品の対応 (交換, 補修等)

アンケート結果については今年度で予定している委員会報告の中で述べる。

3.5 環境負荷低減を考慮した製品設計

環境に対する負荷を低減することは、すべての産業に求められている。具体的な対策として、(1)リサイクル材の使用 (廃棄物の減量), (3)CO₂の削減, (3)環境安全性の確保である。建設関連産業は、使用材料が多量であることから環境へ及ぼす影響は正、負いずれにおいても多大である。

本委員会では、PCa製品の設計法として、限界状態設計法による検討を行っている。リサイクル材を用いた場合、材料品質の変動が大きく、安全係数の扱いが課題と

なる。これまでに生コンで利用されていないリサイクル材を用いたPCa製品について限界状態設計法による構造計算を行った事例はなく、本報告でも適正な材料係数を示すことはできない。このため、限界状態設計法をPCa製品に適用する場合、生コンで利用されていないリサイクル材については、データの蓄積が必要であると考えられる。また、リサイクル材を用いたPCa製品は、要求性能が低い製品に用いられる。たとえば、ごみ溶融スラグや再生粗骨材Mは、設計基準強度が36N/mm²以下のものを対象としており、製品の種類も取り替え可能なものが多い。このため、従来の許容応力度設計法やみなし規定による性能照査も可能であると思われる。本来、性能照査を行う場合、リサイクル材の使用の有無は関係なく、出来上がった製品そのものの要求性能が満たされる否かを判断されるものである。

本節では、リサイクル材の中でも骨材として利用量が多い①溶融スラグ、今後、利用の期待が大きい②再生粗骨材Mについて検討を行った。また、PCa製品において利用量が少ないものの、CO₂抑制効果や産業副産物の有効利用の観点で、③高炉セメント・高炉スラグ、④フライアッシュについても検討した。加えて、それらの材料を対象とした⑤環境負荷(LCA)の試算を行った。

3.6 高性能PCa製品

本節では、新しい材料として、①超高強度繊維補強コンクリート、②高炉スラグ水和固化体を用いたPCa製品の適用性の現状や実構造物への適用例、研究成果を紹介する。

超高強度繊維補強コンクリートは、超高強度モルタルと鋼繊維を組み合わせた複合材料で、高い引張強度とじん性能を有する。高炉スラグ水和固化体は、結合材の一

表-2 PCaPCiに関する基準類(橋梁関係)

番号	名称	発行元	発行年月	該当箇所	備考
1	コンクリート標準示方書〔設計編〕	土木学会	2007年	第15章	
2	道路橋示方書Ⅲ コンクリート橋編	日本道路協会	2002年3月	17章	改訂作業中
3	日本道路公団 設計要領第二集 橋梁建設編	東日本高速道路㈱ 中日本高速道路㈱ 西日本高速道路㈱	2009年7月	Ⅲ-1 5、 Ⅲ-2 1	
4	プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート道路橋設計・計施工指針(案)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 建設省土木研究所	1995年12月		設計方法のベース
5	鉄道構造物設計標準・同解説 コンクリート構造物	国土交通省鉄道局 監修 鉄道総合技術研究所 編	2004年4月	14.18	
6	外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準	(社)プレストレストコンクリート技術協会 編 (技報堂)	2005年6月	Ⅲ	
7	橋梁工学ハンドブック	橋梁工学ハンドブック編集委員会 (技報堂)	2004年4月	4.8、4.9	
8	PC床版設計・施工マニュアル(案)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	1999年5月		
9	PCコンボ橋 設計施工の手引き〔改訂版〕	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2007年5月		
10	JISけたによるPC道路橋設計・製造便覧(JIS A5373-2004)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2004年6月		
11	JISによる軽荷重PCスラブ橋設計・製造便覧(JIS A5373-2004)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2004年6月		
12	JISによる道路橋橋げた用セグメント設計・製造便覧(JIS A5373-2004)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2004年9月		
13	JISによる合成床版用プレキャスト版設計・製造便覧(JIS A5373-2004)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2004年9月		
14	JISによる道路橋用プレキャスト床版設計・製造便覧(JIS A5373-2004)	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2004年7月		
15	塩害に対するプレキャストPCけたの設計・施工資料	(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会	2005年3月		

部に高炉スラグ微粉末を用い、細骨材の全量に高炉スラグ細骨材を用いる材料で、硫酸をはじめ、凍害、アルカリシリカ反応、硫酸塩、炭酸化および塩化物イオン浸透性などに対する高い抵抗性を有するものである。

4. PCa 製品を用いた構造物の設計・施工上の留意点

4.1 規準類の調査

構成部材として供される PCa 製品は、要求性を満足していることを前提とし、「PCa 製品を用いた構造物の設計、施工上の留意点」と題してとりまとめを行った。その第一段階として、まず、PCa 部材を用いた構造部設計に関する各種規準類の調査を行った。ここでは、まず、土木と建築双方の分野別に、ここ 10 年の間に改訂されたものを対象として、Pca 部材を用いた構造物の設計に関連の規準類の整理を行った。まず、土木分野については、橋梁関係を中心に表-2 に示す基準において、PCa に関する記述がなされている。これらの詳細については今年度に予定している委員会報告の中で述べる。

一方、建築分野においては、PCa 製品を採用した鉄筋コンクリート構造の建築物は、壁式プレキャスト鉄筋コンクリート (W-PC) 構造、壁式ラーメンプレキャスト鉄筋コンクリート (WR-PC) 構造およびラーメンプレキャストコンクリート (R-PC) 構造に大別することができ、このうち、W-PC 構造は歴史が長く 1965 年に日本建築学会「壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規準・同解説」が刊行されて以来、広く採用されてきている。また、WR-PC 構造と R-PC 構造は比較的新しく、2002 年に日本建築学会から「場所打ち同型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針 (案) 同解説 (2002)」が、2003 年に日本建築センターから「壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針」が刊行され、以降、広く採用されるようになった。これらの指針ができるまでは、PCa を採用した鉄筋コンクリートの建築物は PCa 化される部位が一部である場合を除き国土交通大臣認定を受けていた。しかし、これらの指針ができたことで 60m を超えない PCa 鉄筋コンクリート構造建築物であれば、認定を受けなくてもよくなってきた。図-3 はビルディンググレーに掲載された PCa 鉄筋コンクリート構造の建築物について調べ、縦軸を建物の高さ、横軸を年代にして 2000 年から 2009 年までを示している (一部プレストレストコンクリート構造の建物も含まれている)。ビルディンググレーは大臣認定の取得を目的として性能評価を受けた建築物を掲載しているが、2003 年以降は免震構造を除き、60m 以下の建築物はない。

4.2 PCa 部材を使用する構造物の具体例の紹介

最終の委員会報告では、PCa 部材を使用した構造物の具体例として、以下に示すここ 5,6 年の間に施工された

構造物の例を中心に紹介する。

- 1) カイザー鉄道高架橋用スラブ¹⁾
 - 2) JR 西日本多大阪外環状線・九宝寺高架橋²⁾
 - 3) 京急蒲田駅付近連続立体交差事業における高架橋築造工事³⁾
 - 4) 東急東横線複々線化事業に伴う武蔵小杉～日吉間線増工事⁴⁾
 - 5) 臨港鉄道金城ふ頭線 (汐止～空見) 効果線築造工事⁵⁾
 - 6) 東池袋四丁目第 2 地区 (再) 特定業務代行建設工事⁶⁾
- この他、建設会社が保有する PCa 部材を用いた工法についても紹介する。

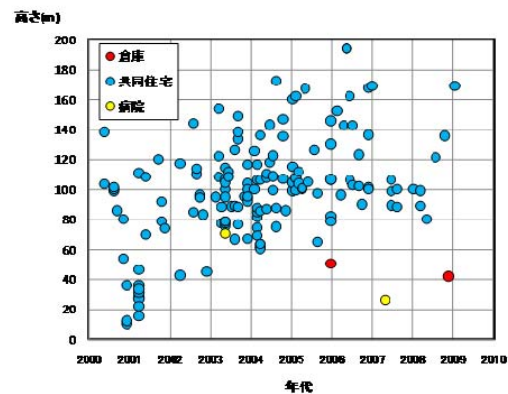


図-3 性能評価を受けた PCa 建物の高さ年代の関係 (ビルディンググレーより)

4.3 接合部の応力伝達に関する解析的検討

PCa 部材を用いて構造物の設計・施工を行う場合、構造物の要求性能を保証する上で最も重要な点が、PCa 部材同士の接合部の連続性をどのように評価するかということに集約されるであろう。そこで WG2 では、現在使用されている代表的な継ぎ手の種類についてリストアップするとともに、継手の性能を数値解析によって評価した例を示すことにした。本検討で対象とした試験結果は、相田らによるプレキャスト RC 柱の実験である⁷⁾。ここでは、同文献中の No.1 と No.2 の試験体 (図-4) についての解析例を示す。No.1 試験体はフーチング部と柱部が一体打ちにより作製されている。No.2 試験体柱部がプレキャスト化されており、フーチング部と柱部との間に 450mm の接合部を有している。また、No.2 試験体は柱主筋にネジ節鉄筋を使用している。接合部は、図-

5 に示したようにモルタル充填継手により主筋が接合されている。本検討では、No.1 試験体と No.2 試験体を参照データとして非線形有限要素解析を試みる。図-6 に解析において正側 5δy 最大荷重時の主ひずみのコンター図を示す。なお、No.2 試験体の解析結果は継手部の最大付着強度を 0.7 倍としたものに対応している。この図

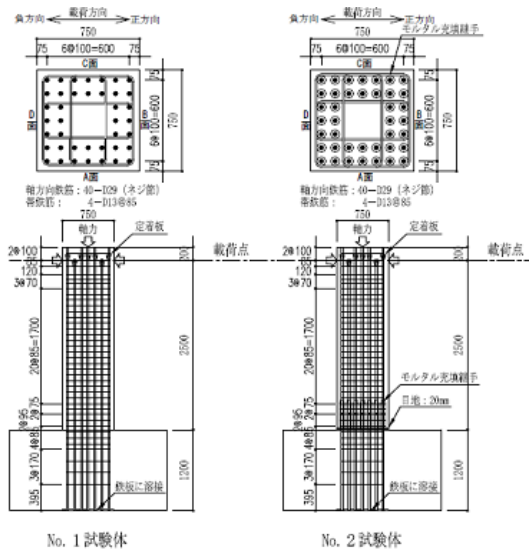


図-4 相田ら⁷⁾によるプレキャスト RC 柱の実験試験体

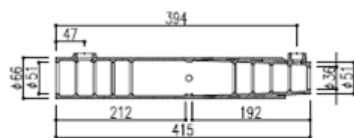


図-5 接合部詳細

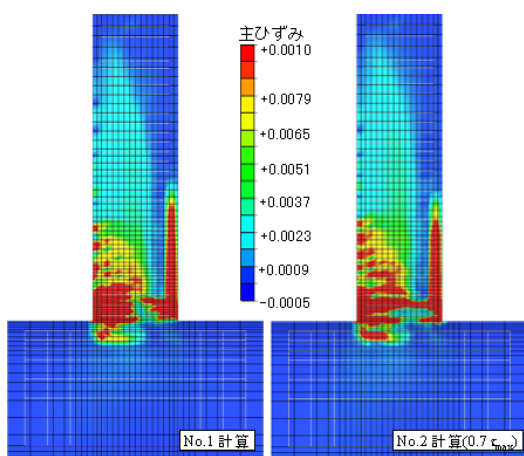


図-6 解析結果

より、No.2 試験体において、若干ではあるが引張ひずみの発生領域が No.1 試験体のそれよりも広いことがわかる。これより、本事例のように一体打ちとプレキャストで耐力やじん性能は変わらない場合でも、応力の再分配状況が両者で若干異なる可能性があるが示唆される。以上は、継手部の面内方向の付着特性が大きく関与しているものと予想される。解析結果を統合して類推すると、過密配筋などが原因で継手部の付着強度が十分に保持できない場合には、本検討事例のような事前の解析により力学性状を適切に把握した上で、接合部の設計を行うことが望ましいといえる。

5. まとめ

2 年間の研究活動を通じて、PCa 製品の性能を確保するために必要な事項をとりまとめることができた。なお、今後の課題として以下の各点があげられる。

(1) 普及へ向けての更なる課題の整理

製品の美観にこだわり過ぎることの問題、すなわち、性能を満足する「荒々しい」PCa 製品を合格させるためにしなければならない事項として、各種の制度や発注者への理解をいかに獲得するかなどを進める必要がある。

(2) PCa を利用することのアドバンテージの明確化

PCa 製品は、作業工程の多くが工場内で済まされるが、これに対し、現場施工では、生コン、鉄筋工をはじめとする現場施工ならではの工種があり、そこに携わる作業員の数も多い（すなわち人件費が高くなる）。これがいわば「省力化」のメリットに繋がっている。海外と比較して、日本の PCa 工場は大規模なものが多くなく、その結果、様々な工種の作業員を工場内で雇用するのが困難となっている。

PCa の普及率の向上のためには、PCa の優位性が発揮できる技術を確立し、トータルコストを低減できる設計法を提案し、顧客の要求に応える業界努力が必要と思われる。

最後に、アンケート調査等にご協力頂いた方々に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) カイザー鉄道高架橋用スラブ，日本カイザー，2008.8.
- 2) 米田大樹ら，鉄道ラーメン高架橋の営業線近接工事における PREX スラブと PREX 高欄の架設方法に関する検討，前田建設技術研究所報，Vol.47. 2006
- 3) 服部直道ら，営業線直上における「鉄道ラーメン高架橋のプレキャスト構築工法（HPCa）」の適用および施工，土木建設技術発表会 2009 概要集，土木学会 建設技術研究委員会，2009.11
- 4) 山本隆昭ら，営業線直上に構築する鉄道ラーメン高架橋における HPCa 梁・スラブの適用，コンクリート工学，Vol.43 No.7，2005.7
- 5) 高橋功ら，都市空間での急速施工を追求した「鉄道ラーメン高架橋のプレキャスト工法」，橋梁&都市 PROJECT，2003.7
- 6) 服部敦志ら，最新技術を適用した超高層集合住宅の設計と施工，コンクリート工学，Vol.49，No.2，2011.2
- 7) 相田浩伸・谷村幸裕・田所敏弥・滝本和志：モルタル充填継手を用いた鉄道プレキャストラーメン高架橋柱の交番載荷実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No. 2，pp.613-618，2005.7