

委員会報告 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

万木 正弘*1・北辻 政文*2・久田 真*3 中田 善久*4

要旨: プレキャストコンクリート (PCa) は、種々の優れた性質・性能を有しているものの、使用実績は、セメント使用量で比較するとあまり伸びておらず、逆に減少している傾向さえ認められる。しかし、今後の社会情勢の変化を考えると PCa 製品の活用は必要欠くべからざるものと思われる。そこで、PCa 製品の直面している課題や実態を明らかにするとともに、PCa 製品の普及・発展に資する技術資料の作成を目的に、調査・研究活動を行った。その結果明らかになった PCa 製品に対する意識の違い、性能設計への移行に当たったの問題点、リサイクル骨材等低品質材料を PCa 製品に利用する場合の課題などを紹介する。

キーワード: プレキャストコンクリート, アンケート調査, 性能設計, リサイクル材料

1. はじめに

プレキャストコンクリート (PCa) 製品は、一貫した品質管理が行われる工場で作られることからその品質は安定しており、現場打ちコンクリートに比べて耐久性にも優れた構造物の構築に寄与できること、施工の面でも工期短縮や省力化が可能なこと等の長所があり、古くから将来はプレキャスト化・プレハブ化による省力化施工の時代になると言われてきた。しかし、PCa 製品として使用されたセメント量の全セメント生産量に対する割合は 14.5%にとどまっており、さらに最近では 12.3%に低下してきている。この原因としては、①PCa 製品の品質が優れていることへの理解が不十分であること、

②その結果、さらには工期短縮のメリットが積算に反映されておらず、工事全体のコスト縮減につながらないこと、③社会の変化や今日的課題に対応する製品の開発が十分でないこと、また技術的には④接合部における性能の確保、等のことが揚げられる。しかし、循環型社会の構築の中で高耐久の社会基盤施設が求められ、さらには今後の高齢化社会の到来という社会条件を考えると、PCa 製品の活用は今後ますます必要になるものと思われる。このような社会的背景から、PCa 製品特有の課題を整理するとともに PCa 製品の普及・発展に資する技術資料の作成を目的に、JCI に「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、平成 19、20

表-1 委員会構成

委員長	万木正弘 (弘前大学)
顧問	國府勝郎 (首都大学東京)
幹事長	北辻政文 (宮城大学)
幹事	月永洋一 (八戸工業大学), 中田善久 (日本大学), 久田真 (東北大学), 清水和久 (コンクリート製品 JIS 協議会)
委員	石川雅美(東北学院大学), 石黒覚(三重大学), 伊藤始(前田建設工業), 伊藤祐二(石川島建材工業), 岩城一郎(日本大学), 内田美生 (中研コンサルタント), 大塚秀三(ものづくり大学), 金子修 (前田製管), 片平博(人土木研究所), 川上洵(秋田大学), 衣川直紀 (ケイコン), 齊藤直 (エネルギー・エコ・マテリア), 佐川康貴(九州大学大学院), 田口史雄(寒地土木研究所), 下谷裕司 (寒地土木研究所), 竹中秀樹 (安部日鋼工業), 伊達重之 (日本シーカ), 新村亮(大林組), 西本好克 (三井住友建設), 新田裕之(東栄コンクリート工業), 藤井和俊 (日本大学), 星田典行(ミルコン), 松田学(ヤマックス), 松岡智(ランダス), 松山哲也(日本興業), 森田秀明 (コンクリート製品 JIS 協議会)
通信委員	綾野克紀(岡山大学), 梅村靖弘(日本大学), 笠井哲郎(東海大学), 蔵重勲(電力中央研究所), 佐々木肇(間組), 宍戸英昭(ホクエツ), 田島和樹 (日本大学), 田中礼治 (東北工業大学), 中根博 (大木建設), 藤田康彦(フローリック), 皆川 浩(東北大学)
協力委員	白石照夫 ((中)全国コンクリート製品協会)

*1 弘前大学 博 (工) (正会員)

*2 宮城大学 博 (農) (正会員)

*3 東北大学大学院 博 (工) (正会員)

*4 日本大学 博 (工) (正会員)

の2年間にわたり検討を行った。PCa 製品の種類としては JIS で定められた汎用品、橋梁などの特定土木構造物を対象とした大型の製品、個々の建築物の合理化施工を目的とした壁、柱、梁部材などの特定モジュールなどがあり、その使用方法も製品単独で用いられるもの、幾つかのユニットを組み合わせて一つの構造物とするもの、場所打ちコンクリートと接合して用いるものなど多種多様な使われ方がある。そこで、本委員会では、建築計と土木系に分けてそれぞれの PCa 製品の実態を検討する「実態調査WG」、性能照査や限界状態設計法の適用を検討する「設計方法WG」、再生骨材や低品質骨材などの PCa 製品への利用方法を検討する「リサイクル材等利用WG」の3WGを設けて検討を進めた。なお、本委員会の詳細な活動については、本年8月7日に東京で開催する報告会・シンポジウムで報告する予定である。

2. PCa 製品に対する意識についてのアンケート調査

PCa 製品の直面している課題や実態等を明らかにし、PCa 製品の発展・普及に資する技術資料を整備することを目的として PCa 製品に対する意識についてアンケート調査を行った。アンケート調査は建築系と土木系に分け、建築系では設計者、施工者および製造者に、土木系では発注者と製造者に対して行った。ここでは、建築系 PCa 製品に関する調査結果、土木系 PCa 製品に関する調査結果および PCa 製品の表面仕上がり状態に関する調査結果について概略を述べる。なお、アンケートは、対象者が所属する業界団体（(社)建築業協会、(社)プレハブ建築協会）などをとおして配布した。

(1) 建築系 PCa 製品に関するアンケート調査結果

アンケート調査は、建築系 PCa 製品を用いた建築物の設計者、施工者および製造者を対象に 2008 年 7 月から 9 月にかけて実施した。なお、ここでは PCa 製品の製造工程を除き、PCa 製品を用いた建築物の計画、設計および運搬から現場における取付けまでの一連の流れを総括して PCa 構工法と定義する。

◆調査項目および調査方法

建築分野を対象としたアンケート調査では、PCa 製品もしくは PCa 構工法に関連する項目を、

① 在来工法との比較としての PCa 構工法の評価

- 1) PCa 製品の品質、普及促進、リサイクル材の利用
- 2) PCa 構工法の工期、コスト、労務事情、施工計画および施工管理、環境、設計、対象部位、用途

② PCa 構工法の普及のための要望

他の立場への要望、リサイクル材の使用への要望、法律・基準類への要望

に大別し、それぞれの設問に対して5段階の選択式とし、自由記入形式による回答も得られるようにした。

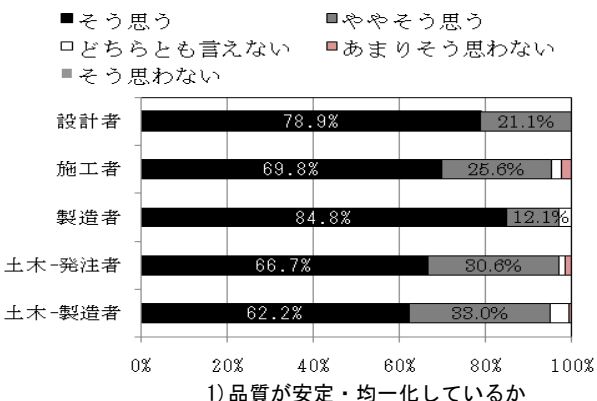
◆アンケート対象者および回答者

アンケートの対象者は、1) PCa 構工法の構造設計もしくは生産設計を承認する立場にある設計者、2) PCa 製品の設計変更の立案と製造および組立の施工管理をする立場にある施工管理者、3) PCa 製品を製造および供給する立場にある製造者とした。アンケートの全回答数は、96 件で、その内訳としては、設計者 20 件、施工者 41 件、製造者 35 件であった。

◆アンケート結果

一般事項については、設計者—施工者—製造者の各者間での意識・認識の違いに着目して整理・検討した。回答結果の一例を図-1 に示すが、結果をまとめると次のようである。

- ① 在来工法と比較して、PCa 製品の品質は安定していると意識に関して設計—施工—製造者間の違いはなく、ほぼ同じ評価をしている。
- ② 在来工法と比較して PCa 構工法は、施工工期が短縮できる、労務事情の解決になる、環境にやさしい構工法と考えており、計者、施工者および製造者とも共通の認識を持っている。
- ③ コストに関しては、製造者がコストダウンになると考えているが、設計者と施工者の多くはコストダウンにはならないと考えている。また、設計者と施工者はコストの構成が不明瞭と考えている。
- ④ 今後 PCa 部材の使用が増加すると考えられる部位についての設問では、現場打ちと PCa 製品の併用が主流になるという共通の認識を持っている。また PCa 部材は集合住宅以外の用途に使用されていくかどうかについては、約半数が、すべての用途に使われていくと回答している。
- ⑤ 発注者、施工者、製造者の各立場から他の立場に対する主な要望としては、発注者へは PCa への理解、設計者へは部材断面の統一、施工者へは PCa の良さを生かした施工、製造者へは部材のコストダウンと品質確保などであった。
- ⑥ リサイクル材の建築分野での利用については、立場



1) 品質が安定・均一化しているか

図-1 それぞれの立場ごとの回答者の割合 (%)

の違いに拘わらず法整備と耐久性の検証を課題としている。

(2) 土木系 PCa 製品に関するアンケート調査結果

アンケート調査は、公共土木施設への PCa 製品とこれを使用した工法の実態の把握および普及を図るための課題の抽出などを目的とし、2008 年 8 月から 1 月に実施した。アンケートの対象は土木施設の発注者と PCa 製品の製造者とし、両者の意識・認識の違いに焦点を絞って調査を行った

◆調査項目および調査方法

土木分野を対象としたアンケート調査では、PCa 製品に関連する項目を、

①在来工法との比較として、PCa 製品を用いた場合の工法（以下 PCa 工法と記す）の評価

- 1)PCa 製品の品質、普及促進、リサイクル材の利用
- 2)PCa 工法の工期、コスト、労務事情、施工計画および施工管理、環境、設計、対象部位、用途

②PCa 工法の普及のための要望

他の立場への要望、リサイクル材の使用への要望、法律・基準類への要望

に大別し、それぞれの設問に対して 5 段階の選択式とし、自由記入形式による回答も得られるようにした。

◆アンケート対象者および回答者

アンケートの対象者は、1) PCa 工法を発注する立場にある発注者、2) PCa 製品を製造および供給する立場にある製造者とした。アンケートの全回答数は、335 件で、その内訳としては、発注者 86 件、製造者 246 件であった。

◆アンケート結果

一般事項については、発注者—製造者の各者間での意識・認識の違いに着目して整理・検討し、結果をまとめると次のようである。

- ① 在来工法と比較して PCa 製品の品質は安定しているという意識を発注者、製造者ともに持っており、おおむね各者間の意識の違いは無かった。
- ② 在来工法と比較して PCa 工法は、施工工期が短縮できる、労務事情の解決になる、環境にやさしい工法であると考えられており、発注者および製造者とも共通の認識を持っている。
- ③ コストに関しては、製造者は PCa 工法がコストダウンになると考えているが、発注者の多くはコストダウンにはならないと考えている。
- ④ リサイクル材の土木分野での利用については、製造する PCa 製品の種類にもよるが、採用の可否について意見は大きく分かれている。

(3) PCa製品の表面仕上がり状態に関するアンケート調査結果

PCa製品における表面仕上がり状態の美観性に関し、PCa製品を製造している土木系および建築系製造者、さらに施工管理する建築施工者および建築設計者に対してアンケート調査を行った。

◆アンケート調査の内容

表面仕上がり状態の美観性に関し

- 1)サンプル画像による表面仕上がり状態の美観性、
- 2)表面仕上がり状態の社内基準
- 3)サンプル画像による部材に発生した色むらの評価

の3点について調査した。サンプル画像は、回答者ごとのプリンターの解像度の違いなどによる見え方の変化の影響を極力排除するために、Webからパソコン画面上にダウンロードしたものを見て回答してもらった。

◆サンプル画像による表面仕上がり状態の美観性

ここでは、コンクリート表面の色むらを、明度の平均値と標準偏差から色むらの程度の差として評価できること⁸⁾から、これらの数値が異なるサンプル画像を作成してアンケート調査を行った。調査項目は以下の通りである。

- ・ コンクリート表面の明度の違いが潜在的な意識に及ぼす影響
- ・ 表面の目標明度に対して補修が必要と思われる表面色
- ・ 美観が損なわれ補修が必要と思われる表面色の明度差
- ・ 明度の標準偏差を一定としたとき、補修が必要と思われる表面色の明度の値
- ・ 表面気泡の面積率と補修の必要性との関係

いずれの設問も、コンクリート表面の物理量は明記せず、あくまでも回答者のサンプル画像に対する主観による判断で回答してもらった。

◆表面仕上がり状態の社内基準

ここでは、PCa製品の製造の中で表面仕上がり状態の美観性をどのような評価方法で管理しているかを明らかにするために、部材における仕上げの有無による、色の濃淡、色むらおよび表面気泡について社内基準の有無、社内基準を定める理由および評価方法について調査した。

◆アンケートの調査結果

表面仕上がり状態の美観性に関するアンケートの回収数は、延べ 173 件であった。

目標にする表面色はコンクリート表面の明度が高いもの为目标にする傾向があり、色の濃淡や色むらは明度が高いほど潜在的な意識が鈍感になる傾向が認められた。また、表面気泡の面積率が 0.5%以上となると表面気泡に対する違和感を感じていた。さらに、表面仕上がり状態における色の濃淡および色むらの社内基準はあま

り定められておらず、その評価方法は目視評価がほとんどであった。

3. PCa 製品の設計に関する課題

(1) PCa 製品およびこれを用いた構造物の事例と課題

PCa 製品を現場施工によるコンクリートと比較した場合の特徴としては、①材料、打込み、養生など品質管理の行き届いた工場で製造される、②高強度コンクリートで製造されることが多い、③工場での製造により入念な検査が可能である、④一般的にかぶりが小さい、⑤一部の PCa 製品 (PC セグメントなど) では、最近輸入もされている、⑥大型になると運搬が困難となる、⑦架設に大型クレーン等が必要になる場合がある、⑧断面の自由度が少ない (ただし、型枠の繰返し使用で採算性が向上することがある)、などが挙げられる。

また、PCa 製品を使用した工事の特徴およびメリットとしては、①工期が短縮できる、②省力 (人) 化が可能である、③品質安定性が確保できる、④施工の安全性が確保できる、⑤リサイクル材の使用が容易である、⑥建設廃材の発生を削減できる、⑦表面仕上げが入念に行える、⑧部分取替えが可能である、⑨施工管理項目を削減できる、⑩部材性能を確認することが可能である、などがある。

これらの特徴を有する PCa 製品ではあるが、工事に使用して常に成功するとは限らず、成功する場合もあるが不具合の生じる場合もある。本委員会では、委員会委員の所属する各社への聞き取りにより PCa を使用して成功した事例及び不具合事例を調査した。

PCa 製品を使用して成功した 56 例の成功要因を調べたところ、工期短縮と施工の合理化の二つを要因としてあげたものが多かった。一例としては、高速道路のアンダーパスに用いられる大断面ボックスカルバートに PCa 製品を用いることで工期短縮や品質向上を図ったもの、大断面の開削トンネルに部材厚 500mm のアーチ形状の PCa 部材を用いることで施工の簡素化、コスト削減が可能となったもの、その他 PCa 製品の使用により早期復旧の効果が得られたもの、緑化ブロックを利用することで複雑な形状の緑化基盤を形成することができたもの、等種々の事例が挙げられた。

その一方で、製品の不具合について製品メーカーにヒアリングを行なった結果、PCa 製品製造上の代表的不具合として、①ひび割れ、②寸法不良、③気泡あばた (写真-1)、④色むら、⑤欠け・割れ、⑥豆板 (ジャンカ)、⑦ペースト漏れ、⑧エフロレッセンス、⑧ポップアウト (写真-2) などが挙げられた。

目地に起因する不具合として、ボックスカルバートの



写真-1 不具合事例の例
(連結金具部の充填不足)



写真-2 不具合事例の例
(凍結防止剤散布によるポップアウト)

上下分割継目部に 0.5mm 以上のひび割れが生じた事例があったが、これは目地部に使用した止水用の水膨潤ゴムの内圧によるものと推定された。その他、PCa カーテンウォールでタイル目地部分のコンクリートが劣化する事例、建築構造物でシーリング材を目地に使用する場合の目地部の汚れ現象が発生する事例等が挙げられた。

後打ちコンクリートにより不具合が生じたものとしては埋設型枠や RC 巻立て耐震補強の事例を、また、高盛土などで構造物に偏土圧が作用した場合、地盤の変化等により地盤反力が一定でない場合、などにおける不具合事例も挙げられた。

(2) PCa 製品の利用に関する海外の事例

海外のマニュアル類に関する文献調査を行い、以下に示す文献について抄録を示すとともに、海外で PCa 製品が使用される施工条件などを紹介した。

- ・英 : BS EN 13369: Common rules for concrete products
- ・米 : Building Code 318, PCI manual, AASHTO など
- ・独 : DIN 1045

海外のマニュアル類においては、製品製造時の技術標準ではなく、構築後の構造物の性能に関する規定が示された技術標準が整備されている。特に、構造物構築時の接合に関する技術標準などについて明記されたものが

あり、今後わが国にもこのような技術標準の整備が必要と思われる。

なお、欧米においては、PCa 製品あるいは構築後の構造物に関して性能を確保するために要求される事項は多いものの、機能的には直接影響を及ぼすことが少ない外観に関する合否基準については、日本の場合より緩いという状況であった。

(3) PCa 製品および構造物の設計、製造、施工および維持管理上の留意事項

PCa 製品の製造にあたっては、前述したような不具合を発生させないことだけでなく、合理的な製造方法の確立の必要がある。そのためには、製造前に発注者と製品仕様に関して十分話し合い、製品の出来形に対しても事前に合意することが必要である。例えば、色むらやひび割れの幅や量などの出来形について事前に合意することで、納品時のクレームを回避し、製造計画以上の作業工程の発生を予防することや、PCa 製品の取替による工期遅延の防止が可能となる。

PCa 製品および構造物の設計、施工、維持管理上において、製造および施工業者が留意している事項は以下のとおりである。

◆設計上の留意事項

①土圧管理

高盛土や斜め横断等による非対称土圧を設計において十分考慮することが必要である。

②基礎沈下対策

設計時において基礎地盤に関する十分な照査を行うとともに、場合によってはある程度の沈下を考慮した構造物の設計を行うことが必要である。

③接合方法

使用される条件により、接合部の要求される性能を考慮した設計を行うことが必要である。特に、地震時においては接合部が弱点となるため、復旧の容易性等も考慮して設計を行うことが必要である。

④目地構造

PCa 製品を組み合わせる用いる場合には、それぞれの部材の接合や目地が必要となる。接合部に要求される性能は、力を伝達するかどうか、止水性、耐久性、地盤の変位に追従できる変形性能などがあり、要求性能に見合った目地構造とする必要がある。カーテンウォール等のシーリング目地では、隅角部に目地を設ける場合の耐疲労性に留意する必要がある。また、シーリング目地の設計では、目地部の変形に対して安全になるよう目地寸法を決めること、不確定な外力に対して安全率を大きく見積もること等が検討すべき項目としてあげられる。

⑤後打ちコンクリートの影響

ハーフプレキャストや埋設型枠の場合には、後打ちコ

ンクリートの影響を設計段階で考慮しておく必要がある。床版など後打ちコンクリートの自重が作用する場合には、後打ちコンクリートおよびPCa 部材の両方の自重によってPCa 部材に発生する曲げ応力に対して照査する必要がある。埋設型枠のように後打ちコンクリートの側圧が作用する場合には、施工時の打ち込み速度や打ち込み高さなどを考慮して、諸条件を設定する必要がある。また、埋設型枠を鉄筋のかぶりとして考慮する場合には埋設型枠と後打ちコンクリートとの一体化を図ること、後打ちコンクリートの温度応力や乾燥収縮による初期ひび割れがPCa 部材に発生しないよう設計段階で検討しておくこと、などが設計上の留意事項として考えられる。

⑥施工時荷重の管理

シールドセグメントにおけるジャッキ反力偏心量やセグメントの競りによるセグメントへの作用側圧や摩擦力など、不確定な施工時荷重の設定精度を向上させることが重要である。また、薄肉のPCa 製品を用いる場合の施工時における強度やひび割れ幅についての照査技術の確立、さらには施工時荷重による長期残留応力の設計上の取扱いなどが検討事項として挙げられる。

◆施工上の留意事項

①設置・組立て精度の管理

PCa 製品の設置については、現場条件に合った施工機械や方法を選定しなければならない。また、製品自体には寸法の許容値を有するため、これを考慮した上で施工上の許容値を満足するように組立精度の管理を行わなければならない。

②接合

一般に、PCa 製品を用いた大型構造物では、複数の製品をPC 鋼材や金具などの接合材料により接合することが行われる。このときの接合は、構造物としての性能を満足する材料や方法により行うのが基本であり、設計で要求される接合部の性能をよく考慮して、これを満足する施工が行わなければならない。

③目地（止水性）

建築物の外壁として用いられるPCa カーテンウォールにおけるパネル接合部の目地は、室内への雨水の浸入を防ぐ役割を担うものであり、シーリング材を用いるフィルドジョイント工法とガスケットなどによりバリアを形成するオープンジョイント工法とがある。目自材の耐久性、ランニングコストなどは両者一長一短であり、採用する構造物の性能をよく考慮して工法を選択する必要がある。目地部の設計・施工に当たっては、日本建築学会でまとめられた「外壁接合部の水密設計および施工に関する技術指針・同解説」を参考にするとよい。

④後打ちコンクリート

後打ちコンクリートを施工する際の重要な留意点と

しては、設計段階で想定した施工計画に従ってコンクリートの打込みを実施すること、自重や側圧に影響を与える打ち上がり速度やコンクリートの流動性には特に注意が必要であること等が挙げられる。さらにコンクリートポンプを使用する際には、ホースの筒先を適宜移動しコンクリート面の高低差が大きくなるように打ち込むこと、などに留意する必要がある。

⑤埋戻し

構造物両側での埋戻しの許容高さ差および埋戻し材料、締固め方法、締固め度、密度のばらつき管理値と管理方法の設定など、埋戻し時に許容する偏土圧の設定と施工時の管理方法の確立が必要である。また、締固め機械による設計衝撃荷重の設定精度を向上させ、構造物近傍の締固め方法および管理方法を確立することが必要であり、施工時の動態観測やその管理方法も重要な検討項目であろう。

◆コンクリートの耐久性、維持管理上の留意事項

PCa を用いた構造物の長期劣化事例としては、凍害、摩耗、乾燥収縮、アルカリシリカ反応によるものが挙げられる。

特に、アルカリシリカ反応による劣化事例では、JIS A 1145（化学法）や JIS A 1146（モルタルバー法）で定められるアルカリシリカ反応性試験方法で無害と判定された場合でも、PCa 製品でアルカリシリカ反応による劣化が生じる事例があった。PCa 製品ではセメント量が多いためアルカリ含有量が多くなること、対策として有効な混合セメントの使用が難しいこと等がその理由と考えられる。このような事例を見ると、PCa 製品の場合レディーミクストコンクリートとは異なるアルカリシリカ反応の検討が必要と思われる。蒸気養生を行なった場合のアルカリシリカ反応の発生に関する試験方法や判定基準、天然骨材など化学法で安全と判定される骨材でアルカリシリカ反応を生じる骨材の識別方法（ACI 法、カナダ法などの試験の適用）などについての技術の確立が今後の課題である。

なお、PCa 製品を用いた構造物に特徴である目地・接合部の耐久性を評価し、適切な維持管理方法を確立するためには、シーリング材のひび割れと防水性・気密性との関係や、シーリング材の耐候性、シーリング材に起因した外壁汚染などに関し、今後検討する必要がある。

（４）PCa 製品を用いた構造物の設計に関わる課題

PCa 製品の構造設計については既往の指針類を参考にすることが可能であるが、耐久性に関する検討を含めた材料設計は関して新たに指針を構築する必要がある。特に、製品自体の設計・製造方法とともに、製品の集合体としての構造物（構造体）の設計方法の確立が望まれる。また、製品の区分としては製品の大きさよりも、例えば

縁石ブロックなどのように交換が容易なものと、地中埋設物のように交換が困難なものなど、使用条件などに応じて設計の考え方に特徴付けることも重要であると思われる。これらの指針においては、海洋環境下での使用や寒冷地仕様、耐酸仕様など、用途や地域特性での各論を加える必要がある。

（５）PCa 製品を用いた構造物の設計計算例

PCa 製品を用いたコンクリート構造物として、土木における道路用 L 型擁壁を取り上げ、コンクリート標準示方書および鉄道構造物等設計基準に準拠して限界状態設計法による安全性の照査をおこなった。対象とした L 型擁壁は高さ 3.0m、部材厚が 100～220mm のものであり、許容応力度法により設計されたものである。結果は、使用限界状態、終局限界状態とも安全であり、むしろ鉄筋量を減少できる可能性が得られた。今後の課題としては

以下の事項が挙げられる。

- 1) 断面の薄い部材の曲げひび割れ幅算出式における係数の妥当性、
- 2) かぶり厚が 30mm 以下の部材における曲げひび割れ幅の制限値の適用
- 3) 準拠する基準により、判断の異なるところがある点

4. リサイクル材等の PCa 製品への利用

PCa 製品はリサイクル材を有効利用する際、いくつかの優位性を持つ。まず、JIS A 5308 レディーミクストコンクリート（以下生コン）では、それに用いるセメントや骨材はそれぞれ JIS の規格値が設けられており、それを満足するものを用いなければならない。したがって、低品質のリサイクル材（規格値がないもの）は利用できない。例えば、現状では規格化された再生骨材やごみ熔融スラグであっても JIS の生コンでは利用できない。

これに対して、PCa 製品の規格である JIS A 5364（材料及び製造方法の通則）では JIS 規格同等品以上の材料を用いることになっており、少なくとも生コンより緩い規格になっている。再生骨材やごみ熔融スラグは PCa 製品への利用は可能である記載となっている。これは納品する際の形状の影響が大きいと考えられる。すなわち、生コンは最終的な製品（硬化体）でないため、その性能を照査できないことから材料において厳しく制約を設けているのに対し、PCa 製品では JIS A 5363（性能試験方法通則）によりコンクリート硬化体で性能を判断できる点にある。つまり、できあがった PCa 製品が所要の品質を有していれば、使用材料、締固め方法、養生方法などの製品が出来上がるまでの原料やプロセスは重要でないのである。このことが「仕様規定」から「性能規定」への転換であり、リサイクル材を利用する上できわめて

重要となる。

次にコンクリート製造量が少なく少量のリサイクル材でも対応できることが大きい要因となる。リサイクル材の大量利用が期待できるコンクリート製品は、道路用コンクリート製品および護岸用コンクリートブロック等である。それぞれの年間出荷量は550万トン、230万トン程度であり、一工場あたりの出荷量は5,000~10,000トンである。このため機械設備も小さく、1回あたりの練混ぜ量も少ないので、少量のリサイクル材にも対応しやすい。また、PCa製品が比較的小型のものが多い点も対応がしやすい。さらに仮に不具合が生じた場合、取替え等の対処が容易であることなどもPCa製品の利点として挙げられる。

ここでは、リサイクル材等の利用方法、LCAによる環境評価、新技術・工法に関して技術の現状をまとめるとともに、再生粗骨材M、高炉スラグ微粉末およびフライアッシュをPCa製品に用いる場合のガイドラインの3試案を提案した。

(1) 再生骨材のPCa製品への利用

コンクリート廃材は年間3,500万tが排出され、建設系廃棄物の中では42%を占めている。これらの廃材の大部分は下層路盤材料（クラッシャーラン）として再利用されている。しかし、コンクリート廃材の発生量は将来的には増加の一途をたどると予想されているため、下層路盤材料としての利用だけでは処理能力に限界があり、資源循環型社会の構築の観点からもコンクリート用骨材としての再利用が期待されている。

平成15~19年には、コンクリート用再生骨材はその品質をH、M、Lの3ランクに分け、再生骨材Hについては骨材自体のJISが、また再生骨材M、Lについてはこれを用いたコンクリートとしてのJISが制定された。しかし、その対象がレディーミクストコンクリートを想定しているため、その利用にあたっては厳しい制限が設けられている。

再生骨材Mは、最も利用普及が期待されているが、レディーミクストコンクリートの場合には乾燥収縮や凍結融解作用の影響が少ない地下構造にその使用が限定されている。しかしPCa製品を対象とした場合、部材寸法が小さく乾燥収縮による不具合が発生しにくいこと、仮に不具合が生じた場合、取替え等の対処が容易であることなどが利点として挙げられる。また、凍結融解抵抗性についても、簡易の試験方法が開発されており、容易に判断できるようになった。

そこで、本委員会では再生粗骨材MをPCa製品へ使用する場合の品質・性能確保の手順についてガイドライン試案を提案することとした。

(2) 低品質骨材

アルカリシリカ反応性骨材は全国に分布しているが、一部の地域においてはまったく利用されず、100km以上はなれた地域から反応性のない骨材を輸送して使用している例もあり、資源の有効利用、コスト縮減、環境負荷低減などの面からは地産地消が望まれる。特に、PCa製品は工場において十分なアルカリシリカ反応の抑制対策を施すことが可能であるため、このような骨材の積極的な利用が望まれる。

クリンカアッシュは、内部空隙を持つ多孔質な材料でおおむね細骨材（砂）に似た特性（粒径）を有する材料である。クリンカアッシュを用いたコンクリートの強度特性は、使用したクリンカアッシュと使用する骨材の総合的な粒度構成によってその特性は異なるため、現時点では事前に試験練りを行って配合を決定する必要がある。

(3) 混合セメントおよび特殊混和材

高炉スラグ微粉末をPCa製品に使用する目的としては、塩化物遮蔽性能の向上、化学抵抗性の向上、アルカリシリカ反応抑制などのコンクリート性能の改善に加え、成形時の省力化と振動・騒音の低減を目的とした高流動コンクリート用混和材としての利用などが挙げられる。高炉スラグ微粉末を混合した結合材では、一般に凝結時間が遅くなり、また強度の発現は温度依存性が高くなることから、養生の条件を決定する場合、事前に試験を行って確認しなければならない。確認試験は実物大で実施することが望ましい。促進養生では、一般に前置き時間が短い程、温度上昇速度が速い程、また最高温度が高い程、脱型以降の強度の増伸が小さくなる。さらに、養生の最高温度を高め設定すると、養生室から製品を取り出す際に製品の冷却が不十分で、急冷が原因のひび割れ発生のおそれがある。

フライアッシュをPCa製品に使用する目的としては、充填性能の向上による製品仕上り・美観の向上、収縮（自己収縮および乾燥収縮）抑制効果によるひび割れ低減、減水効果や発熱抑制などの製造性能の向上、ポズラン反応によりセメント硬化体を緻密な組織にすることによって得られる塩化物遮蔽性能向上・化学抵抗性向上などの耐久性能の向上、さらには優れたアルカリシリカ反応抑制効果などが挙げられる。また、成形時の省力化と振動・騒音の低減を目的とした高流動コンクリート製品の流動性確保や高強度製品の収縮低減や発熱低減等のひび割れ対策としての混和材利用、あるいはオートクレーブ養生製品のトバモライト生成のためのシリカ微粉末の代替材などの高品質製品への利用が挙げられる。

フライアッシュを混和した結合材では、一般に凝結時間が遅くなるが、フライアッシュの強度発現は養生温度依存性が高くなることから、一般に蒸気養生においては

有利な条件とはなる。しかし、一般のコンクリートと同様に、養生の条件を決定する場合には事前に試験を行って確認しなければならない。確認試験は実物大で実施することが望ましい。

(4) 環境評価

道路用の地下構造物として建設するボックスカルバートについて、PCa 部材を用いた場合と場所打ちコンクリートの場合について環境負荷に対する評価を行った。対象としたボックスカルバートは高さ 7.7m, 幅 9.8m, のものであり、PCa を用いた場合では普通ポルトランドセメント、場所打ちコンクリートでは高炉セメント B 種を用いた場合について計算をした。その結果、施工材料の環境負荷では PCa と場所打ちコンクリートに大きな差は見られなかった。PCa 部材を用いる場合の大きな利点の一つに工期短縮がある。工事期間中の交通渋滞による環境負荷も含めて計算した結果は表-2 に示すとおりであり、PCa 部材を用いた場合は場所打ちコンクリートと比較して全ての項目に対して約 60%に環境負荷を低減できる可能性があることがわかった。

(5) 新技術・工法

①ダブルミキシング工法

セメントペーストの製造において、練混ぜ水を最適比率で分割して練り混ぜるダブルミキシング(DM)法についてはこれまで多くの研究が行われ、ブリーディングが減少する、セメントの初期水和の促進や凝結時間が短縮するなどのことが報告されている。この DM 法を PCa の製造に適用した場合、常圧蒸気養生の前養生期間の短縮が可能であることが実験室実験で確認されている。実際の工場で適用するためには、確認する項目もあるものの、PCa 工場でほとんど採用されている常圧蒸気養生の製造工程において、DMを採用することにより養生工程を短縮できる可能性があるものと思われる。

②プレフォーム型 AE 剤

フライアッシュは、資源の有効利用の観点から、今後、積極的な利用が望まれる。しかし、それに含まれる未燃カーボンが、AE 剤の発泡機能を低下させ、現行の AE 剤では空気量のコントロールを難しくしている。プレフォーム型の AE 剤はムース状の微細な空気泡を先に生成し、練混ぜ時に投入することにより、未燃カーボンの影響を低減することが可能である。この AE 剤は、気泡間

表-2 工期を考慮に入れた環境負荷の比較

	CO2 (t)	SOx (t)	Nox (t)	煤塵(kg)
場所打ちコンクリート	10,440	5,613	23,004	2,728
プレキャストコンクリート	6,620	3,508	14,378	1,705

隔係数が小さく、耐凍害性が高くなるとともに、PCa 製品では、振動締め固め時の脱泡が小さいことなどがあげられる。

5. おわりに

2 年間にわたる本委員会の活動の結果、PCa に関する現状の問題点、今後 PCa 製品の使用を広げるに当たっての課題などをある程度明らかにすることができた。しかし、PCa に関する委員会はこの委員会が JCI では初めてのものであり、また PCa 製品は「はじめに」でも述べたように種類・使用法など多岐にわたっており、積み残した課題も多いことも事実である。欧米などにおいては PCa を専門に研究する公的機関もあり、精力的な研究活動が行われているのに比べて、我が国では PCa 関連の研究はそれほど活発行われていないのが現状である。本委員会活動を契機に、PCa に関する研究が継続的に取り組まれることが望まれる。なお、本委員会の活動については以下の報告会・シンポジウムを開催し、詳細に報告する予定である。

「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」報告会・シンポジウム

開催日 2009 年 8 月 7 日 (金)

開催場所 日本大学駿河台校舎理工学部ホール

内容 各 WG の調査活動報告

パネルディスカッション

参考文献

- 1)日本コンクリート工学協会：「プレキャストコンクリート製品の課題と展望」に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，2008.2
- 2)和泉信之：現場作業の省力化に貢献—超高強度プレキャスト RC 工法— プレキャストコンクリート技術の可能性，コンクリートテクノ臨時増刊号，セメント新聞社，pp.223-228
- 3)宮内博之，田中亨二：隅角部を有するシーリング目地設計法の提案，日本建築学会構造系論文集，No.573，pp.9-15，2003.11
- 4)日本建築学会：外壁接合部の水密設計および施工に関する技術指針・同解説，
- 5)土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2007
- 6)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計基準・同解説コンクリート構造物，平成 16 年 4 月
- 7)日本道路協会：道路土工—擁壁工指針，平成 11 年
- 8)中田善久，大塚秀三：コンクリート表面の色むらの評価方法と今後の展望，セメント・コンクリート，NO.736，pp.17-23，2008.6