

委員会報告 性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会

畑中 重光*1・岡本 享久*2・梶尾 聡*3・國枝 稔*4・三島 直生*5・平岩 陸*6

要旨: ポーラスコンクリートは、透水性や植生など多様な性能を設計できることから、今後、環境面のみならず、豪雨対策などの防災面で重要な役割を果たす道路舗装などの社会基盤材料となることが期待されている。しかし、現時点では、施工標準や品質保証などの基準は整備されるに至っていない。本委員会では、既往の研究成果をとりまとめ、品質保証に向けた実験的研究を行い、性能設計を実現させる性能設計指針（試案）と製造・施工指針（試案）を提示することを目的とし、品質保証体制の確立に向けた活動を行った。

キーワード: ポーラスコンクリート, 性能設計指針, 製造・施工指針, 品質保証, 舗装, 護岸, 法面

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、内部に連続する空隙を有し、透水性、保水性、植生など多様な性能を設計できることから、今後、環境面のみならず、豪雨対策などの防災面で重要な役割を果たす社会基盤材料となることが期待されている。しかし我が国では、現時点で性能設計の基本となる安定的な生産に不可欠な施工標準や品質保証などの規準を整備するに至っておらず、このことがポーラスコンクリートの健全な普及を妨げている主要因と考えられる。

海外に目を向けると、例えば米国では呼称を pervious (透水性) concrete に統一して ASTM 規準を制定するなど汎用化が進んでいる。ISO/TC71/SC1 委員会では、韓国委員が中心になってポーラス (主に透水) コンクリートの試験方法に関する基準作りが始められている。我が国では、JCI でも平成 13・14 年度に「ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会 (委員長: 玉井元治近畿大学教授 (当時)) を立ち上げて活動が実施されるなど、研究面では世界をリードする立場にあった。しかし残念ながら、海外向けには、JCI 研究委員会報告の英文概要版を発行するにとどまっている。

本委員会の主な目的は以下の通りである。

- 1) 既往の国内外の研究成果と施工実績を調査・再整理し、性能設計のための基礎資料を整備すると共に、喫緊及び将来の研究課題を分類・整理する。
- 2) 品質保証に向けた実験的研究を、委員会として組織的に協働で実施する。
- 3) ポーラスコンクリートの性能設計を実現させるべく、我が国の技術レベルに適した性能設計指針 (試案) と製造・施工指針 (試案) を提示す

本委員会の委員は、土木、建築、化学の各分野から、また研究者だけでなく、発注、製造、施工の実務者から成っている。活動 1 年目は品質・性能WG、現場WG、製品WGを設け、実務・実用段階で要求される課題に重点を置いた調査活動を実施した。2 年目は、性能設計WG、製造・施工WG、品質保証WGを設けて性能設計指針 (試案) と製造・施工指針 (試案) の執筆に取り組むとともに、品質管理にかかわる共通実験も実施した。2 年目の委員会構成を表-1 に示す。また、共通実験は、JCI 中部支部の POC 研究委員会の活動と協働する形で進めた。以下、報告書の目次に沿ってその概要を紹介する。

表-1 委員会構成

委員長: 畑中 重光 (三重大学) 副委員長: 岡本 享久 (立命館大学) 幹事: 梶尾 聡 (太平洋セメント) 國枝 稔 (岐阜大学) 三島 直生 (三重大学) 平岩 陸 (名城大学)
性能設計WG: ◎國枝 稔 (前掲) 畑中 重光 (前掲) 玉井 元治 (近畿大学) 高田 佳彦 (阪神衛術道路) 麓 隆行 (近畿大学)
製造・施工標準WG: ◎岡本 享久 (前掲) 梶尾 聡 (前掲) 浅野 嘉津真 (佐藤幾刀) 石川 嘉崇 (電研開発) 上野 敦 (首都大学東京) 加形 護 (鹿島道路) 片平 博 (土木研究所) 木村 辰也 (日本ランテック) 杵本 克二 (星山建設) 鶴田 健 (マテラス青梅工業) 柳橋 邦生 (竹中工務店)
品質保証WG: ◎三島 直生 (前掲) 平岩 陸 (前掲) 伊神 光男 (太平洋プレコン工業) 石田 征男 (太平洋セメント) 伊藤 康司 (全国生コンクリート工業組合連合会) 齋藤 俊克 (日本大学) 高山 和久 (住友大阪セメント) 成田 義昭 (共和コンクリート工業)
通信委員: 青木 一紀 (稲武生コンクリート) 十文字 拓也 (太平洋セメント) 武田 宇浦 (明石工業高等専門学校) 張 日紅 (和光コンクリート工業) 中新弥 (立命館大学) 兵頭 正浩 (鳥取大学) 張 茂剛 (中国・無錫城市職業技術学院) 李 建哲 (韓国交通大学校) Chindapasit Prinya (タイ・コンケン大学) (注) ◎はWG主査

*1 三重大学大学院 工博 (正会員)

*3 太平洋セメント (株) 博士 (工学) (正会員)

*5 三重大学大学院 博士 (工学) (正会員)

*2 立命館大学大学院 工博 (正会員)

*4 岐阜大学大学院 博士 (工学) (正会員)

*6 名城大学大学院 博士 (工学) (正会員)

2. 最近 10 年間の国内外の文献からみたポーラスコンクリートの研究動向と課題

2.1 研究動向の概要

本委員会では、前回のポーラスコンクリートに関する JCI 研究委員会（2001～2002）以降の国内外の研究動向を調査した。文献の収集条件は、Web 等で各委員が本文を入手可能なものを対象とした。収集文献数は、国内文献が 587 編、海外文献が 58 編である。これとは別に ACI では 2011 年に Pervious Concrete に関する委員会報告書がとりまとめられている[1]。

図-1 に、論文発表件数の推移を示す。研究動向としては、国内文献が減少傾向であるのに対し、海外文献は増加傾向であると見ることができる。ここで、国内と海外で絶対数が異なるが、これは論文の入手のし易さの影響が大きい。図-2 に、対象とする用途ごとの論文件数を示す。用途については、国内では広範囲に検討を進めているのに対し、海外ではほとんどが舗装関連となっている。これは、海外のポーラスコンクリートに対する認識が、主に透水性 (Pervious Concrete) に向けられていることによると思われる。

2.2 一般特性

2.2.1 空隙・力学特性

空隙・力学特性に関する研究報告は多く、現状では各研究機関や企業の独自技術ではあるものの、目標となる空隙率および強度を設定し、それをほぼ製造でき

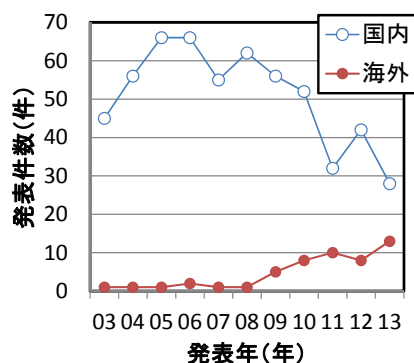


図-1 論文発表件数の推移

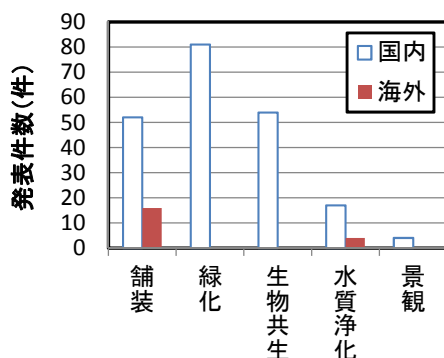


図-2 用途ごとの論文発表件数

る技術が確立されている。しかし、空隙率の分類や、理論的な裏付け、打込み方法や養生方法などの影響についての詳細な検討には不十分な面があり、今後の課題と考えられる。

2.2.2 透水性

ポーラスコンクリートの透水性の目標値を設定し、それをクリアするポーラスコンクリートを製造する技術そのものは、概ね確立されつつあると考えられる。しかし、指標値となる透水係数が試験条件によって異なることや、実施工では目詰まりによって透水性が低下していくなどの問題がある。前者は、再現性がありかつ簡便な試験方法の確立が、後者は目詰まりを回復させる方法の確立が課題といえる。

2.2.3 耐久性

(1) 乾湿繰り返し・凍害

乾湿繰り返しに関しては、劣化が生じた事例と生じなかった事例の双方が認められる。この結果の相違については骨材物性等の違いが大きく影響していることが予想され、このような材料物性と乾湿抵抗性の関係について整理していく必要がある。また、乾湿試験方法(案)に従った試験では劣化が生じるが、実環境を模擬した実験では劣化が確認できなかったという報告もあり、提案した試験方法(案)の適用範囲や評価基準についても検討する必要がある。

凍結融解に関しては、統一した促進試験方法の確立が課題となっている。また、暴露環境下の調査結果によれば、河川護岸ブロックに関しては、比較的高い耐凍害性を有していると考えられるが、一方で、凍結防止剤を散布するような箇所でのポーラスコンクリート舗装では、激しい劣化が報告されている。寒冷地におけるポーラスコンクリート舗装の耐久性、適用性については、重要な検討課題と考える。

(2) その他の耐久性

現状では、淡水・海水によるカルシウムの溶脱や疲労特性、植物の影響など、ある程度の結果が得られている。一方、すり減り作用、凍結防止剤、目詰まり、アルカリ骨材反応に関しては、さらなる実験的研究により、メカニズムの解明とその耐久性を評価する試験方法の検討が、今後の課題といえる。

2.2.4 使用材料

ポーラスコンクリートに用いる使用材料としてのリサイクル材料、繊維補強材料、新材料に関する様々な研究において、各種性能を改善できることが報告されており、それらの有用性が明らかとなっている。今後、用途ごとの要求を満足するための材料の選択手法、配(調)合設計法の確立が望まれる。

2.3 用途

2.3.1 舗装

ポーラスコンクリート舗装は、ポーラスコンクリートの主要な用途としてすでに実用段階に入っていると見えるが、耐久性・路面性能の評価に関しては10年以内の評価に止まっているため、更に長期間での評価を行うことが必要である。また、空隙の目詰まりについては、機能回復などの維持管理技術の検討が望まれる。

2.3.2 緑化

ポーラスコンクリートを用いた植栽において、アルカリの低減や、客土の流失、植栽基盤の保水性が大きな課題として残っている。植物の活着の評価には、より短期間でかつ効果的に植栽効果が評価できる指標を定義する必要がある。また、植物の根の成長による内部からの力に対する耐久性についての研究成果の蓄積が望まれる。

2.3.3 生物共生

ポーラスコンクリートを魚礁や藻場、水路などに用いることの有効性が報告されている。今後は、強度性状や集魚性能の持続性、耐久性などの調査結果を基に、生物共生に必要なポーラスコンクリートの適切な空隙率や空隙径などを検討することが重要である。

2.3.4 浄化・吸着

浄化・吸着性能については、配（調）合や使用条件などの影響が示されるには至っておらず、ポーラスコンクリートの性能設計に組み込むには今後のさらなる検討結果が待たれる。

2.3.5 温度特性

要求性能としてのポーラスコンクリート版の表面温度などの目標値は明確になっていない。今後、データの蓄積を継続するとともに、顕熱輸送の扱いについて方向性を示すこと、温度特性の要求性能を明確にすること、そして、この要求性能を満足するための材料構成や配（調）合の検討が必要である。

2.3.6 吸音特性

吸音特性としては、垂直入射吸音率の測定結果の他に、車両走行時の騒音レベルを実測した結果なども比較的多く報告されている。また、道路舗装の供用後の吸音特性の劣化に関する報告もあり、規準化に向けた議論においては、この耐久性まで含めた目標性能の設定および評価方法の確立が重要となると考えられる。

2.4 海外（アジア圏）の動向

2.4.1 中国

中国ではこれまでに、北京オリンピック公園や上海万博会場などへの透水舗装の施工が推進された一方、その設計、施工や試験方法に対応した基準がまだ確立していない。また、ポーラスコンクリートの力学特性

や耐久性などの基礎的研究がまだ不足しており、さらなる研究開発が期待される。

2.4.2 韓国

最近の韓国における研究動向は、産業副産物、建設廃棄物の適用に関する研究がほとんどである。用途としては、護岸ブロックなどの2次製品として作られるものが多く見られる。現在、ISO TC71 SC1 では、透水コンクリートの試験方法規格を準備しているが、これにあわせて KS (Korean Industrial Standards) 規格を制定する予定である。また、各種の団体規格の整備も進められている。

2.4.3 タイ

タイにおけるポーラスコンクリートの研究および実用化は、まだ初期の段階にある。2006年にその技術が紹介されて以来、研究論文の発表も見られるようになり、一部のセメント会社では既にポーラスコンクリート製品を販売している。ただし、現時点では、ポーラスコンクリートの施工機械や施工技術を含めた経験豊富な施工業者を探すのが困難な状況であり、生産量は多くない。

3. 現場打ちポーラスコンクリートの用途別性能設計の事例

3.1 活動の概要

本章は、従来の現場打ちポーラスコンクリートの用途事例より、要求された性能レベルやその要求を満足するためのポーラスコンクリート技術を調べ、さらに要求性能を満足するための留意点や、維持管理に関する課題についてとりまとめたものである。図-3に、性能設計対応型ポーラスコンクリートの考え方を示す。現場打ちおよび製品問わず、消費者の要求性能を、ポーラスコンクリート構造体としての性能として明確化することにより、必要な性能のレベルを適確に捉えることができるようになる。

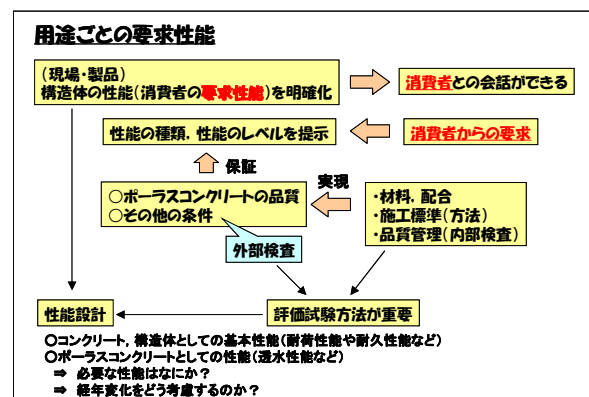


図-3 性能設計対応型の考え方

3.2 舗装用途

3.2.1 透水性能

透水性能を有するポーラスコンクリート舗装に要求される性能としては、舗装設計施工指針では浸透水量の基準値が設けられている。また、表層材料としてポーラスコンクリートを適用する場合には、 $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 以上の透水係数が求められる[2]。ポーラスコンクリートを表層に適用する場合は、経過期間に伴う空隙部へのごみや砂、塵等の詰まりによる透水性能の低下が懸念される。供用中に低下したポーラスコンクリートの透水性能を維持、回復するためには性能回復方法の検討や時期、頻度等について適用箇所に応じた検討が必要である。

3.2.2 貯留性能

現場打ちポーラスコンクリート舗装は、降雨を直接舗装表面から浸透させる貯留浸透の性能を有した、透水性舗装である。路床浸透型は、ポーラスコンクリートおよび路盤の空隙率に一時貯留すると同時に路床への浸透を期待するもので、舗装体の空隙量と路床土の飽和透水係数から設計する。一時貯留型は、主に、路床の浸透性が期待できない場合に、雨水を舗装体内に一時貯留し、路床上に配置した排水管より浸透水を流出させるもので、貯留施設を併用することで、雨水の流出量の軽減や遅延を実現するようにコントロールする。このようなことから、貯留性能から期待できる効果は、河川への流出抑制、下水道施設や道路排水設備の負荷軽減などである。

3.2.3 路面騒音低減性能

ポーラスコンクリート舗装の路面騒音低減効果は、タイヤのトレッドによる破裂音を空隙が緩和し、さらに摩擦音などを吸収するためと考えられている。新設時の要求性能として、一般のアスファルト舗装に比べて約3dB低い90dBを目標値とすることもある。

3.2.4 温熱性能

ポーラスコンクリートの使用材料や空隙率が温熱性能に及ぼす影響に関する研究はなく、また、温熱性能については環境条件や色の影響も大きいことから、現時点では温熱性能の要求性能を満足するポーラスコンクリートの条件を設定することは困難と考えられる。

3.3 舗装用途以外

3.3.1 排水性能 (のり面保護用途)

のり面保護工にポーラスコンクリートを用いて排水工とする場合、背面土(地山)の流出を抑えながら滞留水を有効かつ早期に排水できる性能が要求される。そのため、透水性とフィルター効果、さらに構造物としての強度が満たされなければならない。したがって、構造物の強度・耐久性・耐摩耗性・凍結融解等、のり

面の安定性の検討に基づく要求性能に留意した排水機能を持つポーラスコンクリートが必要である。

3.3.2 緑化性能 (生物共生・植生)

建設における環境共生、とりわけ緑との融合は、近年、社会的に重要な課題となった「生物多様性」の視点においても、コンクリート構造物構築の際に配慮されることが増加している。インフラストラクチャーや建築物と生物の共存を図るうえで、緑と建設物を融合させる手法のひとつがポーラスコンクリートを基盤とする技術であり、最近では事例が減少しているが、多数の河川護岸を中心に適用されてきた。ポーラスコンクリートに緑化性能を付与する際は、特にその背面からの水分供給の有無によってポーラスコンクリートの空隙率や空隙の大きさを規定すべき仕様が大きく異なってくる。平時は水分供給がない場所でポーラスコンクリートを植生基盤として利用する場合には、空隙部分への保水性の充填や表面への客土の施工、さらに必要に応じて灌水装置の併用を検討する必要がある。

4. ポーラスコンクリート製品の現状と課題の整理

4.1 活動の概要

インターロッキングブロック、緑化ブロック、漁礁ブロック、吸音ブロックや水質浄化ブロックなど、様々なポーラスコンクリート製品が開発、実用化されている(表-2参照)。本章では、最近のポーラスコンクリートを用いた各種製品の実績を整理するとともに、周辺の諸課題を抽出するためのアンケート調査を実施し、ポーラスコンクリート製品を取り巻く課題の解決に向けた情報収集を行った。

4.2 アンケートの概要

アンケートでは、まず、各社で製造されているポーラスコンクリートを使用した製品の概要を調査した。

表-2 ポーラスコンクリート製品の概要

ポーラスコンクリート製品の種類	ポーラスコンクリート特有の主な物性
積みブロック	<ul style="list-style-type: none"> ・植物を生やす(緑化) ・植物の背丈を制御する(緑化制御) ・生物の棲みかをつくる(生物多様性)
根固めブロック	
擁壁(垂直、逆台形)	
インターロッキングブロック	<ul style="list-style-type: none"> ・水を通過させる(透水性) ・水を溜める(保水性)
透水性コンクリート平板	
集水柵(丸柵・角柵)	
側溝、U形溝	
水質浄化ブロック	・水をきれいにする
吸音板	・音を吸収する
景観向上型ブロック、貼ブロック	・見た目を周辺と調和させる

また、ポーラスコンクリートは様々な性能を付与できる特徴があるが、それらを実現するために自社でどのように管理しているのかを調査した。つづいて、ポーラスコンクリート製品を製造するにあたり、材料調達から、設計、施工、維持管理までの各段階における技術的課題やニーズについて調査した。あわせて、基準類に関する課題やニーズについても調査した。16社から19回答のアンケート結果を得ることができた。

4.3 アンケート結果の分析と今後の課題

今回のアンケート調査によって、以下の課題が明らかとなった。

- ・圧縮強度と空隙率を用いた設計は浸透しているが、その他の性能に関する指標は未成熟
- ・現場での試験方法（管理方法）の確立
- ・空隙率等の変動を制御、管理する手法
- ・耐久性の評価方法、劣化モデル
- ・凍結融解抵抗性の評価方法
- ・空隙詰まりによる機能低下
- ・新しい用途の開発（例えば明度の制御）
- ・設計指針（マニュアル）の更新
- ・複合部材の性能評価方法
- ・社会（管理者や使用者）へのアピール

5. 品質評価のための試験方法

5.1 はじめに

海外ではPervious Concreteに関する試験規格が既にASTMでいくつか定められており、ISOにおいても、浸透性および空隙率に関する試験方法が整備されつつあるなど、試験規格の整備状況に関しては海外が先行している。このため、将来的な国内のポーラスコンクリートに関する技術の海外への輸出も視野に入れ、その前提となる国内規格の整備と海外への発信を急ぐ必要がある。



写真-1 現場透水試験の例

5.2 現場試験方法

現在実施されている現場試験の種類は舗装分野が最も多く、現場透水試験（写真-1参照）など17種類の試験方法に関する報告がある。これらの多くは道路事業で既に規格化された試験方法（「舗装調査・試験法便覧」（公社）日本道路協会、ほか）が用いられている。

舗装分野以外で適用されている試験としては、超音波伝播速度による内部劣化の評価や、赤外線熱画像処理による植被率の測定などであり、その多くが測定方法として規格化されていない。

また、最も重要な指標である空隙性状と強度を現場で直接的に測定する試験方法は確立されていない。現状では、同一配（調）合の供試体あるいは現場から採取した切り取りコアを用いて評価するのが一般的であるが、供試体の場合には作成時のせき板効果の影響が、切り取りコアの場合には採取作業により内部欠陥が発生する可能性[3]が指摘されている。このような問題を解決するために、非破壊や微破壊試験の検討も進められている。

5.3 室内試験方法

比較的試験規格の整備の進んでいる室内試験方法については、既存の試験規格に対して最近の研究成果を反映させる修正を行った。

圧縮および曲げ強度試験については、それぞれJIS A 1108, 1106にある普通コンクリートの試験方法を準用することとされているが、圧縮強度試験については供試体の高さおよび直径の比(h/d)の影響[4]に関して解説した。

JCI-SP02-1 [ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)]では、表-3に示すように、空隙の定義の修正を行い、また、試験方法として、コンクリートエアメータを使用した容積圧力法を追加した。

JCI-SPO3-1 [ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)]では、測定時の動水勾配の変化により得られる

表-3 空隙の分類と名称

空隙のイメージ			
飽水・排水の状況	容易	時間を要する	困難
空隙の名称	連続空隙	準連続空隙	独立空隙
影響する主な特性	<p>← 透水性 → ← 掘水・保水性 →</p> <p>← 強度・力学特性 →</p>		
2003年版報告書における空隙の名称	容積法	連続空隙	独立空隙
	質量法	全空隙	

透水係数が変動することが改めて指摘された[5] ため、この点を明記したうえで、報告事項に動水勾配を追加した。

5.4 耐久性試験方法

5.4.1 凍結融解試験方法

本報告書では、最近の研究成果を踏まえ、浸漬方法の異なる2種類の試験方法を新たに提案した。各試験方法は、試験条件が異なるため、使用者が実際の使用環境を勘案し、条件が適切と考えられる方法を採用することを前提としている。今後は、これらの試験方法に関するデータの蓄積を図るとともに、実供用環境におけるポーラスコンクリートとの関係を明らかにする必要がある。

5.4.2 乾湿繰返し抵抗性

乾湿繰返し抵抗性に関する試験方法については、前回委員会(2003)報告書に試験方法(案)が提案され、その後、土木研究所[6]により、さらに実用性を高めた試験方法が提案されている。本報告書においてはこの試験方法を採用することとした。

5.4.3 溶脱抵抗性

溶脱抵抗性に関しては、前回委員会(2003)において共通実験が行われており、その後に室内試験方法も示された[7]。しかしながら、測定に要する時間が長いこと、また、実環境における溶脱状況との関係も明らかではないことなど、さらなる検討が必要と判断し、本報告では試験方法としての提案を見送ることとした。

5.4.4 すり減り抵抗性

すり減り抵抗性については、ZKTにおいて規格化されたカンタブロ試験以外は、特殊な機械を必要とするなど、容易に実施することは困難と判断し、本報告においては、試験方法の提案を見送ることとした。

5.4.5 すべり抵抗性

すべり抵抗性に関する試験方法としては、舗装分野で規格化された方法が採用されている。ただし、一般的な舗装の場合と同様に、明確な基準が示されておらず、各測定方法による結果の関係性も明確でない。このため、供用条件に応じて適切な方法を選択し、適切な基準値を設定する必要がある。

5.5 フレッシュ時の品質評価試験方法

締め固め性およびダレ性については、いくつかの試験が規格化されている。これらの試験方法は、既にある程度の実績があり、施工条件ごとに管理値を設定して運用されている。今後はより多くの現場で客観的かつ定量的な品質管理が行われるようになることが期待される。

6. 共通実験と強度管理方法試案

本委員会では、強度管理方法試案の作成のための共

同実験を行った。現状、ポーラスコンクリートの強度管理方法は、通常のコンクリートと同様に、施工した構造物とは別に管理用供試体を作成する方法が一般的である。しかし、ポーラスコンクリートは施工方法によってその性質が変化しやすく、この方法では、別途作成した管理用供試体が構造体のポーラスコンクリートの性質を適切に再現できていない可能性がある。このため、ポーラスコンクリートには独自の強度管理方法が必要と考えられる。

この共通実験は、構造体ポーラスコンクリートの実測空隙率から圧縮強度および曲げ強度を推定する方法を提示することを念頭に行ったものである。原則として、強度は以下の手順で推定する。

- a) 構造体ポーラスコンクリートから切り出した供試体によって空隙率を実測
- b) この実測空隙率をもとに、強度-空隙率関係から強度を推定

共通実験では、8機関からの協力をいただいた。強度-空隙率関係については、一般に下式のような指数関数で近似できる。ここでは、これを正規化して結合材強度に依存しない形で示すこととした。

$$y = A \exp(-Bx)$$

$$y' = \exp(-Bx)$$

ここに、 y : 強度(N/mm²), x : 空隙率(%),

A : 結合材強度(N/mm²), B : 実験定数

$$y' : \text{強度比} = y/A$$

共通実験の結果、下記の知見が得られた。

- 1) 強度比-空隙率関係に及ぼす供試体採取方法の影響はほとんど見られない。つまり圧縮強度においては円柱供試体(管理用供試体)とコア供試体の間で、また、曲げ試験においては角柱供試体(管理用供試体)と切り出し供試体の間で明確な差は見られない。
- 2) 図-4および図-5に示すように、強度比-空隙率関係は、おおよそ下式によって表示できる。

$$Fc' = \exp(-0.08x)$$

$$Fb' = \exp(-0.07x)$$

ここに、 Fc' : 圧縮強度比, x : 空隙率(%),

Fb' : 曲げ強度比

今回の共通実験全体の結果を見ると、同一の空隙率であっても強度比のばらつきは大きい。ただし、ここでは示していないが同一機関の実験結果の範囲では相関性がかかなり高い。このため、強度管理方法試案(表-4参照)では、強度比-空隙率関係を自社であらか

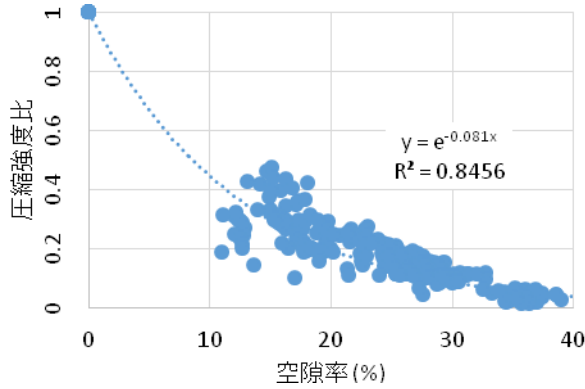


図-4 圧縮強度比と空隙率の関係
(円柱供試体およびコア供試体)

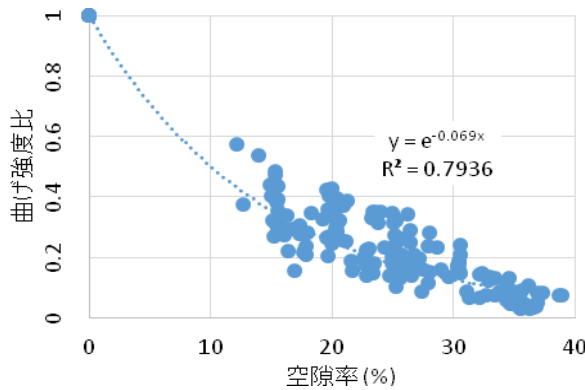


図-5 曲げ強度比と空隙率の関係
(角柱供試体および切り出し供試体)

表-4 強度管理方法試案

ポーラスコンクリートの強度管理方法は、下記のいずれかによる。
1) 構造体から採取した供試体による。
2) 構造体の実測空隙率および自社で作成した強度－空隙率関係からの推定による。
3) 目標空隙率および締固め度により推定した空隙率および自社で作成した強度－空隙率関係からの推定による。
4) 各社で定める方法による。

表-5 設計指針試案（舗装）目次

1章 総則	1.1 適用の範囲	1.2 設計の基本	1.3 用語の定義
2章 要求性能の設定			
3章 性能照査の方法			
4章 構造の設計	4.1 舗装断面の設定	4.2 材料の設計値	4.3 作用（荷重）
5章 性能照査	5.1 安全性の照査	5.2 使用性の照査	5.3 耐久性の照査
	5.4 路面排水性の照査		
6章 構造細目			
7章 維持管理			

じめ作成し、それを用いて強度管理を行う方法（表-4中の2）、3）を示すこととした。

7. ポーラスコンクリート設計指針（試案）

7.1 はじめに

ポーラスコンクリートの優位性を活かせる分野として、舗装と緑化護岸を対象に、性能照査型の設計指針（試案）を作成した。

7.2 設計指針試案（舗装）

ポーラスコンクリート舗装の設計指針試案の目次を表-5に示す。設計段階においては、ポーラスコンクリート舗装に要求される性能を十分に検討し、適切に設定した上で、それを満足するよう性能を十分にポーラスコンクリート舗装の形状、寸法、材料、配（調）合、維持管理方法を選定する必要がある。選定にあたっては、ライフサイクルコストの考え方などを活用することで、ポーラスコンクリート舗装の優位性を活用することができる。一般に、アスファルト合材を使用した排水性舗装に比べて力学特性が優れているが、空隙詰まりによる透水性の低下について維持管理において対応することとなる。したがって、適切な維持管理計画を策定し、維持管理の段階まで考慮した設計を行う必要がある。先述のとおり、空隙詰まりの低下の予測と、低下した場合の対策を含めて設計時に検討しておく必要がある。特に、強度を重視するあまり空隙率が小さくなり、早期に透水性が失われる場合があるため注意が必要である。

要求性能の設定では、一般に安全性、使用性、耐久性、路面排水性について設定することとした。なお、要求性能のレベルの組合せを容易にするため、表-6に示すように道路の種類と要求性能のレベルの設定方法について簡易的に設定できるようにした。ポーラスコンクリート舗装の性能照査を行うにあたり、表-7に示す指標を用いることとした。要求性能を満足していることを確認するためには、適切な指標を用いる必要がある。

ポーラスコンクリート舗装の維持管理では、特にポーラスコンクリートの空隙詰まりなど、供用期間中に性能低下する場合が考えられるが、清掃などの対策によって性能回復も可能であることから、適切な維持管理計画を策定することが重要である。点検の頻度などは、一般には、コンクリート構造体や舗装の事例などを参考にすることができるが、空隙詰まりなどポーラスコンクリート特有の維持管理の内容については、ポーラスコンクリート舗装が置かれた環境条件を十分に検討するとともに既往の知見を参考に決定する必要がある。点検の内容については、通常時の目視点検を中

表-6 用途と要求性能レベルの組合せの例

		安全性 (耐荷性)	使用 性	耐久 性	路面 排水 性
クラス1	高速道路, 国道 (重交通), 料金所, その他	◎	◎	◎	△
クラス2	国道, 地方道など	○	○	○	○
クラス3	住宅地内道路, 駐車場など	△	△	△	◎

表-7 性能照査に用いる指標の例

安全性: (曲げ) 強度, 疲労抵抗性(輪荷重, 温度荷重) 使用性: すべり抵抗性, 吸音性, 骨材飛散抵抗性, ひび割れ抵抗性, 明色性, 平たん性, 路面温度低減性, 振動低減性 耐久性: 耐摩耗性, 凍結融解抵抗性, 熱応力抵抗性 路面排水性: 空隙率, 透水係数
--

表-8 設計施工指針試案(緑化護岸)目次

1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 設計の基本 1.3 用語の定義 2章 要求性能の設定 3章 性能照査の方法 4章 構造の設計 4.1 一般 4.2 材料の設計値 4.3 作用(荷重) 5章 性能照査 5.1 安全性の照査 5.2 耐久性の照査 5.3 植生の照査 6章 維持管理

心としたものでよいが、路面排水性については雨天時などに点検することが望ましい。

7.3 設計指針試案(緑化護岸)

既往の設計施工指針として最も利用されているものの1つとして「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き(先端建設技術センター編, 2001)」がある。現時点で14年が経過していることから、必要に応じて内容を見直すことも含め、性能照査型の設計指針を目指した。ポーラスコンクリート緑化護岸の設計指針試案の目次を表-8に示す。ポーラスコンクリート河川護岸の設計に際し、事前に十分な事前調査および現地調査を実施し、護岸を取り巻く環境条件を詳細に把握することが重要である。それら調査結果を整理し、護岸の種類、構造仕様および護岸構成を決定する。

河川護岸の種類として、常時、河川の水が流れる低水路の流れを安定させるとともに、高水敷の洗掘を防ぐために低水路の河岸に設ける低水護岸、洪水時の堤防保護を目的とした高水護岸、および低水路から堤防の高水位の高さまで堤防全面を直接保護する堤防護岸の3種類がある。低水護岸や堤防護岸は、冠水頻度が高く、流況により土砂の侵食や堆積が顕著である。一方、高水護岸は、冠水頻度が低く植物にとって水分条件が厳しい。また、高水敷上での水流の乱れによる床止め付近の洗掘を防ぐために設けられるのが、高水敷保護工である。ポーラスコンクリート河川護岸では、一般的なコンクリート河川護岸における要求性能に、植生という特殊な要求性能が加わる。ポーラスコンクリート河川護岸が適用される目的や環境によって要求性能が異なるため、それらを適切に設定する必要がある。

安全性は、想定される流水作用のもとでの構造物の滑動に対する抵抗性能や流木の衝突による破壊への抵抗性能である。耐久性は、想定される作用のもとで、構造物中の材料の劣化により生じる性能の経時的な低下に関して構造物が有する抵抗性である。植生は、周辺の自然環境との連続性や安全性を考慮して選定された植物種が、目標とした発現時期までに成長し、持続的に維持される性能とする。例えば、河道環境と重視点によって、一般的なポーラスコンクリート河川護岸の要求性能は、表-9のようなクラス分けが可能である。設定された要求性能について、表-10に示す指標を用いて性能照査を行うこととした。

8. ポーラスコンクリート製造・施工指針(試案)

8.1 総則

前述のように、前身の研究委員会報告書公開から10年以上が経過していたため、実験の実施を含め、ポーラスコンクリートに関する最新の情報収集を行い、この結果を踏まえて、製造・施工指針(試案)(以下、指針(試案)と呼ぶ)として取りまとめている。

ポーラスコンクリートは、対象物によって要求される特性が異なる。このため指針(試案)中でも、製造

表-9 一般的なポーラスコンクリート河川護岸のクラス分け

クラス	重視点	河川区域	安全性	耐久性	植生	備考
クラス1	植生	中流域～汽水域	◎	△	◎	特に植生を重視する箇所や植生に対する気象条件が厳しい場合に適用
クラス2	植生・安全性両立	上流域～汽水域	◎	○	○	—
クラス3	安全性	上流域～中流域	◎	◎	△	—

表-10 性能照査に用いる指標の例

安全性	滑動抵抗性, 衝撃抵抗性
耐久性	耐侵食性, 耐摩耗性, 凍結融解抵抗性, 耐化学的侵食性, 耐生物的侵食性, 耐アルカリシリカ反応性
植生	覆土材の厚さ, 護岸校正, 空隙率, 最小粗骨材粒径

方法で一般化できる範囲は一般化し、これ以外の対象物ごとの留意点を対象物ごとに示した。また、随所に「コラム」として、ポーラスコンクリートの製造および施工に関するノウハウを提示し、読者の参考となるよう配慮した。

8.2 製造方法

(1) 材料

ポーラスコンクリートに使用する材料について、使用実績を踏まえて記述している。材料面で通常のコンクリートと異なる内容としては、pH 低下の方法の例示、単一粒度の骨材の使用の推奨、JIS A 5005 の規格値よりも微粒分量の低い骨材の使用が挙げられる。

(2) 配(調)合

配(調)合の面では、ポーラスコンクリートに求められる空隙率について、全空隙率と連続空隙率の関係を示すとともに、強度とのバランスを考慮して配(調)合決定することが重要となる。この際、対象物によって設計基準強度が異なることに注意が必要となる。

ポーラスコンクリートの耐久性の観点では、一般のコンクリートのような内部鋼材の腐食に関連するものではなく、ポーラスコンクリートの組織破壊の観点が重要となる。すなわち、凍結融解抵抗性、乾湿繰返しに対する抵抗性、磨耗やこれに伴うすべり抵抗性、骨材飛散抵抗性などである。

コンシステンシーの観点では、所定の空隙率の状態に締め固めできるコンシステンシーが要求されるが、ペーストの分離沈降に関する注意が必要となる。

配(調)合設計の方法は、一般のコンクリートと異なる。はじめに、実積率に基づいて単位粗骨材量を決定する。次に、所要の空隙率に基づいてモルタルまたは

ペースト量を決定する。このとき、ペーストの分離沈降の抑制の観点から、細骨材を使用する場合も多い。

(3) 練混ぜおよび運搬

ポーラスコンクリートは、単位水量が著しく低いコンクリートである。このため、細粗両骨材の表面水率を頻繁に把握し、これをバッチに反映することが製造上極めて重要となる。使用量の多い粗骨材の表面水量の影響も大きいことに注意が必要となる。

運搬時には、乾燥によるコンシステンシーへの影響が顕著となることに注意が必要である。また、アジテータ車を使用する場合は、積込み時に閉塞の可能性があることにも注意を要する。

8.3 現場打ちポーラスコンクリート

(1) 河川等護岸

河川護岸や池の護岸などをポーラスコンクリートで現場施工する場合、ポーラスコンクリートとしては、他の対象物と比較して、空隙径が大きく、乾燥によって施工性や強度が低下する可能性がある。このため、運搬、施工時および施工後の乾燥による影響が少なくなる対応が求められる。また、写真-2 のように、勾配が比較的強い面での施工となることに対する対応も必要となる。そして、緑化目的でフィルター材、充填材としての保水性の材料や覆土を施工することも多い。指針(試案)では、ポーラスコンクリートの品質確認および工程上の詳細な留意事項を示している。

(2) 歩道および駐車場舗装

比較的低い荷重でのポーラスコンクリートの舗装用途として、歩道や駐車場舗装がある。周囲の状況によるが、流入土砂等の影響で、比較的早期に空隙詰まりを起こす可能性があるため、設計段階で舗装構造として、土砂等の流入対策を行うのが良い。また、舗装工となるため、収縮および膨張目地を施工する必要があり、各種の目地の構造例を示している。

(3) 車道舗装

車道舗装用途としてのポーラスコンクリートについては、活荷重に対応するための舗装構造として、通常セメントコンクリート舗装の上面に、機能層として



写真-2 バックホウによる護岸の締め固め



写真-3 アスファルトフィニッシャーによる敷均し



写真-4 吹付け工法による法面保護工(準乾式)

のポーラスコンクリート版を設置する方法を説明している。硬化コンクリート版上にフレッシュポーラスコンクリートを打ち継ぐため、付着層を設置することが多い。車道舗装では、目地の設置は当然実施されるが、荷重伝達用のダウエルバーなどは、基層となる舗装版内に設置し、上層のポーラスコンクリート版内への配置は行わない。材料および配(調)合の観点では、一般的な事項に加え、すべり抵抗性やすり減り抵抗性を考慮する必要がある。敷均しおよび締固めは、超硬練りコンクリートと類似するが、空隙保持の観点から、振動ローラやタイヤローラを用いず、写真-3のように、高締固め型スクリードや強化型スクリードを有するアスファルトフィニッシャーで敷均しおよび締固め工を完了する。

(4) 法面保護

法面を現場打ちポーラスコンクリートで保護するための方法として、吹付けコンクリートによる施工が行われている。前出の河川等護岸と比較して、勾配が強い。施工時の補強については、急勾配でのポーラスコンクリートの保持の観点から、ハニカム状のメッシュ状の型枠を設置する場合(写真-4 参照)や、ラス網や金網等を設置してコンクリート中に有機短繊維を混入する場合がある。吹付け方法には、補強の方法ごとに、練混ぜ水を分割添加する準乾式と、湿式の2種類があり、配(調)合上の差異がある。

(5) 水質浄化

ポーラスコンクリートによる水質浄化は、河川が本来もっている汚濁物を捕捉し、分解する機能を人為的に補強、補完し、適切な管理を加えることで河川の汚濁を緩和するものである。この機能に、植物相を併用することで、リンの除去機能も持つこととなる。

ポーラスコンクリートによる水質浄化の機能保持のためには、ポーラスコンクリート表面に生息する生物膜の維持が重要となるため、定期的な清掃や更新が必要となる。また、植物相が併用されている場合は、定期的な刈取り等の管理も必要である。

8.4 工場製品

ポーラスコンクリートを用いた工場製品は、舗装用のポーラスコンクリートブロック、植生用の河川護岸ブロックおよび地下水の集水あるいは雨水の地下浸透を目的とした一般のポーラスコンクリート製品に分けられる。これらの中には、普通コンクリートと複合して1つの部材を形成している製品もある。

他の対象物と異なり、ポーラスコンクリート内に用心鉄筋を配置する場合もあるが、引張補強鉄筋としての配置とはなっていない。

基本的に、材料や配(調)合の面では、他の対象物と

同様であるが、ブロック製品については即時脱型方式が採用され、ブロック製品以外では、通常のプレキャストコンクリート製品と同じ工程を取る。製造上の留意点としては、乾燥によるコンシステンシー変化が激しいので、練置き許容時間(練混ぜ完了から打込みまでの時間)を、通常のコンクリートと比較して短く設定している。

9. むすび

本委員会活動によって、ポーラスコンクリートの性能設計および製造・施工の各指針(試案)を提示することができた。今後、我が国において、これらをベースに実用レベルでの設計指針類が作成されることが望まれる。ポーラスコンクリートの多様で魅力的な性能が正しく評価され、その社会基盤材料としての健全な発展に繋がれば望外の喜びである。

謝辞

共通実験の実施に当たっては、JCI 中部支部のポーラスコンクリート研究委員会(委員長:平岩陸 名城大学准教授)、近畿大学、住友大阪セメント(株)、太平洋セメント(株)、豊田工業高等専門学校、広島工業大学、三重大学、名城大学、立命館大学の各機関にご協力をいただいた。また、本委員会で実施したアンケートについても多くの企業の方にご協力いただいた。末尾ながらここに謝意を表する。

参考文献

- [1]ACI Committee 522:Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10, (2011)
- [2]浦上将人, 福田晴耕, 前田 諭:ポーラスコンクリート河川護岸における構成諸要素と植生状況に関する分析, 土木学会河川技術論文集, Vol. 4, pp. 71-76, 1998
- [3]田中博一, 上野久, 中野慎一, 荻原運弘, 栗田守朗:河川護岸における現場打ちポーラスコンクリートの施工, 土木学会第55回年次技術講演会(平成12年9月), V-243, 2000
- [4]中川武志, 畑中重光, 三島直生:供試体の高さ/直径比がポーラスコンクリート性能を十分にの圧縮強度に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 75, No. 650, pp. 695-699, 2010. 4
- [5]浅野勇, 林田洋一, 増川晋, 田頭秀和:ポーラスコンクリートを通過する流れの流速と動水勾配の関係, 農工研技報, pp. 227-241, 2009
- [6]土木研究所:土木研究所資料 ポーラスコンクリートの耐久性評価手法の検討(2006)
- [7]片平博, 渡辺博志:ポーラスコンクリートの溶脱抵抗性に関する長期実験, 第62回セメント技術大会講演要旨, (2008), pp. 118-119