

# 意匠性および施工性を考慮した 複層ポーラスコンクリート歩道施工実験

三重大学 中川 武志・畑中 重光・三島 直生  
Takeshi Nakagawa Shigemitsu Hatanaka Naoki Mishima

## 1. はじめに

透水性、保水性、吸音性、熱緩和特性など、環境面での性能が優れるポーラスコンクリートは、土木分野だけでなく、住空間の快適性の向上に役立てることも期待されている<sup>(1)</sup>。透水性インターロッキングブロックなどの舗装が着実に広がっている一方、フレッシュ状態でのポーラスコンクリートを用いた現場施工は、一部の適用例<sup>(2)</sup>を除き、まだ少ない。

この一因としては、ポーラスコンクリートの製造・運搬・打設面での取扱いが必ずしも容易でないこと、品質管理のしやすい施工方法が普及していないことなどの現状が考えられる。単位セメント量の多い高強度なポーラスコンクリート<sup>(3)</sup>の供給体制を整えることは、レディーミクストコンクリート供給者に、製造および運搬の各作業において、新たな負担を強いるとともに、施工者に対しても、とくに夏の施工や品質管理には工夫と経験が要求される。また、市場性から見れば、ポーラスコンクリート自体は高品位な印象につながらないことも欠点の1つであり、意匠性に優れた工法の充実が求められている。

本報告では、住空間の快適性を向上させるための1つのツールとして、単位セメント量の比較的小さい普通強度ポーラスコンクリートを用いた複層(基層+表層)ポーラスコンクリートの一形態を提案し、これを適用して建物周囲の歩道を現場打設により施工した事例を紹介する。

## 2. 歩道へのポーラスコンクリートの適用

道路にポーラスコンクリートを適用する場合、車道用普通コンクリート舗装または転圧コンクリート

0385-9878/09/¥500/論文/JCLS

舗装の設計基準に基づく3~4 N/mm<sup>2</sup>以上の曲げ強度が参照されることが多い。しかし、アスファルトコンクリート舗装が一般的に使用されていることから考えると、必ずしも高い強度が必要ないケースも多いと推測できる。

歩道や駐車場等で、地盤または路床が適度に剛であれば、水セメント比が50%近くで単位結合材量が少なく、圧縮強度10 N/mm<sup>2</sup>、曲げ強度2 N/mm<sup>2</sup>程度のポーラスコンクリート(以下、普通強度ポーラスコンクリート)を使用しても、強度的には実用上何ら問題はないと考えられる。また、このレベルの強度のポーラスコンクリートであれば、プラントでの製造、トラックアジテータでの運搬および現場での施工性が優れ、品質管理もさほど困難ではないという利点がある。

そこで本開発研究では、重交通を対象としない歩道の施工において、複層ポーラスコンクリート、すなわち、基層には普通強度のポーラスコンクリートを使用することによって現場での施工性と経済性を改善し、表層は高耐久なエポキシ樹脂で結合したポーラス硬化体とすることにより意匠性と質感を向上させる方法を採用することとした。本報告では、施工概要とすでに実施した実験の結果の一部を紹介する。

## 3. 複層ポーラスコンクリート歩道の概要

第1表に、今回、考案・実施工した複層ポーラスコンクリート歩道の主な特長と機能を示す。

また、歩道の断面は第1図に示したとおりであり、基層に粗粒(6号砕石使用)の単粒度ポーラスコンクリートを、表層に細粒(5~9.5 mmで、任意の色)の玉石使用)の樹脂ポーラスコンクリート(以下、

第1表 複層ポーラスコンクリート歩道の特徴・機能

項目	特徴・機能
意匠性・質感	<ul style="list-style-type: none"> <li>●表層樹脂ポーラスの施工により、意匠性、質感が向上する。</li> <li>●表層用の石材（色）を選択でき、デザインの調和が図れる。</li> </ul>
歩行性・使用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>●高い透水性のため、雨でも水たまり、水はねがない。</li> <li>●高い透水性と摩擦のため、歩きやすい。</li> <li>●屋内への泥・ほこりの持ち込みが少なく、建物が汚れない。</li> </ul>
造形性・施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>●現場打設のため、周辺部・狭小部・樹まわりの処理、勾配変化部への対応が容易。</li> <li>●基層ポーラスコンクリートの天端がラフでもよく、施工が容易。</li> <li>●インターロッキングブロック施工に比べて作業時間が短い。</li> </ul>
耐久性*	<ul style="list-style-type: none"> <li>●基礎ポーラスコンクリートと表層樹脂ポーラスとの密着性が高く、樹脂の可とう性のため、高い耐剥脱性が期待できる。</li> <li>●基層と表層の平均空隙径の違いにより、目詰まりしにくく、高い透水性・排水性が期待できる。</li> </ul>

※今後の実験により確認予定



写真1 施工前の状況 (D1、D2、D3区画該当箇所)

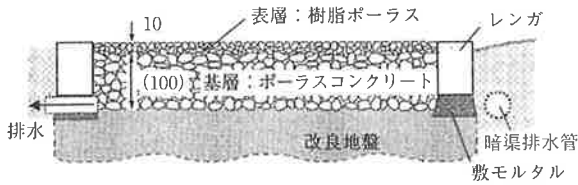
水がたまりやすいため飛び石が並べられていた（写真1）。

本実験では、全長約40 mの歩道および階段を複層ポーラスコンクリートで施工することとした。

ポーラスコンクリートは、レディーミクストコンクリートプラントに製造・供給を依頼した。プラントから現場までの距離は約20 km、アジテータ車による運搬所要時間は約30～50分であった。

### 3-2 実験の概要

実験は、第2表のように、基層ポーラスコンクリートの締固め方法および路床の処理方法を要因とし



第1図 複層ポーラスコンクリート歩道 (断面)

樹脂ポーラスと称する)を施してある。

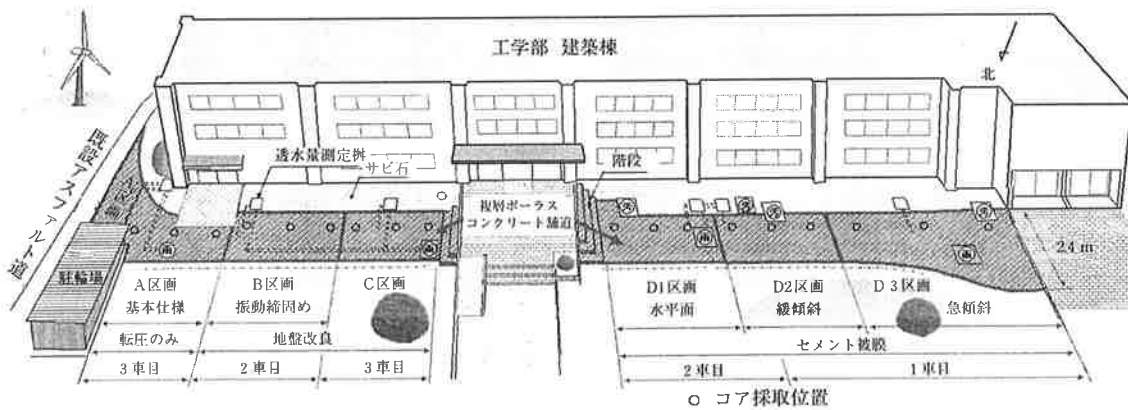
### 3-1 施工の概要と諸元

第2図に、複層ポーラス透水歩道の施工計画図を示す。工事箇所は、大学構内における建物に隣接し、歩行者が日常的に往来する経路であるが、未舗装で

第2表 実験の概要

要因	水準	供試体	測定項目
締固め	コテ仕上げ、振動締固め	円柱供試体	全空隙率
路床の処理	転圧のみ、地盤改良、セメント被膜*	コア供試体	圧縮強度 透水係数

※雨水の排水と浸透を調節するために路床表面に施すセメントベーストの膜



第2図 複層ポーラスコンクリート歩道の施工計画図

た。測定項目は、空隙率、圧縮強度および透水係数である。

歩道は第3表のように、実験対象の6区画(A～D)および付帯部(A<sub>0</sub>)に分け、施工条件を変化させ、区画ごとの特性を比較することとした。品質管理に関しては、ポーラスコンクリートの性状を目視で確認した。

第3表 歩道の区画と施工概要

歩道区画	要因		面積 [m <sup>2</sup> ]	代表厚さ		傾斜	透水量 測定値
	締固め	下部構造		基層 [cm]	表層 [cm]		
A <sub>0</sub>	コテ	転圧のみ	58	110	1.0	水平	
A	コテ	転圧のみ	9.1	110	1.0	水平	○
B	振動	地盤改良	62	140	1.0	水平	○
C	コテ	地盤改良	58	120	1.0	水平	○
D1	コテ	セメント被膜	7.0	105	1.0	水平	○
D2	コテ	セメント被膜	4.9	95	1.0	2/100	○
D3	コテ	セメント被膜	20.9	120	1.0	5/100	○

※基層：6号砕石を使用したポーラスコンクリート  
表層：樹脂ポーラス（粒径5～9.5 mmの石材使用、エポキシ系樹脂）

また、歩道の完成後、50日経過した時点で、打設した歩道の各区画から3個ずつコア供試体（φ93×100～140 mm程度）を採取し（第2図）、直ちに空隙率、透水係数および圧縮強度の測定を行い、本実験で打設したポーラスコンクリートが設計した品質を満足しているかどうかを中心に検討した。

### 3-3 材料および調合

第4表に、本実験で基層に用いたポーラスコンクリートの材料諸元および調合を示す。ポーラスコンクリートは、練混ぜおよび打設時に取扱いが比較的容易で、かつ経済的と判断された仕様である。

表層用に用いたエポキシ樹脂は、常温硬化型で、密度1.0 g/cm<sup>3</sup>、初期硬化時間は12時間程度、7日硬化時（20℃）における引張強度8.4 N/mm<sup>2</sup>、破断時の伸び率152%程度、耐候性はサンシャインウ

第4表 使用材料および調合

(a) 材料

層	セメント	普通ポルトランドセメント	
		呼称	6号（粒径5～13 mm）
基層	砕石	産地	三重県佐奈山産
		実積率	57.7% (JIS A 1104)
		表乾密度	2.7 g/cm <sup>3</sup>
		樹脂	エポキシ系2液混合・常温硬化型
表層	石材	天然砂利市販品（粒径5～9.5 mm）	

(b) 調合

層	種類	水セメント比 [%]	単位質量			設計空隙率 [%]
			セメント [kg/m <sup>3</sup> ]	水 [kg/m <sup>3</sup> ]	粗骨材 [kg/m <sup>3</sup> ]	
基層	普通	46	200	92	1,570	26.8
	軽盛	46	200	92	1,355	34.7
表層			単位質量			設計空隙率 [%]
			樹脂 [kg/m <sup>3</sup> ]	骨材 [kg/m <sup>3</sup> ]	砕砂 [kg/m <sup>3</sup> ]	
			88	1,490	56	

エザーメータによる100時間あたりの色差ΔEが6以下である。

表層の樹脂ポーラスは、カラー石材をほぼ透明な樹脂で結合しているため経年時でも天然石材の風合いが持続し、カラーセメントを用いたものや、表層を塗装したものと比較して、退色・摩耗等による陳腐化を防ぐことが期待できる。

3-4 複層ポーラスコンクリートの施工状況  
第5表に施工の工程表を示す。

歩道は、掘削整正（B、C区画のみ地盤改良）および転圧の後、排水計画およびレンガ等による区画分けを行った。D区画は路床の処理として、セメント被膜処理を行った。セメント被膜処理は、多量の雨水は排水し、少量の雨水は地中浸透を図ることを目的とするもので、路床にセメントペーストを薄く塗るか、または路床に低濃度のセメントペーストを浸み込ませる処理である（写真2）。

現場施工では、基層ポーラスコンクリートはレー

第5表 工程表

工種	2008年5月（延べ8日）							
	1	2	3	4	5	6	7	8
準備工								
掘削工、排水工								
地盤改良、路床工								
レンガ積工、セメント被膜								
基層（ポーラスコンクリート）								
養生								
表層（樹脂ポーラス）								
気温 [℃、10:00]	20.5	19.5	21.9	21.1	23.4	21.0	21.9	26.5
相対湿度 [%、10:00]	68	60	45	69	71	68	85	54



写真2 路床のセメント被膜、縁石設置状況 (D3区画)



写真4 ポーラスコンクリートの打設 (C区画)



写真3 アジテータ車からのポーラスコンクリートの排出状況



写真5 振動締め機による締め (B区画)

キによる敷き均しの後、コテ仕上げまたは振動締め機にて作成した。排水、縁石、路床の処理等の作業は事前に行い、ポーラスコンクリートの打設は1日で行った。実験区画の施工は、D3、D2、D1、B、C、A区画の順である。

当日のポーラスコンクリートの搬送は、トラックアジテータ3車でを行い、合計7.5 m<sup>3</sup>であった。搬送されたポーラスコンクリートは、排出開始時および排出終了時における目視確認を行った上で打設した(写真3)。

ポーラスコンクリートのコンシステンシーは、プラント出発から1時間近く経過しても、大きく変化することはなく、敷き均し、コテ仕上げ(写真4)等における作業性は良好であった。B区画の振動締め機には、プレートランマを使用した(写真5)。

歩道の表層となる樹脂ポーラスは、ポーラスコンクリート打設の2日後に施工した。写真6に、施工後の状況を示す。

### 3-5 実験方法

空隙率の測定<sup>(4)</sup>は、採取したコア供試体(写真7)を用いて質量法(全空隙率)により行った。

透水係数は、JCI規準(案)<sup>(4)</sup>に基づいて測定した。



写真6 複層ポーラスコンクリート歩道施工後の状況 (D1、D2、D3区画)

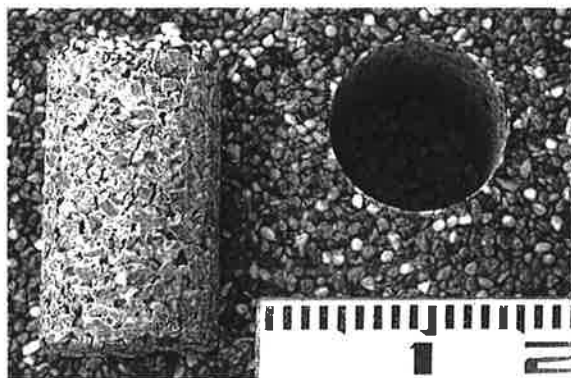


写真7 コア供試体の採取状況

圧縮強度試験は、端面の樹脂ポーラスを取り除いた状態で行った。樹脂ポーラスの強度については、別途、樹脂ポーラスのみで作成した円柱供試体により測定した。コア供試体の圧縮強度については、供試体の長さが直径の2倍よりも短いため、便宜上、JIS A 1107に示されたコンクリートコアの供試体長さによる補正値を用いて補正した。

#### 4. 実験結果と考察

第3図に、生コンプラントでの練上りからの経過時間を横軸として、コア供試体の各特性値の測定結果を示す。全般的な傾向として、各特性値におよぼす練上り後の経過時間の影響はあまり明確には現れていない。

##### (1) 全空隙率

第3図(a)に示す全空隙率は、22~27%程度であった。コテ仕上げは、JISの碎石の実積率(締固め状態)から推定される設計空隙率と軽盛状態の実積率から推定される設計空隙率との中間に相当すると予想されたが、全体的に空隙率は低めの結果となった。2車目のポーラスコンクリートによる供試体で空隙率の小さいデータが見られたが、アジテータの単調な回転・排出により骨材粒度に微妙な偏りが発生したのではないかと考えている。

##### (2) 圧縮強度

第3図(b)に示す圧縮強度は、8~16 $\cdot$ N/mm<sup>2</sup>程度であった。この結果は、歩道としての供用には問題のない範囲であると考えられる。

##### (3) 透水係数

第3図(c)に示す透水係数は、現場における透水性評価のため表層を含む状態で測定した。コア供試体の透水係数は1~3 cm/s程度であり、透水性舗装の基準値<sup>(5)</sup>である0.1 cm/sを満足する結果となっている。

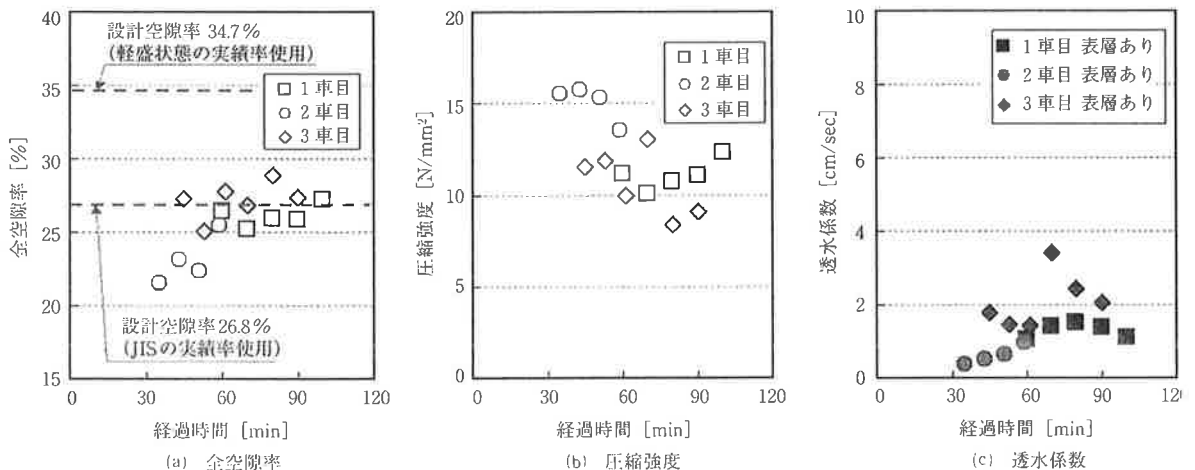
#### 5. その他の適用例

本研究で実施した複層ポーラスコンクリートを適用した他の事例を紹介する。写真8~写真10は、複層ポーラスコンクリートを、駐車場、屋外階段、トイレに適用した例である。これらは施工後既に3年余りが経過しているが、退色や摩耗・剥脱はほとんど生じておらず、透水性能の低下も確認されていない。

#### 6. おわりに

複層ポーラスコンクリート歩道の現場施工に関する実験の結果、以下のような知見が得られた。

- ① 本実験で用いた比較的低い強度のポーラスコンクリートは、透水性歩道の基層として十分な性能を有していると考えられる。また、歩道の表層を樹脂製ポーラス硬化体とすることにより、意匠性や質感を改善できる。
- ② 基層に採用した水セメント比46%、単位結合材量290 kg程度のポーラスコンクリートは、レディーミクストコンクリートプラントにおける製造、アジテータ車による運搬等の取扱いが



第3図 打設したポーラスコンクリートの各特性と練上り後の経過時間との関係(コテ仕上げ)

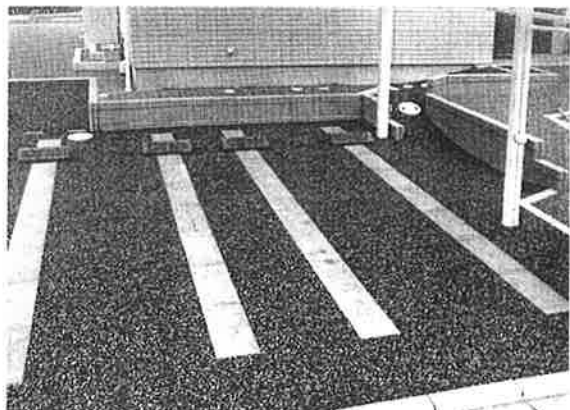


写真8 駐車場の施工例

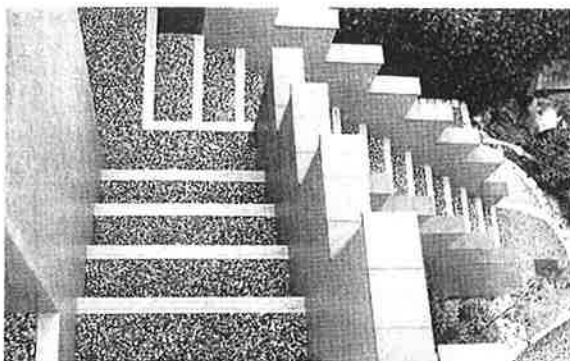


写真9 屋外階段の施工例



写真10 トイレの施工例

供試体の高さ、直径比の影響、耐久性等を調べるとともに、中規模の施工面積の工事において簡易に使用できる打設機械および仕上げ機械の研究を進める予定である。

#### 謝辞

本研究費の一部は、平成20年度日本学術振興会科学研究補助金・基盤研究(B)(研究代表者:畑中重光)によった。付記して謝意を表します。また、実験を行うにあたり、ご協力頂いた三雲生コン株式会社・大薮邦典氏、東洋工業株式会社・沖年幸氏に感謝致します。

#### <参考文献>

- (1) 堀口剛:“環境を再来・創造するポーラスコンクリート、アース&ecoコンクリートマガジン”、No.1、pp.50-56 (2008.5)
- (2) セメント協会、舗装技術専門委員会報告:“舗装用ポーラスコンクリート共通試験結果報告R-11”(1999.11)など
- (3) 畑中重光、三島直生、湯浅幸久:“ポーラスコンクリートの圧縮強度-空隙率関係に及ぼす結合材強度および粗骨材の影響に関する実験的研究”、日本建築学会構造系論文集、No.594、pp.17-23 (2005.8)
- (4) ポーラスコンクリートの設計・施工に関する研究委員会:同報告書、日本コンクリート工学協会、pp.179-180 (2003)
- (5) 舗装委員会、舗装設計施工小委員会:“透水性舗装ガイドブック2007”、社団法人日本道路協会、丸善 (2007.8)

#### 【筆者紹介】

中川 武志

三重大学 大学院 工学研究科 建築学専攻  
 博士後期課程  
 (柳川島工業 専務取締役 (三重大学 大学院在学))  
 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577  
 TEL: 059-231-5363 FAX: 059-231-9452  
 E-mail: koka21@arion.ocn.ne.jp

畑中 重光

三重大学 大学院 工学研究科 建築学専攻 教授  
 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577  
 TEL: 059-231-5363 (内線6717)  
 FAX: 059-231-9452  
 E-mail: hatanaka@arch.mie-u.ac.jp

三島 直生

三重大学 大学院 工学研究科 建築学専攻 助教  
 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577  
 TEL: 059-231-5363 (内線6717)  
 FAX: 059-231-9452  
 E-mail: mishima@arch.mie-u.ac.jp

比較的容易である。

- ③ 出荷ロットおよび時間経過に伴う品質の変動は、コア供試体において、いずれも透水性歩道の基層として許容範囲にあると考えられる。なお、今後も締固めの影響、圧縮強度におよぼす