

## コンクリートの透水性を制御する技術開発 (第2報)

前川明弘\*, 森澤諭\*, 川原田金吾\*

### Fundamental Study on Permeability Control of Concrete (Part 2)

Akihiro MAEGAWA\*, Satoshi MORISAWA\* and Kingo KAWARADA\*

Keywords : Porous concrete, Particle size of aggregate, Image processing, Permeability coefficient, Water retention

#### 1. はじめに

本研究では、コンクリートが有する透水性能に着目し、それらをうまく制御することにより環境負荷の低減効果が期待できるコンクリートの製品開発を目的としている。コンクリートの透水性能を制御することにより開発できる製品としては、豪雨時には高い排水性能を有し、猛暑時には保水性能よるヒートアイランド現象を低減できるといった透水と保水機能を併せ持つ製品などが想定される。

前報<sup>1)</sup>では、透水性能を制御するためのコンクリートとしてポーラスコンクリートを使用し、各骨材粒径における空隙率と透水係数との関係などについて明らかにした。

本報では、ポーラスコンクリートの透水性能や保水性能に関するより詳細な検討を行うため、画像処理によるコンクリート内部の空隙評価を試みた(実験I)。

また、既述したコンクリートの適用範囲をさらに拡大させるために、2種類の透水性能を組み合わせたコンクリートの製造およびその透水性能に関する基礎実験を実施した(実験II)。

#### 2. 実験I : 画像処理によるコンクリート内部の空隙評価

##### 2.1 供試体製造条件

\* ものづくり研究課

本実験では、骨材粒径を5水準、設計空隙率を3水準に設定し、コンクリート円柱供試体(φ100×200 mm)を用いて評価を行った。使用材料を表1に、調合表を表2に示す。また、供試体の製造条件は前報<sup>1)</sup>と同一とし、製造本数は各調合2本とした。製造した供試体は、画像による評価を行う前に全て前報による手法<sup>2,3)</sup>で空隙率を測定した。

#### 2.2 画像処理による評価方法

コンクリート内部の空隙評価は、円柱供試体の断面を用いて評価した。まず、各調合に従い製造した円柱供試体を4分割し(図1)、次に、各断面

表1 使用材量

セメント	普通ポルトランドセメント : (密度 3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3290cm <sup>2</sup> /g)
骨材	5号砕石 (骨材粒径 13~20mm) : 表乾密度 2.74g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.56%, 実積率56.6% 6号砕石 (骨材粒径 5~13mm) : 表乾密度 2.72g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.74%, 実積率56.6% 7号砕石 (骨材粒径 2.5~5mm) : 表乾密度 2.72g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.94%, 実積率54.1% 8号砕石 (骨材粒径1.2~2.5mm) : 表乾密度 2.67g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.86%, 実積率54.3% 9号砕石 (骨材粒径0.6~1.2mm) : 表乾密度 2.68g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.45%, 実積率53.7%
水	水道水
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

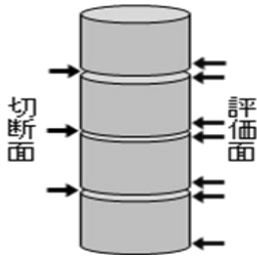


図1 供試体の切断および評価面

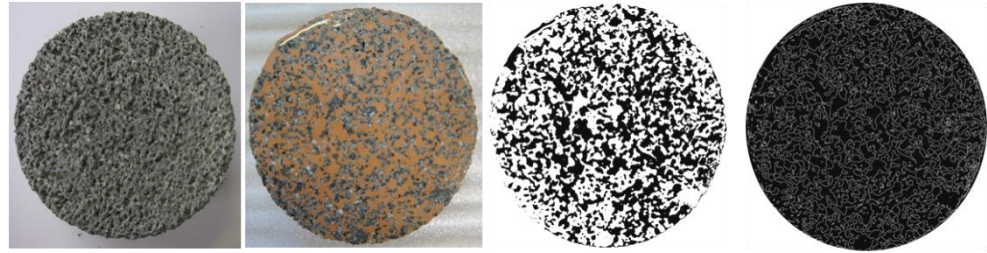


図2 画像処理による切断面の評価

に存在する空隙部分とコンクリート部分を識別するため、空隙部分に朱色に着色したセメントペーストを挿入し表面を研磨した(図2a) b)参照)。研磨後、断面を撮像し、空隙部分とコンクリート部分で二値化処理を行い、さらに、空隙部分に対しては輪郭抽出を行った(図2c) d)参照)。

図2c)より断面全体および空隙部分、図2d)より空隙の輪郭に關与するピクセル数を算出するとともに、断面積から1ピクセル当たりの面積を算出することで、空隙部分の面積  $A$  [mm<sup>2</sup>]および空隙の輪郭  $l$  [mm]を求めた。ここで、空隙は均一な円の集合体で構成されていると仮定し、以下の2式より仮想空隙径  $d_{id}$  [mm]および仮想空隙数  $n_{id}$  [個]を算出し、これを空隙の評価に用いた。なお、空隙の評価は、切断面の両面および供試体底面の合計7面(図1)を使用して行った。

$$d_{id} = \frac{4 * A}{l} \quad (1) \quad n_{id} = \frac{l^2}{4\pi * A} \quad (2)$$

### 2.3 実験結果および考察

供試体製造に使用した5~9号碎石の骨材粒径(平均値)と画像処理により算出した仮想空隙径  $r_{id}$ との関係を図3に示す。図3より、骨材粒径が大きいほど仮想空隙径も大きくなる傾向となる結果が得られた。

碎石5, 6号の仮想空隙径は設計空隙率により大きく異なるが、さらに骨材粒径が小さくなると空隙径の差が大幅に減少する傾向となることが確認できた。

各骨材における仮想空隙数と仮想空隙径との関係を図4に示す。図4より、碎石5, 6号の仮想空隙径は、設計空隙率が大きくなるほど大きい数値となることが確認できた。碎石7号より小さくなった場合には、設計空隙率による仮想空隙径の差は小さいかほぼ同サイズとなったが、仮想空隙数は増加するという結

表2 コンクリートの調合表

骨材粒径(号)	目標FL(精度: ±10)	設計空隙率(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
			セメント	水	混和剤	骨材
5	150	10	631	157	0.7	1477
		20	456	113	0.5	
		30	281	70	0.3	
6	150	10	613	153	0.7	1493
		20	439	108	1.8	
		30	264	65	1.2	
7	150	10	638	158	0.7	1455
		20	463	114	2.2	
		30	288	71	1.1	
8	230	10	619	151	3.3	1458
		20	444	109	2.2	
		30	269	66	1.6	
9	270*(*: 0打FL)	10	636	154	5.5	1436
		20	462	112	3.8	
		30	287	69	2.2	

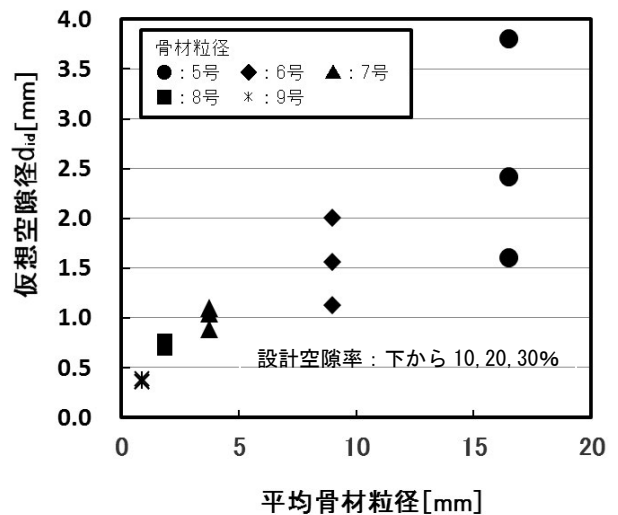


図3 仮想空隙径と平均骨材粒径との関係

果が得られた。このことは、小さい骨材を使用したポーラスコンクリートでは、空隙率が変化しても空隙径は大きく変化せず、空隙の個数が増減して変化している可能性があることを示している。

また、前報<sup>1)</sup>において、ポーラスコンクリートの透水性は7号砕石を境界として低下し、骨材粒径をさらに小さくすると、逆に、保水性能が向上することを明らかにした。この結果は、図4において、小さい空隙の数が7号砕石を境に大きく増加する結果と一致しており、保水性能は小さい空隙の個数が増加して、その性能を向上させていることが推察される。

なお、画像処理により算出した仮想空隙径と実測により得られた透水係数との関係についても確認を行ったが、高い相関を得ることができなかった。これは骨材粒径の大きい条件では、仮想空隙径のばらつきが大きいことや、仮想空隙径を均一な円として算出した誤差などの影響によると思われる。

今後、画像評価手法については、空隙をさらに細かく識別するなど、より詳細な検討を要するが、本手法により使用する骨材粒径と空隙径との関係などについては評価することができた。

### 3. 実験Ⅱ：2種類の透水性能を有すコンクリートの一体化に関する検討

#### 3. 1 実験概要

表3に示す異なる2種類のコンクリートを下層、上層の順に打設し一体化させ、その透水係数<sup>1)</sup>について評価した。ここでは、下層と上層の組み合わせとして、下層により大きい透水係数を有するコンクリートを打設することとし、さらに、上層部分のコンクリート容積を12.5~50%（供試体上面からの深さ  $d$  mm）の範囲で変化させた。

使用材料、練混ぜ方法は、実験Ⅰと同様とし、各層のコンクリート質量は、調査表（表2）から算出した。供試体は  $\phi 100 \times 200$  mm の円柱体とし、下層の打設は突き棒とジッキングにより行い、上層は突き棒の突き跡が残留するため<sup>4)</sup>ジッキングのみとした。

打ち継ぎ時間については、コンクリートを2回に分けて打設する場合、打設間における時間などの配慮を怠ると、打ち継ぎ面にコールドジョイント<sup>5)</sup>と呼ばれる不良が発生する。このことについて予備実験で確認したところ、下層の打設5時間後に上層を打設すると、打ち継ぎ面において、図5に示すような不良が生じた。そこで本実験では、上層の打設は下層の打設から1時間以内に完了することとした。

また、供試体の養生は標準養生とし、材齢14日に

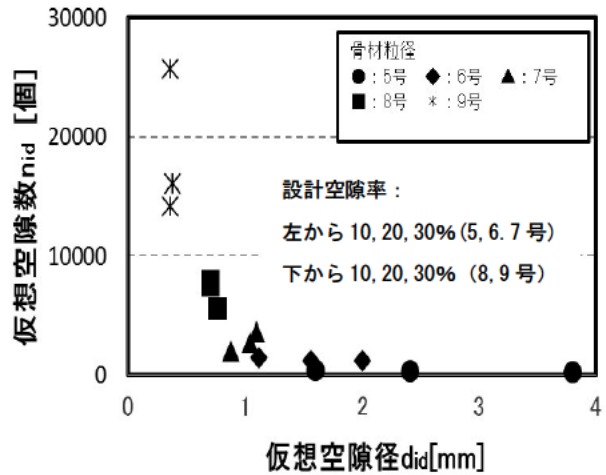


図4 仮想空隙数と仮想空隙径との関係

表3 実験の要因と水準

要因	水準
骨材粒径 (号)	8 (上層), 6 (下層)
上層部分の置換率 (vol. %) (上面からの深さ $d$ mm)	12.5 (d=25) 上層 25 (d=50) 50 (d=100) 下層
設計空隙率 (%)	20, 30
水セメント比 (%)	25

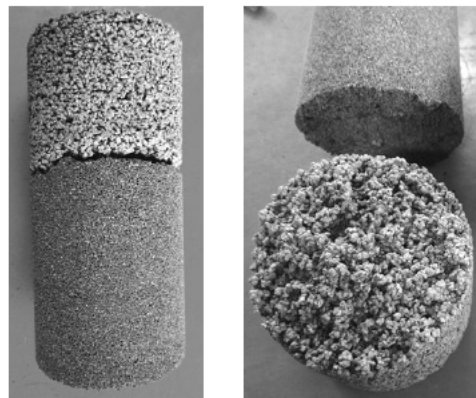


図5 打ち継ぎ面における不良の一例

において透水性試験を実施した。

#### 3. 2 実験結果および考察

製造した供試体の一例を図6に示す。本実験で製造したすべての供試体は、脱型後、図5に示したような打ち継ぎ不良は発生しなかった。また、透水試験を行う前に、一部の供試体において圧縮強度試験を実施した。その結果、打ち継ぎ面を起因とする破壊は発生せず、上層と下層の付着は良好であるとい

うことが確認できた。

製造した供試体の透水係数と上層のコンクリート容積置換率との関係を図7に示す。なお同図には、実測した上層および下層のみのコンクリートの透水係数(上層置換率0および100%)も記載した。

図7より、6号砕石・設計空隙率20%と8号砕石・設計空隙率30%を組み合わせた供試体(図7d)を除いた全ての供試体において、上層の置換率が大きくなると透水係数が低下し、置換率を変化させることで透水係数を細かく制御できる可能性のあることが確認できた。このとき、透水係数の低下は、上層と下層の各容積率からそれぞれの透水係数を加重平

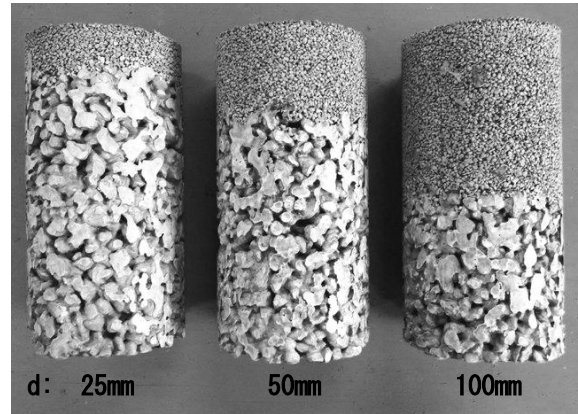
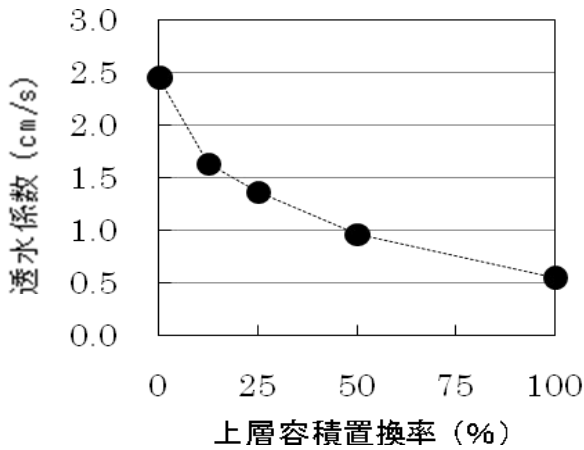
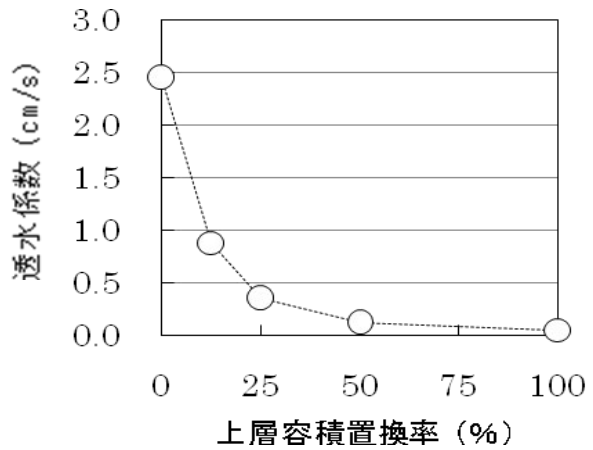


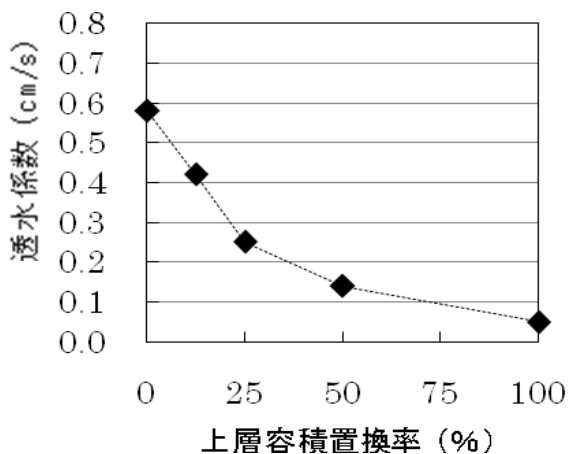
図6 製造した供試体の一例  
(上層8号20%, 下層6号20%)



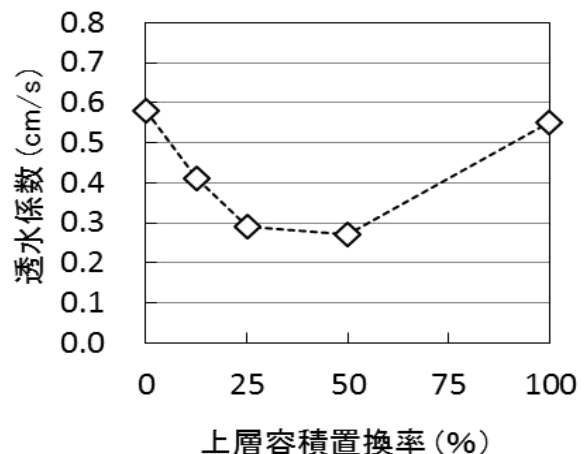
a) 下層 : 6号砕石・設計空隙率 30%  
上層 : 8号砕石・設計空隙率 30%



b) 下層 : 6号砕石・設計空隙率 30%  
上層 : 8号砕石・設計空隙率 20%



c) 下層 : 6号砕石・設計空隙率 20%  
上層 : 8号砕石・設計空隙率 20%



d) 下層 : 6号砕石・設計空隙率 20%  
上層 : 8号砕石・設計空隙率 30%

図7 透水係数と上層容積置換率との関係

均したような数値とはならず、透水係数の小さい上層の影響をより強く受けるといった結果となった。

また、打ち継ぎ面における局所的な閉塞の発生が懸念されたが、本実験の範囲では、大幅な透水性能の低下を引き起こすほどの閉塞は生じなかった。

一方、6号砕石・設計空隙率20%と8号砕石・設計空隙率30%を組み合わせた供試体においては、上記の傾向とは異なる結果となった。これは両者の透水係数の差が0.03と小さく、透水係数の低下は打ち継ぎ面における影響によるものであると推察される。

#### 4. まとめ

本実験の結果から、以下の知見が得られた。

- 1) 画像処理による手法では、骨材粒径と空隙径との相関を評価することができるが、透水係数との相関などについてはより詳細な評価手法の確立を要する。
- 2) 2種類の透水係数を有するコンクリート界面の付着は良好で、それらを一体化させることは可能である。
- 3) 2種類の透水係数を有するコンクリートの容積割合を変化させることで、透水係数をより細かく制御できる可能性が見いだせた。

今後、コンクリートの透水係数をさらに変化させた供試体を製造し、それらの透水性能や強度特性などについてより詳細な検討を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 前川明弘ほか：“コンクリートの透水性制御に関する基礎的研究”．三重県工業研究所研究報告 No.36, pp.36-40 (2012)
- 2) “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報告書”．日本コンクリート工学会, pp.179-185 (2003)
- 3) 前川明弘ほか：“小粒径ポーラスコンクリートの空隙率測定方法に関する研究”．第60回セメント技術大会講演要旨, pp.218-219 (2006)
- 4) 前川明弘ほか：“小粒径ポーラスコンクリートの製造方法に関する基礎的研究”．日本建築学会東海支部研究報告集第44号, pp.45-48 (2006)
- 5) 烏田専右：“レディーミクストコンクリートによるコールドジョイントの性質”．日本建築学会論文報告集第135号, pp.10-19 (1967)