

コンクリートの透水性制御に関する基礎的研究

前川明弘^{*} , 村上和美^{*} , 森澤諭^{*}

Fundamental Study on Permeability Control of Concrete

Akihiro MAEGAWA, Kazumi MURAKAMI and Satoshi MORISAWA

1. はじめに

近年、コンクリート製造関連企業では、製品開発の方向をこれまでの社会基盤材料から環境材料に変遷させる方向へと舵を切り替えてきており、他産業と同様、環境負荷低減への取り組みが推進されている。

そこで本研究では、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に結びつく製品開発を試みる。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、透水性能と保水性能を兼ね備えた製品、例えば、猛暑時には保水性能によりヒートアイランド現象を低減し、豪雨時には高い透水性能により迅速な排水が可能となり、乾期には地中の水分を吸い上げ地上の温度を低く保つ機能を有する製品などが想定できる¹⁾。

本報では、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、透水性能に関する基礎的な検討を実施した。

ポーラスコンクリートの透水性能(透水係数)に関する評価はこれまでにいくつか報告されているが²⁾、使用材料(セメントの種類、骨材の産地・粒径、混和剤料など)、調合条件³⁾、締固め方法⁴⁾などが異なっており、それらを統一した条件における評価は行われていない。そこで、上記の条件を統一した供試体を作製・評価することにより、骨材粒径、空隙率、空隙径などが透水性能に及ぼす影響について検討した。また、透水性能の評価の延長として、保水・吸水性能に関する評価も併せて実施した。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント： (密度 3.16g/cm ³ ，比表面積 3330cm ² /g)
骨材	産地：三重県多気郡多気町産 5号砕石(骨材粒径 13~20mm)： 表乾密度 2.74g/cm ³ ，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 ³ ，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 ³ ，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 ³ ，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 ³ ，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

表2 実験の要因水準

要因	水準
骨材粒径(号)	5, 6, 7, 8, 9
設計空隙率(%)	10, 20, 30
水セメント比(%)	25

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した骨材は、砕石5~9号(骨材粒径の範囲：0.6~20mm)とした。

本実験の使用材料を表1に示す。なお、表1中の各物性値は、セメントがJIS R5210、骨材がJIS A1104(実積率)、JIS A1109(砕石7~9号の表乾密度および吸水率)、JIS A1110(砕石5, 6号の表乾密度および吸水率)に記載される試験方法より得

^{*}ものづくり研究課

たものである。

2.2 調査

実験の要因と水準を表2に、本実験で製造した供試体の調合表を表3に示す。

結合材には、水セメント比W/C=0.25のセメントペーストを使用した。供試体の透水性能の評価では、供試体底部に生じる結合材の垂れによる影響が大きいことが予想されるため、結合材のフロー値（以下、FL）は、予備実験により供試体底部の垂れが最も少なくなるような条件（表3）に設定し、±10の精度とした。また、結合材FLは、混和剤の添加量を変化させて調整した。

2.3 供試体の製造方法

結合材は、水およびセメントをミキサ（容量30リットルの揺動攪拌型ミキサ）に投入し、100rpmで30秒間練り混ぜた後、200rpmで270秒間練り混ぜた。練混ぜ終了後すぐに骨材を投入し、200rpmで90秒間練り混ぜることでポーラスコンクリートを得た。

透水性能評価用供試体（図1参照）は円柱供試体（Φ150×300mm）とし、保水性能評価用供試体は角柱供試体（200×100×60mm）を用いた。また、ポーラスコンクリートの型枠は、円柱供試体ではプラスチック製簡易型枠、角柱供試体では木製型枠を使用した。

円柱型枠への打設は、砕石5,6,7号の場合と砕石8,9号の場合とは異なる手法で行った。砕石5,6,7号では、型枠への投入は3層詰めとし、JIS A 1132に規定される突き棒を用いて各層27回ずつ突き固めた。一方、砕石8,9号では、突き棒を使用した場合、硬化後の内部に突き棒の痕跡が残ることが確認されているため⁵⁾1層詰めを採用し、型枠を10cmほど持ち上げ地面に10回落下させて詰めた。

ただし両手法とも、最後にテーブルバイブレータで5秒間振動締固めを行い、打設を終了した。

2.4 空隙率

ポーラスコンクリートの空隙率測定で一般的に行われている容積法⁶⁾では、砕石8,9号を用いた供試体の測定値に誤差が生じることが明らかとなっている。そこで本研究では、型枠への打設が終了した時点におけるポーラスコンクリートの質量を計測し、その質量と調合（表3）から空隙率を算出する質量法を採用した。なお、質量法については別報にて妥当性が検証されている⁷⁾。

表3 コンクリートの調合表

骨材粒径 (号)	目標FL (精度: ±10)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			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	



(a) 円柱供試体



(b) 角柱供試体

図1 コンクリート供試体の一例
(右から、5,7,9号砕石を使用)

2.5 透水性能

ポーラスコンクリートの一般的な透水試験方法である公益社団法人日本コンクリート工学会の「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)」⁶⁾に

準拠し、透水係数を算出することにより評価した。
 なお供試体は、円柱供試体各条件 3 本（材齢 28 日）とし、透水係数は、以下の式により算出した。

$$K_T = \frac{H}{h} \times \frac{Q}{A \times (t_2 - t_1)}$$

ここに、

- K_T : T における透水係数 (cm/s)
- H: 供試体高さ (cm)
- Q: 時刻 t_1 から t_2 までの越流量 (cm³)
- h: 水頭差 (cm)
- $t_2 - t_1$: 測定時間 (s)
- A: 円柱供試体の断面積 (cm²)

2.6 保水・吸水性能

保水性能の評価は、インターロッキングブロック舗装設計施工要領保水性試験（一般社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会）に準拠し、保水量を算出した。また、供試体は角柱供試体各条件 3 本とし、材齢 28 日で実施した。保水量の算出式を以下に示す。

$$\text{保水量 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{湿潤質量 (g)} - \text{絶乾湿量 (g)}}{\text{供試体の体積 (cm}^3\text{)}}$$

ここに、

- 湿潤質量：15-20 の清水中で 24 時間吸水させた後、供試体を取り出し、15-30 の室温で 30 分間水を切り、直ちに計測した時の質量
- 絶乾質量：温度 105±5 の乾燥器内において一定質量になるまで乾燥した後、常温まで冷却したときの質量

また、吸水性能の評価が、保水性試験と同一の供試体を用いて行えるため併せて実施した。吸水性能の試験は、インターロッキングブロック舗装設計施工要領吸水性能試験に準拠し、吸上げ高さを算出した。また、供試体は角柱供試体各条件 3 本（材齢 28 日）とし、吸い上げ高さは、以下の式により算出した。

$$\text{吸上げ高さ (\%)} = \frac{\text{30分後の吸上げ質量 (g)} - \text{絶乾湿量 (g)}}{\text{湿潤質量 (g)} - \text{絶乾湿量 (g)}} \times 100$$

ここに、

- 30 分後の吸上げ質量：温度 105±5 で乾燥することで絶乾状態にした供試体を 15～25 の清水中に設置し（水が供試体底面から 5mm だけ浸漬するよう調整）、30 分経過後に測定した質量

3. 実験結果および考察

3.1 透水性能

ポーラスコンクリートの透水係数と全空隙率との関係を図2に示す。図2より、同一粒径の骨材を使用して作製したポーラスコンクリートは、全空隙率が高くなればなるほど、透水係数が大きくなる傾向であった。また、図示はしていないが、各粒径毎の測定点で線形近似を行うと、全ての粒径において非常に高い相関関係があり、その直線は大きな粒径ほど上部に位置することが確認できた。

上記に関連して、透水係数に及ぼす骨材粒径の影響は、同一空隙率であれば骨材粒径が大きくなるほど透水係数が大きくなる傾向となり、その差は高空隙率になるほど拡大した。

これらの理由は、現時点において明確にできていないが、空隙率が同一であっても、使用する骨材粒径により内部に存在する空隙のサイズが異なり、そのことが透水係数に影響を及ぼしているものと考えられる。すなわち、同一空隙率であっても、少数の大きな空隙で構成される断面と多数の小さい空隙で構成される断面を通過する水の透水

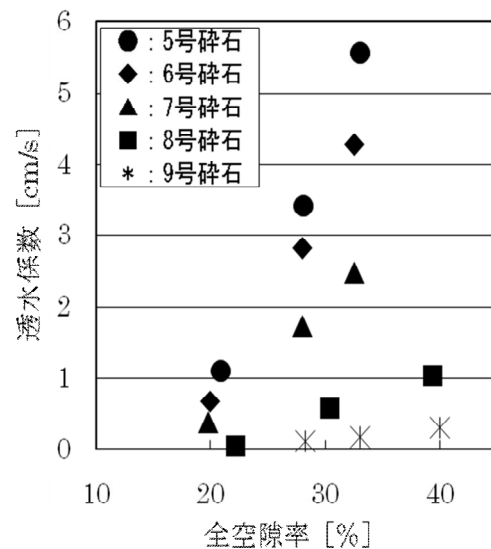


図2 透水係数と全空隙率との関係

性能は異なり、これらが透水係数の数値に大きく影響しているものと推察される。

以上の結果より、各骨材粒径を用いたポーラスコンクリートが有する透水係数が明らかとなった。

ここで透水係数に着目した製品を設計する場合、必要となる透水係数に加え、一定の圧縮強度の確保が要求される。著者らは既に、ポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす骨材粒径の影響に関する検討を行っており、コンクリート製品の製造で通常使用されるテーブルバイブレータによる締固めでは、骨材粒径が圧縮強度に及ぼす影響は小さく、また、圧縮強度は指数関数で近似できることを明らかにしている(図3)⁸⁾。したがって、図2および図3の結果を用いれば、要求される透水係数に対応できる骨材粒径や全空隙率など製品の製造で必要となる調合を決定することが可能となる。

3.2 保水・吸水性能

ポーラスコンクリートの保水量と全空隙率との関係を図4に、吸上げ高さとの関係を図5に示す。ここで、保水性インターロッキングブロックの品質規格では、保水量0.15g/cm³以上、吸上げ高さ70%以上という規格値が設定されている。

図4より、高い透水性を有する5号および6号砕石を用いたポーラスコンクリートの保水量は小さく、逆に、透水性の低い8号および9号砕石の保水量は大きくなるという結果が得られた。また、保水量の規格値は、7号砕石の保水量の数値とほぼ一致していることが確認できた。

また、5号および6号砕石の場合には、全空隙率が大きくなると保水量が減少傾向となり、8号および9号砕石の場合には、その傾向が逆転した。

これらの理由は、内部の空隙径が十分に大きい領域では全空隙率が大きいほど保水量は減少するが、空隙径が小さい領域になると水の表面張力(毛細管現象)が大きく影響してくるため異なる傾向になったものと推察される。

図5より、吸上げ高さは小さい粒径を使用したポーラスコンクリートほど高い傾向となった。吸上げ高さは、既述した毛細管現象を生じさせる空隙径サイズが大きく影響するため、小さい空隙径を有する供試体ほど高い数値が得られやすい。しかしながら、7号および8号砕石では僅差ではあるものの逆の傾向となっており、このことについて今

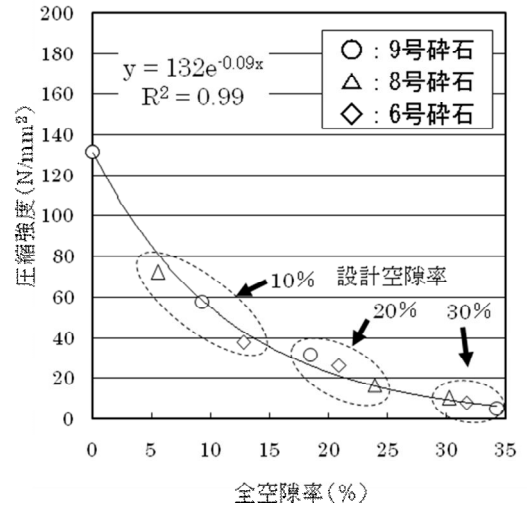


図3 ポーラスコンクリートの圧縮強度と全空隙率との関係⁵⁾

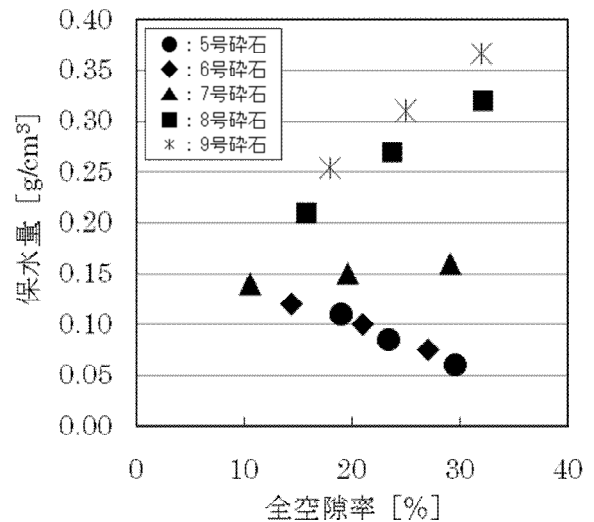


図4 保水量と全空隙率との関係

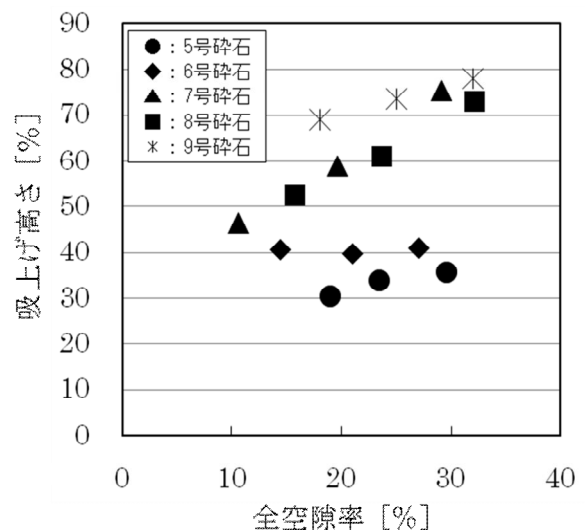


図5 吸上げ高さとの全空隙率との関係

後、空隙径などの評価を詳細に行い明らかにしておく必要がある。

また本実験において、吸上げ高さの規格値である70%以上を満たしたものは、7, 8, 9号碎石を用い、全空隙率を高く設定した条件に限定されていた。これは、本実験と保水性インターロッキングブロックの製造条件（締固め条件など）が異なることによるためであり、本実験条件においても、骨材を吸水性の高いものに変更することなどにより、安定的に規格値を満足することは可能であると考えている。

4. まとめ

本研究では、コンクリートの透水性を制御する基礎研究として、各種粒径の骨材を使用したポーラスコンクリートを製造し、その透水性能や保水性能を評価した。

その結果、骨材粒径および空隙率が大きくなるほど、透水係数も大きくなることが確認でき、各条件における透水係数の数値を明らかにすることができた。

また、骨材粒径を小さくすると透水係数は低下する傾向にあるが、7号碎石をほぼ境界として、保水性能が向上することが確認できた。

今後、画像処理などを用いて空隙径の評価を行い、ポーラスコンクリートの透水性能や保水性能に及ぼす空隙径の影響などについても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 前川明弘ほか：“小粒径ポーラスコンクリートの基礎的特性に関する実験的研究”。セメント・コンクリート論文集第60号，p.264-270（2006）
- 2) 石黒哲ほか：“ポーラスコンクリートの物理的性質に及ぼす各種要因の影響”。日本建築学会東海支部研究報告集第38号，p.73-76（2000）
- 3) 中川武志ほか：“ポーラスコンクリートの耐摩耗・剥脱性評価に関する実験的研究”。セメント・コンクリート論文集第60号，p.171-175（2006）
- 4) 湯浅幸久ほか：“表面振動機により締固め作用を受けるポーラスコンクリートの性状について”。日本コンクリート工学会 ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム論文集，p.69（2002）
- 5) 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，p.45-48（2006）
- 6) “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，p.179-185（2003）
- 7) 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，p.218-219（2006）
- 8) 前川明弘ほか：“環境負荷を軽減する機能性コンクリート製品の開発”。三重県工業研究所研究報告 No.33，p.113-115（2009）