

コンクリートの透水性を制御する技術開発

—第3報 コンクリートの圧縮強度特性—

前川明弘*, 川原田金吾*

Fundamental Study on Permeability Control of Concrete (Part 3 Compressive Strength of Concrete)

Akihiro MAEGAWA and Kingo KAWARADA

Key words: Porous concrete, Void ratio, Compressive strength, Permeability coefficient, Prototype manufacturing

1. はじめに

本研究では、透水性能を有するコンクリートとしてポーラスコンクリート(以下、コンクリートとする)に着目し、骨材サイズや空隙率などをうまく制御することで、高排水機能やヒートアイランド現象の低減効果などが期待できる製品の開発を目的としている。

前報¹⁾では、2種類の透水性能を組合せたコンクリートの製造方法や透水性能などに関する検討を行った。その結果、コンクリートは連続して打設することが重要であることや、異なる透水性能を有するコンクリートを組み合わせることで、透水性能をより細かく制御できることなどを明らかにした。

本報では、2種類の透水性能を組合せたコンクリートの強度特性を把握するために、まず、JIS A1132 に規定する供試体を用いた圧縮強度試験を行い(実験Ⅰ)、つぎに、実用化を想定したコンクリートブロック製品を試作した(実験Ⅱ)。

2. 実験

2.1 ポーラスコンクリートの製造方法

本実験では、コンクリート用骨材として粒径が異なる5種類の砕石を用い、設計空隙率には20または30%の条件を設定した。使用材料を表1に、調

* ものづくり研究課

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 3290cm ² /g)
骨材	5号砕石(骨材粒径 13~20mm)： 表乾密度 2.72g/cm ³ , 吸水率 0.61%, 実積率56.6% 6号砕石(骨材粒径 5~13mm)： 表乾密度 2.71g/cm ³ , 吸水率 0.84%, 実積率56.6% 7号砕石(骨材粒径 2.5~5mm)： 表乾密度 2.71g/cm ³ , 吸水率 1.05%, 実積率55.1% 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 コンクリートの調査表

骨材 粒径 (号)	目標FL (精度： ±10)	設計 空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			セ メ ン ト	水	混和剤	骨材
5	150	20	456	113	0.5	1477
		30	264	65	1.0	1493
7	190	20	463	114	2.2	1455
		30	288	71	1.1	
8	230	20	444	109	2.2	1458
		30	269	66	1.6	
9	260* (*:0打FL)	20	462	112	3.5	1436
		30	287	69	2.0	

合表を表 2 に示す。

コンクリートの練混ぜは、オムニミキサを用いて行い、まず、結合材を 100rpm で 30 秒間混合し、さらに 200rpm で 270 秒間練り混ぜた。結合材の練混ぜ終了後、骨材を加え、200rpm で 90 秒間練り混ぜることでコンクリートを製造した。

コンクリートの打設は、調査表 (表 2) から設計空隙率となるよう算出した質量を型枠に打ち込むことにより実施した。また、打設後、算出量と投入量に差が生じた一部の供試体については、質量法^{2,3)}により空隙率の数値を再計算した。

コンクリートの締固めは、各層ごとに実施し、使用骨材が 5~6 号砕石の場合には付き棒で、7~9 号砕石の場合にはジッキングにより行った。上下 2 層の打設終了後、各層を一体化させるためテーブルバイブレータでさらに 10 秒間締め固め、端面を仕上げた。打継ぎ時間は、打ち継ぎ面にコールドジョイント⁴⁾の発生を避けるため、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。

2. 2 実験 I : コンクリートの強度特性に関する検討

2 種類の透水性能を組合せたコンクリートの強度特性を把握するために、5 号砕石を除く 4 種類の骨材を使用し、前報¹⁾と同様、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 $d=25\sim 100\text{mm}$) の範囲で変化させた円柱供試体 ($\phi 100\times 200\text{mm}$, 図 1 参照) を作製した。実験の要因と水準を表 3 に示す。

供試体の作製本数は各調合 3 本とし、試験は JIS A1108 により圧縮強度を評価した。また、養生方法は標準養生、試験材齢は 28 日とし、試験を行う前には、供試体上下面に硫黄キャッピング (JIS A1132 に準拠) を施した。

2. 3 実験 II : コンクリートブロック製品の試作

2 種類の透水性能を組合せたコンクリートを用い、コンクリートブロック製品を試作した。コンクリートブロック製品の製造条件を表 4 に示す。表 4 に示したように、製品の大きさは、表面が一辺 190mm の六角形、控えが 350mm とし、設計空隙率はすべて 20% とした。

打設は、六角形面が底部となる方向に打ち込み、下層 (製品としては表面) は底部から 110mm、上層 (製品としては裏面) は 240mm の厚さとなるよ

表 3 実験の要因と水準

要因	水準
使用骨材	8号砕石 (上層) および6号砕石 (下層) 7号砕石 (上層) および9号砕石 (下層)
上層部分の容積置換率 (Vol. %) 【d (mm) : 上面からの高さ】	0 [d=0] 12.5 [d=25] 25 [d=50] 50 [d=100] 100 [d=200]
設計空隙率 (%)	20, 30
水セメント比 (%)	25

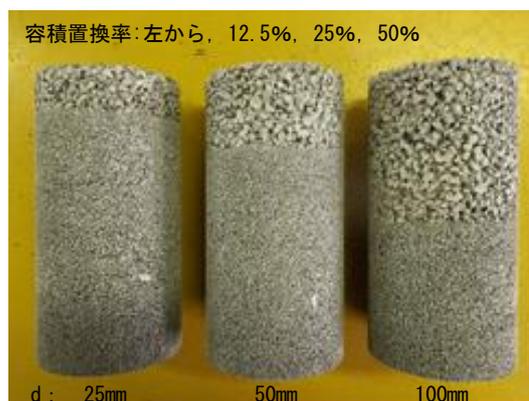


図 1 コンクリート供試体の一例 (上層 7 号砕石, 下層 9 号砕石 設計空隙率 : 20%)

表 4 コンクリートブロック製品の製造条件

使用骨材	5号砕石および8号砕石 6号砕石および7号砕石 6号砕石および9号砕石
コンクリートブロック製品 (試作品) のサイズ	
設計空隙率 (%)	20
水セメント比 (%)	25
養生方法	現場空中 (平均実測温度 : 約9℃)

う調節した。製品の種類は、表 4 に示した骨材の組合せを、条件毎に上下層入れ替えた 6 種類とした。製造本数は各水準 2 本の合計 12 本とし、養生は試験室内での気中養生 (平均室温 9℃程度) とした。また、材齢 14 日以降にコア抜きを行い、その両端を切断することでコア供試体 ($\phi 100\times 200$

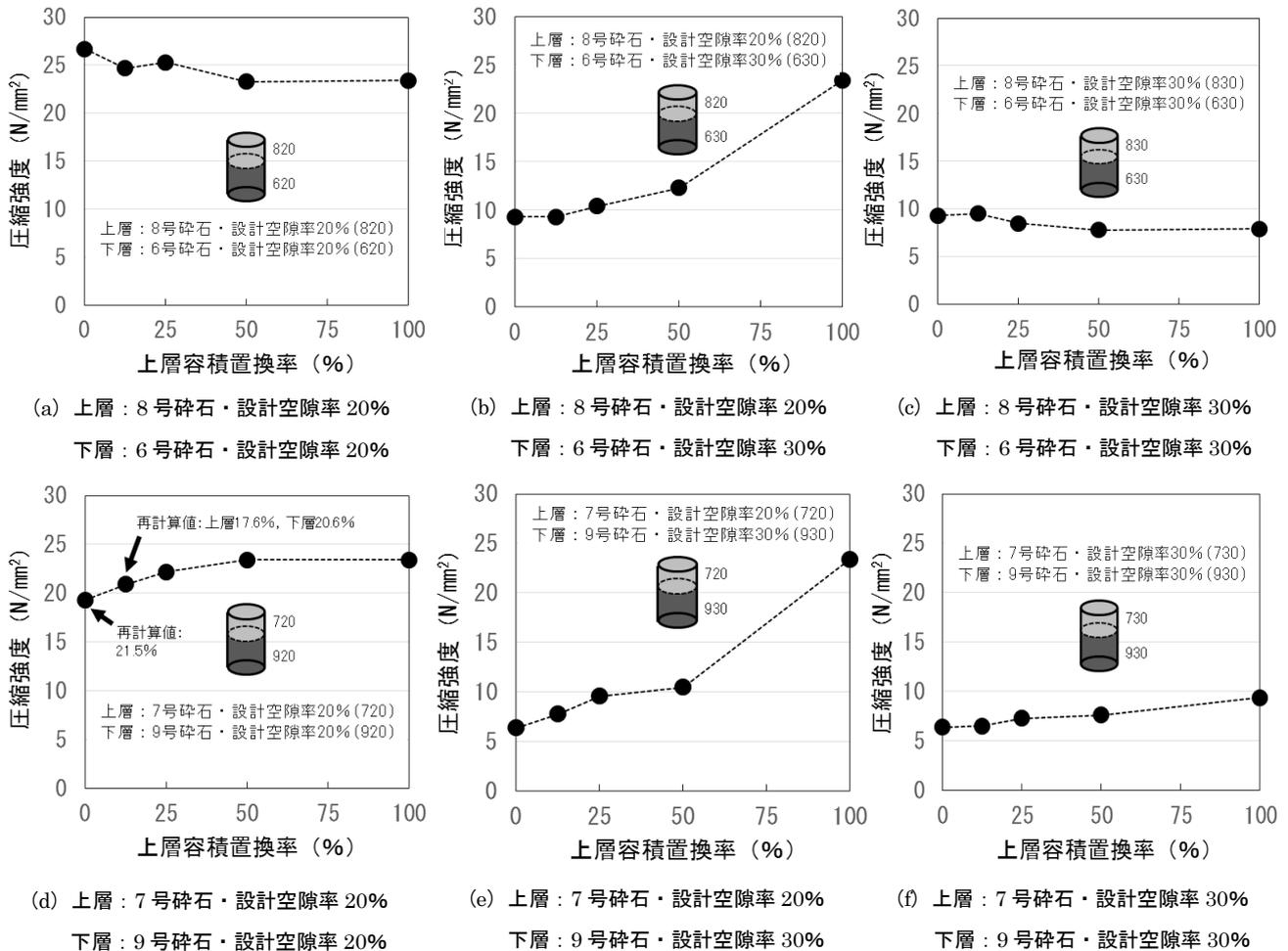


図 2 圧縮強度と上層容積置換率との関係

mm) を作製した。コア供試体は、材齢 28 日まで気中養生を継続し、その後、実験 I と同手法で圧縮強度試験を実施した。

3. 実験結果および考察

3. 1 コンクリートの強度特性

各条件における供試体の圧縮強度と上層置換容積率との関係を図 2 に示す。同図には、空隙率を再計算した一部供試体について、その数値を記載した。

図 2 (a), (c), (d), (f) より、設計空隙率が上層と下層共に同一である供試体の上層容積置換率による圧縮強度の変化は僅かで、上下層単層 (上層置換容積率 0 または 100%) の圧縮強度差である 5N/mm² 以内の範囲を緩やかに変化することが明らかとなった。これらの結果は、骨材の組合せ、設計空隙率にかかわらず、同様の傾向であった。

一方、上層の設計空隙率が 20%、下層の設計空隙率が 30% のように、上下層単層の圧縮強度差が大きい (15~20N/mm² 程度) 供試体の場合では、圧縮強度差の範囲において、上層 (高強度側) 容積置換率が増加すると圧縮強度も増加する傾向となった (図 2 (b), (e) 参照)。

圧縮試験後の破壊した供試体の一例を図 3 に示す。本実験では、上層と下層の界面における付着不良に起因すると思われる破壊は生じておらず、図 3 に示したような界面を貫通したクラックも多く確認できたことから、2 層間の付着は良好であると判断した。また、コンクリート供試体の破壊は、低強度層側のみにおける破壊か、低強度層にひび割れが発生し、それらが高強度層側まで進展して破壊に至ったかのどちらかであった。通常、コンクリートは内部の最弱部位で破壊するため、上層容積置換率に係らず圧縮強度は低強度層の強度と一致するはずである。しかしながら、図 2 (b),



上左図) 上層 : 8号・30%, 下層 : 6号・30%
 上右図・下図) 上層 : 8号・20%, 下層 : 6号・20%
 図3 コンクリート供試体の破壊試験後の様子

(e) に示したように、上層容積置換率の増加に伴い、低強度層の数値よりも強度が増加する傾向が確認された。この理由は、異なる2層の組合せによる効果ではなく、円柱供試体の(高さ/直径、以下、 h/d)比の影響によるものであると考えられる。コンクリートの圧縮強度試験では、加圧板と供試体端面との間に摩擦による拘束力(加圧方向に対し垂直方向)が働くことが知られており、 h/d 比は小さくなると圧縮強度が増加する傾向となることが明らかとなっている⁶⁾。

すなわち、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体の h/d 比は2.0であるが、高強度層側における破壊が生じないと仮定すると、上層容積置換率が12.5%、25%、50%となるに従い、 h/d 比は1.75、1.5、1.0へと小さくなるため、既述した供試体端面の拘束の影響を受け、低強度側の単層(h/d 比=2.0)の実験値より高い結果となったものと推察される。

以上の結果より、2種類の透水性能を組合せたコンクリート界面の付着は良好で、それらの強度設計を行う場合には、上層容積置換率による強度低下が認められないため、低強度側の強度を用いれば良い



図4 試作したコンクリートブロック製品の一例



(a) コア抜き作業後の様子(一例)



(b) コア供試体 (c) 破壊試験後の様子

【供試体(b) : 表面9号20%・裏面6号20%、
 供試体(c) : 表面7号20%・裏面6号20%】

図5 コア供試体および破壊試験後の様子(一例)

ことが明らかとなった。

3.2 コンクリートブロック製品の圧縮強度

試作したコンクリートブロック製品の一例を図4に、コア抜き後の製品やコア供試体の様子を図5に、コア供試体の圧縮試験結果を表5に示す。図4、図5より、コンクリートブロック製品の打設や脱

型時に特別な問題は生じず、6種類全ての製品が試作できることや、それら全ての製品からコアを抜くことも可能であることなどが確認できた。

コア供試体の圧縮試験では、上下層の界面における破壊は認められず（図5参照）、製品の場合においても上下層界面のコンクリートの付着は良好であることが確認できた。また、表5によれば、各供試体の圧縮強度は17.3～20.7N/mm²であった。コンクリートブロック製品では、空隙率18%、圧縮強度18N/mm²以上というのが一般的な規格値⁵⁾となっているが、本製品の製造条件が設計空隙率20%、養生方法が平均温度9℃程度の気中養生（ただし、日産1個の製造であったため、積算温度は全て同一ではない）と、強度面では不利な条件であったことを考慮すると、規格値をクリアできる製品の製造は十分に可能であると判断できる。

表5 コア供試体の圧縮強度

使用骨材および設計空隙率 (下層・上層)	圧縮強度 (N/mm ²)
5号砕石20%・8号砕石20%	17.3
8号砕石20%・5号砕石20%	18.5
6号砕石20%・7号砕石20%	18.2
7号砕石20%・6号砕石20% (再計算値：24.3%・16.1%)	17.6
6号砕石20%・9号砕石20%	20.5
9号砕石20%・6号砕石20%	20.7

4. まとめ

本実験の結果から、以下の知見が得られた。

- 1) 本実験のコンクリート供試体界面における付着は良好である。
- 2) 本実験におけるコンクリート製品の強度設計では、低強度側の圧縮強度の値を採用すれば良

く、上層容積置換率の影響を特に考慮する必要はない。

- 3) 本実験の製造条件を用いれば、コンクリートブロック製品が試作でき、実用化の可能性が見いだせた。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、勢和建设株式会社から型枠をご提供いただいた。付記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 前川明弘ほか：“コンクリートの透水性を制御する技術開発（第2報）”.三重県工業研究所研究報告 No.37, pp.28-32 (2013)
- 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) 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)
- 5) “ポーラスコンクリートの河川護岸工法の手引き”.財団法人先端建設技術センター, pp.20-23 (2001)
- 6) 中川武志ほか：“供試体の高さ/直径比がポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響”.日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第650号, pp.695-699, (2010)