

実施工におけるポーラスコンクリートスラブの品質管理に関する一考察
A Study of Quality Control of Porous Concrete Slab on Site

1. 材料施工 - 4. 特殊使用のコンクリート
ポーラスコンクリート 品質管理 実施工
コア供試体 円柱供試体 空隙率

正会員 ○森鼻 泰大*1 Hirotomo MORIHANA
正会員 中川 武志*2 Takeshi NAKAGAWA
正会員 三島 直生*3 Naoki MISHIMA
正会員 畑中 重光*4 Shigemitsu HATANAKA

1. はじめに

ポーラスコンクリート（以下、POC と略記）は普通コンクリートでは実現不可能であった優れた透水性などの機能を有しており、今日、世界的に危惧されている地球環境問題などに対処するうえで、重要な材料になると予想されている。

現在まで、多くの研究者が POC を研究・開発してきた結果、調合設計方法の他に、強度特性、透水特性、揚水特性および熱特性などの POC の諸特性が明らかになりつつある。また、実施工の範囲においても、POC の優れた透水性に着目し、POC を用いた透水性舗装あるいは排水性舗装などの施工例も比較的多く見られるようになってきた。写真-1 に、POC を用いた透水性舗装の施工例を示す。一般的に、POC 舗装は現場打ちと工場製品に分類され、その製造・施工指針（案）¹⁾が提案されている。しかし、POC の場合、普通コンクリートと同様に、打設の際に円柱型枠を使用した供試体を作製し、それを用いて施工された POC スラブの品質管理を行うことは、現段階では妥当性に欠けると言わざるをえない²⁾。

以上の内容を踏まえ、本報では、最初に、円柱型枠を使用した供試体（以下、円柱供試体と称する）および実際に施工された POC スラブからコア抜きを行った供試体（以下、コア供試体と称する）の相違について整理する。続いて、供試体の違いが POC の圧縮強度および透水係数に与える影響を検討する。

2. 円柱供試体とコア供試体の比較

2.1 特徴

POC の圧縮強度および空隙率を管理するための供試体としては、円柱供試体およびコア供試体の2種類がある。表-1 に、POC の円柱供試体とコア供試体の相違をまとめて示す。普通コンクリートの場合、トラックアジテータからフレッシュコンクリートを荷下ろしした際に、円柱型枠に試料を採取し、その円柱供試体を用いて施工

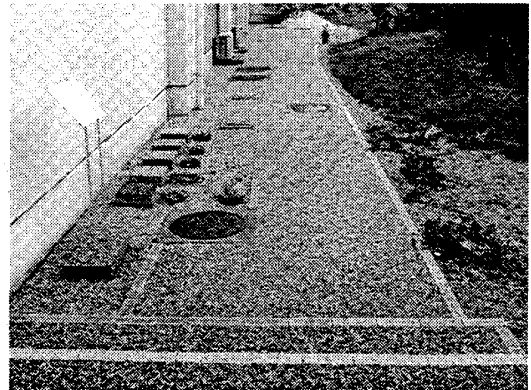


写真-1 POC を用いた透水性舗装の施工例

表-1 円柱供試体とコア供試体との相違

	円柱供試体	コア供試体
概念図		
壁効果	あり	なし
実際の締固めの再現性	不明	良好
型枠と骨材との間の摩擦力	あり	なし
供試体の形状 h/d	一定	様々
コア抜き作業	なし	あり
その他	スラブを傷つけない	スラブを傷つける

された構造物の品質管理を行うことが一般的である。しかし、POC スラブを施工する場合、普通コンクリートと同様の方法を用いて品質管理を行うことは現段階では妥当ではない。これは、骨材と型枠との接触面で骨材配列

*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 大学院生
*2 株式会社 川島工業 専務取締役 博士 (工学)
*3 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 准教授 博士 (工学)
*4 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 教授 工博

*1 Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.
*2 General Manager, KAWASHIMA Co. Ltd, Dr. Eng.
*3 Associ. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
*4 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

が乱され実積率が低下すること³⁾(以下、壁効果と称する)、実際に施工されたPOCスラブで行った締固めを円柱供試体で正確に再現することが非常に困難であること、および、締固めを行う際に型枠と骨材との間の摩擦力が発生することなどにより、供試体の充填状態が実際に施工されたPOCスラブと異なること、などのためである。

一方でコア供試体は壁効果などの影響はなく実際の空隙率を正確に把握できる反面、硬化後のコア抜き作業が必要であり、また採取したコアの高さが一定とならないなどの問題もある。また、実際に施工されたスラブからコア抜きを行うために、POCスラブの美観を損なうという問題もあるが、この点は、コア抜きを行った後に、新たにPOCを充填することにより、ある程度コア抜き前の状態を復元することが可能である。写真-2にコア抜きの様子を、写真-3に充填前後のコア抜きを行ったPOCスラブの様子を示す。

2.2 空隙率

図-1に、筆者らが実際に行った施工実験から得られた結果(同時投稿の論文)のうち、円柱供試体とコア供試体の空隙率の比較を示す。なお、円柱供試体は2層詰めとし、各層ごとに突き棒で15回突固めを行い作製した。POCスラブは写真-4に示すPOC仕上げ機により仕上げ(締固め)を行った。同図に示す振動締固めエネルギー⁴⁾は、POC仕上げ機の通過回数により変化させた。また、コア供試体は実際に施工されたスラブからφ93mmのコアを採取し、作製した。同図より、振動締固めエネルギーが増大することで、施工されたPOCスラブの空隙率(すなわち、コア供試体の空隙率)が減少していることがわかる。しかし、円柱供試体では、POCスラブの空隙率を必ずしも正確に再現できていない。

3. 壁効果が空隙率に与える影響

2章で取り扱ったように、円柱供試体とコア供試体とはいくつかの点で異なる。しかし、壁効果に関する研究以外ほとんど行われていないのが現状であり、ここでは壁効果が空隙率に与える影響についてのみ、既往の研究を整理する。表-2に、既往の研究により報告されている壁効果の影響を示す。同表より、両文献とも骨材粒径が大きくなるにつれ、壁効果による空隙率の増加量が大きくなる傾向がある。しかし、その絶対量は大きく異なっており、現段階ではその補正は困難である。なお、結合材の有無や、文献5)では、実際には壁効果があるJIS規定容器を用いた結果を壁効果なしとして検討していることに留意する必要がある。今後、壁効果の補正方法に関しては、理論モデル等を応用した検討が必要である。

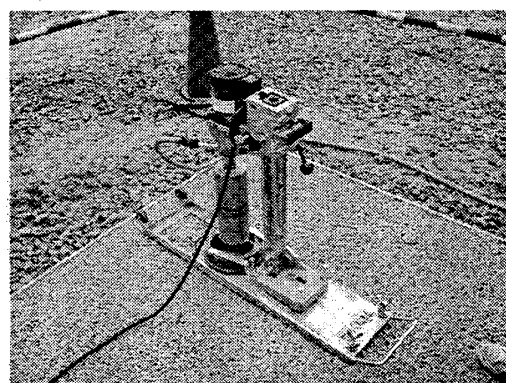
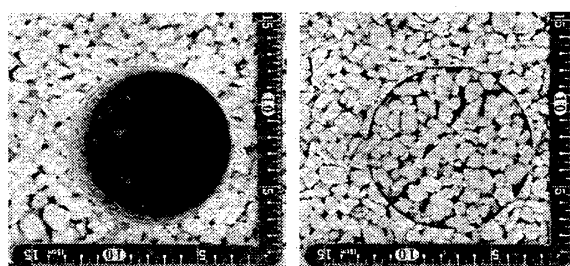


写真-2 コア抜きの様子



(a) 充填前 (b) 充填後
写真-3 充填前後のコア抜きを行ったPOCスラブ

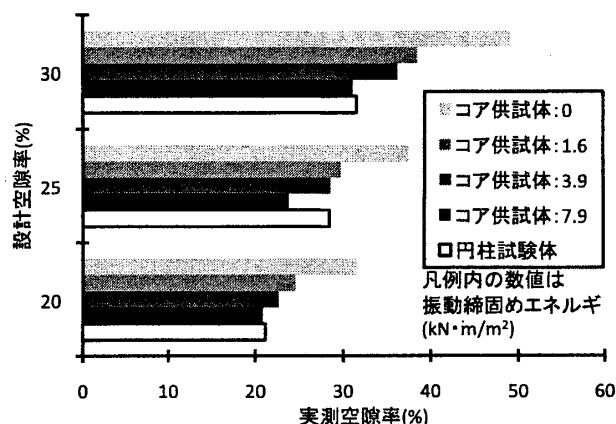


図-1 円柱供試体とコア供試体の空隙率の比較

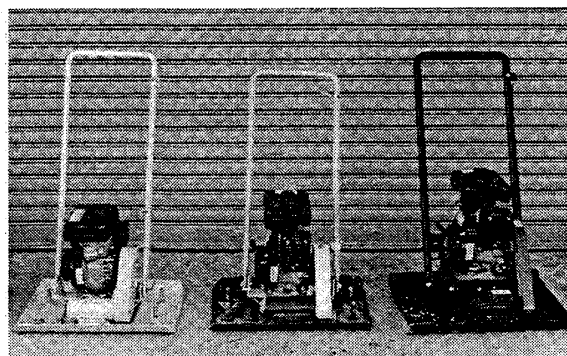


写真-4 POC仕上げ機

表-2 既往の研究により報告されている壁効果の影響

参考文献	結合材の有無	骨材粒径	設計空隙率	壁効果ありの空隙率	壁効果なしの空隙率	空隙率の増加量	備考
3)	あり	13~20mm	18.3%	28.5%	18.3%	10.2%	φ10×20cmの円柱供試体と直方供試体から採取したφ10×20cmのコア供試体を比較している。
		5~13mm	14.0%	21%	15%	6%	
5)	なし	13~20mm	/	48.0%	43.3%	4.7%	JIS規定容器の実積率を壁効果なしとし、φ10×20cmの容器を壁効果ありとしている。
		5~13mm	/	45.7%	43.4%	2.3%	
		2.5~5mm	/	46.1%	44.7%	1.4%	

表-3 円柱供試体とコア供試体を用いた既往の研究の各種条件

参考文献	供試体の種類	締固め方法 (振動締固めエネルギーの範囲)	実験場所	備考
6)	円柱供試体	表面振動機 (90 kN・m/m ²)	室内	骨材粒径および結合材強度が圧縮強度に与える影響を検討した論文
7)	円柱供試体	/	/	既往の研究を整理した論文
8)	コア供試体	仕上げ無し (-) コテ仕上げ (-) 振動機 (4.1 kN・m/m ²)	屋外	実施工を対象とした施工実験の論文

4. POCの品質管理方法の提案

4.1 品質管理に用いる供試体の種類

本報の2章および3章で検討したように、実際に施工されたPOCスラブの品質管理(おもに空隙率)を行う上で、円柱供試体を用いることは現段階では妥当ではないことがわかる。よって、施工されたPOCスラブからコア抜きを行い、それを使用し、品質管理を行うことが最も容易でありかつ正確であると考えられる。

4.2 コア供試体を用いた場合の諸特性

実際に施工されたPOCスラブの品質管理にはコア供試体を用いることが最善であるが、既往の研究では主に円柱供試体を用いて実験が行われてきた。そのため、現在までの知見がコア供試体に適用できるか検討する必要がある。そこで、ここでは円柱供試体を使用した既往の研究^{6)および7)}とコア供試体を使用した既往の研究⁸⁾を比較する。表-3に、両者の各種条件を示す。

(a) 圧縮強度

コア供試体は施工されたスラブからコア抜きを行うため、h/d=2.0になるとは限らない。このため、コア供試体を用いた場合、供試体の高さおよび直径比 h/d から圧縮強度補正係数⁹⁾を算出し、補正を行う必要がある。式(1)に、POCの圧縮強度補正係数の算出式⁹⁾を、図-2に、標準供試体に対する圧縮強度比と h/d 比の関係⁹⁾を示す。

図-3に、筆者らが実際に行った施工実験のうち、骨材粒径がコア供試体の空隙率と圧縮強度との関係に与える影響を示す。ただし、圧縮強度は式(1)を用いて h/d 補正を行っている。また、同図の近似曲線は円柱供試体を用いた既往の研究⁶⁾の曲線を示している。同図より、コア供試体の圧縮強度と空隙率との関係は、粒径の影響に関しては、スラブ施工例の締固めの程度が比較的弱いために、結合材の垂れの影響⁶⁾が少なく、粒径の影響が表れなかったと考えられる。また、既往の研究結果と異なり、骨材粒径に影響を受けないことがわかる。また、既往の研究の近似曲線より、比較的高い強度を示している。

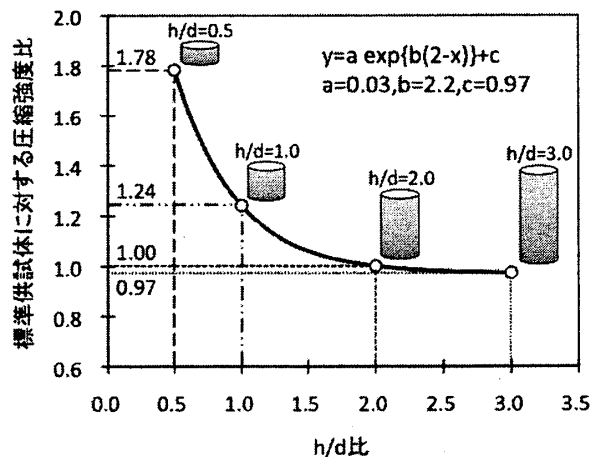


図-2 標準供試体に対する圧縮強度比と h/d 比の関係⁹⁾

$$n = 1 / [a \exp\{b(2-x)\} + c] \quad \text{式(1)}$$

ここに、n: 圧縮強度補正係数,

x: 供試体の h/d 比 (0.5 ≤ x ≤ 3.0)

a, b, c: 実験定数, a=0.03, b=2.2, c=0.97

用いた既往の研究⁶⁾の曲線を示している。同図より、コア供試体の圧縮強度と空隙率との関係は、粒径の影響に関しては、スラブ施工例の締固めの程度が比較的弱いために、結合材の垂れの影響⁶⁾が少なく、粒径の影響が表れなかったと考えられる。また、既往の研究結果と異なり、骨材粒径に影響を受けないことがわかる。また、既往の研究の近似曲線より、比較的高い強度を示している。

図-4に、筆者らが実際に行った施工実験のうち、結合材強度がコア供試体の空隙率と圧縮強度との関係に与える影響を示す。同図より、結合材強度が105~68N/mm²の範囲では、結合材強度が空隙率と圧縮強度との関係に与える影響は小さいことがわかる。また、図-3と同様、既往の研究の近似曲線より比較的高い強度を示している。

コア供試体と比較して、円柱供試体の圧縮強度が比較的低いのは、供試体断面の空隙分布が原因として考えられる。円柱供試体では壁効果の影響があるため、外周部に比較的大きな空隙が存在する。そのため、円柱供試体では、応力が中心部分に集中し、空隙分布が均一なコア供試体より同一空隙率において、低強度となったと推定される。

(b) 透水係数

図-5に円柱およびコア供試体の空隙率と透水係数との関係を示す。ただし、同図の円柱供試体の透水係数は既往の研究⁷⁾のデータ、コア供試体の透水係数は既報⁸⁾の結果を使用している。同図によると、ばらつきは大きいものの供試体の種類によらず、空隙率と透水係数との関係は概ね同程度であると考えることができる。

5. まとめ

本報では、実施工におけるPOCの品質管理方法について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 実施工におけるPOCの品質管理には、施工されたスラブからコア抜きを行った供試体を用いて行うことが妥当である。
- 2) コア供試体の空隙率と圧縮強度との関係は、既往の研究と同様に指数関数で近似できる。ただし、同一空隙率における圧縮強度はコア供試体の方が若干大きな値となった。
- 3) 円柱供試体とコア供試体との違いは、空隙率と透水係数との関係に明確に影響していない。

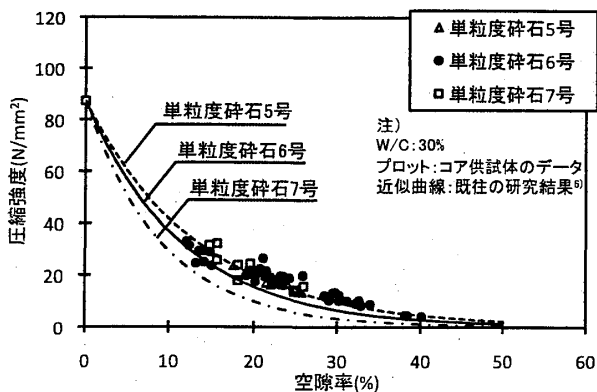


図-3 空隙率と圧縮強度との関係 (骨材粒径の影響)

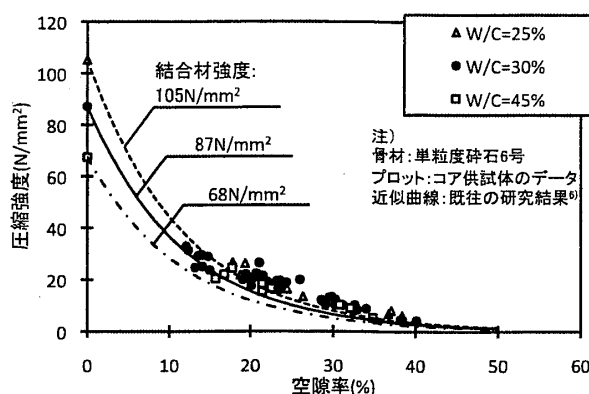


図-4 空隙率と圧縮強度との関係 (結合材強度の影響)

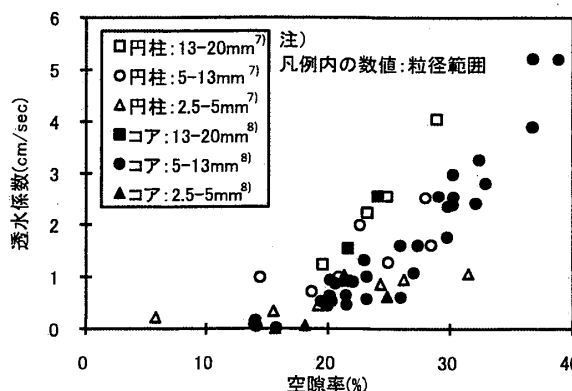


図-5 空隙率と透水係数との関係

【謝辞】

本研究の一部は、平成22年度日本学術振興会科学研究補助金・基礎研究(B)(代表者: 畑中重光)によった。付記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 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, (社)コンクリート工学協会, 2003.5
- 2) 中川武志, 畑中重光, 三島直生, 松村 豪: 住空間における意匠性に配慮した復層ポーラスコンクリート歩道の施工実験, コンクリート工学, Vol.46, No.12, pp.20-27, 2008.12
- 3) 越 健, 島崎 馨, 国枝 稔, 六郷恵哲: ポーラスコンクリートの空隙率と空隙率分布の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.1, pp.259-264, 1999
- 4) 超硬練りコンクリート研究委員会報告書, (社)コンクリート工学協会, pp.147-168, 1998.6
- 5) 大谷俊浩, 村上 聖, 佐藤嘉昭, 三井宜之, 平居孝之: ポーラスコンクリートの圧縮強度特性に及ぼす影響因子に関する研究—締固め程度および碎石粒径が結合材の分布状態と圧縮強度特性に及ぼす影響—, 日本建築学会構造系論文集, No.585, pp.31-37, 2004.11
- 6) 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粒径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
- 7) 石黒 哲, 湯浅幸久, 畑中重光: ポーラスコンクリートの物理的特性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, No.38, pp.73-76, 2000.2
- 8) 森鼻泰大, 中川武志, 三島直生, 畑中重光: 実施工における舗装用ポーラスコンクリートの諸特性に及ぼす締固め方法の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.817-818, 2009.8
- 9) 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