

ポラスコンクリートの空隙率の測定値に及ぼす各種要因の影響
Effect of Some Factors
on Measured Void Ratio of Porous Concrete

1. 材料施工-4. 特殊仕様のコンクリート
POC 実施工 各種要因
実測空隙率 品質管理

正会員 ○森鼻 泰大* MORIHANA Hiroto
正会員 中川 武志** NAKAGAWA Takeshi
正会員 三島 直生*** MISHIMA Naoki
正会員 畑中 重光**** HATANAKA Shigemitsu

1. はじめに

ポラスコンクリート（以下、POC）は、粗骨材と結合材（または少量の細骨材を含むモルタル）によって構成されるオコシ状のコンクリートである¹⁾。POCは、透水・排水性、通気性、吸音・吸着性、生物・植生許容性、軽量性、再生資源利用性等、環境面での機能に極めて期待が大きく、その適用範囲は多岐にわたるものである。以上のような特性を有する POC は環境共生型コンクリートとして、今後、環境負荷の少ない経済成長にとって有益な材料となると考える。

現在、多くの研究者により POC の各種の物理特性や適用先などが研究され、進歩を遂げている。しかし一方で、実施工における品質管理の研究はまだ始まったばかりである。そのため、POC の場合、品質管理の基準および項目等が未だに十分に検討されていない状態である。すなわち、実施工においては、職人の経験に頼る部分が多く、硬化した POC スラブからコア供試体を採取することにより、はじめてその性能を把握することができる。現状のままでは、POC スラブの性能を設計し、その性能を有するものを安定して施工することができない。そこで本研究では、POC の調査および施工に関する各種の要因が、実際の空隙率（以下、実測空隙率）に与える影響を把握することを目指す。

2. 実験方法

2.1 概説

今日、POC に関する研究では、供試体を作成する際に円柱型枠を使用したものが大半を占める。しかし、POC の場合、同じフレッシュコンクリートを使用したとしても、円柱型枠を使用した円柱供試体と実際に施工した POC スラブから採取したコア供試体とでは空隙率が異なることが多い。これは、壁効果の影響や振動機が異なることによる締固めエネルギーの違いが関係していると考えられる。そこで本実験では、実施工を対象として、

表1 使用材料の種類と特性値

種類	特性値
セメント	普通ポルトランドセメント、密度：3.15g/cm ³ 、 比表面積：3150cm ² /g
混和材	コンクリート用石灰石微粉末、密度：2.70 g/cm ³ 、 比表面積：4000cm ² /g
混和剤	高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）、 密度：1.05~1.09g/cm ³
骨材	単粒度砕石 6号（5~13mm：三重県佐奈山産）、 表乾密度：2.72g/cm ³ 、実積率：57.4%

表2 要因と水準

要因	水準
設計空隙率(%)	15、20、30
水セメント比(%)	25、30、45
目標フロー値(mm)*	180、210
スラブ厚さ(mm)	50、100、200
仕上げ方法	振動締固め、コテ仕上げ、軽盛り

註) ____：基準とする水準

*：通常は打設に最適な値²⁾である190とするが、フロー値の影響を見る場合のみ180、210とする

コア供試体を使用し、実際に施工された POC スラブにおける空隙率を対象として検討を行うこととした。

2.2 使用材料

使用した材料の種類と特性値を表1に示す。セメントには、普通ポルトランドセメントを使用した。また、水セメント比を大きくした調合においても、適切なフロー値²⁾が得られるように、コンクリート用石灰石微粉末を使用した。混和剤には、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した。また、粗骨材には、一般的に POC スラブに使用頻度の高い6号砕石とした。

2.3 要因と水準および測定方法

本実験の要因と水準を表2に示す。下線のある水準は

* 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・大学院
** 川島工業・専務取締役・博士（工学）
*** 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・助教・博士（工学）
**** 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・工博

Graduate Student, Div. of Arch. Graduate School of Eng. Mie Univ.
KAWASHIMA Industry. Senior Managing Director. Dr.Eng.
Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng. Mie Univ., Dr.Eng.
Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng. Mie Univ., Dr.Eng.

基本水準を示し、特定要因を変化させる際には他の要因は下線の基本水準に固定した。目標フロー値は、粗骨材の粒径範囲によって提案されている打設に最適なフロー値²⁾である 190 とした。

測定項目はコア供試体の空隙率とし、測定方法は空気室圧力法³⁾とした。ただし、同手法の中で、遠心脱水行程の代用として、1日間の気中乾燥を行った。

2.4 調合および練混ぜ

本実験に用いた POC の調合表を表 3 に示す。本実験は仕上げ方法の違いが実測空隙率に与える影響を直接比較し易いように、仕上げ方法に関係なく同様の調合とした。

練混ぜは、結合材ペーストの分散性の向上とその把握のため、ペースト先練り方式を採用した。ミキサは、あらかじめ十分に練混ぜが行えることを確認したうえで、一軸パン型ミキサを使用した。

2.5 型枠、仕上げ方法および養生方法

本実験で使用した型枠の概要を図 1 に示す。振動締固めはプレートランマ(写真 1)を使用して締固めるため、型枠の長さを軽盛りやコテ仕上げより長くし、安定して締固めを行える区間からコア供試体を採取した。型枠に打設後の POC を写真 2 に示す。

仕上げ方法は、振動締固め、コテ仕上げ、軽盛りの 3 種類とした。振動締固めは、2 層に分けて打設し、表面をコテで仕上げた後、プレートランマで 61kN・m/m² のエネルギー⁴⁾を与えて締固めた。コテ仕上げは、2 層に分けて打設し、各層を突固めた後、表面をコテでしっかりと押さえて仕上げを行った。軽盛りは、1 層で打設し、可能な限り締固めは行わないものとするが、表面は粗骨材の剥離を防ぐ目的で、軽くコテで押さえた。

養生は、コア抜きを行うまでの 14 日間は散水を行い、初期乾燥を防いだ。コア抜き後は供試体両端面を研磨し(写真 3)、水中養生を行った。また、材齢 28 日目に圧縮試験を行った。

3. 結果と考察

3.1 設計空隙率

6号砕石、水セメント比 30%、スラブ厚さ 100mm、における設計空隙率と実測空隙率の関係を図 2 に示す。同図から、条件によってばらつきはあるものの、振動締固めは設計空隙率から-2%程度、コテ仕上げは設計空隙率程度、軽盛りは設計空隙率から+8%程度であることがわかる。

表 3 調合表

粒径範囲	設計空隙率	W/C	W+SP	P	W+SP	SP*	G
	%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
6号	15	30	447	0	134	0.40	1559
	20	25	398	0	99	1.39	1559
	20	30	366	0	110	0.33	1559
	20	45	245	105	110	0.00	1558
	30	30	204	0	61	0.18	1559

註)*: SPは内割りとした。W:水, G:セメント, P:石灰石微粉末, G:粗骨材, SP:高性能 AE 減水剤

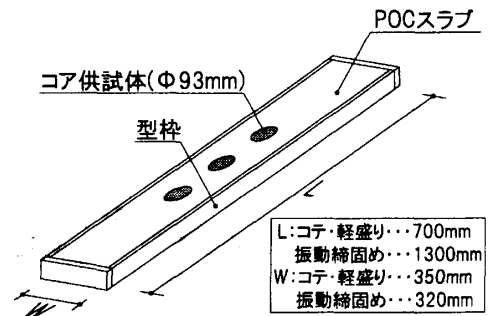


図 1 型枠の概要



写真 1 プレートランマ

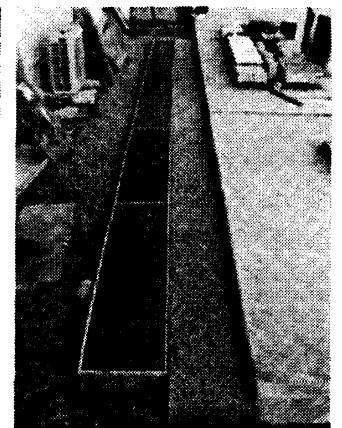
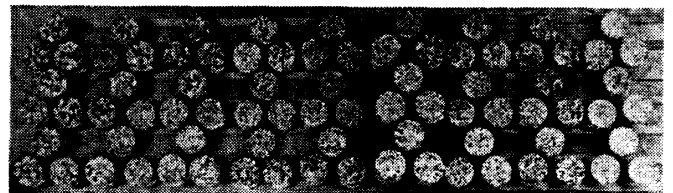
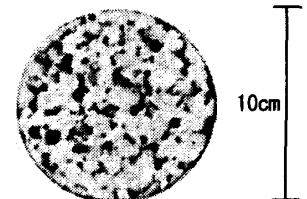
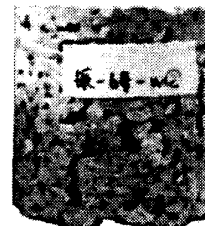


写真 2 打設後の POC



(a) 全体写真



(b) 拡大写真

写真 3 コア供試体

3.2 各仕上げ方法の標準偏差

設計空隙率 20%、6号砕石、水セメント比 30%、スラブ厚さ 100mm、における各仕上げ方法の実測空隙率の標準偏差を図3に示す。同図から、試験体数は少ないものの、振動締固めの標準偏差が最も小さくなっている。このことから、品質の安定化の面では振動締固めは有効であることがわかる。

3.3 水セメント比

設計空隙率 20%、6号砕石、スラブ厚さ 100mm、における水セメント比と実測空隙率の関係を図4に示す。同図から、水セメント比が 25% の場合に実測空隙率は他の水セメント比と比べて大きくなるが、水セメント比が 30~45% の範囲では仕上げ方法毎にほぼ一定となっている。これは、セメントペーストの粘着力が関係していると考えられる。一般的に、水セメント比が小さくなると、粘着力が増加⁹⁾することが知られているが、この粘着力が骨材を支える保持力となり、POCスラブの実測空隙率を増加させていると考えられる。骨材に働く保持力の概念図を図5に示す。

3.4 フロー値

設計空隙率 20%、6号砕石、水セメント比 30%、スラブ厚さ 100mm、におけるフロー値と実測空隙率の関係を図6に示す。同図から、本実験の範囲では、振動締固めおよびコテ仕上げにおいて、フロー値が実測空隙率に及ぼす影響は明確に表れなかった。

3.5 供試体の高さ

設計空隙率 20%、6号砕石、水セメント比 30%、におけるスラブ厚さ（供試体高さ）と実測空隙率の関係を図7に示す。同図から、スラブ厚さが 50mm では仕上げ方法が実測空隙率に大きく影響することはないことがわかる。これは、使用骨材の粒径に対するスラブ厚さが小さいことから、打設し、所定の厚さに均した時点で骨材のインターロックが生じるため、締固めによる容積変化および空隙率変化が少ないことが原因と考えられる。次にスラブ厚さが 100mm となると、仕上げ方法の違いが実測空隙率に大きく影響することがわかる。しかし、スラブ厚さが 200mm になると、振動締固めとコテ仕上げはほぼ同じ実測空隙率となる。これは、振動締固めが表層付近しか締固めることができない⁶⁾ため、全体を平均化して求める空隙率ではその影響が小さくなっていることが考えられる。そのほか、軽盛りおよびコテ仕上げの実測空隙率が小さくなっているのは、スラブが厚くなるこ

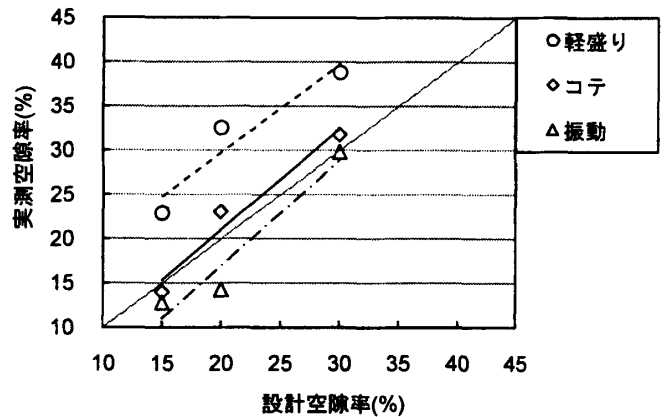


図2 設計空隙率と実測空隙率の関係

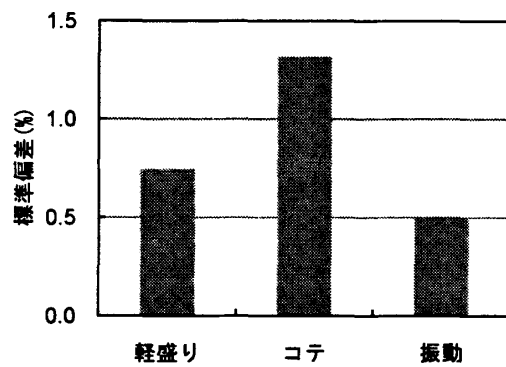


図3 各仕上げ方法の標準偏差

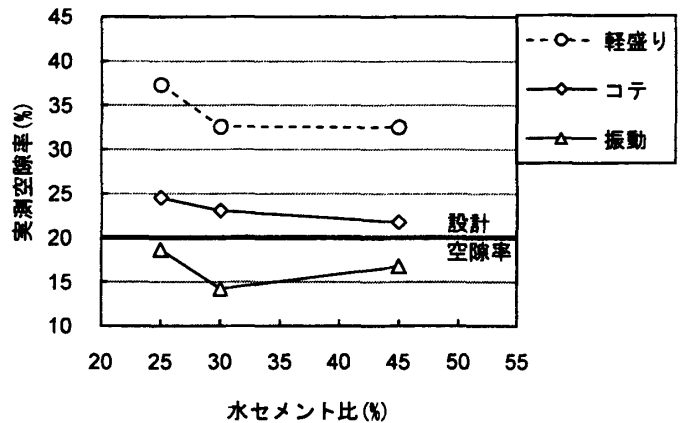


図4 水セメント比と実測空隙率の関係

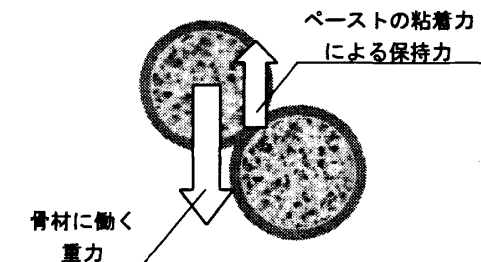


図5 骨材に働く保持力

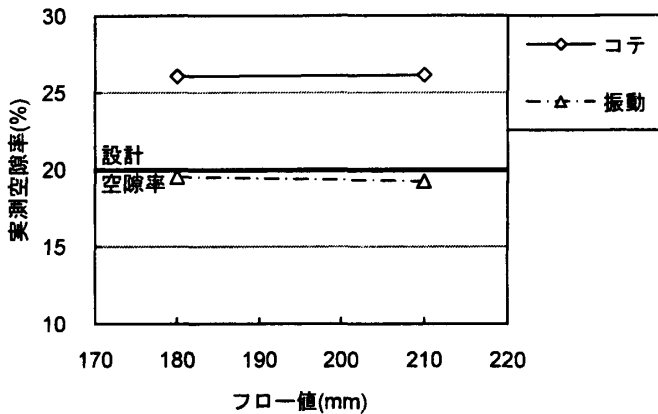


図6 フロー値と実測空隙率の関係

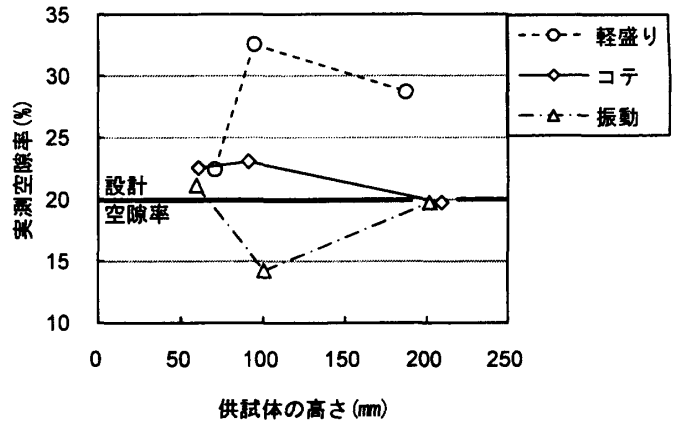


図7 供試体高さの実測空隙率の関係

とにより、自重が増え、自重圧密による締固め効果が発生したことも考えられる。以上の内容をまとめ、図8に示す。

4. まとめ

本実験から得られた知見を以下に列挙する。

- 1) 6号砕石、水セメント比30%、スラブ厚さ100mm、において、振動締固めの実測空隙率は設計空隙率より、2%程度小さくなる。コテ仕上げは設計空隙率程度、軽盛りは設計空隙率より8%程度大きくなる。
- 2) 実測空隙率の標準偏差の分析結果から、実施工においても、振動締固めは品質の安定化の面では有効であると言える。
- 3) 仕上げ方法に関係なく、水セメント比が25~30%の間で、実測空隙率は減少し、それ以上の水セメント比ではほぼ一定となる。
- 4) フロー値が180~210の範囲では、仕上げ方法に関係なく、フロー値は実測空隙率に影響しない。
- 5) スラブ厚さが50mmの場合、仕上げ方法が実測空隙率に与える影響は小さく、軽盛りの状態でインターロックされている。100mmの場合、仕上げ方法の影響が実測空隙率に大きく影響する。200mmの場合、振動締固めとコテ仕上げはほぼ同じ実測空隙率を示す。

5. 今後の課題

本実験はPOCの実施工における品質管理を目的とし、基礎データを収集した。締固めは、POCの品質管理および施工管理における重要項目の一つであり、調合、骨材、およびスラブ厚さ等の条件と締固めの条件が相互に複雑に関係することを認識し、今後、品質を保証できる調合や仕上げ方法を提案する必要があると考える。

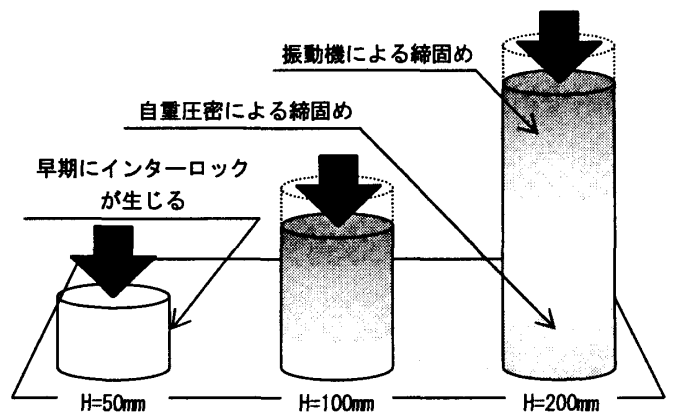


図8 スラブ厚さによる締固め効果の違い

[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・基礎研究(B)(代表者：畑中重光)によった。付記して謝意を表します。

[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：社団法人日本コンクリート工学協会、2003
- 2) 湯浅幸久、畑中重光、前川明弘、三島直生、宮本高秀：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、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、日本コンクリート工学協会、2002
- 3) 中川武志、畑中重光、三島直生、湯浅幸久、前川明弘：空気室圧力法を応用したポーラスコンクリートの空隙率測定方法、日本建築学会構造系論文集、No.629、pp.1043-1050、2008
- 4) 超硬練り研究委員会報告書：日本コンクリート工学協会、pp.155-162、1998.6
- 5) 岡田清、六車照：コンクリート工学ハンドブック、pp.257
- 6) 湯浅幸久、畑中重光、三島直生、前川明弘、宮本高秀：ポーラスコンクリートの振動締固めに関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、No.552、pp.37-44、2002