

6号砕石を有するポーラスコンクリートの空隙率試験方法についての一考察(その1)

A Study on Void Ratio Testing Methods of No.6 Crushed Aggregate Porous Concrete (No.1)

締固め	円柱試験体	結合材	同	高橋 美羽*	Miu TAKAHASHI	同	千原 隼人*	Hayato CIHARA
平均値	標準偏差		正会員	山本 貴正**	Takamasa YAMAMOTO			

会員外 ○松元 小夏* Konatsu MATSUMOTO 同 鈴木 啓太* Keita SUZUKI

1. はじめに

1.1 本研究の目的・背景

ポーラスコンクリート(以下、POC)の植生、透水性、耐久性などの主な支配的要因となる空隙率は、通常、JCI-SP02-1「POCの空隙率試験方法(案)」の容積法に準拠して測定される。しかし、容積法で測定する空隙率(以下、容積法空隙率)は、測定過程において、水中質量測定時に、試験体内の空気が抜けきれないことによる人為的誤差、また水中質量測定直後から恒温恒湿の環境下で24時間放置した後の気中質量測定時に、空隙中の水が抜けきれないことによる偶然誤差が生じやすいと考えられるが、これについては参照できる先行研究が少なく、実験的に検討すべき事項は多い。

以上のような背景のもと、本報(その1)では、既報¹⁾に引き続き使用頻度の高い6号砕石を用いたPOCの容積法空隙率の測定過程に起因する標準偏差、また締固めによる空隙率の減少について検討している。以下、明記しない限り、統計学的な推定・検定の有意水準は5%とする。

1.2 本報における造語の定義

本報中で用いる主な造語を次のように定義する。

- ・ 結合材被覆骨材：骨材を被覆している結合材
- ・ 減少空隙体積率：試験体の締固めで減少した空隙の体積率
- ・ 骨材容積率：粗骨材の容積率
- ・ 締固め抵抗率：締固め前空隙率に対する容積法空隙率
- ・ 締固め前空隙率：振動締固めを施していない試験体の容積法空隙率の推定値
- ・ 振動締固め：表面振動機によるのバイブレーションタンパ(起振力1.23kN)による締固め
- ・ 振動締固め時間：振動締固めを施した時間
- ・ 調合空隙率：式(1)を満たす空隙率の調合値
- ・ 詰込み抵抗率：調合空隙率に対する締固め前空隙率

- ・ 容積法気中質量：水中質量測定直後から恒温恒湿の環境下で24時間放置した後の気中質量
- ・ 容積法空隙率：JCI-SP02-1の容積法に準拠して測定した全空隙率
- ・ POC：ポーラスコンクリート

2. 関連する既報の研究

2.1 骨材容積率

混練時のPOCは、例えば²⁾、図-1(a)に示すように、調合空隙率が高いほど、結合材被覆骨材の膜厚が減り、隣り合う骨材間の距離が短くなり、骨材容積率は高くなる。また図-1(b)に示すように、結合材の流動性が高いほど、結合材被覆骨材の接触面積が増え、かつ流動する

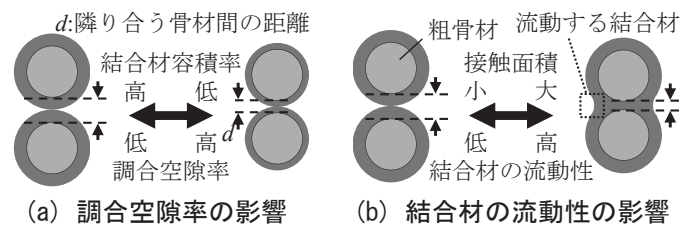


図-1 骨材容積率に及ぼす要因(混練時) 例え、²⁾

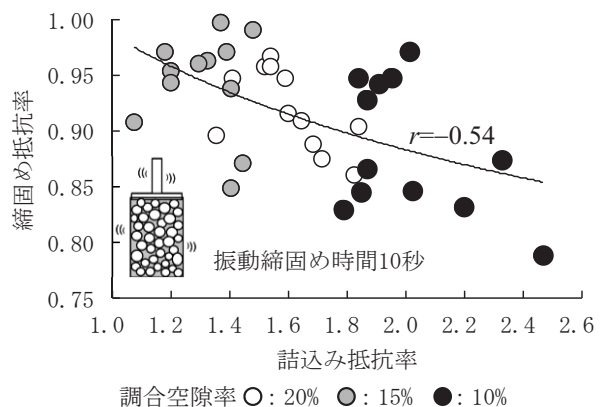


図-2 縮固め抵抗率と詰込み抵抗率の関係³⁾

* 愛知工業大学工学部建築学科 学部生

** 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

Undergraduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng

結合材付近の気相が減るため、骨材容積率は高くなり、空隙率が低くなる。

2.2 締固め抵抗率と詰込み抵抗率の関係

POC の締固め抵抗率と詰込み抵抗率は、図-2 に示す結果を得ている³⁾。振動締固め時間は 10 秒である。図中の印は、調査空隙率を、実線は、最小二乗法により算出した累乗近似線である。母相関係数の区間推定値は-0.73~0.25 であり、自然対数の締固め抵抗率と詰込み抵抗率は、負の相関が認められる。なお、同図に示すように、設計空隙率 10%の詰込み抵抗率が他と比較して高いのは、結合材の容積率の調合値が高いため、ミキサ内面、ハンドスcoop表面に、結合材が付着しやすいことが起因していると考えられる。

2.3 調合空隙率

容積法空隙率の標準偏差と標本平均の関係については、図-3 に示すような結果を得ている³⁾。図中の印は標本標準偏差、縦線は標準偏差の信頼区間である。なお、ここでは、調合で混練した POC の結合材を同一にするため、既報⁴⁾と同一の工程で、結合材であるセメントペーストのみ、次に骨材を計画した調合空隙率の昇順に、ミキサ内に投入して POC をその都度混練している。

同図より、調合空隙率 20%の円柱試験体に、比較的大幅が大きい標準偏差の信頼区間が存在していることが見受けられる。ここでは、容積法による空隙率の計測において、水中質量測定時の人為的誤差および容積法気中質量測定時の偶然誤差が顕著に表れた可能性がある。このことから、ひとつの試験体の容積法による空隙率の標準偏差は、その平均値が高いほど、大きくなりやすい可能性があると考えている。

3. 実験について

3.1 検討項目

実験を通じて、POC の締固め前空隙率、また容積法空隙率の標準偏差、吸引法の最低吸引力について主に検討している。実験要因は、バイブレーションタンパによる

振動締固めを施した時間(以下、締固め時間)である。締固め時間は、0 秒(なし)、5 秒、10 秒および 15 秒とした。

3.2 使用材料・調合

POC の結合材の水は水道水、セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)を使用した。混和剤は使用していない。骨材は瀬戸産の 6 号砕石(表乾密度 2.71g/cm³, 吸水率 0.52%, JIS 容器実積率 57.7%)とした。調合設計は、式(1)を満たすようにした。

$$1.0 = P_* + V_{G*} + V_{B*} \quad (1)$$

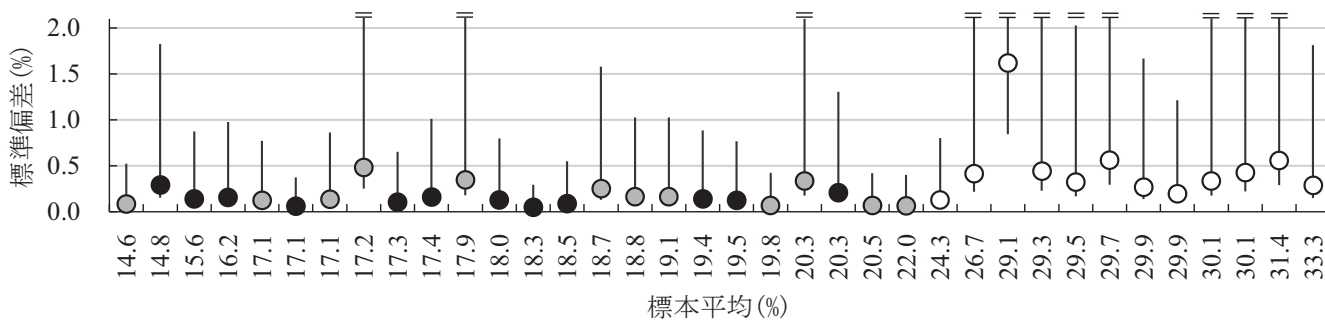
ここに P_* : 調査空隙率 V_{G*} , V_{B*} : 骨材および結合材の容積率の調合値

骨材の容積率の調合値は JIS A 1104:2019「骨材の単位容積質量及び実積率試験方法」に準拠して測定した実積率としている。結合材の容積率の調合値は空気量ゼロとしている。調査空隙率は 20%, 結合材の水セメント比は 35%とした。なお、JIS R 5201:2015「セメントの物理試験方法」に準拠して測定したゼロ打フロー値と 15 打フロー値の実測値は、それぞれ 128mm および 206mm である。

3.3 試験体作製

試料の練混ぜ方法は、計画した調合空隙率に対し、まず、結合材であるセメントペーストを先練りし、続いて骨材をミキサ内に投入して POC を混練した。混練は、容量 100l の二軸強制練ミキサを使用している。

混練した POC を標準的な公称内径 100mm・公称高 200mm の鋼製型枠に棒突き回数を 2 層 30 回突きで詰め込み⁴⁾、次に、型枠の上面を揃うようにならした。その後、バイブレーションタンパ(起振力 1.23kN)による表面振動締固めを計画した各時間に対して手動で施した。材齢 1 日までは恒温恒湿室内での封緘養生、材齢 1 日後は水中養生をした。同一条件試験体数は、振動締固め時間なし、5 秒および 10 秒はそれぞれ 3、15 秒については 4 である。



円印：標本標準偏差(調査空隙率：● 10% ● 15% ○ 20%) 縦線：標準偏差の信頼区間

図-3 円柱試験体の容積法空隙率¹⁾

3.4 試験方法

POCの容積法空隙率試験をJCI-SP02-1に準拠して、材齢1週間経過毎に計3回実施した。図-4に示す試験体の水中養生から恒温恒湿室で24時間放置した後の気中質量測定まで、通常は1サイクルであるが、水中質量を測定する直前の試験体内の空気溜まりができないように、空気を充分に取り除く作業における人為的誤差、また水中質量測定後に恒温恒湿室にて試験体を表乾状態にする過程における偶然誤差を検討するため、本実験においては3サイクル実施している。

4. 実験結果・考察

4.1 容積法空隙率試験

(a) 締固め前空隙率

表-1に、締固め前空隙率の統計量を示す。締固め前空隙率は、次式で算出している。

$$P_e = 1.0 - \frac{M_1 - M_2}{v} \quad (2)$$

ここに、 P_e ：締固め前空隙率、 M_1 ：24時間以上水中養生した試験体の水中質量、 M_2 ：容積法気中質量、 v ：型枠の容積

試験体の調合空隙率は20%であるが、同表に示すように、打設時空隙率の平均値の信頼区間は31.4~35.8%である。これら調合空隙率との差は、結合材の流動性が比較

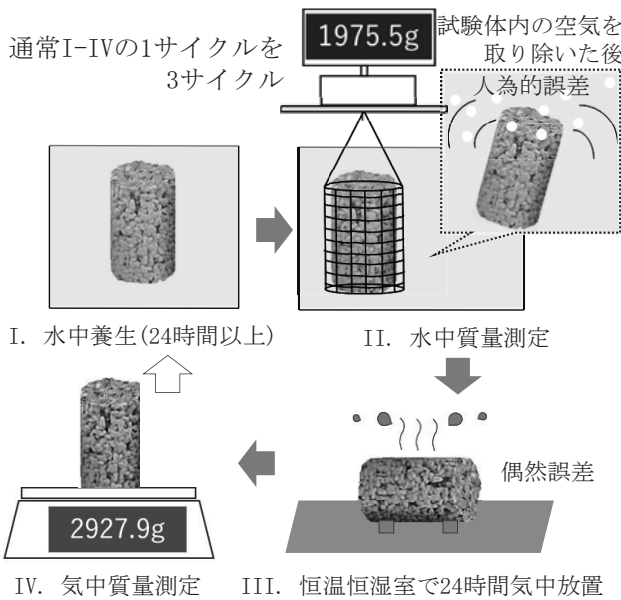


図-4 容積法空隙率試験の概略

表-1 締固め前空隙率(サンプル数13)

標本平均	最大値	最小値	s	μ の信頼区間	σ の信頼区間
33.6	38.6	25.6	3.64	31.4~35.8	2.61~6.01

s：標本標準偏差 μ ：平均値 σ ：標準偏差 接頭辞(%)

的小さいため、骨材を被覆している結合材の膜厚が大きく、隣り合う骨材間の距離が長くなること(前掲2.1参照)による打設時の粗骨材容積率の誤差が起因していると考えられる²⁾。

(b) 締固め時間

図-5に、試験体の減少空隙体積率と締固め前空隙率の関係に及ぼす締固め時間の影響を示す。図中の実線は、最小二乗法により算出した各締固め時間の線形近似直線を表している。

同図より、各締固め時間の群ともに、締固め前空隙率が大きいほど、減少空隙体積率が大きくなることが見受けられる。同一条件試験体数が少ないため断定はできないが、これは前述2.1節の骨材を被覆している結合材の膜厚と粗骨材の容積率が起因していると考えられる¹⁾。

(c) 容積法空隙率試験の測定値の標準偏差

図-6に、試験体の容積法空隙率の標準偏差と標本平均の関係に及ぼす締固め時間の影響を示す。図中の円印は標本標準偏差を、縦線は標準偏差の信頼区間を表している。

同図より、容積法空隙率の各標準偏差と標本平均は、締固め時間の影響を受けず関係はないことが見受けられる。なお、同図と前掲図-3を比較すると、調合空隙率20%の円柱試験体のような比較的幅が大きい標準偏差の

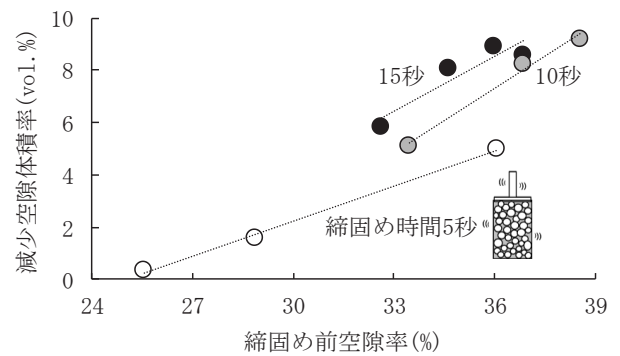


図-5 減少空隙体積率と締固め前空隙率の関係

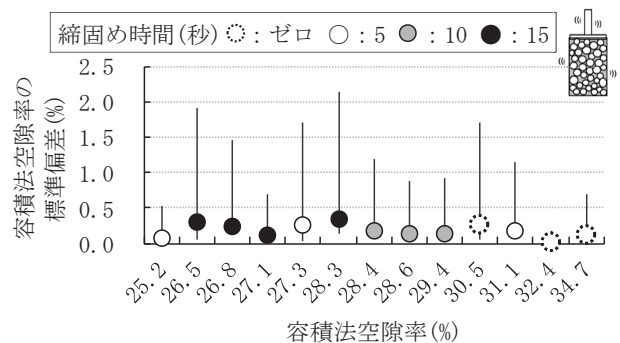


図-6 容積法空隙率の標準偏差と標本平均の関係

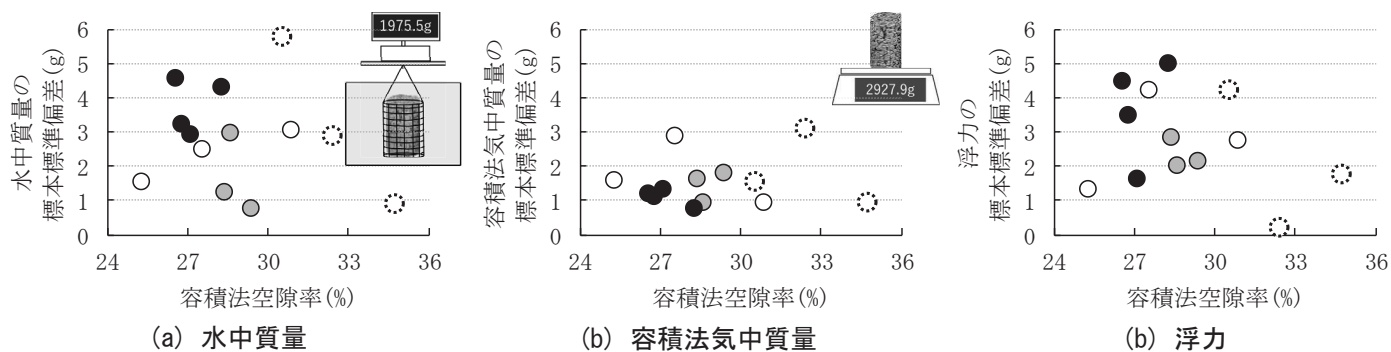


図-7 容積法空隙率試験の各測定値の標本標準偏差と容積法空隙率の関係(印：前掲図-6と同じ)

信頼区間が存在していることは見受けられない。

同図縦軸の容積法空隙率を水中質量、恒温恒湿室にて24時間気中放置した後の気中質量(以下、容積法気中質量)および浮力に置換した図-7(a)~(c)より、各標本標準偏差と容積法空隙率の標本平均は、締固め時間の影響を受けず関係はないことが見受けられる。このことから、締固めで空隙の大きさが小さくなることは、容積法空隙率試験での測定誤差と関係はないと考えられる。なお、水中質量の標本標準偏差は、容積法気中質量のそれと比較して、高い値を示す試験体が見受けられ、この試験体は図-6の標準偏差の推定値の区間が比較的広い。これらのことから、容積法空隙率の標準偏差は、水中質量測定時の人為的過失が影響する可能性があるとして推測される。

5. おわりに

既報¹⁾に引き続き使用頻度の高い6号砕石を用いたPOCの容積法空隙率の測定過程に起因する標準偏差、また締固めによる空隙率の減少について検討した。本報で得られた知見を、次のように整理する。

- 1) 調合空隙率20%の試験体は、締固め前空隙率の平均値の信頼区間が31.4~35.8%となる結果が得られた。これら調合空隙率との差は、結合材の流動性が比較的小さいため、骨材を被覆している結合材の膜厚が大きく、隣り合う骨材間の距離が長くなることによる打設時の粗骨材容積率の誤差が起因していると考えられる²⁾。
- 2) 各締固め時間の群ともに、締固め前空隙率が大きいほど、減少空隙体積率が大きくなることが見受けられる。同一条件試験体数が少ないため断定はできないが、これは骨材を被覆している結合材の膜厚と粗骨材の容積率が起因していると考えられる¹⁾。
- 3) 容積法空隙率の標準偏差は、水中質量測定時の人為的過失が影響する可能性があるとして推測される。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤C, 研究課題

番号21K04343)の助成による。

参考文献

- 1) 山本貴正, 平岩陸: 6号砕石を用いたポーラスコンクリートの空隙率・圧縮強度試験方法についての一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 43, No. 1, pp. 1025-1030, 2021
- 2) 山本貴正, 山田将也, 河野伊知郎, 小池狭千朗: 締固めの影響を考慮したポーラスコンクリートの空隙率に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, pp. 1475-1480, 2011
- 3) 石田エミ, 鈴木美里, 山本貴正: アンボンドキャッピングが6号砕石コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第59号, pp. 61-64, 2021. 1
- 4) 山本貴正, 大畑卓也, 河野伊知郎: 6号砕石を有するポーラスコンクリートの静弾性係数・圧縮強度と粗骨材の容積率の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol. 42, No. 1, pp. 251-255, 2020