

実施工におけるポーラスコンクリートスラブの締固めに関する基礎的研究
Fundamental Study on Compaction 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 舗装 実施工
振動締固めエネルギー 空隙率 コア供試体

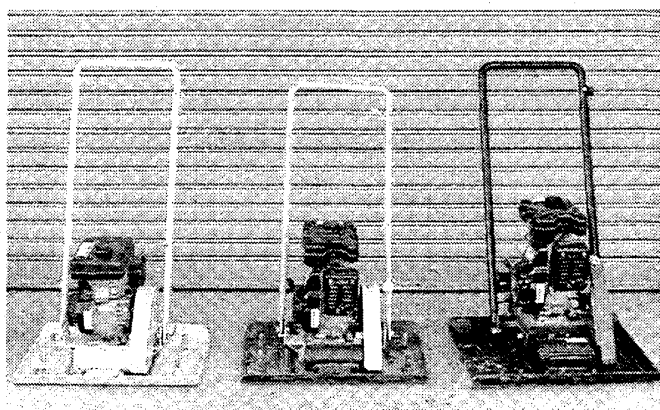
正会員 ○河合 純*¹ Jun KAWAI
正会員 森鼻 泰大*² Hiroto MORIHANA
正会員 中川 武志*³ Takeshi NAKAGAWA
正会員 三島 直生*⁴ Naoki MISHIMA
正会員 畑中 重光*⁵ Shigemitsu HATANAKA

1. はじめに

ポーラスコンクリート（以下、POCと略記）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内部に連続空隙を有するコンクリートである。POCは、透水・排水性、通気性、吸音性、吸着性、生物・植物許容性、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。

前報¹⁾では、実施工を対象とし、POCの敷均しおよび仕上げ方法が空隙率に与える影響を検討した。その結果、POCの空隙率制御にはPOC仕上げ機（POCスラブの締固めを目的とし、前報¹⁾で考案・試作した施工機械）の通過回数を変更することが有効であること、重量変更は有効でないことなどが明らかとなった。また、その後の検討の結果、振動締固めエネルギーと空隙率との間に比較的高い相関があることなどが明らかとなった²⁾。

以上の内容を踏まえ、本報では、振動締固めエネルギーと空隙率との関係を明らかにするためにPOC仕上げ機の種類および通過回数を要因として実験を行ったので、その内容について報告する。



(a)M1: 起振力小 (b)M2: 起振力中 (c)M3: 起振力大
写真-1 POC仕上げ機

2. 実験概要

本実験では、前報¹⁾のPOC仕上げ機に加えて、新たに2種類のPOC仕上げ機を製作し、POC仕上げ機の性能がPOCスラブの諸性能に与える影響を比較検討する。

2.1 POC仕上げ機の諸元

表-1に本実験で使用するPOC仕上げ機の諸元を、写真-1にその形状を示す。なお、表-1中の振動締固めエネルギーは、谷本の式を表面振動機に適用した修正式³⁾である式(1)により、振幅は理論式である式(2)により算出した。

$$E = 2a(W + F/2)n \cdot t \cdot 1/S \quad (1)$$

$$a = \frac{F/m}{\omega^2} = \frac{F/m}{(2\pi n)^2} \quad (2)$$

ここに、 E : 振動締固めエネルギー ($N \cdot m/m^2$)、 a : 振幅 (m)、 n : 振動数 (Hz)、 W : 振動機の重量 (N)、 S : 加圧面積 (m^2)、 F : 起振力 (N)、 t : 締固め時間 (s)、 m : 振動機の質量 (kg)、 ω : 角振動数 (rad/s)

表-1 本実験に使用するPOC仕上げ機の諸元

	M1	M2	M3
重量 (kg) * ¹	46.2	43.0	61.0
転圧盤面積 (m^2) * ¹	0.15	0.17	0.18
起振力 (kN) * ²	2.8	4.9	7.0
振動数 (Hz) * ²	91.7	91.7	106.0
振幅 (mm) * ³	0.18	0.34	0.26
1秒あたりの振動締固めエネルギー ($N \cdot m/m^2$) * ³	411	1096	1281

[注] ※1: カタログ値 ※2: 実測値 ※3: 計算値

本実験では、前報¹⁾のPOC仕上げ機（本実験では、M2と称する）に加えて、新たに2種類のPOC仕上げ機（本実験では、M1およびM3と称する）を作製したが、その際、実施工での施工性および、実用性を考慮し、重量が60kg以下のプレートコンパクタ（POC仕上げ機に

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

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

表-2 要因と水準

要因	水準
設計空隙率 (%)	20, 25, 30
POC 仕上げ機	M1: 起振力小 M2: 起振力中 M3: 起振力大
仕上げ機の通過回数 (回)	0, 1, 2, 4

[注] ・水セメント比 : 45%
・下線 : 基本水準

表-3 使用材料の種類と特性値

材料	種類と特性値
水	水道水
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
粗骨材	単粒度碎石 6号 (5-13mm) 三重県伊賀市真泥字東山産 表乾密度: 2.696g/cm ³ JIS A 1104 による実積率: 58.6%, 軽盛り実積率: 52.1%

表-4 調合表

設計空隙率 (%)	W/C (%)	W (kg)	C (kg)	G (kg)
20	45	125	279	1573
25	45	96	214	1573
30	45	67	149	1573

改造する前の機械) を選択し, 改造を行った。

2.2 要因と水準および使用材料の特性値

表-2 に本実験の要因と水準を, 表-3 に本実験で使用する使用材料の種類と特性値を示す。設計空隙率を3水準とし, POC 仕上げ機を変更することで起振力を変化させた。通過回数とは, POC 仕上げ機が打設した POC 上を通過する回数の中で, 仕上げ機の種類によって1回の通過に約1.8~3.0秒を要する。また通過回数0回とは仕上げを行わない, 即ち敷き均したままの状態を指す。なお, 使用材料は前報と同様にした。

2.3 調合および練混ぜ

表-4 に本実験で使用した調合表を示す。W/C は45%で一定とし, セメントペースト容積を変化させることで設計空隙率を変化させた。なお, 調合表を作成する際は JIS A 1104 に基づき算出した実積率を使用している。

練混ぜは, バックホーおよび鋼製容器 (2.4×1.6×0.9 m) を用いて行った。練混ぜ手順は, 最初に所定の骨材量を, 次いで所定のセメント量を計量し, 鋼製容器内で

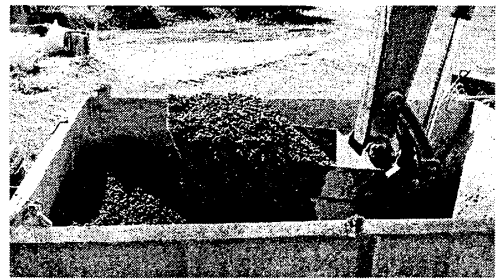


写真-2 バックホーを用いた POC の練混ぜ



写真-3 敷均し機を用いた POC の敷均し



写真-4 仕上げ機を用いた POC の仕上げ

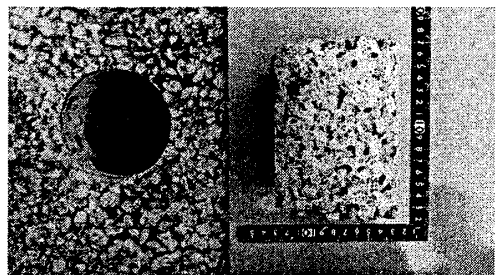


写真-5 コア抜き後の POC スラブとコア供試体

バックホーを用いてから練りを行った。充分に骨材とセメントが混合されたことを確認した後に, 所定の量の水を数回に分けて投入し, 本練りを行った。写真-2 に練混ぜの際の様子を示す。

2.4 敷均しおよび仕上げ

POC の敷均しは前報¹⁾ で考案・試作した POC 敷均し機 (写真-3, 敷均し幅: 2.0m) を用いて行った。POC の仕上げは本報の 2.2 で説明を行った3種類の POC 仕上げ機を用いて, 敷均し方向とは垂直方向に各水準の仕上げを行った。写真-4 に POC の仕上げ時の様子を示す。

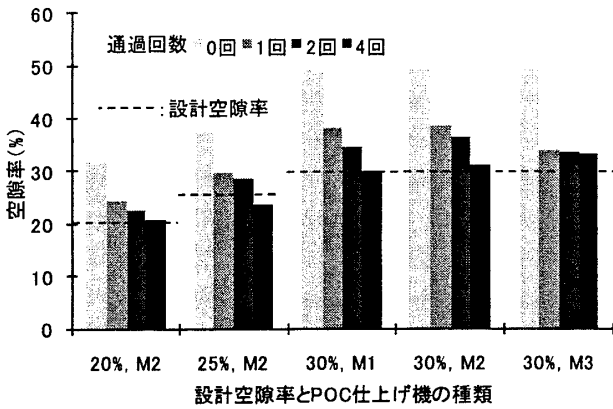


図 - 1 通過回数が空隙率に与える影響

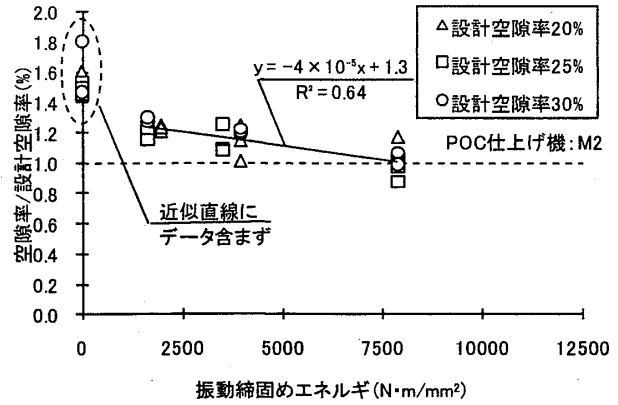


図 - 3 空隙率/設計空隙率と振動締めエネルギーとの関係(設計空隙率の影響)

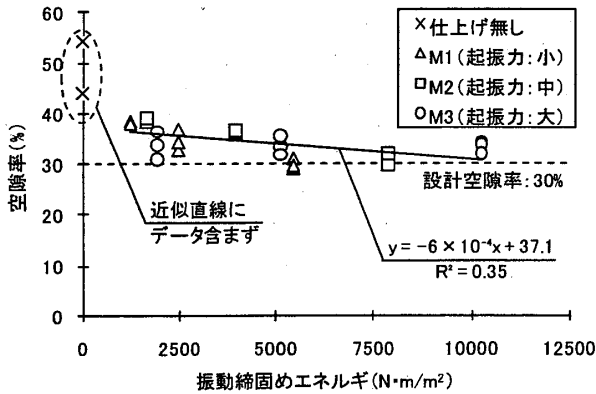


図 - 2 空隙率と振動締めエネルギーとの関係 (POC 仕上げ機の起振力の影響)

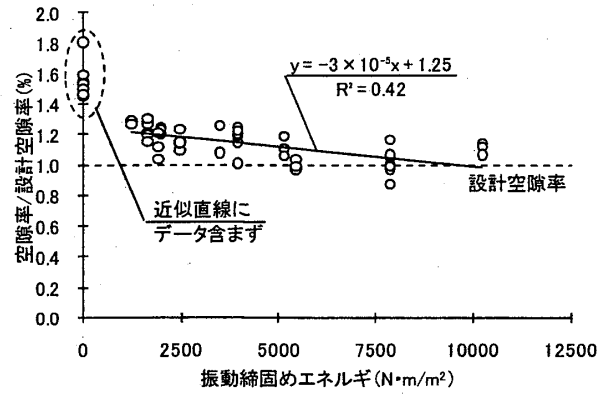


図 - 4 空隙率/設計空隙率と振動締めエネルギーとの関係

2.5 養生および供試体の作製

打設後、14日間は屋外シート養生とした。ただし、毎日散水を行い、常に湿潤状態を維持した。打設後、15日目にPOCスラブからφ93.1mmのコア抜きを行い、両端面を研磨し、供試体を作製した(写真-5、以下、この供試体をコア供試体と称する)。その後27日目まで水中養生し、28日目に行った圧縮試験まで気中養生とした。

2.6 空隙率、透水係数および圧縮強度の測定方法

供試体の脱水後、空気室圧力法を応用したPOCの空隙率測定方法⁴⁾を用いて空隙率試験を行い、その後JCI SPO3 1 ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)⁵⁾により透水試験を行った。また、打設後27日目に供試体の両端面に硫黄キャッピングを行い、28日目に圧縮試験を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 空隙率

図-1に、空隙率の測定結果を示す。ただし、この章以降における空隙率とは施工されたPOCスラブの実測

空隙率を意味する。同図より、設計空隙率30%のM3(起振力大)以外は、一回目の通過時に、数均し後の空隙率と設計空隙率の差分の60%ほど締め固まり、その後2、4回と通過することにより、徐々に締め固めが進行する。また空隙率30%のM3については、一回通過の時点で骨材がインターロックしており、それ以降は締め固まらなかったとみられる。

図-2に、設計空隙率30%における空隙率と振動締めエネルギーとの関係に及ぼすPOC仕上げ機の起振力の影響を示す。同図より、POC仕上げ機の起振力は、空隙率と振動締めエネルギーとの関係に明確に影響していないことがわかる。

次に、図-3にPOC仕上げ機M2を使用した場合における、実測空隙率/設計空隙率と振動締めエネルギーとの関係に及ぼす設計空隙率の影響を示す。同図より、設計空隙率に関係なく、実測空隙率/設計空隙率と振動締めエネルギーとは比較的高い相関があることがわかる。

以上より、図-2、3をまとめた結果を図-4に示す。

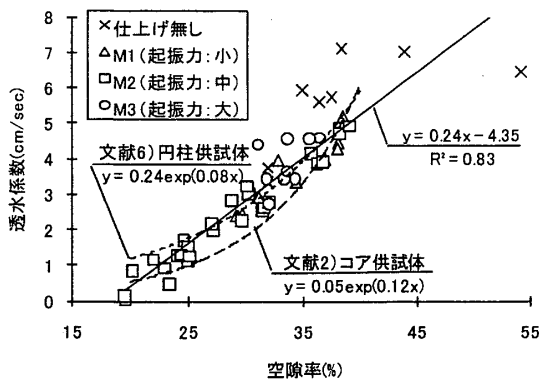


図 - 5 透水係数と空隙率との関係

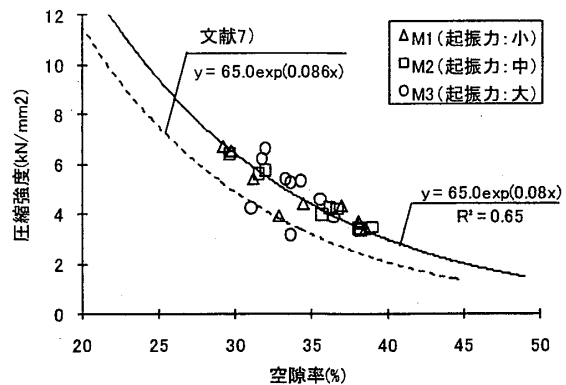


図 - 6 圧縮強度と空隙率との関係

同図より、仕上げ無しを除いて、空隙率と振動締めエネルギーの関係は概ね線形で近似でき、振動締めエネルギーが $8.1 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ 付近で概ね設計空隙率程度になることがわかる。以上より、POC スラブを締め固める場合、1 回目通過で概ね締め固めが完了しており、その後、通過回数を増やすことで、ばらつきはあるものの、設計空隙率に収束していくとみることができる。ここで仕上げ無しの結果が近似曲線に含まれていないが、これは、締め固めが全く行われていないために、その時点での空隙率が材料自体の品質や、調合を表したものではなく、制御不能かつばらつきの大きな値をとるため、この値を除外すべきと判断したためである。

3.2 透水係数

透水係数と空隙率との関係を図 - 5 に示す。同図より、POC 仕上げ機の種類に関係なく、透水係数は空隙率と比較的高い相関があり、円柱供試体を用いた文献⁶⁾およびコア供試体を用いた文献²⁾も概ね同程度の値を示している。また仕上げ無しの透水係数の値にばらつきが見られたのは、値が高すぎて正確なデータが取れなかったことが主な原因と考えられる。

3.3 圧縮強度

圧縮強度と実測空隙率との関係を図 - 6 に示す。同図より、圧縮強度は設計空隙率および仕上げ機の種類を問わず、実測空隙率と高い相関が見られた。また既往の研究で示されている、圧縮強度と全空隙率の関係⁷⁾ (破線)も併示する。既往の研究と比べると、本試験の方が圧縮強度が高く出ているが、これは既往の研究では円柱型枠を使用しており、壁効果の影響を受けたためと考えられる。

4. まとめ

本論文では、振動締めエネルギーと空隙率との関係を明らかにすることを目的に、POC 仕上げ機の種類および通過回数を要因として実験を行った結果、以下の知見が

得られた。

- 1) POC 仕上げ機の起振力の大小に関係なく、空隙率/設計空隙率の値は、仕上げ無しを除き、振動締めエネルギーと比較的高い相関がある。また設計空隙率はこの関係には大きく影響しない。
- 2) 圧縮強度と空隙率の関係は、POC 仕上げ機の種類に関係なく、既往の研究と同様に指数関数で近似できる。
- 3) 円柱供試体を用いた場合、同一空隙率における圧縮強度は、壁効果により、コア供試体より小さくなる可能性がある。
- 4) 透水係数と空隙率の関係に POC 仕上げ機の種類は影響しない。

[謝辞]

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

[参考文献]

- 1) 中川武志, 森鼻泰大, 三島直生, 畑中重光: 数均しおよび仕上げ方法が実測空隙率に与える影響に関する基礎的実験, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.48, pp.29-32, 2010.2
- 2) 森鼻泰大, 中川武志, 三島直生, 畑中重光: ポーラスコンクリートの実施工における数均しおよび仕上げ方法が空隙率に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1397-1402, 2010
- 3) 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
- 4) 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, Vol.73, No.629, pp.1043-1050, 2008.6
- 5) JCI 基準表 (1977~2002 年度), 日本コンクリート工学協会, pp.582-586, 2004.4
- 6) 湯浅幸久, 宮本高秀, 三島直生, 畑中重光: ポーラスコンクリートの内部構造に及ぼす表面振動締めの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1263-1268, 2002
- 7) 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