

# 論文 実施工におけるポーラスコンクリートの敷均しおよび仕上げ方法が実測空隙率に与える影響

森鼻 泰大<sup>\*1</sup>・中川 武志<sup>\*2</sup>・三島 直生<sup>\*3</sup>・畑中 重光<sup>\*4</sup>

**要旨：**実施工におけるポーラスコンクリートの施工（敷均しおよび仕上げ）は、現状では人力および左官職人に頼りがちである。そのため、施工には複数の作業員が必要で、品質も確保し難いといった問題がある。そこで、本研究では新たに敷均し機および仕上げ機を考案し、その性能および空隙率の制御方法を検討した。その結果、仕上げ回数によって空隙率を制御できること、本実験範囲では仕上げ機で1回だけ仕上げた場合、コテ仕上げと同程度の空隙率となり、設計空隙率程度になること、空隙率が25%を下回ると、透水性に有効でない空隙が増加すること、また、透水係数に施工方法が影響しないことなどがわかった。

**キーワード：**ポーラスコンクリート、舗装、実施工、敷均し方法、仕上げ方法、空隙率、コア供試体

## 1. はじめに

ポーラスコンクリート（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<sup>1)</sup>。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られる。

現在、数百 m<sup>2</sup>程度の面積の POC スラブを敷き均す場合、バックホーおよびダンプによる小運搬、コンクリートバケットによるクレーン作業、一輪車による小運搬、レーキを用いた人力による敷均し作業が行われることが多い。このため、複数の作業員が必要であり、敷均しに時間を要する。また、人力であるため品質にばらつきが発生する可能性がある。このような問題を解決するため、筆者らは、写真-1に示すような POC スラブの敷均しを連続的かつ効率的に行う機械を考案した。

また、通常、敷均し後の仕上げには、人力によるコテ仕上げ以外には、写真-2に示すようなプレートランマ、または振動ローラーによる締固めが行われる。既存のこれらの振動締固め機では、強力に締め固められる一方で、表層に起伏が発生するために、施工は困難なものとなる。また、施工性やコストを考慮すると、水セメント比が40%程度以上と相対的に大きいフレッシュ POC を使用し、高い空隙率を確保するために締固めも控え目とすることが現実的な場合もある<sup>2)</sup>。これに対して、筆者らは、写真-3に示すような POC 仕上げ機を考案した。当機械は



(a) 敷均しの様子

(b) バケット部の詳細

写真-1 考案した敷均し機



写真-2 プレートランマ



写真-3 考案した仕上げ機

プレートランマの底板を拡幅することにより、過度の締固めを行わず、品質の安定した、起伏のない表層に仕上げることを目的としている。

以上の POC 敷均し機と POC 仕上げ機を使用することにより、品質の安定した POC スラブを容易に、効率良く施工することが可能となると考えられるが、その性能は現段階では十分に把握されていない。そこで、本研究では、これらの機械を使用した場合に施工される POC スラブの空隙率および透水係数を測定し、機械の性能および空隙率の制御方法を検討した。

\*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 大学院 (仮会員)

\*2 川島工業 専務取締役 博士 (工学) (正会員)

\*3 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 助教 博士 (工学) (正会員)

\*4 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 教授 工博 (正会員)

表 - 1 要因と水準

要因	水準
敷均し方法	POC 敷均し機, レーキ
仕上げ方法	POC 仕上げ機 (重量 : 46.2kg, 55.2kg, 65.3kg), プレートランマ, コテ仕上げ, 仕上げ無し
設計空隙率	20%, 25%, 30%
仕上げ回数	0回, 1回, 4回

註)・下線のあるものは基本水準

- ・仕上げ回数とは POC 上を仕上げ機およびプレートランマが通過する回数のこと

表 - 2 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 <sup>3</sup> , 比表面積 : 3150cm <sup>2</sup> /g
水	水道水
粗骨材	単粒度砕石 6号 (5~13mm : 三重県伊賀市真泥寺東山産), 表乾密度 : 2.685g/cm <sup>3</sup> , 実積率 : 58.6%

## 2. 実験概要

本報では, より実施工に近い品質管理を評価することを目的とし, 敷均し方法 (POC 敷均し機, レーキ) および仕上げ方法 (POC 仕上げ機, プレートランマ, コテ仕上げ, 仕上げ無し) が POC スラブの諸特性に与える影響を, コア抜き供試体を用いた評価により検討する。

### 2.1 要因と水準および測定項目

本実験の要因と水準を表 - 1 に示す。

測定項目は, 空隙率および透水係数とした。空隙率は「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法 (案)」<sup>1)</sup> および「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」<sup>3)</sup> に従い, 全空隙率, 連続空隙率および準連続空隙率を測定した。透水係数は「ポーラスコンクリートの透水試験方法 (案)」<sup>1)</sup> に従った。

ここで, 準連続空隙とは, ある程度連続した空隙と考えられるが, 排水するのに若干の時間を要する空隙を示す。詳細は参考文献 3) を参照されたい。

### 2.2 使用材料, 調合および練混ぜ

本実験で使用した材料の種類と特性値を表 - 2 に, 調合表を表 - 3 に示す。

練混ぜは, バックホーを使用して行った。最初にセメントと骨材を十分に空練りし, その後, 水を順次投入していき練混ぜを行った。その時の様子を写真 - 4 に示す。その後, 練り終わったフレッシュ POC をバックホーを使用し, 敷均し機に積載した。

表 - 3 調合表

	設計空隙率	W/C	G	C	W
	(%)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
①	20	45	1559	279	126
②	25	45	1559	214	96
③	30	45	1559	149	67

註)・W : 水, C : セメント, G : 砕石

・設計空隙率は砕石の実積率を基に計算



(a) 練混ぜ用鋼製容器

(b) 練混ぜの様子

写真 - 4 POC の練混ぜ

高さ	設計空隙率	敷均し方法	仕上げ方法					
			種類	機械重量	締固め回数			
1.0m	20%	敷均し機	仕上げ機	46.2kg	1回			
1.0m	25%							
1.0m	30%					プレートランマ	33.0kg	4回
1.0m								
1.0m	30%	仕上げ機	55.2kg 65.3kg	1回				
0.6m								
0.6m	30%	仕上げ無し	-	-				
0.6m								
0.8m	30%	コテ	-	-				
0.6m								
0.9m	30%	プレートランマ	33.0kg	4回				
0.9m								
0.9m	30%	仕上げ機	46.2kg	1回				
1.1m								

(a) 供試体の配置

(b) 水準

図 - 1 POC 供試体の配置とその水準

### 2.3 敷均し

本実験で使用した POC 供試体の配置とその水準を図 - 1 に示す。POC 敷均し機の形状から敷均し幅を 2m とし, POC 仕上げ機の形状から型枠長さを 0.6m 以上とし,

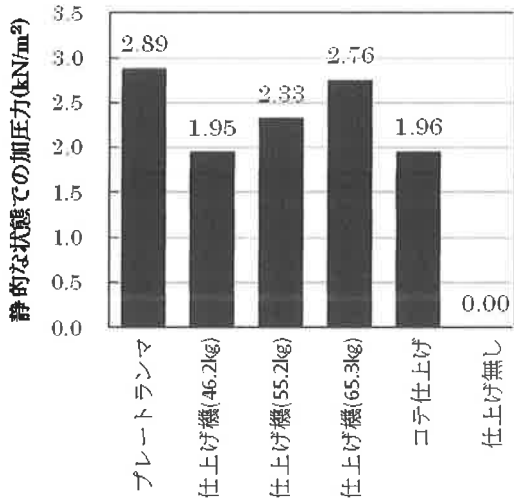


図-2 静的な状態での加圧力

敷均し方法は、POC 敷均し機 (写真 - 1) およびレーキの2水準とした。敷均し厚さは、160mmとし、1層で敷均しを行った。

#### 2.4 仕上げ

仕上げ方法は、締固めの程度の異なる6水準を採用した。各仕上げの様子を写真 - 5 に示す。また、静的な状態での加圧力を図-2 に示す。

プレートランマは、小型エンジン付きの重量 33.0kg、底面プレートの面積 0.11m<sup>2</sup>のもので、静置時の POC に対する加圧力は 2.89kN/m<sup>2</sup>となる。プレートランマで仕上げた場合には、ほぼ必ず表面に起伏が生じるため、通常は数回の締固めを繰り返して表面を水平にする。本実験では、この条件を再現して、4回の仕上げを行った。

POC 仕上げ機は、上記のプレートランマの底面プレート面積を 0.23m<sup>2</sup>に拡大したもので、重量は 46.2kg、静置時の POC に対する加圧力は 1.95kN/m<sup>2</sup>となる。POC 仕上げ機は、重りを追加できる仕様となっており、本実験ではこの仕上げ機に 9.0kg および 10.1kg の重りを追加することにより静置時の加圧力を 2.33kN/m<sup>2</sup> および 2.76kN/m<sup>2</sup> に増加させた条件でも測定を行った。締固め回数は1回を基本とし、締固め回数の影響を見るために、重り無しの状態で4回の締固めも行った。

コテ仕上げは幅 10cm、長さ 27cm、面積 270cm<sup>2</sup>の木ゴテを用いて、人力で POC 表面をしっかりと押さえて仕上げを行った。その際の加圧力は、はかりをコテで押さえて測定したところ、おおよそ 1.96kN/m<sup>2</sup>程度であった。

仕上げなしは、敷均し機またはレーキで敷均した状態のまま、仕上げを行わないものとした。

#### 2.5 養生と供試体採取方法

養生は実施工を想定し、屋外暴露養生とした。材齢 14 日目にコア抜きを行い (写真 - 6 参照)、両端部の研磨を

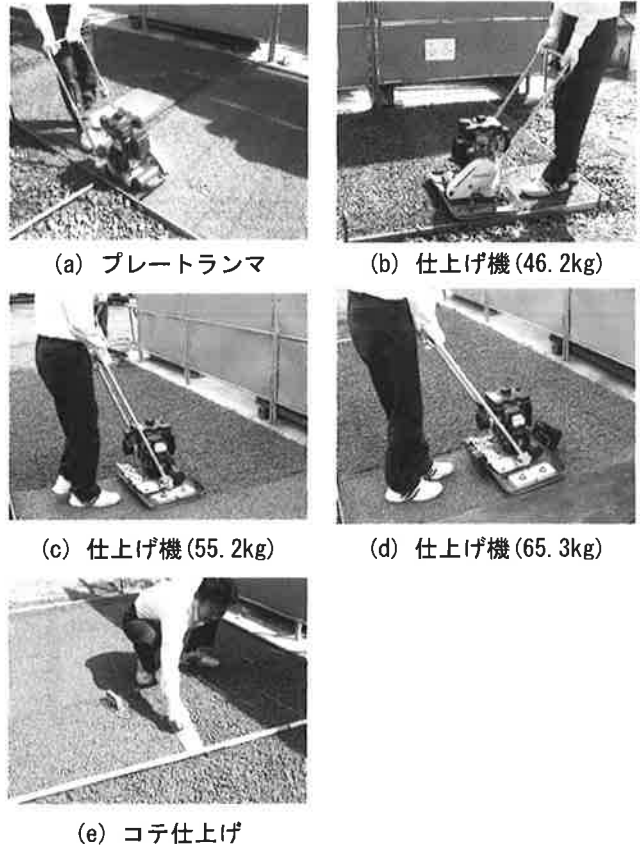
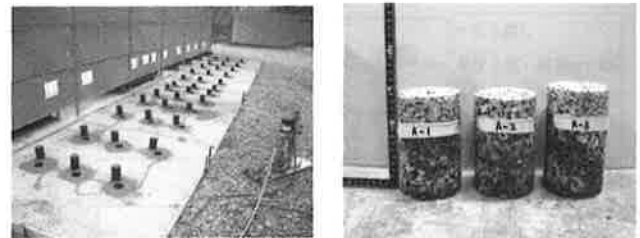


写真 - 5 各仕上げの様子



(a) POC 舗装とコア抜き状況 (b) コア供試体

写真 - 6 コア抜き後

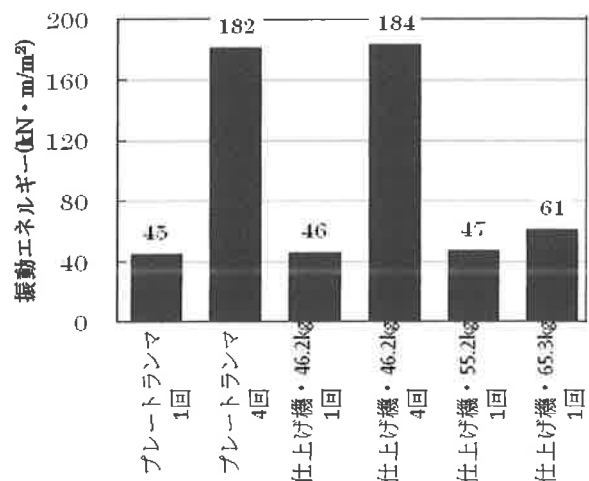


図 - 3 振動エネルギー

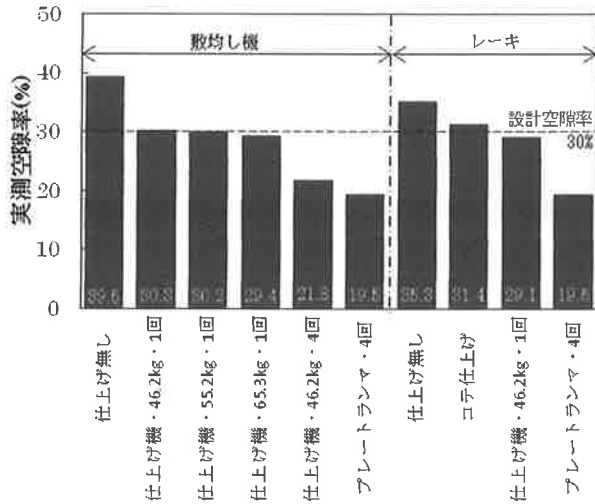


図 - 4 各敷均し・仕上げ方法と実測空隙率の関係

行った後に、材齢 19 日目に空隙率および透水係数を測定した。なお、コア供試体は、敷均しおよび仕上げが安定して行えている位置である各条件の施工範囲の中央付近から採取した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 振動エネルギー

各仕上げ方法の振動エネルギーを図 - 3 に示す。ここで、振動エネルギーの算出に用いた式(1)を以下に示す<sup>4)</sup>。

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

E : 振動締め固めエネルギー (N・m/m<sup>2</sup>)

a : 振幅 (m)

n : 振動数 (Hz)

W : 振動機の重量 (N)

S : 加圧面積 (m<sup>2</sup>)

F : 起振力 (N)

t : 締め固め時間 (s)

振動エネルギーの算出に際し、振動機の荷重および加圧面積は各機械を実測することにより求め、仕上げ回数 1 回あたりの締め固め時間はビデオ判定により求めた。振幅、振動数および起振力は、機械の性能表より、それぞれ 0.005m, 91.7Hz および 4.9kN とした。また、仕上げ回数 4 回の場合の振動エネルギーは、仕上げ回数 1 回の振動エネルギーを 4 倍することにより求めた。同表から、仕上げ回数 1 回の振動エネルギーから各仕上げ方法（仕上げ無しおよびコテ仕上げを除く）を比較すると、仕上げ機（65.3kg）以外は同程度の振動エネルギーを有していることが分かる。これは、プレートランマは加圧面積が小さいために静的な状態での加圧力は大きい、振動させると重量が軽いことから進行速度が速くなり、締固

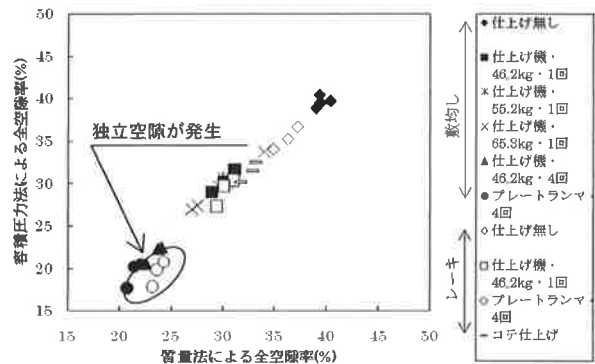


図 - 5 質量法および容積圧力法による全空隙率の関係

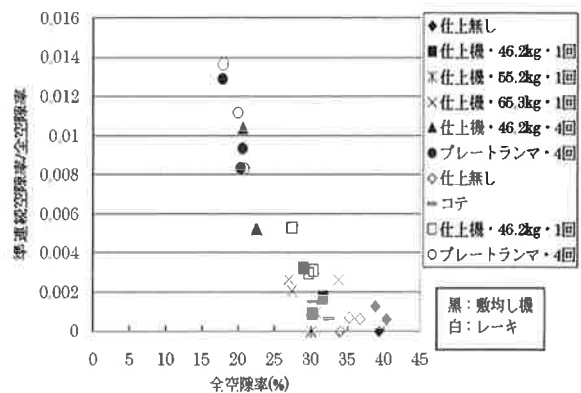


図 - 6 全空隙率と準連続空隙率/全空隙率の関係

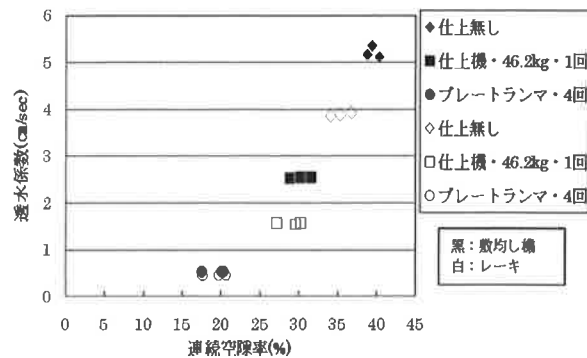


図 - 7 連続空隙率と透水係数の関係

め時間が短くなるためである。一方、仕上げ機（65.3kg）は、重量が重くなることから進行速度が遅くなり、結果的にプレートランマより振動エネルギーが大きくなる。

#### 3.2 空隙率

ここでの実測空隙率とは、敷均しおよび仕上げを行った後の POC スラブからコア供試体を作製し、実際の空隙率を求めた場合の空隙率のことを示す。

##### (1) 各敷均し・仕上げ方法と実測空隙率

各敷均し・仕上げ方法と実測空隙率の関係を図 - 4 に示す。敷均し機を使用した場合には、仕上げ無しは設計空隙率から +9%程度、POC 仕上げ機で 1 回仕上げた場合は、仕上げ機の重量に関係なく設計空隙率程度、POC

仕上げ機（重り無し）で、4回仕上げた場合は設計空隙率から-8%程度、プレートランマで4回仕上げた場合は、-10%程度であることが分かる。

レーキで敷均した場合には、仕上げ無しで設計空隙率から+5%程度となる。敷均し機よりは多少締固まった状態となるが、これはレーキで敷き均す際に試料に与えられるせん断による充填効果によるものと考えられる。また、仕上げ機（重り無し）で1回仕上げた場合およびプレートランマで4回仕上げた場合には、それぞれ敷均し機を使用した場合のほぼ同程度の空隙率に締め固められていることが分かる。また、コテ仕上げは、仕上げ機（重り無し）で1回仕上げた場合と同程度の締固め程度となっている。

以上の結果から、仕上げ機の通過回数によりPOCの空隙率を制御することができ、仕上げ後の空隙率には敷均し方法の影響は小さいことがわかる。また、仕上げ機の重量の変更は空隙率の制御に対して効果的ではない。

#### (2) 独立空隙率および準連続空隙率

透水性舗装を想定し、POCの機能を透水性に限定して考えると、必要な空隙は連続空隙のみであり、準連続空隙や独立空隙は、水の動きが制限されるので透水性が低下する要因となる。言い換えれば、可能な限り全空隙率に対する準連続空隙率および独立空隙率の割合を小さくする方が、全空隙率に対する透水性能が向上することになる。

質量法および容積圧力法による全空隙率の関係を図-5に示す。既往の研究では、独立空隙は全空隙率が15%以下で発せする<sup>3)</sup>としているが、同図から本研究では全空隙率が25%を下回ると、独立空隙が発生しているものと考えられることができる。また、各敷均し・仕上げ方法による明確な差は見られていない。

次に、容積圧力法による全空隙率と全空隙率に対する準連続空隙率の関係を図-6に示す。同図も、各敷均し・仕上げ方法により明確な差は見られず、全空隙率が小さいほど準連続空隙率が増加する傾向が分かる。特に、全空隙率が25%を下回ると、急激に準連続空隙が増加することが分かる。

以上から、全空隙率が25%を下回ると、独立空隙および準連続空隙が急激に増加する傾向があり、全空隙率に対する透水性に有効でない空隙の割合が大きくなる。また、両者の関係に敷均し・仕上げ方法の影響は明確に見られない。

### 3.3 透水係数

連続空隙率と透水係数の関係を図-7に示す。同図より、両者の間に明確な相関関係が見られ、敷均し・仕上げ方法の影響は明確には見られない。

## 4. まとめ

本研究では、ポーラスコンクリート舗装の施工性の改善を目的として、敷均し機および仕上げ機の開発を行い、敷均し方法および仕上げ方法がPOCの諸特性に及ぼす影響に関する実験を行った。本実験の結果から、以下の知見が得られた。

- (1) 仕上げを行わない状態では、敷均し機で敷き均した場合には、レーキで敷均した場合と比べて大きな空隙率となるが、仕上げ後はほぼ同程度となる。
- (2) 仕上げ回数によって空隙率を制御することが可能である。また、仕上げ機の重量の変更はPOCの空隙率制御に対して効果的ではない。
- (3) 仕上げ機で1回だけ仕上げた場合には、コテ仕上げと同程度の空隙率となり、本実験の基本調査では設計空隙率と最も近い値となった。
- (4) 全空隙率が25%を下回ると、独立空隙および準連続空隙が急激に増加する傾向があり、全空隙率に対する透水性に有効でない空隙の割合が大きくなる。また、両者の関係に敷均し・仕上げ方法の影響は明確に見られない。
- (5) 全空隙率が大きくなるほど透水係数は増加し、両者の関係に敷均し・仕上げ方法の影響は明確に見られない。

#### [謝辞]

本研究を行うにあたり、佐野裕太（三重大学学生）君の助力を得た。また、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) 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複層ポーラスコンクリート歩道の施工実験，日本コンクリート工学協会，Vol.46, No.12, pp.20-27, 2008
- 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法，日本建築学会構造系論文集，No.629, pp.1043-1050, 2008
- 4) 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