

報告 ポーラスコンクリートの実施工における敷均しおよび仕上げ方法が空隙率に与える影響

森鼻 泰大*1・中川 武志*2・三島 直生*3・畑中 重光*4

要旨: ポーラスコンクリートの実施工（敷均しおよび仕上げ）において、現状では一部の機械化施工の例を除き、多くの場合、複数の作業員が必要で、安定した品質を確保し難いといった問題がある。そこで、本報告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、仕上げ機による通過回数によって空隙率を制御できること、本実験の範囲では、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、空隙率は設計値程度になること、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などがわかった。

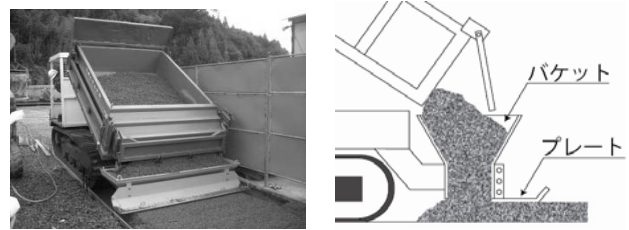
キーワード: ポーラスコンクリート, 舗装, 施工, 敷均し方法, 仕上げ方法, 空隙率, コア供試体

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内部に連続空隙を有するコンクリートである¹⁾。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。以上のように、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を目指すうえで有益な材料となると考えられる。

現在、数百 m²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など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高い。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、プレートランマまたは振動ローラ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、強力で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²⁾。これに対して、筆者らは、写真-2に示すような POC 仕上げ機を考案した。当機械はプレートランマの底



(a) 敷均しの様子 (b) バケット部の詳細

写真-1 考案した POC 敷均し機



写真-2 考案した POC 仕上げ機

板を拡幅すること等により、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、本報告では、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 (正会員)

*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
仕上げ回数	0回, 1回, 4回

注) 下線 : 基本水準,

仕上げ回数: 仕上げ機およびプレートランマが POC を通過する回数のこと

設計空隙率: 30%

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 ³ , 比表面積: 3150cm ² /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 ³ , 実積率: 58.6%

2. 実験概要

本報では、より実際の施工に近い品質管理を行うことを目的とし、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。設計空隙率は、過去の施工実績²⁾から 30%とした。ここで、連続空隙は供試体表面からみて連続している空隙であり、容易に水で飽和・排水される空隙である。準連続空隙は連続した空隙と考えられるが、排水するには若干の時間を要する空隙である。独立空隙は供試体表面からみて、完全に独立している空隙である。

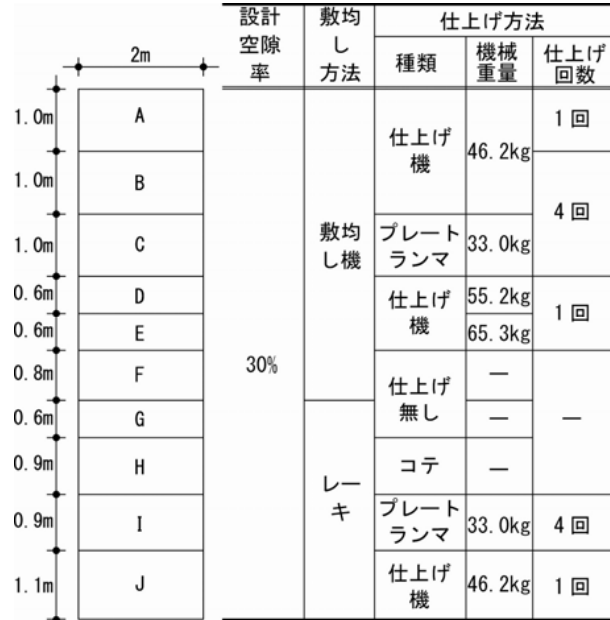
測定項目は、空隙率および透水係数とした。空隙率は「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法 (案)」¹⁾および「空気室圧力法を応用したポーラスコンクリートの空隙率測定方法」³⁾に従った。前者には質量法と容積法があるが、本報告では質量法を採用する。質量法は供試体の気中質量を測定し、調査設計時の固相密度を使用して固相容積を求め、全空隙率 (連続空隙率, 準連続空隙率および独立空隙率の和) を算出する。後者 (以下, 容積圧力法) は、空気量試験器を POC の空隙率測定に用いる方法で、見かけ容積, 固相容積および供試体を水中浸漬した時の残存空気量を測定し、連続空隙率と準連続空隙

表-3 調査表

設計空隙率	W/C	W	C	G
(%)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
30	45	67	149	1559

注) W: 水, C: セメント, G: 砕石,

設計空隙率: 砕石の実積率を基に計算



(a) 供試体の配置 (右表と対応) (b) 水準

図-1 POC 供試体の配置とその水準

率を算出する。容積圧力法で測定された全空隙率では、独立空隙に圧力が伝わらないために、独立空隙率が含まれない値が全空隙率として測定される。このため、質量法と容積圧力法の差分が独立空隙率となる。詳細については参考文献3)を参照されたい。

透水係数は「ポーラスコンクリートの透水試験方法 (案)」¹⁾に従った。

2.2 使用材料, 調査および練混ぜ

本実験で使用した材料の種類と特性値を表-2 に、調査表を表-3 に示す。

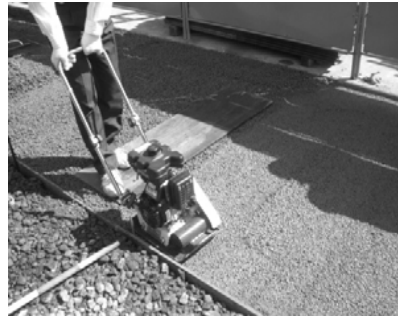
練混ぜは、バックホーを使用して行った。最初にセメントと骨材を十分に空練りし、その後、水を順次投入していき練混ぜを行った。その後、練り終わったフレッシュ POC をバックホーを使用し、敷均し機に積載した。

2.3 敷均し

本実験で施工し、コア抜きを行った POC 供試体の配置とその水準を図-1 に示す。POC 敷均し機の幅から敷均し幅を 2m とし、POC 仕上げ機の幅から型枠長さを 0.6m 以上とし、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



写真-3 敷均しの様子



(a) プレートランマ



(b) 仕上げ機 (46.2kg)

写真-4 仕上げの様子



(c) コテ仕上げ

写真-4 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-5 コア抜き後

とし、1層で敷均しを行った。敷均し機による敷均しの様子を写真-3に示す。

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。仕上げの様子を写真-4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^2 のもので、静置時のPOCに対する加圧力は 2.89kN/m^2 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仕上げる。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^2 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^2 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^2 および 2.76kN/m^2 に増加させた条件でも測定を行った。仕上げ回数は1回を基本とし、仕上げ回数の影響を見るために、重り無し状態で4回の仕上げも行った。

コテ仕上げは幅10cm、長さ27cm、面積 270cm^2 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

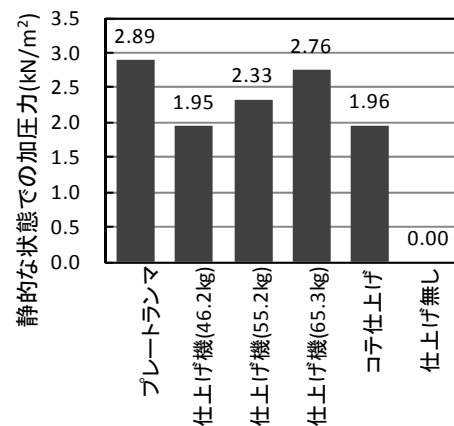


図-2 静的な状態での加圧力

押さえて測定したところ、おおよそ 1.96kN/m^2 程度であった。

仕上げ無しは、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

養生は実際の施工を想定し、屋外暴露養生とした。材齢14日目にコア抜きを行い(写真-5参照)、両端部の研磨を行った後に、材齢19日目に空隙率および透水係数を測定した。

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から採取するため、採取位置は各条件の施工範囲の中央付近とした。

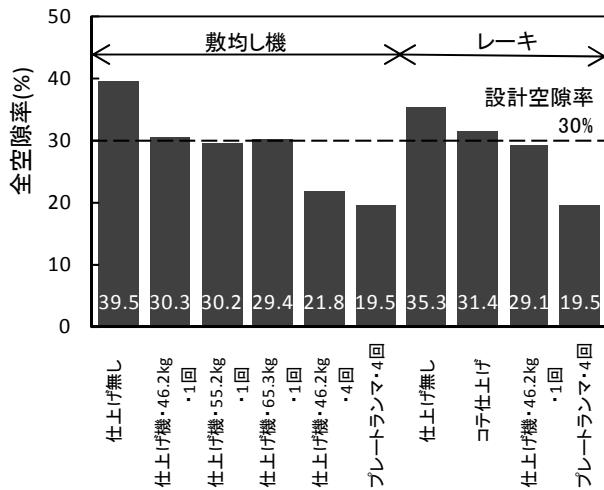


図-3 敷均し・仕上げ方法と全空隙率の関係

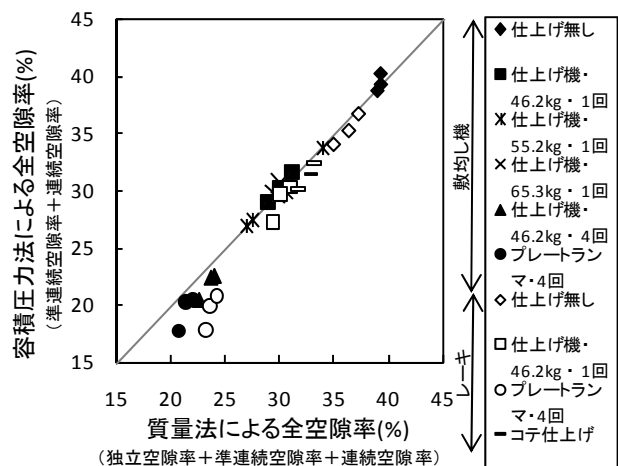


図-4 質量法および容積圧力法による全空隙率の関係

3. 実験結果と考察

3.1 空隙率

(1) 敷均し・仕上げ方法と全空隙率

設計空隙率を30%とした場合の敷均し・仕上げ方法と全空隙率の関係を図-3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%程度であることがわかる。

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め固まった状態となるが、これはレーキで敷き均す際にPOCに与えられるせん断力による充填効果と考えられる。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とほぼ同程度の空隙率に締め固められていることがわかる。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め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あまり効果的ではないといえる。

(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の透水性能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能が低下する要因となる。言い換えれば、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

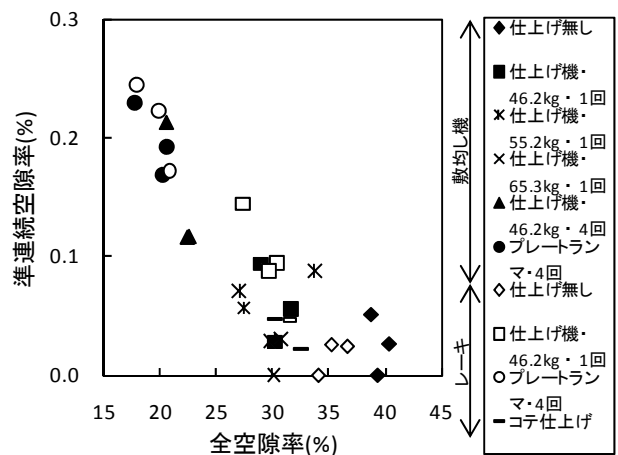


図-5 全空隙率と準連続空隙率の関係

る方が、同じ全空隙率であっても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-4に示す。空隙率の算出方法の違いから、質量法と容積圧力法の差が独立空隙であると考えられる(両者の算出方法の違いは参考文献3)を参照されたい)。既往の研究では、独立空隙は全空隙率が15%以下で多く発生する³⁾という結果が得られたが、同図によれば本研究では全空隙率が25%を下回ると、すでに独立空隙が増加しているものと推測される。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準連続空隙率の関係を図-5に示す。同図において、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見られる。特に、全空隙率が25%を下回ると、急激に準連続空隙率が増加することがわかる。

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。

3.2 透水係数

POC の透水性能に限定して考えると、必要な空隙は連続空隙のみであるが、ここでは既往の研究結果と比較を行うために、全空隙率と透水係数の比較を行う。全空隙率と透水係数の関係を図-6 に示す。同図によれば、両者の間に強い相関関係が見られ、敷均し・仕上げ方法の影響は明確には見られない。本実験のデータと円柱供試体を使用した文献 5) のデータを比較すると、全空隙率が 20%程度で比較的大きな差異がある。これは、円柱供試体とコア供試体の違い、すなわち、型枠効果の有無によるものと考えられる。

4. まとめ

本報告では、ポーラスコンクリート (POC) 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、空隙率はレーキで敷き均した場合と比べて大きくなるが、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あまり効果的ではないといえる。
- (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空隙率は設計値程度となった。
- (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る。すなわち、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は見られない。
- (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は見られない。

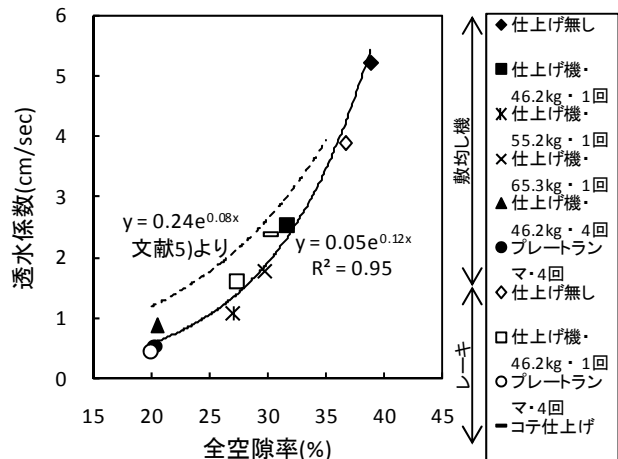


図-6 全空隙率と透水係数の関係

[謝辞]

本研究を行うにあたり、佐野裕太君 (三重大学学生) の助力を得た。また、本研究費の一部は、平成 21 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, コンクリート工学, 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
- 5) 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

