

# 暑中ポーラスコンクリートの各種性状に及ぼす運搬時間の影響に関する基礎的研究

## Fundamental Study on Influence of Transportation Time on Various Characteristics of Porous Concrete in Hot Weather

### 1.材料施工-4.特殊仕様のコンクリート

ポーラスコンクリート	夏季条件	運搬時間
フレッシュ性状	圧縮強度	空隙率

正会員	○ 藤木諒将*	FUJIKI Ryosuke
同	中川武志**	NAKAGAWA Takeshi
同	畑中重光***	HATANAKA Shigemitsu

### 1. はじめに

ポーラスコンクリート（以下、POC と略記）は、粗骨材およびこれを結合するセメントペーストまたはモルタルにより、連続する空隙を有する。

POC の製造・施工にあたって、混練後に POC を施工現場へ運搬する場合、普通コンクリートと比較してペースト分に乏しく、外気との接触面積が大きいことから、運搬によって生じるフレッシュ性状への影響がより大きいと予想される。すでに、POC の練混ぜから打ち終わりまでの時間の経過による圧縮強度の低下傾向が指摘されている<sup>2,3)</sup>。

このため、日本コンクリート工学会(JCI)によるポーラスコンクリートの製造・施工指針（試案）<sup>4)</sup>においては、気温 25℃を超える場合、練混ぜから打ち終わりまでの時間は、90 分以内を標準とし、可能ならば 60 分以内が望ましいと定めている。

しかしながら、暑中条件下においてアジテータ車等による攪拌がフレッシュ POC の性状変化に及ぼす影響に関する系統的な検討は、現時点ではほとんどなされていない。このため本研究では、外気温が 25℃を超える条件下にて、アジテータ車の攪拌速度を再現した低速回転のミキサでフレッシュ POC を最大 90 分間攪拌し、攪拌時間がフレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす影響を検討する。

### 2. 実験概要

#### 2.1 実験の要因と水準

表-1 に実験の要因と水準を示す。表中の攪拌時間は、混練後のフレッシュ POC を一軸強制パン型ミキサに投入し、低速にて攪拌する時間を示す。

#### 2.2 使用材料および割合

表-2 に POC の各割合を示す。また、POC の材料として、6 号砕石（実積率：58.1%、密度：2.73kg/m<sup>3</sup>）、普通ポルトランドセメント（密度：3.16kg/m<sup>3</sup>）および上水道水（密度：1.00kg/m<sup>3</sup>）を用いた。

#### 2.3 試験体の作製方法

POC の混練には容量 30L の揺動攪拌型ミキサを用い、練混ぜ方法はセメントペースト先練りとした。セメントおよび水を投入し、50rpm で 30 秒間練り混ぜた後、ミキサ内部の付着物を掻き落として、200rpm で 90 秒間練り混ぜた。混練の後、所定量のセメントペーストを採取し、フロー値の測定およびセメントペースト試験体の作製を行った。これと並行して、ミキサに粗骨材を投入し、200rpm で 120 秒間練り混ぜた。

練混ぜ後、フレッシュ POC を容量 100L の一軸強制パ

表-1 要因と水準

要因	水準
水セメント比W/C	0.30, 0.45
目標空隙率VR (%)	15, 25, 35

[注] 〃: 基本水準を示す

表-2 POC の調査表

外気温	目標空隙率VR(%)	W/C(-)	W(kg/m <sup>3</sup> )	G(kg/m <sup>3</sup> )	G(kg/m <sup>3</sup> )	実測FL(mm)
25℃以上	15	0.45	157.9	351.0	1554	267
	25		99.2	220.5	1554	279
	35		40.5	90.0	1554	273
	25	0.30	82.2	274.1	1554	160

[注] W/C : 水セメント比, FL : ペーストフロー値

\* 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 大学院生  
 \*\* (株) ファイナルマーケット 代表取締役 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 of, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.  
 Representative Director, Final Market Co. Ltd., Dr. Eng.  
 Prof. Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

ン型ミキサに移し、蓋を閉めて 10rpm で攪拌を行った。この際、実際の運搬条件を考慮し、ミキサは日射を受ける野外に設置した。

POC 試験体は、攪拌時間 30 分毎にミキサから所定量を採取し、プラスチック製円柱供試体 (φ50×200mm) に打ち込んだ。この際、目標空隙率に近い試験体を作成するため、調合表より型枠の容積に応じた POC の質量を算出し、所定量を計量しながら打込みを行った。

締固めは 2 層に分けて行い、各層突き棒による突固めおよびジグギングによる締固めを行った。また、攪拌時間 30、60 分においては各 3 本、試験体端面の剥落等が予測される攪拌時間 90 分に関しては、各 5 本円柱供試体を作製した。

試験体は材齢 5 日まで封かん養生とし、脱型後から材齢 28 日まで標準水中養生を行った。ただし、養生期間中の材齢 27 日に試験体を水中より取り出し、約 1 時間乾燥後に硫黄キャッピングを実施している。

## 2.4 試験方法

### (1) 外気およびフレッシュ POC の温度測定

外気およびフレッシュ POC の温度は、攪拌時間 15 分

毎に計測を実施した。外気温は日陰で風通しが良い位置に設置された抵抗温度計で、フレッシュ POC はミキサ内部の試料を液体温度計で計測した。

### (2) フレッシュ性状の評価

攪拌後の POC は、目視によるフレッシュ性状の評価手法<sup>1,4)</sup>に基づき、簡易的な評価を行った。

### (3) 圧縮強度試験

POC の圧縮強度試験用の円柱試験体は、上下端面に硫

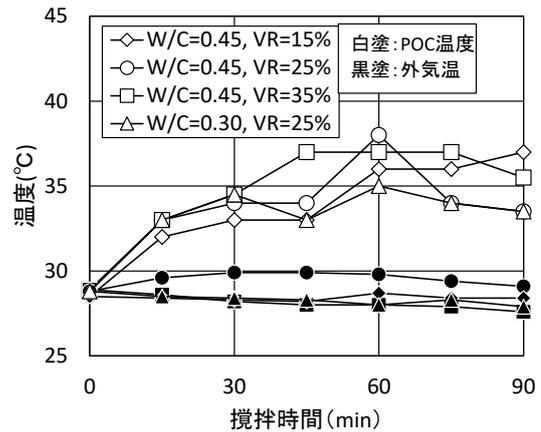


図-1 外気温とフレッシュ POC 温度の関係

表-3 攪拌時間の経過に伴う各 POC のフレッシュ性状の変化

		攪拌時間(分)		
		30	60	90
目標空隙率(%)	15			
	25			
	35			

50mm

50mm

黄キャッピングを施して試験に供した。試験材齢は 28 日とし、JIS A 1108 および JCI によるポーラスコンクリートの室内試験方法りに基づいて試験を実施した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 外気温およびフレッシュ POC の温度計測結果

図-1 に外気温およびフレッシュ POC の温度計測の結果を示す。ただし、攪拌時間 0 分のフレッシュ POC の温度は、外気温に等しいものと仮定している。

図に示すように、外気温と比較してミキサ内部のフレッシュ POC の温度は約 5°C 程度高くなっていることが確認できる。これは、セメントの水和熱に加えて、ミキサが日射を受けて、ミキサの内部温度が上昇したためであると考えられる。

#### 3.2 フレッシュ性状の目視評価

攪拌時間ごとのフレッシュ POC (W/C = 0.45) の状態を表-3 に示す。表中の写真より、攪拌時間が長くなるに従って、明確なペースト分の乾燥が確認された。この傾向は、目標空隙率が 25%以上の試験体で顕著となり、ペースト分の流動性および粘性の低下によって、締固め時に試験体表面に隆起が発生しやすくなるなどの施工性の低下も見られた。

#### 3.3 圧縮強度の試験結果

##### (1) 水セメント比の異なる POC の圧縮強度の変化

図-2 に各水セメント比の POC の圧縮強度試験結果を示す。図に示すように、攪拌時間の経過に伴い圧縮強度が低下しており、水セメント比の違いによる明確な差は見られなかった。

##### (2) 目標空隙率の異なる POC の圧縮強度の変化

同じ水セメント比 (W/C = 0.45) で、目標空隙率のみを変化させた各 POC 試験体の圧縮強度試験の結果を、図-3 に示す。

VR = 15% の試験体については、攪拌時間の経過に伴う圧縮強度の低下はほとんど見られなかった。これは、VR = 15% の試験体ではペースト分が多いため、流動性の低下をもたらすセメントペーストの乾燥の影響が小さくなったものと考えられる。

一方で、ペースト分が少ない VR = 35% の試験体においては、写真-1 に示すように脱型時の骨材の剥落が著しい。攪拌時間が最も短い 30 分の一部試験体を除いて、圧縮強度試験に供することは不可能であった。

以上のように、目標空隙率 25%以上の POC における攪拌時間の経過に伴う圧縮強度の低下傾向は、打込みまでに水和反応が進行していたことに加えて、図-4 に示すような、ペースト分の乾燥による流動性の低下が、粗

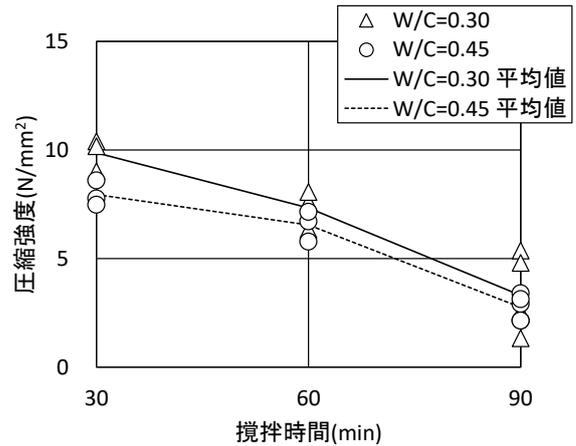


図-2 各 W/C の POC 攪拌時間による圧縮強度の変化 (VR = 25%)

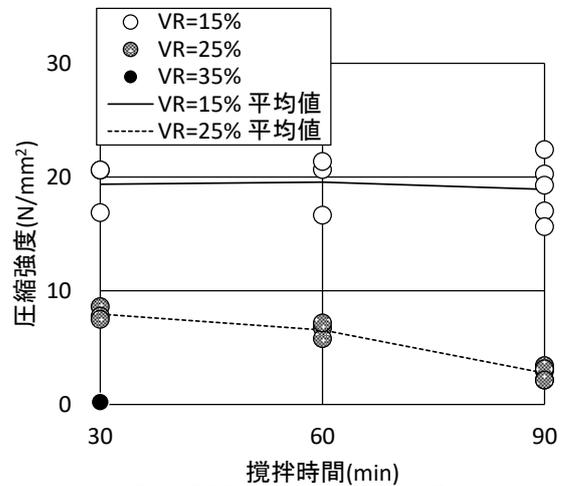


図-3 各 VR の POC の攪拌時間による圧縮強度の変化 (W/C = 0.45)



写真-1 骨材の剥落が生じた POC (VR = 35%, 攪拌時間 60 分)

骨材間の付着面積の低下を生じさせることによるものであると考えられる。

##### (3) 圧縮強度と目標空隙率の関係

図-5 に、W/C=0.45 の POC における圧縮強度と目標空隙率の関係を示す。なお、図中に示す点は各 3 本の試験体の平均圧縮強度を用いた。ただし、圧縮強度試験に

供した試験体数が著しく少ない目標空隙率35%については、試験結果をプロットしていない。

また図中には、既往の研究<sup>1)</sup>において提案された、圧縮強度比—空隙率の関係式(1)を併記した。

$$y = A \exp(-Bx) \quad (1)$$

ここに、 $y$ ：圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $A, B$ ：実験定数、

$x$ ：空隙率(%)

実験定数について、セメントペーストの圧縮強度の平均値より  $A = 59.7$  を、 $B$  は既往の研究<sup>1)</sup>中で提案された圧縮強度比—空隙率関係より  $B = 0.08$  を用いた。

図より、攪拌時間 30 分の試験体においては、圧縮強度—空隙率の関係式と概ね合致していることが確認された。また、目標空隙率 15%の試験体では、攪拌時間の影響がほぼ見られない一方で、目標空隙率 25%の試験体においては、攪拌時間の経過に伴い、関係式から下方に推移する傾向が見られる。

#### 4. 結論

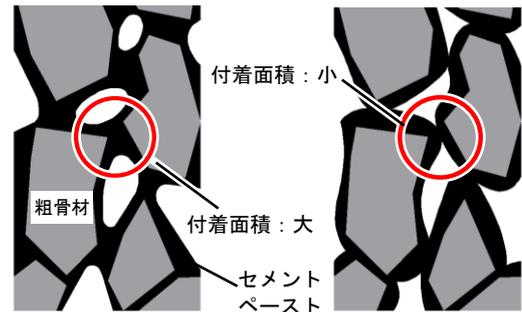
本研究では、気温 25℃を超過する夏季条件でのポーラスコンクリートを作製し、練混ぜ後の攪拌時間が及ぼす、フレッシュ性状および圧縮強度への影響に関して検討した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 目標空隙率 25%のポーラスコンクリートにおいて、攪拌時間の経過に伴う圧縮強度の低下傾向は、水セメント比によらず、ほぼ同様であった。
- (2) 目標空隙率 15%のポーラスコンクリートにおいては、ペースト分を多量に含むため攪拌時間の経過が圧縮強度に及ぼす影響はほとんど見られなかった。

今後、気温 25℃超過の条件において、混和剤およびミキサ種別を変化させて検討を行い、現場施工 POC の品質保証の向上につなげたい。

#### 謝辞

本研究にあたっては、三重大学大学院三島直生准教授にご助言を頂いた。また、本実験を実施するにあたり、研究費の一部は科学研究費補助金 基盤研究(B) (研究代表者：畑中重光) によった。また、付記して謝意を表する。



(a) ペースト流動性：良 (b) ペースト流動性：悪

図-4 POC のフレッシュ性状の変化による粗骨材間の付着不良の概念図

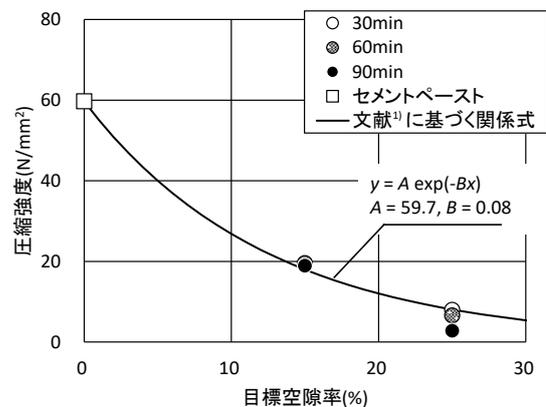


図-5 圧縮強度と目標空隙率の関係 (W/C = 0.45)

#### 参考文献

- 1) 性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会報告書：日本コンクリート工学協会，2015.6
- 2) 田中博一，上野久，中野慎一，萩原運弘，栗田守朗：河川護岸における場所打ちポーラスコンクリートの施工，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，V-243, 2000
- 3) 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(2008)，No.12，pp.20-27，2008
- 4) 河野広隆，片平博：ポーラスコンクリートのフレッシュ性状迅速判定マニュアル(案)，土木研究所資料，第3765号，2000.12