

# 論文 ポーラスコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす運搬時間および混和剤の影響に関する実験的研究

森下 拓海\*1・中川 武志\*2・畑中 重光\*3

**要旨**：本報では、暑中期（35℃）を対象に、混練後のフレッシュポーラスコンクリートを攪拌しつつ現場へ運搬する場合を想定した低速回転のミキサにより、フレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす低速攪拌時間の影響を検討した。これに加えて、フレッシュ性状の保持を目的として、混和剤を使用し、その添加量が POC の諸特性に及ぼす影響についても検討を行った。その結果、混和剤未添加のポーラスコンクリートにおいて、練上がりからの経過時間 120 分時点で圧縮強度の低下率が 28% となったこと、混和剤を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度は、未添加のもの比べて約 25% 増加することなどが明らかとなった。

**キーワード**：ポーラスコンクリート、運搬時間、混和剤、圧縮強度、フレッシュ性状、暑中期条件

## 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構成され、連続する空隙を有する。この空隙により、透水・保水等の機能を有することから、環境共生分野への利用が期待される材料である。

POC の製造・施工にあたって、混練後に施工現場へ運搬を行う場合、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<sup>1)</sup> POC は、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、混練後のフレッシュ POC を攪拌しつつ現場へ運搬する場合を想定した低速回転のミキサにより、フレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす低速攪拌時間の影響について研究がなされている<sup>2)</sup>。その結果、低速攪拌時間の経過に伴い圧縮強度およびフレッシュ性状の低下傾向が確認されている。これに加えて、外気温の条件が及ぼす影響に関しても検討がなされており、通常期（20℃）条件においては、暑中期（30℃）条件のものと比較して、低速攪拌時間による圧縮強度の低下傾向は緩やかである

ことが確認された。また、混和剤のスランブ保持効果実験を行い、凝結遅延剤および高性能 AE 減水剤（遅延型）（以下、HAE と略記）の効果を調べ、HAE が特に効果的であることが判明した。

このため本研究では、POC のフレッシュ性状の低下が著しいと予想される暑中期（35℃）を対象に、アジテータ車の攪拌速度を再現した傾胴式ミキサを用いて、低速攪拌時間が POC の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。これに加えて、フレッシュ性状の保持を目的として、HAE を使用し、その添加量が POC のフレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす影響についても検討した。

表-1 要因と水準

要因	水準
目標空隙率 $V_R$ (%)	15,20,25
混和剤	なし, HAE
HAE/C(%)	0.2,0.3,0.4
低速攪拌時間(分)	0,15,45,75,(105)

[注] 〃：基本水準を示す、HAE/C：セメント質量に対する高性能 AE 減水剤（遅延型）添加率

表-2 POC の調合表

$V_R$ (%)	W/C (-)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	HAE/C (%)	実測 FL(mm)	
15	0.3	130.9	436.4	1554	0.3	214	
20		106.6	355.3	1554	0.3		
25		—	82.2	274.1	1554	—	164
		0.2				207	
		0.3				214	
		0.4				250	

[注]  $V_R$ ：目標空隙率、W/C：水セメント比、FL：ペーストフロー値

\*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 大学院生（学生会員）

\*2 (株) ファイナルマーケット 代表取締役 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 教授 工博（正会員）

表-3 傾胴式ミキサ容量 (70L) に対するフレッシュ POC の容積比の変化

		練上がりからの経過時間 (分)								
		0	15	30	45	60	75	90	105	120
容積比 (%)	HAE/C=0.2%	36	26	26	17	17	9	23	15	9
	HAE/C=0.3%									
	HAE/C=0.4%									
	混和剤なし									

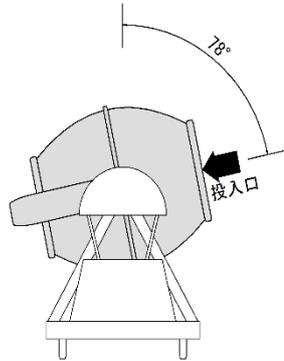


図-1 ドラム角度の概念図

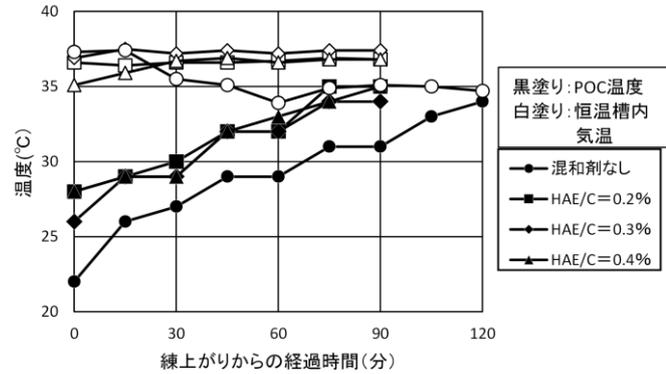


図-2 恒温槽内気温および POC の温度変化 ( $V_R=25\%$ ,  $W/C=30\%$ )

## 2. 実験方法

### 2.1 実験の要因と水準

表-1 に実験の要因と水準を示す。表中の低速攪拌時間は、混練後のフレッシュ POC を傾胴式ミキサに投入し、低速にて攪拌する時間を示す。現場へ運搬されたフレッシュ POC が打ち終わるまでに要する時間を想定し、荷下ろし時間を設定した。低速攪拌されたフレッシュ POC をミキサから採取し、15 分間静置した後に、試験体を作製するものとした。混和剤未添加のフレッシュ POC においては、最大 105 分間低速攪拌している。

### 2.2 使用材料および調合

表-2 に POC の各調合を示す。水セメント比は一定とし、0.3 とした。POC の材料として、6 号碎石 (実積率: 58.1%, 密度:  $2.73\text{g/cm}^3$ )、普通ポルトランドセメント (密度:  $3.16\text{g/cm}^3$ ) および上水道水 (密度:  $1.00\text{g/cm}^3$ ) を用いた。また、混和剤として、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤遅延型 (密度:  $1.04\sim 1.22\text{g/cm}^3$ ) を用いた。

### 2.3 試験体の作製方法

POC の練混ぜおよび低速攪拌時には容量 70L の傾胴式ミキサ (写真-1 参照) を用い、図-1 に示すように、鉛直方向に対するドラムの角度を  $78^\circ$  とした。

練混ぜは、粗骨材およびセメントをミキサに投入し、32rpm で 60 秒間混練した後、ミキサ内部の付着物を掻き落として水を投入し、32rpm で 180 秒間練り混ぜた。

その後、傾胴式ミキサの蓋を閉めて低速 ( $1.5\sim 2\text{rpm}$ ) で攪拌を行った。なお、練混ぜ、低速攪拌および静置は、暑中期の気温条件を再現し、気温  $35\sim 37^\circ\text{C}$ 、相対湿度 50%



写真-1 練混ぜおよび低速攪拌時に用いた傾胴式ミキサ

の恒温槽内で実施した。

フレッシュ POC は、同調合の試験体の経過時間による影響を検討するため、低速攪拌時間 15, 45, 75, および必要に応じて 105 分の時点で、ミキサから所定量を採取して練り板に移し、15 分間静置した後、プラスチック製円柱型枠 ( $\phi 100\times 200\text{mm}$ ) に打ち込んだ。ただし、アジテータドラム容量に対する最大混合容量は約 50%程度が一般的であるが、試料採取に伴いミキサ容量 (70L) に対するフレッシュ POC の容積比は、低速攪拌時間 0, 15, 45, 75 分時点で 36%, 26%, 17%, 9%となっている (表-3 参照)。そのため、本実験で得られるフレッシュ性状の変化は、通常のアジテータトラックによる運搬時に比べて、乾燥がより顕著になることが予想される。試験体を作製する際、目標空隙率に近い試験体を作製するため、調合表より型枠の容積に応じた POC の質量を算出し、所

表-4 練上がりからの時間の経過に伴うフレッシュ性状の変化 ( $V_R=25\%$ ,  $W/C=0.3$ )

		経過時間 (分)				
		0	30	60	90	120
HAE/C (%)	混和剤なし					
		○ (2)	○ (2)	○ (2)	○ (2)	○ (2) ~ × (1)
	0.2					
		○ (3)	○ (3) ~ ○ (2)	○ (2)	○ (2)	
	0.3					
	△ (4) ~ ○ (3)	○ (3)	○ (3)	○ (3)		
0.4						
	△ (4)	△ (4) ~ ○ (3)	○ (3)	○ (3)		

[注] POCのフレッシュ状態 (目視による評価) …△ (4: ペーストが糸を引く状態)  
 ○ (3: ペーストがやや糸を引く)  
 ○ (2: ペーストは糸を引かないがやや粘りがある)  
 × (1: 粘りがなく、ぱさついている)

定量を計測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。練上がり直後および練上がりから経過時間30分毎に各3本の円柱試験体を作製した。試験体端面での骨材の剥落等が予測される経過時間120分に関しては、5本の円柱試験体を作製した。

試験体は材齢5日まで封かん養生とし、脱型後から材齢27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) 恒温槽内温度およびフレッシュ POC の温度測定

恒温槽内気温およびフレッシュ POC の温度は、経過時間15分毎に計測した。気温は恒温槽内に設置された抵

抗温度計で、またフレッシュ 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、試験体を作製する練上がりからの経過時間0, 30, 60, 90分時点で、目視によるフレッシュ性状の評価手法<sup>1,3)</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<sup>1)</sup>に基づいて試験を実施した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 恒温槽内温度および POC 温度測定結果

図-2 に恒温槽内の気温とフレッシュ POC の温度の変化を示す。図より、混和剤の有無および HAE 添加率に

表-5 練上がりからの時間の経過に伴うフレッシュ性状の変化 (W/C=0.3, HAE/C=0.3%)

		経過時間 (分)			
		0	30	60	90
目標空隙率 $V_R$ (%)	15				
		△ (4)	△ (4)	△ (4)	△ (4)
	20				
		△ (4)	△ (4)	△ (4)	△ (4) ~ ○ (3)

[注] POCのフレッシュ状態 (目視による評価) …△ (4: ペーストが糸を引く状態)  
 ○ (3: ペーストがやや糸を引く)  
 ○ (2: ペーストは糸を引かないがやや粘りがある)  
 × (1: 粘りがなく、ぱさついている)

よらず、POC温度は時間の経過に伴い、恒温槽内の気温とほぼ同等になることが確認できる。

### 3.2 フレッシュ性状の目視評価

各混和剤添加率 (HAE/C) について、 $V_R=25\%$ の POC について、経過時間によるフレッシュ性状の変化状況を表-4に示す。表中の写真の範囲は、それぞれ 50mm×50mmとし、写真下部に示す記号および番号は POC のフレッシュ状態の目視による評価およびペースト分の詳細な状態を示している。また、良好なフレッシュ状態になるよう、調合検討時に、ペーストがやや糸を引く状態 (3) を目標とした。

同表より、混和剤未添加の場合は、経過時間が長くなるに従って、ペースト分の乾燥が確認された。また、経過時間 120 分において、ペースト分の流動性および粘性の低下によって、締め固め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。

HAE/C=0.3%および 0.4%においては、練上がりからの経過時間 90 分時点においても良好なフレッシュ性状を維持することが確認された。しかしながら、HAE/C=0.4%においては、経過時間 0 分時点のペースト分の流動性が著しく高いため、写真-2 に示すようにペースト分の底面だれが確認された。

目標空隙率 15%、20%における経過時間によるフレッシュ性状の変化状態を表-5に示す。なお、両者とも HAE/C=0.3%とし、混和剤を添加している。

同表より、目標空隙率 15%、20%共に、著しく高い流



写真-2 試験体底面のペーストだれの状況 (HAE/C=0.4%, 経過時間 0 分)

動性が確認された。ペースト量の多い目標空隙率 15%では、経過時間 90 分時点においてもペースト分の底面だれが確認された。

### 3.3 圧縮強度試験結果

図-3は、同じ目標空隙率 ( $V_R=25\%$ ) で HAE/C を変化した各 POC の圧縮強度試験結果を示したものである。

同図より、混和剤未添加の POC において、練上がりからの時間の経過に伴う圧縮強度の低下が見られた。練上がり直後に対する圧縮強度比は、経過時間 30 分毎に 97%、94%、89%、72%となった。時間の経過に伴う圧縮強度の低下傾向が生じた主な理由として、図-4に示すように、ペースト分の乾燥による流動性の低下によって、粗骨材

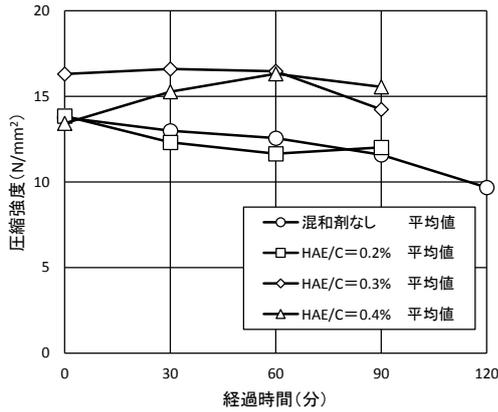


図-3 混和剤添加量が異なる圧縮強度の変化  
( $V_R=25\%$ ,  $W/C=0.3$ )

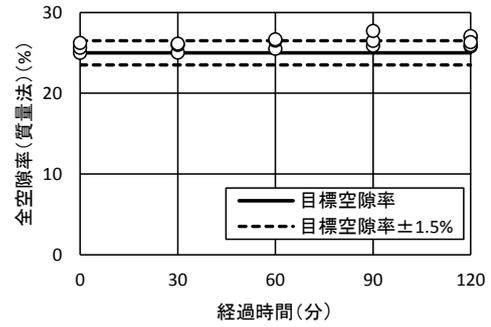
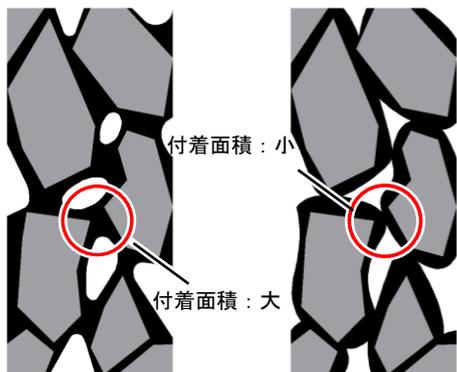


図-5 全空隙率と経過時間の関係  
( $V_R=25\%$ ,  $W/C=0.3$ , 混和剤未添加)



(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

間の付着面積の低下が生じたことが考えられる。また、質量法による全空隙率の測定値は、概ね目標空隙率の±1.5%に収まっているものの、経過時間90分および120分の一部試験体においては全空隙率が若干大きく測定されている(図-5参照)。これは、施工時の締固め不足により、試験体表面が隆起したことが原因であると考えられる。

HAE/C=0.2%および0.3%においては、混和剤未添加の場合同様に練上がりからの時間の経過に伴う圧縮強度の低下が見られ、経過時間90分時点の圧縮強度比は、共に87%となった。また、HAE/C=0.3%においては、混和剤未添加のPOCと比較して圧縮強度が25%程度増加する傾向が得られた。これは、混和剤の添加によりペースト分の流動性が改善され、図-4で示すように、粗骨材間の付着面積がより増大したことが一因と考えられる。

HAE/C=0.4%においては、経過時間0分の圧縮強度は、混和剤未添加の場合と同等であり、経過時間60分に至るまで徐々に増加している。これは、ペーストだれにより、練上がり直後の試験体上下での空隙率のばらつきが大き

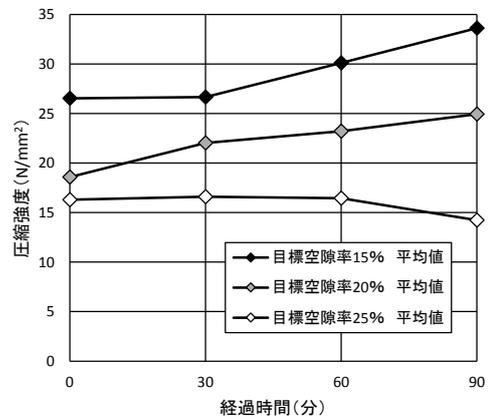


図-6 目標空隙率が異なる圧縮強度の変化  
(HAE/C=0.3%,  $W/C=0.3$ )

くなり、時間の経過に伴い、ペーストのだれ落ちが改善されたためと考えられる。このことから、運搬時間を考慮し、調合設計を行う必要がある。

図-6はHAE/C=0.3%とし、目標空隙率を変化させた各POCの圧縮強度試験結果を示したものである。目標空隙率15%、20%の圧縮強度は、経過時間90分に至るまで徐々に増加している。これは、上述したように、ペーストだれによるものと考えられる。

#### 4. 結論

本研究では、暑中期条件(35°C)において、練上がりからの経過時間および混和剤の添加量が、ポラスコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に及ぼす影響に関して検討した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 混和剤を用いないポラスコンクリートにおいて、練上がりからの経過時間120分時点で圧縮強度の低下率が28%となった。
- (2) 水セメント比および空隙率が一定( $W/C=0.3$ ,  $V_R=25\%$ )の下で、混和剤未添加のポラスコンクリー

トと比較して、HAE/C=0.3%として混和剤を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度は約 25%程度増加する傾向が見られた。

#### 謝辞

本実験を実施するにあたり、三重大学学部生岩阪駿太君にご助力を頂いた。また、本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) による。付記して謝意を表す。

#### 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) 藤木諒将，森下拓海，中川武志，畑中重光：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1353-1358，2018
- 3) 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