

PCグラウト製造時の練混ぜ方法がフレッシュおよび硬化性状に及ぼす影響

オリエンタル白石(株) 正会員 工修 ○東 洋輔
オリエンタル白石(株) 正会員 石井 智大

Abstract : This paper is aimed at studying the influence of the hand-mixed production method of non-bleeding PC grout both on its fresh properties, including rheological characteristics such as the flow rate, and its hardened properties, including the setting time, volume change and compressive strength. Two case studies were conducted. In the one case, water and cement were mixed at a ratio of 21%, in the quantity of only half standard bag of cement, and with a mixing time for not 90 but 120 seconds, for the initial step. The remaining water was then added to the mix for the second step. In the other case, the mixing of the full quantities of water and cement was made only in one step. In the first case, or the two-step mixed grout, the flow rate and the pot life of the PC grout were improved as compared to the second case. On the other hand, no changes were observed for the hardened properties between the two cases.

Key words : PC grout, Mix method, Flow rate, Pot life

1. はじめに

近年、PCグラウトの充填不足により、PCグラウトを再注入する事例が報告されている。PCグラウトの充填不足は、PCグラウトの施工に起因した充填不良による空隙あるいはブリーディング水の消失に伴う空隙などによって発生し、空隙の形状や位置する場所は一様ではない。さらに、空隙部にはPC鋼材も存在している場合があり、空隙に対してグラウトを完全に充填するためには、JP漏斗による流下時間が小さい、すなわち塑性粘度が小さいPCグラウトを注入する方が流動性が良く、狭隘箇所への充填性が向上するものと推察される。次に、PCグラウト再注入工事では、空隙1箇所に対して注入する量が少なく、かつ注入する箇所数が多い場合、注入場所の盛替えに要する時間が長くなり、PCグラウトの可使用時間を超える機会が多くなる。そのため、PCグラウトの可使用時間および注入量を考慮して、大量のPCグラウトを製造するというよりは、1袋練りなどの少量練りにて行なう方が現実的と考えられる。また、PCグラウトの可使用時間を延長することができれば、製造バッチ数を少なくできるため、より経済的である。したがって、再注入工事で採用されるPCグラウトは、流動性が良く、可使用時間が長いものが適当であると考え、練混ぜ方法によってこれらの効果が得られないか検討することとした。

ここで、コンクリートの製造方法として、練混ぜ水を分割投入し、ブリーディングを抑制するダブルミキシング¹⁾が従来報告されている。ダブルミキシング工法は、練混ぜ水を一次水および二次水に分割して注水、練混ぜを行うものである。一次練混ぜによってセメント粒子の全表面が一様に練混ぜ水と接し、二次練混ぜによってセメント粒子が液体中で均一に分散することで、セメント粒子の接水面積が増加し、セメントペーストをより緻密化させ、ブリーディングを低減させる効果を有するものである^{1), 2)}。しかしながら、このブリーディングを低減する手法について、ノンブリーディングタイプのPCグラウトに対して適用したときの効果や練混ぜ方法の影響を整理評価した報告はあまりない。

上述した背景を踏まえて本研究では、ノンブリーディングタイプのPCグラウトの練混ぜ方法について、水を分割して練り混ぜるときの水の割合、練混ぜ量、練混ぜ時間などの練混ぜ方法がフレッシュ性状に及ぼす影響を評価した。また、分割して練り混ぜる方法で製造されたPCグラウトの凝結特性、体積変化、ブリーディング、硬化特性および塩化物イオン浸透抵抗性の検討を加えた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料とPCグラウトの配合

使用材料として、PCグラウトは市販のノンブリーディングタイプのプレミックス材（以下、Cと称す）を使用した。また、実験の都合により一部の検討にて、セメント硬化体中の自由塩化物イオンを結晶内に固定化し、固定化塩化物イオンに変える性能を持つ混和材（以下、C1固定材と称す）を使用した。本論では練混ぜ方法に関する影響を評価しているため、C1固定材による影響は評価しない。

PCグラウトの配合として、水と粉体（CおよびC1固定材、以下、Pと称す）を練り混ぜるのみである。各検討においては、異なる水粉体比（以下、W/Pと称す）、分割された一次水および二次水の割合、練混ぜ量（以下、練り量と称す）および練混ぜ時間で行ったため、各所において詳細を適宜記載する。なお、C1固定材はCに対して質量比10%を置換した。

2. 2 練混ぜ方法

本検討では、20℃、RH60%環境下で保管した材料を用いて、20℃、RH60%環境下で練混ぜおよび試験等を行った。PCグラウトの練混ぜは、ハンドミキサーによる練混ぜを所定時間行なった。従来のPCグラウトの練混ぜ方法（以下、S法と称す）は、水および粉体を予め容器に投入し練り混ぜる方法である。また、S法は**写真-1**に示すミキサーの羽（表面積：約4000cm²、回転数1300rpm、以下、従来ミキサーと称す）を用いて練り混ぜた。一方、練混ぜ水を分割して注水する方法（以下、W法と称す）は、一次水（以下、W1と称す）およびすべての粉体を投入して一次練混ぜを所定時間行ない、その後二次水（以下、W2と称す）を注水して二次練混ぜを所定時間行なうものである。なお、一次練混ぜ時のPCグラウトは低W/Pとなるため粘性が高い状態にあり、従来ミキサーで練り混ぜることが困難であった。そのため、**写真-2**に示す表面積が小さいミキサーの羽（表面積：約1000cm²、直径：200mm、回転数：300rpm、以下、一次用ミキサー）を使用し、一次練混ぜを行った。その後、二次練混ぜは従来ミキサーにより行なった。ここで、一次練混ぜ後のPCグラウトを**写真-3**に示す。なお、試験の管理項目の流動性はJP漏斗流下時間で3秒～6秒、可使時間は120分以上を目標値とした。



写真-1 ミキサーの羽(従来ミキサー(二次練り用))

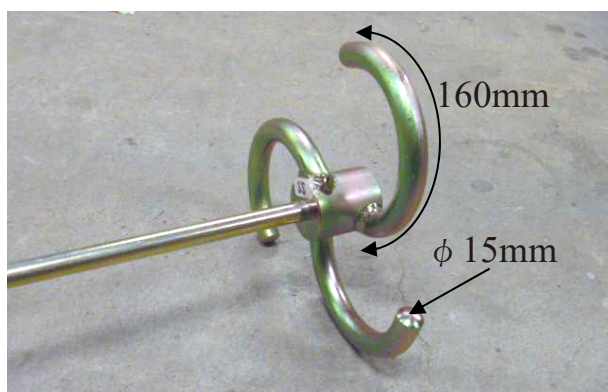


写真-2 一次用ミキサー



写真-3 一次練混ぜ後のPCグラウト

3. 練混ぜ水を分割注水する効果の検証

S法およびW法における、JP漏斗流下時間（以下、流下時間と称す）の結果を図-1に示す。配合条件は、W/P=36%、W1/P=21%とし、C1固定材無しとした。また、練混ぜ条件として、練り量は1袋（C=25kg）練りとし、練混ぜ時間はW法で一次練り90s、二次練り90sとし、S法で90sとした。

図-1より、S法と比較してW法の方が練混ぜ直後の流下時間が短くなった。さらに、経時変化はS法と比較してW法の方が流動性を保つ時間が長く、可使時間が改善されていることがわかった。

次に、練混ぜ直後の流下時間を同程度としたときの、流下時間経時変化の結果を図-2に示す。配合条件として、S法はW/P=36%、C1固定材無しとし、W法はW/P=34.5%、W1/P=21%、C1固定材無しとした。また、練混ぜ条件として、練り量は1袋、練混ぜ時間はW法で一次練り90s、二次練り90sとし、S法で90sとした。図-2より、練混ぜ直後の流下時間はS法およびW法ともに約4.5sであるが、120分経過後ではS法が5.8sに対してW法が5.2sと差が生じ始め、その後の経過ではW法流下時間の方が流動性が保持される傾向を示した。

図-1および図-2の結果から、W法を適用すると流動性が良くなること、可使時間が延長されることがわかった。これは、練混ぜ水を分割して練混ぜすることによって、セメントが一樣に濡れて、分散し易くなる¹⁾。そのため、セメントの接水面積が増加することとなり、セメント凝集体の内部に多くの拘束水が形成され、流動性の保持に寄与するペースト中の自由水が保持され、このような現象が起こると推察される。

4. 練混ぜ方法の検討

4.1 一次水粉体比の検討

練混ぜ直後の流下時間がもっとも短くなるW1量を決定するため、W1とW2の割合を変え、最適なW1/Pを決定した。配合条件として、W/Pは35%、C1固定材有りとし、W1/Pは19%、20%、21%、22%、24%、27%および30%とした。また、練混ぜ条件として、練り量は半袋 (C=12.5kg、C1固定材1.4kg) 練り、練混ぜ時間は一次練り90s、二次練り90sとした。

図-3に練混ぜ直後の流下時間とW1/Pとの関係を示す。これより、流下時間はW1/Pが21%で最小となり、21%を中心に流下時間が長くなる傾向を示した。この理由は明らかではないが、練混ぜ水の分割練りを最適にすることで、セメント粒子が液体中でより均一に分散する状態となり、セメントの凝集の偏りが改善され、もっとも流体として流動化しやすくなったためと考えられる。

4.2 練混ぜ量の検討

W法で行う際の練混ぜ量が流下時間に及ぼす影響を評価した。配合条件として、W/P=35%、W1/P=

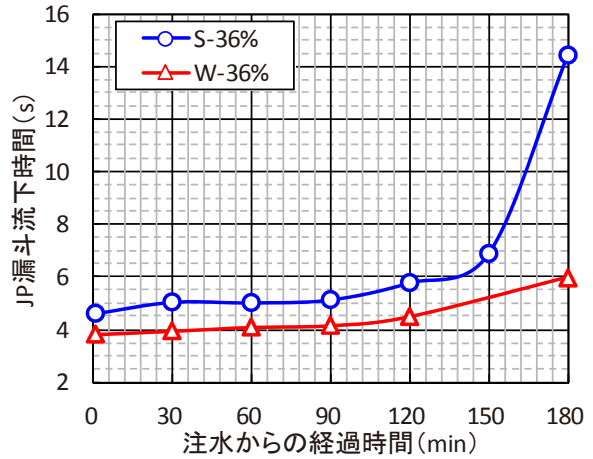


図-1 S法とW法の流下時間 (W/P一定)

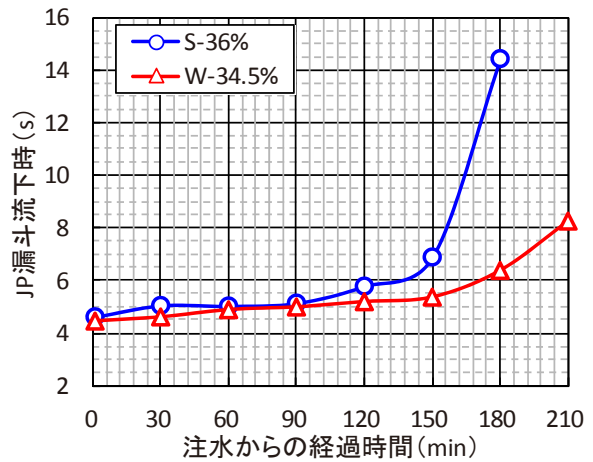


図-2 流下時間 (初期流下時間一定)

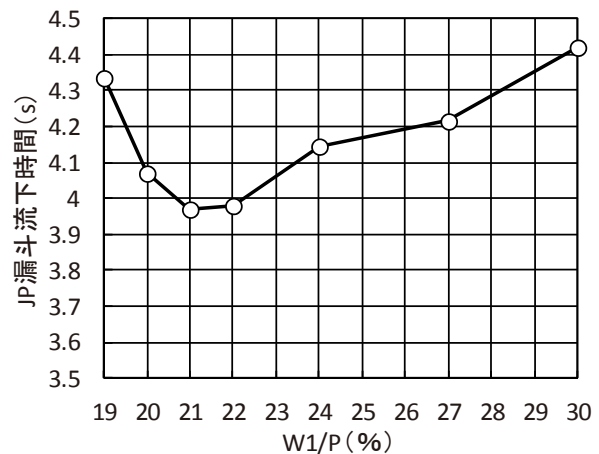


図-3 W法のW1/Pと流下時間

21%, C1固定材有りとした。練混ぜ条件として、練り量は一袋練り (C=25.0kg, C1固定材2.8kg) あるいは半袋練り (C=12.5kg, C1固定材1.4kg) とし、練混ぜ時間は一次練り90s, 二次練り90sとした。

図-4に練り量が異なるときの流下時間の関係を示す。これより、一袋練りの場合、練混ぜ直後の流下時間は4.5sであったが、半袋練りの場合、練混ぜ直後の流下時間は約4.0sとなり、練り量が少なくなる方が流動性を改善した。また、流下時間の経時変化は半袋練りの方が小さくなり、可使時間が長くなる傾向であった。練混ぜ方法は同一として、練り量を変化させたこれらの結果から、ミキサーの練混ぜ性能に対して、練り量の少ない方がより均一に攪拌することが容易であったため、流動性に影響があったと考えられる。

4.3 練混ぜ時間の検討

一次練混ぜ時あるいは二次練混ぜ時の練混ぜ時間が流下時間に及ぼす影響を評価した。配合条件として、W/P=35%, W1/P=21%, C1固定材有りとした。練混ぜ条件として、練り量は半袋練り (C=12.5kg, C1固定材1.4kg), 練混ぜ時間は一次練りを90sあるいは120s, 二次練りを90s, 120sあるいは150sとした。

図-5に一次練りおよび二次練りの練混ぜ時間と練混ぜ直後の流下時間との関係を示す。これより、一次練りの時間が90sより120sの方が流下時間が小さくなることがわかった。また、二次練りの時間は流下時間に明瞭な影響を示さなかった。一次練りの時間の影響は、一次練混ぜ時間を長くすることで、セメント粒子を一様に濡れさせることができ、セメント粒子の分散性が向上した結果であると推察される。

図-6に一次練りおよび二次練りの練混ぜ時間と流下時間の経時変化の関係を示す。これより、一次練りの時間が120sの場合、可使時間が延長されることが確認でき、二次練りの時間を変更しても同程度の可使時間であった。これらにより、一次練りの時間を長く設定することで、セメント粒子を一様に濡れさせることができた結果、セメント凝集体が拘束した自由水が流動性の保持に寄与したものと考えられる。

次に、S法とW法の練混ぜ時間を同一にしたときの、流下時間に及ぼす影響を評価した。配合条件は、W/P=36%, C1固定材無しとし、W1/PをW法は21%, S法は36% (すなわち、二次水は0%) とした。練混ぜ条件として、練り量は1袋練り (C=25.0kg), 練混ぜ時間はW法で一次練り90s, 二次練り90sとし、

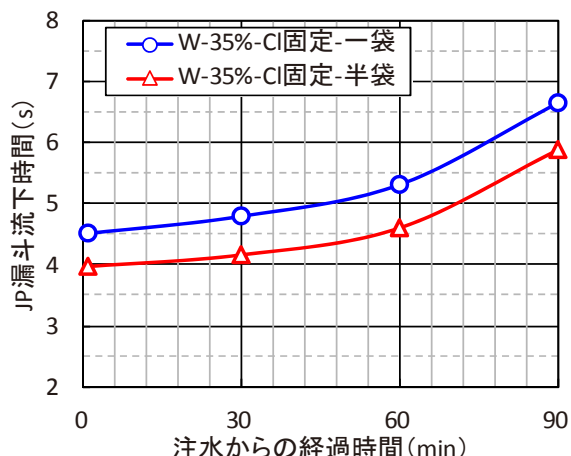


図-4 練り量と流下時間の関係

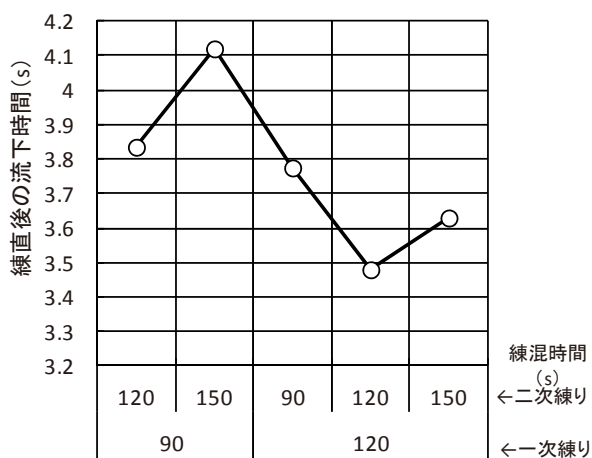


図-5 練混ぜ時間と練混ぜ直後の流下時間

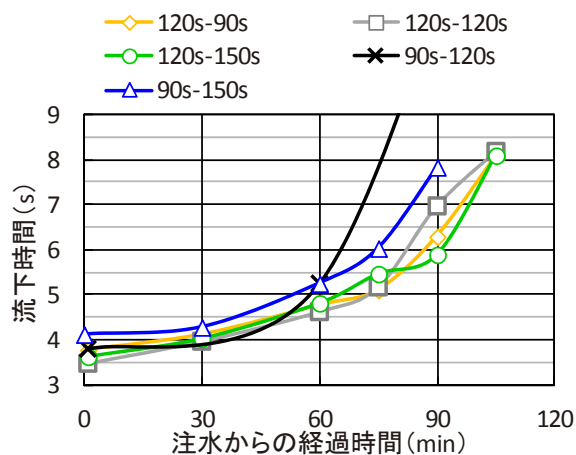


図-6 練混ぜ時間と流下時間の経時変化

S法で90sあるいは180sとした。図-7にS法およびW法の練混ぜ時間の合計を同一としたときの流下時間を示す。これより、練混ぜ直後の流下時間はW法およびS法(180s)で同程度であったが、可使時間はW法の方が長くなった。またS法について、練混ぜ時間を180sと長くした場合と90sの結果を比較すると、練混ぜ時間を延長することで、練混ぜ直後の流下時間が小さくなる傾向であったが、可使時間は同程度であった。これらの結果から、練混ぜ時間を長くすることで、流動性が改善される傾向であったのは、セメント粒子と練混ぜ水がより均一に濡れ、セメント粒子が分散しやすくなったためと考えられる。一方で、練混ぜ時間を同一としたS法の可使時間は延長されず、W法では可使時間が延長される結果であったことは、S法よりもW法の方が分割して練混ぜを行なうことで、セメント粒子を均一に分散させる効果があり、結果として自由水が接するセメント粒子が多くなり、流動性の保持性能を向上させたものと推察される。

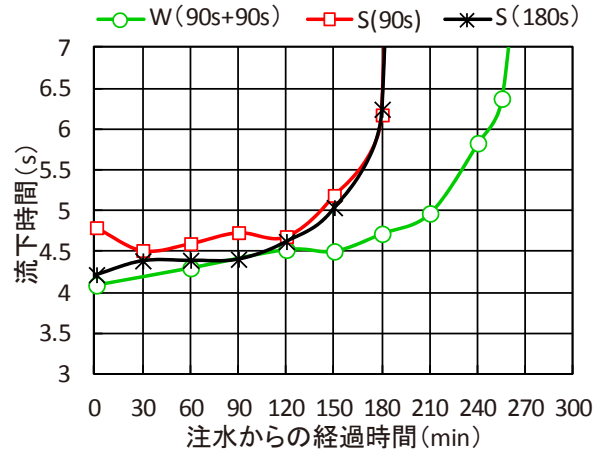


図-7 練混ぜ時間を同一にしたときの流下時間

5. 練混ぜ水を分割注水する練混ぜ方法が各種物性に及ぼす影響

W法が各種物性に及ぼす影響をS法と比較した。配合条件は、W/P=36%、C1固定材無しとし、一次水粉体比をW法は21%、S法は36%とした。練混ぜ条件として、練り量は1袋練り (C=25.0kg) とし、練混ぜ時間はW法で一次練り90s、二次練り90sとし、S法で90sとした。

5. 1 凝結特性

凝結に与える影響を評価するため、JIS A 1147に準拠し、W法あるいはS法によって練混ぜたPCグラウトについて試験を行った。凝結結果を表-1に示す。これより、凝結特性に与える練混ぜ方法の影響はないことを確認した。

5. 2 鉛直管試験による体積変化およびブリーディング特性

鉛直管試験 (JSCE-F 535) をW法およびS法について行い、体積変化およびブリーディングの発生について評価した。試験結果を表-2に示す。これより、体積変化はS法およびW法ともに同程度であり、ブリーディングは両者とも発生しなかった。

5. 3 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度および静弾性係数を評価するため、φ50×100mmの円柱供試体を作製した。供試体は材齢28日まで20℃環境下で封緘養生を行い、それぞれの試験へ供した。圧縮強度はJIS A 1108に準拠し、静弾性係数はJIS A 1149に準拠して行なった。圧縮強度および静弾性係数の結果を表-3に示す。これにより、圧縮強度および静弾性係数ともに同程度であり、練混ぜ水を分割注水する練混ぜ方法が硬化性状に及ぼす悪影響がないことを確認した。

表-1 凝結時間

	凝結時間 (h-min)	
	始発	終結
W法	6-45	7-45
S法	6-55	7-45

表-2 鉛直管試験

	鉛直管試験	
	体積変化率 (%)	ブリーディング率 (%)
W法	0.40	0
S法	0.47	0

表-3 圧縮強度および静弾性係数

	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
W法	105	38.8
S法	101	39.1

表-4 塩化物イオン浸透深さ

	塩化物イオン浸透深さ (mm)
W法	5.9
S法	6.4

5. 4 塩化物イオン浸透抵抗性

塩化物イオン浸透抵抗性を評価するため、 $\phi 50 \times 100$ mmの円柱供試体の側面を浸透面とした。20℃環境下で封緘養生を材齢28日までに行い脱型し、NaCl10%濃度の水溶液に浸漬した。浸漬3カ月後に供試体を割裂し、0.1N硝酸銀水溶液を割裂面に噴霧し、白色に変化した箇所の表面からの深さを測定した。塩化物イオン浸透深さの結果を表-4に示す。これより、W法の方がS法より浸透深さが小さいものの、同程度の値であり、練混ぜ水を分割注水する練混ぜ方法が塩化物イオン浸透抵抗性に及ぼす悪影響がないことを確認した。

6. まとめ

本研究では、ノンブリーディングタイプのPCグラウトをハンドミキサーで練混ぜ製造する方法が、PCグラウトのフレッシュ性状あるいは硬化性状に及ぼす影響を検討した。検討から得られた結果を以下に示す。

- (1) 練混ぜ水を分割して投入および練混ぜを行いPCグラウトを製造する場合、PCグラウトの流動性が良くなり、可使時間が延長する傾向を示した。これは、同じW/P条件、あるいは練混ぜ直後の流下時間を揃えた場合においても同様の結果を得られた。
- (2) 練混ぜ水を二分割して投入および練混ぜを行いPCグラウトを製造する場合、一次練混ぜ時に高粘性となるため、ハンドミキサーの羽の形状および回転数を適切に設定する必要がある。
- (3) 練混ぜ水を分割して投入および練混ぜを行いPCグラウトを製造する場合、一次水粉体比を21%とすること、練混ぜ量を1袋練りから半袋練りへ少なくすること、一次練混ぜ時間を90sから120sへ延長することによって、PCグラウトの流動性を改善し、可使時間が延長されることがわかった。なお、二次練混ぜ時間の影響は明瞭ではなかった。
- (4) 練混ぜ水を分割して投入および練混ぜを行ったPCグラウトは、練混ぜ水を一括注水して練混ぜる手法のPCグラウトと比較して、凝結時間、体積変化率、ブリーディング率、圧縮強度、静弾性係数および塩化物イオン浸透抵抗性において同程度であることを確認した。

参考文献

- 1) 田澤榮一, 笠井哲郎: フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果, 土木学会論文集, Vol. 396, V-9, pp. 135-142, 1988. 8
- 2) 磯貝寛幸, 田澤榮一, 笠井哲郎: 化学混和剤を添加したセメントペーストのダブルミキシング効果, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-249, pp. 497-498, 2008. 9