

高濃度スラッジ水と回収細骨材を用いた

環境配慮型先送り材の室内実験および作製方法の検討

○高橋 亨*1 船尾 孝好*1 西邨 知之*1 久世 武*1 菅生 泰夫*1

要旨：2050 年カーボンニュートラルの実現を目指し、社会を形成する一員であるレディーミクストコンクリート工場においても、脱炭素、低炭素、資源循環という環境配慮を求められている。

今回の実験では、ポンプ施工における先送りモルタルに、高濃度スラッジ水と回収細骨材を用いた環境配慮型先送り材の適用について検討を行った。室内実験により実装に適したペール缶での作製方法および先送り材としての品質を確認し、環境配慮型先送り材の製造性および実装の可能性を見出すことができた。

キーワード：先送り材、先送りモルタル、ポンプ施工、環境配慮、スラッジ水、回収骨材

1. はじめに

ポンプ施工時に使用される先送りモルタル（以下、先送り材）は、一般的にレディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場）が 0.5m³ のモルタルを製造し、トラックアジテータで施工現場まで運搬する。ポンプの配管内を通された後の先送り材は、運搬に使用したトラックアジテータに積み戻され、先送り材と混ざった少量の生コンクリートとともに、生コン工場に持ち帰り処理される。また、先送り材に使用するセメントおよび細骨材はいずれもバージン材料が使用されている。

この様に、施工躯体で使用されないにも関わらず、バージン材料を使用し少量のモルタルをトラックアジテータで運搬することで、製造、運搬および廃棄で CO₂ が発生するとともに環境へも負荷をかけている。

本実験では、生コン工場における脱炭素、低炭素、資源循環を指向し、単位セメント量の低減と産業廃棄物の有効活用を目的として、濃度を意図的に高めた高濃度スラッジ水と回収細骨材を用いた環境配慮型先送り材の性状とその品質を室内実験で確認することとした。また、運搬による CO₂ 排出を低減するために、ペール缶で運搬し使用する少量の先送り材の作製方法の検討も行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

今回の室内実験で使用した先送り材の使用材料を表-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。練混ぜに用いる水は、基準配合に使用するものとして上水道水を、スラッジ水は、実験工場のスラッジ水槽から採取し、ポリバケツでスラッジ固形分を沈殿させ濃度調整したものを使用した。また、回収細骨材は実験工場の回収細骨材置き場から必要量の試料を採取し、表乾状態に調整し使用することとした。なお、砕砂①、砕砂②および高性能 AE 減水剤は実験工場が標準化しているものを使用した。

*1 大阪兵庫生コンクリート工業組合 リサイクル検討 WG

表－1 先送り材の使用材料

記号	材料	種類
C	セメント	普通ポルトランドセメント
NW	水	上水道水
SW		スラッジ水
S1	細骨材	砕砂①（奈良県中南和産）
S2		砕砂②（福岡県北九州産）
RS		回収細骨材
SP	化学混和剤	高性能 AE 減水剤

2. 2 先送り材の配合

室内試験における先送り材の計画配合を表－2 に示す。基準先送り材として、実験工場が先送り材として用いる C400 モルタルを基準配合とした。環境配慮型先送り材としてはスラッジ水の濃度を 10%、20%、30% に調整したものを 3 水準設定し、細骨材は S1、S2 および RS の 2 水準を設定した。また、流動性を確保する目的で高性能 AE 減水剤の使用の有無 2 水準を設けた。なお、配合計算ではスラッジ水中のスラッジ固形分量は単位セメント量に置き換えることとした。

表－2 先送り材の計画配合

配合 記号	スラッジ水 の濃度 (%)	単位量 (kg/m ³)						
		C	NW	SW	S1	S2	RS	SP
N(基準配合)	0	400	320	—	880	590	—	—
S10N-1	10	368	—	352	880	590	—	—
S10N-2	10	360	—	440	710	475	—	—
S10N	10	368	—	352	880	590	—	2. 21
S10R	10	368	—	352	—	—	1443	1. 10
S20N	20	336	—	384	880	590	—	5. 04
S20R	20	336	—	384	—	—	1443	3. 02
S30N	30	304	—	416	880	590	—	8. 40
S30R	30	304	—	416	—	—	1443	5. 17

2. 3 先送り材の作製方法

今回の室内試験では、まずは全配合、試験練りミキサを用いて 30L の先送り材を作製することとした。細骨材、セメント、水の順に材料を投入し 90 秒間ミキサで練り混ぜてから練り船に排出し、それぞれ試験を行った。

試験練りミキサで作製した先送り材のうち、良好な試験結果が得られた配合のみパール缶とハンドミキサを用いて 10L の先送り材の作製を行った。作製方法は、先行でセメントと水を 15 秒ハンドミキサで攪拌しセメントペーストを作製した後、細骨材を投入してさらに 90 秒ハンドミキサで攪拌して作製することとした。パール缶での作製は、実装時にトラックアジテータの空きスペースに積んで施工現場まで運搬することを想定しているため、製造性および運搬中の経時変化についても確認することとした。経時変化は静置状態で養生した試料のブリーディングが多くなるため、試料を均一にするため、試験の直前にハンドミキサで再攪拌を行った。

2. 4 室内試験項目および試験方法

室内試験で実施した試験項目、試験方法および目標値を表－3 に示す。目標値については既往の先送り材の実験によって、圧送が可能であることが確認された試験結果⁹⁾を元に設定した。

表－3 試験項目，試験方法および目標値

試験項目	試験方法	目標値	
		基準配合	先送り材
モルタルフロー (cm)	JIS R 5201 セメントの物理試験方法 12 フロー試験に準拠	11.1～11.8	14.9～21.3
流下時間 (秒)	JSCE-F541 充填モルタルの流動性試験 方法に準拠	—	7.4 以下
目視評価	目視による 5 段階評価 (良) 5 → 1 (悪)	—	—

3. 室内試験結果

3. 1 試験練りミキサで作製した先送り材の試験結果

試験練りミキサで製造した先送り材の試験結果を表－4 に示す。モルタルフローは，S10N-1 および S30N のみ目標値を満足しないことがわかる。スラッジ水濃度が同じ S10N-1 と S10N-2 では，単位水量を大きくすると性状を大きく改善できた。また，S10N-1 と S10N では，同じ単位水量ではあるが，高性能 AE 減水剤を用いることで，目標値の範囲内に収めることができた。さらに，S10N，S20N，S30N と S10R，S20R，S30R を比べると，回収細骨材を使用するとモルタルフローが小さくなる傾向が認められる。

流下時間は，S10N-2 および S10N 以外，目標値を満足しないことがわかる。また，スラッジ水濃度 20%，30%の配合では，モルタルフローが目標値を満足するものでも，流下時間が目標値よりも大幅に長くなり，粘性が大きいことがわかる。

目視評価は，スラッジ水濃度 10%と 20%の配合では，基準配合と同等若しくは良好であると判定したが，スラッジ水濃度 30%の配合では悪いと判定し，濃度の濃いスラッジ水を用いると目視評価が悪くなることがわかる。

表－4 試験結果

配合記号	モルタルフロー (cm)		流下時間 (秒)	目視評価
	測定値	平均値		
N(基準配合)	11.6×11.2	11.4	9.1	3
S10N-1	11.4×11.2	11.3	—	3
S10N-2	16.7×16.5	16.6	4.4	4
S10N	17.5×17.2	17.4	7.4	5
S10R	16.9×16.7	16.8	8.1	5
S20N	19.6×18.9	19.3	14.8	4
S20R	15.5×15.2	15.4	14.3	3
S30N	22.2×21.8	22.0	21.2	2
S30R	16.4×16.3	16.4	23.0	2

3. 2 ペール缶で作製した先送り材の試験結果

ペール缶で作製した先送り材の試験結果を表－5～表－8 に示す。試験練りミキサで作製した先送り材の内，試験結果が良好であった，配合記号 S10N-2，S10N，S10R，S20N についてペール缶で作製する実験を行った。S10R，S20N については，流下時間を満足していないが，目視評価が基準配合よりよかったこと，出来る限り回収細骨材や高濃度のスラッジ水の使用を検討するため，実験に加えることとした。

配合記号 S10N-2 は，練混ぜ直後から 60 分経時までフロー値が僅かに目標値を超過したことを除

いて性状は良好であったが、ブリーディングが多く発生し、再攪拌に時間を要する状態であった。

配合記号 S10N は、高性能 AE 減水剤を使用した。15 分経時ではロート内でモルタルが閉塞し、30 分経時では測定不能という結果であった。モルタルフローも練混ぜ直後以外、目標値を満足しないことがわかる。

配合記号 S10R は、高性能 AE 減水剤および回収細骨材を用いて作製した。高性能 AE 減水剤の使用量が配合記号 S10N の約半分の使用量であったが、60 分経時までモルタルフローが目標値を概ね満足することがわかる。また、流下時間においても 30 分経時から長くなる傾向ではあったが閉塞には至らず良好な状態を保っていた。

配合記号 S20N は、作製時から粘性が大きくペール缶でのハンドミキサーによる攪拌に苦慮した。練混ぜ直後は試験を行えたが、15 分経時以降では再攪拌が不可能となり、試験は実施できなかった。

4. まとめ

今回の実験結果から、試験練りミキサーにおいては目標値を満足しないものもあるが、スラッジ水濃度 10～30%でも、先送り材を作製可能であるが、実際の少量運搬を想定したペール缶での作製においては、スラッジ水濃度 20%では作製が困難となることがわかった。

ペール缶での作製においては、高性能 AE 減水剤の使用よりも単位水量を大きくする方が経時変化は小さくなりモルタルフローは目標値の上限を若干外れるものの 60 分経時では先送り材の目標値を概ね満足する結果となった。また、スラッジ水濃度 10%で高性能 AE 減水剤と回収細骨材を使用することで 60 分経時まで先送り材の目標品質を満足することがわかった。

以上のことから、製造や運搬の効率化のためにペール缶による先送り材の作製方法により、スラッジ水濃度 10%と回収細骨材を使用することで、環境配慮型先送り材の作製は可能と考える。今後、実大圧送実験に用い適用性の検討を行う所存である。

謝辞 今回、実験にご協力頂いた生コンクリート製造工場および各所関係者の方々に、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部 材料・施工部会 ポンプ工法 WG：第 19 回圧送技術研究会報告書，pp.3-29，2023 年

表－5 S10N-2 の試験結果

経過時間 (分)	モルタルフロー (cm)		流下時間 (秒)	目視評価	製造性
	測定値	平均値			
0	22.1×21.9	22.0	3.3	4	○
15	22.2×21.5	21.9	3.3	5	○
30	21.9×21.7	21.8	3.4	4	○
45	21.6×21.2	21.4	3.3	5	○
60	20.7×20.3	20.5	3.4	5	○

表－6 S10N の試験結果

経過時間 (分)	モルタルフロー (cm)		流下時間 (秒)	目視評価	製造性
	測定値	平均値			
0	15.2×15.0	15.1	9.9	4	○
15	12.3×12.1	12.2	14.8(閉塞)	5	○
30	11.7×11.7	11.7	—	4	△
45	—	—	—	—	×
60	—	—	—	—	×

表－7 S10R の試験結果

経過時間 (分)	モルタルフロー (cm)		流下時間 (秒)	目視評価	製造性
	測定値	平均値			
0	17.6×17.3	17.5	6.1	4	○
15	17.0×16.7	16.9	6.1	5	○
30	15.8×15.5	15.7	6.9	4	○
45	15.8×15.7	15.8	7.4	5	○
60	15.1×14.4	14.8	12.0	5	○

表－8 S20N の試験結果

経過時間 (分)	モルタルフロー (cm)		流下時間 (秒)	目視評価	製造性
	測定値	平均値			
0	11.5×11.3	11.4	25.0(閉塞)	4	△
15	—	—	—	—	×
30	—	—	—	—	×
45	—	—	—	—	×
60	—	—	—	—	×