

高濃度スラッジ水を用いた環境配慮型先送り材の 製造とその品質に関する検討

○高橋 亨*1 船尾 孝好*1 徳増 俊彌*1 谷村 賢一郎*1 中野 慶*1

要旨：我が国では、2050年カーボンニュートラルの実現のため、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを掲げており、ロードマップを策定し達成に向けた取組みを推進している。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る時代になっている。

そこで我々は、ポンプ施工における先送りモルタルに着目し、高濃度スラッジ水を用いた環境配慮型先送り材を考案し、室内実験を実施した。検討の結果、従来の先送りモルタルと同等の品質を有する環境配慮型先送り材を製造することが可能であることを確認した。

キーワード：先送り材、環境配慮、スラッジ水、回収骨材、産業廃棄物、先送りモルタル

1. はじめに

ポンプ施工に使用する先送りモルタル（以下、先送り材）は、一般にレディーミクストコンクリート工場で作製され運搬される。JIS工場として先送り材は管理外の製品ではあるが、出荷する製品を環境配慮型へ移行していくことは、今後の重要な課題の一つである。

そこで本実験では、レディーミクストコンクリート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先送り材の性状とその品質を確認することとした。

2. 実験概要

実験の概要を表-1に、本実験におけるスラッジ水濃度とセメント量、回収細骨材の組合せを表-2に示す。実験の水準は、基準となる従来の先送り材、スラッジ水濃度10%、20%、30%の4水準。スラッジ水濃度10%、回収細骨材を使用しセメント量を400kg/m³、300kg/m³、200kg/m³、100kg/m³と変化させた4水準とした。

検討項目①：先送り材の性状に及ぼすスラッジ水濃度の影響を把握するため、スラッジ水濃度0%（基準：上澄水）、10、20及び30%として先送り材の性状を確認した。

検討項目②：回収細骨材、濃度10%のスラッジ水を使用した先送り材の性状に及ぼす単位セメントの影響を把握するため、単位セメント量を400、300、200および100kg/m³とした先送り材の性状を確認した。

3. 使用材料

先送り材の使用材料を表-3に示す。すべての使用材料が実験工場において調達可能なものとした。スラッジ水はスラッジ水槽から採取し、スラッジを沈殿させながら、適当な濃度となるように

*1 大阪兵庫生コンクリート工業組合 リサイクル検討WG

調整したものを使用した。なお、室内実験ではスラッジ水濃度を 20%、30%と意図的に高くしたものを作成し実験を行ったが、レディーミクストコンクリート工場では、品質面、設備面においても管理することが難しいことから現実的ではないが基準先送り材との比較を行うために実施した。

各種の細骨材の物性値を表-4 に示す。回収細骨材の物性値は細骨材 1 および細骨材 2 に比べて密度、粗粒率が小さくなり、吸水率が大きい値となった。

表-1 実験の概要

実験場所	S工場 大阪府八尾市
実験の水準	①従来の先送り材(基準:上澄水) スラッジ水濃度10%, 20%, 30% : 4水準 ②スラッジ水濃度10%, 回収細骨材を使用 セメント量 400kg/m ³ , 300kg/m ³ , 200kg/m ³ , 100kg/m ³ : 4水準
調査内容	①: 先送り材の性状に及ぼすスラッジ水濃度の影響確認 ②: 回収細骨材, 濃度10%のスラッジ水を使用した 先送り材の性状に及ぼす単位セメント量の影響確認

表-2 スラッジ水濃度と使用材料の組合せ

試験No.	スラッジ水濃度 (%)	セメント量 (kg/m ³)	使用骨材	
			細骨材1・細骨材2	回収細骨材
1 (基準)	0	400	○	—
2	10	400	○	—
3	20	400	○	—
4	30	400	○	—
5	10	400	—	○
6	10	300	—	○
7	10	200	—	○
8	10	100	—	○

表-3 先送り材の使用材料

材料名	種類	製造業者又は産地	密度 (g/cm ³)	混合割合 (容積比%)
セメント	普通ポルトランドセメント	To社	3.16	—
細骨材1	砕砂	奈良県中南産	2.65	60
細骨材2	砕砂(石灰砕砂)	福岡県北九州産	2.67	40
細骨材3	回収細骨材	細骨材1と2の混合		100
練り混ぜ水	上澄水	—	1.0	—
	スラッジ水	—	1.0	—

表-4 各種の細骨材の物性値

区分	種類	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	粗粒率	粒形判定実積率 (%)
細骨材1	砕砂	2.63	2.66	1.06	2.9	2.70	56.4
細骨材2	石灰砕砂	2.67	2.68	0.56	3.4	2.48	57.3
細骨材3	回収細骨材	2.52	2.59	2.63	2.5	2.42	60.3

4. 先送り材の調合および試験方法

先送り材の調合を表-5 に示す。同表に示した試験 No.1 を基準調合とした。スラッジ水濃度については、試験 No.2 は 10%、No.3 は 20%、No.4 は 30%とした。スラッジ増加分量は細骨材の質量と置換した。

試験 No.1(基準)に示す先送り材を製造する際の練混ぜ水には上澄水を使用し、単位水量を 320 kg/m³ に設定した。濃度 10%の高濃度スラッジ水を用いる際には、先送り材の品質および性状の観点から単位スラッジ水量は 400 kg/m³ 程度必要であると推察されたため、試験 No.2 の単位スラッジ水量を 400 kg/m³、試験 No.3 を 420 kg/m³、試験 No.4 を 480 kg/m³ として製造した。

試験 No.5~8 については、細骨材 1 および細骨材 2 に比べて粒形判定実積率が大きい回収細骨材を使用するため、目標とするワーカビリティを得るための単位水量が少なくできると考え、スラッジ水濃度 10%で単位スラッジ水量を 385 kg/m³ とした。

以上の計 8 種類の先送り材について、表-6 に示す測定項目および試験方法により、先送り材のフレッシュ性状および硬化性状の確認を行った。

表-5 先送り材の計画調合

試験No.	スラッジ水濃度	単位量 (kg/m ³)					
		セメント	水	スラッジ水	細骨材1	細骨材2	細骨材3
1(基準)	0%	400	320	—	883	588	—
2	10%	400	—	400	753	505	—
3	20%	400	—	420	721	483	—
4	30%	400	—	480	623	419	—
5	10%	400	—	385	—	—	1263
6	10%	300	—	385	—	—	1347
7	10%	200	—	385	—	—	1430
8	10%	100	—	385	—	—	1510

表-6 測定項目および試験方法

測定項目		試験方法
フレッシュモルタル	流下時間	JSCE-F541「充てんモルタルの流動性試験方法」に準拠
	フロー値	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」 12 フロー試験に準拠
	目視評価	目視による5段階評価 (良) 5→1 (悪)
硬化モルタル	圧縮強度	JIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」に準拠

5. 実験結果および考察

5. 1 J14 ロート試験による流下時間

表-7 に先送り材の試験結果の一覧を示す。図-1 にスラッジ水濃度と先送り材の流下時間の関係を、図-2 にセメント量を減量し回収細骨材を使用した先送り材の流下時間の関係を示す。実験結果から、試験 No.2 スラッジ水濃度 10%では試験 No.1(基準)よりも流下時間が短くなったが、試験 No.3 および No.4 のスラッジ水濃度 20%および 30%では試験 No.1(基準)の 2 倍を超える流下時間であった。スラッジ水濃度の増加に伴い流下時間も長くなる傾向が認められた。試験 No.6~8 のセメント量を減量し回収細骨材を使用した調合では、概ね基準調合と同等の流動性が確保できた。



写真-1 J14 ロート試験器

表-7 先送り材の試験結果

試験No.	スラッジ水濃度	流下時間 (秒)	フロー値 (cm)		目視評価 (良) 5→1 (悪)
			測定値	平均値	
1(基準)	0%	7.12	17.2 × 15.3	16.3	3
2	10%	4.51	20.4 × 18.8	19.6	5(良好)
3	20%	14.92	13.9 × 13.9	13.9	2(粘性やや大)
4	30%	15.18	16.8 × 16.3	16.6	2(粘性大)
5	10%	6.56	19.3 × 18.5	18.9	5(良好)
6	10%	4.81	22.1 × 19.7	20.9	4
7	10%	6.27	21.3 × 19.1	20.2	3
8	10%	8.96	17.8 × 17.5	17.7	1(分離気味)

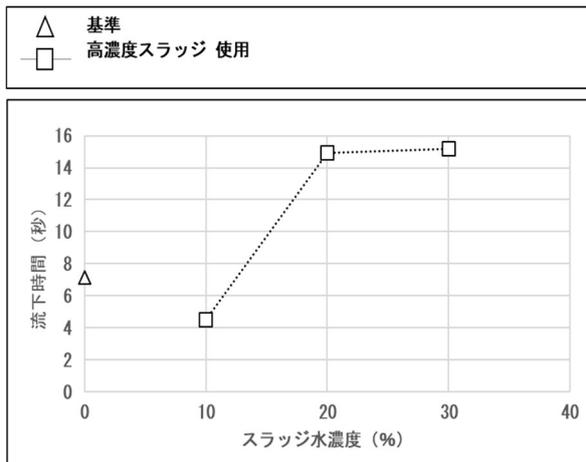


図-1 スラッジ水濃度と流下時間の関係

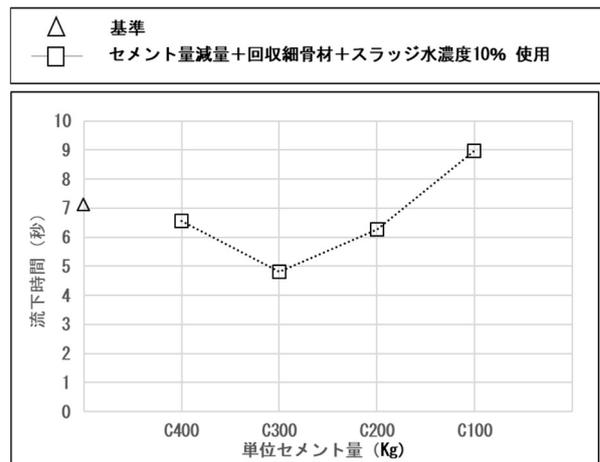


図-2 単位セメント量と流下時間の関係

5.2 フロー値

図-3 にスラッジ水濃度と先送り材のフロー値を、図-4 にセメントを減量し回収細骨材を使用した先送り材のフロー値を示す。スラッジ水濃度を増加させた調合では、ややばらついた結果となったが、スラッジ水濃度 30%においても試験 No.1(基準)と同等のフロー値を確保できた。なお、室内実験ではスラッジ水濃度 20%, 30%で使用できたが、実機で製造する際には計量器にスラッジが残留するなどの問題があるため使用することは難しいと考えられる。

また、セメント量を減量し回収細骨材を使用した調合では、試験 No.1(基準)よりもフロー値が大きくなる結果となった。試験 No.2 の単位セメント量 400 kg/m³、単位スラッジ水量 400 kg/m³とし細骨材 1(砕砂)、細骨材 2(石灰砕砂)を使用したものと、試験 No.5 の単位セメント量 400 kg/m³、単位スラッジ水量 385kg/m³で回収細骨材を使用したものでは、単位スラッジ水量を 15 kg/m³減じても同等の結果となっており、高濃度スラッジ水と回収細骨材の相性が良いことが確認できた。

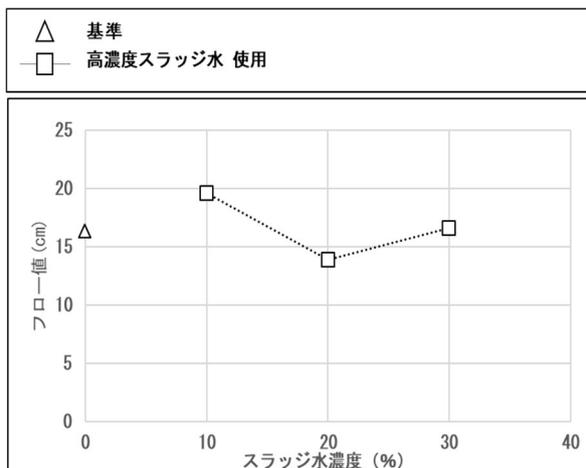


図-3 スラッジ水濃度とフロー値の関係

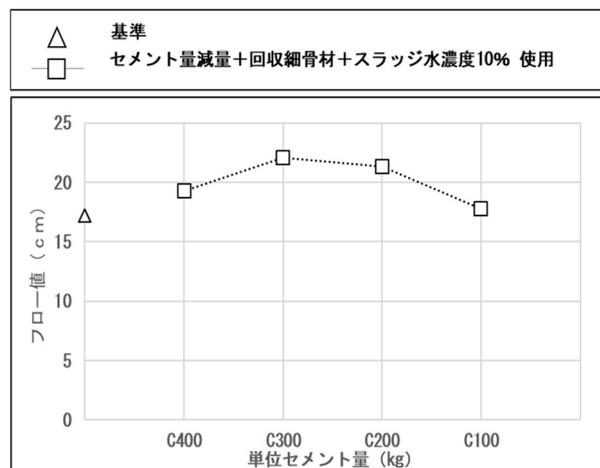


図-4 単位セメント量とフロー値の関係

5.3 目視評価

図-5 にスラッジ水濃度と先送り材の目視評価の関係を、図-6 にセメントを減量し回収細骨材を使用した先送り材の目視評価を示す。スラッジ水濃度を増加させた試験 No.2 では、スラッジ水濃度を 10%とすることで試験 No.1(基準)よりも適度な粘性でワーカブルな様相を呈する状態であり目視

評価 5 という結果であった。試験 No.3 および No.4 のスラッジ水濃度 20%および 30%では、試験 No.1(基準)よりも粘性が大きくワーカビリティの低下が顕著となったため目視評価 2 という結果であった。以上の流下時間と目視評価の結果から、スラッジ水濃度 10%までが有効であることが分かった。

また、セメント量を減量し回収細骨材を使用した試験 No.5~No.7 の調合では、セメント量が 400kg/m³, 300 kg/m³, 200 kg/m³ と減量するのに伴い目視評価が 5~3 と低下する傾向にあった。写真-3 に試験 No.6 の状態を示すが、試験 No.1(基準)に比べて粘性が低く材料分離も認められなかったため、目視評価 4 とした。

一方、試験 No.7 のセメント量 200 kg/m³ の調合は、目視評価が 3 であり試験 No.1(基準)と同等と評価しているが、若干のブリーディングが生じていた。写真-4 に示した試験 No.8 のセメント量 100 kg/m³ の調合は、細骨材とセメントペーストが一体化しておらず、中心部分に細骨材が留まっている状態であり、目視評価を 1 とした。以上のことから、最低セメント量は 200 kg/m³ 以上が必要であると考えられる。



写真-2 試験 No. 1(基準)



写真-3 試験 No. 6



写真-4 試験 No. 8

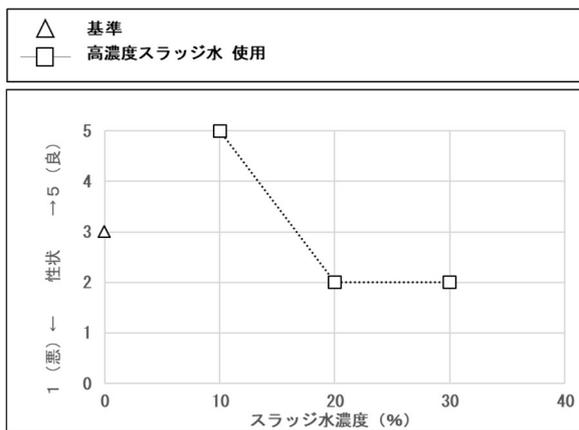


図-5 スラッジ水濃度と目視評価の関係

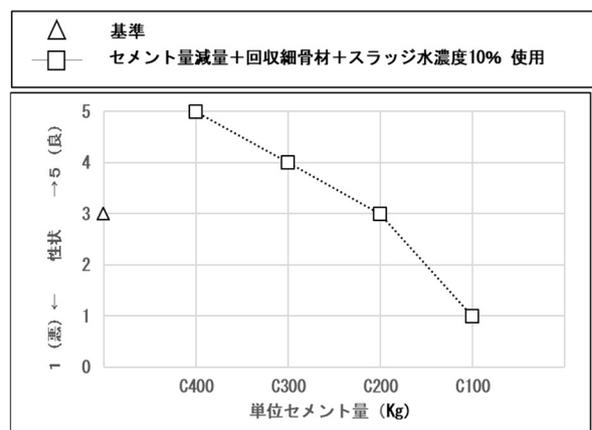


図-6 単位セメント量と目視評価の関係

5.4 圧縮強度

先送り材の圧縮強度試験結果を表-8 に示す。試験 No.1, 2, 4 を比較するとスラッジ水濃度の増加に伴い強度が低下する傾向が認められる。試験 No.3 については、試験 No.1(基準)と同等の強度を発現しているがフロー値が小さかったことから製造時の単位スラッジ水量が不足しており、水セメント比が他に比べて小さくなったためと考える。セメント量を変動させた試験 No.5~8 についてはセメント量を減量しているため強度低下が顕著に現れた。

6. まとめ

実験の結果からスラッジ水濃度 10%までであれば、従来の先送り材と同等の性状を確保することは可能であり、回収細骨材を用いることで更に性状を向上させることができる。また、圧縮強度を除き、施工性においては、単位セメント量が 200 kg/m^3 以上であれば品質が確保できる結果が得られた。

今後は、施工実験にて高濃度スラッジ水を用いた環境配慮型先送り材の検証・検討を行い、強度についても、施工実験でコンクリートへの影響を確認する所存である。

表-8 先送り材の圧縮強度試験結果

試験No.	平均 (N/mm ²)
1 (基準)	21.0
2	17.6
3	21.4
4	13.2
5	16.9
6	9.52
7	4.29
8	1.03

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関係者の方々に、ここに記して感謝の意を表します。