

報告 遠心力鉄筋コンクリート管工場の発生スラッジの低減および再利用

董 賀祥^{*1}・島村 敬之^{*2}・服部 恵光^{*3}・安藤 哲也^{*4}

要旨：遠心力鉄筋コンクリート管工場で発生するスラッジを低減するため、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用し、スラッジ水を練混ぜ水として再利用するため凝結遅延剤を使用して、室内試験および実機試験を行った。その結果、ポリカルボン酸系高性能減水剤は遠心力成形によるスラッジの発生量を低減でき、さらに、凝結遅延剤を発生したスラッジ水に添加することにより、コンクリートの練混ぜ水の一部として再利用できることが明らかになった。

キーワード：遠心力成形，ポリカルボン酸系高性能減水剤，スラッジ，凝結遅延剤，再利用

1. はじめに

近年，さまざまな分野で環境保全問題がクローズアップされてきている。循環型社会を形成するために廃棄物の低減を図ることやリサイクル化を推進することは緊急の課題となっている。コンクリートの製造においては，発生するスラッジ量の低減や再利用することが求められている。

レディーミクストコンクリート工場（以下，生コン工場と称す）においては，スラッジ発生量の低減策の一つとして，JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に附属書 4「トラックアジテータのドラム内に付着したモルタルの使用法」が制定されている。また，凝結遅延剤のセメント水和抑制性能を利用して，発生するスラッジ水に凝結遅延剤を適量添加し，コンクリートの練混ぜ水に使用する技術^{1), 2)}が十数年前に提案されており，この方法を活用している生コン工場もある。

この廃棄物の低減や再利用の課題は，遠心力鉄筋コンクリート管工場においても同様である。製造ラインで発生するスラッジ水は，凝集剤などを用いて濃縮させた後，脱水ケーキにして産業廃棄物としての処理が必要である。また，上澄み水も中和などの処理を施し，地方自治体の規制，特に，排水中の COD（化学的酸素要求量³⁾）規制を遵守しなければならない。スラッジ水の回収装置の設備投資や維持管理，さらに，廃棄物処理費用などの負担が年々大きくなっている。従って，遠心力鉄筋コンクリート管工場においては，発生スラッジ量の低減と再利用が重要な課題となっている。

本報告では，まず室内実験を通じて，遠心成形コンクリート用高性能減水剤として市販のナフタレンスルホン酸系とポリカルボン酸系高性能減水剤を用いた場合のスラッジ量の差異を確認した。次に，これらのスラ

ッジ水に凝結遅延剤を添加し，スラッジ水を練混ぜ水として再利用可能か否かを把握するとともに，実物の遠心力鉄筋コンクリート管（外圧管 B 形-1 種-1000）を用いた場合のコンクリートの性状や製品の品質，さらに，セメント系の遠心力成形仕上げ材を用いた場合の管の内面仕上げ性状を確認した。

2. 試験水準および概要

2.1 室内試験

高性能減水剤の主成分（公表）の違いが遠心力成形により発生するスラッジ水の性状に及ぼす影響を調査するとともに，凝結遅延剤を添加することにより，スラッジ水を練混ぜ水として再利用できるかを検討した。

（1）使用材料とコンクリート配合

コンクリートの使用材料および配合を表 1 および表 2 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。細骨材は川砂，粗骨材は砕石 2005 を用い，高性能減水剤はナフタレンスルホン酸系市販品（記号 F）およびポリカルボン酸系市販品（記号 S）を用いた。なお，高性能減水剤を使用しない配合を記号 P で表した。

（2）スラッジ水の作製

市販のナフタレンスルホン酸系とポリカルボン酸系高性能減水剤をそれぞれ用いた遠心力成形コンクリートを JIS A 1136「遠心力締固めコンクリートの圧縮試験方法」に従い作製した。発生するスラッジ水を回収し，固形分濃度を『全生工組連試験方法「ZT-104：1980」：回収水濃度試験方法』⁴⁾に従って測定するとともに，発生量，密度を測定した。回収の約 2 時間後に凝結遅延剤を対スラッジ固形分 1.5% 添加し，次回（翌日）に再利用するまで常時攪拌を行った。

この凝結遅延剤添加スラッジ水を翌日のコンクリー

*1 グレースケミカルズ（株） 技術部主任研究員 工修 （正会員）

*2 グレースケミカルズ（株） 開発部

*3 中川ヒューム管工業（株）

*4 電気化学工業（株） 特殊混和材事業部 技監 （正会員）

トの練混ぜ水に利用し、上述と同様な方法でスラッジ水を回収し、次々回（翌々日）の練混ぜ水とした。

室内試験では、スラッジ水の回収、凝結遅延剤の添加・保存、スラッジ水の練混ぜ水の一部としての利用を繰返し実施した。なお、練混ぜ水におけるスラッジ水の置換量は 50kg/m^3 とした。また、試験結果に示すスラッジ水再利用回数は以下のように定めた。

- 1回:遠心力成形で発生したスラッジ水(凝結遅延剤無添加)
- 2回:1回のスラッジ水全量に凝結遅延剤を添加,1日放置した後,練混ぜ水として使用したコンクリートの遠心力成形で発生したスラッジ水
- 3回:2回のスラッジ水全量に凝結遅延剤を添加,1日放置した後,練混ぜ水として使用したコンクリートの遠心力成形で発生したスラッジ水
- 4回:3回のスラッジ水全量に凝結遅延剤を添加,1日放置した後,練混ぜ水として使用したコンクリートの遠心力成形で発生したスラッジ水

表 - 1 使用材料一覧(室内試験)

種類	銘柄	密度(g/cm^3)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	川砂	2.57
粗骨材	砕石2005	2.65
高性能減水剤(F)	ナフタレンスルホン酸系	-
高性能減水剤(S)	ポリカルボン酸系	-
凝結遅延剤	オキシカルボン酸系	-
遠心力成形仕上げ材	セメント系,粉体	-

表 - 2 コンクリートの配合表(室内試験)

配合No.	W/C	s/a	単位量(kg/m^3)				
	(%)	(%)	W	C	S	G	Ad
P	40.0	44.6	177	445	761	975	0.0
S	36.4	44.6	164	450	772	989	2.7
F	36.4	44.6	164	450	772	989	4.5

(3) 遠心力成形条件および試験項目

室内試験における遠心力成形条件を表-3に示す。なお、最大遠心力は30G(Gは重力加速度である)である。配合別にこの条件で成形し、発生するスラッジ水量を計量し、固形分量を測定した。また、セメント系の遠心力成形仕上げ材を用いた場合の内面仕上げ効果(表面平滑性)も確認した。なお、セメント系の遠心力成形仕上げ材はセメント,エトリンナイト系膨張材,珪砂を主成分

表 - 3 遠心力成形コンクリートの配合(室内試験)

遠心力供試体	JISA 1136 外径20cm,高さ30cmの中空円筒形
コンクリート投入量	16.0kg/供試体
遠心力成形条件	低速(2.0G)/2分 中速(10G)/2分 高速(30G)/6分

とした粉体の無収縮性モルタルであり、水セメント比60%で使用した。

2.2 実機試験

実機試験では、ポリカルボン酸系高性能減水剤を用い、発生するスラッジ水を繰返し利用する場合の遠心力成形コンクリート管の諸性状について確認した。

(1) 試験項目と試験方法

実際の遠心力成形コンクリート管の製造ラインにおいて、スラッジ水を練混ぜ水の一部として再利用する遠心力成形コンクリート管を製造し、発生するスラッジ水を小型吸引器で回収し、発生量,密度及び固形分濃度を測定した後,対スラッジ水固形分1.5%の凝結遅延剤を添加し,沈降させないように常時攪拌を行った。また,スラッジの強熱減量の測定も行った。

一方,スラッジ水未使用の遠心力成形コンクリート管(以下にはプレーン管と称す)との性状の差異を確認するため,コンクリートのフレッシュ性状及び強度試験,並びに製造した遠心力鉄筋コンクリート管の外圧試験を行った。なお,セメント系の遠心力成形仕上げ材の表面仕上げ性状も表面平滑性により評価した。

試験項目及び試験方法は表4に示す通りである。

表 - 4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
強熱減量	JIS R 5202
スランブ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
圧縮強度	JIS A 1108
製品外圧	JIS A 5372 付属書2

(2) コンクリート配合

コンクリートの使用材料および配合をそれぞれ表-5,表-6に示す。目標スランブは $6.0 \pm 1.5\text{cm}$, 混和剤の添加率は室内試験と同様とし,スラッジ水の再利用は3回までとした。配合記号は,スラッジ水を使用していないものを S_0 ,スラッジ水の再利用回数1~3回をそれぞれ S_{1-3} とした。

表 5 使用材料一覧(実機試験)

種類	銘柄	密度(g/cm^3)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15
膨張材	エトリンナイト系	2.93
細骨材	砕砂	2.57
粗骨材	砕石 2005	2.65
高性能減水剤(S)	ポリカルボン酸系	-
凝結遅延剤	オキシカルボン酸系	-
遠心力成形仕上げ材	セメント系,粉体	-

表 - 6 コンクリートの配合(実機試験)

配合No.	W/P	s/a	単位量(kg/m^3)						
	(%)	(%)	W_1	W_2	C	膨張材	S	G	Ad
S_0	35.2	47.8	167		432	43	805	907	2.83
S_{1-3}	36.1	47.8	117	54	432	42	786	885	2.83

注: W_1 は上水道水であり, W_2 はスラッジに含まれる水量

3. 試験結果および考察

3.1 室内試験の結果および考察

(1) スラッジ水に関する試験

遠心力成形後の供試体およびスラッジ水の発生状況を写真 1 に示す。



写真 - 1 遠心力成形機およびスラッジ発生状況

P 配合と S 配合の遠心力成形コンクリートの試験は n = 3 とし、スラッジ水の回収・再利用は 4 回までとした。F 配合の遠心力成形コンクリートの試験は n = 6 とし、スラッジ水の再利用回数は 4 回および 7 回とした。遠心力成形コンクリート用いる混和剤の違いによるスラッジ水の再利用回数の増加に伴う

発生したスラッジ水の平均固形分量の変化を図-1 に、平均固形分量の増加率(0 回の平均固形分量を 100%とした場合)の試験結果を図-2 に示す。また、各試験結果を表-7 にまとめた。

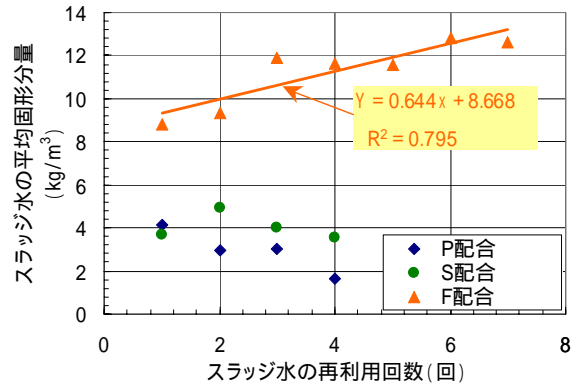


図 1 スラッジ水再利用回数 平均固形分量

表-7 および図 1 より、ナフタレンスルホン酸系 (F 配合) に比べて、ポリカルボン酸系 (S 配合) 高性能減水剤を使用する遠心力成形コンクリートの発生スラッジ水の固形分量は低く、さらに、スラッジ水の再利用回数の増加に伴い減少し続ける結果が得られた。例えば、再利用回数 1 回の平均スラッ

表-7 発生するスラッジ分量 (kg/m³) および密度 (g/cm³) 一覧

配合・試験回数	スラッジ再利用回数							備考
	1	2	3	4	5	6	7	
P - 1	5.401	2.630	3.055	1.643				混和剤使用無しの配合の試験を3回 (P 1 ~ P 3) 行い、スラッジ水再利用回数は共に4回までとした。
P - 2	4.510	2.629	3.610	1.313				
P - 3	2.528	3.555	2.403	1.972				
固形分量平均値 (kg/m³)	4.146	2.938	3.023	1.643				
固形分量の増加率 (%)	100.0	70.9	72.9	39.6				
密度平均値 (g/cm³)	1.021	1.019	1.025	1.024				
密度の増加率 (%)	100.0	99.8	100.4	100.3				
S - 1	2.593	7.819	4.010	3.681			ポリカルボン酸系高性能減水剤を使用する配合の試験は3回 (S 1 ~ S 3) 行い、スラッジ水再利用回数は共に4回までとした。	
S - 2	5.386	5.116	5.104	3.683				
S - 3	2.968	1.908	2.906	3.204				
固形分量平均値 (kg/m³)	3.649	4.948	4.007	3.523				
固形分量の増加率 (%)	100.0	135.6	109.8	96.5				
密度平均値 (g/cm³)	1.072	1.048	1.059	1.053				
密度の増加率 (%)	100.0	97.8	98.8	98.3				
F - 1	6.554	10.184	15.110	13.376			ナフタレンスルホン酸系高性能減水剤を使用する配合の試験は6回 (F 1 ~ F 6) 行い、スラッジ水再利用回数は共に4回および7回までとした。	
F - 2	7.926	11.850	12.136	13.026				
F - 3	14.090	8.570	11.420	9.765				
F - 4	5.391	7.001	11.780	13.981	11.120	12.710		13.250
F - 5	9.633	7.940	8.561	8.037	12.231	12.961		11.075
F - 6	9.278	10.570	12.540	11.243	11.240	11.610		13.560
固形分量平均値 (kg/m³)	8.812	9.353	11.925	11.087	11.530	12.427		12.628
固形分量の増加率 (%)	100.0	106.1	135.3	125.8	130.8	141.0		143.3
密度平均値 (g/cm³)	1.053	1.090	1.110	1.099	1.104	1.102		1.106
密度の増加率 (%)	100.0	103.6	105.4	104.4	104.9	104.7		105.1

注: 表中のPは混和剤使用無しの配合とし、P-1はその配合の1回目の試験とする。S、S-1およびF、F-1も同様である。

ジ固形分量では、F 配合の 8.812 kg/m³ に対し、S 配合が 3.649 kg/m³ と 1/2 以下まで低減された。また、再利用回数 4 回では、F 配合の 11.087 kg/m³ に対し、S 配合が 3.523 kg/m³ となり、約 1/3 以下まで低減された。

また、すべての配合において、発生スラッジ水の固形分量は単位セメント量の 3% = 13.5 kg/m³ (C = 450 kg/m³ × 3%、表 1) 以下となり、全量を練混ぜ水の一部として再利用できると考えられる。

固形分量の増加率については、表-7 および図 2 より、ナフタレンスルホン酸系 (F 配合) 高性能減水剤を使用する場合のスラッジ水固形分量の増加率は再利用回数の増加に伴い高くなり続ける傾向を示したが、ポリカルボン酸系 (S 配合) は再利用回数 2 回以降に低下する傾向を示した。

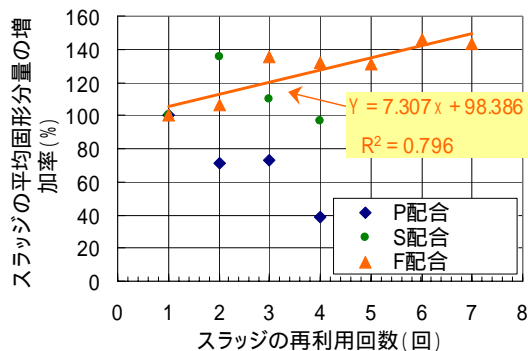


図 2 スラッジ水再利用回数 平均固形分量増加率

一方、スラッジ水の再利用回数の増加に伴う、その密度の変化の測定結果を図 3 に示す。ナフタレンスルホン酸系 (F 配合) を使用する場合、スラッジ水の再利用回数に伴い、密度が増加する傾向を示したが、ポリカルボン酸系 (S 配合) のを使用する方は減少する傾向を示した。

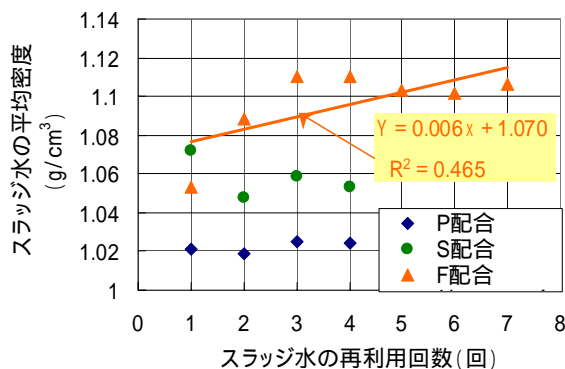


図 3 スラッジ水再利用回数 平均密度

凝結遅延剤を添加する前、最初にスラッジ水を回収する場合において、異なる高性能減水剤を使用したコンクリートから発生するスラッジ水の固形分量の差異を図 4 に示す。ポリカルボン酸系高性能減水剤 (S) と比較して、ナフタレンス

ルホン酸系 (F) を使用する場合、発生するスラッジ水の固形分量は 2 倍以上に多くなる結果を得た。

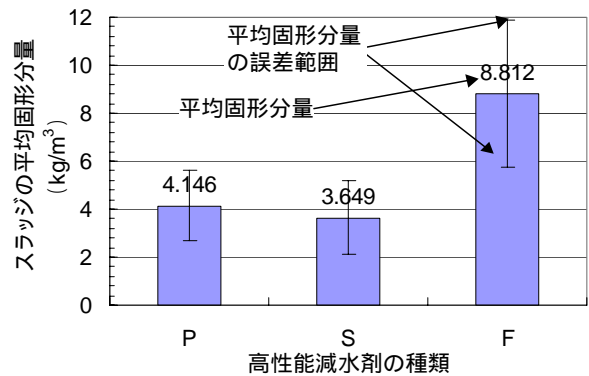


図-4 混和剤種類 スラッジの平均固形分量

(2) 遠心力成形仕上げ材に関する試験

ホバートミキサを用いて遠心力成形仕上げ材のモルタルを練り、成形管内面均等に投入して遠心力成形コンクリート管の仕上げ用器具で均一に延ばした後、高速回転 4 分間で締固めた。

仕上げ前後の遠心力成形コンクリート管供試体の内面状況を写真 2 示す。遠心力成形仕上げ材を使用することにより、成形管内面の剥離・浮きがなく、表面の平滑性が良好であることを確認した。

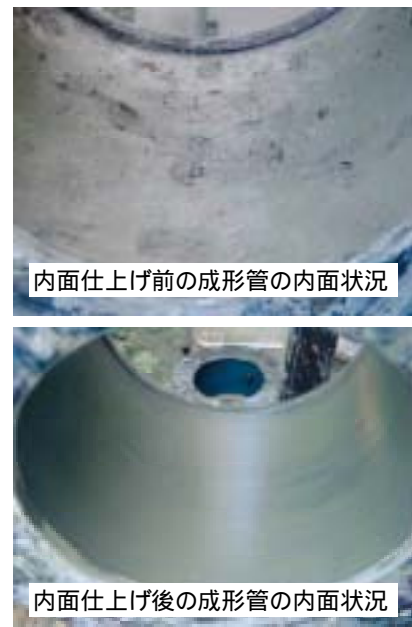


写真 2 仕上げモルタル仕上げ効果

3.2 実機試験の結果および考察

室内試験の結果に基づき、実際の生産ラインにポリカルボン酸系高性能減水剤を使用する遠心力鉄筋コンクリート管を製造し、室内試験と同様に、回収したスラッジ水に凝結遅延剤を添加し 3 回まで繰返し利用した。

なお、発生スラッジ水は、写真 3 に示すように、小型吸引

器を用いて全量を回収し、室内試験と同添加率の凝結遅延剤を添加し、次の製管コンクリートの練混ぜ水の一部として再利用した。

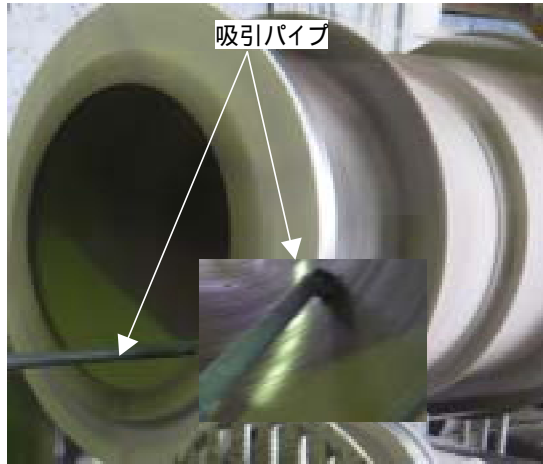


写真 3 発生スラッジの回収(小型吸引器使用)

(1) 発生するスラッジ水に関する試験

繰返し使用回数の増加に伴う発生するスラッジ水の固形分量および固形分濃度の変化を図 5 に示す。

実機試験の結果は室内試験と同様に、発生するスラッジ水の固形分量が再利用の回数の増加に伴い、増えることなく減少し続け、発生スラッジを完全に次の製管工程に再利用できることが示された。

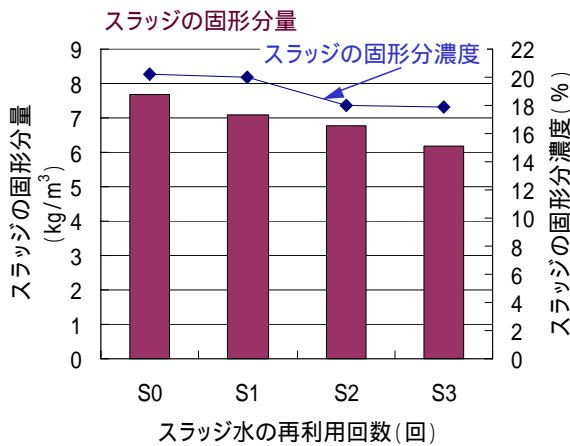


図 5 スラッジ水使用回数 固形濃度・固形分量

スラッジ水の再利用回数と強熱減量の関係を図 6 に、コンクリートのフレッシュ性状を図 7 に示す。これらの結果によると、遠心力成形製管工程に発生するスラッジ水への凝結遅延剤の添加は、スラッジ水に含まれるセメントの水和を抑制することにより、スラッジの強熱減量の増加率を 4 日間で 2% 程度に抑えることができたと考えられる。また、強熱減量の増加の抑制により、安定したフレッシュコンクリートのスランプ、空気量が得られたと考えられる。

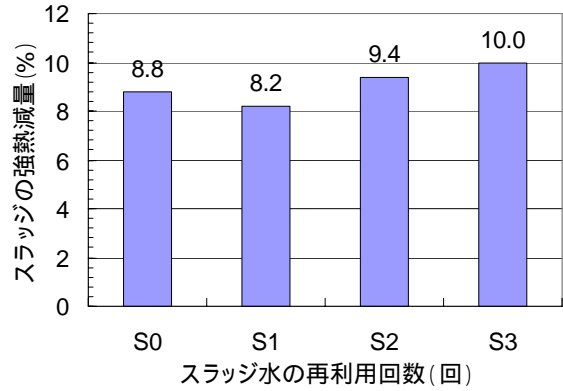


図 6 スラッジ水再利用回数 強熱減量

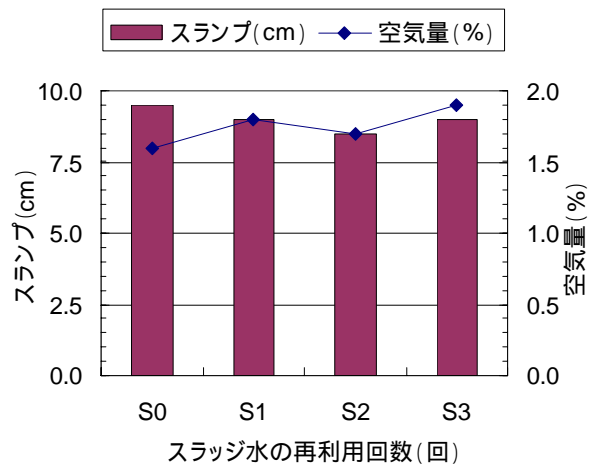


図 7 スラッジ水の再利用回数 コンクリート性状

(2) 硬化コンクリートに関する試験

各配合の遠心力成形に用いたコンクリートの圧縮強度試験結果を図 8 に示す。この結果によると、凝結遅延剤を添加してスラッジ水を繰返し利用した配合の各材齢における圧縮強度は、スラッジ水使用無しのプレーン管のコンクリートとほぼ同等であった。従って、スラッジ水の繰返し利用は遠心力成形コンクリートの圧縮強度に大きな影響を与えないと考えられる。

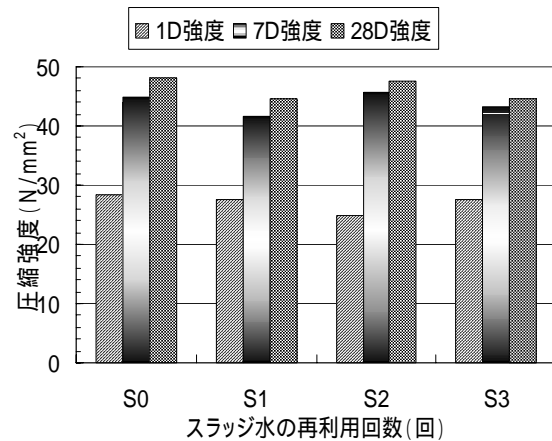


図 8 コンクリートの圧縮強度

(3)遠心力成形仕上げ材による内面仕上げ性状
通常、スラッジ水使用無しのブレン管の内面仕上げは、遠心力成形コンクリート管の仕上げ用器具を使用するが、ポリカルボン酸系高性能減水剤を使用した配合では、遠心力成形仕上げ材を使用した。水セメント比 60% のモルタルを管の内面に投入して均一に敷均し、高速の締固めを行った後、内面を仕上げた。仕上げ直後および養生・脱型後の管の内面の状況は、写真 4 に示すように、表面の平滑性が良好であり、脱型後の内面剥離や亀甲状のひび割れも見られなかった。さらに、遠心力成形仕上げ材を使用することにより、作業時間の短縮が可能であった。

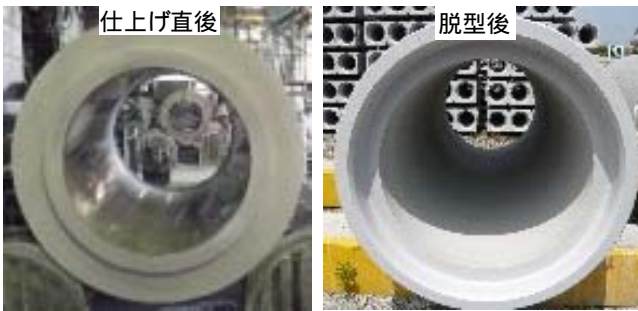


写真 4 遠心力成形用仕上げ材による内面仕上げ性状

3.3 外圧試験の結果および考察

ブレン管と凝結遅延剤を使用したスラッジ水を繰返し利用した遠心力成形鉄筋コンクリート管の外圧試験を行った。結果は表 8 に示すように、目視によるひび割れ発生荷重がすべて規格値を上回る結果であった。

表 8 外圧試験結果一覧(配合別)

配合種類	ひび割れ荷重 (kN/m)	
	試験値	規格値
S ₀	60.5	41.3
S ₁	64.6	
S ₂	(49.0)	
S ₃	56.0	

注: S₂では、たわみ測定でひび割れの発生が確認されず。

4. まとめ

遠心力成形鉄筋コンクリート管工場の発生スラッジ水の低減および再利用することを目的として、ポリカルボン酸系高性能減水剤をコンクリートに使用し、さらに、回収スラッジ水に凝結遅延剤を使用して練混ぜ水の一部として試験を行った。今回の試験で得られた結果を以下のようにまとめる。

(1) ナフタレンスルホン酸系高性能減水剤に比較して、ポリカルボン酸系高性能減水剤を使用した場合、発生するスラッジ量を大幅に低減できることが明らかとなった。

(2) 凝結遅延剤を添加したスラッジ水をコンクリートの練混ぜ水の一部として繰返し利用することが可能であり、コンクリートのフレッシュ性状や圧縮強度に大きな影響を与えないことが明らかとなった。

(3) 遠心力成形仕上げ材を使用することにより、管の内面を平滑に仕上げられ、仕上げの作業時間を短縮できた。

従来のナフタレンスルホン酸系高性能減水剤に比較して、ポリカルボン酸系高性能減水剤を使用することにより、遠心力成形鉄筋コンクリート管の製造工程で排出するスラッジ量を大幅低減できる。また、適量の凝結遅延剤を発生したスラッジ水に添加することにより、繰返し利用が可能であり、排出されたスラッジ水をすべて再利用できることが室内・実機試験により実証された。

よって、遠心力成形鉄筋コンクリート管製造工程におけるポリカルボン酸系高性能減水剤を用いたコンクリートの適用、スラッジ水への凝結遅延剤の添加は、産業廃棄物の低減と再利用による環境負荷の抑制に効果的であると考えられる。

謝辞：本実験を行うに際し、多大なご協力およびご指導を頂いた中川ヒューム管工業株式会社 土浦工場 堀越英一 専務、中島隆一 工場長、細田泰 主査に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 会沢 賢一、西村 正、渡辺 清：超遅延剤添加による生コンスラッジの有効利用に関する一研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.387-392, 1996
- 2) 藤本 博之、安永 隆司、畑 一郎、西村 正：遅延剤添加スラッジ水を使用した生コンクリートによる建築物の施工、コンクリート工学, Vol.37, No.7, pp.10-15, 1999
- 3) 澤田 誠一、西村 正、渡辺 清：ポリカルボン酸系高性能減水剤を用いた遠心力成形コンクリートの性状、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.1, pp.221-226, 2003
- 4) 全生工組連試験方法「ZT-104:1980」: 回収水濃度試験方法