

論文 複数工場の戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の諸特性

大川 憲*1・百瀬 晴基*2・関田 徹志*3・笠井 哲郎*4

要旨：本研究は、複数のレディーミクストコンクリート工場におけるコンクリート施工時に生ずる戻りコンクリートや生コンプラントおよびアジテータ車の洗浄時に発生する生コンスラッジを破碎・乾燥処理して製造した乾燥スラッジ微粉末の諸特性について検討した。これまでの検討で、出荷したレディーミクストコンクリート工場における戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の諸特性については明らかとなっている。そこで複数工場の戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の基礎物性やそれをを用いたコンクリートについて検討した結果、工場の相違によるこれらの品質への影響は小さいことがわかった。

キーワード：戻りコンクリート、乾燥スラッジ微粉末、複数工場、比表面積、圧縮強度

1. はじめに

建設産業に関わる主要な建設副産物として、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)で発生する戻りコンクリート(以下、戻りコンと称す)がある。この戻りコンは、国土交通省の調査によると、平成17年時点でレディーミクストコンクリート(以下、生コンと称す)出荷量の約1.6%発生し、年間100万 m^3 超が廃棄されている。また地域によっても発生量が異なり、特に都市部においてはその発生率が2~4%程度と高く¹⁾、近年産業廃棄物処分場の建設が一層厳しくなる中、残余容量が減少傾向にあることから、生コン工場においても廃棄物削減とリサイクル促進は喫緊の課題である。著者らは、これまでに戻りコン起源のスラッジについて、コンクリート製造からスラッジ処理完了までの時間を短縮することで、未水和セメント分を多く残し水和活性を高めたことを特徴とする乾燥スラッジ微粉末(以下、DSPと称す)を提案し、普通ポルトランドセメント(以下、OPCと称す)をほとんど用いず、DSPと副産物混和材を主な結合材としたクリンカーフリーコンクリート(以下、RCCFコンクリートと称す)のプレキャスト製品への適用や²⁾、OPCにDSPを質量で20~30%置換し汎用性を重視した低環境負荷コンクリートを生コンや無筋プレキャストコンクリート製品積みブロックへの適用についても検討した^{3) 4)}。

一方、生コン工場における戻りコンは生コンを出荷した当日の夕方以降に集中して発生する。そのため、その処理を行う作業員は夕方以降の時間外労務が増加することや、処理にたずさわる作業員不足から、戻りコンの処

理量が年々減少傾向となっていることが課題である。今後労働人口の減少が避けられず、生コン工場における戻りコン処理の効率化の要求から、複数の生コン工場(以下、複数工場と称す)の戻りコンを集約して処理を行うことは必要不可欠になると考えられる。そのため戻りコンからのスラッジや、JIS A 5308に規定されている出荷した生コン工場の戻りコンから回収した回収骨材のみでなく⁵⁾、複数工場の戻りコンから回収した回収骨材についても今後検討が必要であると考えられる。

そこで本研究では、複数工場の戻りコンのスラッジに着目し、著者らがこれまでに行った自社工場のみ(以下、自工場と称す)の戻りコンから製造したDSP(以下、自DSPと称す)と複数工場の戻りコンから同様な方法で製造したDSP(以下、複数DSPと称す)を比較し、その諸特性を明らかにすることを目的とし、DSPの基礎物性やそれをOPCに20%置換して用いたコンクリートのフレッシュおよび強度発現性状について検討した。

なお、本研究の複数工場はDSP製造プラントから運搬距離9km以内の近隣4工場であり、生コンの使用材料や配合は異なっている。

2. DSPの製造工程

DSPの製造工程を図-1に示す。DSPは、戻りコンから骨材を分級し、残余のスラッジ水をフィルター加圧装置で脱水後、破碎攪拌翼付きスラッジ乾燥機(乾燥温度：120~130℃)を用いて含水率が1~2%程度となるまで破碎乾燥処理して製造したものである。なお、図の湿式サイクロンの工程で、細骨材の微粒分の一部を除去してい

*1 三和石産(株) テスティング事業部 品質管理課長 博士(工学) (正会員)

*2 鹿島建設(株) 技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 博士(工学) (正会員)

*3 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員 Ph.D (正会員)

*4 東海大学 工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

表-1 使用材料

項目	記号	材料	密度	吸水率
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント	3.15	-
細骨材	S1	石灰砕砂	2.67	0.93
	S2	陸砂	2.57	1.22
粗骨材	G	石灰砕石	2.70	0.44
混和剤	AE	AE減水剤	-	-
	SP	高性能AE減水剤	ホリカルボン酸系化合物	-
遅延剤	A	遅延剤A	水溶液濃度: 40%	-
	B	遅延剤B	水溶液濃度: 68%	-
	C	遅延剤C	水溶液濃度: 35%	-
	D	遅延剤D	水溶液濃度: 35%	-

表-2 配合表

記号	W/C %	s/a %	単位量(kg/m ³)						
			W	OPC	S1	S2	G	AE	SP
50-OPC-AE	50	44.4	185	370	418	342	980	4.81	-
50-OPC-SP	50	47.9	170	340	467	382	953	-	3.57

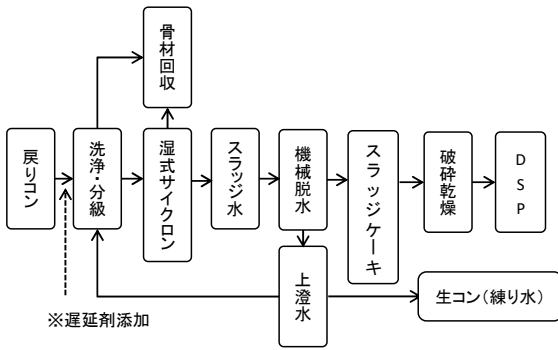


図-1 DSPの製造工程

表-3 実機プラントによる実験水準およびDSP物性試験結果一覧表

実施季節	工場	調査(記号)	練混ぜからDSP製造までの経過時間 ①												遅延剤			外気温 °C ②	積算温度 ①×②	DSP物性試験結果		
			1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	21h	22h	種類	添加量 (C×wt%)	添加時期			密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	強熱減量 %
夏季	自工場	50-OPC-AE	[No retarder]												無し			27.0	67.5	2.91	5960	12.25
		50-OPC-AE	[No retarder]												無し			31.0	108.5	2.82	7150	14.54
		50-OPC-SP	[No retarder]												無し			30.0	75.0	2.87	5620	13.46
		50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											A	0.10%	1.5h	31.0	77.5	2.95	5260	11.16
		50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											無し			33.0	148.5	2.84	6620	13.71
		50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											A	0.10%	1.5h	32.0	144.0	2.83	6720	12.60
		50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			31.0	77.5	2.89	6340	12.10
		50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											無し			31.0	201.5	2.69	9280	15.80
		50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											無し			32.0	672.0	2.45	11030	21.65
		50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			23.0	57.5	2.95	5630	8.91
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											B	0.20%	1.5h	25.0	62.5	3.03	5060	8.01	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											C	0.50%	1.5h	26.0	65.0	3.04	4190	7.66	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											D	0.50%	1.5h	26.0	65.0	3.07	4790	7.63	
	50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			28.0	70.0	2.91	6030	10.42	
	50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			28.0	126.0	2.87	8270	12.15	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											A	0.10%	1.5h	28.0	126.0	2.93	6230	10.96	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											A	0.40%	1.5h	28.0	126.0	2.98	5390	9.64	
	複数工場	50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			31.7	95.1	2.74	7450	12.05
		50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			31.4	172.7	2.78	8340	11.95
		50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											A	0.10%	1.5h	34.5	189.8	2.77	7860	12.14
50-OPC-AE		[Retarder added]	[No retarder]											A	0.10%	1.5h	29.0	638.0	2.45	9520	19.18	
冬季 自工場	50-OPC-AE	[No retarder]	[No retarder]											無し			8.3	20.8	3.00	5480	9.60	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											無し			8.3	54.0	2.92	7700	11.65	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											無し			8.3	78.9	2.83	9040	12.95	
	50-OPC-AE	[Retarder added]	[No retarder]											無し			8.3	419.2	2.44	9320	18.43	

るが、文献6)から、DSPには骨材の微粒分が30~35%程度含まれていたことが報告されており、本研究で用いたDSPも同程度含まれているものと考えられる。また原料となるスラッジは、施工時に使用されなかった残余コンクリート、荷卸し時に不合格となった製品、および生コンプラントやアジテータ車の洗浄時に発生したものを対象とした。図中の遅延剤添加は実機プラントを用いた

DSP製造実験における遅延剤の添加時期を示す。なお、複数DSPについてもほぼ同様な製造工程で行っているが、図の洗浄・分級や機械脱水の工程が一部異なる。

3. 実機プラントを用いたDSP製造実験

3.1 DSP製造実験の概要

本実機試験は、自工場と複数工場の実機プラントで図

－1 のとおり製造するが、前述のとおり、DSP 製造工程が一部異なるため、その影響を明らかにすることを目的とし、同一使用材料および配合の生コンを用いて各実機プラントによる DSP 製造実験を行った。ここでは、生コンプラントで生コン 5m³ を製造し、練混ぜから処理までの時間を 2.5 時間と設定した。2.5 時間経過後、骨材を分級し残ったスラッジ水を水槽で貯留する時間を変化させ、DSP を製造した。また、夏季において各種遅延剤の効果を検証するため、遅延剤の添加時期を練混ぜから 1.5 時間後に添加して、製造した DSP に関し、物性試験(密度・比表面積・強熱減量)とモルタルによるフレッシュおよび圧縮強度試験を行った。使用材料を表－1 に、実機試験で使った生コンの配合表を表－2 に、実機プラントによる実験水準を表－3 に示す。なお、表－3 の積算温度とは戻りコン処理までの時間と処理時の外気温の積を示す。

3.2 実験方法

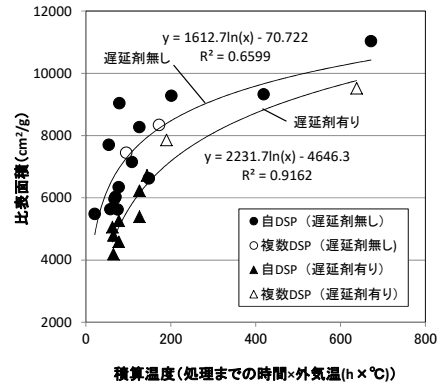
各実機プラントで製造した DSP に対し密度試験(JIS R 5201)、比表面積試験(JIS R 5201)、強熱減量試験(JIS R 5202)を行った。なお、比表面積試験の測定条件は密度を測定し、量り採る試料の質量を算出した後、粉末度測定用標準試料のベッド成形時の成形圧力がほぼ同等となるようなポロシティーを設定し、ブレン空気透過装置により測定した。また、DSP を用いたモルタルはホバート型モルタルミキサーを用いて練混ぜを行い、練混ぜ時間やフロー試験および供試体作製方法は JIS R 5201 の強さ試験に準拠した。フレッシュ試験では、モルタルフロー(目標値 170±30 mm)、空気量(目標値 6.5±2.0%)の各試験を目標値となるよう混和剤で調整し実施した。圧縮強度試験では、DSP を用いモルタル供試体(4×4×16cm)を作製し、その圧縮強度から DSP の強度発現性を評価した。モルタルの配合条件は、水結合材比(W/DSP)=50%、細骨材結合材比(S/DSP)=3.0 とした。細骨材はセメント協会標準砂を用い、養生条件は標準養生とした。その後材齢 7、28 日で圧縮強度試験を行った。

3.3 実験結果および考察

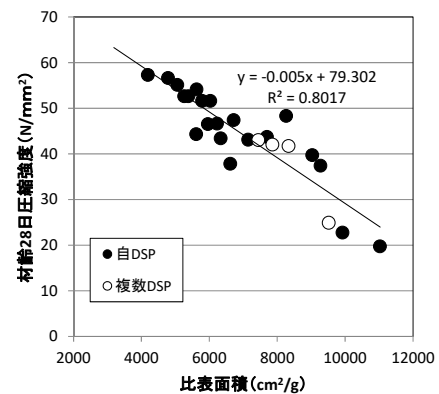
(1) DSP の物性試験結果

DSP の物性試験結果一覧表を表－3 に示す。表より複数 DSP は自 DSP と同様に積算温度が小さいほど DSP の密度は大きく、比表面積および強熱減量は小さくなった。

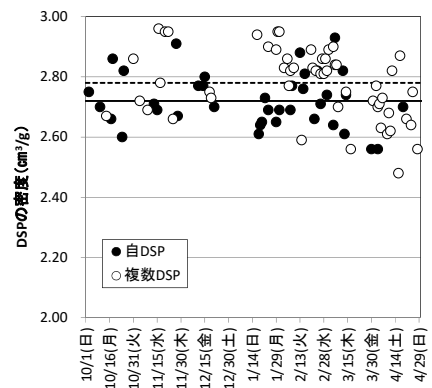
積算温度と各 DSP の比表面積の関係を図－2 に示す。図より、複数 DSP と自 DSP とともに遅延剤の有無によらず比表面積と積算温度には相関関係が見られ、積算温度が大きくなるほど比表面積が大きくなった。また遅延剤においては、遅延剤を用いることで同一積算温度で比表面積が 1000cm²/g 程度小さくなるのがわかった。これは、遅延剤により戻りコンの水和反応が抑制されたためであると考えられ、これまでに行った DSP の比表面積の傾向



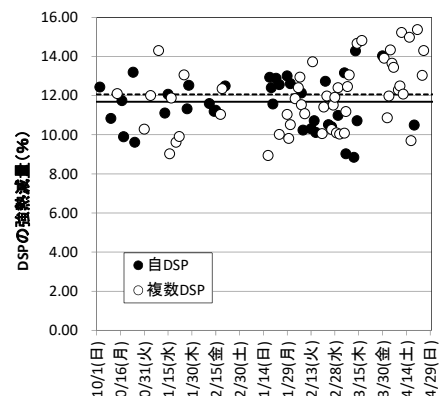
図－2 積算温度と各 DSP の比表面積



図－3 各 DSP の比表面積とモルタル強度



図－4 各 DSP の密度



図－5 各 DSP の強熱減量

と同様な結果となった²⁾。

(2) DSP を用いたモルタルの圧縮強度試験結果

DSP の比表面積と材齢 28 日のモルタル圧縮強度の関係を図-3 に示す。図より、自 DSP および複数 DSP とともに比表面積が大きくなるほど、強度は小さくなった。

これらの結果から、自工場と複数工場では製造工程が一部異なるものの、その影響は小さく、DSP の基礎物性は両者ともほぼ同等となった。

4. DSP の基礎物性

4.1 実験概要

自 DSP および複数 DSP の基礎物性とそれらを用いたモルタルによるフレッシュおよび強度発現性状について検討した。なお、自 DSP および複数 DSP の原材料となる戻りコンは、OPC を用いた普通コンクリートのみであるが、複数工場は 4 工場とも購入先のセメント会社が異なることや、骨材の産地や混和剤メーカーも異なっている。

4.2 DSP の密度、強熱減量、比表面積

自 DSP および複数 DSP の密度、強熱減量、比表面積を 7 ヶ月間(時期：10 月～4 月)測定した結果を図-4～6 に示す。図より DSP の密度は、自 DSP で最大 2.93g/cm³、最小 2.56g/cm³、平均 2.72g/cm³、変動係数 0.033 であり、複数 DSP で最大 2.96g/cm³、最小 2.59g/cm³、平均 2.78g/cm³、変動係数 0.042 であった。DSP の強熱減量は、自 DSP で最大 16.22%、最小 8.85%、平均 11.69%、変動係数 0.128 であり、複数 DSP で最大 16.54%、最小 8.94%、平均 12.07%、変動係数 0.148 であった。DSP の比表面積は、自 DSP で最大 8470cm²/g、最小 5300cm²/g、平均 6970cm²/g、変動係数 0.125 であり、複数 DSP で最大 8220cm²/g、最小 4140cm²/g、平均 6430cm²/g、変動係数 0.139 であった。これらから、自 DSP および複数 DSP に拘らず DSP の密度、強熱減量および比表面積はほぼ同程度の値となり、変動係数も同程度であった。

4.3 DSP を用いたモルタル試験結果

(1) フレッシュ性状

試験方法は前述 3.2 と同様に行った。各 DSP の比表面積と同一フロー値とするのに必要な SP 添加率の関係を図-7 に示す。図より、DSP の比表面積が大きくなるほど、SP 添加率は大きくなり、自 DSP と複数 DSP ではほぼ同様な傾向であり、回帰式の傾きも同様であるが、その相関係数には差が生じ、複数工場の方が小さい値となった。

(2) 圧縮強度

モルタルの強度発現性について、各 DSP の比表面積と圧縮強度の関係を図-8 に示す。なお、図-8 は図-3 に示したものと異なり、自工場および複数工場の戻りコン

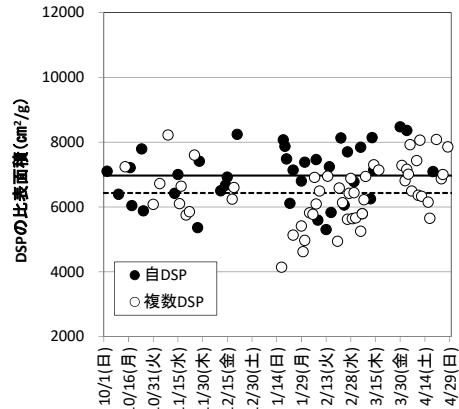


図-6 各 DSP の比表面積

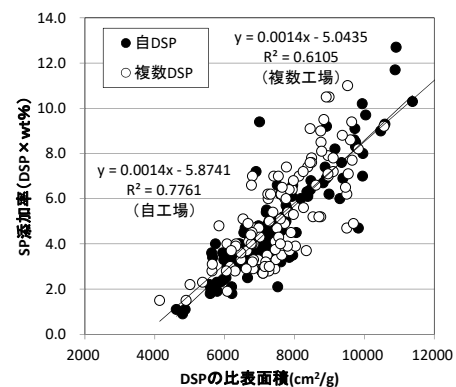


図-7 各 DSP の比表面積と SP 添加率

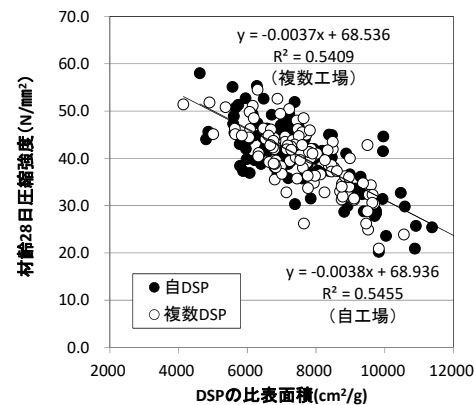


図-8 各 DSP の比表面積と圧縮強度

表-4 使用材料

項目	材料	記号	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	強熱減量 %
セメント	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	3220	1.95
		自DSP①	2.71	7230	12.14
混和材	乾燥スラッジ微粉末 (自工場の戻りコン)	自DSP②	2.66	7250	13.19
		自DSP③	2.76	6790	12.18
		自DSP④	2.71	6420	11.11
		自DSP⑤	2.71	7170	12.09
		複数DSP①	2.66	7300	13.63
	乾燥スラッジ微粉末 (複数工場の戻りコン)	複数DSP②	2.86	6080	10.29
		複数DSP③	2.72	6720	12.01
		複数DSP④	2.96	6100	9.03
		複数DSP⑤	2.78	6640	11.88
		細骨材	石灰砕砂	S1	2.67
	砂	S2	2.58	-	-
粗骨材	石灰砕石	G	2.69	-	-
混和剤	高性能AE減水剤	SP	-	-	-
		AE	-	-	-

表-5 配合表

No	配合名	W/B (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤(B×wt%)		
			OPC	DSP	W	S1	S2	G	SP	AE
1	55-OPC80-自DSP①20	55	240	60	165	495	405	942	1.25	0.55
2	55-OPC80-自DSP②20								1.25	0.65
3	55-OPC80-自DSP③20								1.25	0.55
4	55-OPC80-自DSP④20								1.20	0.65
5	55-OPC80-自DSP⑤20								1.25	0.70
6	55-OPC80-複数DSP①20								1.30	0.65
7	55-OPC80-複数DSP②20								1.30	0.60
8	55-OPC80-複数DSP③20								1.30	0.60
9	55-OPC80-複数DSP④20								1.30	0.55
10	55-OPC80-複数DSP⑤20								1.30	0.85
11	45-OPC80-自DSP①20	45	302	76	170	436	356	968	1.25	0.20
12	45-OPC80-自DSP②20								1.25	0.25
13	45-OPC80-自DSP③20								1.25	0.20
14	45-OPC80-自DSP④20								1.20	0.35
15	45-OPC80-自DSP⑤20								1.25	0.40
16	45-OPC80-複数DSP①20								1.50	0.40
17	45-OPC80-複数DSP②20								1.35	0.35
18	45-OPC80-複数DSP③20								1.35	0.30
19	45-OPC80-複数DSP④20								1.10	0.60
20	45-OPC80-複数DSP⑤20								1.25	0.75

は OPC を用いた普通コンクリートのみであるが、呼び強度 18~60 程度の異なる配合のものから製造したものである。図より、DSP の圧縮強度は、自 DSP で最大 58.0 N/mm²、最小 20.2 N/mm²、平均 41.0 N/mm²、標準偏差 7.0 N/mm²、変動係数 0.171 であり、複数 DSP で最大 54.5N/mm²、最小 20.9 N/mm²、平均 40.0 N/mm²、標準偏差 6.3 N/mm²、変動係数 0.158 であった。これらは、自 DSP と複数 DSP でほぼ同程度であり、比表面積が大きくなるほど、強度が小さくなり、それらの変動係数も同程度であった。

これらの結果から、自 DSP と複数 DSP でほぼ同程度の結果が得られたことから、工場の相違による DSP の品質への影響は小さいことがわかった。

5. DSP を用いたコンクリートの基礎特性

5.1 実験概要

自 DSP と複数 DSP を OPC に対し、20%置換して用いたコンクリートのフレッシュおよび強度発現性状について検討した。なお、自 DSP と複数 DSP の原料となる戻りコンは 4.1 と同様の条件である。

5.2 使用材料および配合

使用材料を表-4 に、配合表を表-5 に示す。表-4 に示すように自 DSP は 5 種類、複数 DSP も 5 種類用いた。全ての DSP で比表面積は 8000cm²/g 以下のものを用いた。表-5 より、コンクリートの配合は W/B=45, 55%とした。DSP 置換率は全ての配合で 20%一定とした。

5.3 実験方法

本実験では、練混ぜ量を 35L とし、50L の 2 軸強制練りミキサーを用いて練混ぜを行った。フレッシュコンクリートの試験として、スランブ(JIS A 1101)、空気量(JIS A 1128)、コンクリート温度(JIS A 1156)、単位容積質量(JIS A 1116)の各試験を行った。なお目標スランブは W/B=45%

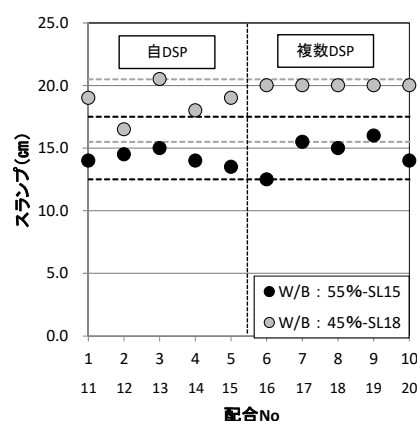


図-9 スランブ試験結果

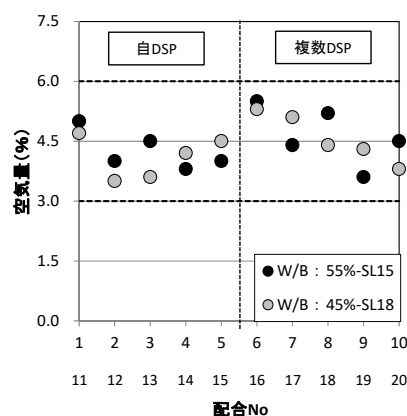


図-10 空気量試験結果

で 18±2.5cm、W/B=55%で 15±2.5cm とし、目標空気量は 4.5±1.5%とした。

圧縮強度試験用供試体として、1 水準につき φ 100×200mm の円柱供試体を 6 体作製した。打設直後から 20℃封かん養生とし、翌日に脱型後、標準養生(20℃水中)とした。材齢 7、28 日で圧縮強度試験 (JIS A 1108) を行

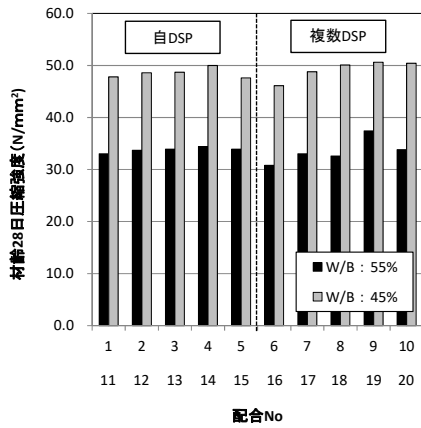


図-11 圧縮強度試験結果（材齢 28 日）

った。

5.4 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状

各配合のスランブ試験結果を図-9 に示す。図よりスランブは全ての配合で目標の $15 \pm 2.5\text{cm}$ と $18 \pm 2.5\text{cm}$ の範囲内となった。各配合の空気量試験結果を図-10 に示す。図より空気量も全ての配合で目標の $4.5 \pm 1.5\%$ の範囲内となった。また表-5 より混和剤の使用量は、自 DSP と複数 DSP で概ね同程度であった。

(2) 圧縮強度

各配合の材齢 28 日の圧縮強度試験結果を図-11 に示す。なお、圧縮強度試験結果に関する考察は、データ数が少ないものの参考値として標準偏差等についても行った。図より、各 DSP を用いたコンクリートの圧縮強度は、W/B=55%において、自 DSP で最大 34.4N/mm^2 、最小 33.0N/mm^2 、平均 33.8N/mm^2 、標準偏差 0.5N/mm^2 、変動係数 0.013 であり、複数 DSP で最大 37.4N/mm^2 、最小 30.8N/mm^2 、平均 33.5N/mm^2 、標準偏差 2.2N/mm^2 、変動係数 0.065 であった。W/B=45%において、自 DSP で最大 50.0N/mm^2 、最小 47.6N/mm^2 、平均 48.5N/mm^2 、標準偏差 0.8N/mm^2 、変動係数 0.017 であり、複数 DSP で最大 50.6N/mm^2 、最小 46.1N/mm^2 、平均 49.2N/mm^2 、標準偏差 1.7N/mm^2 、変動係数 0.034 であった。自 DSP と複数 DSP で平均強度に大きな違いは見られなかったものの、変動係数は複数 DSP で大きくなった。今回自 DSP と複数 DSP を 5 種類のみで比較したが、今後さらにサンプル数を増やして検討する必要がある。

6. まとめ

本研究では、自工場の戻りコンから製造した DSP と複数工場の戻りコンから同様な方法で製造した DSP を比較し、その諸特性を明らかにすることを目的とし、DSP の基礎物性やそれを用いたコンクリートのフレッシュおよび強度発現性状について検討し、以下の結論が得られた。

- (1) 実機プラントを用いた DSP 製造実験において、自工場と複数工場では製造工程が一部異なるものの、その影響は小さく、DSP の基礎物性は両者ともほぼ同等となった。
- (2) 各 DSP の基礎物性は、自 DSP と複数 DSP ではほぼ同程度の結果が得られたことから、工場の相違による DSP の品質への影響は小さいことがわかった。
- (3) 各 DSP を OPC に対し、20%置換して用いたコンクリートのフレッシュおよび強度発現性状は、自 DSP と複数 DSP を用いたものは同様なフレッシュ性状が得られたが、圧縮強度に関しては、平均値はほぼ同等であったが、参考値として算出した標準偏差および変動係数は複数 DSP を用いた場合、僅かに大きくなった。

本研究で用いた戻りコンは、呼び強度 18~60 程度で、セメントの種類は OPC を用いた普通コンクリートのみで行い、混和材や特殊骨材を用いたものは除外した。今後、異なるセメントによる影響等も検討する必要がある。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(平成 24-26 年度 3K123015, 平成 27-29 年度 3J153001)「スラッジ再生セメントと産業副産物混和材を併用したクリーンカーフリーコンクリートによる鉄筋コンクリート部材の開発研究」の一環として実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本コンクリート工学会：第 22 回生コンセミナー「関東地区におけるレディーミクストコンクリート工場の実態と意識に関するアンケート調査」, p.57, 2015.7
- 2) 大川憲ほか：乾燥スラッジ微粉末と産業副産物混和材を併用した養生方法の異なるクリーンカーフリーコンクリートの耐久性に関する研究, 土木学会論文集, Vol.73, No.1, pp.107-117, 2017
- 3) 百瀬晴基, 大川憲, 津嶋武志, 城戸隆宏：乾燥スラッジ微粉末を混和剤として用いたレディーミクストコンクリートの適用事例, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1467-1472, 2018.7
- 4) 大川憲, 閑田徹志, 巴史郎, 笠井哲郎：乾燥スラッジ微粉末を用いたプレキャスト製品積みブロックへの適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1591-1596, 2017.7
- 5) 日本規格協会：JIS ハンドブック 2018, pp.23-24
- 6) 八巻真規ほか：戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の基礎物性, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, V-65, 2015.