論文 粉砕処理した鋳物ダストのコンクリート用混和材としての有効利用 に関する研究

佐藤 嘉昭*1・清原 千鶴*2・大谷 俊浩*3・大塚 貴裕*4

要旨:鋳物ダストを再生資源として活用するためには粒子の形状の改善や不純物の除去など、原材料を加工し高品質化を追求することも必要である。本研究では、風力粉砕加工を施した鋳物ダストのコンクリート用混和材としての適用の可能性について検討を行うとともに、鋳物ダストの含有鉱物は市販の防水材とほぼ同等であることが確認されたため、防水性能についても検討を行った。その結果、風力粉砕加工した鋳物ダスト混入コンクリートは、フレッシュ性状および硬化性状ともに、無混入のコンクリートと比較して同等以上の性能を示し、市販の防水材と同程度の防水性能を示すことができた。

キーワード: 鋳物ダスト,風力粉砕,コンクリート用混和材,防水材

1. はじめに

鋳物砂型の造形,解枠,再生等の工程から発生する鋳物砂の粉塵を集塵回収したものを総称して鋳物ダストという。鋳物ダストの排出量は日本全国で年間およそ 50 万トンと推定されており,一部はセメント等の原料として再利用されているが,そのほとんどは埋立て廃棄処分されている10。

鋳物ダストの有効利用において,廃棄物の範疇から抜け出し,再生資源として有効活用するためには原材料にはない高品質化を追求することも必要である。鋳物ダストをコンクリート用材料として捉えた場合,その粒度は細骨材と混和材の両方に属し,成分としてSiO2が多く含まれることから,コンクリート用混和材としての制用の可能性が高い²⁾が,不純物の混入や主成分が珪砂であることから粒子の形状が角張ってりるため,混和材として利用する場合,水分量の増加を伴うことなどが懸念される。しかしながら,鋳物ダストは,ポゾラン活性を保持しており,不純物の除去や丸みを帯びた粒子に整形できれば,コンクリート用の新規混和材料としての市場を開拓できる可能性があると考えられる。

後述するように,鋳物ダストは市販されてい

る無機質の天然鉱石を原料とするコンクリート 用防水材とほぼ同等の含有鉱物組成となっていることが確認されたことから,本論文では,仕 上げ工程から排出されたショット粉塵である鋳物ダストを対象にし,風力による粉砕加工を行い,防水効果について検討を行った。さらに, 鋳物ダストのシリカ成分に着目し,粉砕加工を行った鋳物ダストをコンクリート用混和材として,セメントの一部を代替利用したコンクリートの力学的特性について検討を行った。

2. 鋳物ダストの特性

鋳物ダストの粉砕では、効率的に多量に処理できることから風力を利用した風力式粉砕装置を用いることにした。この装置は、コンクリートスラッジの再資源化を目的として、スラッジケーキを乾燥、微粉砕処理するために開発した処理システム³⁾の一部で、旋回流の中で粒子が衝突を繰り返すことで丸みを帯びた粒子を製造できるのと同時に、比重差を利用した分級効果があることから、鋳物ダストに付着している不純物の除去も期待できる。

図-1 に粉末 X 線回折の結果を示す。本実験の範囲内では,鋳物ダストの結果は市販の防水

^{*1} 大分大学教授 工学部福祉環境工学科建築コース 工博 (正会員)

^{*2} 大分大学助手 工学部福祉環境工学科建築コース 工修 (正会員)

^{*3} 大分大学大学院 工学研究科建設工学専攻(現 久保田セメント工業株式会社)

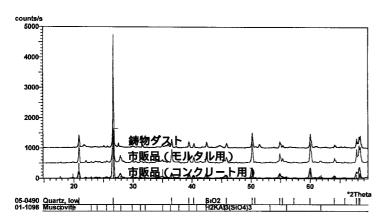


図-1 粉末 X 線回折結果

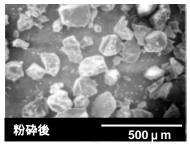


写真-1 電子顕微鏡写真

表-2 円形度算出結果

	粉砕前	粉砕後
測定粒子数	654	700
面積 (dot/ µ m²)	3951.6	2522.8
周長(µ m)	240.2	161.4
円形度	0.693	0.750
面積・円周・	円形度は	全測定粒

子数の平均値

材と極めてよく似た結果を示していることがわかる。このことから,鋳物ダストの防水効果について検討を行うことにした。なお,風力式粉砕装置を用いて試製した鋳物ダストおよび市販品の防水材の物理的性質を表-1に示す。図-2に示す粒度分布より粉砕加工を行うことによって粒子が小さくなっていることが分かる。写真-1に示す電子顕微鏡観察結果を基に画像解析処理により粒子の面積と周囲長を求め,式(1)を用いて粒子の丸味の判定を行った。

円形度 = 粒子投影面積と同じ面積を有する円の円周 粒子投影図の周長

(1)

円形度は,粒子が球であれば1となり,立方体であれば0.65となる。算出した結果を**表-2**に示すが,粉砕前後を比較すると,粉砕後のほうが1に近い値を示し,丸みを帯びていることが確認できた。

3. 鋳物ダストの防水効果

3.1 実験計画

鋳物ダストのコンクリート用防水材としての

表-1 使用した粉末の物理的性質

測定項目		市販品 (コンクリート用)	鋳物ダスト (粉砕後)
密度((g/cm^3)	2.64	2.54
平均粒	径(µm)		37.94
	SiO_2	73.24	85.38
	Al_2O_3	12.09	5.24
	Fe_2O_3	4.09	4.67
	CaO	1.14	0.24
	MgO	2.43	0.58
化学	SO_3	0.46	0.12
成分	Na ₂ O	1.27	1.12
(%)	K ₂ O	2.89	1.87
	TiO ₂	0.66	0.13
	P_2O_5	0.55	0.23
	MnO	0.25	0.15
	Cr_2O_3	0.01	0.03
	合計	99.08	99.76

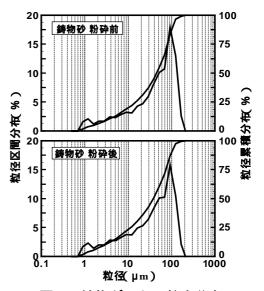


図-2 鋳物ダストの粒度分布

適用性を検討するため,水セメント比50%のコンクリートを基本とし,それに対して鋳物ダストおよび市販の防水材をセメント質量の外割で6%混入し,透水試験を行った。本実験では,鋳物ダストの混入量は,市販の防水材の標準使用量であるセメント質量の外割6%で統一することとした。

3.2 使用材料および調合

セメントには普通ポルトランドセメント,細骨材には混合砂,粗骨材には石灰石砕石,混和剤には AE 減水剤を使用した。使用した材料の物理的性質を表-3 に示す。基本コンクリートの調合を表-4 に示す。調合は AE 減水剤の使用量を一定とし,目標スランプ 18 ± 2cm,空気量 4.5

±0.5%を得るために,空気量調整剤で調整した。 表-1 に示す粉砕後の鋳物ダストと市販の防水 材(コンクリート用)を用い,比較検討した。練 混ぜには2軸ミキサを用い,全材料投入後1分 間練混ぜを行った。コンクリートは型枠に打設 後2~3時間程度で表面を平滑にし、その後シー トで覆って養生した。供試体はすべて材齢1日 で脱型し、所定の材齢まで標準水中養生とした。

3.3 実験方法

コンクリートの透水試験方法に関する JIS は 制定されていないが、本実験では、インプット 法 4)と呼ばれている方法を採用した。本実験で 使用した透水試験装置を図-3 に示す。供試体 (直径 150×100mm の円柱)は, 材齢 28 日まで 標準水中養生した後,温度20 ,相対湿度60% の室内で14日間乾燥して気乾状態にした。そし て,供試体を試験容器(内径 200mm,高さ 110mm の円筒)に設置し、一次元の流れが得られるよう に,供試体と容器の間にパラフィンとロジンの 混合物(質量比1:1)を充てんした。その後,打 設時の供試体の底面に 1.0N/mm² の水圧を 24 時 間加えた後, JIS A 1113「コンクリートの引張強 度試験方法」に従い、供試体を直径方向に割り、 直ちに水の浸透部分をデジタルカメラで撮影し た。浸透深さは、パソコンでの画像解析処理に より数値化した。

3.4 実験結果

浸透深さの状況を写真-2に示す。画像解析を 行った結果を図-4に示す。前述したように,水 漏れを防ぐため供試体の側面を樹脂でシールし ているが, 図-4に示すように両端部において水 の浸透が著しくなっており、その影響を省くた めに,両端から 2.5cm をカットした中央部 10cm の範囲において浸透面積を算出し,浸透深さを 算出することとした。その結果を表-5 に示す。 これより,若干ではあるが,鋳物ダスト混入コ ンクリートの浸透深さが最も少なく,鋳物ダス トが市販品と同等以上の性能を有することが分 かる。しかしながら,市販品においても基本コ ンクリートと明確な差が現れない結果となって

表-3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
	密度 3.16g/cm³,比表面積 3270cm²/g
細骨材	混合砂(海砂+山砂,混合比 3:7)
	密度 2.56g/cm³,吸水率 2.20%,粗粒率 2.57
粗骨材	石灰石砕石
	密度 2.70 g/cm³,吸水率 0.38%,粗粒率 6.63
混和剤	AE 減水剤標準形 種
	AE 助剤

表 4 コンクリートの調合

W/C	s/a	単位質量(kg/m³)					
(%)	(%)	W	C	S	G	A	
50	48.0	182	364	821	924	3.64	

W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率

W:水,C:セメント,S:細骨材,G:粗骨材,A:混和剤

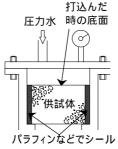
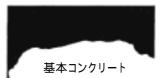


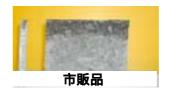


図-3 透水試験装置



基本コンクリート





市販品





写真-2 浸透深さ

図-4 画像解析結果

表-5 透水試験結果

	No.	浸透幅		浸透深さ	平均
		(mm)	(mm^2)	(mm)	(mm)
基本	1	100	2926	29.3	30.1
坐 个	2	100	3084	30.8	30.1
市販品	1	100	2921	29.2	26.7
םם אא יוי	2	100	2418	24.2	20.7
鋳物ダスト	1	100	2480	24.8	24.5
野物プスト	2	100	2411	24.1	24.3

いる。これは,短時間に高い水圧で加圧する試験方法では,コンクリートの水セメント比の影響などを検討する場合においてはその差が明確に表れてくるが,本実験のように,同一調合で混和材の種類の違いによる影響を明らかにする場合には,透水性を評価する試験方法としてはあまり適していないものと思われる。透水性の評価方法については今後検討する必要がある。

4. 鋳物ダストをセメントの一部に代替した コンクリートの力学特性

4.1 実験計画

鋳物ダストのコンクリート用混和材としての適用性について検討を行った。水セメント比 55,60,65%で,スランプ 18cm,空気量 4.5%のコンクリートを基本コンクリートとし,それに対して鋳物ダストをセメント容積の内割で 10,20,30%混入した調合(スランプおよび空気量は基本コンクリートと同一)についてブリーディング試験,圧縮強度試験および乾燥収縮ひずみ試験を計画した。スランプおよび空気量の測定は全調合に対して行ったが,その他の試験は代表的な調合を選んで実施することとした。実験項目を表-6に示す。

4.2 使用材料および調合

基本コンクリートを含めて全 20 調合となった。調合の詳細を表-7 に示す。調合は AE 減水剤の使用量を一定とし,目標スランプ 18 ± 2cm,空気量 4.5 ± 0.5%を得るために,空気量調整剤で調整した。使用材料および練混ぜ方法は,3.2項と同様である。混和材は,表-1 に示した鋳物ダストの粉砕前後と市販品(コンクリート用)の3 種類とした。供試体はすべて材齢1日で脱型し,所定の材齢まで標準水中養生とした。

4.3 実験方法

コンクリートの練混ぜ状態(ワーカビリティー)はこて仕上げによる目視観察で判断した。スランプ試験はJIS A 1101,空気量の測定はJIS A 1128,ブリーディング試験はJIS A 1123に従った。 圧縮強度試験はJIS A 1108に従い, 10×20cm

表-6 実験項目

	混入率		スランプ	ブリーデ	圧縮	乾燥
W/C*	(%)	種類	空気量 単位容積質量	ィング	強度	収縮
	0	基本		-		
	10	鋳物(後)		-		
50	10	市販品		-	-	-
	30	鋳物(後)		-		-
	30	市販品		-	-	-
	0	基本				
	10	鋳物(前)		-		
		鋳物(後)				
		市販品				
60	20	鋳物(前)		-		
00		鋳物(後)		-		
		市販品		-		
	30	鋳物(前)		-		_
		鋳物(後)		-		
		市販品		-		
	0	基本		-		-
	10	鋳物(後)		-		-
65	- 10	市販品		-	-	-
	30	鋳物(後)		-		-
	50	市販品		-	-	-

:試験を実施,-:試験を実施せず

の円柱供試体を用いて,材齢7,28日において行った。また同時にJISA1149に従い,ヤング係数を算出した。乾燥収縮試験は,JISA1129のコンタクトゲージ法に従い,10×10×40cmの角柱供試体を用いて乾燥開始材齢7日から測定を開始した。

4.4 実験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

コンクリートの練混ぜ状態は、本実験の範囲内においては、鋳物ダストを混入した場合、全般的に基本コンクリートよりも適度な粘性を備えた状態のよいコンクリートが得られることが確認できた。その傾向は水セメント比が大きくなるほど明確になることが分かり、このことから鋳物ダストは貧調合のコンクリートの状態改良材としても利用可能であることが考えられる。

表-7 によると鋳物ダストを混入した方が空 気量調整剤の使用量が若干増加する場合もある が,全調合とも標準的な使用量でスランプ,空 気量とも目標範囲内に納まっている。

また,**図-5**に示すように,鋳物ダストを混入したコンクリートのブリーディング量は,基本コンクリートと同等以下となった。

^{*}基本コンクリート(混入率0%)の水セメント比

表-7 コンクリートの調合

	混入率	混和材の	W/B	W/C		単位質量(kg/m³)				Air	スランプ	空気量	単位容	温度	
No.	(%)	種類	(%)	(%)	W	С	AD	S	G	A	タイプ	(cm)	(%)	積質量 (kg/ℓ)	()
1	0	基本	55.0	55.0	183	333	-	787	980	3.33	0.5A	17.0	4.4	2.33	22.0
2	10	鋳物(後)	55.9	61.1	183	299	27	787	980	3.26	1.0A	17.5	4.7	2.31	22.0
3	10	市販品	56.0	01.1	183	299	28	787	980	3.27	1.0A	17.5	4.5	2.32	22.0
4	30	鋳物(後)	57.9	78.6	183	233	82	787	980	3.15	1.5A	17.0	4.1	2.32	22.0
5	30	市販品	58.0	70.0	183	233	83	787	980	3.16	1.5A	18.0	4.0	2.32	22.0
6	0	基本	60.0	60.0	183	305	-	810	979	3.05	0.5A	19.1	4.4	2.32	18.5
7		鋳物(前)	61.0		183	275	23	810	979	2.98	0.5A	18.6	4.0	2.33	19.0
8	10	鋳物(後)	61.5	66.7	183	275	25	810	979	3.00	1.5A	19.0	4.4	2.30	19.0
9		市販品	61.1		183	275	25	810	979	3.00	0.5A	18.9	4.1	2.31	19.0
10		鋳物(前)	62.0		183	244	46	810	979	2.90	1.5A	18.5	4.4	2.31	21.0
11	20	鋳物(後)	63.2	75.0	183	244	50	810	979	2.94	1.5A	17.5	4.2	2.32	21.0
12		市販品	62.2		183	244	51	810	979	2.95	1.5A	17.5	4.9	2.29	20.0
13		鋳物(前)	63.1		183	214	69	810	979	2.83	1.5A	18.0	4.0	2.32	22.0
14	30	鋳物(後)	64.9	85.7	183	214	76	810	979	2.90	1.5A	17.1	4.0	2.32	22.5
15		市販品	63.3		183	214	76	810	979	2.90	1.5A	17.0	4.1	2.32	21.0
16	0		65.0	65.0	183	282	-	829	980	2.82	1.0A	17.5	5.0	2.29	23.5
17	10	鋳物(後)	66.1	72.2	183	253	23	829	980	2.76	1.0A	17.5	4.3	2.30	23.0
18	10	市販品	66.2	12.2	183	253	24	829	980	2.77	1.0A	17.5	4.4	2.32	23.0
19	30	鋳物(後)	68.4	92.9	183	197	70	829	980	2.67	1.0A	17.5	4.0	2.32	22.0
20	30	市販品	68.6	72.9	183	197	71	829	980	2.61	1.0A	17.5	4.1	2.33	22.0

W/B: 水結合材比, W/C: 水セメント比, W: 水, C: セメント, AD: 混和材(鋳物前・鋳物後・市販品), S: 細骨材, G: 粗骨材, A: 混和剤, 温度: コンクリート練り上がり温度

(2) 圧縮強度

材齢 28 日における圧縮強度試験結果の一覧 を表-8 に示す。混和材混入率と材齢 28 日の圧 縮強度比の関係を図-6に示す。圧縮強度比とは, 基本コンクリートの強度に対する比である。こ れによると、混和材の種類および水セメント比 の違いによらず混和材混入率が増加するととも に,圧縮強度が低下していることが分かる。ま た,水セメント比55%を除くと,混和材混入率 10%においては、すべての混和材において基本 コンクリートよりも圧縮強度が若干増加してい る。また,混和材混入率が増加するにつれて, 鋳物ダスト(後)を用いた場合の低下率が小さく なっている。前述したように,鋳物ダストは成 分として SiO2 を多く含むことからポゾラン反 応が期待できる。ポゾラン反応については,引 き続き実験を継続し 確認していく予定である。

(3) 乾燥収縮ひずみ

乾燥期間 91 日における乾燥収縮ひずみと混和材混入率の関係を**図-7** に示す。市販品を用いたコンクリートは混入率の増加に伴い乾燥収縮ひずみが増大していることが分かる。一方,鋳物ダストを用いたコンクリートは,鋳物ダスト

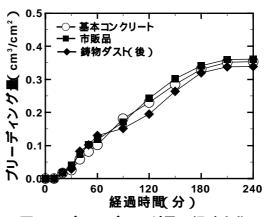


図-5 ブリーディング量の経時変化

表-8 圧縮強度試験結果

W/C*	混入率	混和材の	圧縮強度	ヤング係数
(%)	(%)	種類	(N/mm^2)	(kN/mm^2)
	0	基本	42.4	34.3
55	10	鋳物(後)	42.0	34.3
	30	鋳物(後)	30.1	29.1
	0	基本	34.2	31.6
		鋳物(前)	36.2	30.9
	10	鋳物(後)	34.2	30.8
		市販品	34.5	30.4
60		鋳物(前)	31.0	29.8
00	20	鋳物(後)	34.3	31.5
		市販品	33.2	29.5
		鋳物(前)	27.8	29.3
	30	鋳物(後)	29.5	30.1
		市販品	28.6	29.8
_	0	基本	32.5	28.8
65	10	鋳物(後)	33.6	31.1
	30	鋳物(後)	24.5	30.1

*:基本コンクリートの水セメント比

の混入率と乾燥収縮ひずみの関係は明確に表れていないが,粉砕加工の有無によらず,混和材を混入することによって乾燥収縮ひずみが低減している。江東ら 50の研究においても鋳物ダストを混入することによって収縮が小さくなることが確認されており,鋳物ダストを混入することによって収縮低減効果が得られることが期待できる。

5. まとめ

風力による粉砕加工を施した鋳物ダストの防水性能およびコンクリート用混和材としての適用の可能性を評価するために,各種実験を行った。本研究の範囲内で得られた知見は以下のとおりである。

- 1)風力を利用した粉砕加工を施すことにより, 丸みを帯びた粒子を製造できることが分かっ た。
- 2) 鋳物ダストが市販の防水材と同等以上の性能を有することが確認できた。
- 3)鋳物ダストを混入したコンクリートにおいて, 基本コンクリートと同等以上のフレッシュ性 状および硬化性状が得られることが分かった。
- 4) 鋳物ダストをコンクリート用混和材として使用する場合,水セメント比 60%においては混入率 20%まで利用できることが分かった。また,粉砕加工を施すことにより,硬化性状が改善することがわかった。

謝辞

本研究は、平成14年度大分大学VBLプロジェクト研究Cによって行われたものである。実験・分析においては、大分県地域産学官交流グループ(「コンクリートにおける産業廃棄物の有効利用」・メンバーは、大分大学・佐藤嘉昭、同・大谷俊浩、大分工業高等専門学校・一宮一夫、大分県産業科学技術センター・佐藤壱、木本機器工業㈱・吉松研一、㈱大分宇部生コン・池田鉄男、㈱木村組・木村俊弘、龍南運送㈱・和田昌幸、㈱滝尾砕石プラント・小松昭信、東進生コン㈱・坂本武文、住商アイエス㈱大分支店・薬師寺照夫、㈱ゼロテクノ・菊

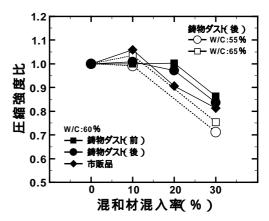


図-6 圧縮強度比と混和材混入率の関係

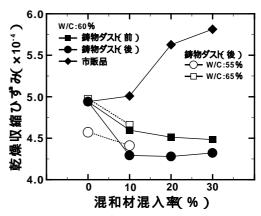


図-7 乾燥収縮ひずみと混和材混入率の関係

池久夫,大分県生コンクリート工業組合・西元 良紀)によって実施されたものである。末筆な がらここに付記して謝意を表します。

参考文献

- 1)社団法人日本コンクリート工学協会九州支部:各種産業廃棄物のコンクリート用材料としての適用性コンクリートにおける産業廃棄物利用研究委員会報告書,2000
- 2) 中部コンクリート研究会: コンクリート用材料としての鋳物ダストの適用性に関する研究,中部セメントコンクリート工学研究報告書増刊号,pp.93~94,1998
- 3)平成 12 年度地域コンソーシアム研究開発事業「高機能化回収水処理システムを用いた再資源処理技術の実用化に関する研究開発」成果報告書,2002
- 4) 笠井芳夫,池田尚治:コンクリートの試験方法(下),技術書院,pp.148-152,pp.1993.6
- 5) 江東ほか: 高流動コンクリート用粉体として の鋳物ダストの適用性, セメント・コンクリ ート論文集, No.54, pp.524-531, 1998