

報告 シャフト炉により副産されたごみ溶融スラグ細骨材の品質とこれを用いたコンクリートの性状に関する一考察

鈴木 大介^{*1}・大塚 秀三^{*2}・中田 善久^{*3}・斉藤 丈士^{*4}

要旨：シャフト炉式ガス化直接溶融炉より副産されたごみ溶融スラグ細骨材について、月1回試料を採取し有害物質の溶出量および物理的な品質について検討した。また、採取時期の異なる2種類のごみ溶融スラグ細骨材を山砂および石灰石砕砂と混合した細骨材を用いてコンクリートを練り混ぜ、混合する細骨材が変化した場合のごみ溶融スラグコンクリートの品質について検討した。この結果、有害物質の溶出量と物理的な品質の変動は小さいことおよびごみ溶融スラグの採取時期および混合する細骨材が異なるコンクリートの品質は、山砂のみを用いたコンクリートと同等であることを示した。

キーワード：ごみ溶融スラグ，シャフト炉，有害物質の溶出試験，物理試験，圧縮強度

1. はじめに

一般廃棄物を処理する過程で副産される溶融固化物（以下、ごみ溶融スラグ細骨材と称する）は、平成14年7月に標準情報「TR A 0016：一般廃棄物，下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材（コンクリート用溶融スラグ細骨材）」¹⁾が公表され、利用促進が図られていることから、各方面でこれを用いたコンクリート（以下、スラグコンクリートと称する）に関する研究が行われている。しかし、ごみ溶融スラグ細骨材の原料である一般廃棄物は、季節や地域により異なる¹⁾ため、ごみ溶融スラグ細骨材の有害物質の溶出量および物理的な品質が変動する可能性がある。

一方、レディーミクストコンクリートに用いる細骨材は、天然資源の枯渇問題があり、良質な天然砂を大量に消費することが困難となっている。そのため、砂と砕砂の混合細骨材を用いることが一般的となっているが、ごみ溶融スラグ細骨材のコンクリートへの有効利用に関する研究は、ごみ溶融スラグ細骨材を混合する対象の基準細骨材に砂のみを用いている事例がほとんどであり、砂、砕砂およびごみ溶融スラグ細骨材を併用した場合のコンクリートの性状に関

しては不明な点が多い。

そこで、本報告は、シャフト炉式ガス化直接溶融炉により副産されたごみ溶融スラグ細骨材の季節による品質の変動を把握するために、ごみ溶融スラグ細骨材の有害物質の溶出量および物理的な品質について検討を行い、さらに、混合する細骨材が異なるスラグコンクリートの性状を検討するために、山砂と採取時期の異なる2種類のごみ溶融スラグ細骨材および石灰石砕砂を混合し細骨材に用いたコンクリートの性状を調べたものである。

ここでは、有害物質の溶出試験結果、ごみ溶融スラグ細骨材の物理的な品質を調べた結果および採取時期の異なる2種類のごみ溶融スラグ細骨材を山砂および石灰石砕砂と混合した細骨材を用いたスラグコンクリートの性状について比較検討した結果を述べる。なお、本報告は、ごみ溶融スラグ細骨材の物理的な品質およびスラグコンクリートについて、一部、昨年度の報告²⁾に引き続き期間を延長して試験を行った結果を述べている。

2. ごみ溶融スラグ細骨材の品質の変動

2.1 実験概要

一般廃棄物処理施設において稼働しているシャ

*1 ものづくり大学大学院 ものづくり研究科 ものづくり学専攻 大学院生（正会員）

*2 日本大学大学院 理工学研究科 建築学専攻 大学院生（正会員）

*3 ものづくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科 助教授（正会員）

*4 株式会社 内山アドバンス 中央技術研究所（正会員）

フト炉式ガス化直接溶融炉より得られたごみ溶融スラグ細骨材を定期的に採取し、有害物質の溶出試験および物理的試験の結果より品質の変動について検討した。

(1) 対象としたごみ溶融スラグ細骨材

本実験で対象としたごみ溶融スラグ細骨材は、シャフト炉式ガス化直接溶融炉より副産されたもので、一般廃棄物を 1700 ~ 1800 の高温で直接溶融し、水砕した後、磁選機によりメタルを除去したものである。また、原料は一般ごみおよびし尿・汚泥である。

(2) 採取期間および方法

一般廃棄物処理施設のごみ溶融スラグ細骨材貯蔵ヤードより、毎月 1 回、各月の初旬に試料を採取した。また、試料は、複数の異なる任意の位置より約 50kg にしたものを均一に混合し、約 30kg 試験に使用した。なお、試料の採取期間は、有害物質の溶出試験については、平成 16 年 4 月から平成 17 年 3 月の 12 ヶ月行い、物理試験については平成 15 年 7 月 ~ 平成 17 年 9 月の 27 ヶ月行った。採取期間および回数を表 - 1 に示す。

(3) 試験項目および方法

試験項目は、有害物質の溶出試験および物理的試験とし、試験方法は、環境庁告示第 46 号および JIS の方法に準じた。試験項目および方法を表 - 2 に示す。

2.2 実験結果および考察

(1) 有害物質の溶出量

有害物質の溶出試験の結果を表 - 3 に示す。有害物質の溶出量は、12 回行った全てのごみ溶融スラグ細骨材とも測定を行った全ての対象物質にお

いて、環境庁告示第 46 号に示されている基準値を満足する結果となった。また、季節による違いは、フッ素およびホウ素で若干ばらつきが大きくなる結果となった。なお、既往の研究では 5 種類のごみ溶融スラグ細骨材について有害物質の溶出量の測定を行っている³⁾が、全てのごみ溶融スラグ細骨材とも定量限界値未満であり、春、夏および秋のフッ素とホウ素を除き、本報告も同様の結果となった。

(2) 粒度分布

粒度分布を図 - 1 に示す。粒度分布を季節ごとに見ると、若干の差はあるが変動は小さいものとなった。また、粒子径の構成割合は、全体に 0.6mm のふるいに留まる量が最も多く、一部で 1.2mm の通過率が TR に示される MS5 の粒度の範囲を超える場合があった。なお、これらの傾向は、一部で通過率が TR の範囲を超えることも含め、昨年度の報告²⁾と同様であった。

(3) 物理的な品質

物理的な品質の試験結果を図 - 2 に示す。物理

表 - 1 採取期間および回数

試験項目	採取期間	試験回数
溶出試験	平成16年4月～平成17年3月	12回
物理試験	平成15年3月～平成17年9月	27回

表 - 2 試験項目および方法

試験項目	試験方法
有害物質の溶出試験	環境庁告示第46号
ふるい分け	JIS A 1102
密度及び吸水率	JIS A 1109
微粒分量	JIS A 1103
単位容積質量及び実積率	JIS A 1104
粒形判定実積率	JIS A 5005

表 - 3 有害物質の溶出試験結果

測定項目	測定結果 (平均値)				定量下限量	環境基準値 (環告46号)
	春	夏	秋	冬		
ｶﾞﾞﾞ (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.01 以下
鉛 (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	0.01 以下
六価ｸﾞ (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.05 以下
砒素 (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	0.01 以下
総水銀 (mg/l)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	0.0005 以下
セレン (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.01 以下
フッ素 (mg/l)	0.3	0.2	0.1	<0.1	0.1	0.8 以下
ホウ素 (mg/l)	0.02	0.07	0.02	<0.01	0.01	1.0 以下

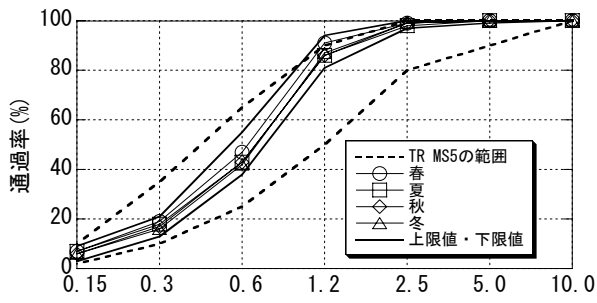


図 - 1 粒度分布

的品質の季節による変動は、春の一部を除き、小さかった。これは、昨年度の報告²⁾でも述べたように、平成 16 年 4 月は溶融炉のメンテナンス期間にあたり、通常は連続運転している溶融炉をメンテナンスのために停止した。この期間の試料は、溶融炉を再稼働した直後に採取したため、溶融処理における容積や温度の条件が異なり、絶乾密度および粒形判定実積率などが大きく変動したと考えられる。なお、絶乾密度、吸水率、微粒分量および粒形判定実積率は、全体に TR に示される基準値を全て満足していた。

3. 混合する細骨材が異なるコンクリートの品質

3.1 実験概要

ここでは、採取時期の異なる 2 種類のごみ溶融スラグ細骨材と山砂および石灰石砕砂の混合割合を変化させたスラグコンクリートについて検討した。実験は、ごみ溶融スラグ細骨材の採取時期が異なる場合および混合の対象とする細骨材が異なる場合について、スランプおよび空気量を一定としたスラグコンクリートにおける調合の変化ならびにフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状を調べた。

(1) 使用材料

実験には、セメントに普通ポルトランドセメント、練混ぜ水に上水道水、細骨材に山砂、平成 16 年 9 月および平成 17 年 7 月に採取したごみ溶融スラグ細骨材および石灰石砕砂、粗骨材に砕石 2005、化学混和剤に高性能 AE 減水剤および AE 剤を用いた。ごみ溶融スラグ細骨材の品質を表 - 4 に、使用材料と概要を表 - 5 に示す。

(2) 実験の要因および水準

実験の要因は、細骨材の種類および混合割合と

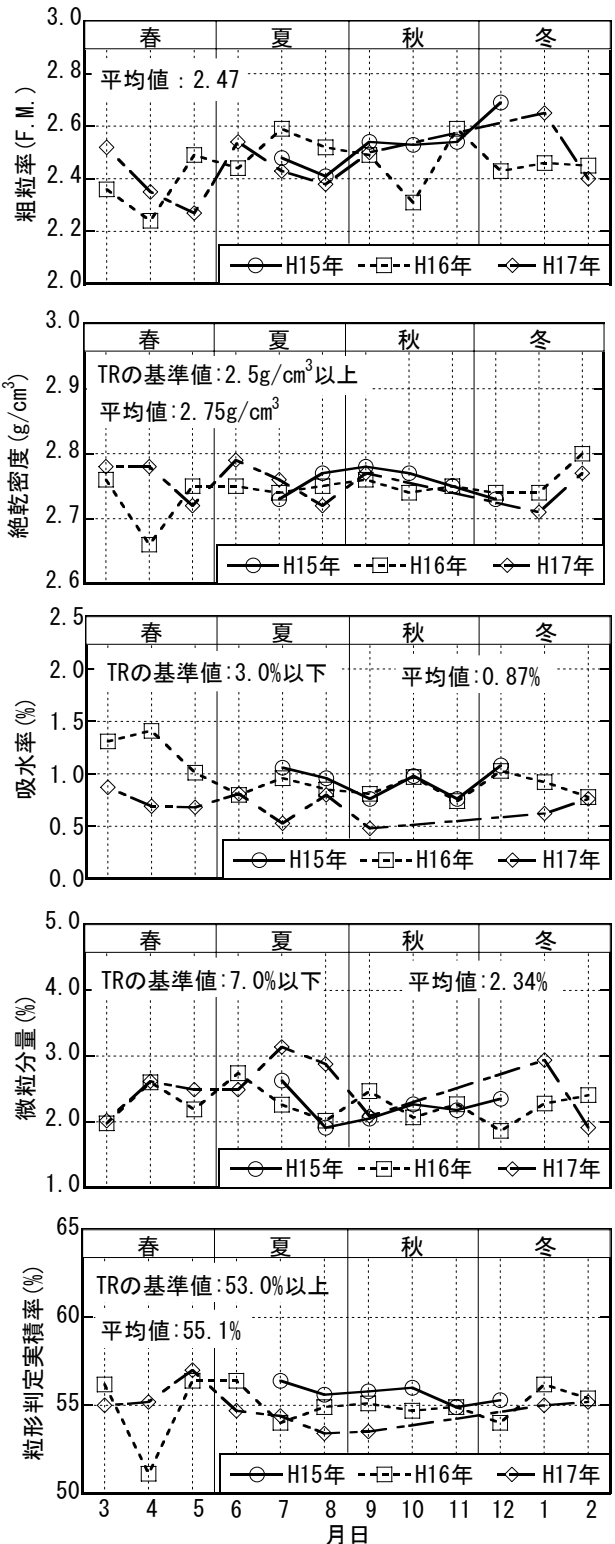


図 - 2 物理的な品質の試験結果

した。実験の要因および水準を表 - 6 に示す。

(3) コンクリートの調合条件

コンクリートの調合条件は、単位水量 $170\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位粗骨材(かさ)容積 $0.590\text{m}^3/\text{m}^3$ においてスランプ $21 \pm 1.0\text{cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.0\%$ とし、化学混和剤の使用量によりスランプと空気量の調整を行っ

表 - 4 ごみ溶融スラグ細骨材の品質

試験項目	H16年 9月	H17年 7月
粗粒率 (F.M.)	2.49	2.43
絶乾密度 (g/cm ³)	2.76	2.76
吸水率 (%)	0.81	0.53
微粒分量 (%)	2.47	3.14
実積率 (%)	62.7	62.1
粒径判定実積率 (%)	55.1	54.4

表 - 6 実験の要因および水準

実験要因	水準
細骨材の種類	(1)山砂 (2)山砂+ごみ溶融スラグ (3)山砂+ごみ溶融スラグ+石灰石砕砂
細骨材の混合割合	(1)山砂(100) (2)山砂(70):ごみ溶融スラグ 細骨材(30) (3)山砂(50):ごみ溶融スラグ 細骨材(30): 石灰石砕砂(20)

表 - 5 使用材料と概要

使用材料	種類	概要
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³
練混ぜ水	上水道水	千葉県浦安市
細骨材	山砂	千葉県君津市産,粗粒率2.49,表乾密度2.59g/cm ³ ,吸水率1.67%,微粒分量1.0%,実積率59.1%
	ごみ溶融スラグ細骨材	平成16年9月,平成17年7月
粗骨材	石灰石砕砂	栃木県安蘇郡産 粗粒率2.78,表乾密度2.67g/cm ³ ,吸水率1.41%,微粒分量3.89%,粒径判定実積率57.8%
	碎石2005	栃木県栃木市産, 粗粒率6.65,表乾密度2.64g/cm ³ ,吸水率1.05%,実積率59.1%
化学混和剤	高性能AE減水剤	ホリカルボン酸系化合物
	AE剤	アルキル型陰イオン界面活性剤

表 - 7 コンクリートの調合条件

項目	調合条件
単位水量	170 kg/m ³
単位粗骨材(かさ)容積	0.590 m ³ /m ³
スランブ	21 ± 1.0 cm
空気量	4.5 ± 1.0 %

表 - 8 試験項目および方法

試験項目		試験方法
フレッシュ コンクリート	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結時間	JIS A 1147
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108
	静弾性係数	JIS A 1149

た。コンクリートの調合条件を表 - 7 に示す。

(4) 試験項目および方法

試験項目は、フレッシュコンクリートについてスランブ、空気量、ブリーディングおよび凝結時間とし、硬化コンクリートについて圧縮強度（材齢3,7および28日）および静弾性係数（材齢28日）とした。試験方法は、全てJISの方法とした。試験項目および方法を表 - 8 に示す。

3.2 実験結果および考察

(1) コンクリートの調合とスランブおよび空気量

コンクリートの調合とスランブおよび空気量の試験結果を表 - 9 に示す。山砂およびごみ溶融スラグ細骨材の2種類を混合して用いたスラグコンクリートならびに山砂、ごみ溶融スラグおよび石灰石砕砂の3種類を混合して用いたスラグコンクリート（以下、2種砂混合コンクリートと3種砂混合コンクリートと称する）は、昨年度の報告²⁾と同じく山砂のみを用いたコンクリート（以下、山砂100と称する）と同様に高性能AE減水剤およ

びAE剤の使用量を調整することにより、所定のスランブおよび空気量を得ることができた。また、高性能AE減水剤およびAE剤の使用量は、山砂100に対しスラグコンクリートの方が少ない結果となった。これは、図3に示すように、混合した細骨材の粒度が山砂のみの粒度よりも適切な範囲となることにより細骨材の実積率が向上したことが影響していると考えられる。なお、採取時期の違いでは、2種砂混合コンクリートでH17年の方が高性能AE減水剤の使用量が多くなる結果となった。これは、微粒分量がH17年の方が若干多いためと考えられる。

(2) ブリーディング

ブリーディング量を図 - 4 に示す。スラグコンクリートのブリーディング量は、山砂100に対し同等または若干多くなった。これは、ごみ溶融スラグ細骨材の粒子表面がガラス質で平滑であるためと考えられる。また、3種砂混合コンクリートは、ブリーディング量が若干多くなった。この原因は不明であるが、混合する細骨材の種類が、スラグコンクリートのブリーディングに影響を及ぼ

表 - 9 コンクリートの調合とスランプおよび空気量の試験結果

採取時期	細骨材の使用割合			水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)							試験結果		
	山砂	ごみ溶融スラグ	石灰石砕砂		セメント	水	山砂	ごみ溶融スラグ	石灰石砕砂	砕石	化学混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)
											高性能AE減水剤	AE剤		
平成16年	100	0	0	45	378	170	818	0	0	925	2.04	0.017	22.0	4.0
	70	30	0				573	264			1.52	0.011	21.0	4.2
	50	30	20				409	264			169	1.70	0.011	21.0
平成17年	70	30	0	45	378	170	572	263	0	925	1.98	0.011	22.0	5.5
	50	30	20				409	263			168	1.70	0.011	22.0

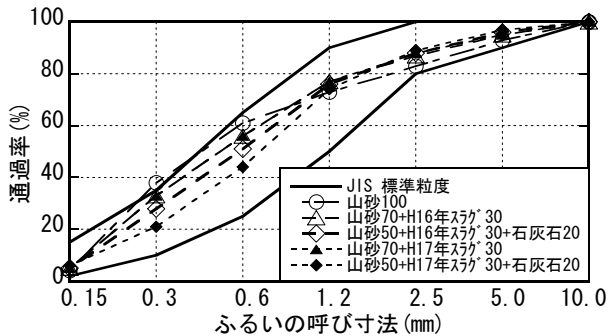


図 - 3 合成した細骨材の粒度分布

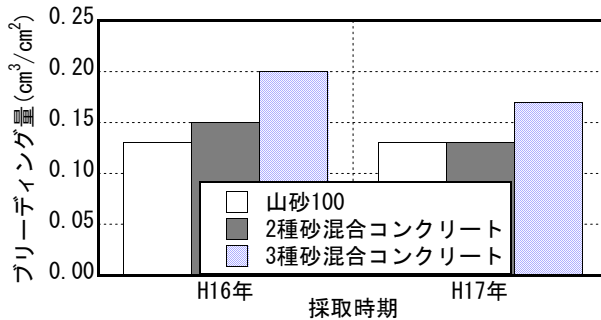


図 - 4 ブリーディング量

す可能性が高いと思われる。さらに、試料の採取時期による違いを見ると、H17年の方がブリーディング量が少なかった。これは、ごみ溶融スラグ細骨材の微粒分量がH16年の試料よりも多かったことが影響していると考えられる。なお、ブリーディング量は、全体に0.30cm³/cm²未満であり、著しく多い値ではなかった。

(3) 凝結時間

凝結時間を図 - 5 に示す。スラグコンクリートの凝結時間は、山砂100に比べ若干遅くなった。これは、混合した細骨材の粒度が山砂のみよりも適切な範囲にあり、コンクリート中の余剰水が多かったためと考えられる。また、試料の採取時期による違いからすると、H16年よりH17年の凝結時間の方が若干遅くなっていた。これは、細骨材に含まれる微粒分量の違いが影響している⁴⁾可能

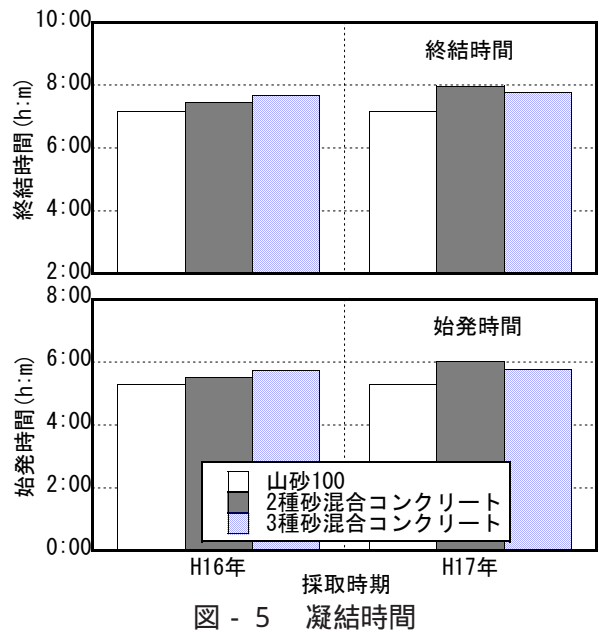


図 - 5 凝結時間

性がある。

(4) 圧縮強度

圧縮強度を図 - 6 に示す。圧縮強度は、山砂100およびスラグコンクリートともに材齢の経過に伴い大きくなり、一般的なコンクリートと同様の傾向を示した。また、3種砂混合コンクリートの圧縮強度は、山砂100および2種砂混合コンクリートよりも若干大きくなる傾向にあった。さらに、試料の採取時期による違いでは、3種砂混合コンクリートの場合、H16年の方が圧縮強度は若干大きくなった。これらの結果から、スラグコンクリートの圧縮強度は、ごみ溶融スラグ細骨材の採取時期および混合する細骨材の種類の影響を受ける可能性があると考えられる。なお、今回の報告では検討していないが、既往の研究⁵⁾で、塩基度が高いもの、CaO/SiO₂モル比の高いものほど活性が高く、強度発現性も良好になると言われており、この性質が本実験の結果に影響している可能

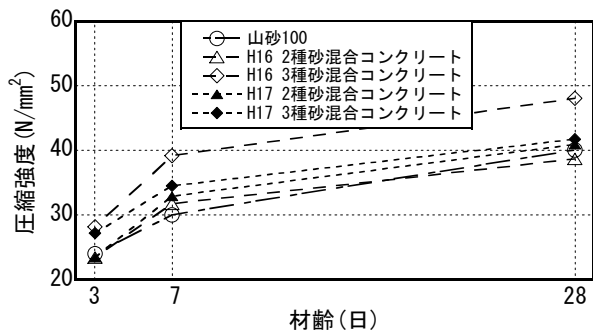


図 - 6 圧縮強度

性がある。

(5) 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図 - 7 に示す。今回の実験では、圧縮強度と静弾性係数の関係について、混合する細骨材の違いや試料の採取時期の違いによる明確な傾向は見られず、全ての調査において JASS5 に示される式⁶⁾をやや上回る結果となった。これより、適切な品質のごみ溶融スラグ細骨材を30%程度用いたスラグコンクリートは、混合する細骨材の違いに関わらず、圧縮強度を確保すれば山砂100と同等の静弾性係数を得ることができると考えられる。

4. まとめ

シャフト炉式ガス化直接溶融炉により副産されたごみ溶融スラグ細骨材の季節による品質を把握するために、ごみ溶融スラグ細骨材の有害物質の溶出量および物理的な品質の変動を調べた。また、混合する細骨材の違いによるスラグコンクリートの性状を検討するために、山砂、スラグおよび石灰石を混合し用いたコンクリートの性状を調べた。この結果、本実験で用いたごみ溶融スラグ細骨材の季節による品質の変動は比較的小さいものとなったが、一部、溶融炉のメンテナンスや段取り替えなどによる再稼働直後に関しては品質が大きく異なる可能性があり、注意が必要である。なお、混合する細骨材の違いでは、採取時期の違いによる差は若干あったもののほぼ同等の結果となった。

今後は、引き続き、品質の変動を調べるとともに月ごとに排出される一般廃棄物の品質の変動を調べ、一般廃棄物とごみ溶融スラグの関係につい

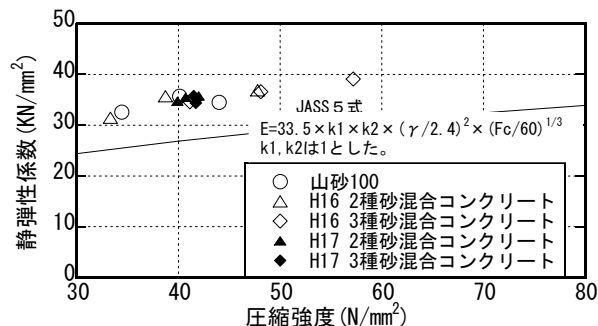


図 - 7 圧縮強度と静弾性係数の関係

て検討を行いたいと考えている。

謝辞

本実験を行うにあたり、毛見虎雄博士、新日本製鐵株式会社 伊能泰夫氏、長田昭一氏ならびに株式会社内山アドバンス 女屋英明氏より貴重なご助言を頂きました。また、ものづくり大学 建設技能工芸学科 中田研究室 内海範一君、丸山大祐君、森田鉄也君より多大なご協力を頂きました。ここに付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本工業標準調査会: TR A 0016 「一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材 (コンクリート用細骨材)」, 2002.7
- 2) 中田善久ほか: ごみ溶融スラグ細骨材の品質変動とこれと混合する細骨材に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, pp. 115-120, 2005
- 3) 川端雄一郎ほか: 溶融方法が都市ごみ溶融スラグの化学的・物理的性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004
- 4) 斉藤丈士ほか: 各種ごみ溶融スラグ細骨材を用いた高性能AE減水剤コンクリートの性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 597, pp. 1-8, 2005. 11
- 5) 岡元豊重ほか: 各種溶融スラグを用いた混合ポルトランドセメントの水和硬化特性に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No. 52, 1998
- 6) 建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, pp. 170, 2003