論文　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

中田 善久[*1]・斉藤 丈士[*2]・伊能 泰夫[*3]・大塚 秀三[*4]

要旨：シャフト炉式ガス化溶融炉より得られたごみ溶融スラグ細骨材について，月１回試料を採取し物理的品質を調べ，この品質の変動について検討した。また，ごみ溶融スラグ細骨材と混合する細骨材に山砂および山砂と砕砂の混合細骨材を用いてコンクリートを練り混ぜ，混合対象と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の変化について検討した。この結果，ごみ溶融スラグの品質の変動は通常稼働時には小さいことおよび混合対象に砂と砕砂の混合細骨材を用いたごみ溶融スラグコンクリートの品質は，砕砂の品質により改善できる可能性を明らかにした。

キーワード：ごみ溶融スラグ，品質変動，ブリーディング，凝結，圧縮強度

1. はじめに

一般廃棄物の溶融固化物(以下，ごみ溶融スラグと称する)は，コンクリート用細骨材に利用できることから，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[1)]が行われている。スラグコンクリートの性状に関しては解明されつつある部分が多く，現在公開されている標準情報[2)](TR　A 0016)において，課題とされている長期安定性に関するデータや使用実績などが蓄積されれば，JIS規格となり実用化できる可能性が高い。しかし，既往の研究は，継続して産出されているごみ溶融スラグ細骨材を任意の時点で取り上げて各種の検討を行っており，スラグコンクリートの性状に関しては詳細な検討が行われているが，使用者が大きな関心をよせる項目の一つである，ごみ溶融スラグの品質の変動について検討している事例は極めて少ない[1)]。

一方，ごみ溶融スラグの生産量は，現状におけるコンクリート用細骨材の使用量と比較すると少ないため，実際に使用する場合には，従来使用している細骨材と混合使用するのが妥当と考えられる。しかし，既往の研究は，ごみ溶融スラグの混合の対象とする細骨材に砂を用いている事例が多く，近年一般的に使用されている砂と砕砂の混合細骨材をごみ溶融スラグ細骨材の混合の対象に用いた場合のスラグコンクリートの性状に関しては，不明な点が多い。

そこで，本研究は，ごみ溶融スラグ細骨材の品質の変動を把握するために，ごみ溶融スラグ細骨材の物理的な品質の変動について検討を行い，さらに，砂と砕砂の混合細骨材を用いたスラグコンクリートの性状を検討するために，砂，砕砂およびごみ溶融スラグ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，コンクリート用細骨材に規定される主要な項目に関して骨材の物理試験を行い，ごみ溶融スラグ細骨材の物理的な品質の変動を調べた結果および砂を用いたスラグコンクリートと砂と砕砂の混合細骨材を用いたスラグコンクリートの性状に関して比較・検討した結果について述べる。

*1 ものつくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科 専任講師 博士(工学)
*2 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 研究員
*3 新日本製鐵(株) プラント・環境事業部 環境ソリューション事業センター 副部長
*4 ものつくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科

表１ 試験項目および方法

試料の採取期間	試験項目	試験方法
平成 15 年 7 月 ～ 平成 16 年 9 月 (月 1 回)	ふるい分け	JIS A 1102
	密度および吸水率	JIS A 1109
	微粒分量	JIS A 1103
	単位容積質量および実積率	JIS A 1104
	粒形判定実積率	JIS A 5005

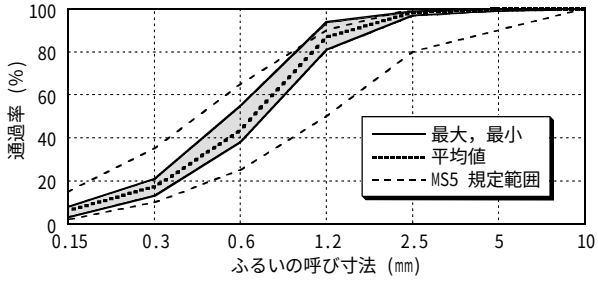


図１ 粒度分布の範囲

2. ごみ溶融スラグ細骨材の物理的品質の変動

2.1 実験概要

一般的な自治体の一般廃棄物処理施設において稼働しているシャフト炉式直接溶融炉[2)]より得られたごみ溶融スラグを定期的に採取し，骨材試験およびモルタル試験の結果より物理的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

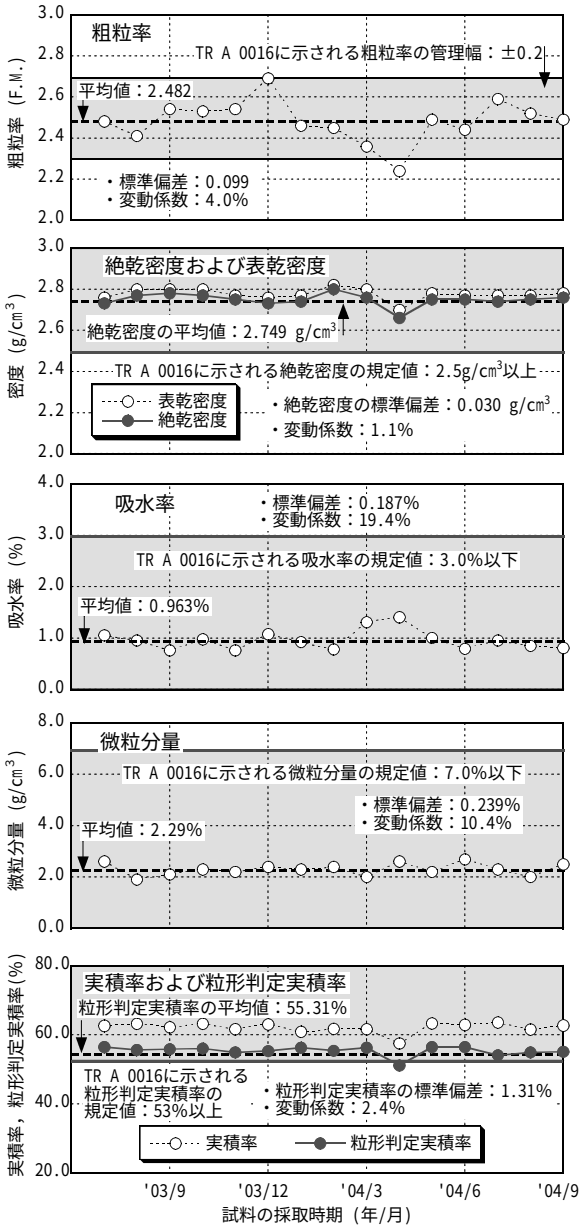
本実験の対象としたごみ溶融スラグは，首都圏の代表的なベッドタウンの一つであるＮ市(人口およそ16万人)に設置されている一般廃棄物処理施設のシャフト炉式ガス化溶融炉より産出されたもので，縦型シャフト炉により1,700～1,800℃の高温で溶融された融液を水砕により固化した後，磁選機により金属鉄を取り除いたものである。

(2) 試料の採取方法と採取期間

一般廃棄物処理施設のごみ溶融スラグ貯蔵ヤードより，毎月１回，各月の初旬に試料を採取した。試料は，任意の異なる5カ所の位置より各10kgずつ採取したものを均一に混合し，試験に供するときに四分法により縮分して用いた。なお，試料の採取期間は，平成15年7月～平成16年9月とした。

(3) 試験項目および方法

試験は，骨材の物理的品質について行い，試験方法は，全てJISの方法に準じたものとした。



図－２ 物理的品質の変動

試験項目および方法を表－１に示す。

2.2 結果および考察

(1)粒度分布の範囲

粒度分布の範囲を図－１に示す。粒度分布は，一部を除き概ねTRに示されるMS5の粒度の範囲にあった。また，粒子径の構成割合は，全体に0.6mmふるいに留まる量が最も多かった。なお，MS5の粒度の範囲を超えたごみ溶融スラグでは，1.2mmふるいの通過率が大きかった。これより，TRに示される粒度の範囲を超える場合，ふるい分けにより1.2mm未満の粒子をある程度除去してMS5の範囲とするかまたは破砕処理などによ

り0.6㎜未満の粒子を増やし，MS2.5の範囲とする必要がある。

(2)物理的品質

物理的品質の変動を図－２に示す。物理的品質の変動は，一部を除き小さかったが，粗粒率，絶乾密度，実積率および粒形判定実積率において，一部やや大きく変動する場合があった。このうち，粗粒率は，2003年12月における最大値2.69と2004年4月における最小値2.24で0.4以上の差があり，TRにおいて購入契約時に定めた値±0.20を超えて変化してはならないとされている範囲を超える可能性がある。このばらつきは，水砕するときの融液と水の温度差が一定とならないことが影響している可能性がある。また，粒形判定実積率は，TRの規定値を下回る場合があった。

複数の項目において最も変動が大きかったのは平成16年4月に採取した試料であるが，この時期は，対象とした一般廃棄物処理施設のメンテナンス期間となっており，通常は昼夜連続運転を行っている溶融処理設備の再稼働直後に試料を採取したことが分かった。これより，メンテナンスや段取り替えなどによる再稼働直後のごみ溶融スラグは，通常稼働時と比べて品質が大きく変動する可能性があるため注意を要し，粒度や粒径を改善するための破砕加工を必要とする場合がある。

3. 細骨材の種類が異なるスラグコンクリートの性状

3.1 実験概要

砂，砕砂およびごみ溶融スラグの混合割合を変化させたスラグコンクリートを練り混ぜ，ごみ溶融スラグの混合の対象とする細骨材が異なる場合の，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，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，セメントに市販の普通ポルトランドセメント，練混ぜ水に上水道水，粗骨材に砕石2005，細骨材に砂，砕砂2種類および平成16年9月に採取したごみ溶融スラグ，化学混和剤に高性能AE減水剤およびAE剤を用いた。使用材料とその概要を表－２に示す。

表－２ 使用材料とその概要

使用材料	種類		概要
セメント	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ		密度:3.16g/cm³
水	上水道水		千葉県浦安市
粗骨材	砕石 2005		栃木県栃木市産， 粗粒率 6.65，表乾密度 2.64g/cm³， 吸水率 1.05%，実積率 59.1%
細骨材	砂		千葉県君津市産山砂，粗粒率 2.49， 表乾密度 2.59g/cm³,吸水率 1.67%， 微粒分量 1.0%，実積率 66.5%
	砕砂	①	埼玉県秩父郡産 硬質砂岩， 粗粒率 2.87，表乾密度 2.64g/cm³， 吸水率 1.26%，微粒分量 2.7%， 粒形判定実積率 54.6%
		②	栃木県安蘇郡産 石灰， 粗粒率 2.78，表乾密度 2.67g/cm³， 吸水率 1.41%，微粒分量 3.89%， 粒形判定実積率 57.8%
	ごみ溶融スラグ		平成 16 年 9 月採取分 粗粒率 2.49，表乾密度 2.78g/cm³， 吸水率 0.81%，微粒分量 2.5%， 粒形判定実積率 55.1%
化学混和剤	高性能 AE 減水剤		ﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸系化合物
	AE 助剤		ｱﾙｷﾙｴｰﾃﾙ型陰ｲｵﾝ界面活性剤

表－３ 実験の要因と水準

実験要因	水準
細骨材の種類	(1)砂 (2)砂＋ごみ溶融ｽﾗｸﾞ (3)砂＋砕砂①＋ごみ溶融ｽﾗｸﾞ (4)砂＋砕砂②＋ごみ溶融ｽﾗｸﾞ
細骨材の混合割合	砂(100) 砂(70):ごみ溶融ｽﾗｸﾞ(30) 砂(50):砕砂(20):ごみ溶融ｽﾗｸﾞ(30)
水セメント比	40，45，50 (%)

(2) 実験要因および水準

実験の要因は，細骨材の種類と混合割合および水セメント比とした。このとき，砕砂を用いる場合の砕砂の混合割合は，以前に筆者らが行った調査において20～50%が一般的であったため，このうち，粗粒率の変化が最も小さくなる20%とした。実験の要因と水準を表－３に示す。

(3) コンクリートの配合(調合)条件

コンクリートの配合(調合)条件は，単位水量170kg/m³，単位粗骨材(かさ)容積0.590m³/m³においてスランプ21±1.0cm，空気量4.5±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た。コンクリートの配合(調合)条件を表－４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

表－４ コンクリートの配合(調合)条件

項目	配合(調合)条件
単位水量	170 (kg/m³)
単位粗骨材(かさ)容積	0.590 (m³/m³)
スランプ	21 ± 1.0 (cm)
空気量	4.5 ± 1.0 (%)
コンクリート温度	20 ± 1.5 (℃)

表－５ 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	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング量	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

表－６ コンクリートの配合(調合)とスランプ，空気量およびコンクリート温度の試験結果

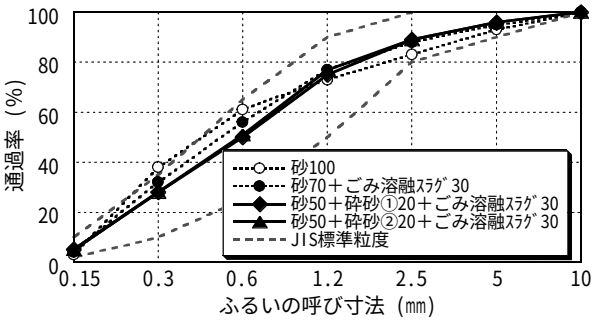
細骨材の使用割合 (Vol.%)				水セメント比	単位量 (kg/m³)								試験結果		
砂	砕砂		ごみ溶融スラグ	(%)	セメント	水	砂	砕砂	ごみ溶融スラグ	砕石	化学混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)
	①	②									高性能AE減水剤	AE剤			
100	0		0	50	340	170	850	0	0	925	2.04	0.017	21.5	4.9	21.5
				45	378		818				2.27	0.019	22.0	4.0	21.5
				40	425		782				2.55	0.021	20.5	5.4	21.5
70			30	50	340		595		274		1.56	0.010	21.0	5.5	20.0
				45	378		573		264		1.52	0.011	21.0	4.2	21.0
				40	425		548		252		2.15	0.013	22.0	4.0	21.0
50	20	0		50	340		425	173	274		1.36	0.010	20.5	3.6	21.0
				45	378		409	167	264		1.70	0.011	21.5	5.0	20.0
				40	425		391	159	252		1.91	0.013	22.0	3.6	21.0
	0	20		50	340		425	175	274		1.70	0.010	21.0	4.8	19.5
				45	378		409	169	264		1.70	0.011	21.0	3.8	19.5
				40	425		391	161	252		2.13	0.013	21.0	3.6	20.0

てスランプ，空気量，ブリーディング量および凝結時間，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)であり，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－５に示す。

3.2 結果および考察

(1)コンクリートの配合(調合)とスランプおよび空気量

コンクリートの配合(調合)とスランプおよび空気量の試験結果を表－６に示す。砂を用いたスラグコンクリートと砂と砕砂の混合細骨材を用いたスラグコンクリートは，砂のみを用いたコンクリート(以下，普通コンと称する)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，所要のスランプおよび空気量を得ることが可能であった。これより，ごみ溶融スラグの混合の対象とする細骨材に砕砂を混入した場合でも，混和剤使用量の調整により所要のスランプおよび空気量を得られることが分かった。また，一定のスランプを得るための高性能AE減水剤の使用量ならびに一定の空気量を得るためのAE剤使用量は，スラグコンクリートにおいて全般に普通コンクリートよりも少なかった。これは，高性能AE減水剤については，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充填性が向上すること，AE剤については，溶融スラグの粒形が砂に対して角張っており，練混ぜ時にエントラップトエアを多く巻き込む傾向にある[1)]ことが影響していると考えられる。合成した細骨材の粒度分布を図－３に示す。



図－３ 合成した細骨材の粒度分布

(2)ブリーディング量

水セメント比とブリーディング量の関係を図－４に示す。水セメント比40%では使用する細骨材の種類による影響は小さく，ブリーディング量は全体に少なかった。また，水セメント比が大きくなると，全体にブリーディング量は多くなる傾向を示した。これは，単位水量を一定

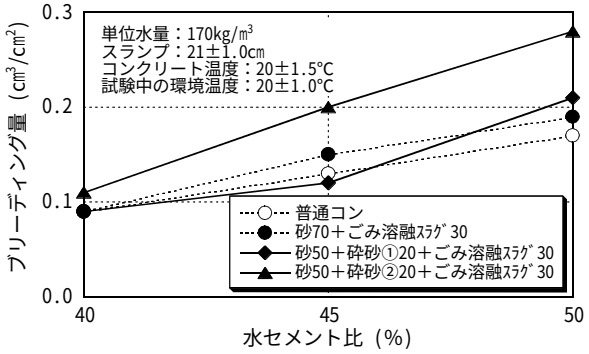
としたため，水セメント比を小さくするとセメント量が少なくなることが影響している。また，砂と砕砂①の混合細骨材およびごみ溶融スラグを用いた水セメント比50%と砂と砕砂②の混合細骨材およびごみ溶融スラグを用いた水セメント比45および50%では，ブリーディング量が比較的多くなった。これは，細骨材の全体に占める砂の割合が少ないことおよびセメント量の減少が影響していると考えられる。さらに，砂と砕砂②の混合細骨材およびごみ溶融スラグを用いたコンクリートでは，後述するが，凝結時間が比較的遅くなる傾向にあり，これがブリーディング量の増大に影響している可能性がある。しかしながら，ブリーディング量は全体に0.3cm³/cm²未満であり，本実験の範囲では，スラグコンクリートのブリーディング量は問題ない。また，スラグコンクリートにおいてブリーディング量が多くなった場合，混合する砕砂の種類を換えることにより，これを改善できる可能性がある.

(3)凝結時間

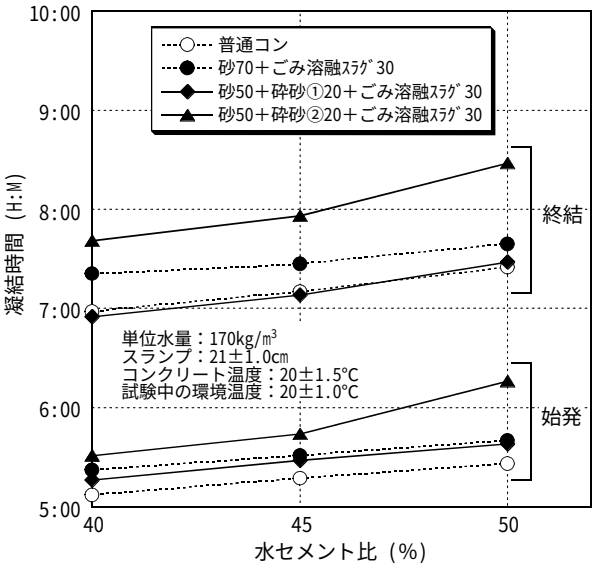
水セメント比と凝結時間の関係を図－５に示す。凝結時間は，全体に水セメント比が大きくなるほど長くなる傾向を示した。また，スラグコンクリートの始発時間は，普通コンよりも遅くなる傾向を示した。これは，混合した細骨材の粒度が山砂のみの場合よりも適切な範囲にあり，コンクリート中の余剰水が多くなることが影響していると思われる。さらに，終結時間は，砂とごみ溶融スラグの混合細骨材に対し，砕砂を用いた場合は，砕砂の種類によって短くなる場合と遅くなる場合があった。これより，スラグコンクリートは，混合する細骨材の種類によって凝結時間が異なる場合があり，混合する砕砂の種類を換えることにより凝結時間をある程度調整できる可能性がある。

(4)圧縮強度

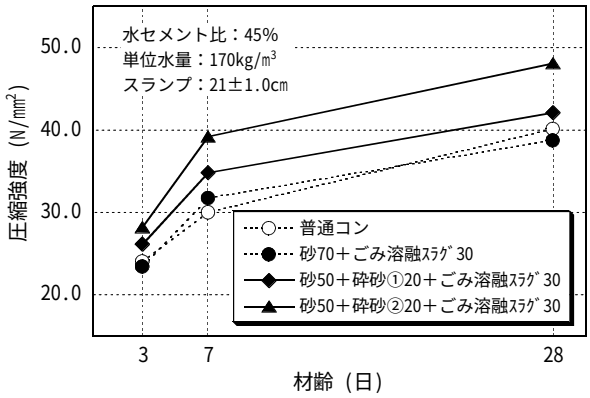
材齢と圧縮強度の関係を図－６に，セメント水比と圧縮強度の関係を図－７に示す。図－６は，水セメント比45%を一例として示した。普通コン，スラグコンクリートともに圧縮強度は，材齢の経過に伴い増大する傾向を示していた。また，砂と砕砂②およびごみ溶融スラグを混合した場合に圧縮強度がやや大きくなる傾向を示していた。これは，砂と砕砂②およびごみ溶融スラグを混合すると前述のようにブリーディングが増大するため，脱水により見掛けの水セメント比が低下したところに上面ならしを行って



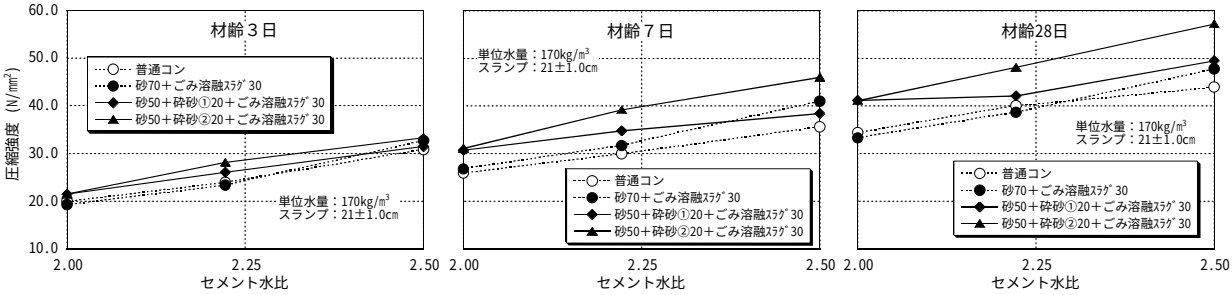
図－４ 水セメント比とブリーディング量の関係



図－５ 水セメント比と凝結時間の関係



図－６ 材齢と圧縮強度の関係



図－７ セメント水比と圧縮強度の関係

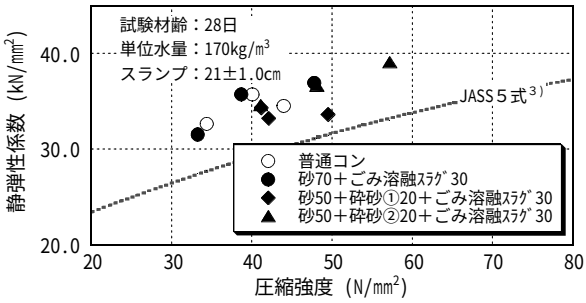
おり，供試体が密実に締め固められたものと思われる。さらに，全ての配合(調合)において材齢に関わりなくセメント水比と圧縮強度は概ね直線関係にあった。これより，ごみ溶融スラグの混合の対象に砂と砕砂の混合細骨材を用いた場合にも，スラグコンクリートは，普通コンと同様に水セメント比を調整することによって任意の圧縮強度を得られることがわかった。

(5)静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図－８に示す。圧縮強度に対する静弾性係数の傾向において，細骨材の種類による違いは見られず，本実験における全ての配合(調合)でJASS５に示される式[3)]をやや上回る傾向を示した。これより，混合の対象とする細骨材に砂と砕砂の混合細骨材を用いたスラグコンクリートは，圧縮強度を確保すれば普通コンと同程度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

ごみ溶融スラグ細骨材の品質の変動を把握するために，ごみ溶融スラグ細骨材の物理的な品質の変動を調べた。また，砂と砕砂の混合細骨材を用いたスラグコンクリートの性状を検討するために，砂，砕砂およびごみ溶融スラグを混合し細骨材に用いたコンクリートの性状を調べた。この結果，特殊な場合を除き，本実験に用いたごみ溶融スラグの品質変動は小さいことがわかった。また，ごみ溶融スラグの混合の対象に砂と砕砂の混合細骨材を用いたスラグコンクリートの性状は，ごみ溶融スラグの混合の対象に砂を用いたスラグコンクリートと大差ない場合とブリーディング，凝結，圧縮強度の各性状において差がある場合とがあり，混合する細骨材の種類によりコンクリートの性状を改善できる可能性が示唆された。



図－８ 圧縮強度と静弾性係数の関係

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 長田昭一 部長代理ならびに株式会社内山アドバンス 女屋英明 課長より貴重なご助言を頂きました。また，ものつくり大学2004年度卒業研究生の辻村純一君，鈴木大介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) 越川茂雄ほか，焼却灰溶融スラグのコンクリート用細骨材への利用に関する研究，コンクリート工学論文集第11巻第2号，pp.39～47，2000.5
2) 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(コンクリート用溶融スラグ細骨材)」，2002.7
3) (社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS５鉄筋コンクリート工事，p.170，2003.2