

# ゴミ溶融炉スラグを細骨材として用いた モルタルとコンクリートの性状

長崎大学教育学部 泊技術事務所  
藤本 登・泊 正雄  
(平成22年10月29日受理)

## The Quality of Mortar and Concrete when Waste Melting Incinerator Slag is used as Pulverized Aggregate

Noboru FUJIMOTO<sup>1</sup>, Masao TOMARI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Education, Nagasaki University

<sup>2</sup> Tomari Professional Engineer Office

(Received October 29, 2010)

The melt-solidification treatment of the residue from municipal solid waste incinerators is expected to be the resource recycling method that resolves the landfill issue by utilizing the products, such as slag, metal and fly ash as new materials and resources. In this study, the fusing temperature, fusing time and slag treatment method were set as the experimental parameters, and dissolution assay of the incinerator slag, as well as the strength test of the mortar with pulverized aggregate, the autoclave test and freezing and thawing test on the interlocking concrete block were carried out. As a result, elution of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO has been confirmed as main elements from the residue, and small amount of Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Cl, Pb, Zn, etc. has also been detected. The more concentrated form of these elements was found in the fly ash. When the residue is fused at higher than 1450 degrees centigrade, the content rate of Al in the slag becomes less than 0.0wt% and the slag is possible to be used as the alternate material for sand to mix in the mortar. It has become clear that bending strength and freeze-thaw of interlocking block that contains slag stay within the normal range, if the ratio of slag substituted for sand is around 10%.

Key Words : Slag, Pulverized Aggregate, Waste Melting Incinerator, Mortar, Interlocking Block

### I. 緒 論

都市ゴミの処理・処分において、埋め立て処分場の延命化や減容化の一方法として、また、焼却灰に含まれるダイオキシン類の無害化や重金属類の溶出防止対策として溶融処理法が注目され多くの自治体で導入されている<sup>(1), (2)</sup>。一方、この処理法で発生するスラグの有効利

用を図るために、インターロッキングブロック（以降、IBと略す）の砂の代替材や船舶用バラスウエイトといった土木資材などへの利用が進められている<sup>(3),(4)</sup>。ところが、自治体によるゴミの分別方法の相違、電化製品等の部品の混入や溶融炉の型式（コークスベット方式、アーク炉方式、ガス化など）の違いにより、発生するスラグの性状（ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Cl}$ 、 $\text{Al}$ 、重金属類、粒径、吸水率や安定性など）は異なる<sup>(5)</sup>。また、廃棄物利用としてスラグをセメントに混合した場合も水素が発生するため、製品開発の妨げとなっている<sup>(6)</sup>。

そこで、本研究では、このようなスラグを建築資材として有効活用するための基礎研究として、焼却灰・飛灰の溶解温度とその保持時間を変化させ、ガラス瓶くずや石炭灰を融点・粘性低下剤として用いた場合の溶融スラグの冷却方法を検討するために、その性状分析を行った。また、それらスラグをモルタル骨材として使用した場合の圧縮・曲げ強さ試験から、資源化の可能性を検討した。さらに、電気炉、ガス化溶融炉、コークスベット方式溶融炉のスラグについて、その性状分析を行った。そして、それらスラグを用いたインターロッキングブロックによるオートクレーブ試験と凍結融解試験を行い、コンクリート用細骨材としてのスラグ利用の可能性を示した。

## II. 試料分析方法

### A. 焼却灰・飛灰試料の作成方法とモルタル試験の方法

本実験では流動床式とストーカー式焼却炉の焼却灰と飛灰を用いた。焼却灰は水槽に落ち込む前の乾燥状態のもので、スチール缶などが混入しないようにJIS規格の5mm篩で篩い分けを行った。それに加え、焼却灰には、シュレッダーダストを焼却処理（ロータリーキルン方式）したものも用いた。また、飛灰は、①焼却灰を電気炉方式で溶融処理した時のもの、②都市ゴミを溶融炉で処理し水滓化処理した時のもの、③シュレッダーダストを焼却処理（ロータリーキルン方式）したものの中で、石灰ミルクを煙道で散布後、集塵機で集塵した乾燥状態のものを用いた。ここで、水滓スラグは電気炉方式及びコークスベット方式の溶融炉で焼却灰と都市ゴミを処理したのものを用いた（表4の備考にまとめて記載している）。

本実験では、焼却灰・飛灰及び溶融炉飛灰を各50kg縮分し、105～110℃に保持した熱風乾燥機で約24時間乾燥処理したものを試料とした。これらの試料は、化学分析をJIS-R5202で、含有鉍物の分析を粉末X線回折で、溶出試験を環境省公示方法（13号口）<sup>(7)</sup>で行った。また、これらの試料と分別回収されたガラス瓶くず、石炭火力発電所（微粉炭燃焼法）の石炭灰と砕石所の集塵ダスト（砂岩系）を試験用混合機で約10分間混合し、試験用ペレタイザー（φ46cm×10cm、18～20rpm）で散水しながら造粒（粒径3～5mm）した後、105～110℃に保持した熱風乾燥機で約24時間乾燥処理をした。そして、それをアルミナ製ルツボに約200g入れ、電気炉で1350、1400、1450、1500±10℃で各10、20分間保持後、炉外に取り出して放冷（ステンレス製の箱内に放置）したものを放冷スラグ、水滓（15Lの水道水を入れた容量20Lの鉄板製容器に0.5kg/cm<sup>2</sup>、0.8m<sup>3</sup>/minの圧縮空気を底部のφ3mmのパイプより供給して水冷）したものを水滓スラグ、その水滓スラグの中で約50gを電気炉で1000±10℃に60分間保持した後に放冷し、さらに再加熱したものを再加熱スラグとした。これらのアルミナ製ルツボで溶解したスラグを用いて、骨材篩い分け試験（JIS-A1102）、骨材洗い試験（JIS-A1103）、骨材の単位容積重量試験（JIS-A1104）、細骨材の比重および吸水

量試験（JIS-A1109）及び骨材の安定性試験（JIS-A1122）を行った。そして、これらの試験結果を踏まえ、比較的良好的な試料配合のモルタル供試体を作るために、試験用エルー式電気炉（30kVA）で、15kg溶解・放冷後、前述と同様の手法により水滓スラグを試作した。また、これらのスラグを用いて、JIS-R5201に従ってモルタル供試体（4×4×16cm、セメント520g、砂1040gの割合で配合しモルタルミキサーで混練り）を製作し、その供試体を用いて、水中養生後、曲げ強さと圧縮強さを測定した。このモルタル供試体には、変位量を計測するためにJIS-A1125に従って乳白色ガラスを埋め込み、JIS-A1124に従って刻線機で10cm±1mmで刻線を行い、湿空養生箱（20±1℃、湿度80±1%）で養生した後、コンパレータで長さの変化を測定した。なお、モルタル供試体に使用するスラグは、ジョークラッシャーで粗砕後、表1に示す豊浦標準砂の粒度分布になるように、各粒度別にJIS篩で篩い分けをして調整をしたものを使用した。

表1. モルタル試験に用いた標準砂の粒度分布

篩目 (mm)	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	<0.15
通過率 (%)								
砂	0.0	0.2	5.4	31.5	51.9	78.5	92.6	100

**B. IB 試験体のスラグ試料とその分析及び実験方法**

表2に試料に用いた溶融スラグの排出溶融炉の概略を示す。本実験では、これらの溶融スラグを水中に落下し、微細化したもの（砂状のスラグと金属の混合物）を実験試料とした。そして、これらの試料各100kgを試験用ジョークラッシャーで約5mm以下に破碎し、105～110℃に保持した熱風乾燥機で30時間乾燥処理した後、磁力選鉱機により磁選処理を行い、非磁着物を4分法、2分法で縮分した。そして、これらスラグの単位容積質量と実積率をJIS A 1104によって、アルカリ骨材反応試験をJIS A 1122, 5308, 5025, 5011によって行った。また、これら試料の化学分析、粉末X線回折と溶出試験を前述の手法で、溶出イオン濃度は原子吸光計やICP蛍光分析装置で行った。また、各水砕スラグを1150±10℃に保持したシリコンユニット電気炉で60分間加熱処理した試料の成分分析を粉末X線回折で行った。

実験に用いたIB試験体は、圧縮強さ200kg/cm<sup>2</sup>で、縦×横×厚さ=15×6×2.5cmの形状であり、基層材の山砂の一部を溶融スラグに置き換えて製作した。製作したIB試験体の性状とそれに使用した細骨材の篩透過率とその原料配合割合を表3に示す。表から分かるように、山砂をスラグに10wt%、30wt%置き換えたIB試験体を作製し、このIB試料を3、14、28日間自然養生した後、溶出試験と曲げ強さ試験を前述の方法で行った。そして、IB試験体を28日間自然養生した試験体に対して、ASTM法に基づいてオートクレーブ試験と凍結融解試験（水中急速融解試験法）を実施した。

表2. 試料に用いた溶融スラグの排出溶融炉の概略

試料	溶融炉形式	主原料	副原料	スラグ冷却法	溶融温度(℃)
A	電気炉	焼却灰	なし	水砕	1400～1500
B	流動床ガス化溶融炉	都市ゴミ	〃	〃	1350～1400
C	コークスベツト	都市ゴミ	石灰石	〃	1700～1800

表3. IB試料の基本性状

## (a) IB 基層材の性状

使用材料	表乾比重	吸水率	使用箇所
山砂	2.57	2.06	基層
碎石(10mm)	2.70	1.12	"
碎石(5mm)	2.70	2.45	"
珪砂(<1.2mm)	2.56	2.52	表層
普通セメント	3.16	—	表・基層
減水剤	1.01	—	三星モール成型

## (b) IB 試料のスラグ含有割合

No.	スラグ	山砂	水	普通セメント	碎石	
					10mm	5mm
1	0	888	126	420	466	466
2	89	799				
3	267	621				

## (c) 細骨材(砂)の篩通過率

	篩目(mm)						
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	<0.15
碎石(砂)	0.8	5.4	31.4	51.8	78.6	92.4	100.0
スラグ(水砕)	0.6	14.8	63.4	—	92.5	99.4	99.5

備考) スラグ試料 A, B, C 共に JIS A

## Ⅲ. 実験結果・考察

## A. 都市ゴミ焼却灰・飛灰等の化学的性状とそれらの熔融処理及び熔融スラグのモルタルへの利用

表4に都市ゴミ焼却灰・飛灰とシュレグダーダスト焼却灰・飛灰等と、融点降下・脱塩素促進剤として使用した石炭灰・ガラス瓶クズ及び稼働中の熔融炉から発生している水滓スラグの化学分析値と主含有鉱物を示す。表より、炉型式や搬入されるゴミの性状等によって分析値は大きく変動することが分かる。その中で、都市ゴミ焼却灰やシュレグダーダスト焼却灰には、Alの含有量が高く、飛灰にはCaOやCa(OH)<sub>2</sub>の含有量が高いことが分かる。また、飛灰には焼却灰に比べ、Cl, Na, K, Pb, Zn等が凝縮していると言える。そして、熔融炉飛灰には、Cd, Pb, Zn, Cl, Na, K等の含有量が高く、溶出イオン濃度からPbが埋設規制値(0.3mg/L)を超えていることが分かる。さらに、熔融炉飛灰では、揮発するアルカリ、Cl, Zn等がさらに濃縮するため溶出量が高くなっている。一方、下水汚泥焼却灰では、Clや重金属などの含有は少なく、揮発成分の濃縮もそれほど高くない。煙道ではSO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>の対策のために石灰や消石灰が添加されるため、飛灰にはCaOが多くなっているものと推察される。また、一般の焼却灰・飛灰より熔融炉で水滓処理した方が、重金属類の含有量は少ないと言える。なお、表中のNDは検出されなかったことを意味しており、溶出分析の検出限界はT・Hgが0.0001mg/L、CdとCr<sup>6+</sup>が0.001mg/L、Asが0.005mg/L、Cu, Pb, Zn, Seが0.01mg/Lである。

表6に、表5の試作スラグ21種類に対する化学分析値と同スラグをジョークラッシャーで5mm以下に粗砕して、JIS-A1109などの細骨材試験法に沿って得た主含有鉱物及び溶出試験、物理的性状(表乾比重や吸水率等)の測定結果を示す。まず、焼却灰や飛灰及びこ

これらの混合物にガラス瓶クズや石炭灰等を約 5wt% 配合し溶解すると、約 600～650℃から Cl などの揮化が始まり、約 1150～1200℃で激しさを増し、赤から赤褐色の煙が発生した。そして、ガラス瓶クズ等を配合すると融点低下が見られると共に、Cl やアルカリ (Na<sub>2</sub>O や K<sub>2</sub>O) や重金属 (Pb や Zn) 等が減少した。そして、1350～1500℃で 10～20 分間保持した溶解スラグは、保持温度が高く、保持時間が長いほど、これらの揮化も進むためそれらの値は減少した。なお、特に Al を含有している溶解スラグは、1450℃以上で 10 分間以上の環境に保持しなければ、その値は 0.0wt% にならないことが分かる。そして、冷却条件 (空冷、水滓及び再加熱) を変えても揮発性成分の含有量には大きな変化は見られないことが分かった。

これらの結果を踏まえ、表 7 の配合割合でモルタル供試体を製作し、曲げ強さと圧縮強さ及び長さの変化を測定した。測定結果を表 8 に示す。表より、放冷、水滓及び再加熱とも、曲げ強さや圧縮強さには大きな差がないことが分かる。ただし、Al 含有量が多い配合 No.2 と 3 (都市ゴミ焼却灰 70%, 飛灰 30%, 保持温度・時間 1350℃・10 と 20 分溶解) と No.14 (シュレッダーダスト焼却灰 70%, 同飛灰 30%, 保持温度・時間 1350℃・20 分溶解) と No.21～24 (シュレッダーダスト焼却灰 66.5%, 同飛灰 28.5%, ガラス瓶クズ 5%, 保持温度・時間 1350 と 1500℃・10 と 20 分溶解の水滓処理) では、7 日以降に微細な亀裂が発生し、強度が低下した。これに対し、No.23 と 24 を除き、同じ配分割合の灰を保持温度・時間 1400℃・20 分以上の条件で溶融処理したスラグでは Al の含有量がなく、このような強度低下は見られない。そして、強度試験で問題が発生した配合供試体では、膨張により亀裂が発生することで計測ができない試料が見られる。さらに、配合 No.43 と 45 の豊浦標準砂 70%, 試料スラグ 30% のモルタル供試体の場合、強度試験と長さ変化率に改悪の傾向が見られる。以上の結果より、Al が含有するモルタルの場合は、モルタルの膨張による亀裂の発生とそれに伴う強度低下から、1400℃・20 分以上の溶解条件でスラグを生成することが望まれる。なお、図示しないが、放冷・水滓スラグは黒色のガラス質、再加熱スラグは淡灰黒色のガラス質であり、化学成分によってフォルステライト、ゲーレンナイト及びアケルマナイトとガラスを含有し、重金属イオンの溶出は認められなかった。また、溶出溶液の pH は 6.5～7.8 と中性域であった。一方、普通セメントをバインダーとして使用したモルタル供試体の場合は、溶出溶液の pH は 11.1～11.3 とコンクリート破砕物と同様の値を示した。

## B. スラグのコンクリートへの利用

表 9 にアルカリ骨材反応試験と IB 試験体性状試験に用いたスラグ試料の化学分析結果を示す。表より、各スラグの主成分は、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO であり、Na<sub>2</sub>O と K<sub>2</sub>O が約 1.0～5.1% と割合が高いことが分かる。中でも試料 A のスラグは、他の試料と比較して、アルカリや重金属類の残存割合が高い。この理由は、試料 A の焼却原料が焼却灰であるためと考えられる。また、各試料とも CaO が約 14～34% と高い理由は、Cl や S の対策として集塵機前で CaO を添加していることと、試料 C では石灰石を調整剤として添加しているためと考えられる。

この 3 つの試料に対して、溶出試験を行った結果、溶出溶液の pH 値は 6.59～6.86 であり、Cu、Cd、Pb、Zn、Mn、Se、Cr<sup>6+</sup>、As、T-Hg は検出されなかった。

図 1 に各試料とそれらを 1150℃で 60 分間再加熱処理した粉末 X 線回折図を示す。図 (a)

表 4. 都市ゴミ焼却灰・飛灰・溶融炉飛灰等の化学分析値及び溶出試験結果

試料	化学分析値 (mg/kg)																			溶出イオン濃度 (mg/L)										備考
	T <sub>gLoss</sub> SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO MgO Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O C																			Cu	Cd	Pb	Zn	Cr <sup>6+</sup>	As	T-Hg	pH			
	17.9	8.3	1.6	2.2	18.5	1.5	4.0	3.1	0.8	2.9	2.6	7500	28000	780	AlCa(OH) <sub>2</sub>	ND	0.8	0.2	3.8									ND	0.03	
都市ゴミ焼却灰(A)	19.6	16.2	1.5	2.3	31.6	2.3	8.2	3.4	0.9	4.3	0.0	18500	39000	1300	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	1.0	1.6	4.6	ND	0.09	ND	11.3	ストーカー炉						
都市ゴミ焼却灰(B)	16.3	8.6	1.5	2.5	19.5	1.6	3.9	2.9	0.3	2.8	1.2	10200	27500	750	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	0.9	1.9	4.2	ND	0.05	ND	11.1	ストーカー炉						
都市ゴミ焼却灰(B)	18.6	8.9	1.6	2.7	21.3	1.7	4.9	5.3	0.5	4.6	0.0	23000	36000	10200	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	1.8	2.5	5.6	ND	0.11	ND	11.2	流動床炉						
都市ゴミ溶融炉飛灰	23.9	16.1	1.5	3.1	30.1	2.3	14.6	3.2	0.1	4.9	0.0	19000	42000	900	Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	0.8	4.3	35.7	0.05	0.07	ND	11.3	ロータリーベルト炉						
都市ゴミ焼却灰	37.6	12.8	1.3	1.9	29.6	2.3	19.6	14.2	0.9	6.7	0.0	19000	46000	1280	Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	1.2	6.6	46.0	0.07	0.09	ND	11.2	電気炉						
下水汚泥焼却灰	1.2	42.4	14.7	7.6	11.8	2.9	1.5	2.8	0.3	0.9	0.0	19000	11000	1000	α石炭・カオリンナイト	0.01	0.02	ND	10.1	0.03	0.05	ND	11.1	流動床炉(高分子凝集剤使用)						
下水汚泥飛灰	2.3	41.1	14.2	7.0	14.3	2.7	2.6	3.1	0.6	3.1	0.0	38000	27000	1500	α石炭・カオリンナイト	0.08	0.08	ND	17.5	0.18	0.12	ND	11.2	流動床炉(高分子凝集剤使用)						
シュレッダーダスト	12.7	29.6	11.2	17.9	12.8	2.4	2.6	0.5	0.4	2.8	3.3	10000	33000	100	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	0.2	0.9	59.0	0.4	0.63	ND	8.9	ロータリーベルト炉						
シュレッダーダスト	23.7	28.5	10.8	16.9	13.3	2.9	3.9	1.8	0.1	4.5	0.0	16000	49000	1700	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>	ND	0.9	4.9	81.5	0.03	0.68	ND	10.3	ロータリーベルト炉						
石炭灰	3.2	56.7	26.9	3.1	1.5	0.5	1.5	0.8	1.2	0.0	0.0	-	-	-	ムライト	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.8	微粉流方式火力発電所						
ガラス瓶クズ	0.0	73.2	2.1	0.1	5.8	3.4	14.7	0.5	0.0	0.0	0.0	-	-	-	ガラス	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.8							
砕石所集塵ダスト	4.7	80.3	3.1	0.2	0.2	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	α石炭・カオリンナイト	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.7							
都市ゴミ溶融炉水滓		38.5	18.6	1.2	34.8	1.4	3.9	0.8	0.01	0.01	0.0	7800	1540	300	ガラス	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.8	ロータリーベルト炉						
都市ゴミ焼却灰		41.2	17.5	8.7	16.8	2.6	4.2	1.3	0.08	0.08	0.9	20000	3200	100	ガラス	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.8	電気炉						

表 5. 試料配合割合 (wt%)

配合 No.	都市ゴミ(A)		都市ゴミ(B)		下水汚泥		シュレッダーダスト		ガラス瓶クズ	石炭灰	砕石所集塵ダスト
	焼却灰	飛灰	焼却灰	飛灰	焼却灰	飛灰	焼却灰	飛灰			
1	100										
2	70	30									
3	67.5	27.5							5		
4	67.5	27.5								5	
5	67.5	27.5									5
6			70	30							
7			67.5	27.5					5		
8			67.5	27.5							5
9			67.5	27.5							5
10					70	30					
11					67.5	27.5			5		
12					67.5	27.5					5
13					67.5	27.5					5
14							100				
15							95				
16							95		5		
17							95				5
18							70	30			
19							67.5	27.5	5		
20							67.5	27.5		5	
21							67.5	27.5			5

表 6. 試作スラグの化学分析値と主含有鉱物及び溶出試験、物理的性状結果例

配合 No.	温度 (°C)	時間 (分)	冷却方法	化学分析値 (wt%)							主含有鉱物				溶出液 pH	物理性状 素乾比重 吸水率																										
				Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	Al	Cd	Pb	Zn	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	Al			Cd	Pb	Zn																							
1	推奨値	1350	10	空冷	4.00	3.10	2.90	2.60	780	1500	28000	ガラス主体	6.75	2.77	0.5	6.75	2.77	0.5																								
					2.83	0.15	0.19	1.95	230	3260	17900	ガラス主体	6.78	2.72	0.4				6.78	2.72	0.4																					
					1.80	0.97	0.15	0.97	175	2950	15200	ガラス主体	6.76	2.73	0.6							6.76	2.73	0.6																		
					0.39	0.24	0.16	1.15	170	285	850	ガラス主体	6.74	2.72	0.3										6.74	2.72	0.3															
					0.11	0.18	0.09	0.27	123	240	460	ガラス主体	6.69	2.74	0.4													6.69	2.74	0.4												
					0.14	0.09	0.10	0.25	140	275	450	ガラス主体	6.64	2.74	0.4																6.64	2.74	0.4									
					0.12	0.05	0.05	0.00	120	250	300	ガラス主体	6.73	2.75	0.4																			6.73	2.75	0.4						
					0.13	0.06	0.05	0.00	120	285	325	ガラス主体	6.74	2.75	0.3																						6.74	2.75	0.3			
					0.09	0.03	0.03	0.00	90	220	370	ガラス主体	6.79	2.71	0.4																									6.79	2.71	0.4
					2.84	2.20	0.18	2.00	225	3290	18000	ガラス主体	6.79	2.72	0.4																											
1.75	0.98	0.13	0.95	173	2910	15000	ガラス主体	6.79	2.73	0.4	6.79	2.73	0.4																													
0.37	0.25	0.17	1.13	175	275	850	ガラス主体	6.77	2.74	0.3				6.77	2.74	0.3																										
0.11	0.17	0.09	0.25	120	235	465	ガラス主体	6.70	2.73	0.3							6.70	2.73	0.3																							
0.12	0.10	0.11	0.24	140	275	445	ガラス主体	6.79	2.74	0.3										6.79	2.74	0.3																				
0.13	0.07	0.04	0.00	120	255	295	ガラス主体	6.79	2.73	0.3													6.79	2.73	0.3																	
0.10	0.02	0.03	0.00	85	225	310	ガラス主体	6.75	2.76	0.3																6.75	2.76	0.3														
2.80	2.15	0.19	2.05	220	3285	17900	ガラス主体	6.77	2.74	0.4																			6.77	2.74	0.4											
1.70	0.97	0.14	0.97	175	2900	15000	ガラス主体	6.81	2.73	0.4																						6.81	2.73	0.4								
0.37	0.25	0.17	1.15	175	280	855	ガラス主体	6.78	2.75	0.5																									6.78	2.75	0.5					
0.10	0.15	0.09	0.30	115	240	460	ガラス主体	6.71	2.75	0.4																												6.71	2.75	0.4		
0.13	0.09	0.10	0.25	145	279	450	ガラス主体	6.78	2.75	0.3	6.78	2.75	0.3																													
0.12	0.05	0.05	0.00	120	260	290	ガラス主体	6.71	2.75	0.3				6.71	2.75	0.3																										
0.12	0.07	0.04	0.00	125	295	325	ガラス主体	6.77	2.73	0.3							6.77	2.73	0.3																							
0.09	0.02	0.03	0.00	80	225	300	ガラス主体	6.79	2.75	0.3										6.79	2.75	0.3																				
5.26	3.19	3.32	1.82	936	10750	31390	ガラス主体	6.75	2.60	0.7													6.75	2.60	0.7																	
3.60	2.10	2.30	1.80	250	4800	27500	ガラス主体	6.75	2.61	0.9																6.75	2.61	0.9														
3.10	1.95	1.40	0.82	190	4200	9700	ガラス主体	6.80	2.61	0.6																			6.80	2.61	0.6											
2.40	1.90	1.30	1.10	185	4190	9900	ガラス主体	6.72	2.65	0.4																						6.72	2.65	0.4								
2.00	1.10	0.90	0.11	135	3440	7500	ガラス主体	6.80	2.63	0.4																									6.80	2.63	0.4					
2.10	1.30	1.10	0.15	130	935	7300	ガラス主体	6.79	2.63	0.4																												6.79	2.63	0.4		
1.10	0.85	0.69	0.00	125	365	7100	ガラス主体	6.75	2.64	0.3	6.75	2.64	0.3																													
1.20	0.90	0.71	0.00	110	370	6700	ガラス主体	6.77	2.64	0.4				6.77	2.64	0.4																										
0.80	0.40	0.30	0.00	95	320	5150	ガラス主体	6.69	2.60	0.7							6.69	2.60	0.7																							
3.63	2.07	2.25	1.88	255	4800	22300	ガラス主体	6.77	2.62	0.5										6.77	2.62	0.5																				
3.11	1.90	1.42	0.85	185	4180	9750	ガラス主体	6.82	2.60	0.7													6.82	2.60	0.7																	
2.40	1.88	1.35	1.05	200	4200	8850	ガラス主体	6.71	2.67	0.4																6.71	2.67	0.4														
2.10	1.14	0.90	0.15	180	3500	7500	ガラス主体	6.72	2.62	0.5																			6.72	2.62	0.5											
2.15	1.30	1.05	0.17	135	940	7350	ガラス主体	6.79	2.63	0.4																						6.79	2.63	0.4								
1.20	0.87	0.70	0.00	130	370	7050	ガラス主体	6.75	2.65	0.4																									6.75	2.65	0.4					
1.25	0.89	0.70	0.00	120	365	6700	ガラス主体	6.79	2.67	0.5																												6.79	2.67	0.5		
0.70	0.40	0.30	0.00	90	310	5100	ガラス主体	6.74	2.68	0.3	6.74	2.68	0.3																													
2.40	1.90	1.35	1.00	205	4150	9800	ガラス主体	6.74	2.65	0.4				6.74	2.65	0.4																										
2.13	1.15	0.87	0.15	185	3450	7500	ガラス主体	6.77	2.66	0.3							6.77	2.66	0.3																							
1.30	0.85	0.70	0.00	125	360	6750	ガラス主体	6.74	2.65	0.4										6.74	2.65	0.4																				
0.65	0.40	0.30	0.00	85	305	5050	ガラス主体	6.77	2.66	0.3													6.77	2.66	0.3																	

溶出イオン濃度 (Cu, Cd, Pb, Zn, Cr<sup>6+</sup>, As, T・Hg) は全て ND

※: ゲーレンナイト, アルマナナイト, ガラス

表 6. 試作スラッグの化学分析値と主含有鉛物及び溶出試験、物理的性状結果例 (続き)

配合 No.	温度 (°C)	時間 (分)	冷却方法	化学分析値 (wt%)							主含有鉛物 (mg/kg)				溶出液 pH	物理性状 表乾比重	吸水率				
				Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	Al	Cd	Pb	Zn	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	Al				Cd	Pb	Zn	
8	推算値	1350	10	空冷	4.70	3.42	3.15	0.81	836	13210	28462	19.60	14.20	6.70	0.00	1280	19000	46000	6.79	2.74	0.4
					2.95	1.80	1.20	0.35	200	4750	12100	4750	12100	8300	ガラス主体	6.88	2.72	0.4			
	1400	20	水浸	1.05	1.30	1.30	0.15	150	4300	12000	4.30	3.80	2.10	0.00	450	4800	6150	6.84	2.72	0.7	
				0.80	1.42	1.40	0.15	115	3550	4300	4.30	3.60	3.50	0.00	405	5150	6300	6.82	2.74	0.5	
	1450	20	空冷	0.42	0.82	0.83	0.10	110	930	3550	2.32	3.30	1.50	0.00	400	4050	5080	6.83	2.73	0.4	
				0.71	0.93	0.90	0.00	120	920	930	2.59	2.60	1.60	0.00	385	2250	5890				
	1500	20	水浸	0.49	0.60	0.70	0.00	110	320	320	1.11	0.70	0.00	0.00	300	1150	2860	6.83	2.73	0.0	
				0.42	0.48	0.52	0.00	97	340	350	1.09	0.40	0.00	0.00	200	1250	2350	6.79	2.74	0.3	
	1350	20	空冷	2.97	1.81	2.10	0.30	200	4810	12050	0.78	0.40	0.10	0.00	90	190	920	6.83	2.72	0.7	
				1.03	1.30	1.35	0.15	157	4300	7300	2.05	3.67	1.49	0.00	403	4030	5000				
1400	20	水浸	0.60	1.45	1.40	0.15	120	3500	4350	0.69	2.59	1.50	0.00	395	2270	5100	6.82	2.72	0.0		
			0.40	0.95	0.90	0.10	115	940	3500	1.27	1.10	1.60	0.00	300	1150	2180	6.82	2.73	0.4		
1450	20	空冷	0.70	0.90	0.90	0.00	120	835	935	1.59	1.05	0.38	0.00	195	1260	2345	6.82	2.72	0.4		
			0.59	0.60	0.65	0.00	115	300	325	0.78	0.39	0.09	0.00	90	195	925					
1500	20	水浸	0.45	0.50	0.50	0.00	95	335	345	2.05	3.30	1.45	0.00	400	5100	6280	6.81	2.73	0.4		
			0.20	0.25	0.30	0.00	89	215	215	2.35	3.30	1.45	0.00	400	4050	4950	6.83	2.74	0.4		
1400	20	再加熱	0.78	1.45	1.39	0.15	115	3500	4300	1.55	1.05	0.40	0.00	197	1265	2340	6.83	2.74	0.4		
			0.41	0.83	0.80	0.10	110	935	3600	0.73	0.37	0.09	0.00	88	195	920	6.83	2.71	0.3		
1500	20	再加熱	0.40	0.50	0.50	0.00	95	340	355	19.30	13.50	6.60	0.00	1216	18050	43700	6.78	2.70	0		
			0.25	0.30	0.27	0.00	85	205	200	3.70	3.42	3.30	0.00	590	6900	5900					
10	推算値	1350	10	空冷	1.83	2.89	1.26	0.00	1150	24700	15800	2.83	3.00	3.02	0.00	370	4150	3300	6.79	2.71	0.5
					1.18	1.20	0.49	0.00	120	9750	8700	2.10	2.00	1.42	0.00	230	3100	3700			
	1400	20	水浸	0.65	1.00	0.35	0.00	95	6500	2250	1.82	1.91	1.49	0.00	270	1850	3850	6.82	2.73	0.4	
				0.65	1.12	0.45	0.00	85	450	1300	1.10	1.00	0.60	0.00	205	980	2200				6.81
	1450	20	空冷	0.37	0.32	0.03	0.00	75	250	1050	0.79	0.80	0.40	0.00	170	1050	1930	6.81	2.70	0.6	
				1.18	1.18	0.30	0.00	118	9750	8750	0.40	0.30	0.20	0.00	65	800	590				6.79
	1500	20	水浸	0.87	1.00	0.37	0.00	97	3550	2270	3.85	3.60	3.30	0.00	595	6850	5900	6.79	2.71	0.4	
				0.87	1.14	0.44	0.00	85	450	1310	3.69	3.40	1.85	0.00	335	4100	5250				6.84
	1400	20	再加熱	1.15	1.15	0.48	0.00	115	9760	8700	2.80	2.97	3.00	0.00	370	3050	3300	6.80	2.73	0.3	
				0.85	1.00	0.39	0.00	95	6630	2250	1.83	1.92	1.51	0.00	265	1940	3870				6.80
1500	20	再加熱	0.65	1.13	0.40	0.00	88	448	1300	1.15	1.00	0.59	0.00	200	1100	2150	6.84	2.71	0.3		
			0.30	0.33	0.03	0.00	75	250	1029	0.39	0.25	0.19	0.00	150	1020	1860				6.86	2.75
13	推算値	1400	10	空冷	1.72	2.74	1.17	0.00	1088	23275	14850	3.70	3.42	3.30	0.00	590	6900	5900	6.87	2.74	0.4
					1.12	0.83	0.75	0.00	105	8700	7500	2.10	2.00	1.42	0.00	230	3100	3700			
	1400	20	水浸	0.57	0.65	0.45	0.00	90	4700	2000	0.39	0.27	0.20	0.00	67	95	540	6.87	2.74	0.3	
				0.60	0.49	0.09	0.00	80	400	1050	2.79	2.95	2.97	0.00	368	3030	3350				6.87
	1500	20	空冷	0.37	0.39	0.05	0.00	60	250	930	2.13	1.95	1.45	0.00	230	1850	3730	6.86	2.75	0.3	
				1.13	0.84	0.75	0.00	110	8750	7500	0.79	0.85	0.39	0.00	150	1020	1860				6.86
	1400	20	水浸	1.13	1.30	0.30	0.00	83	4750	2050	1.15	1.00	0.59	0.00	200	1100	2150	6.87	2.71	0.3	
				0.89	0.50	0.10	0.00	83	400	1030	0.80	0.88	0.40	0.00	175	1030	1870				6.87
	1500	20	再加熱	0.33	0.40	0.05	0.00	58	255	915	0.39	0.27	0.20	0.00	67	95	540	6.87	2.74	0.3	
				1.12	0.85	0.75	0.00	113	8750	7500	2.13	1.95	1.45	0.00	230	1850	3730				6.87
1400	20	再加熱	0.60	0.62	0.45	0.00	95	4700	2945	0.79	0.85	0.39	0.00	150	1020	1860	6.86	2.75	0.3		
			0.59	0.49	0.09	0.00	80	400	1040	0.40	0.25	0.19	0.00	65	97	535				6.86	2.75
1500	20	再加熱	0.40	0.37	0.04	0.00	57	250	920	0.40	0.25	0.19	0.00	65	97	535	6.86	2.75	0.3		
			0.40	0.37	0.04	0.00	57	250	920												

溶出イオン濃度 (Cu, Cd, Pb, Zn, Cr<sup>6+</sup>, As, T・Hg) は全て ND  
 ※: ゲーレンナイト, アケルマナイト, ガラス





表 8. スラグ形成条件がモルタル試験（曲げ強さ、圧縮強さ、長さ変化率）に及ぼす影響

配合 No.	溶融温度 (°C)	保持時間 (分)	冷却方法	化学分析値 (wt%)							配合割合 (セメント)	配合割合 (スラグ)	曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> ) (圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )) (×10 <sup>-4</sup> )							モルタル長さ変化率 (%)	溶出液 pH	備考							
				Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	Al	Cd	Pb	Zn			3日	7日	28日	3日	7日	28日	1日				2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日
1											520	1040(標準砂)	27.1	44.2	67.2	112	219	402	0.36	2.32	2.96	4.07	4.53	4.37	11.3	比較例			
2	1350	10	水蒸	3.6	2.1	2.4	1.6	260	4800	2900	520	1040(4)	33.1	37.9	67	105	167	5.71	7.02	10.25	13.79	14.46	—	—	—	—	11.2	微細な亀裂発生 (14~15日後)	
3		20	水蒸	2.3	1.9	1.5	0.9	180	4150	9000	520	1040(4)	22.7	38.3	31.6	93	179	227	6.11	8.09	10.25	11.72	—	—	—	—	—	11.3	微細な亀裂発生
4	1400	10	水蒸	2.3	1.8	1.3	0.2	190	4250	9000	520	1040(6)	22.4	36.3	56.9	95	177	321	1.94	3.61	5.57	5.93	4.79	4.97	—	—	—	11.1	
5		20	水蒸	1.9	1.1	0.9	0.1	130	3500	9000	520	1040(10)	22.9	37.1	57.4	97	183	339	2.37	3.42	4.12	5.29	5.77	5.91	—	—	—	11.3	
6	1500	10	水蒸	1.1	0.9	0.85	0	103	395	6550	520	1040(12)	23	37.5	51.1	95	186	341	2.42	3.51	4.29	5.51	5.67	6.01	—	—	—	11.3	
7		20	水蒸	0.7	0.4	0.4	0	89	305	4750	520	1040(13)	25	40.3	61.5	103	203	379	2.58	3.69	4.82	5.87	5.99	6.27	—	—	—	11.2	
8		10	再加熱	1.3	1.53	0.46	0	655	11500	10400	520	1040(18)	25.2	41.1	62.4	106	207	327	3.51	4.62	6.83	6.97	7.03	—	—	—	11.2		
9	1350	10	再加熱	0.8	0.4	0.1	0	95	180	910	520	1040(18)	25.7	41.7	62.1	107	210	387	3.11	4.27	6.47	6.59	6.87	6.99	—	—	—	11.1	
10		20	水蒸	0.4	0.3	0.03	0	65	270	750	520	1040(20)	25.3	41.2	62.4	104	205	376	1.99	3.56	6.47	6.39	6.49	—	—	—	11.3		
11	1500	10	水蒸	1.8	0.6	1.45	1	340	1785	2700	520	1040(22)	24.9	39.6	60.5	101	193	359	2.57	3.77	4.97	5.98	5.92	6.17	—	—	—	11.3	
12		20	水蒸	0.8	0.35	0.4	0	220	240	1830	520	1040(22)	25.5	28.7	45.3	105	147	218	4.48	6.82	8.79	12.01	14.11	—	—	—	—	11.2	微細な亀裂発生
13	1350	10	放置	0.8	0.35	0.5	0	225	235	1800	520	1040(23)	25.9	42.1	64.2	101	209	383	4.51	6.89	8.18	8.46	8.72	8.91	—	—	—	11.1	
14		20	水蒸	0.4	0.3	0.15	0	135	138	975	520	1040(28)	26.7	42	64.9	109	211	389	3.18	3.39	6.36	5.97	6.29	6.18	—	—	—	11.3	
15	1500	10	放置	4.1	3.5	2.05	0	400	4300	6000	520	1040(39)	17	27.8	42.3	71	137	257	1.97	4.29	5.19	4.79	4.94	5.01	—	—	—	11.2	
16		20	水蒸	0.8	0.45	0.1	0	95	180	910	520	1040(40)	18.3	28.6	47.3	73	143	271	1.57	3.87	4.35	5.07	5.19	5.29	—	—	—	11.2	
17	1350	10	再加熱	2.05	0.35	1.3	0.75	385	2930	3850	520	1040(42)	20.9	38.8	32.7	88	169	237	4.92	6.73	9.25	12.37	14.72	—	—	—	—	11.1	微細な亀裂発生
18		20	水蒸	0.5	0.1	0.3	0	125	135	1000	520	1040(46)	21.1	34.5	52.4	87	155	215	3.92	5.19	5.37	5.88	6.12	—	—	—	—	11.3	微細な亀裂発生
19	1500	10	水蒸	0.25	0.2	0.15	0	98	85	665	520	1040(49)	22.7	35.1	54.7	89	159	219	3.79	4.93	5.19	5.68	7.97	9.62	—	—	—	11.2	微細な亀裂発生
20		20	再加熱	0.3	0.2	0.2	0	90	95	670	520	1040(50)	18.3	35.2	54.9	92	167	237	3.68	5.82	6.19	7.18	7.73	7.92	—	—	—	11.3	
21	1350	10	放置	2.7	2.1	1.75	0	250	2300	4300	520	1040(55)	17.1	28.1	47.7	74	139	277	3.25	6.03	6.29	7.27	7.63	7.27	—	—	—	11.2	
22		20	水蒸	0.4	0.3	0.07	0	75	110	680	520	1040(60)	17.7	27.3	45.3	72	137	279	3.59	3.22	4.03	4.27	4.67	4.87	—	—	—	11.3	
23	1500	10	放置	3.8	2.4	2.8	0	400	4100	4900	520	1040(61)	20.7	33.7	50.4	83	167	241	1.84	3.38	4.19	4.52	4.79	5.22	—	—	—	11.2	
24		20	水蒸	2.3	2.4	1.65	0	200	2000	4000	520	1040(67)	17.9	27.7	46.7	75	141	283	3.19	3.92	3.95	4.29	5.03	—	—	—	—	11.1	
25	1350	10	放置	1	0.6	0.15	0	95	850	980	520	1040(69)	20.7	33.7	53.7	92	177	319	1.89	2.96	3.67	3.79	4.01	4.82	—	—	—	11.3	
26		20	水蒸	0.05	0.45	0.13	0	93	845	965	520	1040(70)	17.5	27.1	40.7	66	131	249	1.55	3.37	3.74	3.81	4.11	4.82	—	—	—	11.2	
27	1500	10	再加熱	0.4	0.3	0.05	0	60	100	600	520	1040(71)	17.9	27.5	41.2	67	135	257	1.72	3.72	3.99	4.03	4.33	5.07	—	—	—	11.2	
28		20	水蒸	0.4	0.3	0.05	0	65	105	630	520	1040(73)	21.7	34.9	54.9	97	187	327	1.69	3.66	3.79	3.98	4.27	5.13	—	—	—	11.2	
29	1350	10	再加熱	3.6	2.1	2.4	1.6	260	4800	2200	520	1040(74)	21.1	34.8	54.7	94	181	325	1.49	3.28	3.64	3.81	4.17	4.97	—	—	—	11.3	
30		20	水蒸	0.7	0.4	0.4	0	89	305	4750	520	312(2)	17.6	35.4	41.9	87	171	341	3.81	4.39	7.62	9.12	9.39	—	—	—	11.3		
31	1500	10	水蒸	0.4	0.3	0.03	0	65	270	750	520	312(2)	20.9	34.6	51.1	86	169	317	3.27	3.03	4.11	4.63	4.97	5.09	—	—	—	11.1	
32		20	水蒸	0.4	0.3	0.03	0	65	270	750	520	312(2)	20.9	34.6	51.1	86	169	317	3.27	3.03	4.11	4.63	4.97	5.09	—	—	—	11.1	
33	1500	10	水蒸	0.8	0.35	0.5	0	225	235	1800	520	312(2)	26.9	42.9	65.7	103	197	393	1.96	2.97	3.17	3.72	3.97	4.87	—	—	—	11.3	
34		20	水蒸	0.5	0.1	0.3	0	125	135	1000	520	312(4)	21.7	35.7	52.9	91	187	327	1.87	2.92	3.07	3.52	3.88	3.96	—	—	—	11.3	
35	1500	10	水蒸	0.4	0.3	0.1	0	70	705	690	520	312(6.1)	21.2	34.9	52.1	87	171	319	1.38	3.11	3.76	3.86	4.01	4.79	—	—	—	11.3	
36		20	水蒸	0.4	0.3	0.1	0	70	705	690	520	精市コニシ 水蒸 1040	22.3	36.7	56.7	94	178	337	3.29	4.42	6.14	6.21	6.52	6.78	—	—	—	11.2	
37	1500	10	再加熱	25.5	42.3	63.1	109	210	385	0.97	279	3.47	4.79	5.33	5.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.2	
38		20	水蒸	18.1	33.5	51.6	87	168	307	4.01	6.63	7.92	8.39	8.47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.3	
39	1500	10	再加熱	19.7	33.7	53.2	89	152	319	2.47	3.69	4.09	7.42	9.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.3	
40		20	水蒸																										
41	1500	10	再加熱																										
42		20	水蒸																										
43	1500	10	再加熱																										
44		20	水蒸																										
45	1500	10	再加熱																										

溶出イオン濃度 (Ca, Cd, Pb, Zn, Cr6+, As, T・Hg) は全てND ※ひび割れて測定不能

より、30°付近に若干のピークが見られるが、何れの試料も非晶質のガラスが主体であることが分かる。また、図(b)より、再加熱処理した試料Aではゲーレンナイトが、同試料B及びCではゲーレンナイトとクリノバイロキシンのピークが認められる。なお、これらの試料の色調はAとBが黒く、Cが灰白色から淡灰黒色であった。また、全ての試料表面は滑らかで、光沢があり、角張った形体を示していた。さらに、各試料には多くの気泡が見られ、特にAとCに多かった。

表9. スラグ試料の化学分析

試料	成分 (Wt%)											(mg/kg)				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ma <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig.Loss	Cl	Cd	Pd	Zn	Cr
A	46.1	19.5	6.9	15.8	2.4	5.2	1.4	0.3	0.4	0.03	0.7	0.11	120	290	825	1900
B	35.6	22.4	3	13.6	2	4.6	1.2	0.3	0.3	0.71	0.6	0.19	140	280	985	1780
C	36.1	19.1	2.3	34.4	2	3.6	0.5	0.2	0.4	1.11	0.7	0.04	95	310	570	1850

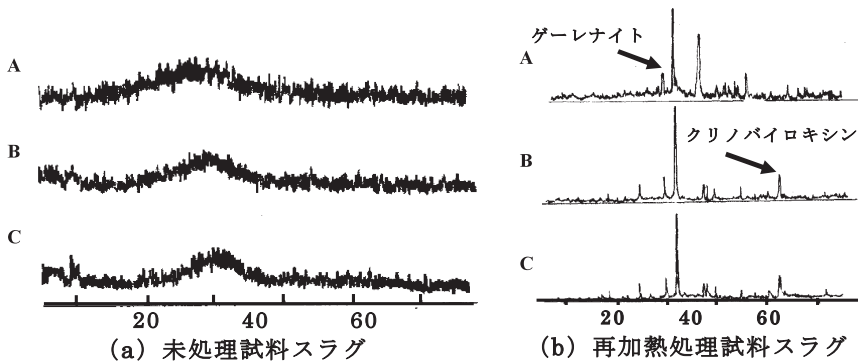


図1. 試料スラグの粉末X線回

○アルカリ骨材反応試験

表10に各スラグ試料と参考値(コンクリート用砕砂, 天然砂及びJIS規格値)の物理性状とアルカリ骨材試験結果を示す。表より、各試料とも吸水率が天然砂やコンクリート用砕砂に比較して低いが、他の物理性状はJIS規格を満足していることが分かる。また、アルカリ骨材反応試験(モルタル試験)を見ると、天然骨材を使用した場合の0.01%と比較した半年後の膨張率は試料Aでその5倍、試料Bは同等、試料Cで3倍であることが分かる。

表10. スラグ試料の物理性状試験結果

	試料			コンクリート 用砕砂	天然砂 (平均)	JIS規格値
	A	B	C			
表乾比重	2.70	2.69	2.72	2.67	2.60	—
絶乾比重	2.69	2.68	2.71	2.65	2.55	2.5以上 <sup>1),2),3)</sup>
吸水率(%)	0.40	0.40	0.30	1.00	1.80	3.5以上 <sup>1),3)</sup> 3.0以下 <sup>2)</sup>
単位容積重量 (kg/L)	1.697	1.657	1.642	1.68	1.6	1.45以上 <sup>3)</sup>
実積率(%)	59.2	57.6	57.7	63.4	64	53以上 <sup>2)</sup>
篩分け粗粒率 (破碎処理後)	25.6	2.59	2.62	2.93	2.7	—
安定性(%)	2.80	1.80	2.50	1.50	3.60	10以下 <sup>2)</sup>
微粉分量(%)	2.00	1.90	2.10	5.20	1.60	3.0以下 <sup>1),2)</sup>
塩化不純物(%)	0.01	0.01	0.01	0.0003	0.03	0.04以下 <sup>1)</sup>
アルカリシリカ反 応(化学法)	無害	無害	無害	—	—	無害と判定 <sup>1),2)</sup>
半年後の膨張率 (%)	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	
有機不純物	標準色より 薄い	標準色より 薄い	標準色より 薄い	—	—	標準色より 薄い <sup>1)</sup>

1) JIS A 5308 レディミクストコンクリート骨材

2) JIS A 5005 コンクリート用砕石および砕砂

3) JIS A 5011 コンクリート用スラグ骨材—高炉スラグ骨材

## ○ IB 試験体の性状試験

表11にIB試験体を3, 14, 28日間自然養成した後の曲げ強度試験(3回平均)の結果を示す。ここで、表中のNo.1の試験体は、表2(c)のNo.1の試験体である。表より、スラグを用いないIB試験体(No.1)の曲げ強度は、養成期間が増すほど増加している。この傾向は、スラグと砂の置換率が10や30%でも同様である。そして、No.1と比較して、スラグ置換率10%の曲げ強度は1~2.3%低下し、スラグ置換率30%のそれは14~16.2%低下していることから、置換率が高いほど曲げ強度の低下率が大きくなるのが分かる。ところで、表5で用いた28日間自然養成した試験体をジョークラッシャーで破碎し、スラグ試料と同様の溶出試験を行った結果、スラグ試料と同様に重金属イオンの溶出は認められなかったが、pH値は11.3~11.4と高いことが分かった。

表12に28日間自然養成したIB試験体で凍結溶解試験(水中急速融解試験:3回平均)を行った結果を示す。表より、スラグ試料A及びCを砂と30%置換したNo.3と7を除き、試験体の重量減少率はほとんど変化が見られず、サイクル数が90~150(c/s)以上になると僅かに低下する傾向が見られる。この傾向は、相対弾性係数やたわみ振動の一次共鳴振動数でも同様であった。そして、重量変化が大きかったNo.3と7においては、サイクル数が150(c/s)以上になると、基層部の骨材の一部に剥離現象が見られた。

そして、同じIB試験体に対してオートクレーブ試験を行った結果、No.7で崩壊率0.25%、No.3と6で崩壊率が0.05%であり、凍結溶解試験の結果と同じ傾向を示した。ここで、崩壊物は30mm以下に破壊した部材をいい、崩壊率はそれと試験体の重量比で求めた。このような現象の理由は十分解明できていないが、スラグ形状の影響や吸水率の相違が影響していると考えられる。

表11. IB試験体の曲げ強度試験結果

No.	試料スラグ	砂の置換率(%)	曲げ強さ(N/mm <sup>2</sup> )		
			3日	14日	28日
1	A	0	4.83	5.48	6.13
2		10	4.73	5.33	6.07
3		30	4.16	4.76	5.26
4	B	10	4.82	5.50	6.01
5		30	4.16	4.95	5.27
6	C	10	4.72	5.29	5.99
7		30	3.86	4.52	5.14

表12. 凍結溶解試験における試験体重量変化

	No.	重量減少率(%)						
		1	2	3	4	5	6	7
サイクル数 (c/s)	0	100	100	100	100	100	100	100
	30	100	100	100	100	100	100	100
	90	100	100	99.9	99.9	100	100	99.9
	120	99.9	100	99.9	100	100	100	99.8
	150	99.9	99.9	99.8	99.9	100	99.9	99.7
	180	99.9	99.9	99.2	99.9	99.9	99.9	97.2
	210	99.9	99.8	98.9	99.8	99.9	99.9	97.6

#### IV. 結言

ゴミの減量化等の対策で導入されている溶融炉から発生するスラグの再資源化の基礎資料を得るために、溶融温度とその保持時間及びスラグ化処理の方法について溶出試験を行うと共に、スラグを用いたモルタルの強度試験等を行った。さらに、ゴミ溶融炉スラグを細骨材として用いたインターロッキングブロックによるオートクレーブ試験と凍結融解試験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 焼却灰等には主に SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO 以外に Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Cl, Pb, Zn 等の揮発物質が含まれ、飛灰にはこれらの濃縮が見られる。そして、焼却灰や飛灰からは、重金属イオンの Pb や Zn が溶出し、規制値を超えることがある。
- 2) これらの焼却灰や飛灰を溶融し、放冷・水漬・再加熱処理を行うと、重金属イオンの溶出は認められず、溶出溶液の pH も中性に近い。
- 3) モルタルの砂材の代替としてのスラグ利用を検討した結果、モルタルの強度や長さ変化を抑えるためには、混入するスラグの Al 成分を除去しなければならず、1450℃以上で溶融処理を行わなければならない。なお、標準砂を使用した供試体に比べて、スラグを使用した供試体の強度は5%程度低下する。
- 4) スラグやそれを用いたインターロッキングブロック試験体からの重金属イオンの溶出はない。
- 5) 砂とスラグの置換割合が10%程度であれば、インターロッキングブロック試験体の曲

げ強度や凍結融解は、JIS 規格のその試験体のそれらとほとんど変わらない。

#### 【参考文献】

- (1) 鈴木澄江, 溶融スラグ骨材を用いたコンクリート, アース &eco コンクリートマガジン, 70-77, 2008 年春号.
- (2) 川上勝弥, コンクリート用溶融スラグ骨材, アース &eco コンクリートマガジン, 63, 2009 年春号.
- (3) 泊正雄, 廃棄物処理とその利用に関する基礎研究, 北九州環境ビジネス推進会講演要旨集, 1-31, 1998.
- (4) 松田学, 溶融スラグ細骨材のコンクリート製品への適用について, NPO 法人廃棄物再資源化研究会第 7 回活動成果報告集, 2007.
- (5) 川端雄一郎ら, 溶融方法が都市ごみ溶融スラグの化学的・物理的性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 26(1), 75-80, 2004.
- (6) 泊正雄ら, 都市ごみ焼却灰・飛灰等の無公害化処理に関する研究, 近畿大学九州工学部研究報告・理工学編, 26, 1-9, 1997.
- (7) 環境庁公示第 5 号など, 廃棄物の処理及び成層に関する法律施行令, 昭和 46 年 9 月 24 日施行 - 平成 4 年 7 月改正.