

一般廃棄物から製造される溶融スラグの有効利用技術について

茨城大学工学部 技術部 木村 亨

論文 簡易改質処理を施した一般廃棄物溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの性状改善効果

要旨：一般廃棄物溶融スラグ(以下、SLとする)は、一般廃棄物処理施設により品質が異なるため、JISに準じたSL細骨材を用いてもコンクリートの性状に影響を及ぼす場合がある。そこで本研究では、6種類のSLスラグ細骨材を対象に、水酸化カルシウム飽和溶液による改質処理を施し、改質処理によるSL細骨材およびコンクリートの特性の改善効果を検証した。その結果、改質処理前ではSL細骨材を用いた膨張率およびコンクリートの圧縮強度に大きな差があったものの、改質処理後ではSL細骨材による発泡が抑制され、膨張率は減少するとともにコンクリートの密度および圧縮強度は増加し、SL細骨材の種類による差異は小さくなった。

キーワード：一般廃棄物溶融スラグ、改質処理、発泡抑制、細骨材

1. はじめに

一般廃棄物の総排出量は、各種リサイクル法の施行に伴い減少傾向を示しているが、一般廃棄物溶融スラグ(以下、SLとする)の生成量は、2001年の「ダイオキシン類対策特別措置法」施行に伴い増加傾向である。一般廃棄物を溶融しスラグ化することで、ダイオキシン類を除去できるとともに、体積を大幅に減少することが可能なことから、最終処分場の延命に繋がるものの、それでも最終処分場の残余年数は少なく、新たな最終処分場の建設には、周辺住民や環境問題、多額の費用や時間を有するなどの弊害が多い。2006年には、JIS A 5032(道路用)とJIS A 5031(コンクリート用)がJIS化され、SLを有効利用することによる更なる最終処分場の延命が期待されたが、どちらも利用率は伸び悩んでいる。

特にコンクリート用細骨材として使用する場合、JISに準じたSL細骨材でも、一般廃棄物処理施設により品質は異なることから、コンクリートの性状に様々な影響を与えてしまい、取り扱いが困難なのが現状である。

SL細骨材は、原料が一般廃棄物であるため、投入する原料の変動(日々や季節毎による変動、地域性の要因など)が避けられないこと、製造する溶融炉の種類や冷却方法の違いによって様々な品質を有するSL細骨材が製造方法されているのが現状である。溶融炉の種類や冷却方法によっては、SL細骨材内に遊離石灰(Free-CaO)や金属アルミニウム(Al)、金属鉄(Fe)が含まれる場合がある。Free-CaOや金属Al、金属Feを含むSL細骨材でコンクリートを作製した場合、Free-CaOは水と反応し水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)を生成する際の膨張圧によりポップアウトを引き起こす。また、金属Alはコンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応すると水素(H_2)を発生させ、発泡を生じさ

せる。更に、金属Feは硬化後に酸化を起こすと酸化鉄(Fe_2O_3)になる際の膨張圧によりポップアウトを引き起こす。そのため、JIS規格では、SL細骨材内の有害物質の溶出量及び含有量、化学成分や膨張性で上限を定めている。しかし、コンクリート練混ぜ時の発泡や膨張に大きく影響を及ぼす金属Alの含有量は測定が困難なため、膨張率試験により間接的に評価されているものの、発泡と膨張の関係は必ずしも一致するとは限らない¹⁾²⁾。

これまで、主に金属Alによるコンクリートの発泡や膨張を抑制する対策として、SL細骨材に蒸気養生を施す方法、SLを摩砕後に磁選する方法、SL細骨材をストックヤードで長期間保管する方法、SL細骨材を高温高アルカリ水にて表面処理する方法、発泡抑制作用のある混和剤を投入する方法などが報告³⁾⁴⁾されている。しかし、そのどれもが費用、時間、労力を必要とする。SL細骨材は、安価な普通細骨材より更に安価でなければ使用されにくく、普及に至らないため、対策費の増大は避けなければならない。

現在、多くのSL細骨材は、コンクリート二次製品に使用されており、その工場では大量の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を含んだ高アルカリ性の排水(以下、スラッジ水とする)が発生する。スラッジ水は、コンクリート用の練混ぜ水に利用されるか、セメント類の沈殿物を除去後、その上澄み水(以下、改質処理水)は、塩酸などの薬品を投入して中和された後、場外へ排出される。

本研究で提案する改質処理方法は、改質処理水に、SL細骨材を浸漬させるだけの簡易な処理方法である。これにより、コンクリートの性状に大きく影響を及ぼすSL細骨材内の金属Alを改質処理水の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応させ、水酸化アルミニウム($\text{Al}(\text{OH})_3$)に変化させることで、コン

表-1 各 SL 細骨材の製造方法および物理的性質

記号	一般廃棄物溶融スラグ 溶融固化方式の分類	絶乾 密度 (g/cm ³)	吸水 率 (%)	安定 性 (%)	実積 率 (%)	微粒 分量 (%)	粗粒 率 (%)	膨張 率 (%)	金属 Al 含有量 (%)	金属 Fe 含有量 (%)	
A	交流アーク式灰溶融炉	2.71	0.35	0.50	57.0	3.50	2.84	1.4	0.054	0.24	
B		2.82	0.36	0.50	---	1.23	2.78	-1.7	0.018	0.17	
C	シャフト炉式 ガス化溶融炉	コースクベッド方式	2.83	0.34	1.40	53.7	1.70	2.47	-2.0	0.013	0.26
D		酸素式	2.81	0.72	---	---	0.28	3.66	-1.6	0.140	0.15
E	キルン式ガス化溶融炉		2.83	0.06	---	60.3	1.54	3.07	-1.3	0.010	0.07
F	流動床式ガス化溶融炉		2.70	0.73	---	58.7	1.12	3.23	-1.2	0.008	0.11

クリート練混ぜ時の発泡原因である H₂ を事前に発生させることが可能となる。更に、SL 細骨材内に Free-CaO や金属 Fe およびその他の反応物質などが含有している場合にも、それぞれの反応を事前に起こさせ、改質処理が可能となる。改質処理後の SL 細骨材は、コンクリート練混ぜ時の発泡抑制効果の他に様々な反応の抑制も期待でき、安定したコンクリートの製造が可能になるものと考えられる。なお、本改質処理方法は、コンクリート工場から発生する排水を有効利用することから、費用を非常に安価に抑えることが可能である。

そこで本研究では、安価で簡易な改質処理水による SL 細骨材の改質処理方法を提案するための基礎的検討として、一般廃棄物溶融スラグ細骨材を水酸化カルシウム飽和溶液に浸漬させた改質処理により、コンクリートの性状改善効果の可能性を実験的に検討する。

2. 実験方法

2.1 各 SL 細骨材の種類および製造方法

表-1 に実験に用いた各 SL 細骨材の製造方法および物理的性質を示す。溶融炉の形式として、スラグ A およびスラグ B は、どちらも同じ交流アーク式灰溶融炉である。一般廃棄物の焼却灰を電極により溶融する際に、電極により還元雰囲気を作り出すことと、溶融温度が 1200~1300℃と低いことから、SL 細骨材内に金属 Al、金属 Fe が含有する可能性がある。スラグ C は、シャフト炉式ガス化溶融炉(コースクベッド方式)である。一般廃棄物の溶融時に助燃剤としてコークスを、副原料として石灰石を投入して製造される。また、溶融温度も 1700~1800℃と非常に高い。スラグ D は、シャフト炉式ガス化溶融炉(酸素式)である。一般廃棄物の溶融時に助燃剤として液化ガスを使用し、溶融温度は 1350~1650℃である。スラグ E は、キルン式ガス化溶融である。副原料や助燃剤は使用しておらず、溶融温度は 1300℃程度である。スラグ F は、流動床式ガス化溶融である。溶融時に珪砂を

表-2 使用材料

材料名	記号	詳細	密度 (g/cm ³)
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	S	石灰砕砂 (粗粒率=3.10±0.15)	2.55
粗骨材	G	砕石 (粗粒率=6.60±0.20)	2.64
混和剤	AE	AE 減水剤 標準形(1種)	2.98

表-3 コンクリートの示方配合(kg/m³)

空気量 (%)	W/C (%)	W	C	細骨材 (S:SL=7:3)		G	AE
				S	SL		
5±1	45	180	400	622	267	848	5.2
				889			

投入して製造され、溶融温度は 1250~1350℃である。これらの灰溶融炉を 2 種、ガス化溶融炉を 4 種の合計 6 種類の溶融炉から排出された SL 細骨材を実験に用いた。なお、すべて SL 細骨材の原材料は一般廃棄物のみ、冷却方法は水冷のものに限定した。

2.2 試験方法

(1) 物理的性質・膨張性・気体発生量

JIS A 5031 に従い、物理的性質、粒度及び粗粒率、膨張率試験(JIS A 5031 付属書 1)を行った。また、SL 細骨材および SL 微粉末(3000 ブレーン程度)を Ca(OH)₂ の飽和溶液に浸漬させた場合の気体発生量を、水上置換法により測定し、金属 Al による練混ぜ時の発泡量を調べるとともに、その時の水溶液の pH の変化を同時に測定した。

(2) 化学成分・鉱物組成・表面観察・金属 Al 含有量

SL 細骨材の化学成分を蛍光 X 線元素分析法 (XRF) により、SL 細骨材の鉱物組成を粉末 X 線回析(XRD)により測定するとともに、改質処理前後の SL 細骨材の表面を走査型電子顕微鏡(SEM) により観察した。また、SL 細

骨材内の金属 Al の含有量測定には、臭素化メチル分離-プラズマ発光分析法を用いた。なお、試験の詳細は参考文献⁵⁾を参照して頂きたい。

(3) 改質処理前後の SL 細骨材を用いたモルタルの凝結時間 (始発時間および終結時間)

モルタルの凝結時間試験(JIS A 1147)には、膨張率試験時と同配合のモルタルにて行い、改質処理前後の始発時間と終結時間の測定を行った。

(4) 改質処理前後の SL 細骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度

表-2にコンクリートに用いた使用材料を、表-3にコンクリートの示方配合を示す。コンクリート二次製品での使用を想定して、コンクリートには高流動コンクリートを用いた。なお、SL 細骨材の置換によるブリーディングの増大を懸念し、普通細骨材への置換率は30%とした。改質処理前後の SL 細骨材を用いたコンクリートを作製した後、スランプフロー(JIS A 1150)および空気量(JIS A 1128)を測定した。また、水中養生後材齢 28 日における圧縮強度(JIS A 1108)を測定した。なお、比較のため SL 細骨材を置換しないものも作製した。

3. 実験結果

3.1 物理的性質・膨張性・気体発生量

表-1のとおり、スラグ A が 1.4%の膨張率を示したものの、すべての SL 細骨材が JIS A 5031 に適合した。

図-1に SL 細骨材時の気体発生量の経時変化を示す。スラグ A およびスラグ D で大きな気体発生量を示したことから、スラグ A およびスラグ D は金属 Al が含有していることが分かる。また、スラグ A では1日までの気体発生量が急激に増加、スラグ D では1日までの気体発生量は多くないものの、その後、徐々に気体発生量が増加した。これは、スラグ D 内の金属 Al 表面が酸化していたため、反応が遅れたものと考えられる。これにより改質処理前のスラグ D の膨張率は、発泡を起こす前に硬化したため、他のスラグと同等の値を示した。

図-2に SL 微粉末時の気体発生量の経時変化を示す。細骨材時同様にスラグ A およびスラグ D で大きな気体発生量を示すとともに、細骨材時よりも気体発生量が多く、短時間で反応が収束している。他のスラグにおいても微粉末時で若干の気体発生量が確認された。これは、微粉末にすることで比表面積が増大し、更に細骨材時では未反応だった内部の金属 Al が反応したため、他のスラグにおいても若干の金属 Al を含有していることが分かる。また、細骨材時ではスラグ A がスラグ D よりも大きな値を示したが、微粉末時ではスラグ D の方が大きな値を示したことから、金属 Al 含有量はスラグ A よりスラグ D の方が多いと示唆される。

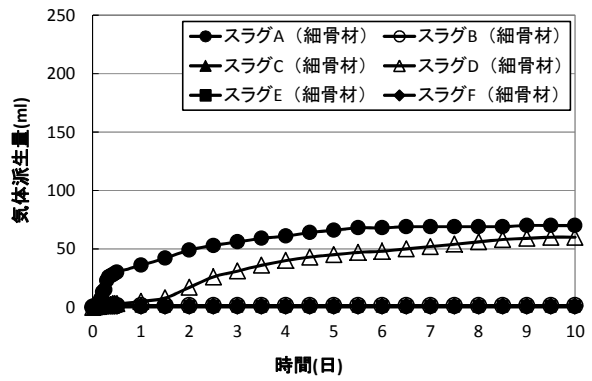


図-1 SL 細骨材時の気体発生量の経時変化

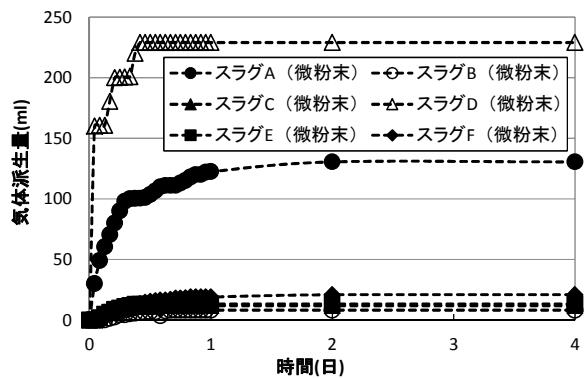


図-2 SL 微粉末時の気体発生量の経時変化

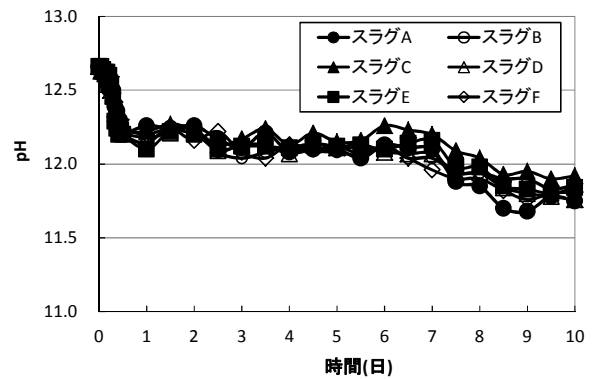


図-3 気体発生量時の pH の経時変化

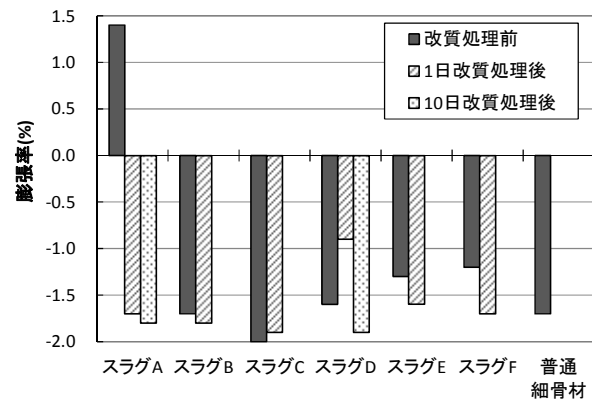


図-4 改質処理前後の膨張率

表-4 各 SL 細骨材の化学成分

記号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	ZnO	その他	塩基度
A	40.01	21.55	4.08	1.46	0.23	23.11	2.98	0.89	3.45	1.52	0.17	0.55	1.19
B	44.39	20.09	2.93	1.68	0.17	21.00	3.29	1.18	3.15	1.04	0.07	1.01	1.00
C	37.78	19.26	1.78	1.32	0.32	32.47	2.93	0.40	2.39	0.49	0.02	0.84	1.45
D	35.11	23.45	6.19	1.76	0.34	23.73	3.51	0.76	2.16	2.14	0.08	0.77	1.44
E	49.28	16.05	3.62	1.35	0.15	19.32	2.73	1.81	3.12	1.53	0.27	0.77	0.77
F	45.30	18.61	4.38	1.55	0.27	19.49	3.08	1.45	3.23	1.67	0.22	0.75	0.91

図-3 に気体発生量試験時の pH の経時変化を示す。すべての SL 細骨材において pH は若干低下し、SL 細骨材毎の差は見当たらない。このことから、金属 Al の発泡時の反応が pH に及ぼす影響は非常に小さいと言える。

以上の実験結果より、本研究では SL 細骨材を Ca(OH)₂ 飽和溶液に浸漬させる改質処理時間を 1 日とした。また、多量に発泡が確認されたスラグ A およびスラグ D においては、細骨材時の気体発生試験において気体発生の収束が確認された 10 日間まで浸漬処理を施したものについてもそれぞれ実験を行った。

図-4 に改質処理前後の膨張率を示す。スラグ A では改質処理前後において膨張が著しく減少している。スラグ D では 1 日改質処理後において改質処理前より膨張率の増加が確認された。これにより、膨張を起こしたスラグ A において改質処理による膨張の抑制が可能と言える。スラグ D においては、前述したとおり、1 日経過後から気体発生量が多いことから、1 日改質処理を施すことで練混ぜ時の発泡量が多くなり、膨張率が増加したものと考えられる。しかし、スラグ D では改質処理時間を 10 日間と長く設けることで、膨張率はその他のものと同様の値を示した。このことから適切な期間改質処理を行うことで、膨張率の抑制は可能と言える。

3.2 化学成分・鉱物組成・表面観察

表-4 に各 SL 細骨材の化学成分を示す。スラグ C の場合、副原料である石灰石の影響から CaO 量が多く、二酸化珪素量(SiO₂)が少ないことで高塩基度を示した。また、スラグ D では Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO の金属類が多く、SiO₂が少ないことで高塩基度示したが、金属類が多いことからスラグ D を用いたコンクリートは、初期および長期性状に大きく影響を及ぼすことが危惧される。

図-5 に各 SL 細骨材の XRD 結果を示す。通常、SL 細骨材は非晶質のため明瞭なピークは示さない。しかし、スラグ D、スラグ E、スラグ F において、Gehlnite および Pyroxene の結晶ピークが確認されたが Free-CaO の含有は確認されなかった。

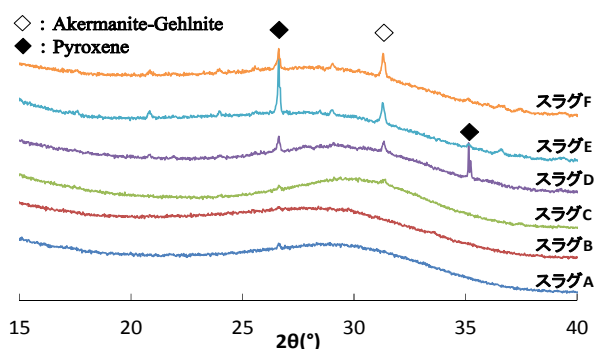
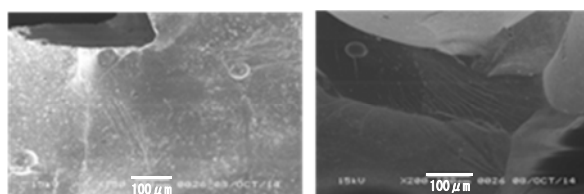
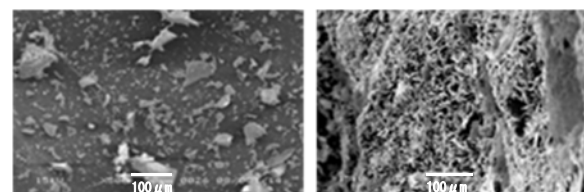


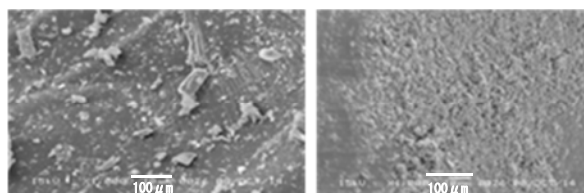
図-5 各 SL の XRD 結果



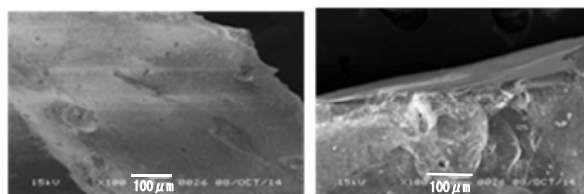
スラグ C (左: 処理前, 右: 処理後)



スラグ A (左: 処理前, 右: 処理後)



スラグ D (左: 処理前, 右: 処理後)



スラグ E (左: 処理前, 右: 処理後)

写真-1 改質処理前後の SEM 画像

写真-1に改質処理前後における SL 細骨材表面の SEM 画像の一例を示す。なお、画像は金を蒸着させて取得した。各 SL 細骨材とも改質処理前後の数個の画像を取得し、その代表例を示した。また、スラグ B, スラグ C, スラグ F では、改質処理前後で変化が見られなかったため、代表例として、スラグ C の画像を示した。改質処理前の SL 細骨材表面は、スラグ B, スラグ C, スラグ E, スラグ F では、ガラス質で時折水砕の影響と思われるクレター状の窪みが観察され、スラグ A およびスラグ D では、表面に無数の付着物が観察された。一方、改質処理後のスラグ A, スラグ D, スラグ E の表面の一部に、それぞれ形状の異なる生成物が確認されたことから、スラグ A, スラグ D, スラグ E は、金属 Al 以外の反応物質があることが示唆された。しかし、本研究において、生成物の同定は行っていない。

表-1に金属 Al 含有量を、図-6に金属 Al 含有量と改質処理前後の膨張率の関係を、図-7に金属 Al 含有量と気体発生量との関係を示す。改質処理前後に関わらず金属 Al と膨張率に関係は見当たらない。しかし、金属 Al と細骨材時の気体発生量における寄与率は $R^2=0.63$ 、微粉末時の気体発生量における寄与率は $R^2=0.95$ となり、微粉末時において非常に高い相関を示した。このことから、SL 細骨材内の金属 Al 含有量は、SL 微粉末の気体発生量を計測することで推測が可能である。これは、スラグ D における細骨材時の気体発生量のように SL 細骨材内の金属 Al 表面が酸化していると、反応が遅れるとともに酸化被膜により充分を起こさずに反応が終了してしまうが、微粉末にすることで SL 細骨材内のすべての金属 Al が反応したためと考えられる。

3.3 改質処理前後の SL 細骨材を用いたモルタルの凝結時間（始発時間および終結時間）

図-8に改質処理前後の始発時間の変化を、図-9に改質処理前後の終結時間の変化を示す。始発時間および終結時間ともに改質処理前後における差は小さい。

3.4 改質処理前後の SL 細骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度

表-5にコンクリートのフレッシュ性状を示す。改質処理を施すことでスラグ A の空気量が減少した。

図-10に改質処理前後の圧縮強度を示す。改質処理前において、SL 細骨材を用いたものは普通骨材のものより圧縮強度が低い。また、SL 細骨材毎の差異も大きく、スラグ A, スラグ E, スラグ F の圧縮強度は低い。これは、スラグ A は金属 Al による発泡の影響と考えられるが、スラグ E およびスラグ F においては金属 Al 含有量が微量のため発泡の影響とは考えにくく、発泡以外の原因で、強度低下を引き起こす反応があることが示唆される。また、金属 Al 含有量が多かったスラグ D は、

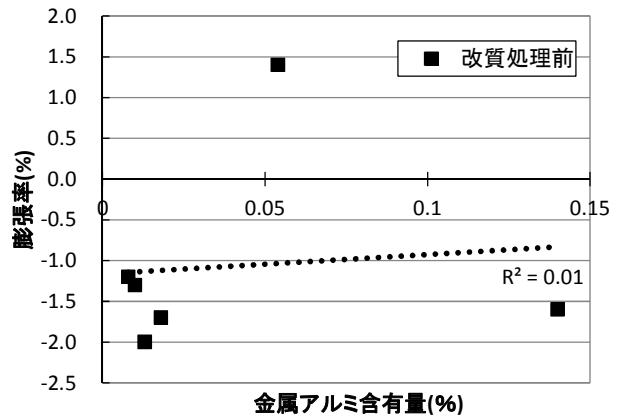


図-6 金属 Al 含有量と膨張率の関係

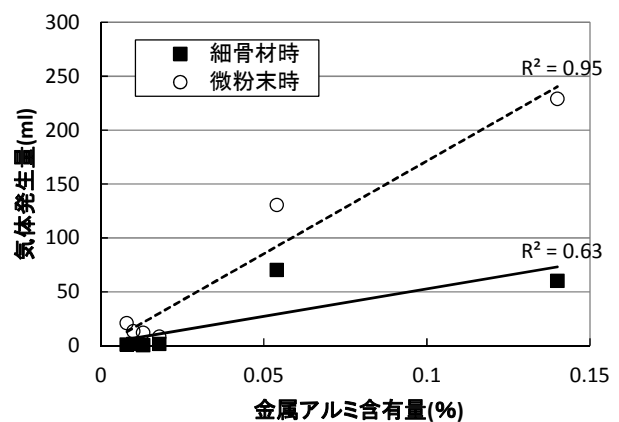


図-7 金属 Al 含有量と気体発生量の関係

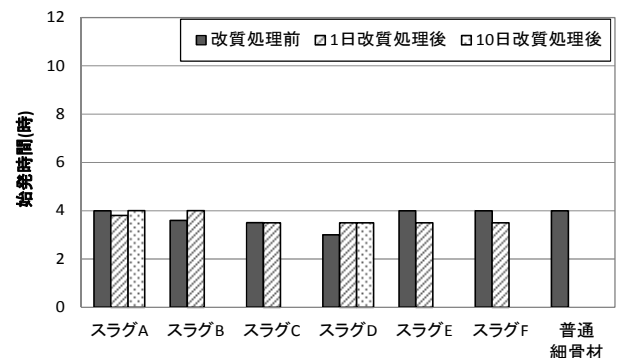


図-8 改質処理前後の始発時間

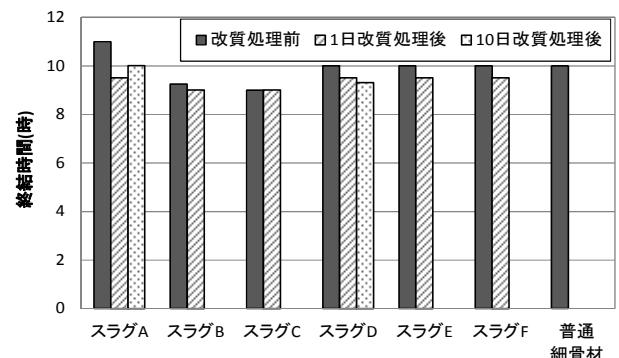


図-9 改質処理前後の終結時間

発泡以前に硬化したためか強度低下は起きなかった。

改質処理後において、スラグ D の 1 日間改質処理後以外のものは改質処理前より圧縮強度が増加した。これは、金属 Al およびその他の反応を抑制したこととで、圧縮強度が増加したと考えられる。また、スラグ D の 1 日間改質処理後においては、1 日後から発泡を起し膨張率を増加させたことから、発泡により圧縮強度が低下したものと考えられる。なお、10 日間改質処理を施すことで、スラグ A およびスラグ B とともに、1 日間改質処理後よりも圧縮強度が増加した。このことより、気体発生が終結する時間まで改質処理を施せば、発泡による強度低下の抑制は可能である。改質処理前における圧縮強度の最大値と最小値との差は、20N/mm² 以上と大きな差違だったが、改質処理後には 5N/mm² とその差は小さくなった。このことにより、改質処理の有効性が証明された。

図-11 に改質処理前後のコンクリートの圧縮強度と密度の関係を示す。改質処理を施すことで、寄与率は低下した。これは、発泡に伴う密度の低下が改善されたために、密度の差が小さくなり、結果として圧縮強度の差が小さくなったためと推測される。

4. 結論

以上の結果より、以下の知見を得た。

- 1) SL 内の金属 Al 含有量と膨張率に関係性はない。
- 2) SL 内の金属 Al 含有量は、膨張率よりも気体発生量に影響を及ぼす。
- 3) SL 内の金属 Al 含有量は、一般廃棄物溶融スラグ微粉末を Ca(OH)₂ 飽和溶液に浸漬させた場合の気体発生量で推定可能である。
- 4) SL 細骨材を Ca(OH)₂ 飽和溶液に浸漬させることで、コンクリートの膨張を抑制可能である。
- 5) SL 細骨材を Ca(OH)₂ 飽和溶液に適正期間浸漬させることで、コンクリートの圧縮強度は増加し、一般廃棄物溶融スラグ細骨材間の差違が小さくなる。

謝辞：本研究の一般廃棄物の各種分析に協力を賜りました茨城県工業技術センターの小島氏、吉田氏に、実験にご助力頂いた茨城大学工学部の山下氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 北辻政文：未反応石灰石と金属アルミニウムがコンクリートの膨張に及ぼす影響，環境浄化技術，Vol.12, No.1, pp.35-42, 2013
- 2) 高田 龍一，北辻 政文，高橋 真治，明石 哲夫：溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートのポアアウトの抑制に対するエージングの効果，コンクリート工学年次論文集 Vol.34, No.1, pp.1569-1575, 2012.

表-5 フレッシュ性状

記号	スランブフロー(mm)			空気量(%)		
	処理前	1日処理	10日処理	処理前	1日処理	10日処理
A	683	650	641	6.6	5.6	4.7
B	598	621	---	5.0	4.8	---
C	632	633	---	4.7	4.6	---
D	602	646	621	4.7	5.8	5.4
E	643	653	---	5.1	5.5	---
F	625	637	---	5.2	5.1	---

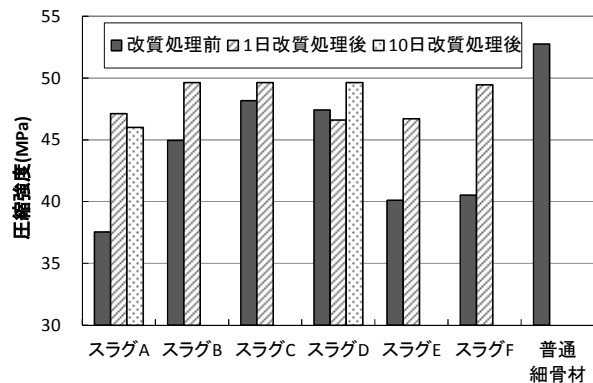


図-10 改質処理前後の圧縮強度

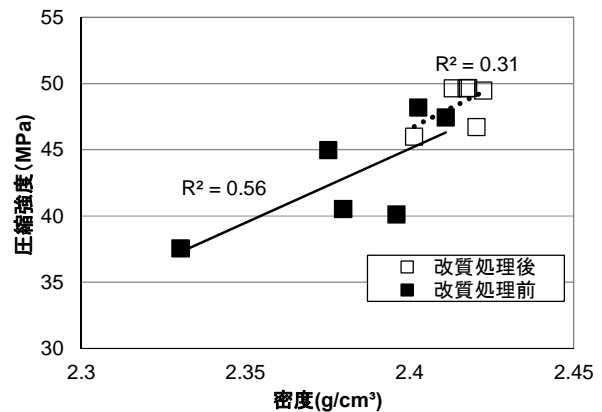


図-11 改質処理前後の 圧縮強度と密度の関係

- 3) 齊藤 文士，佐藤 宏紀，谷川 教幸，根本 明，池永博威：表面改質したごみ溶融スラグ細骨材を用いた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，第589号，pp.1-6, 2005年3月
- 4) 鳥居 和之，山戸 博晃，野口 陽輔，鍵本 広之：溶融炉スラグの物理・化学的性質とアルカシリカ反応性，コンクリート工学年次論文集，Vol.25, No.1, pp.623-628, 2003.
- 5) 溶融スラグ中の金属アルミニウムの定量分析，川重テクノロジーウェブマガジン：http://www.kawaju.co.jp/techno-wm/backnumber/bn_015/showroom01.html

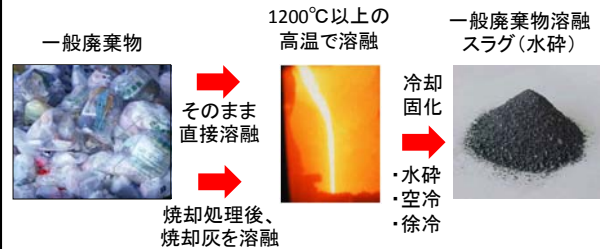
平成27年度技術部研修報告会

一般廃棄物から製造される熔融スラグの有効利用技術について

茨城大学 工学部
技術専門職員 木村 亨

一般廃棄物熔融スラグとは！

一般廃棄物熔融スラグとは、一般廃棄物の減容化・無害化の観点から、多くの自治体によって**一般廃棄物**および**その焼却灰**、1200℃以上の高温で熔融した後、冷却固化したものである。

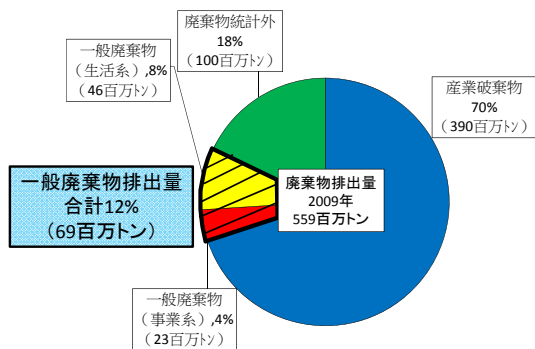


目次

- (1) 一般廃棄物熔融スラグ
 - 1. はじめに(一般廃棄物を取り巻く環境)
 - 2. 一般廃棄物を熔融する理由とは
 - 3. 熔融スラグの現状
 - 4. 熔融スラグの利用状況
 - 5. 熔融スラグの利用の問題点
- (2) 一般廃棄物熔融スラグの有効利用技術
(コンクリート用細骨材としての利用方法)
 - 研究紹介1: 簡易改質処理を施した一般廃棄物熔融スラグ細骨材を用いたコンクリートの性状改善効果
 - 研究紹介2: コンクリート工場排水へ浸漬した一般廃棄物熔融スラグ細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響
- (3) 茨城県の取り組みと全体のまとめ
 - 1. 茨城県の取り組み
 - 2. 全体のまとめ

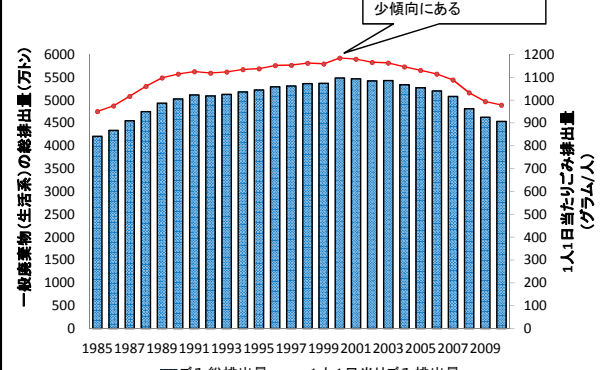
(1) 一般廃棄物熔融スラグ

1. はじめに ～廃棄物の排出量～



出典: 環境省 廃棄物・リサイクル対策 一般廃棄物処理実態調査結果(2009年)

1. はじめに ～一般廃棄物排出量の推移～



出典: 環境省 廃棄物・リサイクル対策 一般廃棄物処理実態調査結果

1. はじめに ～リサイクル法(2000年)～

○容器包装リサイクル関連

一般の家庭でごみとなって排出される、商品の容器や包装に使われた廃棄物(びん、缶、お菓子の袋、ペットボトル、レジ袋など)をリサイクルする目的で作られた法律が容器包装リサイクル法です。法律の説明や3R(リデュース・リユース・リサイクル)を推進する活動などについて掲載しています。

○食品リサイクル関連

食品リサイクル法を中心に、食品リサイクルの現状、関係法令、申請手続案内、審議会・検討会資料、食品リサイクル推進環境大臣賞など掲載しています。

○資源有効利用促進法関連

資源有効利用促進法関連を中心に、自主回収及び再資源化の実施状況、市区町村におけるパソコンリサイクルの取組状況、廃パソコンの不法投棄状況など掲載しています。

○家電リサイクル関連

家電リサイクル法の概要を中心に、Q&A、施行状況、定例調査情報、審議会、法令、申請手続きなど掲載しています。

出典:環境省

1. はじめに ～ダイオキシン対策特別措置法(1999年)～

<目的>

この法律は、ダイオキシン類が人の生命及び健康に重大な影響を与えるおそれがある物質であることをかんがみ、**ダイオキシン類による環境の汚染の防止及びその除去等**をするため、ダイオキシン類に関する施策の基本とすべき基準を定めるとともに、必要な規制、汚染土壌に係る措置等を定めることにより、国民の健康の保護を図ることを目的とする。

第三条 政府は、ダイオキシン類の発生過程における特性にかんがみ、小規模な廃棄物焼却炉の構造及び維持管理に関する規制並びに廃棄物焼却施設によらない**廃棄物の焼却に関する規制の在り方について、検討を加え、その結果に基づき、必要な措置を講ずるものとする**

第二十四条 廃棄物焼却炉である特定施設から排出される当該特定施設の集じん機によって集められたばいじん及び焼却灰その他の燃え殻の処分(再生することを含む。)を行う場合には、当該ばいじん及び焼却灰その他の燃え殻に含まれる**ダイオキシン類の量が環境省令で定める基準以内となるように処理しなければならない。**

2. 一般廃棄物を溶融する理由

(1) 焼却灰の安全性

一般廃棄物
↓
高温で溶融
↓
ダイオキシン類の分解
↓
重金屬の除去
↓
溶融スラグ

・一般廃棄物を溶融処理(スラグ化)することにより、焼却灰やばいじんの中に含まれる**ダイオキシン類を分解**するとともに、**重金屬類の除去**が可能。
・スラグ内に重金屬類が含まれていても溶出防止が可能。
・最終処分場の安全性が保てる。

(2) 一般廃棄物の減量化

溶融処理することにより、ごみの最終処分量を大きく(焼却灰の約2分の1)減らすことができ、最終処分場の残余年数を2倍にすることが可能。

一般廃棄物の重量および体積の減少率

■重量比 ■体積比

直接処分 焼却処理 溶融処理

約1/7
~1/10
最大約1/20の減量が可能
約1/2

2. 一般廃棄物を溶融する理由

(3) スラグの有効利用

一般廃棄物溶融スラグ
↓
これまでは埋め立て処分
↓
溶融スラグの有効利用

・建設資材などに有効利用できる。
・一般廃棄物溶融スラグは締め固めが良いことや、有機物や有害物質が溶出しにくい点から、**埋立材料**として優れている。

2006年に、一般廃棄物、下水污泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用**溶融スラグ骨材**がJIS A 5031に、道路用溶融スラグがJIS A 5032に制定された。

4. 品質
4.1 一般次項
4.2 有害物質の溶出量及び含有量
4.3 化学成分
4.4 膨張性
4.5 物理的性質
4.6 アルカリシリカ反応性
4.7 粒度および粗粒率

2. 一般廃棄物を溶融する理由

○従来処理の場合

ごみ → 最終処分 (100%)
↓
焼却灰 → 最終処分 (10-15%)

○溶融処理を行った場合

ごみ → 溶融処理 → スラグ (4-5%) → 有効利用 (0.0%)
↓
飛灰 (1-2%) → 最終処分 (1-2%)

スラグ化するだけでは、最終処分量の残余年数を2倍にしか伸ばすことができない！
しかし、スラグを有効利用することで、最終処分量の残余年数を最大10倍まで伸ばすことが可能！

6. スラグの物性を決める要因 ~各溶融炉の製造方法別の推移~

■ 灰溶融炉 ■ ガス化溶融炉

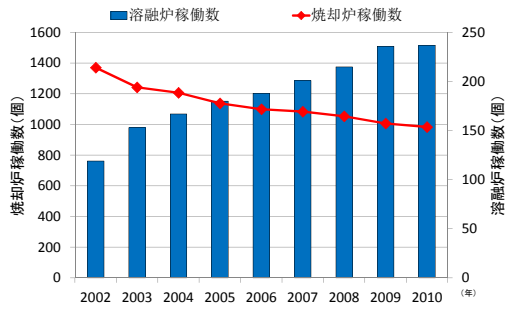
● 灰溶融合計 ● ガス化溶融合計

溶融施設稼働数(件)

1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011

○ 灰溶融炉、ガス化溶融炉の稼働数は共に増加しているが、ダイオキシン対策措置法が施行された2001年を機に、ガス化溶融炉の稼働数の増加は著しい。

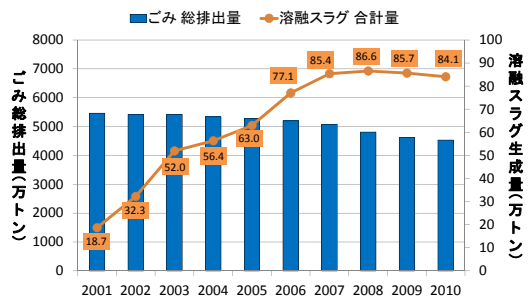
3. 溶融スラグの現状 ～稼働数の変動～



○ 焼却炉稼働数は減少し、溶融炉稼働数は年々増加している

出典: 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会 (2009年)

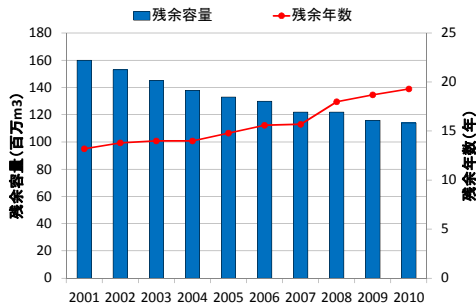
3. 溶融スラグの現状 ～溶融スラグの生産量～



○ 生産量は、2001年のダイオキシン類対策特別措置法の施行により増加。
○ ここ数年、85万トン程度で推移。
○ 茨城県の生産量は全国四位。

出典: 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会 (2009年)

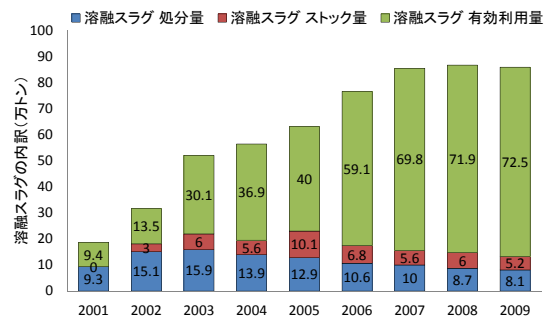
3. 溶融スラグの現状 ～最終処分場の残余年数～



○ 一般廃棄物を溶融処理することで、最終処分場の残余年数は増加傾向にある
○ 一方、残余容量は減少傾向にある

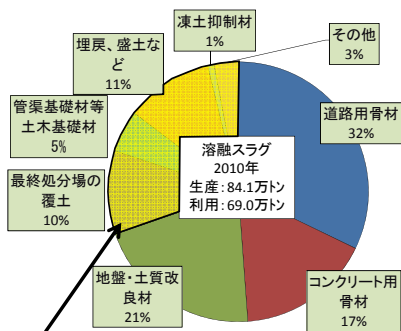
出典: 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会 (2009年)

4. 溶融スラグ利用状況 ～一般廃棄物溶融スラグ有効利用量の推移～



出典: 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会

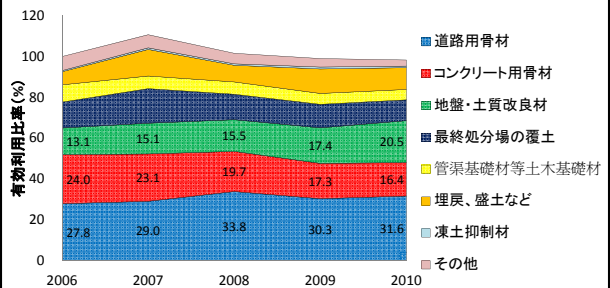
4. 溶融スラグ利用状況 ～溶融スラグの有効利用率(2010年)～



埋戻材、土木基礎材などは有効利用とは言い難い

出典: 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会

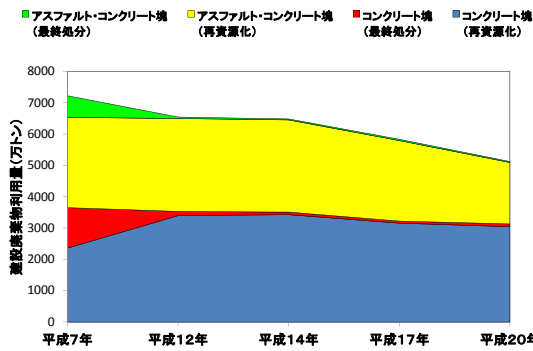
4. 溶融スラグ利用状況 ～溶融スラグの有効利用量の推移～



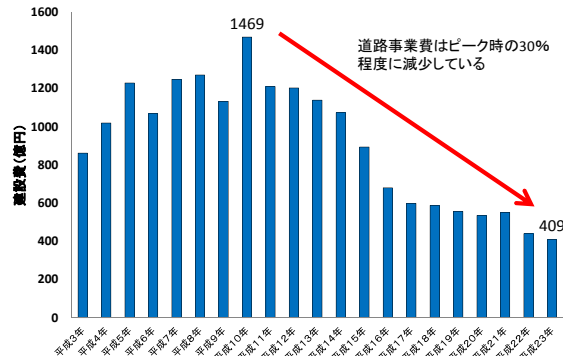
○ 2006年のスラグ生産量を100%とし、各年のスラグ生産量の比率を有効利用方法で分配した。
○ 全体の約50%が道路用骨材やプレキャストコンクリート製品の細骨材の代替材として利用されている。

出典: 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会 (2010年)

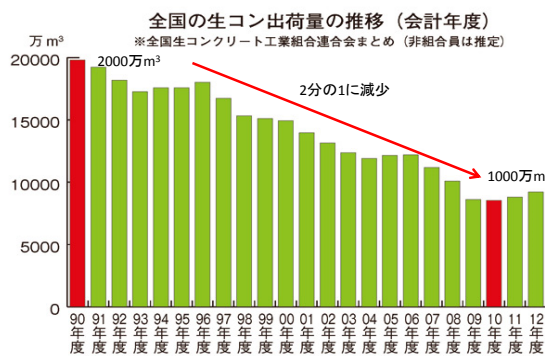
5. 溶融スラグの問題点 ～道路用骨材に用いられる建設廃棄物～



5. 溶融スラグの問題点 ～道路事業費の推移～



5. 溶融スラグの問題点 ～コンクリートの出荷量～

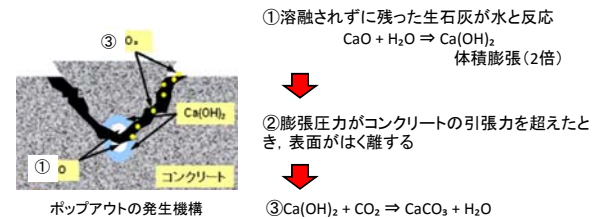


出典：コンクリート工業新聞 株式会社セメントジャーナル社

5. 溶融スラグの問題点

(事例) JIS違反生コン、神奈川の196現場に納入
 時期：2007年7月～2008年6月

内容：日本工業規格(JIS)で混入が認められていない「溶融スラグ」を入れた生コンクリートを製造、出荷し、建設中のマンションと工場で、コンクリートの表面がはがれる「ポップアウト」と呼ばれる現象が起き、大きな社会問題となった。



ポップアウトの発生機構

5. 溶融スラグの問題点 ～2010年にJIS改正～

規格 番号 及び 題名	内容	規格 番号 及び 題名	内容	主な改正理由 (解説も一部参照)
1.適用範囲 備考4.	この規格は、一般廃棄物、下歩肉灰又はそれらの焼戻灰を1200℃以上で溶融状態に溶融状態に溶融し、冷却固化して製造されたコンクリート用溶融戻灰骨材（以下、溶融スラグ骨材という）について規定する。	1.適用範囲 備考3.	この規格は、一般廃棄物、下歩肉灰又はそれらの焼戻灰を1200℃以上の高温で溶融し、冷却固化して製造されたコンクリート用溶融戻灰骨材（以下、溶融スラグ骨材という）について規定する。	コンクリートに混入する溶融スラグ骨材の含有率を規定し、その種類や生産工程の観点で完全溶融が十分に可能な可能性のあるため、溶融スラグ骨材の使用を認めた。
1.適用範囲 備考3.	次の材料として、溶融スラグ骨材を用いてはならない。 —JIS A5308に規定するレディミックスコンクリート —JIS A5406に規定する建築コンクリートブロック —プレストレストコンクリート —建築物に用いるコンクリートで、建築物の基礎、主要構造部その他安全上、防火上又は衛生上重要な部分に用いるもの	1.適用範囲 備考3.	溶融スラグ骨材を用いるコンクリートは、設計基準強度が35 N/㎠以下で、設計基準強度が35 N/㎠以下のJIS A 5371に規定するプレキャスト無筋コンクリート製品及びJIS A 5372に規定するプレキャスト鉄筋コンクリート製品、並びにこれらと同設計基準強度のプレキャスト無筋コンクリート製品に使用する。また、呼び強度が33以下のレディミックスコンクリートに適用する。なお、耐久性を確保するために、溶融スラグ骨材を用いたコンクリートの水セメント比は、55%以下とする。	—JIS A 5308(2000)レディミックスコンクリートの改正の検証において、呼び強度33までのコンクリートにJIS A 5308を使用する検証ができたが、JIS A 5308/2009年の改正では、最終的に使用できない旨が明確化された。追補改正では、JIS A 5308における規定と整合させ、JIS A 5308に規定する「プレキャストコンクリート」には適用しないこととした。 —使用実績が十分でないこと等の理由により、プレストレストコンクリートに用いてはならない旨を明確化した。 —レディミックスコンクリートに溶融スラグ骨材を使用したことにより、建築物の用途制限を明確化した。また、同様理由により、JIS A 5406建築物コンクリートブロックにおいて使用が認められない改正が行われる予定であるため、その内容を反映した。

生石灰の粒等が融解せずに残存する可能性があり、「レディミックスコンクリート等に溶融スラグ骨材を用いてはならない」と改正された。

出典(財)建材試験センター

規格 番号 及び 題名	内容	規格 番号 及び 題名	内容	主な改正理由 (解説も一部参照)
1.適用範囲 備考4.	この規格で規定する溶融スラグ骨材は、備考3の適用範囲外範囲を考慮した上で、次の条件を両方とも満たすコンクリートに用いることができる。 —設計基準強度が35 N/㎠以下 —耐久性を確保するために、水セメント比は、55%以下 ただし、プレキャストコンクリート製品については、溶融スラグ骨材の混入率がプレキャストコンクリート製品の特性及び要求される強度、耐久性、製品の置かれる環境などの適用条件を勘案し、かつ、プレキャストコンクリート製品の仕様が要求があったことが確認できる場合には、設計基準強度が35 N/㎠を超えるJIS A 5371に規定するプレキャスト無筋コンクリート製品及びJIS A 5372に規定するプレキャスト鉄筋コンクリート製品に用いることができる。	1.適用範囲 備考4.	この規格で規定する溶融スラグ骨材は、備考3の適用範囲外範囲を考慮した上で、次の条件を両方とも満たすコンクリートに用いることができる。 —設計基準強度が35 N/㎠以下 —耐久性を確保するために、水セメント比は、55%以下 ただし、プレキャストコンクリート製品については、溶融スラグ骨材の混入率がプレキャストコンクリート製品の特性及び要求される強度、耐久性、製品の置かれる環境などの適用条件を勘案し、かつ、プレキャストコンクリート製品の仕様が要求があったことが確認できる場合には、設計基準強度が35 N/㎠を超えるJIS A 5371に規定するプレキャスト無筋コンクリート製品及びJIS A 5372に規定するプレキャスト鉄筋コンクリート製品に用いることができる。	旧規格のコンクリートに対する適用条件に加え、JIS A 5364の改正によって、35 N/㎠を超えるJIS A 5371に規定するプレキャスト無筋コンクリート製品及びJIS A 5372に規定するプレキャスト鉄筋コンクリート製品も、制限を付加して、用いてもよい旨もJIS A 5364の規定と整合を図った。
4.品質 4.1 一般事項	溶融スラグ骨材は、保管コンクリートとして使用したときに、その使用環境及びコンクリートの品質に悪影響を及ぼすおそれがある場合は、その使用を許さず、品質を有するものとする。悪影響を及ぼすおそれがある場合は、その使用を許さず、品質を有するものとする。悪影響を及ぼすおそれがある場合は、その使用を許さず、品質を有するものとする。	4.品質 4.1 一般事項	溶融スラグ骨材は、保管コンクリートとして使用したときに、その使用環境及びコンクリートの品質に悪影響を及ぼすおそれがある場合は、その使用を許さず、品質を有するものとする。悪影響を及ぼすおそれがある場合は、その使用を許さず、品質を有するものとする。悪影響を及ぼすおそれがある場合は、その使用を許さず、品質を有するものとする。	悪影響を及ぼす物質(アルミニウム、金属鉄、ポップアウトの原因となる物質等)を有害量含んではならない

悪影響を及ぼす物質(アルミニウム、金属鉄、ポップアウトの原因となる物質等)を有害量含んではならない

出典(財)建材試験センター

5. 溶融スラグの問題点 ~JIS既定値~
 コンクリート用スラグ骨材-第1部:高炉スラグ骨材

区分	項目	JIS規定値	項目	粗骨材・細骨材
細骨材	絶乾密度	g/cm ³	2.5以上	
	吸水率	%	3.0以下	
	安定性	%	-	酸化カルシウム(CaOとして) % 45.0以下
	単位容積質量	kg/L	1.45以上	全硫黄(Sとして) % 2.0以下
	粒径判定実績率	%	-	三酸化硫黄(SO3として) % 0.5以下
	微粒分量	%	-	金属鉄(Feとして) % 3.0以下

一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材

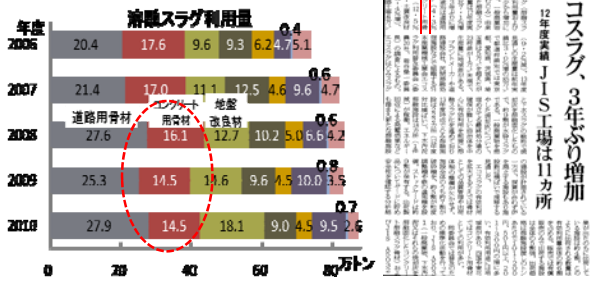
区分	項目	JIS規定値	項目	粗骨材・細骨材
細骨材	絶乾密度	g/cm ³	2.5以上	
	吸水率	%	3.0以下	
	安定性	%	10以下	酸化カルシウム(CaOとして) % 45.0以下
	単位容積質量	kg/L	-	全硫黄(Sとして) % 2.0以下
	粒径判定実績率	%	53以上	三酸化硫黄(SO3として) % 0.5以下
	微粒分量	%	7.0以下	金属鉄(Feとして) % 1.0以下

一般廃棄物溶融スラグのJIS既定値の方が
 高炉スラグよりも厳しいため、利用率の
 低下が懸念される

2. 溶融スラグ有効利用の現状

2014年7月14日
 セメント新聞

溶融スラグの利用別使用量



- 2008年のポップアウト事故以降、コンクリート用骨材として、減少傾向が続く。
- 2014年時で12万トン(12.5%増)と増加に転じたが、利用量は少ない。

エコスラグ、3年ぶり増加
 12年度実績 JIS工場は11カ所

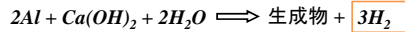
5. 溶融スラグの問題点

○ 溶融炉によっては金属アルミニウムと金属鉄が存在

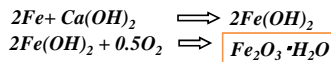
コンクリート類に使用する場合の問題点

- 金属アルミニウムは、練混ぜ時の発泡、膨張、圧縮強度の低下
- 金属鉄は、硬化後に金属鉄が酸化鉄に変化すると、さび汁やその際の膨張圧によりポップアウトを引き起こす可能性がある

● 金属アルミニウムと水酸化カルシウムの反応



● 金属鉄と酸素の反応



4. スラグの物性に及ぼす要因

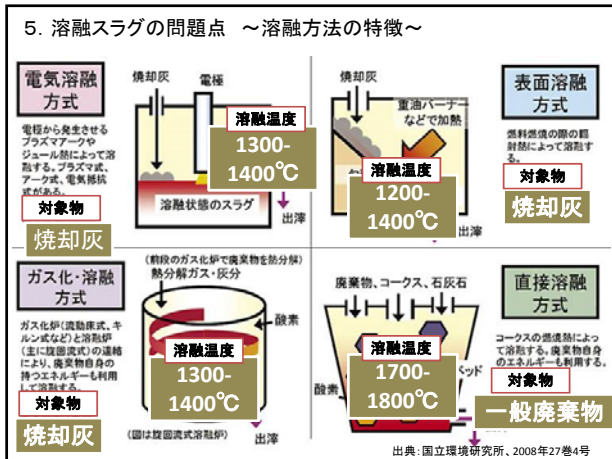
- ①原料である一般廃棄物の変動(地域・季節)
 - ➡ 焼却処理場の広域化、溶融炉の大型によって日々の変動を小さくすることは可能。
 また、溶融炉によっては、助燃材(コークス、液化ガス)や副原料(珪砂、石灰石)を投入することによって変動を小さくすることが可能。
- ②溶融炉形式の影響
 - ➡ 溶融形式の違いによる溶融温度の違い、金属選別時期、助燃材や副原料等の投入により、化学成分および物性が異なる。

5. 溶融スラグの問題点

炉形式	原理	
灰溶融炉	固定式表面溶融方式	炉内上部のバーナにより表面から溶融。
	回転式表面溶融方式	外筒の回転で処理物がすり鉢状の主燃焼室に供給され、バーナにより表面から溶融。
	旋回流方式	処理物(飛灰)を溶融空気により旋回を与えて炉内に吹き込み、バーナで溶融。
	ロータリーキルン方式	キルン内に定量供給された処理物をバーナによる輻射・揮発効果で溶融。
	コークスベッド方式	処理物、石灰石、コークスを炉内上部より供給し、高温状態である炉内下部のコークスベッド層で溶融。
	電気式	交流アーク式
プラズマ式		電極への荷電と作動ガスにより発生した高温のプラズマアーク熱で処理物を溶融。
電気抵抗式		電極に荷電して発生した電極間の処理物自身の電気抵抗熱により処理物を溶融。
直接ガス化溶融炉	シャフト炉方式	ガス化炉と溶融炉が上下の縦型炉となっている。助燃材としてコークスを使用するので、ゴミ質の影響を受けにくい。
	コークスベッド方式	処理物、石灰石、コークスを炉内上部より供給し、熱分解帯で有機物をガス化、燃焼溶融帯で無機物を溶融。
	ガス化溶融方式	流動床式のガス化炉で処理物を熱分解させ、生成したガスの燃焼熱により灰分を溶融。
	熱分解+旋回方式	無酸素状態のキルン内でごみを熱分解させ、熱分解ガスと熱分解カーボンを燃料として溶融。

5. 溶融スラグの問題点

要因	水準	
溶融方法	灰溶融	電気溶融方式 表面溶融方式
	ガス化溶融	ガス化溶融方式 直接溶融方式
冷却方法		水砕 除冷 空冷
	メーカー	新日鉄エンジニアリング(株) シャフト炉式ガス化溶融炉 日立造船(株) プラズマ式灰溶融炉、流動床式ガス化溶融炉 JFEエンジニアリング(株) シャフト炉式ガス化溶融炉(コークス式) (株)神鋼環境ソリューション 流動床式ガス化溶融炉 (株)タクマ キルン式ガス化溶融炉、プラズマ式灰溶融炉 川崎重工機(株) プラズマアーク灰溶融炉 三菱重工機(株) プラズマ式灰溶融炉 在原製作所(株) 流動床式ガス化溶融炉 (株)クボタ 表面溶融方式 川崎技研(株) シャフト炉式ガス化溶融炉(酸素式) など



5. 溶融スラグの問題点 ～各溶融スラグ化学成分の一例～

溶融方式		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	TiO ₂	K ₂ O	CuO
灰溶融炉	ロータリーキルン式溶融炉	27.26	16.74	17.36	22.31	0.45	1.46	17.36	4.36	0.94	1.33
	ストーカ+電気式灰溶融炉	41.01	29.07	16.59	1.76	2.52	1.59	2.33	1.72	1.64	0.07
	プラズマ式灰溶融炉	45.88	25.79	15.79	2.23	1.81	1.41	3.22	1.81	1.20	
ガス化溶融炉	流動床式ガス化溶融炉	43.78	22.06	15.00	7.53	3.15	2.18	2.07	1.57	1.40	0.40
	キルン式ガス化溶融炉	40.99	24.51	14.79	8.01	2.96	2.13	2.07	1.73	1.30	0.44
	シャフト炉式ガス化溶融炉	38.34	36.07	14.90	2.31	1.29	0.64	3.92	1.25	0.25	

溶融スラグは、製造される地域、溶融炉および溶融方法など、様々な要因により品質が異なるため、使用時に注意が必要。

(2) 一般廃棄物溶融スラグの有効利用技術

研究紹介1:

簡易改質処理を施した一般廃棄物溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの性状改善効果

茨城大学大学院理工学研究科 木村 亨
 茨城大学工学部 教授 沼尾 達弥
 茨城大学工学部 城所 朋輝
 三和コンクリート工業(株) 蒔田 裕紀

一般廃棄物溶融スラグの問題点！

○ 製造方法(溶融炉)によっては、**Free-CaO**、**金属アルミニウム**、**金属鉄**、**その他の反応性鉱物**が存在する場合があります。

コンクリート用骨材に使用する場合の問題点

- Free-CaOは、**ポップアウト**を引き起こす。
- 金属アルミニウム**は、練混ぜ時の発泡、膨張、圧縮強度の低下を引き起こす。
- 金属鉄**は、硬化後に金属鉄が酸化すると、さび汁が発生し、その際の膨張圧により**ポップアウト**を引き起こす可能性がある。

一般廃棄物溶融スラグに含まれる有害物質の対策

過去に提案された対処方法

- コンクリート配合の修正
- 混和剤の投入
- 摩砕後磁選
- 骨材の蒸気養生
- ストックヤードでの長期保管
- 高温高PH水への投入

溶融スラグの品質の改善は可能

しかし・・・
どれもが・・・

- ✓費用
- ✓時間
- ✓労力

一般廃棄物溶融スラグ骨材の単価を押し上げる要因となる。

一般廃棄物溶融スラグ細骨材は天然の細骨材よりも安価でない^①と利用拡大は望めない。

本研究の目的

- 一般廃棄物溶融スラグ細骨材の利用拡大のためには・・・
 - ポップアウトを引き起こさないこと
 - 練混ぜ時の発泡を抑制すること
 - その他の反応性を抑制すること
 - 普通細骨材よりも安価であること

が必須となる

そこで ↓

- 安価で簡易な一般廃棄物溶融スラグ骨材の改質処理方法

- 本改質処理方法は、一般廃棄物溶融スラグを**コンクリート二次製品工場から排出されるコンクリート排水に浸漬させる**ことによって、コンクリート中で起こる反応を事前に起こさせ、練混ぜ時および硬化中で起こる反応を抑制させる。
- 本研究では、その基礎的検討として、一般廃棄物溶融スラグ細骨材を水酸化カルシウム飽和溶液に浸漬させた場合におけるコンクリート性状の改善効果を実験的に検討する。

一般廃棄物溶融スラグの物理的性質・膨張性

記号	一般廃棄物溶融スラグ溶融固化方式の分類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)	実積率 (%)	微粒分量 (%)	粗粒率 (%)	膨張率 (%)	金属 Al (%)	金属 Fe (%)
A	交流アーク式灰溶融炉	2.71	0.35	0.50	57.0	3.50	2.84	1.4	0.054	0.24
B		2.82	0.36	0.50	---	1.23	2.78	-1.7	0.018	0.17
C	シャフト炉式ガス化溶融炉	2.83	0.34	1.40	53.7	1.70	2.47	-2.0	0.013	0.26
D								酸素式	2.81	0.72
E	キルン式ガス化溶融炉	2.83	0.06	---	60.3	1.54	3.07	-1.3	0.010	0.07
F	流動床式ガス化溶融炉	2.70	0.73	---	58.7	1.12	3.23	-1.2	0.008	0.11

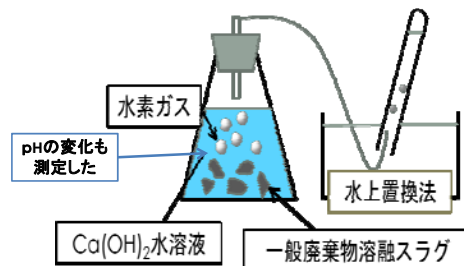
スラグAが1.4%の膨張率を示したものの、全ての一般廃棄物溶融スラグは、JISに適合しているものを用いた。

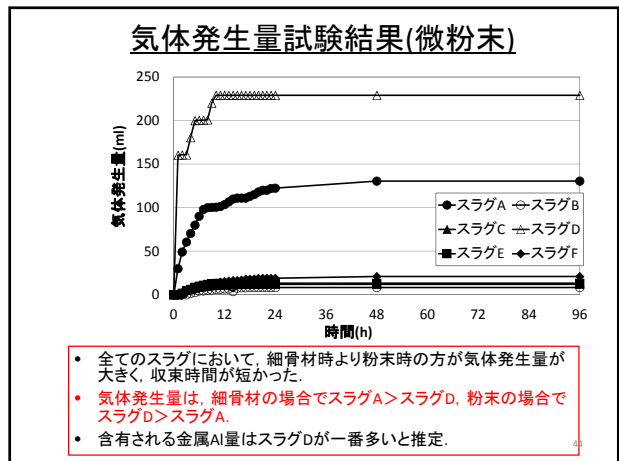
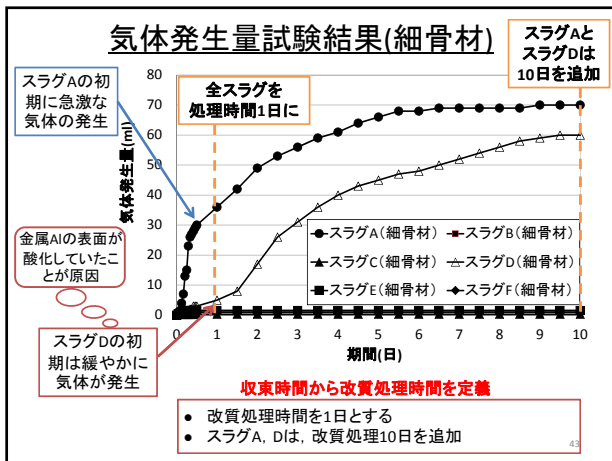
一般廃棄物溶融スラグ細骨材の化学成分

記号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	ZnO	その他	塩基度
A	40.01	21.55	4.08	1.46	0.23	23.11	2.98	0.89	3.45	1.52	0.17	0.55	1.19
B	44.39	20.09	2.93	1.68	0.17	21.00	3.29	1.18	3.15	1.04	0.07	1.01	1.00
C	37.78	19.26	1.78	1.32	0.32	32.47	2.93	0.40	2.39	0.49	0.02	0.84	1.45
D	35.11	23.45	6.19	1.76	0.34	23.73	3.51	0.76	2.16	2.14	0.08	0.77	1.44
E	49.28	16.05	3.62	1.35	0.15	19.32	2.73	1.81	3.12	1.53	0.27	0.77	0.77
F	45.30	18.61	4.38	1.55	0.27	19.49	3.08	1.45	3.23	1.67	0.22	0.75	0.91

気体発生量試験

- 一般廃棄物溶融スラグ細骨材の改質処理時間を選定するため、一般廃棄物溶融スラグを水酸化カルシウムの飽和水溶液に浸漬させ、発生した水素を水上置換法により採取した。
- また、pHの変化も測定した。

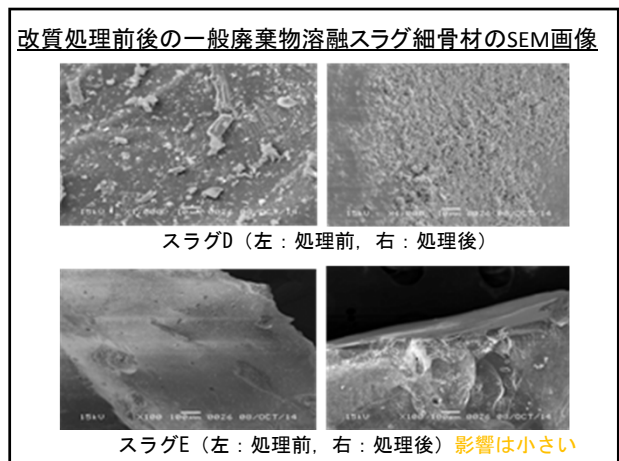
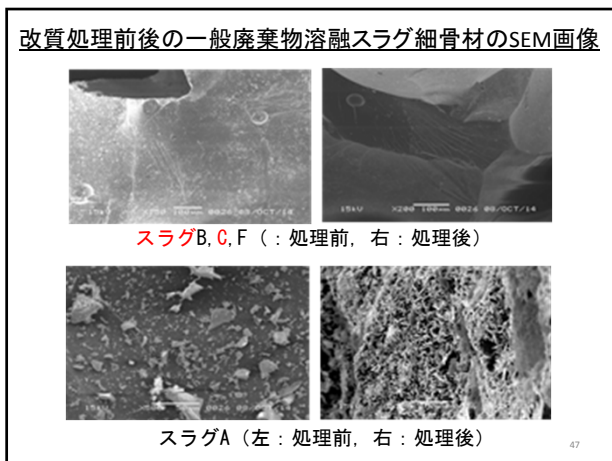
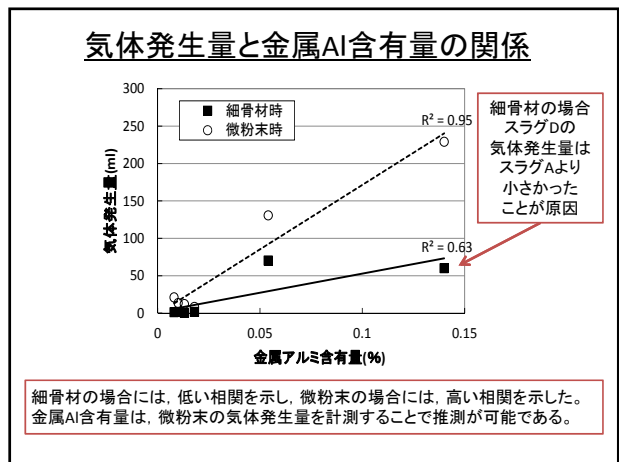




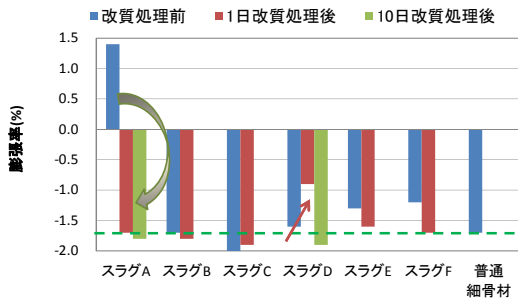
一般廃棄物溶融スラグの金属Al含有率

記号	一般廃棄物溶融スラグ溶融固化方式の分類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)	実積率 (%)	微粒分量 (%)	粗粒率 (%)	膨張率 (%)	金属Al (%)	金属Fe (%)
A	交流アーク式灰溶融炉	2.71	0.35	0.50	57.0	3.50	2.84	1.4	0.054	0.24
B		2.82	0.36	0.50	---	1.23	2.78	-1.7	0.018	0.17
C	シャフト炉式ガス化溶融炉	2.83	0.34	1.40	53.7	1.70	2.47	-2.0	0.013	0.26
D		酸素式	2.81	0.72	---	---	0.28	3.66	-1.6	0.140
E	キルン式ガス化溶融炉	2.83	0.06	---	60.3	1.54	3.07	-1.3	0.010	0.07
F	流動床式ガス化溶融炉	2.70	0.73	---	58.7	1.12	3.23	-1.2	0.008	0.11

金属Alの含有量測定には、臭素化メチル分離-プラズマ発光分析法を用いた。なお、試験の詳細は参考文献⁹⁾を参照して頂きたい。

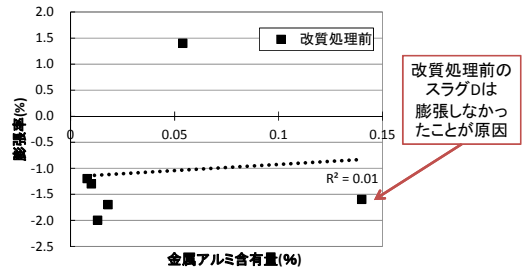


改質処理前後の膨張率試験結果(JIS A 5031) JISに準じたモルタルでの比較



改質処理後の膨張率は普通細骨材と同程度になった。

膨張率と金属Al含有率の関係



改質処理前のスラグDは膨張しなかったことが原因

- 改質処理前の膨張率と金属Alの含有率に相関はない。
- 改質処理後では、膨張率がほぼ同値だったことから、相関はない。

一般廃棄物溶融スラグ細骨材を用いたコンクリート

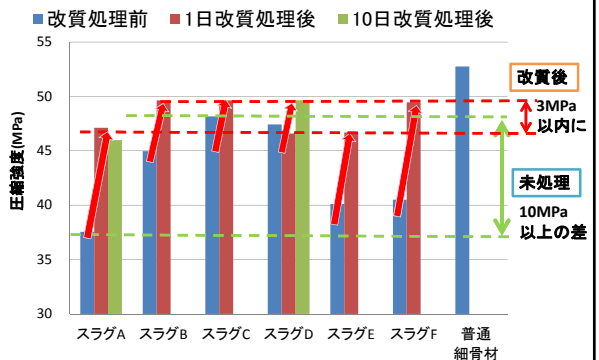
コンクリートの配合 (kg/m³)

セメント	水	細骨材(7:3)		粗骨材	混和剤
		細骨材	SL細骨材		
400	180	622	267	848	5.2
		889			

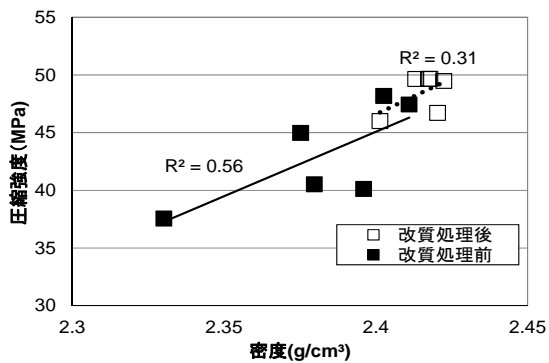
フレッシュ性状

記号	スランブロー(mm)			空気量(%)		
	処理前	1日処理	10日処理	処理前	1日処理	10日処理
	A	683	650	641	6.6	5.6
B	598	621	---	5.0	4.8	---
C	632	633	---	4.7	4.6	---
D	602	646	621	4.7	5.8	5.4
E	643	653	---	5.1	5.5	---
F	625	637	---	5.2	5.1	---

コンクリート圧縮試験結果 (JIS A 1108)



圧縮強度と密度の相関



結論

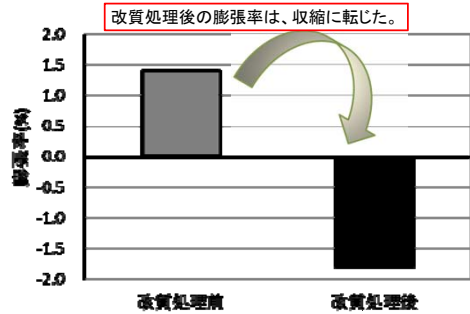
- 一般廃棄物溶融スラグ内の金属Al含有量と膨張率に関係性はない。
- 一般廃棄物溶融スラグ内の金属Al含有量は、膨張率よりも気体発生量に影響を及ぼす。
- 一般廃棄物溶融スラグ内の金属Al含有量は、一般廃棄物溶融スラグ微粉末をCa(OH)₂飽和溶液に浸漬させた場合の気体発生量で推定可能である。
- 一般廃棄物溶融スラグ細骨材をCa(OH)₂飽和溶液に浸漬させることで、コンクリートの膨張を抑制可能である。
- 一般廃棄物溶融スラグ細骨材をCa(OH)₂飽和溶液に適正期間浸漬させることで、コンクリートの圧縮強度は増加し、一般廃棄物溶融スラグ細骨材間の差が小さくなる。

研究紹介2:

コンクリート工場排水へ浸漬した一般廃棄物溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

茨城大学大学院理工学研究科 木村 亨
 茨城大学工学部 教授 沼尾 達弥
 茨城大学工学部 城所 朋輝
 三和コンクリート工業(株) 蒔田 裕紀

改質処理前後の膨張率試験結果(JIS A 5031) JISに準じたモルタルでの比較



一般廃棄物溶融スラグ細骨材を用いたコンクリート

コンクリートの配合 (kg/m³)

スランプフロー (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	W	C	細骨材 (S:SL=7:3)		G	AE減水剤
					S	SL		
600	4±1	45	180	400	622	267	848	5.2
						889		

- コンクリート二次製品での使用を想定し、高流動コンクリートを用いた。
- プリーディングの増大を懸念したため、置換率は30%とした。
- 圧縮強度試験(JIS A 1108)に直径100mm、高さ200mmの内柱供試体を作製した。
- 養生方法は、コンクリート二次製品会社と同じく、試験体をシートで覆った後、シート内を高温の蒸気で充填させ、24時間後脱型し、屋外暴露を行った。
- 今後、10年間の暴露試験を行う予定。対象は、歩車道境界特殊コンクリートブロック(JIS A 5371)と上ぶた式U形側溝300B(JIS A 5372)。

3. 研究紹介



溶融スラグ微粉末の中に存在するアルミニウムとアルカリが反応し、ガス(主に水素ガス)を発生させる

コンクリートのフレッシュ性状および外観

コンクリートのフレッシュ性状

•スランプフロー
 改質処理前で610mm
 改質処理後で605mm
 ほとんど変わらない。

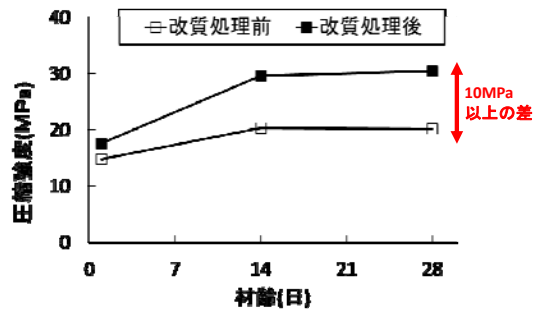
•空気量
 改質処理前で5.5%
 改質処理後で3.8%
 改質処理により金属Alの発泡が抑制されたことによるものと考えられる。

コンクリートの外観

改質処理前 改質処理後



コンクリート圧縮試験結果 (JIS A 1108)



* 改質処理前の密度が2.31g/cm³、改質処理後の密度が2.38g/cm³と、改質処理前の密度が小さいことから、金属Alによる発泡により密度を低下させたため、圧縮強度を低下させたものと考えられる。

まとめ

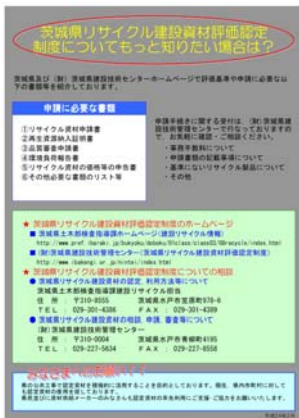
本実験により、コンクリート工場排水に10日間浸漬させた一般廃棄物溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの及ぼす影響および効果が以下のとおり確認された。

- ① コンクリートの練混ぜ時の発泡が抑制された。
- ② コンクリートの硬化後の膨張が抑制された。
- ③ コンクリートの圧縮強度が高くなった。

61

(3) 茨城県の取り組みと全体のまとめ

1. 茨城県の取り組み



申請に必要な書類

- リサイクル資材申請書
- 品質検査納入証明書
- 品質検査申請書
- 品質検査報告書
- リサイクル資材の規格等の申請書
- その他の必要な書類のリスト等

申請手続きに関する資料は、(財)茨城県建設技術管理センターホームページにありますので、お気軽に確認ください。

申請書類について

- 申請書類の記載事項について
- 請求しないリサイクル製品について
- その他

認定建設資材の種類

- 再生加熱アスファルト混合物(37資材)
- 再生路盤材(66資材)
- 再生インターロッキングブロック(3資材)
- 再生コンクリート二次製品(2資材)
- 他10品目

リサイクル建設資材として認定している。

茨城県HP or 茨城県建設技術管理センター
<http://www.ibakengi.or.jp/ninte/index.html>

1. 茨城県の取り組み

別表4 コンクリート二次製品の原料となる再生資源

骨 材		混 和 材	
使用可能な再生資源	品質基準	使用可能な再生資源	品質基準
A群			
・高炉スラグ骨材	JIS A 5011-1	・コンクリート用 フライアッシュ	JIS A 6201
・電気炉酸化スラグ骨材	JIS A 5011-4	・コンクリート用 高炉スラグ微粉末	JIS A 6206
・一般廃棄物溶融スラグ骨材	JIS A 5031	・コンクリート用砕石粉	TR A 0015
・下水汚泥溶融スラグ骨材	JIS A 5031		
・コンクリート用再生骨材H	JIS A 5021		
・コンクリート用再生骨材M	JIS A 5022 附属書A		
・コンクリート用再生骨材L	JIS A 5023 附属書1		
B群			
・製鋼スラグ	※別表5の物理 的特性を満足 する必要がある。	・石材スラッジ ・下水汚泥焼却灰	※通常のコンクリ ート二次製品と 同等の供用期間 が確保される必 要がある。
・建設汚泥を分級・脱水・洗 浄した再生骨材			
・石材こぼ			

1. 茨城県の取り組み

リサイクル建設資材の品質性能や環境に対する安全性などの基準と率先利用のルールを定めた茨城県リサイクル建設資材評価認定制度を運用。

現在22品目が対象資材であり、これらについては、品質・性能、再生資源の含有率、環境に対する安全性、品質管理、環境負荷に関する評価基準が設定されている。

認定建設資材

- 1) 再生加熱アスファルト混合物(37資材)
 - 2) 再生路盤材(66資材)
 - 3) 再生インターロッキングブロック(3資材)
 - 4) 再生コンクリート二次製品(2資材)
 - 他10品目
- リサイクル建設資材として認定している。



上図 三和コンクリート工業株式会社が溶融スラグ骨材を用いたコンクリート二次製品の作成に取り組んでいる。

2. 全体のまとめ

昨今の清掃センターの役目

- ・一般廃棄物を収集、焼却処理し、無害化・減量化する。
- ・最終処分場の延命化をはかる。
- ・溶融熱からの発電・売電を行う。
- ・廃熱や温水などを有効利用し、地域の福利厚生に利用
- ・有価で販売できる一般廃棄物溶融スラグの製造

☆一般廃棄物も資源と考え売電できるだけの発電するとともに、スラグを製造しているということを念頭に置き、利用促進を行う。

☆昨今、埋立処分場の確保は難しく、多額の費用がかかるため、お金(税金)をかけるなら、やはり溶融し、優れたスラグを作製し、より付加価値の高い利用方法を考えていくことが望まれる。

参考文献

・ホームページ

- 1) 環境省 廃棄物・リサイクル対策 一般廃棄物処理実態調査結果
 - 2) 日本産業機械工業会 エコスラグ利用普及委員会
 - 3) 独立行政法人国立環境研究所
 - 4) 鉄鋼スラグ協会
 - 5) コンクリート工業新聞 株式会社セメントジャーナル社
 - 6) (財)建材試験センター
 - 7) 北辻政文: 溶融スラグのfree-CaO に起因するコンクリートのポップアウト現象に及ぼす石灰石粒径および溶融時間の影響, 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 2010
 - 8) 茨城県HP or 茨城県建設技術管理センター
<http://www.ibakengi.or.jp/nintei/index.html>
 - 9) 株式会社神鋼環境ソリューション(流動床式ガス化溶融炉)
 - 10) 株式会社タクマ(キルン式ガス化溶融炉)
 - 11) 新日鐵住金株式会社(シャフト炉式ガス化溶融炉)
- ・書籍
- 1) 検証・ガス化溶融炉 - ダイオキシン対策の切札か
 - 2) ごみ焼却技術の選定と導入
 - 3) ごみ焼却技術絵とき基本用語
 - 4) コンクリート用高炉スラグ活用ハンドブック
 - 5) 廃棄物の溶融処理技術とスラグの有効利用
 - 6) セメント・コンクリート材料科学