

知のネットワーク～技術実証事業成果発表会(第3回)

溶融スラグ及び洗浄飛灰を用いた 高圧脱水ブロック製作による再生利用

本成果は、中間貯蔵・環境安全事業株式会社が環境省より受託した
令和2年度の間中貯蔵施設の管理等に関する業務成果の一部である



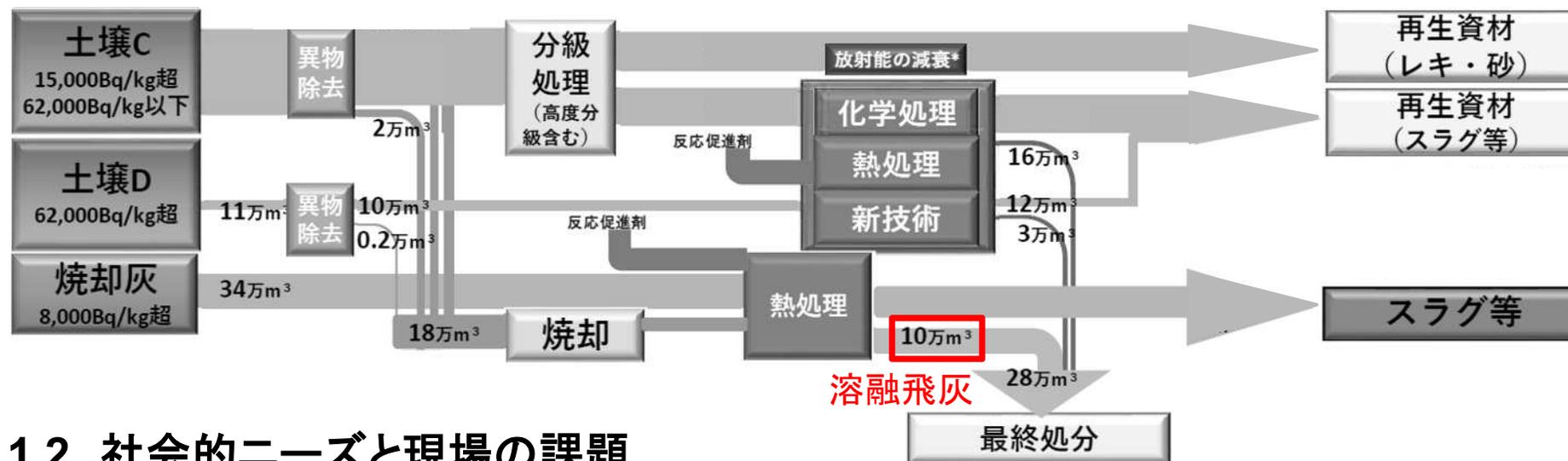
令和 3年 8月26日



九州大学

1. はじめに

1.1 除去土壌等の処理フロー



1.2 社会的ニーズと現場の課題

§ 社会的ニーズ

焼却灰溶融施設で発生する溶融飛灰や溶融スラグの有効利用（コンクリート二次製品：擁壁部材や基礎ブロック）

§ 現場の課題

溶融飛灰は放射能濃度が高く、溶出しやすい

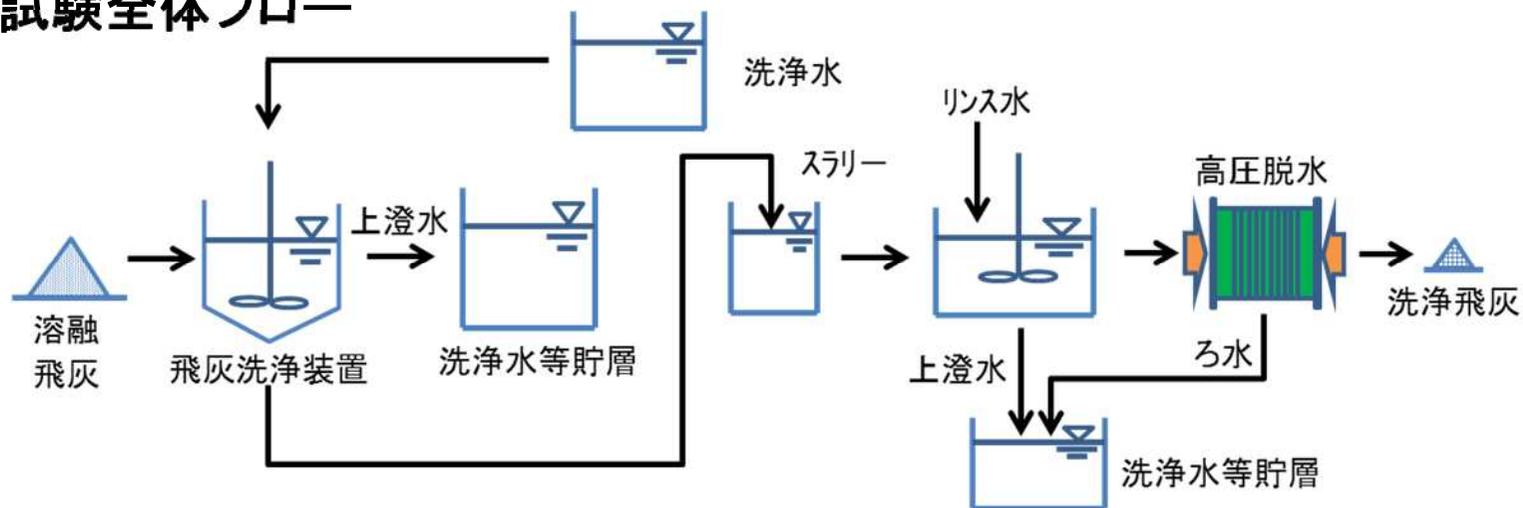
→ 放射性Cs濃度の低減、溶出抑制対策

溶融スラグや溶融飛灰の品質が不確定

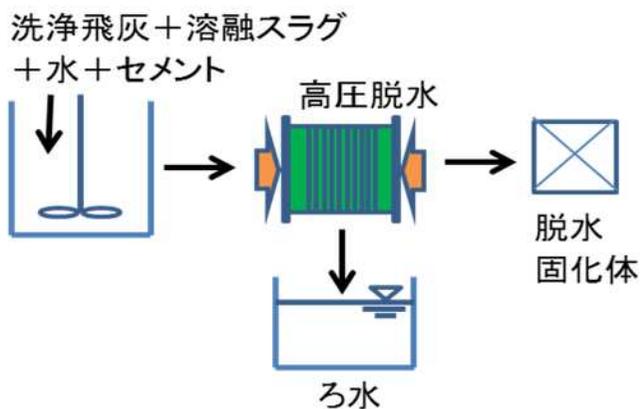
→ 発生材を利用した製品がコンクリート二次製品の必要強度を満たすこと

2. 試験フロー

2.1 試験全体フロー



熔融飛灰の洗浄フロー



高圧脱水ブロックの製造フロー



熔融飛灰洗浄状況



高圧脱水機

2. 試験フロー

2.2 事前試験およびラボスケール試験

事前試験

- ・溶融飛灰
 - ・基本性状
 - ・事前破碎可否
 - ・溶媒の液固比と攪拌時間
 - ・リンス効果
- ・溶融スラグ
 - ・基本性状



飛灰採取状況



事前試験装置
(ジャーテスター)

ラボスケール試験(0.3L型高圧フィルタープレスによる配合試験)

- ・一軸圧縮強度試験
(JIS A 1216)
- ・放射性Cs濃度試験
(ガイドライン)
- ・放射性Cs溶出量試験
(JIS K 0058-1)



高圧脱水ブロック取り出し



高圧脱水ブロック

評価

3. 試験目標

No	目的	項目	目標値
①	放射性 Cs 濃度が基準値以下であること	高圧脱水ブロックの放射性 Cs 濃度を確認する	・高圧脱水ブロックの放射性 Cs 濃度が 8,000Bq/kg 以下であること
②	放射性 Cs の溶出量が一定以下であること	高圧脱水ブロックの放射性 Cs 溶出量を確認する	・高圧脱水ブロックから放射性 Cs が溶出しないこと※1
③	必要な強度が得られること	高圧脱水ブロックから採取した供試体の一軸圧縮強度を確認する	・高圧脱水ブロックの材令 28 日の一軸圧縮強度が 18.0MN/m ² 以上であること※2

※1 第五部「放射能濃度等測定方法ガイドライン」平成 25 年 3 月／環境省 第 8 章 溶出量 8.3 分析条件及び検出下限値に準拠（検出下限値はセシウム 134 とセシウム 137 の合計が 10～20Bq/L）

※2 一軸圧縮強度の 18.0MN/m²（ σ_{28} ）は、一般的な無筋コンクリートの設計基準強度（一軸圧縮強度）の 18N/mm²=18.0MN/m² より設定（土木学会 コンクリート標準示方書）

4. 試験結果

4.1 事前試験

4.1.1 基本性状



溶融飛灰



溶融スラグ



高炉セメントB種

試験名	試験方法	試験結果			
		単位	溶融飛灰	溶融スラグ	高炉セメントB種※2
密度試験	JIS A 1202	g/cm ³	3.267	2.818	3.040
含水比試験	JIS A 1203	%	0.7	0.4	—
放射性Cs濃度試験	※1	Bq/kg	240,000	148	N.D
放射性Cs溶出量試験	JIS K 0058-1	Bq/L	23,000	N.D	—

※1 ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメリー

※2 高炉セメントB種の選定理由: 溶融飛灰に含まれている重金属の溶出抑制効果があるため

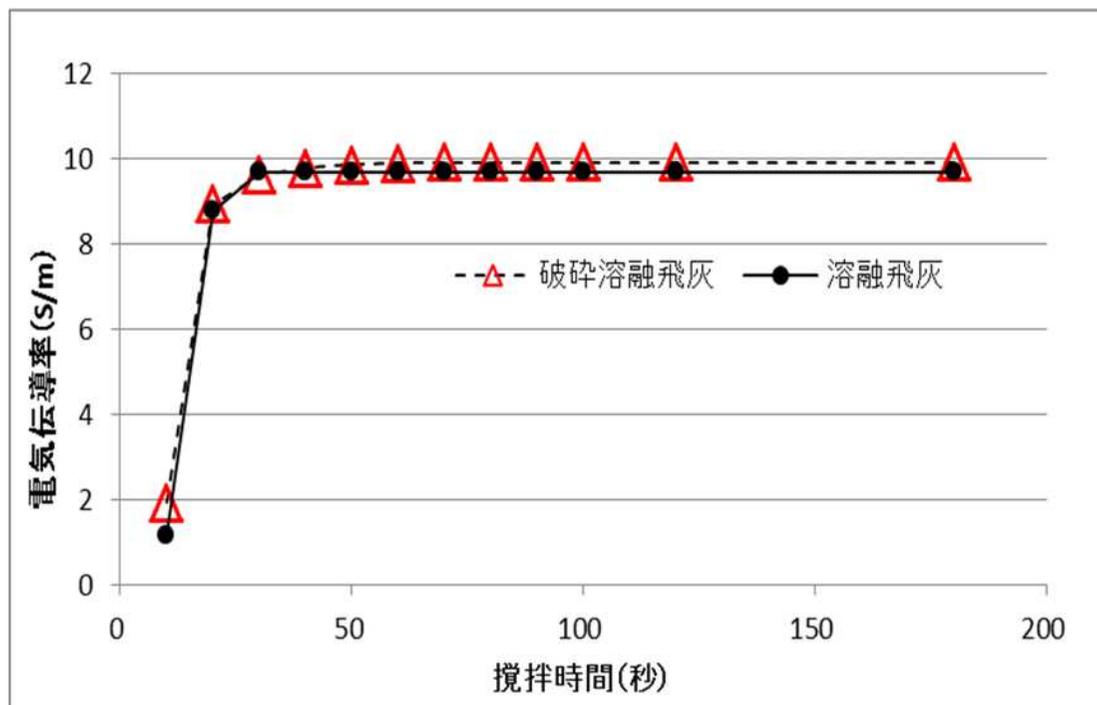
- ・ 溶融飛灰の分析結果より、亜鉛が11,000mg/kg (1.1%)、鉛が8,000mg/kg (0.8%) 含まれている

4. 試験結果

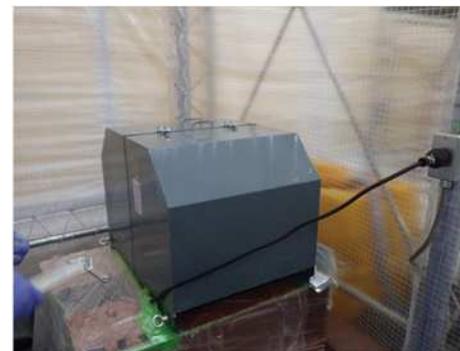
4.1.2 溶融飛灰の事前破碎要否

<結論>

- ・溶融飛灰の破碎有無(粒度調整)の効果は、もともとの粒径が小さいため確認されなかった。このため、本試験では溶融飛灰を破碎しないで試験を実施した。



溶融飛灰の事前破碎要否の関係



溶融飛灰の破碎状況



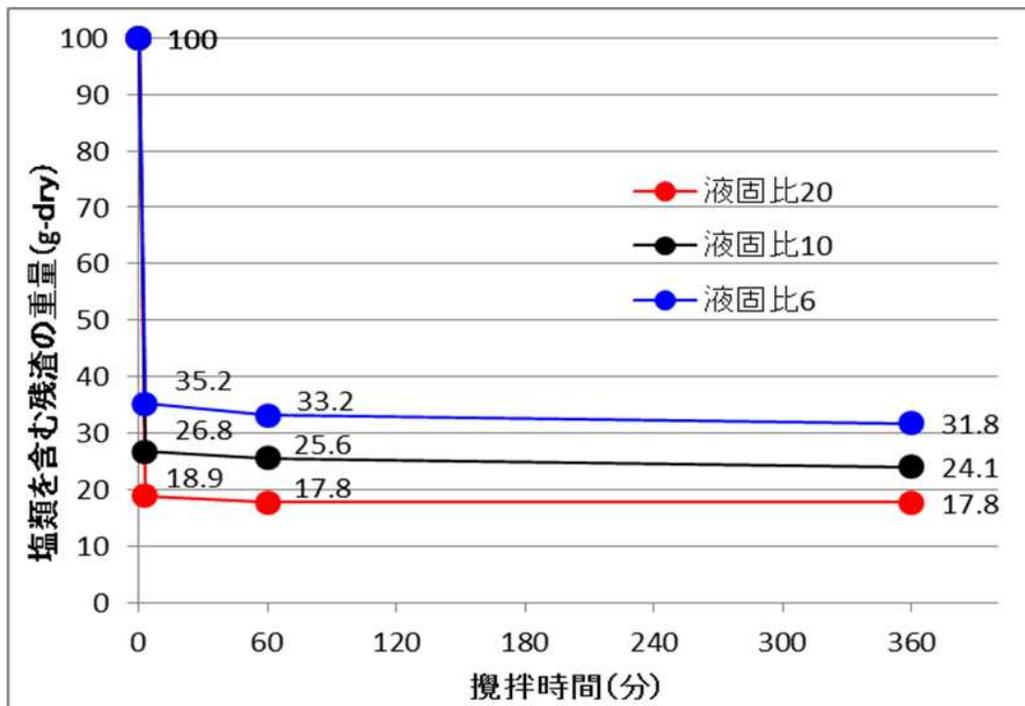
電気伝導率測定状況

4. 試験結果

4.1.3 溶媒の液固比と攪拌時間

<結論>

- ・液固比を高くすることが洗浄残渣の放射性Csの低減化に有効であるが、使用水量(水処理量)の削減のためには、より低い液固比にリンスを組み合わせることにより高液固比と同等の効果を得る方法を見いだす必要がある。



溶媒の液固比と攪拌時間の試験状況

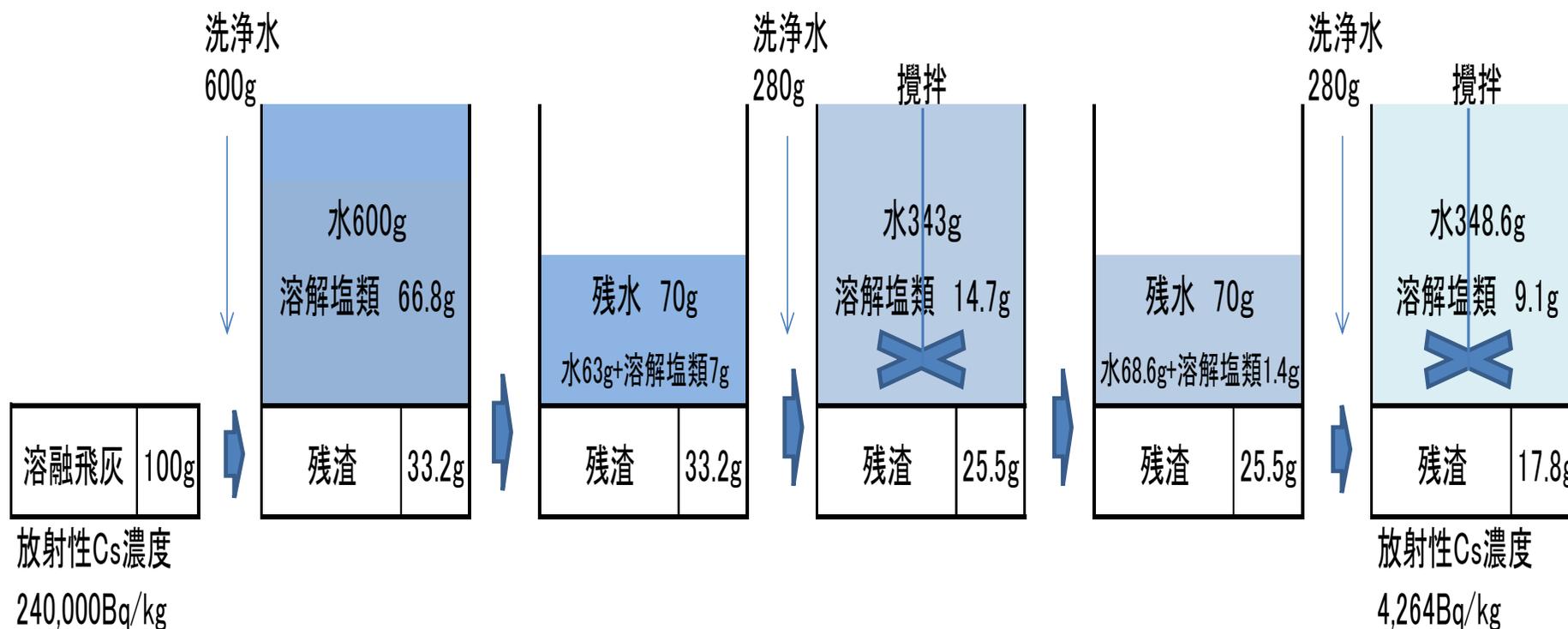
液固比ごとの塩類を含む残渣の重量と攪拌時間の関係

4. 試験結果

4.1.5 リンス効果

＜結論＞

液固比6+リンス(合計の液固比12)にて、前述の液固比20のケースを下回る
 残渣の放射性Cs濃度4,264Bq/kgに低下させることができた。



洗淨水をカスケード利用することにより、飛灰洗淨における全洗淨水量を削減できる可能性がある。

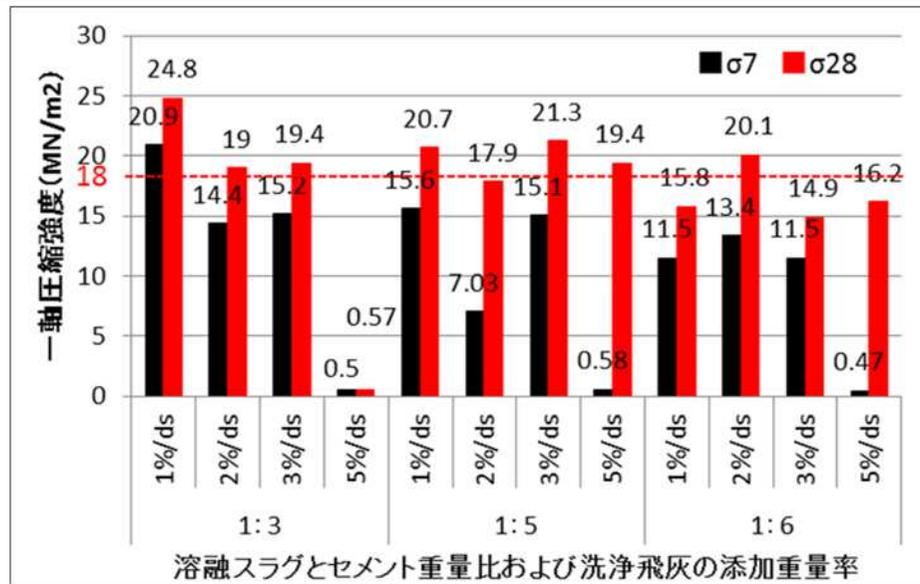
4. 試験結果

4.2 ラボスケール試験

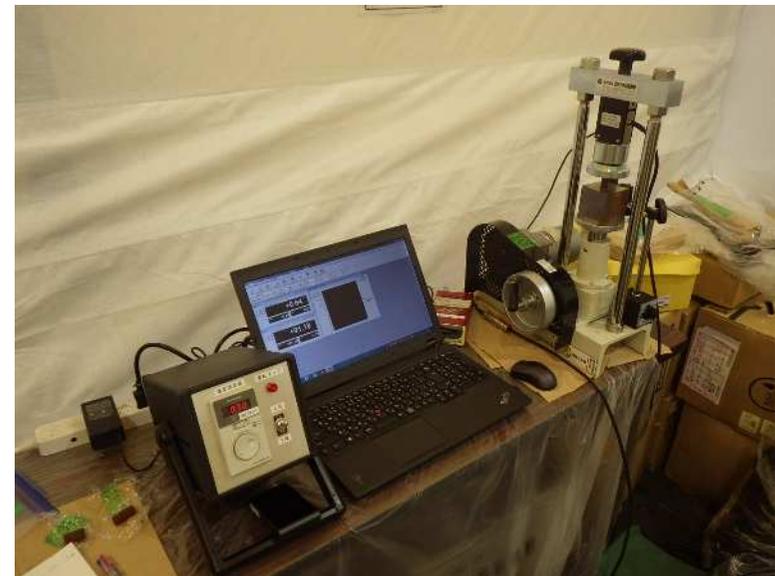
4.2.1 一軸圧縮強度試験

<結論>

- ・目標強度18MN/m²を超えた最も強度が発現した配合は溶融スラグ1:セメント3の重量比、洗浄飛灰1%/dsであった。
- ・今回試験した溶融飛灰に鉛や亜鉛の重金属が含まれており、強度発現に対して遅延効果があると考えられる。(出典:モルタルの凝結に銅化合物および亜鉛化合物が与える影響, セメント・コンクリート論文集, 68巻(2014)1号)
- ・骨材(スラグ)が少ないとセメントを多くしただけでは強度が発現しない。



一軸圧縮強度試験結果



一軸圧縮強度試験状況

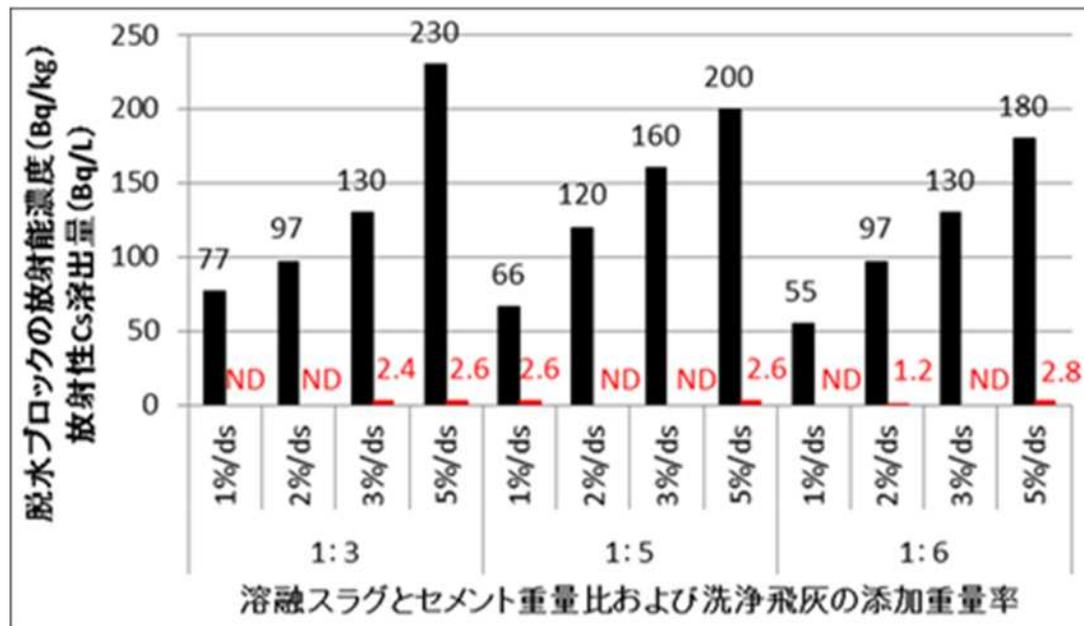
4. 試験結果

4.2 ラボスケール試験

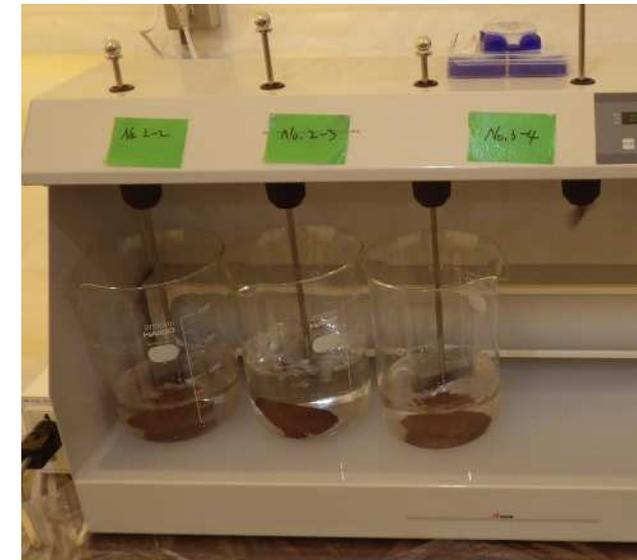
4.2.2 放射性Cs濃度と放射性Cs溶出量

<結論>

- ・高圧脱水ブロックの放射性Cs濃度は、飛灰の添加量が少ないこともあり、全てのケースにおいて8,000Bq/kg以下となった。
- ・高圧脱水ブロックの放射性Cs溶出量は、溶融飛灰の添加率がより少ない方がNDの傾向になった。



放射性Cs濃度と放射性Cs溶出量



放射性Cs溶出試験(6時間攪拌)

4. 試験結果

4.2 ラボスケール試験

4.2.3 ラボスケール試験のまとめ

- ・施工性: 高圧脱水ブロックの型枠脱枠に必要な強度は5MN/m²であり、初期強度が発現されない場合、ブロック製作工程に支障を与える
- ・経済性: 単位質量当りのセメント重量が少ない方が安価に高圧脱水ブロックを製作できる
- ・再生利用: 単位質量当りの溶融スラグと洗浄飛灰の混合率が多いほど、再生利用面で有利になる

<結論>

- ・試験目標を満足する配合の内、施工性・経済性・再生利用を考慮すると、溶融スラグ1:セメント3、洗浄飛灰の添加率3%のケースが最も適していると判断できる。

試験目標

- ①高圧脱水ブロックの材令28日の一軸圧縮強度が18.0MN/m²以上であること
- ②高圧脱水ブロックの放射性Cs濃度が8,000Bq/kg以下であること
- ③高圧脱水ブロックから放射性Csが溶出しないこと(10~20Bq/L未満)

溶融スラグ:セメント=1:3、溶融飛灰添加率3%の高圧脱水ブロック1.0.m³の内訳

項目	洗浄飛灰	溶融スラグ	セメント	水	合計
容量(m ³)	0.018	0.149	0.403	0.430	1.000
質量(t)	0.049	0.409	1.227	0.430	2.115

6. コスト比較

6.1 飛灰10万t処理するためのトータルコスト

想定条件

- ・飛灰処理量: 30t/日
- ・溶融飛灰10万トンを10年で処理(年稼働日数333日)
- ・飛灰洗浄総合液固比: 12
- ・建設費: 土地費用は含まない
- ・高圧脱水ブロック製作機は、1台で1日当り42m³/日の製作。全4機を配置
- ・洗浄水は吸着工程で重金属処理と放射性Cs吸着処理を行い河川に放流する。吸着工程では、施設を全6系列とし、1系列当りの溶融飛灰の処理量は、5t/日、10年間で1,667tを処理

各作業工程における人員構成

作業工程	人員構成	人工/日
飛灰洗浄工程	土木一般世話役	1
	普通作業員	6
	放射線管理者	1
高圧脱水ブロック製作工程	土木一般世話役	2
	普通作業員	8
吸着工程	土木一般世話役	1
	普通作業員	6
	放射線管理者	1

飛灰10万tから高圧脱水ブロックを製作するためのトータルコスト

作業工程	費目	金額 (百万円)	トータルコスト (百万円)
飛灰洗浄工程	設備費(建設費含む)	2,253	7,363
	ランニング費	2,684	
	メンテナンス費	225	
	人件費	2,200	
高圧脱水ブロック製作工程	設備費(建設費含む)	6,118	20,997
	ランニング費	13,300	
	メンテナンス費	612	
吸着工程	設備費(建設費含む)	21,000	57,448
	ランニング費	34,038	
	メンテナンス費	210	
	人件費	2,200	
		合計	85,808

- ・溶融飛灰1t当りの洗浄コスト: 73,627円/t
- ・高圧脱水ブロック製作コスト: 57,802円/m³
- ・溶融飛灰1t当りの吸着コスト: 574,484円/t

7. まとめと今後の課題

7.1 まとめ

① 溶融飛灰の洗浄

初期放射性Cs濃度が240,000Bq/kgである溶融飛灰を洗浄とリンスを組み合わせることで、液固比12で残渣の放射性Cs濃度を4,264Bq/kgまで低減させることができた。これは液固比20のケースよりの残渣の放射性Cs濃度が低い。

② 高圧脱水ブロック

溶融飛灰に含まれる亜鉛などのセメント固化を阻害する物質の存在により、ブロック1.0m³に含まれる飛灰の混合率は3%程度と低くなったが、その限られた配合の中で目標(強度・放射性Cs濃度・放射性Cs溶出量)を満足できる配合を定めることができた。

7.2 今後の課題

セメント固化を遅延させる亜鉛や鉛などの重金属に対して、キレート剤などを混合させ、洗浄飛灰の添加率を向上させる対策が必要と考える。