

令和2年度開始 2020～2021年度経済産業省補助事業
廃炉・汚染水対策事業費補助金
「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
(スラリーの低温固化処理に関する研究開発)」

一般財団法人電力中央研究所

2023年01月31日

 電力中央研究所

目次

P.3~21

1. 研究概要

P.22~68

2. 均質固化に関する研究

P.69~104

3. 充填固化に関する研究

1. 研究概要

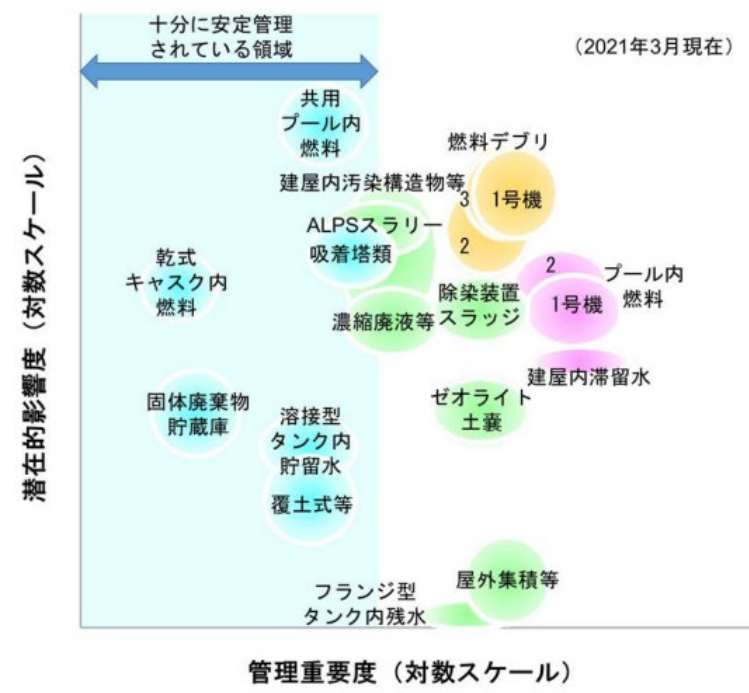
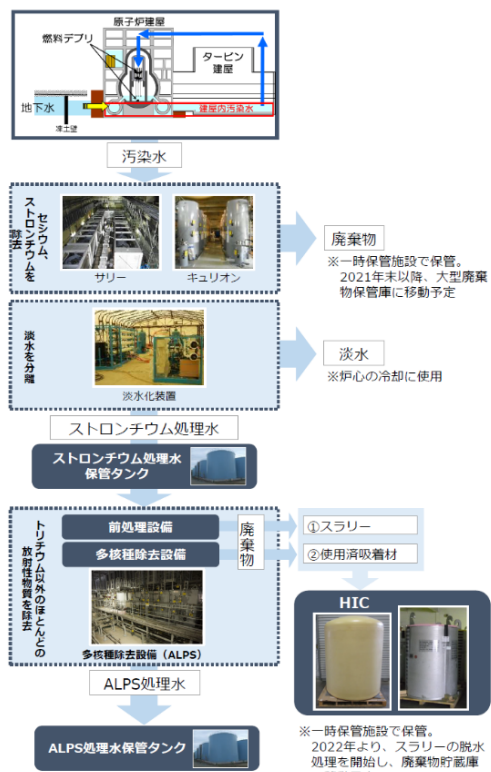
P.3~21

背景

東京電力福島第一原子力発電所における各種汚染水処理二次廃棄物

汚染水の処理では、二次廃棄物としてスラリー状の廃棄物が発生し、高性能容器(HIC*)に保管されている。それらは多核種除去設備ALPSに由来するため、ALPSスラリーと呼ばれる。

潜在的影響度は比較的高い分類に属し、管理重要度の観点からは十分に安全管理されている状況と管理できていない状況の境にある。



出典: 資源エネルギー庁HP
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyosensuitaisaku_slurry.html

出典: 経済産業省
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/osensuiyori/2022/25_06.pdf

*High Integrity Containerの略称。「高保全容器」とも呼ばれる。

背景

ALPSスラリーの性状と発生状況

様々な汚染水処理二次廃棄物の中でもALPSスラリーは多量(数千m³)に存在するものである。ALPSスラリーは水を多量に含んだ状態であるため、漏洩リスクが高く、制御しやすくするために固型化の必要性がある。

↓2018/05/02集約の発生量。ただし、HIC容量を2.61m³として計算。

廃棄物名称	発生源(別称)	内容物(主成分)	代表的な核種と濃度	発生量	貯蔵形態・保管場所
HICスラリー	既設 多核種除去設備	鉄共沈スラリー: IS 75%がFeO(OH)・H ₂ O	⁹⁰ Sr 約1 × 10 ⁸ Bq/cm ³	HIC386基 1008m ³	高性能容器(HIC)・ セシウム吸着塔一時 保管施設 (第二施設、第三施設)
		増設 多核種除去設備	炭酸塩スラリー: CS CaCO ₃ とMgCO ₃ が主成分 (比は原水の成分に依存)	⁹⁰ Sr 約4 × 10 ⁷ Bq/cm ³	
	HIC1121基 2926m ³				
濃縮廃液等	蒸発濃縮装置 (エバポ)	炭酸塩スラリー: CS CaMg(CO ₃) ₂ が主成分	⁹⁰ Sr 約1 × 10 ⁷ Bq/cm ³	68m ³	横置きタンク(完成型)・ H2西

ALPSスラリー系
(エバポ廃棄物も
成分はALPS系と
同様。)



炭酸塩スラリー



鉄共沈スラリー

スラリー状(含水率90vol.%以上*)

- ・水の漏洩リスクがある。
- ・放射線によるHIC劣化のリスクがある。

背景

ALPSスラリーの安定化処理計画

ALPSスラリーが漏洩するリスクを低減するために、スラリーをフィルタープレスで脱水してから容器に収納して保管する事が計画されている。



図 脱水処理と保管の工程

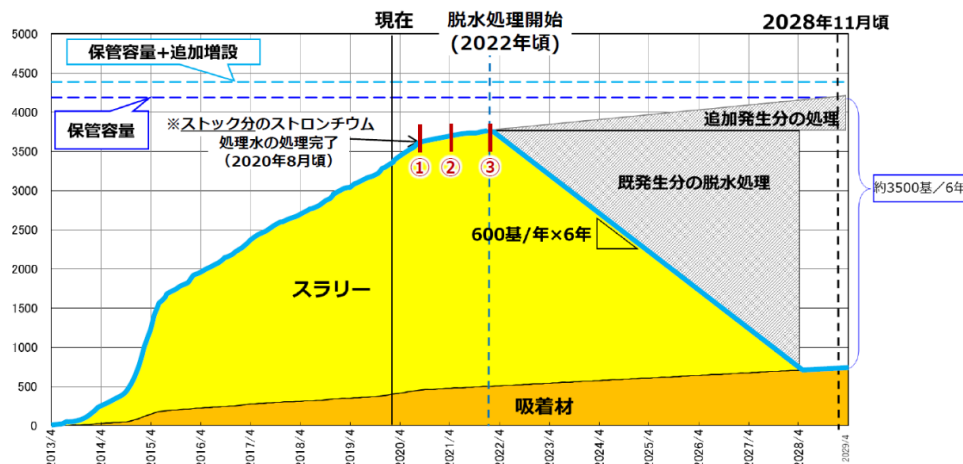


図 ALPSスラリーに対する安定化処理計画(2020年初時の予定)

背景

ALPSスラリーの処理に関する検討



- 処理実績が無い廃棄物
- 各固化技術の適用性評価が必要

候補固化技術(運転廃棄物に対する実績あり)

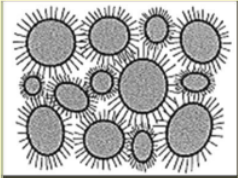
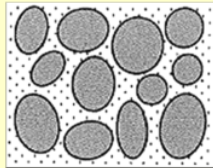
大分類	
低温系	セメント固化
	AAM固化 注)
高温系	ガラス固化
	熔融固化

■ IRID「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」などにおいて適用性評価に必要となるデータの取得・整理を実施中

注) AAM: Si-Al系粉体とアルカリ溶液から成る材料。ジオポリマーとも呼ぶ。

背景

低温固化処理の概要

	セメント固化	AAM固化
放射性廃棄物の固化実績	国内外多数 (低レベル放射性廃棄物)	チェコ、スロバキアで実績あり (低レベル放射性廃棄物)
主な原材料	セメント 水	Si-Al系粉体(メタカオリンや高炉スラグなど) アルカリ水溶液(NaOHとケイ酸ナトリウムの混合溶液が一般的)
反応/ 組織イメージ	<p>水和反応</p> <ul style="list-style-type: none"> セメントが水と反応し、セメント粒子表面で水和物が析出。 析出した水和物で粒子が絡み合う構造。 間隙水が高pH化、廃棄物に作用する可能性。 	<p>縮重合反応</p> <ul style="list-style-type: none"> アルカリ水溶液によってAl, Siが溶解。液中でNa, Al, Siが縮合。 生成したゲルで固まった構造。 間隙水が高pH化、廃棄物に作用する可能性。 
生成物	Ca-Si-H ₂ O系が主な生成物 (非晶質のケイ酸カルシウム水和物(C-S-Hゲル) 他にCa(OH) ₂ など	Na-Al-Si-H ₂ O系ゲルが主な生成物

固化処理において固化反応を担う粉体は「母材」と呼ばれる。

セメント固化ではセメントが母材であり、AAM固化ではSi-Al系粉体が母材である。

本研究のセメント固化では、最も一般的な種類である「普通ポルトランドセメント(OPC)」を母材として使用した。

AAM固化では、2種類の母材を用いた。

一つはメタカオリンのみで構成されたメタカオリン率100mass%の粉体であり、「M100%母材」と呼ぶ。

もう一つはメタカオリンと高炉スラグを60:40の質量比で含む粉体であり、「M60%+BFS40%母材」と呼ぶ。

背景

低温固化処理の方法(均質固化と充填固化)

ALPSスラリー廃棄物の固化処理には2つの方法があり、廃棄物の形態によって分けられる。

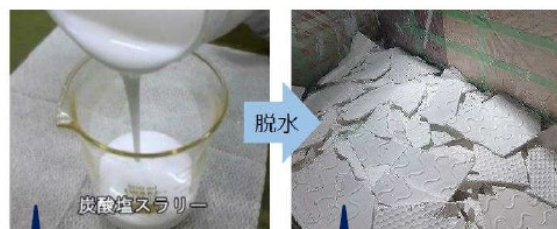
廃棄物の初期状態は含水率が高く、スラリー状である。

スラリー状態の廃棄物はフィルタープレスで脱水し、板状・塊状になる。

板状・塊状になった廃棄物は、処理に適した大きさに解砕される必要があると考えられる。

その後、廃棄物を粉末化し、固化材料と均質に混合して固化する方式は均質固化と呼ばれる。

粉末化せずに塊状の廃棄物を容器に詰め、塊状廃棄物間の隙間を固化材料で埋める方式は充填固化と呼ばれる。



スラリー状
(含水率
90%以上)

板状・塊状

- 炭酸塩: ~15cm, 含水率約35%
- 鉄共沈: ~3cm, 含水率約50%

※ただし、上の写真は
機器・工程を模擬して作製した模擬物

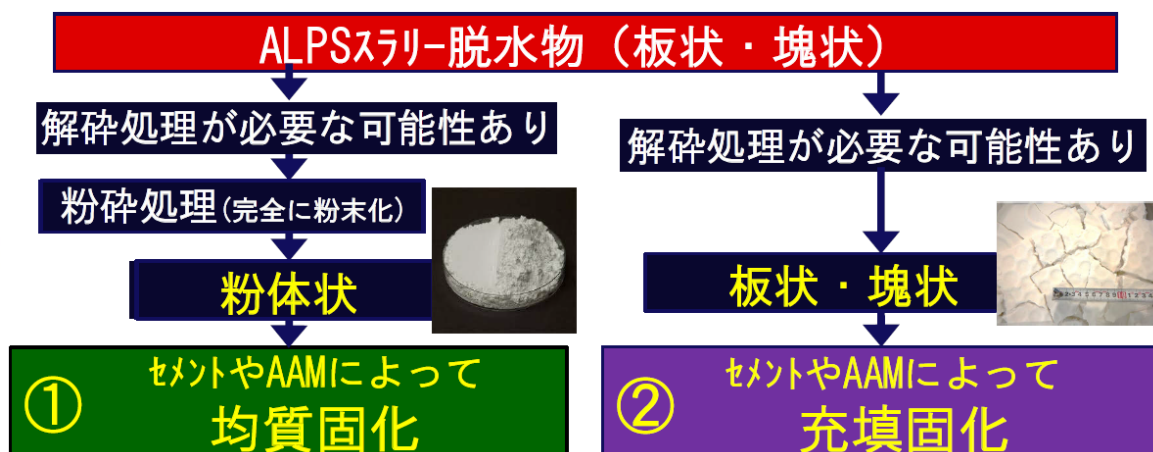
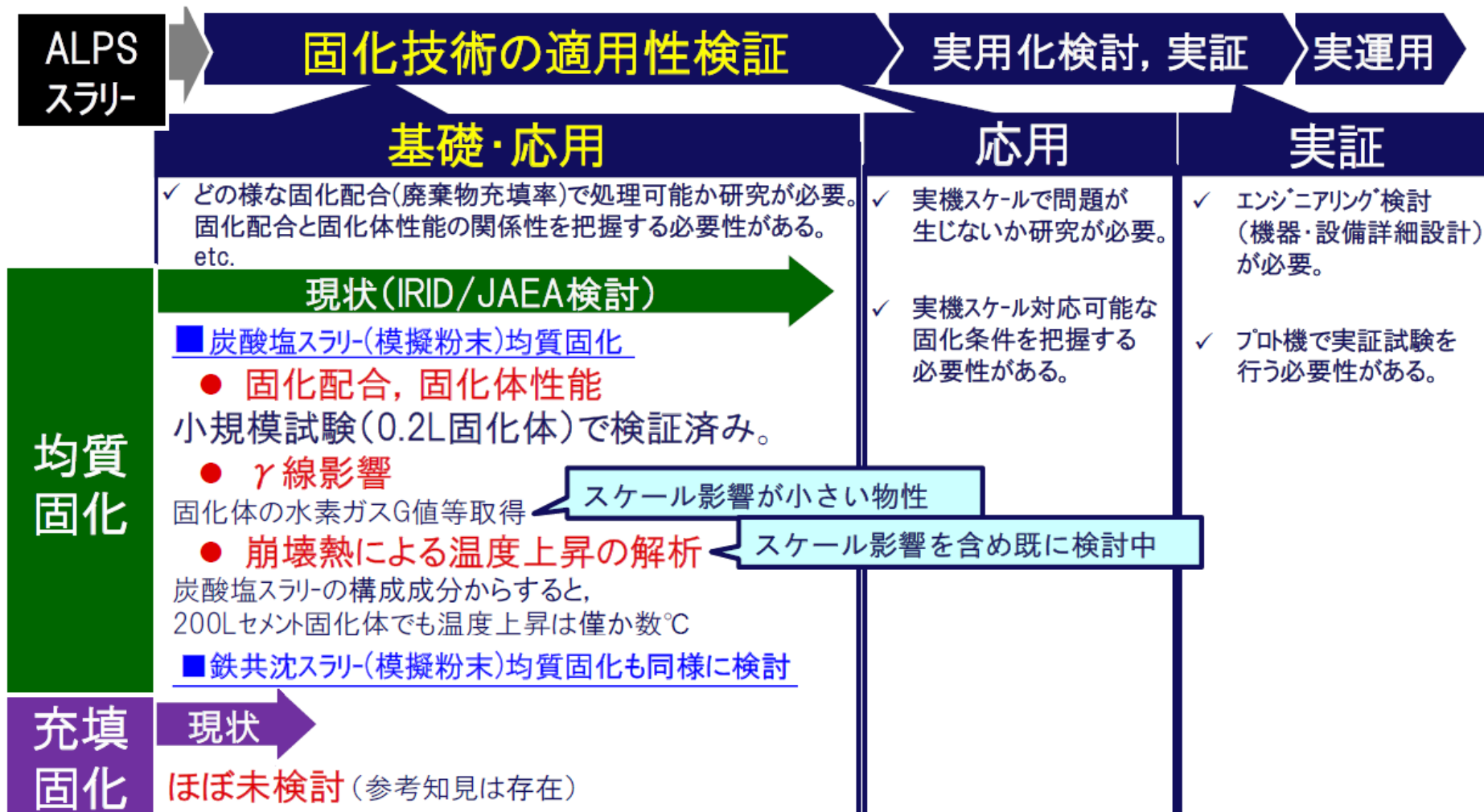


図 ALPSスラリー廃棄物の脱水前後の状態
(ただし、図の写真は非放射性的の模擬物)

図 ALPSスラリー廃棄物の固化処理方法

背景

従来の検討・研究状況

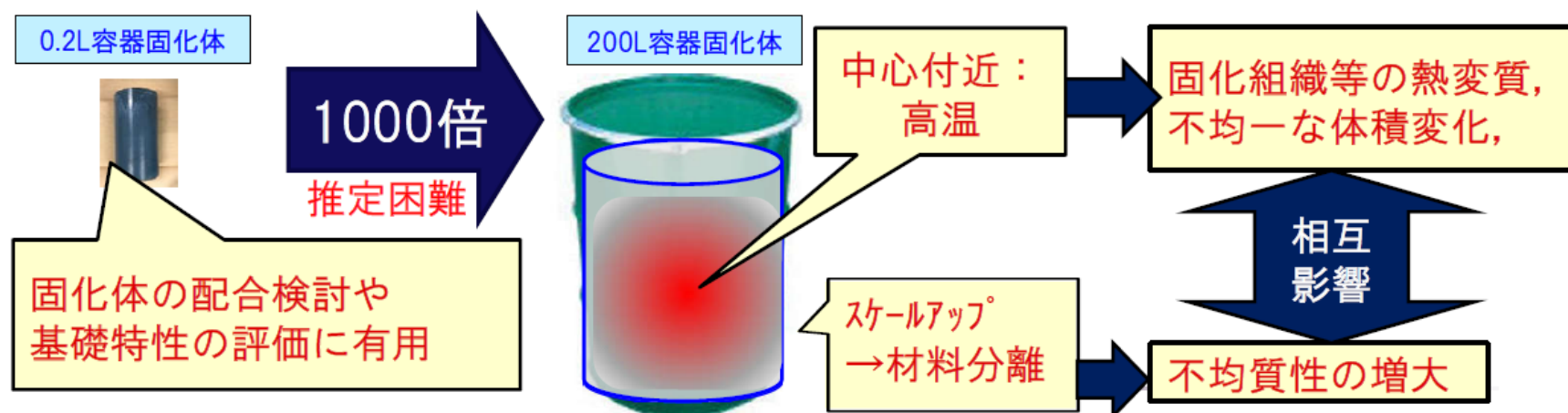


背景

均質固化の課題

スケールアップした際に生じる問題点を把握し、
スケールアップ可能な固化条件を検証する必要性がある。

- 現状：小規模試験（0.2L固化体）
 - 実際：200Lドラム缶等⇒必要なスケールアップ：体積1000倍以上
 - 固化反応熱による温度上昇・温度分布の発生に伴い
固化組織の熱変質や均質性の変化が発生し、固化体特性も変化。
しかし、小規模試験からの推測は難しい。
 - 特にAAMは、スケールアップ影響の知見が少ない。



背景

充填固化の課題

ALPSスラリー塊状脱水物の充填固化処理で生じる現象・問題を把握し、適用性を検証する必要性

- 現状：充填固化試験は未検討
- 充填固化特性に影響する要因を把握する必要性
 - 要因：スラリー塊状脱水物の種類・サイズ・含水状態，
充填材特性（種類，流動性） etc.

炭酸塩スラリー



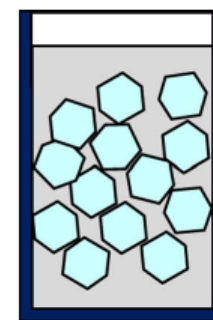
鉄共沈スラリー



充填材



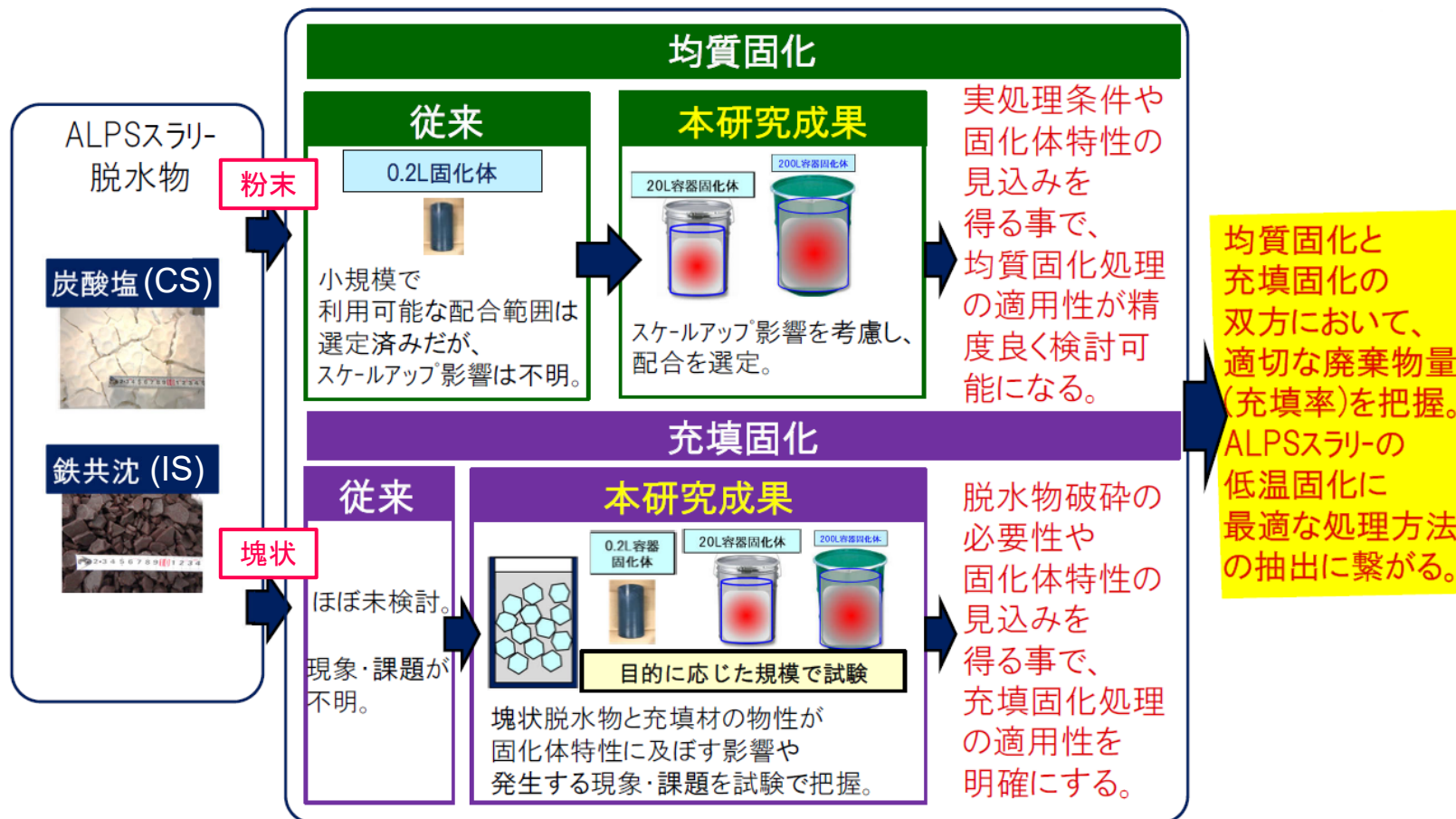
充填固化体



- フィルタープレスで作製した塊状脱水物
 - ：炭酸塩は～15cm角，
 - ：鉄共沈は～5cm角。詳細後述。
- 保管中に乾燥する可能性
- セメント，AAM（砂を含むモルタル）
- 配合によって流動性などに差異
- 強度，空隙の残存（未充填部）などが変化

本研究の試験計画

炭酸塩スラリー(CS)と鉄共沈スラリー(IS)、均質固化と充填固化



なお、本来「スラリー」とは含水率が高い「泥漿」を指しており、CSとISの「S」はスラリーを意味する。したがって、脱水されて固体状態になった廃棄物を「CS」や「IS」と呼ぶ事は本来不自然な呼称だが、本分野では固体状態の廃棄物も「スラリー」「CS」「IS」と呼称する事が一般的な傾向であるため、本研究では含水状態や脱水の度合いに拘らず「CS」「IS」と表記する。

本研究の概要

配合例(配合と用語の対応)

母材(固化体に含まれている「固化に携わる粉体」を母材と呼ぶ。廃棄物や細骨材は固化能力が無いため母材ではない。)

↓数字はmass%を示す。

OPC	60	H ₂ O	40	OPCペースト(粉体と液体が均質に混合された材料を「ペースト」と呼ぶ。)		
OPC	40	H ₂ O	18	35vol.% 珪砂5号	42	OPCモルタル(珪砂=細骨材が混合されると「モルタル」になる。細骨材についてはvol.%も表示。)
OPC	30	CS	30	H ₂ O	40	均質OPC+CS } (均質に混合されているため「ペースト」に分類されるが明示しない。)
OPC	47	IS	20	H ₂ O	33	

メタカオリン100%母材

↓H₂O中に溶解しているケイ酸とNaの濃度[mol/L]。

M	45	H ₂ O	39	(Si,Na)=(3.5, 7.0)	M系AAMペースト(「M100%母材」を用いたAAM)
---	----	------------------	----	--------------------	-----------------------------

母材 AAM液相(AAM混練溶液)

M	27	BFS	18	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 8.0)	M+BFS系AAMペースト (MとBFSを60:40の質量比で含む「M60%+BFS40%母材」)
---	----	-----	----	------------------	----	--------------------	---------------------------------------------------

メタカオリン60%+スラグ40%母材

他の補助事業*において有用性が示されている。↑

M	8	BFS	6	H ₂ O	26	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	35vol.% 珪砂5号	49	M+BFS系AAMモルタル
M	12	CS	30	H ₂ O	42	(Si,Na)=(3.5, 5.25)			均質M+CS
M	21	IS	20	H ₂ O	40	(Si,Na)=(4.0, 8.0)			均質M+IS
M	12	BFS	8	CS	30	H ₂ O	35	(Si,Na)=(3.5, 7.0)	均質M+BFS+CS
M	15	BFS	10	IS	20	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 8.0)	均質M+BFS+IS

(均質に混合されているため「ペースト」に分類されるが明示しない。)

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28	充填OPC+CS湿(ペースト+塊状廃棄物と見做せる。「CS湿」と「CS乾」の2通りがある。)			
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25	充填OPC+IS乾(「IS湿」と「IS乾」の2通りがある。)			
M	11	BFS	7	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30	充填AAM+CS乾(充填固化ではM+BFS系のみ検討したので、AAMとさえ表記すれば十分。)
M	10	BFS	7	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37	充填AAM+IS湿

メタカオリン: M、スラグ微粉末: BFS(Blast furnace slag)と表記する。
 AAMの液相(混練溶液)は、ケイ酸ナトリウムとNaOHの水溶液である。ケイ酸ナトリウム水溶液は「水ガラス」と呼ばれる。
 本研究では、水ガラスにNaOHaqを加えてAAM混練溶液を調整した。水ガラスは1号・2号・3号がJIS規格に存在し、ケイ酸ナトリウム濃度が異なる。
 1号は濃度が高く、高粘度で取り扱いが困難である。特に、NaOHaqとの混合に多大な時間がかかる(中規模20L固化体用の液相作製で約1週間)。
 3号は濃度が低く、低粘度で扱いは容易である。本研究では、中・実規模の固化体を作製する際の作業性を考慮して小・中・実規模全てで3号を用いた。
 なお、1号と3号を用いて同じ組成となるように小規模固化体を幾つか作製して比較したが、実験結果に明白な差は無かった。

本研究で使用した模擬廃棄物 CSとIS

内容

2種類のCSを使用。

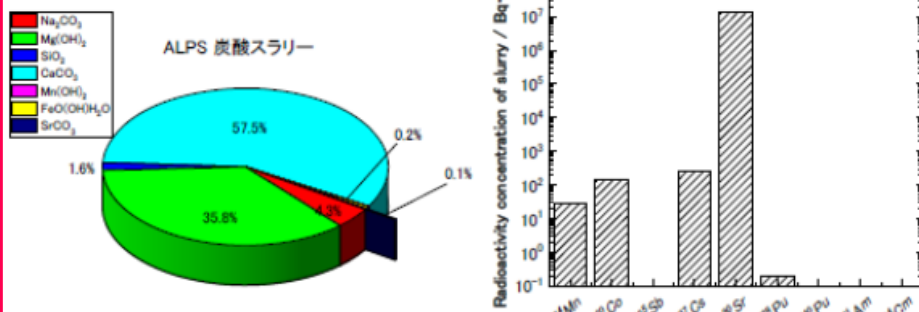
① ALPS-CSの製造工程を模擬して作製した「工程模擬CS」*。

フィルタープレス→乾燥→粉砕→粉末化したものを均質OPC+CS、均質M+CSで使用。
フィルタープレス→解砕→塊状のままのものを充填OPC+CS、充填AAM+CSで使用。

② ALPS-CSの組成を参考に市販の薬品を調合して作製した「純薬調合CS」。

均質M+BFS+CSで使用。

既設ALPSの炭酸沈殿物の分析結果 (JAEA)



ALPS-CSの組成は

CaCO₃ : Na₂CO₃ : Mg(OH)₂ = 57.5 : 4.3 : 35.8[mass%]。
その他が2.4%。

CaCO₃はアルカリ下で比較的不活性だが、
Na₂CO₃とMg(OH)₂は反応性が良く知られていない。

純薬調合CSでは、Na₂CO₃とMg(OH)₂の量を
ALPS-CSよりも多くする方が保守的と考えられる。

したがって、純薬調合CSの組成は

CaCO₃ : Na₂CO₃ : Mg(OH)₂ = 57 : 5 : 38[mass%]とした。
(35.8+2.4=38.2→切り下げて38。4.3→切り上げて5。57=残り)

既設ALPS-ISの成分は薬品として市販されておらず、純薬調合できないため、
ALPS-ISの製造工程を模擬してALPS-ISと同様の組成を持つ模擬廃棄物を作製した。

フィルタープレス→乾燥→粉砕→粉末化したものを均質固化で使用。

フィルタープレス→解砕→塊状のままのものを充填固化で使用。

本研究で測定対象とした物性と測定方法

流動性(J14漏斗流下試験)

固化材料の性質として重要視されているものの一つが固化前の固化材料の流動性である。流動性を評価する方法として、J14漏斗流下試験は一般的な手法の一つである。漏斗底の孔を閉じてから、混練した固化材料を漏斗内に充填し、孔を開放して固化材料が流下しきるのに要する時間(J14流下時間)で流動性を評価する。



- 土木学会基準「充填モルタルの流動性試験方法(JSCE-F541)」に規定。



流下前



流下中



流下終了

流下時間が短いほど流動性は高い。(値の高低と性能の高低が逆である事に注意。)

目安=4.0s以下:高流動

なお、無限に流動性が高い流体であっても無限に速く落ちる事は不可能であるため、流動性がいくら高くても流下時間はゼロにならない。(例えば、純水のJ14流下時間は2.2sである。)

本研究で測定対象とした物性と測定方法

流動性(小フロー試験)

J14漏斗流下試験は固化材料の流動性評価において一般的な手法であるが、材料の消費量が多く、一回の試験に時間も要する。

OPC系はパラメータ(要素)が少なく、検討数も少なく済むため、J14漏斗で評価しても負担が少ない。例えば均質OPC+CSは、OPCとCSとH₂Oしか構成要素が無い。

一方、AAM系はパラメータ(要素)が多く、結果として検討数も多くなる可能性が高かった。

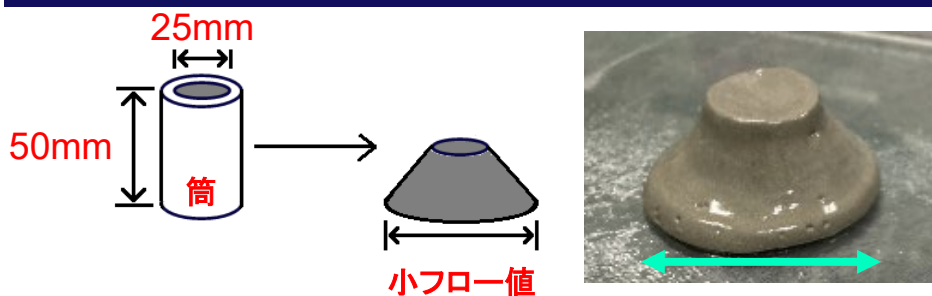
例えば、均質M+CSはMとCSとH₂Oと「H₂Oに溶解するケイ酸とナトリウムの濃度」も要素である。

さらに、OPC系は母材種類が1種類であるものの、AAM系は2種類の母材を用いている(P.8)。

そこで、他の補助事業*で使用例がある簡便・迅速な方法「小フロー試験」を用いる事にした。

大きさは異なるが同様の試験はJISに存在するため、妥当な方法である。

小フロー試験



筒内にペーストを充填した後、筒を真上に引き上げてペーストを自重で崩壊させ、広がり(小フロー値)で流動性を評価。

目安=100mm以上:高流動 体積不変のためΦ25×h50mm→Φ100×h3.1mm。直径に対して厚みが薄く、十分に流動性が高いと判断できる。

80mm程度 : 中流動

60mm以下 : 低流動

小フロー値が大きいほど流動性は高い。(値の高低と性能の高低が同じ。)

JISフロー試験



- セメントの物理試験方法(JIS R 5201)に規定。流動性評価法。
- コーンを混練物で満たし、コーンのみを上方に引き抜き、流動した混練物の直径を測定。

本研究で測定対象とした物性と測定方法

凝結性(ビカー針試験)

固化材料の性質として重要視されているものの一つが固化中の固化材料の凝結性である。固化し始めるまでの時間(始発時間)が短すぎると、混練中・処理中に固化して問題となりうる。一方、固化し終わるまでの時間(終結時間)が長すぎると、輸送可能になるまで時間を要する。混練した固化材料を容器に詰め、針を刺した時の深さなどから始発時間と終結時間を測定する。



- セメントの物理試験方法(JIS R 5201)に規定。



始発時間は、混練から60min後に測定を開始し、始発に達するかもしくは420min経過するまで測定した。混練から60min以内に固化し始めていた場合は始発時間を「60min以下」とする。混練から420min以内に固化し始めなかった場合は始発時間を「420min以上」とする。

終結時間は、混練から24h後に試験を行い、終結しているか確認する。したがって、「24h以内に終結」か「24h未終結」かだけ判定する。

本研究で測定対象とした物性と測定方法

強度(圧縮破壊試験)

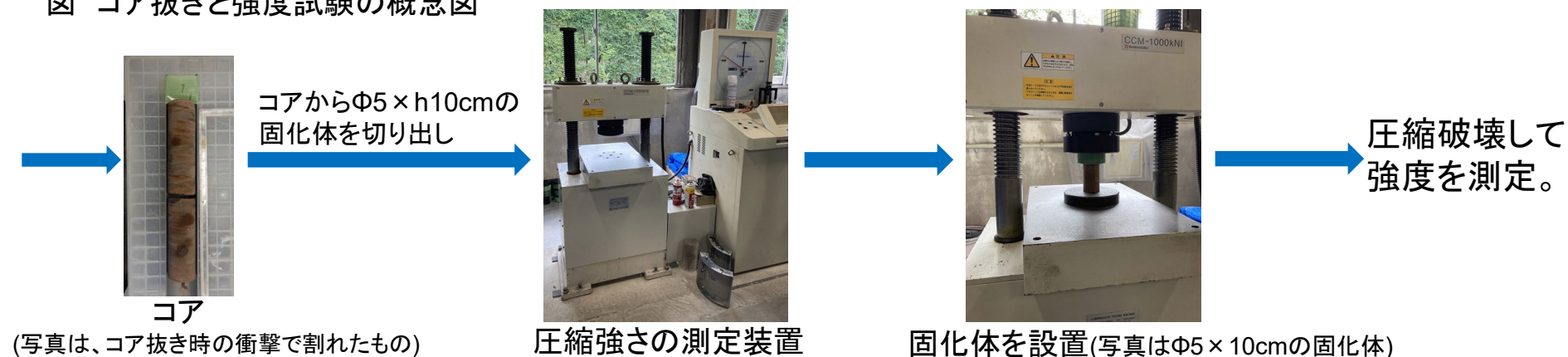
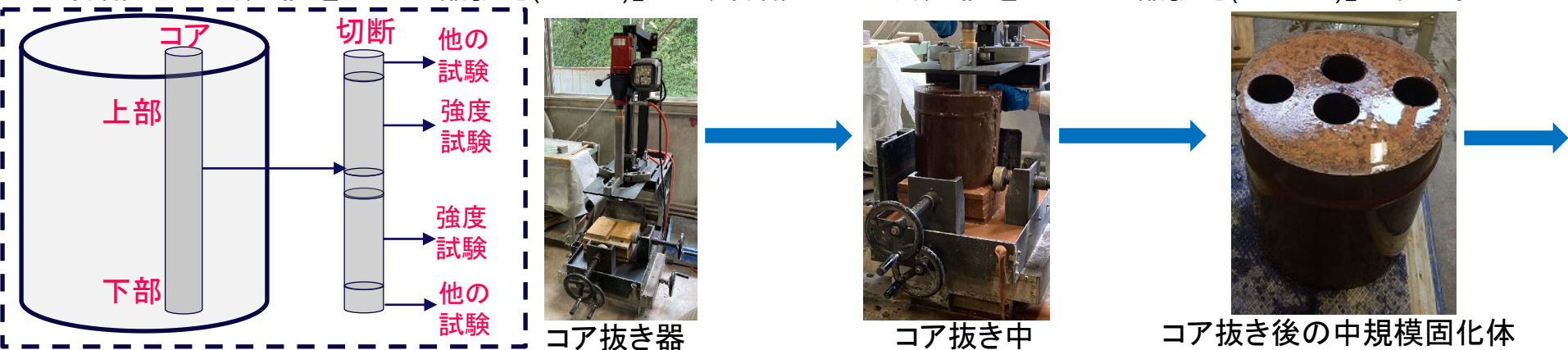
固化材料の性質として重要視されているものの一つが固化後の固化材料の強度である。

保管時の荷重に耐えるために圧縮に耐える強度が求められる。

本研究の小規模試験では、 $3.5 \times 3.5 \times 3.5$ cm固化体を作製して測定。

中規模試験と実規模試験では、固化体からコアを抜き、コアから $\Phi 5 \times h10$ cm固化体を切り出して測定。

材齢7dの測定値を「7d圧縮強さ(7d強度)」とし、材齢28dの測定値を「28d圧縮強さ(28d強度)」とする。



本研究で測定対象とした物性と測定方法

ブリーディング水量、空隙径分布と空隙量、自由水量

他に、以下の項目を分析した。

ブリーディング水量

ビニル袋使用法



- JSCE-F522
「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法(案)」に準拠。

混練した試料をビニル製の袋に流し込み、吊り下げて静置する。

混練物の上部に発生した浮き水量をブリーディング水量とする。

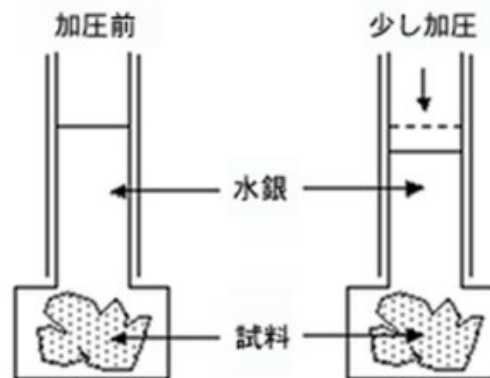
空隙径分布と空隙量(全空隙量)

水銀圧入法

固体試料中の微細な空隙の大きさと量を測定する一般的な方法。

試料を水銀中に沈め、圧力をかけると空隙に少しずつ水銀が圧入されていく。圧力から空隙径が判り、圧入量からその空隙径を持つ空隙量が判る。

全ての大きさの空隙を合計すれば、全空隙量が判る。



自由水量

105°C乾燥法

セメント固体試料中で空隙に存在する水(自由水)の量を測定する一般的な方法。

試料を105°Cの乾燥炉に入れ、乾燥によって減少した質量を自由水量とする。

本研究で測定対象とした物性と測定方法

固化体の内部温度

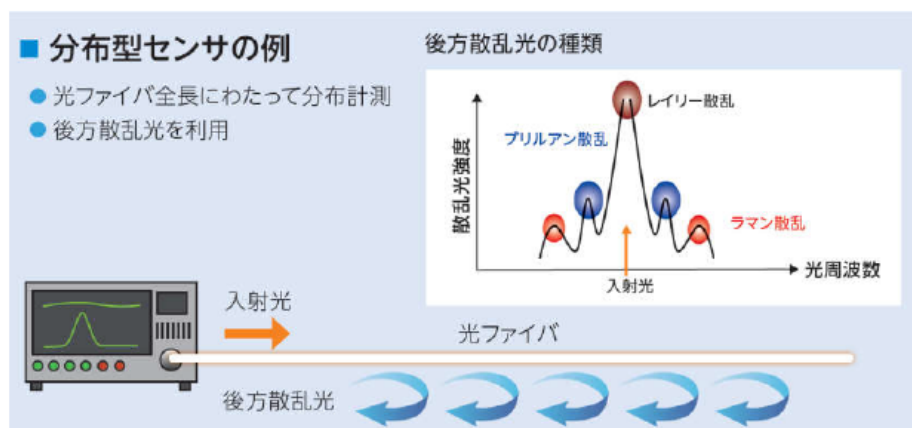
内部温度を熱電対によって測定した。(一部試料は光ファイバ法も使用して同時測定)

- 材料分離の程度によっては、固化体中心位置が最高温度ではない可能性
 - 固化体内部の温度分布情報は、固化体の熱変質を考える上で重要
- 点的・離散的な温度評価である熱電対ではなく、
線的に評価できる手法が理想的

光ファイバ：高い空間分解能で温度変化が測定可能

光ファイバによる温度測定の原理

- 外力や温度変化で光ファイバがひずむと、ひずみ位置で光の散乱性状が変化
- 後方散乱光の速度から変化位置が判り、後方散乱光のスペクトルからファイバ変形量が判る
- ファイバ変形量と温度変化の関係から、温度を評価

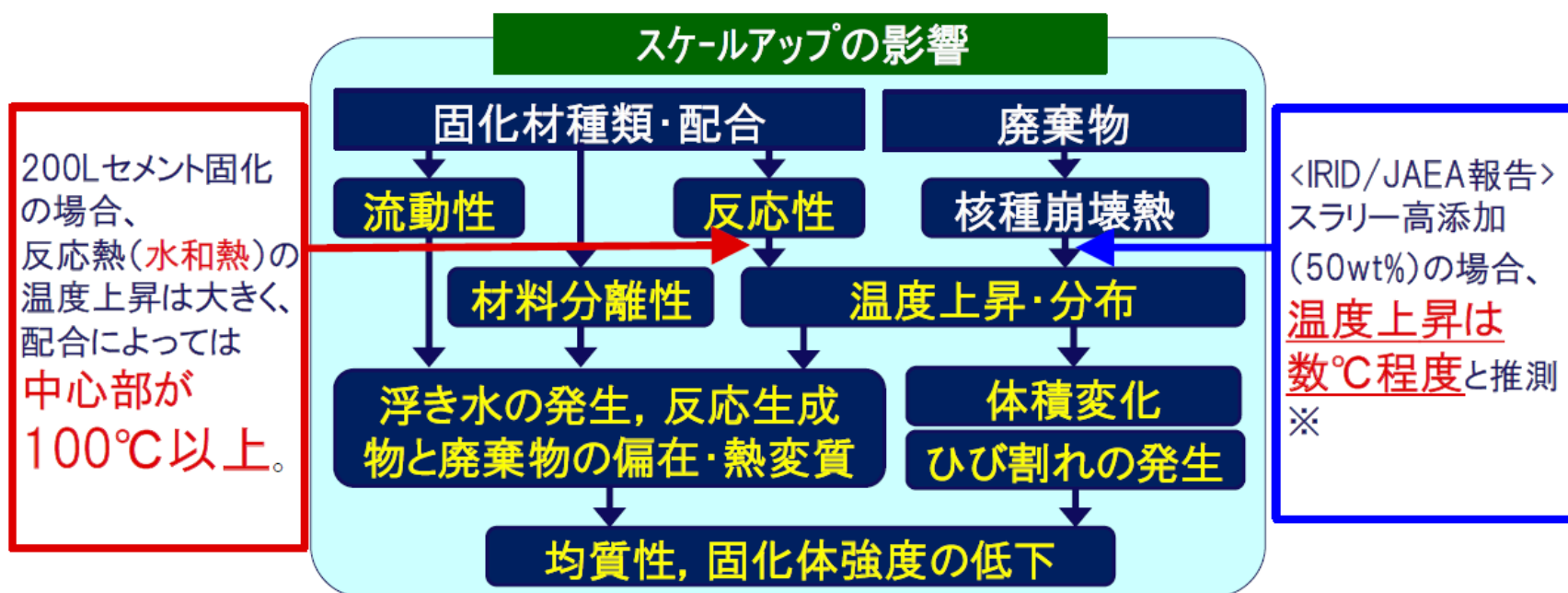


2. 均質固化に関する研究 P.22~68

均質固化

課題・問題点

- 実規模での試験実施が最善だが、固化配合を変化させて検討する上では、必要な模擬廃棄物量や労力の観点から非合理的



- スケールアップが大きく影響する現象: 固化材の反応による温度上昇, 温度分布の発生(→生成物の変質など様々な特性に影響)

※ 「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発) 平成30年度実施分成果報告」, 令和元年7月, IRID

均質固化

研究構成

① 小規模における均質固化体の作製

実規模で「適切な」均質固化体を作製可能な配合の抽出＝本研究の目標の一つ。
材料の消費量を考慮して、先ず小規模試験によって「適切な」配合を抽出する。

② 中規模20Lにおける均質固化体の作製

小規模と実規模には1000倍以上の体積差があり、乖離が著しいため比較が困難。
小規模と実規模の間に、適切な規模の「中規模」を設ける必要性がある。

①で抽出した固化材料の配合を用いて、20L均質固化体を作製する。

①と比較して、物性に対する固化体規模の影響を明らかにする。

また、反応熱と材料の均質性を検証し、固化体規模の影響を明らかにする。

③ 実規模200Lにおける均質固化体の作製

①②で「適切な」均質固化体を作製できたならば、200L均質固化体を作製する。

②と比較して、物性に対する固化体規模の影響を明らかにする。

②と同様に、反応熱と材料の均質性を検証し、固化体規模の影響を明らかにする。

なお、CSとISの一方を行えば固化体規模の影響を把握できると考えられる。

ISは比較的不活性であるため、反応性の影響がありえるCS系のみ200L試験を行う。

均質固化

評価項目と要求基準の設定

従来検討1 IRID『固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(令和2年度分)』
 従来検討2 IRID『固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(令和3年度分)』
 従来検討3 IRID『固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(平成28年度分)』
 従来検討4 IRID『固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(平成30年度分)』

「①小規模における均質固化体の作製」で測定する項目 ***従来検討において特に重要視されている3要素**

- ・流動性*: OPC系はJ14流下時間(従来検討1の「高流動」の基準に準じ、「4.0s以下」を基準とする。)
 AAM系は小フロー値(従来検討2を参考に、本研究では「100mm以上」を基準とする。)
 (AAM系は検討数が多くなる可能性が高かったため、迅速・簡便な試験で測定可能な小フロー値で評価する。)
 (なお、従来検討2では105mm以上が基準であったが、P.17に記載の様に100mmでも十分高流動と見做せる。)
 - ・凝結性*: 始発時間(従来検討1と2の基準を合わせ、「急結せず、なおかつ始発時間300min以上」を基準とする。)
 終結時間(従来検討1の基準に準じ、「24h以内に終結」を基準とする。)(発電所では1d後に蓋閉め・移送実施のため。)
 - ・強度*: OPC系は28d圧縮強さ(「5.0MPa以上」を基準とする。) AAM系は7d圧縮強さ(「5.0MPa以上」を基準とする。)
 (従来検討1と3は「7dまたは28d圧縮強さが1.47MPa以上」を最低限の基準としている。
 そこで本研究は「28d圧縮強さが1.47MPa以上」よりも保守的な「28d圧縮強さが5.0MPa以上」を基本としつつ、7dと28dで強度が殆ど変化しない傾向であるAAM系の小規模は、試験日数短縮のためにさらに保守的な「7d圧縮強さが5.0MPa以上」を基準とする。
 なお、5.0MPaという値は従来検討2と3で用いられた値を採用している。)
 - ・固化体外観: ブリーディング水(打設から3dまでに自然蒸発で消失可能な量の目安「打設から24h後に1.0vol.%以下」を基準とする。)
 (ブリーディング水が多量の際は固化体の状態が強度測定に向かない事があるため、1.0vol.%以上では強度を測定しない。)
 白華やひび割れや剥離(「全く発生しない事」を基準とする。)
- 流動性、凝結性、強度の一つでも基準を満たさない場合、
 固化体外観の観察を行わない。



←AAMの白華現象(写真:例)。
 Na_2CO_3 を主成分とする結晶が固化体から析出。

「②中規模20Lにおける均質固化体の作製」と「③実規模200Lにおける均質固化体の作製」で測定する項目

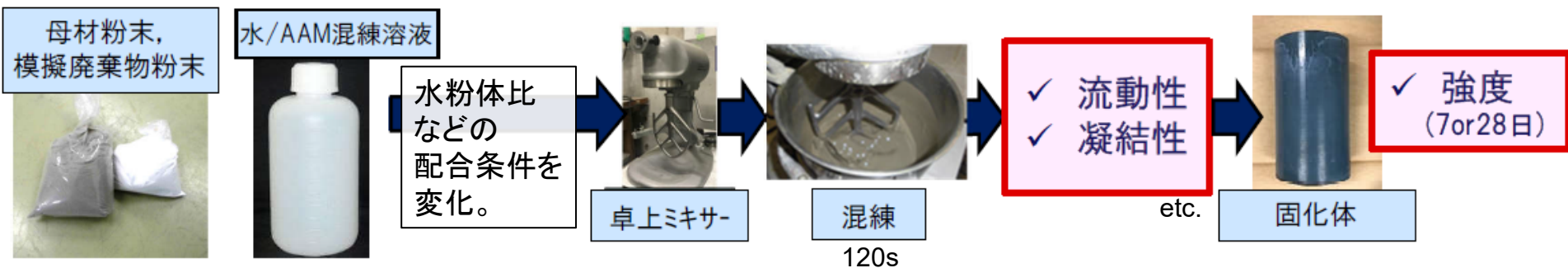
- ・強度: OPC系もAAM系も28d圧縮強さ(「5.0MPa以上」を基準とする。)(固化体の複数箇所から試料を採取して測定し、均質性も議論。)
- ・固化体外観: ブリーディング水(打設から3dまでに自然蒸発で消失可能な量の目安「打設から24h後に1.0vol.%以下」を基準とする。)
 白華やひび割れや剥離(「全く発生しない事」を基準とする。)
- ・均質性: 自由水量(固化体の複数箇所から試料を採取して測定し、均質性を議論。ただし、全ての系で測定するとは限らない。)
 内部温度(65℃以下が目安。長期間65℃以上ではセメントが変質するため測定する。本研究は短期的な発熱のため目安扱い。)
 XRD(固化体の複数箇所から試料を採取して測定し、均質性を議論。)
 空隙径分布・空隙量(固化体の複数箇所から試料を採取して測定し、均質性を議論。全ての系で測定するとは限らない。)

均質固化-①

小規模試験

内容

0.2L以下の規模で、配合を変化させながら均質固化体を作製。
 要求基準を満たす配合を探索し、中規模用に抽出する。



「①小規模における均質固化体の作製」で測定する項目と要求基準

- ・流動性: OPC系はJ14流下時間 (「4.0s以下」を基準とする。) AAM系は小フロー値 (「100mm以上」を基準とする。)
- ・凝結性: 始発時間 (「急結せず、なおかつ始発時間300min以上」を基準とする。) 終結時間 (「24h以内に終結」を基準とする。)
- ・強度: OPC系は28d圧縮強さ (「5.0MPa以上」を基準とする。) AAM系は7d圧縮強さ (「5.0MPa以上」を基準とする。)
- ・固化体外観: ブリーディング水 (「打設から24h後に1.0vol.%以下」を基準とする。)
 (ブリーディング水が多量の際は固化体の状態が強度測定に向かないことがあるため、1.0vol.%以上では強度を測定しない。)
 白華やひび割れや剥離 (「全く発生しない事」を基準とする。)

流動性、凝結性、強度の一つでも基準を満たさない場合、固化体外観の観察を行わない。

均質固化OPC-①

小規模試験(CS)

内容

OPC+CS系について**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- ・流動性
J14流下時間4s以下
- ・凝結性
始発時間300min以上+24h終結
- ・強度
28dで5MPa以上

←既往の検討もこの三要素を重視。

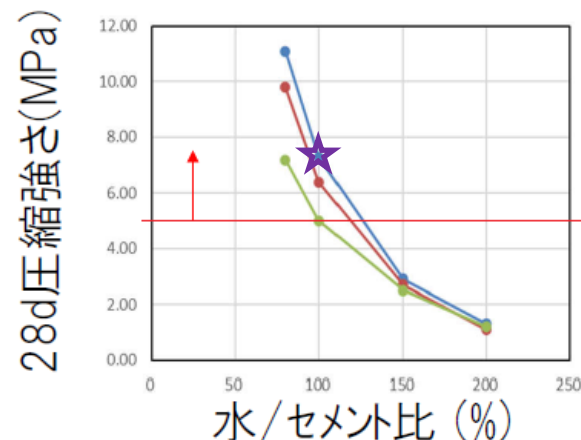
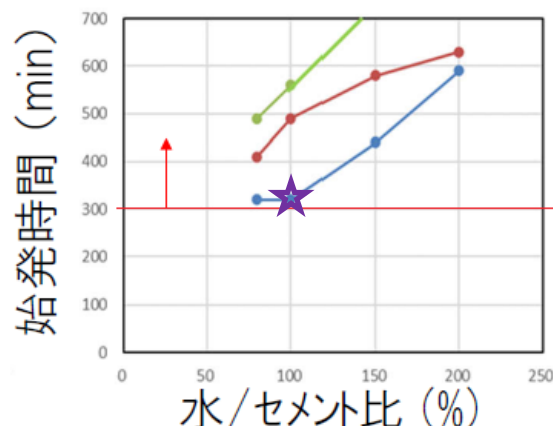
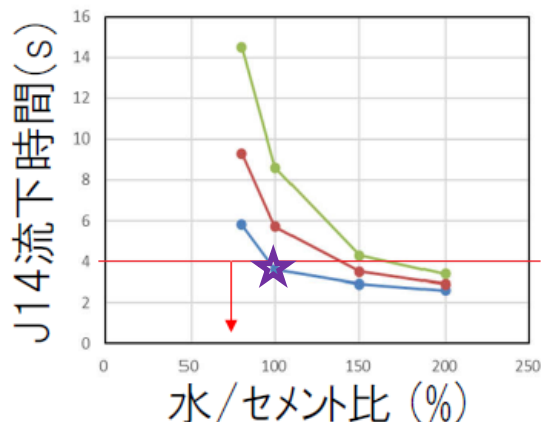
結果

配合を検討し、中規模用として1つ**抽出☆**。
(検討した配合の中で、流動性と凝結性と強度の基準を全て満たす配合は一つのみであった)

OPC+CS (「工程模擬CS」を使用)

— 充填率30% — 充填率35% — 充填率40%

なお、充填率とは
固化体中の廃棄物量[mass%]を意味する。



数字はmass%。↓

OPC 35 CS 30 H₂O 35 = ☆の配合

☆の配合(水/セメント比=100%、充填率30%)を、中規模用の配合として抽出した。

なお、抽出した配合は全て、24h以内に終結し、固化体の外観も異常は無かった。

結論

均質固化OPC-①

小規模試験(IS)

内容

OPC+IS系について**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- | | | |
|---------------------|----------------------------|-------------------|
| ・流動性
J14流下時間4s以下 | ・凝結性
始発時間300min以上+24h終結 | ・強度
28dで5MPa以上 |
|---------------------|----------------------------|-------------------|

結果

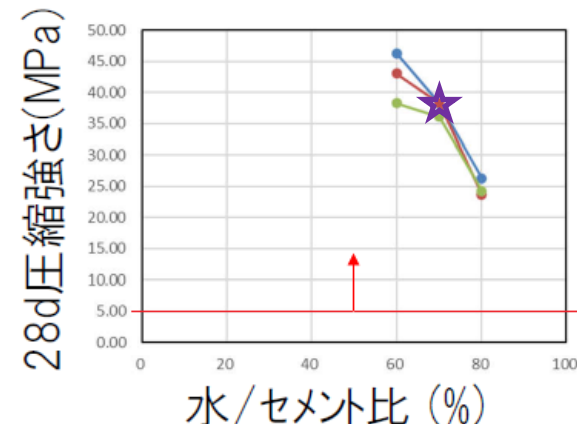
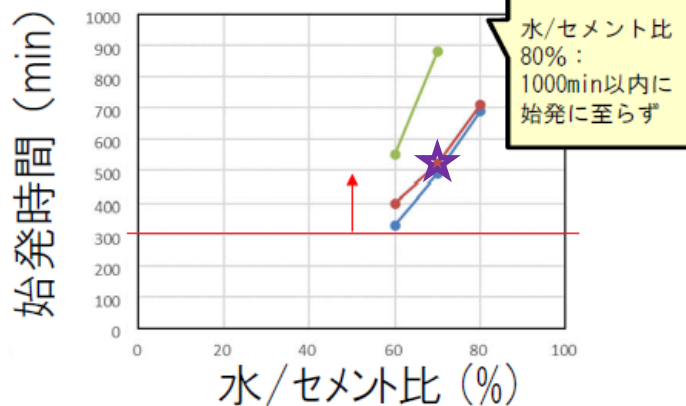
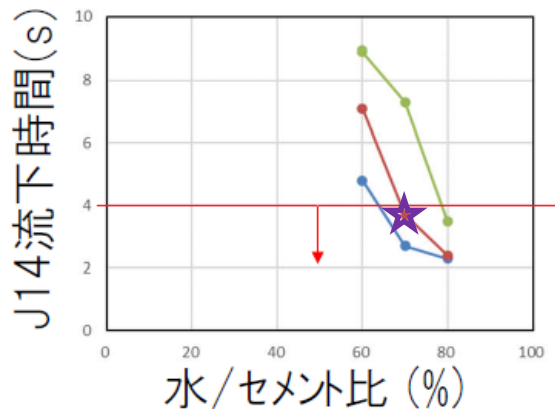
配合を検討し、中規模用として1つ**抽出☆**。

(検討した配合の中で流動性の基準を満たす配合から、水量が最も少なくIS量が最も多いものを選択)

OPC+IS

— 充填率15% — 充填率20% — 充填率25%

なお、充填率とは
固化体中の廃棄物量[mass%]を意味する。



数字はmass%。↓

OPC 47 IS 20 H₂O 33 = ☆の配合

結論

☆の配合(水/セメント比=70%、充填率20%)を、中規模用の配合として抽出した。

なお、抽出した配合は全て、24h以内に終結し、固化体の外観も異常は無かった。

均質固化OPC-①

小規模試験(まとめ)

内容

OPCを母材として廃棄物を均質固化し、**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

・流動性 J14流下時間4s以下	・凝結性 始発時間300min以上+24h終結	・強度 28dで5MPa以上
---------------------	----------------------------	-------------------

結果

配合を変化させつつ固化体の物性を測定した結果として、以下の配合を中規模用の配合として抽出した。

OPC+CS

数字はmass%。↓

OPC	35	CS	30	H ₂ O	35
J14流下時間 [s]	始発時間 [min]	終結判定	28d強度 [MPa]		
3.6	420以上	24h終結	7.6		

OPC+IS

数字はmass%。↓

OPC	47	IS	20	H ₂ O	33
J14流下時間 [s]	始発時間 [min]	終結判定	28d強度 [MPa]		
3.7	420以上	24h終結	38.5		

結論

ブリーディング水の発生や白華などは無く、固化体の外観も問題なかった。
流動性・凝結性・強度・固化体外観の要求基準が満たされる配合を抽出できた。

均質固化OPC-②

中規模20L試験

内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。固化体内部の温度測定においては、一般的な熱電対に加え、多点測定が容易な光ファイバ法も用いた。

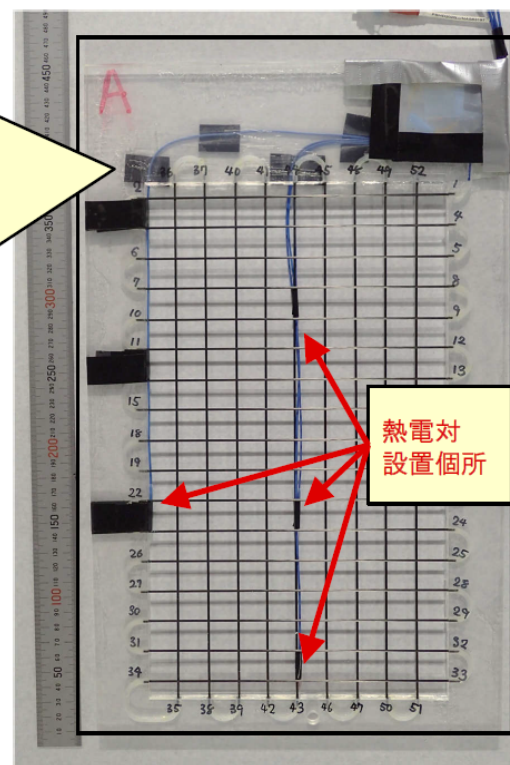
温度測定用の光ファイバ格子

光ファイバを縦横網目状に設置した樹脂製枠を作製

- 網目間隔：2cm
- ファイバに沿って、5mm間隔で温度測定
- 測定時間間隔：10分
- 代表的な位置に熱電対を設置。
光ファイバ温度測定値の妥当性を検証

※枠や固化体の体積変化の影響を排除するため、カーボンチューブにファイバを挿入

混練物が入った20L容器に光ファイバ設置枠を挿入し、温度分布・経時変化を測定した。



均質固化OPC-②

中規模20L試験

内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。



OPC+CS



ミキサー



ミキサー羽



容器



打設



• 混練直後に光ファイバ設置治具をゆっくりと挿入し、位置を固定



混練・養生環境：
20±1℃, RH60%



金属製蓋
(2分割したもの)
隙間をラップと
テープで養生

• テープ・ラップによる水分蒸発防止処置後に蓋閉め、
• 温度測定開始

混練(90秒混練→30秒掻き落とし→90秒混練:土木学会指針)

均質固化OPC-②

中規模20L試験

内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。

結果

材齢28dにおける固化体の外観を以下に示す。

↓数字はmass%。

OPC+CS		
OPC	35	CS 30
		H ₂ O 35



異常なし

↓数字はmass%。

OPC+IS		
OPC	47	IS 20
		H ₂ O 33



異常なし



異常なし



異常なし

金属缶を剥がした状態

結論

ブリーディング水の発生や白華などは無く、外観に問題が無い中規模固化体を作製できた。

均質固化OPC-②

中規模20L試験 強度

内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。材齢28dで固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(Φ5×h約30cm)を採取し、コアの上部と下部から試料を切り出して強度を測定した。

結果

OPC+CS ↓数字はmass%。

OPC	35	CS	30	H ₂ O	35
-----	----	----	----	------------------	----

28d強度 [MPa]		
平均	中心	周縁
9.6		
上	8.3	8.8
下	9.9	11.3

OPC+IS ↓数字はmass%。

OPC	47	IS	20	H ₂ O	33
-----	----	----	----	------------------	----

28d強度 [MPa]			自由水量 [mass%] (105°C乾燥による減量)		
平均	中心	周縁	平均	中心	周縁
24.2			24.9		
上	23.0	26.6	上	25.6	25.6
下	22.3	24.9	下	24.4	24.2

結論

固化体の中心部分と周縁部分や固化体の上部と下部に依らず、要求基準「28d強度=5.0MPa以上」を満たす強度が得られており、場所による差も小さいため一定の均質性が保たれている事が判る。OPC+ISは自由水量も測定したが、場所による差は殆ど見られなかった。

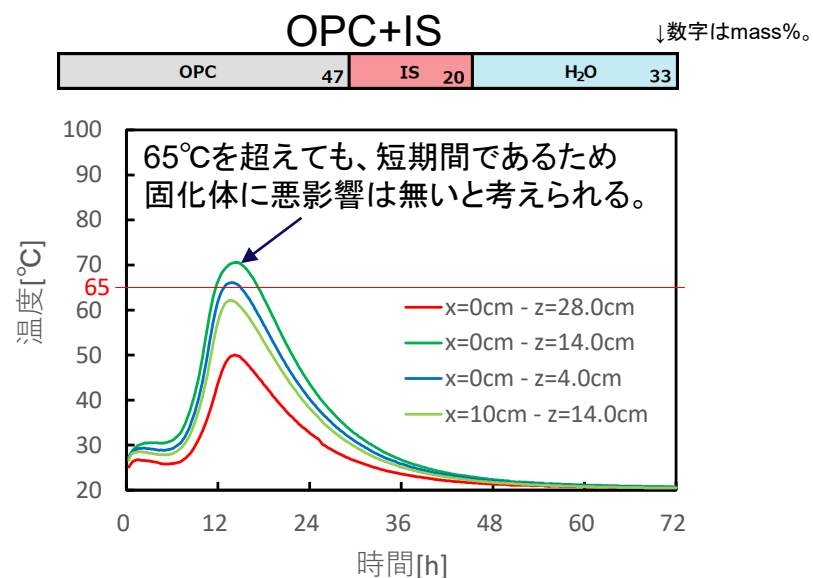
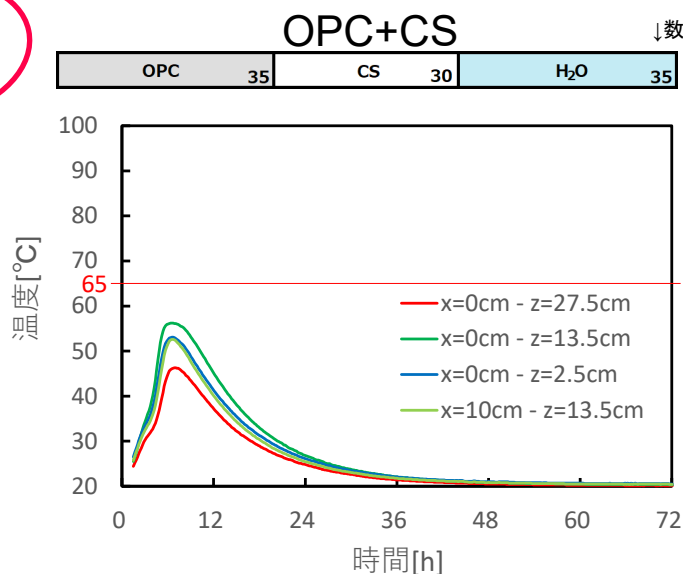
均質固化OPC-②

中規模20L試験 内部温度(熱電対)

内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。
 熱電対で内部温度を測定した。
 中心からの横距離=xcm,底からの高さ=zcm。(固化体半径=約13cm,高さ=約30cm)

結果



結論

OPC+CSよりもOPC+ISは温度が高い傾向を示している。
 OPC+CSとOPC+ISは、水量が同等であるもののOPC量が著しく異なる。
 OPC量の大小は水和反応で発生する熱量の大小に関係する。
 したがって、OPC+CSとOPC+ISの内部温度の差はOPC量の差が理由と考えられる。
 OPC+CSは、高さによる温度差が約10°C以下であって十分小さい。

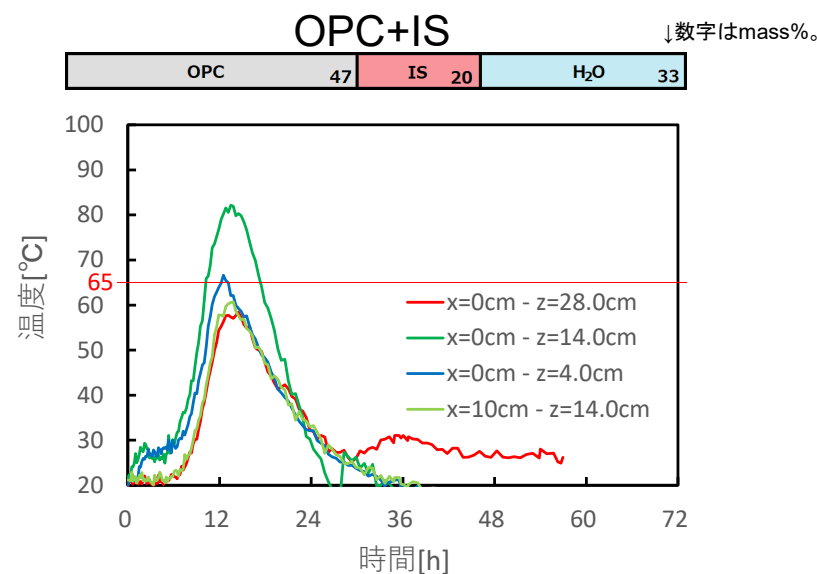
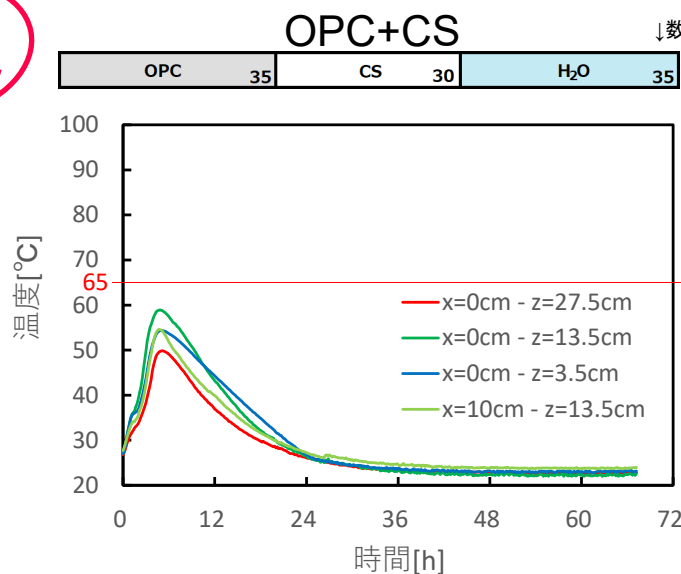
均質固化OPC-②

中規模20L試験 内部温度(光ファイバ)

内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。
 光ファイバで内部温度を測定した。
 中心からの横距離=xcm,底からの高さ=zcm。(固化体半径=約13cm,高さ=約30cm)

結果



結論

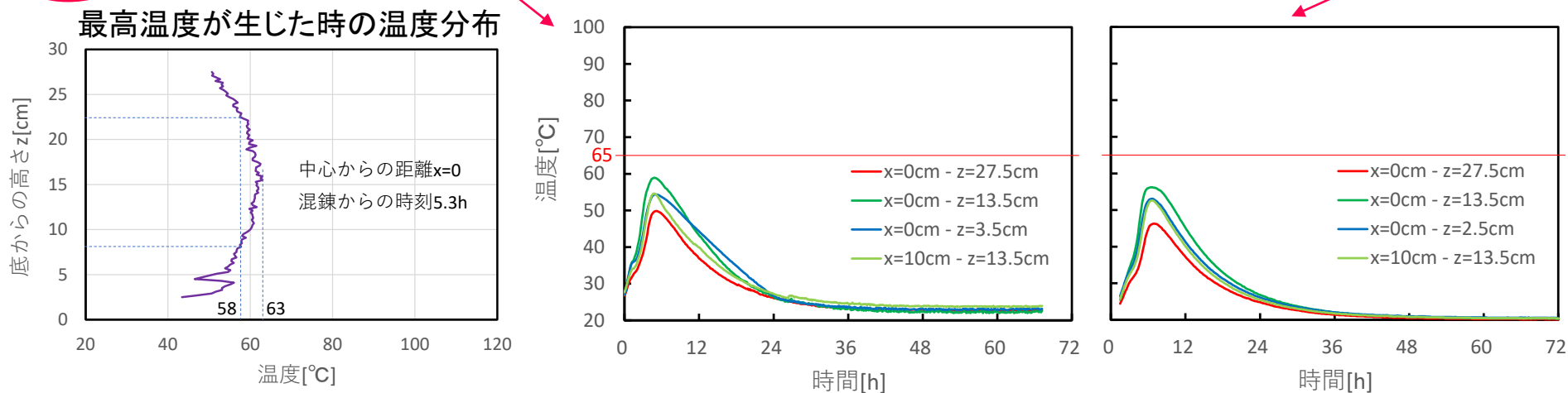
最終的な測定値が室温まで下がり切らず、測定誤差が大きい。
 高温時の熱で光ファイバが歪み、低温に戻っても歪みが残った影響が原因と推察。
 ただしOPC+CSに関しては、最高温度に到達するまでの温度上昇域で
 P.34の熱電対と殆ど差が無い結果を得られている。
 光ファイバ法は多点測定に向くが、測定精度の面では課題があると判った。

均質固化OPC-②

中規模20L試験 内部温度(最高温度の位置) OPC+CS

内容 小規模試験で抽出したOPC+CSの配合を用いて、20L固化体を作製。光ファイバによって、固化体内部の高さ方向に沿って温度分布を測定した。また、光ファイバの測定結果と熱電対の測定結果を比較した。

結果 **光ファイバ** **熱電対**



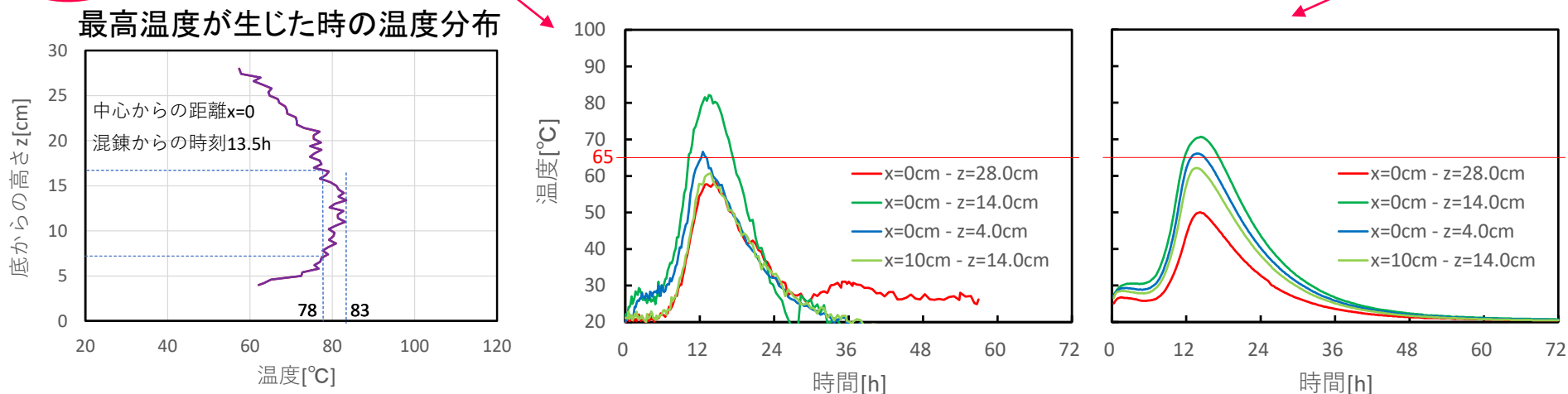
結論 最高温度が生じた時、z=8~22cmの範囲で温度は概ね同等(差は5°C以下)。厳密に最高温度の位置でなくても、固化体の中心部付近を測定すれば十分である。光ファイバと熱電対で概ね同様の結果が得られた。光ファイバの方が僅かに高温を示す傾向だが、差は約3°C以下で小さい。

均質固化OPC-②

中規模20L試験 内部温度(最高温度の位置) OPC+IS

内容 小規模試験で抽出したOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。光ファイバによって、固化体内部の高さ方向に沿って温度分布を測定した。また、光ファイバの測定結果と熱電対の測定結果を比較した。

結果 **光ファイバ** **熱電対**



結論 最高温度が生じた時、z=7~17cmの範囲で、温度は概ね同等(差は5°C以下)。厳密に最高温度の位置でなくても、固化体の中心部付近を測定すれば十分である。熱電対よりも光ファイバは高い温度を示す。特に、一度高温になった後は光ファイバが熱電対よりも高温を示す傾向である*。

均質固化OPC-②

中規模20L試験 XRD

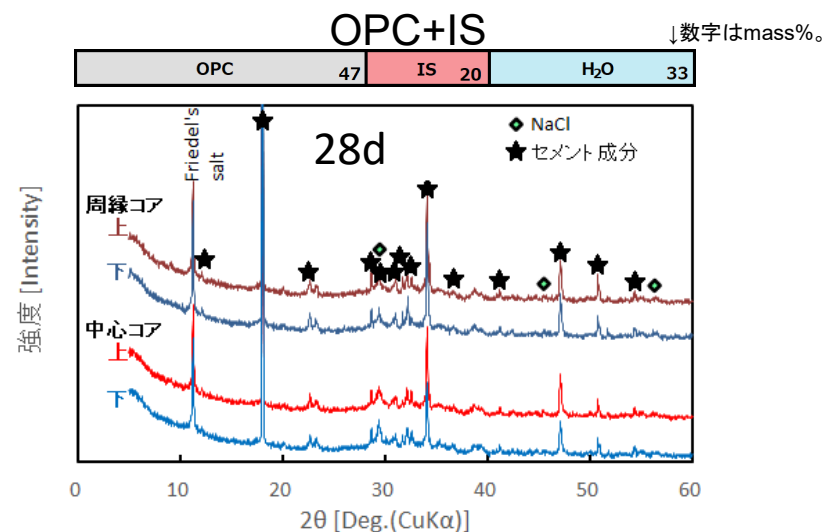
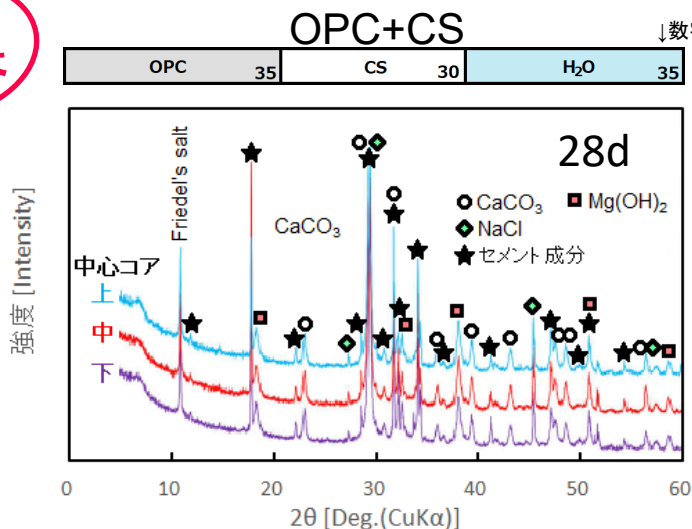
内容

小規模試験で抽出したOPC+CSとOPC+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性を調べ、固化体規模の影響を検討する。

材齢28dで固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(φ5×h約30cm)を採取し、コアの上・中・下部から試料を採取してXRDによって分析した。

(中心コアと周縁コアで殆ど強度差が無かったので、OPC+CSは中心コアのみ分析。)

結果



Ettringite(Et): $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$
Friedel's salt(Fr): $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Monosulfate(Ms): $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

結論

CSとISに含まれるClによってFrが生成したが、特に問題は無い*。
場所で著しい差は見られず、一定の均質性が保たれていると判断できる。

均質固化OPC-③

実規模200L試験

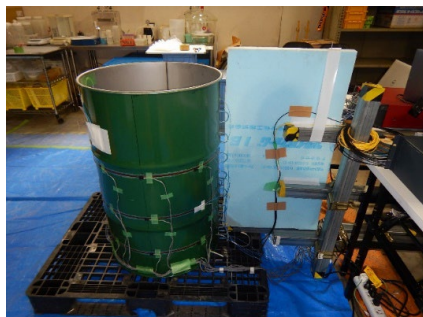
内容

中規模と同様のOPC+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 中規模20Lと比較する。
 一度に混練するのは困難なため、30L×7バッチに分けて作製した。

結果

OPC+CS		
OPC	35	CS
		30
		H ₂ O
		35

↓数字はmass%.



ドラム缶



缶内の温度測定用光ファイバ
(さや管入り)と熱電対



混練開始から**1分30秒**。
流動性は高い。



混練開始から**7分**。
凝結が始まり急結。



混練開始から**15分**。
流動性確保のため、水3Lを追加*、練り返し。



混練開始から**40分**。
大型テナ内で均一化。硬化が進行。

均質固化OPC-③

実規模200L試験

内容

中規模と同様のOPC+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 中規模20Lと比較する。
 一度に混練するのは困難なため、30L×7バッチに分けて作製した。

結果

OPC+CS			↓数字はmass%。		
OPC	35	CS	30	H ₂ O	35



混練開始から**50分**。
 ドラム缶へ投入。まだ少し柔らかい。



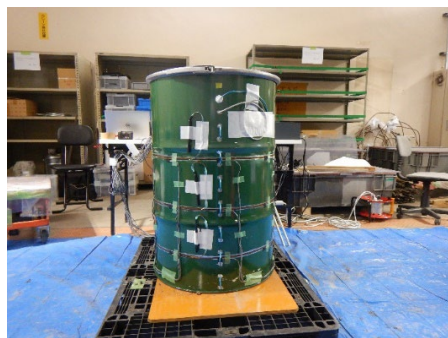
33%打設。硬化が進行。
 棒式バイブレータも効果なし。



50%打設。
 流動性が無くなり、団子状になる。



混練開始から**70分**。
 充填完了。指が刺さらないほど硬化。



混練開始から**70分**。
 蓋を固定。

中規模では問題にならなかった急結(流動性の急低下)が実規模では発生、固化体作製に著しい支障が生じた*。
 中規模は混練から5分以内に打設可能だが、実規模にスケールアップすると打設に時間を要するため急結の危険性が高まる。

均質固化AAM-①

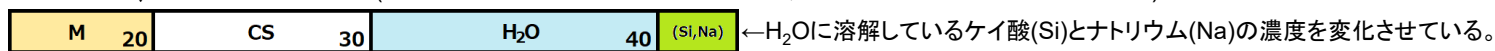
配合の検討方針

内容

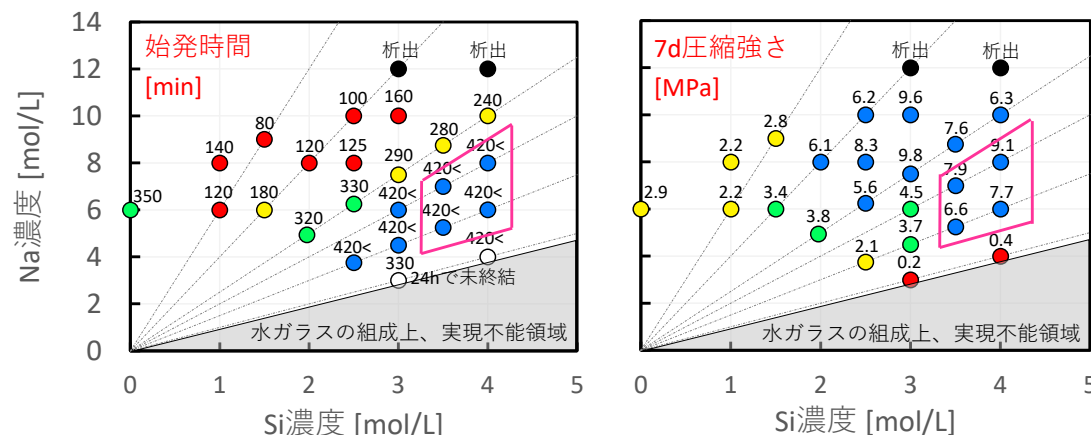
他の補助事業*では、MとCSとH₂Oを20:30:40の質量比で固定して、AAM混練溶液の組成を変化させつつ固化体を作製し、凝結性と強度を測定している。本研究では、この補助事業を参考にして、AAMの配合検討を行った。

参照*

↓数字は質量比を表す。(注:この配合図のみmass%ではない。Si,Na濃度でmass%は変化するため。)



AAM混練溶液のSi濃度とNa濃度で凝結性と強度は変化し、一定の傾向がある。



凝結性と強度はAAM混練溶液の組成(液相組成)に依存。

●が最も適切。

□の領域は凝結性も強度も適切。

結論

他の補助事業*で示された上記の結果を参考にして、本研究では基本的にAAM混練溶液の組成を□内の範囲に調整した。(□の範囲外の組成においても少量だが固化体を作製して、範囲内外の差を確認する。)

均質固化AAM-①

小規模試験(CS)

内容

M+CS系について**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

・流動性 小フロー値100mm以上	・凝結性 始発時間300min以上 + 24h終結	・強度 7dで5MPa以上
----------------------	------------------------------	------------------

←この系に対する
要求基準*

結果

8つの配合を検討した。

(「工程模擬CS」を使用)

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。

↓数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↓

	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結 判定	7d強度 [MPa]	外観など	
①	M ₁₂ CS 30 H ₂ O 42 (Si,Na)=(3.5, 5.25)	105	420以上	24h未終結	5.5	観察せず
②	M ₁₂ CS 30 H ₂ O 41 (Si,Na)=(4.0, 6.0)	101	420以上	24h未終結	6.5	観察せず
③	M ₁₂ CS 30 H ₂ O 41 (Si,Na)=(3.5, 7.0)	100	420以上	24h終結	5.1	問題なし
④	M ₉ CS 30 H ₂ O 43 (Si,Na)=(3.5, 7.0)	107	420以上	24h終結	5.2	問題なし
⑤	M ₁₀ CS 30 H ₂ O 40 (Si,Na)=(4.0, 8.0)	103	360	24h終結	3.4	観察せず
⑥	M ₈ CS 30 H ₂ O 42 (Si,Na)=(4.0, 8.0)	105	420以上	24h終結	3.3	観察せず
⑦	M ₇ CS 30 H ₂ O 41 (Si,Na)=(4.5, 9.0)	103	150	24h終結	2.6	観察せず
⑧	M ₁₂ CS 30 H ₂ O 41 (Si,Na)=(3.0, 7.5)	70	急結	測定せず	2.5	観察せず

結論

③と④が全基準を満たす。

注：流動性、凝結性、強度の一つでも基準を満たさない場合、固化体外観の観察は省略。

③よりも④は小フロー値が大きく強度も高いため、④を中規模用配合として抽出した。

P.41に示された□の範囲外の液相組成では(⑦と⑧)、始発時間が早すぎる。

均質固化AAM-①

小規模試験(IS)

内容

M+IS系について**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

・流動性 小フロー値100mm以上	・凝結性 始発時間300min以上 + 24h終結	・強度 7dで5MPa以上
----------------------	------------------------------	------------------

←この系に対する
要求基準*

結果

8つの配合を検討した。

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。

↓数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↓

	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結 判定	7d強度 [MPa]	外観など	
①	M 26 IS 20 H ₂ O 38 (Si,Na)=(4.0, 6.0)	104	420以上	24h終結	10.2	剥離
②	M 21 IS 20 H ₂ O 41 (Si,Na)=(4.0, 6.0)	113	420以上	24h終結	11.0	剥離
③	M 26 IS 20 H ₂ O 38 (Si,Na)=(3.5, 7.0)	104	420以上	24h終結	13.4	問題なし
④	M 21 IS 20 H ₂ O 41 (Si,Na)=(3.5, 7.0)	119	420以上	24h終結	10.5	剥離
⑤	M 25 IS 20 H ₂ O 37 (Si,Na)=(4.0, 8.0)	105	420以上	24h終結	19.1	問題なし
⑥	M 21 IS 20 H ₂ O 40 (Si,Na)=(4.0, 8.0)	115	420以上	24h終結	14.4	問題なし
⑦	M 26 IS 20 H ₂ O 38 (Si,Na)=(3.0, 7.5)	103	370	24h終結	8.6	白華
⑧	M 22 IS 20 H ₂ O 41 (Si,Na)=(3.0, 7.5)	119	340	24h終結	5.3	白華

結論

③⑤⑥が全基準を満たす。M量25~26%よりもM量21~22%は流動性が高い。

③⑤⑥の中で最も流動性が高い⑥を中規模用配合として抽出した。

P.41に示された□の範囲外の液相組成では(⑦と⑧)、始発時間が早く、強度が低い。

均質固化AAM-①

小規模試験(まとめ)

内容

M100%母材で均質固化を行い、**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

・流動性 小フロー値100mm以上	・凝結性 始発時間300min以上 + 24h終結	・強度 7dで5MPa以上
----------------------	------------------------------	------------------

結果

配合を変化させつつ固化体の物性を測定した結果として、以下の配合を中規模用の配合として抽出した。
外観観察用にΦ3×h2cmで作製した固化体の写真を以下に示す。

M+CS

M 9	CS 30	H ₂ O 43	(Si,Na)=(3.5, 7.0)
-----	-------	---------------------	--------------------

↑数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↑



M+IS

M 21	IS 20	H ₂ O 40	(Si,Na)=(4.0, 8.0)
------	-------	---------------------	--------------------

数字はmass%。↑

括弧内の数字は[mol/L]。↑



小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]
107	420以上	24h終結	5.2

小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]
115	420以上	24h終結	14.4

結論

ブリーディング水の発生や白華などは無く、固化体の外観も問題なかった。
流動性・凝結性・強度・固化体外観の要求基準が満たされる配合を抽出できた。


均質固化AAM-②

中規模20L試験


内容 小規模試験で抽出したM+CSとM+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。

結果 材齢28dにおける固化体の外観を以下に示す。


M+CS				M+IS			
↓数字はmass%。				数字はmass%。↓			
M _g	CS	H ₂ O	(Si, Na) = (3.5, 7.0)	M	IS	H ₂ O	(Si, Na) = (4.0, 8.0)
30	43	↑括弧内の数字は[mol/L]。		21	20	40	↓括弧内の数字は[mol/L]。




固化体の上面



固化体の側面



固化体の上面



固化体の側面

結論 小規模では固化体外観に問題が無かったものの、中規模では白華が発生した。すなわち、白華の有無も固化体規模の影響を受ける事が判った。
M+ISは固化体が上部と下部に分離し、自由水量や空隙径分布が上下で異なった。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 強度と自由水量

内容

小規模試験で抽出したM+CSとM+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。材齢28dで固化体からコア(Φ5×h約30cm)を2本採取し、2本のコアの上部と下部から試料を切り出して強度と自由水量を測定した。

結果

数字はmass%。↓ M+CS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	CS	30	H ₂ O	43	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
28d強度 [MPa]		自由水量 [mass%] (105°C乾燥による減量)			
平均	n=2		平均	n=2	
6.0			37.8		
上	6.6		上	37.2	
下	5.5		下	38.5	

数字はmass%。↓ M+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	IS	20	H ₂ O	40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)
28d強度 [MPa]		自由水量 [mass%] (105°C乾燥による減量)			
平均	n=2		平均	n=2	
13.8			32.8		
上	14.0		上	29.8	
下	13.7		下	35.7	

結論

場所に依らず、要求基準を超える強度が得られている。ただし、固化体下部の方が自由水量は多い傾向である。M+ISは固化体の上下で自由水量の差が著しく、均質性が低い。固化途中で固化体に割れが生じて固化体が上部と下部に分離した影響と考えられる。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 内部温度(熱電対)

内容

小規模試験で抽出したM+CSとM+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。

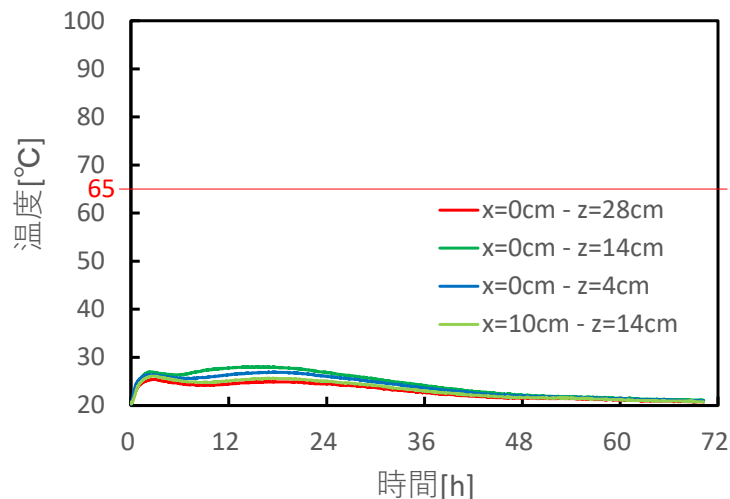
熱電対で内部温度を測定した。

中心からの横距離=xcm,底からの高さ=zcm。(固化体半径=約13cm,高さ=約30cm)

結果

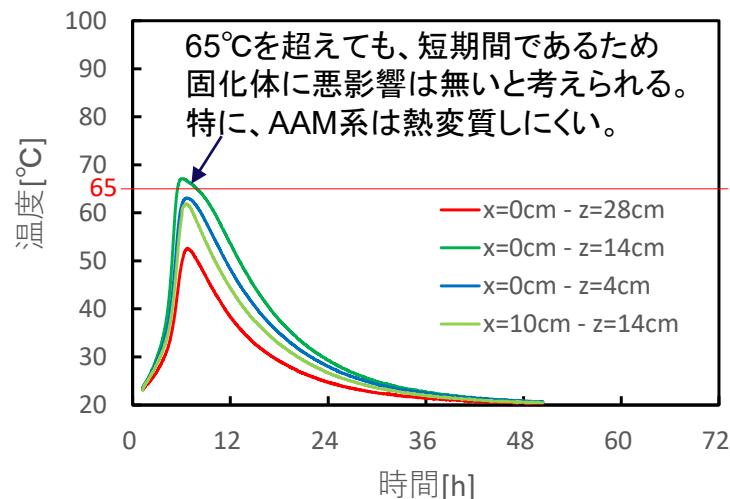
数字はmass%。↓ M+CS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	g	CS	30	H ₂ O	43	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
---	---	----	----	------------------	----	------------------------



数字はmass%。↓ M+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	21	IS	20	H ₂ O	40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)
---	----	----	----	------------------	----	------------------------



結論

固化体中心部の座標は(x,z)=(0,15)。

固化体中心部に近い(x,z)=(0,14)は最も温度が高い。

最高温度の時、高さによる温度差はM+CSが3.2°Cであり、M+ISは16.8°Cであった。

M+CSは温度自体が低く、温度差も小さい。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 XRD

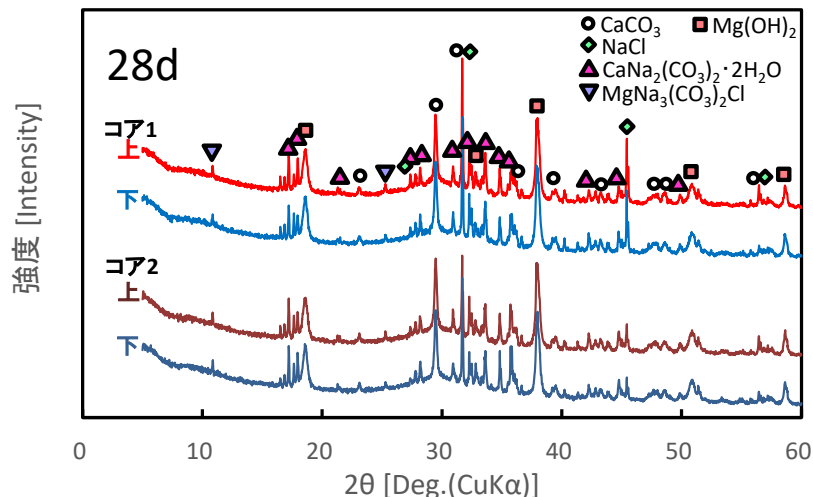
内容

小規模試験で抽出したM+CSとM+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。材齢28dで固化体からコア(φ5×h約30cm)を2本採取し、2本のコアの上部と下部から試料を採取してXRDによって分析した。

結果

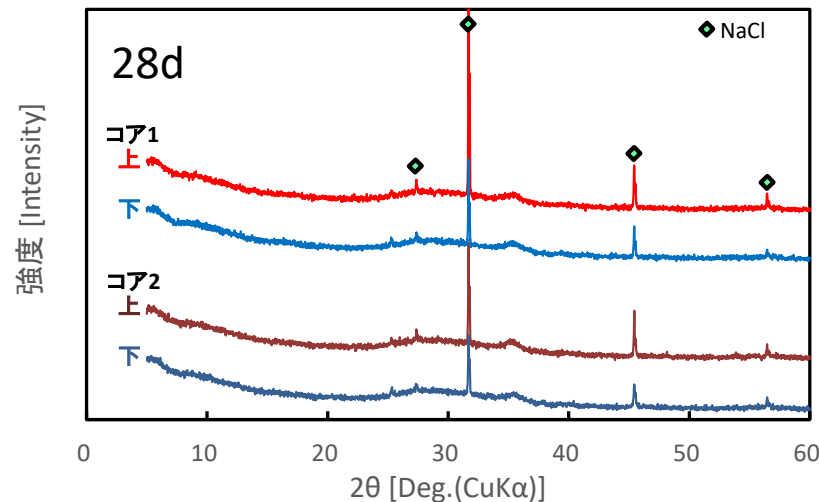
数字はmass%。↓ M+CS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	9	CS	30	H ₂ O	43	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
---	---	----	----	------------------	----	------------------------



数字はmass%。↓ M+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	21	IS	20	H ₂ O	40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)
---	----	----	----	------------------	----	------------------------



結論

場所で著しい差は見られず、一定の均質性が保たれていると判断できる。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 空隙径分布と空隙量

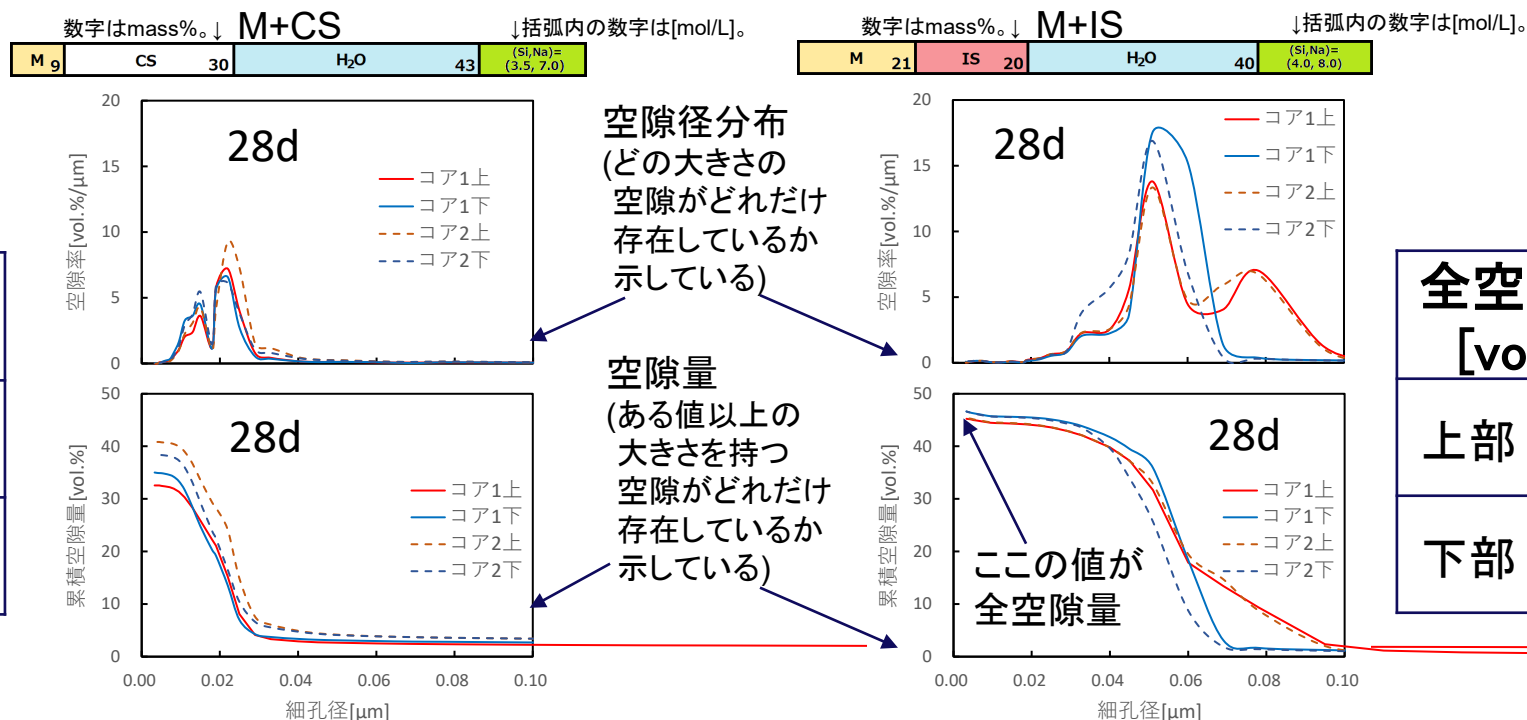
内容

小規模試験で抽出したM+CSとM+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。

材齢28dで固化体からコア(φ5×h約30cm)を2本採取し、

2本のコアの上部と下部から試料を採取して空隙率と累積空隙量を分析した。

結果



全空隙量 [vol.%]

上部 36.7

下部 36.7

全空隙量 [vol.%]

上部 45.3

下部 46.6

結論

M+CSは、場所が異なっても空隙率が同様であるため、均質性が高いと判断できる。

M+ISは、上部と下部で空隙径分布が異なっており、均質性が低い。

固化体に割れが生じて固化体が自然に上部と下部に分離していた影響と考えられる。

均質固化AAM-①

小規模試験(CS)

内容

P.45で示した様に、M100%母材は中規模固化体で白華が生じてしまった。他の補助事業*では、MとBFSを60:40の質量比で混合した母材の検討例がある。BFS混合で高強度かつ白華しにくい固化体を作製できるため、本研究も採用した。M+BFS+CS系について**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- ・流動性
小フロー値100mm以上
- ・凝結性
始発時間300min以上 + 24h終結
- ・強度
7dで5MPa以上

結果

4つの配合を検討した。

(「純薬調合CS」を使用)

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。

↓数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↓

	配合	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]	外観など
①	M ₁₂ BFS ₈ CS ₃₀ H ₂ O ₃₅ (Si,Na)=(3.5, 7.0)	107	370	24h終結	14.4	問題なし
②	M ₉ BFS ₆ CS ₃₀ H ₂ O ₃₉ (Si,Na)=(3.5, 7.0)	121	420以上	24h終結	6.5	問題なし
③	M ₆ BFS ₄ CS ₃₀ H ₂ O ₄₃ (Si,Na)=(3.5, 7.0)	117	420以上	24h終結	3.0	観察せず
④	M ₁₂ BFS ₈ CS ₃₀ H ₂ O ₃₄ (Si,Na)=(4.0, 8.0)	99	210	24h終結	12.9	観察せず

注：流動性、凝結性、強度の一つでも基準を満たさない場合、固化体外観の観察は省略。

結論

①と②が全基準を満たす。

②よりも①は強度が著しく高いため、①を中規模用配合として抽出した。

均質固化AAM-①

小規模試験(IS)

内容

M+BFS+IS系について**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- ・流動性
小フロー値100mm以上
- ・凝結性
始発時間300min以上 + 24h終結
- ・強度
7dで5MPa以上

結果

4つの配合を検討した。

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。

↓数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↓

	配合成分					小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結 判定	7d強度 [MPa]	外観など
①	M 18	BFS 12	IS 20	H ₂ O 34	(Si,Na)= (4.0, 8.0)	101	420以上	24h終結	19.4	問題なし
②	M 17	BFS 11	IS 20	H ₂ O 35	(Si,Na)= (4.0, 8.0)	112	420以上	24h終結	17.1	問題なし
③	M 15	BFS 10	IS 20	H ₂ O 37	(Si,Na)= (4.0, 8.0)	114	420以上	24h終結	15.3	剥離
④	M 12	BFS 8	IS 20	H ₂ O 40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)	118	420以上	24h終結	8.7	剥離

結論

4つの配合全てが流動性と凝結性と強度の基準を満たす。

しかし、①は小フロー値が基準の100mmに近いため、優先度が低い。

また、③と④は固化体の上部が明らかに剥離していた。

①と②は固化体の上部に膜状のものが見られるものの、剥離はしない。

したがって、②を**中規模用配合として抽出した**。 配合①の外観 配合②の外観 配合③の外観 配合④の外観



均質固化AAM-①

小規模試験(まとめ)

内容

M60%+BFS40%母材で均質固化を行い、**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- | | | |
|----------------------|------------------------------|------------------|
| ・流動性
小フロー値100mm以上 | ・凝結性
始発時間300min以上 + 24h終結 | ・強度
7dで5MPa以上 |
|----------------------|------------------------------|------------------|

結果

配合を変化させつつ固化体の物性を測定した結果として、以下の配合を中規模用の配合として抽出した。

外観観察用にΦ3×h2cmで作製した固化体の写真を以下に示す。

M+BFS+CS

M 12	BFS 8	CS 30	H ₂ O 35	(Si,Na)=(3.5, 7.0)
------	-------	-------	---------------------	--------------------

↑数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↑



M+BFS+IS

M 17	BFS 11	IS 20	H ₂ O 35	(Si,Na)=(4.0, 8.0)
------	--------	-------	---------------------	--------------------

↑数字はmass%。

括弧内の数字は[mol/L]。↑



小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]
107	370	24h終結	14.4

小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]
112	420以上	24h終結	17.2

結論

白華などは無く、固化体の外観も問題ない。全ての要求基準を満たしている。

なお、CS系は青黒い。これはBFS中の微量な金属イオン由来の呈色であり、空気中の酸素によって消失する。BFSが入った高炉セメントで一般的に知られている現象であり、固化体に悪影響は無いとされている。

IS系も本来は金属イオンの色が現れているはずであるものの、IS粉末の色に紛れているため確認できない。

均質固化AAM-②

中規模20L試験

内容

小規模試験で抽出したM+BFS+CSとM+BFS+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。

結果

材齢28dにおける固化体の外観を以下に示す。

↓数字はmass%。 M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L]。

M	BFS	CS	H ₂ O	(Si,Na)=
12	8	30	35	(3.5, 7.0)



固化体の上面



固化体の側面

数字はmass%。↓ M+BFS+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	BFS	IS	H ₂ O	(Si,Na)=
17	11	20	35	(4.0, 8.0)



固化体の上面



固化体の側面

結論

M+CSは小規模で生じなかった白華が中規模で生じていたのに対し、M+BFS+CSは小規模も中規模も白華が生じなかった。
 M+CSは工程模擬CSを使用してM+BFS+CSは純薬調合CSを用いたため単純な比較はできないが(P.15参照)、BFSを用いると白華しにくい傾向が見られる。
 同様に、M+ISは小規模で生じなかった白華が中規模で生じていたのに対し、M+BFS+ISは小規模も中規模も白華が生じなかった。
 M+ISとM+BFS+ISは同じISを用いており、やはりBFSには白華抑制の効果がある。
 ひび割れなども無く、良好な固化体を作製できた。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 強度と自由水量

内容

小規模試験で抽出したM+BFS+CSとM+BFS+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。均質性などを調べ、固化体規模の影響を検討する。
 固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(Φ5×h約30cm)を2本ずつ採取し、コアの上部と下部から試料を切り出して強度と自由水量を測定した。

結果

↓数字はmass%。 M+BFS+CS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	BFS	CS	H ₂ O	(Si, Na)=
12	8	30	35	(3.5, 7.0)

28d強度 [MPa]			自由水量 [mass%] (105°C乾燥による減量)		
平均	中心	周縁	平均	中心	周縁
31.2	n=2	n=2	29.0	n=2	n=2
上	33.4	28.7	上	29.0	28.9
下	30.8	32.0	下	29.1	29.1

↓数字はmass%。 M+BFS+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	BFS	IS	H ₂ O	(Si, Na)=
17	11	20	35	(4.0, 8.0)

28d強度 [MPa]			自由水量 [mass%] (105°C乾燥による減量)		
平均	中心	周縁	平均	中心	周縁
25.3	n=2	n=2	29.3	n=2	n=2
上	28.3	21.1	上	29.4	29.3
下	27.6	24.3	下	29.1	29.4

結論

材齢や場所に依らず、要求基準を超える高い強度が得られている。
 材齢や場所で著しい差は見られず、高い均質性を有すると判断できる。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 内部温度

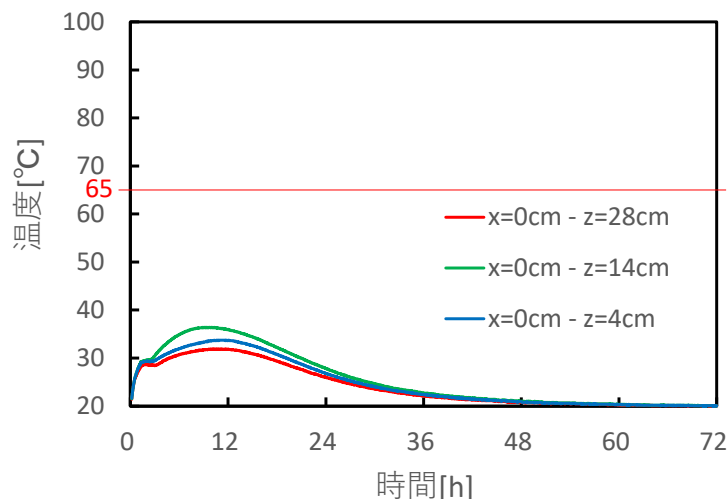
内容

小規模試験で抽出したM+BFS+CSとM+BFS+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。
 熱電対で内部温度を測定した。
 中心からの横距離xcm, 底からの高さzcm。(固化体半径=約13cm, 高さ=約30cm)

結果

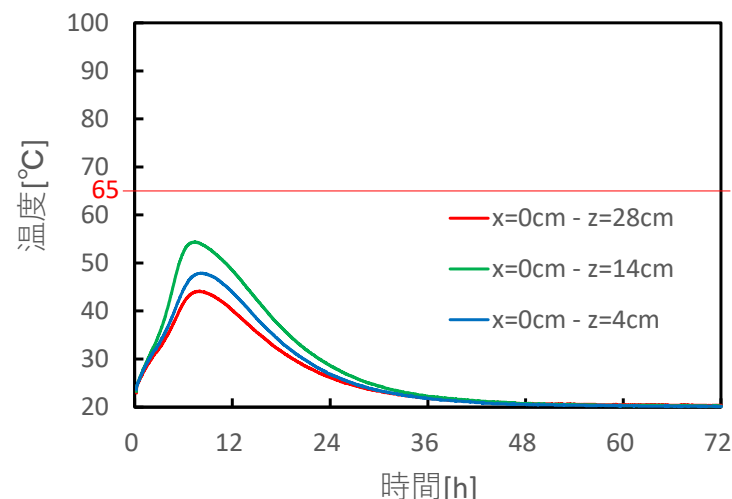
↓数字はmass%。 M+BFS+CS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	12	BFS	8	CS	30	H ₂ O	35	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
---	----	-----	---	----	----	------------------	----	------------------------



↓数字はmass%。 M+BFS+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	17	BFS	11	IS	20	H ₂ O	35	(Si,Na)= (4.0, 8.0)
---	----	-----	----	----	----	------------------	----	------------------------



結論

固化体中心部の座標は(x,z)=(0,15)。
 固化体中心部に近い(x,z)=(0,14)は最も温度が高い。
 高さによる温度差は約10°C以下であって、十分小さい。
 M系と合わせて考察すると、同じ規模ならば最高温度はM量で決まると考えられる。Mが多いほど温度が高い。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 XRD

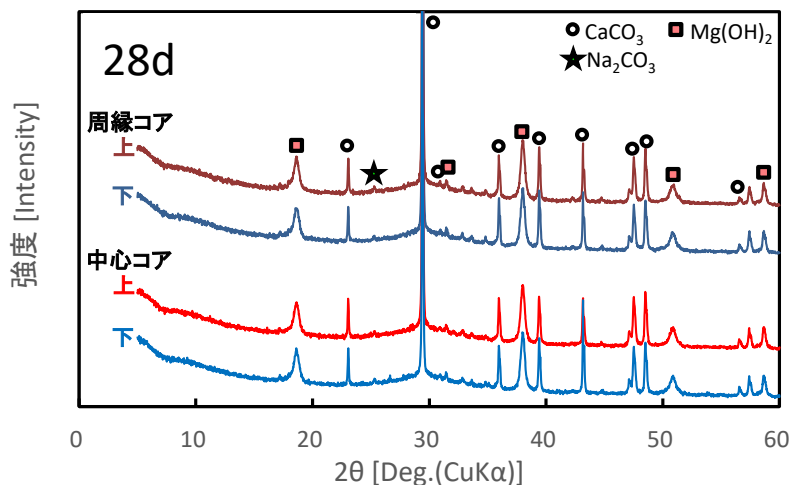
内容

小規模試験で抽出したM+BFS+CSとM+BFS+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性を調べ、固化体規模の影響を検討する。
材齢28dで固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(Φ5×h約30cm)を採取し、コアの上部と下部から試料を採取してXRDによって分析した。

結果

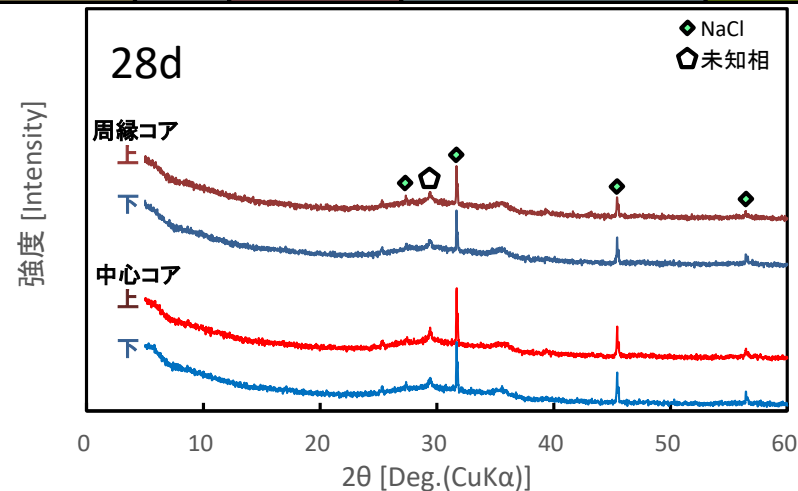
↓数字はmass%。 M+BFS+CS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	BFS	CS	H ₂ O	(Si,Na)
12	8	30	35	(3.5, 7.0)



↓数字はmass%。 M+BFS+IS 括弧内の数字は[mol/L]。↓

M	BFS	IS	H ₂ O	(Si,Na)
17	11	20	35	(4.0, 8.0)



結論

場所で著しい差は見られず、一定の均質性が保たれていると判断できる。
なお、M+ISで見られなかった未知相がM+BFS+ISには存在する(BFS由来と推察)。

均質固化AAM-②

中規模20L試験 空隙径分布と空隙量

内容

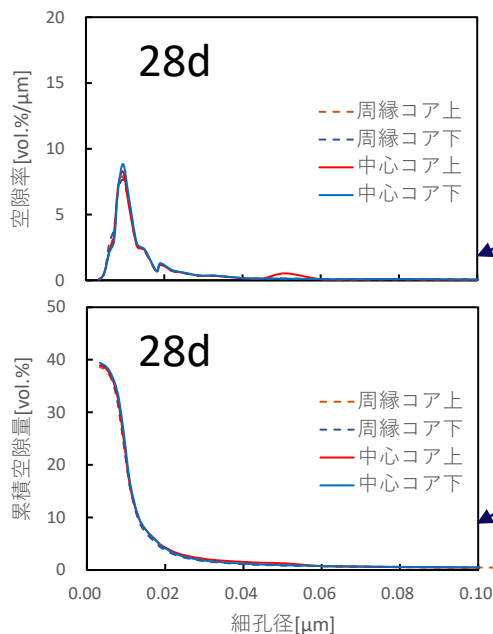
小規模試験で抽出したM+BFS+CSとM+BFS+ISの配合を用いて、20L固化体を作製。固化体の均質性を調べ、固化体規模の影響を検討する。固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(Φ5×h約30cm)を採取し、コアの上部と下部から試料を採取して空隙率と累積空隙量を分析した。

結果

数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L]。 M+BFS+IS ↓括弧内の数字は[mol/L]。

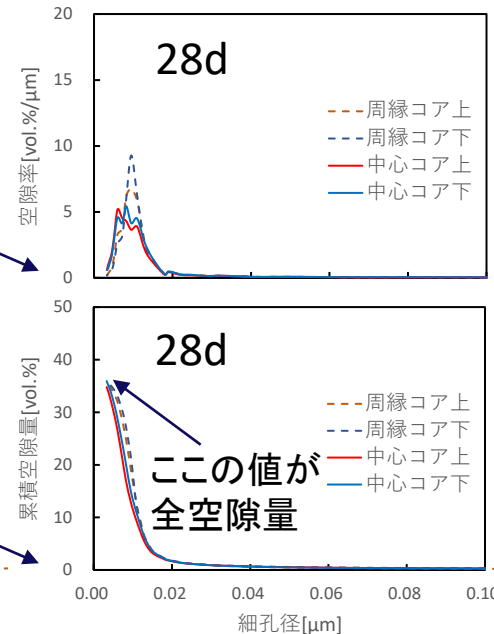
M 12 BFS 8 CS 30 H₂O 35 (Si,Na)=(3.5, 7.0)

M 17 BFS 11 IS 20 H₂O 35 (Si,Na)=(4.0, 8.0)



空隙径分布
(どの大きさの空隙がどれだけ存在しているか示している)

空隙量
(ある値以上の大きさを持つ空隙がどれだけ存在しているか示している)



全空隙量 [vol.%]

平均	中心	周縁
39.0		
上	38.9	38.6
下	39.4	39.1

全空隙量 [vol.%]

平均	中心	周縁
35.5		
上	34.8	35.4
下	35.9	35.9

結論

場所で差が見られないため、M+BFS+CSは高い均質性を有すると判断できる。M+BFS+ISは中心部と周縁部で分布に差があるものの、全空隙量は同等。

均質固化AAM-③

実規模200L試験

内容

中規模と同様のM+BFS+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 中規模20Lの結果と比較する。
 20L×10バッチに分け、3分毎に1バッチを投入して作製した。

数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L]。

M	12	BFS	8	CS	30	H ₂ O	35	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
---	----	-----	---	----	----	------------------	----	------------------------



AAM母材にAAM混練溶液を投入。

ミキサーで混練(90s→30s掻き落とし→90s)。
 2班体制で、打設している間にもう一方が混練。

ドラム缶内の熱電対。



ドラム缶にM+BFS+CSを打設。極めて高流動。
 (熱電対に当たって液流が分離するほど流動性が高い。)

30分で打設終了。
 この時の内部温度は室温+5℃。

固化体が巨大で通常のコア抜きは不可。
 未硬化時に筒*を挿入する方式でコア抜き。

均質固化AAM-③

実規模200L試験

内容

中規模と同様のM+BFS+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
20L × 10バッチに分け、3分毎に1バッチを投入して作製した。

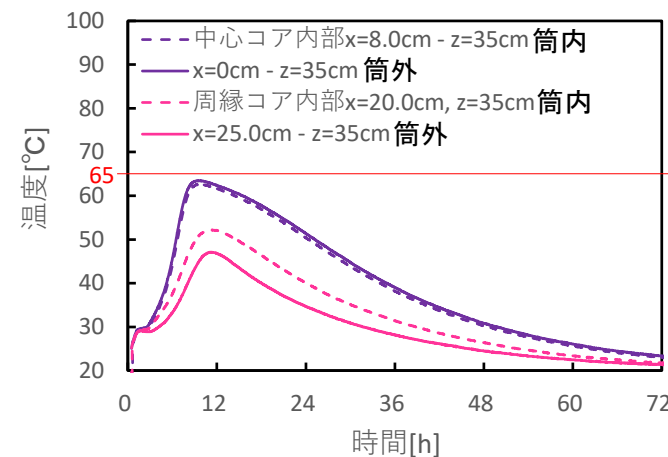
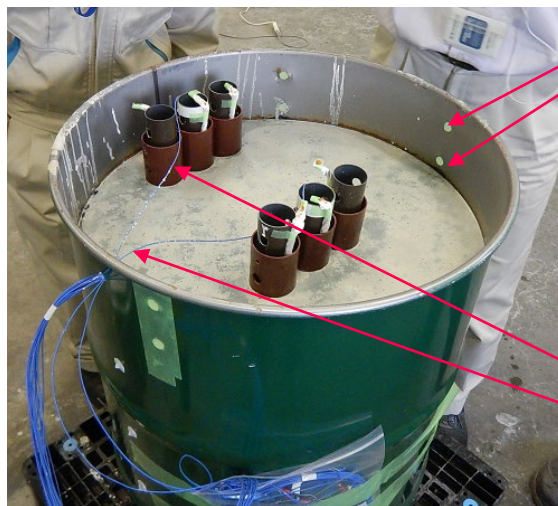
結果

材齢7dにおける固化体の外観(上面)を以下に示す。

数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L]。

M	BFS	CS	H ₂ O	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
12	8	30	35	

横串を通した孔。



筒内に挿入した熱電対。
筒の内外で温度差は小さい事を確認。

結論

M60%+BFS40%母材を用いる事で、
中規模と同様に実規模においても白華やひび割れが無い固化体を作製できた。

均質固化AAM-③

実規模200L試験 強度と自由水量

内容

中規模と同様のM+BFS+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 材齢7dと28dで固化体の中心部と周縁部からコア(φ5×h約70cm)を1本ずつ抜き、
 コアの上部と中部と下部から試料を採取して、
 圧縮強さと自由水量を測定した。
 (すなわち計4本抜いた。コアは中心部3本と周縁部3本で計6本あるが、
 抜かなかった中心1本と周縁1本は熱電対で筒内外の温度を測定するためのもの。)



結果

数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L].

M	BFS	CS	H ₂ O	(Si,Na)=
12	8	30	35	(3.5, 7.0)

7d強度 [MPa]			28d強度 [MPa]			自由水量(7d) [mass%] (105°C乾燥による減量)			自由水量(28d) [mass%] (105°C乾燥による減量)		
平均	中心	周縁	平均	中心	周縁	平均	中心	周縁	平均	中心	周縁
26.7			28.5			29.3			29.5		
上	25.9	22.8	上	26.2	30.4	上	29.4	29.5	上	29.5	29.4
中	25.4	30.2	中	31.1	26.2	中	29.3	29.4	中	29.6	29.5
下	29.0	26.9	下	29.7	27.7	下	29.2	29.1	下	29.4	29.2

結論

材齢や場所に依らず、要求基準(5.0MPa以上)を満たす高い強度が得られている。
 材齢や場所で著しい差は見られず、高い均質性を有すると判断できる。
 中規模と比較しても著しい差は無い。(20Lの28d強度=31.2MPa, 20Lの28d自由水量=29.0%)

均質固化AAM-③

実規模200L試験 内部温度

内容

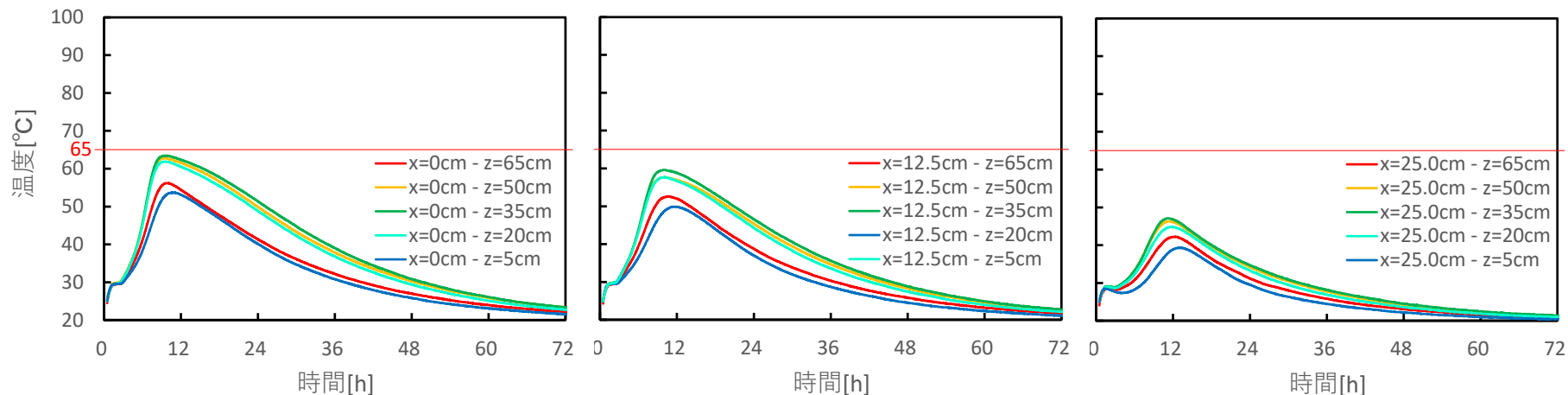
中規模と同様のM+BFS+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 熱電対で内部温度を測定した。
 中心からの横距離=xcm,底からの高さ=zcm。
 (固化体半径=約29cm,高さ=約70cm)



結果

数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L].

M	12	BFS	8	CS	30	H ₂ O	35	(Si,Na) = (3.5, 7.0)
---	----	-----	---	----	----	------------------	----	----------------------



結論

中心からの距離xに依らず、固化体**最上部**と**最下部**の温度が他よりも低い。
 底からの高さzに依らず、中心から横→に離れるほど(xが大きいほど)温度は低くなる。
 最高温度は63.5°Cで、中規模よりも27°C高い。
 最高温度の時刻で最大温度差は、(x,z)=(0,35)と(25.0,5)の差=28.8°C。

均質固化AAM-③

実規模200L試験 XRD

内容

中規模と同様のM+BFS+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 固化体の均質性を調べ、固化体規模の影響を検討する。
 固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(φ5×h約70cm)を採取し、
 コアの上・中・下部から試料を採取してXRDによって分析した。

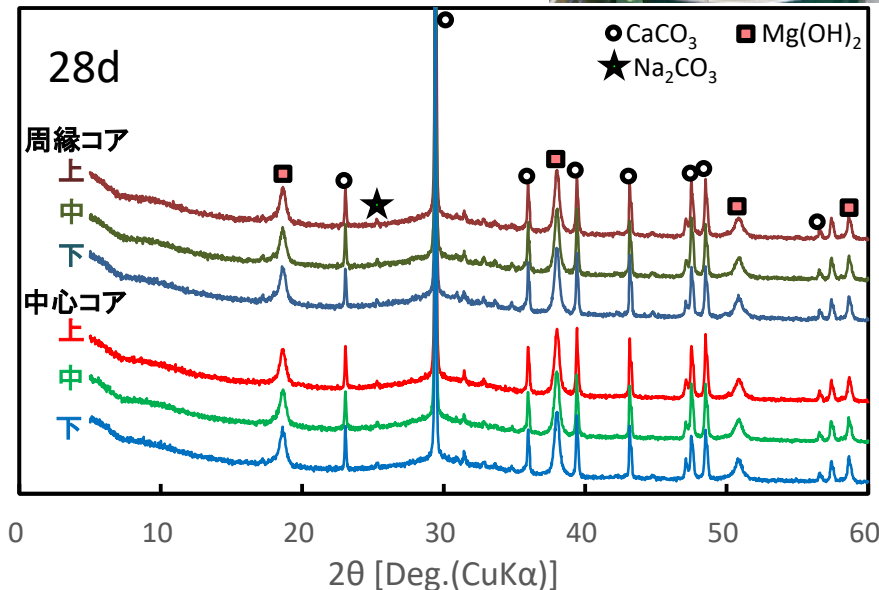
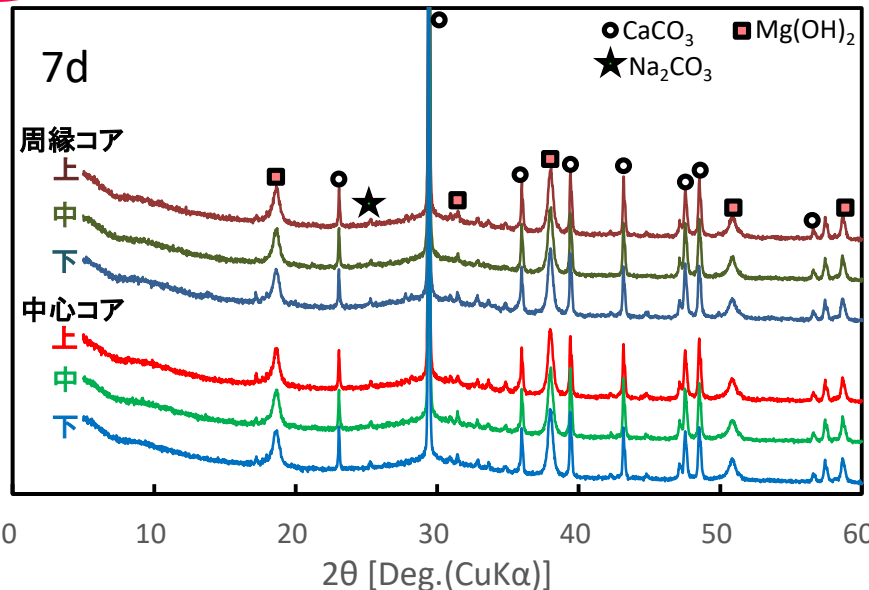
結果



数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L]。

M	BFS	CS	H ₂ O	(Si,Na) = (3.5, 7.0)
12	8	30	35	

強度 [Intensity]



結論

材齢や場所で差が見られないため、固化体は高い均質性を有すると判断できる。
 なお、中規模と比較しても明確な差は無い。

均質固化AAM-③

実規模200L試験 細孔分布

内容

中規模と同様のM+BFS+CSの配合を用いて、200L固化体を作製。
 固化体の均質性を調べ、固化体規模の影響を検討する。
 固化体を上部から見て中心部分と周縁部分からコア(Φ5×h約70cm)を採取し、
 コアの上・中・下部から試料を採取して空隙率と累積空隙量を分析した。

結果

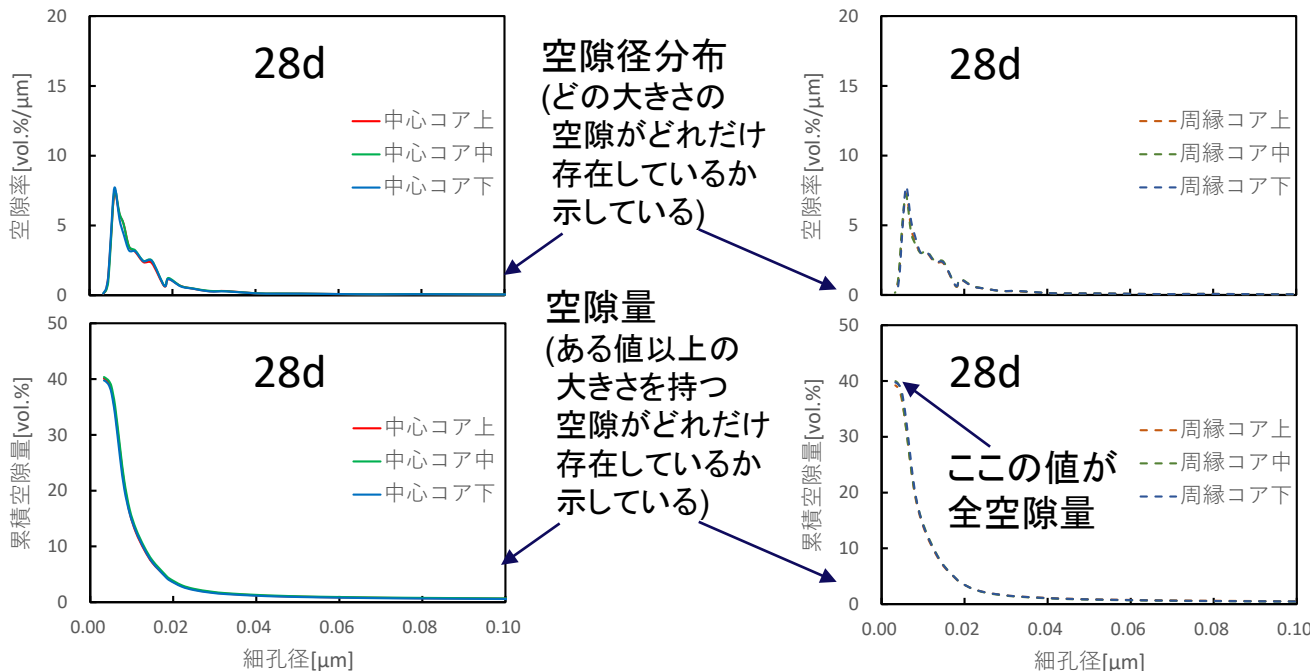
数字はmass%。↓ M+BFS+CS ↓括弧内の数字は[mol/L].

M	12	BFS	8	CS	30	H ₂ O	35	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
---	----	-----	---	----	----	------------------	----	------------------------

周縁コア



中心コア



全空隙量 [vol.%]		
平均	中心	周縁
39.9		
上	40.1	39.2
中	40.4	40.0
下	39.8	39.8

結論

材齢や場所で差が見られないため、固化体は高い均質性を有すると判断できる。
 なお、中規模と比較しても明確な差は見られない。(20Lの全空隙量=39.0%)

均質固化

まとめ

OPC+CS

OPC	35	CS	30	H ₂ O	35
-----	----	----	----	------------------	----

 ←数字はmass%を示す。

- ・小規模試験によって上記の配合を適切な配合として抽出した。
- ・上記の配合で中規模固化体も作製した。強度や均質性の観点からも問題ない固化体であった。
- ・上記の配合で実規模固化体を作製したところ、混練後7分程で急速に流動性が失われた。中規模20Lは5分以内に打設可能だが、実規模200L試験は打設に困難が伴う事が判明した。

OPC+IS

OPC	47	IS	20	H ₂ O	33
-----	----	----	----	------------------	----

- ・小規模試験によって上記の配合を適切な配合として抽出した。
- ・上記の配合で中規模固化体も作製した。中心温度が65℃を僅かに超えるものの、短時間であるため悪影響は確認されなかった。

AAM系の配合設定では、既往の研究を参考にして、凝結性が良くて強度が高い固化体の作製に適すと考えられる液相組成に設定した。

M+CSとM+IS

M	9	CS	30	H ₂ O	43	(Si,Na)= (3.5, 7.0)	M	21	IS	20	H ₂ O	40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)
---	---	----	----	------------------	----	------------------------	---	----	----	----	------------------	----	------------------------

↑H₂O中に溶解しているケイ酸とNaの濃度[mol/L]。

- ・小規模試験によって上記の配合を適切な配合として抽出した。
- ・上記の配合で中規模固化体も作製したところ、どちらの配合でも白華が生じた。M+ISは固化体のひび割れも生じた。小規模は白華が無かったものの中規模では白華したため、スケールアップすると白華の可能性が高まると判断できる。

M+BFS+CSとM+BFS+IS

M	12	BFS	8	CS	30	H ₂ O	35	(Si,Na)= (3.5, 7.0)	M	17	BFS	11	IS	20	H ₂ O	35	(Si,Na)= (4.0, 8.0)
---	----	-----	---	----	----	------------------	----	------------------------	---	----	-----	----	----	----	------------------	----	------------------------

- ・既往の研究を参考に、白華が起きにくいとされる「MとBFSを60:40の質量比で含む母材」を使用した。小規模試験によって上記の配合を適切な配合として抽出した。
- ・上記の配合で中規模固化体も作製した。白華やひび割れも無く、強度などの物性に関して場所による著しい差は見られない。
- ・M+BFS+CSは、上記の配合で実規模固化体も作製した。中規模との明確な差は、中心温度だけである。温度の影響は小さく、スケールアップによる悪影響も見られない。白華やひび割れも無く、強度などの物性に関して場所による著しい差は見られない。

均質固化

↓小規模試験によって抽出し、中規模・実規模で用いた6つの配合。なお、数字はmass%を示す。(Si,Na) は[mol/L]。

成果

OPC+CSとOPC+IS

M+CSとM+IS

M+BFS+CSとM+BFS+IS

OPC 35	CS 30	H ₂ O 35	M 9	CS 30	H ₂ O 43	(Si,Na)= (3.5, 7.0)	M 12	BFS 8	CS 30	H ₂ O 35	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
OPC 47	IS 20	H ₂ O 33	M 21	IS 20	H ₂ O 40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)	M 17	BFS 11	IS 20	H ₂ O 35	(Si,Na)= (4.0, 8.0)

均質固化	OPC		AAM	
	CS	IS	CS	IS
小規模 0.2L	配合を変化させながら固化体を作製。要求基準を見たす配合を中規模試験用に抽出した。	配合を変化させながら固化体を作製。要求基準を見たす配合を中規模試験用に抽出した。	液相組成に注目しつつ配合を変化させながら固化体を作製。要求基準を見たす配合を中規模試験用に抽出した。	液相組成に注目しつつ配合を変化させながら固化体を作製。要求基準を見たす配合を中規模試験用に抽出した。
中規模 20L	小規模試験で抽出した配合を用いて良質な固化体を作製できた。最高でも65°Cに達せず、高温変質は無いと考えられる。	小規模試験で抽出した配合を用いて良質な固化体を作製できた。65°Cを超えるが短時間であるため変質度合いは無視できる。	M系の配合は多量の白華が生じる。M+BFS系は良質な固化体を作製できた。内部温度は十分低い。均質性も十分高い。	M系の配合は固化体が割れ、白華も生じた。M+BFS系は良質な固化体を作製できた。内部温度は十分低い。均質性も十分高い。
実規模 200L	中規模と同配合で固化体を作製しようとしたが、混練から7分で急結。著しく打設が困難。	中・実規模の比較や固化体規模の影響に対する検討は、CS系のみで一定程度行う事ができるため、本研究では未実施。	中規模と同配合のM+BFS系で良質な固化体を作製できた。温度は中規模よりも高いが、悪影響は見られない。均質性も十分高い。	中・実規模の比較や固化体規模の影響に対する検討は、CS系のみで一定程度行う事ができるため、本研究では未実施。

均質固化

↓小規模試験によって抽出し、中規模・実規模で用いた6つの配合。なお、数字はmass%を示す。(Si,Na)は[mol/L]。

物性

OPC+CSとOPC+IS

M+CSとM+IS

M+BFS+CSとM+BFS+IS

OPC 35	CS 30	H ₂ O 35	M ₉	CS 30	H ₂ O 43	(Si,Na)=(3.5, 7.0)	M ₁₂	BFS ₈	CS 30	H ₂ O 35	(Si,Na)=(3.5, 7.0)
OPC 47	IS 20	H ₂ O 33	M 21	IS 20	H ₂ O 40	(Si,Na)=(4.0, 8.0)	M 17	BFS 11	IS 20	H ₂ O 35	(Si,Na)=(4.0, 8.0)

均質固化	OPC			AAM				
	物性	CS	IS	物性	CS		IS	
小規模 0.2L	J14流下時間	3.6s	3.7s	小フロー値	107mm(M) 107mm(M+BFS)		115mm(M) 112mm(M+BFS)	
	始発時間	420min以上	420min以上	始発時間	420min以上	370min	420min以上	420min以上
	28d強度	7.6MPa	38.5MPa	7d強度	5.2MPa	14.4MPa	14.4MPa	17.2MPa
	固化体外観	問題なし	問題なし	固化体外観	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし
中規模 20L	28d強度平均	9.6MPa	24.2MPa	28d強度平均	6.0MPa	31.2MPa	13.8MPa	25.3MPa
	28d自由水量	測定せず	24.9%	28d自由水量	37.8%	29.0%	32.8%	29.3%
	最高温度	56.2℃	70.7℃	最高温度	28.1℃	36.4℃	67.1℃	54.4℃
	高温時の温度差	10.1℃	20.7℃	高温時の温度差	3.2℃	4.5℃	16.8℃	10.4℃
	全空隙率			全空隙率	36.7vol.%	39.0vol.%	34.6vol.%	35.5vol.%
	固化体外観	問題なし	問題なし	固化体外観	白華	問題なし	白華	問題なし
実規模 200L	測定項目なし	打設中に急結したため物性に関して議論せず。	本研究では検討せず。	28d強度平均		28.5MPa		
				28d自由水量	M系は、中規模で白華したため	29.5%		本研究では検討せず。
				最高温度	実規模を作製せず。	63.5℃		
				高温時の温度差		28.8℃		
				全空隙率		39.9vol.%		
				固化体外観		問題なし		

均質固化

↓小規模試験によって抽出し、中規模・実規模で用いた6つの配合。なお、数字はmass%を示す。(Si,Na) は[mol/L]。

課題

OPC+CSとOPC+IS

M+CSとM+IS

M+BFS+CSとM+BFS+IS

OPC 35	CS 30	H ₂ O 35	M 9	CS 30	H ₂ O 43	(Si,Na)= (3.5, 7.0)	M 12	BFS 8	CS 30	H ₂ O 35	(Si,Na)= (3.5, 7.0)
OPC 47	IS 20	H ₂ O 33	M 21	IS 20	H ₂ O 40	(Si,Na)= (4.0, 8.0)	M 17	BFS 11	IS 20	H ₂ O 35	(Si,Na)= (4.0, 8.0)

均質固化	OPC		AAM	
	CS	IS	CS	IS
	混練から7分程度で急結するため、打設に時間を要する規模は不可。		液相組成による凝結性の変化を考慮する必要性。	
小規模 0.2L	特に無し。	特に無し。	M系は、強度が低い傾向で配合が限られる。 M+BFS系は特に問題なし。	特に無し。
中規模 20L	混練から5分で打設できるならば問題は無い。	特に無し。	小規模で白華しないM系の配合において、多量の白華が生じる。 M+BFS系は特に問題なし。	小規模で白華しないM系の配合において、少量の白華が生じる。M系では、固化体がひび割れた。M+BFS系は特に無し。
実規模 200L	打設に時間を要し、混練から7分で急結。固化体の作製に著しい支障が生じる。急結を抑制する技術の開発が求められる。	本研究で未実施。中・実規模の比較はCS系のみで行えたが、今後の検討ではIS系も検証する必要性があると考えられる。	特に問題無しだが、Mのみを母材とした時に良質な固化体を作製できるか今後の検討では検証する必要性があると考えられる。	本研究で未実施。中・実規模の比較はCS系のみで行えたが、今後の検討ではIS系も検証する必要性があると考えられる。

均質固化

課題に対して現状で考えられうる解決策

均質固化	OPC		AAM	
	CS	IS	CS	IS
	遅延剤による急結制御		液相組成を適切な範囲にする。etc.	
小規模 0.2L	必要なし	必要なし	M60%+BFS40%母材にすると、白華が生じにくい。 M60%+BFS40%母材は粉体量を増やしても高流動性を保てるため流動性と強度を両立可能。	必要なし
中規模 20L	必要なし	必要なし	M60%+BFS40%母材にすると、白華が生じにくい。	M60%+BFS40%母材にすると、白華が生じにくい。 M60%+BFS40%母材は、割れ防止の効果もある。
実規模 200L	凝結遅延剤を使用。 「24h以内に終結」という要求条件が不要ならば、適用性はある。	現状未検討であるため 不明	必要なし	現状未検討であるため 不明

3. 充填固化に関する研究 P.69~104

充填固化

予想される課題・問題点

塊状廃棄物の充填固化で生じる現象

固化材料の種類・配合

塊状廃棄物

流動性

サイズ, 含水率

充填不良

廃棄物の吸水

未充填部の発生

反応不良等

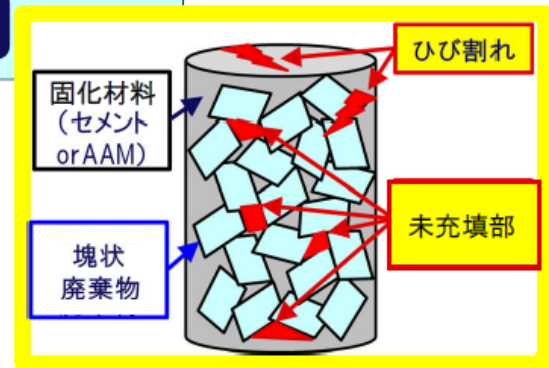
ひび割れ

固化体強度の低下

固化材料の流動性によって、充填性や吸水性が変化すると予想される。

塊状廃棄物のサイズや含水率によって、充填性や吸水度合いが変化すると予想される。

- 塊状廃棄物のサイズ, 含水率
- 固化材料の流動性
- ➡ 充填性, 固化体強度などに及ぼす影響の評価が必要



充填固化

研究構成

① 充填固化の予察試験($\Phi 10 \times h20\text{cm}$, 20L)

充填固化は従来の検討例が殆ど無く、課題や問題点が不明確。固化材料や塊状廃棄物の種類などの固化条件を限定せず、予備的に充填固化を行い、基本的な課題・問題点を見つける。

② 固化材料のみの検討(小規模)

充填固化を行うために、先ず「適切な」固化材料の検討が必要である。塊状廃棄物を使わず、固化材料のみで小規模試験。配合を変化させつつ物性を測定し、要求基準を満たす配合を抽出する。なお、①で明らかになった課題・問題点を考慮する。

③ 小規模($\Phi 10 \times h20\text{cm}$)における充填固化体の作製

②で抽出した固化材料の配合を用いて、充填固化体を作製する。充填固化体では塊状廃棄物が崩壊するため、強度試験用のコア抜きが不可能。強度試験に適した固化体規模に予めしておく必要性がある。塊状廃棄物の大きさは、容器径を考慮して設定した。

④ 中規模20Lにおける充填固化体の作製

③で作製した中から適当な系を抽出し、20L規模で充填固化体を作製する。③と比較して、著しい問題点が無いか検証する。

充填固化

評価項目と要求基準の設定

従来検討1 IRID『固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(令和3年度分)』

従来検討2 IRID『固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(令和2年度分)』

従来検討3 JAEA『廃棄体技術基準等検討作業会の活動—平成28年度活動報告書』

「②固化材料のみの検討(小規模)」で測定する項目

***従来検討において特に重要視されている3要素**

- ・流動性*: OPC系もAAM系も小フロー値(「100mm以上」を基準とする。)(均質固化と同等以上の流動性が必要なため。P.79で後述。)
(ただし、参考情報として、充填固化用の固化材料として抽出された配合のみ、J14流下時間も測定する。)
- ・凝結性*: 始発時間(従来検討1と2の基準を合わせ、「急結せず、なおかつ始発時間300min以上」を基準とする。)
終結時間(従来検討2の基準に準じ、「24h以内に終結」を基準とする。)(発電所では1d後に蓋閉め・移送実施のため。)
- ・強度*: OPC系もAAM系も7d圧縮強さ(従来検討3に準じて「30.0MPa以上」を基準とする。均質固化の基準5.0MPaよりも著しく高い。)
(塊状廃棄物の強度が低いため、固化材料のみで強度を担保する発想。30MPa以下でも充填固化体が1.47MPaならば問題ない。)
(試験日数短縮のため、28dではなく7dで強度を測定する。)
(ただし、参考情報として、充填固化用の固化材料として抽出された配合のみ、28d圧縮強さも測定する。)
- ・固化体外観: ブリーディング水(打設から3dまでに自然蒸発で消失可能な量の目安「打設から24h後に1.0vol.%以下」を基準とする。)
(ブリーディング水が多量の際は固化体の状態が強度測定に向かない事があるため、1.0vol.%以上では強度を測定しない。)
白華やひび割れや剥離(「全く発生しない事」を基準とする。)
他に、固化体の外観に異常が生じた場合は適宜判断する。



←AAMの白華現象(写真:例)。
Na₂CO₃を主成分とする結晶が固化体から析出。

「③小規模(Φ10×h20cm)における充填固化体の作製」で測定する項目

- ・強度: OPC系もAAM系も28d圧縮強さ(従来検討3に準じて「1.47MPa以上」を基準とする。)
- ・固化体外観: ブリーディング水(打設から3dまでに自然蒸発で消失可能な量の目安「打設から24h後に1.0vol.%以下」を基準とする。)
白華やひび割れや剥離(「全く発生しない事」を基準とする。)
塊状廃棄物の露出(定性的に評価する。固化体脱型時に表面から廃棄物の塊が見えているのは好ましくない。)
固化体の一体性(充填度合いが低すぎて固化体が形状を保てない場合、固化体が直立不能なため強度も測定不可能。)
- ・固化体内部: 空隙(CTスキャンによって定性的に評価する。)

「④中規模20Lにおける充填固化体の作製」

- ・Φ10×h20cmの小規模の固化体に対する項目に準じる。固化体が巨大かつコア抜き不可能なため、強度測定は不可能。

充填固化

使用した塊状廃棄物

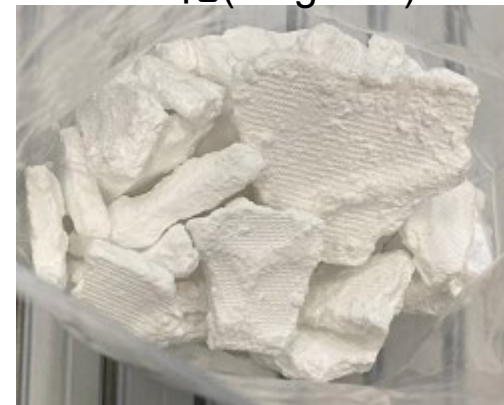
内容

実際の廃棄物は、保管中に乾燥する可能性がある。
 塊状廃棄物の含水率の影響を検証するため、フィルタープレス後に乾燥させていない未乾燥試料:(湿)と105°C絶乾試料:(乾)の2種類を用いた。

CS湿(1.5g/cm³)



CS乾(1.4g/cm³)



台の溝間の距離は約2cm

IS湿(1.3g/cm³)



IS乾(2.0g/cm³)



充填固化

予察試験

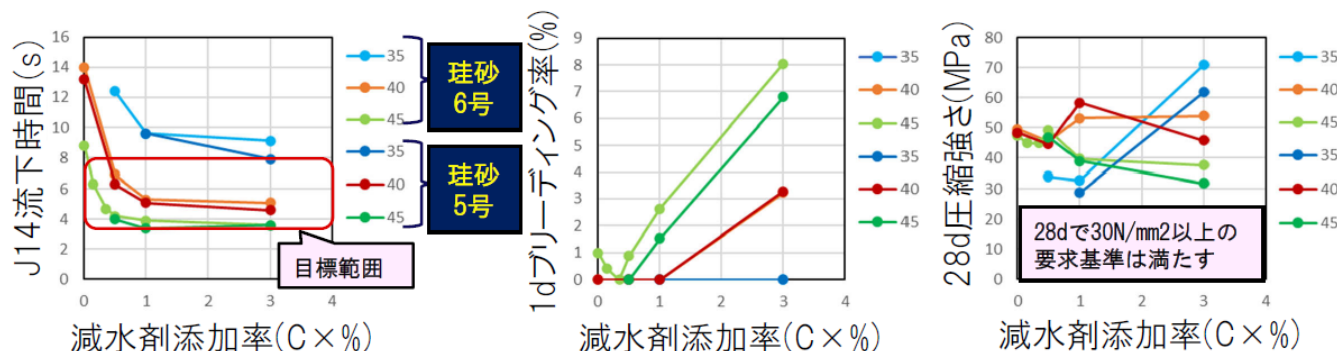
内容

予察試験に使用するOPC系固化材料を選定した。

なお、予察試験ではJ14流下時間によって流動性を評価した。

既往の研究*を参考にナフタレンスルホン酸系減水剤マイティ100(花王製)を使用した。

セメントモルタル充填材



- 流動性: 減水剤添加率 > 1% で概ね一定, 砂粒度の影響は微小
- プリーディング: 減水剤添加率の増大 ⇒ プリーディング率大, 砂粒度の影響は微小
- 強度: 減水剤添加率の増大 ⇒ 強度低下傾向, 砂粒度の影響は微小

⇒ 充填固化配合として、以下を選定(既往の研究で使用例が多い珪砂5号使用)

流動性	漏斗流下時間(sec)	W/C比(%)	減水剤(%)	1dプリーディング率(%)	28d強度(N/mm ²)
高	3~4	45	0.5	0%	66.1
中	4~6	45	0.35	0%	63.7
低	6~8	45	0.15	0.5%	59.3

特に流動性が「中」の配合を予察試験に用いた。

予察試験以外には用いなかったが、その理由はP.79で後述。

充填固化①

予察試験 塊状廃棄物の浮上・露出

内容

固化条件を特に限定せずに、予備的に試験を行った。
 Φ10×h20cm容器に塊状廃棄物を投入し、直ぐに固化材料を充填した。

結果

塊状廃棄物が浮上して固化材料から露出する現象を確認した。
 この現象は塊状廃棄物と固化材料の密度差によって生じると考えられる。

ナフタレン系減水剤を
 OPCに対して0.15mass%添加。↓

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS温	28
-----	----	------------------	----	-------	----



塊状CSの浮上

ナフタレン系減水剤を
 OPCに対して0.15mass%添加。↓

OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
-----	----	------------------	----	-------	----

←数字はmass%を示す。



塊状ISの浮上

対策

目標高さの約2cm下まで固化材料を打設し、
 1日後に固化材料を再作製して追加打設を行う(キャップ打設)。

充填固化①

予察試験結果 キャップ打設の効果と塊状廃棄物の沈殿

内容

固化条件を特に限定せずに、予察試験として中規模20Lで充填固化体を作製した。P.75の結果を踏まえ、キャップ打設を行った。

(キャップの厚さは小規模と同様に2cm。P.75の小規模とP.76の中規模で固化体の体積は20倍異なるが、固化体の高さは小規模が20cmで中規模が30cmと1.5倍の違いしかない。

塊状廃棄物の露出度合いは、固化体の大きさや用いた塊状廃棄物の量ではなく、塊状廃棄物と固化材料の密度差で決まるため、小規模でも中規模でも浮上露出の度合いは約1cmで変わらず、キャップの厚さを変える必要性は無いと考えられる。

結果

キャップ打設を行った事で固化体上部から塊状廃棄物は露出しなかったが、一方で塊状廃棄物が沈殿して固化体下部から露出する現象を確認した。

固化体下部



塊状CSの露出

塊状CS(白色)

固化体上部



塊状ISの沈殿

塊状IS(茶色)

キャップ部分

対策

塊状廃棄物を容器に投入する直前に予め固化材料を高さ約2cm分だけ「一部事前打設」する方法を考案した。

充填固化①

予察試験結果 固化材料の一部事前打設と振動打設の効果

内容

固化条件を特に限定せずに、予備的に試験を行った。
塊状廃棄物を容器に投入する直前に固化材料を約2cm分だけ打設(一部事前打設)。
さらに、振動をかけながら打設して、効果を検証した。(キャップ打設は省略)

手順① 固化材料を作製(90秒混練→30秒掻き落とし→90秒混練:土木学会指針)。

手順② 容器底に固化材料を一部事前打設(高さ約2cmまで)。 手順①

手順③ 塊状廃棄物を容器に投入(無振動)。

手順④ 振動をかけつつ固化材料を充填(振動台)。
(縦振動。25~30Hzで、漏洩しない様に液面の波打ち度合いで調整。)

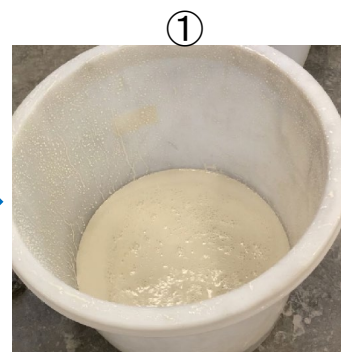
手順⑤ 気泡が出なくなるまで振動締固め。



粉体に液相を混合



混練中



① 混練後



②



③

振動台



④



⑤

充填固化①

予察試験結果 固化材料の一部事前打設と振動打設の効果

内容

塊状廃棄物を容器に投入する直前に固化材料を約2cm分だけ打設(一部事前打設)。さらに、振動をかけながら打設して、効果を検証した。(キャップ打設は省略)
(縦振動。25~30Hzで、液面の波打ち度合いで調整。振動数が大きいと漏洩しやすい。)

結果

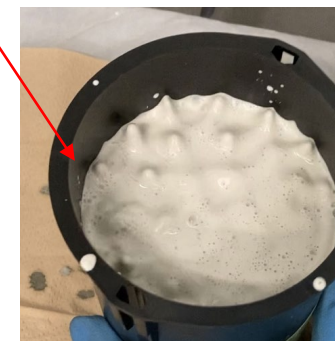


固化材料と塊状廃棄物が一体となっている良好な充填固化体を作製できた。

固化体下部

振動によって固化材料の液面が波打ち、容器外に跳ね飛んで漏洩してしまう。

高流動性AAM



結論

容器底に固化材料を一部事前打設する手法は、塊状廃棄物の露出を抑制できる事が判った。振動台の使用も充填固化に対する有用性がある。ただし、高流動性の固化材料では、振動によって固化材料が漏洩した。

充填固化①

予察試験結果 流動性の要求基準について判った事

疑問

予察試験で使用していた配合は、流動性がそこまで高くない。
より高い流動性の固化材料を用いるべきではないだろうか？

固化体下部



塊状IS(茶色)

塊状CS(白色)

キャップ部分

固化体上部

J14流下時間=5.2s

容器に流し込むだけの均質固化ですら、小フロー値100mm以上(J14流下時間4s以下相当)の流動性が必要。
したがって、塊状廃棄物間に流し込む必要性がある充填固化は、均質固化以上の高流動性が当然必要。

対策

均質固化と同等以上の流動性「小フロー値100mm以上」を要求基準とする。
(P.72の要求基準の設定の経緯)
予察試験の結果を踏まえて、固化材料の配合を検討する事にした。

充填固化②

固化材料の検討 小規模 OPCモルタルとAAMモルタル

内容

モルタル系について**要求基準**が満たされる配合を探索。

・流動性 小フロー値100mm以上	・凝結性 始発時間300min以上 + 24h終結	・強度 7dで30MPa以上
----------------------	------------------------------	-------------------

↑均質固化よりも強度の基準が高い。脆い塊状廃棄物を充填固化する際は固化材料のみで十分な強度が必要なため。(P.72)

結果

5つの配合を検討した。

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。

数字はmass%。↓

	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結 判定	7d強度 [MPa]	外観など
①	47	220	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生
②	53	210	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生
③	63	230	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生
④	61	280	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生
⑤	105	420以上	24h終結	14.6	珪砂が分離

ブリーディング水が1.0vol.%以上発生した系は、強度を測定せず。

結論

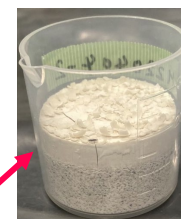
OPCモルタル系は、小フロー値60mm以下でもブリーディング水が発生。

小フロー値を100mm以上にするためにはH₂O量を増大する必要性があり、その場合もブリーディング水の発生が確実視される。

AAMモルタル系は、小フロー値100mm程度で珪砂が分離する。

分離を防止するためには流動性を要求基準以下に下げるしかない。

珪砂(細骨材)が存在しないペースト系に変更すべきだと判った。



配合⑤:珪砂が分離。

充填固化②

固化材料の検討 小規模 OPCペースト

内容

OPCモルタル系では要求基準を満たせないと判明したため、珪砂(細骨材)が存在しないOPCペースト系で**要求基準**が満たされる配合を探索。

・流動性	・凝結性	・強度
小フロー値100mm以上	始発時間300min以上 + 24h終結	7dで30MPa以上

結果

3つの配合を検討した。

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。
数字はmass%。↓

	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結 判定	7d強度 [MPa]	外観など
①	96	390	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生
②	105	360	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生
③	117	400	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生

ブリーディング水が1.0vol.%以上発生した系は、強度を測定せず。

結論

①②③の中で水量が最も少なくOPC=65%である①は流動性の基準を満たさない。OPC量を62.5%まで削減すると流動性の基準を満たすようになる。ただし、水量が最も少ない①を含め、3つの配合全てでブリーディング水が発生した。ブリーディング水を無くすためには水を削減してOPC量を増大させる必要性があり、その場合はOPC量が65%を超えるため小フロー値が96mm未満となってしまう。水を削減しつつ流動性を維持・向上するためには減水剤が必須である。そこで、ナフタレンスルホン酸系減水剤マイティ100(花王製)を使用する事にした*。

充填固化②

固化材料の検討 小規模 減水剤を含んだOPCペースト

内容 OPCペースト系は減水剤が無いと要求基準を満たせないと判明したため、OPCペーストに減水剤を添加して**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- ・流動性 小フロー値100mm以上
- ・凝結性 始発時間300min以上 + 24h終結
- ・強度 7dで30MPa以上

結果 5つの配合を検討した。
 要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。
数字はmass%。↓

		小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結 判定	7d強度 [MPa]	外観など
①	OPC 67 0.10% H ₂ O 33	105	390	24h終結	25.6	問題なし
②	OPC 67 0.25% H ₂ O 33	136	390	24h終結	23.7	問題なし
③	OPC 70 0.10% H ₂ O 30	92	380	24h終結	38.5	問題なし
④	OPC 70 0.15% H ₂ O 30	108	410	24h終結	33.8	問題なし
⑤	OPC 70 0.25% H ₂ O 30	124	350	24h終結	測定せず	ブリーディング水が発生

ナフタレン系減水剤

(添加率はOPCに対する質量分率)

ブリーディング水が1.0vol.%以上発生した系は、強度を測定せず。

本来、流動性・凝結性・強度の一つでも基準を満たさない配合は外観観察を省略するが、ここではブリーディング水の発生が問題となっているため、全ての系で外観観察を行っている。

結論 減水剤量が大きくなるほど流動性が増大しており、減水剤の効果が発揮されている。OPC量が67%の①②は強度の基準を満たさず、OPC量が不足している。OPC量が70%の③④は強度の基準を満たし、特に④は全基準を満たす。この様に、適切なOPC量に設定しつつ適切な量の減水剤を使用する事で、充填固化用の固化材料として適切なOPCペーストとして**④を抽出した**。

充填固化②

固化材料の検討 小規模 AAMペースト

内容

AAMモルタル系では要求基準を満たせないと判明したため、珪砂(細骨材)が存在しないAAMペースト系で**要求基準**が満たされる配合を探索・抽出。

- ・流動性 小フロー値100mm以上
- ・凝結性 始発時間300min以上 + 24h終結
- ・強度 7dで30MPa以上

結果

7つの配合を検討した。

要求基準を満たす物性のセルは紫色で明示。
 数字はmass%。↓ 括弧内の数字は[mol/L]。↓

	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]	外観など	
①	M 24 BFS 16 H ₂ O 42 (Si,Na)=(4.0, 6.0)	120	230	24h終結	22.8	観察せず
②	M 24 BFS 16 H ₂ O 42 (Si,Na)=(3.5, 7.0)	117	320	24h終結	25.1	観察せず
③	M 24 BFS 16 H ₂ O 40 (Si,Na)=(4.0, 8.0)	113	395	24h終結	23.8	観察せず
④	M 21 BFS 14 H ₂ O 46 (Si,Na)=(4.0, 6.0)	132	300	24h終結	14.3	観察せず
⑤	M 21 BFS 14 H ₂ O 46 (Si,Na)=(3.5, 7.0)	123	390	24h終結	20.0	観察せず
⑥	M 21 BFS 14 H ₂ O 44 (Si,Na)=(4.0, 8.0)	111	180	24h終結	15.2	観察せず
⑦	M 16 BFS 10 H ₂ O 52 (Si,Na)=(4.0, 6.0)	141	420以上	24h終結	12.3	問題なし

結論

7つの配合全てで強度の基準を満たす事ができなかった。
 AAMペースト系で強度の基準を満たす事は困難であると判った。
 しかし、固化材料のみの強度は絶対的に必要なものでない(P.72参照)。
 流動性(充填性)と凝結性を優先し、充填固化用の固化材料として**⑦**を抽出した。

充填固化③

小規模(Φ10×h20cm)における充填固化体の作製

小規模試験で抽出した固化材料を用いて、充填固化を行った。

内容

要求基準ではないが、
参考値として測定した。↓

小規模試験で抽出した配合	J14流下時間 [s]	小フロー値 [mm]	始発時間 [min]	終結判定	7d強度 [MPa]	28d強度 [MPa]	密度 [g/cm ³]								
OPC系固化材料	2.6	108	410	24h終結	33.8	47.2	1.92								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">OPC</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">減水剤 OPC×0.15%</td> <td style="text-align: center;">H₂O</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>								OPC	70	減水剤 OPC×0.15%	H ₂ O	30			
OPC	70	減水剤 OPC×0.15%	H ₂ O	30											
AAM系固化材料	2.5	141	420以上	24h終結	12.3	13.8	1.43								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">M 16</td> <td style="text-align: center;">BFS 10</td> <td style="text-align: center;">H₂O</td> <td style="text-align: center;">52</td> <td style="text-align: center;">(Si,Na)= (4.0, 6.0)</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>								M 16	BFS 10	H ₂ O	52	(Si,Na)= (4.0, 6.0)			
M 16	BFS 10	H ₂ O	52	(Si,Na)= (4.0, 6.0)											

数字はmass%。↑

括弧内の数字は[mol/L]。↑

なお、比較対象として、純水のJ14流下時間は2.2s、小フロー値は151mmである。

固化材料: OPC / AAMの2通り

塊状廃棄物の種類: CS / ISの2通り

塊状廃棄物の含水率: 未乾燥:(湿) / 105°C絶乾:(乾)の2通り

打設: 振動なし / あり(縦振動。25~30Hzで、液面の波打ち度合いで調整。振動数が大きいと漏洩しやすい。)

2×2×2×2=計16通り、強度試験用にn=2で32個の固化体を作製。

充填固化③

小規模($\Phi 10 \times h 20 \text{cm}$)における充填固化体の作製

手順① 固化材料を作製(90秒混練→30秒掻き落とし→90秒混練:土木学会指針)。

手順② 容器底に固化材料を一部事前打設(高さ約2cmまで)。

手順③ 塊状廃棄物を容器に投入(概算で容器体積の33vol.%)。

手順④ 固化材料を容器に充填(高さ約18cmまで) (振動をかける場合は予察試験と同様の手順)。

手順⑤ 1日後に固化材料を改めて作製して、キャップ打設(高さ20cmまで)。

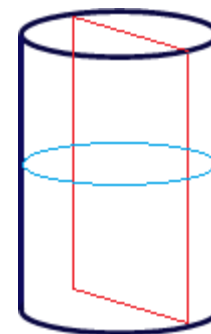


充填固化③

小規模($\Phi 10 \times h 20\text{cm}$)における充填固化体の作製

材齢13d以降の適当な時期に、脱型→外観撮影→CTスキャン 赤□青○

分析



→材齢28dで圧縮破壊し、圧縮強さを測定



圧縮試験機



固化体を設置



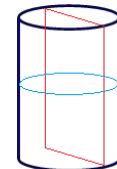
加圧中



破壊開始



測定終了



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) OPC+CS湿

数字はmass%。↓

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
-----	----	------------------	----	-------	----

結果

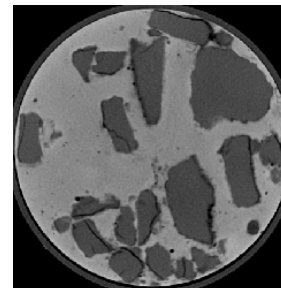
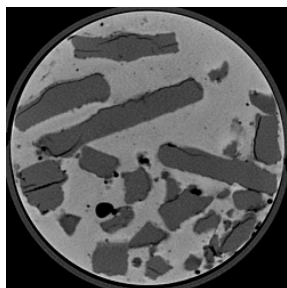
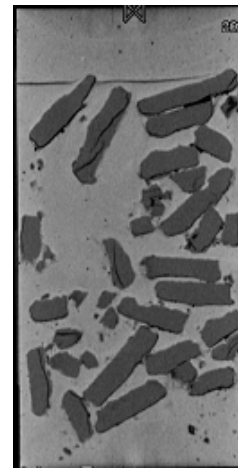
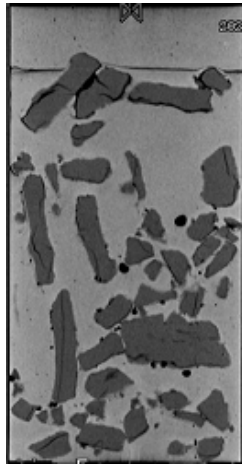
振動なし

振動あり

↓外観(横)

↓横からのCT断面:赤□

↓圧縮破壊の様子(横)



↑外観(底)

↑高さ10cmのCT断面:青○

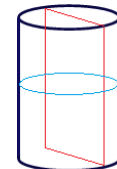
↑破断物

28d圧縮強さ=2.6MPa

28d圧縮強さ=2.5MPa

結論

一体な固化体を作製可能だが、塊状廃棄物の内部に亀裂状の空隙が残る。無振動では塊状廃棄物の周囲にも空隙が残る。



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) OPC+CS乾

数字はmass%。↓

OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
-----	----	------------------	----	-------	----

結果

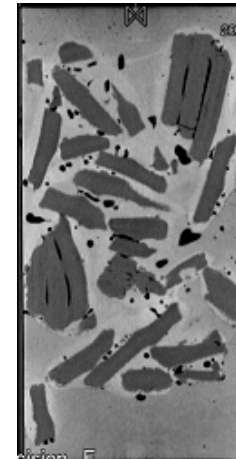
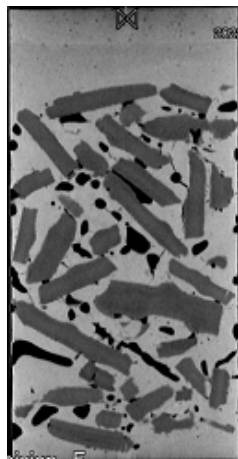
振動なし

振動あり

↓外観(横)



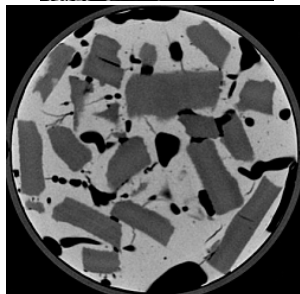
↓横からのCT断面:赤□ ↓圧縮破壊の様子(横)



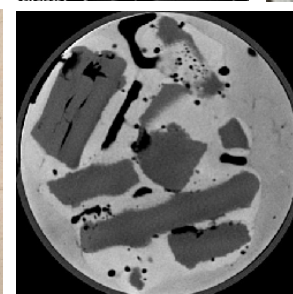
↑外観(底)



↑高さ10cmのCT断面:青○



↑破断物

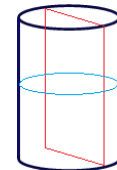


28d圧縮強さ=3.1MPa

28d圧縮強さ=3.7MPa

結論

無振動では塊状廃棄物の露出と多数の空隙が発生した。
振動をかけながら充填すると、一定程度改善される。



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) OPC+IS湿

数字はmass%。↓

OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
-----	----	------------------	----	-------	----

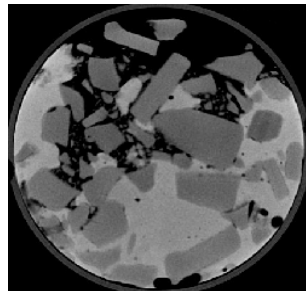
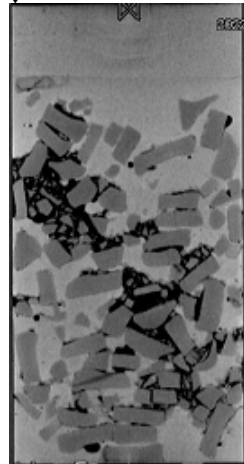
振動なし

振動あり

結果

↓外観(横)

↓横からのCT断面:赤□

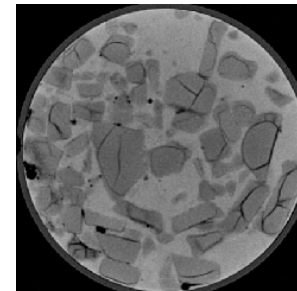
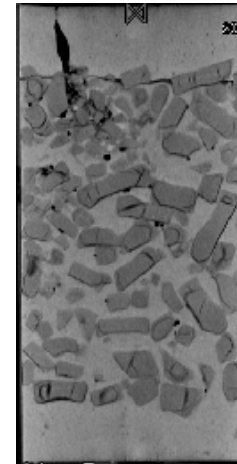


↑外観(底)

↑高さ10cmのCT断面:青○

28d圧縮強さ=測定不可

↓圧縮破壊の様子(横)

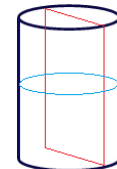


↑破断物

28d圧縮強さ=1.1MPa

結論

無振動では、一体化固化体を作製できない。(直立させる事すら不可能で、圧縮破壊試験もできない。) 振動をかけながら充填すると、一体化固化体となるものの強度は基準(1.47MPa)以下。



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) OPC+IS乾

数字はmass%。↓

OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25
-----	----	------------------	----	-------	----

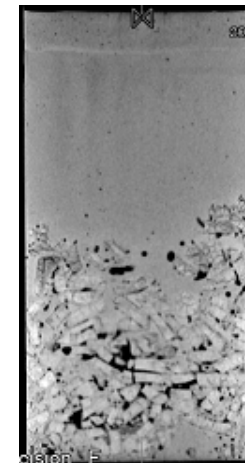
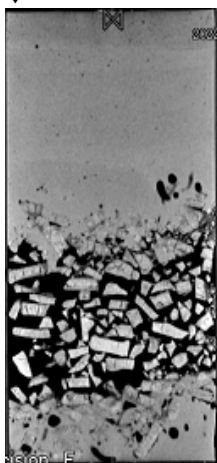
振動なし

振動あり

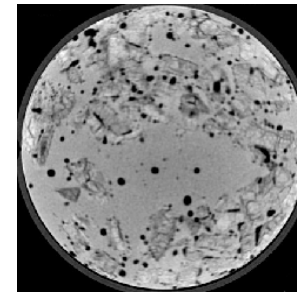
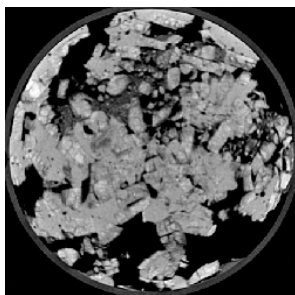
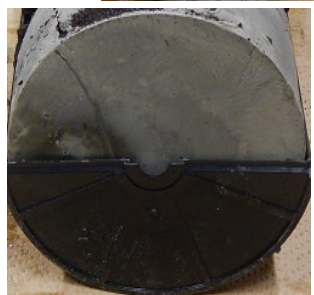
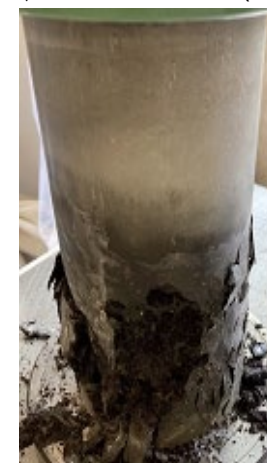
結果

↓外観(横)

↓横からのCT断面:赤□



↓圧縮破壊の様子(横)



↑外観(底)

↑高さ10cmのCT断面:青○

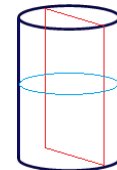
↑破断物

28d圧縮強さ=測定不可

28d圧縮強さ=2.4MPa

結論

無振動では、一体化固化体を作製できない。(IS湿よりも充填性がさらに低い。) 振動をかけながら充填すると、一体化固化体となるが、空隙は残存した。



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) AAM+CS湿

↓数字はmass%。

↓括弧内の数字は[mol/L]。

M	BFS	H ₂ O	(Si,Na)	塊状CS湿
10	7	34	(4.0, 6.0)	34

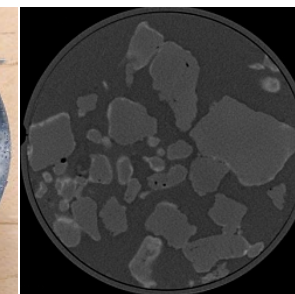
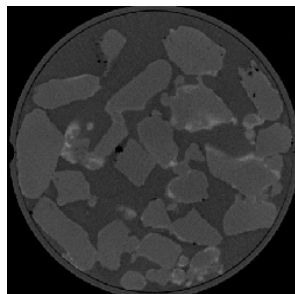
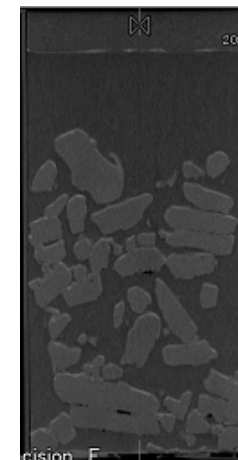
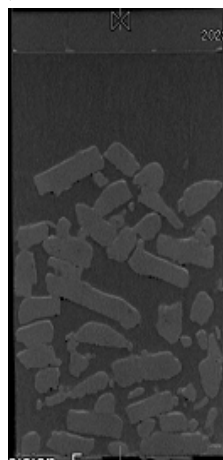
結果

振動なし

振動あり

↓外観(横)

↓横からのCT断面:赤□ ↓圧縮破壊の様子(横)



↑外観(底)

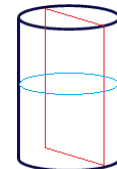
↑高さ10cmのCT断面:青○

↑破断物

28d圧縮強さ=2.7MPa

28d圧縮強さ=2.9MPa (脱型時に誤って破壊したためn=1)

結論 一体な固化体を作製可能であり、空隙や亀裂も見られない。
 色の変化は空気中の酸素によるもので、強度などに影響は無いと思われる。
 OPC系とは異なり、固化材料のAAMと塊状廃棄物が同じ面で割裂している*。



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) AAM+CS乾

↓数字はmass%。		↓括弧内の数字は[mol/L]。	
M	BFS	H ₂ O	(Si,Na)=(4.0, 6.0)
11	7	37	塊状CS乾 30

振動なし

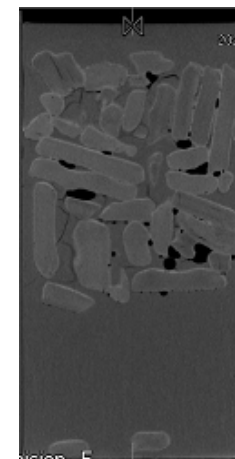
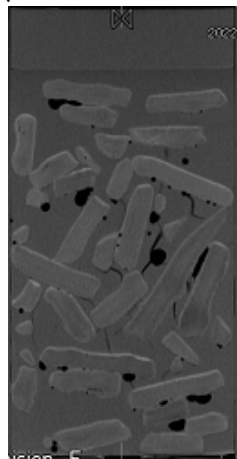
振動あり

結果

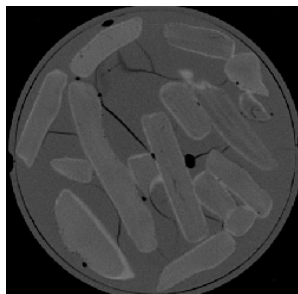
↓外観(横)



↓横からのCT断面:赤□ ↓圧縮破壊の様子(横)



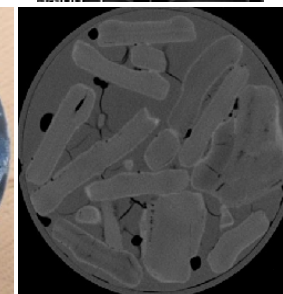
↑外観(底)



↑高さ10cmのCT断面:青○



↑破断物

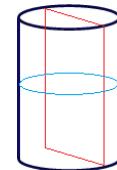


28d圧縮強さ=3.3MPa

28d圧縮強さ=3.1MPa

一様な固化体を作製可能だが、塊状廃棄物の周囲に空隙と亀裂がある。
振動をかけながら打設すると、塊状廃棄物が上部に偏在した。

結論



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) AAM+IS湿

↓数字はmass%。

↓括弧内の数字は[mol/L]。

M	BFS	H ₂ O		(Si,Na)= (4.0, 6.0)	塊状IS湿
10	7	33			37

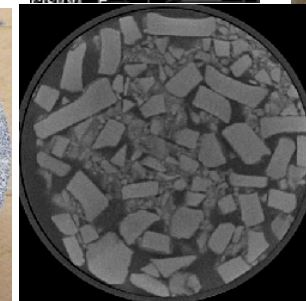
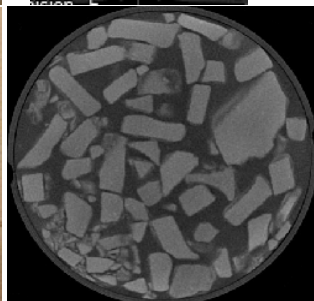
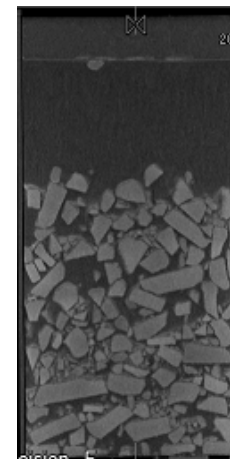
結果

振動なし

振動あり

↓外観(横)

↓横からのCT断面:赤□ ↓圧縮破壊の様子(横)



↑外観(底)

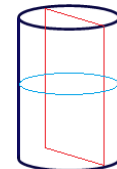
↑高さ10cmのCT断面:青○

↑破断物

28d圧縮強さ=1.2MPa

28d圧縮強さ=0.6MPa

結論 一体な固化体を作製可能であり、空隙や亀裂も見られない。
振動をかけながら打設すると、塊状廃棄物が沈殿し、底部が脆化していた。
(容器底に固着した固化体を取る際に固化体の一部が剥がれるほど脆化しており、黒い廃棄物塊が見えてしまっている。)



充填固化③

小規模(Φ10×h20cm) AAM+IS乾

↓数字はmass%。

↓括弧内の数字は[mol/L]。

M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31
-----------------	------------------	------------------	----	--------------------	-------	----

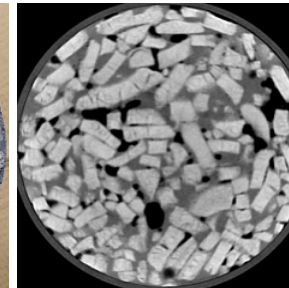
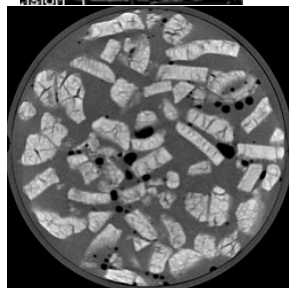
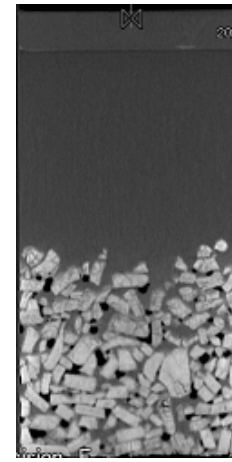
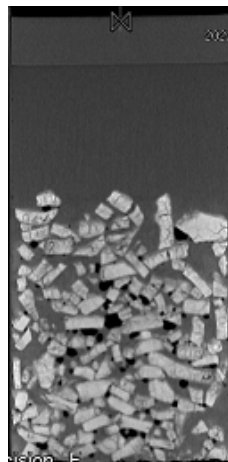
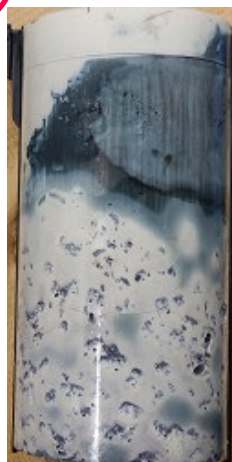
結果

振動なし

振動あり

↓外観(横)

↓横からのCT断面:赤□ ↓圧縮破壊の様子(横)



↑外観(底)

↑高さ10cmのCT断面:青○

↑破断物

↑高さ10cmでは塊状廃棄物が映らないため高さ5cmでCT断面を撮影した。

28d圧縮強さ=1.1MPa

28d圧縮強さ=1.1MPa (脱型時に誤って破壊したためn=1)

結論

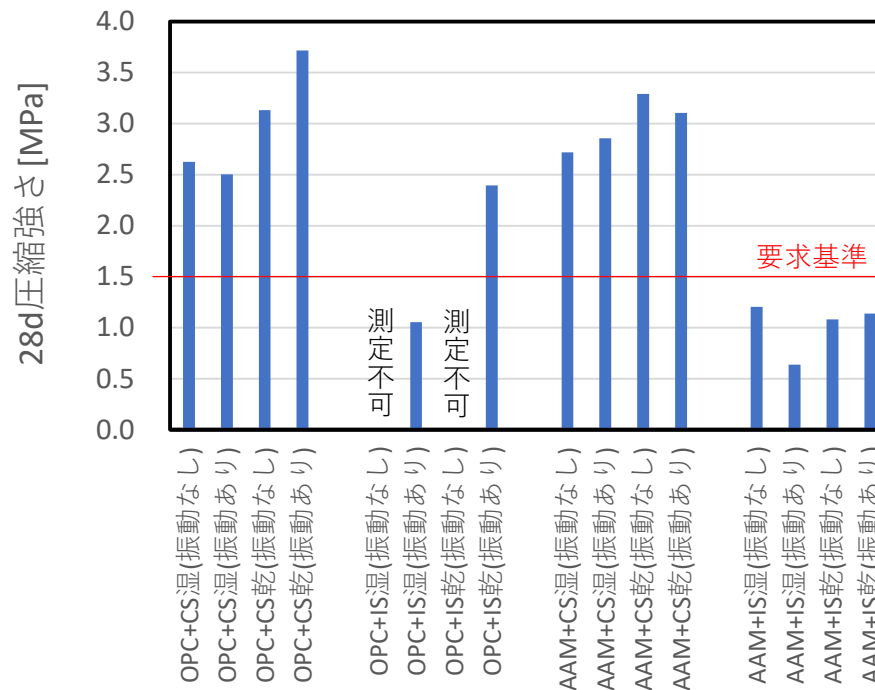
一体な固化体を作製可能だが、塊状廃棄物の間に空隙は残る。
塊状廃棄物が下部に偏在。底部が脆化しており、容器底から外す際に破損した。
(容器底に固着した固化体を取る際に固化体の一部が剥がれるほど脆化しており、黒い廃棄物塊が見えてしまっている。)

充填固化③

小規模(Φ10×h20cm)における充填固化体の作製

結果

強度試験の結果まとめ



結論

固化材料の種類や振動の有無に依らず、塊状CSの固化体は強度の基準を満たす。塊状ISの固化体はOPC+IS乾(振動あり)以外、強度の基準を満たさない。OPC系固化材料の強度は基準以上だが、OPC+ISの強度は基準以下の事もある。AAM系固化材料の強度は基準以下だが、AAM+CSの強度は基準以上である。固化材料の種類が異なっても、充填固化体の強度に著しい差は見られない。固化材料のみの強度は充填固化体の強度に殆ど関係しない事が示唆される。

充填固化④

中規模20Lにおける充填固化体の作製

↓数字はmass%。		↓括弧内の数字は[mol/L]。	
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O 33	(Si,Na)=(4.0, 6.0) 塊状IS湿 37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O 36	(Si,Na)=(4.0, 6.0) 塊状IS乾 31

内容

検討対象を絞って、2つの中規模固化体を作製した。
 小規模の結果からすると塊状CSよりも塊状ISの方が打設時の課題点は多いため、中規模固化体では塊状ISを試験対象とする。
 中規模20Lは装置の制限上、振動をかけられなかったため、振動打設が必須なOPC系ではなく、振動打設が不必要なAAM+IS湿/乾を作製した。

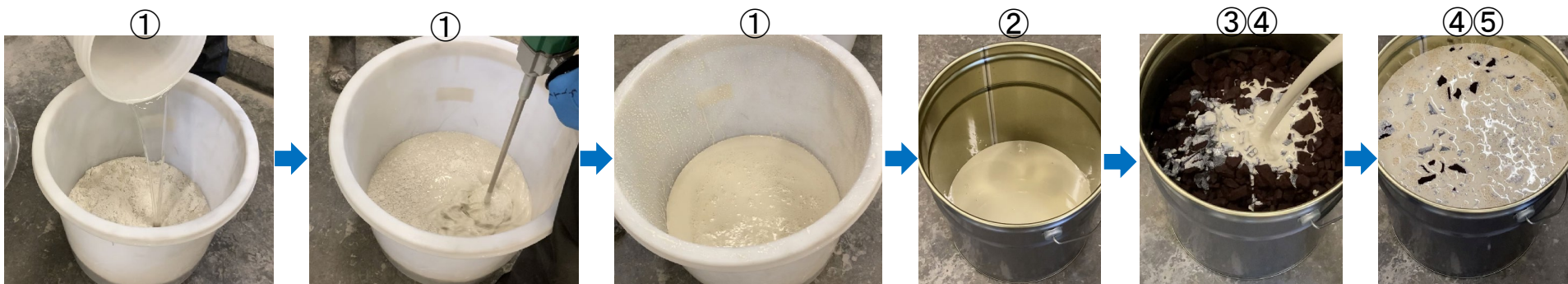
手順① 固化材料を作製(90秒混練→30秒掻き落とし→90秒混練:土木学会指針)。

手順② 容器底に固化材料を一部事前打設(高さ約2cmまで)。

手順③ 塊状廃棄物を容器に投入(概算で容器体積の33vol.%)。

手順④ 固化材料を容器に充填(20Lまで)。

手順⑤ Φ10×h20cm規模の結果から、キャップ打設は不要と判断した。



粉体に液相を混合

混練中

混練後

充填固化④

中規模20Lにおける充填固化体の作製

↓数字はmass%。

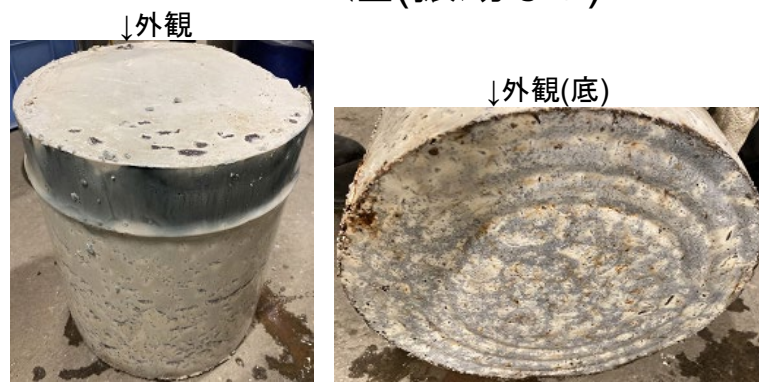
↓括弧内の数字は[mol/L]。

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

AAM+IS湿(振動なし)

AAM+IS乾(振動なし)

結果



結論

CTスキャンを試みたが、固化体が大きいためX線が透過せず、分析不可能であった。脱型後に破壊して断面を観察した。固化材料が充填されている様子を確認できた。

充填固化 まとめ

OPC系は
OPC × 0.15%の
減水剤を添加→

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	34	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS湿	34
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

← 充填固化で
用いた配合

← 数字はmass%を示す。
(Si,Na)は[mol/L]。

- 予察試験では、容器底の廃棄物の沈殿と固化体上部の廃棄物の露出が見られた。容器の底に少量の固化材料を敷いて沈殿を防止した後(一部事前打設)、塊状廃棄物を投入してから固化材料を充填し、1d経過後に改めて固化材料を被せる事によって露出を埋める方法(キャップ打設)を考案して解決した。
- 小規模試験を行い、適切な固化材料の配合を見出した。
- OPCモルタル系とAAMモルタル系は要求基準を満たせなかったため、OPCペースト系とAAMペースト系を検討した。
- OPCペースト系は適量の減水剤を用いる事で、要求基準が満たされる固化材料を抽出できた。
- AAMペースト系は多数の配合を検討したものの従来の強度基準を満たす事が困難であると判明したため、流動性と凝結性を優先しつつ充填固化用の固化材料として用いる配合を抽出した。
- Φ10×h20cmの小規模で塊状廃棄物の充填固化体を作製した。
OPC/AAM、CS/IS、塊状廃棄物の含水率＝未乾燥/乾燥、打設時の振動の有/無で16通りの充填固化体を作製した。
- OPC+CSは、乾燥CSの場合、固化体側面からの塊状廃棄物の露出を防ぐために振動が必須である。
OPC+ISは、塊状廃棄物の含水率に依らず、固化体側面からの塊状廃棄物の露出を防ぐために振動が必須である。
それ以外の固化材料+廃棄物の組み合わせでは、固化材料と塊状廃棄物が一体となった充填固化体を作製可能である。
- AAM系は、固化材料と塊状廃棄物が一体となった固化体を基本的に作製可能である。
むしろ、振動をかけつつ打設すると塊状廃棄物が偏在し、特に乾燥した塊状廃棄物の場合は偏在度合いが顕著である。
使用したAAM系固化材料は固化材料に対する従来の強度基準を満たさなかったものの、AAM+CSの充填固化体は充填固化体に対する従来の強度基準を満たす事ができた。
- 固化材料の強度に著しい差があっても、充填固化体の強度に差は見られない。
固化材料の強度よりも、塊状廃棄物の強度と充填具合が影響すると考えられる。

充填固化 成果

OPC系は
OPC × 0.15%の
減水剤を添加→

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	34	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS湿	34
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

← 充填固化で
用いた配合

← 数字はmass%を示す。
(Si,Na)は[mol/L]。

充填固化		OPC				AAM					
固化管理材のみ		配合を変化させながら固化体を作製。 要求基準を見たす配合を充填固化用に抽出した。				配合を変化させながら固化体を作製。 要求基準を見たす配合を充填固化用に抽出した。					
		OPC 70		H ₂ O 30		M 16		BFS 10		H ₂ O 52	
		CS		IS		CS		IS			
		湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾		
固化管理材 + 塊状廃棄物	振動なし	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 強度も高い。	固化体表面に大きな空隙。塊状廃棄物が固化体表面に一部露出。 ただし、強度は高い。	固化体表面に大きな空隙。塊状廃棄物が固化体表面に完全に露出。 一体な固化体は作製不可。	固化体表面に大きな空隙。塊状廃棄物が固化体表面に完全に露出。 一体な固化体は作製不可。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 強度も高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 強度も高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 ただし、強度は低い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 廃棄物が下部に偏在。強度は低い。		
	振動あり	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 強度も高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 ただし、表面に亀裂。強度は高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 ただし、強度は低い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 廃棄物が沈殿。強度は高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 強度も高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 廃棄物が上部に偏在。強度は高い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 強度は低い。	固化管理材と塊状廃棄物が一体となった良好な固化体を作製可能。 廃棄物が下部に偏在。強度は低い。		

充填固化 成果(固化体外観)

OPC系は
OPC × 0.15%の
減水剤を添加→

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	34	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS湿	34
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

← 充填固化で
用いた配合

← 数字はmass%を示す。
(Si,Na)は[mol/L]。

充填固化

OPC

AAM

CS

IS

CS

IS

湿

乾

湿

乾

湿

乾

湿

乾

固化材料 + 塊状廃棄物

振動なし

振動あり



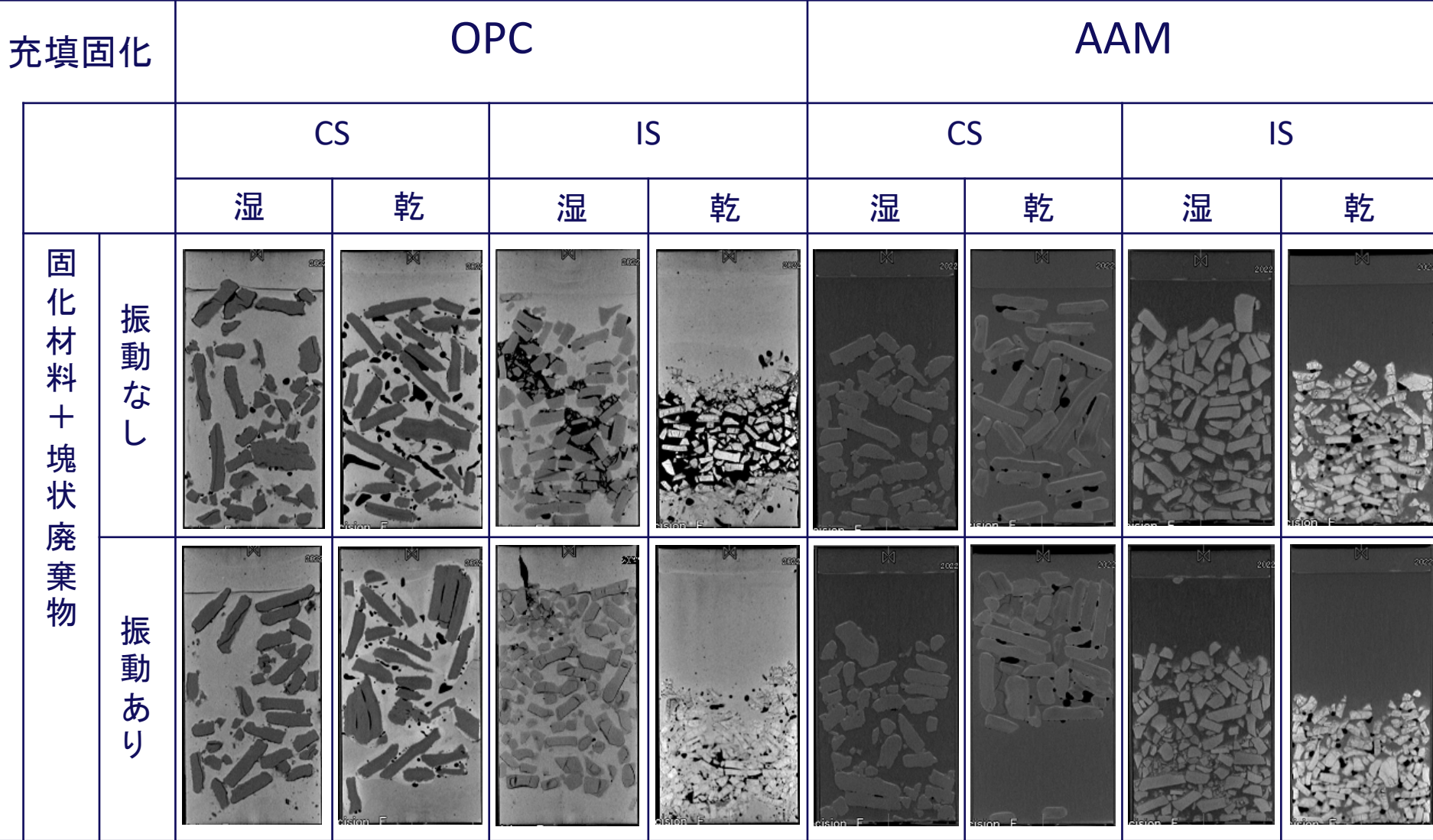
充填固化 成果(固化体内部CT)

OPC系は
OPC × 0.15%の
減水剤を添加→

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	34	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS湿	34
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

← 充填固化で
用いた配合
← 数字はmass%を示す。
(Si,Na)は[mol/L]。



充填固化物性

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	34	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS湿	34
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

← 充填固化で用いた配合
 ← 数字はmass%を示す。
 (Si,Na)は[mol/L]。

充填固化		OPC				AAM			
固化材料のみ J14流下時間:2.6s 小フロー値:108mm 密度1.92g/cm ³ 始発時間:410min 7d強度:33.8MPa 28d強度:47.2MPa OPC 70 H ₂ O 30 減水剤:量 OPC×0.15%		CS(1.5g/cm ³ ,1.4/cm ³)		IS(1.3g/cm ³ ,2.0/cm ³)		CS(1.5g/cm ³ ,1.4/cm ³)		IS(1.3g/cm ³ ,2.0/cm ³)	
		湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾
固化材料+塊状廃棄物	振動なし	28d強度: 2.6MPa	3.1MPa	充填固化体の側面から塊状廃棄物が著しく露出し、一体な固化体とならず、直立不可のため強度測定も不可。	充填固化体の側面から塊状廃棄物が著しく露出し、一体な固化体とならず、直立不可のため強度測定も不可。	2.7MPa	3.3MPa	1.2MPa	1.1MPa
	振動あり	2.5MPa	3.7MPa	1.1MPa	2.4MPa	2.9MPa	3.1MPa	0.6MPa	1.1MPa

充填固化 課題

OPC	50	H ₂ O	22	塊状CS湿	28
OPC	53	H ₂ O	23	塊状CS乾	24
OPC	49	H ₂ O	21	塊状IS湿	31
OPC	52	H ₂ O	22	塊状IS乾	25

M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	34	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS湿	34
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	37	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状CS乾	30
M ₁₀	BFS ₇	H ₂ O	33	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS湿	37
M ₁₁	BFS ₇	H ₂ O	36	(Si,Na)=(4.0, 6.0)	塊状IS乾	31

← 充填固化で
用いた配合
← 数字はmass%を示す。
(Si,Na)は[mol/L]。

充填固化

OPC

AAM

固化材料のみ

J14流下時間=2.6sという高流動性だが、低充填性。
振動なしではIS系の充填固化体を作製できない。

強度が低い。

OPC	70	H ₂ O	30	減水剤:量 OPC×0.15%
-----	----	------------------	----	--------------------

M	16	BFS	10	H ₂ O	52	(Si,Na)=(4.0, 6.0)
---	----	-----	----	------------------	----	--------------------

CS

IS

CS

IS

湿

乾

湿

乾

湿

乾

湿

乾

固化材料 + 塊状廃棄物

振動なし

固化体内部の塊状廃棄物の周囲に小さな空隙が存在。
塊状廃棄物の内部空隙が残存する。

固化体内部と固化体表面に大きな空隙。塊状廃棄物が固化体表面に一部露出。

固化体表面に大きな空隙。塊状廃棄物が固化体表面に完全に露出。
一体化せず、強度測定不可。

固化体表面に大きな空隙。塊状廃棄物が固化体表面に完全に露出。
一体化せず、強度測定不可。

特に無し。
塊状廃棄物の内部空隙は存在しない。

固化体内部に亀裂状空隙。

強度が低い。

廃棄物が下部に偏在。強度は低い。

振動あり

塊状廃棄物の内部空隙が残存する。

固化体内部の塊状廃棄物の周囲に小さな空隙が存在。
塊状廃棄物の内部空隙は存在しない。

固化材料のみの強度は高いにも拘らず、充填固化体の強度が低い。

廃棄物が沈殿。

特に無し。
塊状廃棄物の内部空隙は存在しない。

廃棄物が上部に偏在。それに伴って、塊状廃棄物の周囲に小さな空隙が存在。

強度が低い。

廃棄物が下部に偏在。強度は低い。

充填固化

課題に対して現状で考えられうる解決策

充填固化		OPC				AAM			
固化材料のみ		一定程度の強度低下を許せば、配合の調整で一定程度の充填性向上は可能。 <small>↓数字はmass%。</small> OPC 70 H ₂ O 30 減水剤:量 OPC×0.15%				配合の調整で一定程度の強度増大は可能。ただし、固化材料のみの強度は不要と考えられる。 <small>↓括弧内の数字は[mol/L]。</small> M 16 BFS 10 H ₂ O 52 (Si, Na)=(4.0, 6.0)			
		CS		IS		CS		IS	
		湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾
固化材料 + 塊状廃棄物	振動なし	振動をかける。ただし、振動をかけながら打設しても塊状廃棄物の内部空隙は残存する。	振動をかける事で課題の一部は解決。	振動をかける事で課題の一部は解決。	振動をかける事で課題の一部は解決。	必要なし AAM液相が塊状CS内部に浸透して固化するため、塊状廃棄物の内部空隙も充填可能。	CS湿を使用すれば解決。 すなわち、塊状廃棄物の乾燥状態を制御する。	固化材料の強度を増大させれば、改善できる可能性がある。ただし充填性の低下に注意が必要。	IS湿を使用すれば課題の一部は解決。 すなわち、塊状廃棄物の乾燥状態を制御する。
	振動あり	塊状廃棄物の内部空隙を原理的に潰せないため、解決困難。 CS乾を使用すれば解決。	固化材料の流動性を向上させる。	固化材料の流動性を向上させる。充填性が向上する事で総合的に固化体強度が高くなると予想。	廃棄物の乾燥状態を制御し、固化材料との密度差を小さくする。固化材料の密度を上げる事は事実上不可。	必要なし AAM液相が塊状CS内部に浸透して固化するため、塊状廃棄物の内部空隙も充填可能。	CS湿を使用すれば解決。 すなわち、塊状廃棄物の乾燥状態を制御する。	固化材料の強度を増大させれば、改善できる可能性がある。ただし充填性の低下に注意が必要。	IS湿を使用すれば課題の一部は解決。 すなわち、塊状廃棄物の乾燥状態を制御する。