

## セメント系充填材の性能について

## 目 次

1. 概要.....	1
2. セメント系充填材の要求性能.....	1
3. 要求性能に基づく仕様(配合).....	1
4. セメント系充填材の充填性.....	3
(1) 充填性確認結果.....	3
5. セメント系充填材表面ひび割れの調査.....	5
(1) 1号3-A埋設設備における確認状況.....	6
(2) 2号6-B埋設設備における確認状況.....	7
6. セメント系充填材に発生するひび割れについて.....	9
(1) ひび割れ発生要因分析.....	9
(2) ひび割れ発生確率評価.....	12
7. 混和材選定について.....	14
(1) 膨張材について.....	14
(2) 結合材料について.....	14
8. 中規模模擬埋設設備による充填確認試験.....	15
(1) 実施概要.....	15
(2) セメント系充填材打設に伴う温度測定.....	16
(3) セメント系充填材におけるひび割れ調査.....	18
(4) セメント系充填材の物性試験結果.....	19
(5) 模擬埋設設備のひずみ測定結果.....	23
9. ドラム缶フロー試験.....	24
10. まとめ.....	25

## 1. 概要

セメント系充填材は、雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制するために設置するものであり、有害な空隙が生じないように充填性に配慮する。また、セメント系充填材硬化後の温度応力によるひび割れの発生を抑制するため、低発熱型配合の仕様とする。

1号操業当初から、これらを配慮した充填材料として中庸熱ポルトランドセメント10%、高炉スラグ90%とした配合のモルタルを使用している。

上記のセメント系充填材は、廃棄体間の狭隙部にも充填され、廃棄体表面にも密着し、ひび割れが発生し難いことから、水が廃棄体に容易に接触することはない。

実際の埋設設備において打設表面にひび割れが確認されているが、発生しているひび割れは表面付近の限定的なものであり、内部は密実に充填されている。

## 2. セメント系充填材の要求性能

雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制するため、有害な空隙を生じないように充填性に配慮した設計とする。

また、ひび割れにより充填部の透水性の増加が考えられることから、ひび割れを抑制するため、低発熱型の配合とした設計とする。

## 3. 要求性能に基づく仕様(配合)

現在使用しているセメント系充填材の配合を第1表に示す。

第1表 セメント系充填材の配合

水・ 結合 材比  W/C %	砂・ 結合 材比  S/C	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		水  W	結 合 材 C		細 骨 材 S		混 和 剤		
			中 庸 熱 ポルトランド セメント	高 炉 スラグ 微粉末	砕 砂	陸 砂	水 中 不 分 離 性 混 和 剤	AE 減 水 剤	高 性 能 減 水 剤
67.1	3.47	283	422		1466		1.5	0.844	6.33
			42	380	440	1026			

\*1：混和剤及び細骨材の混合比は品質確認試験結果等により微調整を行う。

\*2：充填性確保のため、スランプフローを75cm±10cmとする。

過去に以下のような配合変更があるが、中庸熱ポルトランドセメント10%、高炉スラグ90%という配合に変更はない。

- ①膨張材使用の取りやめ(1号3群以降)
- ②AE減水剤の添加量増加
- ③水中不分離性混和剤の変更

#### 4. セメント系充填材の充填性

セメント系充填材の充填性については、流動性としてスランプフローで管理を行っている。スランプフローによる充填性の管理について、実規模の充填試験結果から確認した。

また、充填性の検討として、ドラム缶フロー試験も実施されている（「9. ドラム缶フロー試験」参照）。

##### (1) 充填性確認結果

原子力環境整備センターで実施した充填性確認試験結果<sup>(1)</sup>を示す。この試験で用いたセメント系充填材の配合を第2表に示す。

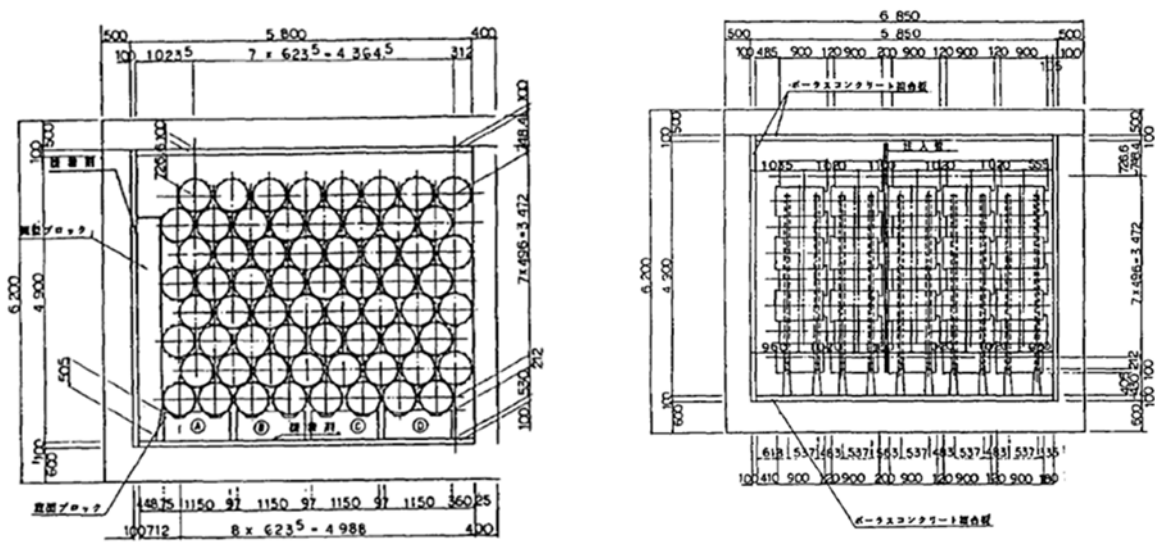
実際の埋設設備とほぼ同様の配合を用いている。

第2表 充填性確認試験におけるセメント系充填材の配合<sup>(2)</sup>

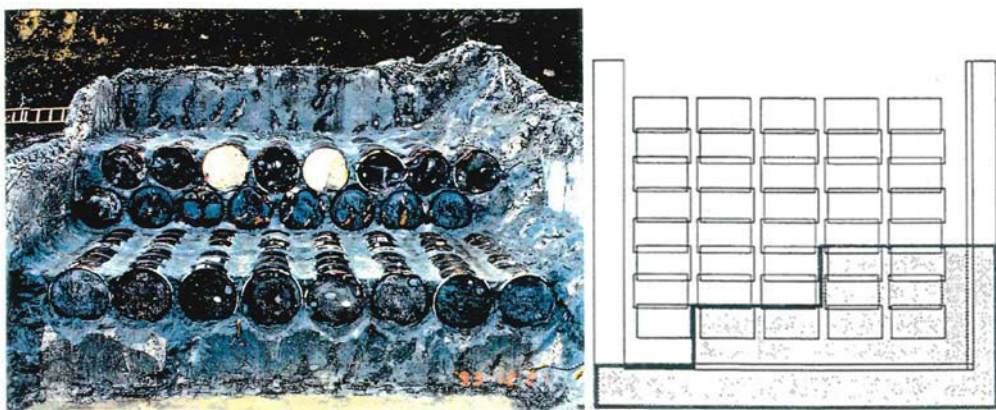
水 結合 材比 (%)	砂 結合 材比	スランプ フローの 範囲 (cm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水	砂	結合材		混和剤		
					セメント *1	膨張材	水中不 分離性 混和剤	AE 減水剤	高性能 減水剤
72.3	3.24	72.5±2.5	305	1367	397	25	1.5	結合材 重量の 0.1%	結合材 重量の 1.5%

\*1：セメントは中庸熟ポルトランドセメント 10%、高炉スラグ 90%

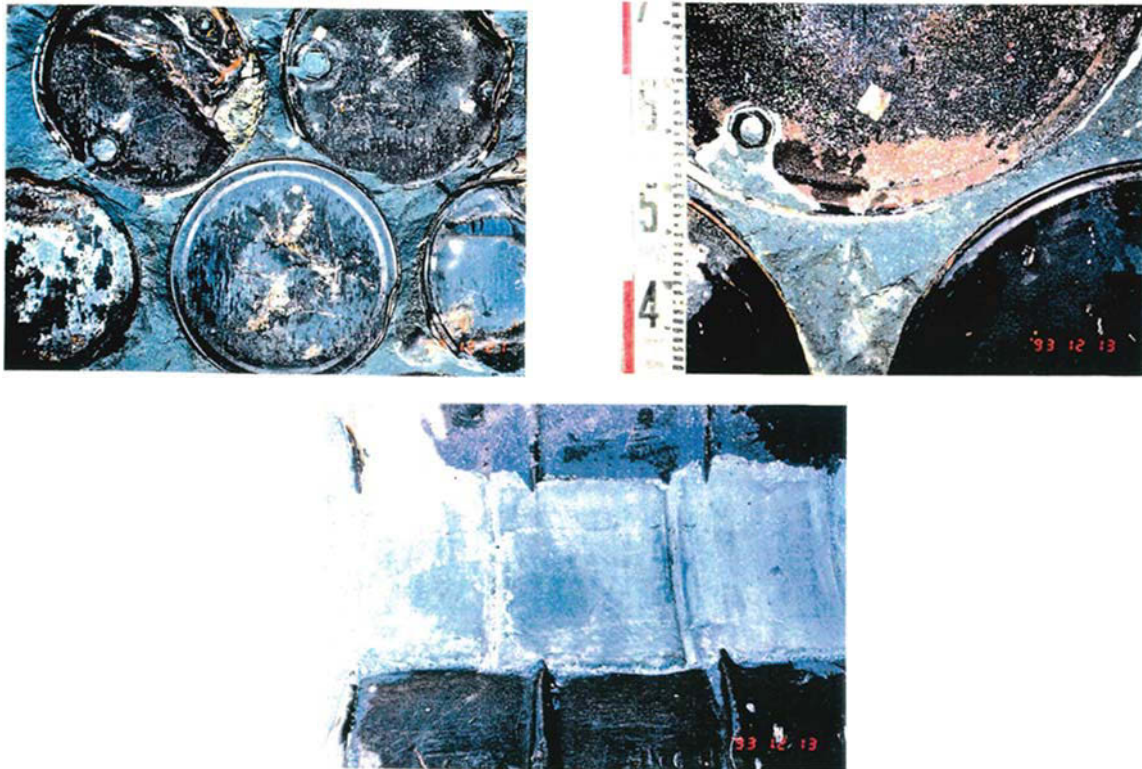
模擬埋設設備により、充填材硬化後に試験設備を解体調査し、充填状況確認を行った結果、廃棄体間の狭隘部であっても十分に充填できており、模擬廃棄体と十分に密着していることが確認されている（第1図、第2図及び第3図）。



第 1 図 模擬埋設設備断面図<sup>(2)</sup> (単位:mm)



第 2 図 模擬埋設設備解体状況図<sup>(1)</sup>



第3図 充填状況確認<sup>(1)</sup>

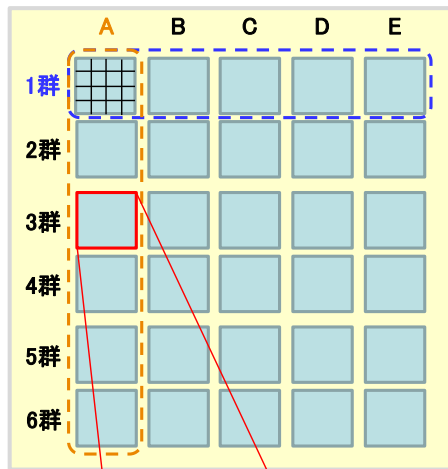
(模擬埋設設備の解体による充填性確認)

#### 5. セメント系充填材表面ひび割れの調査

一部の埋設設備のセメント系充填材上部表面でひび割れの調査を行っている。調査対象を第4図に示す。

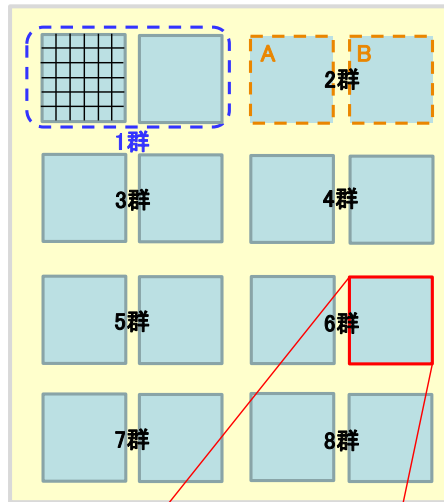
充填後のセメント系充填材の上部表面に生じるひび割れは少ないことを確認している。

1号



a	e	i	m
b	f	j	n
c	g	k	o
d	h	l	p

2号



1a	2a	3a	4a	5a	6a
1b	2b	3b	4b	5b	6b
1c	2c	3c	4c	5c	6c
1d	2d	3d	4d	5d	6d
1e	2e	3e	4e	5e	6e
1f	2f	3f	4f	5f	6f

第4図 セメント系充填材上部表面調査対象

(1) 1号 3-A 埋設設備における確認状況

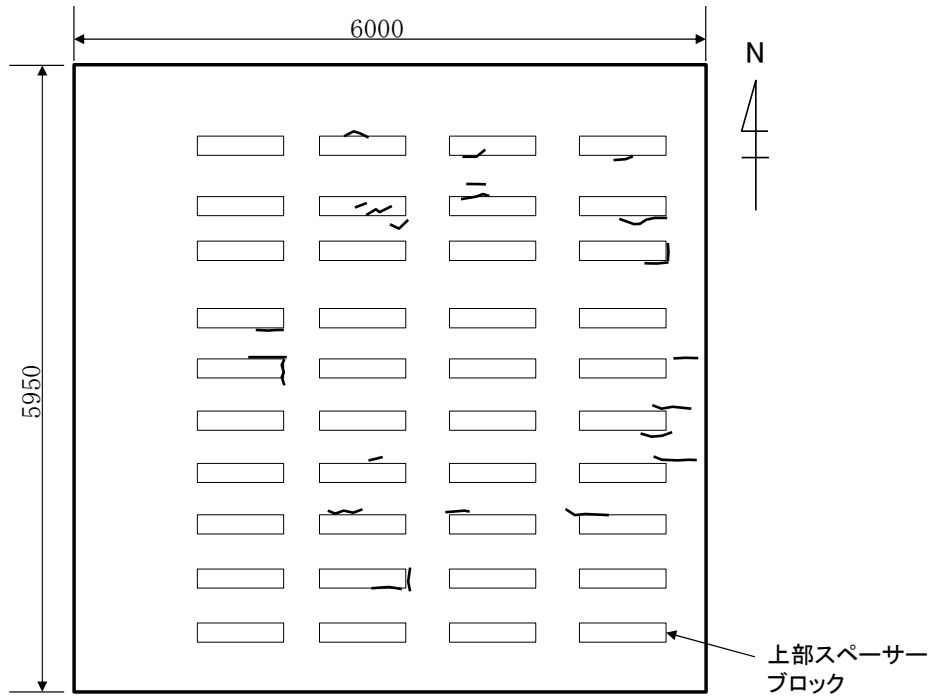
1号 3-A 埋設設備 a 区画におけるひび割れ調査結果を第5図に示す。

調査対象 : 1号 3-A 埋設設備 a 区画

セメント系充填材打設日 : 1995年7月18日

調査日 : 打設後83日





(単位:mm)

第5図 1号3-A埋設設備a区画ひび割れスケッチ図

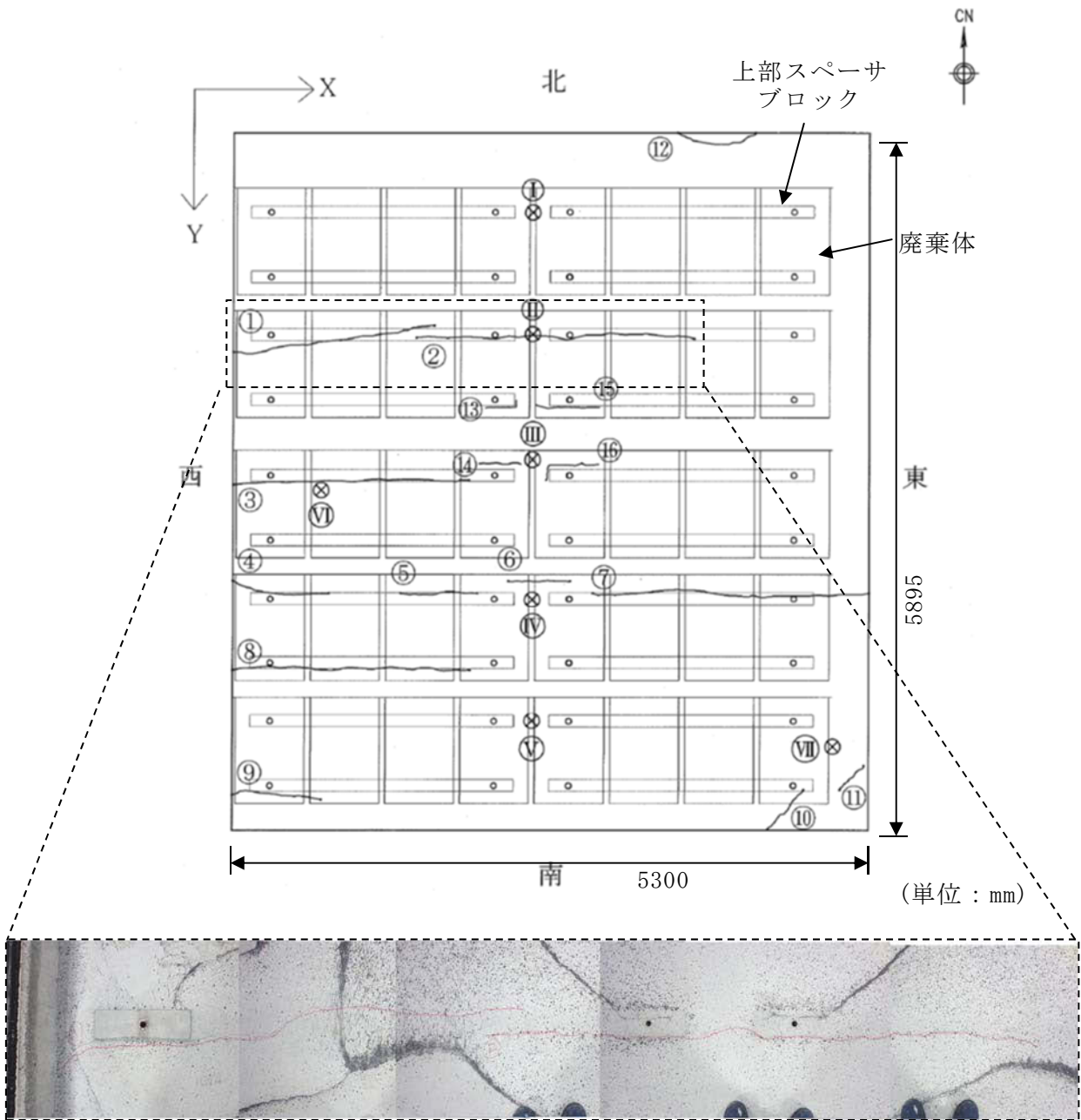
(2) 2号6-B埋設設備における確認状況

2号6-B埋設設備4a区画におけるひび割れ調査結果を第6図に示す。

調査対象 : 2号6-B埋設設備4a区画

セメント系充填材打設日 : 2018年6月20日

調査日 : 打設後310日



第 6 図 2 号 6-A 埋設設備 4a 区画ひび割れスケッチ及び写真

## 6. セメント系充填材に発生するひび割れについて

### (1) ひび割れ発生要因分析

充填材に発生するひび割れの主な要因は以下のとおりと推定する。

- ①モルタルの沈下・ブリーディング
- ②硬化時の塑性流動変形
- ③セメントの水和熱
- ④モルタルの乾燥収縮(自己収縮)

以下、実際の埋設設備及び模擬埋設設備(「8. 中規模模擬埋設設備による充填確認試験」参照)の調査結果からひび割れの発生要因について考察する。

#### (i) モルタルの沈下・ブリーディング

コンクリート打設後に生じるブリーディングや沈下が、鉄筋や型枠、部材形状によって留められる部分から不均一になったとき、沈み込みの続く部分が引張力として作用し、その作用起点からひび割れが発生する。発生時期はブリーディングの経過によるものであるため、数時間～1日程度である。

一般に、単位水量が少なくブリーディングの少ないコンクリートを用いることでひび割れの発生を抑制できる。

模擬埋設設備の観察結果において、上記の形態のひび割れ(上部スペーサブロックに沿ったひび割れ)は確認されなかった。セメント系充填材の配合がノンブリーディングであり、十分な充填性を有しているため、模擬埋設設備の打ち込み高さでは、沈下・ブリーディングによる影響は少ないと考える。

実際の埋設設備においては、模擬埋設設備と比較し、打ち込み高さが約5倍となることからひび割れの発生確率が高くなる傾向にある。実際の埋設設備では、上部スペーサブロックに沿ったひび割れが生じているが、ノンブリーディング配合であることから、上部表面から最上段の廃棄体までに到達せず、表面に限定的なひび割れと推察される。

#### (ii) 硬化時の塑性流動変形

硬化時の塑性流動変形に伴うひび割れとは、コンクリートが硬化しつつある状態で、表面の不陸等の傾斜を流下する際に、塑性流動変形が拘束されることにより、ひび割れが発生するものである。発生時期は、コンクリートが凝結しつつある時間であるため、数時間～1日程度である。

模擬埋設設備では、上部スペーサブロック固定用鉄筋から放射状に伸びた形のひび割れが確認されている。樹脂注入によるひび割れ深さを測定した結果、材齢 28 日で 4cm、材齢 91 日で 6cm であった。この要因によるひび割れ深さは、不陸高さの数倍程度であり、表面近傍の深さのひび割れと考えられる。

実際の埋設設備においても、この要因と考えられる、上部スペーサブロック近傍のひび割れが確認されているが、上記の理由から表面のみに発生したひび割れと考える。

### (iii) セメントの水和熱

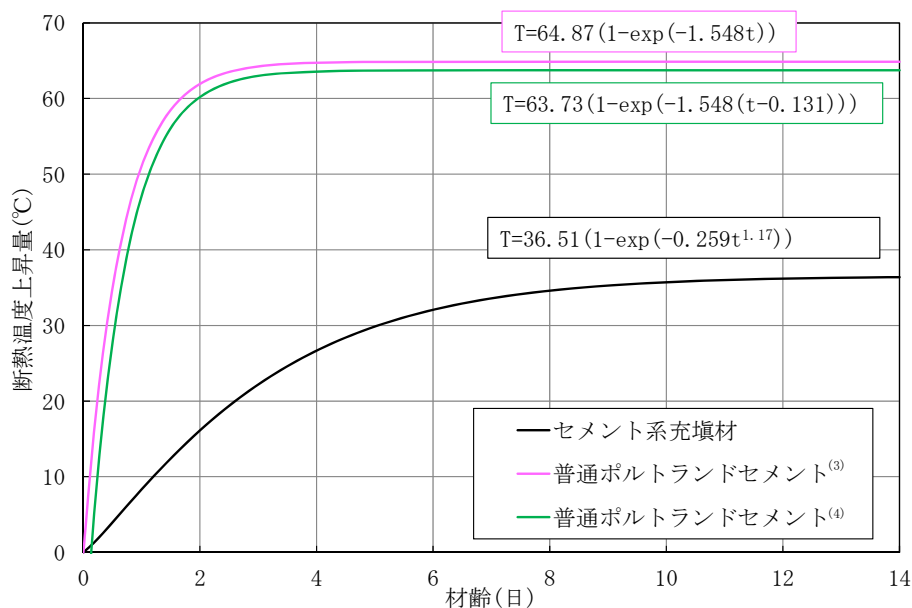
セメントの水和熱に伴うコンクリートの温度上昇又は温度低下による部材の自由変形が拘束されると、内部拘束応力及び外部拘束応力が生じ、これらの引張応力により温度ひび割れが発生する。ひび割れ発生には、セメント水和熱による温度上昇がピークに達した後の温度低下の速度と量が影響する。

発生時期は、セメントの水和に伴う温度上昇及び温度降下の期間に応じ、数日程度である。

一般に、低発熱配合を使用することや部材寸法によって温度の増減を小さくすることでひび割れの発生を抑制する。

模擬埋設設備及び実際の埋設設備においては、セメントの水和熱を起因とするひび割れは確認できなかった。

セメント系充填材は低発熱型の配合とすることにより、ひび割れ発生の抑制が図られている。第 7 図に示すように、同一単位セメント量の一般的な普通ポルトランドセメントと比較して極めて小さい発熱傾向を示す。



「コンクリート標準示方書(設計編)」<sup>(3)</sup>及び

「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」<sup>(4)</sup>から算出

第 7 図 セメント系充填材の断熱温度上昇量比較

また、模擬埋設設備(第 9 図)において実施した模擬埋設設備内部での温度測定結果(第 4 表)では、平均温度降下量は 9.6°C である。

模擬埋設設備において、温度降下量が小さかった要因は、埋設設備内部に定置された廃棄体による熱の吸収が考えられる。このような現象は、原子力環境整備センターによる実証試験<sup>(2)</sup>においても確認されており、実際の埋設設備においてセメント系材料の水和熱を起因としたひび割れの発生可能性は小さい。

模擬埋設設備で計測した平均温度降下量(9.6°C)から、材齢 28 日での温度応力によるひび割れ発生確率について評価を行う。

一般的にコンクリートの熱膨張係数は  $10 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$  とされていることから、温度収縮ひずみは  $96 \times 10^{-6}$  と算出される。保守的に完全拘束されたとし、温度収縮ひずみ=拘束ひずみとする。

静弾性係数を  $155,667 \text{ kgf/cm}^2 (15,266 \text{ N/mm}^2)$  (第 6 表) とすると、そのときの発生応力は  $14.9 \text{ kgf/cm}^2 (1.47 \text{ N/mm}^2)$  となる。

材齢 28 日の引張強度が  $18.0 \text{ kgf/cm}^2 (1.77 \text{ N/mm}^2)$  (第 6 表) のとき、 $18.0/14.9 \approx 1.2 (1.77/1.47 \approx 1.2)$  であることから、ひび割れ発生確率は低いと考えられる。

(iv) モルタルの乾燥収縮(自己収縮)

コンクリート表面からの水分蒸発による乾燥収縮やセメント成分の効果に伴う自己収縮が生じ、周囲により拘束されることで、引張応力が生じひび割れが発生する。

打設時期や部材寸法により異なるが、一般に数週間で発生する。

一般に乾燥収縮や自己収縮に配慮した配合とすることでひび割れ発生抑制対策を図る。

セメント系充填材の室内試験結果では、乾燥収縮(91日)760 $\mu$ 、自己収縮(58日)343 $\mu$ である(第13図及び第7表)。しかし、模擬埋設設備に埋め込んだひずみ計によるひずみ結果は200 $\mu$ m以下である。廃棄体や模擬埋設設備壁面による拘束により実際のひずみは抑制されるが、中心部に比べて、上部表面は拘束がなくひずみが発生しやすい。

このように表面では、乾燥収縮によりモルタルの引張強さを超えると、ひび割れの発生が考えられる。

乾燥収縮によるひび割れの進展・拡張についても、表面で生じる現象であることから、廃棄体までひび割れが進展することは考え難い。

(2) ひび割れ発生確率評価

模擬埋設設備におけるひずみ測定結果からひび割れ発生確率を評価する。

模擬廃棄体を3行7列2段配置する模擬埋設設備(第9図参照)にて充填試験を実施した。セメント系充填材は、第3表に示すものを用いた。

ひずみ計の設置位置を第10図に、基本物性試験結果を第6表に、ひずみ測定結果を第15図に示す。

ひび割れ指数は引張強度を測定したひずみから算出した応力で除することで算出する。

なお、算出に当たって、圧縮強度、引張強度、ヤング係数は第1式、第2式、第3式及び第4式を用いて回帰した。

ひび割れ指数の算出結果を第8図に示す。

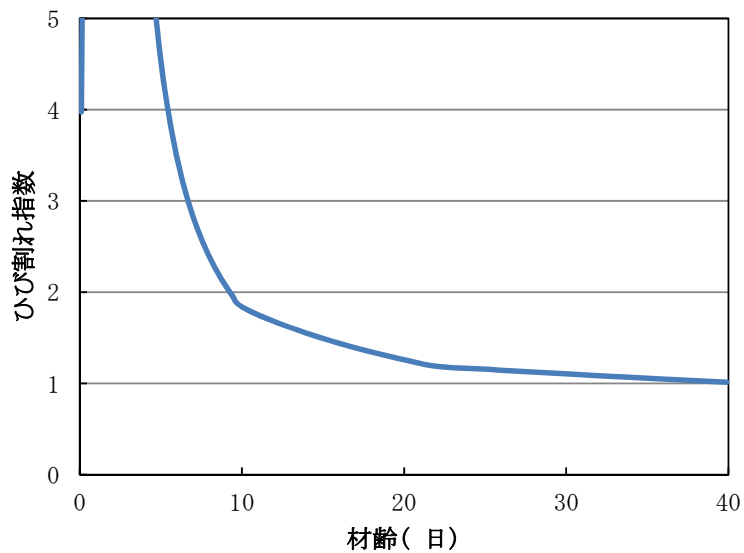
$$f_c'(t) = \frac{t}{a + bt} f_c'(n) \quad \text{第 1 式}$$

$$f_t(t) = C_1 \times f_c'(t)^{C_2} \quad \text{第 2 式}$$

$$E_c(t) = C_3 \times f_c'(t)^{C_4} \quad \text{第 3 式}$$

$$E_e(t) = \varphi \times E_c(t) \quad \text{第 4 式}$$

- ここに、
- $f_c'(n)$  : 時刻  $n$  の圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $f_t(n)$  : 時刻  $n$  の引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $E_c(n)$  : 時刻  $n$  のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $E_e(n)$  : 時刻  $n$  の有効ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $\varphi(n)$  : 時刻  $n$  の補正係数
    - (最高温度に達するまでの有効材齢=0.42)
    - (最高温度に達した有効材齢+1日以降=0.65)
  - $a, b, C_1, C_2, C_3, C_4$  : 係数
  - $t$  : 時刻 (日)



第 8 図 模擬埋設設備におけるひび割れ指数 (②中段 NS)

以上の結果から、セメント系充填材のひび割れ指数は最小で1であり発生確率としては50%となる箇所が存在することを確認した。

したがって、セメント系充填材にある程度のひび割れは生じるものの、全体に水の移動が容易となるひび割れが発生するとは考えられず、セメント系充填材に要求されるひび割れ抑制は達成されており、漏出防止機能を確保できると判断した。

## 7. 混和材選定について

### (1) 膨張材について

セメント系充填材に要求する充填性の確保について、模擬埋設設備を用いて十分に充填できることを確認して配合を選定している。

1:9配合の膨張材を用いない場合のセメント系充填材のひび割れ発生状況については、「6. セメント系充填材に発生するひび割れについて」に示すように、模擬埋設設備による試験で多量のひび割れが発生しないことを確認している。

改善配合(3:7配合)では、膨張材の使用を予定しており、3:7配合においても模擬埋設設備を用いた試験で多量のひび割れが発生しないことを確認している(参考資料4「セメント系充填材の配合選定経緯について」参照)。

### (2) 結合材料について

充填性の確保の観点では、充填性を担保する流動性及び材料分離抵抗性について、原子力環境整備センターの実証試験及び当社の配合選定試験によって、高炉スラグを用いた2成分系及びフライアッシュを用いた3成分系に大きな差はないことが確認されている。

ひび割れ抑制の観点では、高炉スラグを用いた場合には、フライアッシュを用いた場合に対して、収縮によるひび割れ発生可能性で不利な点がある。ひび割れへの影響については、模擬埋設設備を用いた確認試験を行っており、漏出防止機能が確保できなくなるような多くのひび割れは確認されていない(「6. セメント系充填材に発生するひび割れについて」及び参考資料4「5. 新配合充填材実証試験」参照)。

安全性の確保の観点では、セメント系充填材の充填以降は、その上部のポーラスコンクリート層及び覆いを早期に設置することで、漏出防止機能全体としてのシステムを形成し安全性を向上させることが望ましい。高炉スラグを用いた場合には、



フライアッシュを用いた場合に対して、強度発現が早いことで施工工程の進行に有利であり、安全性の確保に寄与する。

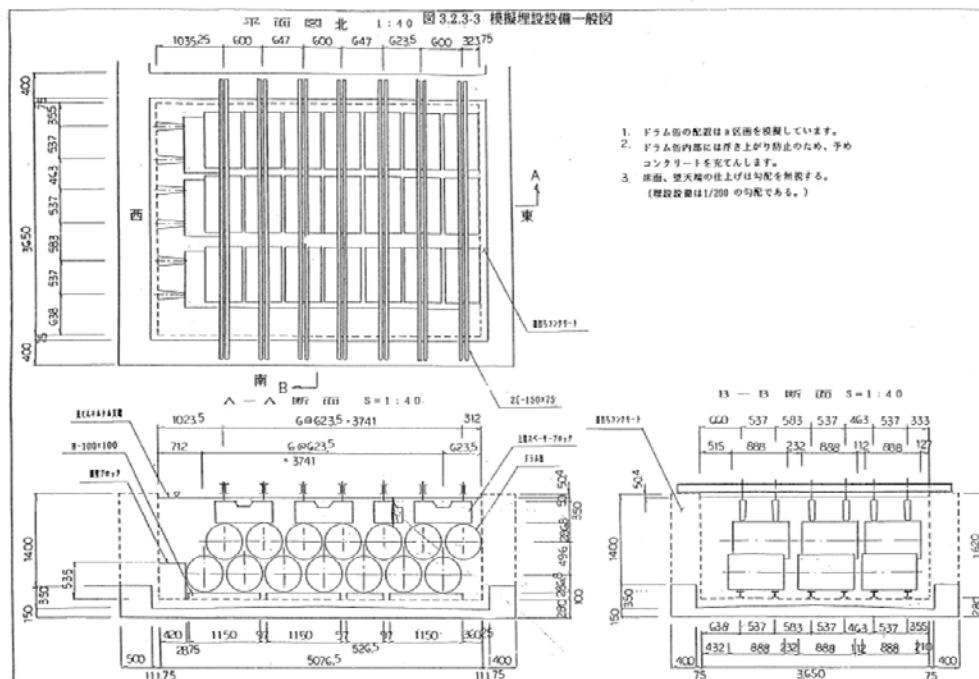
したがって、セメント系充填材に用いる結合材料の選定に当たっては、強度発現特性から安全性の確保に有利な高炉スラグを用いることとしている。

## 8. 中規模模擬埋設設備による充填確認試験

### (1) 実施概要

模擬埋設設備内に模擬廃棄体を3行7列2段配置する中規模模擬試験を実施した(第9図参照)。区画の形状は1号埋設設備のうちa区画(セメント系充填材の層40cmを2面に設置)を模擬した。

セメント系充填材は、第3表に示すものを用いた。



第9図 模擬埋設設備平面図及び断面図

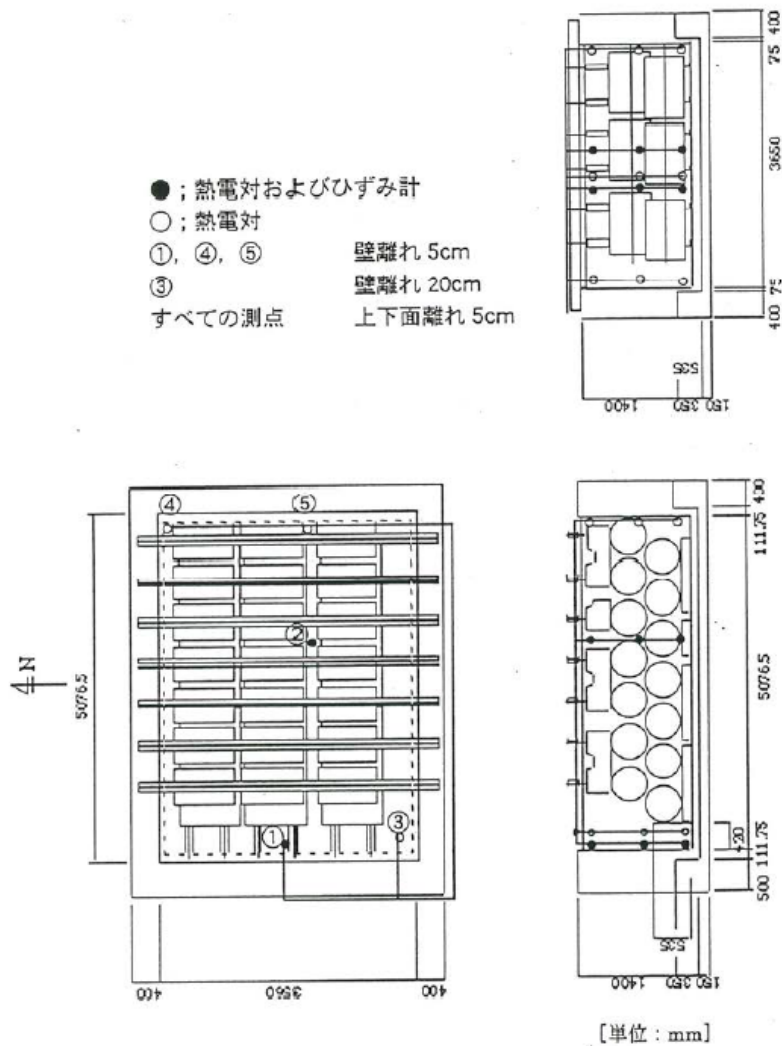
第3表 セメント系充填材の配合

水 結合 材比 (%)	砂 結合 材比	スランプ フローの 目標 (cm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			水	砂	セメント *1	混和剤		
						水中不 分離性 混和剤	AE 減水剤	高性能 減水剤
67.1	3.46	75	283	1462	422	1.5	結合材 重量の 0.1%	結合材 重量の 1.25%

\*1：セメントとは、中庸熟ポルトランドセメント 10%、高炉スラグ 90%

(2) セメント系充填材打設に伴う温度測定

熱電対を用いて、セメント系充填材の打設に伴う模擬埋設設備内部の温度変化を計測した。温度測定位置を第10図に、温度測定結果を第4表に示す。



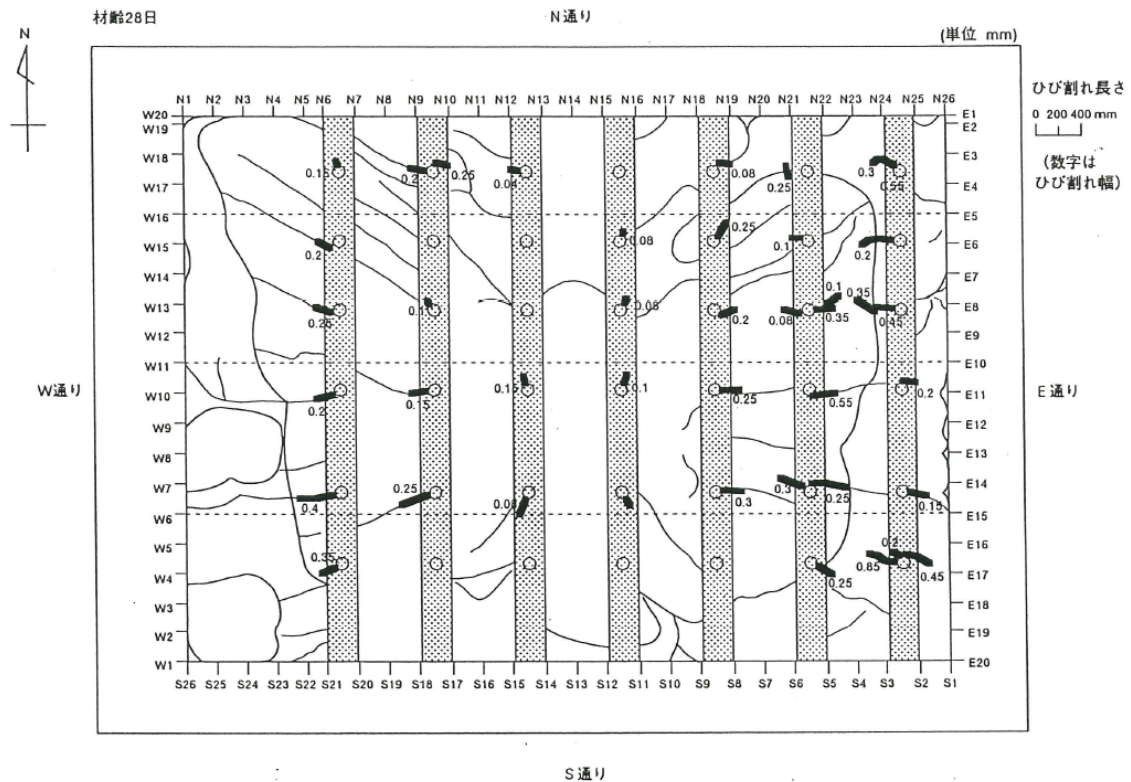
第 10 図 温度測定位置

第 4 表 平均温度降下量

測定位置	①	①	①	②	②	②	③	③	③	④	④	④	⑤	⑤	⑤
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
最大値(℃)	30.9	35.5	29.1	33.1	37.4	32.0	32.1	37.8	30.2	29.8	30.6	26.8	30.9	33.6	29.7
最終温度データ(℃)	22.8	21.9	21.3	23.4	24.0	23.3	23.7	21.9	21.0	23.3	21.6	20.4	23.5	21.9	21.3
温度降下量(℃)	8.1	13.6	7.8	9.7	13.4	8.7	8.4	15.9	9.2	6.5	9.0	6.4	7.4	11.7	8.4
平均温度降下量(℃)	9.6														

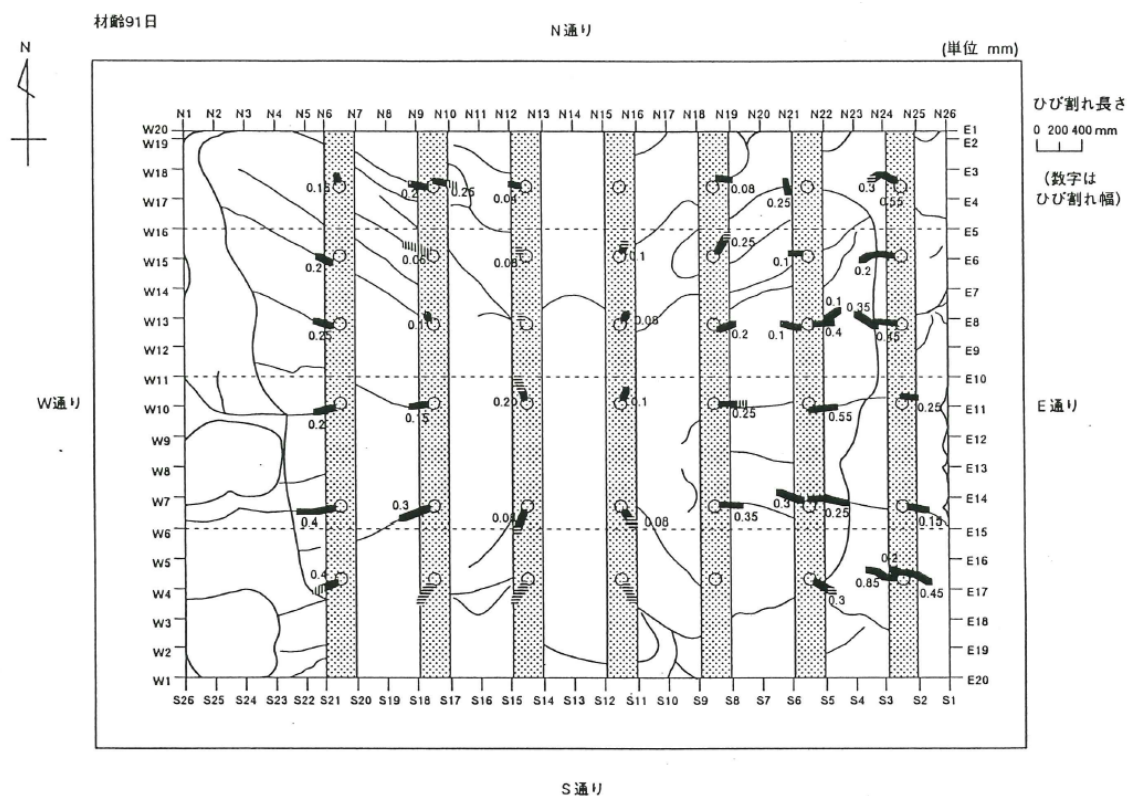
(3) セメント系充填材におけるひび割れ調査

模擬埋設設備におけるセメント系充填材上部のひび割れ調査結果を第 11 図及び第 12 図に示す。セメント系充填材上部表面におけるセメント系充填材と上部スペーサブロックの界面のひび割れは確認できず、セメント系充填材打設位置を中心に、上部スペーサブロックを固定する鉄筋位置から放射状に発生している。



\*1：太線がひび割れを示す。細線は打設時に認められた表面のしわ等の模様を示す。

第 11 図 材齢 28 日での上部表面ひび割れ調査結果



\*1 : 太線がひび割れを示す。細線は打設時に認められた表面のしわ等の模様を示す。

第 12 図 材齢 91 日での上部表面ひび割れ調査結果

#### (4) セメント系充填材の物性試験結果

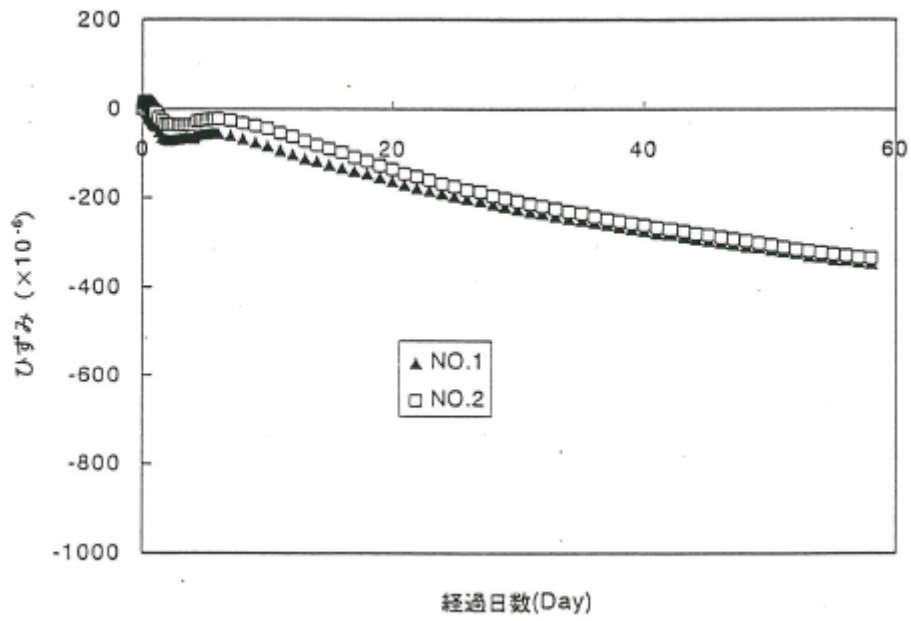
第 3 表に示す配合にて、第 5 表に示す各試験を実施した。基本物性として、圧縮強度、引張強度及び静弾性係数、充填性に係るフレッシュ性状としてスランプフロー、凝結硬化速度及びブリーディング、ひび割れに係る性状として、自己収縮、乾燥収縮及び断熱温度上昇量に係わる試験を実施した。各試験の結果を第 13 図、第 14 図、第 6 表、第 7 表、第 8 表に示す。なお、ブリーディングについては、発生しなかった。

第 5 表 試験項目

試験項目	摘要
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠 材齢 3, 7, 14, 28, 91 日で実施
引張強度	JIS A 1113 に準拠 圧縮強度試験と同材齢で実施
静弾性係数	土木学会基準（案）に準拠 圧縮強度試験と同材齢で実施
自己収縮	JCI 高流動コンクリートの自己収縮試験方法（仮称） に準拠
乾燥収縮	JIS A 1129 に準拠
断熱温度上昇量	空気循環式測定器により測定
凝結硬化速度	JIS A 6204 に準拠
ブリーディング	JIS A 1123 に準拠

第 6 表 基本物性試験結果

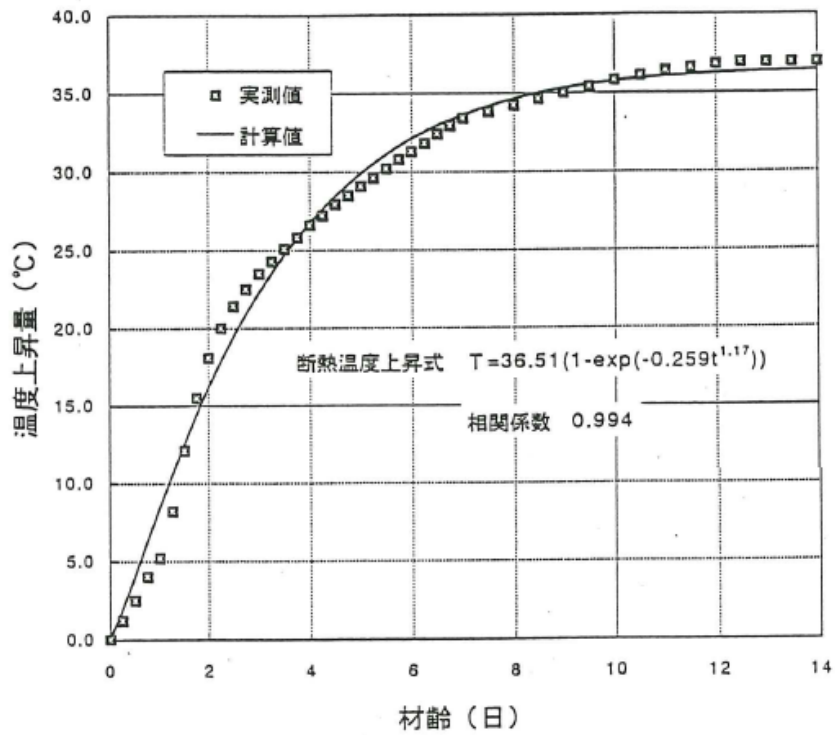
項目	材齢（日）				
	3	7	14	28	91
圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	27.8 (2.73)	69.7 (6.84)	100.0 (9.81)	143.3 (14.05)	219.3 (21.5)
静弾性係数 kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	47,000 (4,609)	86,000 (8,434)	107,667 (10,559)	155,667 (15,266)	208,333 (20,430)
引張強度 kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	3.2 (0.31)	8.0 (0.78)	11.8 (1.16)	18.0 (1.77)	23.4 (2.29)



第 13 図 自己収縮試験結果

第 7 表 乾燥収縮試験結果

	1 週	4 週	8 週	3 ヶ月
乾燥収縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	223	540	735	760



第 14 図 断熱温度上昇量試験結果

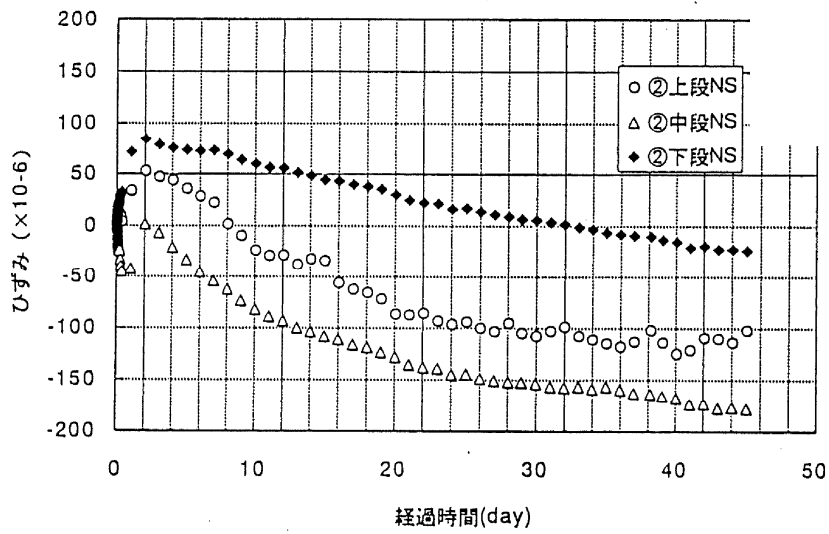
第 8 表 フレッシュ性状試験結果

スランブ フロー (cm)	モルタル 温度 (°C)	空気量 (%)	単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	凝結時間	
				始発	終結
				時・分	時・分
76.5×76.0	20.1	2.6	2185.1	23・30	45・30
78.0×78.0	20.3	3.4	2152.5		



(5) 模擬埋設設備のひずみ測定結果

模擬埋設設備に対して、ひずみ測定を実施した。第1図に示すひずみ測定箇所のうち、最大箇所のひずみ測定結果を第15図に示す。



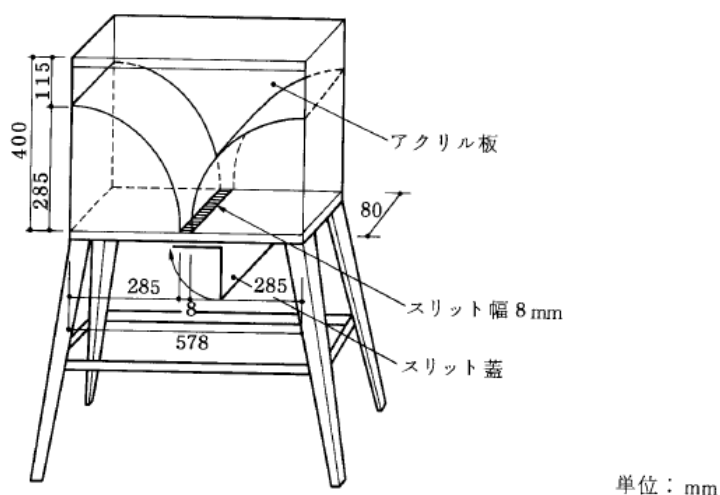
第15図 ひずみ測定結果 (最大箇所)

## 9. ドラム缶フロー試験

埋設設備への充填性の検討として、ドラム缶フロー試験により、ドラム缶同士の隙間を流動し、充填できることを確認する（第 16 図参照）。

原子力環境整備センターで実施したドラム缶フロー試験結果<sup>(5)</sup>を第 9 表、第 10 表及び第 11 表に示す。

実際の埋設設備で用いる配合と若干異なるものの、同様の傾向を示すものであり、スランプフローを管理することで、ドラム缶間等の狭隙部を通過できることを示すものである。



第 16 図 ドラム缶フロー試験装置

第 9 表 使用配合

W/C (%)	S/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		水	普通 ポルト ランド セメント	高炉 スラ グ	膨 張 材	細 骨 材	水中 不分離性 混和剤	AE 減水剤 (L/m <sup>3</sup> )	高性能 減水剤 (L/m <sup>3</sup> )
68.7	3.20	290	40	357	25	1350	1.50	1.69	4.22

第 10 表 試験結果<sup>(1)</sup>

試験項目	練上り	1 時間	2 時間	3 時間	3 時間 低下量
スランプフロー (cm)	76×75	77×75	73×73	66×66	9.5
ドラム缶フロー (分, 秒)	46”	1’ 15”	1’ 18”	1’ 27”	41”

第 11 表 試験結果<sup>(2)</sup>

試験項目	試験結果	
空気量(%)	1.6	
練上り温度(℃)	22.6	
ブリーディング率(%)	0	
凝結(時間)	始発	終結
	20.5	29.5

## 10. まとめ

1号及び2号埋設設備の既に打設されたセメント系充填材を含め、セメント系充填材の要求性能は、充填性である。セメント系充填材は、配合の工夫、事前の試験及び打設後の確認から、有害な空隙を残さない十分な充填性を有していることを確認している。水みちとなるひび割れの発生についても、ある程度のひび割れは生じるものの、充填区画内部全体にわたって水の移動が容易となるひび割れが発生するとは考えられず、セメント系充填材に要求されるひび割れ抑制は達成されており、漏出防止機能を確保できると判断した。

以 上

#### 参考文献

- (1) 財団法人 原子力環境整備センター(平成6年)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 平成5年度
- (2) 財団法人 原子力環境整備センター(平成5年)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 平成4年度
- (3) 土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)
- (4) 公益社団法人 日本コンクリート工学会(2016)：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016
- (5) 財団法人 原子力環境整備センター(平成3年)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 平成2年度

## セメント系充填材の配合選定経緯について

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 1号操業開始時における既往の知見.....	1
(1) 原子力環境整備センターによる検討状況.....	1
(2) 日本コンクリート工学協会の検討状況 <sup>(1)</sup> .....	43
(3) 既往の知見のまとめ.....	46
3. 現在のセメント系充填材の配合選定.....	47
(1) 配合選定の経緯.....	47
(2) 配合選定試験.....	47
(3) 配合選定試験まとめ.....	50
4. 新增設におけるセメント系充填材の配合改良.....	53
(1) 目的.....	53
(2) セメント系充填材に要求される品質項目.....	53
(3) セメント系充填材の改善配合検討.....	55
(4) セメント系充填材量改善配合の検討内容.....	57
(5) セメント系充填材改善配合の検討結果.....	60
5. 新配合充填材実証試験.....	66
(1) 目的.....	66
(2) 検討内容.....	66
(3) 試験方法.....	67
(4) 試験結果及び考察.....	69
(5) まとめ.....	76

## 1. はじめに

漏出防止の目的は、全てのバリアが完成するまでに、放射性物質が廃棄体の外へ漏出することによる被ばくの防止である。そのため、放射性物質が埋設設備の内側にある状態に管理することを基本方針とする。

埋設設備は、外部からの水の浸入を極力防止し、埋設設備内を不飽和に維持することで内部からの漏えいを防止する。不飽和の状態を維持する対策として、排水・監視設備による導水に加え、セメント系充填材により、廃棄体内部への水の浸入や放射性物質の移行を抑制する。

したがって、廃棄体周りのセメント系充填材は、流動性を良くし充填性を上げ、廃棄体間の空隙を隙間なく充填するとともに、低発熱配合のセメント系充填材を選定し、温度応力によるひび割れを抑制する設計とする。

上記の要求を満足するセメント系充填材の配合の選定に当たり考慮した当時の知見及び新たに予定している配合の検討内容について説明する。

## 2. 1号操業開始時における既往の知見

### (1) 原子力環境整備センターによる検討状況

低レベル放射性廃棄物の埋設設備に使用されるセメント系充填材に関する検討は、これまでに国中心としたプロジェクトで原子力環境整備センターによって、以下の研究が実施された。

昭和 58 年度～昭和 61 年度通産省受託研究	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験
昭和 62 年度～平成元年度通産省受託研究	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験
平成 2 年度～平成 5 年度通産省受託研究	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験
昭和 63 年度～平成 3 年度科学技術庁受託研究	低レベル放射性廃棄物最終貯蔵システム安全性実証試験

上記の研究のうち、科学技術庁受託研究では、「低レベル放射性廃棄物の埋設に関して、廃棄物埋設施設への廃棄体の定置、充填、覆土等の埋設が安全かつ確実に実施できること、また、埋設後における地下水のサンプリングが確実に実施できることを実証すること。」を目的としている。

一方で、通産省受託研究では、低レベル放射性廃棄物の埋設設備の設計から施工までの試験が室内試験とあわせて実規模サイズの模型試験まで実施されており、当時の技術に基づいて、埋設設備の各部材(外周仕切設備、セメント系充填材、ベントナイト混合土)までの試験が幅広く実施されている。そのため、現在のセメント系充填材(1:9モルタル)の選定プロセスを室内試験から模型サイズの実証試験まで系統的に実施されている通産省受託研究に基づいて、本資料では、技術的観点で選定プロセス及び充填性等の機能評価までを取りまとめた。

上記通産省の昭和58年度から平成5年度まで実施された研究の主な検討工程は第1表に示すとおりである。このうち、セメント系充填材に関する検討は昭和62年度から実施されているため、ここでは、昭和62年度から平成5年度までのセメント系充填材に関する検討の概略を第1表にまとめた。



第 1 表 昭和 58 年度～平成 5 年度までの低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験全工程

試験内容	年度	昭和 58 年度	昭和 59 年度	昭和 60 年度	昭和 61 年度	昭和 62 年度	昭和 63 年度	平成 元年度	平成 2 年度	平成 3 年度	平成 4 年度	平成 5 年度
1. 最適システムの設定												
2. モデル施設要素の設定												
3. モデル施設設計・建設												
4. 設備の設計および製作												
5. 機能確認試験												
6. 安全性実証試験												
7. 総合システム・マニュアル作成												
(1) 受入検査装置の実証試験												
① 受入検査システムの検討												
② 受入検査システムの概念設計												
③ モデル装置の製作												
④ 機能確認試験												
(2) 充填材安全性実証試験												
① 充填材自動充填装置の実証試験												
a. 充填材自動充填装置の検討												
b. 充填材自動充填装置の設計・製作												
c. 機能確認試験												
② セメント系充填材試験												
a. セメント系充填材の検討												
b. 配合試験												
c. 充填試験												
d. 実規模試験												
(3) 総合実証試験												
(1) セメント系充填材実証試験												
① 自動充填装置の実証試験												
② セメント系充填材性能試験												
③ 充填システム総合実証試験												
(2) ベントナイト混合土実証試験												
① ベントナイト混合土配合試験												
② 混合システム選定試験												
③ 転圧システム選定試験												
④ 埋戻しシステム実証試験												
⑤ 長期安定性実証試験												
(3) ポーラスコンクリート実証試験												
① 基礎物性試験												
② 水質変化確認試験												
③ 目詰まり状況確認試験												
④ 透水機能確認試験												
⑤ 長期透水性能確認試験												

(i) 昭和 62 年度～平成元年度の検討概要

a. 昭和 62 年度検討成果の概要

(a) セメント系充填材仕様検討における基本的考え方

セメント系充填材の仕様検討は、以下の事項を考慮することとして開始された。

- ・材料的に安定していること。
- ・水和反応が緩やかで、長期に反応が持続する。
- ・化学的耐久性が大きい。
- ・水和熱が低く、分離抵抗性が大きい。
- ・流動性、充填性が良い。
- ・ブリーディング沈下が少ない。
- ・充填後の体積変化が少ない。

以上の事項を考慮したモルタルの仕様として、当時は土木学会コンクリート標準示方書(61年度制定、施工編)22章「プレパックドコンクリート」に準拠することが望ましいとされ、注入モルタルの施工実績のもっとも多い「本四架橋における注入モルタルの示方配合」(第2表参照)に基づいて、使用セメントを長期耐久性の観点から、低発熱型高炉セメントB種(スラグ量55%)80%+フライアッシュ20%(第3表参照)を基本設定として検討が開始された。

第2表 本四架橋における注入モルタルの示方配合例

粗骨材の範囲 最大 ～最小 (mm)	空隙率 (%)	流下時間 の範囲 (sec)	水結合材比		砂結合 材比 $\frac{S}{C+F}$	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			$\frac{W}{C+F}$	$\frac{F}{C+F}$		水	セメント	フライア ッシュ	砂	混和 剤	A l 粉
			(%)	(%)	W	C	F	S	(g/m <sup>3</sup> )	(g/m <sup>3</sup> )	
150 ～ 80	50	17±2	48	20	1	391	652	163	815	8150	81.5

第3表 プレパックド方式による場合のセメント系充填材配合(案)

セメントの種類	流下時間 (sec)	W	F	S	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		C+F (%)	C+F (%)	C+F	水 W	セメント C	フライア ッシュ F	砂 S	混和剤
低発熱型高炉セメント + フライアッシュ	19±2	50	20	1.1 ~ 1.4	370	592	148	814 ~ 1036	7.4

混和剤：プレパックドコンクリート用混和剤（ポゾリスGF630）

\*1：セメントは低発熱型高炉セメントB種（スラグ量55%）

その後、予備試験の結果を踏まえ、配合選定条件としてフロー値、ブリーディング率及び膨張率を考慮し、第4表（配合A）、第5表（配合B）の2つの配合を設定することで、具体的なセメント系充填材の仕様検討が開始された。

第4表 セメント系充填材の示方配合(配合A)

水・結合材比 $\frac{W}{C+F}$	砂・結合材比 $\frac{S}{C+F}$	フロー (秒)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			水 W	セメント C	フライア ッシュ F	砂 S	混和剤	A <sub>1</sub> 粉
47%	1.1	22 ± 2	376	640	160	880	1.6ℓ	0.12

\*1：結合材：低発熱型高炉セメントB種(80%)+フライアッシュ(20%)

\*2：細骨材：市原産（比重=2.63、吸水率=2.15、粗粒率=1.34）

\*3：混和剤：ポゾリス No.70、0.2L×(C+F)/100kg

\*4：A<sub>1</sub>粉末：山石金属社製 P300、(C+F)×0.015%

\*5：配合A：配合選定条件

フロー値 22±2秒

ブリーディング率 3時間値で3%以下、最大値で4±1%以下

第 5 表 セメント系充填材の示方配合 (配合 B)

水・結合材比 W	砂・結合材比 S	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		水 W	セメント C	フライアッシュ F	膨張材 CSA	砂 S	混和剤	Al 粉
C+F+CSA	C+F+CSA							
47 %	1.3	355	557	139	61	983	1.51ℓ	0.114

\*1 : 混和剤 : ポゾリス No. 70、0.2L × (C+F) /100kg

\*2 : Al 粉末 : 山石金属社製 P300、(C+F) ×0.015%

\*3 : 膨張材 : 電気化学工業 CSA100R、C+F の 8%置換 (内割り)

\*4 : 配合 B 配合選定条件

フロー値 30 秒以上

ブリーディング率 3 時間値で 3%以下

最大値で 4±1%程度

膨張率 300±100 μ

第 6 表及び第 7 表に示す試験を実施した。その結果、充填時のブリーディングにより、局部的にセメント分が少なくなり、砂分の多い部分が認められた。また、一部に微小なヘアークラックも認められた。一方、充填時の温度計測から充填モルタルの発熱性状を求めると、室内の断熱温度上昇試験結果と比較して、温度上昇量、上昇速度共に小さな値が得られた。これはモルタル周囲の廃棄体に熱が逃げるためと考察されている。

これらの結果から、配合 A 及び B に対し、水和熱の低減、ブリーディングの抑制に重点を置いたセメント系充填材の配合仕様の検討が実施されることとなった。

第6表 試験内容

試験内容	試験項目	測定項目	試験目的
モルタルの充填性	1. 材料試験	a) フロー b) 膨張率, プリージング率 c) 圧縮強度 (弾性係数を含む) d) 単位容積重量 e) 透水係数	・使用材料の品質確認
	2. 流動性	a) レベル測定 (流動勾配)	・流動性の検討
	3. 充填性	a) コブ採取・観察 b) 着色水張り試験 (上面に着色水を張り内部に浸透させて, ドラム缶, モルタルの境界面をはつり調査する)	・モルタルの充填性の確認 ・ドラム缶とモルタルの一体化の確認
モルタルの水和熱	1. 温度上昇	a) 温度測定 ・充填モルタル ・ドラム缶内部 ・外気温	充填モルタルの水和熱の影響を調査 ・シミュレーション解析データ ・解析方法の評価
	2. 体積変化	a) ひずみ測定 ・充填モルタル ・ドラム缶内部 ・外型枠 (土圧計) ・型枠拘束H鋼 ・丸鋼棒	・水和発熱によるモルタルの体積変化の測定 ・外型枠に及ぼす影響
		b) 変位測定 ・外型枠 (変位計)	・同上
外部環境の影響	1. 屋外暴露の影響評価	a) ひびわれ発生の有無 (乾燥収縮)	・ドラム缶の拘束の影響を調査

第7表 測定項目及び数量（試験体1体当たり）

項 目	数 量	備 考
充 填 性	2ヶ所 ( $\phi 300\text{mm}$ コアポー リング)	ボーリングコアによるドラム缶・モルタル境 界面の状況観察 採取したコアの上面に着色水を張り内部に浸 透させてその状況をはつり調査
水 和 熱	31ヶ所 (内1ヶ所は外気温 測定用)	試験体内部に温度センサーを設置して、モル タルの硬化に伴う発熱状況を測定
モルタル内部ひずみ	10ヶ所 (内1ヶ所は無応力 ひずみ計)	試験体内部にひずみ計を設置して、硬化時に 発生するモルタルのひずみを測定
モルタル側圧	2ヶ所	モルタル注入時に型枠に作用する圧力を土圧 計により測定
型 枠 変 位	8ヶ所	型枠外面に変位計を設置して型枠の変位を測 定
型枠拘束H鋼ひずみ	4ヶ所	モルタルの水和発熱に起因する温度上昇・降 下による体積膨張、収縮をH鋼の曲げモーメ ントで測定
丸鋼棒ひずみ	1ヶ所	モルタルの体積膨張、収縮を丸鋼棒のひずみ で測定
透 水 係 数	8ヶ所	$\phi 100\text{mm}$ でコアを採取し、室内作製供試体2体 を含めて透水係数を測定

(b) 改良型モルタルの配合試験

上記(a)の配合A及びBの課題に対し、以下に示す混和剤、混和材を取り上  
げて検討した。

- ・石粉(混和材としてセメントに置換)：水和発熱抑制
- ・水中コンクリート用混和剤：ブリーディング抑制
- ・膨張材(混和材としてセメントに置換)：硬化収縮の低減

使用材料は第 8 表に、検討要因は第 9 表に、試験項目及び試験方法は、第 10 表に示すとおりである。これらの試験結果から、以下の事項が明らかとなった。

結合材の一部を石粉で置換すると、流動性はやや悪くなるものの、水和熱を低減することができる(第 3 図及び第 4 図参照)。

増粘剤を添加すると粘稠性が増し、水・結合材比、砂・結合材比を大きくしても分離を防止し、ブリーディングを抑制できる。

第 8 表 使用材料

セメント	マスコン高炉 B 種 (第一セメント、高炉スラグ量 55%)
フライアッシュ	電発フライアッシュ (日本セメント)
石粉	日瓢珪砂 N-90 (日瓢礦業)
混和材	デンカ CSA100R (電気化学工業)
混和剤	増粘剤 USCA (信越化学工業、セルロースエーテル) AE 減水剤 No. 70 (ポゾリス) 高性能減水剤 NL4000 (ポゾリス、高縮合トリアジン系化合物)
アルミ粉	山石 P300 (山石金属)
細骨材	市原産 (比重 2.58、吸水率=2.33、粗粒率=1.45)

第9表 検討要因

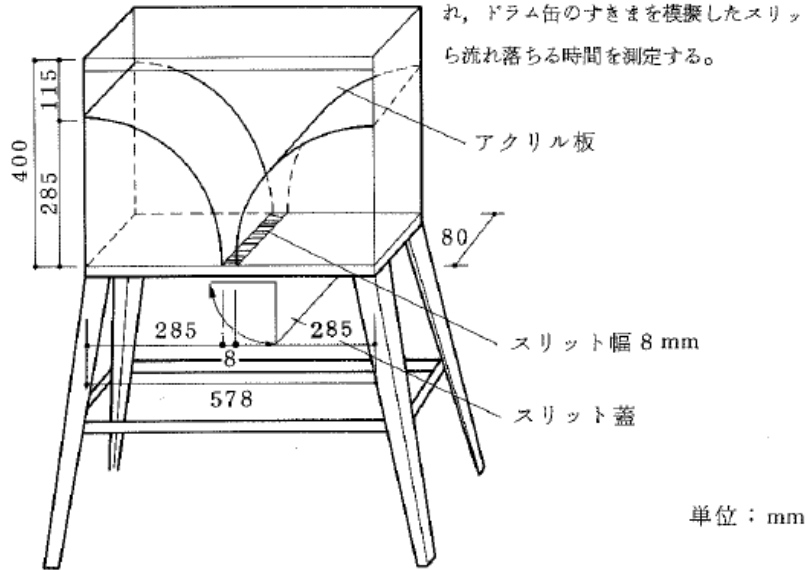
試験 ケース	No.	検 討 要 因					備 考
		砂・結合材比 S/(C+F)	石 粉 (%)	膨張材 CSA100R (%)	水中コンク リート用混 和剤 USCA (kg/m <sup>3</sup> )	高性能減水剤 NL4000 (%)	
I	1	1.25	-	-	-	-	基本配合
	2	1.25	10	-	-	-	石粉, CSAは 結合材に内割 で添加
	3	1.25	20	-	-	-	
	4	1.25	30	-	-	-	
	5	1.25	20	8	-	-	
II	1	2.0	-	-	0.5	1.0	USCA1.0kg/ m <sup>3</sup> に対してス ランブフロー 80cmとなるよ うにNL4000を 決定
	2	2.0	-	-	1.0	1.0	
	3	2.0	-	-	1.5	1.0	
	4	2.0	-	8	1.5	1.0	CSA は内割
III	1	3.0	-	-	0.5 ~1.5	1.0 ~4.0	流動性の問題 からUSCA, NL 4000 を変化 させて実施
	2	2.5	-	-	1.0 ~1.5	1.0 ~3.0	



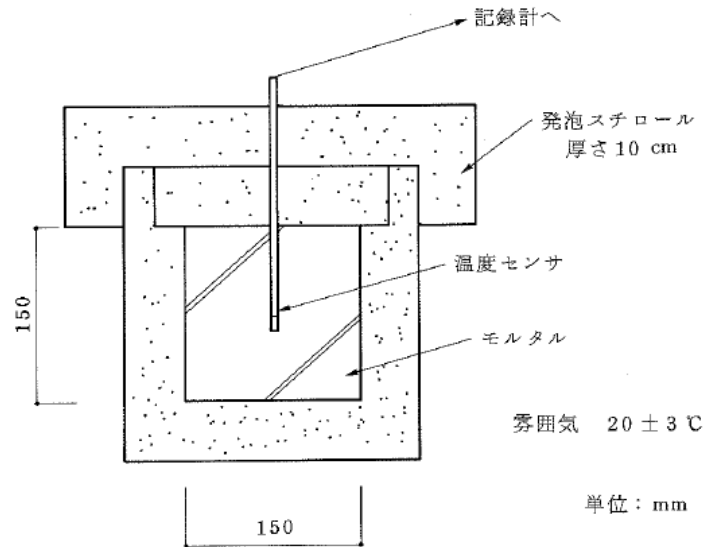
第 10 表 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法	備考
流動性試験	P ロートフロー (土木学会基準)	30 秒を目安とする。
	ドラム缶フロー	第 1 図参照。
	スランプフロー	スランプコーンを用いてのスプレッド値。
ブリーディング 率及び膨張率	土木学会基準に準拠	ブリーディング率 3 以下。 膨張率 2~4%。
単位容積重量	容重升 (フレッシュモルタル) 及び硬化共試体重量	フレッシュモルタルの場合は容重升による。 硬化後については曲げ共試体 (4×4×16cm) を測定。
凝結試験	プロクター貫入試験	JIS A 6204 附属書 1
水和熱の測定	簡易断熱温度上昇試験法	第 2 図参照, 最大温度に達するまで実施。
圧縮強度	JIS A 1108	材令 1, 4, 13 週 標準養生
曲げ強度	JIS A 1106	材令 1, 4, 13 週 標準養生
透水試験	アウトプット法	材令 4 週にて実施。
長さ変化試験	JIS A 1129	測定は長さ変化がほぼ一定になるまで、最大 6 ヶ月間行う。

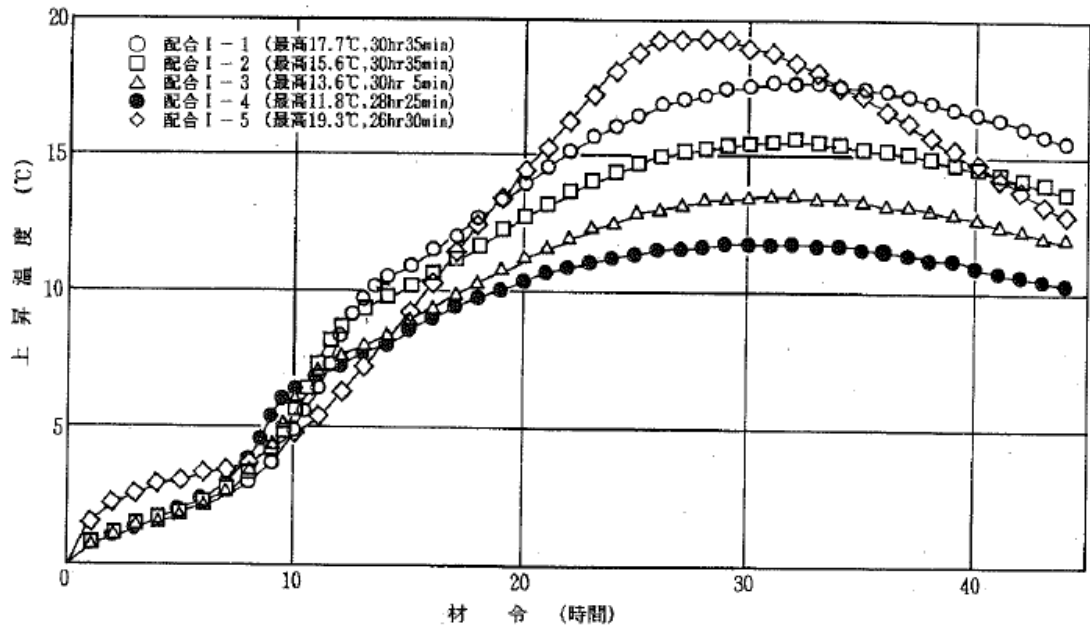
注 試験方法：Pロート法による試験に用いるモルタル量の  
2倍（3450 cc）のモルタルを試験装置に入  
れ、ドラム缶のすきまを模倣したスリットか  
ら流れ落ちる時間を測定する。



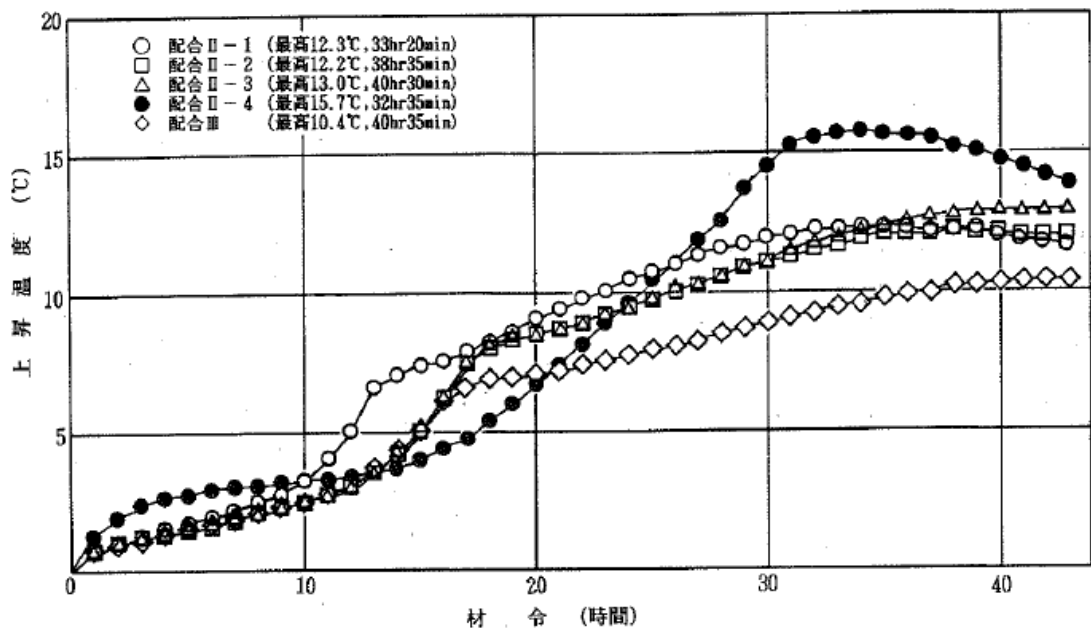
第1図 ドラム缶フロー試験装置



第2図 簡易断熱温度上昇試験装置



第3図 簡易断熱温度上昇試験測定結果(実験ケース I)



第4図 簡易断熱温度上昇試験測定結果(実験ケース II, III)

b. 昭和 63 年度検討概要

(a) 室内試験

当該年度は、ブリーディング抑制に対して有効性が確認された水中コンクリート用混和剤を用いるとともに、単位セメント量の低減、低発熱型セメントの使用等についての検討が、以下の目的で行われた。

- ・骨材が異なる場合の流動性を把握する。
- ・膨張材の適切な添加量を求める。
- ・セメントの種類が流動性、強度、温度上昇量及び透水係数に与える影響を把握する。

上記の検討では、第 11 表に示す配合条件及び使用材料で第 12 表に示す試験を実施した。

第 11 表 配合条件と使用材料

配合条件		使用材料	
水・結合材比(W/C)	70%	結合材	普通ポルトランドセメント (日本セメント)
砂・結合材比(S/C)	3.0~3.5		中庸熟ポルトランドセメント (日本セメント)
水中コンクリート 用混和材(USCA)	1.5kg/m <sup>3</sup>	混和材	高炉スラグ (第一セメント セラメント)
高性能減水剤 (NL-4000)	C×1~2%		フライアッシュ (日本セメント アサノフライアッシュ)
スランプフロー	80cm 程度		膨張材(電気化学工業 CSA100R)
ドラム缶フロー	連続的な流 下	混和剤	水中コンクリート用混和剤(信越化学 アスカクリーン : USCA)
			AE 減水剤(ポゾリス物産 No. 70)
			高性能減水剤(ポゾリス物産 NL-4000)
		細骨材	鹿島産陸砂(F. M. 2. 27)
			相模・木更津混合砂(F. M. 2. 66)
			大井産川砂(F. M. 3. 04)

第 12 表 試験項目

検討項目	試験項目
骨材が流動性に与える影響	・流動性試験
膨張材の適切な添加量	・流動性試験 ・膨張率試験
セメントの種類が物性に与える影響	・流動性試験 ・断熱温度上昇量試験 ・強度試験 ・透水試験

試験の結果、粗粒率(F.M.)の違いによって所要の流動性を確保するためには、F.M.の増加とともに、S/Cも増加させる必要があること、膨張材の添加はC×6%の設定とすることが明らかとなった。

さらに、セメント6種類(普通ポルトランドセメント(以下「OPC」という。)5%+高炉スラグ95%、OPC10%+高炉スラグ90%、OPC20%+高炉スラグ80%、OPC30%+高炉スラグ40%+フライアッシュ30%、中庸熱20%+高炉スラグ80%、中庸熱30%+高炉スラグ40%+フライアッシュ30%)に水中コンクリート用混和剤を用いた場合の各種物性(流動性、圧縮強度、断熱温度上昇量、透水試験)について、以下のことが明らかとなった。

- ・流動性：セメントの違いによる差は見られない。
- ・圧縮強度：同上
- ・発熱量：高炉スラグ95%を含むものが最も小さく、OPCの割合が増えるに従い高い値を示す。
- ・スランプフロー：80cmを確保するためには、F.M.が2.27、2.66、3.04の場合、砂結合材比をそれぞれ3.00、3.25、3.50とすることが必要。
- ・透水係数：セメント種類に係らず、 $10^{-11} \sim 10^{-10}$ cm/s程度の透水係数。

(b) 充填試験(模型試験)

当該年度は、ブリーディングの防止及び水和熱の低減等を目的として実施された配合試験の結果得られた配合(第13表参照)を用いて、昭和62年度と同様の充填試験(埋設設備の1区画の約1/4サイズ)を行い、各種計測(第14

表及び第 15 表)が実施され、以下の結果が得られた。

第 13 表 セメント系充填材の配合(充填試験)

単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )								
水	普通ポルト ランドセメント	高炉スラグ	フライアッシュ	膨張材	砂	水中コンクリー ト用促和剤	AE減水剤	高性能減水剤
W	C	B	F	CSA100R	S	USCAクリーン	ボゾリス No. 70	ボゾリス NL-4000
274	117	156	117	25	1452	1.65	1.66	2.07

(配合条件)

スランプフロー : 72.5 ± 5.0 cm  
 水結合材比 :  $W / (C + B + F + CSA100R) = 66\%$   
 砂結合材比 :  $S / (C + B + F + CSA100R) = 3.5$

CSA100R :  $(C + B + F + CSA100R) \times 6\%$   
 ボゾリス No. 70 :  $(C + B + F + CSA100R) \times 0.4\%$   
 ボゾリス NL-4000 :  $(C + B + F + CSA100R) \times 0.5\%$

砂 : 相模産(粗目) : 木更津産(細目) = 4 : 1

第 14 表 充填試験における試験及び計測項目

試験時期 試験項目	モルタル充填時	モルタル硬化後
モルタルの 品質管理	・スランプフロー ・空気量	—
モルタルの 物性値	—	圧縮強度 } 注入時採取供試体及び 透水性試験 } φ100mm コアボーリン } グ供試体 膨張率測定試験 乾燥単位容積重量試験
充填性の確認	モルタル液面高さ及 び勾配の測定 透明アクリル板を通 した目視観察	φ300mm コアボーリング 着色水圧入試験及び試験体の解体
各種計測	埋設機器を使った計測	

第 15 表 充填試験における計測項目及び内容

計測項目	数量	内容
温度履歴	13ヶ所	試験体内部及び外部に温度計（CC 熱電対）を設置して、モルタルの硬化に伴う温度履歴を測定した。
モルタルの内部ひずみ	8ヶ所	試験体内部にモールドゲージを設置して、硬化時に発生するモルタルのひずみを測定した。
モルタルの側圧	2ヶ所	型枠に土圧計を設置して、モルタル入時に型枠に作用する圧力を測定した。
型枠変位	3ヶ所	型枠外面に変位計を設置して、型枠の変位を測定した。
充填モルタルとドラム缶の境界面における変位	1ヶ所	ドラム缶表面に継目計を設置し、ドラム缶とモルタルの境界面における変位を測定した。
熱膨張係数の測定	1ヶ所	無応力計を使って無拘束状態でのモルタルのひずみ変化を求めた。

当該年度では、モルタルの水和熱を低減させるために、高炉スラグ、フライアッシュを多量に混入するとともに砂の増量をはかることにより、単位セメント量を減少させ、また、水中コンクリート用混和剤を使用してブリーディングを完全に防止し、施工管理を容易にしたため、昭和 62 年度に比較して良好なものとなった。

特に、温度履歴は、9 月施工で外気温が 18.0℃と高かったにも係らず温度上昇量が 18.0℃であった。

(c) 実規模充填試験

コンクリートピットと同規模のピットを用いてセメント系充填材(配合は第 16 表参照)充填試験を行い、流動性、充填性、水和熱特性等の検討を行った(第 17 表及び第 18 表参照)。その結果、以下のことが明らかとなった。



(一) 流動性、充填性

水中コンクリート用混和剤によって、モルタルの流動性及びセルフレベルリング性が向上し、ドラム缶同士の狭小な間隙においても良好な充填性が確認されるとともに、流動による材料分離も認められなかった。

第 16 表 セメント系充填材の配合(実規模充填試験)

水結合材比 (%)	砂結合材比	スランブフロー の範囲 (cm)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )								
			水 W	セメント C	砂 S	混 和 材			混 和 剤		
						高 炉 スラグ B	フ ラ イ ア ッ シ ュ F	膨 張 材 CSA 100R	水中コンクリ ート用混和剤 USCAクリーン	AE 減 水 剤 ポゾリス No. 70	高性能減水剤 ポゾリス NL-4000
70	3.25	72.5±5	300	121	1395	161	121	26	1.5	1.716	8.58

水結合材比 :  $W / (C+B+F+CSA100R)$

砂結合材比 :  $S / (C+B+F+CSA100R)$

CSA100R :  $(C+B+F+CSA100R) \times 6\%$

ポゾリスNo. 70 :  $(C+B+F+CSA100R) \times 0.4\%$

ポゾリスNL-4000 :  $(C+B+F+CSA100R) \times 2\%$

第 17 表 実規模充填試験における試験項目

試験項目	モルタル充填時	モルタル硬化後
モルタルの品質管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スランプフロー</li> <li>・空気量</li> <li>・ブリーディング</li> <li>・単位容積重量</li> </ul>	—
モルタルの物性値	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・膨張率</li> <li>・透水係数</li> <li>・圧縮強度</li> <li>・引張強度</li> <li>・弾性係数</li> </ul>
充填性の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モルタル液面高さ、勾配、上方からの目視観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・φ 300mm コアボーリング*1</li> <li>・着色水圧入試験及び試験体の解体*1</li> </ul>

\*1：平成元年度実施

第 18 表 実規模充填試験における計測項目

計測対象	計測項目	仕様計測器	数量
モルタル	ひずみ及び温度	測温機能付き埋込み型ひずみ計 (KM-100B)	7
	温度	CC 電熱対 (T)	10
コンクリートピット	壁面のひずみ及び温度	測温機能付き埋込み型ひずみ計 (KM-200B)	7
	壁内のひずみ及び温度	測温機能付き埋込み型ひずみ計 (KM-100B)	15
	壁内の温度	ひずみタイプ式温度計 (TK-F)	5
	壁内の応力	コンクリート有効応力計 (GK-60-202)	2
外気温	温度	CC 電熱対 (T)	1

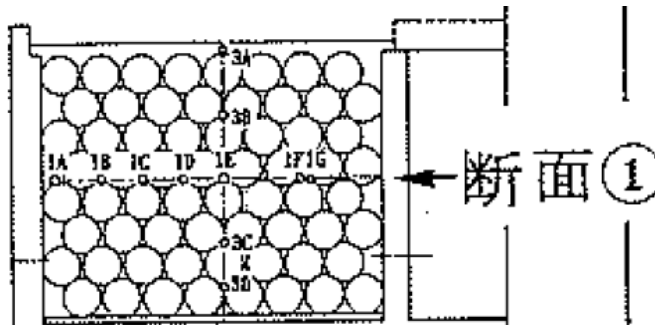
(二) 水和熱特性

高炉スラグ及びフライアッシュを多量に混入して単位セメント量を低減することによって、モルタルの温度上昇量は大幅に減少(第 19 表参照)し、温度応力によるひび割れの抑制に大きな効果があることがわかった。

第 19 表 モルタルの温度特性(断面①)

測点番号	充填温度 $t_1$ (°C)	最低温度時		最高温度時		材令28日 における 温度 $t_4$ (°C)	$t_1 - t_2$ (°C)	$t_3 - t_1$ (°C)	$t_3 - t_2$ (°C)	$t_3 - t_4$ (°C)
		材令 (日)	温度 $t_2$ (°C)	材令 (日)	温度 $t_3$ (°C)					
1 A	15.9	0.6	12.7	5.8	18.5	12.5	3.2	2.6	5.8	6.0
1 B	15.9	0.2	10.2	9.6	24.0	17.7	5.7	8.1	13.8	6.3
1 C	15.0	0.2	10.1	10.7	25.0	19.4	4.9	10.0	14.9	5.6
1 D	15.9	0.2	10.5	11.4	26.7	21.2	5.4	10.8	16.2	5.5
1 E	15.2	0.2	10.1	13.8	26.2	21.1	5.1	11.0	16.1	5.1
1 F	15.8	0.2	11.0	9.6	25.8	19.7	4.8	10.0	14.8	6.1

\*1：測定番号位置は、下図参照。



c. 平成元年度検討概要

当該年度は昭和 63 年度に製作した実規模充填試験体を用いて、充填モルタルの品質試験及び実規模充填試験として、それぞれ以下の試験が実施された。

(a) 充填モルタル品質試験(配合は第 16 表参照)

- ・スランプフロー
- ・モルタル温度
- ・空気量

- ・ブリーディング量
- ・単位体積重量
- ・膨張率
- ・圧縮強度、引張強度及び静弾性係数
- ・透水係数

充填モルタルの品質管理試験結果を第20表に、膨張率測定結果を第5図に、物性試験結果を第21表に示す。

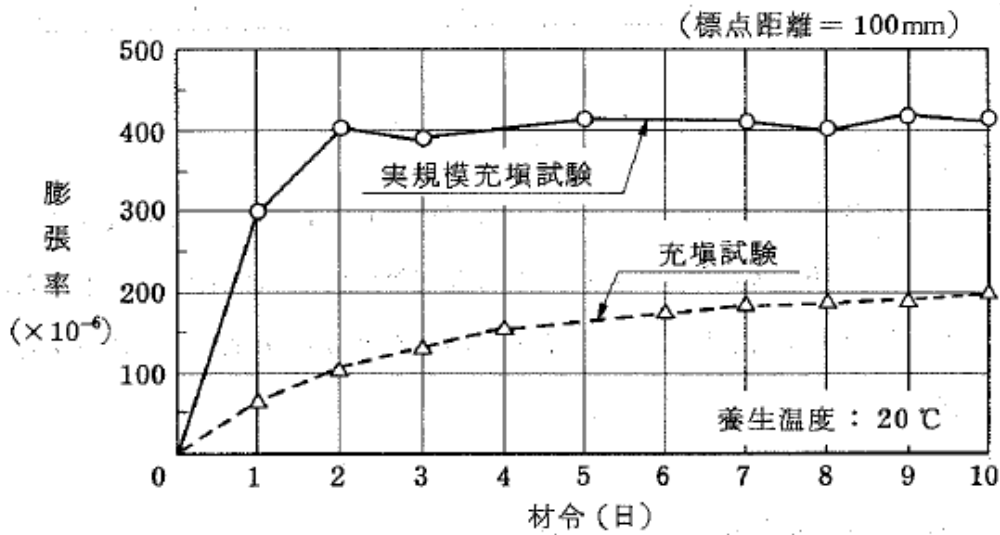
(b) 実規模充填試験(配合は第16表参照)

- ・モルタル充填試験
- ・充填性確認試験
- ・着色水圧入試験
- ・透水試験
- ・物理試験
- ・境界部付着試験
- ・温度応力解析

ピットの中央部と端部の2ヶ所でφ300mmのコアボーリング(第6図)を行い、充填状況の確認が行われた。その結果、充填状況は良好であり、ドラム缶下面のブリーディングによる空隙もなく、ドラム缶とモルタルは非常に密着しており、ドラム缶とドラム缶の間の狭い部分にもモルタルが密実に充填されていることが確認されている。

第 20 表 充填モルタルの品質管理試験結果

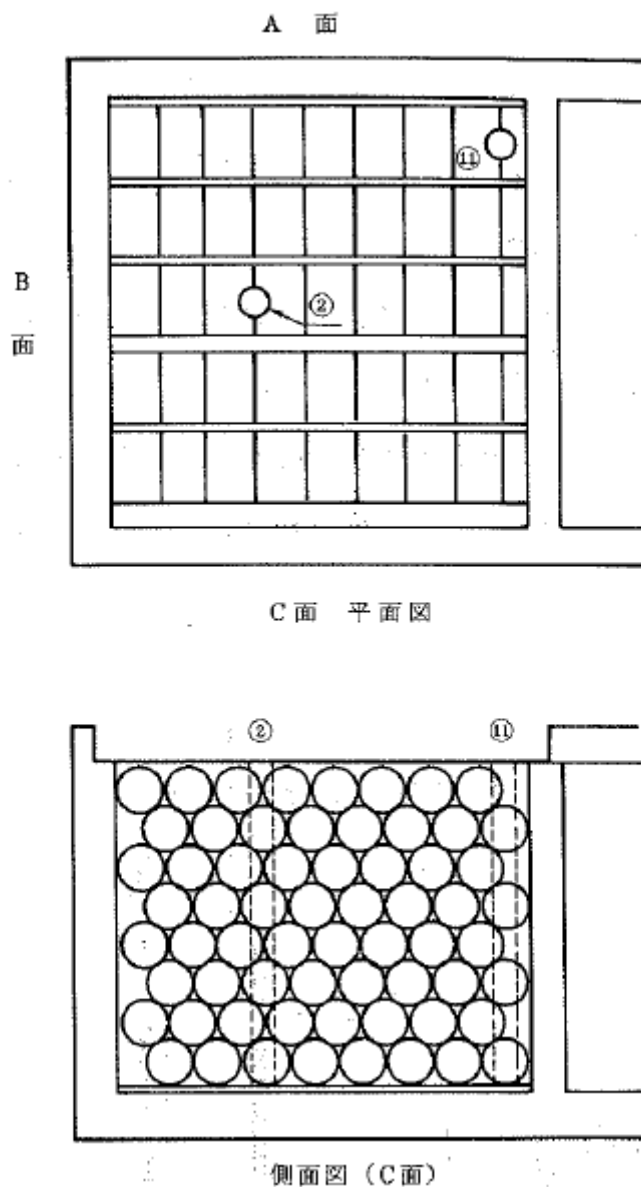
練り上り時刻	アジダー 番号 No.	表面水率 (%)	計測場所	試料採取 時刻	スランブロー (cm×cm)	空気量 (%)	モルタル 温度(℃)	外気温 (℃)	単位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	品質管理用 サンプリング	強度試験用 サンプリング
13:11	No. 1 (1号車)	5.0	バッチャープラント	13:15	72.0×73.5	2.2	14.5	12.0	2.022	—	—
			試験場	14:00	65.5×71.0	1.5	15.0	12.0	—	○	—
13:18	No. 2 (2号車)	5.0	バッチャープラント	13:25	75.5×77.5	1.9	15.0	12.0	2.018	—	—
			試験場	14:22	73.0×87.0	1.6	15.5	11.5	—	—	—
13:30	No. 3 (3号車)	5.0	バッチャープラント	13:33	77.5×77.5	2.1	15.0	12.0	2.022	—	—
			試験場	14:40	76.0×67.5	1.4	15.0	11.5	—	○	○
13:39	No. 4 (4号車)	5.0	バッチャープラント	13:42	76.5×77.5	2.4	14.5	12.0	2.012	—	—
			試験場	14:55	72.0×73.0	1.1	15.0	11.0	—	—	—
14:00	No. 5 (5号車)	5.5	バッチャープラント	14:00	74.0×72.0	3.3	14.0	13.0	2.012	—	—
			試験場	15:13	72.5×68.0	1.1	15.5	11.5	—	○	—
14:18	No. 6 (6号車)	5.5	バッチャープラント	14:20	76.0×75.0	2.5	14.0	12.0	2.031	—	—
			試験場	15:29	70.0×70.5	1.3	15.0	11.0	—	—	—
14:47	No. 7 (7号車)	5.5	バッチャープラント	14:48	76.5×76.5	2.1	14.5	12.0	2.041	—	—
			試験場	15:43	70.5×69.5	1.6	15.0	10.5	—	○	—
15:10	No. 8 (8号車)	6.0	バッチャープラント	15:10	72.0×72.5	2.0	14.0	12.0	2.060	—	—
			試験場	15:43	68.5×68.0	1.9	14.5	11.0	—	—	—
15:27	No. 9 (9号車)	6.0	バッチャープラント	15:30	75.5×74.5	3.3	14.0	12.0	2.038	—	—
			試験場	16:13	68.0×65.5	1.6	14.0	10.0	—	○	—



第 5 図 膨張率の測定結果

第 21 表 物性試驗結果

材 令 (日)	壓縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	彈性係數 (×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1.76	—	—
3	13.6	—	0.210
5	30.8	4.02	0.386
7	47.2	5.89	0.531
14	87.8	8.97	0.687
28	134	11.7	1.06
91	223	18.5	1.522

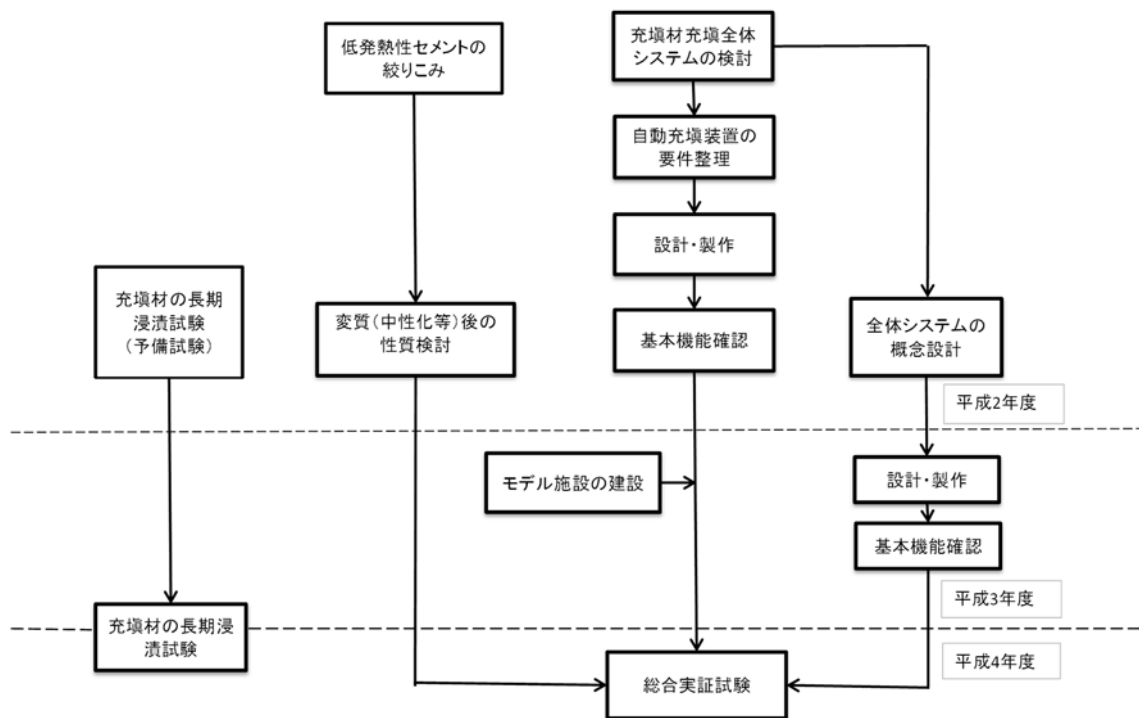


第 6 図 コアボーリング位置図(φ 300mm)

(ii) 平成 2 年度～平成 5 年度の検討概要

当該受託研究は、平成元年度までのセメント系充填材の検討結果を踏まえて、セメント系充填材により埋設設備の構造体に発生する温度応力を更に低減させることを主目的として実施された。

第 7 図にセメント系充填材実証試験検討フローを示す。



第7図 セメント系充填材実証試験検討フロー

a. 平成2年度検討概要

平成2年度は、以下の検討が実施された。

- ・ステップ1：低発熱セメントの絞込み(示方配合は第22表、使用材料は第23表参照)結合材のOPC、高炉スラグ及びフライアッシュの混合率を変化させた6種類に対して、簡易断熱温度上昇試験等<sup>\*1</sup>を行って選定。
- ・ステップ2：選定したセメントを用いた充填材の性状変化の確認。ステップ1で選定した結合材を用いて各種試験<sup>\*2</sup>を実施。

ステップ1の検討を踏まえ、流動性に関する試験、簡易断熱温度上昇試験等の結果、ポルトランドセメント量を低減しかつ中庸熱セメントを用いた、中庸熱、高炉スラグ、フライアッシュを2:5:3に混合したもの及びOPC、高炉スラグを1:9の割合で混合したものが結合材として選定された(第24表及び第8図参照)。

一方で、3成分系では凝結時間が始発、終結とも遅くなることから、これ以上フライアッシュを増加させ、OPC量を低減させることに問題があることが指摘された。そのため、3成分系の中では凝結時間に問題があるものの最も水と



熱が低い配合(中庸熱：高炉スラグ：フライアッシュ＝2：5：3)が選定された。  
 また、2成分系の結合材では、水和熱が最も低く、強度発現も十分な(OPC：高炉スラグ＝1：9)が選定された。

また、ステップ2の検討の結果、ステップ1で絞り込んだ2種の結合材の断熱温度上昇試験(第9図参照)では、平成元年度まで提案していた充填材より、3成分系で14.6℃、2成分系で18.0℃温度上昇を低減することが可能となり、これら2種類の結合材は十分使えることが明らかにされた。

\*1：フレッシュモルタルに関する諸物性(ブリーディング、スランプフロー、ドラム缶フロー、凝結硬化速度試験)、圧縮強度試験、簡易断熱温度上昇試験

\*2：フレッシュモルタルに関する諸物性(ブリーディング率、スランプフロー、ドラム缶フロー)、断熱温度上昇試験、凍結融解抵抗性、中性化の影響

第22表 配合試験結果

配合 番号	W/C (%)	S/C (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )								
			水	セメント	高 炉 スラグ	フライ アッシュ	膨張材	細骨材	水中 不分離性 混和剤	AE 減水剤 (l/m <sup>3</sup> )	高性能 減水剤 (l/m <sup>3</sup> )
1	67.5	3.15	285	119	159	119	25	1329	1.50	1.69	4.22
2	67.5	3.14	285	(79)	199	119	25	1326	1.50	1.69	4.22
3	67.5	3.18	285	(79)	238	79	25	1341	1.50	1.69	4.22
4	68.7	3.20	290	40	357	—	25	1350	1.50	1.69	4.22
5	68.7	3.21	290	(79)	318	—	25	1353	1.50	1.69	5.06
6	68.7	3.21	290	(119)	278	—	25	1356	1.50	1.69	6.33

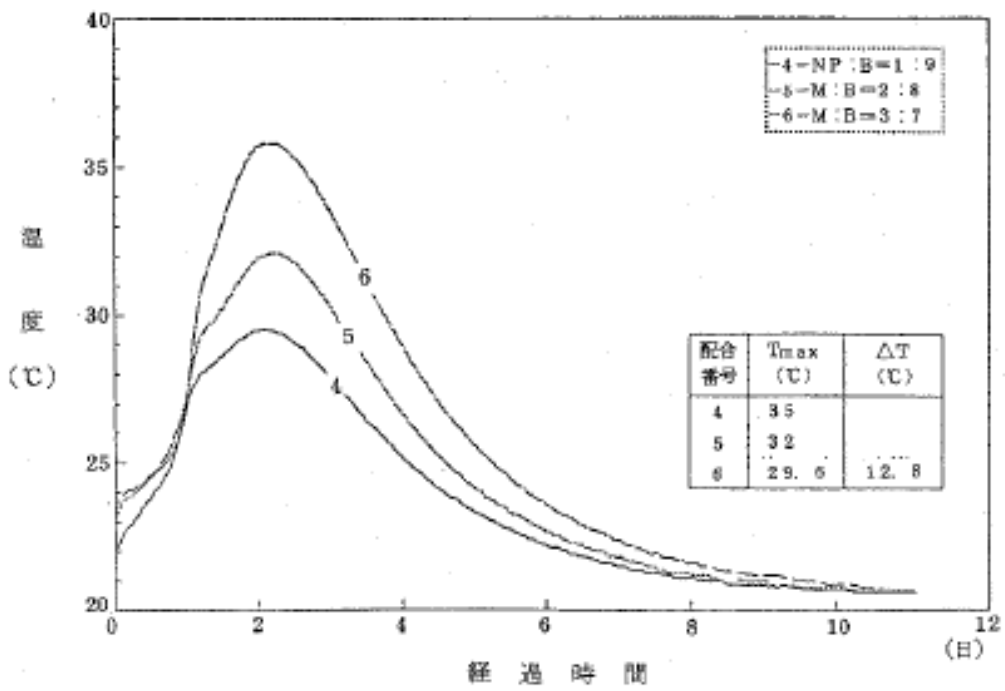
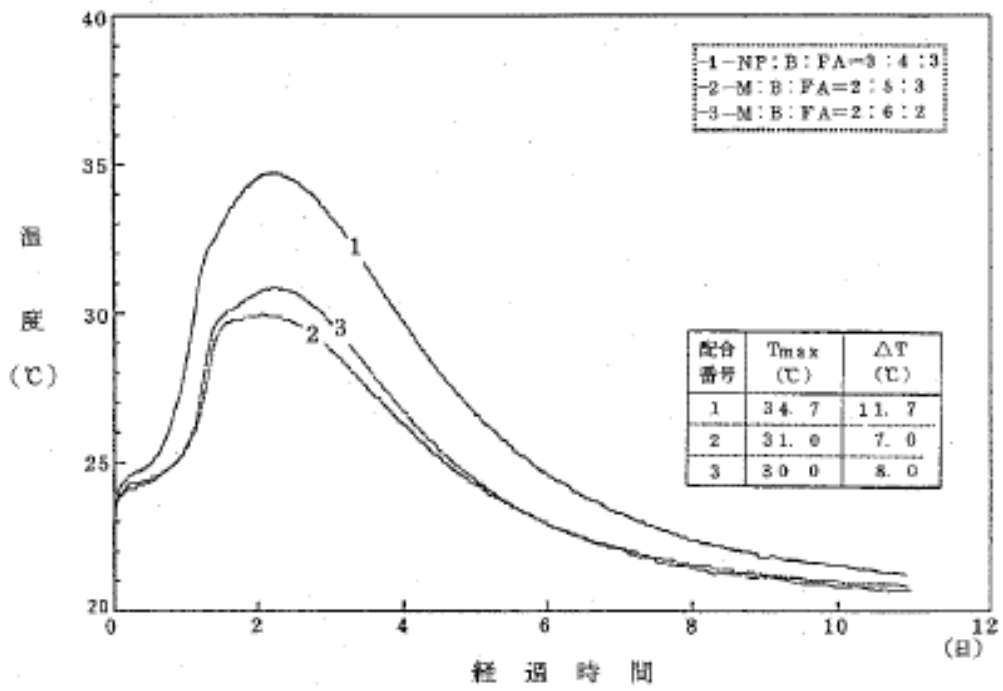
\* ( )は中庸熱ポルトランドセメント

第 23 表 使用材料一覧

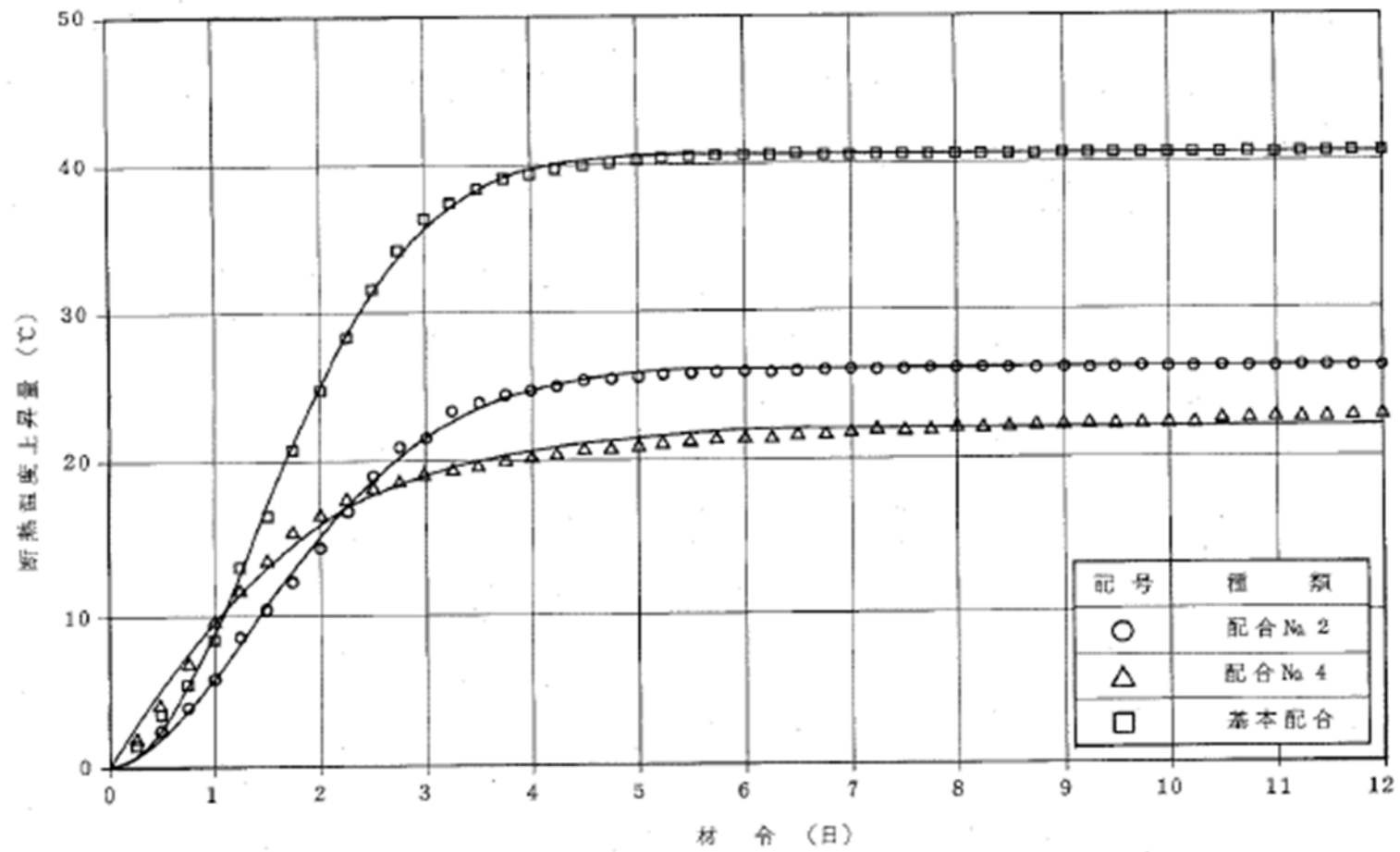
材 料		内 容
セメント		普通ポルトランドセメント（第一セメント製） 比重 3.16 中庸熱ポルトランドセメント（日本セメント製） 比重 3.20
混和材	高炉スラグ	セラメント（第一セメント製） 比重 2.90
	フライアッシュ	電発フライアッシュ（日本セメント製） 比重 2.19
	膨張材	デンカ CSA 100R（電気化学工業製） 比重 2.71
混和剤	水中不分離性 混和剤 （分離防止剤）	USCA クリーン（信越化学工業製） 水溶性セルロースエーテル系
	A E 減水剤 （標準型）	ポゾリス No.70（ポゾリス物産製） リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体 比重 1.25
	高性能 減水剤	ポゾリス NL-4000（ポゾリス物産製） 高縮合トリアジン系化合物 比重 1.13
細骨材		相模産（比重 2.59，吸水率 2.78%，F.M. 3.18）と 木更津産（比重 2.55，吸水率 2.84%，F.M. 1.28）を 8：2 で混合して使用

第24表 フレッシュモルタルに関する試験結果(ステップ1)

配合 番号	スランブフロー (cm)				3時間 低下量	ドラム缶フロー (分, 秒)				3時間 低下量 (秒)	空気量 (%)	練上り 温度 (℃)	ブリー ジング 率 (%)	凝 結 (時 間)	
	練上り	1時間	2時間	3時間		練上り	1時間	2時間	3時間					始 発	終 結
1	76 × 76	73 × 72	68 × 69	66 × 66	10	37 <sup>〃</sup>	49 <sup>〃</sup>	1' 12 <sup>〃</sup>	1' 01 <sup>〃</sup>	24 <sup>〃</sup>	2.0	22.9	0	24.5	33.0
2	78 × 78	76 × 75	73 × 73	72 × 71	6.5	34 <sup>〃</sup>	43 <sup>〃</sup>	1' 00 <sup>〃</sup>	1' 08 <sup>〃</sup>	34 <sup>〃</sup>	2.0	22.8	0	33.5	40.0
3	78 × 77	76 × 76	72 × 72	70 × 70	7.5	40 <sup>〃</sup>	55 <sup>〃</sup>	1' 00 <sup>〃</sup>	1' 07 <sup>〃</sup>	27 <sup>〃</sup>	2.0	22.7	0	30.0	39.0
4	76 × 75	77 × 75	73 × 73	66 × 66	9.5	46 <sup>〃</sup>	1' 15 <sup>〃</sup>	1' 18 <sup>〃</sup>	1' 27 <sup>〃</sup>	41 <sup>〃</sup>	1.6	22.6	0	20.5	29.5
5	75 × 73	72 × 72	70 × 69	68 × 67	6.5	44 <sup>〃</sup>	59 <sup>〃</sup>	1' 12 <sup>〃</sup>	1' 31 <sup>〃</sup>	47 <sup>〃</sup>	1.4	22.7	0	24.0	32.5
6	78 × 77	76 × 74	73 × 72	68 × 67	10	45 <sup>〃</sup>	1' 10 <sup>〃</sup>	1' 10 <sup>〃</sup>	1' 16 <sup>〃</sup>	31 <sup>〃</sup>	1.4	23.0	0	23.0	33.0



第8図 簡易断熱温度上昇試験結果(ステップ1)



第9図 断熱温度上昇量試験結果(20.0°C)

b. 平成 3 年度検討概要

平成 3 年度は、今後予定している充填システム実証試験のための埋設設備コンクリート壁の建設を実施し、特にセメント系充填材の選定に係る試験は特に実施されなかった。

c. 平成 4 年度検討概要

昭和 63 年度に実施した実規模充填試験では、3 成分系を用いて実施した。その結果、埋設設備のホワイトゾーン(モルタルの容積が大きい部分)の放熱速度が小さくなって充填材の温度が更に高くなることとなった。

当該年度は、充填材の水和発熱量を更に低減させる必要があることから、2 成分系結合材(使用材料は第 25 表、示方配合は第 26 表参照)を用いて実規模試験を実施し、充填材の水和発熱量と、流動性、充填性等<sup>\*1</sup>の確認を行った。

その結果、流動性、充填性については問題ないことが示された。また、昭和 63 年度に実施した 3 成分系の結合材を用いた場合、温度上昇量は 18.0℃であった。当該年度に用いた 2 成分系では、ホワイトゾーンという温度的には不利な条件があったにも係らず、温度上昇量を 14.5℃(第 27 表及び第 10 図参照)まで低減することができた。

第 25 表 使用材料

項 目		使 用 材 料
結 合 材	セ メ ン ト	中庸熟ポルトランドセメント10%，高炉スラグ90%の混合セメント（三菱マテリアル製）
	膨 張 材	CSA系膨張材 （電気化学工業製デンカ CSA100R）
混 和 剤	分 離 防 止 剤	水溶性セルロースエーテル （信越化学工業製USCAクリーン）
	AE 減 水 剤 （ 標 準 形 ）	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体 （NMB製ポゾリスNo.70）
	高 性 能 減 水 剤	高縮合トリアジン系化合物 （NMB製ポゾリスNL-4000）
細 骨 材		いわき市大久町地内産山砂 F.M. = 2.79

\*1：品質管理試験（出荷時、現場到着時）、充填材高さ及び流動勾配測定、強度試験、温度・ひずみの計測

第 26 表 充填材の示方配合

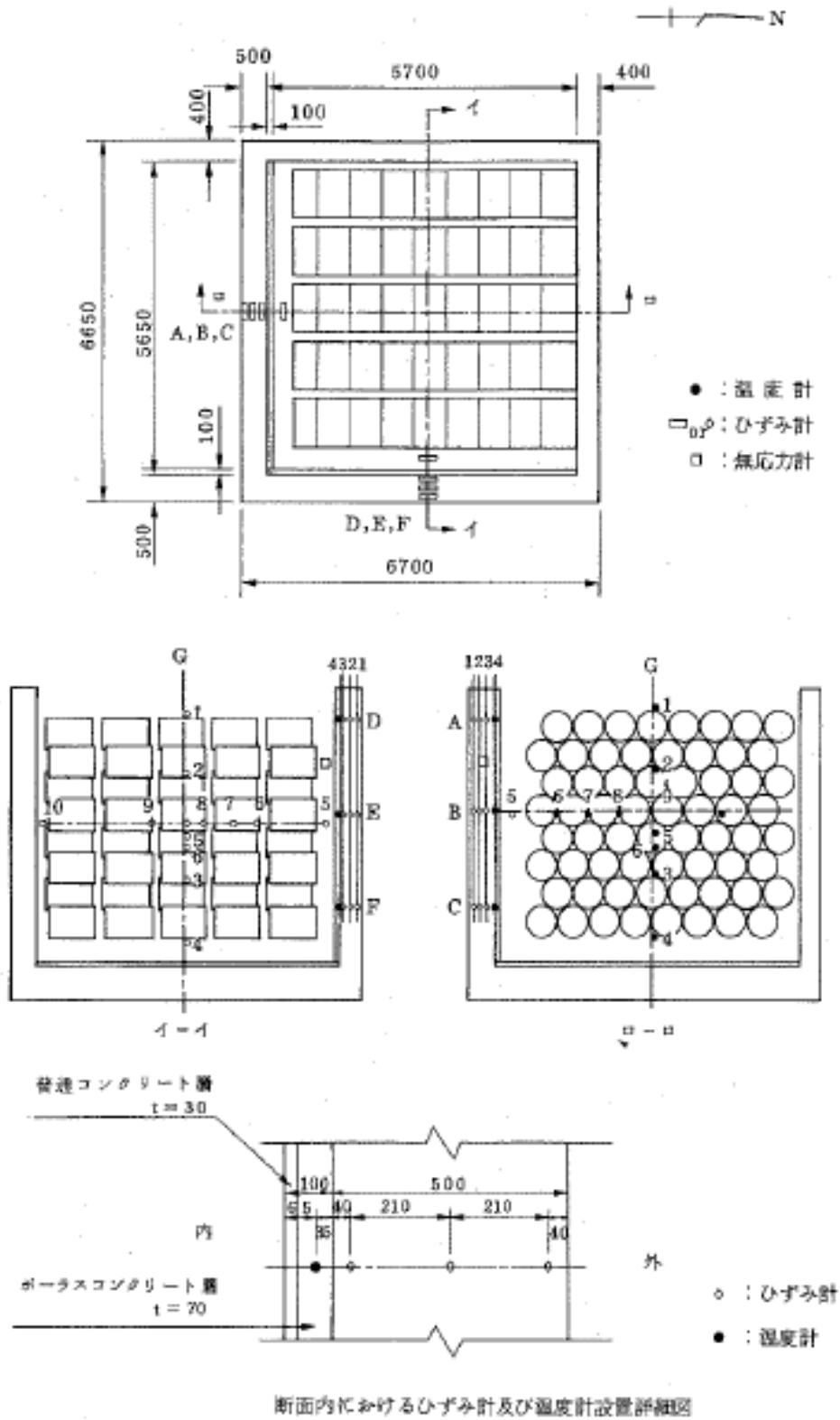
水結合材比 (%)	砂結合材比 (%)	スランプフローの範囲 (cm)	単 位 量 ( kg / m <sup>3</sup> )						
			水	砂	結 合 材		混 和 剤		
					セメント	膨 張 材 CSA 100 R	分 離 防 止 剤 USCA クリーン	AE 減 水 剤 No. 70	高 性 能 減 水 剤 NL-4000
72.3	3.24	72.5 ± 2.5	305	1367	397	25	1.5	結合材重量 の0.1%	結合材重量 の1.5%

第 27 表 充填材の温度特性

	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	E-5	E-6	E-7	E-9	E-10	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6
充填直後 $t_0$ (°C)	25.2	25.1	24.8	25.4	26.2	25.1	24.9	25.5	25.6	24.7	23.0	23.5	25.0	26.3	24.8	19.1	19.1
充填終了時 $t_1$ (°C)* <sup>1</sup>	26.0	21.5	21.4	23.1	23.5	21.7	26.0	24.0	22.9	24.9	23.3	24.1	23.9	23.4	23.2	20.3	19.6
最高温度 $t_2$ (°C)	37.6	36.3	35.5	35.2	36.7	33.8	39.4	35.3	35.2	34.5	27.5	29.2	34.1	34.9	34.8	34.7	34.9
最高温度材令 (日)	2.00	4.58	8.67	8.58	8.00	6.63	1.92	7.58	8.75	8.75	2.00	1.52	4.25	8.58	2.54	8.67	8.67
$t_2 - t_0$ (°C)	12.4	11.2	10.7	9.8	10.5	8.7	14.5	9.8	9.6	9.8	4.5	5.7	9.1	8.6	10.0	15.6	15.8
温度上昇速度 (°C/日)	6.20	2.45	1.23	1.14	1.31	1.31	7.55	1.29	1.10	1.12	2.25	3.75	2.14	1.00	3.94	1.80	1.82
11/4 現在温度 $t_3$ (°C)	21.3	22.5	23.3	23.9	25.5	22.2	20.4	22.9	23.5	23.0	15.2	16.4	21.4	24.8	24.2	24.0	24.2
$t_2 - t_3$ (°C)	16.3	13.8	12.2	11.3	11.2	11.6	19.0	12.4	11.7	11.5	12.3	12.8	12.7	10.1	10.6	10.7	10.7
温度下降速度 (°C/日)	0.44	0.40	0.40	0.37	0.36	0.36	0.51	0.39	0.39	0.39	0.33	0.34	0.37	0.33	0.29	0.35	0.38

\* 1 温度経時変化グラフ 初期値





第 10 図 計測器の設置位置

d. 平成 5 年度検討概要

当該年度は、平成 4 年度に実施した実規模充填試験体に対して以下の 3 点を確認した。

- ・ 充填材の充填状況の確認(模擬廃棄体間の狭隘な空隙部への充填状況の確認、特に、模擬廃棄体同士の接触部への充填状況の確認)
- ・ 材料分離傾向の有無の確認(模擬廃棄体下面におけるブリーディング等による骨材の分離状態の有無の確認)
- ・ 充填材の物性の確認

上記を確認するために以下の 3 項目の試験が実施された。

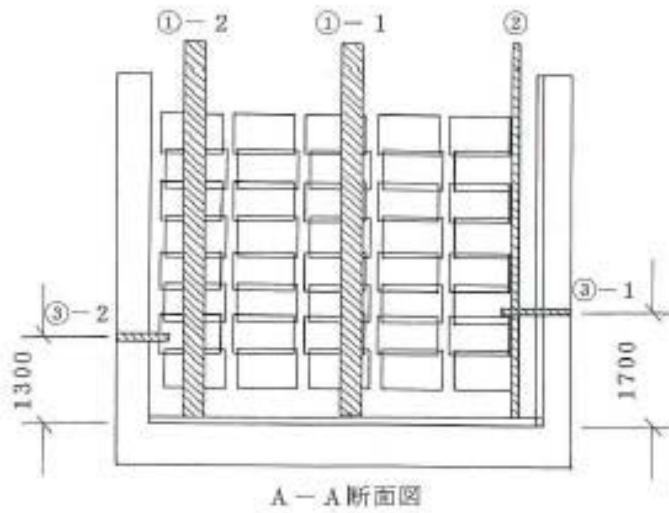
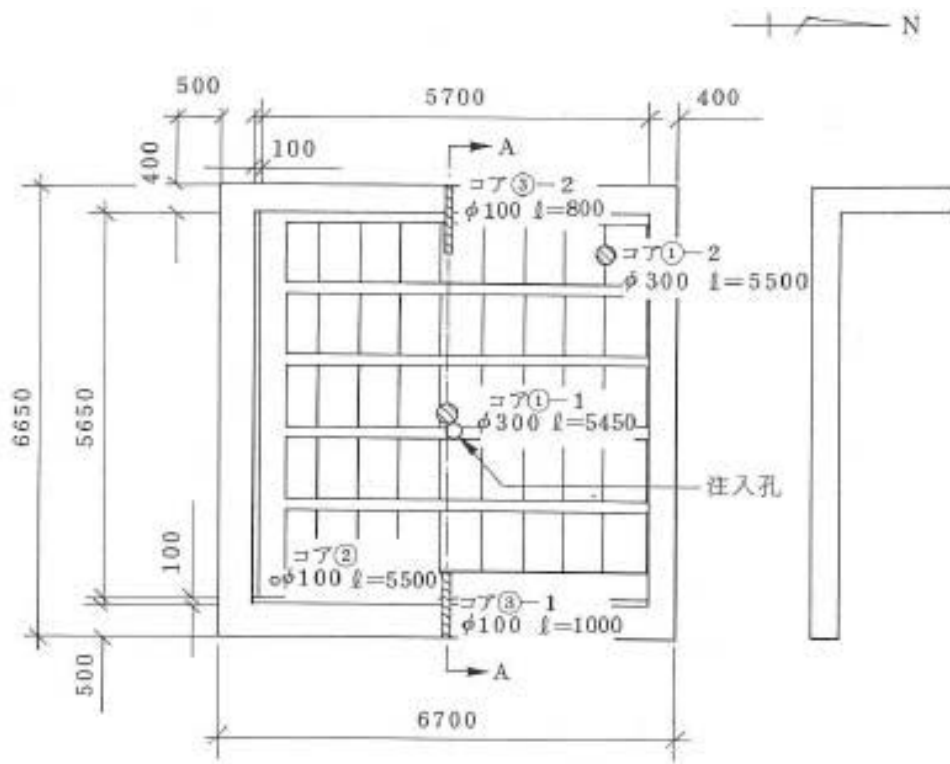
- ・ ボーリングコア(第 28 表及び第 11 図参照)による充填状況の目視による確認
- ・ 模擬埋設設備の解体調査による充填状況の確認
- ・ ボーリングコアから採取した供試体による透水試験及び圧縮強度試験

解体調査の結果、以下の点が確認された。

- ・ 模擬廃棄体同士の接触部等の狭隘部にも充填材は確実に充填されていた(第 12 図参照)。
- ・ 模擬廃棄体の下面等については、材料分離による細骨材の露出や充填不良による空隙は認められなかった。
- ・ 側壁コンクリートとの境界部分にも十分に密着していた(第 13 図参照)。

第 28 表 ボーリングコアの内容

記 号	直径 (mm)	長さ (mm)	目 的
① - 1	300	5,450	充填状況観察
① - 2	300	5,500	充填状況観察
②	100	5,500	透水試験, 圧縮強度試験
③ - 1	100	1,000	EPMA 分析 (通常土側)
③ - 2	100	800	EPMA 分析 (ベントナイト混合土側)



第11図 ボーリングコア採取位置



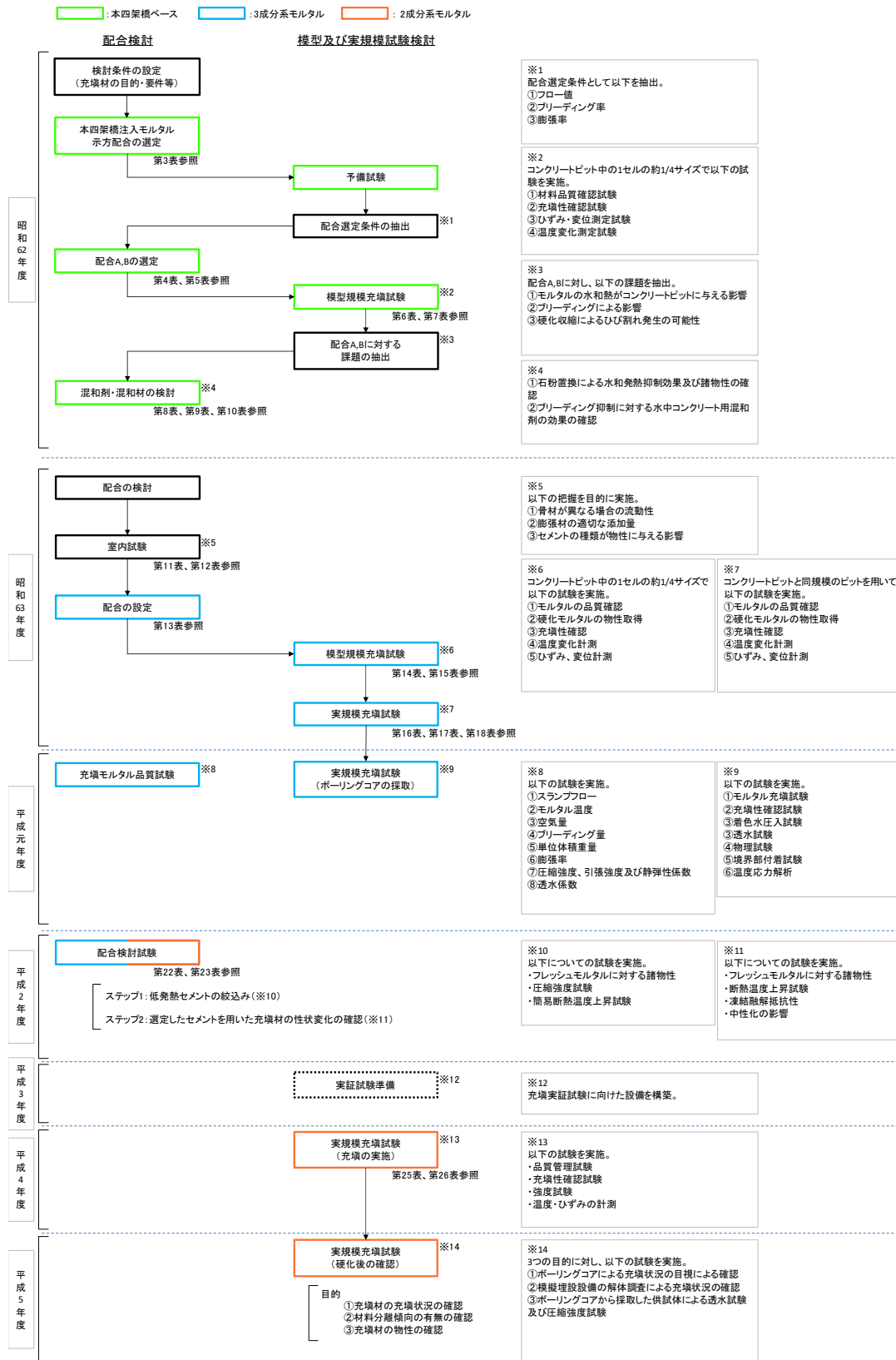
第 12 図 セメント系充填材部分の解体状況(模擬廃棄体間の間隙部の状況)



第 13 図 セメント系充填材部分の解体状況(側壁コンクリートとの境界部の状況)

(iii) 検討手順

(i)及び(ii)で示した昭和62年度～平成5年度までの検討概要の一連の経緯を第14図に検討フロー図として示す。



第 14 図 低レベル放射性廃棄物処分施設安全性確認試験の検討フロー

#### (iv) 検討結果

本四架橋の注入モルタルの示方配合に基づいて、埋設設備のセメント系充填材に求められる特性として、「低発熱型であること」、「ブリーディングを防止すること」、「流動性、充填性に優れること」の条件を考慮した。これより、混和材(高炉スラグ、フライアッシュ)の利用で単位セメント量を低減することで水和発熱を抑え、更に水中コンクリート用混和剤を用いて、ブリーディングを防止する等の改良を重ねた。

その結果、以下の3項目が当該受託研究で示された。

- ・当該受託研究で示されたセメント系充填材は、埋設設備の廃棄体間の狭隘な間隙部分にも十分に充填ができており、模擬廃棄体と十分密着している。
- ・材料分離による間隙や充填不良による空隙は見られず、下段や側部のコンクリートスペーサ、あるいは側壁コンクリートとも十分に密着している。
- ・セメント系充填材の透水係数は  $10^{-10}\text{cm/s} \sim 10^{-11}\text{cm/s}$  のオーダーであり、十分に水密性を有している。

#### (v) 昭和62年度～平成5年度までの受託研究のまとめ

昭和62年度～平成5年度までに通産省受託研究で原子力環境整備センターが実施したセメント系充填材に関する試験結果をまとめると以下のとおりとなる。

セメント系充填材の仕様検討は、以下の手順で行われた。

本四架橋注入モルタルの仕様をベースとした。

セメント系充填材に求められる特性として、主に流動性、ブリーディングに着目した配合仕様の見直し(配合A及びB)による検討が実施された。

配合A及びBに基づいた試験により、更なる見直しとして、水和発熱の低減、ブリーディングの抑制、硬化収縮の抑制の観点からの配合見直しの検討が実施された。

上記の検討を経て、主に水和発熱の低減、ブリーディングの抑制、硬化収縮の抑制、流動性、充填性の確保という観点から、混和材の使用、水中コンクリート混和剤の使用を基本的な概念とし、昭和63年度から3成分系モルタル、平成2年度から2成分系モルタルを主体とした検討が開始された。

いずれの試験も、室内によるセメント系充填材品質確認試験、コンクリート



ピットの1セルの1/4サイズの模型試験による流動性、充填性及び水和発熱特性、ブリーディング等の確認試験、実規模充填試験が行われた。

その結果、いずれのモルタルも以下の3項目が当該受託研究で示された。

当該受託研究で示されたセメント系充填材により、埋設設備の廃棄体間の狭隘な間隙部分にも十分に充填ができており、模擬廃棄体と十分密着している。

材料分離による間隙や充填不良による空隙は見られず、下段や側部のコンクリートスペーサ、あるいは側壁コンクリートとも十分に密着している。

充填材の透水係数は $10^{-10}\text{cm/s}\sim 10^{-11}\text{cm/s}$ のオーダーであり、十分に水密性を有している。

## (2) 日本コンクリート工学協会の検討状況<sup>(1)</sup>

### (i) 検討概要

当時建設の各分野では、各種の充填材が開発され、広範囲に実用されていた。しかし、それらの充填材はそれぞれ用途別に研究開発され、また有用されてきたため、これらの品質を共通の基準で相互に評価されたことは、ほとんどなかった。

そこで、平成3年度～平成4年度において、日本コンクリート工学協会(以下「JCI」という。)に充填材の品質評価研究委員会が設置され、平成4年12月のシンポジウムにおける中間報告<sup>(2)</sup>と論文発表<sup>(3)</sup>も踏まえ、充填材について要求性能やその品質評価試験方法の整理、要求される品質の分類化及び統一化が行われた。

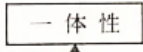

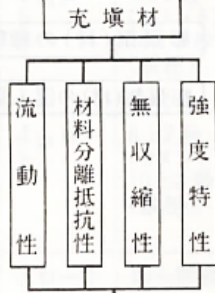
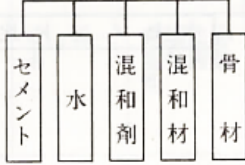
### (ii) 要求性能の分類

充填材に要求される性能を大別すると、「硬化前の充填材の性能として要求される項目」と「硬化後の充填材の性能として要求される項目」の二つに大別される。なかでも流動性と材料分離抵抗性は充填性に要求される性能のなかで、非常に重要な品質項目である。

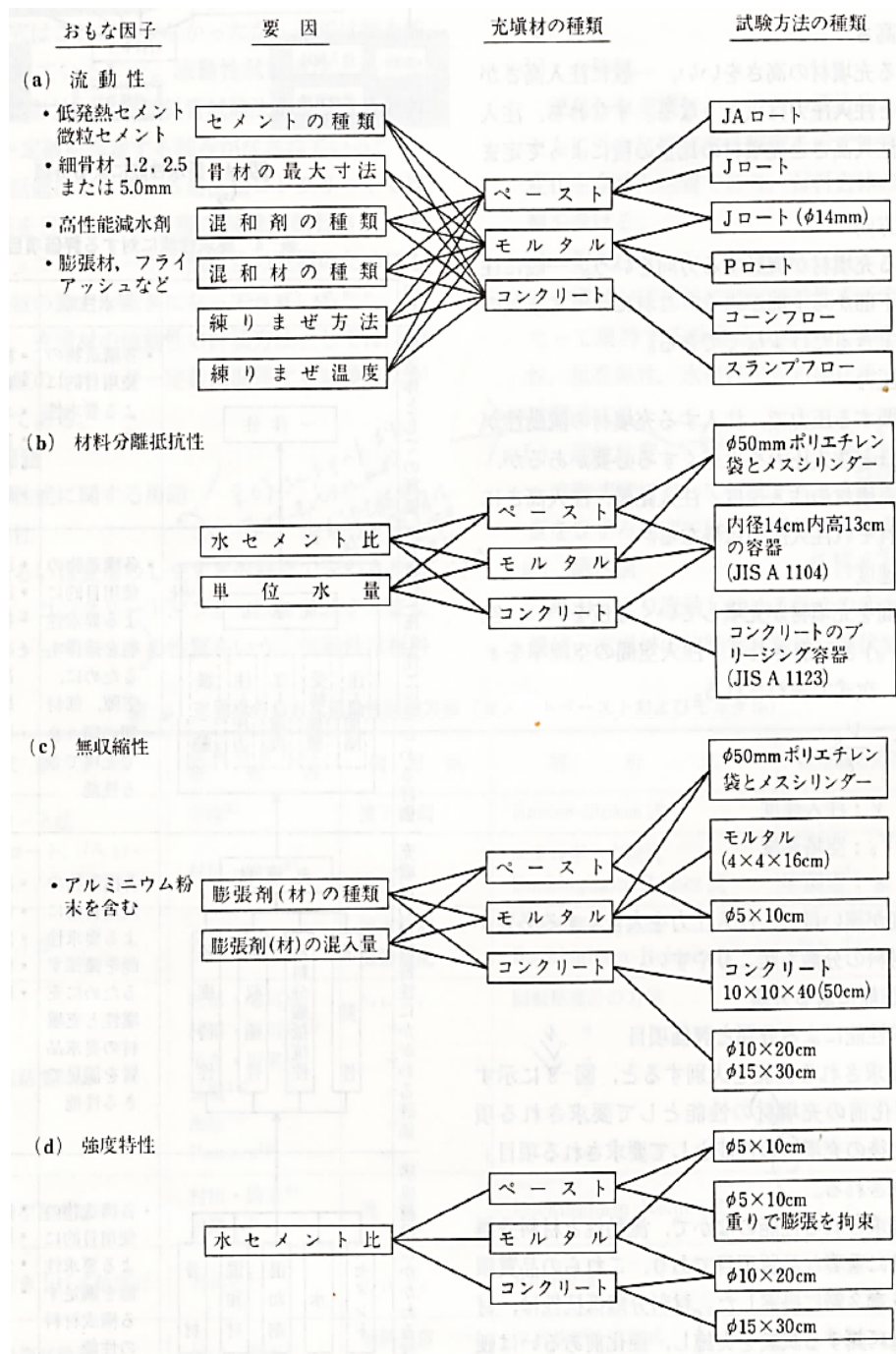
充填材の要求性能を分類するに際しては、硬化の前後の要求性能が異なるため、どのような評価方法で分類するかを明確に整理して、検討する必要がある。

充填材の要求性能については、構成材料、材料特性、施工性、構造体の性能の各段階について評価項目とともに第29表として整理されている。

第 29 表 要求性能に対する評価項目

項目	フ ロ ー	要求性能	評価項目
構造体としての評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>各構造物の使用目的による要求性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造耐力</li> <li>接着性, 付着性</li> <li>水密性, 透気性</li> <li>ひびわれ防止</li> <li>強度</li> <li>耐久性</li> </ul>
充填性(施工性)にかかわる評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>各構造物の使用目的による要求性能を確保するために, 空隙, 部材間の隅々まで充填できる性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>注入量</li> <li>注入勾配, 高さ</li> <li>接着性</li> <li>流出口からの流出量と流動性の確認</li> <li>強度</li> </ul>
充填材の材料特性にかかわる評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>各構造物の使用目的による要求性能を確保するために充填性と充填材の要求品質を満足できる性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流動性</li> <li>材料分離抵抗性</li> <li>無収縮性</li> <li>強度特性</li> <li>硬化速度</li> </ul>
構成材料にかかわる評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>各構造物の使用目的による要求性能を満足する構成材料の性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低発熱性</li> <li>膨張性</li> <li>分散性</li> <li>骨材の最大寸法</li> </ul>

充填材の材料特性である流動性、材料分離抵抗性、無収縮性及び強度特性などに影響を及ぼす各種の要因が第 15 図のように整理されている。



第 15 図 充填材の材料特性に及ぼす各種の要因

(iii) まとめ

本委員会では、原子力環境整備センターによるセメント系充填材に係る検討状況も踏まえ、充填材全般としての要求事項、品質規格や試験方法を整理しており、

セメント系充填材の設計に当たり参考となる情報が取りまとめられている。

(3) 既往の知見のまとめ

セメント系充填材の設計に当たり考慮すべき項目が、JCI の委員会により要求事項として整理された。

原子力環境整備センターにおいても実規模の充填試験を含めた検討がなされ、各要求事項を満足するものとして2つの配合(3成分系及び2成分系)が示されている。

配合の検討に当たっては、主に水和熱の低減、ブリーディングの抑制、硬化収縮の低減に考慮されている。

このように、当初からひび割れの制御を考慮してセメント系充填材の検討が進められてきた。水和熱に対しては混和材の使用により、硬化収縮に対しては膨張材の使用により収縮によるひび割れの発生に対して対応されてきた。

### 3. 現在のセメント系充填材の配合選定

#### (1) 配合選定の経緯

低レベル放射性廃棄物施設に用いるセメント系充填材は、原子力環境整備センターにおいて推奨されていた2成分系(普通ポルトランドセメント(以下「N」という。))及び高炉スラグ(以下「S」という。)を質量比で1:9で混合)及び3成分系(中庸熱ポルトランドセメント(以下「M」という。))、S及びフライアッシュ(以下「F」という。)を質量比で2:5:3で混合)の2種類の結合材に対する比較検討を1992年度に実施し、設定した。

当時、原子力環境整備センターの検討成果では2成分系と3成分系では3成分系の温度上昇が大きいものの、その影響は小さいと考え、流動性を重視して3成分系モルタルを推奨していた。

一方、2成分系モルタルは温度上昇量が小さいことに加え、材料コストの面などで有利な点があった。また、温度上昇量や流動性に関しては使用する材料で変化することが知られており、セメント系充填材の配合設定に当たっては、実際に使用される可能性の高い材料を用いて比較検討して決定することが妥当であるとし、1992年度に当社にて配合選定試験を実施した。

#### (2) 配合選定試験

本試験では、スランプフロー及びブリーディング量を満足した上で、ひび割れ抑制を考慮した配合を選定することを目的として、結合材の構成比率を変化させた場合の温度上昇特性、流動性の変化について検討した。

##### (i) 検討した混合比率

本試験では、第30表に示す結合材比率で試験を実施した。

第 30 表 配合選定試験で実施した結合材比率

No.	セメント	高炉スラグ	フライアッシュ	備 考
1	5(N)	95	—	スラグ混合率の影響検討
2	10(N)	90	—	同上
3	15(N)	85	—	同上
4	10(N)	60	30	フライアッシュ置換の効果
5	10(M)	90	—	M の効果
6	20(M)	50	30	既往検討の確認と M の効果

(ii) 試験項目

試験項目を第 31 表に示す。

なお、準拠規定等は 1992 年当時のまま示した。

第 31 表 試験項目一覧

試験項目	仕 様	準拠規定等
スランプフロー	0, 30, 60, 90, 120 分	土木学会基準コンクリートのスランプフロー試験方法(案)
ドラム缶フロー	同上	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書
空気量	同上	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量による試験方法
練り上がり温度	同上	アルコール棒状温度計による測定
断熱温度上昇	1 配合につき 1 回	空冷 2 槽式試験機により測定
凝結	同上	ASTM C 403 プロテクター貫入抵抗試験
ブリーディング率	同上	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及び膨張率試験方法(ポリエチレン袋方法)
単位容積質量	同上	JIS A 1116 フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法(質量方法)
圧縮強度	3, 5, 7, 14, 28 日	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法

(iii) 試験結果

試験配合はあらかじめスランプフローが 70cm～75cm の範囲となるように配合を調整した後、比較試験を実施している。配合選定試験の結果を第 32 表及び第 33 表に示す。

a. 流動性

第 30 表に示した No. 1～No. 6 の結合材を用いた配合においても 120 分後のスランプフローが 65cm 程度であり、ドラム缶フローも閉塞することなく全て流下したことから、優れた流動性を確保できることを確認した。

b. 断熱温度上昇量

断熱温度上昇量は S の置換率が高くなるに伴い低減される結果となった。また、第 1 表に示す No. 2 と No. 5 の使用するセメントの種類の違い (N と M) としては、M を用いた方が 2℃ 程度小さい結果となった。

c. 凝結特性

2 成分系モルタルの凝結時間は、S の置換率が高くなるに伴い始発・終結時間ともに遅れるが終結の目標時間である 48 時間<sup>\*1</sup> 以内をクリアした。また、セメントの種類の違い (N と M) による凝結時間はほとんど変化しない結果となった。3 成分系モルタルの凝結時間は、2 成分系モルタルよりも遅く、No. 4 及び No. 6 配合ともに目標時間をクリアしない結果となった。

d. 一軸圧縮強度

2 成分系モルタルにおいては、断熱温度上昇量が大きいものが圧縮強度も大きくなる結果となった。これは、セメントの水和反応に応じた強度発現が得られていると判断できる。一方、3 成分系モルタルは、セメント量が多い No. 6 配合の圧縮強度が高い結果となったが、断熱温度上昇量が同等である 2 成分系の No. 3 配合と比較すると、約 8 割程度 (28 日強度時点) の強度発現に留まる結果となった。配合の構成材料が異なることから、2 成分系と 3 成分系のモルタルを断熱温度上昇量と強度の関係を同列に扱うことはできないが、3 成分系のモルタルに関しては F を使用しているため、S と F の水和生成物の違いが強度発現に影響を与えたと考えられる。

(3) 配合選定試験まとめ

セメント系充填材の流動性に関しては、いずれの配合も 120 分後のスランプフローの値が 65cm 程度であり性能に遜色はないと結論づけた。断熱温度上昇量は、S の置換率が高くなると温度上昇を低く抑えられることが明らかとなった。ただし、No. 1 配合の場合は、結合材の製造過程において生じる計量誤差により N の添加量が少なくなることも想定され、S の潜在水硬性の刺激量が少なくなることで生じる凝結遅延や強度発現不足を回避するため、選定外とした。また、3 成分系のモルタルは F を使用することで凝結が遅れる傾向であること、圧縮強度が 2 成分系に比べて小さいことが確認された。当時は、種々の現場 (本四連絡橋工事など) において F の品質



上の問題が懸念\*2されていたこともあり、No.5の2成分系のモルタル(1:9モルタル)を選定\*3した。

\*1:凝結の終結時間は、モルタル充填の次工程である上部ポーラスコンクリート板設置作業までの最短スケジュールである2日程度を目安とした。工程を遅らせることも選択肢にあったが、凝結が遅すぎると材料分離の懸念もあったことから48時間を目標値とした。

\*2:1958年に「JISA6201フライアッシュ」が、1960年には「JIR5213フライアッシュセメント」がそれぞれ制定された。その後、1970年代には使用量が年々増加するに従い、フライアッシュの一層の有効活用を図る目的で品質規定を主とする改正が行われたが、以降、品質規定は1999年「JISA6201コンクリート用フライアッシュ」にてフライアッシュの種類の設定と品質の改正が行われるまで見直しがされていない。さらに、1968年と1977年のフライアッシュの物理的性質を比較すると、1977年時の規定が緩和されていることが分かる。これは、火力発電所で用いる石炭が国内から海外炭に移行したことにより、石炭灰の品質も変化していたことが影響したものと思われ、セメント系充填材の配合検討当時に品質上の問題が懸念されたことは理解できる。

\*3:Sは、1986年に土木学会規準「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格(案)」が制定され、当時のコンクリート標準示方書にその使用についての規定が設けられた。コンクリート用高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、1995年に「JISA6206コンクリート用高炉スラグ微粉末」が制定されるまでの間、1988年に制定された「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案)」が標準として用いられていたことから、これを参考に検討を実施することで品質変動が抑制されると考えた。なお、昨今では高炉セメントは普通セメントと比較して自己収縮が大きくなることが知られているが、配合設定当時(1992年)は、乾燥収縮に比べてその影響は小さいことから、ひび割れ制御や設計において考慮されていなかった。ひび割れ発生原因として自己収縮を考慮するようになったのは、平成8年に制定されたコンクリート標準示方書(設計編)からである。

第32表 埋設設備充填モルタル配合試験結果一覧表(圧縮強度を除く)

No.	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤量				試験結果											備考			
	水 (W)	セメント (C)	高炉スラグ (S)	フライアッシュ (F)	膨張材 (EX)	細骨材	増粘材 (kg/m <sup>3</sup> )	No. 70 C×%	NL4000 C×%	スランプフロー (cm)			ドラム缶フロー (分' 秒")			空気量 (%)			単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	練上り温度 (°C)	凝結 (時間)		ブリーディング (率)	断熱温度上昇 (°C)	
										0分	60分	120分	0分	60分	120分	0分	60分	120分			始発				終結
1	280	20	377	—	25	1,470	1.5	0.10	1.0	71.0	70.8	67.0	2' 06"	2' 39"	3' 17"	2.9	1.9	2.3	2.183	19.7	39.1	47.6	0	20.7	N5:S95
2	281	40	357	—	25	1,468	1.5	0.10	1.0	72.5	69.8	67.0	2' 54"	3' 12"	4' 03"	2.8	2.2	2.2	2.187	18.8	33.7	43.6	0	25.8	N10:S90
3	285	60	337	—	25	1,460	1.5	0.10	1.0	71.0	69.5	65.8	1' 38"	2' 39"	2' 34"	3.1	1.9	2.1	2.173	18.7	29.5	42.0	0	28.9	N15:S85
4	283	40	238	119	25	1,428	1.5	0.10	1.0	70.8	68.3	67.0	1' 36"	2' 29"	2' 52"	3.4	1.6	1.9	2.135	18.9	43.7	53.2	0	26.2	N10:S60:F30
5	283	40	357	—	25	1,462	1.5	0.10	1.0	72.3	71.3	65.0	1' 53"	2' 28"	2' 25"	3.5	2.3	1.8	2.173	19.1	35.2	44.0	0	23.2	M10:S90
6	291	79	199	119	25	1,410	1.5	0.10	1.0	72.5	67.8	64.5	1' 25"	1' 31"	1' 43"	2.8	1.4	1.7	2.217	19.8	35.7	50.8	0	28.1	M20:S50:F30

第33表 埋設設備充填モルタル配合試験 圧縮強度試験結果一覧表

No.	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )					備考
	材齢 3日	材齢 5日	材齢 7日	材齢 14日	材齢 28日	
1	18.1	34.4	45.3	74.9	103	N5:S95
2	28.3	59.2	82.3	116	135	N10:S90
3	32.3	69.6	97.1	145	174	N15:S85
4	13.3	39.6	60.3	95.3	117	N10:S60:F30
5	27.2	58.2	78.9	110	136	M10:S90
6	15.4	41.3	60.2	103	137	M20:S50:F30

#### 4. 新增設におけるセメント系充填材の配合改良

##### (1) 目的

1:9 モルタルは低温期には更に水和反応が遅れることから、確実な品質確保のため寒冷時(12月中旬から翌年3月中旬)には打ち込みを行わないこととしている<sup>(4)</sup>。

一方、寒冷時に施工制限が発生することに伴い、廃棄体定置後に未充填区画が多数生じることで災害時における被ばくリスクが高まるため、作業時におけるさらなる安全性確保が課題となっている。これらを踏まえ、年間を通じて安定したセメント充填材の品質を確保する必要があると考え、1:9 モルタルの配合設計の考え方を踏襲しつつ、低温下でも安定した品質を確保できる改善配合を検討した。

##### (2) セメント系充填材に要求される品質項目

セメント系充填材には、前項に記載したひび割れ抑制などに加え、モルタル施工時の作業者の被ばく低減のため、人力による補助作業(振動作業)を排除し、遮蔽用のコンクリート仮蓋を設置した状態で区画の中央部一箇所からモルタルを注入する工法を選択した。このような埋施設特有の施設形態を考慮し、配合設計及び施工はプレパックドコンクリート及び水中不分離性コンクリートに準じて、検討を実施してきた背景がある。また、充填後の次工程においても作業者の被ばくを低減するため、モルタル硬化後は遮蔽性能も要求される。

セメント系充填材に要求される性能を第34表に、性能設定の根拠を第35表に示す。

第 34 表 改善配合のセメント系充填材要求品質

技術的要件	具体的項目	目標性能
流動性(充填性)	スランプフロー	65cm 以上
材料分離抵抗性(密着性)	ブリーディング	0%
力学的安定性	圧縮強度	10N/mm <sup>2</sup> 以上
耐凍害性	空気量	5±1.5%
凝結遅延抑制	凝結時間	終結時間が 48 時間以内
遮蔽性	乾燥単位容積質量	1.6t/m <sup>3</sup> 以上
ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	可能な限り小さいこと
	自己収縮ひずみ	同上
	乾燥収縮ひずみ	同上
低透水性	透水係数(基質部)	同上

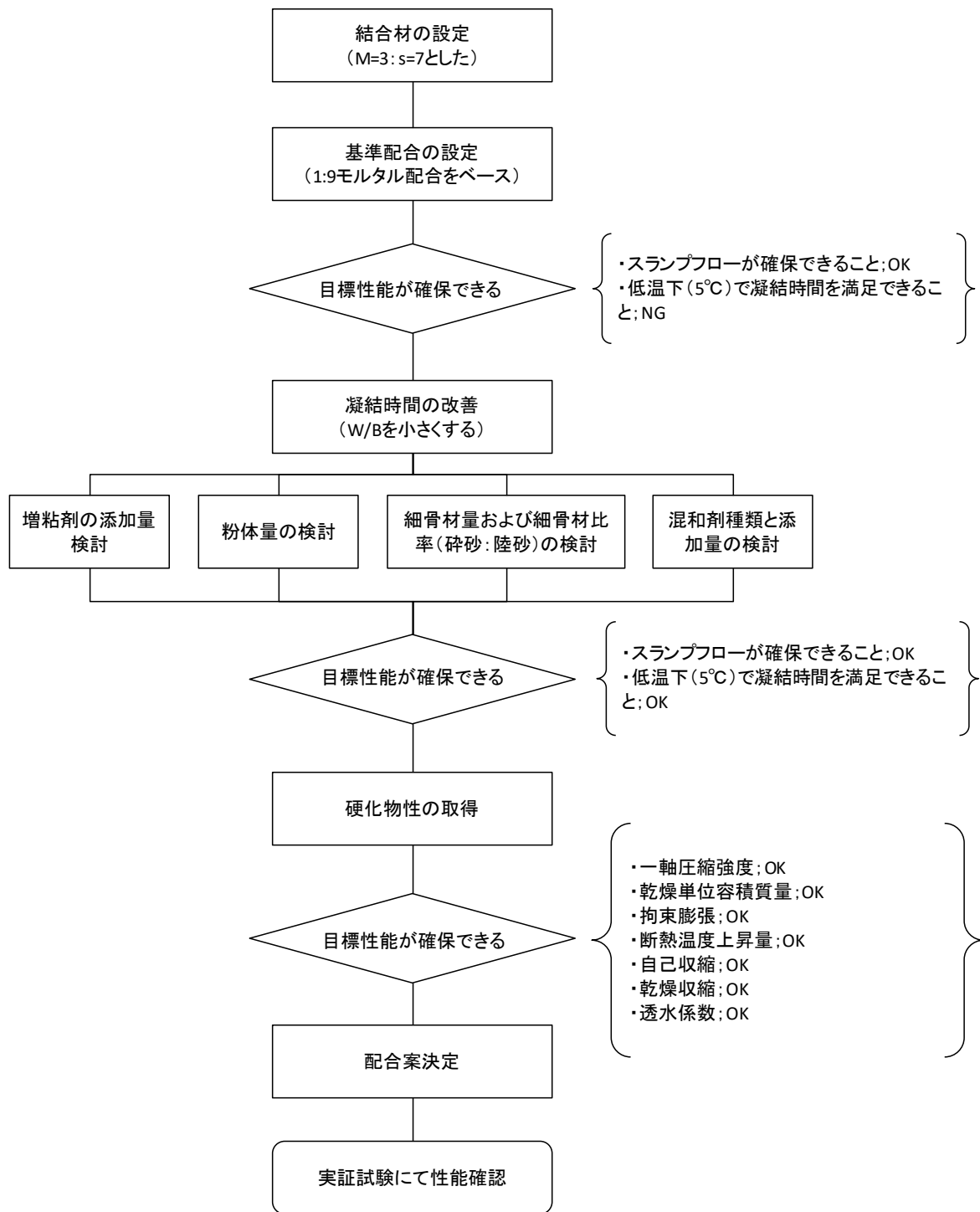
第 35 表 セメント系充填材目標性能設定根拠

具体的項目	根拠
スランプフロー	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験 <sup>(5)</sup> 等
ブリーディング	同上
圧縮強度	当社社内基準 <sup>(6)</sup>
空気量	「コンクリート標準示方書(施工編)」 <sup>(7)</sup> の最大値を超えないこと
凝結時間	当社社内基準 <sup>(8)</sup>
乾燥単位容積質量	廃棄物埋設事業変更許可申請書 <sup>(4)</sup>
断熱温度上昇量	施工性能を達成できる範囲で可能な限り小さくすること
自己収縮ひずみ	同上
乾燥収縮ひずみ	同上
透水係数(基質部)	同上

### (3) セメント系充填材の改善配合検討

セメント系充填材の改善配合の検討において最も重要となるのは、必要な施工性能を確保しつつ、材料分離や硬化不良の不具合を防止するため、低温環境下においても凝結遅延がないようにすることである。このため、1:9 モルタルをベースとし、初期の水和反応を促進するため刺激剤となる M の比率を高め、S の置換率を減じた配合を検討することとした。

なお、M 及び S の比率は断熱温度上昇量を抑制するため、S の置換率は 60%以上<sup>(9)(10)</sup> とするとともに初期に生成される水和生成物に着目<sup>(11)</sup>し、設定した。検討の流れを第 16 図に示す。



第 16 図 充填モルタル改善配合の検討フロー

#### (4) セメント系充填材量改善配合の検討内容

##### (i) 基準配合の設定

###### a. 現状の把握

低温環境下(5℃を設定)における 1:9 モルタルの凝結時間(終結)は、平穩時の約 3 倍となる(130h)ことを試験で確認している。

###### b. 品質安定化に向けた配合検討の方針

- ・低温環境下での凝結時間を改善し、材料分離を抑制すること。
- ・低温環境下でも安定した水和反応が得られるようにすること。
- ・スランプフローなど、従来の性能要件を確保すること。
- ・最新知見を考慮し、材料仕様は最新に見直すこと。

###### c. 基準配合案の設定

1:9 モルタルの配合をベースに、M の使用量を 30%まで高めた配合で、低温環境下の凝結時間及び圧縮強度がどの程度改善されるかを確認した。配合を第 36 表に示す。

第 36 表 基本配合案の示方配合

W/B (%)	S/B	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
			水 W	結合材 B			細骨材		水中不分離性混和剤	超遅延性減水剤 No. 89	高性能 AE 減水剤 SP8LS
				中庸熱セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	砕砂	陸砂			
67.1	3.43	3.0	283	422			1,457		1.5	B× 0.15%	B× 1.0%
				127	295	—	873	582			

(参考添付 1:9 モルタル配合表)

W/B (%)	S/B	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
			水 W	結合材 B			細骨材		水中不分離性混和剤	AE 減水剤 No. 70	高性能減水剤 L4000
				中庸熱セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	砕砂	陸砂			
67.1	3.43	3.0	283	422			1,457		1.5	B× 0.2%	B× 1.5%
				42	380	—	873	582			

d. 基本配合案の凝結試験結果

低温環境下における基本配合案の凝結時間及び圧縮強度の結果を第 37 表に示す。凝結の始発は 35 時間 0 分、終結時間は 72 時間 20 分となり、1:9 モルタルに比べ大幅に改善が図られたものの、目標時間である 48 時間を満足するには更に 24 時間程度短縮する必要があった。圧縮強度では、91 日後で 22.2N/mm<sup>2</sup>まで増進し、要求性能を満足できる結果が得られた。

このため、M:S の比率は 3:7 とし凝結時間を短縮するための配合を設定するため、W/B を小さくするなどの配合変更を検討することとした。



第 37 表 基本配合案の凝結時間及び圧縮強度の結果

環境条件	凝結時間		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
	始発	終結	7 日	28 日	91 日
平温時 (20℃)	14 時間 40 分	28 時間 00 分	11.4	22.5	28.5
低温時 (5℃)	35 時間 00 分	72 時間 20 分	1.82	11.5	22.2

(ii) 充填モルタルの配合改善の検討

基準配合の試験結果から、M と S の比率を 3:7 とすることで凝結時間の改善が図られたことから、結合材は 3:7 とし、以降の項目検討を実施することとした。従来の要求品質を確保し低温環境下での凝結改善を達成可能な配合を選定するため、室内試験練りを実施して第 38 表に示す配合を設定した。

a. 単位結合材料の設定

材料分離抵抗性、水和生成物量の観点から、従来の 422kg/m<sup>3</sup> 以上を確保する。体積変化を抑制するため、膨張材を添加する。

b. 水・結合材比

55%以下とすることで、水密性の向上と凝結改善を図る。

c. 材料分離抵抗性

単位水量変動に対する抵抗性を確保するため、単位粉体量に加え、水中不分離性混和剤を使用することとした。

d. 細骨材比率

W/B=55%以下とすることで粉体又は細骨材量が増となり、粘性が増すことが想定されるため、砕砂と陸砂の比率は 6:4 とした。

S/B は、廃棄体間の間隙通過性を考慮し、配合に占める細骨材比(容積)を従来と同様とした(S/B は 3.46 程度以下となるよう設定)。

e. 混和剤

混和剤は、従来の 2 本使いから 1 本使いを目標とした。種類は、高性能 AE 減水剤とした。

混和剤は汎用品から選定することとした。

第 38 表 品質改善したセメント系充填材の示方配合

W/B (%)	S/B	空気量 (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )							
			水 W	結合材 B			細骨材 S		水中不 分離性 混和剤	高性能 AE 減水 剤 SP8HVM
				中庸熱 セメント	高炉ス ラグ 微粉 末	膨張 材	砕砂	陸砂		
55.0	3.17	5.0	252	458			1,454		1.1	4.58
				131	307	20	872	582		B× 1.0%

(5) セメント系充填材改善配合の検討結果

(i) 室内試験練り(フレッシュ性状確認試験)

- a. スランプフロー試験結果(75cm±10cm、5時間後も65cm以上を確保が理想)

第 39 表に示すように、平温時(20℃)及び低温時(5℃)においても、目標性能を満足する結果が得られた。

第 39 表 スランプフロー試験結果

環境条件	スランプフロー (cm)					
	5分	60分	120分	180分	240分	300分
平温時(20℃)	74.3	75.0	72.3	72.5	71.0	69.0
低温時(5℃)	69.8	71.0	70.0	69.8	68.0	66.5

- b. 空気量(1時間後に5%±1.5%)

空気量測定結果を第 40 表に示す。平温時(20℃)では目標性能を達成可能であったが、低温時(5℃)では、目標性能を僅かに外れた。低温下では水中不分離性混和剤の粘性が増すことが知られている。このため、練混ぜ時に巻き込ん

だ空気(エントラップドエア)が抜けきれずに所定の範囲に収まらなかったと考えられる。

ただし、これらは混和剤等の添加量を微調整することで対応可能であるため、最終的には実機試験練りにて修正することとし、問題ないと判断した。

第 40 表 空気量測定結果

環境条件	空気量(%)	
	5 分	60 分
平温時 (20℃)	4.6	3.8
低温時 (5℃)	9.0	7.0

c. ブリーディング率(ノンブリーディング)

平温時(20℃)及び低温時(5℃)いずれも 0%であり目標性能を満足する結果が得られた。

d. 凝結時間

凝結時間の試験結果を第 41 表に示す。基本配合案(第 37 表の凝結時間参照)に比べると、平温時及び低温時の終結時間はそれぞれ、6 時間 45 分と 15 時間 35 分短くなっており、W/B を見直したことによる効果であると考えられる。

なお、目標性能である 48 時間には 8 時間程度及ばない結果となったが、空気量の調整とあわせて混和剤等の添加量を修正(減じる)すれば、更に凝結時間の短縮が期待できると思われる。

第 41 表 凝結時間の試験結果

環境条件	凝結時間	
	始発	終結
平温時 (20℃)	15 時間 55 分	21 時間 15 分
低温時(5℃)	37 時間 05 分	56 時間 45 分

(ii) 硬化物性取得試験(平温時のみ取得)

a. 圧縮強度

圧縮強度の試験結果を第 42 表に示す。低温時の圧縮強度は取得していないが、基本配合案(第 37 表の圧縮強度参照)の検討段階において M:S 比率が 3:7 であれば設計基準強度を満足できることを確認している。充填モルタル改善配合(以下「改善配合」という。)では W/B を小さくし、単位結合材も増量したことで平温時の強度が増進している。このため、改善配合は低温時においても安定した強度発現が得られると考えられる。

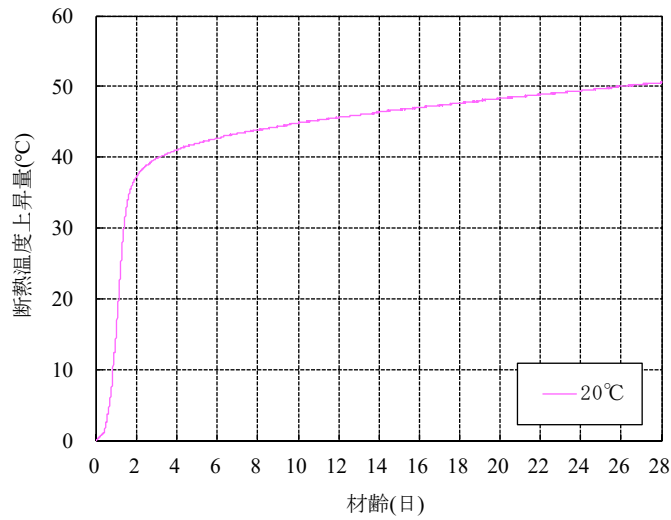
第 42 表 圧縮強度の試験結果

環境条件	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
	7 日	28 日	91 日
平温時 (20℃)	22.6	32.3	43.0

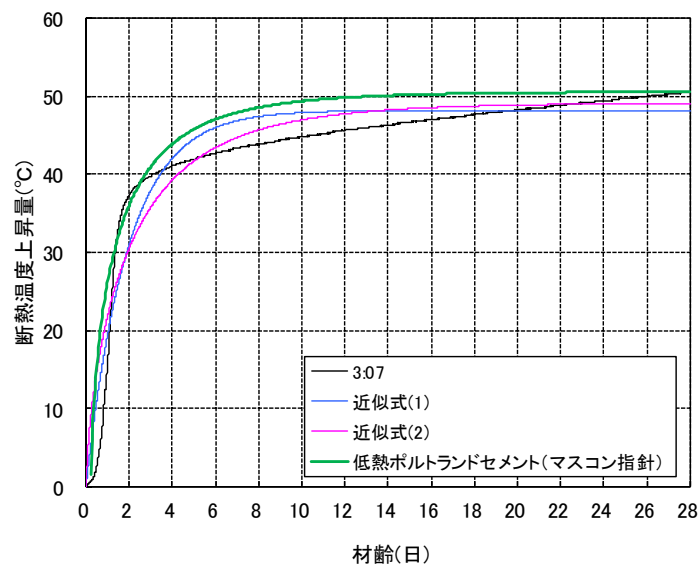
b. 断熱温度上昇量

断熱温度上昇量の試験結果を第 17 図に示す。断熱温度上昇量は一般に使用する結合材量が増えるに従い上昇する。改善配合結合材比率を M:S=3:7 としており、セメント比率が増えることによって、S の潜在水硬性も比例して促進されたことで、50℃程度まで上昇したと考えられる。

なお、参考までに同じ低発熱型のセメントである低熱ポルトランドセメントを改善配合の結合材と同量とした場合の断熱温度上昇量と比較したものを第 18 図に示す。両者はほぼ同等の断熱温度上昇量であることがわかる。このため、改善配合の断熱温度上昇量は、低発熱型セメントを使用した効果が発揮されていると考えられる。



第 17 図 改善配合の断熱温度上昇量試験結果

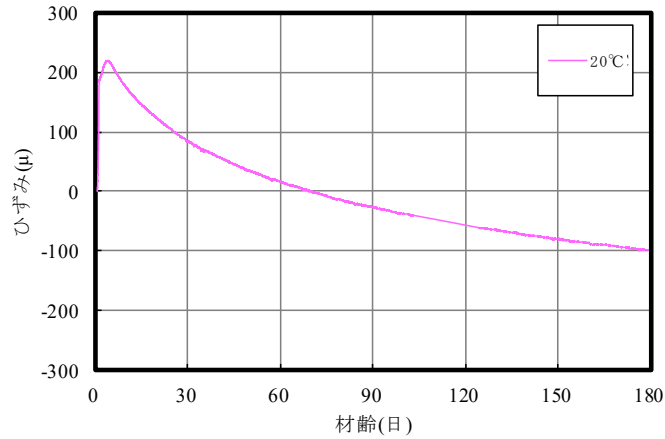


配合名	K	$\alpha$	$\beta$	近似式
改善配合	48.2	0.515	-	$Q(t)=K(1-\exp(-\alpha t))$ ……式(1)
	49.2	0.586	0.725	$Q(t)=K(1-\exp(-\alpha t^\beta))$ ……式(2)
低熱ポルトランドセメント(マスコン指針)	50.6	0.867	0.639	$Q(t)=K(1-\exp(-\alpha t^\beta))$ ……式(2)

第 18 図 改善配合と低熱ポルトランドセメントの断熱温度上昇量比較

c. 自己収縮

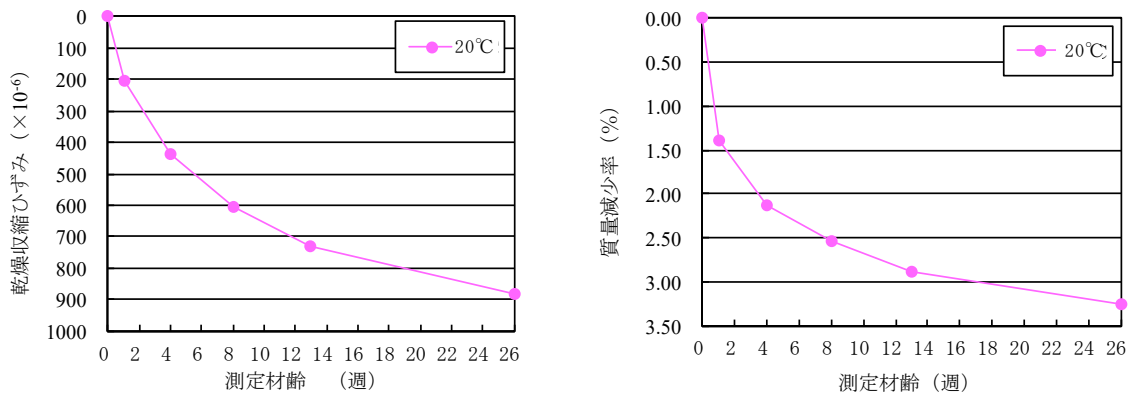
改善配合の自己収縮の測定結果を第 19 図に示す。改善配合では単位結合材料の増量と単位水量が減量されることによる収縮補償用として添加した膨張材の効果により、自己収縮ひずみは  $100\mu\text{m}$  程度まで抑えられたと考えられる。



第 19 図 改善配合の自己収縮試験結果

d. 乾燥収縮

改善配合の乾燥収縮測定結果を第 20 図に示す。単位水量を減じた効果により、乾燥収縮ひずみは一般のコンクリートと同程度の  $800 \times 10^{-6} \sim 900 \times 10^{-6}$  となった。セメント系充填材は区画内に充填されるため、実際には乾燥の影響を受け難い環境であることを考慮すれば、改善配合は更に収縮量は低減されると考えられる。



第 20 図 改善配合の乾燥収縮試験結果

e. 乾燥単位容積質量

改善配合の乾燥単位容積質量の試験結果を第 43 表に示す。要求性能を満足できることを確認した。

第 43 表 乾燥単位容積質量の試験結果

環境条件	乾燥単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )
平温時 (20℃)	2.00

(iii) 改善配合の検討結果まとめ

低温環境下における凝結改善を目的とした配合検討の結果、結合材比率(M:S 比率)を 3:7 とすることで、低温時においても終結が 56 時間程度まで改善された。また、従来からの要求性能を満足できる見通しが得られたことで、

第 38 表に示す改善配合を新配合充填材の候補にすることとした。また、改善配合の検討を実施したことで収縮量の低減なども可能となり、更なるひび割れ抑制効果も期待できると考えられる。

なお、実際のセメント系充填材の性能については、模型実験等を経て性能を評価し、最終判断する必要があるとし、後述する新配合充填材実証試験を実施している。

## 5. 新配合充填材実証試験

### (1) 目的

新配合充填材(以下「3:7 モルタル」という。)の実構造物における施工性(充填性)と硬化後の性状が目標性能を達成可能であることを確認する。

充填時において3:7 モルタルの充填性、側壁等に与える影響を分析・評価する。  
ドラム缶周りの隙間への充填性などを確認する。

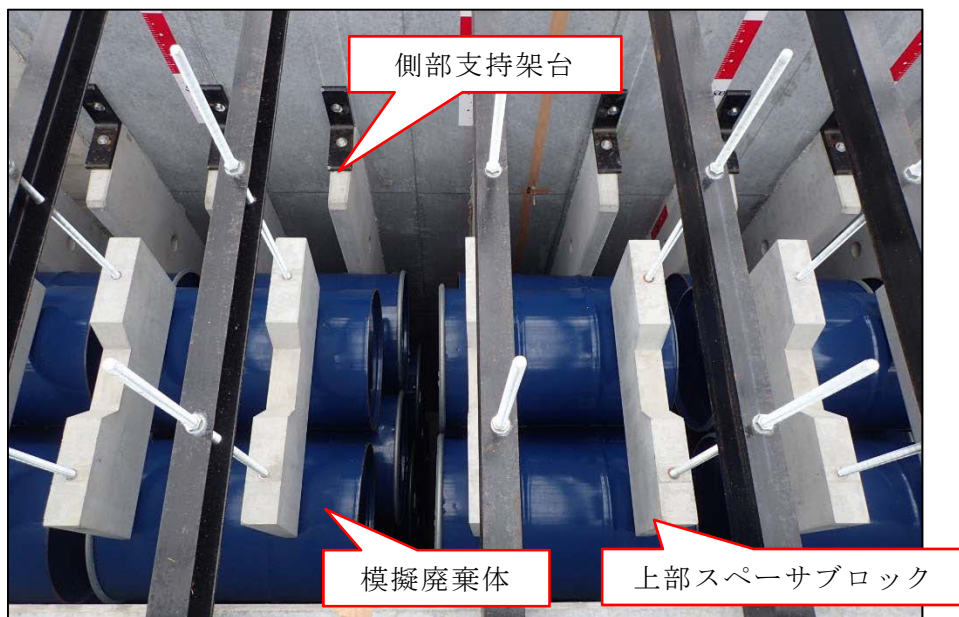
### (2) 検討内容

新配合充填材実証試験(以下「実証試験」という。)に用いる設備は、2号埋設設備の高さを模擬するとともに、打込み速度も実施設と同様とした。モルタルを打設する試験体と検討項目を第21図、第22図及び第44表に示す。



第21図 実証試験供試体の外観





第 22 図 実証試験供試体の内側

第 44 表 実証試験における主な確認項目

検討項目	確認方法	確認内容
流動性の確認	目視・測量	セルフレベリング性
間隙通過性の確認	目視・コア観察	廃棄体とモルタルの密着性
ひび割れ発生状況	目視・スケッチ	ひび割れ発生の有無

### (3) 試験方法

モルタル打設は、2t 車級コンクリートポンプ車(11m、3 段屈折式ブーム、30m<sup>3</sup>/h)を使用した。ポンプ車の配置状況を第 23 図に示す。アジテータ車は全 11 台(4m<sup>3</sup>積み)とし、打込み量は、スペーサブロック上面の高さで終了することとした。



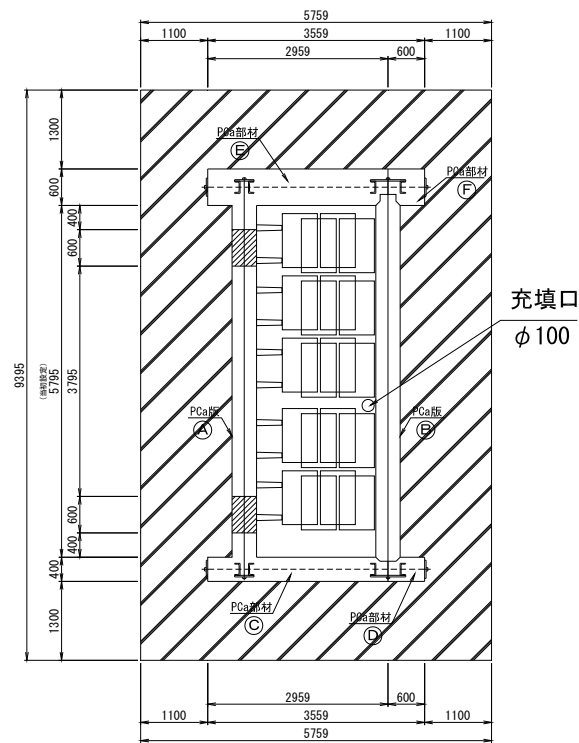
第 23 図 モルタル打設方法

打設方法は、実施工を模擬して、ブームを充填口に配置し、サニーホースに接続して、底面上 50cm 位置から打込みを開始した。サニーホースは打設高さ 50cm ごとに引き上げ、ホース下部を 50cm カットして充填口に戻し、これを 50cm 打ち上げるごとに繰り返した。

打込み速度は実施工を模擬して、同様の打ち上がり高さとなるよう以下の打込み速度とした。

$$40\text{m}^3/5\text{h}=8\text{m}^3/\text{h}\approx\text{約 } 130\text{L}/\text{min}$$

供試体の平面図を第 24 図に、充填状況を第 25 図に示す。



第 24 図 実証試験供試体平面図



第 25 図 充填モルタル打込み状況

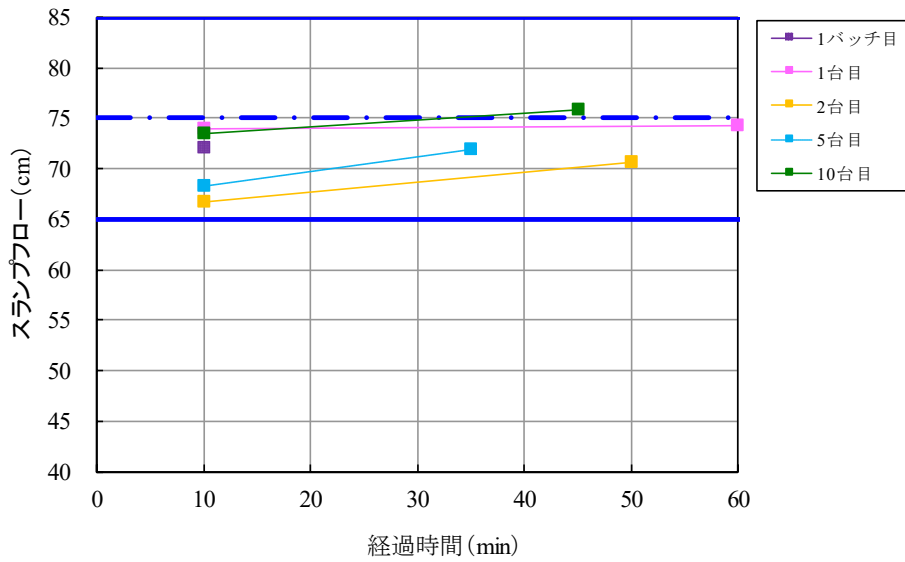
#### (4) 試験結果及び考察

##### (i) フレッシュ性状

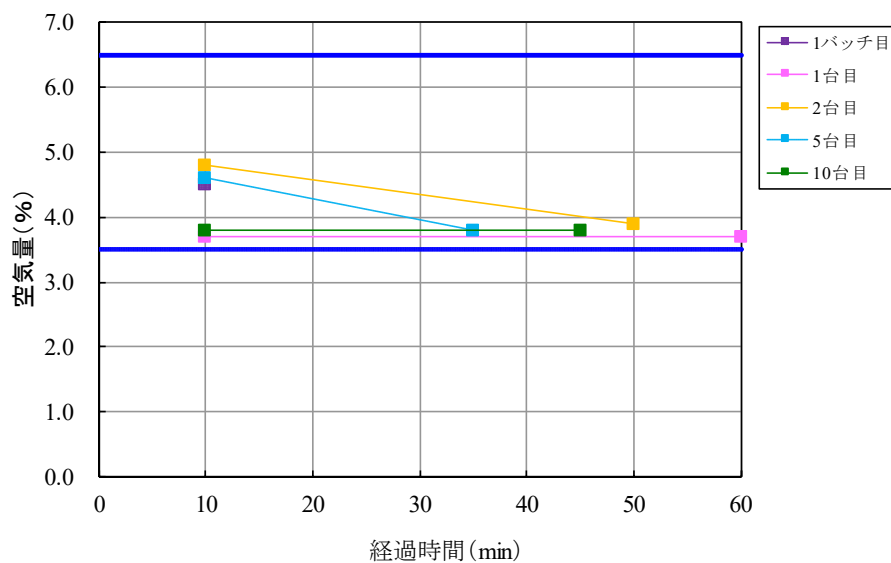
第 45 表、第 26 図及び第 27 図に示すように、要求品質を全て満足していることを確認した上で打設した。

第 45 表 フレッシュ性状確認結果

水準	経過時間 (min)	スランブフロー (cm)			平均	空気量 (%)	モルタル 温度 (℃)
			×				
1バッチ目	10	72.2	×	72.1	72.15	4.5	21
1台目	10	74.8	×	73.0	73.90	3.7	21
	60	74.5	×	74.0	74.25	3.7	23
2台目	10	67.1	×	66.4	66.75	4.8	21
	50	70.7	×	70.7	70.70	3.9	23
5台目	10	68.5	×	68.0	68.25	4.6	22
	35	72.0	×	72.0	72.00	3.8	23
10台目	10	73.7	×	73.2	73.45	3.8	22
	45	76.0	×	75.6	75.80	3.8	22



第 26 図 スランブフロー試験結果



第 27 図 空気量試験結果

(ii) ブリーディング

第 28 図に示すように、発生していないことを確認した。



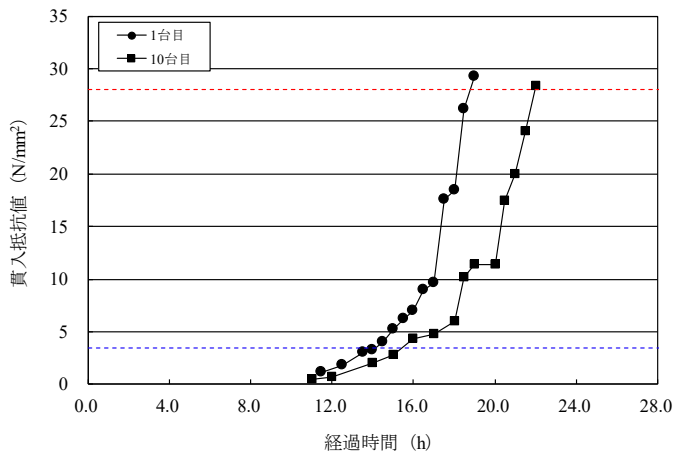
1 台目

10 台目

第 28 図 ブリーディング試験結果

(iii) 凝結

第 29 図に示すように、表面水の変動等の要因によりアジテータ車 1 台目と 10 台目で凝結時間が 1 時間程度相違したものの、目標の凝結終了時間を十分に満足している。

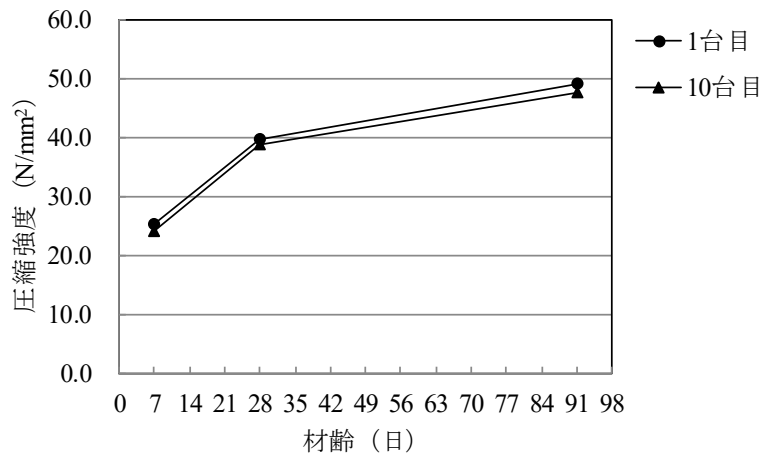


試料名	始発	終結
	h:m	
1台目	14:25	18:50
10台目	15:30	21:55

第 29 図 凝結時間結果

(iv) 圧縮強度

第 30 図に示すように、所定の圧縮強度発現を確認できた。



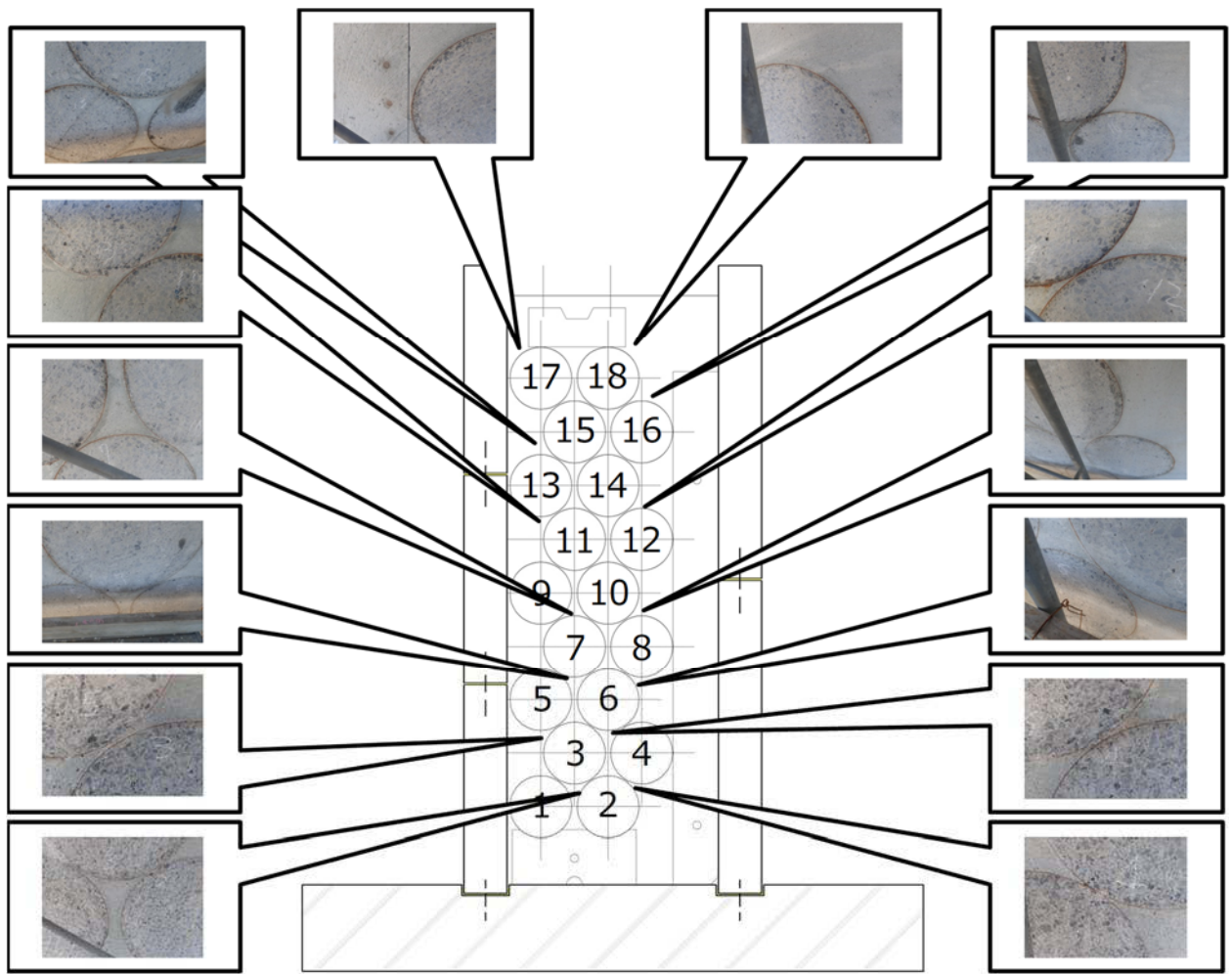
第 30 図 圧縮強度試験結果

(v) ドラム缶周りの充填性

3:7モルタルを打設した後に試験体を切断し、ドラム缶の隙間やドラム缶の蓋周辺の充填状況を確認した（第 31 図、第 32 図及び第 33 図）。これより、輪体で重なるドラム缶の隙間や蓋の隙間などにも密実に充填されていることが確認できた。

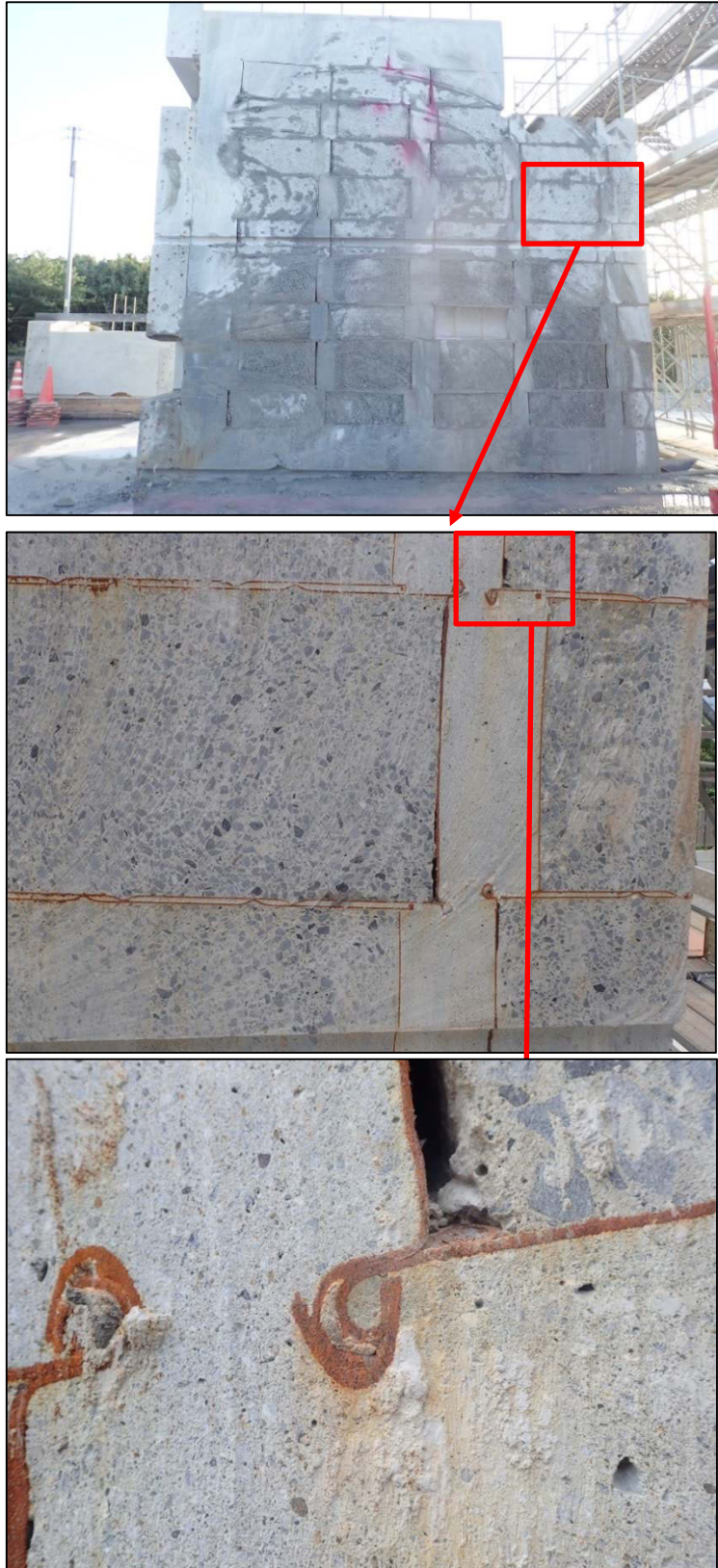


第 31 図 充填状況（輪切り断面）（その 1）



第 32 図 充填状況（輪切り断面）（その 2）

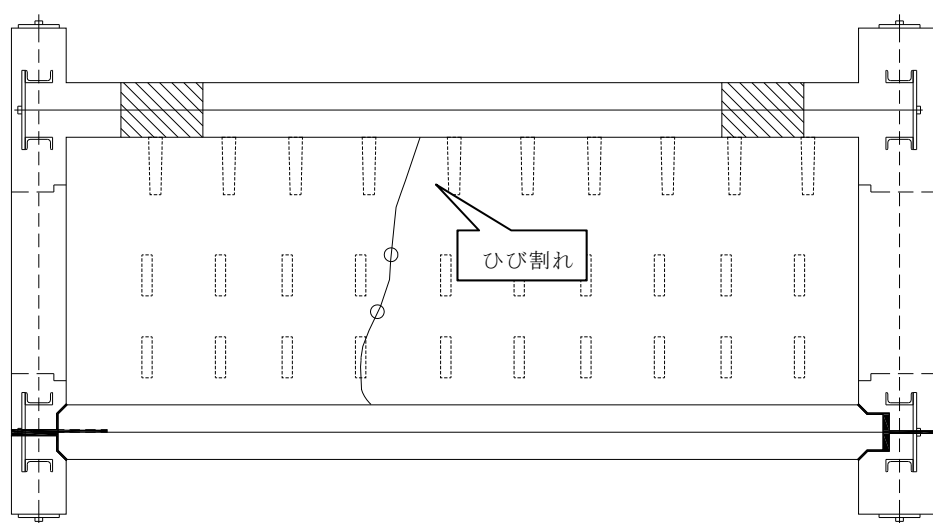




第 33 図 充填状況（側面）

(vi) ひび割れ発生状況

3:7モルタルを充填してから4日後に第34図に示すひび割れが発生した。ひび割れ深さは、長辺方向に切断した後断面を確認し、最上部のドラム缶位置までひび割れが達していることがわかった。しかし、今回の試験体は東西方向の長さを実際の区画の1/3程度としているため、実施設よりも拘束が厳しい。20℃程度の外気温の場合、実施設で温度ひび割れが発生したとしても、1本程度以下であることが確認できた。



第34図 ひび割れ発生状況

(5) まとめ

操業時におけるさらなる安全性確保の観点から、低温下でも安定した品質を確保できる改善配合を検討した。

従来からの要求事項を満足しつつ、低温下での凝結時間が管理できる配合を選定した。

充填性試験の結果、ドラム缶周りの隙間などにも密実に充填されていることが確認できた。

モルタルの収缩量にも配慮されており、ひび割れの発生可能性は小さいものとなっている。

## 参考文献

- (1) 充填材の品質評価研究委員会(1993)：充填材の品質評価研究委員会報告、コンクリート工学、Vol. 31、No. 8、1993. 8
- (2) 日本コンクリート工学協会(1992)：充填材の品質評価研究委員会中間報告書、1992年12月
- (3) 日本コンクリート工学協会(1992)：セメント系充填材に関するシンポジウム 論文集、1992年12月
- (4) 日本原燃株式会社(1997)：六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設施設事業変更許可申請書、平成9年9月(一部補正)
- (5) (財)原子力環境整備センター(1988)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 昭和62年度
- (6) 日本原燃株：埋設設備充てん業務品質管理基準(25版)、2016. 7
- (7) (公財)土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書 施工編、2018. 3
- (8) 日本原燃株：土木操業管理細則(30版)、2017. 8
- (9) (社)土木学会(1988)：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案) 昭和63年1月、1988. 1
- (10) コンクリート工学会(1996)：技術フォーラム資源の有効活用とコンクリート(第5回)高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート、1996. 4
- (11) 矢ノ倉ほか(2015)：中庸熟セメントと高炉スラグ微粉末の混合比を変えたペーストの水和反応に関する研究 土木学会第70回年次学術講演会、V-483、pp. 965-966、2015. 9

## 1 号及び 2 号廃棄物埋設地の覆土について

## 目 次

1. 既許可の覆土時期.....	1
2. 覆土の範囲及び時期.....	1
(1) 1号廃棄物埋設地.....	1
(2) 2号廃棄物埋設地.....	1
3. 覆土の工程.....	2

## 1. 既許可の覆土時期

1号廃棄物埋設地の覆土の時期について、既許可において「埋設開始以降30年経過し35年以内の間」としている。埋設開始が1992年12月であることから、2027年12月までに覆土を行うこととしている。

2号廃棄物埋設地は、同様に「埋設開始以降25年経過し30年以内の間」としており、埋設開始が2000年10月であることから、2030年10月までに覆土を行うこととしている。

## 2. 覆土の範囲及び時期

1号及び2号廃棄物埋設地の覆土の範囲及び時期について以下に整理した。

### (1) 1号廃棄物埋設地

#### (i) 目的

既設の埋設設備は、一部設備でひび割れ等から雨水の浸入が認められていることから、埋設設備への水の浸入をできるだけ抑制するため、難透水性覆土を含めた覆土で埋設設備を覆う。

#### (ii) 覆土範囲について

既許可の時期(2027年12月)までに行う廃棄物埋設地の覆土範囲について、以下に示す。

- a. 1群から6群は、埋設設備への水の浸入を抑制する観点から、既許可の時期までに順次、覆土を行う。
- b. 7,8群は、今後構築・操業していくことから、1群から6群の覆土の工事工程とは分離して操業を行い、操業終了後に覆土を行う。

#### (iii) 覆土時期について

1号廃棄物埋設地については、既許可の時期(2027年12月)までに1群から6群の覆土を行う。なお、6群を覆土するには、7群の操業が終了している必要があることから、6群は、7群の操業が終了次第、覆土を行う。

これらに基づく2027年12月での覆土の形状イメージを第1図に示す。

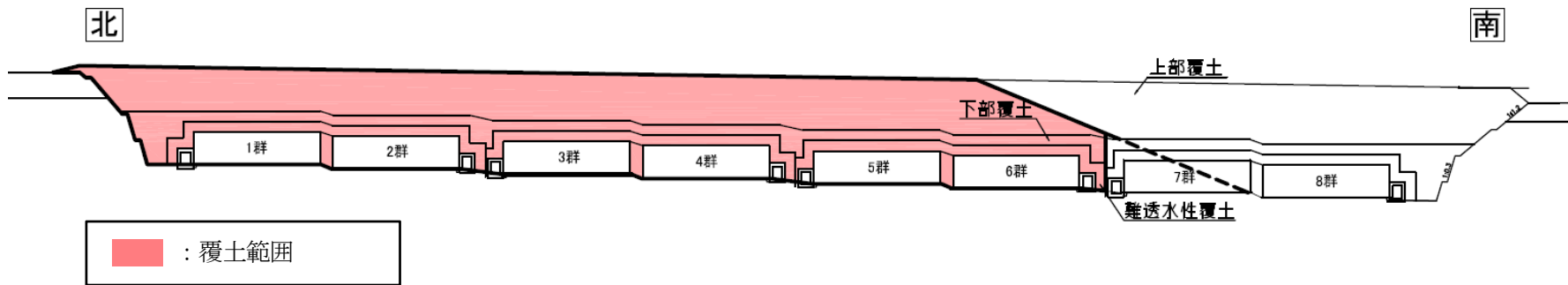
### (2) 2号廃棄物埋設地

2号廃棄物埋設地については、既許可の時期(2030年10月)までに、1群から8

群の覆土を行う。

### 3. 覆土の工程

1号及び2号廃棄物埋設地の覆土に関して、覆土施工までに必要な準備工事を整理し、既許可の時期までの工程成立性について検討した。既許可の時期に対して、1号廃棄物埋設地1群から6群及び2号廃棄物埋設地1群から8群の覆土の工程が成立することを確認した(第1表)。



第1図 1号廃棄物埋設地の覆土の形状イメージ(2027年12月)



第1表 1号及び2号廃棄物埋設地の覆土までの工程  
(既許可の時期までの工程成立性の確認)

項目 \ 年度		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	備考
1号	操業（廃棄体定置、覆い設置）			▽6群				▽7群				▽8群						・8群の操業は、1群～6群の覆土と調整しながら並行して行う。
	準備工事（ひび割れ保修・付属設備撤去）		1群～6群									7,8群						
	点検路構築					1群～4群▽		▽5群～6群	▽7群						▽8群			
	覆土							1群～4群▽	▽5群～6群								▽7,8群	・7,8群には、6群までの覆土法面の保修工程を考慮している。
2号	操業（廃棄体定置、覆い設置）					▽8群												
	準備工事（ひび割れ保修・付属設備撤去）			1群～8群														
	点検路構築							1群～4群▽	▽5群～8群									
	覆土									▽3群～4群	▽5群～8群							