

セメント固化材の比較評価試験
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2003 年 2 月

日揮株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

電話:029-282-1122(代表)
ファックス:029-282-7980
電子メール:jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2003

セメント固化材の比較評価試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

佐々木忠志*1) 沼田守 *1)

鈴木泰博*1) 久保美和*1)

要旨

低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)では、低放射性廃液を処理し、ホウ酸を添加した中間固化体(蒸発濃縮固化体)として貯蔵する計画になっている。硝酸塩を含有するこれらの低放射性廃液の最終廃棄体基準が具体化されていない現状においては、浅地中処分において実績があるセメント固化法を有力な処理オプションと位置づけることができる。

本試験は、セメント固化方法に関して、普通ポルトランドセメント(OPC)、高炉C種セメント(高炉C)、及びスラグセメント材(SC)を用いた硝酸塩の混練固化試験を行い、硝酸塩充填量を比較評価して有効なセメント材を選定することを目的として実施した。

本試験の結果、次のことが明らかになった。

- 1) スラグセメントは、硝酸ナトリウムを最も広い充填率範囲(30~70 wt%)で固化可能であり、良好な混練性能と固化体強度を示す。
- 2) OPC、高炉Cは、30 wt%の硝酸ナトリウムの充填でブリーディング水の発生を伴い、硬化までに3日以上を要する。これらの材料を用いる場合には、ドラム缶の閉缶までの養生日数を長くするなどの硬化遅延に対する設備側の対応が必要になると考えられる。
- 3) 高炉Cは、SCに含まれる高炉スラグを配合する材料であるが、硝酸塩の混練固化に関しては、OPCよりも性能が劣る。

今後、実廃液性状の調査とその模擬廃液を用いたセメント固化試験、核種分配係数データの採取、LWTFへのセメント固化設備の配置設計、及びパイロット規模装置による実証試験を行い、LWTFへ導入すべきセメント固化設備の検討を進める必要がある。

本報告書は、日揮株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当課室：再処理センター環境保全部処理第二課

*1) 日揮株式会社

Experimental Evaluation of Cement Materials for Solidifying Sodium Nitrate

(Document Prepared by Other Institute Based on the Contract)

Tadashi Sasaki*¹⁾ Mamoru Numata*¹⁾

Yasuhiro Suzuki*¹⁾ Yoshikazu Kubo*¹⁾

Abstract

Low-level liquid waste containing sodium nitrate is planned to be transformed to salt block by evaporation with sodium borate in the Low-level Waste Treatment Facility (LWTF), then salt block will be stored temporally. It should be important to investigate the method how to treat these liquid waste suitable to final disposal criteria that will be settled in future. Cement solidification is one of promising candidates because it has been achieved as the solidification material for the shallow land disposal.

The research was conducted to evaluate applicability of various cement materials to solidification of sodium nitrate. The following cements were tested.

Ordinary Portland Cement (OPC)

Portland Blast-Furnace Slag Cement ; C Type (PBFSC)

Alkali Activated Slag Cement (AASC, supplied by JGC)

The test results are as follows;

- (1) AASC is characterized by a high sodium nitrate loading (-70 wt%) compared with other types of cement material. High fluidity of the cement paste, high strength after solidification, and minimization of free water on the cement paste are achieved under all test conditions.
- (2) OPC and PBFSC produced free water on the cement paste in the early days and delayed the hardening period. 3 or more days are required to harden even with 30 wt% content of sodium nitrate.
- (3) Though PBFSC contains blast furnace slag similar to AASC, there is no advantage prior to OPC.

To design an ideal cement conditioning system for sodium nitrate liquid waste in the LWTF, the further studies are necessary such as the simulated waste test, Kd test, pilot test, and layout design.

This work was performed by JGC Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Reprocessing Center, Waste Management Division, Tokai Works

*1) JGC CORPORATION

目 次

1. はじめに	1
1.1 目的	1
2. 調査計画	1
2.1 調査範囲	1
2.2 調査内容	1
2.2.1 硝酸塩の混練・固化試験	1
2.2.2 固化材の比較評価	2
2.3 調査期間	2
2.4 調査工程	2
3. 実施内容及び成果	3
3.1 硝酸塩の混練・固化試験	3
3.1.1 使用材料、試験パラメーター、及び評価基準	3
3.1.2 試験方法	4
3.1.3 フロー値の測定結果（混練配合比の調整）	6
3.1.4 プリーディング水の観察結果	6
3.1.5 硬化日数の測定結果	7
3.1.6 圧縮強度、及び比重の測定結果	8
3.1.7 浸漬試験結果	9
3.1.8 超濃縮試験結果	11
3.2 固化材の比較評価	11
4. おわりに	12
4.1 成果のまとめ	12
4.2 今後の課題	12

目 次

図 3.1.2-1	セメント混練固化試験の γ -値	14
図 3.1.2-2	混練および γ -値測定方法	15
図 3.1.2-3	ブリーディング測定法	16
図 3.1.2-4	固化体比重の測定方法	17
図 3.1.2-5	圧縮強度の測定方法	18
図 3.1.2-6	固化体の浸漬試験	19
図 3.1.6-1	セメント固化体の圧縮強度(1週間)測定結果	20
図 3.1.6-2	セメント固化体の圧縮強度(4週間)測定結果	21
図 3.1.6-3	セメント水比(C/W)と圧縮強度(4週間)の関係	22
図 3.1.7-1	NaNO ₃ 充填率 30wt%固化体の浸漬結果	23
図 3.1.7-2	NaNO ₃ 充填率 50wt%, γ -値 280mm,固化体の浸漬結果	24
図 3.1.7-3	NaNO ₃ 充填率 50wt%, γ -値 250mm,固化体の浸漬結果	25
図 3.1.7-4	NaNO ₃ 充填率 70wt%,固化体の浸漬結果	26
図 3.1.7-5	NaNO ₃ 充填率 4週間浸漬固化体の重量変化	27
図 3.1.7-6	NaNO ₃ 充填率 30wt%固化体のNO ₃ の浸出分率	28
図 3.1.7-7	NaNO ₃ 充填率 50wt%固化体のNO ₃ の浸出分率	29
図 3.1.7-8	NaNO ₃ 充填率 70wt%固化体のNO ₃ の浸出分率	30
図 3.1.7-9	NaNO ₃ 充填率 30wt%固化体のNa ⁺ の浸出分率	31
図 3.1.7-10	NaNO ₃ 充填率 50wt%固化体のNa ⁺ の浸出分率	32
図 3.1.7-11	NaNO ₃ 充填率 70wt%固化体のNa ⁺ の浸出分率	33
図 3.1.8-1	超濃縮固化試験の状況	34

表 目 次

表 3.1.1-1	セメント材選定試験条件 - OPC、高炉 C、SC の比較 -	35
表 3.1.3-1	セメント混練配合と γ -値	36
表 3.1.4-1	セメントペーストのブリーディング観察 (γ -値約 280 mm、養生 1 日後)	37
表 3.1.4-2	セメントペーストのブリーディング観察 (γ -値約 250 mm、養生 1 日後)	38
表 3.1.5-1	セメントペーストの硬化状況(1) - OPC -	39
表 3.1.5-2	セメントペーストの硬化状況(2) - 高炉 C -	40
表 3.1.5-3	セメントペーストの硬化状況(3) - SC -	41
表 3.1.5-4	セメントペーストの硬化状況(4)(γ -値約 250 mm、NaNO ₃ 充填率 50wt%)	42
表 3.1.6-1	セメント固化体の比重測定結果	43
表 3.1.7-1	浸漬固化体の形状(OPC)	44
表 3.1.7-2	浸漬固化体の形状(高炉 C)	45
表 3.1.7-3	浸漬固化体の形状(SC)	46

表 3.1.7-4	浸漬試験(1) - OPC 固化体 -	47
表 3.1.7-5	浸漬試験(2) - 高炉 C 固化体 -	48
表 3.1.7-6	浸漬試験(2) - SC 固化体 -	49
表 3.1.7-7	浸漬液の Na^+ 、 NO_3^- 濃度	50
表 3.1.7-8	NaNO_3 充填率 50wt%のLIXおよびpH	51
表 3.1.7-9	浸漬固化体の圧縮強度	52
表 3.1.8-1	工業用 NaNO_3 固化と濃縮 NaNO_3 固化の比較	53
表 3.2-1	比較評価結果一覧表	54

1. はじめに

1.1 目的

核燃料サイクル開発機構東海再処理工場から発生する低放射性廃液は、低放射性廃棄物処理技術開発施設（LWTF）において処理し、ホウ酸を添加した中間固化体（ROBE 固化体）として貯蔵する計画になっている。硝酸塩を含有するこれらの低放射性廃液の最終廃棄体基準が具体化されていない現状においては、浅地中処分において実績のあるセメント固化法を有力な処理オプションと位置づけることができる。

本試験では、セメント固化方法に関して、「核燃料物質等の埋設に関する措置等に係わる技術的細目を定める告示」に規定されるセメント材及びスラグセメント材を用いた硝酸塩の混練固化試験を実施し、硝酸塩充填量を比較評価して有効なセメント材を選定することを目的とする。

2. 調査計画

2.1 調査範囲

- (1) 硝酸塩の混練・固化試験
- (2) 固化材の比較評価

2.2 調査内容

2.2.1 硝酸塩の混練・固化試験

JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に記載されるモルタル試験装置を用いて、試薬の硝酸ナトリウムを添加するビーカー規模の混練固化試験を実施し、混練ペースト及び固化体の基本物性データを取得する。

試験パラメーターは、次のとおりである。

- | | |
|--------------|--|
| ・セメント材： | 普通ポルトランドセメント（JIS R 5210）
高炉C種セメント（JIS R 5211）
スラグセメント（日揮供給品） |
| ・硝酸ナトリウム充填率： | 30～70wt% |

測定項目は、次のとおりである。

- | | |
|----------------|--|
| ・フロー値： | JIS 5201 に準じる |
| ・ブリーディング水： | 目視観察による |
| ・硬化日数： | 型枠から脱型可能な硬さとなる日数を測定する |
| ・固化体の圧縮強度及び比重： | JIS 5201 に準じる。圧縮強度は養生 1、4 週間、
比重は養生 4 週間後測定 |

- ・浸漬試験 : 表乾した固化体の重量測定、液相の溶出主要化学種の濃度測定
- ・超濃縮試験 : 硝酸ナトリウム溶液を濃縮して硝酸塩を晶析させたスラリーを用いて混練・固化し、浸漬試験を除く上記のデータを取得し、硝酸ナトリウム試薬粉体の場合との混練・固化性能の違いを調べる。

2.2.2 固化材の比較評価

2.2.1 項の結果を基に、各固化材による硝酸ナトリウムの固化充填率範囲を比較評価し、最も減容性及び物性に優れる固化材を選定する。

2.3 調査期間

自 : 平成 14 年 11 月 25 日
 至 : 平成 15 年 3 月 14 日

2.4 調査工程

調査工程を下表に示す。

	平成 14 年		平成 15 年		
	11	12	1	2	3
(1)硝酸塩の混練・固化試験	—————				
(2)固化材の比較評価				———	

3. 実施内容及び成果

3.1 硝酸塩の混練・固化試験

3.1.1 使用材料、試験パラメーター、及び評価基準

使用材料

セメント材は、次の3種を使用した。

- ・ 普通ポルトランドセメント(以下「OPC」と記す)：太平洋セメント製 (JIS R 5210)
- ・ 高炉セメント C 種 (以下「高炉 C」と記す)：
太平洋セメント製 OPC と高炉水砕スラグを重量比 1 : 2 で混合 (JIS R 5211)
- ・ スラグセメント (以下「SC」と記す)：日揮供給品
(高炉水砕スラグ、シリカヒューム、ウォラストナイト、消石灰の混合材料)

硝酸塩は、次を使用した。

- ・ 工業用硝酸ナトリウム (三菱化学製、純度 99%以上)

試験パラメーター

試験パラメーターは硝酸塩の充填率とし、次の範囲でデータを取得した。

- ・ 塩充填率 : 30、40、50、60、70 wt%
- ・ フロー値 : $280 \pm 10\text{mm}$ 、 $250 \pm 10\text{mm}$ (比較参照用)

セメントペーストのフロー値については、混練性及び洗浄性の観点から原子力発電所のセメント固化設備における実績値 (250 ~ 300mm 程度) を踏まえて、 $280 \pm 10\text{mm}$ となるようセメント / 水比 (C/W) を調整する。また、フロー値を $250 \pm 10\text{mm}$ に調整した場合の、各固化材における塩充填率の変化に関するデータを参考用に取得する。試験パラメーター及び測定項目を表 3.1.1-1 に示す。

評価基準

試験結果に対する評価基準は、次を設定した。

- ・ ブリーディング水
固型化後に自由水が残存することは、固型化が不十分であると判断されることから、ブリーディング水の無いことを評価基準とした。
- ・ 硬化日数
OPC、高炉 C のセメントペーストの硬化日数は通常で 1 日以内であること、設備面では硬化までの期間をドラム缶を開缶して養生することになり、養生スペースは出来る限り小さくすることが合理的であることから、1 日を評価基準とした。

- ・ 圧縮強度（4週間養生）

コンクリートピット処分の均質・均一固化体の技術基準に規定されたセメント固化体の一軸圧縮強度：1.5 N/mm²に、十分な余裕を見て10 N/mm²を評価基準とした。

3.1.2 試験方法

硝酸塩のセメント混練固化試験のフローを図 3.1.2-1 に示す。

セメントの混練は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に記載されたモルタル混練機を用いて行った。水および硝酸塩を練り鉢に投入して低速で攪拌を行い、SC の場合には、ここで硬化剤（水酸化ナトリウム水溶液）、分散剤（有機剤）及び消泡剤（有機剤）を加える。セメント材を徐々に添加し、全量添加後に一旦攪拌を止めて練り鉢やパドルについたセメントペーストをかき落とし、回転数を高速に変えて5分間混練した。

混練後、速やかにセメントペーストのフロー値を測定するとともに、セメントペーストをブリーディング水観察用容器、圧縮強度供試体用型枠、及び浸漬試験供試体用型枠に充填し、室温(18～25)で密閉養生した。ブリーディング水の観察は、1日間養生した後に実施した。圧縮強度用及び浸漬試験用供試体は、型枠内のセメントペーストが硬化した後、上面を平滑にはつって成形し、型枠から脱型して作製した。圧縮強度用供試体は、4週間室温下で密閉養生した後圧縮強度に供した。浸漬試験供試体は、4週間室温下で密閉養生した後、ポリエチレン容器内に4週間室温下でイオン交換水に浸漬し、浸漬前後の固化体の重量変化を調べた。

各項目の測定方法を以下に示す。

(1) フロー値の測定（図 3.1.2-2 参照）

フローテーブルの中心にフローコーンを置き、上記で作製した混練ペーストを速やかに詰め、表面をならす。フローコーンを上方に取り去り、15秒間に15回の落下運動を与え、セメント混練物の直径を直角方向に2点測定し、平均値をフロー値とした。

(2) ブリーディング水の観察（図 3.1.2-3 参照）

セメント混練物の一部をポリエチレン容器に採取し、室温(18～25)で1日放置した後、ブリーディング水の有無を目視観察した。

(3) 硬化日数の測定

セメント混練物の一部をポリエチレン容器に採取し、硬化の進行状態を調べる。固化体が型枠（容器）から崩れずに外せる状態を硬化終了とし、それまでの日数を硬化日数とした。

(4) 比重測定 (図 3.1.2-4 参照)

圧縮強度用供試体の空中重量、水中重量を測定し、固化体体積を算出して比重を求めた。

$$d = \frac{W_s}{(W_s - W_w)}$$

ここで、d = 固化体比重

W_s = 空中重量 [g]

W_w = 水中重量 [g]

(5) 圧縮強度測定 (図 3.1.2-5 参照)

室温(18 ~ 25)にて4週間養生した圧縮強度用供試体を、圧縮強度試験機を用いて圧縮破壊する最大荷重を測定し、圧縮強度を算出した。

$$C = \frac{w}{1600}$$

ここで、C : 圧縮強度 [N/mm²]

w : 最大荷重 [N]

1600 : 圧縮面の面積 [mm²]

(6) 浸漬試験 (図 3.1.2-6 参照)

室温(18 ~ 25)で4週間養生した供試体をポリエチレン容器内に釣り糸で吊してイオン交換水に全面浸漬し、室温下で4週間静置した。所定日数浸漬後、浸漬液中の硝酸イオン濃度を測定し、固化体から溶出した硝酸塩量を算出した。また、固化体は表面の水を拭き取った後、表面状態を観察するとともに、表乾重量測定を行った。浸漬条件、及び測定内容を以下に示す。

供試体形状 : 円柱形 (約 50 × 約 33mmH) 約 70ml (プリーディング水観察供試体を使用)

イオン交換水液量 : 約 950 ml (ANSI/ANS-16.1 に準拠)

浸漬日数 : 4 週間

pH : 4 週目に測定する。(pH 電極)

浸漬液 Na 濃度 : 4 週目に、Na 濃度を測定する。(原子吸光光度計)

浸漬液 NO₃ 濃度 : 4 週目に、NO₃ 濃度を測定する。(イオンクロマト分析器)

表乾重量測定 : 4 週目まで 1 週間毎に測定する。

固化体観察 : ひび割れ等の有無を目視で観察する。

(7) 超濃縮試験

実際の固化処理プロセスでは、硝酸ナトリウム水溶液を濃縮し、晶析したスラリーが固化対象物となるため、一連の試験で行った硝酸ナトリウム粉体を添加した場合と混練・固化物性が異なる可能性があり、特に塩粒径の違いにより混練時の流動性が変化することが予想される。本試験では、ビーカー規模で硝酸ナトリウム水溶液の濃縮晶析操作を行い、混練・固化試験に供した。なお濃縮スラリーは 25℃ に冷却した後セメントと混練した。試験条件と測定項目を以下に示す。

- ・ セメント材 : OPC、SC
- ・ 混練配合 : フロー値 280 ± 10 mm、硝酸ナトリウム充填率 50 wt%
- ・ 測定項目 : フロー値、ブリーディング、硬化日数、4 週間養生圧縮強度

3.1.3 フロー値の測定結果（混練配合比の調整）

本試験で作製されるセメントペーストは、硝酸ナトリウム、セメント、及び水の混合物である。混練時の流動性を示すフロー値は、セメントと水の割合を変えることにより調整される。例えば硝酸ナトリウム充填率 40 wt% の場合は、残りの 60 wt% を占めるセメントと水の比率を変えることによって、フロー値を調整した。

表 3.1.3-1 には、OPC、高炉 C、SC に対して、硝酸ナトリウム充填率 30 ~ 70 wt% としたときに、フロー値が 280 ± 10 mm となる配合を示した。各セメント材の配合率は、硝酸ナトリウム充填率の増加に伴い減少する傾向にあった。高炉 C の水の添加量は、OPC 配合より約 1 wt% 多くする必要があった。SC の場合は、OPC、高炉 C に比較して、液体の添加率をやや高くすることで、フロー値を調整できた。

表 3.1.3-1 下段には、硝酸ナトリウム充填率 50 wt% でフロー値が 250 ± 10 mm になる配合を示した。フロー値 280 ± 10 mm の配合に比べて、水の割合は 1 ~ 1.5 wt% 減じ、セメントを増加させることで調整できた。

3.1.4 ブリーディング水の観察結果

養生 1 日後のブリーディング水の発生状況を表 3.1.4-1 に示す。

OPC 及び高炉 C の場合は、全ての条件でブリーディング水が発生した。また、このブリーディング水は OPC、高炉 C とともに、4 ~ 5 日の養生後にも観察され、硬化反応に水が余剰となっていることが推定される。SC の場合は、養生 1 日後にブリーディング水は観察されなかった。

各セメント材において、硝酸ナトリウム充填率 50wt% でのフロー値が約 250 mm とした場合のブリーディング水の観察結果を表 3.1.4-2 に示す。養生 1 日後の OPC、高炉 C の

セメントペーストは湿った状態であったが、ブリーディング水は観察されなかった。

以上から、ブリーディングに関して次の結果を得た。

- ・ OPC、高炉 C 固化体は、フロー値 280 ± 10 mm の場合、ブリーディング水が発生し、評価基準を満足しなかった。
- ・ 水を減じてセメント材を増やし、フロー値を 250 ± 10 mm に調整した場合は、ブリーディング水が発生せず評価基準を満足した。
- ・ SC の場合は、全ての試験条件でブリーディングは発生せず、評価基準を満足した。

3.1.5 硬化日数の測定結果

(1) OPC

OPC 混練ペーストの硬化状況を表 3.1.5-1 に示す。養生 1 日後は、全ての硝酸ナトリウム充填率条件のペーストも未硬化であり、固化体は柔らかく、葉さじで突いて容易に変形する状態であった。硬さは経時的に増加し、養生 4 日後に型枠から取り外せる状態になった。硝酸ナトリウム充填率の相違による硬化日数の違いはなかった。硝酸ナトリウム充填率 30 ~ 70 wt%、フロー値 280 ± 10 mm の OPC 混練ペーストの硬化時間は 4 日と求められた。

(2) 高炉 C

高炉 C 混練ペーストの硬化状況を表 3.1.5-2 に示す。OPC と同様に、養生 1 日後は未硬化で柔らかく、硝酸ナトリウム充填率 30 ~ 60wt% の場合は養生 5 日後に型枠から外せる状態になり、充填率 70 wt% の場合は、養生日数 6 日を要した。硝酸ナトリウム充填率 30 ~ 60 wt% の高炉 C 混練ペーストの硬化日数は 5 日、充填率 70 wt% の場合は 6 日となることが分かった。

(3) SC

SC 混練ペーストの硬化状況を表 3.1.5-3 に示す。全ての硝酸ナトリウム充填率の混練ペーストも養生 1 日後に硬化し、堅く乾いた状態であった。

(4) 各固化材のフロー値 250 ± 10 mm、硝酸ナトリウム充填率 50 wt% の混練配合

表 3.1.5-4 に、充填率 50 wt% で、フロー値を 250 ± 10 mm に調整した各セメント混練ペーストの硬化状況を示す。OPC、及び高炉 C は、養生 3 日後に硬化し、フロー値 280 ± 10 mm の配合に比較して若干硬化日数は短くなったが、評価基準は満足できなかった。

SC の場合は、フロー値 250 ± 10 mm となる配合条件でも、養生 1 日で硬化した。

3.1.6 圧縮強度、及び比重の測定結果

OPC、高炉 C、及び SC 固化体の硝酸ナトリウム充填率 30 ~ 70wt%における 1 週間及び 4 週間養生強度、並びに比重を測定した。

(1) 1 週間養生強度の測定結果

1 週間養生後の圧縮強度測定結果を図 3.1.6-1 に示す。OPC 固化体は、硝酸ナトリウム充填率 30 wt%で約 8 N/mm^2 であり、充填率の増加に伴い、圧縮強度は低下する傾向が見られた。充填率 50 wt%でフロー値を $250 \text{ mm} \pm 10\text{mm}$ とした配合条件では、強度はやや増加したが、圧縮強度は、 8 N/mm^2 程度であった。

高炉C固化体は、充填率 30 wt%で圧縮強度は 3 N/mm^2 程度であった。硝酸ナトリウム充填率に対する圧縮強度低下の傾向やフロー値による影響は、OPCと同様であった。

SC 固化の場合は、硝酸ナトリウム充填率 70 wt%の場合で約 17 N/mm^2 となり、固化体強度の発現が高められる材料であることが認められた。

(2) 4 週間養生強度の測定結果

4 週間養生後の圧縮強度を測定した結果を、図 3.1.6-2 に示す。OPC、高炉Cは硝酸ナトリウム充填率 30 wt%で、概ね 20 N/mm^2 の圧縮強度を示し、評価基準を満足した。硝酸ナトリウム充填率の増加に伴い圧縮強度は低下し、充填率 70 wt%では、評価基準を下回った。

SC 固化体は、硝酸ナトリウム充填率 70 wt%の条件においても 20 N/mm^2 の圧縮強度が得られ、評価基準を満足する性能が得られた。

一般にセメント固化体の圧縮強度は、セメント / 水比 (C/W) との間に直線性の相関があり、セメント材料の強度発現性状に応じた相関式が求められる。4 週間養生後の圧縮強度と C/W を、図 3.1.6-3 に示した。各セメント材の圧縮強度は C/W には良い直線性のあることが示されている。C/W の小さい配合は、硝酸ナトリウム充填率の高い条件となっているが、相関が保たれていることから、圧縮強度は各セメント材固有のセメント水比で定まっていることが認められる。また、SC 固化体の圧縮強度は同じ C/W の他の固化材より高く、また相関の傾きも大きいことから、SC は強度発現性の大きい材料であることが明らかになった。

(3) 4週間養生固化体の比重測定結果

4週間養生後の固化体比重の測定結果を、表 3.1.6-1 に示す。各固化体比重は以下のようになった。

・ OPC 固化体	:	2.00 ~ 2.15
・ 高炉C固化体	:	1.95 ~ 2.07
・ SC 固化体	:	1.93 ~ 1.97

3.1.7 浸漬試験結果

各セメント材の、フロー値 280 ± 10 mm の硝酸ナトリウム充填率 30、50、70 wt% の4週間養生固化体、およびフロー値 250 ± 10 mm、硝酸ナトリウム充填率 50 wt% 固化体の合計 12 種類を浸漬させた。

(1) 外観観察結果

浸漬用固化体の寸法、表乾重量を測定し、表 3.1.7-1 ~ 3 に示した。また、イオン交換水浸漬後、1週間ごとに4週間目まで固化体を取り出し、固化体の外観を観察した結果を表 3.1.7-4 ~ 6 に示す。全ての固化体は、4週間の浸漬期間中にひび割れや崩壊などの外観変化は見られなかった。

(2) 重量変化

各固化体の浸漬期間中の表乾重量測定結果を図 3.1.7-1 ~ 5 に示す。

各固化体ともに浸漬中に重量は減少し、重量減少率はOPCが最も大きく、次いで高炉C、SCの順になり、また硝酸ナトリウム充填率が大きいほど重量減少の大きいことが示されている。セメント固化体はマイクロレベルではポラスであり、硝酸ナトリウムとの吸着反応もないと考えられ、硝酸ナトリウムの溶出は、セメント固化体中の水の拡散が律速になっていると推定される。従って、セメント材の種類により固化体の緻密性が異なることから、溶出速度に違いがあるものと考えられ、SC固化体が最も緻密なマトリックスを形成しているものと推定される。本試験では、表乾のみで重量測定を行っているため、固化体内部の硝酸ナトリウムが溶出した微細な空隙に浸漬水が満たされた状態になり、実際の硝酸ナトリウム溶出量は重量減少傾向から求められる値より大きくなるものと推定される。従って、溶出速度については、次項に述べる浸漬液中のNa、及びNO₃⁻濃度測定結果により評価を行うこととした。

(3) 浸漬液中のNa⁺、NO₃⁻濃度、及びpHの測定結果

4週間浸漬後の浸漬液のpHは、次のとおりであった。

- ・ OPC 固化体 : 12.7 ~ 12.8
- ・ 高炉 C 固化体 : 12.5 ~ 12.7
- ・ SC 固化体 : 12.3 ~ 12.6

SC 固化体の浸漬液のpHは比較的に低い、いずれもpHは12~13のアルカリ性を示している。

浸漬液中のNa、NO₃⁻濃度の測定結果を、表 3.1.7-7 に示す。また、下式により求めたNa⁺、及びNO₃⁻の浸出分率の経時変化を図 3.1.7-6 ~ 11 に示す。

$$\text{浸出分率} = \frac{\text{浸漬液中に溶出した化学種量 [g]}}{\text{浸漬前の固化体中の化学種量 [g]}}$$

硝酸ナトリウムの溶出は浸漬初期に最も大きく、OPCの硝酸ナトリウム充填率70wt%の固化体は浸漬1週間で約90%に相当する大部分の硝酸塩が溶出することが示されている。浸出分率は、OPC、高炉C、SCの順に大きく、この傾向は固化体の重量減少変化と同様の傾向であり、SCの浸出速度が比較的に小さいことが明らかになった。

浸出分率、浸漬時間、固化体の形状から、下式によりLIX (Leachability Index)を算出した結果を表 3.1.7-8 に示す。LIXが大きいことは、対象化学種の拡散係数が小さいことを示し、浸出率が小さくなることを表している。

$$\begin{aligned} \text{LIX} &= \log(1 / D) \\ D &= \pi \left[\frac{a_n / A_0}{(\Delta t)_n} \right]^2 \left[\frac{V}{S} \right]^2 T \\ D &= \text{有効拡散係数, cm}^2/\text{s} \\ a_n / A_0 &= \text{化学種の浸出分率, -} \\ (\Delta t)_n &= t_n - t_{n-1} \text{の浸漬間隔, s} \\ V &= \text{供試体体積, cm}^3 \\ S &= \text{供試体表面積, cm}^2 \\ T &= \left[\frac{1}{2} \left(t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2} \right) \right]^2 \\ &\quad \text{浸漬の平均時間, s} \end{aligned}$$

LIXの値はNa、NO₃⁻ともにOPC、高炉C、SCの順に大きくなり、SCの拡散係数が最も小さくなることから、硝酸ナトリウムの浸出率はSCが比較的に低いことが分かる。しかしながら、その差は僅かであり、処分の観点からは各セメント固化体の硝酸ナトリウムの浸出率は同程度と評価される。

(4) 浸漬固化体の圧縮強度測定結果

混練後 4 週間室温(18～25)で養生した圧縮強度用の供試体(40×40×160 mm)を、イオン交換水に 4 週間浸漬させた後、圧縮強度を測定した結果を、表 3.1.7-9 に示す。ほとんどの供試体は、浸漬によって圧縮強度が低下する傾向にあり、特に充填率 70 wt%は、強度の低下傾向は著しかった。強度の低下は、塩の溶出によって固化体内部に空隙が生じるためと考えられる。NaNO₃充填率 50 wt%以下では、どのセメント材でも強度は 10 N/mm²以上であった。

3.1.8 超濃縮試験結果

超濃縮スラリーの混練・固化試験状況を図 3.1.8-1 に、取得データを表 3.1.8-1 に示す。OPC の場合、混練時の流動性(フロー値)は、硝酸ナトリウム粉体の混練ペーストが 288 mm であったのに対して、超濃縮スラリーの混練ペーストでは 200 mm に低下した。その他の物性値には大きな違いはみられなかった。

SC の場合は、試薬粉体の混練ペーストのフロー値 290 mm に対して、超濃縮スラリーの場合は 270 mm と僅かに低下する傾向が見られた。その他の物性値には大きな違いはみられなかった。

一般にセメントペーストのフロー値に関しては、混練物の粒径が細かいほど固体粒子の表面積が増えて表面に付着する水分子の量が増加するため、流動性に寄与する水量が低下し、流動性は低下する傾向を示す。従って、超濃縮スラリーは試薬硝酸ナトリウムの粉体に較べて粒径が細かいために、同じ配合でフロー値の低下を示すものと考えられ、実規模の超濃縮操作を伴う混練固化試験により実機の混練配合や流動性を把握することが課題となる。

3.2 固化材の比較評価

次の評価基準により各セメント材の硝酸塩充填率範囲を求め、充填量が最大となる固化材を評価した。

- ・ブリーディング : 目視で観察されないこと。
- ・硬化日数 : 1 日以内
- ・圧縮強度 : 10 N/mm²以上

評価結果の一覧を、表 3.2-1 に示す。

SC は、硝酸ナトリウム充填率 30～70 wt%の全ての範囲で評価基準を満足し、最も減容性の高い固化処理を達成できる材料であることが認められる。

OPC は、硝酸ナトリウム充填率 30 wt%でブリーディング水の発生と硬化日数が 4 日間

に遅延するため、全条件で評価基準を満足できなかった。しかしながら、圧縮強度は充填率 30～60 wt%で評価基準を満足し、硬化後に見かけ上ブリーディング水も残存しないことから、固化設備として養生日数を長くする対策がとられる場合には、適用可能性のあるものと考えられる。

高炉 C は、OPC に較べて優れた性能は無く、含有する高炉スラグに期待された高充填性能の効果は認められなかった。

4. おわりに

4.1 成果のまとめ

OPC、高炉 C、及び SC 固化材による硝酸ナトリウムのセメント混練固化試験を実施し、次の成果が得られた。

- ・ SC は、硝酸ナトリウムの充填率 30～70 wt%の範囲で、良好な混練性能と固化体強度を示すことが分かった。従って、SC は硝酸塩を広い充填率範囲でセメント固化できる材料であることが認められた。
- ・ OPC、高炉 C は、硝酸ナトリウムの充填率 30 wt%でブリーディングの発生を伴い、硬化までに 3 日以上を要することが分かった。しかしながら硬化後のブリーディング水の残存は無いことから、これらの材料を使用するには、ドラム缶の閉缶までの養生日数を長くするなどの設備側の対応が必要になると考えられる。
- ・ 高炉 C は、SC に含まれる高炉スラグを配合する材料であるが、硝酸塩の混練固化に関しては OPC よりも性能の劣ることが認められた。
- ・ 水浸漬時の硝酸塩の浸出率 (LIX) は、各セメント材ともに同オーダーであった。SC 固化材は、硬化マトリックスが比較的緻密なため、若干の浸出抑制効果が認められるものの、塩の溶出速度としては他のセメント固化体と同程度と評価される。
- ・ 硝酸塩溶液を濃縮した晶析スラリーを混練する実際のプロセス操作では、試薬の硝酸塩粉体を混練した模擬試験に較べて、フロー値が低下する傾向を示すことが分かった。実機の設計においては、スケールアップを含めた実証試験により、データを取得することが必要と考えられる。

4.2 今後の課題

LWTF へのセメント固化設備導入に向けた開発課題としては、次が挙げられる。

(1) 実廃液性状の調査、及びその模擬廃液を用いたセメント固化試験

実際の固化対象となる廃液の性状を調査し、硝酸ナトリウム及びその他の化学種の濃度範囲を明らかにして廃液の仕様を定めるとともに、模擬廃液を作製してビーカー規模試験

に供し、混練・固化物性を把握する。

(2) 核種分配係数データの取得

処分安全評価上重要と考えられる核種(C-14, I-129等)の分配係数データを蓄積する。

(3) LWTF への固化設備の配置設計

将来設置するセメント固化設備の設計検討を行い、合理的な設備導入計画を策定する。

(4) パイロット規模装置による実証試験

実規模での混練・固化試験により、セメント固化処理技術の確証を行う。

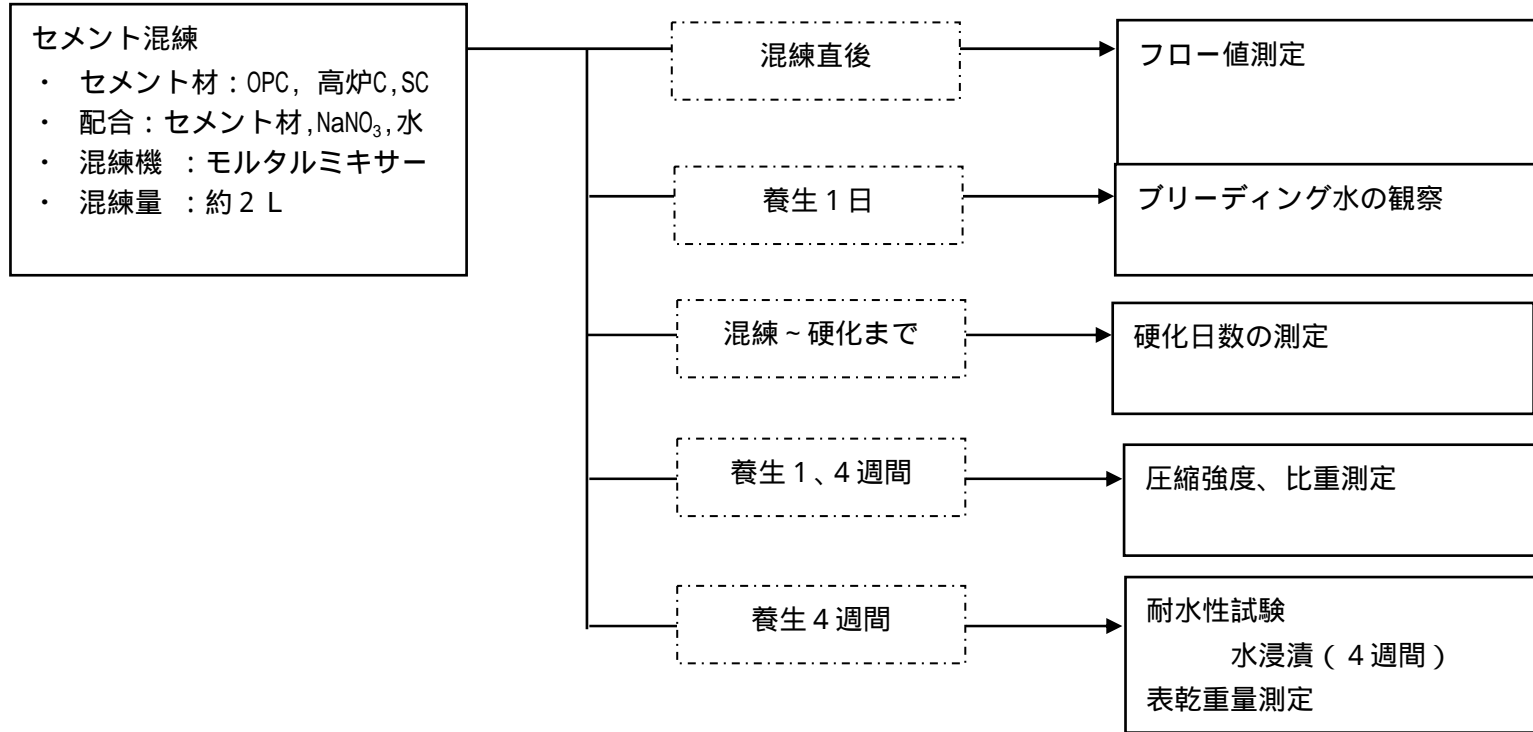
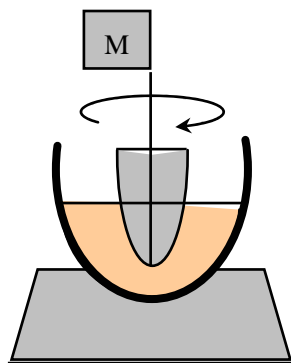


図 3.1.2-1 セメント混練固化試験のフロー

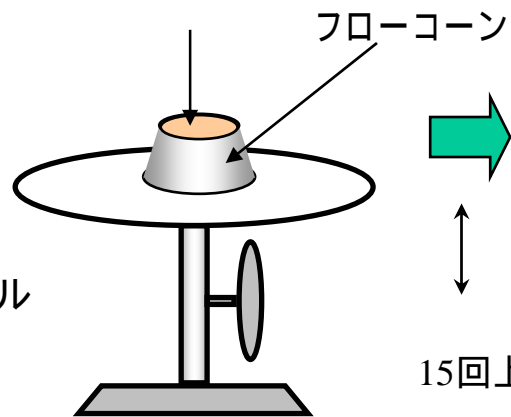
モルタルミキサー



混練

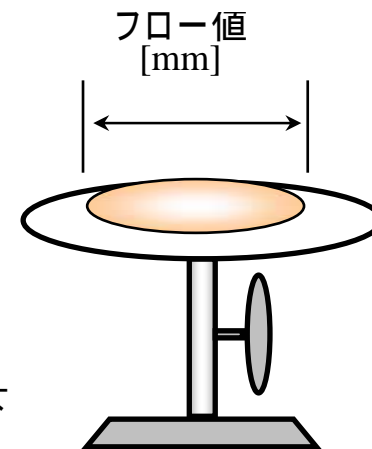


セメント混練物



15回上下

振動
フロー値測定



JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準拠

図3.1.2-2 混練およびフロー値測定方法

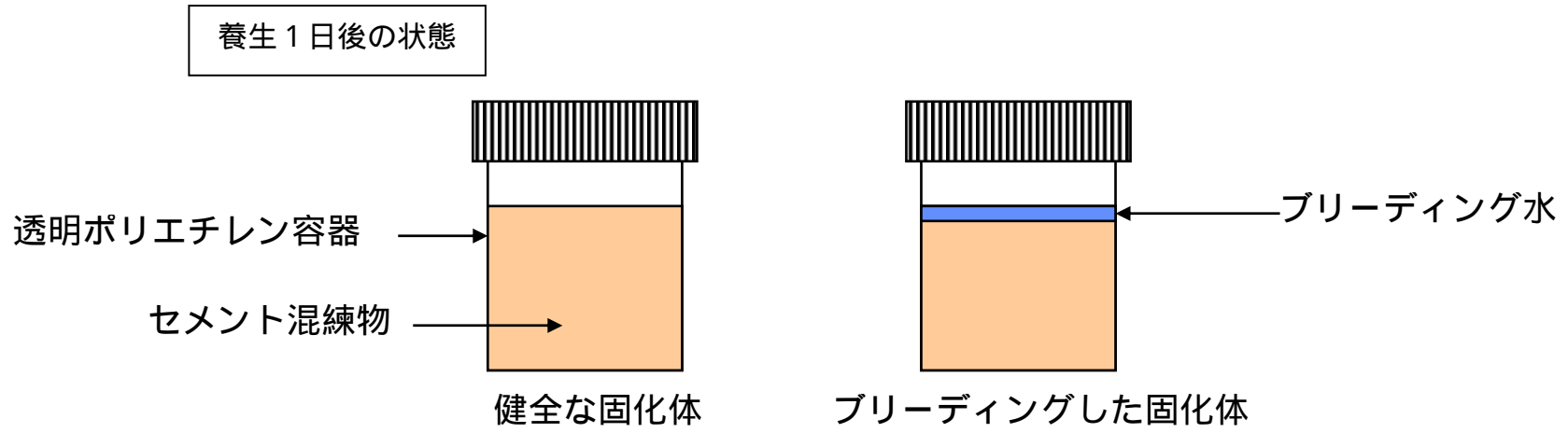


図3.1.2-3 ブリーディング測定法

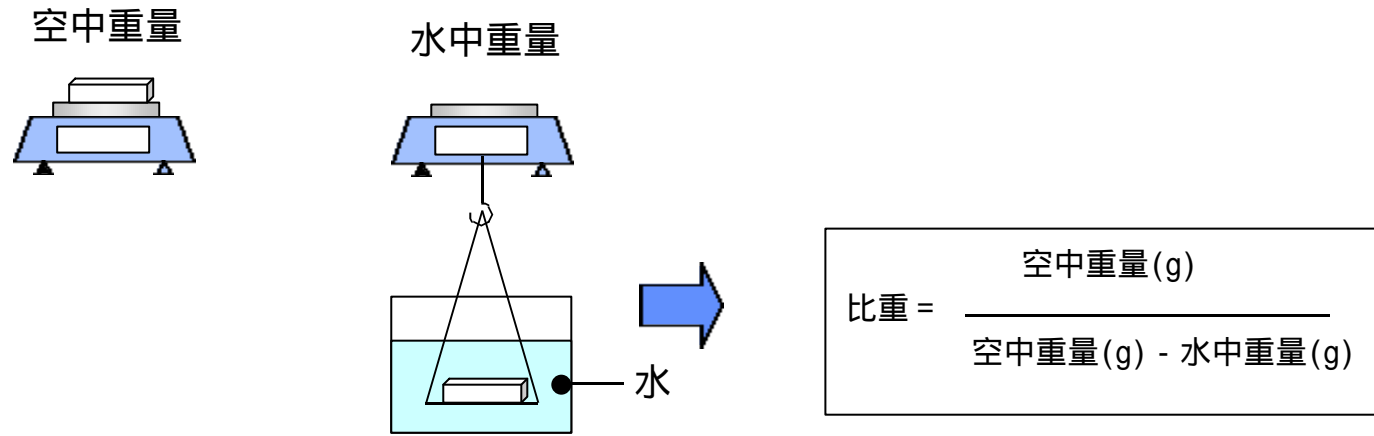
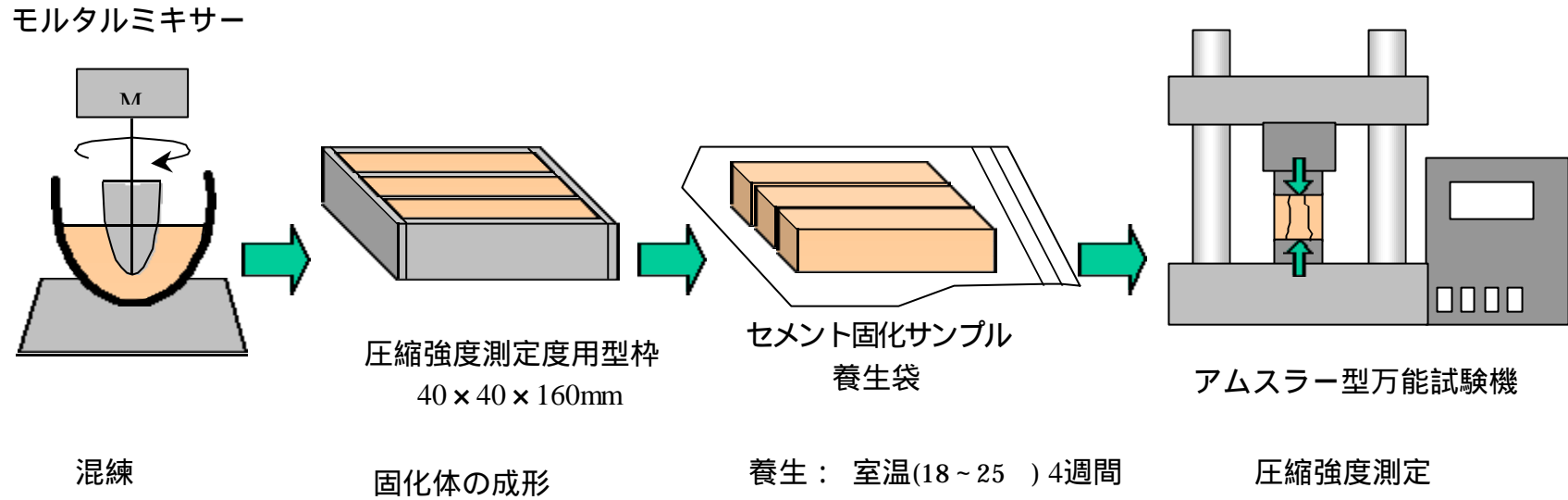


図3.1.2-4 固化体比重の測定方法



JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」に準拠

図3.1.2-5 圧縮強度の測定方法

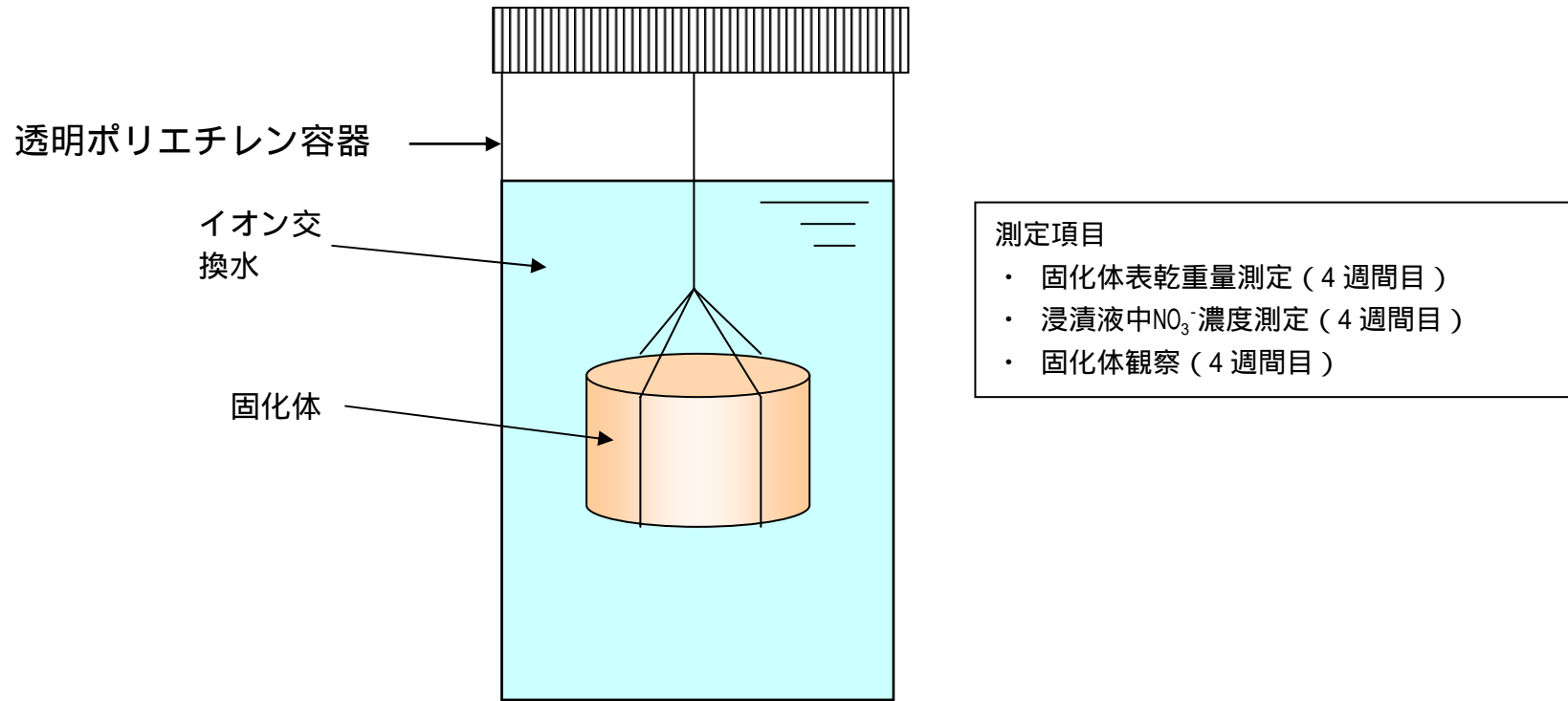


図3.1.2-6 固化体の浸漬試験

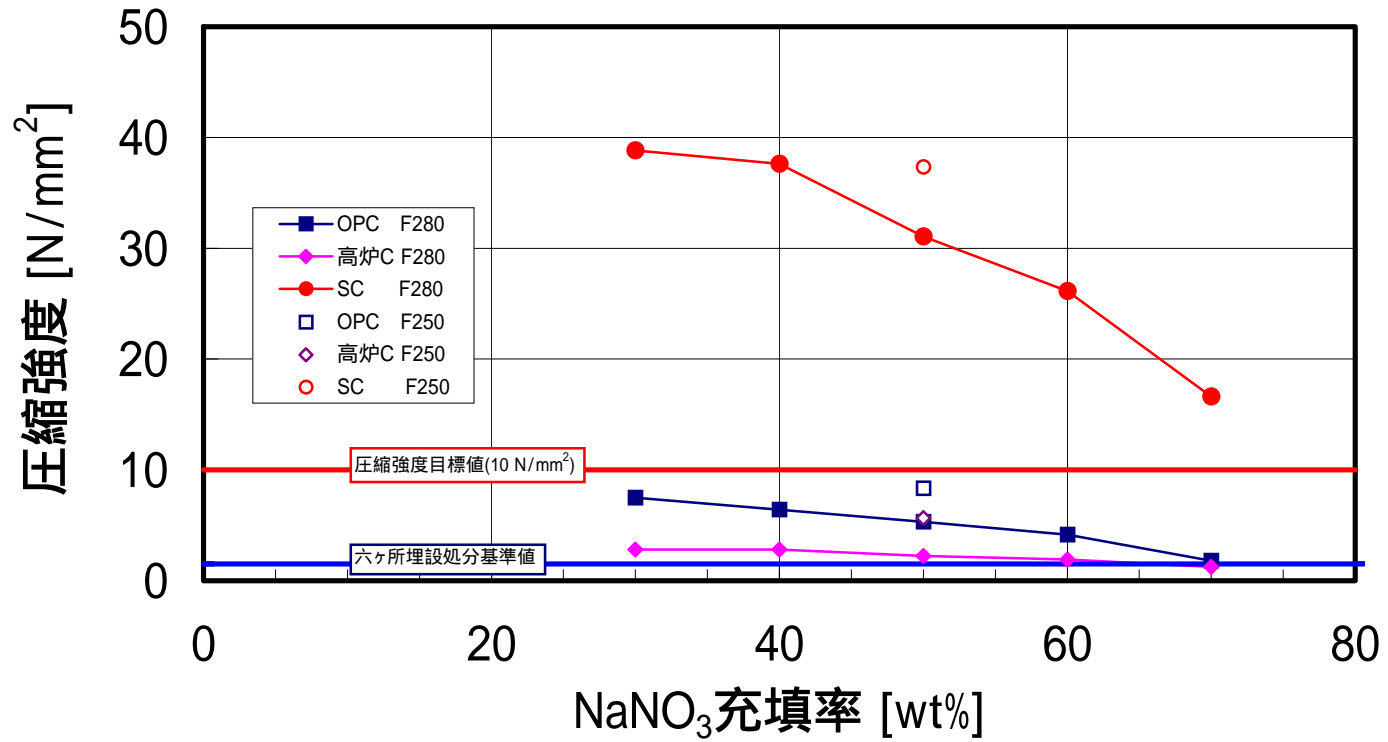


図3.1.6-1 セメント固化体の圧縮強度（1週間）測定結果

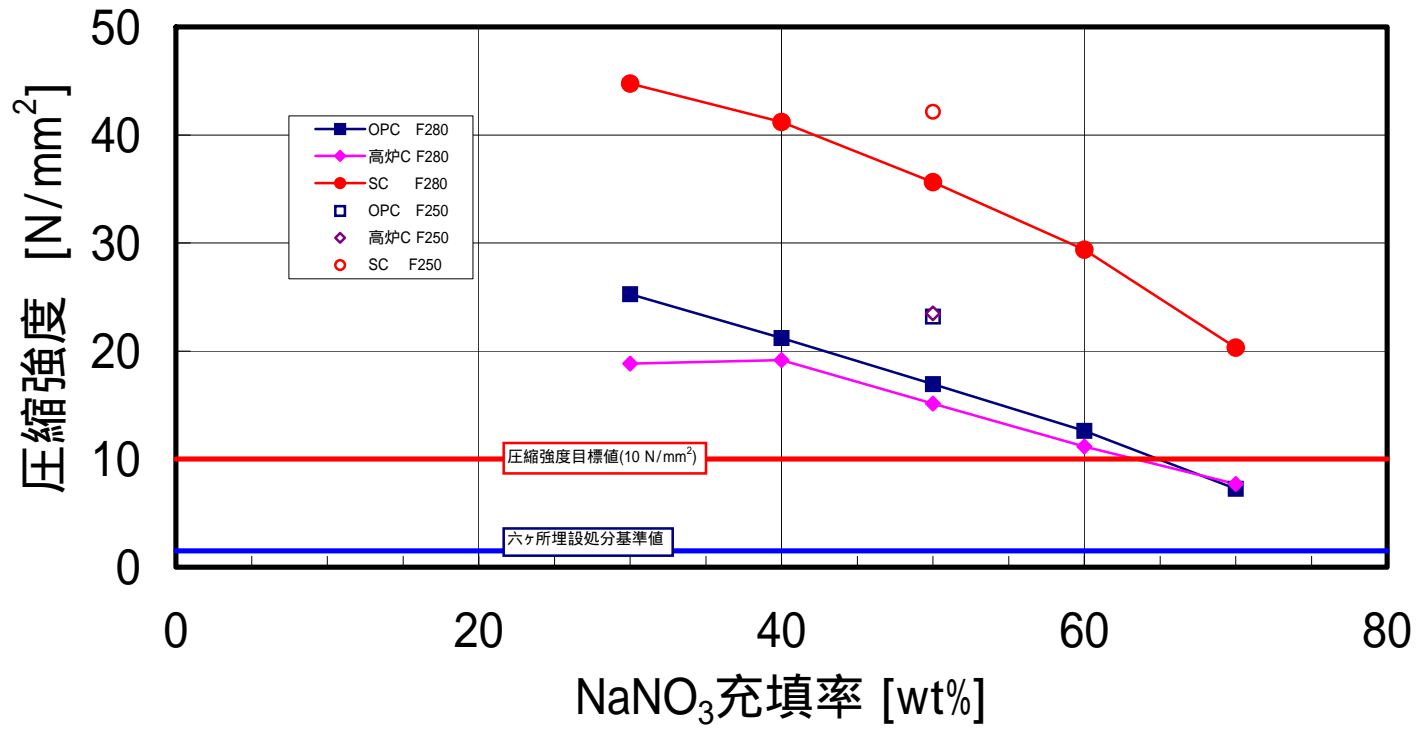


図3.1.6-2 セメント固化体の圧縮強度（4週間）測定結果

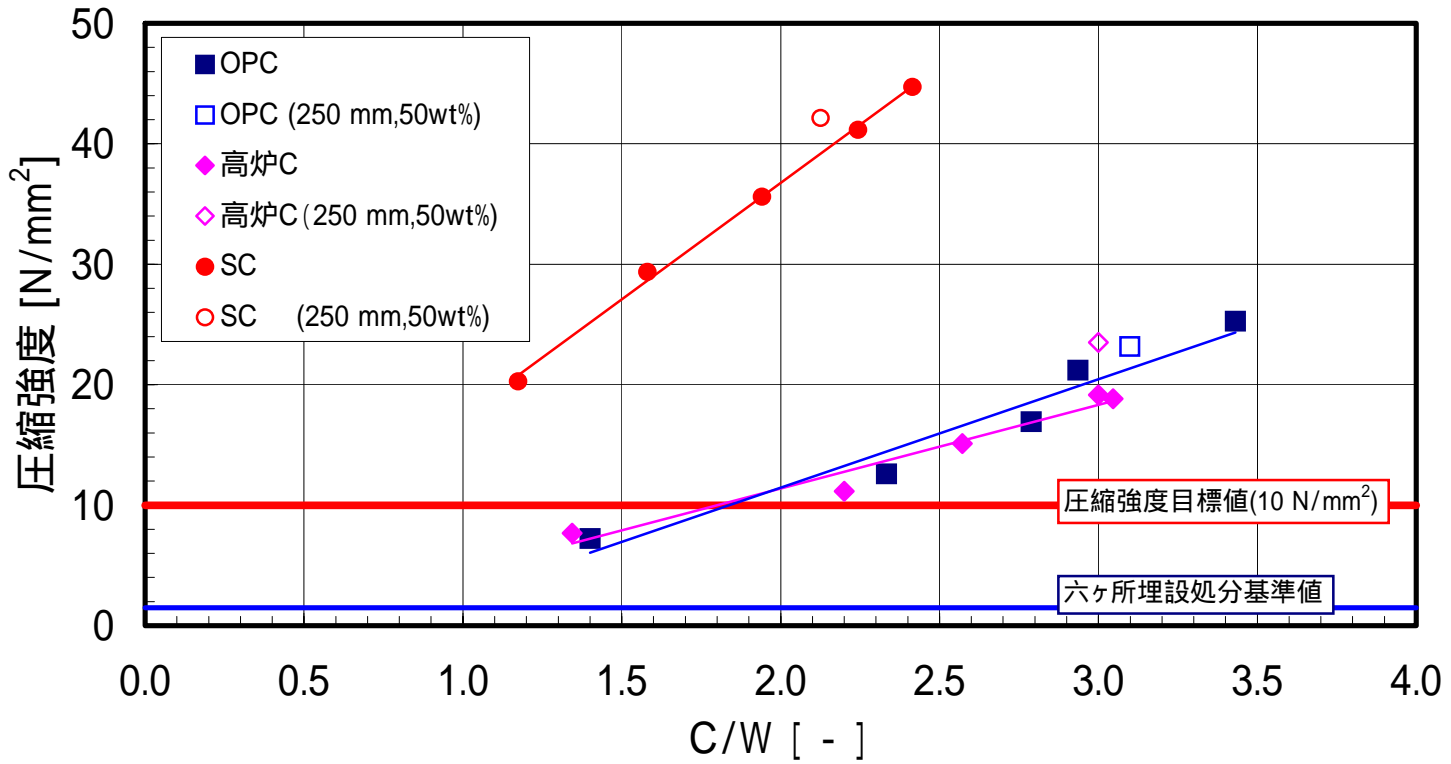


図3.1.6-3 セメント水比(C/W)と圧縮強度(4週間)の関係

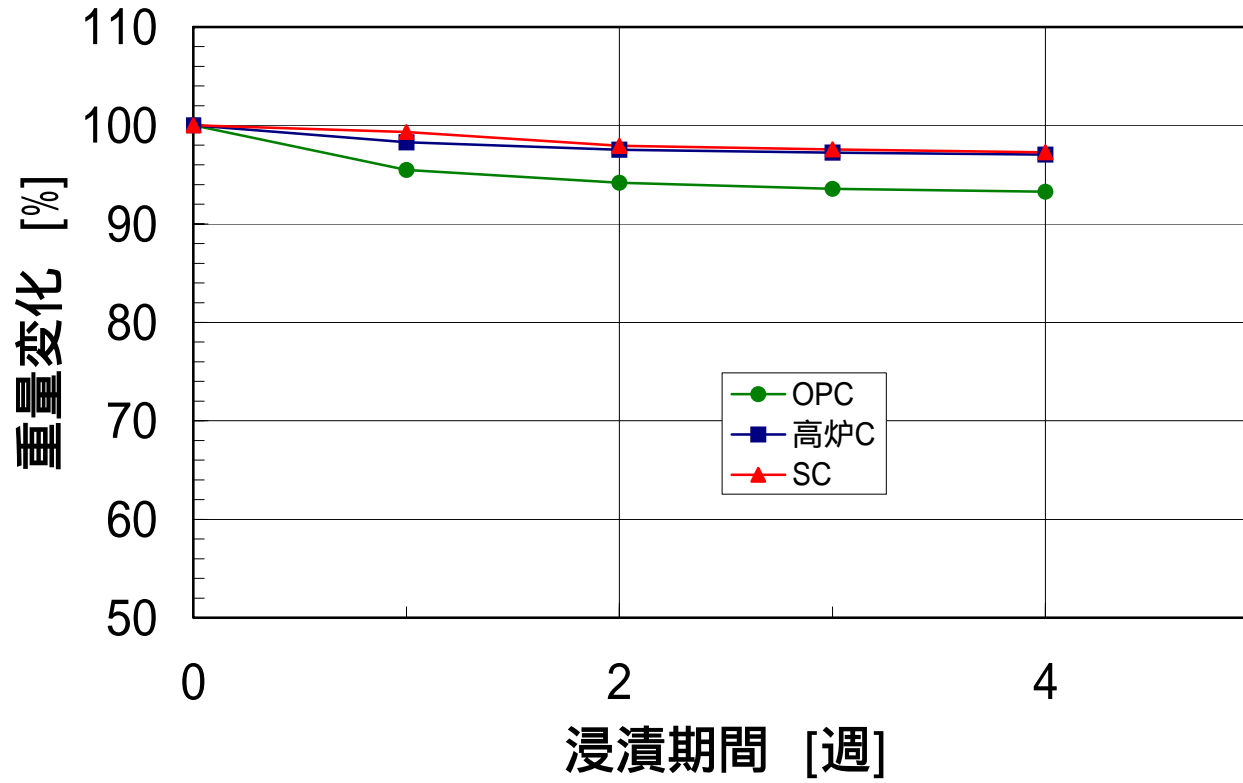


図 3.1.7-1 NaNO_3 充填率 30wt% 固化体の浸漬結果

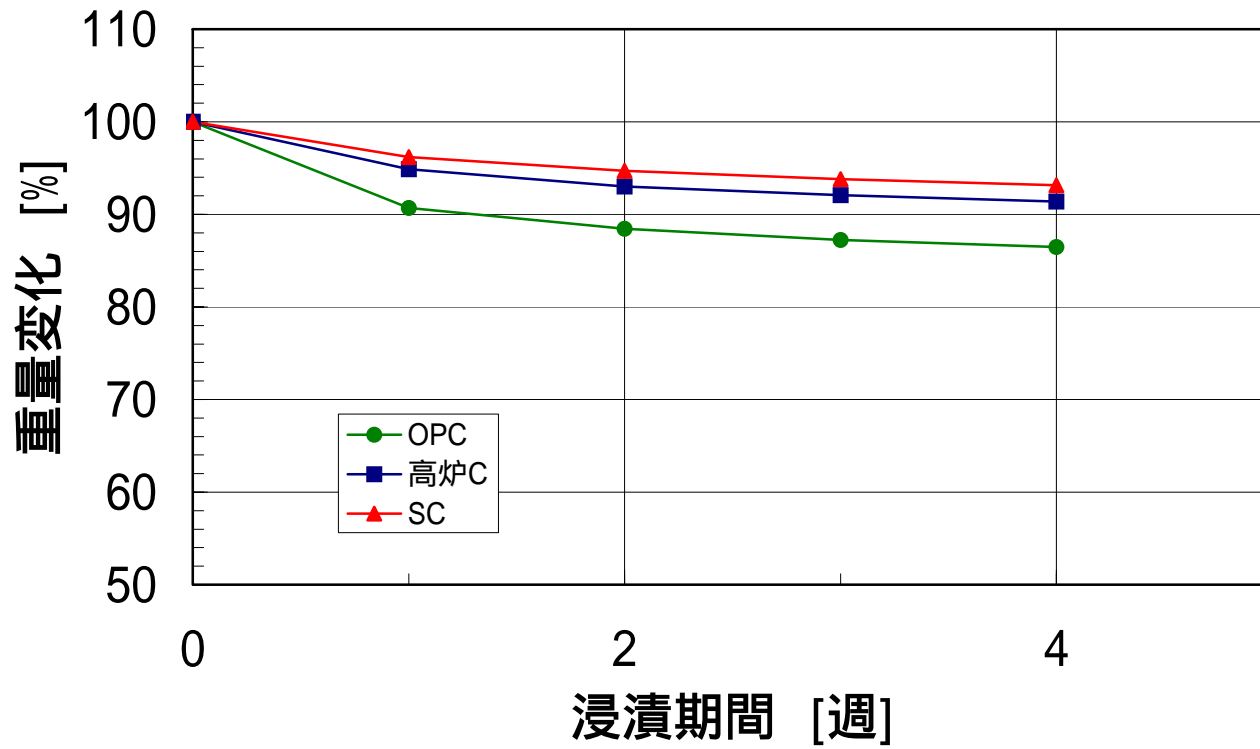


図 3.1.7-2 NaNO_3 充填率 50wt%, フロー値 280mm, 固化体の浸漬結果

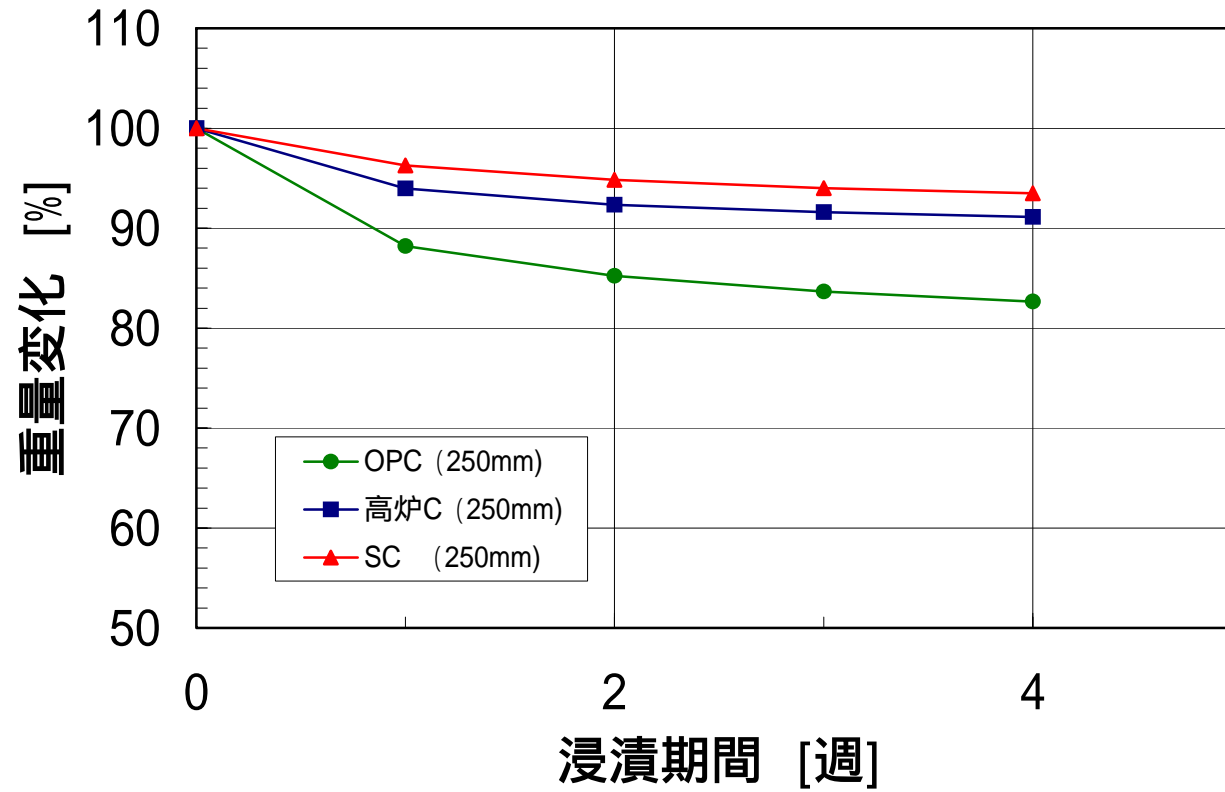


図 3.1.7-3 NaNO_3 充填率 50wt%, フロー値 250mm, 固化体の浸漬結果

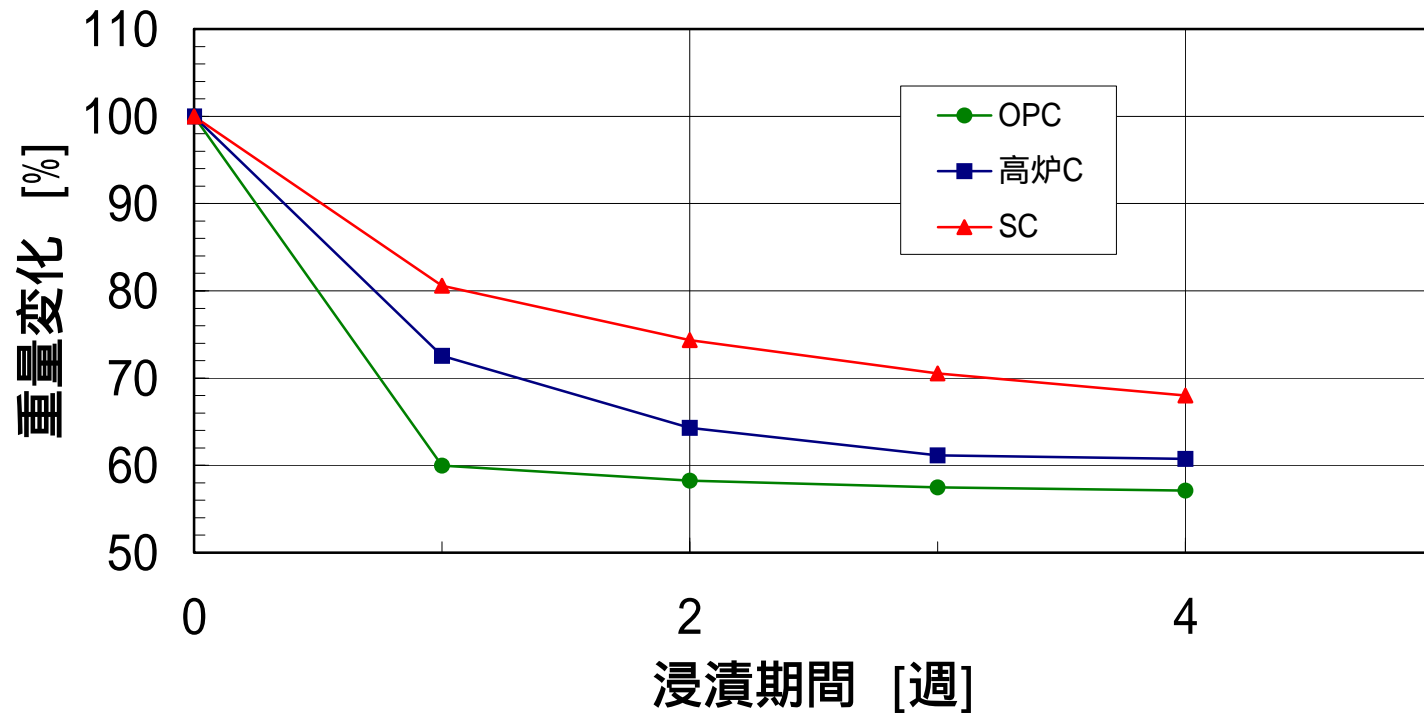


図 3.1.7-4 NaNO₃充填率 70wt%, 固化体の浸漬結果

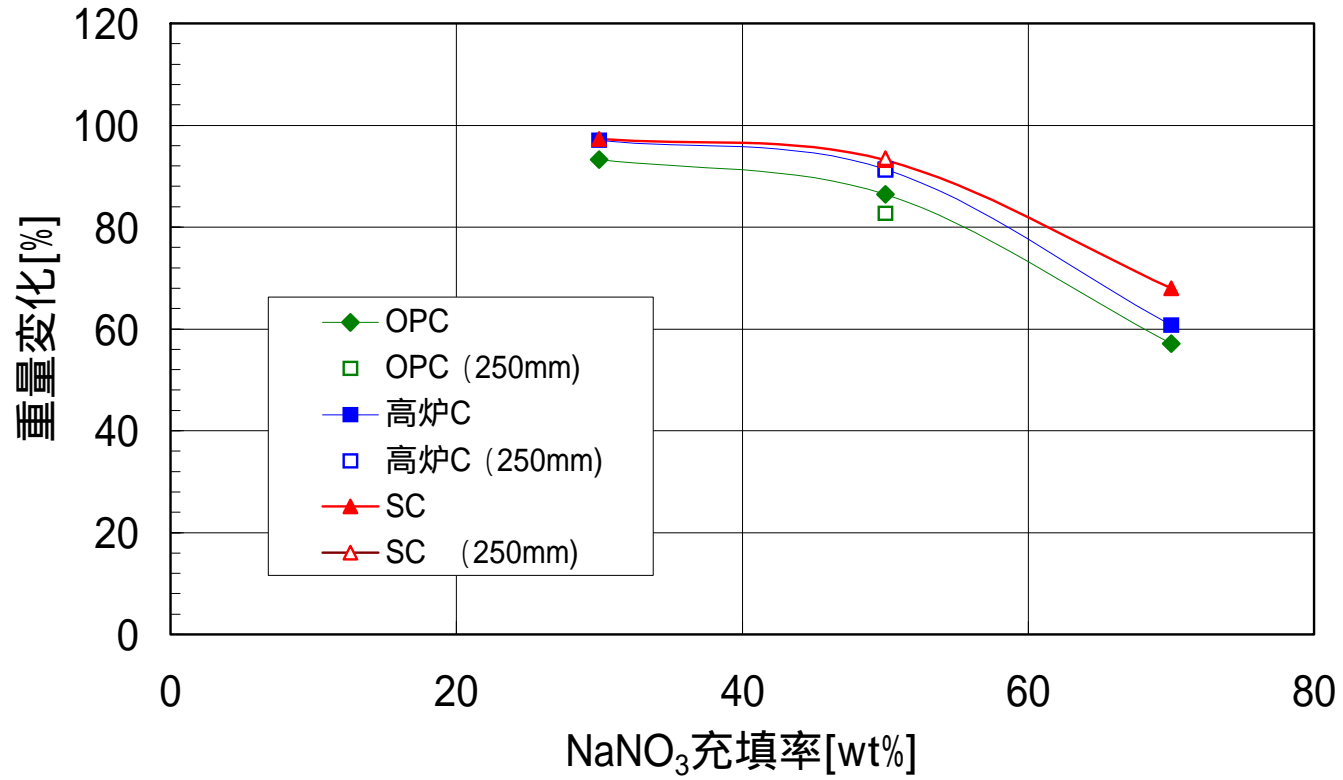
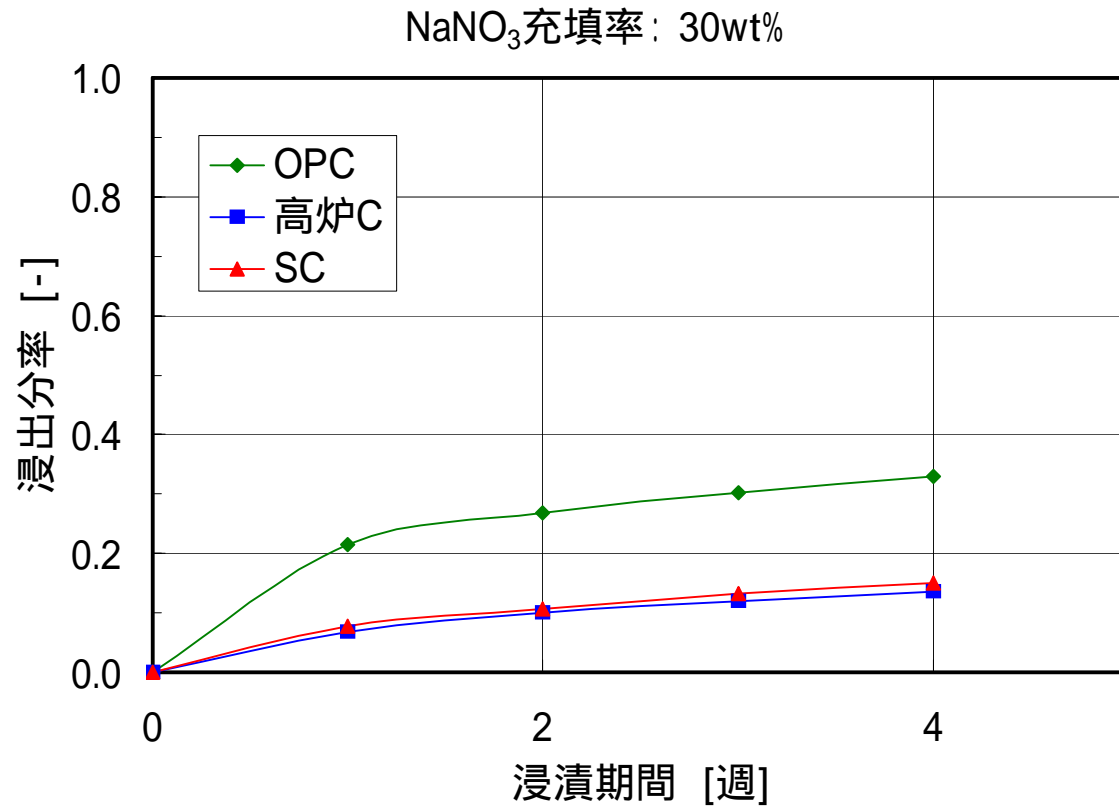


図 3.1.7-5 NaNO₃ 充填率 4 週間浸漬固化体の重量変化

図 3.1.7-6 NaNO₃充填率 30wt%固化体のNO₃⁻の浸出分率

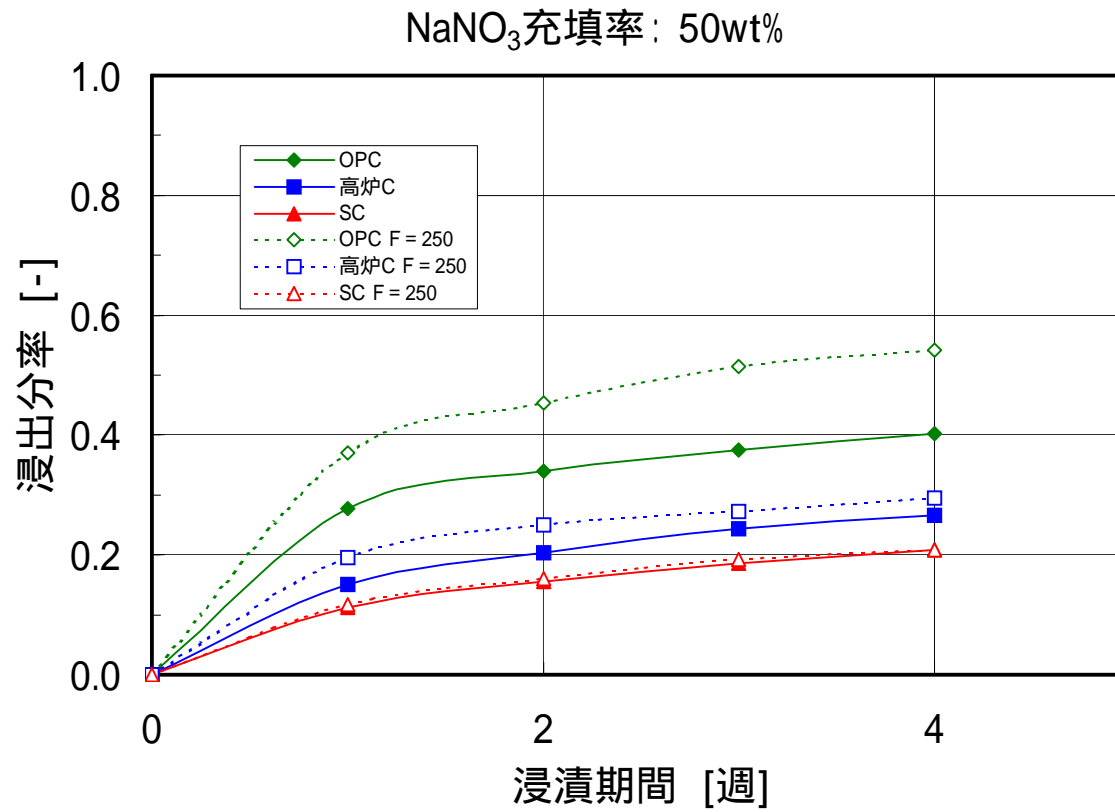


図 3.1.7-7 NaNO₃充填率 50wt%固化体のNO₃⁻の浸出分率

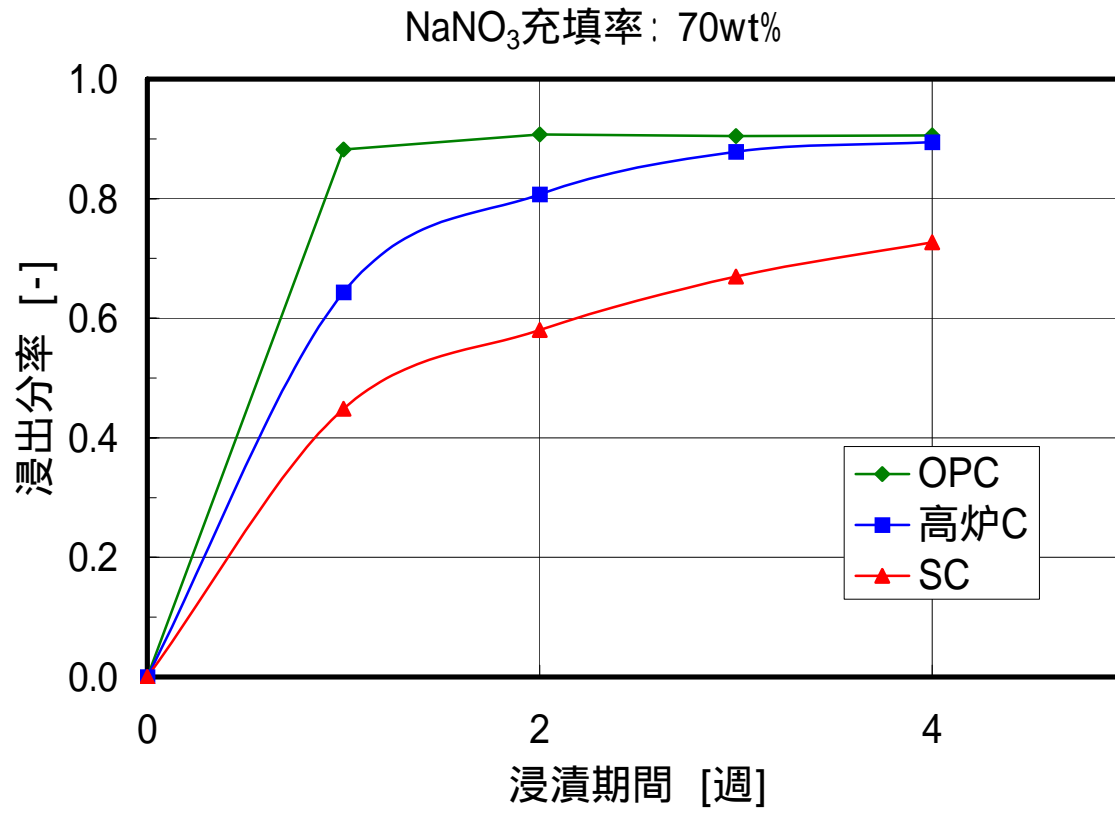
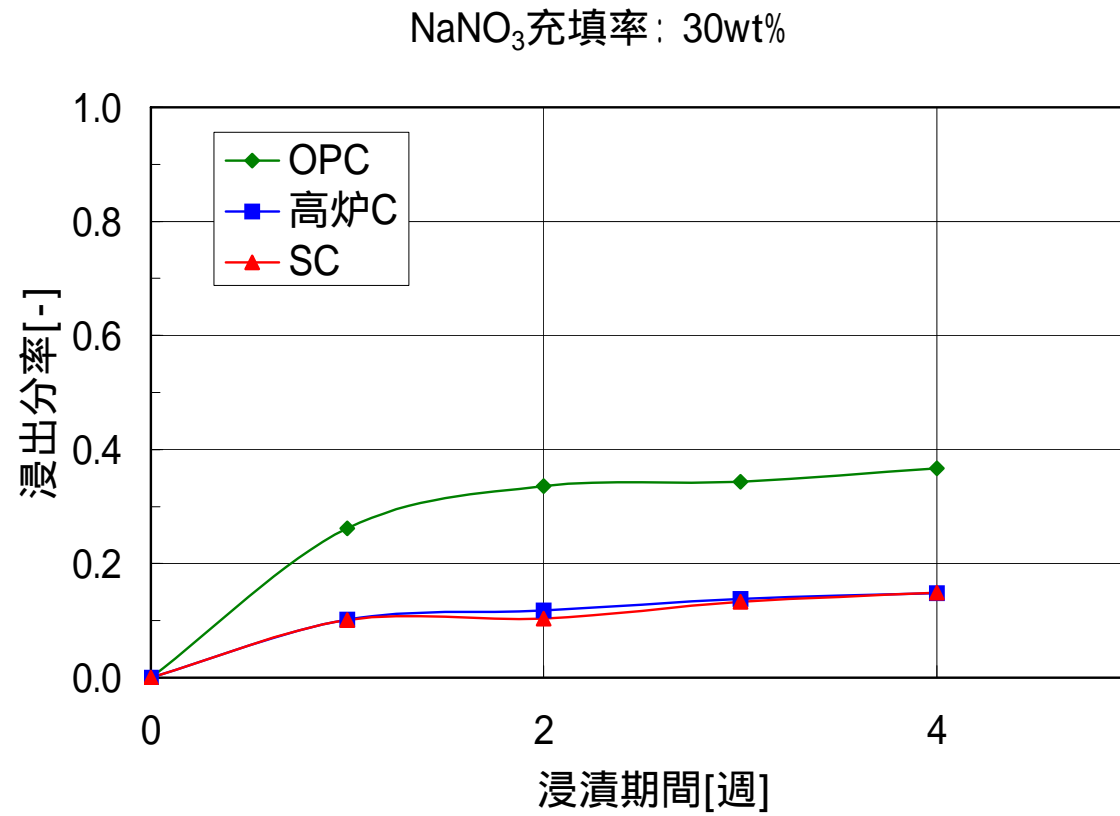


図 3.1.7-8 NaNO₃充填率 70wt% 固化体のNO₃⁻の浸出分率

図 3.1.7-9 NaNO₃充填率 30wt%固化体のNa⁺の浸出分率

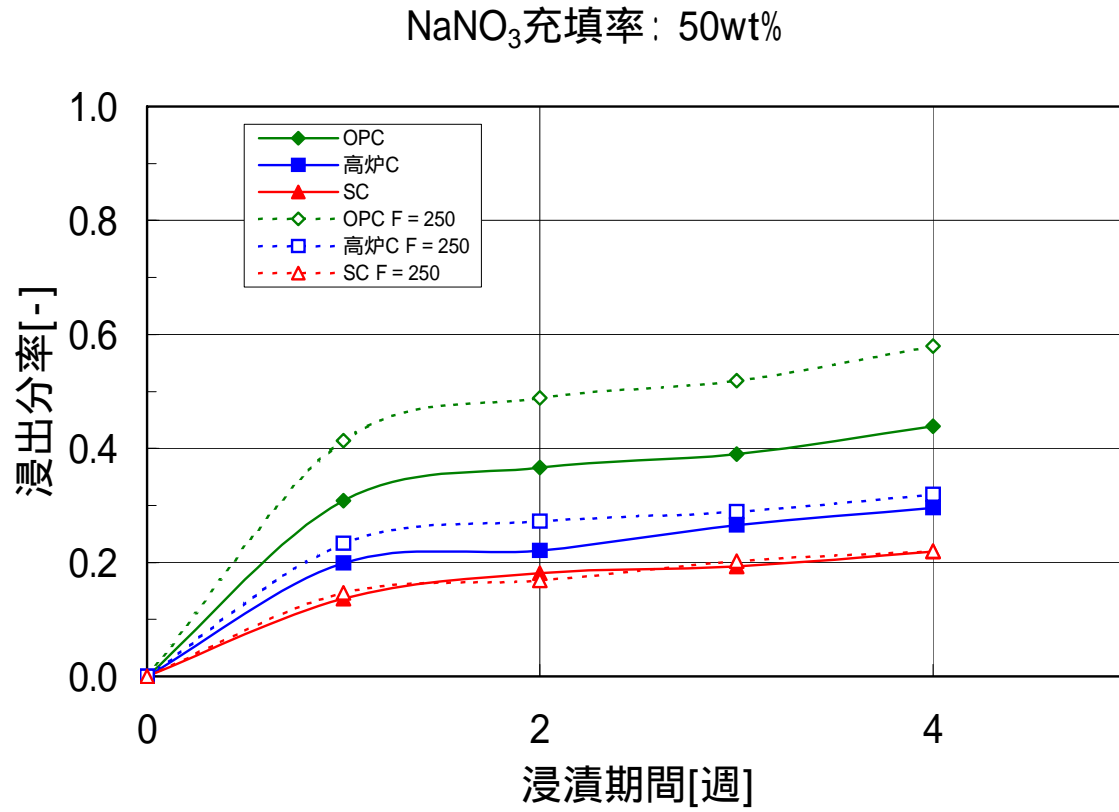


図 3.1.7-10 NaNO₃充填率 50wt%固化体のNa⁺の浸出分率

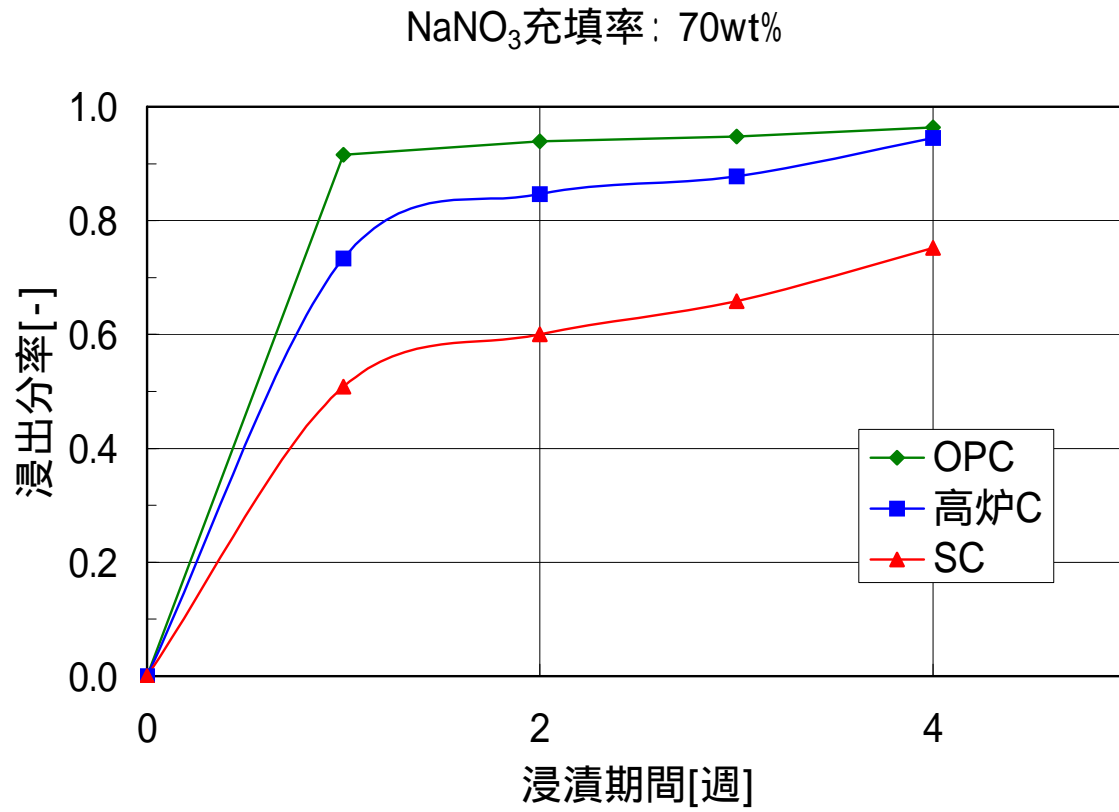


図 3.1.7-11 NaNO₃充填率 70wt%固化体のNa⁺の浸出分率



濃縮



濃縮終了



冷却(25)



混練

図 3.1.8-1 超濃縮固化試験の状況

表3.1.1-1 セメント材選定試験条件 - OPC、高炉C、SCの比較 -

セメント材	模擬 廃棄物	充填率 [wt%]	フロー値 [mm]	測定項目					
				ブリーディング	硬化状況	強度		比重	
				観察されない こと	1日以内 に硬化	10N/mm ² 以上		-	
OPC	NaNO ₃	30	約280	写真	写真、日数	1週間	4週間	4週間	健全な固化体 (最大充填率1種)
		40	約280						
		50	約280						
		60	約280						
		70	約280						
高炉C	NaNO ₃	30	約280	写真	写真、日数	1週間	4週間	4週間	健全な固化体 (最大充填率1種)
		40	約280						
		50	約280						
		60	約280						
		70	約280						
SC	NaNO ₃	30	約280	写真	写真、日数	1週間	4週間	4週間	健全な固化体 (最大充填率1種)
		40	約280						
		50	約280						
		60	約280						
		70	約280						
OPC	NaNO ₃	50	約250	写真	写真、日数	1週間	4週間	4週間	
高炉C	NaNO ₃	50	約250						
SC	NaNO ₃	50	約250						
















表3.1.3-1 セメント混練配合とフロー値

	セメント材	NaNO ₃ 充填率	セメント(C)	水(W)	C/W	フロー値
		[wt%]	[wt%]	[wt%]	[-]	[mm]
フロー値 目標: 280 ± 10mm	OPC	30	54.2	15.8	3.43	281
		40	45.2	15.4	2.94	284
		50	36.8	13.2	2.79	287
		60	28.0	12.0	2.33	277
		70	17.5	12.5	1.40	281
	高炉C	30	52.7	17.3	3.05	281
		40	45.0	15.0	3.00	270
		50	36.0	14.0	2.57	284
		60	27.5	12.5	2.20	281
		70	17.2	12.8	1.34	279
	SC	30	49.5	20.5 ^{*1)}	2.41	288
		40	41.5	18.5 ^{*1)}	2.24	288
		50	33.0	17.0 ^{*1)}	1.94	290
		60	24.5	15.5 ^{*1)}	1.58	290
		70	16.2	13.8 ^{*1)}	1.17	276
フロー値 目標: 250 ± 10mm	OPC	50	37.8	12.2	3.10	252
	高炉C	50	37.5	12.5	3.00	246
	SC	50	34.0	16.0 ^{*1)}	2.13	253

*1) 添加剤[硬化液(水酸化ナトリウム水溶液)、分散液(有機剤)、消泡剤(有機剤)]を含む

*2) SCのW/Cは、添加剤を水に含めて計算した

表 3.1.4-1 セメントペーストのブリーディング観察 (フロー値約 280 mm、養生 1 日後)

		NaNO ₃ 充填率					
		30 wt%	40 wt%	50 wt%	60 wt%	70 wt%	
O P C							
		×	×	×	×	×	
	高 炉 C						
			×	×	×	×	×
		S C					

:ブリーディング無し、 × :ブリーディング有り

表3.1.4-2 セメントペーストのブリーディング観察（フロー値約250 mm、養生1日後）












































	OPC	高炉 C	SC
充填率： 50 wt%			

表3.1.5-1 セメントペーストの硬化状況(1) - OPC -

		NaNO ₃ 充填率				
		30 wt%	40 wt%	50 wt%	60 wt%	70 wt%
1 日 目						
		×	×	×	×	×
	2 日 目					
			×	×	×	×
3 日 目						
		×	×	×	×	×
4 日 目						

:硬化、 × :未硬化

表3.1.5-2 セメントペーストの硬化状況(2) - 高炉C -

		NaNO ₃ 充填率				
		30 wt%	40 wt%	50 wt%	60 wt%	70 wt%
1 日 目						
	×	×	×	×	×	
2 日 目						
	×	×	×	×	×	
3 日 目						
	×	×	×	×	×	
5 日 目						
					×	

:硬化、 × :未硬化

表3.1.5-3 セメントペーストの硬化状況(3) - SC -


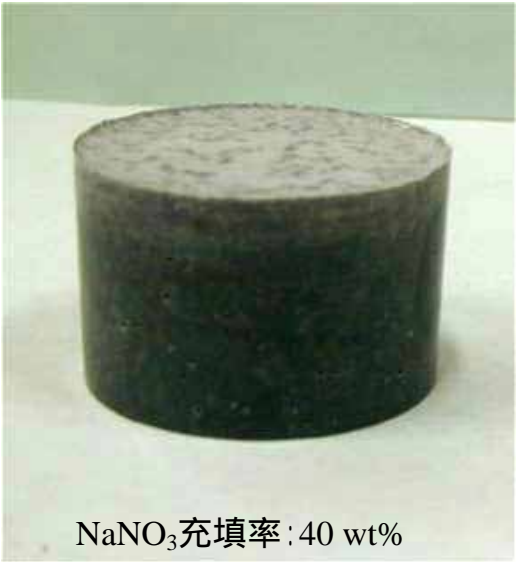
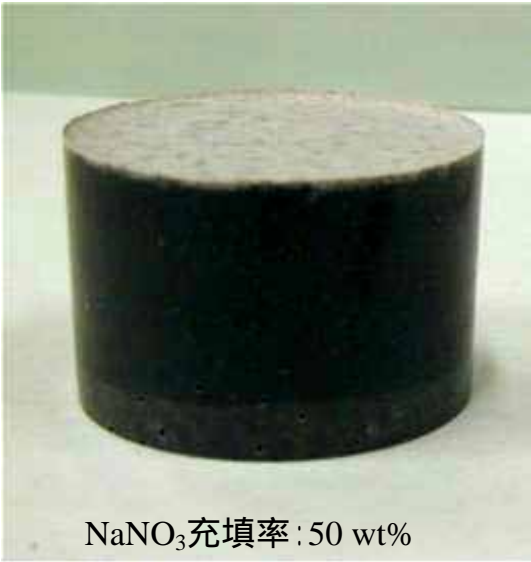
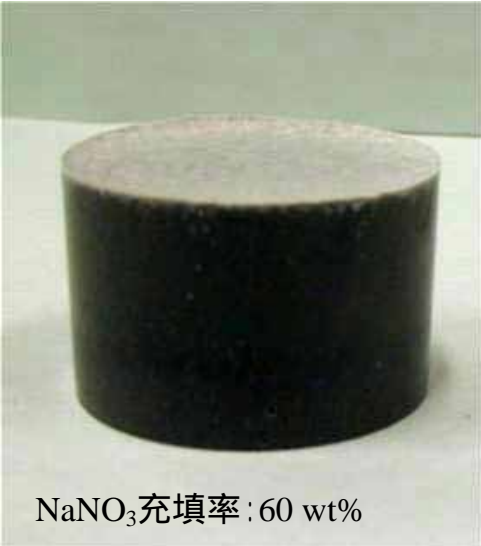
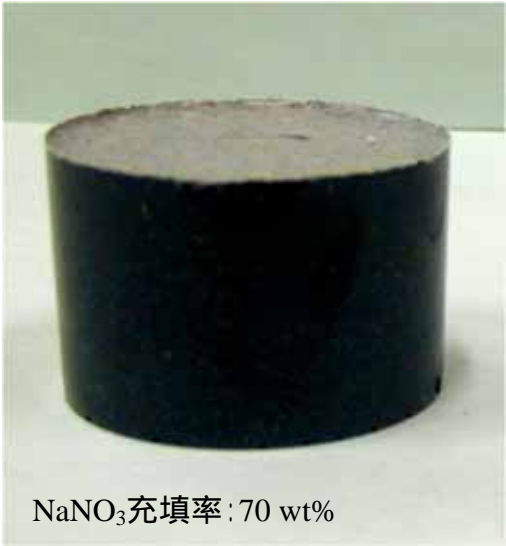
 <p>NaNO₃充填率 : 30 wt%</p>	 <p>NaNO₃充填率 : 40 wt%</p>	 <p>NaNO₃充填率 : 50 wt%</p>
 <p>NaNO₃充填率 : 60 wt%</p>	 <p>NaNO₃充填率 : 70 wt%</p>	<p>:硬化、 × :未硬化</p>

表3.1.5-4 セメントペーストの硬化状況(4) (フロー値約250 mm、NaNO₃充填率 50wt%)




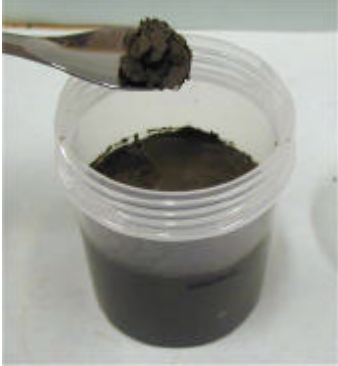



	OPC	高炉C	SC
1 日 目	 ×	 ×	
2 日 目	 ×	 ×	
3 日 目			<p>上段 ブリーディング :無し、×:有り</p> <p>下段 硬化状況 :硬化、 × :未硬化</p>

表3.1.6-1 セメント固化体の比重測定結果

固化体	フロー値 [mm]	充填率 [wt%]	水中重量 [g]	空中重量 [g]	固化体体積 [cm ³]	比重 [-]
OPC	280 (270 ~ 290)	30	299.1	558.2	259.2	2.15
		40	294.3	552.1	257.8	2.14
		50.0	288.5	546.1	257.6	2.12
		60	270.2	527.3	257.2	2.05
		70	257.2	514.1	257.0	2.00
高炉C	280 (270 ~ 290)	30	275.1	531.7	256.7	2.07
		40	272.2	529.9	257.6	2.06
		50	268.5	524.9	256.5	2.05
		60	252.5	508.4	255.9	1.99
		70	243.9	498.6	254.7	1.96
SC	280 (270 ~ 290)	30	241.7	496.6	254.9	1.95
		40	244.3	499.6	255.3	1.96
		50	244.4	499.8	255.4	1.96
		60	249.0	504.7	255.6	1.97
		70	238.6	495.0	256.4	1.93
OPC	250 (240 ~ 260)	50	285.1	542.9	257.8	2.11
高炉C			275.3	531.7	256.4	2.07
SC			244.6	499.9	255.2	1.96

表3.1.7-1 浸漬固化体の形状(OPC)

	F = 280			F = 250
	30%	50%	70%	50%
直径上部 [mm]	52.7	52.7	52.6	52.7
直径下部 [mm]	51.8	51.7	51.9	51.6
高さ [mm]	33.2	32.0	31.5	32.8
重量 [g]	154.82	146.49	136.97	146.58
水中重量 [g]	84.14	78.86	70.15	76.74
平均径 [mm]	52.25	52.2	52.25	52.15
表面積 [cm ²]	97.4	95.3	94.6	96.5
測定体積 [cm ³]	70.68	67.63	66.82	69.84
比重 [-]	2.190	2.166	2.050	2.099

表3.1.7-2 浸漬固化体の形状(高炉C)

	F = 280			F = 250
	30%	50%	70%	50%
直径上部 [mm]	52.7	52.7	52.5	52.6
直径下部 [mm]	51.6	51.6	51.6	51.6
高さ [mm]	32.5	34.0	30.7	34.0
重量 [g]	146.89	150.54	130.56	148.99
水中重量 [g]	77.42	78.43	65.12	77.01
平均径 [mm]	52.15	52.15	52.05	52.1
表面積 [cm ²]	96.0	98.4	92.8	98.3
測定体積 [cm ³]	69.47	72.11	65.44	71.98
比重 [-]	2.114	2.088	1.995	2.070

表3.1.7-3 浸漬固化体の形状(SC)

	F = 280			F = 250 50%
	30%	50%	70%	
直径上部 [mm]	52.6	52.6	52.6	52.6
直径下部 [mm]	51.6	51.5	51.6	51.5
高さ [mm]	32.0	32.6	32.5	32.3
重量 [g]	133.10	138.64	133.87	134.26
水中重量 [g]	65.52	69.19	64.44	65.80
平均径 [mm]	52.1	52.05	52.1	52.05
表面積 [cm ²]	95.0	95.9	95.8	95.4
測定体積 [cm ³]	67.58	69.45	69.43	68.46
比重 [-]	1.970	1.996	1.928	1.961

表3.1.7-4 浸漬試験(1) - OPC固化体 -





















	浸漬時間				
	浸漬前	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後
30 wt%					
50 wt%					
70 wt%					
50 wt% (250 mm)					

表3.1.7-5 浸漬試験(2) - 高炉C固化体 -





















	浸漬時間				
	浸漬前	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後
30 wt%					
50 wt%					
70 wt%					
50 wt% (250 mm)					

表3.1.7-6 浸漬試験(2) - SC固化体 -





















	浸漬時間				
	浸漬前	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後
30 wt%					
50 wt%					
70 wt%					
50 wt% (250 mm)					

表3.1.7-7 浸漬液のNa⁺、NO₃⁻濃度

	セメント材		OPC				高炉C				SC			
	フロー値 [mm]		280 ± 10			250 ± 10	280 ± 10			250 ± 10	280 ± 10			250 ± 10
	NaNO ₃ 充填率		30%	50%	70%	50%	30%	50%	70%	50%	30%	50%	70%	50%
浸漬前 固化体	固化体重量	[g]	154.82	146.49	136.97	146.58	146.89	150.54	130.56	148.99	133.1	138.64	133.87	134.26
	Na量	[g]	12.57	19.82	25.94	19.83	11.92	20.37	24.73	20.16	11.91	19.91	26.47	19.28
	NO ₃ 量	[g]	33.88	53.43	69.94	53.46	32.14	54.90	66.66	54.34	29.13	50.56	68.35	48.97
	液量	[ml]	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950
4週間後 の 浸漬液	Na ⁺ 濃度	[ppm]	4,860	9,160	25,640	12,100	1,860	6,340	24,600	6,780	1,870	4,590	20,960	4,460
	NO ₃ ⁻ 濃度	[ppm]	11,700	22,700	66,700	30,500	4,600	15,400	62,800	16,900	4,600	11,100	52,300	10,700
	pH	[-]	12.72	12.75	12.78	12.80	12.49	12.57	12.68	12.58	12.32	12.32	12.60	12.47
液相の イオン量	Na ⁺ 量	[g]	4.62	8.70	24.36	11.50	1.77	6.02	23.37	6.44	1.78	4.36	19.91	4.24
	NO ₃ ⁻ 量	[g]	11.16	21.53	63.34	28.95	4.35	14.60	59.63	16.06	4.39	10.55	49.69	10.21
溶出率	Na ⁺ 量	[%]	37	44	94	58	15	30	95	32	15	22	75	22
	NO ₃ ⁻ 量	[%]	33	40	91	54	14	27	89	30	15	21	73	21

表3.1.7-8 NaNO₃充填率50 wt%のLIXおよびpH

セメント	LIX [-]		
	Na ⁺	NO ₃ ⁻	pH (4週間)
OPC	7.8	7.8	12.8
高炉C	8.0	8.0	12.6
SC	8.3	8.2	12.3

LIX : Leachability Index

$$= \log(1/D)$$

D : 拡散係数[cm²/s]

浸漬期間 : 1,2,3,4[Week]

$$D = p \left[\frac{a_n / A_0}{(\Delta t)_n} \right]^2 \left[\frac{V}{S} \right]^2 T$$

D = 有効拡散係数、cm²/s a_n / A_0 = 化学種の浸出分率、- $(\Delta t)_n$ = $t_n - t_{n-1}$ の浸漬間隔、sV = 供試体体積、cm³S = 供試体表面積、cm²

$$T = \left[\frac{1}{2} \left(t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2} \right) \right]^2$$

表3.1.7-9 浸漬固化体の圧縮強度

単位: N/mm²

セメント材	試験項目		フロー値: 280 mm			フロー値: 250 mm
			30 wt%	50 wt%	70 wt%	50 wt%
OPC	圧縮 強度	室温4週間養生	25.3	16.9	7.3	23.2
		室温4週間養生後 4週間浸漬	18.3	10.6	0.6	12.6
高炉C	圧縮 強度	室温4週間養生	18.8	15.1	7.7	23.5
		室温4週間養生後 4週間浸漬	22.5	14.5	1.1	23.2
SC	圧縮 強度	室温4週間養生	44.8	35.6	20.3	42.2
		室温4週間養生後 4週間浸漬	41.5	29.0	3.3	35.6

供試体形状: 40 × 40 × 160 mm

室温(18 ~ 25)

表3.1.8-1 工業用NaNO₃固化と濃縮NaNO₃固化の比較

セメント材	NaNO ₃ の状態	NaNO ₃ 充填率 [wt%]	比重 (混練時) [-]	フロー値 [mm]	圧縮強度 1週間 [N/mm ²]	圧縮強度 4週間 [N/mm ²]	ブリーディング [-]	硬化日数 [日]
OPC	工業用NaNO ₃	50	2.106	288	5.3	16.5	有り ×	4
	溶解後晶析 (工業用 NaNO ₃)	50	2.047	200	6.7	18.6	有り ×	4
SC	工業用NaNO ₃	50	1.923	290	31.1	35.6	無し	1
	溶解後晶析 (工業用 NaNO ₃)	50	1.854	270	29.5	35.4	無し	1

表3.2-1 比較評価結果一覧表

	NaNO ₃ 充填率 [wt%]	フロー値 [mm]	ブリーディング	硬化日数 [日]		比重 [-]	圧縮強度 [N/mm ²]			総合 評価
					評価		1週間	4週間	評価	
評価基準			観察され ないこと	1日以内				10 N/mm ² 以上(4週間)		
OPC	30	281	×	4	×	2.154	7.5	25.3		×
	40	284	×	4	×	2.142	6.4	21.2		×
	50	287	×	4	×	2.120	5.3	16.9		×
	60	277	×	4	×	2.051	4.2	12.6		×
	70	281	×	4	×	2.001	1.8	7.3	×	×
高炉C	30	281	×	5	×	2.072	2.8	18.8		×
	40	270	×	5	×	2.057	2.8	19.2		×
	50	284	×	5	×	2.047	2.2	15.1		×
	60	281	×	5	×	1.987	1.9	11.2		×
	70	279	×	6	×	1.958	1.3	7.7	×	×
SC	30	288		1		1.948	38.8	44.8		
	40	288		1		1.957	37.6	41.2		
	50	290		1		1.957	31.1	35.6		
	60	290		1		1.974	26.1	29.4		
	70	276		1		1.931	16.6	20.3		
OPC	50	252		3	×	2.106	8.3	23.19		×
高炉C	50	246		3	×	2.074	5.7	23.5		×
SC	50	253		1		1.959	37.3	42.16		

○ : ブリーディング無し
 × : ブリーディング有り