

# 高レベル放射性廃棄物処分に用いる低アルカリ性セメント系グラウト

三浦 律彦 鈴木 健一郎 田口 信子  
入矢 桂史郎 納多 勝

(本社原子力本部)

## Low-Alkaline Cementitious Grout for High-Level Nuclear Waste Disposal

Norihiko Miura Kenichiro Suzuki Nobuko Taguchi  
Keishiro Iriya Masaru Noda

### Abstract

The stratum disposal system for high-level nuclear waste mainly involves the use of natural bedrock, called the natural barrier, and over pack and the buffer, those are designated as the artificial barrier. Grouting technology is indispensable for the environment that the crack and the underground water flow of the bedrock bring about mass transport, also radio active component. However, typical cementitious grout material is strongly alkaline and the alkalinity that it imparts to the barrier material, especially to mineral substances in the bedrock or buffer, is suspected to compromise the performance of the barrier system over the long term. In order to avoid this undesirable alkaline influence, we have developed a procedure for reducing the alkaline state in cementitious materials by employing high volumes of additives such as pozzolanic materials. In this paper, we discuss the basic properties of low-alkaline cementitious grout, and explain how to select and mix appropriate proportions of grout to accomplish the end-objective ,i.e., develop an efficient stratum disposal system. We also elaborate on progress achieved in research on this topic over the last two years.

### 概 要

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムは、天然の岩盤（天然バリア）とオーバーバックや緩衝材などの工学的な障壁（人工バリア）からなる多重のバリアシステムにより構成される。長期にわたるバリア性能を保証するためには物質移行の原因となる地下水の移動をできるだけ抑制する必要がある。岩盤グラウトが重要な対策工となる。しかし、一般に用いられているセメント系のグラウト材はアルカリ性が高く、長期にわたりセメントから溶出する高アルカリ成分がバリア材である岩盤などの鉱物に化学的な影響を与え、結果としてバリアシステムの長期性能に大きな不確実性をもたらすことが懸念されている。そこで、ポゾラン材などを高含有することによる低アルカリ性セメント系材料の改良、開発が進められてきた。本研究は、その一例として低アルカリ性セメント系グラウト材の配合選定と基礎物性に関して、2年間にわたり実施してきた研究成果の概要について紹介する。

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムは、天然バリアと人工バリアからなる多重バリアシステムにより構成される。これら放射性廃棄物処分場施設の建設・操業においては、止水や処分空洞安定等の目的でコンクリート等のセメント系材料が用いられるが、処分場閉鎖後長期にわたりセメント硬化体から溶出する高アルカリ性の成分（ $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ など）がバリア材である岩盤やベントナイト等の鉱物に化学的変質を与え、結果としてバリアシステムの長期性能に大きな不確実性をもたらすことが懸念されている。

このため、ポゾラン材を高含有した低アルカリ性セメントの開発と適用性検討を進めてきた<sup>1,2)</sup>。筆者らは、これまでに吹付けコンクリートや覆工コンクリート等への適用研究を進めてきたが<sup>3,4)</sup>、今回新たに低アルカリ性セメントを岩盤グラウト材料として用いた場合の基礎

物性検討（平成19年度）<sup>5)</sup>、および原位置での適用性試験に向けた配合選定と間隙浸透性評価（平成20年度）を実施した。本報ではそれらの検討内容と評価試験結果について記述する。

## 2. 岩盤グラウトに求められる性能

放射性廃棄物処分用途に用いる岩盤グラウトには、「低アルカリ性」以外にも「間隙浸透性」や「高水圧抵抗性」などが求められ、それらのバランスに優れた材料を組合せた高度な配合選定が求められる。

### 2.1 低アルカリ性と粉体材料の選定について

セメントは水和反応によって硬化するがその過程で多量の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生成し、それが高アルカリ性の原因となる。そこで、フライアッシュやシリカフュームのポゾラン反応性を利用して $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を消費することでアルカリ

性を低減する手法が検討されてきた<sup>2,3)</sup>。

グラウト材の粉体材料の選定においては、粒子形状やサイズも重要な要因となり、流動性や分散性、それに間隙浸透性の観点から球状粒子が望ましいと判断された。候補となるポゾラン材料として、超微粒子のシリカフェームSF（平均粒径0.72 $\mu\text{m}$ ）とJIS I種のフライアッシュFA（平均粒径3.29 $\mu\text{m}$ ）を選定し、さらにそれらの中間粒子サイズとなる球状シリカSS（平均粒径1.10 $\mu\text{m}$ ）を追加選定した。またセメントは通常の普通ポルトランドセメント（低アルカリ品、平均粒径21.2 $\mu\text{m}$ 、比表面積3,380 $\text{cm}^2/\text{g}$ ）をさらに微粉碎して平均粒径4.26 $\mu\text{m}$ の超微粒子セメントOPCを試作して使用した。なお、超微粒子の粉体材料を多量使用するため、それらの分散を長時間安定化させ、さらに再凝集を防ぐ目的でナフタレン系の高性能減水剤を併用した。使用材料を一覧にしてTable 1に、また粉体材料の粒度分布計測結果をFig. 1にそれぞれ示す。

## 2.2 低アルカリ性グラウトの製造方法

グラウトの製造には通常グラウトミキサーを使用するが、

Table 1 グラウト試験の使用材料  
Materials for Grout and Test

種類	物性、主成分など	
結合材 (B)	超微粒子 OPC	低アルカリ型 OPC の微粉碎調整品、平均粒径 4.26 $\mu\text{m}$ 、密度 3.16 $\text{g}/\text{cm}^3$ 、(比表面積 1.2 万 $\text{cm}^2/\text{g}$ 程度： $M$ -カーブ)
	シリカフェーム SF	JIS 規格品、平均粒径 0.72 $\mu\text{m}$ 、密度 2.20 $\text{g}/\text{cm}^3$ 、(比表面積 200 万 $\text{cm}^2/\text{g}$ 程度： $M$ -カーブ)
	球状シリカ SS	平均粒径 1.10 $\mu\text{m}$ 、密度 2.40 $\text{g}/\text{cm}^3$ 、(比表面積 6.2 万 $\text{cm}^2/\text{g}$ 程度： $M$ -カーブ)
	フライアッシュ FA	JIS I 種品、平均粒径 3.29 $\mu\text{m}$ 、密度 2.40 $\text{g}/\text{cm}^3$ 、(比表面積 5,460 $\text{cm}^2/\text{g}$ ： $M$ -カーブ)
混和剤	SP	ナフタレン系高性能減水剤（マイティ 150、標準型）
練混ぜ水	W	イオン交換水
作用水	人工海水	ASTM 規格品

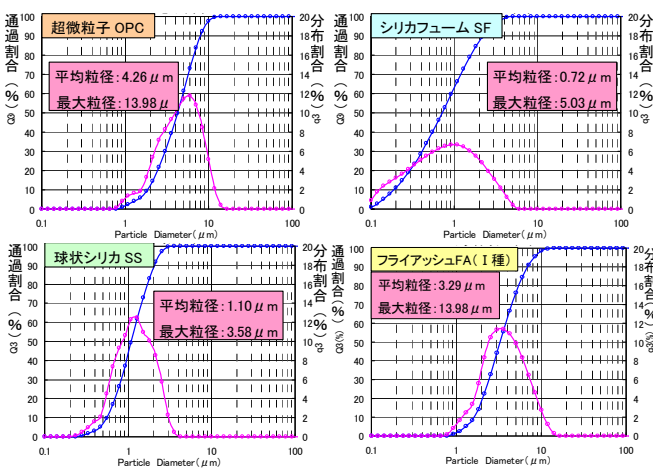


Fig.1 粉体材料の粒度分布計測結果  
Size Distribution of Powder Materials (Test Results)

今回の実験でも現場での施工を予め想定して、容量200 $\text{l}$ のグラウトミキサー（通称コロイダルミキサー）を使用した。1バッチの練り量は試験に必要な量や、均質な練混ぜが可能となる最少量を調査し、50 $\text{l}$ と定めた。併せて、超微粒子であるSFの分散が十分となるよう、予め水粉体比100%のSFスラリーを作製し、それを計量して使用した。なお、SFスラリー及びグラウトの練混ぜ水としては全てイオン交換水を使用した。

## 2.3 間隙浸透性に影響を及ぼす品質特性

間隙浸透性に影響を及ぼす材料の浸透性は微細な岩盤亀裂へ注入する際の重要な特性である。この性質は主に塑性粘度や降伏値といったレオロジー特性のほか鋼製メッシュ透過性<sup>6)</sup>で評価され、漏斗流下時間やサンドカラム試験<sup>7)</sup>等でも簡易に評価できると考えられている。さらに、実施工においては30分以上60分程度までの経時的な品質安定性も重要な基本性能となる。そこでレオロジー特性や漏斗流下時間の経時変化性状についても検討を加えた。

## 2.4 高水圧抵抗性に影響を及ぼす品質特性

高水圧抵抗性に影響を及ぼす分離抵抗性は大深度下で岩盤注入する際の重要な特性である。この性質は主にブリーディング特性で評価されるが、グラウト材は水と粉体材料という密度の異なる二相材料からなっており、圧力作用や慣性力を受けると材料分離が生じ易いことから、凝結・硬化初期の水圧場でのせん断強度（抵抗性）が重要となることから、凝結時間、フォールコンによる初期せん断強度発現性、それに一軸圧縮強度により評価を実施した。

## 3. セメント系グラウトの特性評価試験の概要

Table 2 検討割合と混和剤添加率一覧  
Mix Proportions and SP Dosages

結合材の構成比 (%)	SP添加量 (B×%)				小計
	W/B=100%	W/B=125%	W/B=150%	W/B=200%	
OPC=100	3.0	-	2.0	-	6ヶ-ス
OPC:SF=50:50	4.5	4.5	3.0	2.5	12ヶ-ス
	5.5	5.0	4.0	3.0	
	6.0	5.5	4.5	3.5	
OPC:SF:SS=40:50:10	4.0	4.0	3.0	2.0	12ヶ-ス
	5.5	5.0	4.0	2.5	
	6.0	5.5	4.5	3.0	
OPC:SF:FA=40:40:20	3.5	-	1.5	1.0	9ヶ-ス
	4.0	-	3.0	2.0	
	4.5	-	4.0	3.0	
OPC:SF:FA=40:20:40	2.5	-	1.0	-	6ヶ-ス
	3.0	-	1.5	-	
OPC:SF:SS=30:60:10	3.5	-	2.0	-	6ヶ-ス
	5.0	-	3.0	-	
	5.5	-	4.0	-	
OPC:SF:FA=30:60:10	6.0	-	5.0	-	6ヶ-ス
	5.0	-	3.5	-	
	5.5	-	4.0	-	
OPC:SF:SS=20:50:30	6.0	-	5.0	-	6ヶ-ス
	4.5	-	3.0	-	
	5.0	-	4.0	-	
小計	24ヶ-ス	6ヶ-ス	24ヶ-ス	9ヶ-ス	合計 63ヶ-ス

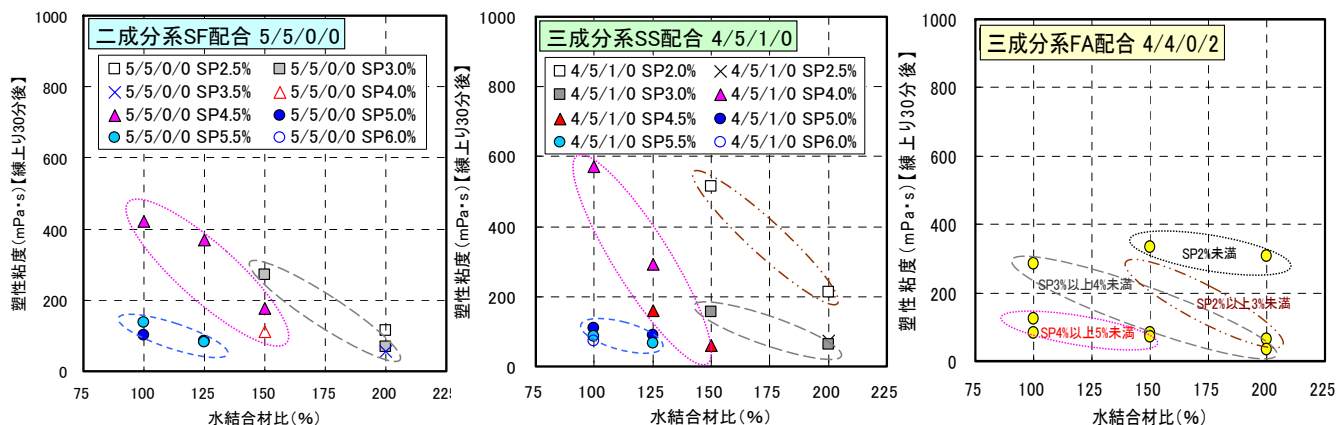


Fig.2 水結合材比, SP添加率と塑性粘度の関係  
Plastic viscosity, Water/Binder ratio and SP content

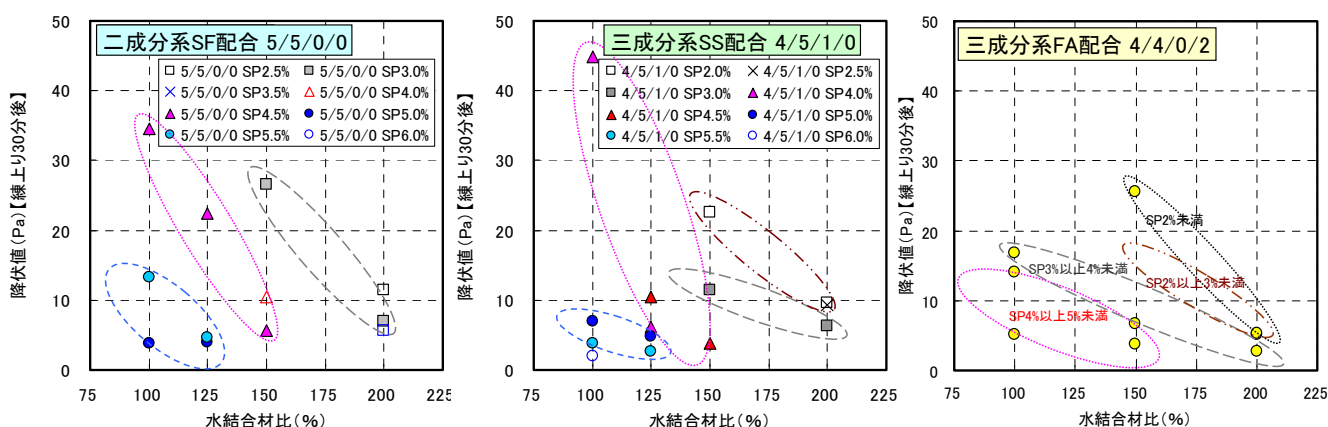


Fig.3 水結合材比, SP添加率と降伏値の関係  
Yield value, Water/Binder ratio and SP content

### 3.1 検討配合と粉体構成

平成19年度<sup>5)</sup>に実施した2成分系, 3成分系および4成分系の96配合の基礎物性試験結果より, 間隙浸透性や強度発現性に優れた全7種類の結合材組成 (SF二成分系1種類, SF-FA三成分系3種類, SF-SS三成分系3種類)が選定された。それらをベースに水結合材比を2段階 (100%, 150%) から4段階 (100%, 125%, 150%, 200%) に, 混和剤添加率 (結合材重量に対する割合) をそれぞれ3段階 (1.0~6.0%) に変化させた全63配合 (Table 2参照) を対象にフレッシュ性状評価試験を行った。

ここで結合材Bとは超微粒子OPCとシリカフェームSF, 球状シリカSS, フライアッシュFAの合計を言い, 水結合材比W/Bは水と結合材の重量比 (%) を示している。結合材構成比は, 本報ではOPC/SF/SS/FAの順に示し, 例えば4/5/1/0のように構成割合を記述するものとする。

### 3.2 試験項目と代表配合の選定手順

全63配合を対象に(a)レオメーターによる粘性試験 (塑性粘度と降伏値), (b)ファンネル漏斗流下試験, (c)鋼製メッシュ透過試験 (メッシュサイズ: 63,75,90,106,125 $\mu$ m), (d)JSCE-F532:ブリーディング試験を実施した。その後(a)

~(d)のフレッシュ性状評価試験結果で選定された代表20配合を対象に, (e)JSCE F502:加圧ブリーディング試験, (f)JIS R5201:凝結試験, (g)JGS T142:フォールコン試験, (h)JIS A1108:圧縮強度試験 (材齢28日) を実施した。

## 4. 間隙浸透性に関する性能評価試験結果

### 4.1 粘性評価試験による塑性粘度と降伏値の検討

レオメーターによる粘性試験結果の一例をFig.2,3に示す。水結合材比が小さくなるほどSP添加率は大きくなり, 同一SP添加率で比べると塑性粘度は水結合材比が小さくなるほど大きくなった。同じ水結合材比では, SP添加率が大きくなるほど塑性粘度は小さくなった。降伏値も塑性粘度とほぼ同様な結果であった。Paivioらの文献<sup>8)</sup>より, グラウトの塑性粘度は50mPas程度以下, 降伏値は5Pa以下で浸透性が良好との記述がある。SP添加率の少ない配合では全般にそれより大きい値となったものの, SP添加率の多い配合では, 間隙浸透性が良好であることが確認された。

### 4.2 漏斗流下試験による簡易粘性評価

ファンネル粘度計（容量500cc、吐出口φ4.8mm、Photo 1）を用いた流下試験の結果の一例をFig.4に示す。SP添加率が多くなるほど流下時間は短くなることが確認された。また、粘度が高くなるほど流下時間は長くなり、閉塞気味となった一部のデータを除けば、両者はほぼ直線関係にあると判断された。このことから、使用する結合材の組成が決まれば、ファンネル流下時間を計測することで粘度の変化を概略判定でき、この手法が現場での品質管理手法として十分使えるものと考えられる。



Photo 1 ファンネル試験装置  
Funnel Flow Time Test

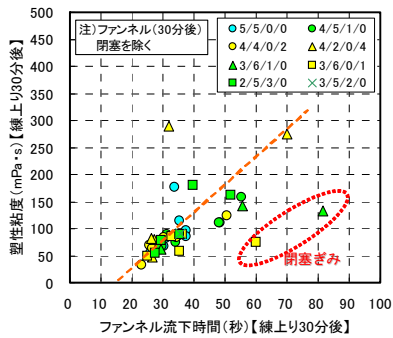


Fig.4 流下時間と粘度の関係  
Relationship between Funnel Flow Time and Plastic Viscosity

#### 4.3 鋼製メッシュ透過試験による浸透性の検討

鋼製メッシュ透過試験装置（Photo 2）を用いた微小間隙浸透性評価試験の結果の一例をFig.5に示す。背面からの加圧力は0.1MPaである。一般に、水結合材比が大きくなるほど、またSP添加率が多くなるほどグラウトの流動



Photo 2 鋼製メッシュ透過試験装置  
Permeability Testing Apparatus with Steel Meshes

性が高くなり、メッシュ透過量は少し増加する傾向にあったが、最終的に算定された最小メッシュサイズ（透過量が0となるメッシュサイズ、微小間隙浸透性の限界サイズと考えられる）はSP添加率で大きくは変わらない結果であった。また、結合材構成比がメッシュ透過量に及ぼす影響で見ると、FA系三成分系グラウトはSF二成分系グラウトに比べて透過量が多くなり、SS系三成分系グラウトは透過量が著しく少なくなった。

算定された最小メッシュサイズは、SS系三成分系グラウトが最も小さく40~50μm程度となり、次いでSF二成分系グラウトが42~57μm程度であり、粒子サイズが相対的に大きいFA（最大粒子径20μm）を混合した三成分系グラウトは56~63μmとやや大きくなった。水結合材比が最小メッシュサイズに及ぼす影響は比較的小さい。

#### 4.4 サンドカラム試験による間隙浸透性の検討

サンドカラム試験装置の構成と寸法概要をFig.6に示す。内径50mmの亚克力製モールド内に一定かさ密度で充填された珪砂にグラウト材料を下部から圧入するこ

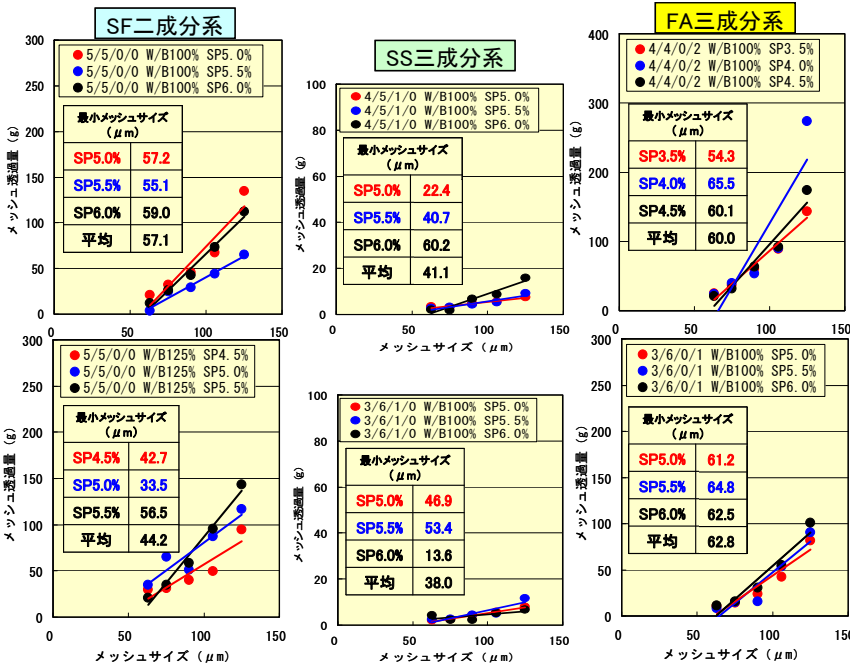


Fig.5 メッシュ透過試験における透過量とメッシュサイズの関係  
Relationship between Penetration Weight and Steel Mesh Size

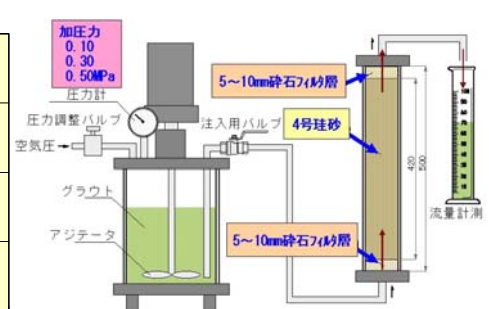


Fig.6 サンドカラム試験装置の概要  
Testing Apparatus for Sand Column Test

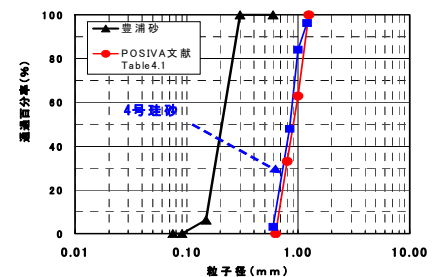


Fig.7 サンドカラム試験に使用した砂の粒度分布  
Size Distribution of Silicone Sand used for Sand Column Test



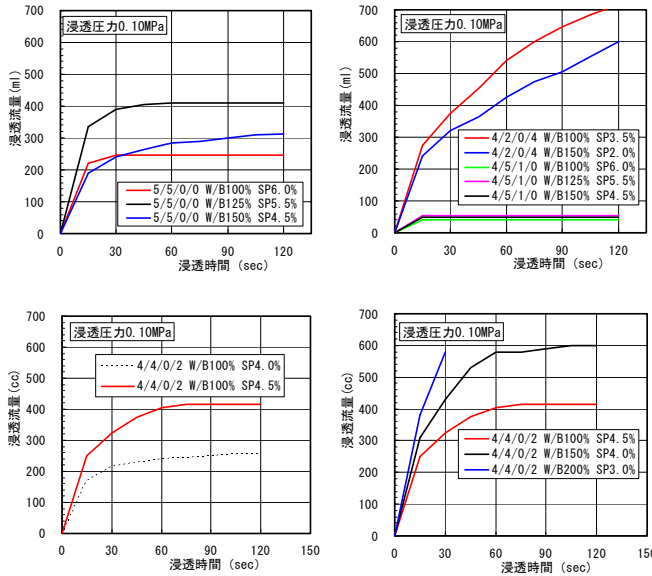


Fig.8 サンドカラム試験の結果の一例  
Some Results of Permeability Test with Sand Column

とによって間隙浸透性能を評価した。注入圧力は0.1MPaで定圧注入とし、途中で閉塞した場合のみ0.1→0.3→0.5MPaに順次変化させて影響を確認した。使用した珪砂はPosiva社の文献<sup>6)</sup>とほぼ同じ粒度分布を有する4号珪砂(粒度分布はFig.7参照)を使用した。サンドカラム試験の結果の一例をFig.8に示す。浸透流量が300cc程度で流出水が濁りだし、グラウト材に変わることから、この辺りの流量が今回のサンドカラム試料における間隙浸透量と考えられる。

全般に、SP添加率が多いほど、また水結合材比が大きいくほど浸透流量は多くなったが、5/5/0/0や4/2/0/4では水結合材比が大きいくほど少なくなるという逆転が見られた。これは、水結合材比と塑性粘度や降伏値の関係が逆転したこと(5/5/0/0の降伏値が水結合材比125%の4.7Paから150%の6.1Paに増加し、4/2/0/4の塑性粘度が水結合材比100%の48mPasから150%の81mPasに増加したこと)が一因と考えられる。水結合材比の増加に応じてSP添加率を徐々に低減させる配合調整が影響したと考えられる。

今回、最も浸透性が高くなったのはFA系3成分の4/4/0/2と4/2/0/4であり、次いで5/5/0/0の水比125%となり、SS系3成分4/5/1/0は浸透量が著しく少なくなった。

## 5. 高水圧抵抗性に関する性能評価試験結果

Table 3 ブリーディング試験結果 (JSCE F532)  
Bleeding Test Results (Bleeding Rate)

結合材の構成	2hr ブリーディング率(%)				24hr ブリーディング率(%)			
	W/B (%)				W/B (%)			
	100	125	150	200	100	125	150	200
5/5/0/0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
4/5/1/0	0	0	0.1	0.2	0	0	0	0
4/4/0/2	0	—	0.1	0.7	0	—	0	1.5
4/2/0/4	0.1	—	1.2	—	0	—	1.9	—
3/6/1/0	0	—	0	—	0	—	0	—
3/6/0/1	0	—	0.1	—	0	—	0	—

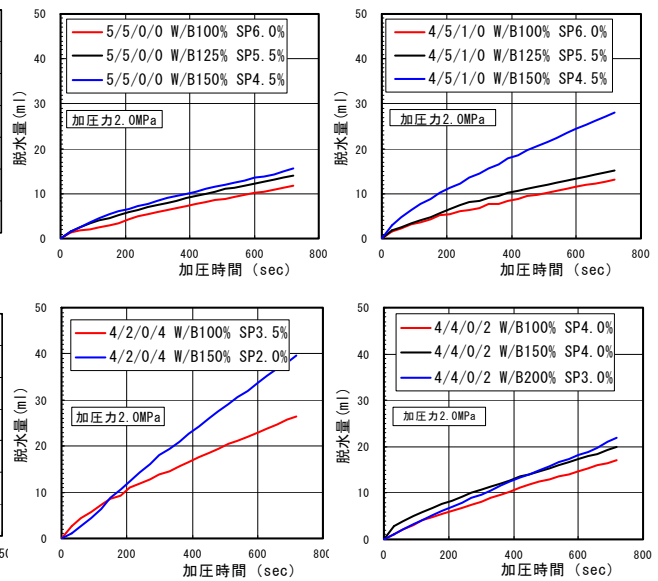


Fig.9 加圧ブリーディング試験結果の一例  
Some Results of Pressured Bleeding Test

### 5.1 ブリーディング試験, 加圧ブリーディング試験による材料分離抵抗性の検討

ポリエチレン袋法 (JSCE F532) によるブリーディング試験結果をTable 3に、加圧ブリーディング試験 (JSCE F502) の結果をFig.9に示す。サンドカラム試験で浸透性が良好であった4/2/0/4の水結合材比150%では24時間ブリーディング率が1.9%とやや大きく、それ以外は水結合材比150%以下ではほぼ0.1%か0%となった。いずれもPaivioらの文献<sup>8)</sup>で示された目標値2.0%より少なくなった。加圧ブリーディング率も4/2/0/4が最も多くなったことから、この配合は他のものに比べて分離抵抗性がやや劣ることが判明した。それ以外の配合では、FA系3成分4/4/0/2の200%でやや多く1.5%となったものの他は大差なく、何れも良好な分離抵抗性を示す結果であった。

### 5.2 凝結試験による初期硬化性状の検討

グラウトの凝結始発時間と水結合材比やSP添加率との関係の一例をFig10,11に、また、凝結終結時間と水結合材比の関係を図12にそれぞれ示す。始発時間は、比

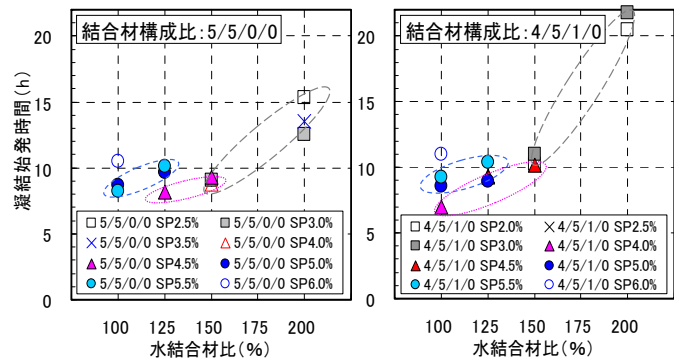


Fig.10 凝結始発時間と水結合材比の関係

Relationship between Initial Setting Time and Water/Binder ratio

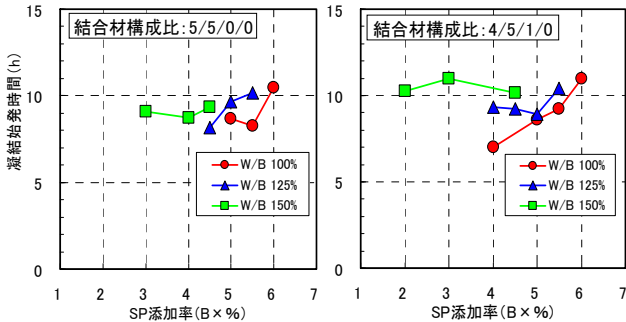


Fig.11 凝結始発時間とSP添加率の関係

Relationship between Initial Setting Time and SP content

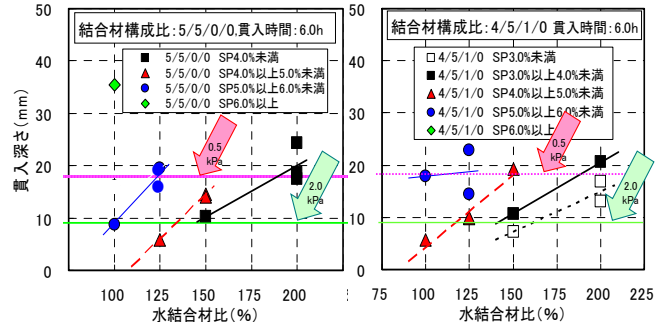


Fig.13 フォールコン貫入深さと水結合材比の関係

Relationship between Cone Penetration and Water/Binder ratio

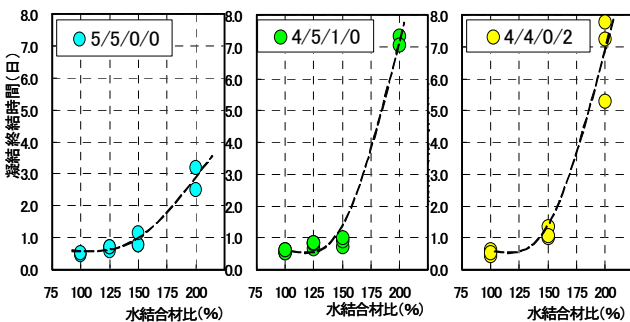


Fig.12 凝結終結時間と水結合材比の関係

Relationship between Final Setting Time and Water/Binder ratio

較的早いもので6~8時間程度、最も遅いもの（SS系3成分の4/5/1/0の水結合材比200%）で20~27時間程度であった。全般に水結合材比が大きいほど、またSP添加率が多いものほど始発時間は遅れる傾向にある。終結時間は0.44日（10.5時間）~7.77日（186.5時間）とかなりばらついているが、必ずしもSP添加率が多い配合ほど遅れるという結果ではなかったことから、終結時間は結合材構成比や水結合材比でほぼ決まるといえる。なお、2成分系より3成分系の方が、また3成分系ではFA系の方がSS系より終結時間は遅れる傾向にあった。

### 5.3 フォールコン試験による初期せん断強度の検討

注水後6時間におけるフォールコン貫入深さと水結合材比やSP添加率の関係の一例をFig.13に示す。Paivioらの文献<sup>8)</sup>によると、グラウトには6時間で0.5kPa以上の初期せん断強度が望まれている。概略0.2~8kPa程度の値が得られたが、6時間せん断強度が0.5kPa以上（貫入深さが18.4mm以下）となる水結合材比は、SP添加率が5.0%以上では125%程度以下、5%未満では150%程度以下が限界となると判断された。同一水結合材比では、SP添加率が高くなるほど貫入深さが大きく、6時間せん断強度は小さくなる傾向にあることから、浸透性が確保できる範囲でできるだけSP添加率が低い配合を選定することが望ましい。

なお、初期せん断強度はフォールコン試験における貫入深さから算定した。貫入深さからせん断強度を算定する換算表としては文献GLO-85<sup>9)</sup>を参考としたが、換算

表では、8.73kPa（貫入深さ4.0mm）から0.98kPa（同13.0mm）までしか記述がなく、それ以下の0.5kPaを判定するために指数近似計算でその貫入深さ18.4mmを推定した。

### 5.4 一軸圧縮強度試験による28日強度の検討

材齢28日の圧縮強度試験結果を結合材水比との関係で整理してFig.14に示す。最も強度が高くなったのは、SF2成分系の5/5/0/0であり、次いでSS系3成分の4/5/1/0が高く、結合材水比が1.0（水結合材比が100%）で18~21N/mm<sup>2</sup>程度と高い強度が得られた。次に強度が高くなったのはFA系3成分の4/4/0/2とOPC単味で、15~16N/mm<sup>2</sup>程度の値が得られた。それ以外の配合では、SS系3成分の3/6/1/0、FA系3成分の3/6/0/1、4/2/0/4で8N/mm<sup>2</sup>以上と目標（4.0N/mm<sup>2</sup>）以上の強度が得られた。なお、OPCが2割しか含まれない2/5/3/0では目標強度が得られなかった。

SFとOPCがほぼ等量ずつに近い結合材組成で比較的高い強度が得られていることから、強度発現性と後述するポズラン反応による低アルカリ性という性能を同時に満足させるには、SFとOPCの量のバランスを考慮する必要があると思われる。

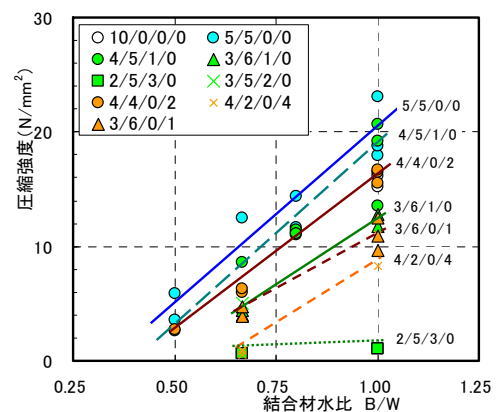


Fig.14 圧縮強度と結合材水比の関係

Relationship between Compressive Strength and Binder/Water ratio

### 5.5 グラウトの低アルカリ性に関する検討

pH測定結果をTable 4に示す。20℃では試験材齢が短いこともあり、pHが11.0以下になったのはOPCが3割以下の

Table 5 各種グラウト配合の性能比較表  
Comparative Table of Performance of Grouting Mixtures

No.	構成割合	水結合材比 (%)	SP添加率 (%)	練上り30分後			フリーデング (%)	加圧フリーデング (加圧300秒) (ml)	サンドカラム 30秒間浸透量 (ml)	ファールコン試験 pHセメント強度 (kPa)	凝結試験		圧縮強度 (材齢28日) (N/mm <sup>2</sup> )	評価結果とポイント
				流下時間 (秒)	塑性粘度 (mPa·s)	降伏値 (Pa)					始発 (時間)	終結 (時間)		
1	5500	100	6.0	37.4	96.4	3.1	0	5.8	245	0.3	10.5	12.8	18.8	△ 3
2	"	100	5.5	117	184	12.5	0	7.8	205	2.2	8.3	11.5	17.9	× -1
3	"	125	5.5	30.9	81.0	4.7	0	7.5	390	0.5	10.2	17.7	14.4	◎ 12
4	"	150	4.5	33.8	82.5	6.1	0	8.4	240	0.8	9.3	27.7	12.5	△ 4
5	4510	100	6.0	29.2	73.1	2.0	0	6.9	40	0.3	11.0	15.3	13.5	△ 6
6	"	100	5.5	35.4	87.5	3.8	0	12.8	55	0.6	9.3	12.7	19.2	× -4
7	"	125	5.5	29.6	66.6	2.6	0	8.4	57	0.4	10.4	20.3	11.1	△ 1
8	"	150	4.5	28.7	61.3	3.9	0	14.5	48	0.4	10.2	62.0	8.6	× -7
9	4402	100	4.5	34.2	82.9	5.1	0	8.2	325	0.8	9.8	13.0	15.5	○ 10
10	"	100	4.0	50.5	124	14.1	0	5.8	220	4.1	8.0	10.8	16.7	× 0
11	"	150	4.0	25.7	69.6	3.8	0	10.8	480	0.2	13.8	25.5	6.3	× -4
12	4204	100	3.5	26.6	48.0	5.6	0	13.8	380	0.6	10.1	18.7	8.3	× 5
13	"	150	2.0	26.1	81.0	3.0	1.9	18.0	320	0.5	10.0	55.0	0.8	× -5
14	3610	100	6.0	28.6	70.6	1.2	0	10.1	50	0.6	9.5	11.3	11.8	△ 7
15	"	150	5.0	29.4	61.9	4.9	0	9.5	75	2.8	8.1	26.2	4.4	× -3
16	3601	100	6.0	32.8	84.7	1.8	0	6.9	310	0.2	11.9	13.8	9.7	○ 7
17	"	150	5.0	25.1	48.5	0.9	0	7.0	305	0.4	10.9	33.2	4.7	× 3
18	2530	100	5.5	27.5	54.1	1.0	0	9.4	65	1.2	9.8	15.3	5.0	× 4
19	"	150	5.0	35.4	88.4	5.6	0	10.9	50	3.1	9.7	76.0	1.5	× -12

marsh corn  
 POSIVA規準 管理目標案 fannel  
 ≤45 (≤34.2) ; ≤50 (≤35.2) ; ≤5.0 (≤3.0) ; ≤2.0 (≤1.5) ; ≤9.0 (≤9.0) ; ≥200 (?) ; ≥0.5 ; (≤11.2) ; (≤18.2) ; ≥4.0 (≥6.0)  
 参考  
 評価ランク 評価点 -4 -2 +1 +2

Table 4 グラウトのpH測定結果 (一例)  
Some Results of pH Measurement of Hardened Grout

結合材構成比 OPC/SF/SS/FA	水結合材比 W/B (%)	pH 測定値 (20°C)		pH 測定値 (50°C)	
		イオン交換水	人工海水	イオン交換水	人工海水
		5/5/0/0	100	12.11	11.40
5/5/0/0	200	12.09	11.49	10.63	9.40
4/5/1/0	200	12.29	11.54	10.50	9.32
4/4/0/2	100	11.98	11.16	10.68	9.52
4/4/0/2	200	12.28	11.44	10.66	9.47
4/2/0/4	100	12.35	11.83	10.37	9.97
3/6/1/0	100	11.56	10.30	10.60	9.61
3/6/0/1	100	11.31	10.02	10.49	9.28
2/5/3/0	100	10.93	9.71	10.22	9.05

結合材構成のみ (3/6/1/0, 3/6/0/1, 2/5/3/0の人工海水)であったが、50°Cでは反応が促進され、何れもpHが11を下回る結果であった。このことから、長期材齢で反応が十分進行した条件においては、今回のようにポズランを5割程度以上混合することで目標通りの低アルカリ性 (pHが11以下、文献<sup>3)</sup>参照) が期待できることが確認された。

なお、pHは硬化したグラウトを所定温度で2週間養生し、乾燥後微粉碎して、イオン交換水あるいは人工海水で液固比5:1 で72時間振とう攪拌しながら飽和させた後、ガラス電極法により測定した。

### 6. 最適な配合選定に関する一考察

これまで示した間隙浸透性や高水圧抵抗性の結果を総

的に判断して、推奨できる最適配合の選定を試みた。Table 5にその判定結果の一例を示す。各項目に技術的に評価した岩盤グラウトとしての優劣のポイント (+2から-4)を付けてそれらを合計した。この場合、文献<sup>8)</sup>で示されるPosiva社の評価基準をベースとし、筆者らの経験的判断を加味して目標達成レベルを評価した。その結果、右端に示したように2成分系5/5/0/0の水結合材比125% (SP添加率5.5%) が全ての品質が良好で最も優れていると判断された。次いで、FA3成分系4/4/0/2の水結合材比100% (SP添加率4.5%) が次候補になると判断された。

なお、サンドカラム試験は砂粒子間隙への浸透性を評価するもので、岩盤亀裂のような連続した空隙への浸透性を評価する目的とは若干異なっており、粉体粒子閉塞 (濃縮) による目詰まり等を厳しく判定していると考えられたため、評価を幾分割り引いて総括に盛り込んでいる。

### 7. まとめ

高レベル放射性廃棄物処分用の岩盤グラウトには、微細な岩盤亀裂への間隙浸透性や高圧注入時の分離抵抗性、初期のせん断強度や長期強度が要求され、さらに閉鎖後長年月におけるバリア性能の不確実性の増大を抑制するために低アルカリ性が必要とされる。これまでの研究により、それらの高い要求性能を満足できる低アルカリ性のセメント系グラウトの配合選定が可能となることが確認され、今回、現場適用試験に向けた推奨配合を選定す

ることができた。

本研究の過程で得られた技術成果は、今後の地層処分事業の推進や地層処分技術を高度化する上での有益な情報になり得ると考える。

#### 謝辞

本件は日本原子力研究開発機構が経済産業省資源エネルギー庁から受託した「平成19年度、20年度地層処分技術調査等委託費（高レベル放射性廃棄物処分関連：地下坑道施工技術高度化開発）」の一部を当社が実施したものである。

実験研究の遂行にあたり、終始高度で技術的なご指導を頂きました独立行政法人日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門の油井三和様、小林保之様、泉 敦 様、新貝文昭様はじめ関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 分冊2 工学技術の開発, (2005)
- 2) 入矢桂史郎ほか：幌延研究センターにおけるコンク

リート材料の施工性に関する研究（Ⅱ），JNC TJ84002002-013, pp.75-81, (2002)

- 3) 入矢桂史郎ほか：ボゾランを高含有した低アルカリ性コンクリートの開発, 大林組技術研究所報 No.66, (2003)
- 4) 小西一寛ほか：幌延深地層研究計画における低アルカリセメントを用いた吹付けコンクリートの施工性に関する研究, JAEA-Research 2006-040, (2006)
- 5) 三浦律彦ほか：低アルカリ性セメントグラウト材料の基礎物性に関する検討, 土木学会第63回年次学術講演会 CS05-32, pp.231-232, (2008)
- 6) Penetrability Meter, R20 Programme: Field Testing of Grouting Materials, Posiva, Working Report 2007-102, (2008)
- 7) 吉田了三ほか：超微粒子セメントの砂質地盤への浸透性と止水性に関する実験, 地盤工学発表会Vol.43, 2の1, pp.677-678, (2008)
- 8) Raivio, P. et.al. : Technical Performance of Cementitious Grouting Materials for ONKALO –Laboratory Tests 2006-, Posiva, Working Report 2007-76, (2007)
- 9) GLO-85: Finnish Geotechnical Society, (1985)