

# 超重泥水と材料配合・調合

NB研究所  
(株)テルナイト 長江泰史

## 説明項目

- a.泥水について
- b.超重泥水と配合・調合について
- c.亀裂閉塞用高比重泥水と配合・調合について

# はじめに

## 泥水とは…

- 石油天然ガスなどの地層から抽出された流体で、水や油と混合することで、特定の物理化学特性を持たせた流体
- 土木基礎工事に於いては、「安定液」の名前で杭工事、地中連続壁工事などに使用されている流体

北海道、秋田、新潟陸域の石油  
天然ガス開発（掘削深度：  
4000～6000m）日本周辺海  
域の石油天然ガス開発及び「ち  
きゅう号」によるメタンハイド  
レート掘削に使用されている

泥水に使用される材料には…

- 泥水調整剤の種類は、粘土類だけで40種類、全体では300種類を超える

## 超重泥水と配合・調合について

## 使用環境及び要求仕様の調査

## 福島第一原子力発電所廃炉作業で「泥水技術」を適用できないか？検討

## 使用環境は？

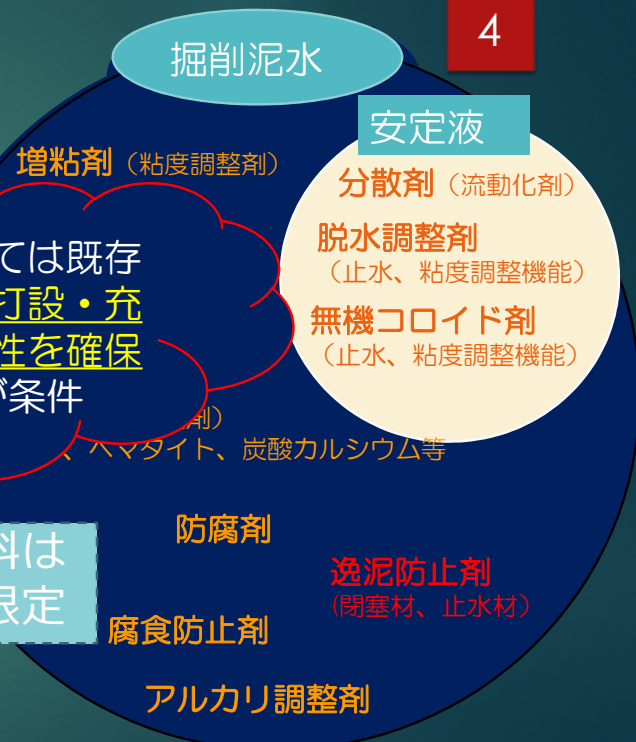
- 高線量の放射線照射環境
- 長期間、冷却水、地下水に曝露
- 高温のデブリと接触する可

## 要求される仕様は？

- 安全な施工性（充填性等）
- 放射線遮蔽機能を有する
- 耐放射線特性を有し、長期安定
- 止水性・遮水性機能を有する
- デブリ回収作業時の飛散防止機能
- 最終処分が容易である

使用に際しては既存  
の施工技術で打設・充  
填可能な流動性を確保  
できる事が条件

適用できる材料は  
無機系材料に限定



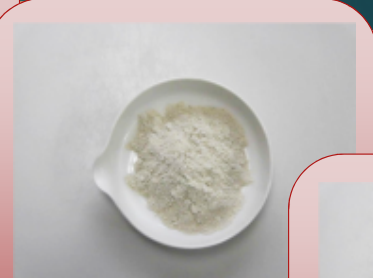
## 超重泥水配合組成

5

| 材料名   | 配合組成                | 目的        |
|-------|---------------------|-----------|
| 溶媒    | 水                   |           |
| 加重剤   | NBウェイト<br>(硫酸バリウム等) |           |
| 無機増粘剤 | NBクレイ<br>(高膨潤性粘土鉱物) | 遮水性調整     |
| 分散剤   | NBフロー<br>(リン酸塩)     | 流動性(粘度)調整 |



加重剤



無機増粘剤



分散剤

1. 流体の調整可能な最小の透水係数が $10^{-10} \sim 10^{-11}$  (m/sec)
2. 調整可能な最大密度が約 $2.60$  (g/cm<sup>3</sup>)

## 流動調整

6

超重泥水の配合組成（特に分散剤と粘土配合）  
を変えることで流動性質の調整が可能



低流動性



高流動性





## 超重泥水の配合及び調合について

7

超重泥水の配合・調合を行うためには、使用する3種類の材料が泥水機能に及ぼす影響（効果）を予め、理解している必要がある。

### 流体密度の調整

超重泥水の密度は、内容量が一定な鋼製容器にスラリーを擦り切れ一杯充填し、重量を測定する。得られたスラリー重量より密度を求める。また、密度調整は、（式-1）及び（式-2）を用いて計算し、必要な水量及び加重材の量を算出して作泥（製造）に使用する。

$$S = D_0 * V_1 * (D_2 - D_1) / (D_0 - D_2) \dots \dots \dots \text{（式-1）}$$

$$W = (D_1 - D_2) * V_1 / (D_2 - D_w) \dots \dots \dots \text{（式-2）}$$

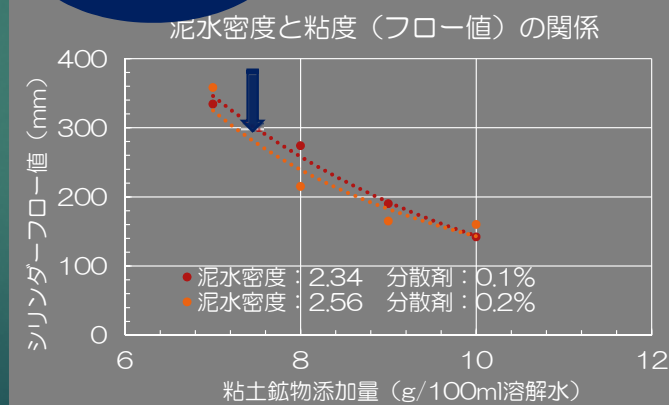
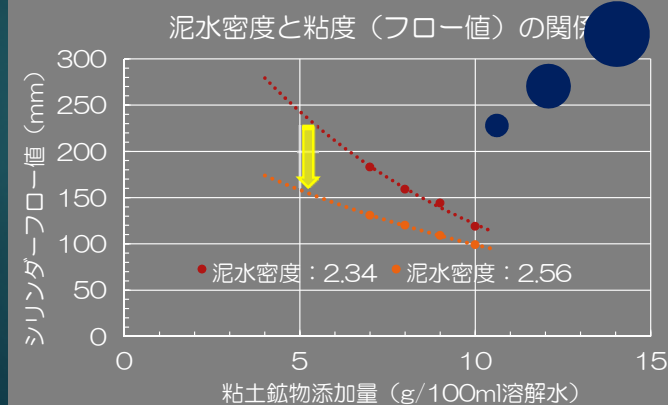
$V_1$  : 初期の泥水容量 ( $m^3$ )       $D_1$  : 初期泥水密度 ( $g/cm^3$ )  
 $D_2$  : 目的の泥水密度 ( $g/cm^3$ )       $D_w$  : 加える水又は泥水の密度 ( $g/cm^3$ )  
 $D_0$  : NBウェイトの真密度 ( $g/cm^3$ )      (通常  $4.2g/cc$  を使用)  
 $S$  : NBウェイトの必要量 (t)       $W$  : 加水(泥)量 ( $m^3$ )

## 泥水配合と泥水密度及び泥水粘度の関係

8

| 添加剤名           | 配合組成 | 添加量       |           |
|----------------|------|-----------|-----------|
|                |      | 密度 : 2.34 | 密度 : 2.56 |
| 水道水            |      | 100       | 100       |
| NBウェイト (バライト等) |      | 300       | 400       |
| NBクレイ (粘土鉱物等)  |      | 7.0       | 0 ~ 10.0  |
| NBフロー (分散剤)    |      | 0.0       | 0.1 ~ 0.2 |

- 泥水粘度を一定範囲に維持し泥水密度を増加させる場合、粘土鉱物含有量を減じなければ一定範囲の流体粘度を維持できない
- 予め、一定濃度の分散剤を添加する事により、密度の増加に伴う粘度の上昇を緩和することが出来る。

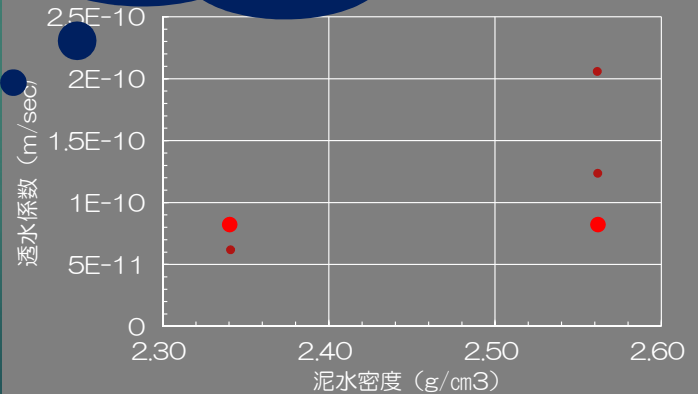
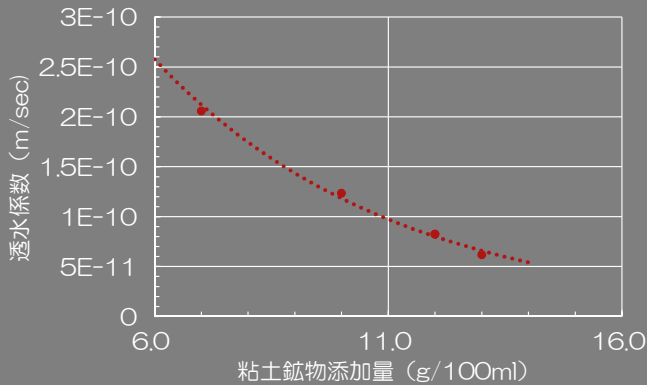




## 泥水配合と透水係数の関係

| 配合組成<br>添加剤名   | 添加量 (g)  |          |         |         |         |
|----------------|----------|----------|---------|---------|---------|
|                | 密度：2.56  | 密度：2.56  | 密度：2.56 | 密度：2.34 | 密度：2.34 |
| 水道水            | 100      | 100      | 100     | 100     | 100     |
| NBウェイト (バライト等) | 400.0    | 400.0    | 400.0   | 300.0   | 300.0   |
| NBクレイ (粘土鉱物等)  | 7.0      | 10.0     | 13.0    |         |         |
| NBフロー (分散剤)    | 0.2      | 0.2      | 0.2     | 0.2     | 0.2     |
| 透水係数 (m/sec)   | 2.06E-10 | 1.23E-10 | 1.0E-11 | 1.0E-11 | 1.0E-11 |
| シリンダーフロー値 (mm) | 358      | 120      | 103     |         |         |

透水係数は粘土鉱物（ベントナイト）添加量増加に伴い減少するが、泥水密度との関係性は小さい



## 超重泥水の作泥（製造）方法

10

要求仕様

超重泥水の仕様  
を決定

NBクレイ必要  
量の算出

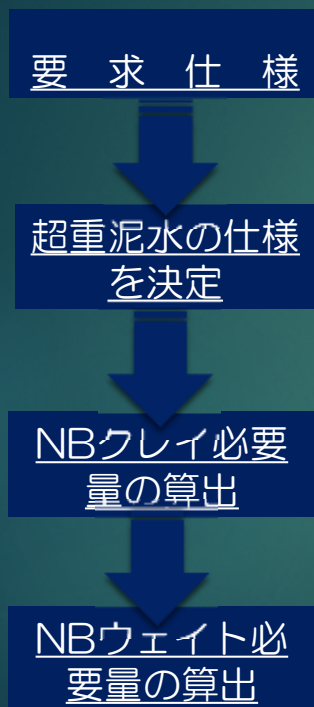
NBウェイト必  
要量の算出

- ① 放射線遮蔽機能（最大）
- ② 遮水機能（最大の低透水機能）
- ③ 施工性（既存の施工技術で対応）
- ④ 耐放射線、長期安定性
- ⑤ 空隙閉塞機能

- ① 泥水密度：2.50(g/cm³)
- ② 透水係数：10<sup>-10</sup>以下
- ③ シリンダーフロー値：250±50(mm)
- ④ 無機系材料に限定
- ⑤ 空隙径（透水係数）から閉塞材を選定

## 超重泥水の作泥（製造）方法

11



- 泥水密度とシリンドルフロー値との関係を調べてグラフ化
- 泥水仕様が決まった時点で配合試験

例えば、前法

- ① 分散剤
- ② 分散剤
- ③

NBケ

超重泥水100 (m³) 作泥に必要な材料は

- ① 水 : 52.2 (m³)
- ② NBウェイト : 193.4 (t)
- ③ NBクレイ : 4.7 (t)
- ④ NBフロー : 104.3 (kg)

となる。

目的泥水密度より、①～④の必要量を計算する。

例えば、最大密度2.56を採用

- NBクレイ泥水量 : 103.5(m³)
- NBウェイト必要量 : 370.7(t)
- 増泥量 : 88.2(m³)
- 出来上り総泥水量 : 191.7(m³) となる。

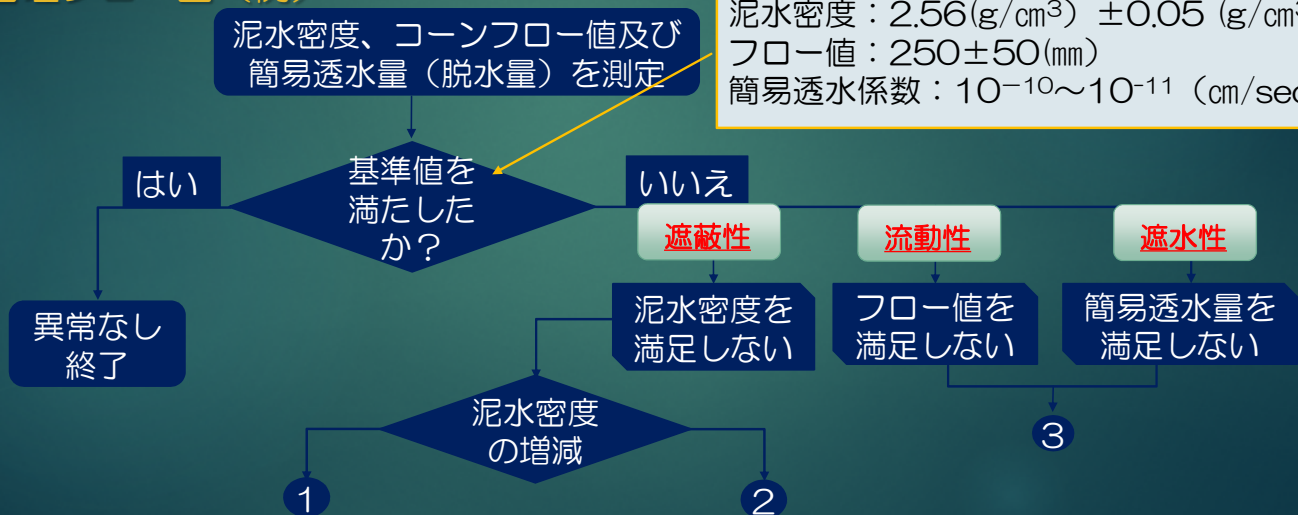
## 超重泥水の調整方法

12

超重泥水は製造後、速やかにPCV内或いはベント管内に充填され、循環されることはないことから日常的に泥水を調整することはない。また、地上に保管する泥水は、十分な凍結対策と雨水の侵入及び蒸発防止対策を実施していることを考慮すれば、大きな問題は生じないと考えられる。

しかしながら、緊急用の泥水については、一定期間毎に泥水試験を実施して泥水性状を確認する必要があると思われることから泥水の管理・調整方法について、以下にフロー図で概要を示す。

### 泥水管理フロー図（例）



## 泥水密度の調整

1

2

13

泥量が増加、泥水密度が低下

### 調泥(1)

式-1よりNBウェイト量を計算

1. 必要に応じて予備試験を実施し、タンク循環しながらNBウェイト添加・調整

泥量が減少、泥水密度が増加

### 調泥(2)

1. 式-2より、加水量を計算

2. タンク循環しながら少量ずつ水又は、NBクレイ懸濁液を加え密度を調整

泥量の変化なし  
泥水密度が増減

### 調泥(3)

1. タンク内循環・攪拌を十分に行った後、再度、密度を測定（十分、脱気して測定）

泥水密度の再調泥

### 調泥(4)

1. 試料を脱気して再度、密度測定
2. 泥水サンプルを採取し、NBウェイト添加の予備試験を実施
3. 基準を満足するバライト添加量を見出し、タンク内の泥水を調整

## フロー値、透水量の調整 3

14

フロー値が250  
±50mm以上

### 調泥(5)

泥水試料を採取し、粘土添加の予備試験を実施

1. 基準を満足する粘土添加量を見出し、タンク内の泥水を調整（泥量が増加している場合は増泥量から必要な粘土量を算出）

フロー値が250  
±50mm以下

### 調泥(6)

泥水試料を採取し、以下の予備試験を実施

1. NBフロー(分散剤)を添加してのフロー値を確認
2. NBフローの添加と加水を併用してフロー値を確認  
泥水の調整は項目1の結果を優先する。改善される各添加量を見出し、タンク内の泥水を調整する

簡易透水量を満足しない

### 調泥(7)

泥水試料を採取し、以下の予備試験を実施

1. MBC測定結果から必要なNBクレイ量を求めて添加し、簡易透水試験を行う。
2. 流動性が悪化する場合は、NBフローを併用し、必要に応じて泥水密度を下げる

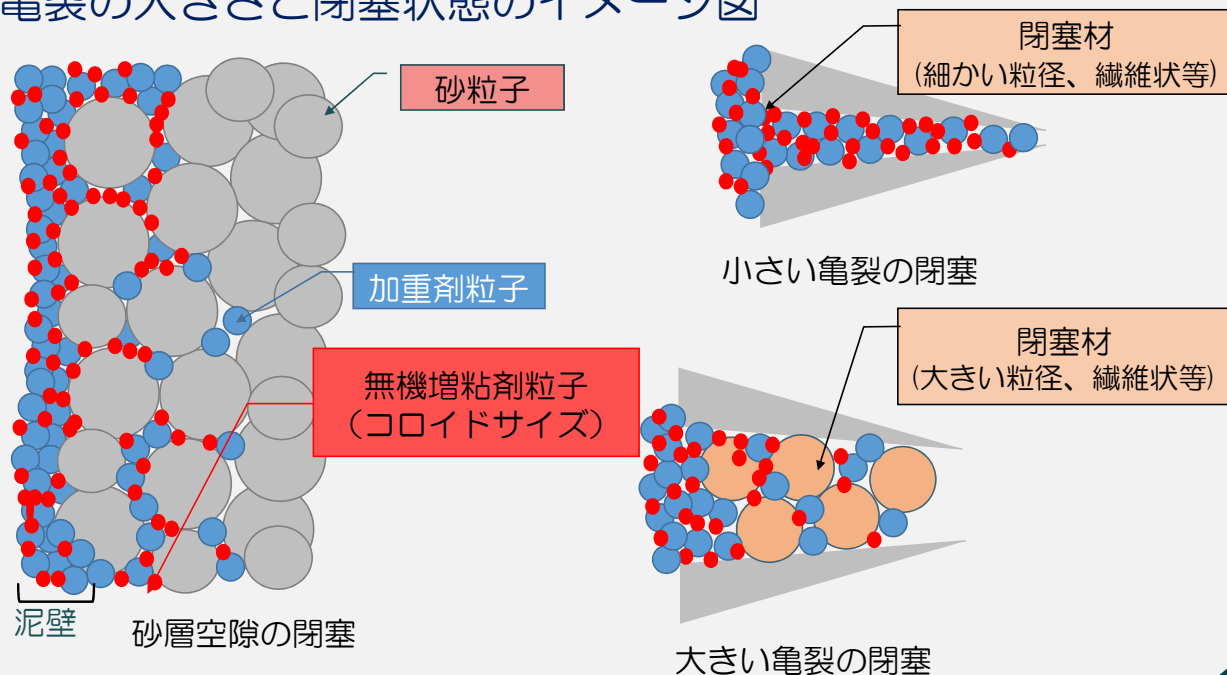


## まとめ

- 超重泥水を製造、調合する場合は、使用されている各材料が泥水性状及び重泥水機能に及ぼす効果を事前に把握する
- 超重泥水の一つの泥水性状の低下は複数の機能低下に影響を及ぼす場合が多い
- 超重泥水を調合する場合は、一つの泥水機能について考えるのではなく、調合することによる他の機能への影響を考慮する

## 亀裂閉塞用高比重泥水の配合・調合方法

### 亀裂の大きさと閉塞状態のイメージ図



## 亀裂閉塞用高比重泥水の作泥（製造）方法

17

福島第一原発の廃炉作業を想定し、  
及び原発建屋周辺地盤の透水係数が  
塞用高比重泥水の製造及び適用の可  
超重泥水と同様に無機系材料に絞ら

【例】

適用箇所：ベント管（管周）漏水箇所  
亀裂幅：0.23(mm) @0.4(Mpa)→最大2.5(mm)  
亀裂タイプ：管周、スリット、粒状の3種類  
その他：耐放射線機能(70Sv/hr x 40年)  
耐用年数40年など

①止 水 条 件

②使用材料の選定

③配合組成の検討

【例】

① ベース流体選定；超重泥水  
② 閉塞材選定：無機閉塞材の中から粒状、板状、  
繊維状の材料で亀裂幅を含み幅広い粒度分布を  
持つ材料を選定

① 閉塞材の添加量と流動性（粘度）の関係を検討  
（泥水密度を下げる）  
② 個々の使用材料の粒度分布を考慮し、最小亀裂  
幅から順次、止水（閉塞）試験を実施  
③ 止水可能な閉塞材配合組成を決定

## 配合組成の検討（閉塞材の選定）

18

無機閉塞材の中から粒状、鱗片状、繊維状の材料で亀裂幅を含み幅広い粒度分布を持つ材料を選定

| 材 料 名               | 粒度分布範囲<br>( $\mu$ ) | 平均粒子径<br>( $\mu$ ) |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| NBクレイⅠ型<br>(ベントナイト) | 0.2~32              | 2.6                |
| NBウェイト<br>(硫酸バリウム)  | 0.7~96              | 18.3               |
| NBプラグ6号             | 50~275              | 100                |
| NBプラグ4号             | 125~925             | 400                |
| NBプラグ2号             | 425~2180            | 2(mm)              |
| NBプラグ1号             | 425~5175            | 3~4(mm)            |
| NBファイバー             | 繊維太さ：4 $\mu$ 長さ：数ミリ |                    |
| NBマイカ               | 123~4788            | 900                |



## 配合組成の検討（一次評価試験）

19

実際には、以下の点を考慮しつつ約70配合組成について評価試験を実施して一次評価基準を満足する左表の配合組成を選択する。

### 試験実施のポイント!!

- 多量の閉塞材が泥水中に含まれる配合組成となることから泥水密度は流動性が確保できる値まで低下させる。
- 止水機能を高めるためには遮水機能の高い粘土鉱物の濃度を高く維持する

| 製品名                       | 流体密度            | 1.72            | 1.83            | 1.92            |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                           | 流体密度別の配合組成範囲(g) |                 |                 |                 |
| 水道水                       |                 | 100             | 100             | 100             |
| NBクレイⅠ型                   |                 | 10              | 11              | 10~11           |
| NBフロー                     |                 | 0.2             | 0.5             | 0.5             |
| 6種類閉塞材合計                  |                 | 28~30           | 28~30           | 28~30           |
| NBウェイト                    |                 | 100             | 130             | 150             |
| CF値(mm) 1分後               |                 | 260~286         | 272~289         | 213~284         |
| SS値(mg/ℓ) 1分後<br>(トレミー工法) |                 | 20以下            | 20以下            | 20以下            |
| pH値 (トレミー工法)              |                 | 7.3~7.5         | 7.3~7.4         | 7.3~7.5         |
| 遊離水(%) 24時間後              |                 | 無し              | 無し              | 無し              |
| 透水係数(m/sec)<br>24時間後      |                 | 8E-11~<br>6E-11 | 6E-11~<br>5E-11 | 8E-11~<br>6E-11 |
| 泥水密度(g/cc)                |                 | 1.71~1.73       | 1.83~1.84       | 1.90~1.92       |

## 配合組成の検討（止水試験結果）

| 材料名                | 配合No    | 1    | 35   | 100  |
|--------------------|---------|------|------|------|
| 溶媒                 | 水道水     |      |      |      |
| 無機増粘剤              | NBクレイⅠ型 |      |      |      |
| 分散剤                | NBフロー   |      |      |      |
| 無機閉塞材              | NBファイバー |      |      |      |
|                    | NBプラグ1号 | 0    | 0    | 0    |
|                    | NBプラグ2号 | 0    | 12   | 16   |
|                    | NBプラグ4号 | 6    | 12   | 16   |
|                    | NBプラグ6号 | 6    | 12   | 16   |
|                    | NBマイカ   | 8    | 12   | 16   |
| 加重材                | NBウェイト  | 130  |      | 130  |
| CF値(mm) 1分後        |         | 273  |      | 264  |
| 泥水密度(g/cc)         |         | 1.83 |      | 1.92 |
| 止水試験結果<br>@0.15Mpa | 亀裂幅(mm) | 6.0  |      |      |
|                    | 0.17    | 3.4  |      |      |
|                    | 0.22    | 3.5  | 3.9  |      |
|                    | 1.78    |      |      |      |
|                    | 2.04    | 閉塞せず | 22.5 | 8.0  |
|                    | 2.79    | 閉塞せず | 閉塞せず | 閉塞せず |

0.22mm程度の幅の亀裂まで閉塞可能

2.0mm程度の幅の亀裂まで閉塞可能

2.7mm程度の幅の亀裂まで閉塞可能

0.5

12.0

12.0

12.0

12.0

12.0

130

264

1.92

6.7



## 配合組成の検討（止水試験結果）

選定した配合組成について大型  
止水試験装置（1 / 10、1 / 1  
スケール）を用いて閉塞・止水機  
能を評価する

### 選定した配合組成

| 材料名   | 製品名     | 配合量  |
|-------|---------|------|
| 溶媒    | 水道水     | 100  |
| 無機増粘剤 | NBクレイⅠ型 | 10.0 |
| 分散剤   | NBフロー   | 0.5  |
| 閉塞材   | NBファイバー | 12.0 |
|       | NBプラグ1号 | 12.0 |
|       | NBプラグ2号 | 12.0 |
|       | NBプラグ4号 | 12.0 |
|       | NBプラグ6号 | 12.0 |
| 加重材   | NBマイカ   | 12.0 |
|       | NBウェイト  | 130  |

| 圧力<br>(Mpa) | 亀裂幅<br>(mm) | 60分間脱水量<br>(ml) |
|-------------|-------------|-----------------|
| 0.15        | 0.22        | 6.7             |
|             | 2.79        | 11.8            |
| 0.40        | 0.17        | 12.7            |
|             | 2.81        | 12.5            |

### 簡易閉塞試験装置

本装置における大気圧  
下における水の流出速度

亀裂幅：0.2～2.8(mm)  
流出量：250 (ml/分)  
～2000 (ml/分)

亀裂閉塞用  
高比重泥水



ガラス  
ビーズ

閉塞後の泥壁

22

2019/1/9

亀裂閉塞用  
高比重泥水



セメントコア  
同心円タイプ亀裂

閉塞後の泥壁

ご清聴ありがとうございました。