

# 浚渫土を材料とする脱水固化処理土の製作実験とその特性

国土交通省 北九州港湾・空港整備事務所 正会員 中道 正人  
一般財団法人沿岸技術研究センター 非会員 川原 修  
株式会社日建設計シビル 正会員 片桐 雅明  
りんかい日産建設株式会社 非会員 長野 敏之

## 1. はじめに

日本海と瀬戸内海を結ぶ関門航路は、我が国の重要航路の一つであり、船舶の大型化に伴う航路増深や維持浚渫により、毎年 50 万 m<sup>3</sup> 以上の浚渫土が発生している。それら浚渫土は北九州空港に隣接する新門司沖土砂処分場に埋立処分されているが、近年、その受入容量が減少し、浚渫計画に必要な受入容量を確保しておく必要がある。

そこで、国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所では、平成 22～26 年度の 5 年間、新門司沖土砂処分場において、高圧フィルタープレス（以下、PFP 機という）を用い、処分場内に堆積している浚渫土を脱水処理して、築堤の嵩上げ材として利用する受入容量拡大事業をおこなってきた。さらに、平成 26 年度には、浚渫土の再利用の用途拡大を図るため、固化材を添加した浚渫土を脱水させた脱水固化処理土を製作し、その特性を調査し始めた。

本文は、脱水固化処理土の製作工程、製作した脱水固化処理土の各種特性、ならびに建設用材としての適応性を検討するための現場試験を紹介する。

## 2. 脱水固化処理土の製作

### 2.1. 浚渫土の性質

脱水固化処理土の母材となる浚渫土の物理特性を、表 1 に示す。砂分は数パーセントで、母材となる浚渫土は高塑性粘土に分類される。

表 1 原泥の物理特性

|       |                      |             |
|-------|----------------------|-------------|
| 含水比   | (%)                  | 172.2～177.1 |
| 土粒子密度 | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.657～2.676 |
| 液性限界  | (%)                  | 95.8～99.0   |
| 塑性指数  |                      | 61.1～63.2   |

### 2.2. 製作フローと各工種の概略説明

脱水固化処理土の製作工程を、図 1 に示す。以下、各工程を概説する。

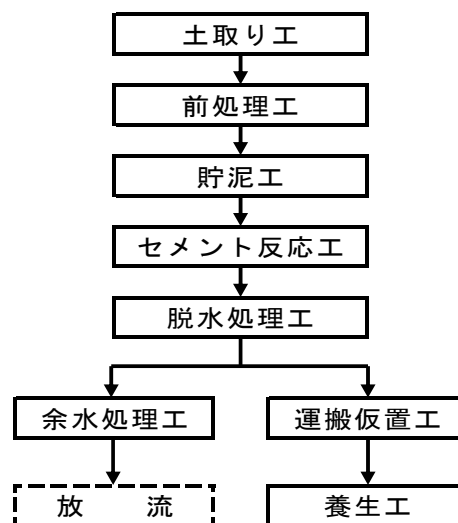


図 1 脱水固化処理土の製作工程

#### 【土取り工】

土砂処分場に配置してある空気圧送船を用いて、土砂処分場に堆積している浚渫土砂をバックホウで採取し、空気圧送によって前処理施設に移送する工程である。

#### 【前処理工】

移送された浚渫土から、トロンメル・振動篩を用いて、脱水処理過程で障害となる 75 μm 以上の砂・レキ・貝殻を除去する工程と、所定の密度(1.25 g/cm<sup>3</sup> 以下) になるように加水する工程である。以下、この前処理した浚渫土を泥土とよぶ。

#### 【貯泥工】

土取り能力と脱水処理能力との差を調整するための施設（貯泥槽）に、泥土を貯留する工程で

ある。

#### 【セメント反応工】

所定の添加率のセメント量を加える工程である。添加量は貯泥槽からセメント反応槽に移送する管内に設置した密度計と流量計で泥土の乾燥重量を算定した。また、セメントを添加してから脱水終了までの時間は2時間として、それに見合う量を準備した。なお、添加するセメントは高炉セメントB種である。

#### 【脱水処理工】

PFP機による脱水過程である。そのメカニズムは、周囲に濾布を敷設した濾室内に高含水比の泥土を高圧ポンプで送り込み、濾布から泥土の間隙水を脱水するもので、高圧ポンプの供給圧は4MPaとした。用いたPFP機の外観を写真1に示す。



写真1 PFP機の全景

#### 【余水処理工】

脱水処理により発生したろ水を中和する工程である。具体的には、炭酸ガス中和装置を用い、pH 7.8～8.3に中和させた。

#### 【養生工】

添加したセメントが反応して安定するまでの養生過程である。具体的には、脱水後開枠して落下した脱水固化処理土（写真2参照）に対して、まず、散水養生を12時間以上おこない、その後、それをダンプトラックで仮置きヤードに運搬し、そこで28日間の散水養生をおこなった。

### 3. 脱水固化処理土の特性

#### 3.1. 試験計画

セメントを添加して脱水する脱水固化処理土の特性は、セメント添加量や脱水時間などに依存する。そこで、本検討では、セメント添加量、打止め時間

に対する影響について検討することにした。

脱水固化処理土のセメント添加率としては、泥水に含まれる固体重量の15%、20%とした。一方、PFP機の打止め管理基準（ST時間：6.4m<sup>3</sup>のろ室にスラリー30Lを打ち込むために要する時間）は、セメントを添加しない機械脱水処理土の実績<sup>1)</sup>である40秒をベースに、10、20、30、40秒とした。

#### 3.2. 脱水固化処理土の形状

PFP機から取り出した直後の脱水固化処理土の状況を、写真2に示す。

脱水固化処理土の形状は、扁平になることを避けるため、写真3に示すように、60×60×23mmの形状になるように、PFP機のろ布とろ盤を工夫した。



写真2 製作直後の脱水固化処理土



写真3 脱水固化処理土の形状

#### 3.3. 脱水固化処理土の重量

脱水固化処理土の個体としての密度を表2に示す。セメント添加率15%/Ds、20%/Dsの脱水固化処理土とも軽量であり、それらの密度は、1.73～1.77g/cm<sup>3</sup>とほぼ同じであった。

脱水固化処理土の集合体としての単位体積重量を表3に示す。写真4に示すように盛土を構築し、その形状を計測して、単位体積重量を算定した。得ら

れた脱水固化処理土の湿潤状態の単位体積重量は  $1.05 \text{ tf/m}^3$ 、再生粒度調整碎石の約 60 %の重量であり、非常に軽量であった。

表 2 脱水固化処理土単体の湿潤密度

| 湿潤密度 ( $\text{g/cm}^3$ ) |             |
|--------------------------|-------------|
| BB15%                    | BB20%       |
| 1.731~1.764              | 1.747~1.765 |

表 3 盛土形状から求めた単位体積重量

| 材料名               | 盛土の重量<br>(tf)<br>① | 盛土の容量<br>( $\text{m}^3$ )<br>② | 単位体積重量<br>( $\text{tf/m}^3$ )<br>①/② |
|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| (成型型)<br>脱水固化処理土  | 256                | 243                            | 1.05                                 |
| 再生粒度調整碎石<br>(M25) | 427                | 241                            | 1.77                                 |



写真 4 脱水固化処理土の盛土造成状況

### 3. 4. 脱水固化処理土の個体強度

脱水固化処理土の基本的な強度特性を把握するために、セメント添加量・打止め管理基準を変えて、含水比・一軸圧縮強度の経時変化を調べた。

#### 3. 4. 1 セメント添加量と一軸圧縮強度との関係

セメント添加率 15 %/Ds 及び 20 %/Ds、ST 時間 40 秒で製作した、脱水固化処理土の経時的な一軸圧縮強度の変化を図 2 に示す。この特徴は次のようになる。

- ・セメント添加率が高いほど、また打設後の経過時間が長いほど一軸圧縮強度は高い。
- ・長期的な一軸圧縮強度の増加率は高い。

#### 3. 4. 2 打止め管理と一軸圧縮強度との関係

セメントの添加率を 20 %/Ds に固定し、PFP の打止め管理値 (ST 時間 : 10~40 秒) 毎の経時的な一軸圧縮強度の変化を、図 3 に示す。この特徴は次の通りである。

- ・打設後の経過日数が長くなるほど、一軸圧縮強度

が高くなる。

- ・ST 時間が長い (脱水時間が長い) ほど、一軸圧縮強度は高い。しかも、ST 時間が短い場合は測定された一軸圧縮強度の差異が大きく、ST 時間が長い場合は、差異は小さい。

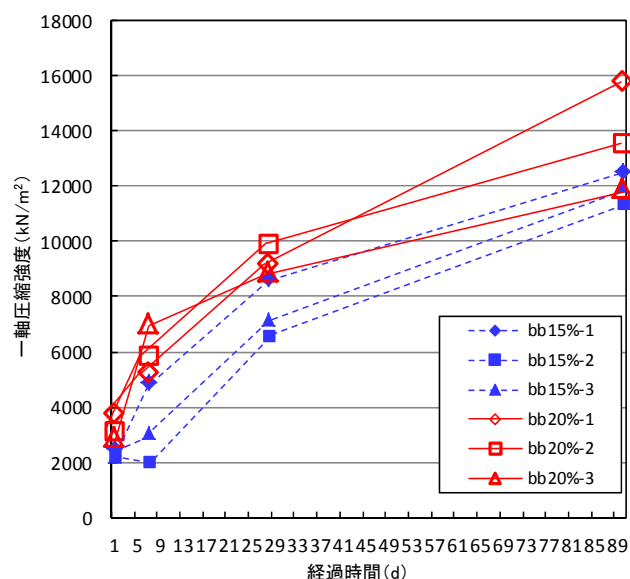


図 2 一軸圧縮強さの経時変化

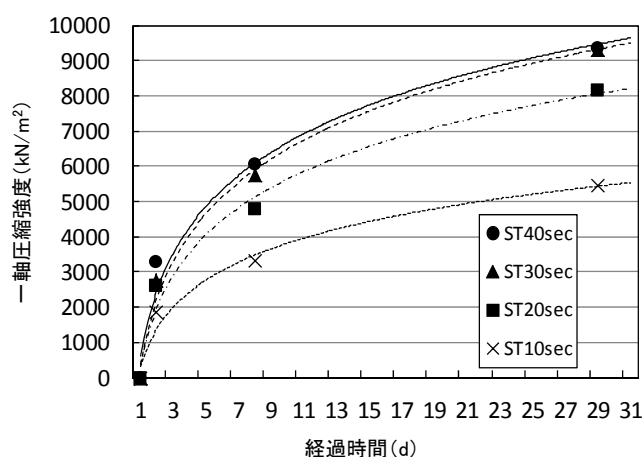


図 3 打止め管理基準と一軸圧縮強度の関係

#### 3. 4. 3 打止め管理と含水比との関係

セメント添加率をセメント添加率 20%/Ds として、脱水固化処理土の打止め管理基準値 (ST 時間) を 10~40 秒として製作した脱水固化処理土の経時的な含水比の変化を図 4 に示す。ここで、PFP 機から取り出した直後の試料の含水比を初期含水比と呼び、経過時間 1 時間の位置にプロットした。

- ・ST 時間 10 秒の脱水固化処理土は、脱水が不十分であるため、初期含水比が高くなった。
- ・ST 時間 20 秒以上の脱水固化処理土は、脱水処

理がある程度終了したため、初期含水比の差異は小さい。

- ・脱水固化処理土の含水比の経時変化は、1日程度ではあまり変化していないが、7日程度の養生で含水比が低下する傾向にある。

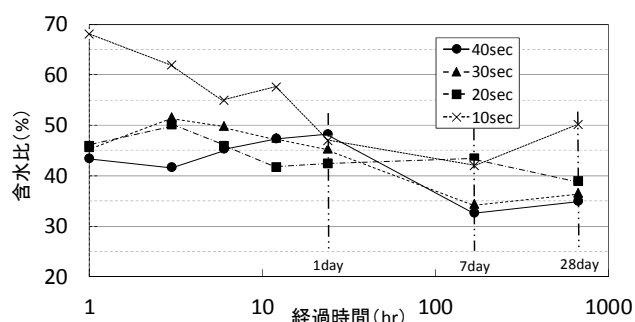


図4 打止め管理基準と含水比の関係

### 3.4.4 28日強度と初期含水比との関係

所定の打止め管理値 (ST 時間 40 秒)、セメント添加率を 15 %/Ds , 20 %/Ds で製作した脱水固化処理土の初期含水比と 28 日養生した土塊の一軸圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) との相関関係を、図 5 に示す。

- ・両セメント添加量の土塊の初期含水比は、39～49 % の範囲で、両者の差はほとんどなかった。これは、脱水の程度が同程度と判断できる。
- ・28 日養生した脱水固化処理土の一軸圧縮強度は、15 %/Ds の場合 5,000～10,000 kN/m<sup>2</sup>、20 %/Ds の場合 7,000～14,000 kN/m<sup>2</sup> であり、セメント添加量に依存していると判断できる。
- ・初期含水比と 28 日養生した一軸圧縮強度の関係は、15 %/Ds の場合はほとんどないとみなせ、20 %/Ds の場合は、若干ではあるが含水比が低下するにつれて一軸圧縮強度が増加する傾向にある。

### 3.4.5 スレーキング試験

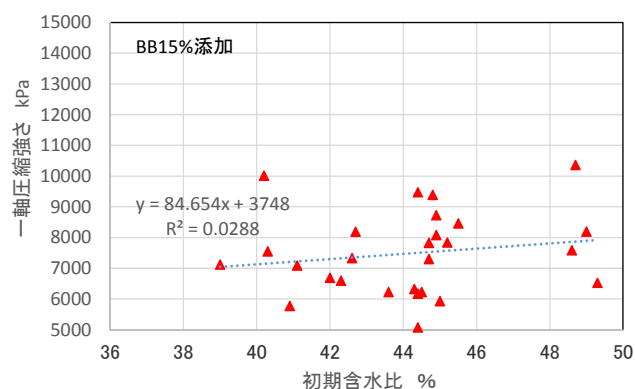
セメント添加率 15 %/Ds 及び 20 %/Ds、ST 時間 40 秒で製作した、脱水固化処理土のスレーキング試験結果及び既存の基準値を表 4 に示す。

本検討で製作した脱水固化処理土に対するスレーキング試験の評価として、全国産業廃棄物連合会が提唱している、建設汚泥リサイクル材のドレーン材の基準値<sup>2)</sup>を適用してみた。

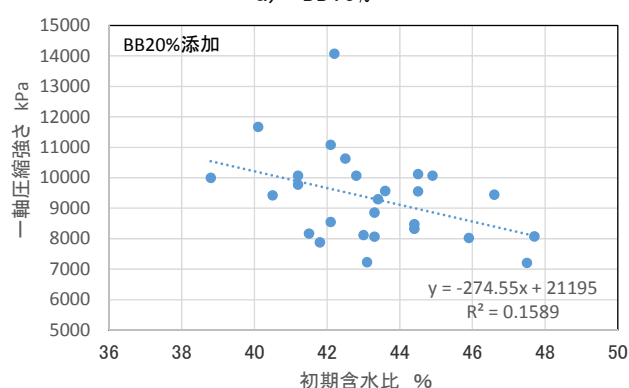
- ・セメント添加率 15 %/Ds 及び 20 %/Ds の脱水固化処理土とも、基準 (指標) 値を満たしたが、セ

メント添加率 20 %/Ds が優位であった。

- ・スレーキング率は、添加するセメント量が多いほど低くなる傾向が読み取れる。



a) BB15%



b) BB20%

図5 初期含水比と一軸圧縮強度との関係

表4 スレーキング試験結果及び基準値

| 全国産業廃棄物<br>連合会<br>基準値 <sup>2)</sup> | 脱水固化碎石<br>実測値 |       |
|-------------------------------------|---------------|-------|
| 建設汚泥リサイクル                           | BB15%         | BB20% |
| 1%以下                                | 1.0           | 0.3   |

### 3.4.6 ロサンゼルス試験

セメント添加率 15 %/Ds 及び 20 %/Ds、ST 時間 40 秒で製作した脱水固化処理土のロサンゼルス試験結果及び国交省の基準値<sup>3)</sup>を表 5 に示す。

- ・脱水固化処理土のすりへり率は、セメント添加率が高いほど低い。
- ・セメント添加量 15 %/Ds のすりへり率は、国交省の下層路盤に用いる再生クラッシュランの基準値<sup>3)</sup>を満たさなかったが、セメント添加量 20 %/Ds のそれは、同基準値を満たしていた。

表 5 ロサンゼルス試験結果及び基準値

| 国交省<br>基準値 <sup>3)</sup> | すりへり率<br>実測値 |             |             |             |
|--------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 再生<br>クラッシュラン            | BB15%        |             | BB20%       |             |
|                          | $\sigma$ 28  | $\sigma$ 90 | $\sigma$ 28 | $\sigma$ 90 |
| 50%以下                    | 46.9         | 71.4        | 36.2        | 29.3        |

### 3. 5. 脱水固化処理土集合体の強度特性

脱水固化処理土の集合体としての強度特性を、三軸圧縮試験機(供試体： $\phi$  300 mm, H900 mm)を用いて求めた。試験に用いた脱水固化処理土は、セメント添加率 20 %/Ds, ST 時間 40 秒で製作し、仮置ヤードで 28 日間の散水養生をおこなったものである。

試験方法は、脱水固化処理土を裏込め材として利用することを想定し、水中投入して得られた密度(乾燥密度： $0.65 \text{ g/cm}^3$  程度)に対する CD 試験とした。試験後の脱水固化処理土の状況を写真 5 に示す。

試験結果として、せん断抵抗角は  $36^\circ$  が得られた(図 6 参照)。なお、試験完了後の脱水固化処理土には、破碎した形跡は見られなかった。



写真 5 三軸圧縮試験後の状況

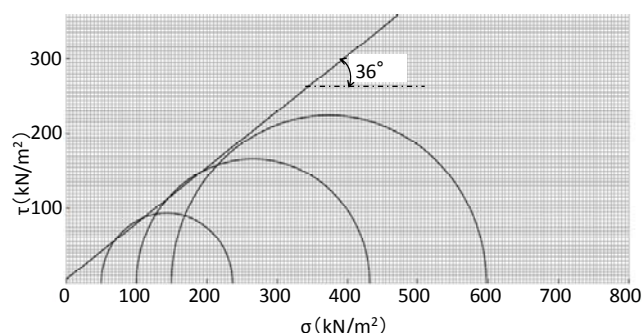


図 6 三軸圧縮試験結果

## 4. 脱水固化処理土の適応性調査

脱水固化処理土の建設用材としての適応性を検討するために、次の 3 つの建設用材を対象に、その特性を把握するための現地試験を計画・実施した。

- ① 裏込め材
- ② サンドコンパクション材
- ③ ろ床材

ここでは、①裏込め材としての適用性を評価するための現地試験について紹介する。なお、現地試験用に用いた試料は、セメント添加率 20 %/Ds, ST 時間 40 秒、養生期間 28 日以上を試料を用いた。

### 4. 1. 裏込め材としての現地試験

#### 4. 1. 1 試験サイトと構造

人工材の劣化は一般に乾湿繰返しに大きく影響されると考えられる。ここで対象とする護岸の裏込め部も、潮汐の影響を受けるため、水中部と地下水位が移動する乾湿部に大分される。そこで、潮汐が直接作用するサイトとして、北九州港湾・空港整備事務所 新門司出張所敷地内にある旧ケーソン進水ヤードの斜路を実験場所とした。着工前、完成後の状況を写真 6、写真 7 に示す。



写真 6 着工前



写真 7 完成後

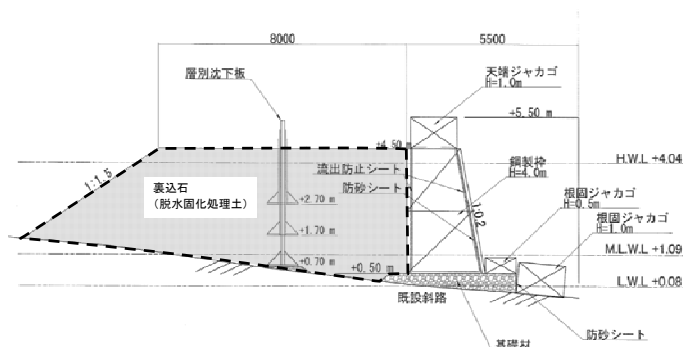


図7 裏込め材の現地試験の断面図

裏込め部の断面図を図7に示す。護岸構造（裏込め部と外海との締切り）は、場内の水位を外水位と同一にするために、石籠を用いた。なお、この海域の潮位は、H.W.L. : +4.0m, L.W.L. : ±0m である。

観測項目としては、裏込め部天端の沈下、層別沈下計による沈下である。さらに、上載荷重 100 kPa を加えた脱水固化処理土と調整碎石の沈下計測も行っている。

#### 4.1.2 施工時の環境影響調査

セメントが添加されている脱水固化処理土を海域に投入する場合、周辺へのアルカリ分の溶出が懸念されていた。そこで、場内・場外に pH 計を設置し、施工中の pH を測定した。その結果を図8に示す。これより、脱水固化処理土の投入において、アルカリ流出の影響は、ほとんどないとみなせる。

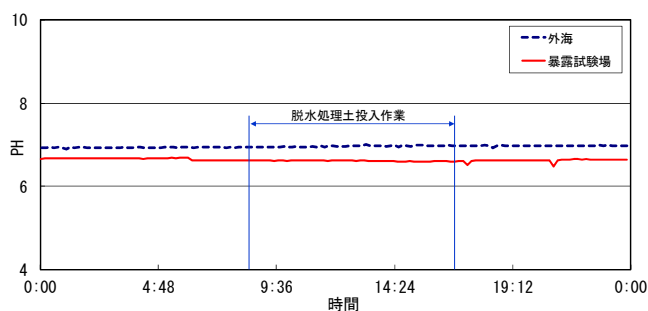


図8 裏込め石投入時の pH 調査結果

#### 4.1.3 今後の試験内容

裏込め材の設計には、強度定数が必要であるため、水中部、乾湿部の状態で放置した試料の三軸試験を行い、強度定数の経時変化を確認することにした。

以下、今後4年間にわたって行う計画をまとめる。

- ① 裏込め天端高の沈下観測
- ② 水中部、乾湿部の層別沈下観測
- ③ 脱水固化処理土の三軸圧縮試験

## 5. まとめ

本文では、既存の土砂処分場の受入容量拡大方策の一つとして、浚渫土砂を有効利用するための脱水固化処理土を製作し、その力学特性と現場試験を紹介した。以下、得られた知見をまとめる。

- ① 脱水固化処理土の個体としての密度は約  $1.75 \text{ g/cm}^3$ 、集合体としての単位体積重量は約  $1.05 \text{ tf/m}^3$  であった。この集合体としての単位体積重量は再生クラッシャランの 60 %程度であり、非常に軽いという特徴を有する。
- ② 養生することによって、脱水固化処理土の強度は増加し、その増加率は、セメント添加量ならびに打止め管理基準に依存した。
- ③ セメント添加率 20 %/Ds の脱水固化処理土個体では、28 日散水養生したときの一軸圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) は、 $7,000 \sim 14,000 \text{ kN/m}^2$  であった。一方、セメント添加率 15 %/Ds のそれは、 $5,000 \sim 10,000 \text{ kN/m}^2$  であり、セメントの添加量が多いほど、強度は増加する傾向にあった。
- ④ 脱水固化処理土のスレーキング試験、ロサンゼルス試験結果は、セメント添加率が 20 %/Ds であれば、既存の再生資源の利用基準値を満たすことがわかった。
- ⑤ 水中投入した状況を想定したときの三軸圧縮 CD 試験を行った結果、セメント添加率 20 %/Ds における脱水固化処理土の集合体としてのせん断抵抗角は  $36^\circ$  が得られた。

脱水固化処理土は人工材料であり、経年劣化が懸念される。それを把握するための現場試験を紹介した。今後は、経年的な調査を行い、脱水処理土の土木材料としての適用性を検討していく予定である。

## 参考文献

- 1) 中道ら (2011) : 浚渫土砂を利用した嵩上げ築堤の設計方法, 地盤工学会誌, 第 59 巻, 7 号, pp. 22-25.
- 2) 社団法人 全国産業廃棄物連合会 (2006) : 建設汚泥リサイクル製品評価のための自主基準, p. 4
- 3) 国土交通省 (旧建設省) (1994) : コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準 (案) について, 平成 6 年 4 月 11 日, 建設省技調発第 88 号, II 路盤材