

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	脱水固化処理した関門航路浚渫粘土の一軸圧縮強度特性
Title(English)	UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH PROPERTIES OF CEMENT-MIXED AND DEWATERED SOIL DREDGED AT THE KANMON WATERWAY
著者(和文)	堂本 佳世, 笠間 清伸, 平澤 充成, 善 功企, 中道 正人, 山口 誠, 梅山 崇, 片桐 雅明
Authors(English)	Kayo Doumoto, Kiyonobu Kasama, Mitsunari Hirasawa, Kouki Zen, Masato Nakamichi, Makoto Yamaguchi, Takashi Umeyama, Masaaki Katagiri
出典(和文)	土木学会論文集B3 ( 海洋開発 ), Vol. 72, No. 2, pp. I_426-I_430
Citation(English)	Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 72, No. 2, pp. I_426-I_430
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は土木学会に帰属します。 Copyright (c) 2016 Japan Society of Civil Engineers.

# 脱水固化処理した関門航路浚渫粘土の一軸圧縮強度特性

堂本 佳世<sup>1</sup>・笠間 清伸<sup>2</sup>・平澤 充成<sup>3</sup>・善 功企<sup>4</sup>・  
中道 正人<sup>5</sup>・山口 誠<sup>5</sup>・梅山 崇<sup>5</sup>・片桐 雅明<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

<sup>2</sup> 正会員 九州大学大学院工学研究院社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

<sup>3</sup> 正会員 九州大学大学院工学研究院海域港湾環境防災共同研究部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

<sup>4</sup> フェロー会員 九州大学大学院工学研究院海域港湾環境防災共同研究部門  
(〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

<sup>5</sup> 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 (〒801-0841 北九州市門司区西海岸 1-4-40)

<sup>6</sup> 株式会社 日建設シビル (〒541-8528 大阪市中央区高麗橋 4-6-2)

近年、土砂処分場の延命化が急務となっており、浚渫土砂の減容化が求められている。著者らは、浚渫土砂のリサイクルを目的として、浚渫土砂にセメントを混合した直後に高圧脱水固化処理装置を用い、高圧脱水し、直方体形状のブロックを作製した。また、セメント混合した浚渫土砂を高圧フィルタープレスによって脱水処理し、土塊を作製した。本研究では、高圧脱水固化処理装置によって脱水固化処理した浚渫土砂ブロックと高圧フィルタープレスによって脱水固化処理した機械脱水処理土の材料特性の比較を行った。

**Key Words :** clay, cement, unconfined compressive strength, consolidation

## 1. はじめに

海底増深等のため浚渫工事が行われている。浚渫された土砂は土砂処分場に運搬されるが、土砂処分場は飽和状態にあり、浚渫土砂の減容化が求められている。関門航路及び北九州港の新門司航路等の整備においても浚渫土砂が発生し、現在、新門司沖土砂処分場で受入れているが、平成30年代中頃には受入土量が満杯になると予想されている<sup>1)</sup>。そこで、著者らは、浚渫土砂を有用な材料にリサイクルするための研究を行ってきた。これまでにコンクリートに匹敵する強度を有する大型ソイルブロック(φ 53.4 cm×H 50 cm)の作製に成功している<sup>2)</sup>。本文では、これまでの作製技術を用い、関門航路で浚渫された粘土(以降、関門粘土と呼ぶ)にセメントを混合した直後に高圧脱水固化処理装置を用い、高圧脱水し、直方体形状のブロックを作製した(以降、浚渫土砂ブロックと呼ぶ)。また、片桐ほか<sup>3)</sup>は、セメント混合した浚渫土砂を高圧フィルタープレスによって脱水処理し、土塊(以降、機械脱水処理土と呼ぶ)を作製した。本研究では、高圧脱水固化処理装置によって脱水固化処理した浚渫土砂ブロックと高圧フィルタープレスによって脱水固化処理した機械脱水処理土の材料特性の比較を行う。

## 2. 実験概要

### (1) 浚渫土砂ブロック

#### a) 使用材料

使用材料の粒度分布および物理特性を図-1 および表-1 にそれぞれ示す。母材および固化材は、関門粘土および高炉スラグセメント B 種を用いた。固化材の添加率は、母材の乾燥重量に対して 15, 20, 25 %とした。脱水終了時間は 2t 法により求めた。

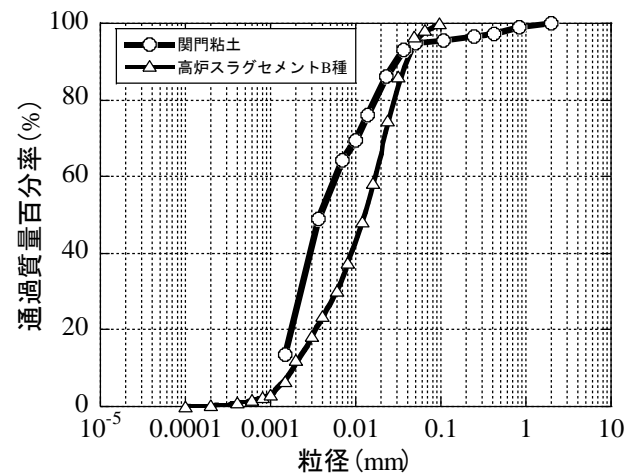


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理特性

	関門粘土
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.697
液性限界 (%)	95.0
塑性指数	59.1

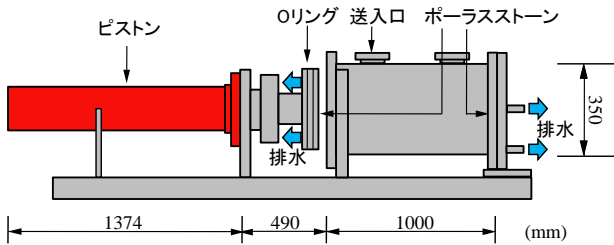


図-2 高圧脱水固化処理装置

表-2 実験条件

母材	関門粘土
固化材	高炉スラグセメントB種
固化材添加率	15%, 20%, 25%
脱水圧力	2 MPa: 30 min → 5 MPa: 265~755 min
初期含水比	約300%
養生日数	6ヶ月, 1年
養生条件	水中養生 (温度: 20 °C)

b) 供試体作製方法

初期含水比約 300 %の関門粘土にセメントを添加し、図-2 に示す高圧脱水固化処理装置(W 350 mm×D 350 mm×H 1000 mm)を用い、脱水圧力 2 MPa で外部から圧力を加え、30 分間載荷した後、5 MPa で高圧脱水を行った。実験条件を表-2 に示す。作製したブロック(W 350 mm×D 350 mm×H 100 mm ~ 150 mm)を6ヶ月および1年水中養生し、ブロックからくり抜いた供試体(φ 5 cm×H 10 cm)を対象に一軸圧縮試験(JIS A 1216)を行った。

(2) 機械脱水処理土

a) 使用材料

機械脱水処理土の母材は浚渫土砂ブロックと同様に関門粘土を用いた。物理特性は、平均含水比 173.5 %、平均土粒子密度 2.686 g/cm<sup>3</sup>、液性限界 85 ~ 97 %であった。

b) 供試体作製方法

不純物を取り除いた含水比 250 %程度の粘土スラリーに、15 %、20 %質量割合のセメント量を添加し、それを高圧ポンプで濾室に送り込み、所定の排水速度に達するまで脱水濾過する浸透圧密を行った。用いた濾室の大きさは、厚さ 23.5 mm、850×850 mmであった。高圧用ポンプの打ち切り時間を 40 秒とし、温度 20 度、湿度 95 %以上の恒温状態で 28 日間養生した。厚さ 23.5 mm の土塊

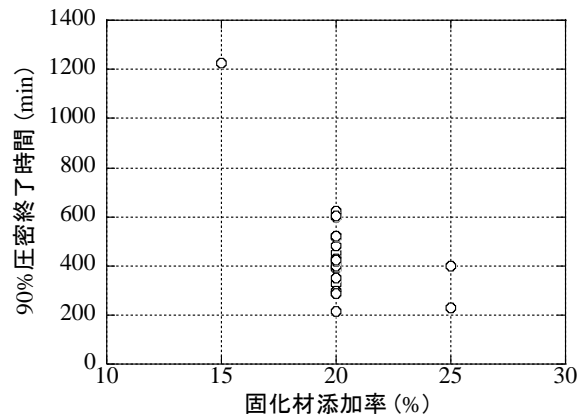


図-3 90 %圧密終了時間

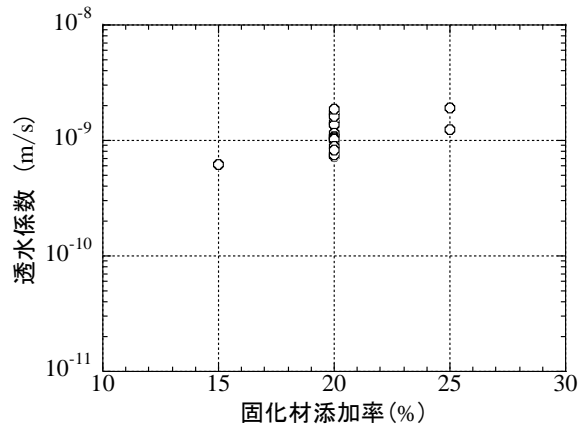


図-4 透水係数

から切り出した直径 10 mm、高さ 22 mm の円筒形の供試体を対象に一軸圧縮試験を行った。

3. 浚渫土砂ブロックの圧密特性

$\sqrt{t}$  法を用いて求めた 90 %圧密終了時間と固化材添加率の関係を図-3 に示す。90 %圧密終了時間は、固化材添加率の増加にしたがって、短縮する傾向にあった。90 %圧密終了時間は、固化材添加率 15 %で 1225 分、平均 90 %圧密終了時間は、固化材添加率 20 %で約 427 分、固化材添加率 25 %で約 314 分となり、固化材添加率が 15 %から 5 %増加すると約 1/3 に 10 %増加すると約 1/4 になることがわかった。固化材の凝集効果によって透水性が改善され、固化材添加率の増加に伴う 90 %圧密終了時間の短縮が見られたと考えられる。

図-4 に載荷圧 5 MPa での固化材添加率と透水係数の関係を示す。透水係数は式(1)より求めた。

$$k = \frac{c_v m_v \gamma_w}{8.64 \times 10^8} \quad (1)$$

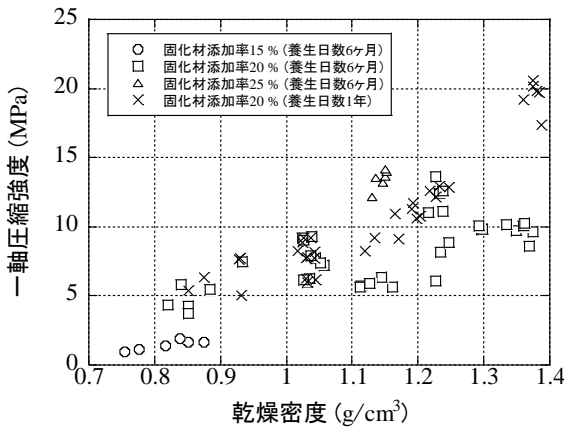


図-5(a) 乾燥密度と一軸圧縮強度 (浚渫土砂ブロック)

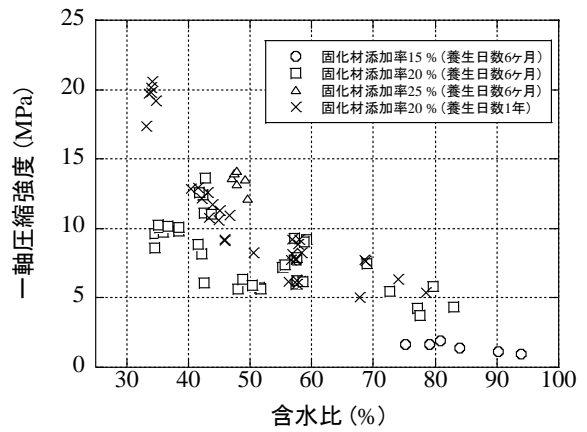


図-6(a) 含水比と一軸圧縮強度 (浚渫土砂ブロック)

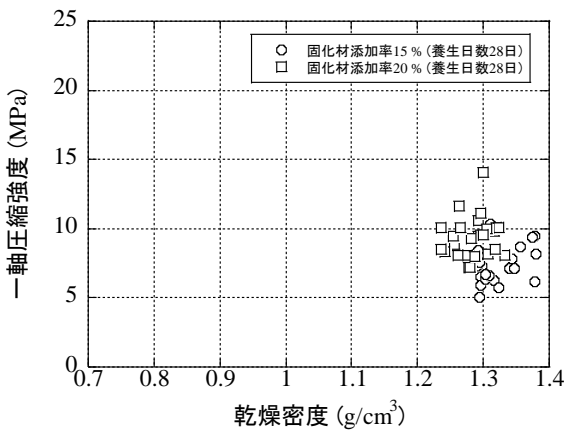


図-5(b) 乾燥密度と一軸圧縮強度 (機械脱水処理土)

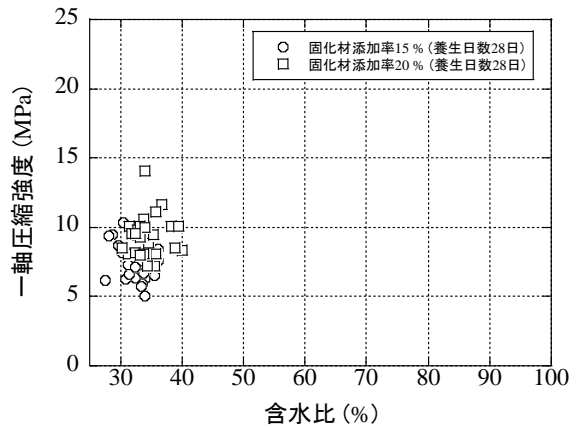


図-6(b) 含水比と一軸圧縮強度 (機械脱水処理土)

ここで、 $c_v$ :圧密係数( $\text{cm}^2/\text{d}$ ),  $m_v$ :体積圧縮係数( $\text{m}^2/\text{kN}$ ),  $\gamma_w$ :水の単位体積重量( $=9.81\text{kN}/\text{m}^3$ )

固化材添加率の増加にしたがって透水係数は増加する傾向にあることがわかった。透水係数は、固化材添加率15%で $6.17 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 、平均透水係数は、固化材添加率20%で約 $1.16 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ 、固化材添加率25%で約 $1.58 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ となり、固化材添加率が15%から5%増加すると約1.88倍に10%増加すると約2.56倍になった。セメントの混合により団粒化が起こり、透水性が良くなったためだと考えられる。

#### 4. 一軸圧縮強度特性

図-5(a)に浚渫土砂ブロックの乾燥密度と一軸圧縮強度の関係を示す。図-5(b)に機械脱水処理土の乾燥密度と一軸圧縮強度の関係を示す。浚渫土砂ブロックに関しては、乾燥密度の増加に従って、一軸圧縮強度は増加した。また、養生日数の経過による乾燥密度の変化はあまり見られず、乾燥密度が大きいもので養生日数の経過による

一軸圧縮強度の増加が顕著に見られた。ほぼ同等の乾燥密度であっても、固化材添加率の違いにより、一軸圧縮強度に大きな差が見られた。このことから、一軸圧縮強度の増大には、脱水による密度増加だけではなく、セメントの固化反応が大きく関与すると考えられる。機械脱水処理土に関しては、乾燥密度と一軸圧縮強度の相関性は強くないことがわかった。浚渫土砂ブロックの乾燥密度が $0.7 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ とばらつきが大きかったのに対し、機械脱水処理土の乾燥密度は $1.2 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ とばらつきが小さかった。

図-6(a)に浚渫土砂ブロックの含水比と一軸圧縮強度の関係を示す。図-6(b)に機械脱水処理土の含水比と一軸圧縮強度の関係を示す。浚渫土砂ブロックに関しては、含水比の増加に従って、一軸圧縮強度は減少した。これは、含水比が高いほど、供試体内に間隙として残る水分が多くなり、強度が低下したためだと考えられる。また、養生日数の経過による含水比の変化はあまり見られず、含水比が低いもので養生日数の経過による一軸圧縮強度の増加が顕著に見られた。機械脱水処理土に関しては、含水比と一軸圧縮強度の相関は認められなかった。浚渫土砂ブロックの含水比が30%~100%とばらつきが大きい。

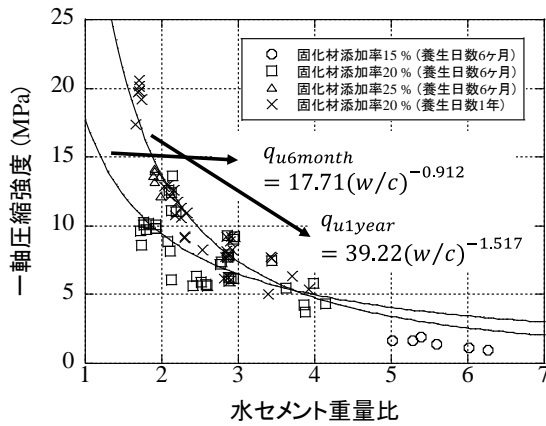


図-7(a) 水セメント重量比と一軸圧縮強度 (浚渫土砂ブロック)

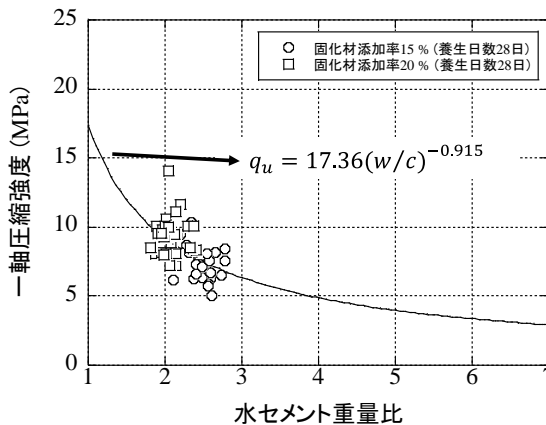


図-7(b) 水セメント重量比と一軸圧縮強度 (機械脱水処理土)

かったのに対し、機械脱水処理土の含水比は 25% ~ 45% とばらつきが小さかった

図-7(a)に浚渫土砂ブロックの水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係を示す。図-7(b)に機械脱水処理土の水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係を示す。浚渫土砂ブロックに関しては、水セメント重量比の減少に従って一軸圧縮強度は増加し、連続的な関係を示した。傾向を把握するため水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係式を求めた。固化材添加率 20%のブロックにおける養生日数 6ヶ月および 1年の水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係式を式(2)および式(3)に示す。

$$q_{u\ 6month} = 17.71(w/c)^{-0.912} \quad (2)$$

$$q_{u\ 1year} = 39.22(w/c)^{-1.517} \quad (3)$$

ここで、 $q_u$ は一軸圧縮強度、 $w/c$ は水セメント重量比である。式(2)および式(3)の相関係数はそれぞれ  $R = 0.69$  および  $R = 0.96$  となり、養生日数の経過に伴って相関は強くなった。機械脱水処理土に関しては、水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係は浚渫土砂ブロックと同様に

セメント添加率によらず連続的な関係を示した。固化材添加率 15%および 20%のブロックにおける養生日数 28日の水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係式を式(4)に示す。

$$q_u = 17.36(w/c)^{-0.915} \quad (4)$$

相関係数は  $R = 0.50$  と浚渫土砂ブロックに比べ低くなったが、水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係の傾きは式(1)とほぼ同じとみなせた。

## 5. おわりに

本文では、関門航路で浚渫された粘土を対象に高圧脱水固化処理装置を用いて浚渫土砂ブロックを作製した。また、高圧フィルタープレスを用いて機械脱水処理土を作製した。これらの材料を対象に一軸圧縮試験を行い、材料特性の比較を行った。得られた結論を以下に示す。

- (1) 浚渫土砂ブロックに関しては、乾燥密度と一軸圧縮強度の関係は認められたが、機械脱水処理土に関しては、相関性は強くなかった。
- (2) 浚渫土砂ブロックに関しては、含水比と一軸圧縮強度の関係は認められたが、機械脱水処理土に関しては、相関は認められなかった。
- (3) 水セメント重量比と一軸圧縮強度の関係の傾きは固化材添加率 20%の浚渫土砂ブロック、固化材添加率 15%および 20%の機械脱水処理土ともにほぼ同じとみなせた。

謝辞：本研究は、一般財団法人港湾空港総合技術センターの研究開発助成を受けた。また、「新門司沖土砂処分場 3 工区技術検討委員会」から様々な意見をいただきながら進めている。記して、関係者各位には深甚の謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 九州地方整備局：新門司沖土砂処分場(Ⅱ期)公有水面埋立事業環境影響評価準備書, 2-1, 2015.
- 2) 山下祐佳, 善功企, 陳光齊, 笠間清伸：脱水固化処理された大型ソイルブロックの強度特性, 地盤改良シンポジウム論文集, pp.440-444, 2010.
- 3) 中道正人, 山口誠, 梅山崇, 笠間清伸, 長野敏之, 川原修, 片桐雅明：セメントを添加し脱水処理した粘性土の強度特性に対する一考察, 平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.369-370, 2016.

(2016.2.4 受付)

## UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH PROPERTIES OF CEMENT-MIXED AND DEWATERED SOIL DREDGED AT THE KANMON WATERWAY

Kayo DOUMOTO, Kiyonobu KASAMA, Mitunari HIRASAWA, Kouki ZEN, Masato NAKAMICHI, Makoto YAMAGUCHI, Takashi UMEYAMA and Masaaki KATAGIRI

In order to recycle dredged soil, our research group developed interlocking blocks from dredged soil. Dredged soil interlocking blocks (350 mm in width, 350 mm in depth and 100 mm-150 mm in height) were made from soft clay dredged at the Kanmon Waterway. They were produced with the constant pressure 5 MPa and cement content of 15 %, 20 % and 25 % per the dry weight of clay. On the other hand, Katagiri<sup>3)</sup> developed dredged and dewatered soil. The unconfined compression test was carried out to investigate material characteristics of dredged soil interlocking blocks and dredged and dewatered soil. The following conclusions are obtained: (1) There was relationship between unconfined compressive strength and dry density about dredged soil interlocking block, but there wasn't much relationship about dredged and dewatered soil. (2) There was relationship between unconfined compressive strength and water content about dredged soil interlocking block, but there was no relationship about dredged and dewatered soil. (3) Inclination of relationship between unconfined compressive strength and water-cement ratio was almost the same about dredged soil interlocking block cement content of 20 % and dredged and dewatered soil cement content of 15 % and 20 %.