

## 浚渫土を利用したセメント処理土の強度特性

広島大学工学部 学生会員 ○嶋川奈津美  
 広島大学大学院工学研究院 正会員 土田孝  
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 安部太紀

### 1.はじめに

港湾航路の維持・整備によって発生する浚渫土は、セメント処理土として岸壁構造物の裏込めや埋立地盤材料などに有効に活用されている。しかし、セメント処理を行う際には、浚渫土に対しどれくらいのセメントを配合すれば所定の強度が得られるのか、把握する必要がある。7日・28日強度については配合試験を行うことにより求められているが、セメント混練り直後からの強度発現については測定されていない。しかし実際の施工では、セメント混練り後の圧送、打設による斜面成形など、混練り後短時間経過時における強度が問題となる場合もある。そこで本研究では、さまざまな含水比・セメント添加率で混合したセメント処理土に対して経時的にせん断試験を行い、処理土のセメント混練り直後からの強度発現過程を解明するとともに、その結果にもとづいて、処理土の一軸圧縮強度の予測式について検討を行った。

表-1 試料の物性値

試料名	液性限界 $w_L$ (%)	塑性限界 $w_P$ (%)	塑性指数 $I_P$	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )
水島港粘土	65.3	15.5	49.8	2.76
ひびき粘土	61.2	20.7	40.5	2.75
門司港粘土	89.5	29.3	60.2	2.67

表-2 供試体のパターン

試料名	初期正規化含水比 $w_0$	セメント添加率 $c^*$ (%)	養生時間 $t$
水島港粘土	1.5, 2.0, 2.5	10, 15, 20, 30	0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15 (hr), 1, 2, 3, 7, 28 (day), 3(months)
ひびき粘土	1.5	10, 15, 20, 30	0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 14 (hr), 1, 2, 3, 7, 28(day)
門司港粘土	1.5	10, 20, 30	0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 14 (hr), 1, 2, 3, 7, 28 (day)

### 2.実験概要

実験試料として、水島港において浚渫された粘土（以後、水島港粘土と表記）、ひびきコンテナターミナルにおいて浚渫された粘土（以後、ひびき粘土と表記）、門司港において浚渫された粘土（以後、門司港粘土と表記）を使用した。それぞれの物性値を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント( $\rho_c=3.15\text{g/cm}^3$ )を使用した。一軸圧縮強度の測定方法としては、セメント混練り直後は処理土が軟弱で自立できないため、ベーンせん断試験を行い、ある程度固化が進んだ段階からは一軸圧縮試験を行った。ベーンせん断試験から求められるベーンせん断強度  $c_u$  と一軸圧縮試験から求められる一軸圧縮強度  $q_u$  には式(1)の関係が成り立つため、本研究ではベーンせん断強度を2倍した値 ( $2c_u$ )を処理土の一軸圧縮強度と評価している。

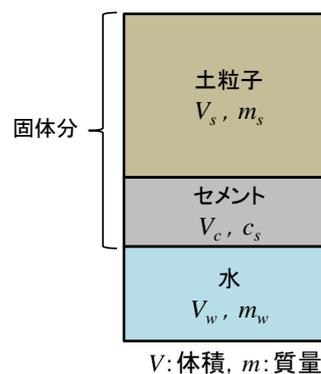


図-1 セメント処理土の3相モデル

$$c_u = \frac{q_u}{2} \quad (1)$$

表-2は本研究において作製した供試体の初期正規化含水比、セメント添加率、養生時間のパターンである。ここで、正規化含水比とは含水比を液性限界で除して正規化したものである。セメント添加率は処理土の固

体分の質量に対するセメントの質量と定義しており、図-1 に示すパラメータを用いると式(2)で表される。

$$c^* = \frac{c_s}{m_s + c_s} \times 100 (\%) \tag{2}$$

### 3. 供試体の作成方法

供試体の作成方法を以下に示す。

- ①粘土と蒸留水の冷却：粘土と練り混ぜに使用する蒸留水を1~2°Cに冷やす。これは粘土とセメントの攪拌時におけるセメントの化学反応を抑制し、均一に混合させるためである<sup>1)</sup>。
- ②セメントミルクの作製：蒸留水にセメントを溶かしたセメントミルクを作製して粘土と混合した。セメントミルクの割合は、セメントの質量と蒸留水の質量が1：1となるように調整した。ただし、粘土の含水比が高くセメント添加率が高い場合は、セメントの質量よりも加える蒸留水の質量が小さくなることがあるので、このときは1：0.5の比率でセメントミルクを作製した。
- ③セメントミルクの添加と混合：セメントミルクを粘土に添加し、ハンドミキサーで2分間練り混ぜる。この時、セメントミルク中の水分を考慮し、粘土の含水比が設定した含水比となるように調整した。その後、真空ミキサーで30分間試料を練り混ぜる。この時、①と同様の理由で真空ミキサーの容器を氷水で0°C程度の水温を保ち攪拌した。
- ④モールドへの打ち込みと養生：攪拌終了後、直径50mm、高さ100mmのサミットモールド（一軸圧縮試験の供試体作製用）と直径100mm、高さ100mmの円筒缶（ベーンせん断試験用）に充填する。サミットモールドと円筒缶に蓋をし、円筒缶は室温20°Cで養生し、サミットモールドは室温20°Cの部屋に置かれた水槽中で養生を行った。

なお、攪拌が終了してから養生開始までの作業は30分間で行い、攪拌終了30分後を養生時間0分とした。

## 4. 実験結果

### 4.1 強度発現過程

図-2 は水島港セメント処理土の一軸圧縮強度(2c<sub>u</sub>, q<sub>u</sub>)と養生時間の関係を両対数軸上で表したものである。図-2 より、養生 72 時間前後で強度発現の傾向が変化していることがわかる。そのため、養生 72 時間以内と 72 時間以降にわけ、強度推定方法について検討を行っていく。ここで、図-2 では養生時間の経過により強度が減少している部分があるが、これはせん断試験をベーンせん断試験から一軸圧縮試験に変更したときに起こっている。この原因については明確にできなかったため、本研究ではこれらを誤差としてそのま

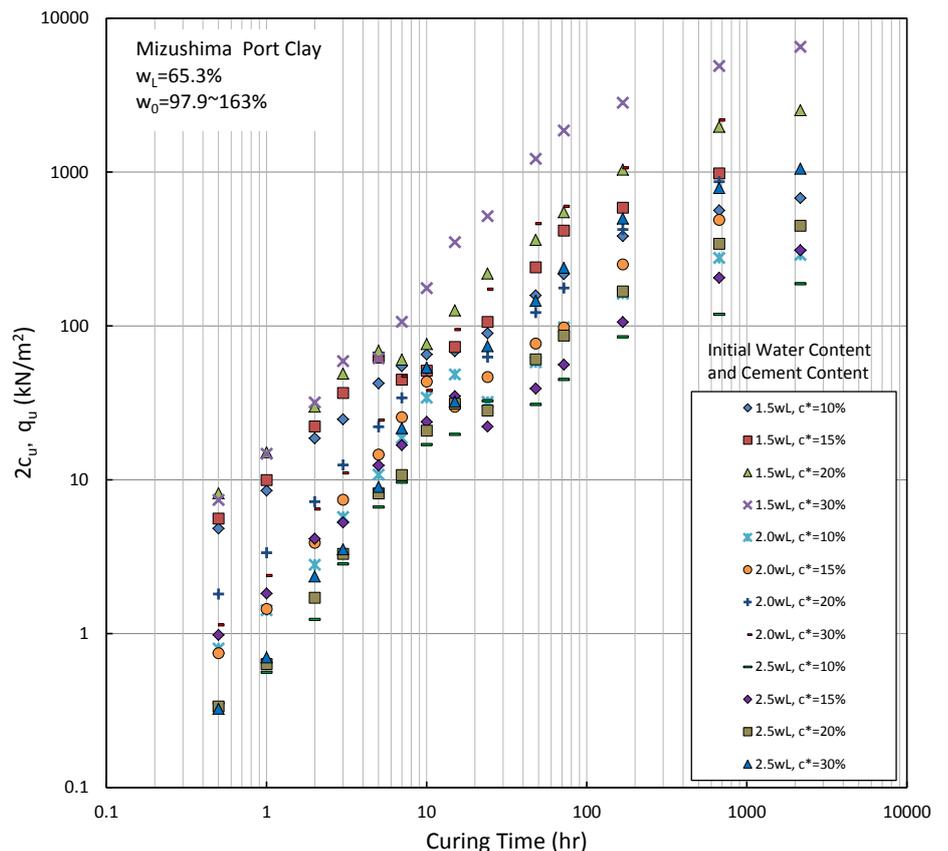


図-2 一軸圧縮強度と養生時間の関係(水島港粘土)

ま用いている。

#### 4.2 養生 3 日以内の強度予測

図-2 より養生 3 日までの範囲では、強度  $q_u$  と養生時間  $t$  は両対数グラフ上でほぼ直線関係となっている。このことから、両者は式(3)で表される。

$$q_u = at^b \quad (3)$$

$a$  は 1 時間養生時における強度(= $2c_{u1.0}$ )、 $b$  は勾配である。 $a$ 、 $b$  がわかれば、強度もわかるということになる。

図-3 は体積比指数  $\ln v/\ln v_L$  と 1 時間養生時の強度  $2c_{u1.0}$  の関係である。ここで、液性限界における粘土の体積比  $v_L$  とセメント添加後の粘土の体積比  $v$  はそれぞれ式(4)、式(5)で表される。

$$v_L = \frac{V_s + V_w}{V_s} \quad (4)$$

$$v' = \frac{V_s + V_c + V_w}{V_s + V_c} \quad (5)$$

図-3 のように、セメント混練り 1 時間後の強度は、セメント添加率に関係せず、体積比指数に関係していることがわかる。両者の関係は式(6)で近似できる。

$$\ln 2c_{u1.0} = -4.62 \left( \frac{\ln v'}{\ln v_L} \right) + 7.14 \quad (6)$$

図-4 は勾配  $b$  とセメント添加率  $c^*$  の関係である。勾配  $b$  はセメント添加率が増加するほど大きくなったが、粘土の初期含水比(間隙比)とは明確な関係性はみられなかった。3 つの試料のデータを同等に用いてセメント添加率との回帰直線を求めた結果、式(7)が得られた。

$$b = 0.016c^* + 0.70 \quad (7)$$

しかし、式(7)では  $c^*=0\%$  のとき  $b=0.70$  となり、セメント添加率 0% で大きな強度増加があるということになる。そのため、セメント添加率が 10% 未満の範囲における  $b$  の値については今後検討する必要がある。

式(6),(7)を式(3)に代入すると式(8)となる。

$$q_u = \exp \left[ -4.62 \left( \frac{\ln v'}{\ln v_L} \right) + 7.14 \right] \times t^{0.016c^* + 0.70} \quad (8)$$

式(8)は、粘土の初期含水比とセメント添加率から、ある時刻  $t$  におけるセメント処理土の強度を予測する式となっている。図-5 は式(8)より求めた強度と実測強度の比較である。点線は 50% の誤差の範囲を示している。ばらつきはあるが、式(8)はおおよその強度評価ができていると考えられる。

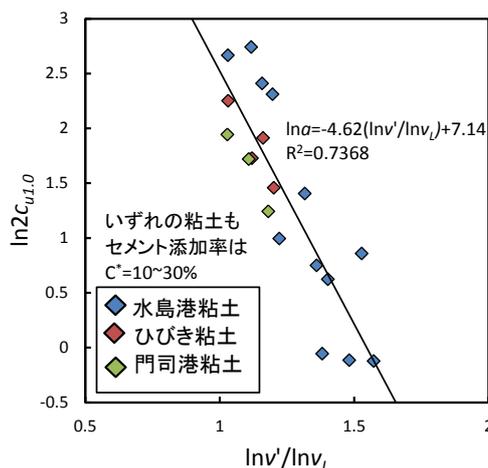


図-3 セメント混練り 1 時間後の強度と体積比指数の関係

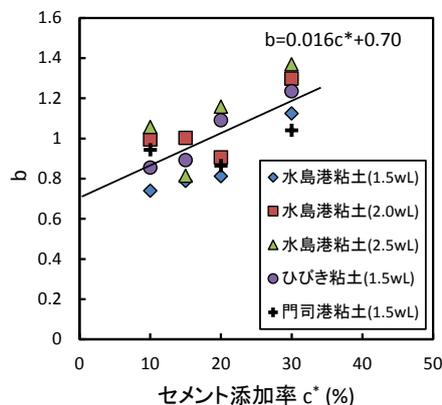
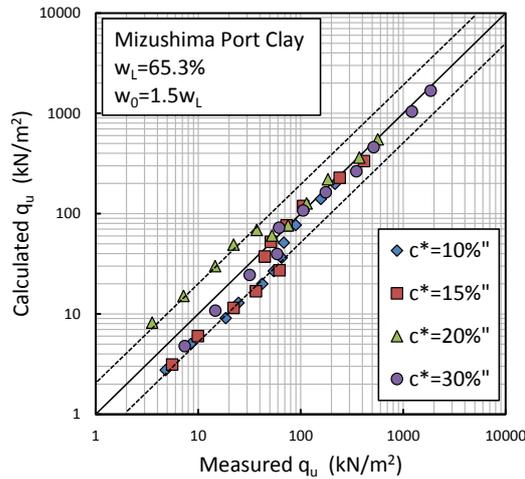
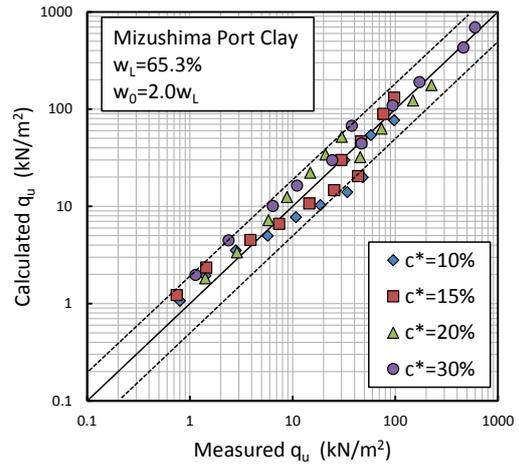


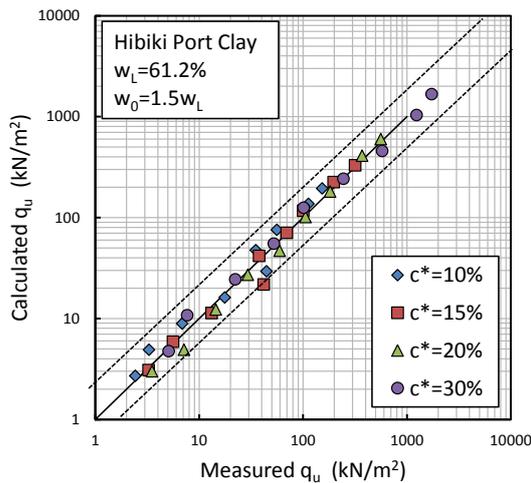
図-4 勾配  $b$  とセメント添加率  $c^*$  の関係



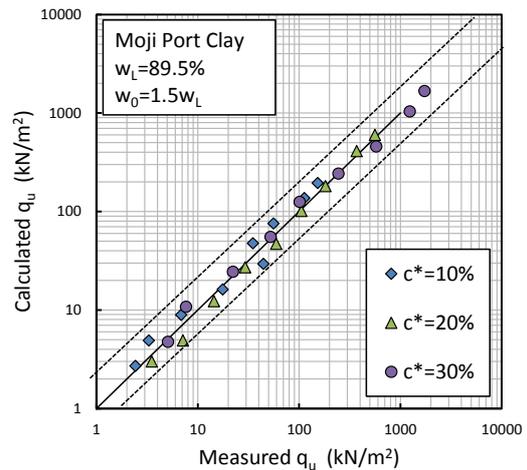
(a)水島港粘土( $w_0=1.5w_L$ )



(b)水島港粘土( $w_0=2.0w_L$ )



(c)ひびき粘土



(d)門司港粘土

図-5 実測値と式(8)による計算値との比較

## 5. 結論

- 1) 浚渫土を利用したセメント処理土の強度発現傾向は養生72時間前後で変化する。72時間以内では強度と養生時間が両対数上で直線関係となり、72時間以降は時間の対数と強度が直線関係となる。
- 2) 今回調べた3つの海成粘土においては、セメント添加後の初期強度は、セメント添加後の体積比 $v'$ と添加前の液性限界の体積比 $v_L$ による体積比指数 $\ln v' / \ln v_L$ によってほぼ決まっていた。
- 3) せん断試験結果よりセメント処理土の強度予測式を求めたところ、計算値と実測値はおおむね一致し、予測式からおよその強度評価ができることがわかった。

## 6. 参考文献

- 1) 平原毅, 土田孝, 平本真也: 少量のセメントを添加した粘土の圧縮およびせん断特性に関する研究, 地盤と建設, Vol.26, No.1, pp. 49~56, 2008.