

異なる初期含水比の浚渫土を用いたセメント固化処理土の 強度推定式における砂分の影響

広島大学大学院 非会員 ○山下 恵梨華

広島大学大学院 正会員 土田 孝

広島大学大学院 非会員 Arlyn Aristo Cikmit

Chonnam National University 非会員 Gyeong-o Kang

1. 研究の背景, 目的

沿岸域の建設事業では航路・港湾整備のために定常的に浚渫が行われ、大量の浚渫土が発生しており、その処分方法が問題となっている。この問題に対し、浚渫土の有効利用が求められており、浚渫土にセメントを添加したセメント固化処理土が地盤材料として様々な場面で用いられている。2000 年竣工の中部国際空港建設¹⁾や 2010 年竣工の羽田空港 D 滑走路増設工事²⁾において、埋め立て材料としてセメント固化処理土は利用された。他にも、海面における廃棄物処分場の遮水構造を構成する中間保護土や遮水材としての利用、海中での築堤材としての利用、空洞充填材料、岸壁の耐震補強のための裏込め土の軽量化、震災により沈下した地盤のかさ上げなど様々な用途に用いられている³⁾。このように利用用途が拡大しているのに対し、セメント固化処理土の強度発現において明らかになっていないことも多く、各現場で配合試験を行い、その配合試験結果を用いて強度を推定するという経験的な方法で用いられている。セメント固化処理土を地盤材料として確立し、より幅広く利用するために、強度発現の一般的な強度特性を把握することは重要なことであり、強度推定式について研究が行われている⁴⁾。

既存の研究では海成粘土を原料土とするセメント固化処理土についてセメント添加率と体積固体分率による新たな強度推定式が提案されている(式(1))⁵⁾。この提案式は従来用いられている水セメント比による強度推定式(2)に比べ、格段に推定精度が向上している。しかしセメント固化処理土において、コンクリート同様に固化処理土に含まれる砂分を骨材として扱い、強度推定式に寄与しないと考えるのかどうか明らかになっておらず、寄与しないと考えた場合、この提案式のパラメータであるセメント添加率及び体積固体分率に大きく影響する。よって本研究では、セメント固化処理土の強度発現に関する一般的な強度特性を解明することを目的とし、強度推定式における砂分の取り扱い方法について調べ、提案式より求めた計算値と実測値の相関性について検討した。

$$q_u = k_c(c - c_0)Y^N \quad (1)$$

$$q_u = \frac{a}{\left(\frac{w}{c}\right)^x} + b \quad (2)$$

ここで、 q_u は一軸圧縮強度(kPa)、 k_c は強度増加係数、 c はセメント添加率(%), c_0 はセメント最低添加率(%), Y は体積固体分率、 N は処理土の間隙構造により決まる定数、 a, b, x は実験定数、 W/C は水セメント比である。

2. 実験方法

浚渫土の初期含水比を砂添加後の液性限界の 1.5 倍とした時、セメント添加率を 10~30%, 砂添加率を 0~70%に変化させ供試体を作製した。また、浚渫土の初期含水比を砂添加後の液性限界の 0.9, 1.0, 1.25, 2.0, 2.5 倍とした時、セメント添加率を 20%とし、砂添加率を 0~70%に変化させ供試体を作製した。これらの供試体を用いて強度試験を行い、実測値と強度推定式より求めた計算値の適合性を検討した。供試体作製方法として、徳山港粘土に普通ポルトランドセメント及び豊浦砂を添加し、30 分間真空で混合した。用いた徳山港粘土の物理特性を表-1 に示す。養生方法はベーンせん断試験用の供試体を気中養生、一軸圧縮試験用の供試体を水中養生とし、養生初期は供試体が柔らかく自立が困難であるためベーンせん断試験を行い、養生後期には一軸圧縮試験を行った。実験ケースとして、

キーワード セメント固化処理土、浚渫、一軸圧縮強度

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山一丁目四番一号 広島大学大学院工学研究科
TEL 082-424-7505

処理土に含まれる砂分を含めて定義したセメント添加率 c と砂添加率 S の配合は異なるが、砂分を含めずに定義したセメント添加率 c^* が同じになるものを用意した。以下にパラメータ c, S, c^* の定義式をそれぞれ以下に示す。

$$c = \frac{m_{\text{cement}}}{m_{\text{clay}} + m_{\text{sand}} + m_{\text{cement}}} \times 100 \quad (3)$$

$$S = \frac{m_{\text{sand}}}{m_{\text{clay}} + m_{\text{sand}}} \times 100 \quad (4)$$

$$c^* = \frac{m_{\text{cement}}}{m_{\text{clay}} + m_{\text{cement}}} \times 100 \quad (5)$$

表-1 徳山港粘土の物理特性

砂添加率	液性限界	塑性限界	塑性指数
0	108.9	44.5	64.4
30	73.3	31.5	41.7
50	53.5	24.9	28.7
70	35.1	18.9	16.1

単位(%)

ここで、 m_{clay} は粘土の乾燥質量(kg)、 m_{sand} は添加した砂の質量(kg)、 m_{cement} は添加したセメントの質量(kg)を示す。

3. 実験結果

3.1 式(1)における砂分の取扱い方法の検討

処理土に含まれる砂分を含めずに定義したセメント添加率 c と砂添加率 S の配合は異なるが、砂分を含めずに定義したセメント添加率 c^* が 45% と同じになる 2 つの供試体の強度発現を図-1 に示す。図-1 より、砂分を含めて定義したセメント添加率及び砂添加率が異なるにもかかわらず、どちらの供試体も同じような強度発現性を示すことが分かった。以上より、提案式(1)において、砂分を含めずに定義したパラメータ c^* を用いることができると考えられ、式(1)を書き直すと以下のような式(6)になる。

$$q_u = k_c^* (c^* - c_0^*) Y^{*N} \quad (6)$$

ここで、 k_c^* は強度増加係数、 c^* は砂分を含めずに定義したセメント添加率(%), c_0^* は砂分を含めずに定義したセメント最低添加率(%), Y^* は砂分を含めずに定義した体積固体分率である。

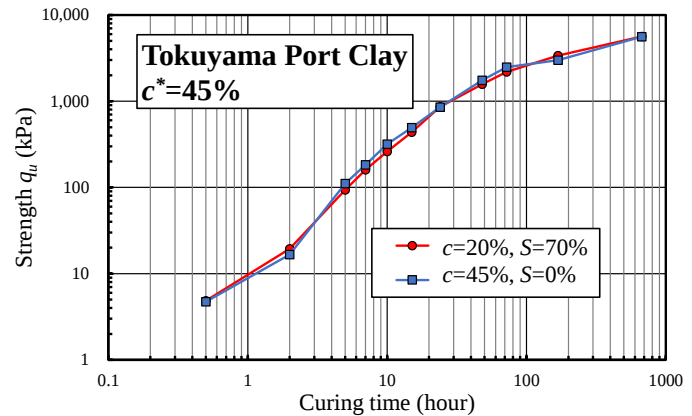


図-1 $c^*=45\%$ の時の一軸圧縮強度と養生時間の関係

3.2 強度試験結果に対する強度推定式の適合性

浚渫土の初期含水比が砂添加後(砂添加率 0~70%)の液性限界の 0.9~2.5 倍となるように設定した、異なる初期含水比および砂添加率の浚渫土を用いた強度試験結果と強度推定式の適合性を検討する。実測値と強度推定式より求めた推定値の相関は以下の式(7)を用いて評価した。

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(A_i - B_i) / B_i| \quad (7)$$

ここで、 σ は実測値に対する実測値と計算値のズレの割合を平均したものである。また、 n はデータ数、 A_i は一軸圧縮強度の推定値、 B_i は一軸圧縮強度の実測値を示す。

まず水セメント比を用いた強度推定式(2)の適合性を調べる。図-2 に砂添加率 0%の時の水セメント比と養生 7, 28 日の一軸圧縮強度の関係をそれぞれ示し、累乗近似線により式(2)のパラメータ a, b, x をそれぞれ求めた。これらの求めたパラメータを用いて砂添加率 0~70%の時の強度推定値を計算し、実測値と比較したものを図-3 に示す。次に砂分を含めて定義したパラメータを用いた強度推定式(1)の適合性を調べる。図-4 に養生 7, 28 日それぞれにおける砂添加率 0%の時の c と $q_u Y^N$ の関係を示した。本研究では $c=20\%$ の時に浚渫土の初期含水比が異なるケースを用意したため、図-4 の $c=20\%$ においてこれらの初期含水比の異なる試料のデータが一本の直線で最も良く表せるような定数 N を求めた。また、その N の時の図-4 の回帰直線より式(1)のパラメータ k_c, c_0 を求めた。これらの求めたパラメータを用いて砂添加率 0~70%の時の強度推定値を計算し、実測値と比較したものを図-5 に示す。最後に砂分

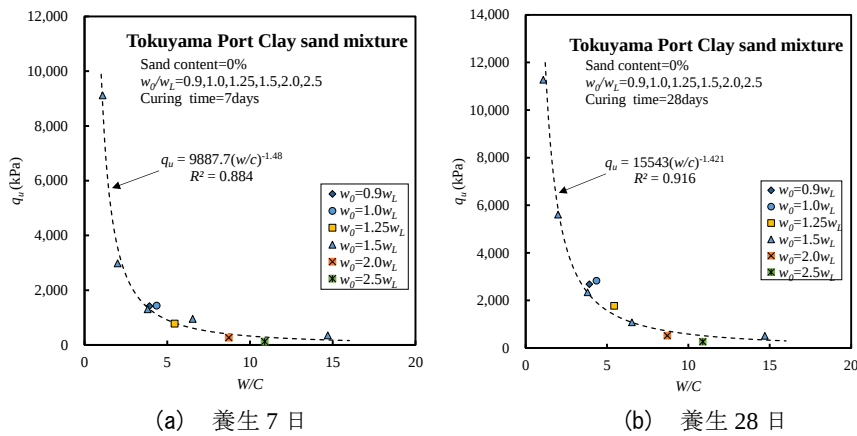


図-2 水セメント比と一軸圧縮強度の関係(S=0%)

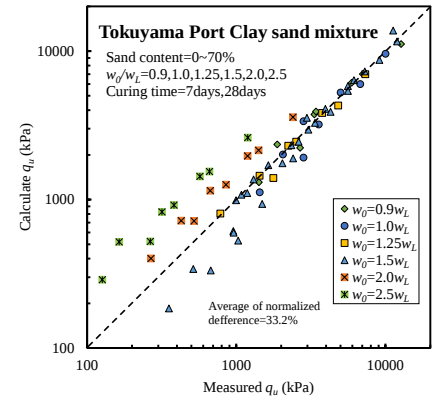


図-3 水セメント比を用いた式(2)により計算した推定値と実測値の比較

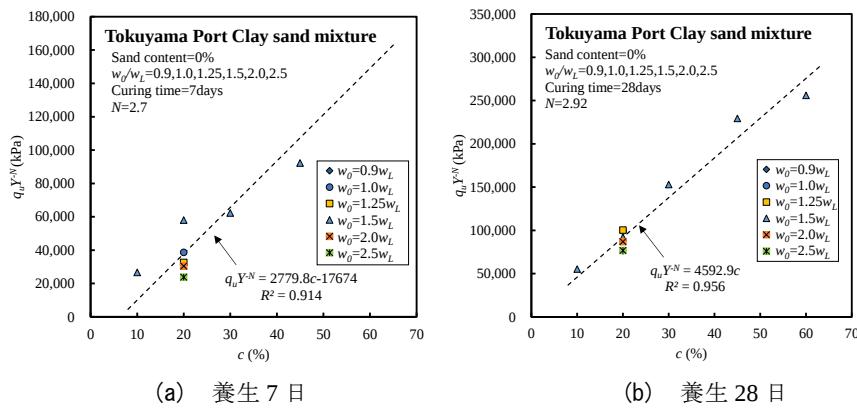


図-4 c と $q_u Y^{-N}$ の関係(S=0%)

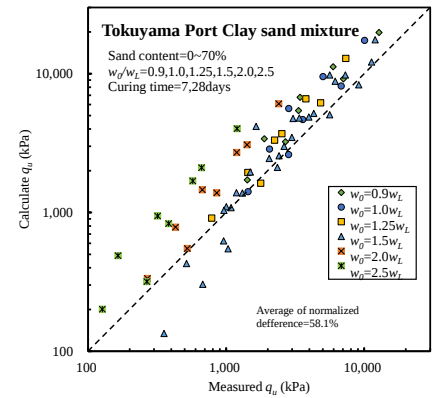


図-5 式(1)により計算した推定値と実測値の比較

を含めずに定義したパラメータを用いた強度推定式(6)の適合性を調べる。砂添加率 0%の時の c^* の値は c と同じになるので、前述の式(1)のパラメータの値と式(6)の定数 N 及びパラメータ k_c^* , c_0^* の値は同じになる。よって式(1)の場合に求めたパラメータの値と同じ値を式(6)のパラメータとして用いて砂添加率 0~70%の時の強度推定値を計算し、実測値と比較したものを図-6 に示す。図-3, 5, 6 より、粘土分の乾燥重量とセメント重量に対するセメント添加率と砂分を含めずに定義した体積固体分率をパラメータとした式(6)により求めた推定強度が実測強度との相関が最も高くなった。

次に式(1), (6)においてパラメータを求める際に砂添加率 0~70%のデータを用いた場合について調べる。図-7 に養生 7, 28 日それぞれにおける砂添加率 0~70%の時の c と $q_u Y^{-N}$ の関係を示し、図-8 に養生 7, 28 日それぞれにおける砂添加率 0~70%の時の c^* と $q_u Y^{-N}$ の関係を示した。このときの相関係数 R^2 が最も高くなるような定数 N を求め、その N の時の図-7, 8 の回帰直線よりパラメータをそれぞれ求める。ここで図-7 と図-8 を比較する。図-7 の場合、初期含水比が液性限界の 1.5 倍となるように設定したデータのみ注目すればパラメータを求める上で用いる一本の回帰直線上におおよそ乗っているが、初期含水比の異なるデータは一本の回帰直線上に乗っておらず初期含水比の違いを考慮できていない。それに比べ図-8 はデータがおおよそ一本の回帰直線上に乗っていることが分かる。よって、砂添加率 0~70%のデータを用いてパラメータを決定する場合、砂分を含めずに定義した c^* と $q_u Y^{-N}$ の関係を用い、式(6)により強度を推定することが妥当であると考えられる。よって図-8 より式(6)のパラメータ k_c^* , c_0^* を求め、

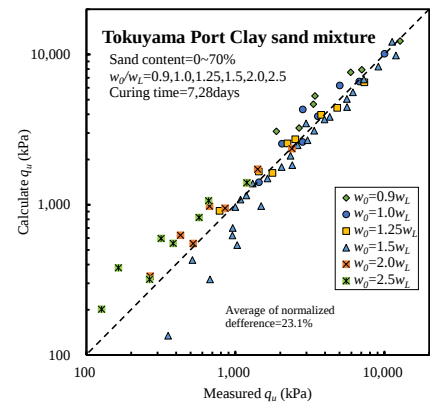


図-6 式(6)により計算した推定値と実測値の比較

砂添加率 0~70%の時の強度推定値を計算し、実測値と比較したものを図-9に示す。図-6, 9より砂添加率0%のデータを用いてパラメータを決めた場合と砂添加率 0~70%のデータを用いてパラメータを決めた場合の実測値と推定値のズレはほぼ同じになり、どちらも高い相関を示すことが分かった。以上の結果より、式(6)において砂添加率0%のデータによりパラメータを求め、そのパラメータを用いて様々な砂添加率のセメント固化処理土の強度を推定することは可能であると考えられる。

4. 結論

強度推定式において砂分を含めずに定義したパラメータを使うことが妥当であるという結果から、セメント固化処理土の強度は砂添加率に関係なく、主に砂分を除いた細粒分（粘土）の含水比と、セメント質量と粘土の質量に対するセメント添加率により推定できると考えられる。よって、砂分及び初期含水比の異なる浚渫土を用いたセメント固化処理土の強度を予測する場合、今回比較した3つの強度推定式の中で、式(6)が最も適当であると考えられる。また、式(6)では砂添加率0%のデータにより求めたパラメータを用いて様々な砂添加率のセメント固化処理土の強度を推定することが可能であると考えた。

参考文献

- 1) 佐藤恒夫：中部国際空港埋立用地造成への管中混合固化処理工法の適用，土木学会論文集，Vol.61, No.749, pp.33-47, 2003.
- 2) 野口孝俊，渡部要一，鈴木弘之，奥信幸，大和屋隆司，渡邊雅哉：羽田空港D滑走路埋立部の施工と維持管理，土木学会論文集C（地圏工学），Vol.68, No.2, pp.305-320, 2012.
- 3) 土田孝，湯怡新，嶋川奈津美，安部太紀：高含水比の海成粘土を原料土とするセメント固化処理土の強度発現過程に関する研究，地盤工学ジャーナル，Vol.8, No.1, pp. 53-70, 2013.
- 4) S. Horpibulsuk, N. Miura and T. S. Nagaraj : Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abrams' law as a basis, Geotechnique 53, No.4, pp. 439-444, 2003.
- 5) Takashi Tsuchida, Yi Xin Tang : Estimation of compressive strength of cement-treated marine clays with different initial contents, Soils and Foundations, Vol.55(2), pp. 359-374, 2015.

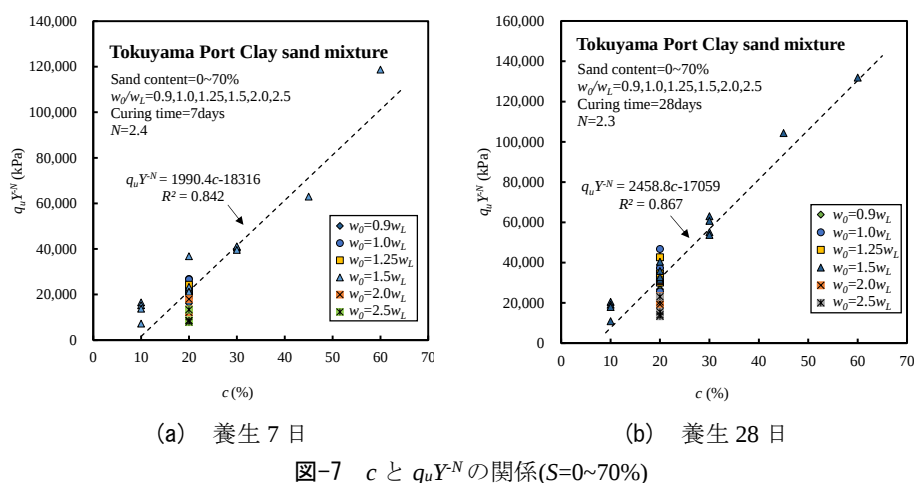


図-7 c と $q_u Y^N$ の関係($S=0\sim70\%$)

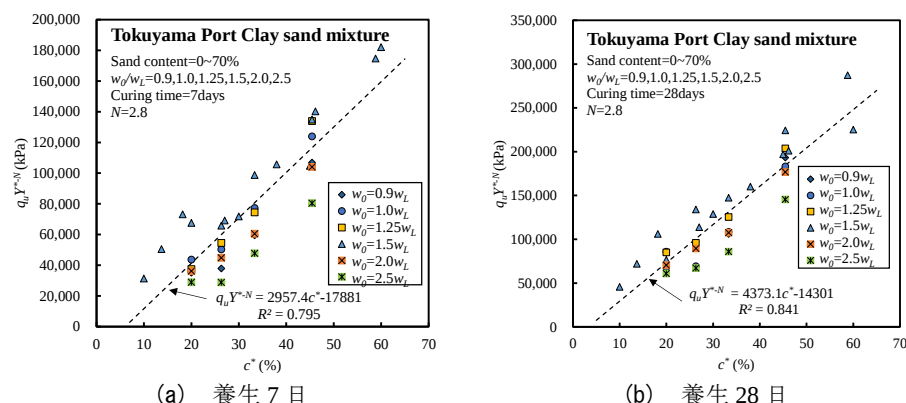


図-8 c^* と $q_u Y^N$ の関係($S=0\sim70\%$)

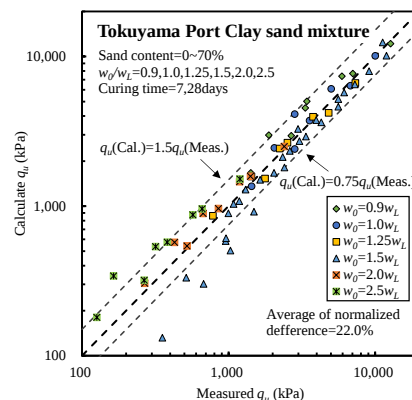


図-9 式(6)により計算した推定値と実測値の比較