

海成粘土を用いたセメント固化処理土の強度発現における砂分の影響及び 強度推定式の適用性について

The Effect of Sand Content on Strength Development of Cement-treated Marine Clay and
The Applicability of Strength Estimation Equations

山下恵梨華 Erika YAMASHITA (広島大学大学院工学研究科)
土田 孝 Takashi TSUCHIDA (広島大学大学院工学研究科)
Gyeong O Kang (Chonnam National University)
Arlyn Aristo Cikmit (広島大学大学院工学研究科)

セメント固化処理土の一般的な強度特性を解明するために強度推定式の適合性の検討を行った。筆者らはセメント添加率と体積固体分率を用いた強度推定式を提案しているが、その提案式において砂分がどのような影響を及ぼすのか明らかになっていない。よって、様々なセメント添加率、砂添加率で強度試験を行い、発現強度に対する砂分の影響を調べた。また、様々な砂添加率、初期含水比のセメント固化処理土に対し強度推定式の適合性を検討した。以上の結果より、セメント固化処理土の強度発現は砂分に関係なく主に処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率と体積固体分率により決まるということが分かった。

キーワード：セメント固化処理土、砂分含有、浚渫土、一軸圧縮強度 (IGC : D10)

1. 研究の背景

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いる。特に広島港、宇部港、徳山港、福山港、水島港など瀬戸内海に立地する港では、瀬戸内海の水深が浅いため、船舶が大型化によって航路や泊地を確保するために広域の浚渫が必要になっている。航路や泊地の浚渫土は港湾内に設置した土砂処分場に埋め立て処分することが一般的であるが、多くの港では浚渫土の増加により処分場の容量が不足している。一方で、新たな処分場の建設には多額の費用を要するため、浚渫土の処分とリサイクルは大きな課題となっている。

浚渫土をリサイクルする方法として、最も可能性がある方法の一つは、浚渫土にセメントを添加したセメント固化処理土を港湾の建設などの地盤材料として用いることである。近年、環境保護の観点から海砂や川砂を建設資材として利用することが禁じられており、山砂の大量採取も自然環境に負の影響を与える可能性がある。

セメント固化処理した浚渫土の活用は、2000年竣工の中部国際空港建設で860万m³が埋立土として使用されたことが大きなきっかけとなった¹⁾。その後、2010年竣工の羽田空港D滑走路増設工事でも62万m³が活用された²⁾。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⁾。

このように浚渫土を用いたセメント固化処理土の利用用途は拡大しているが、一方でその強度発現メカニズムは十分明らかになっておらず、設計においては、使用する浚渫土ごとに配合試験をおこない、経験的に定めた強度評価式で強度を推定する方法が用いられている。そこで様々なパラメータを用いた強度推定式が提案されており、いくつかの提案式を以下の表-1に示す。また表-1の中で強度評価式として最もよく用いられているのは、水セメント比W/Cを用いた式(1)である。式(1)において、 q_u は固化処理土の一軸圧縮強度(kPa)、W/Cは水セメント比、 a, b, x は実験定数である。式(1)は、セメント固化処理土の強度が水セメント比のみにより決まるという式であり、土粒子の存在は直接的に考慮されていない。また、同じ水セメント比をパラメータとし、Abramsの法則に基づいて定義された強度推定式(2)がHorpibulskらにより提案されている⁴⁾。この式は液性指数LI=1~2かつW/C=2.5~15の場合にのみ適

表-1 セメント固化処理土の強度推定提案式の一覧

No.	強度推定提案式	提案者
(1)	$q_u = \frac{a}{\left(\frac{W}{C}\right)^x} + b$	-
(2)	$\left\{ \frac{q_{(w_c/C)_D}}{q_{(w_c/C)_{28}}} \right\} = \left[\frac{(w_c/C)_{28}}{(w_c/C)_D} \right]^B (E+F \ln D)$	Horpibulsk ⁴⁾
(3)	$q_D = q_{D0} + k \log(D/D_0)$	Mitchell ⁵⁾
(4)	$q_u = \frac{k(C-C_0)}{(G_c w / 100 + 1)^2}$	Tang ⁶⁾
(5)	$q_u = A p_a e^{B(e_{ot}/A_w)}$	Lorenzo ⁷⁾
(6)	$q_u = k_c (c - c_0) Y^N$	Tsuchida ⁸⁾

応することができる式となっている。式(2)において、 $q_{(w_c/C)_D}$ は養生 D 日における任意の水セメント比のセメント固化処理土の一軸圧縮強度(kPa)、 $q_{(w_c/C)_{28}}$ は養生 28 日における特定の水セメント比のセメント固化処理土の一軸圧縮強度(kPa)、 B, E, F は実験定数である。パラメータ B は水セメント比と強度の関係を示したグラフから得られる累乗近似線より求められ、またはば一定の値を示すとされ、バンコク粘土を用いた場合、 $B=1.25\sim 1.31$ となる。パラメータ E, F は特定の水セメント比において養生時間と養生 D 日の強度を 28 日強度で割ったものの関係を示したグラフから得られる回帰直線より求められ、バンコク粘土を用いた場合、 $E=0.039, F=0.283$ となる。

これらに対して土田らは、浚渫粘土の力学特性を考慮し、セメント添加率と体積固体分率を用いた新たな強度推定式をとって式(6)を提案した⁸⁾。式(6)において、 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 は強度発現に必要な最小のセメント添加率(%), 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を示す。体積固体分率の定義式を式(7)に示す。

$$Y = \frac{V_{clay} + V_{sand} + V_{cement}}{V_{clay} + V_{sand} + V_{cement} + V_{water}} \quad (7)$$

ここで、 V_{clay} は粘土の体積(m³)、 V_{sand} は砂の体積(m³)、 V_{cement} はセメントの体積(m³)、 V_{water} は水の体積(m³)を示す。既存の研究では東京湾羽田粘土の管中混合処理土工法のための配合試験結果を用いて、以上に示した 2 つの式(1)、(6)の適応性を調べている³⁾。7 か所の浚渫土試料の物理試験結果と配合試験で用いた含水比及びセメント添加率を表-2 に示す。表-2 よりそれぞれ異なる液性限界の試料のデータであることが分かる。図-1 に水セメント比を用いた式(1)による推定値と実測値の比較を示し、この時の決定係数は 0.71 であった。また、図-2 に筆者らの提案式(6)による推定値と実測値の比較を示し、この時の決定係数は 0.87 であった。図-1、2 より液性限界の異なる粘土の場合、提案式(6)は水セメント比を用いた式(1)より推定精度が向上している。

以上の結果は、混合時に粘土の含水比が様々に変化する場合、水セメント比による式(1)よりもセメント添加率と体積固体分率を用いた式(6)が強度推定式として良好であることを示している。本研究では、浚渫土が砂を含む場合の固化処理後の強度の推定について検討する。同じ港湾内において砂分含有率が異なる浚渫土が出現することはしばしばみられるが、特に河川の流入がある港湾では河口部からの位置によって砂分含有率が大きく異なってくる。コンクリートの場合、砂や礫が骨材として使用されるが、強度は主にセメントペーストによって決定され、骨材は強度に寄与しないことが広く認められている。式(6)をセメント固化処理土の強度評価式として用いる場合、砂分の割合は体積固体分率とセメント添加率に大きく影響するので、強度推定式にも影響を与える。コンクリートと同様に砂礫

表-2 東京湾羽田 D 滑走路建設工事における配合試験³⁾

試料名	液性限界 w_L (%)	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	含水比 (%)	固化材量* (kg/m ³)
A	125.4	2.690	223.3~303.4	60~120
B	117.8	2.667	242.4~320.6	60~120
C	85.4	2.656	172.8~236.6	60~120
D	173.4	2.557	307.2~412.0	60~120
E	102.3	2.642	224.0~314.1	60~120
F	112.7	2.607	175.3~272.0	60~120
G	129.8	2.587	222.9~314.4	60~120

* blast-furnace slag cement type B

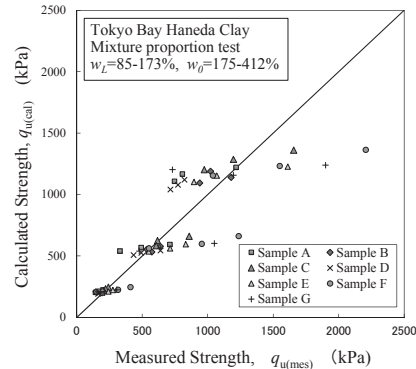


図-1 式(1)を用いて計算した強度と実測強度の比較³⁾

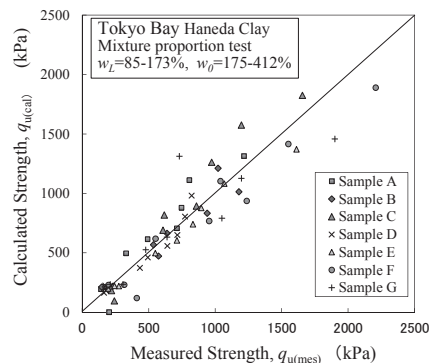


図-2 式(6)を用いて計算した強度と実測強度の比較³⁾

分が強度に影響しないと仮定すると、式(6)における体積固体分率やセメント添加率を砂礫分を含めずに定義する必要がでてくる。

本研究では同じ浚渫土に対して異なる砂分添加率の試料を作成し、強度試験を行い、強度推定式(6)における砂分の取扱い方法について検討した。また、砂分添加率及び初期含水比が異なる場合における強度推定式の適用性を調べ、セメント固化処理土の強度特性について検討した。

2. 用いた試料と実験方法

本研究では同じ浚渫土に対し様々なセメント添加率、砂添加率、初期含水比で強度試験を行い、砂分の影響を調べ、強度試験結果に対する強度式の適応性を検討した。

2.1 用いた試料とその物理的性質

今回の実験では徳山港の浚渫粘土を用いた。また、砂は豊浦砂を用い、固化材として普通ポルトランドセメントを用いた。用いた徳山港粘土の物理特性を表-3に示す。

表-3 徳山港粘土の物理特性

砂添加率 (%)	液性限界 w_L	塑性限界 w_P	塑性指数 I_P
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%

2.2 供試体作製方法

徳山港粘土は 75 μm の網で濾したものをを用いた。粘土及び蒸留水は冷却したものをを用いた。これは粘土とセメントを混合する際にセメントの化学反応が進行するのを防ぐためである。また、セメントと蒸留水を混ぜ、セメントミルクとして粘土に添加した。粘土へセメントミルク及び砂添加後、試料を均一に混合するためハンドミキサーで2分間攪拌し、その後真空ミキサーで30分間攪拌した。攪拌終了後、ベーンせん断試験用と一軸圧縮試験用の容器に試料を充填した。ベーンせん断試験用に直径60mm、高さ60mmの円筒状の容器を用い、一軸圧縮試験用に直径50mm、高さ100mmの円筒状の容器を用いた。それぞれの充填した試料に蓋をし、ベーンせん断試験用の試料は試験開始までの養生時間が短いため20°Cの室内養生、養生時間が長い一軸圧縮試験用の試料は20°Cの水中養生を行った。

表-4 実験ケース

ケース	設定した初期含水比	c (%)	S (%)	c^* (%)
1	1.5 w_L (%)	10	0	10.0
2		10	30	13.7
3		10	50	18.2
4		10	70	27.0
5		20	0	20.0
6		20	30	26.3
7		20	50	33.3
8		20	70	45.5
9		30	0	30.0
10		30	30	38.0
11		30	50	46.2
12		30	70	58.8
13		45	0	45.0
14		60	0	60.0
15		0.9 w_L (%)	20	0
16	20		30	26.3
17	20		50	33.3
18	20		70	45.5
19	1.0 w_L (%)	20	0	20.0
20		20	30	26.3
21		20	50	33.3
22		20	70	45.5
23	1.25 w_L (%)	20	0	20.0
24		20	30	26.3
25		20	50	33.3
26		20	70	45.5
27	2.0 w_L (%)	20	0	20.0
28		20	30	26.3
29		20	50	33.3
30		20	70	45.5
31	2.5 w_L (%)	20	0	20.0
32		20	30	26.3
33		20	50	33.3
34		20	70	45.5

2.3 強度試験方法

20°Cで室内及び水中養生した供試体を養生時間0.5, 2, 5, 7, 10, 15時間, 1, 2, 3, 7, 28, 90日で強度を測定した。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、養生後期では一軸圧縮強度試験を行った。

2.4 実験ケース

今回行った実験ケースを表-4に示す。ここで、 c は処理土に含まれる細粒分と砂分の乾燥質量に対するセメント添加率、 S は砂添加率、 c^* は処理土に含まれる細粒分のみの乾燥質量に対するセメント添加率を示す。 c, S, c^* それぞれの定義式を以下に示す。

$$c = \frac{m_{\text{cement}}}{m_{\text{clay}} + m_{\text{sand}} + m_{\text{cement}}} \times 100 \quad (8)$$

$$S = \frac{m_{\text{sand}}}{m_{\text{clay}} + m_{\text{sand}}} \times 100 \quad (9)$$

$$c^* = \frac{m_{\text{cement}}}{m_{\text{clay}} + m_{\text{cement}}} \times 100 \quad (10)$$

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。表-4に示すように実験ケースとして、処理土に含まれる細粒分と砂分の乾燥質量に対するセメント添加率 c と砂添加率 S の配合は異なるが、処理土に含まれる細粒分のみの乾燥質量に対するセメント添加率 c^* が同じになるものを用意し、式(6)における砂分の取扱い方法について検討した。

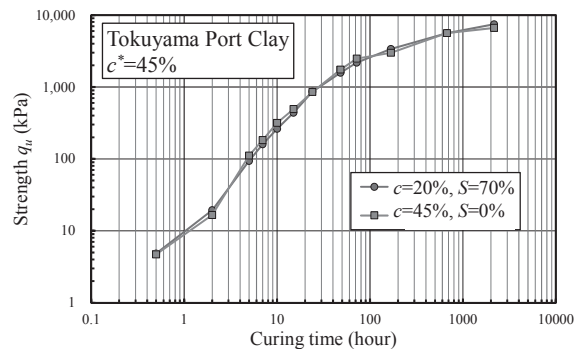


図-3 $c^*=45\%$ の時の一軸圧縮強度と養生時間の関係

3. 実験結果

3.1 式(6)における砂分の取扱い検討

表-4のケース8とケース13のように、処理土に含まれる細粒分と砂分の乾燥質量に対するセメント添加率 c と砂添加率 S の配合は異なるが、処理土に含まれる細粒分の

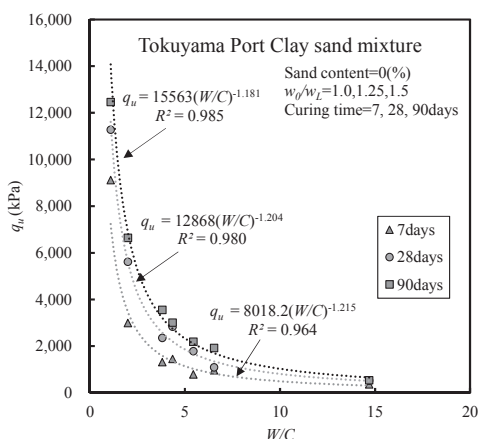


図-4 水セメント比と一軸圧縮強度の関係

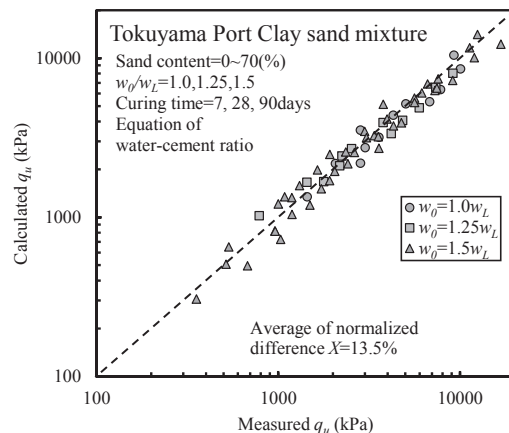


図-5 水セメント比を用いた式(1)により計算した推定値と実測値の比較

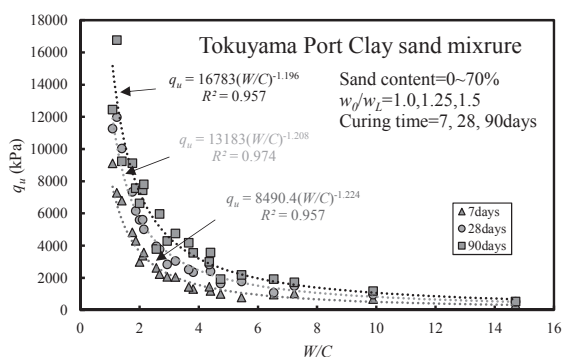


図-6 水セメント比と一軸圧縮強度の関係

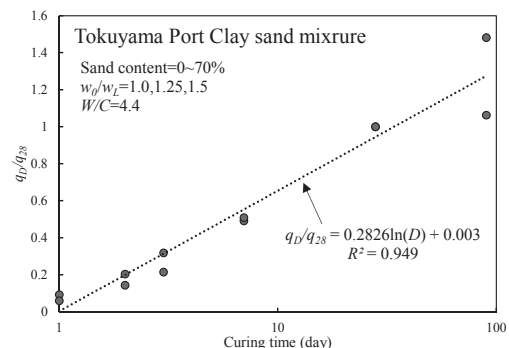


図-7 W/C=4.4 の場合における養生時間と q_D/q_{28} の関係

みの乾燥質量に対するセメント添加率 c^* が 45% とほぼ同じになる 2 つの供試体の強度発現を図-3 に示す。図-3 より、処理土に含まれる細粒分と砂分の乾燥質量に対する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(6)において、処理土に含まれる細粒分みの乾燥質量に対するセメント添加率 c^* を用いることができると考えられ、式(6)を書き直すと以下のような式(11)になる。

$$q_u = k_c (c^* - c_0^*) Y^{*N} \quad (11)$$

ここで、 k_c は強度増加係数、 c^* は処理土に含まれる細粒分みの乾燥質量に対するセメント添加率(%), c_0^* は処理土に含まれる細粒分みの乾燥質量に対する強度発現に必要な最小のセメント添加率(%), Y^* は処理土に含まれる細粒分みの乾燥質量に対する体積固体分率である。

3.2 初期含水比が液性限界の 1.0~1.5 倍の場合における強度推定式の適合性

ここでは、初期含水比が液性限界の 1.0~1.5 倍になる場合というように初期含水比の変化が小さい条件で強度推定式の適合性を検討する。これは今回適合性を比較する式

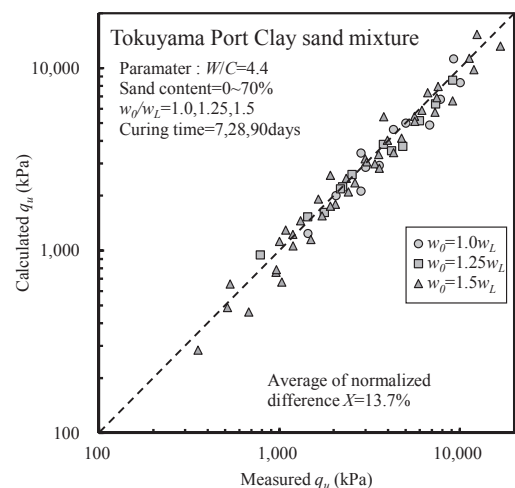


図-8 Abrams の法則を用いた式(2)により計算した推定値と実測値の比較

(2) が $LI=1.0\sim 2.0$ の場合で使うことができる式とされており、この時初期含水比は液性限界の 1.0~1.5 倍であるからである。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(12)を用いて評価した。

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(A_i - B_i) / B_i| \times 100 \quad (12)$$

ここで、 $X(\%)$ は実測値に対する実測値と計算値のズレの度

合いを平均したものである。また、 n はデータ数、 A_i (kPa) は一軸圧縮強度の推定値、 B_i (kPa) は一軸圧縮強度の実測値を示す。

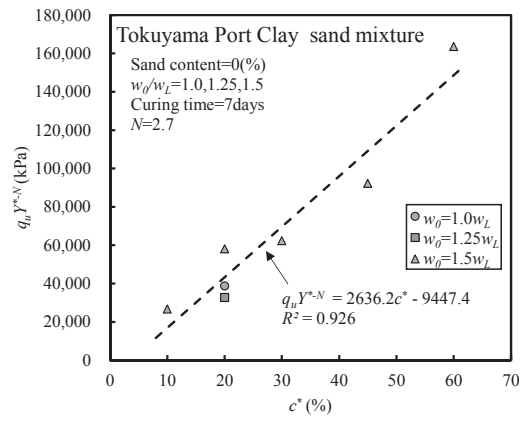
まず水セメント比を用いた強度推定式(1)の適合性を調べる。図-4に砂添加率0%の時の水セメント比と養生7, 28, 90日の一軸圧縮強度の関係をそれぞれ示し、累乗近似線により式(1)のパラメータ a, b, x をそれぞれ求めた。これらの求めたパラメータを用いて砂添加率0~70%の時の強度推定値を計算し、実測値と比較したものを図-5に示す。

次にAbramsの法則に基づいて定義した式(2)の適合性を調べる。図-6に養生7, 28, 90日それぞれにおける水セメント比と一軸圧縮強度の関係を示し、累乗近似線よりパラメータ B を求める。また図-7に、特定の W/C の場合における養生時間と各養生時間の強度を28日強度で割ったものの関係を示し、この時の回帰直線からパラメータ E, F 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-8に示す。

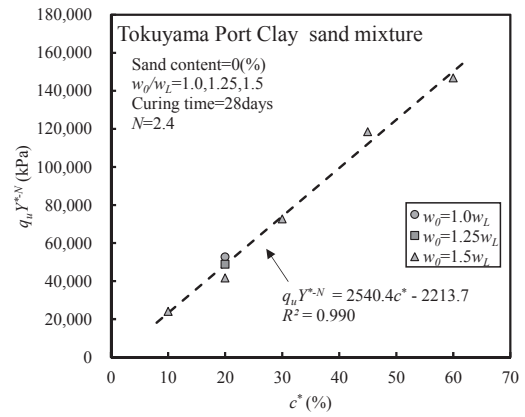
最後に砂分を含めずに定義したパラメータを用いた強度推定式(11)の適合性を調べる。図-9(a), (b), (c)に養生7, 28, 90日それぞれにおける砂添加率0%の時の c^* と $q_u Y^{*-N}$ の関係を示した。本研究では $c^*=20\%$ の時に浚渫土の初期含水比が異なるケースを用意したため、図-9(a), (b), (c)の $c^*=20\%$ においてこれらの初期含水比の異なる試料のデータが一本の直線で最も良く表せるような定数 N を求めた。また、その N の時の図-9(a), (b), (c)の回帰直線より式(11)のパラメータ kc^*, c_0^* をそれぞれ求めた。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-10に示す。図-5, 8, 10より、初期含水比が液性限界の1.0~1.5倍の場合において、3つの式のどれも実測値と計算値の相関は高くなった。しかし、水セメント比を用いた強度推定式(1)と処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率と体積固体分率を用いた強度推定式(11)の場合、砂添加率0%のデータのみで必要なパラメータを求め、砂添加率0~70%の場合における強度推定が可能であるが、水セメント比及びAbramsの法則を用いた強度推定式(2)の場合、砂添加率0%のデータのみで必要なパラメータを求めることはできず、砂添加率0~70%のデータを用いてパラメータを決定し、砂添加率0~70%の場合における強度推定を行った。

3.3 初期含水比が液性限界の0.9~2.5倍の場合における強度推定式の適合性

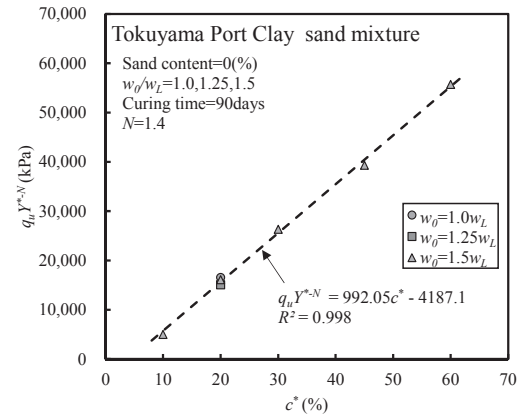
ここでは、初期含水比が液性限界の0.9~2.5倍になる場合というように初期含水比の変化が大きい条件で強度推定式の適合性を検討する。まず水セメント比を用いた強度推定式(1)の適合性を調べる。図-11に砂添加率0%の時の水セメント比と養生7, 28, 90日の一軸圧縮強度の関係をそれぞれ示し、先ほどと同じように式(1)のパラメータ $a, b,$



(a) 養生7日



(b) 養生28日



(c) 養生90日

図-9 c^* と $q_u Y^{*-N}$ の関係 ($S=0\%$)

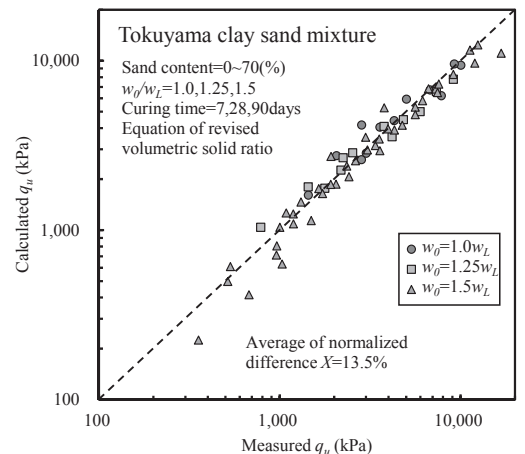


図-10 体積固体分率を用いた式(11)により計算した推定値と実測値の比較

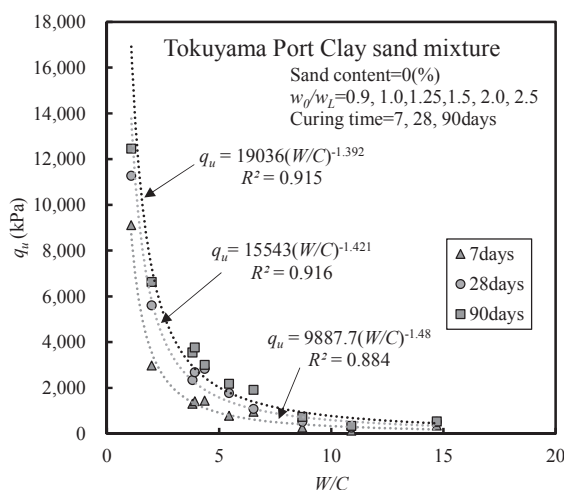


図-11 水セメント比と一軸圧縮強度の関係

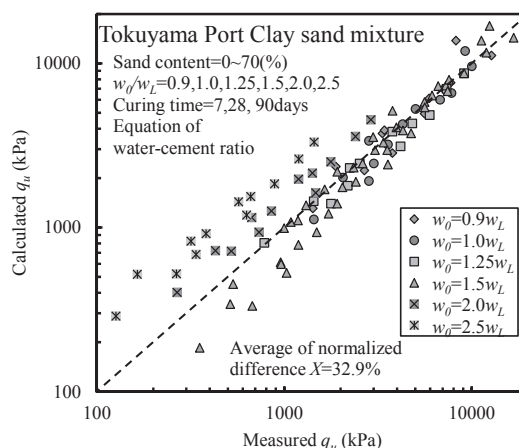


図-12 水セメント比を用いた式(1)により計算した推定値と実測値の比較

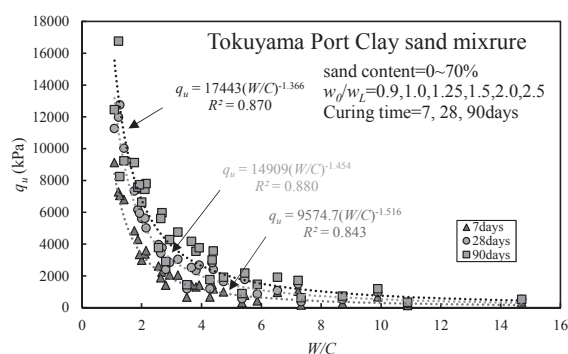


図-13 水セメント比と一軸圧縮強度の関係

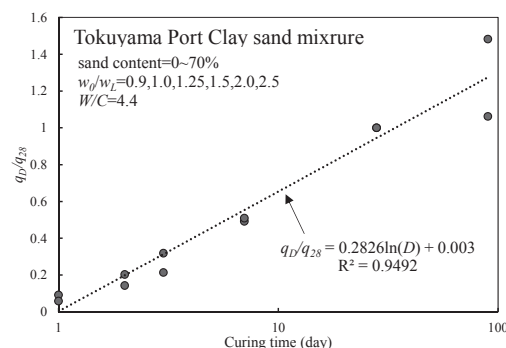


図-14 W/C=4.4 の場合における養生時間と qD/q_{28} の関係

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-12 に示す。

次に Abrams の法則に基づいて定義した式(2)の適合性を調べる。図-13 に養生 7, 28, 90 日それぞれにおける水セメント比と一軸圧縮強度の関係、また図-14 に、特定の W/C の場合における養生時間と各養生時間の強度を 28 日強度で割ったものの関係を示し、先ほどと同じようにパラメータ B, E, F 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-15 に示す。

最後に砂分を含めずに定義したパラメータを用いた強度推定式(11)の適合性を調べる。図-16(a), (b), (c) に養生 7, 28, 90 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、先ほどと同じようにパラメータ $N, kc^*, c0^*$ 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-17 に示す。

図-12, 15, 17 より、初期含水比が液性限界の 0.9~2.5 倍の場合において、式(1)を用いて推定した強度と実測強度のズレは $X=32.9\%$ 、式(2)を用いた場合は $X=76.3\%$ 、式(11)を用いた場合は $X=22.0\%$ となり、式(11)を用いて計算した強度と実測強度の相関が最も高くなった。しかし 3.2

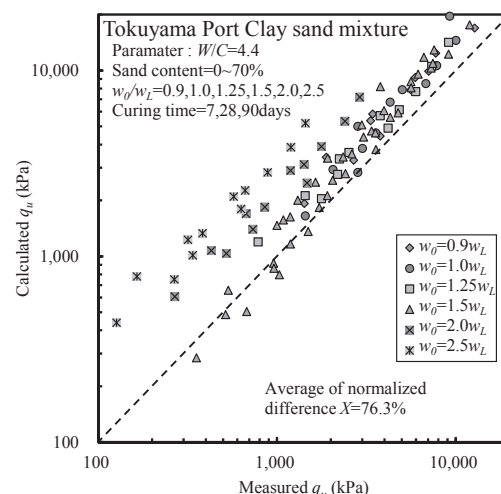
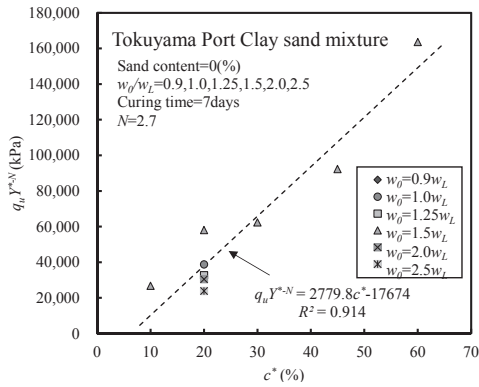
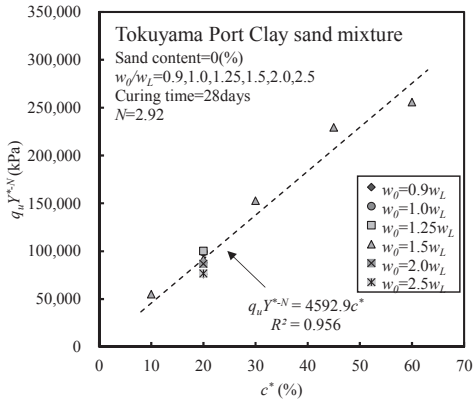


図-15 Abrams の法則を用いた式(2)により計算した推定値と実測値の比較

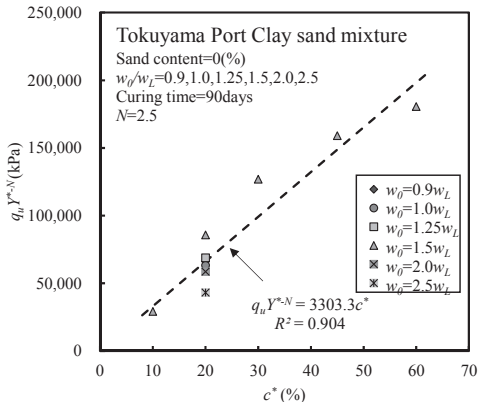
節に示した初期含水比が液性限界の 1.0~1.5 倍の場合の推定強度と実測強度のズレよりも X の値が大きくなっており、また式(11)を用いて予測した初期含水比が液性限界の 1.5 倍の場合の強度が小さくなっている。これら原因として、それぞれの式のパラメータを決定する際に用いた近似線の相関係数 R^2 が小さくなってしまったこと、近似線が



(a) 養生 7 日



(b) 養生 28 日



(c) 養生 90 日

図-16 c^* と $q_u Y^{s-N}$ の関係 ($S=0\%$)

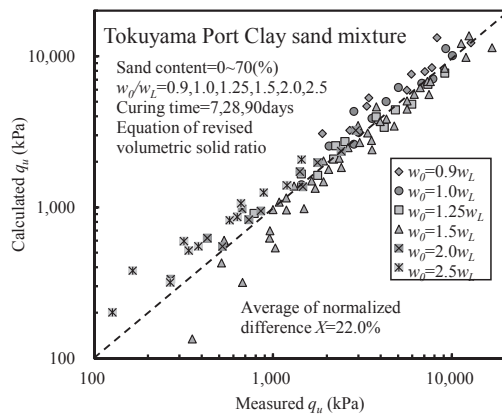


図-17 体積固体分率を用いた式(11)により計算した推定値と実測値の比較

液性限界の 1.5 倍のデータの下を通っていることが挙げられる。

以上の結果より、初期含水比及び砂添加率が異なる浚渫粘土を用いたセメント固化処理土の強度を推定する際には処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率と体積固体分率を用いた強度推定式(11)を用いることが最も適当であると考えられる。また、式(11)において砂添加率 0%のデータのみ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。しかし、本研究では粘性土を対象としており砂添加率 $S=70\%$ までのデータであるため、それ以上の砂添加率の場合についてはさらに検討が必要である。

4. 結論

- (1) 式(6)における砂分の取扱い方法について検討した。処理土に含まれる細粒分と砂分の乾燥質量に対するセメント添加率 c と砂添加率 S の配合は異なるが、処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率 c^* がほぼ同じになる 2 つの供試体の強度発現を比較した。処理土に含まれる細粒分と砂分の乾燥質量に対する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。よって提案式(6)において、処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率 c^* を用いることが妥当であると考えられ、式(6)を書き直すと式(11)のようになる。
- (2) 初期含水比が液性限界の 1.0~1.5 倍の浚渫土を用いたセメント固化処理土に対する強度推定式の適合性を検討した。水セメント比を用いた式(1)、Abrams の法則を用いた式(2)、細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率及び体積固体分率を用いた式(11)のいずれにおいても、計算強度と実測強度の相関は高くなった。しかし、水セメント比を用いた式(1)と細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率及び体積固体分率を用いた式(11)においては砂添加率 0%のみのデータを用いてパラメータを決定することができるが、Abrams の法則を用いた式(2)においてパラメータを決定するには砂添加率 0~70%のデータを用いる必要がある。
- (3) 初期含水比が液性限界の 0.9~2.5 倍の浚渫土を用いたセメント固化処理土に対する強度推定式の適合性を検討した。本研究で対象とした 3 つの強度推定式のうち、細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率及び体積固体分率を用いた式(11)により計算した強度と実測強度の相関が最も高くなった。また、式(11)において砂添加率 0%のみのデータを用いてパラメータを決定することが可能であった。しかし、本研究では粘性土を対象として

おり砂添加率 $S=70(\%)$ までのデータであるため、それ以上の砂添加率の場合についてはさらに検討が必要である。

- (4) 以上の結果より、砂添加率 70%までの粘性土を用いたセメント固化処理土の強度発現は砂添加率に関係なく、主に処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率及び体積固体分率、つまり空隙率により決めると考えられる。よって、浚渫土の初期含水比及び砂含有率が異なるセメント固化処理土の強度を推定する場合、処理土に含まれる細粒分のみ乾燥質量に対するセメント添加率及び体積固体分率を用いた式(11)を使用することが妥当であると考えられる。また、この式(11)において砂添加率 0%のデータのみを用いてパラメータを決定することが可能である。

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 D 滑走路埋立部の施工と維持管理，土木学会論文集 C，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) Horpibulsk, S., Rachan, R., Suddeepong, A., and Chinkulkijniwat, A.: Strength development in cement admixed Bangkok clay: laboratory and field investigations, *Soils and Foundations*, Vol.51, No.2, pp.239-251, 2011.
- 5) Mitchell, J.K., Veng, T.S., and Monishith, C.L.: Behavior of stabilized soils under repeated loading, Performance evaluation of cement-stabilized soil layers and its relationship to pavement design, Department of Civil Engineering, California univ., Berkeley, California, 1974.
- 6) Tang, Y.X., Miyazaki, Y., and Tsuchida, T.: Practices of reused dredging by cement treatment, *Soils and Foundations*, Vol.41 No.5, pp.129-143, 2001.
- 7) Lorenzo, G.A., and Bergado, D.T.: Fundamental parameters of cement-admixed clay-new approach, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol.130, No.10, pp.1042-1050, 2004.
- 8) Tsuchida, T., and Tang, Y.X.: Estimation of compressive strength of cement-treated marine clays with different initial water contents, *Soils and Foundations*, Vol.55, No.2, pp.359-374, 2015.

(2018年6月18日 受付)