

3つの水セメント比と3分・5分の攪拌混合時間を組合せた蓮池粘土（上部）の強度発現

佐賀大学理工学部 ○学 麻生一真 テノックス九州 正 碓井博文
 佐賀大学理工学部 正 日野剛徳 学 SOME Donzala David

1. はじめに 筆者らの属する研究グループは、実施工に基づきユニークな水セメント比 W/C に関する見解を掴みかけている。前報りに引き続き、3分・5分からなる攪拌混合時間 t と3つの W/C を組合せた蓮池粘土（上部）の改良土を作製し、その強度発現特性について検討した。

2. 蓮池粘土（上部）の基本的性質と室内配合試験 表-1に、試料の基本的性質を示す。試料は佐賀市嘉瀬町で採取された蓮池粘土（上部）であり、状態諸量は軟弱な様相を示している。液性指数 I_L の高低は鋭敏性の高低に比例すると推定し、深層混合処理工法における攪拌混合の難易の程度を示す定数として注目している^{3),4)}。試料の $I_L > 1$ であり、攪拌混合し易い粘性土と推定される。室内配合試験として、一般軟弱土用のセメント系固化材 $C = 110\text{kg/m}^3$, $W/C = 0.5, 1.0, 1.5$ とした。攪拌混合時間 $t = 3$ 分, 5分とした。供試体の作製として、一度の室内配合における改良土を余すことなく使用し、攪拌翼の空転による混合不良を防ぐための粘性土量を事前に求め、供試体12本分に相当する量とした。セメント系固化材スラリーの飛散を防ぐために、ボウル内で蓮池粘土（上部）を2層に分け、層間に同スラリーを添加することによって攪拌混合した。なお攪拌翼とボウルの隙間に未攪拌混合部が認められたが、 t 以外の作製条件を均一化するため、途中の人為的操作は一切加えなかった。未攪拌混合部も含めた団子状挿入式からなるタッピングを行い、プラモールドに充填した。養生日数28日後に一軸圧縮試験に供した。以上の検討を2回繰返した。

3. 改良土の強度発現特性 図-1(a)～(f)に、各配合条件による改良後の蓮池粘土（上部）の一軸圧縮強さ q_u の分布を示す。各図において q_u の分布にばらつきが生じ、左右対称を始め、右肩下がり、二つの凸、のように様々な分布が認められる。これは、JGS 0821-2020の「十分に混合する」に対応するために、室内配合試験における攪拌混合の途中に人為的操作を加えがちなところ、本報ではその行為を避けたために生じたばらつきと考えられる。表-2に、1回目の室内配合試験によって得られた一軸圧縮強さの平均値 \bar{q}_u と変動係数 CV について、 W/C と t の観点で整理した結果を示す。 W/C の増加につれて、 $t = 3$ 分における \bar{q}_u は増加から減

表-1 試料の基本的性質
 (項目の順序は三笠 (1964)²⁾に準拠)

項目		蓮池粘土（上部）
粒 度 組 成	石分(%)	0.0
	礫分(%)	0.0
	砂分(%)	0.9
	シルト分(%)	43.7
	粘土分(%)	55.4
地盤材料の分類名		粘土 (高液性限界)
分類記号		(CH)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.600
自然含水比 w_n (%)		124.1
液性限界 w_L (%)		91.8
塑性限界 w_p (%)		39.1
塑性指数 I_p		52.7
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³) (JGS 0821 2020)		1.376
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		0.602
間隙比 e		3.250
飽和度 S_r (%)		99.3
液性指数 I_L		1.6

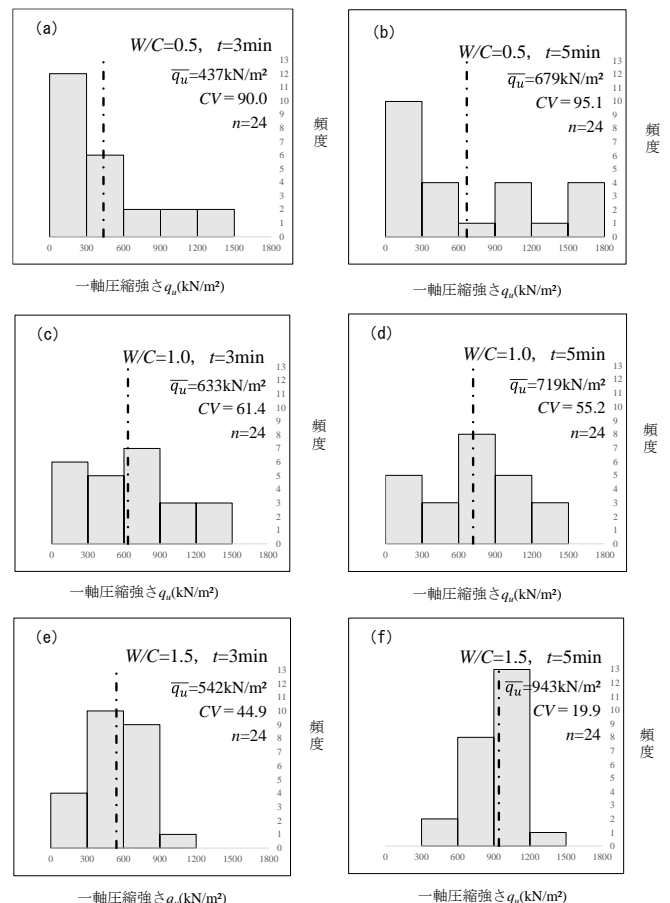


図-1 (a)～(f) q_u の分布

少, CV は単調減少を示した. $t=5$ 分における \bar{q}_u は単調増加, CV は単調減少を示した. W/C を固定し t の変化に伴う \bar{q}_u と CV を比較すると, \bar{q}_u は増加を示すが, $W/C=1.0$ におけるその程度は低い. また, CV は $W/C=0.5$ において増加し, $W/C=1.0$ と 1.5 において減少した. 表-3には, 2回目の室内配合試験の結果を示した. W/C の増加につれて, $t=3$ 分における \bar{q}_u は1回目と同様に増加から減少するが, 3つの値における増減の程度は低い. CV は $W/C=1.0$ に比べ $W/C=1.5$ においてわずかに増加した. $t=5$ 分における \bar{q}_u は単調増加, CV は単調減少を示した. W/C を固定し t の変化に伴う \bar{q}_u と CV を比較すると, \bar{q}_u は増加を示した. また, CV は $W/C=0.5$ と 1.0 において増加し, $W/C=1.5$ において減少した. 表-4は, 1回目と2回目の室内配合試験の結果を総合したものである. W/C の増加につれて, $t=3$ 分における \bar{q}_u は増加から減少, CV は単調減少を示した. $t=5$ 分における \bar{q}_u は単調増加, CV は単調減少を示した. W/C を固定し t の変化に伴う \bar{q}_u と CV を比較すると, \bar{q}_u は増加を示した. また, CV は $W/C=0.5$ において増加し, $W/C=1.0$ と 1.5 において減少した.

4. 考察 表-2 から表-4 にかけて検討を続けてきたように, W/C および t と \bar{q}_u および CV の間には単純な解釈が成立しない. 表-5 に, 前報¹⁾に示した結果を再掲する. W/C の増加につれて, $t=1$ 分における \bar{q}_u は増加から減少, CV は単調減少を示した. $t=10$ 分における \bar{q}_u は単調増加, CV は減少からわずかに増加を示した. 表-5の結果もまた, 表-2 から表-3 までの結果との間で変わらない. 前報において, 佐賀低平地の深層混合処理工法における W/C は 1.0 として定められることが多く, 軟弱地盤の改良におけるさらなる加水の抵抗感を始め, 改良柱体施工時の注入量増加に伴う攪拌不良・鉛直水平変位の懸念, などの心理・経験によるとの推察を述べた. 特に, 本報における $W/C=0.5$ のこだわりは, 同推察の検証にあった. 得られた結果は, 低い W/C ほど, 低い t ほど \bar{q}_u は低く, CV は高いものであることがわかった. また, 攪拌時間の長さは高い品質との間で比例する⁵⁾との通念も覆された. すなわち, $W/C=1.5$ において $t=5$ 分のもとで最も高い \bar{q}_u と最も低い CV が得られており, 現段階ではその原因について明らかでない. 他方, $W/C=1.5$ における \bar{q}_u は, $W/C=1.0$ のものに比べいずれの t のもとでも同値かそれ以上の値を示している. さらに, $W/C=1.5$ における CV は, いずれの配合条件のもとでも最も低い値を示している. 本報の検討手法は単純かつ基本的な統計にのみ基づいており, 研究の担い手によってあらゆる傾向が得られ続ける可能性を否めない. このような問題を解消するために, 今後はデータの平均, ちらばり, 分布について検定を行い, 解釈の普遍化に努める必要がある.

5. おわりに 本報で得られた知見を要約すると, 次のとおりである: (1) 3つの水セメント比と3分・5分の攪拌混合時間 t を組合せた室内配合試験において, 1回目と2回目の間で異なる平均一軸圧縮強さ \bar{q}_u , 変動係数 CV および各値の相関の異なりを得た; (2) 水セメント比 $W/C=1.5$, $t=5$ 分における \bar{q}_u は, $t=10$ 分の同値に比べ高い値を示した. 同様に, CV は低い値を示した; (3) 低い W/C ほど, 低い t ほど \bar{q}_u は低く, CV は高い; (4) $W/C=1.5$ における \bar{q}_u は $W/C=1.0$ の同値に比べ同等または高い値を示し, $W/C=1.5$ における CV は本報に定めた配合条件において最も低い値を示した.

参考文献: 1) 川添ら: 令和3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM, 第三部門, pp.345-346, 2022.; 2) 三笠: 土と基礎, Vol.12, No.4, pp.17-24, 1964.; 3) 嘉門ら: 16土の力学(I)~土の分類・物理化学的性質~, 新体系土木工学(土木学会編), 技報堂出版, pp.87-97, 1988.; 4) 日野ら: 地盤工学会誌, 地盤工学会, Vol.67, No.4, Ser.No.735, pp.12-15, 2019.; 5) 西田ら: 土木学会論文集, No.516/VI-27, pp.165-172, 1995.

表-2 各 W/C と各 t における \bar{q}_u と CV
(1回目: 供試体数 12本)

W/C	\bar{q}_u (kN/m ²)		CV (%)	
	$t=3$ 分	$t=5$ 分	$t=3$ 分	$t=5$ 分
0.5	323	647	84.5	94.6
1.0	712	727	65.4	60.8
1.5	581	884	38.9	23.5

表-3 各 W/C と各 t における \bar{q}_u と CV
(2回目: 供試体数 12本)

W/C	\bar{q}_u (kN/m ²)		CV (%)	
	$t=3$ 分	$t=5$ 分	$t=3$ 分	$t=5$ 分
0.5	552	690	82.9	89.8
1.0	554	711	48.7	48.8
1.5	503	1001	50.5	14.4

表-4 各 W/C と各 t における \bar{q}_u と CV
(1回目の2回目の総合: 供試体数 24本)

W/C	\bar{q}_u (kN/m ²)		CV (%)	
	$t=3$ 分	$t=5$ 分	$t=3$ 分	$t=5$ 分
0.5	437	669	90.0	95.1
1.0	633	719	61.4	55.2
1.5	542	943	44.9	19.9

表-5 各 W/C と各 t における \bar{q}_u と CV ¹⁾

W/C	\bar{q}_u (kN/m ²)		CV (%)	
	$t=1$ 分	$t=10$ 分	$t=1$ 分	$t=10$ 分
0.5	419	749	92.3	49.3
1.0	425	786	83.7	45.6
1.5	343	809	45.2	46.5