

佐賀低平地の深層混合処理工法の実施工における促進養生法の適用

佐賀大学理工学部 ○学 副島大雅 正 碓井博文 正 日野剛徳

大分工業高等専門学校 正 姫野季之

促進養生研究会 正 真崎照吉 正 喜連川聰容

1. はじめに 筆者らの属する研究グループは、佐賀低平地の深層混合処理工法における促進養生法の適用を進めてきている^{1)~4)}。同養生法は、改良土の強度発現の可否をわずか1日で見極めようとするものである。同養生法の検討は、室内配合試験に限られてきていた。本報では、深層混合処理工法の実施工において促進養生法を適用した結果について述べる。

2. 現場における地盤の基本的性質

佐賀市本庄町（現場 A と呼ぶ）と佐賀県杵島郡白石町（現場 B と呼ぶ）で深層混合処理工法が実施された。表-1 に、各現場における粘性土の基本的性質を示す。両現場ともに、蓮池粘土（上部・下部）と有明粘土の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ており、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再注目し始めている^{6),7)}。蓮池粘土（上部）と有明粘土

表-1 各現場における粘性土の基本的性質

(項目の順序は三笠 (1964)⁵⁾ に基づく)

現場名		佐賀市本庄町 (現場 A)		佐賀県杵島郡白石町 (現場 B)		
項目/粘性土の種類		蓮池粘土 (上部)	有明粘土	蓮池粘土 (上部)	有明粘土	蓮池粘土 (下部)
粒度 組成	礫分(%)	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	砂分 (%)	11.0	3.4	0.3	0.3	5.2
	シルト分 (%)	47.7	54.9	28.8	35.9	26.4
	粘土分 (%)	41.0	41.7	70.9	63.8	68.4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.642	2.630	2.642	2.639	2.608
自然含水比 w_n (%)		111.6	113.1	158.1	117.9	79.7
液性限界 w_L (%)		77.6	86.9	142.8	116.5	87.0
塑性限界 w_p (%)		31.7	34.2	50.8	43.9	36.1
塑性指数 I_p		45.9	52.7	92.0	72.6	50.9
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³) (JGS 0821 2020 ⁸⁾)		1.449	1.413	1.278	1.393	1.516
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		0.735	0.678	0.495	0.639	0.844
間隙比 e		2.612	2.883	4.338	3.128	2.092
飽和度 S_r (%)		99.0	99.1	96.4	99.5	99.4
液性指数 I_L		1.74	1.49	1.17	1.02	0.86

の $I_L > 1$ であり、攪拌混合し易い粘性土と推定される。蓮池粘土（下部）の $I_L < 1$ であり、攪拌混合し難く、セメント系固化材の増量、ダブルング（二往復攪拌混合）などの追加措置を要する粘性土と推定される。

3. 実験方法 各現場における一般軟弱土用のセメント系固化材の添加量 C と水セメント比 W/C は次のようであった。現場 A：蓮池粘土（上部）（供試土 A と呼ぶ）と有明粘土（供試土 B と呼ぶ）の $C=110\text{kg/m}^3$ ，

$W/C=1.0$ と 1.5 。現場 B：蓮池粘土（上部）（供試土 A）と有明粘土（供試土 B）の $C=150\text{kg/m}^3$ ，蓮池粘土（下部）（供試土 C と呼ぶ）の $C=170\text{kg/m}^3$ ， $W/C=1.0$ 。打設直後の改良柱体より未固化の改良土を採取し、JGS 0821-2020⁸⁾に従い現場で供試体を各層 3 本ずつ作製した。改良土の採取には、写真-1 に示す装置を改良後迅速に攪拌翼と取り換えることによった。図-1 より、ロッドを正転させ採取装置を閉口し、所定の深さまで貫入。所定の深さの到達後にロッドを逆転させて採取装置を開口し、改良土を採取。再びロッドを正転させ採取装置を閉口。正転させながら採取装置を引き抜くことによった。供試体は実験室で養生した。養生日数は1日と28日。促進養生法による1日養生について、打設開始から3時間の前置養生の間に実験室に搬送、水温 $55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ からなる水槽に20.5時間静置する温水養生、約30分の室温による後置養生を経て、一軸圧縮試験に供した³⁾。



写真-1 改良土の採取装置

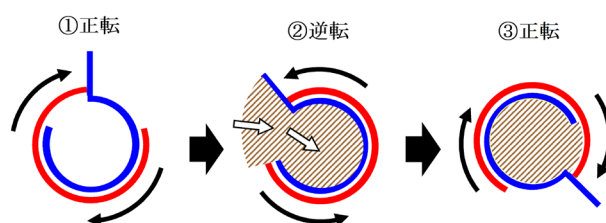


図-1 改良土の採取方法

4. 強度発現特性 図-2 に、供試土 A と供試土 B における促進養生法に基づく一軸圧縮強さ q_{u1} と通常養生に基づく同強さ q_{u28} の関係を示す。供試土 A における一軸圧縮強さ比 $UCSR (=q_{u28}/q_{u1}) = 1.46$ として得られた。供試土 B における $UCSR = 1.73$ であった。促進養生法の提言の根幹図³⁾に供試土 A, B および C の結果を加筆したのが図-3 である。深層混合処理工法の実施工における促進養生法の適用の結果、得られた $UCSR = 1.68$ であった。

5. 考察 表-2 において、各粘性土の実験室 ($UCSR_L$ (L: Laboratory)), 現場 ($UCSR_F$ (F: Field)) および実験室+現場の条件における一軸圧縮強さ比 $UCSR$, 決定係数 r^2 および相関係数 r について比較した。供試土 A の $UCSR$ について、 $UCSR_L$ と $UCSR_F$ の間で明瞭な差は認められなかった。また、 $UCSR_L + UCSR_F$ と最も値のばらつきが想定される組合せであってもその $r^2 = 0.965$, $r = 0.982$ のように高い相関を示している。供試土 B の場合、 $UCSR$ は $UCSR_L$ と $UCSR_F$ の間で差が認められたが、供試土 A と同様に $UCSR_L$ と $UCSR_L + UCSR_F$ についてほぼ同様の値を示した。 $UCSR_L + UCSR_F$ の相関関係も $r^2 = 0.958$, $r = 0.978$ と高い値を示している。これまで実験室で得られてきたデータに今回の現場のデータを加えた $UCSR = 1.56$ が得られ、 $r^2 = 0.950$, $r = 0.974$ という高い相関も得られている。また、図-3 に示した現場のみの $UCSR = 1.68$ においても、 $r^2 = 0.976$, $r = 0.987$ と高い相関が得られた。

筆者らの属する研究グループは、促進養生法に基づく一軸圧縮強さ q_{u1} による通常養生に基づく同強さ q_{u28} の推定式 $q_{u28} = UCSR$ (参考文献群では K と表記) $\times q_{u1}$ (当面の値として $UCSR = 1.5$ を提案中) を提案

してきている。現場のみの $UCSR = 1.68$ あり、既往の値に比べて高い。このことは、促進養生法を現場に適用した場合も既往の提案式を適用すれば安全側の推定をもたらすことを意味する。

6. まとめ 本報で得られた知見を要約すると、次のとおりである：1)現場の結果を加えた蓮池粘土（上部）の一軸圧縮強さ比 $UCSR (=q_{u28}/q_{u1}) = 1.49$, 有明粘土の $UCSR = 1.57$ が得られた；2)蓮池粘土（上部）, 有明粘土および蓮池粘土（下部）を合わせた現場の $UCSR = 1.68$ が得られた；3)促進養生法は現場にも適用でき、 $q_{u28} = UCSR (=既往の K) \times q_{u1}$ (当面は $UCSR = 1.5$) の推定式を用いる提案を続ける。

謝辞：本検討の実施に際し、佐賀県有明海沿岸道路整備事務所ならびに佐賀県佐賀土木事務所には現場の提供をいただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献：1) 碓井ら：コンクリートテクノ，セメント新聞社，Vol.39, No.2, pp.32-39, 2020.；2) 姫野ら：地盤工学ジャーナル，Vol.15, No.4, pp.705-714, DOI: 10.3208/jgs.15.705, 2020.；3) 促進養生研究会：セメント系固化材による佐賀平野地盤改良における促進養生法の導入（提言），17p, 2021.；4) 姫野ら：第 56 回地盤工学研究発表会，地盤工学会，pp.13-4-3-07, 2021.；5) 三笠：土と基礎，Vol.12, No.4, pp.17-24, 1964.；6) 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.；7) 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.；8) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説～二分冊の 1～，pp.445-453, 2020

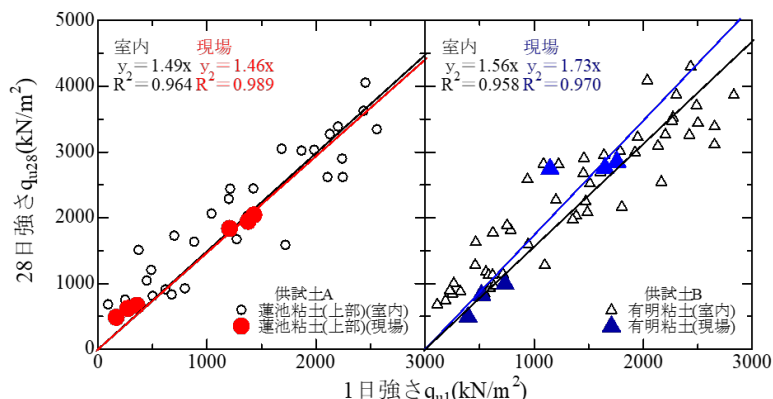


図-2 供試土 A と供試土 B における q_{u1} と q_{u28} の関係 (姫野ら (2021)⁴⁾ に加筆)

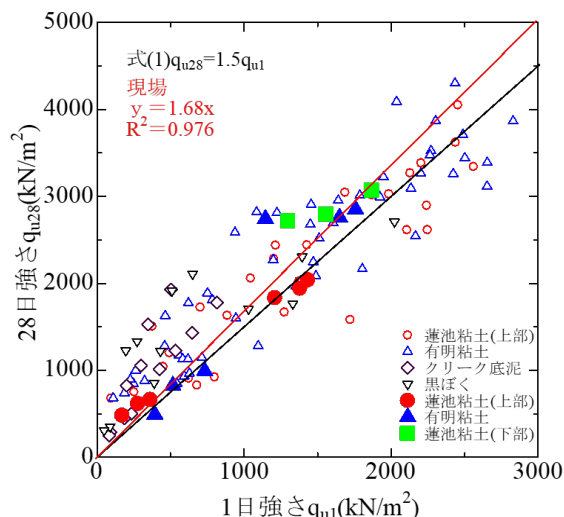


図-3 実験室（中空ドット）と現場（中塗ドット）における q_{u1} と q_{u28} の比較 (姫野ら (2021)⁴⁾ に加筆)

表-2 各粘性土の実験室 (L: Laboratory), 現場 (F: Field), 実験室+現場における $UCSR$ の比較

粘性土の種類	条件設定	$UCSR$ ($=q_{u28}/q_{u1}$)	r^2	r
供試土 A	$UCSR_L$	1.49	0.964	0.981
	$UCSR_F$	1.46	0.989	0.994
	$UCSR_L + UCSR_F$	1.49	0.965	0.982
供試土 B	$UCSR_L$	1.56	0.958	0.978
	$UCSR_F$	1.73	0.970	0.984
	$UCSR_L + UCSR_F$	1.57	0.958	0.978