

土の強熱減量とセメント系固化材の組み合わせにおける改良土の強度発現特性に関する検討

佐賀大学理工学部 ○学 栗戸勇樹 大分工業高等専門学校 正 姫野季之 佐賀大学 正 日野剛徳
促進養生研究会 正 碓井博文 正 喜連川聰容

1. はじめに スラリー状のセメント系固化材を用いた深層混合処理工法における促進養生法の適用に関する検討を進めてきている¹⁾²⁾。佐賀低平地の地域高規格道路事業では、粘性土の強熱減量 L_i が 10% の値を境に一般軟弱土用 ($L_i < 10\%$) または高有機質土用 ($L_i \geq 10\%$) のセメント系固化材を選択するようになってきている。しかしながら、この組み合わせが必ずしも適切とは限らない事例が積み重なりつつある。本研究では、 L_i が異なる土に上記 2 種類のセメント系固化材を配合し、促進養生法による強度比の検討に資するとともに、室内配合試験における攪拌時間の視点³⁾も設け、各改良土の強度発現特性に関する理解の深化に臨んだ。

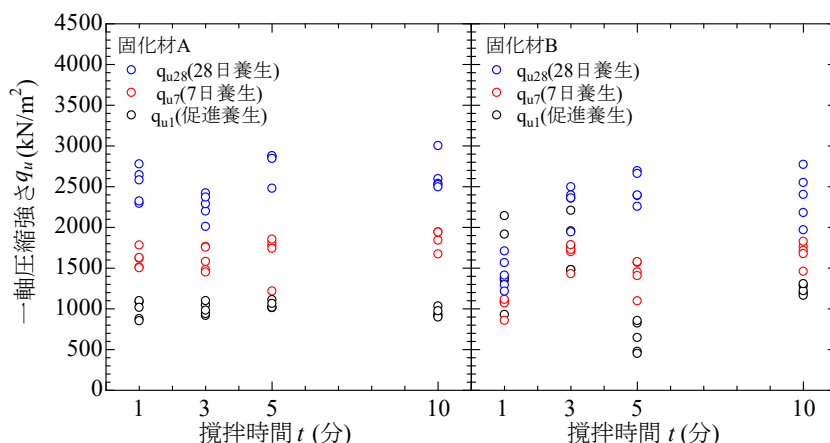
2. 試料の基本的性質と室内配合試験 表-1 に、有明粘土 ($L_i=9.2\%$)、蓮池粘土 ($L_i=9.9\%$) および黒ボク土 ($L_i=27.5\%$ 、熊本市) の基本的性質を示す。供試体の作製に際し、一般軟弱土用 (固化材 A と呼ぶ) と高有機質土用 (固化材 B と呼ぶ) のセメント系固化材を水セメント比 $W/C=1.0$ の条件で配合した。配合量 C は、有明粘土と蓮池粘土において $C=150\text{kg/m}^3$ 、黒ボク土において $C=300\text{kg/m}^3$ とした。現場における攪拌は室内配合試験の 1 分攪拌に相当する³⁾との知見に注目し、JGS 0821-2009⁴⁾に定められている攪拌時間 $t=10$ 分の他に $t=1$ 分、3 分および 5 分の条件を加えた。1 バッチにおける全ての改良土が余すことなく供試体化するための割増率²⁾ (有明粘土・蓮池粘土 0.9、黒ボク土 0.97) を事前に求め、同割増率に基づく土量と固化材の量の正確な算出に努め、さらにスラリー状のセメント

系固化材の飛散を防ぐためにボウル内で土を 2 層に分け、層間にセメント系固化材を添加することによって攪拌した。改良土をプラモールドへ充填後、余盛を施さないことで t 以外の作製条件の均一化に努めた。養生日数は 1 日 (促進養生法¹⁾²⁾)、7 日および 28 日 (それぞれ JGS 0821-2009⁴⁾) とした。各配合条件のもとで 5 本ずつ、計 240 本を作製し、所定の養生を経た後に一軸圧縮試験に供した。

3. 各改良土の強度発現特性 図-1 に、有明粘土における攪拌時間 t と各一軸圧縮強さの関係を示す。固化材 A を適用した場合、促進養生法による一軸圧縮強さ q_{u1} および通常養生による同強さ (7 日強さ q_{u7} および 28 日強さ q_{u28}) について、 t の変化に伴う増減は認められなかった。固化材 B を適用した場合、 q_{u1} は $t=1$ 分から 5 分にかけてバラつきが収束し、 $t=10$ 分にかけて強度発現は増加する傾向を示した。 q_{u7} および q_{u28} も同様の傾向を示した。図-2 に、蓮池粘土における t と q_u の関係を示す。固化材の種類による強度発現に顕著な差は認められず、 q_{u1} は $t=1$ 分

表-1 試料の基本的性質

項 目	有明粘土	蓮池粘土	黒ボク土
粒 度 組 成	砂 分 (%)	13	27
	シルト分 (%)	8	10
	粘土分 (%)	79	63
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.56	2.47	2.32
酸化還元電位 (mV)	127	69	257
pH (25°C)	8.15	8.28	6.4
電気伝導率 (mS/cm)	5.3	2.3	3.9
塩濃度 (g/L NaCl)	15.2	4.0	0
強熱減量 L_i (%)	9.2	9.9	27.5
液性限界 w_L (%)	121.8	111.6	103
塑性限界 w_p (%)	38.8	61.1	62.8
塑性指数 I_p	83	50.4	40.2
改良前の含水比 w (%)	144.6	135.3	74.2
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³) (JGS 0821 2009 ⁴⁾)	1.31	1.32	0.916
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.595	0.617	0.526
間隙比 e	3.241	3.09	3.412

図-1 有明粘土における t と q_u の関係

から 5 分にかけて増加し、 $t=5$ 分から 10 分にかけて変化は小さかった。 q_{u7} および q_{u28} について、 t の変化が強度発現に及ぼす影響は小さく、概ね一定であった。図-3 に、黒ボク土における t と q_u の関係を示す。 q_{u1} について、固化材 A および固化材 B とともに t の変化によらずほぼ一定の値を示した。 q_{u7} および q_{u28} について、固化材 A を適用した場合、 $t=1$ 分から 5 分にかけて減少を伴いながら収束する傾向を示した。固化材 B を適用した場合、 $t=3$ 分以上において緩やかな増加を示した。

4. 考察 西田らは、現場の攪拌エネルギーと室内配合試験の攪拌エネルギーの関係に基づいて、後者における 1 分間の攪拌が前者の攪拌の実情に合うことを示している³⁾。粘性土とセメント系固化材の組み合わせが必ずしも効果的と限らないのは、室内配合試験における攪拌条件が理想過ぎて本質を再現できていないからではないか。

このような疑問が t に違いを設けた所以である。表-2 に、各 t における q_{u1} の変動係数を示す。 t が長くなるほど変動係数は収束することが想定されたが、各試

料の t と変動係数の間には明瞭な違いは認められなかった。有明粘土および蓮池粘土の場合は改良前の土の含水比が高かったこと、黒ボク土の場合は固化材の添加量がとりわけ高かったことが同現象の説明として挙げられる。結果として、供試体に占めるスラリー状固化材の割合が高くなり、短い t であっても混合度が高まり易い条件に至ったと考えられる。紙面の都合上表示できなかったが、同様の傾向は q_{u7} および q_{u28} の場合でも確認された。さらに、西田らの知見は生石灰と粉体噴射攪拌工法 (DJM) の組み合わせからなる視点に基づいており、スラリー状のセメント系固化材に基づく深層混合処理工法における現場の攪拌エネルギーと室内配合試験の攪拌エネルギーの関係はさらに短い攪拌時間内に存在することも示唆される。

5. おわりに 本検討で得られた知見を要約すると、次のとおりである：(1) 異なる L_i を有する土とセメント系固化材の組み合わせに攪拌時間の変化もたらすことによって検討を進めたが、これらの視点が q_{u1} 、 q_{u7} および q_{u28} の強度発現特性に及ぼす影響は見出せなかった；(2) 各一軸圧縮強さの変動係数についても同様の見解であった。

謝辞： 本検討の実施に際し、促進養生研究会（会長：三浦哲彦佐賀大学名誉教授／軟弱地盤研究所・所長）から土試料の提供および研究費のサポートをいただいた。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.705-714，2020.；3) 西田ら：土木学会論文集，No.516/VI-27，pp.165-172，1995.；4) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説～二分冊の1～，pp.426-434，2009.

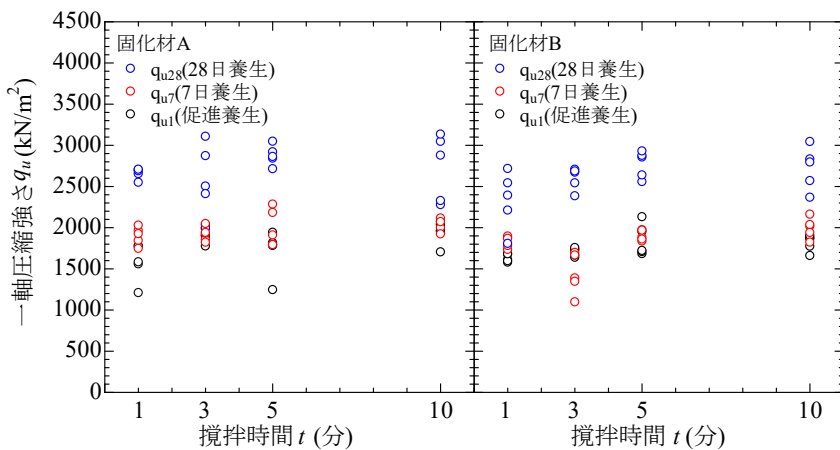


図-2 蓮池粘土における t と q_u の関係

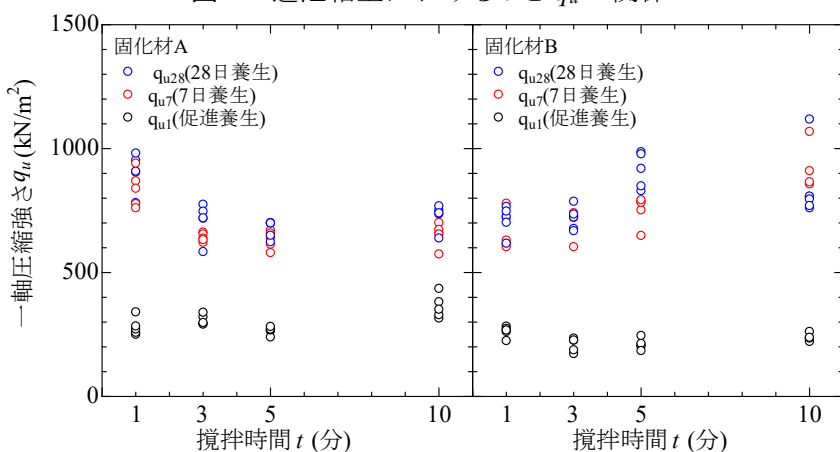


図-3 黒ボク土における t と q_u の関係

表-2 各 t における q_{u1} の変動係数 (%)

t	有明粘土		蓮池粘土		黒ボク土	
	固化材 A	固化材 B	固化材 A	固化材 B	固化材 A	固化材 B
1 分	18.6	28.1	13.1	2.6	11.4	7.6
3 分	10.6	15.8	4.6	2.7	6.1	11.9
5 分	8.6	25.8	14.1	9.5	5.3	9.5
10 分	19.8	4.3	6.3	4.9	11.8	5.5