

粘性土の攪拌難易に基づくセメント改良土の初期強度発現特性

株式会社ワイビーエム

○津留崎 一洋

株式会社ワイビーエムサービス

九十九 督 眞崎 照吉

佐賀大学

金納 宇宙 日野 剛徳

1. はじめに

深層混合処理工法(DMM)における柱状改良体の固化不全が発生することがあるが、そのひとつの要因として、改良対象土とセメント系固化材における攪拌の難易が着目されている¹⁾。本報では、コンシステンシーを変化させたカオリン粘土に異なる水セメント比からなるセメント系固化材スラリーを添加して改良土を作製し、カオリン粘土における混合の難易と改良土の作製時における攪拌の難易の関係、さらに改良土の初期強度発現特性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」

佐賀県政下の地域高規格道路・有明海沿岸道路（佐賀福富道路）の六角川右岸から福富インターチェンジの区間において実施された地質調査業務における土の状態諸量のデータを統計処理し、粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」について報告されている¹⁾。また、土の一軸圧縮試験に基づく破壊ひずみ ε_f を独立変数とし、同試験の応力-ひずみ曲線から得られる正規化変形係数 E_{50}/s_u ²⁾、土の液性限界試験・塑性限界試験から得られる液性指数 I_L 、土の段階載荷型圧密試験の e - $\log p$ 曲線から得られる圧縮指数比 C_{c1}/C_{c2} ³⁾ を従属変数とする単純な統計処理により、表-1 のように状態諸量に基づく粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」のしきい値について提案されている。

本研究では、液性指数 I_L と水セメント比 W/C に着目し、 $I_L=1.00, 0.75, 0.50, 0.25$ のカオリン粘土に対し、 W/C を変えて作製した改良土の養生時間 120 分までの初期強度発現特性について検討した。

3. 実験方法

佐賀県嬉野市塩田町において陶磁器原料として販売されているカオリンパウダーを用いて、後述の含水比調整を施すことによってカオリン粘土の試料調整を行った。

混合に際しては、カオリンパウダーをソイルミキサーの混合容器に分取、所定の含水比になるように加水、2 分間と 5 分間の混合経過時にミキサーを止め、改良土塊の

上下を裏返して混合容器に戻し、計 15 分間の混合を行った。ここに当該試験で用いたカオリン粘土のコンシステンシー特性は、液性限界 $w_L=67.9\%$ 、塑性限界 $w_p=45.5\%$ であった。表-2 に、カオリン粘土における I_L ごとの調整含水比 w_i とこの含水比のもとで得られる湿潤密度 ρ_t を示す。 ρ_t の計測は JGS 0821-2020 に準じ、直径 50 mm×高さ 100 mm のプラモールドに 3 層に分けてカオリン粘土を挿入し、1 層ごとにタッピングによる充填を行い、表面を擦切り端面成形の後に重さを計って値を求めた。

表-2 カオリン粘土の I_L ごとの基本的性質

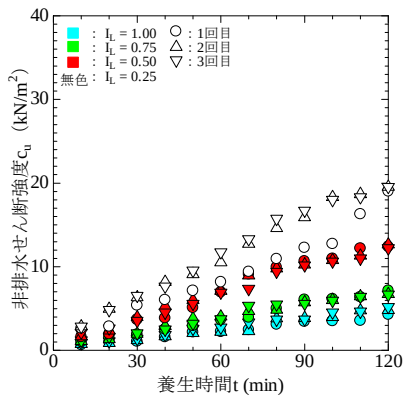
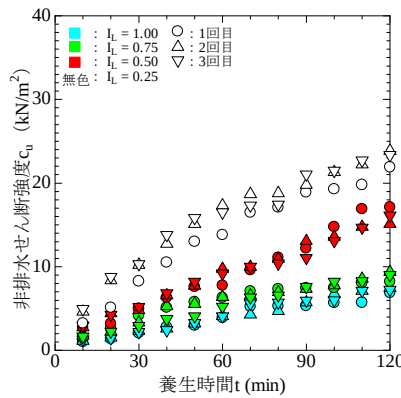
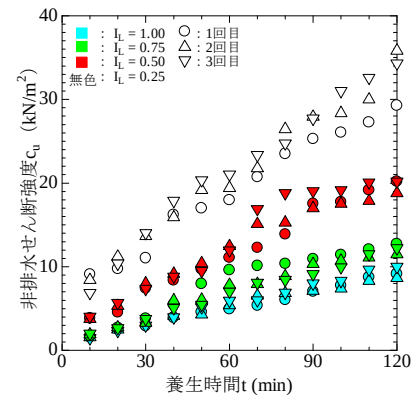
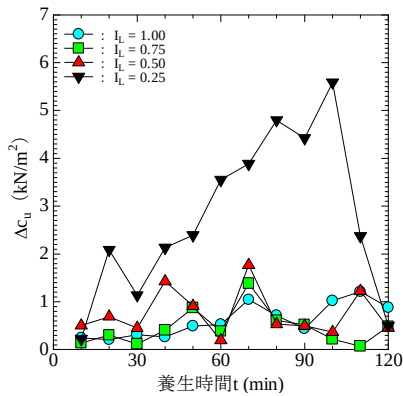
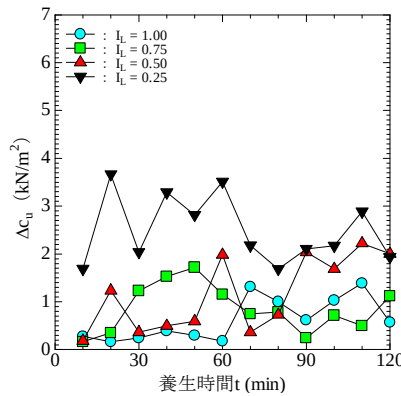
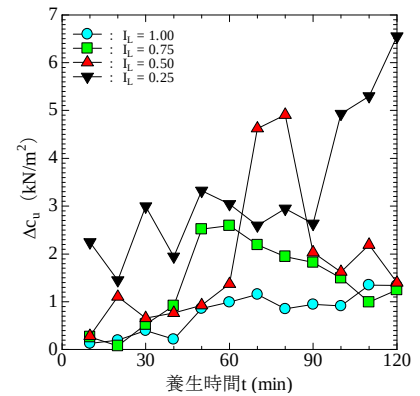
液性指数 I_L	1.00	0.75	0.50	0.25
調整含水比 w_i (%)	67.9	62.3	56.7	51.1
湿潤密度 ρ_t (Mg/m ³) (JGS 0821 2020)	1.55	1.57	1.60	1.63

作製したカオリン粘土を用い、攪拌翼の空転を防ぐための所要の土量を事前に求め、JGS 0821-2020 に従って改良土を作製した。固化材は、地域高規格道路群の DMM で用いられている一般軟弱土用セメント系固化材を用いた。セメント添加量 C を 110 kg/m³ に固定し、 W/C は 0.5, 1.0, 1.5 とし、計 12 パターンの実験に供した。上記のカオリン粘土に蒸留水とセメント系固化材を加え、カオリン粘土の作製と同様の手順にて混合した。なお、改良土の混合時間について、JGS 0821-2020 を遵守し 10 分間の混合時間を保った。

作製した改良土を用い、JGS 0142-2020「フォールコーンを用いた土の液性限界試験方法」における 12 個の試料容器にタッピングによる充填の後、表面を擦切ることによって端面成形し、重さを計り供試体間の均質性を確認・調整した。供試体はポリエチレンフィルムで表面を覆い、乾燥を防いだ。養生時間は供試体作製後 10 分から 10 分間隔で 120 分までの 12 個の供試体に対して連続的にフォールコーン試験を実施し、貫入量を計測した。同様の試験を 3 回繰返し、藤川・甲本らの式⁴⁾を用いて非排水せん断強度 c_u に換算したものを以後の検討に供した。

表-1 状態諸量に基づく粘性土の「混ざりやすさ」と「混ざりにくさ」¹⁾

粘性土	OCR	ε_f	E_{50}/s_u	I_L	C_{c1}/C_{c2}
混ざりやすい	$OCR \geq 1$	$\varepsilon_f < 2.8$	$E_{50}/s_u \geq 110$	$I_L \geq 1.11$	$C_{c1}/C_{c2} \geq 1.43$
混ざりにくい	$OCR \geq 1$	$\varepsilon_f \geq 2.8$	$E_{50}/s_u < 110$	$I_L < 1.11$	$C_{c1}/C_{c2} < 1.43$

(a) $W/C : 1.5 \cdot L_L : 1.0 \sim 0.25$ (b) $W/C : 1.0 \cdot L_L : 1.0 \sim 0.25$ (c) $W/C : 0.5 \cdot L_L : 1.0 \sim 0.25$ 図-1(a)～(c) 異なる W/C における L_L の違いに基づく c_u の経時変化(a) $W/C : 1.5 \cdot L_L : 1.0 \sim 0.25$ (b) $W/C : 1.0 \cdot L_L : 1.0 \sim 0.25$ (c) $W/C : 0.5 \cdot L_L : 1.0 \sim 0.25$ 図-2(a)～(c) 異なる W/C における L_L の違いに基づく Δc_u の経時変化

4. 実験結果

図-1(a)～(c)に、各 W/C のもとで異なる L_L に基づく改良土の c_u の経時変化を示す。図-2(a)～(c)に、各 W/C のもとで異なる L_L に基づく改良土の Δc_u の経時変化を示す。3回の実験における c_u の最大値と最小値の差を非排水せん断強度差 Δc_u とした。図-2(a)より、 $W/C=1.5$ では、 $L_L=0.5 \sim 1.0$ の Δc_u はいずれも小さな値を示す傾向にある。他方、 $L_L=0.25$ は、他の3条件と比較して大きな Δc_u を示している。図-2(b)より、 $W/C=1.0$ では、 $L_L=0.5 \sim 1.0$ の Δc_u は、いずれも小さな値を示す傾向にある。ただし、養生時間90分以降において、 $L_L=0.5$ の Δc_u は $L_L=0.25$ の Δc_u と同様に大きな値を示している。図-2(c)より、 $W/C=0.5$ では、 $L_L=1.0$ の Δc_u は小さな値を示す傾向にある。 $L_L=0.5$ 、 0.75 の Δc_u は、60分以降は大きな値を示すことがあり、 $L_L=0.25$ の Δc_u は常に大きな値を示している。

5. 考察

実験結果から、スラリーの W/C が高い場合では $L_L=0.5 \sim 1.0$ の強度のばらつきが小さいことから、攪拌が比較的容易であり、かつ均質になることが考えられる。 $L_L=0.25$ の強度のばらつきは大きくなることから、改良土が混ざりにくい状態にあると考えられる。他方、 W/C が低い場合では、 $L_L=0.5, 0.75$ であっても攪拌性が低下し、60分以降に強度のばらつきが大きくなる傾向が認めら

れた。これらより、改良土の初期強度に認められるばらつきについて、カオリン粘土のコンシステンシーとスラリーの W/C に大きく影響されることが考えられる。

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) 改良土の初期強度に認められるばらつきは、カオリン粘土のコンシステンシーとスラリーの W/C に影響される；
- 2) W/C が高い場合、 $L_L=0.5 \sim 1.0$ のもとでは攪拌性が良好であり、改良土は均質化しやすく、 Δc_u は小さい；
- 3) L_L が低い、または W/C が低いと攪拌が困難になり、改良土の強度のばらつきが顕在化する。

《引用・参考文献》

- 1) Mitsuse, K., Nakao, R., Sindete, M. J., Hino, T., & Harianto, T. (2025). *Smart Construction and Sustainable Cities*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s44268-025-00050-0>, 2025.4
- 2) 中瀬明男, 小林正樹, 兼近明男: 港湾技術研究所報告, 第11巻, pp243-259, 1972.
- 3) 土田孝, 小林正樹, 水上純一, 田中政典: 港湾技術研究所報告, 第28巻, pp121-141, 1989.
- 4) 藤川武信, 甲本達也: 農業土木学会論文集, 第83号, pp38-43, 1979.