

混合攪拌精度がセメント安定処理土の強度特性に与える影響

土木研究所 正会員○宮下千花

前田建設工業（株） フェロー会員 石黒 健 正会員 平田昌史

1. はじめに

セメント、石灰安定処理土の原位置での支持力や安定性は、安定材と地盤材料（母材）の混合攪拌精度の影響を強く受ける。一般に、室内配合試験ではミキサーや手練りによる丁寧かつ十分な混合攪拌が可能であるが、現場ではプラント常設型の場合を除けば室内と同等の精度の混合攪拌を行うことは難しく、設計添加量に対する割増し（例えば1）で対処している。一方、割増しを行った場合であっても、現場でのバケット等による混合攪拌時間の多少により、混合攪拌の精度は変化するものと考えられる。

そこで、攪拌混合精度がセメント安定処理土の強度特性に及ぼす影響を把握するための基礎的なデータの取得を目的として、現場の安定処理を模擬した機械攪拌と、処理土の強度評価による検証実験を行った。本論文ではこの結果について報告する。

2. 実験方法

実験に用いた地盤材料は茨城県内で発生した建設発生土である。礫分、砂分、細粒分の含有率はそれぞれ 10、35、55 %、自然含水比が約 46 % の礫まじり砂質シルトで、コーン指数は 217 kN/m²（第 4 種建設発生土）、CBR は 1 % であった。安定材は特殊土用セメント系固化材（以下、固化材という）とし、土の乾燥質量に対する添加率は 15.5 % とした。室内配合試験によると、材齢 7 日での CBR は 32 %、一軸圧縮強さ（CBR 供試体と同一密度で作製した直径 10 cm、高さ 20 cm の供試体）は 1573 kN/m² であった。

現場の安定処理を模擬した機械攪拌を行った。発生土と固化材を攪拌翼付きのスケルトンバケット（容量 0.4 m³）で攪拌し、混合精度の異なる 4 種類の安定処理土を採取した。機械攪拌の様子を写真 1、採取した安定処理土を写真 2 にそれぞれ示す。発生土 0.7 t（約 0.4 m³）に所定量の固化材を撒きだし、小型油圧ショベル（バケット容量 0.1 m³）でスケルトンバケットに発生土と固化材を投入した。攪拌翼を 30 秒回転させて発生土と固化材を混合し、安定処理土試料を採取した。試料 1-①、②は大きな土塊が残りの発生土と固化材の添加率に著しいばらつきが認められた部分、試料 1-③ は発生土が固化材と混ざって細くなり、比較的よく混合された部分からそれぞれ採取した。スケルトンバケット内に混合途中の安定処理土を再び投入、回転翼で 30 秒攪拌混合し、全体を概ね均一に混合したことを確認後、試料 2 を採取した。加えて、室内配合試験を想定してソイルミキサーで発生土と固化材を 5 分混合した安定処理土を室内試料とした。

直径 5 cm、高さ 10 cm の円柱供試体の一軸圧縮試験を行うことで、安定処理土の簡易的な強度評価を行った。試料に含まれる大きな土塊は手で細粒化し、9.5 mm 以上の礫分は除去した。モールドに投入する試料の湿潤質量を統一し、3 層に分けてプランジャーで静的に試料を押し込み、供試体を作製した。試料に含まれる固化材の量が異なるため、各供試体の乾燥密度は 1.23～1.31 g/cm³、含水比は 30～35 % の範囲でばらついた。

各試料につき 1 供試体は作製直後に縦割りし、断面にてフェノールフタレイン試験を実施した。着色された縦断面の画像解析により、混合攪拌精度の評価を試みた。その他の供試体は約 20 度の恒温にて養生され、材齢 7 日で一軸圧縮試験に供された。含水比の計測後、供試体ごとに粉碎して化学分析用の試料を作製



写真1 機械攪拌の様子

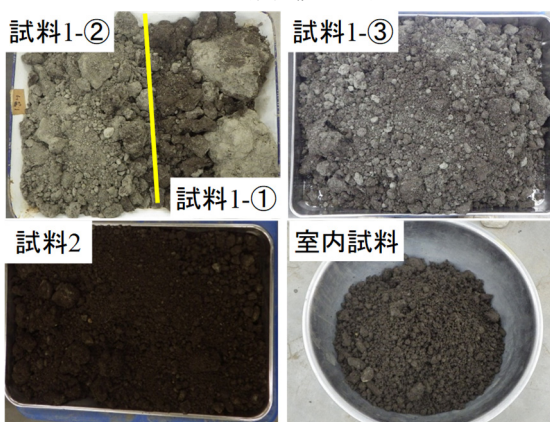


写真2 安定処理土試料

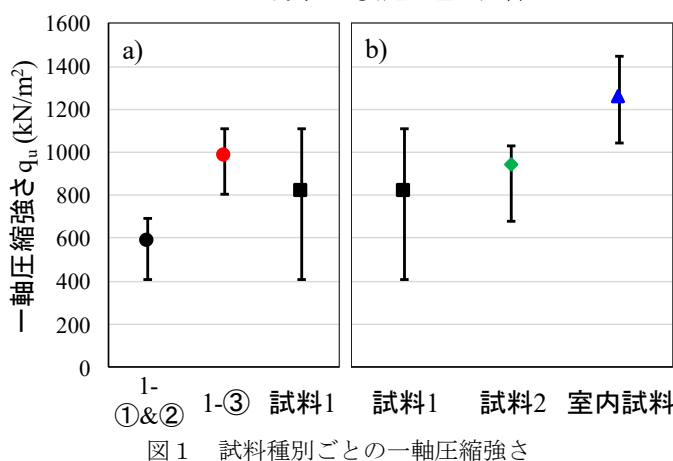


図1 試料種別ごとの一軸圧縮強さ

キーワード 安定処理、混合攪拌精度、一軸圧縮強さ、（現場／室内）強さ比、フェノールフタレイン試験、建設発生土
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6（国研）土木研究所 TEL 029-879-6759

し、蛍光 X 線分析によりカルシウム量を計測した。

3. 実験結果

試料種別ごとに整理した一軸圧縮強さ (q_u) を図 1 に示す。試料 1-①&②の q_u の平均値は、試料 1-③の q_u の平均値よりも小さかった (図 1 a)。混合攪拌精度の目視による判断 (①&②、③) と、 q_u の平均値とが対応した。これらの試料を攪拌翼の通過回数が 1 回の「試料 1」としてまとめて評価すると、試料 1 は q_u のばらつきが最も大きく、 q_u の平均値は試料 2 よりもやや小さかった (図 1 b)。室内試料の q_u の平均値が最も大きかった。(現場/室内) 強さ比の範囲を室内試料の q_u の平均値に対する試料 1、2 の q_u の最小、最大値で求めると、試料 1 で 0.3 ~ 0.9、試料 2 で 0.5 ~ 0.8 (q_u の平均値で求めると試料 1 で 0.7、試料 2 で 0.9) であった。

各供試体で求めた q_u と蛍光 X 線分析によるカルシウム量との関係を図 2 に示す。ここで、安定処理土に含まれるカルシウム量は固化材量に比例していると見なす。試料 1-①、②では、固化材量の多少によらず最も低い q_u が得られた。試料 1-③は室内試料よりもカルシウム量が多いことから、相対的に固化材量の多い箇所から採取された試料であったと推測される。攪拌翼を 2 回通過した試料 2 の q_u の平均値が試料 1-③と同レベルなのは、試料 1-③の固化材量が多く、攪拌翼を 1 回通過した安定処理土の中では比較的よく混合されていたためであったと考えられる。試料 2 と室内試料の固化材量 (カルシウム量) は概ね同じであったが、室内試料の q_u が試料 2 より大きかった。 q_u が両試料で異なるのは、現場の安定処理を模擬した機械攪拌と、室内配合試験を想定したミキサー攪拌の混合精度の違いによるものであったと考えられる。

フェノールフタレイン試験により着色された供試体縦断面の画像の色情報を RGB から HSV に変換後、フェノール反応の色相 (H、ピンク) でフィルタリング処理した。フィルタリングした画像をグレースケール化して、白 (100%) が反応の強い部分、黒 (0%) が反応の弱い部分と定義することで、フェノール反応の強弱 (濃度) を表現した。各試料のグレースケール化後の供試体縦断面画像と、フェノール反応の濃度を表す頻度分布を図 3 に示す。室内試料は 11 % 付近をピークとした正規分布に近い頻度分布となり、ミキサー攪拌による均一な混合が表現された。試料 1 の 3 枚の画像には 25 % 以上の高濃度、5 % 未満の低濃度領域が存在し、頻度分布には明瞭なピークがなかった。目視で確認された混合攪拌のばらつきが頻度分布により表現されたものと考えられる。一方、試料 2 と室内試験の頻度分布には有意な差がなく、 q_u の平均値の違いの原因となった攪拌混合精度の差をうまく説明することができなかった。

4. まとめ

現場の安定処理を模擬した機械攪拌による安定処理土試料では、混合攪拌精度の目視による判断と一軸圧縮強さの平均値やばらつきの程度が一致した。機械攪拌と、室内配合試験を想定したミキサー攪拌とでは、一軸圧縮強さに明らかな差が表れた。混合攪拌精度の違いを、フェノールフタレイン反応の画像解析によりある程度客観的に評価できた。

謝辞 本論文は、土木研究所と産学計 1 2 者による共同研究「建設発生土等の長期的な品質管理向上技術に関する共同研究」の成果の一部である。論文の作成にあたり、共同研究参加者から貴重な助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献 1) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版、2012

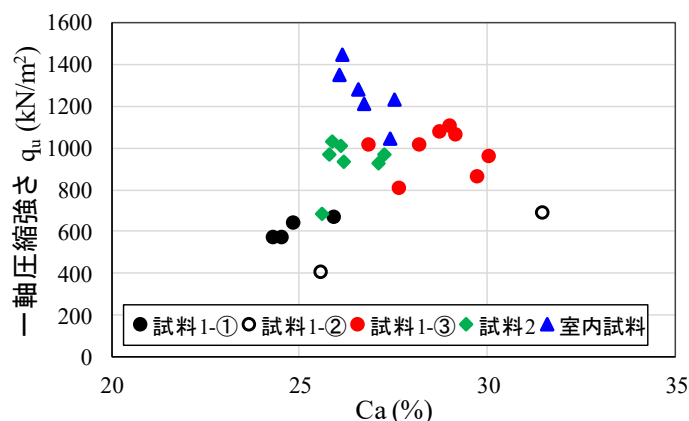


図 2 一軸圧縮強さとカルシウム量の関係

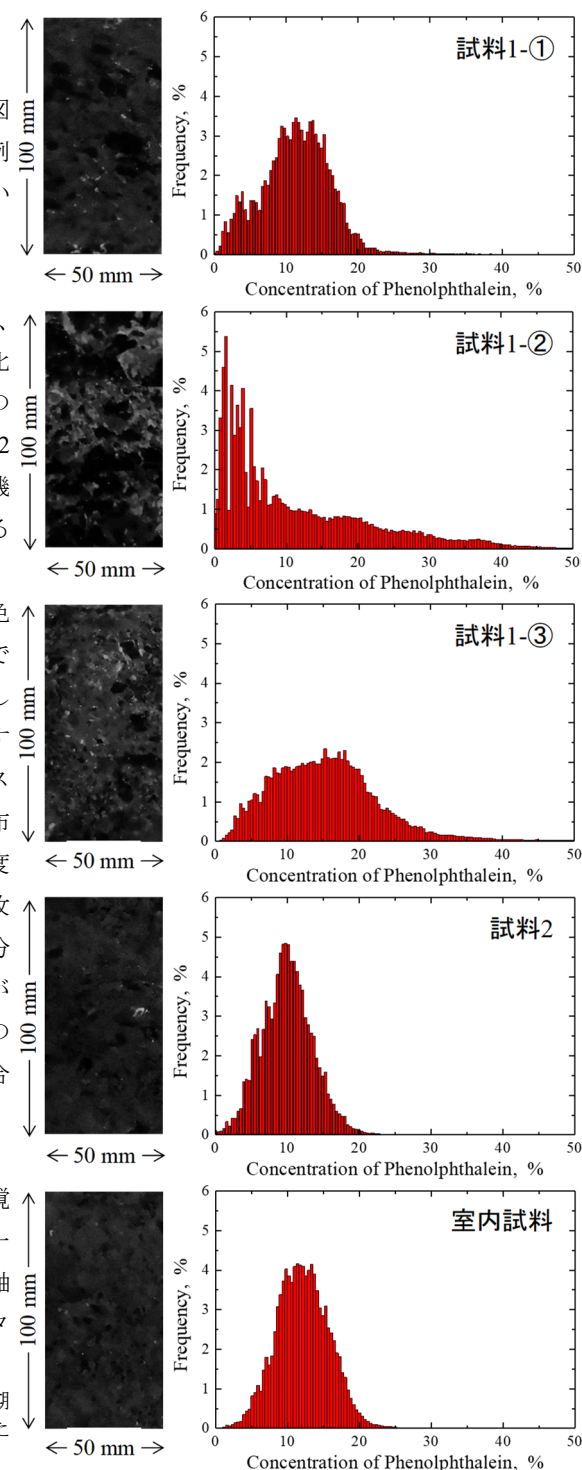


図 3 画像解析による混合攪拌精度の評価