

盛土材料のセメント改良工法における攪拌混合度の評価

株式会社ドーコン ○舟根 熙、高橋 秀彰、畠山 潔芽
北海道大学大学院 西村 聡、林 昌一

1. はじめに

近年、堤防盛土材料の改良工法として実績を増やしつつあるプラント等を使用した盛土材料のセメント改良¹⁾では、一定期間の置土養生を行ったのちに破碎し盛土材料として使用する固化破碎土の手法が用いられている。

著者らは、攪拌工法による土とセメントの混ざり具合が材料品質に与える影響を把握するため、攪拌混合度の定量化や混合度と品質管理指標（コーン指数、締固め度）の関連性について検討してきた²⁾。本報告ではセメント攪拌土の画像解析により混合度を定量化する際の評価手法に関する課題について検討したので結果を報告する。

2. 試験条件

改良対象土はFc=55.1~61.1%の砂質粘土（土質A）及びFc=66.8~85.3%の粘土（土質B）であり、使用セメントは土質Aに対しては高炉B種、土質Bに対してはセメント系固化材 ETR3を用いた。セメント攪拌は、プラント、移動式攪拌工法（移動式）、ロータリースタビライザー（スタビ）の3工法にて実施し、各工法60kg/m³~140kg/m³の20kg/m³刻み5パターン（セメント）を添加した。

3. 試験結果

(1) 画像解析による混合度評価方法

画像解析による混合度評価は、改良土においてセメントが存在する部分をセメント混合された部分と仮定し、改良土塊の切断面においてフェノールフタレイン反応により着色した部分の面積割合（着色率）を画像解析から求め、着色率=混合度と定義することで評価を行った。画像をHSV変換した後、Hue（色相：0-255フルスケール）>180、Saturation（彩度）>80、Value（明度）>80のピクセルを着色部として抽出し、Value≤80の箇所をマクロ空隙、残りは非着色土塊とみなすことで三値化して表現した。閾値は、目視による印象により校正したものである。なお、着色率はマクロ空隙を除いた面積に対する着色部の面積割合である。

評価を行う供試体サイズはセメントがいきわたっていない未攪拌土塊の径より十分に大きいことが望ましい。また、未攪拌土塊は楕円に近い形状であることが多く、評価を行う切断面と土塊の位置関係が着色率に影響を及ぼすことが考えられた。そこで、手法1では内径10cm×高さ12.7cmのモールドに改良土を押詰めて作製した供試体における高さ1cmごとの12断面に対して画像解析を実施することで未攪拌土塊の影響を3次元的に評価した。手法2では排出された土塊に対し十分な大きさとなる縦30cm×横42cmのトレーを使用し未攪拌土塊の最大径の影響を評価した（写真-1-写真-2）。

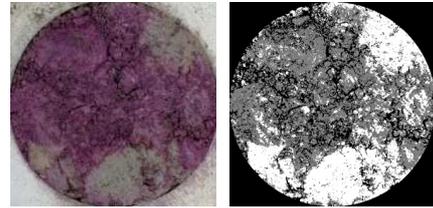


写真-1 着色率測定例（白色部—非着色部、灰色部—着色部、黒色部—マクロ空隙部および対象領域外）内径10cm モールド・プラント・土質B・セメント配合量100kg/m³（左：原画像、右：三値化画像、本断面内の混合度57%）

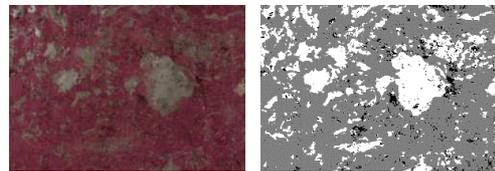


写真-2 色率測定例（白色部—非着色部、灰色部—着色部、黒色部—マクロ空隙部および対象領域外）縦30cm×横42cmトレー・プラント・土質B・セメント配合量100kg/m³（左：原画像、右：三値化画像、本断面内の混合度76%）

(2) 手法1モールドの混合度評価結果

モールドの画像解析において12断面の平均値を評価した結果、土質Aの着色率（混合度）はプラント、移動式ともに70~90%程度、スタビは低配合で50%以下、100kg/m³以上の配合量で60~80%程度の混合度となり、前述の2工法を大きく下回る。土質Bについてはプラント、移動式においても低配合で着色率が低い傾向が顕著であり、スタビでは低配合にて着色がほとんど見られなかった（図-1）。

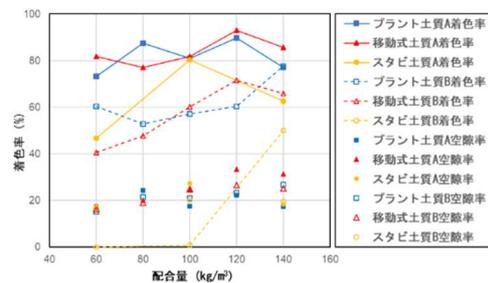


図-1 セメント配合量と着色率（混合度）、空隙率の関係

土質Bは土質Aと比較して細粒分が多く粘性が強いことにより攪拌されにくく、低配合のもの程土塊中にセメントが行きわたらない傾向が顕著であった。これは各工法から排出された攪拌土の目視状況と一致する（写真-3）。また、スタビは母材上にセメントを載せて攪拌するため、攪拌しにくい土質Bでは上側にセメントの偏りを目視で確認できた。混合度評価試料はセメントの混ぜ残り部分を避けて下側を採取したことにより、比較的セメントが

添加されていない部分が多かったと考えられる。



写真-3 施工機械から排出された改良土
(左: プラント土質 A 右: プラント土質 B)

(2) 手法2 トレーの混合度評価結果

トレーの画像解析結果より、土質 A の混合度はプラント、移動式においてセメント配合量80kg/m³以上で85%~95%、スタビでは30%~50%、140kg/m³で90%程度となった。土質 B においてはプラント、移動式で60%~90%、スタビでは1%~65%程度である。両解析結果の比較から、各セメント配合量でモールドの着色率はトレーの着色率に比べ15%~30%低い傾向にあった(図-2-図-3)。

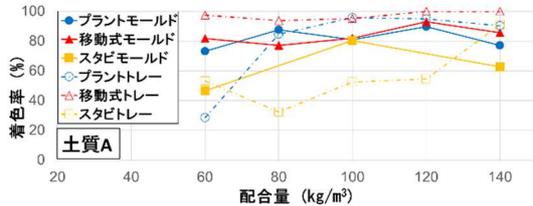


図-2 モールド・トレーの画像解析比較(土質 A)

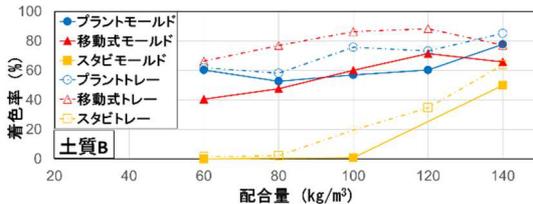


図-3 モールド・トレーの画像解析比較(土質 B)

(3) 適切な混合度評価手法の検討

2つの手法の差異は、未攪拌土塊の影響が主要因と推定される。手法1のように土塊サイズに対し供試体サイズが十分ではない場合、供試体サイズ以上の土塊の除去による着色率の過大評価、供試体サイズに近い土塊を用いることによる着色率の過小評価が生じやすい。今回の評価では、供試体サイズの未攪拌土塊により極端に混合度の低い断面が生じ、全体の混合度を低下させる傾向を確認したことから、後者の影響が強かったと想定される(図-4)。

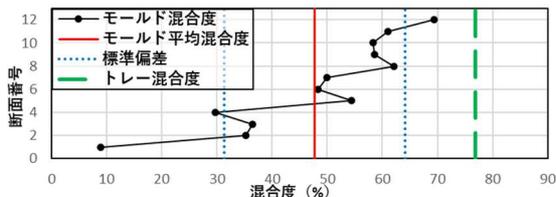


図-4 未攪拌土塊による混合度低下の例(モールド・移動式・土質 B・セメント配合量 80kg/m³)

手法2で確認された未攪拌土塊の最大径は土質 A で最大 6cm 程度、土質 B で最大 15cm 程度であった。土質 A の配合量 80~120kg/m³ では未攪拌土塊の最大径は 4cm 程度であり、土塊径の影響を受けにくかったのか2手法の

差異が小さいが、比較的混合度が低く(40~80%程度)、未攪拌土塊の最大径が 10cm 以上と大きい土質 B では2手法の差異が大きかった(図-5)。

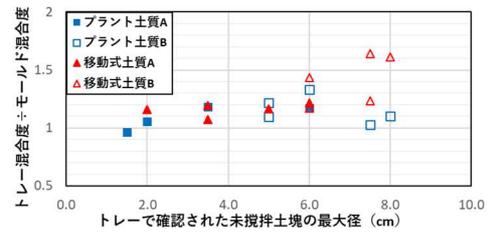


図-5 未攪拌土塊の最大径と2手法の混合度差の関係

一方、手法1の1cm毎の断面の着色率をみると未攪拌土塊の最大径が大きい供試体ほど着色率の最大値と最小値の差が大きくなる傾向がみられ、土塊の最大径が概ね供試体径の1/3~1/5以下になると着色率の最大値と最小値の差が概ね20%以下となる(図-6)。着色率のバラツキが大きい供試体では未攪拌土塊の最大径に対し供試体サイズが不足しており、最低でも土塊の最大径の3倍以上の供試体サイズが必要と考えられる。

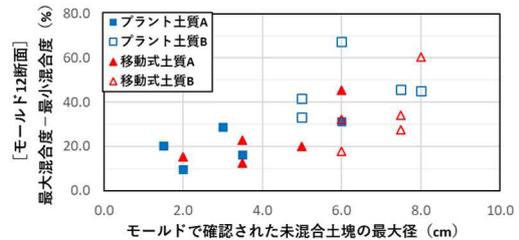


図-6 モールドの12断面画像解析における混合度のばらつきと最大径の関係

4. まとめ

セメント改良土の画像解析による混合度評価は、現地で目視により確認した改良土の状況を比較的よく数値化できており、土質による攪拌の状況や機械による攪拌効率の差を表現しうるものと考えられる。また、評価手法について供試体サイズと未攪拌土塊の三次元的な影響を検討した結果、供試体サイズは未攪拌土塊の最大径に対し最低3~5倍の大きさを取ること、供試体サイズが小さい場合には数 cm 間隔のスライスを解析し三次元的な評価を行うことが望ましいと考えられる。今後は、供試体サイズやスライス手法の影響に関するデータを積み重ね、混合度評価手法を確立したいと考えている。

謝辞 今回の試験施工データは国土交通省北海道開発局岩見沢河川事務所により賜った。協力に深甚な謝意を表す。

《引用・参考文献》

- 1) 田中大地、仲条元、岡田幸七:北村遊水地における堤防盛土材の改良工法について一固化破碎土による施工報告と今後の展望一、第64回(2020年度)北海道開発技術研究発表会, pp.309-314, 2021.
- 2) 舟根照、高橋秀彰、西村聡、林昌一、畠山潔芽:盛土材料のセメント改良工法における品質評価に関する考察,第62号地盤工学会北海道支部技術報告集,p336-345,2022.1