

ベントナイト混合土の含水比調整における締固めを想定した色調の利用可能性

早稲田大学 学生会員 ○近藤 誠 伊藤 大知
早稲田大学 正会員 小峯 秀雄 王 海龍 フェロー会員 後藤 茂
安藤・間 正会員 山田 淳夫

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の処分方法のうち、浅地中ピット処分における低透水性覆土の材料として、ベントナイト混合土が使用される計画である。ベントナイト混合土の主な要求性能は、低透水性である。所要の透水係数を最終的に満足するためには、所定の材料を高密度かつ均質に施工することが重要であり、ベントナイト混合土の施工の高度化が求められる。著者らはこれまで、ベントナイト混合土を対象としたデジタルカメラを用いた画像計測手法の検討を継続して実施してきた^{1),2),3)}。本論文では、締固め施工に進む前の段階を想定して、ベントナイト混合土の含水比調整・練り混ぜ状況の画像色調による定量評価に着目した。具体的には、実施した突固めによる締固め試験の結果を踏まえ、撮影した締固め前のベントナイト混合土の画像から RGB 値を抽出した結果⁴⁾の適用性について確認する。なお本論文では、低透水性覆土の候補材料として、Ca 型ベントナイト混合土を試験に用いた。

2. 使用した試料および試験方法

表 1 に使用したベントナイトの基本的性質を示す。本研究では、Ca 型ベントナイト KB (クニミネ工業製・クニボンド) を使用した。なお、表 1 に示すモンモリロナイト含有率は、純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量 140 mmol/100 g を基準に算出された値である⁵⁾。母材としての砂は、青森県で採取したコンクリート用細骨材を使用した。砂試料の土粒子の密度は 2.73 g/cm³ であった。

混合土中の Ca 型ベントナイトの配合率は乾燥質量の割合で計算し、全体の 30% とした。図 1 に混合土と砂試料の粒径加積曲線を併せて示す。また、ベントナイト混合土の作製は、施工時における容器回転型混合装置の利用を想定した卓上ミキサーによる練り混ぜ方法²⁾で行った。

締固め試験の方法は、日本工業規格「突固めによる土の締固め試験方法」(JIS A 1210:2009) に準拠し、自動突き固め試験機を用いて行った。試験は内径 10 cm、容積 1000 cm³ のモールドを用いて、ランマーの質量、落下高さ、突固め層数および各層の突固め回数を変えて行った。締固め条件を変えることで、与えた総エネルギーを増加させることができる。突固め方法は、A 法および C 法とした。A 法 (ランマー質量 2.5 kg, 落下高さ 30 cm, 突固め層数 3 層、一層あたりの突固め回数 25 回) の場合を 1.0Ec (標準エネルギー) とし、C 法 (ランマー質量 4.5 kg, 落下高さ 45 cm, 突固め層数 5 層、一層あたりの突固め回数 25 回) のとき 4.5Ec である。

続いて、ベントナイト混合土の撮影実験について概説する。締固め試験のときと同一試料同一配合でベントナイト混合土を作製し、ステンレス

表 1 ベントナイト KB の基本的性質

タイプ	Ca 型
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.63
液性限界 (%)	119.9
塑性限界 (%)	52.2
塑性指数	67.7
モンモリロナイト含有率 (%)	72

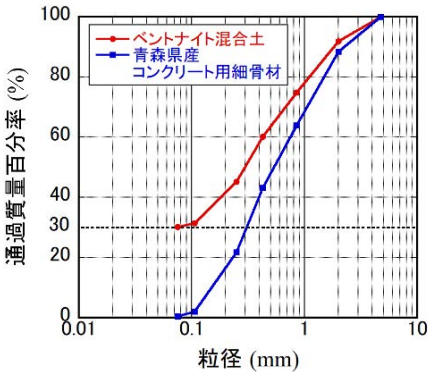


図 1 粒径加積曲線

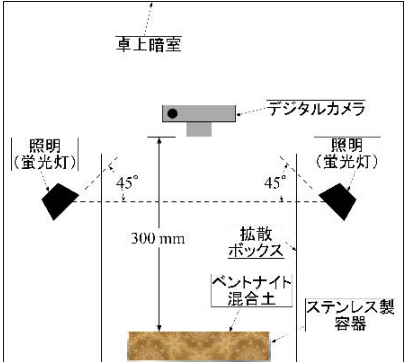


図 2 撮影実験状況

製の容器内に静置した状態で撮影を行った。撮影したベントナイト混合土の表面の画像から、著者らが提案している「デジタルカメラ画像の定量評価法」⁴⁾を用いて、RGB 値の抽出を行った。

3. 試験結果の分析

図 3 に締固め試験の結果得られた乾燥密度と含水比の関係を示す。図 3(a)より、本研究の試験ケースにおいて A-c 法¹⁾のとき、 $\rho_{dmax} = 1.65 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt} = 21.8\%$ が得られた。また図 3(b)より、C-c 法⁴⁾のとき、 $\rho_{dmax} = 1.89 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt} = 15.0\%$ が得られた。ここに、 ρ_{dmax} ：最大乾燥密度、 w_{opt} ：最適含水比である。

図 4 は、読み取った R 値・G 値・B 値を含水比との関係で表示したものである。エラーバーは、標準偏差を表す。この結果より、RGB 値は含水比の増加とともに徐々に緩やかに減少していくことがわかる。特に、含水比 17% 付近に変曲点の存在も示唆される。RGB 値の変化の割合が小さくなると色調の差異が小さくなり、画像から土の含水比を推定することが困難になることを表す。

締固めエネルギーを増加させると、最大乾燥密度の値が大きくなり、それに対応する最適含水比の値が小さくなる。突固め方法に C 法を適用したとき、締固め度 D_c が 95% の範囲で $w = 10 \sim 18\%$ 程度である。含水比 w が 10% 以上 18% 以下の範囲では、含水比の増加に伴う RGB 値の変化に比較的顕著な差異がみられる。このことから、4.5Ec 相当の締固めのとき、RGB 値など色調は含水比調整時の含水比管理に有効である可能性が高いと考えられる。

4. まとめ

本研究では、Ca 型ベントナイト混合土を対象として締固め試験を実施し、得られた締固め曲線と、撮影した含水比調整後のベントナイト混合土の画像から抽出した RGB 値の関係性を調査した。その結果、4.5Ec 相当以上の締固めを行うとき、締固め前のベントナイト混合土の含水比および練り混ぜ完了後の管理にデジタルカメラ画像を適用できる可能性が高いことがわかった。

謝辞：本研究の一部は、国土交通省「現場ニーズと技術シーズのマッチング」の選定研究開発テーマ「ICT 土木技術に適用できる画像解析や加速度応答による締固め土工に関する簡略化についての技術研究開発」の支援により得られたものである。ここに感謝いたします。

参考文献 1)近藤誠，小峯秀雄，王海龍，後藤茂，崎田知紀，山田淳夫：i-Construction 推進に向けた砂・Ca 型ベントナイト混合土を対象とした明度による締固め状況確認の一考察，第 16 回地盤工学会関東支部発表会，2019。2)近藤誠，山田淳夫，崎田知紀，小峯秀雄，王海龍，後藤茂：砂・Ca 型ベントナイト混合土の締固め管理における明度による評価と整理方法，第 55 回地盤工学会発表会，地盤工学会，2020。3)近藤誠，崎田知紀，小峯秀雄，後藤茂，王海龍，山田淳夫：締固めた砂・Ca 型ベントナイト混合土の明度に影響を及ぼす要因に関する一考察，土木学会第 75 回年次学術講演会，土木学会，2020。4) 近藤誠，伊藤大知，小峯秀雄，王海龍，後藤茂，山田淳夫：RGB 値を利用したベントナイト混合土の含水状態の確認の可能性調査，第 56 回地盤工学会発表会，地盤工学会，2021。（投稿中）5)動力炉・核燃料開発事業団東海事業所：ベントナイトの鉱物組成分析，PNC TN8430，93-003，pp. 1-114，1993。

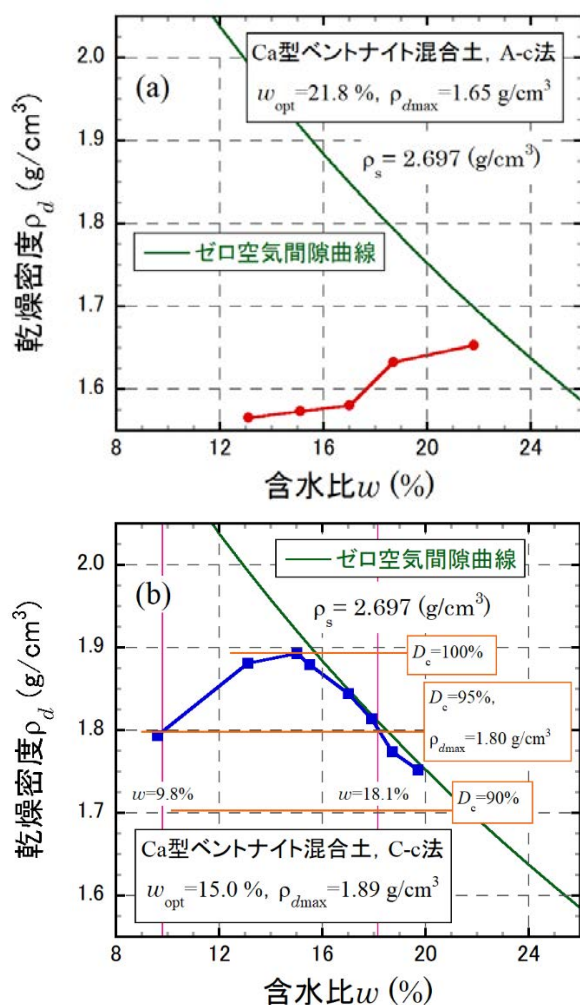


図 3 締固め曲線：
(a) A-c 法 (1.0Ec) (b) C-c 法 (4.5Ec)

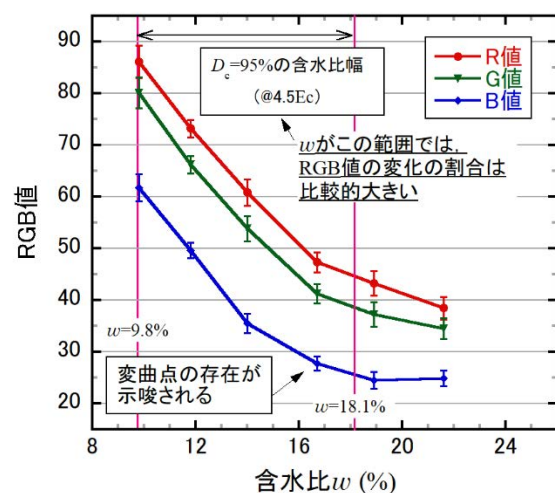


図 4 Ca 型ベントナイト混合土の RGB の平均値と含水比の関係⁴⁾