

強度評価式を用いた盛土の施工管理法の提案

鉄道総合技術研究所 正会員 ○藤本 達貴 中島 進 笠原 康平 富田 佳孝

1. 研究背景

土構造物が崩壊した場合、早期・低コスト・強化復旧が求められるが、表1に示す通り、鉄道路構造物（盛土、擁壁）の構築に適用可能な盛土材料には厳格な規定が設定されている。このため、購入土により復旧が行われることが多く、早期復旧の制約となっている。そこで、筆者らは、現行の材料・施工管理規定のもとで実現される盛土の性能を明らかにすることで、使用できる盛土材料を拡張するための新しい施工管理指標を提案することを目的として研究を進めている。筆者らは、締固め度および締固め時の飽和度を系統的に変化させた三軸圧縮試験²⁾を行い、締固め条件が強度および剛性に及ぼす影響について分析し、締固め度を高めることで「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物¹⁾（以下、「土構造標準」）」で規定される下位の土質材料でも上位材料相当の強度や剛性を得られる可能性があることを示した。そこで本稿では、三軸試験結果から締固め度 D_c と締固め時の飽和度 S_r を関数とした強度評価式および、評価式を用いた盛土の施工管理方法について提案する。

2. 三軸圧縮試験

工学的分類における A 群～C 群の複数の地盤材料を用いて、直径 70mm、高さ 150mm の供試体を製作し、所定の拘束圧（50kPa・100kPa・150kPa）まで等方圧密した後に、不飽和状態のまま排気・排水条件にて、鉛直軸ひずみ速度を 0.05%/min で鉛直軸ひずみ 15%まで単調に载荷した。供試体作製時の飽和度は、最大乾燥密度 ρ_{dmax} が得られる最適飽和度 $S_{r_{opt}}$ ³⁾、それよりも乾燥側の S_{rL} 、湿潤側の S_{rU} および最適含水比 w_{opt} とした。また、一部の材料については、供用中の盛土が降雨により飽和した状態を想定し、所定の飽和度で供試体を作成した後に飽和条件でも試験を実施した。

3. 強度の定式化

三軸圧縮試験の結果から、盛土材料の特性に応じて締固め効果を定量的に評価可能な強度算定式を提案する。図1に B 群材料（SF）における一部ケースのせん断過程の軸差応力と軸ひずみの関係を示す。この図から、締固め度 D_c を高めることで強度は増加し、また、締固め時の飽和度が高ければ強度は低下していることがわかる。つまり、強度特性に締固め時の締固め度 D_c および飽和度 S_r が土の変形強度特性に大きな影響を与えることがわかる。また、図2には、 ϕ_{peak} と締固め度 D_c の関係を飽和度ごとに整理した結果を示す。なお、 ϕ_{peak} は最大軸差応力において $\phi_{peak} = \sin^{-1}(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)$ として求めた。この図から、 S_r 一定の場合の ϕ_{peak} は概ね D_c の増加に対して線形的に増加することがわかり、図2中に示す式で S_r および D_c を関数として表現可能である。また、定式化においては、拘束圧の影響を考慮するために、拘束圧

表 1 材料・施工管理規定の抜粋¹⁾

性能ランク	上部盛土に使用できる盛土材料	締固め管理規定
I	・[A群] ・安定処理した[B群]（細粒分の少ない材料に限る） ・産業副産物である再生資源等	締固め密度比の平均値：95%以上（下限値92%以上） かつ、 K_{30} の平均値：110MN/m ³ 以上（下限値70MN/m ³ ）
II	・[A群]、[B群] ・安定処理した[C群][D1群][V群] ・産業副産物である再生資源等	締固め密度比の平均値：90%以上（下限値87%以上） かつ、 K_{30} の平均値：70MN/m ³ 以上（下限値50MN/m ³ ） または K_{30} の平均値：110MN/m ³ 以上（下限値70MN/m ³ ）

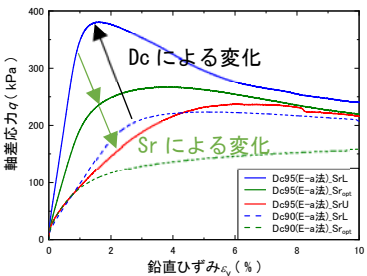


図 1 $q - \epsilon_v$ 関係

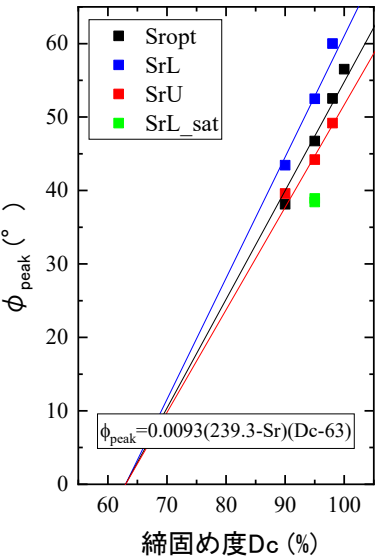


図 2 $\phi_{peak} - D_c$ 関係

キーワード 盛土，締固め，三軸圧縮試験，施工管理法

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

50kPa を基本とした補正係数を考慮した。図 3 に関係式を用いた ϕ_{peak} の計算値と三軸試験から得られた ϕ_{peak} の関係を示す。この結果から、計算値と実験値の差は概ね 10%前後となっており、提案した関係式によって強度を評価可能であることがわかる。なお、不適合材料の一部で実験値と計算値の差分が大きいものがあるが、これは飽和度 100%の場合の算出結果である。ここで、図 4 は不飽和時の ϕ_{peak} に対する飽和時の ϕ_{peak} の比と、最適飽和度と供試体作成時の飽和度の差分の関係を示しているが、 ϕ_{peak} (飽和) / ϕ_{peak} (不飽和) の値は 1 を下回っており、その傾向は B 群材料に比べて C 群材料の方が強い。このことから、C 群材料を盛土に用いる場合には、飽和時の強度低下に配慮して締固め度を設定することや、排水対策を的確に行う等の対応が必要と考えられる。

また、B 群 (GFS) について、同じ B 群の別試料から求まる数式を用いて算出した結果と、三軸試験から得られた値との比較を図 5 に示す。その結果、同じ群分類であれば差はそれほど大きくないことがわかり、群分類毎の代表的な強度評価式を作成可能であることを示唆している。これらの結果より定式化した B 群 (砂、礫) および C 群材料の強度評価式を表 2 に示す。

4. 施工管理法の提案

前述の強度評価式を用いた盛土崩壊時の施工管理フローを図 6 に示す。まず、崩壊した盛土材料の物理試験を実施し、崩壊土砂の土粒子密度・粒度分布・含水比・締固め特性などの物理特性を把握する。続いて、粒度分布から判定される群分類に応じた強度評価式を用いて、要求される強度に対する必要締固め度を算出する。なお、崩壊した土砂が土構造標準における適用材料である場合には、必要締固め度は土構造標準によることとして良い。続いて、崩壊土砂の含水状態に応じた使用可否判断を行う。土砂が高含水比となっている場合には、必要締固め度に達することができず過転圧となる場合があるため、必要に応じて含水比調整を行う。上記の方法を用いることで、従来、土構造標準にて不適合材料とされていた C 群材料についても、必要強度を確保できる場合には、盛土に利用可能となる。

5. まとめ

本稿では土構造物の被災時復旧の低コスト化を目的として、地盤材料の特性に応じた新しい施工管理指標を提案することを目指し、地盤材料の分類に応じて締固め効果を定量化し、締め固められた盛土材料の強度評価法を提案した。また、提案した強度評価法を活用し、盛土の施工管理手法を構築した。なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献 1) 丸善：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物, 2005 2) 藤本ら：三軸圧縮試験による鉄道盛土の締固め度と剛性及び強度に関する検討, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020. 3) 龍岡ら：盛土の締固め管理における飽和度とエネルギーの管理の意義, 第 54 回地盤工学研究発表会, pp.703-704, 2019.

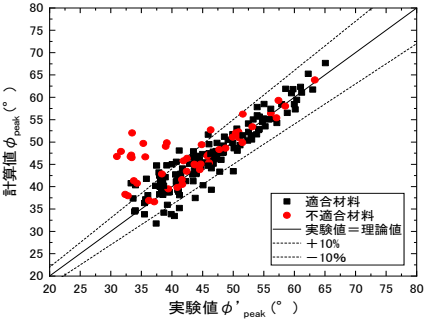


図 3 計算値と実験値の比較

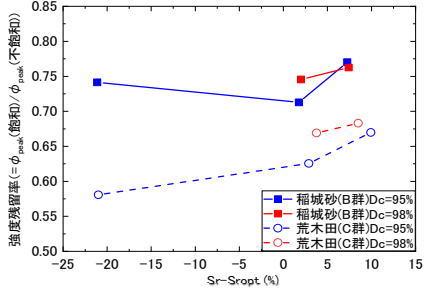


図 4 飽和による強度残留率

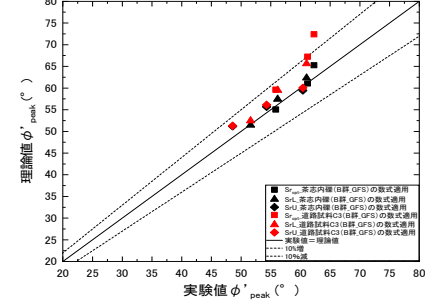


図 5 他試料の関係式による算出結果

表 2 強度評価式

群分類	強度評価式
B 群材料 (砂)	$\phi_{peak} = (\sigma_3/50)^{-0.1833} \times 0.0093 (239.3 - S_r) \times (D_r - 63.0)$
B 群材料 (礫)	$\phi_{peak} = (\sigma_3/50)^{-0.1658} \times 0.0107 (212.9 - S_r) \times (D_r - 55.9)$
C 群材料	$\phi_{peak} = (\sigma_3/50)^{-0.1880} \times 0.0091 (248.0 - S_r) \times (D_r - 60.8)$

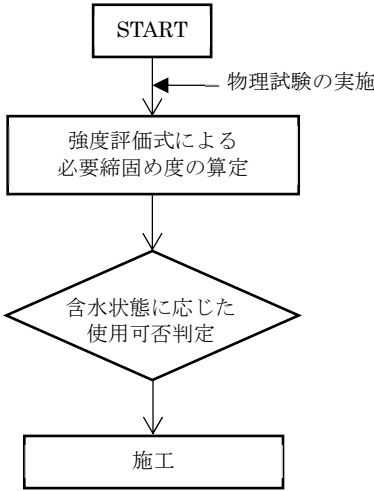


図 6 施工管理フロー