

既設盛土の耐震診断における飽和度分布の簡易評価法

(公財) 鉄道総合技術研究所

正 ○佐藤 武斗

正 高木 翔太

正 松丸 貴樹

正 富田 佳孝

西日本旅客鉄道株式会社

正 塩谷 敦

正 濱田 吉貞

1. はじめに 近年，鉄道土構造物の耐震診断・耐震補強が実施されている．耐震診断では，飽和状態の強度を用いることが一般的であるが，実際の既設盛土の強度よりも小さく評価し，強固な補強が必要となる場合がある．この課題に対して，本研究グループでは，既設盛土の含水状態を評価して不飽和強度特性を適用する耐震診断法¹⁾を提案した．しかしながら，既設盛土の含水状態の評価には，一定の降雨条件を想定して浸透流解析を実施する必要がある，実務的には簡易な評価法が望まれる．本研究では，既設盛土を対象とした浸透流解析を実施し，その浸透挙動を評価するとともに，簡易的な飽和度分布の評価法について検討した．

2. 検討条件 浸透流解析の解析モデルを図1に示す．高さ6.0m，のり勾配1:1.5の透水性の良い地盤に位置する盛土の半断面を対象とした．境界条件は側面を非排水境界，支持地盤の底面は初期において非排水境界に設定し，飽和状態となった後は水頭既知境界に切替える浸出境界とした．盛土天端，のり面，支持地盤の地表面は，降雨浸透境界として降雨量を流量既知境界として与えた．

盛土材料は粒度特性や密度が異なる16種類の既設盛土材料を対象とした．検討試料の透水性と保水性を表す透水係数とVan Genuchtenモデル²⁾（以下，VGモデルとする）のパラメータ α の関係を図2に示す．ここでは，水分特性曲線の吸水曲線を対象に，VGモデルにより表現したパラメータを扱った．

考慮する降雨条件は，西日本の2府17県に位置する317のアメダス観測地点で，観測開始～2022年までに観測された経験最大降雨をもとに設定した．最大時間雨量，最大日雨量の頻度分布が確率分布に従うと仮定した際の90%信頼水準（最大時間雨量：95mm/hr，最大日雨量360mm/day）を用いて作用降雨を設定した．設定した作用降雨を図3に示す．初期条件は，平均年間降水量2500mmの降雨を想定し，1年間で日雨量20.5mm/dayの降雨が2日おきに合計120日間作用すると仮定した先行降雨を断続的に2年間作用させることで算定した．初期条件の算定後に，作用降雨を作用させて，降雨強度が最大となる24時間に着目して浸透挙動を評価した．

3. 検討結果 飽和度分布の例を図4に示す．ここに示す飽和度分布は，図2中に示す(a)，(b)の盛土材料の結果である．(a)では盛土全面に飽和度80%を超える高飽和度領域が形成され，(b)では表層から一定の距離のみ浸透が生じた．図2に示す通り，盛土全面に高飽和度領域が形成された盛土材料は，透水係数が $2.11 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

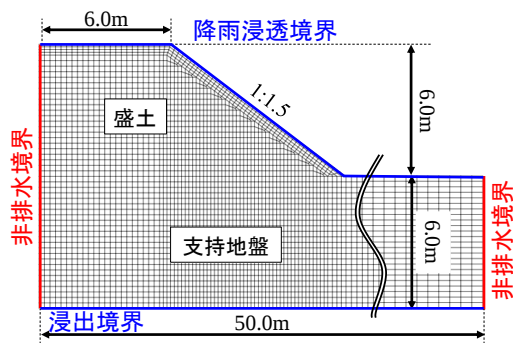


図1 浸透流解析の解析モデル

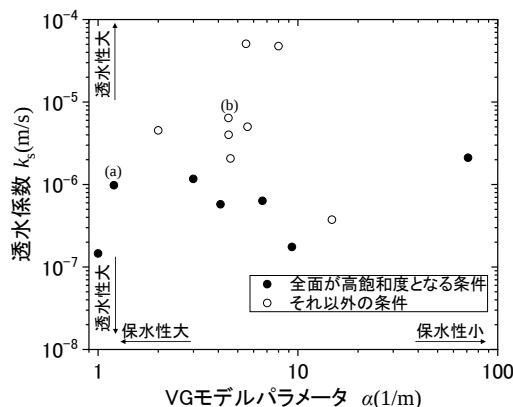


図2 検討試料の透水性と保水性

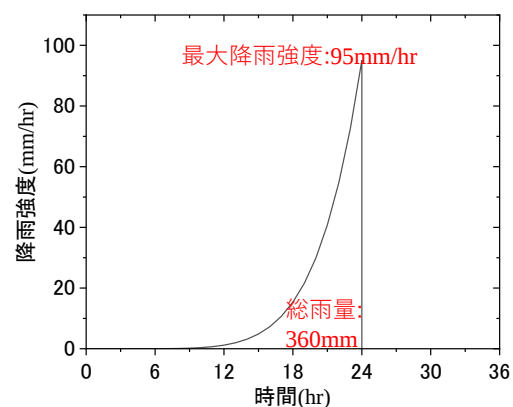


図3 短期型作用降雨モデル

キーワード 既設盛土，安定解析，飽和－不飽和浸透流解析

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2丁目8-3 8 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

以下、VG モデルパラメータ $\alpha \leq 9.34$ と透水性が比較的小さく、保水性が良い傾向が見られた。このように盛土材料により浸透挙動が異なることが確認された。

想定する降雨時に盛土全面に高飽和度領域が形成される場合には、不飽和強度特性を適用できないため、その適用条件について検討した。一般的には、既設盛土の耐震診断時に透水性や保水性を評価することは少ないため、これらの特性に関連があり、簡易に把握できる乾燥密度および20%粒径に着目した。乾燥密度および20%粒径より整理した浸透距離分布を図5に示す。全面が高飽和度となる条件は一定の領域に分布しており、20%粒径および乾燥密度より全面に高飽和度領域が形成される条件を判定可能であると考えられる。鉛直方向の浸透距離が3.0m以上となる場合には、安定解析時に飽和度が80%以上となる浸透領域ですべり面が発生し、不飽和強度特性の効果は小さいと考えられるため、適用範囲外とした。

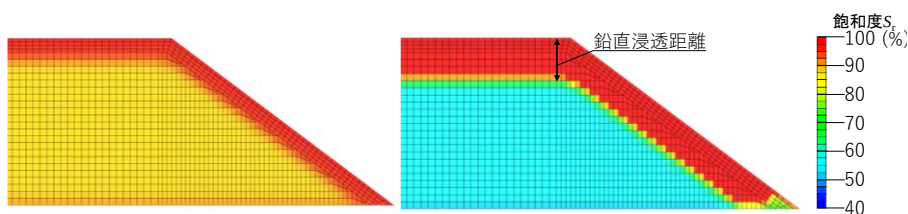
鉛直方向の浸透距離—細粒分含有率

の関係を図6に示す。細粒分含有率が30%以上の場合には、ほとんどのケースで鉛直方向の浸透距離が6mと盛土全面に高飽和度領域が形成されており、簡易的に飽和度分布を評価する際には細粒分含有率30%未満を対象とした。細粒分含有率30%未満では、細粒分含有率が小さくなるにつれて鉛直方向の浸透距離が大きくなる傾向が見られた。ここでは、砂分含有率50%を閾値として、飽和度分布の簡易評価法を提案する。

飽和度分布の簡易評価法を図7に示す。砂分含有率により区分した各グループの平均的な浸透距離を用いて、飽和度100%の領域を設定した。浸透流解析結果では、浸透距離を飽和度80%以上としたが、ここでは盛土材料によって飽和度80%~100%の領域の分布は異なるため、飽和度100%として扱った。浸透距離は盛土高によらないため、飽和度100%の領域を設定することで飽和度分布を簡易的に推定することが可能である。

4. まとめ 本研究では、既設盛土材料の材料特性を用いて、解析的に経験最大降雨時の浸透距離を評価した。これにより、耐震診断時に不飽和強度特性を適用する際に必要となる飽和度分布を簡易的に評価する方法を示した。また、不飽和強度特性を考慮可能な材料特性を明らかにした。

参考文献 1) 佐藤武斗, 松丸貴樹, 中島進, 小湊祐輝, 山田孝弘, 藤原雅仁: 不飽和土の強度特性を考慮した既設盛土の耐震診断法, 鉄道総研報告, Vol.31, No.7, pp.23-28, 2017. 2) Van Genuchten, M. TH.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Science Society of American Journal*, Vol. 44, No. 5, pp. 892-898, 1980.



(a) 透水性 小・保水性 大 (b) 透水性 大・保水性 中

図4 浸透流解析による飽和度分布の例

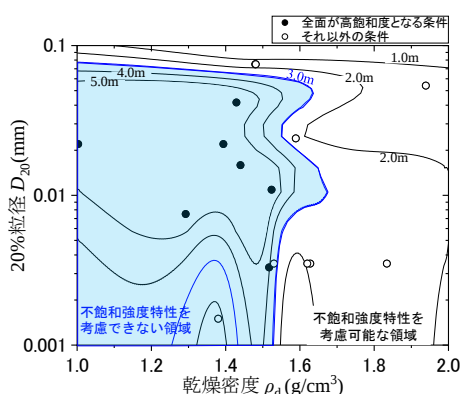


図5 乾燥密度および20%粒径により整理した鉛直方向の浸透距離分布

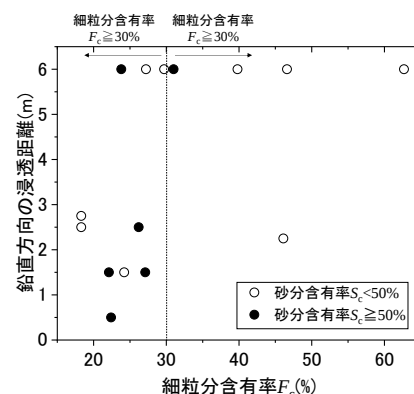


図6 鉛直方向の浸透距離—細粒分含有率関係

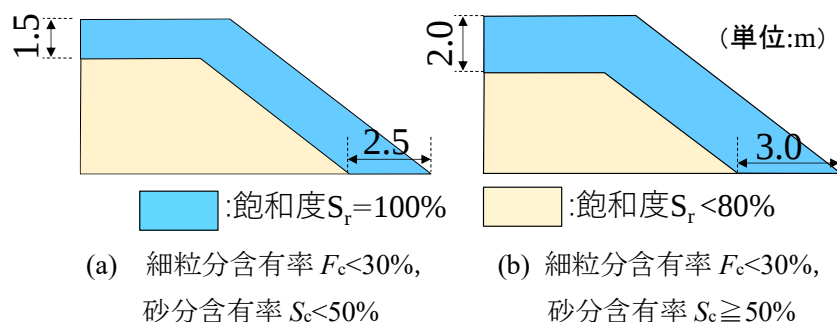


図7 飽和度分布の簡易評価法