

盛土材料の保水性が降雨時の盛土安定に及ぼす影響

鉄道総合技術研究所

正

○佐藤武斗

正

島田貴文

東京大学（元鉄道総研）

正

松丸貴樹

1. はじめに 降雨時の既設盛土の詳細な安定性評価手法は、鉄道構造物等設計標準・同解説¹⁾（以下、設計標準）に基づき検討することが考えられるが、試験を行わない場合には唯一の透水係数や水分特性曲線を用いることとなる。降雨時の盛土の安定性は、含水状態や盛土内に形成される水位が特に影響するため、これらの材料特性が重要な役割を果たす²⁾。しかしながら、設計に用いられる手法に基づき、盛土材料の保水性に着目して、降雨時の安定性を検討した事例は数少ないため、盛土材料の保水性が降雨時の安定性に及ぼす影響はよくわかっていない。本研究では、盛土材料の保水性が降雨時の盛土安定に及ぼすことを目的に、設計に用いられる性能評価手法に基づき数値実験を実施した。

2. 解析条件 降雨時の盛土体の安定について、浸透流解析により、盛土内の飽和度を算定し、得られた飽和度毎に土質諸数値を設定することで、安定解析モデルに降雨浸透を考慮する詳細法を実施した。

2.1 浸透流解析 高さ 5.0m、天端幅 10.2m、のり勾配 1 : 1.5 の砂質土で構成される盛土を対象に、浸透流解析を実施した。図 1 に使用した解析モデルを示す。境界条件は、全面非排水条件とし、支持地盤の地表面と盛土のり面および天端は降雨時のみ流入量を与えた。実施ケースは、表 1 の通りである。飽和透水係数および水分特性曲線について、設計標準に示される設計用値を用いた基本ケースを Case1 とし、不飽和浸透特性のモデル化に用いた Van Genuchten モデル³⁾のフィッティングパラメータ α のみを変えて、Case2 では保水性が高い材料を、Case3 では保水性の低い材料を想定した。図 2 に使用した水分特性曲線と飽和度と比透水係数の関係を示す。図 3 に用いた降雨モデルを示す。使用した降雨モデル^{1), 4)}は 2 種類で、初めに先行降雨により、盛土の定常的な含水状態を算定した。得られた解析結果を初期条件とし、短時間の強い降雨作用を想定し、1000 年確率降雨を与えた。

2.2 安定解析 安定解析に使用する解析モデルに 2.1 浸透流解析より得られた盛土の飽和度毎に同一の土質諸数値を設定し、修正フェレニウス法による円弧すべり法を実施した。表 2 に安定解析に用いた土質諸数値を示す。この土質諸数値は、設計標準に示される設計用値を用いている。

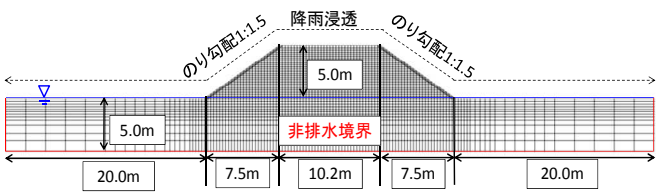
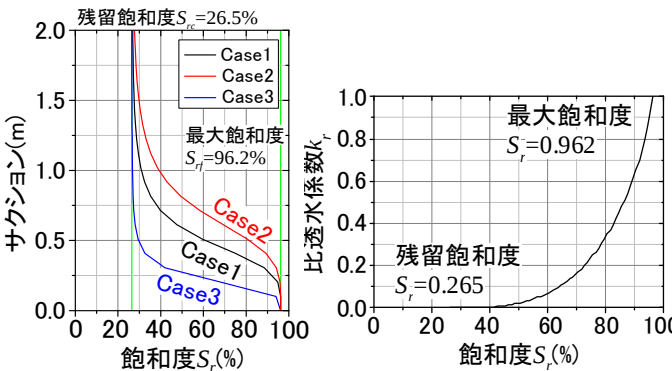


図 1 浸透流解析モデル

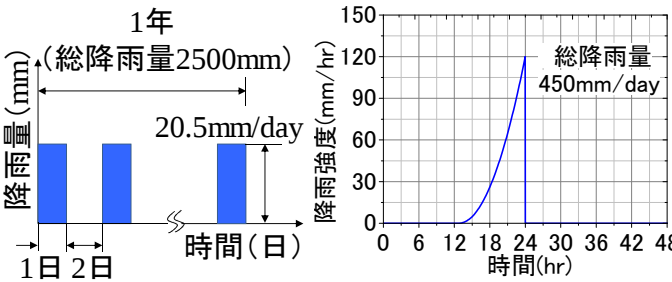
表 1 解析ケース

	飽和透水係数 k (m/s)	α (m ⁻¹)	n	残留飽和度 S_{rc} (%)	最大飽和度 S_{rf} (%)
Case1	1.0×10^{-5}	0.0227	4.49	26.5	96.2
Case2	1.0×10^{-5}	0.0165	4.49	26.5	96.2
Case3	1.0×10^{-5}	0.0505	4.49	26.5	96.2



(a)水分特性曲線 (b)比透水係数—飽和度関係

図 2 不飽和浸透特性



(a)先行降雨 (b)作用降雨

図 3 降雨モデル

キーワード 浸透流解析, 円弧すべり法, 既設盛土

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2 丁目 8 番地 38 号 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

3. 解析結果 図4に示す先行降雨終了後の飽和度分布において、盛土下端に生じる高飽和度領域は、各ケースの水分特性曲線に依存している。すなわち、フィッティングパラメータ α が小さい程、高飽和度領域を形成する。図5に示す降雨強度が最大となる作用降雨開始24時間後の飽和度分布においては、Case1とCase2では前述した盛土下端での高飽和度領域を除き大きな差異は見られなかった。その一方で、Case3では他のケースと比較し、のり尻に形成される自由水面が小さい。のり尻において、先行降雨終了後の飽和度が比較的低いことが一因と考えられる。図6に示す降雨終了後においては、盛土内への浸透が進行し、Case1および2では保水性の大きさに起因してのり面から盛土内部にかけて飽和度60%~80%の領域が見られる。Case3では保水性が低いために、飽和度が70~80%の領域が狭く飽和度80%以上の領域が見られる。

図7に安定解析結果として円弧すべり危険度の時刻歴を示す。Case1および2では降雨強度が最大となる24時間後に照査値が最大となり、盛土下端で高飽和度領域を形成する保水性の高いCase2の方が、より高い照査値となることが分かった。一方、Case3においては、作用降雨開始36時間後で最も照査値が高くなる。このことは盛土内部で土質諸数値のしきい値である飽和度80%以上となる領域をすべり線が通るためであるが、他ケースよりも降雨開始から終了まで円弧すべり危険度は小さな値となっている。

4. まとめ 飽和・不飽和浸透流解析で重要なパラメータである不飽和浸透特性の内、盛土材料の保水性が盛土の安定性に及ぼす影響について検討することを目的に、浸透流解析および安定解析を実施した。その結果、1) 保水性が大きい材料では、盛土下端に形成する高飽和度領域に起因して、降雨強度が最大となる時刻において他ケースよりも円弧すべり照査値が高くなること、2) 保水性の小さい材料では、降雨後に盛土内での飽和度増加に起因して、降雨強度の最大時よりも円弧すべり照査値が高くなることがわかった。

今後は、鉄道盛土材料の強度や不飽和浸透特性の評価を行い、盛土材料の土質に応じた土質諸数値の設定について検討を行う。

参考文献 1) 丸善：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物），2007。2) 島田貴文，松丸貴樹，佐藤武斗，長尾洋太：降雨浸透を考慮した盛土の安定性に関する基礎的検討，第11回地盤工学会関東支部発表会 Geokanto2014，pp.19-20，2014。3) Van Genuchten, M.Th. : A closed-form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society American Journal, Vol.44, pp.892-898, 1980。4) 小島謙一，館山勝：盛土堤体における降雨浸透の解析手法，鉄道総研報告 Vol.19, No.10, pp.39-44, 2005。

表2 安定解析に用いた土質諸数値

	盛土深部（表層部）		
	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
飽和度 $S_r < 80\%$	16	6 (3)	35 (30)
$80\% \leq$ 飽和度 $S_r < 100\%$	17	3 (1.5)	35 (30)
飽和度 $S_r = 100\%$	18	0 (0)	35 (30)

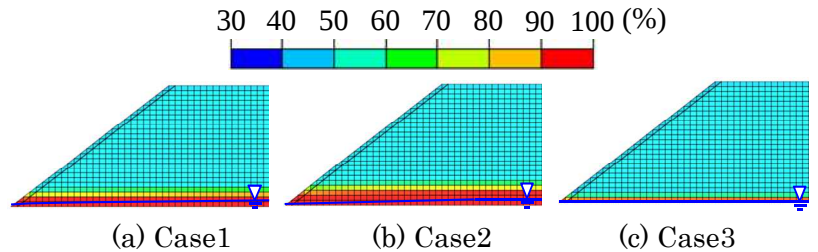


図4 先行降雨終了後の飽和度分布

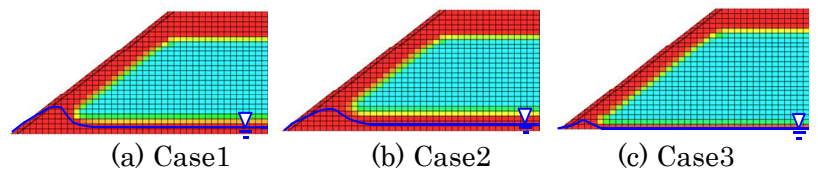


図5 作用降雨開始24時間後の飽和度分布

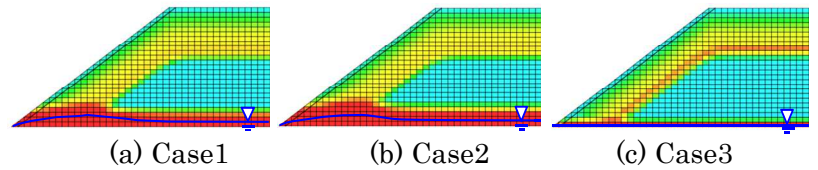


図6 作用降雨開始36時間後の飽和度分布

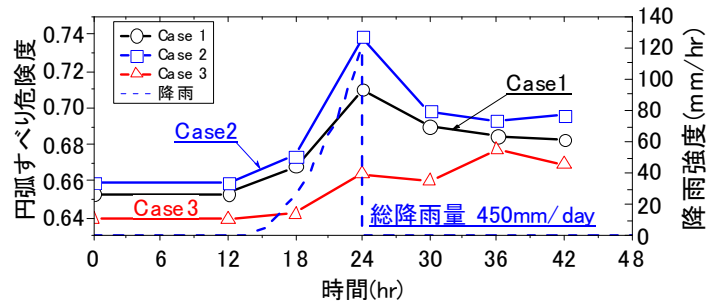


図7 作用降雨開始36時間後の飽和度分布