

## 山間地の盛土を対象とした豪雨後における安定性回復傾向の解析的基礎検討

(公財)鉄道総研 正会員 ○大谷 礼央 正会員 布川修  
正会員 入栄貴

## 1. はじめに

我が国では近年、豪雨災害のさらなる頻発化や激甚化が懸念されている。鉄道事業者は豪雨時に運転規制を実施することで安全な輸送を確保しているが、未曾有の豪雨が発生した場合には、運転再開のために難しい判断が必要となることが想定される。運転規制の解除の判断には、豪雨後に観測される小降雨時における斜面の安定性の回復傾向を評価することが必要である。そこで本稿では、山間地の盛土を対象として単純化したモデルに対して、豪雨後の小降雨を想定した複数の外力条件を与える2次元の飽和・不飽和浸透流解析、およびこの解析から得られる地下水位を用いた安定解析を実施し、豪雨後における盛土の安定性の回復傾向について基礎的な検討を行った。

## 2. 解析条件

## (1) 解析モデルの概要

山間地の盛土を想定し、図1に示す断面形状の斜面を解析対象とした。盛土形状は高さ10m、のり面勾配1:1.5、底部幅15mの片側盛土とした。盛土に隣接する斜面は盛土天端と、この斜面との接点から水平・垂直方向の距離10mの位置に遷急線を有する斜面を想定し、遷急線より下方の斜面は勾配45°、上方の斜面は勾配30°、水平方向距離を50mとし、斜面の表層厚は一律2.0mとした。

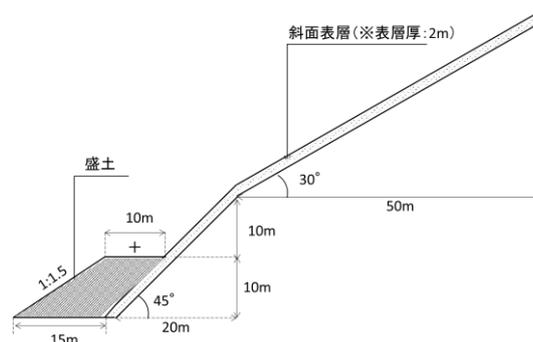


図1 解析モデル

## (2) 2次元飽和・不飽和浸透流解析の条件

解析では soil plus (伊藤忠ソリューションズ) を使用した。解析に用いた土の保水性を図2に示す。盛土の保水性は、過去に鉄道沿線で崩壊した砂質盛土19例の保水性試験<sup>2)</sup>をもとに設定した。斜面の保水性は、鉄道沿線の自然斜面で採取された3種類の砂質土試料の保水性試験結果<sup>3)</sup>を用いて Brooks&Corey が提案した式にフィッティングし平均化することで設定した。比透水係数  $Kr$  は Irmay<sup>4)</sup> が提案した式 ( $Kr=S_e^N$ ,  $S_e$ : 有効飽和度) を用い、この式の  $N$  は西垣<sup>5)</sup> が提案した式 ( $N=0.69-1.31 \cdot \log_{10}(Ks/100)$ ,  $Ks$ : 飽和透水係数 (m/s)) にて算定した。透水係数は盛土、斜面表層ともに  $5 \times 10^{-4}$  m/s とした。

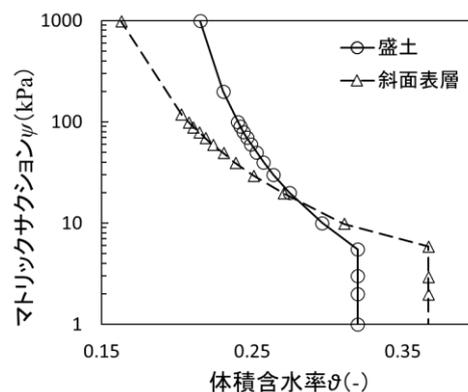


図2 土の保水性

## (3) 盛土安定解析の条件

解析では COSTANA (富士通) を使用した。解析条件を図3に示す。安定解析法は修正フェレニウス法とし、すべり面が盛土のり尻及び施工基面を通るものとした。土の粘着力を  $0 \text{ kN/m}^2$  内部摩擦角を  $35^\circ$  とし、湿潤密度  $17 \text{ kN/m}^3$  飽和密度  $18 \text{ kN/m}^3$  とした。

## (4) 降雨条件と出力値

降雨条件は、強雨として  $10 \text{ mm/h}$  の降雨を100時間与え、この強雨後に表1に示す小降雨を12時間与えた。ここで小降雨パターン

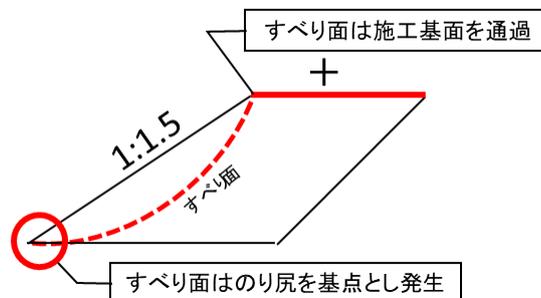


図3 安定解析条件

キーワード 鉄道盛土, 浸透流, 強雨, 降りやみ, 安定性, 回復

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL 042-573-7263

1~5 は一定降雨, 6~11 は表 1 に示す時間雨量を 4 時間 (平均降雨量 3mm/h) を 1 サイクルとして, これを 3 サイクル繰り返し 12 時間小降雨を与えるパターンとした. これらの降雨を与えた浸透流解析により 0.5 時間毎の盛土内水位を求め, この結果を入力値とした安定解析により盛土の安全率を算出することで, 小降雨時における盛土の安定性の回復傾向を把握した.

### 3. 解析結果

表 1 中の小降雨パターン 1~5 における盛土安全率の経時変化を図 4 に示す. 横軸の時間は小降雨開始時を 0 時間としている. 図より, 設定した解析条件では, すべてのパターンにおいて小降雨開始直後から盛土の安定性は徐々に回復し, 小降雨量が多くなるほどこの回復の速度は遅くなる結果となった.

図 5 に表 1 中の小降雨パターン 6~11 における盛土の安全率の経時変化について, 一定降雨 3mm/h との比較結果を示す. この図より, ここで設定した 6 パターンの小降雨の場合は, 一定降雨とほぼ同じ結果になることがわかった.

図 4 の結果から, 小降雨がないパターンに対する各一定降雨パターンでの回復時間の遅れを把握するために, 両者が同じ安全率となる解析時間の差を, 安全率ごとに図 4 から読み取った. この結果を図 6 に示す. 図より, 着目する安全率が大きいほど, すなわち小降雨を与えている時間が長くなるほど遅れ時間が大きくなり, 特に一定降雨量が大きくなるとこの傾向が顕著となることがわかる. したがって, 盛土の安定性の回復傾向を評価するためには, 安定と判断する安全率の設定方法が重要であることが示唆された.

### 4. まとめと今後の方針

本研究では, 豪雨後に観測される小降雨時における, 盛土の安定性回復傾向を解析的に検討した. 今後は今回のように理想化した斜面や実斜面を対象として, 条件を様々設定した解析を実施し, 斜面の安定性の回復傾向と小降雨の条件を整理する.

### 参考文献

(1) 国土交通省: 気候変動を踏まえた治水計画のあり方, 2019(2) 杉山: 降雨時の鉄道斜面災害防止のための危険度評価手法に関する研究, 鉄道総研報告特別第 19 号(3) 浅野嘉文, 川尻峻三, 布川修, 太田直之, 杉山友康, 渡辺諭: 降雨時における斜面表層崩壊を再現する簡易解析モデルの提案, 地盤工学ジャーナル Vol.18, No.4, 579-595, 2013(4) S. Irmay: On the hydraulic conductivity of unsaturated soil, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol.35, No.3, pp.463-467, 1954.(5) 西垣誠: 飽和・不飽和領域内の土中水の浸透特性に関する 2,3 の考察, 土質工学論文報告集, Vol.23, No.3, pp.165-177,1983

表 1 小降雨条件

パターン	小降雨(mm/h)
1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	3,2,4,3
7	3,1,5,3
8	2,1,6,3
9	2,1,7,2
10	1,1,8,2
11	1,1,9,1

※繰り返し 12 時間作用

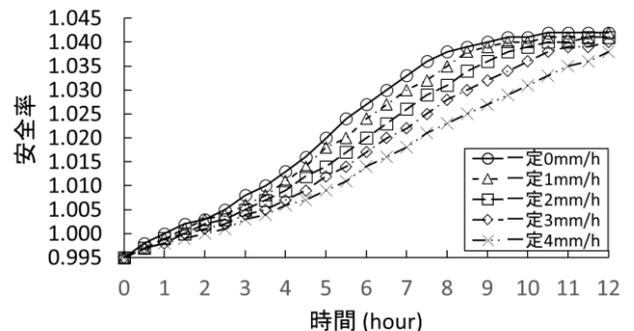


図 4 安全率の経時変化

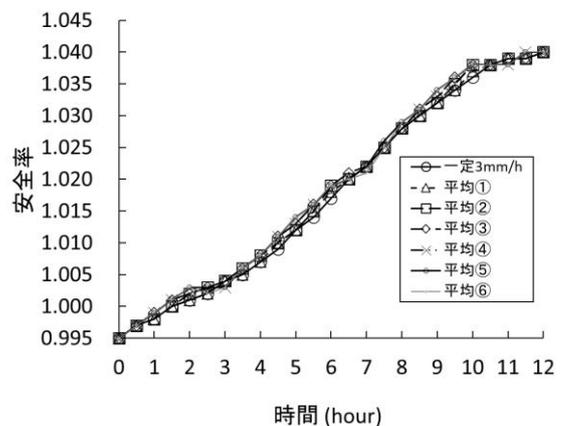


図 5 安全率の経時変化

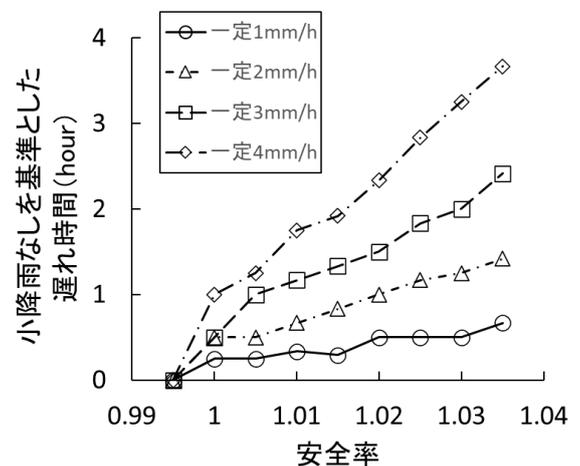


図 6 小降雨なしを基準とした安全率の遅れ時間