

降雨時における鉄道盛土の安全率と長期雨量指標との関係性検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○ 林 宏樹
東海旅客鉄道株式会社 正会員 大木 基裕

1. はじめに

降雨運転規制の指標として、当社在来線は国鉄より制定された「降雨に対する運転規制基準作成要領」に則り、短期雨量指標として時雨量、長期雨量指標として連続雨量(12h 無降雨 0 リセット)を用いている。長雨や局所的な短時間豪雨等に対し、沿線に設置した鉄道雨量計や気象レーダによる観測値に基づき降雨運転規制を実施しているが、雨量指標値と鉄道盛土の安全率との関係性は明らかになっていない。

気候変動監視レポート¹⁾によると、日降水量 200mm 以上の大雨の年間日数は近年増加しており、長期の降雨傾向も変化していると考えられ、これに対応していく必要がある。本検討では、様々な降雨条件における盛土の安定解析結果をもとに、降雨時における鉄道盛土の安全率と長期雨量指標との関係性について考察した。

2. 検討対象とした長期雨量指標

検討対象とした長期雨量指標は、鉄道各社や気象庁が活用している 4 指標とした。

- (1) 連続雨量(12h 無降雨 0 リセット)：雨量を累積し、12 時間の降雨中断で雨量指標値を 0 リセット
- (2) 連続雨量(24h 累積)：過去 24 時間の雨量を累積
- (3) 土壌雨量：降った雨が土壌中にどれだけ貯留されているかを数値化
気象庁の土壌雨量指数²⁾と同じ計算式を使用し、雨量は鉄道雨量計で算出したもの
- (4) 実効雨量(半減期 24h)：土壌中の水分量を近似的に表現

3. 鉄道盛土の安定解析

3. 1 解析手法とモデル

鉄道盛土の解析は 2D-Flow (地層科学研究所) による 2 次元飽和-不飽和浸透流解析を実施し、時間とともに降雨がどのように盛土内の飽和度を上昇させるか把握した。その後、任意時刻における飽和度に応じた強度定数を与えて、のり肩-のり尻を通る円弧すべりに対する安定解析を実施した。盛土の解析モデルを図 1 に示す。盛土の高さは、当社管内在来線の平均高さから 6m に設定した。盛土のり面勾配は、鉄道構造物等設計標準³⁾ (以下、設計標準) に示された施工基面からの高さ 9m 未満かつ性能ランク II の標準断面である 1 : 1.5 とした。

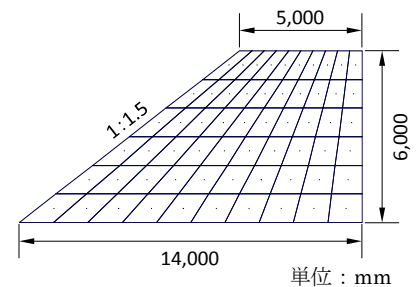


図 1 盛土解析モデル

3. 2 浸透流解析パラメータ設定

浸透流解析パラメータは設計標準の土質 3 の値を採用し、飽和透水係数 k_s を $1 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ と設定した。また不飽和部の浸透特性として体積含水率 θ と負の圧力水頭 (サクション) の関係、体積含水率 θ と比透水係数 k_r の関係は既往研究を参考にした。杉山⁴⁾ は降雨により崩壊した鉄道盛土から採取した砂質土 19 試料の平均値から前述の係数を算出している。本検討では在来線の既設盛土を再現できるよう、杉山が提案した係数を採用した。

3. 3 円弧すべり解析パラメータ設定

表 1 に安定計算に用いた盛土の強度定数を示す。盛土に用いる強度定数は浸透流解析で用いるパラメータと同様に設計標準³⁾ の土質 3 とした。安定計算においては、浸透流解析結果である飽和度に応じて、表 1 に該当する盛土表層部の値を設定した。

表 1 盛土の強度定数

強度定数	$S_r < 80\%$	$80\% \leq S_r < 100\%$	$S_r = 100\%$
γ_t (kN/m ³)	16	17	18
c (kN/m ²)	3	1.5	0
ϕ (°)	30	30	30

キーワード
連絡先

長期雨量指標, 安定解析, 降雨運転規制
〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 総合技術本部技術開発部 Tel.(0568)47-5375

3. 4 初期状態の設定

盛土は含水状態によって、降雨の浸透度合いが異なる。そのため盛土の定常的な含水状態を把握し、これを初期状態として検討する必要がある。盛土の初期状態は、設計標準に示されるように、日本の各都道府県における最大の年間降水量 2500mm の総降雨が 3 日に 1 日降るものとして、日雨量 20.5mm を盛土内の圧力水頭が一定となるまで繰り返した。

3. 5 解析結果

解析結果の一例を図 2 に示す。解析には津雨量計で観測した、平成 26 年台風 11 号の最大時雨量 42mm/h、総雨量 348mm の降雨を用いた。図中の横軸は各種雨量指標、縦軸は鉄道盛土の安全率、プロットは 1 点が 1 時間を示す。結果には近似直線と決定係数 R^2 値を併記した。

今回解析を実施した事例においては、全ての指標で 1~25 時間目までの降雨量増加に伴い、盛土安全率が低下することを確認した。土壌雨量と実効雨量(半減期 24h)は雨量指標値が増加すれば盛土安全率が低下、雨量指標値が減少すれば盛土安全率が回復という傾向が見られた。また決定係数 R^2 が 0.8 を上回っており、雨量指標値と盛土安全率との相関性が高いことがわかった。連続雨量(12h 無降雨 0 リセット)と連続雨量(24h 累積)は連続的な降雨時において、雨量指標値と盛土安全率との相関が高いと考えられる。一方で降雨中断を含む断続的な降雨となった場合に、雨量指標値は増加するが、盛土安全率は回復する場合があるとわかった。この他にも一定降雨や後方集中型降雨など降雨パターンを変化させ、盛土安全率と雨量指標値の特性を把握した。

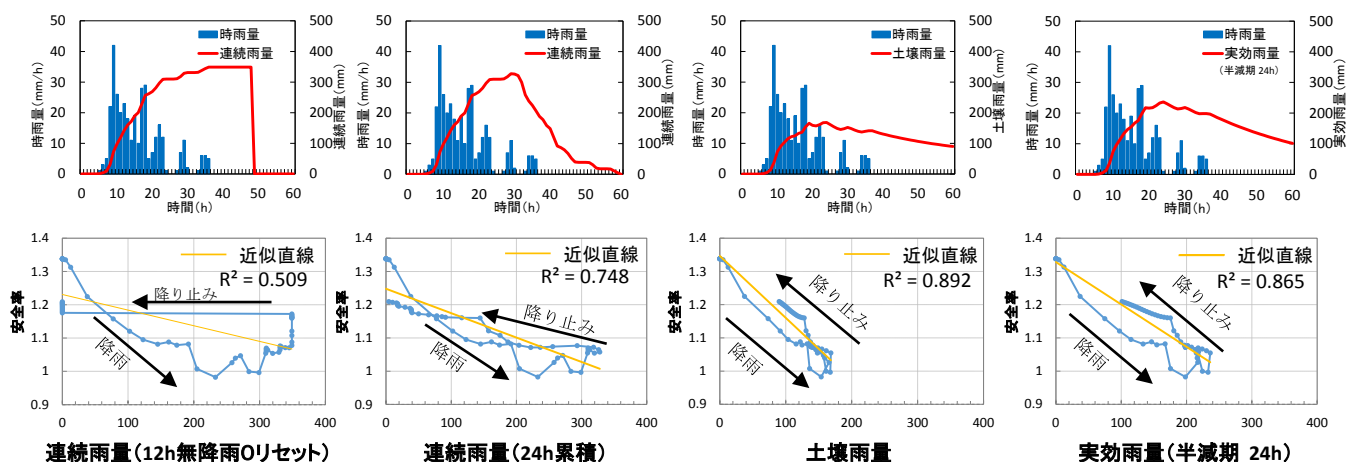


図 2 各種雨量指標の雨量指標値と解析結果

4. まとめ

今回分析した 24 時間を超える強雨が継続するような条件では、土壌雨量指数と実効雨量(半減期 24h) は雨量指標値が上昇すれば安全率は下がり、雨量指標値が減少すれば安全率は回復するという、雨量指標値と安全率に負の相関があることがわかった。この傾向は、雨が断続的に降る場合でも同様であった。これらの結果から、前述の雨量指標を降雨運転規制に活用することで、列車の安全・安定輸送をより一層確保できる可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2018
- 2) 気象庁 HP：土壌雨量指数 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>, 2020 年 3 月 12 日アクセス
- 3) 国土交通省鉄道局監修：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）、2013.6
- 4) 杉山友康：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，東洋大学博士論文，1997