

Ⅲ-A225

鉄道盛土の安定性と雨量指標との整合性に関する一考察

鉄道総研 正 奈良利孝、正 杉山友康、外狩麻子
J R九州 正 山崎慎介

1. はじめに

鉄道では、豪雨時に安全な輸送を確保するために危険雨量値の設定による運転規制が行われている。その際に用いる雨量指標の代表は、連続雨量（12時間以上の降雨中断を伴わない累計雨量）と時間雨量（任意の1時間雨量）である。この内連続雨量はその定義から12時間以上の降雨中断以前の先行降雨の影響が反映されない雨量指標であることから、先行降雨の影響を考慮し、斜面の崩壊ポテンシャルと関連づける雨量指標としての実効雨量について、運転規制への導入を検討した。

2. 災害発生時の降雨パターン分析

昭和50年以降の降雨による過去の斜面崩壊事例186データを抽出し、降雨パターン別に分析したところ、先行降雨の影響がある崩壊事例は20%弱であることがわかった¹⁾。このように鉄道沿線で発生する災害の中にも先行降雨の影響を考慮すべき事例があることが確認されている。

3. モデル化した盛土の降雨時安定性と雨量指標

先行降雨を斜面崩壊と密接に関連づけられる²⁾とされる実効雨量に着目し、鉄道盛土をモデル化し降雨による雨水浸透を飽和・不飽和浸透流解析により解析し、この結果を受けた安定解析を行い、盛土の安定度と連続雨量、実効雨量を比較し各雨量指標の得失を明らかにする。ここで、実効雨量は次式で表現される。

$Rc(t) = Rc(t-1)e^{-\alpha} + I(t)e^{-\alpha/2}$ $Rc(t)$: 時刻 t の実効雨量、 $I(t)$: 時刻 t の降雨強度、 α : 減少係数
この式は、 $\alpha=0$ のとき、 $Rc(t)$ は連続雨量、 $\alpha \rightarrow \infty$ のとき、 $Rc(t)$ は降雨強度を示す。なお、 $m = \ln 0.5 / \alpha$ を半減期という。

(1) 解析の概要

降雨に起因する斜面崩壊について解析する場合、雨水の地盤内への浸透は重要な現象であるため、不飽和地盤の透水性を考慮した飽和・不飽和浸透流解析を用いた。一方、ある時点での状態における斜面の安定性を求めれば、斜面の安定度の変化傾向と各雨量指標による変化を比較することで、各雨量指標の得失が明確になる。安定解析では、任意の形状のすべり面へ適用性のある簡便 Janbu 法を用いた。

(2) 解析条件

解析の目的は、標準的で単純な盛土断面構造で、様々な降雨パターンによる内部水位及び湿潤状態を安定性評価に反映することである。そのため、解析に必要なパラメータは、過去の災害事例や実盛土での土質試験結果等から以下のように設定した。

盛土断面は鉄道の設計標準³⁾より高さ6.0m、勾配1:1.5とし対称性を考慮して半断面を解析対象とした（図1）。

浸透流解析に用いる土壌水分特性に関するパラメータは、複数の実盛土より採取した試料及び過去の散水実験に使用した試料の土質試験結果から設定した（表1）。

解析に使用する降雨は、仮定の降雨をモデル化したもの8例と

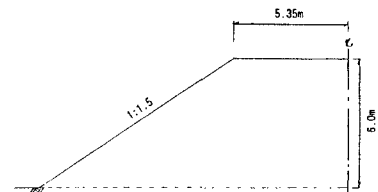


図1 盛土の解析断面

表1 パラメータ一覧

最小体積含水率(θ_p)	0.180
飽和体積含水率(θ_s)	0.411
限界吸引圧力水頭(ψ_a)	-2.80cm
$\lambda(\text{drying})$	0.35
$\lambda(\text{wetting})$	0.60
飽和透水係数(k_p)	$5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$
n	3.7

キーワード：運転規制／先行降雨／斜面安定／盛土／実効雨量

〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総研 環境防災技術開発推進部 TEL.042-573-7265, FAX.042-573-7398
〒801-0841 福岡県北九州市門司区西海岸1-6-2 J R九州 本社施設部工事課 TEL.093-332-6621, FAX.093-332-6541

過去に観測された実降雨2例を用いた。モデル降雨の総雨量は東海道新幹線の70年確率最大日雨量400mm⁴⁾、降雨強度は0~100mm/hとし、降雨パターンは便宜的に①豪雨・長雨型、②等コブまたは変化コブ型、③単調増加または単調減少型の3タイプとした。一方、実降雨は1976年~1994年の静岡のアメダス降雨データから以下の2例とした。

実降雨Ⅰ：1982年9月6日14:00~9月12日20:00（最大時雨量48mm/h、総雨量497mm）

実降雨Ⅱ：1983年8月15日1:00~8月31日24:00（最大時雨量62mm/h、総雨量600mm）

初期水分条件は、本解析では、過剰な重力水は排水されて毛管水が土粒子間に保持されている状態を考慮し、初期圧力水頭は全断面で-30cmとした。解析時間は、降雨開始時刻($t=0$ h)より開始し、7日間($t=168$ h)を解析終了とした。また、安定解析の初期条件として飽和・不飽和浸透流解析結果を安定解析に入力するが、その際の地盤の土質定数は厳密には土の水分状態により変化する。そこで、過去の不飽和状態の土の強度定数を基に、土の飽和度と土質定数を設定した。この際に土の内部摩擦角は $\phi'=30^\circ$ で一定とした（表2）。

(3)解析結果

降雨パターン毎に安全率の変化傾向と各雨量指標の値の変化について整合性を検証する。雨量指標は、連続雨量、新幹線検証の規制に使われている前24時間内の積算雨量で定義される24時間雨量、半減期 $m=24$ h、 $m=72$ hの実効雨量とした。は、①降雨開始初期の雨量値の変化と安全率の低下傾向の整合性、②安全率の最低となる時刻と雨量値のピークの一貫性、③安全率の回復傾向と雨量値の低下傾向の整合性の3点に着目した。

モデル降雨および実降雨において、パターン別の降雨状態と安全率の経時変化を考察し、実降雨による検証を行った。その結果、降雨開始とともに各雨量指標の値は上昇し安全率は低下する。安全率が最小となる時刻と雨量指標の値がピークとなる時刻を比較すると、各雨量指標の値とも降雨に対して遅れて発生する危険性を適正に表現し難い。また、安全率が最小となった後の回復傾向に対してはピーク後に低減曲線を示す実効雨量が追従する可能性を示すことがわかった（図2、表3）。

4. おわりに

安定計算によって得られる安全率の変化傾向と各雨量指標を比較したところ、実効雨量が安全率の変化傾向により対応した変化を示す。しかし、実効雨量でも降雨パターンによってはその雨量値のピークよりも安全率の最小時が遅れて生じる場合があり、実際の運用には注意を要する。

参考文献：1)山崎、杉山他：鉄道沿線斜面災害時の降雨パターン分析，第31回地盤工学研究発表会，（社）地盤工学会，1996.7.

2)鈴木、小橋：がけ崩れ発生と降雨の関係について，新砂防，121，1981.9.

3)鉄道構造物等設計標準・同解説・土構造，運輸省監修鉄道総研編，丸善，1992.

4)池田俊雄：盛土の崩壊とその対策について，第6回新幹線施工技術討論会記録，国鉄新幹線総局，1961.

表2 飽和度と土の強度定数

飽和度： S_r	単位体積重量： γ_t (t/cm ³)	粘着力： c (t/cm ²)	内部摩擦角： ϕ' (°)
100%	1.642	0.20	30
95%	1.625	0.25	
85%	1.591	0.34	
75%	1.557	0.44	
65%	1.523	0.55	
55%	1.488	0.74	

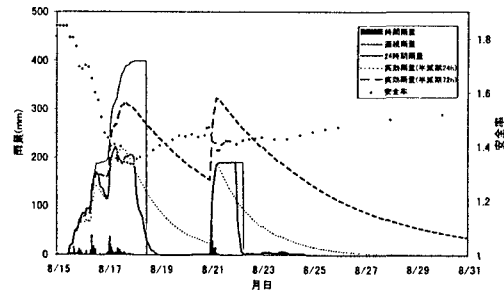


図2 盛土の安全率と雨量指標の推移（実降雨Ⅱ）

表3 降雨タイプ別の安全率と各雨量値との整合性

状 態	安全率の低下傾向と降雨開始から初期の段階について				安全率の最低値と降雨ピーク値の一致性				安全率の回復傾向と降雨量の減少について			
	R	R ₂₄	R ₇₂	R ₂₄	R ₂₄	R ₂₄	R ₇₂	R ₂₄	R ₂₄	R ₂₄	R ₇₂	R ₇₂
豪雨Ⅰ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
豪雨Ⅱ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
長雨	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
等コブ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
変化コブⅠ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
変化コブⅡ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
単調増加	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
単調減少	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
実降雨Ⅰ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
実降雨Ⅱ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
総合判定	△	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△

凡例：○：雨量指標>R：連続雨量、R₂₄：24時間雨量、R₇₂：実効雨量（半減期24h以下）
△：実効雨量（半減期48h以上）
○：判定結果>○：比較的安全性がよい、△：やや整合性がある、×：整合性がない
（安全率の最低値と降雨ピーク値の一致性に因しては、時間のずれを比較し、3h以内を○、3h~6h以内を△、6h以上を×とした。）