

実効雨量に対応した斜面の危険度評価基準の構築

(財)鉄道総研 正会員 ○布川 修 正会員 杉山 友康
正会員 太田 直之
国土館大学 フェロー 岡田 勝也

1. はじめに

数多く存在する鉄道沿線の斜面の中から降雨に対する弱点箇所を抽出する際に、当研究所が開発した斜面の危険度評価基準^{1)~5)}が利用されている。この評価基準は、JRにおいて実施されている降雨時の運転規制で用いられている雨量指標（連続雨量と時間雨量の組み合わせ）に合わせて、対象とする斜面の崩壊に対する危険度が高くなる雨量（限界雨量と定義している）を求めるものである。一方、最近では気象庁の発表する土壌雨量指数や地盤内に蓄積される雨水の量を表現した実効雨量等を利用して、鉄道の運転規制を行うことも検討されつつある。そこで、本稿では、現行の斜面の危険度評価基準を参考にして、実際に鉄道の運転規制への利用が検討されている実効雨量の考え方に対応した評価基準を構築した結果について述べる。

2. 限界雨量と限界実効雨量

現行の危険度評価基準は、斜面の崩壊形態（盛土、切土（表層崩壊）、切土（深層崩壊））ごとに評価基準が設定されている。評価基準から求められる限界雨量は、図1に示すように降雨時の運転規制で用いられている連続雨量と時間雨量を軸としたグラフ上に曲線で表される。この曲線を越える領域の降雨の時に対象とする斜面の崩壊に対する危険度が高いと判断されることから、限界雨量を斜面相互に比較するばかりではなく規制雨量値と比較することで、降雨に対する弱点箇所を抽出することが可能である。

一方、実効雨量は過去に降った雨量の影響が時間とともに減少するものとして、その影響を評価した雨量の指標である。ある時刻の実効雨量 R_c は、以下の式で求められる。

$$R_c = R_0 + \alpha R_1 + \alpha^2 R_2 + \dots + \alpha^n R_n \quad (1)$$

ここで、 R_0 ：当該時の時間雨量（mm/h）、 R_n ： n 時間前の時間雨量（mm/h）、 α ：減少係数（ $0 < \alpha < 1$ ）。

なお、減少係数 α は M 時間前の時間雨量の半分が現在の実効雨量に加算されると定義した半減期 M で表現される場合が多い。半減期 M と減少係数 α の関係は次式で与えられる。

$$\alpha = 0.5^{1/M} \quad (2)$$

実効雨量は式(1)、(2)で示すように半減期別に求められ、その値も経時的に変化することから、対象とする斜面の崩壊に対する危険度が高くなる実効雨量（以下、限界実効雨量という）は半減期ごとに図2に示すように表されることとなる。本稿では、図に示すような限界実効雨量を求めるための評価基準を構築した。

3. 評価基準の構築

鉄道沿線には土質・地質、地形、集水条件等が異なる様々な斜面が存在するため、斜面崩壊に伴う災害は様々な降り方の雨で発生する。降雨時の運転規制に実効雨量を用いる際には、1つの半減期による実効雨量を指標とするのではなく、複数の半減期を設定することで様々な降り方の雨で発生する斜面崩壊に対応することがキーワード 斜面、降雨、評価基準、数量化 I 類解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総研 地盤防災 TEL 042-573-7263

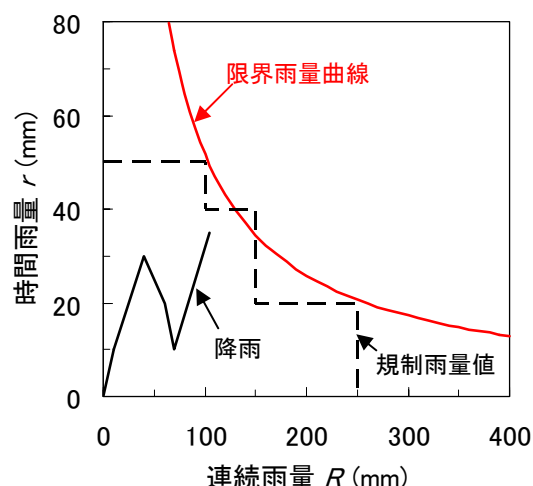


図1 限界雨量曲線の例

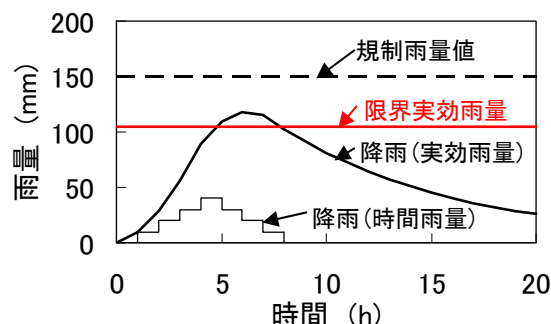


図2 限界実効雨量曲線の例

能となる。そこで、本稿では、実効雨量に基づく運転規制の適用性について検討した研究成果⁶⁾を参考にして、斜面の崩壊形態（盛土、切土（表層崩壊）、切土（深層崩壊））を考慮した実効雨量の半減期を設定し、崩壊形態別に評価基準を構築した。

具体的には、盛土に関しては短期的な降雨および長期的な降雨がともに崩壊に寄与するため、半減期を 1.5 時間、6 時間、24 時間とした評価基準とした。切土（表層崩壊）に関しては主として短期的な降雨が崩壊に寄与するため半減期を 1.5 時間、6 時間とする評価基準、切土（深層崩壊）に関しては主として長期的な降雨が崩壊に寄与するため半減期を 6 時間、24 時間とする評価基準とした。評価基準の構築手順は次の通りである。

① 現行の評価基準の基礎データとした斜面崩壊事例の情報を整理し、崩壊時の実効雨量を算出した。② 崩壊時の実効雨量を目的変数、斜面の条件を説明変数とした数量化Ⅰ類解析を行い、のり面防護工が施工されていない斜面の評価基準を構築した。③ 現行の評価基準でのり面防護工の耐雨性効果を定量化した際に使用したのり面防護工施工箇所の斜面データを整理し、②で構築した評価基準を用いてのり面防護工が施工されていないと仮定したときの限界実効雨量を算出した。④ ③の対象斜面近傍のアメダスデータを解析し、のり面防護工施工後に経験した実効雨量の最大値を算出した。⑤ ③と④の結果を比較することで、実効雨量を指標としてのり面防護工の耐雨性効果を定量化した。⑥ ②の結果に⑤の結果を組み込むことで、実効雨量に対応した斜面の危険度評価基準を構築した。

表 1 に斜面の危険度評価基準の例を示す。対象斜面の限界実効雨量は表中の値を用いて、次式により求められる。

（限界実効雨量）

$$=(\text{基本点})+\Sigma(\text{斜面条件ごとの評価点})+(\text{防護工の効果点}) \quad (3)$$

図 3 に構築した評価基準で求められる予測値（限界実効雨量）と整理した斜面崩壊データから得られた実績値（実際の崩壊時における実効雨量）との関係の例を示す。このように予測値と実績値を比較することで求めた評価基準の精度を表 2 に示す。表に示すとおり、切土（深層崩壊）の重相関係数が比較的低い値となった。

4. おわりに

本稿では、実効雨量に対応した斜面の危険度評価基準を構築した結果について述べた。今後は、本稿で使用していない災害データや実際に設定される実効雨量の規制雨量値等を用いて、構築した評価基準の妥当性を検証していきたい。

参考文献

- 1) 杉山友康：降雨時の鉄道沿線斜面災害防止のための危険度評価法に関する研究，鉄道総研報告，特別第 19 号，1997 年 5 月
- 2) 岡田勝也，杉山友康，村石尚，野口達雄：統計的手法による鉄道盛土の降雨災害危険度の評価手法，土木学会論文集，No.448/III-19，pp.25～34，1992 年 6 月
- 3) K. Okada, T. Sugiyama, H. Muraishi, T. Noguchi, M. Samizo: Statistical Risk Estimating Method for Rainfall on Surface collapse of A Cut Slope, Soils and Foundations, Vol. 34, No. 3, pp.49～58, 1994 年 9 月
- 4) T. Sugiyama, K. Okada, H. Muraishi, T. Noguchi, M. Samizo: Statistical Rainfall Risk Estimating Method for A Deep Collapse of A Cut Slope, Soils and Foundations, Vol. 35, No. 4, pp.37～48, 1995 年 12 月
- 5) 杉山友康，岡田勝也，秋山保行，村石尚，奈良利孝：鉄道盛土の限界雨量に及ぼす防護工の効果，土木学会論文集，No.644/IV-46，pp.161～171，2000 年 3 月
- 6) 島村誠，友利方彦：降雨時列車運転規制に用いる実効雨量指標の有効性について，平成 16 年鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL'04）講演論文集，pp.447-450，2004 年 12 月

表 1 評価基準の例（盛土 半減期 6 時間）

基本点		104.5			
条件		条件（上段）と評価点（下段）			
盛土の構造条件	盛土高さ H (m)	$H < 3$	$3 \leq H < 10$	$10 \leq H$	
		14.2	-0.7	-6.3	
	貫入強度 N_c	$N_c < 4$	$4 \leq N_c < 6$	$6 \leq N_c < 8$	$8 \leq N_c$
基盤条件	地盤の傾斜角 θ_B	平坦		10 度以上	
		12.0		-11.6	
	透水係数 k (cm/s)	$k < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq k < 10^{-3}$	$10^{-3} \leq k < 10^{-2}$	$10^{-2} \leq k$
集水・浸透条件	集水地形 W_G	無し	対象側	反対側	
		5.1	-44.0	-7.6	
	縦断形態 T_L	切盛境界・落込勾配		平坦・単勾配	
経験雨量条件		25.6		-14.2	
	横断形態 T_F	純盛		片切片盛・腹付	
		6.1		-4.8	
経験雨量条件	経験雨量 R_E	$R_E < 2$	$2 \leq R_E < 5$	$5 \leq R_E < 10$	$10 \leq R_E < 15$
		-35.5	-18.6	-10.2	29.3
					54.3
防護工（効果率 100%の場合）		防護工種類		効果点	
		簡易格子枠工		60.1	
		張ブロック工		51.6	

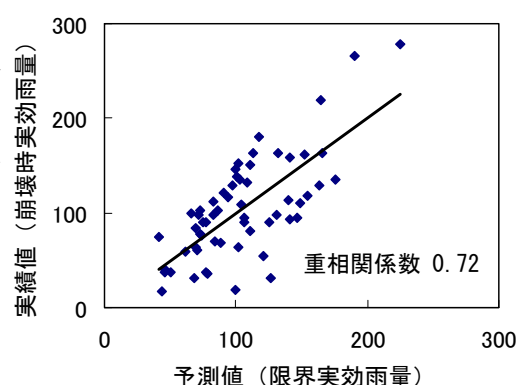


図 3 予測値と実績値との関係の例（盛土 半減期 6 時間）

表 2 評価基準の精度

崩壊形態	半減期	重相関係数
盛土	1.5	0.74
	6	0.72
	24	0.72
切土（表層崩壊）	1.5	0.79
	6	0.80
切土（深層崩壊）	6	0.52
	24	0.63