

鉄道斜面災害を対象としたリスク評価における被害確率頻度の試計算

鉄道総合技術研究所 正会員 ○森泰樹 正会員 布川修
 正会員 杉山友康
 J R 九州 正会員 淵脇晃
 大成建設 正会員 畑明仁 正会員 堀倫裕
 正会員 亀村勝美

1. はじめに

鉄道においては、降雨による斜面崩壊を可能な限り防止する、あるいは崩壊した場合でも列車の安全を確保するために、のり面工などのハード対策や雨量を指標とした運転規制などのソフト対策を実施している。これらの対策を最適に組み合わせるためには、斜面の耐力や輸送量の違いなど各線区の特性を考慮する必要があるが、現場技術者の経験により決定されているのが現状である。そこで、当研究所では、斜面災害に対してリスク評価手法を適用し、斜面災害対策を定量的に決定する手法について検討している。この手法では、リスクを算出するにあたり、1年間に被害が発生する確率的な頻度（以下、被害確率頻度という）を算出するものとしており¹⁾、本稿では被害確率頻度を試計算した結果について述べる。

2. 崩壊発生確率および崩壊確率頻度の試計算

2.1 崩壊発生確率および崩壊確率頻度の算出方法

崩壊発生確率の算出には、鉄道総研が開発した斜面の危険度評価手法²⁾³⁾により求められる対象斜面の限界雨量を用いる¹⁾。限界雨量は、斜面の崩壊形態（盛土、切土（表層崩壊）、切土（深層崩壊））ごとに設定されている評価基準から求められ、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。これらの曲線を超える降雨の時に、対象とする斜面が崩壊する危険度が高いと判断される。なお、限界雨量で表される曲線は図1における50%崩壊確率の曲線である。この曲線を超える降雨の時、崩壊する確率が50%、崩壊しない確率が50%である。

斜面の危険度評価手法は、全国の崩壊事例をもとに統計解析（数量化 類）により構築したものであり、限界雨量の予測値と実測値の残差は概ね正規分布と仮定できる。そのため、求めた限界雨量の崩壊発生確率を50%とすると、崩壊発生確率のばらつきも残差の標準偏差の正規分布と仮定することで、任意の崩壊確率を曲線として表すことができる（図1）。

これらより、対象斜面付近のアメダスで過去に観測された降雨データを用いて、運転規制の有無と斜面崩壊の有無を考慮した各事象¹⁾における1年間での対象斜面の崩壊確率頻度を算出することとした。表1に、ある事象における崩壊確率頻度の算出方法を示す。

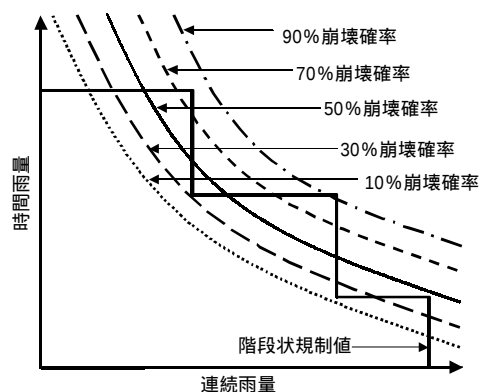


図1 崩壊確率ごとの限界雨量曲線

表1 崩壊確率頻度の算出方法

一降雨での崩壊確率	T年間での降雨頻度(回)
10% (P_{10})	X_{10}
20% (P_{20})	X_{20}
⋮	⋮
80% (P_{80})	X_{80}
90% (P_{90})	X_{90}
降雨頻度の合計(T年間)	$\sum X_{10} \sim X_{90}$

1年間での崩壊確率頻度(回/年)

$$n(\text{回/年}) = \{\sum (P_i \cdot X_i)\} / T$$

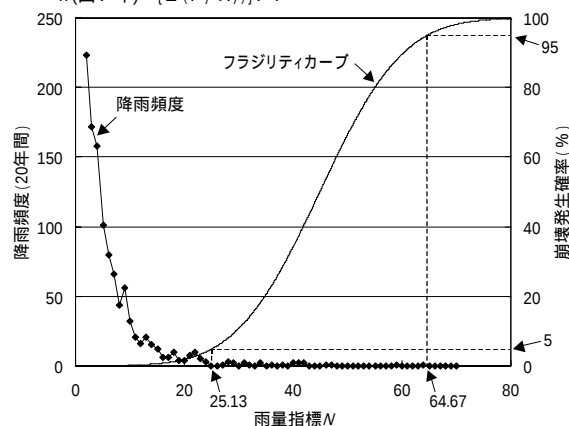


図2 降雨頻度とフラジリティカーブ

キーワード 斜面災害, リスク, 運転規制, 限界雨量, 被害確率頻度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7263

2.2 崩壊確率頻度の算出

崩壊確率頻度の算出では、鉄道沿線のある切土 1 箇所（限界雨量 $S = R^{0.2} \times r^{0.9} = 44.89$ ， R ：連続雨量， r ：時間雨量）²⁾の表層崩壊を対象とし、雨量は 1984 年～2003 年の 20 年間に対象斜面近傍で観測されたアメダスデータを用いることとした。図 2 に雨量指標と降雨頻度との関係を示す。なお、1mm 以上の雨量が 12 時間以上の中断を伴わずに降り続いたものを一降雨とし、一降雨において切土の表層崩壊の雨量指標 $N = R^{0.2} \times r^{0.9}$ が最大となる値を代表値として求め、各代表値の発生頻度を算出した。

また、対象切土の限界雨量 S を用いて 2 章で述べた方法により、図 2 に示すように雨量指標 N と崩壊発生確率との関係を示すフラジリティカーブを作成した。さらに、降雨頻度とフラジリティカーブから、崩壊発生確率 5%～95%（雨量指標 N は 25.13～64.67 の範囲）の降雨を対象に崩壊確率頻度を算出することとした。なお、崩壊発生確率 5%～95% の範囲における関係を図 3 に示すが、この範囲を 10%ごとに分割し、表 1 に示したように各範囲に含まれる崩壊確率頻度を足し合わせた。なお、各範囲における崩壊発生確率の代表値は、その範囲での平均値とした。例えば崩壊発生確率 15%～25% の場合、代表値は 20%とした。表 2 に運転規制の有無と斜面崩壊の有無を考慮した各事象の崩壊確率頻度を示す。

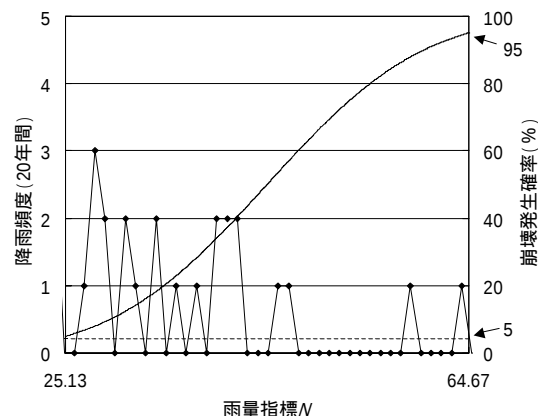


図 3 崩壊発生確率 5%～95%における降雨頻度とフラジリティカーブ

3. 運転時間帯確率および車両被害確率の試算

運転時間帯確率は、対象斜面を通過する始発列車から最終列車までの時間を算出し、24 時間で除することによってその割合を求める。今回対象と

表 2 崩壊確率頻度の試算結果

崩壊確率頻度 (回/年)	崩壊有り		崩壊無し		合計	
	規制無し	規制有り	規制無し	規制有り	規制無し	規制有り
	0.285	0.060	0.765	0.040	1.050	0.100

した斜面の始発列車から最終列車までの時間は 19.4 時間であるため運転時間内である確率は、 $19.4/24=0.81$ となる。一方、運転時間外となる時間は 4.6 時間であるため運転時間外である確率は $4.6/24=0.19$ となる。

車両被害の有無は、斜面条件から崩壊規模を予測した結果を用いて算出する予定であるが、今回は、車両に被害が無い確率、有る確率をともに 0.5 と仮定した。

4. 被害確率頻度の試算

被害確率頻度は、崩壊確率頻度、運転時間帯確率、および車両被害確率を乗じて求められる¹⁾。

図 4 のイベントツリーに今回の試算における被害確率頻度 $n_1 \sim n_8$ の結果を示す。

5. おわりに

本稿では、斜面災害に対するリスク評価手法の中で、崩壊確率頻度、運転時間帯確率、および車両被害確率から求められる被害確率頻度の算出方

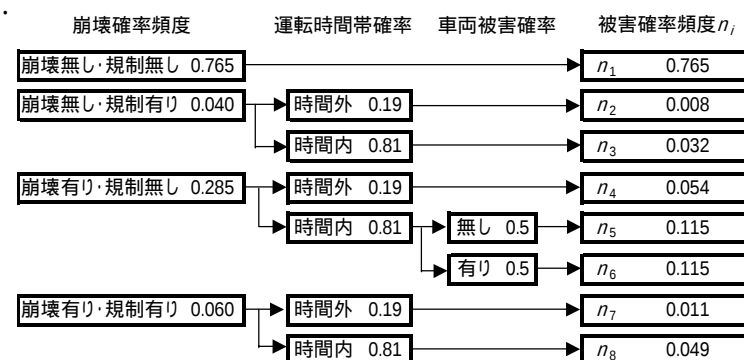


図 4 被害確率頻度の試算結果

法とその試算の結果について示した。今後は、斜面の崩壊規模を予測した結果を用いて車両被害確率を求める手法や被害が発生した場合の損失について検討していく。

【参考文献】

- 1) 淵脇晃，森泰樹，布川修，杉山友康：リスク評価における鉄道斜面災害の被害確率頻度算出の考え方，第 62 回年次学術講演会講演概要集，土木学会，2007.9（投稿中）
- 2) 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，鉄道総研報告，Vol.19，No.5，1997
- 3) 杉山友康，岡田勝也，秋山保行，村石尚，奈良利孝：鉄道盛土の崩壊限界雨量に及ぼす防護工の効果，土木学会論文集 No.644/VI-46，pp161-171，2000.3