

降雨による斜面災害防止の 対策順位を決める

布川 修
防災技術研究部
(地盤防災 副主任研究員)

杉山 友康
同
(同 研究室長)

太田 直之
同
(同 主任研究員)



ぬのかわ おさむ



すぎやま ともやす



おおた なおゆき

はじめに

鉄道沿線に存在する盛土や切土(以下、斜面といいます)が降雨によって崩壊することで、列車の運行を阻害する災害が発生することがあります。こうした災害から列車の安全・安定輸送を確保するために、斜面表面をコンクリートで覆い、降雨によって斜面が崩壊しないようにする対策(以下、ハード対策といいます)などが実施されています(図1)。この様なハード対策を降雨によって崩壊する危険度の高い斜面全てに実施するのが理想ですが、鉄道沿線には数多くの斜面が存在することなどから、降雨量が多いときには列車運行を中止するなどの規制を行うとともに、崩壊の危険度や線区の重要度などからハード対策の順位を経験的に決定し、順次実施しています。

本稿では、現在、経験的に決定されている斜面災害に対するハード対策の順位を定量的に決定するために、降雨時における斜面のリスクを算出する方法の概要について紹介します。

C線区を想定した場合、旅客数と斜面の危険度が個別に定量化されていても、斜面災害に対する対策順位を定量的に決定することは困難です。そこで、旅客数や斜面の危険度などを一緒に考慮して評価できるリスク評価手法を用いて、降雨時における斜面のリスクを算出する方法を検討しました。

一般的にリスク R_{isk} (円/年) は降雨などにより想定される年間あたりの損失と定義され、被害が発生する確率 P (回/年) と被害が発生した時に生じる損失 C (円/回) から以下の式で求められます。

$$R_{isk} = P \times C \dots\dots\dots (1)$$

つまり、降雨の発生確率や斜面崩壊の危険度などから被害が発生する確率 P を、旅客数などから被害が発生した時に生じる損失 C を求めることで、降雨時における斜面のリスクを算出することができます。

前述したとおり、鉄道では降雨量が多いときに列車運行を中止するなどの規制を行っています。図3に運転規制値

リスクの算出方法

図2に示すように、旅客数や斜面の危険度が異なるA, B,



図1 ハード対策の例

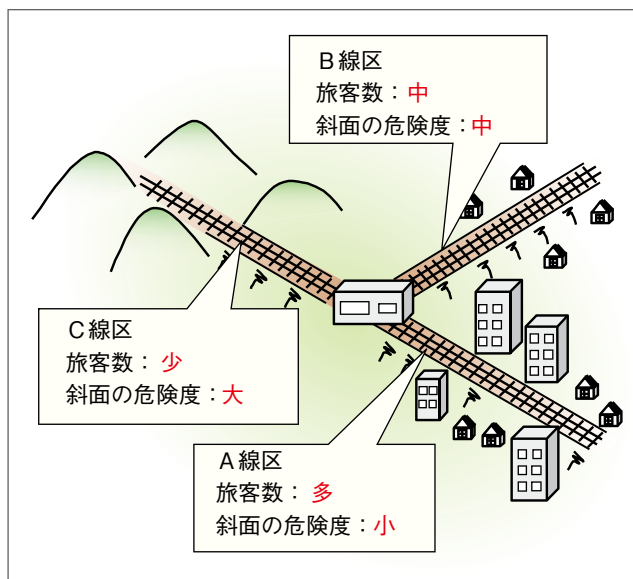


図2 旅客数や斜面の危険度が異なる線区の例

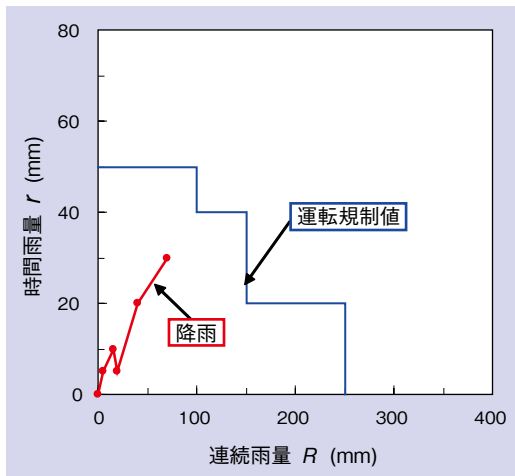


図3 運転規制値の例

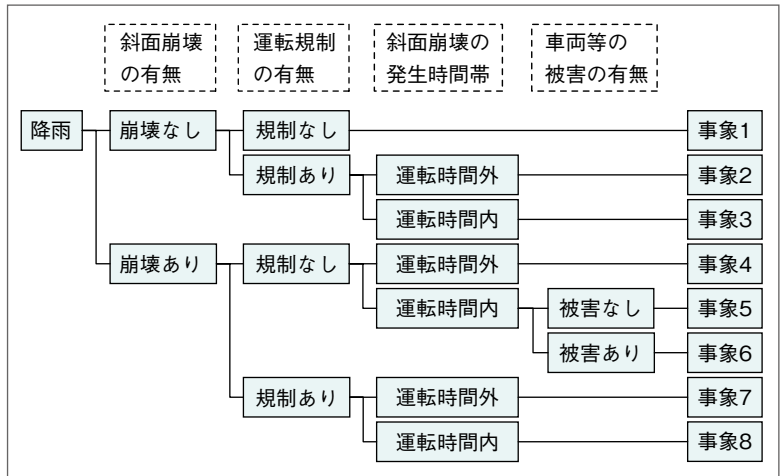


図4 降雨時に想定される事象

の例を示しますが、一般的に連続雨量（12時間以上降雨が中断しない場合における降り始めからその時刻までの降雨量の累積値）と時間雨量を指標としています。図に示す運転規制値に降雨量が達したときに、運転を中止するなどの規制を行います。

このことから、斜面が崩壊したときに列車運行が中止されているかどうかなどにより被害が異なることが想定されます。つまり、実際に降雨時における斜面のリスクを算出するためには、降雨時にどのような事象が発生するかを検討する必要があります。図4に斜面崩壊の有無や運転規制の有無などにより降雨時に想定される事象を示します。本稿では、斜面崩壊の有無、運転規制の有無、斜面崩壊の発生時間帯（斜面崩壊が運転時間帯に発生するかどうか）、車両等の被害の有無、により降雨時における事象を8つの事象に分類することとしました。

これにより、降雨時における斜面のリスク R_{isk} (円/年) は各事象の発生確率 P_i (回/年) と各事象が発生した時に生じる損失 C_i (円/回) から求められる各事象のリスクをすべて求めて足し合わせる、つまり以下の式で求めることができます。

$$R_{isk} = \sum (P_i \times C_i) \quad (i = 1 \sim 8) \quad \dots\dots\dots (2)$$

なお、各事象の発生確率 P_i (回/年) は、図4を参考にする、降雨の発生頻度 N_i (回/年)、斜面の崩壊確率 P_{ai} 、運転規制の有無 P_{bi} 、斜面崩壊が運転時間帯に発生する確率 P_{ci} 、車両等への被害発生確率 P_{di} から以下の式で求められます。

$$P_i = N_i \times P_{ai} \times P_{bi} \times P_{ci} \times P_{di} \quad (i = 1 \sim 8) \quad \dots\dots\dots (3)$$

以下、式(2)と式(3)を用いて降雨時における斜面リスクを算出するために必要な降雨の発生頻度と斜面の崩壊確率、および損失項目について具体的に述べます。

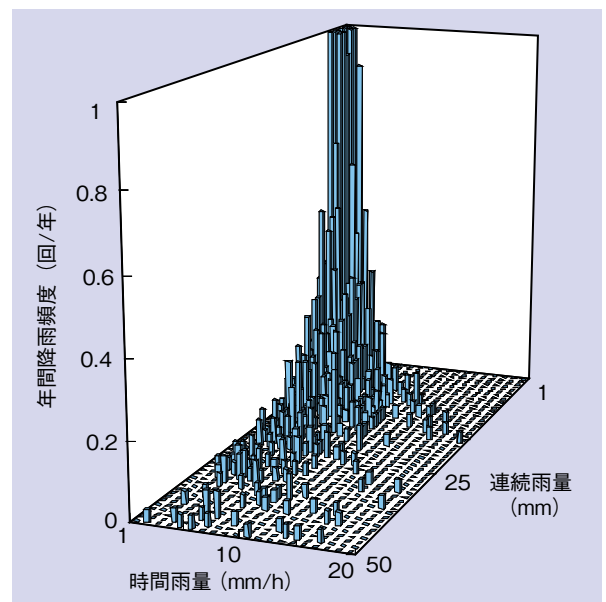


図5 年間あたりの降雨頻度分布の例

(1) 降雨の発生頻度

降雨の発生頻度は斜面近傍のアメダスデータから得られる30年程度の降雨履歴を解析することで求めることとしました。図5に連続雨量と時間雨量を軸とした年間あたりの降雨頻度分布の例（連続雨量50mm以下、時間雨量20mm/h以下、年間降雨頻度1回/年以下を表示）を示します。なお、この図では降り始めから12時間連続して降り止むまで（連続雨量が0となるまで）を1降雨とし、1降雨において最も斜面の安定性に影響を及ぼす連続雨量と時間雨量の組み合わせを代表値とすることで、降雨の発生頻度を求めています。

図5に示した図は、連続雨量と時間雨量とも小さい範囲を示したのですが、この図からも時間雨量や連続雨量が大きい範囲でばらついた分布になっていることが分かります。

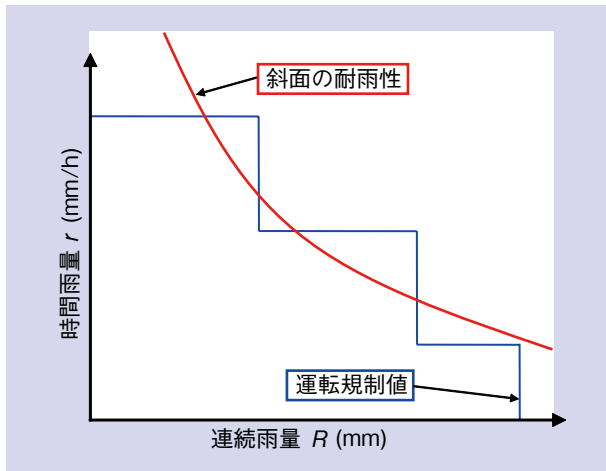


図6 限界雨量にもとづく斜面の危険度評価手法で求められる斜面の耐雨性の表示例

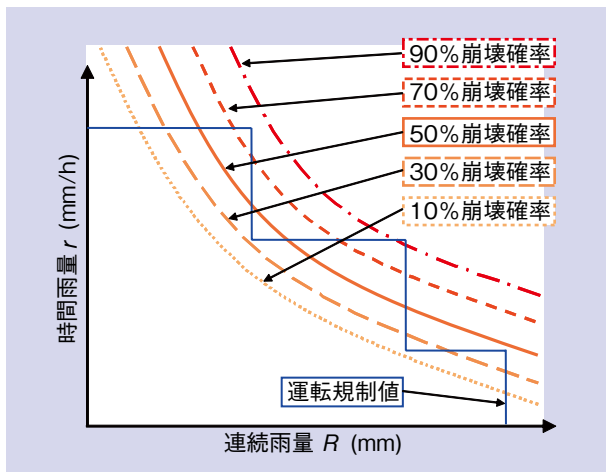


図7 崩壊確率ごとに示した斜面の耐雨性曲線の例

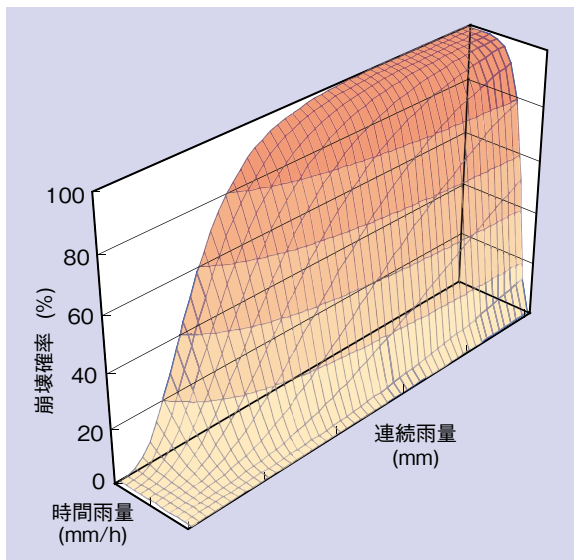


図8 崩壊確率分布の例

す。そこで、このデータを近似関数で近似することで降雨頻度分布を再構築し、降雨の発生頻度を求めることとしました。

(2) 斜面の崩壊確率

斜面の崩壊確率を求めるためには、斜面がどの程度の雨量で崩壊するか（以下、斜面の耐雨性といいます）を定量的に求めることが必要となります。そこで、本稿では、鉄道総研で開発した限界雨量に基づく斜面の危険度評価手法^{1)~4)}を用いて斜面の耐雨性を求めることとしました。この手法を用いると、図6に示すとおり、連続雨量と時間雨量を軸とした平面上に斜面の耐雨性を曲線で表すことができます。なお、この斜面の耐雨性は高さや勾配など斜面個々の条件から算出することができます。

図6に示した斜面の耐雨性を示す曲線は、過去の崩壊事例データを統計的に分析した結果を用いて示されていますので、この曲線を越える降雨が観測された場合、崩壊の確率が50%であることを意味します。つまり、図7に示すように、対象とする斜面の条件から耐雨性を求めますと、崩壊確率ごとの曲線を描くことが可能となります。図7を3次元的に描きますと図8となります。この崩壊確率分布を用いることで、斜面の崩壊確率を求めることとしました。

(3) 損失項目

各事象が発生した時に生じる損失を求めるためには、損失として考えるべき項目を決定する必要があります。これらは、評価対象の斜面が存在する線区の特性などによって異なりますので、実際の評価の際に生じるとと思われる項目をその都度設定することになります。本稿では、例として表1に示すように損失項目を6項目設定し、事象ごとに設定する必要がある損失項目を整理しました。これら損失項

表1 事象ごとに設定する必要がある損失項目

事象No.	損失項目						損失 (回/年) (合計)
	人的 被害額	車両 被害額	応急 費用	復旧 費用	代行 輸送費	営業 損失	
事象1	—	—	—	—	—	—	C_1
事象2	—	—	—	—	—	—	C_2
事象3	—	—	—	—	—	○	C_3
事象4	—	—	○	○	△	○	C_4
事象5	—	—	○	○	△	○	C_5
事象6	△	○	○	○	△	○	C_6
事象7	—	—	○	○	△	○	C_7
事象8	—	—	○	○	△	○	C_8

※被害発生時の損失を設定する必要がある場合に○印を
(△印は必要により設定)

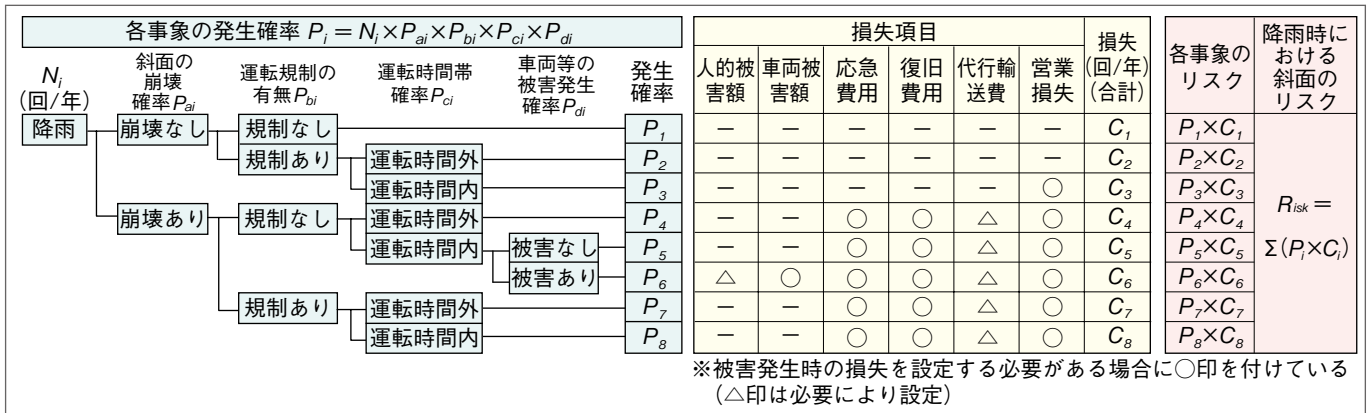


図9 降雨時における斜面のリスク算出フロー

目の具体的な費用は、斜面の崩壊規模や斜面が位置する線区の営業利益などから求められます。

リスク算出結果の利用方法

これまで述べた内容をまとめた降雨時における斜面のリスク算出フローを図9に示します。このフローにもとづいて、盛土4箇所を対象として降雨時における斜面の現状のリスクとハード対策を実施した後のリスクを算出しました。図10にこの結果と斜面の耐雨性の結果を示します。なお、この図には現状のリスクが高い順と斜面の耐雨性が低い順に順位を付けています。

現状のリスクを比較しますと、B線区b盛土のリスクが高いことが分かります。一方、ハード対策後のリスクは各盛土とも小さいため、現状のリスクが高い盛土ほどハード対策によるリスクの低減効果が大きい結果となりました。

また、A線区a盛土の場合、斜面の耐雨性は3番目に低いですが、現状のリスクは2番目に大きい結果となってい

ます。このように、斜面の条件のみで求めた斜面の耐雨性から定量的に決定できる危険度の順位と、斜面崩壊発生時の応急復旧費用なども考慮して求めた現状のリスクから決定できる危険度の順位では異なる結果となる場合があることが分かります。このことから、斜面の崩壊防止対策の順位を決定するために、リスク評価で得られた結果の利用はより有効であると言えます。

おわりに

降雨による斜面災害に対するハード対策の順位を定量的に決定するために、降雨時における斜面のリスクを算出する方法について述べました。今回の方法は、降雨時に対象とするひとつの斜面が崩壊する場合を想定してリスクを算出するものですが、降雨量が多い場合は複数の斜面が同時に崩壊することも考えられます。今後は、このような場合を想定したリスクの算出方法なども検討していく予定です。

RRR

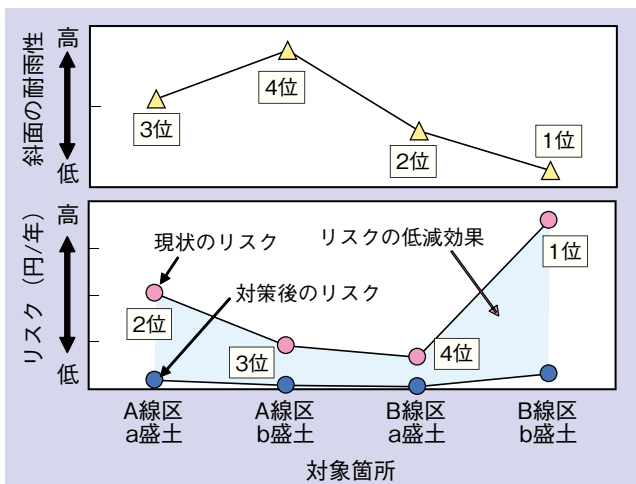


図10 リスクと斜面の耐雨性算出結果

文献

- 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
- 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
- T. Sugiyama, K. Okada, T. Sugiyama, 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
- 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