

運転規制を考慮した鉄道沿線の斜面崩壊発生頻度期待値の算出

鉄道総合技術研究所	正会員	○布川修	フェロー	杉山友康
	正会員	太田直之		
大成建設	正会員	畑明仁	正会員	堀倫裕
	フェロー	亀村勝美		
国土舘大学	フェロー	岡田勝也		

1. はじめに

鉄道では、のり面工などのハード対策と組み合わせて雨量を指標とした運転規制などのソフト対策により、降雨による斜面崩壊から列車の安全を確保している。これらの対策を最適に組み合わせて実施するためには、鉄道沿線の斜面の耐雨性を定量的に評価することが重要となる。そこで、本稿では、個々の斜面が持つ耐雨性と斜面が経験する降雨特性から斜面崩壊の頻度期待値算出方法を示すとともに、この方法を利用した鉄道における運転規制の検討支援方法について考察する。

2. 崩壊発生頻度期待値の算出方法

斜面崩壊の発生頻度期待値を鉄道で実施している降雨時の運転規制を考慮して算出するため、運転規制の雨量指標（連続雨量と時間雨量）に基づく斜面の崩壊発生確率分布と降雨頻度期待値分布を作成する。以下、これらの分布の作成方法と崩壊発生頻度期待値の算出方法について示す。

(1) 崩壊発生確率分布の作成

崩壊発生確率分布の作成には、岡田ら^{1),2)}、杉山ら^{3),4)}が提案している斜面の危険度評価手法により求められる対象斜面の限界雨量を利用する。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））ごとに提案されている評価基準から求められ、求めた限界雨量は鉄道で実施している降雨時の運転規制における雨量指標上に曲線で表される。ここで、提案されている評価基準が降雨により発生した崩壊事例データを用いた数量化Ⅰ類解析により作成されたものであることから、求められる限界雨量のばらつきが評価基準作成時の予測値と実測値の残差と同じ標準偏差の正規分布になると仮定すると⁵⁾、図1に示すような崩壊発生確率分布が得られる。

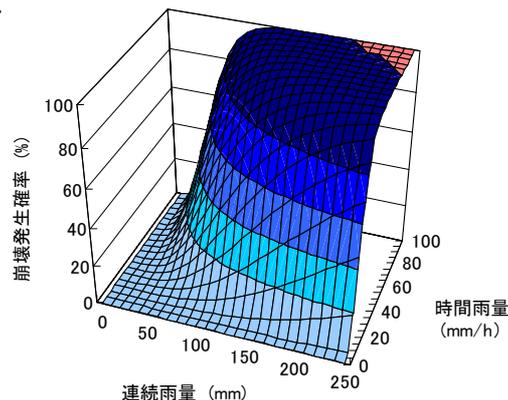


図1 崩壊発生確率分布の例

(2) 降雨頻度期待値分布の作成

降雨頻度期待値分布は、評価対象斜面近傍のアメダス観測所データから得られる30年程度の降雨履歴を分析して年間あたりの降雨頻度分布を求め、この分布を対数正規型の関数式で近似することで作成する⁶⁾。例としてアメダス観測所「東京」のデータから作成した降雨頻度期待値分布を図2に示す。

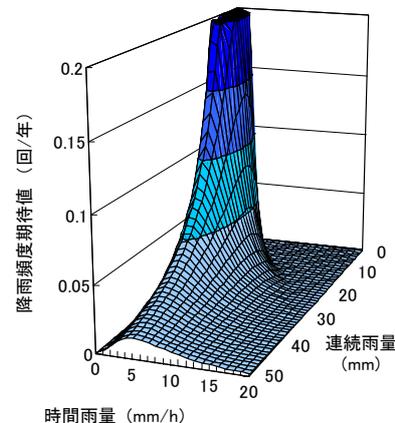


図2 降雨頻度期待値分布の例

(3) 崩壊発生頻度期待値の算出方法

斜面の崩壊発生頻度期待値 M (回/年) は以下の式で求められる。

$$M = \sum (P(R, r) \times N(R, r)) \quad (1)$$

ここで、 $P(R, r)$ は連続雨量 R 、時間雨量 r の場合における斜面崩壊発生確率、 $N(R, r)$ は連続雨量 R 、時間雨量 r の場合における降雨頻度期待値 (回/年) である。

キーワード 降雨、斜面崩壊、発生頻度期待値、運転規制

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 TEL042-573-7263

つまり、作成した斜面の崩壊発生確率分布と降雨頻度期待値分布とから、連続雨量 R 、時間雨量 r ごとに斜面の崩壊発生確率と降雨頻度期待値を求め、これらに乗じた値の合計値が斜面の崩壊発生頻度期待値となる。なお、運転規制の有無は連続雨量 R 、時間雨量 r の値と運転規制の規制雨量値を比較することで判別し、条件ごとに崩壊発生頻度期待値を求めた。

3. 計算事例

ここでは、限界雨量が $L=14.0, 16.0$ となる2つの盛土に対して、それぞれ異なる3つの運転規制値を想定し、運転規制の有無別に崩壊発生頻度期待値を算出する。図3にこの場合の限界雨量曲線と規制値との関係を示す。

運転規制は規制値が大きいほど列車運行を規制する回数は減るため安定した輸送が確保できるが、列車運行が規制されない条件下で斜面が崩壊する可能性が高くなる。このため、規制値を検討する際は、規制が発令されたときに斜面が崩壊しない事象（以下、「崩壊なし規制あり」）の発生頻度期待値、および規制が発令されずに斜面が崩壊する事象（以下、「崩壊あり規制なし」）の発生頻度期待値が重要となる。なお、斜面が崩壊しない事象の発生頻度期待値は、式(1)の斜面崩壊発生確率 $P(R, r)$ を、 $(100-P(R, r))$ と置き換えることで求めることができる。

設定した運転規制ごとの「崩壊なし規制あり」および「崩壊あり規制なし」の発生頻度期待値を、限界雨量 $L=14.0, 16.0$ の盛土それぞれについて求めた結果を図4、図5に示す。なお、降雨頻度期待値分布は図2を用いた。運転規制が同じ場合について図4と図5を比較すると、「崩壊なし規制あり」の発生頻度期待値は限界雨量 $L=16.0$ の盛土の方が2割程度大きいが、「崩壊あり規制なし」の値は約10倍小さいことがわかる。

ここで、「崩壊あり規制なし」の発生頻度期待値が同程度になるように規制値を設定する場合を仮定すると、限界雨量 $L=14.0$ の盛土では「規制値小」、限界雨量 $L=16.0$ の盛土では「規制値大」となる。なお、「崩壊なし規制あり」の発生頻度期待値は、限界雨量 $L=14.0$ の盛土が限界雨量 $L=16.0$ の盛土と比較して2倍程度大きくなる。このように、規制の有無別に発生頻度期待値を算出することで、定量的に規制値を検討することができる。

4. おわりに

本稿では、運転規制を考慮した斜面の崩壊発生頻度期待値の算出方法について、計算事例をもとに示した。今後は、この結果に降雨時の斜面リスク評価結果⁷⁾を加えたより詳細な判断項目に基づく防災対策の決定支援方法について検討する予定である。

参考文献 1)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. 2)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. 3)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. 4)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. 5)杉山友康, 藤井昌隆, 秋山保行: 限界雨量による盛土災害危険度評価法の適用と信頼性, 鉄道総研報告, Vol. 11, No. 10, pp. 17-22, 1997. 6)布川修, 森泰樹, 杉山友康, 太田直之, 畑明仁, 堀倫裕, 亀村勝美: 降雨に対する鉄道沿線斜面リスクを求めるための降雨ハザードの近似関数化, 第63回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2008. 7)森泰樹, 布川修, 杉山友康, 太田直之, 淵脇晃, 畑明仁, 堀倫裕, 亀村勝美: 降雨に対する盛土・切土のリスク算出方法に関する検討, 第63回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2008.

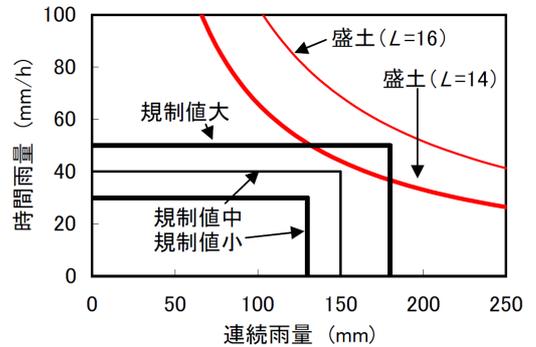


図3 設定した盛土の限界雨量と運転規制との関係

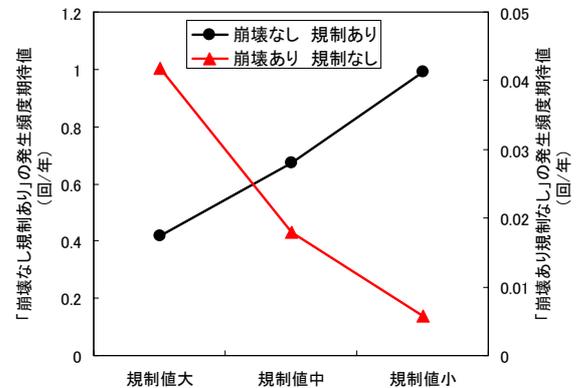


図4 運転規制ごとの発生頻度期待値 (盛土 $L=14$)

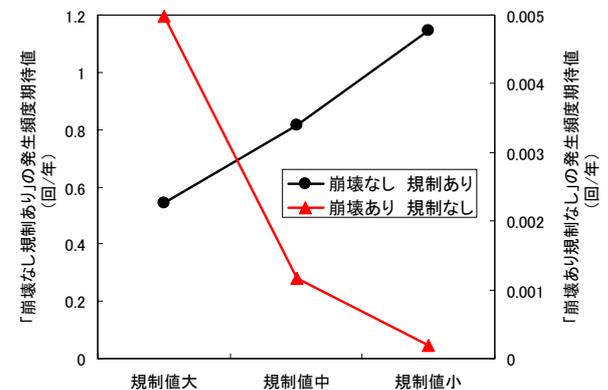


図5 運転規制ごとの発生頻度期待値 (盛土 $L=16$)