

鉄道構造物の維持管理へのリスクマネジメントの適用（5）盛土

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 杉山 友康 太田 直之 布川 修
大成建設（株） 正会員 畠中 千野 田口 洋輔

1. はじめに

鉄道の盛土や切土などの土構造物は、古い時代に建設されたという背景から豪雨によって崩壊することがあり、安全・安定輸送の大きな障害要因となっている。崩壊の多くは、降雨時の運転規制で安全は確保できるものの一旦崩壊した場合の損失は大きく、この損失を最小とするために事前の防災投資によって盛土などの耐降雨強度を高めることが行われる。このためには、雨に対する弱点箇所を抽出することが必要であり、岡田ら¹⁾が提案した限界雨量に基づく危険度評価手法が利用されている。しかし、弱点箇所が抽出されても、被害発生確率や被害規模が考慮されていないため、防災投資の順位が経験的に決定されているのが実情である。そこで、本報告では限界雨量に基づく評価手法を基本として、降雨特性と被害発生頻度によるリスク評価手法を適用した防災投資の意思決定手法について、鉄道の盛土を例として述べる。

2. 評価手法の概要

限界雨量に基づく盛土の危険度評価手法¹⁾は、基本点に個々の盛土の構造、土質、地形などの条件毎に定められた評価点を加算することにより限界雨量 S を求めるものであり、限界雨量が小さいほど耐降雨性が低い盛土である。 S は連続雨量 R と時間雨量 r を軸とした平面上では表され、双曲線となる。

本研究では、地域の降雨特性（降雨ハザード）についても指標 $\bar{S} = R^{0.3}r^{0.3}$ を用いて整理する。例として、降雨状況の異なる東京気象台（東京都千代田区）、札幌気象台（札幌市中央区）、熊本気象台（熊本市）の3地点のアメダスデータをもとにした評価結果を図1に示す。

提案する意思決定手順の概要は以下のとおりである（図2）。

まず、評価対象の盛土が存在する地点の降雨特性（降雨ハザード）を評価する。図2(a)に示すとおり上記の降雨指標 $\bar{S} = R^{0.3}r^{0.3}$ （ R :連続雨量 r :時間雨量）に依存した年間発生頻度をプロットする。データとしては評価地点近傍のアメダスデータを用いる。

一方、評価対象とした盛土の耐降雨性を評価する。前述のとおり、杉山ら²⁾の研究により盛土はその仕様（盛土高さ、土質、透水性など）に応じて盛土の限界雨量 S が算定される。図2(b)に示すように被害発生のはらつきを考慮して S に依存した被害の発生確率（耐雨性曲線；フラジリティカーブ）を作成する。

降雨ハザード（ \bar{S} の年間発生頻度）と対象盛土のフラジリティカーブ（ S に依存した被害の発生確率）から当該盛土に被害が発生する年間発生頻度 P_1 を次式により算定する（図2(c)）。

$$P_1 = \int_0^{\infty} f(s)p(s)ds \quad (1)$$

従来の盛土構造に対する S の算定は、「どのような降雨に対して対象構造物が限界に達するか」という評価であったが、本研究では、

キーワード：維持管理計画、リスクマネジメント、鉄道構造物、盛土

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 Tel:03-5381-5296

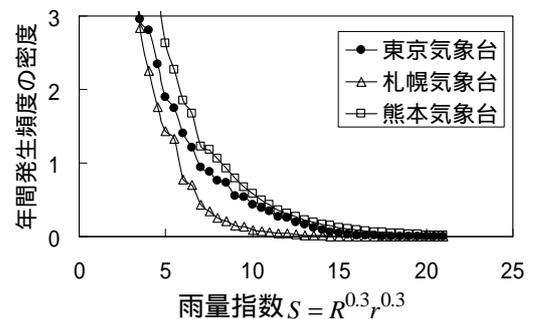


図1. 3地点の降雨ハザード

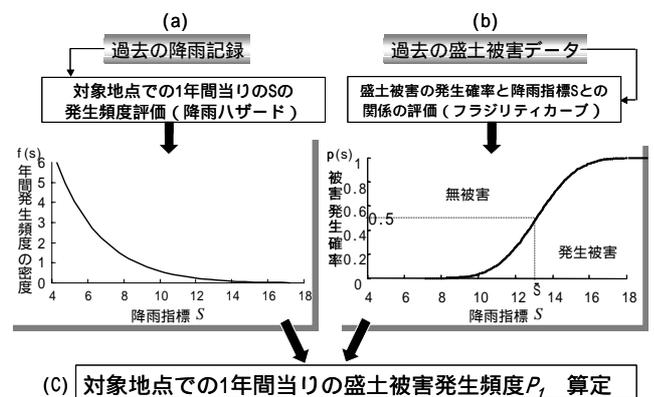
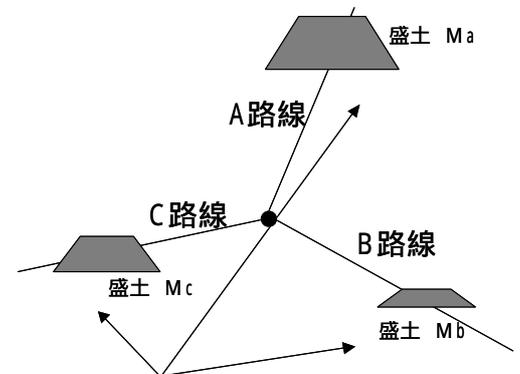


図2. 年間被害発生頻度の算出概念図



異なる降雨ハザード

図3 検討対象保安全管理区イメージ

そこに対象地点での降雨ハザードを導入し、「このような構造物がこのような降雨特性地域にあれば年間に被害を受ける確率は である」という評価を行った。この情報をもとに、他の盛土との防災対策優先順位の検討、対策工の効果の検討などを行うことが可能となる。

3. ケーススタディ

ここではケーススタディとして同一の保守区に存在する管理すべき複数の盛土に対し、降雨によるリスクを考慮した評価の例を示す。図3に示すように、ある管理保守区の中に路線が3つあり、管理が必要とされた盛土がそれぞれ1個ずつあるとする。あまり現実に即した例ではないが、数値的な比較を順次示す必要から、簡単なモデルを仮定した。

表1. 盛土仕様

(1) 降雨ハザード条件

3つの盛土(Ma, Mb, Mc)は、場所が離れており降雨ハザードはそれぞれ異なる。

(2) 対象盛土の仕様

管理が必要とされた盛土 Ma, Mb, Mc について、表1に示すような仕様を設定した。

盛土名称	Ma	Mb	Mc
盛土高さ H (m)	8.5	3.7	6.0
予想崩壊土量 (m ³)	700.0	200.0	240.0
限界雨量評価 $S = R^{0.3} \rho^{0.3}$	17.0	17.0	15.0
崩壊時の復旧費 (円)	14,000,000	4,000,000	3,000,000
営業損失 (円)	10,000,000	10,000,000	3,000,000

表2. 試算結果

(3) 評価手順

各々の盛土の降雨による年間被害発生頻度 P_a , P_b , P_c を式(1)に基づき算出し、地域性を考慮した盛土の被害発生頻度を評価する。さらに被害を生じたときの損失 C (復旧費, 営業損失) を求め、年間損失期待額 $R = P_i \times C$ を算出・評価する。

盛土	Ma	Mb	Mc
S による比較	17.0	17.0	15.0
年間被害発生頻度による比較	0.044	0.054	0.113
年間期待損失額による比較	1,056,000 (円)	756,000 (円)	881,400 (円)

は補強優先度

(4) 試算結果

対象とした盛土に対し、限界雨量を判断根拠とした場合、年間被害発生頻度を判断根拠とした場合、および年間期待損失額を判断根拠とした場合の結果を表2に示す。表2には、試算結果の値と、その指標に基づいた補強順位を示している。盛土の補強対策を検討する場合、 S だけで判断を行うと盛土 Ma と盛土 Mb との補強優先度は同値であり判断できない。ところが、降雨ハザードを用いて地域の降雨特性を考慮した盛土の被害発生頻度を算出すると、盛土 Ma は年間被害発生頻度が 0.044、盛土 Mb は 0.054 となり、双方を比較した場合、被害発生頻度の大きい盛土 Mb から補強すべきという優先度の判断ができる。さらに、損失 C (復旧費、営業損失) を求め、年間損失期待額 ($R = P \times C$) を算出した。同じ営業収入を得ている A 路線と B 路線ではあるが、盛土崩壊時には崩壊土量の相異により復旧費が異なるため、年間期待損失額の差が発生する。崩壊発生頻度を比較した場合では盛土 Mb の優先度が高いが、損失を加味した年間期待損失額の比較では盛土 Ma の優先度が高くなる。また、C 路線に関しては営業収入は他の路線の 10 分の 1 であるが年間期待損失額は B 路線よりも高いものとなりコストを指標にすることで重要度の判断も可能となる。

4. まとめ

限界雨量に基づく既往の降雨指標を用いて、これまで盛土の降雨強度を評価してきた。これを発展させ、降雨ハザードを用いて地域性を考慮した盛土の被害発生頻度を算出することで、防災投資に関する優先度を判断できるようにした。さらに、復旧費用および営業損失を考慮した年間期待損失額を算出することで、コストを判断指標とした情報も示すことが可能となり、意思決定者にとって有用な情報が提示できることを示した。本手法を用いて対策工の評価および優先順位の数値情報を与えることも可能であり、今後の維持管理に対する有益な手法になるものと考えられる。

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/ -19, pp25-34, 1992.62) 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, pp17-22、1997.10