

# 道路斜面におけるリスクマネジメントに関する研究

名古屋工業大学 学生会員 湯浅 知英, フェロー 和久 昭正

## 1. はじめに

我が国では、集中豪雨や地震等に伴うがけ崩れ、地すべり等の土砂災害が毎年多数発生しており、防災対策が進む今日に至っても、その発生件数は、減少傾向にあるとはいえない。さらに近年、地球温暖化に伴った世界レベルでの自然災害の増加が問題視されており、今後増大する自然災害リスクに対して、インフラ構造物にも有効なリスクマネジメントが求められている。

一方、アセットマネジメント技術導入の拡大を受け、土構造物をインフラ資産と捉え、予算制約の条件下で、適切に維持管理する技術の研究が盛んになりつつある。

本研究は、土砂災害の中でも、特に道路に面する斜面災害に着目し、斜面崩壊リスクの定量化と、最適なリスクマネジメントのあり方について検討するものである。

## 2. リスクアナリシス

リスクアナリシスとは、「リスクの把握・分析」、「リスクの評価」、「リスク対応」、「対応策の実施」といったリスクマネジメント全体の中で、「リスクの把握・分析」にあたるもので、斜面崩壊確率に加えて、災害発生に伴う損失を算定し、斜面が保有すリスクを定量化する最も重要な段階である。以下、リスクの算定手法を順に示す。

### 2.1 リスクの定義

リスク  $R$  を定量的に表現するため、リスクを以下のように定義する。数学的には、損失額の期待値を表す。

$$R = p \times D \quad (1)$$

ここで、 $p$  は崩壊確率、 $D$  は損失額を表す。

### 2.2 斜面の崩壊確率の算定

斜面災害の発生誘因として降雨を想定し、ある降雨強度の発生する年超過確率  $\psi(\alpha)$  と、その降雨強度における斜面の崩壊確率  $p_f$  の積によって、斜面の崩壊確率  $p_a$  を算定する。

降雨ハザードは、ガンベル分布に従うものとする、降雨強度  $\alpha$  での年超過確率  $\psi(\alpha)$  は次式となる。

$$\psi(\alpha) = 1 - \exp\{-e^{-a(\alpha-b)}\} \quad (2)$$

ここで、 $a, b$  は過去の降雨履歴から求まる定数。

続いて、崩壊モデルとして、図1に示す直線すべりモ

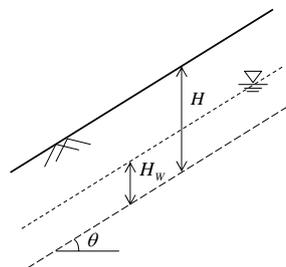


図1 直線すべりモデル

デルを用いると、性能関数  $Q$  は次式のように表される。

$$Q = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H}\right) \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \theta} + \frac{c}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \theta \cos \theta} - 1 \quad (3)$$

ここで  $\gamma_w$  は水の単位体積重量、 $\gamma$  は土の単位体積重量、 $H_w$  は崩壊面からの地下水位、 $H$  は斜面高さ、 $\theta$  は崩壊面の傾斜角、 $c$  は土の粘着力、 $\phi$  は土の内部摩擦角を表す。

すなわち、 $Q > 0$  であれば安定を示し、 $Q < 0$  であれば、すべりが発生し、崩壊が起きると考える。ここで、 $Q$  は  $H_w$  の関数であるため、 $\alpha$  と  $H_w$  を関連付ける必要がある。この地下水位に関して、最近ではタンクモデルを適応させる研究<sup>1)</sup>が進められている。ただし、ここでは文献<sup>2)</sup>に示す以下の関係式を用いることとする。

$$H_w(\alpha) = 0.1906 \times \ln \alpha - 0.0635 \quad (4)$$

次に、 $Q$  に含まれる変数の内、土の粘着度  $c$  および土の内部摩擦角  $\phi$  を確率変数として、以下のような正規分布に従うと仮定する。この結果、式(6)のように、 $Q$  も平均  $\mu(\alpha)$  と標準偏差  $\sigma(\alpha)$  の正規分布に従う。

$$c \sim N(\mu_c, \sigma_c) \quad \tan \phi \sim N(\mu_{\tan \phi}, \sigma_{\tan \phi}) \quad (5)$$

$$Q \sim N(\mu(\alpha), \sigma(\alpha)) \quad (6)$$

これにより、降雨強度  $\alpha$  において崩壊する確率  $p_f$  は、以下の関係式から求められる。

$$p_f(\alpha) = 1 - \Phi(\beta(\alpha)) \quad (7)$$

$$\Phi(\beta(\alpha)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta(\alpha)} \exp\left(-\frac{1}{2}s^2\right) ds \quad (8)$$

ここで、 $\Phi(\alpha)$  は変数  $\alpha$  に対する累積確率を表し、 $\beta(\alpha)$  は信頼性指標と呼ばれ、次式で表される。

$$\beta(\alpha) = \frac{\mu(\alpha)}{\sigma(\alpha)} \quad (9)$$

以上より、斜面の年間崩壊確率  $p_a$  は、 $\psi(\alpha)$  と  $p_f(\alpha)$  の積から次式のように算定される。

$$p_a = -\int_0^{\infty} p_f(\alpha) \frac{\partial \psi(\alpha)}{\partial \alpha} d\alpha \quad (10)$$

### 2.3 損失の算定

本研究では、「道路斜面のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案)」に示す算定方法にそって損失を定義し算定する。損失の算定項目は、D1: 人身損失、D2: 道路復旧費、D3: 迂回損失、D4: 救急医療損失である。

損失算定にあたり、崩壊形態を図2のようにモデル化し、想定到達土砂量から片側車線ごとに各損失を求めた。

(1) 人身損失 D1 の算定

土砂が、車輛高さを越えて埋没する場合を「埋没被災」と呼び、それよりも離れた場所では「端部被災」「衝突被災」とする。損失額は、埋没被災の場合を死

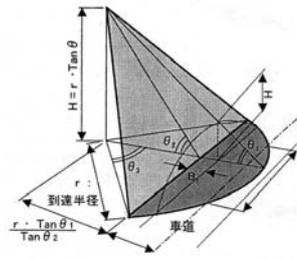


図2 円錐形土砂到達モデル<sup>3)</sup>

亡と考え人身損失額 I とし、被災レベルが軽減するのに伴って、損失額が直線的に減少していくものとする。

それぞれの被災に遭遇するであろう被災者数は、対象道路の交通量と、車輛の平均乗車人数から算定する。また、車輛高さの違いを反映するため、小型車と大型車で別々に被災者数を求める。なお人身損失額は、内閣府の調査結果<sup>4)</sup>から、 $I=29,764,000$ (円)を用いた。

(2) 道路復旧費 D2 の算定

復旧費の算定では、想定される到達土砂量 V (m<sup>3</sup>)と復旧費の回帰式である次式<sup>3)</sup>より算定した。

$$D2 \text{ (円)} = 9624.6 \times V + 1361100 \quad (11)$$

(3) 迂回損失 D3 の算定

迂回損失は、対象区間を通過する時間増加による「時間費用損失」と、走行距離増加による「走行費用損失」の2つからなり、崩壊発生箇所、迂回路の走行距離・走行時間などとともに、各種原単位から算定する。

(4) 救急医療損失 D4

救急医療の享受の機会を失って死亡者が発生することによる損失であり、対象とする症状を、「心臓停止」「呼吸困難」「大量出血」の3症状とした。各症状は発症からの時間経過に伴い、死亡率が高まることが知られており、医療機関への搬送時間増加による生存率の低下が損失となる。搬送時に影響を受ける地域面積を求めるとともに、各症状が発症する年間発生確率を算定する必要がある。

表1 モデル斜面 No.1 の算定条件

算定条件	小型車	大型車
崩壊土砂量 V (m <sup>3</sup> )	2100.0	
内部摩擦角 φ (度)	30	
斜面勾配 θ (度)	41	
土の単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	18	
粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )	16.7	
斜面層厚 H (m)	3.5	
路肩幅 B <sub>0</sub> (m)	1.5	
道路交通量 (台/日)	4502	459
現道路 / 迂回路の走行距離 (km)	20 / 40	
現道路 / 迂回路の走行速度 (km/h)	50 / 30	
時間価値原単位 (円/分・台)	69.04	519.74
現道路の走行費用原単位(円/分・km)	20.75	43.84
迂回路の走行費用原単位(円/分・km)	22.11	45.53

3. 事例計算の結果

以上の算定法に従い、表1の条件を満たすモデル斜面 No.1 でのリスク算定結果を表2に示す。

表2 年間崩壊確率並びに損失算定の結果

年間崩壊確率 $p_a$	0.06207
人身損失 D1=	1,461 (万円)
復旧費 D2=	2,157 (万円)
迂回損失 D3=	31,196 (万円)
医療損失 D4=	0 (万円)
損失(合計) D=	34,814 (万円)

表2より、年間の斜面崩壊リスク  $R (= p_a \times D)$  は、 $R = 21,610,783$ (円)と算定できた。なお、降雨確率は、気象庁の岐阜県高山における1945年～2006年の最大日降雨量のデータを基に、ガンベル分布の定数  $a = 0.03341$  および  $b = 78.95$  を求めて算定した。

同様に、複数のモデル斜面においてリスク算定を行った結果を図3に示す。

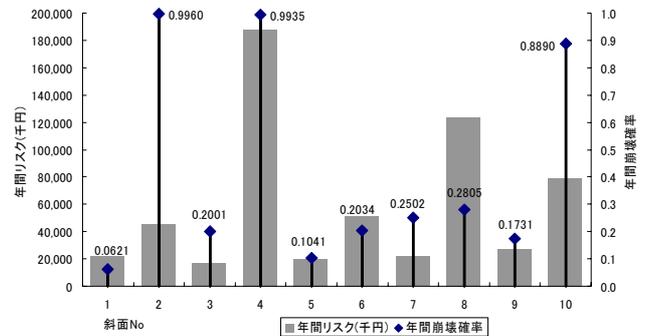


図3 モデル斜面 No.1～10 での年間リスクと崩壊確率

従来、斜面崩壊の危険性を判断する理論的根拠として、地盤の力学的な計算結果が重要視されてきたと考えられる。しかし、今回の結果から、力学的な条件を基に算定した崩壊確率とリスクの間には、必ずしも相関関係がなく、斜面を資産と捉える場合には、崩壊の危険性をリスクによって評価することが必要不可欠であると分かった。

4. まとめ

本研究では、従来「防災」の観点からのみ捉えられてきた道路斜面災害に対し、リスクという観点での検討が可能となることを示した。これにより膨大な危険斜面に対して斜面对策の優先順位を適切に決定したり、対策工の設置効果(B/C)の評価を支援できる可能性がある。今後は、人身損失額の設定条件の違い、また、道路交通量の変化といった、経年における不確実性を考慮したLCC(Life Cycle Cost)でのリスクマネジメントを試みる。

参考文献

- 1) 大津 宏康 「斜面对策工の性能低下過程の不確実性を考慮したLCC評価」
- 2) (社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部 「斜面安定評価における劣化概念の導入」
- 3) 土木研究所 「道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案)」
- 4) 内閣府 「交通事故の被害・損失の経済的的分析に関する調査研究」(平成19年)