

地震・降雨による斜面崩壊の危険度評価へのリスクマネージメント導入

九州大学大学院 学生会員 ○吉田 一 亮 正会員 善 功 企  
 正会員 陳 光 斉 正会員 笠 間 清 伸

**1) 研究の背景と目的** 日本では斜面崩壊の主たる誘因として、その複雑な地殻構造により頻発する地震と梅雨前線や台風によって引き起こされる豪雨が挙げられる。また、国土の高度利用の進展に伴って社会資本は傾斜地近隣にまで敷き詰められ土砂災害の危険に曝されている。

本研究では公共事業費削減の趨勢を鑑み、斜面の危険度判定にリスクマネージメント (RM) 理論を導入し、斜面の潜在的な危険度をコスト次元で定量化することで対策の優先順位付けおよび最適対策選定を行い、合理的かつ経済的な対策事業を進めるための理論的裏付けを与えることを目的としている。

**2) 斜面崩壊リスクの算出** 斜面崩壊のリスクアセスメントフローを図1に示す。アセスメントは確率分析と被害分析に大別され、その積である損失期待値をリスクとして算出した。以下フローに沿って斜面崩壊リスクを算出した。

2. 1) 確率分析

**誘因の選定と発生確率の算出** 斜面崩壊の誘因として様々な誘因が考えられるが、本研究では自然災害として地震と降雨により斜面崩壊が発生するとした。地震の発生確率は石川<sup>1)</sup>らが提案している地震ハザード曲線を微分し、地震加速度と発生確率の関係を福岡、大阪、東京、および札幌の各都市について算出した。また、降雨の発生確率は福岡管区の気象月報 (1990~1999年) を用いて 10mm 単位の日降雨量の発生確率を近似曲線により算出した。詳しい地震発生確率曲線と降雨発生確率については参考文献1)を参照ください。

**条件付崩壊確率** 斜面崩壊の形態としては表層崩壊モデルを仮定し、地震および降雨時の斜面の安定を規定する性能関数として (1) 式、(2) 式を定義した。

$$Z = g \left[ \frac{c}{\gamma h} + (\cos \theta \tan \phi - \sin \theta) \right] / a - 1 \quad \begin{matrix} Z > 0: \text{安定} \dots (1) \\ Z \leq 0: \text{崩壊} \end{matrix}$$

c: 粘着力 h: 表層厚 a: 地震加速度 φ: 摩擦角 θ: 斜面角度

$$Z = \left( 1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H} \right) \frac{\tan \phi_d}{\tan \theta} + \frac{c_d}{\gamma H \sin \theta \cdot \cos \theta} - 1 \quad \begin{matrix} Z > 0: \text{安定} \dots (2) \\ Z \leq 0: \text{崩壊} \end{matrix}$$

γ<sub>w</sub>: 水単位体積重量 H<sub>w</sub>: 地下水位 H: 風化度層厚 (表層厚)

(1) 式は Newmark による静的安定解析の式であり、地震加速度 a が作用した時の条件付崩壊確率 p<sub>a</sub> を、粘着力 c、摩擦角 φ が正規分布すると仮定して 500 回のモンテカルロシミュレーションによって算出した。(図2) (2) 式は降雨時における地下水位の上昇による間隙水圧増加が有効応力を低減させることで斜面が不安定化するものと仮定し、滑動力と抵抗力の比によって斜面崩壊を規定する性能関数である。降雨量を 12 時間に分布させ、うち 3 時間に 60% の降雨が集中する降雨分布モデルを仮定し、雨水浸透に伴う経時的な地下水位変化をタンクモデルを用いて表現した。その最大地下水位 H<sub>w</sub> となる時の条件付崩壊確率を地震時同様モンテカルロシミュレーションにより算出した。(図3)

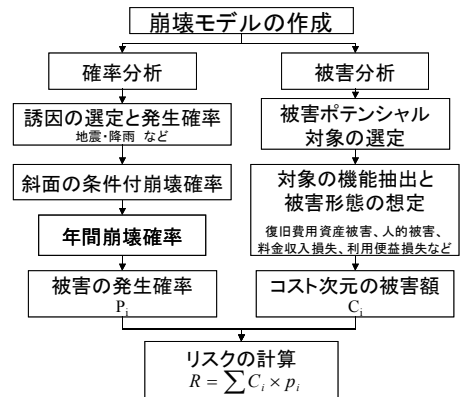


図1 リスクアセスメントフロー

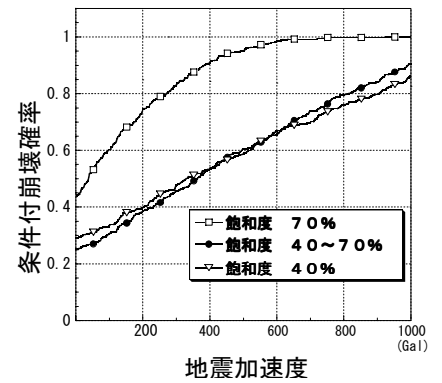


図2 地震 条件付崩壊確率

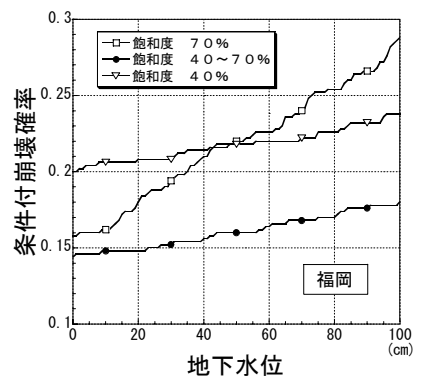


図3 降雨 条件付崩壊確率

キーワード リスクマネージメント 斜面崩壊、地震、降雨

吉田一 亮、九州大学大学院、防災地盤工学研究室、〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1、TEL092-642-4399

**年間崩壊確率** 誘因の発生確率と誘因作用時の条件付崩壊確率を掛け合わせ積分することによって年間崩壊確率を（3）式を用いて算出した。

$$P = \int_0^{\infty} p_a \frac{dP(a)}{da} da, \int_0^{\infty} p_{Hw} \frac{dP(H_w)}{dH_w} dH_w \dots (3)$$

$p_a, p_{Hw}$  : 条件付崩壊確率  
 $\frac{dP(a)}{da}, \frac{dP(H_e)}{dH_w}$  : 発生確率

各都市における地震を誘因とする斜面の表層崩壊確率を、地盤の強度定数モデル表1に示したものをを用いて算出すると、地震発生確率を反映して東京 0.2797（回/年）、大阪 0.2655、札幌 0.2610、福岡 0.2570の順に崩壊確率が高かった。また福岡において同モデル定数<sup>2)</sup>を用いて降雨を誘因とする斜面の表層崩壊の確率は、0.1469（回/年）となった。

2. 2) 被害分析

**被害ポテンシャル対象物の選定** 潜在的に被害を受けうる社会資本として本報では、急傾斜地崩壊危険箇所の対象となりうる、人家5戸と片側1車線の道路が被害対象として存在する図4の斜面モデルを用いた。

**被害形態の想定** 崩壊土砂の到達範囲を推定し、斜面に付随する被害ポテンシャル対象物が社会に与える被害形態を想定する。人家の被害として、建造物の被災損失（資産価値の喪失）および復旧費（土砂撤去費用）。道路閉鎖に伴う損失として迂回時間走行費用損失と復旧費（土砂撤去費用）を想定した。土砂の到達距離に関する研究は、大規模崩壊に関しては Scheidegger によるものなどがあるが、本研究は表層崩壊を想定しており小規模な崩壊(10m<sup>3</sup>以下)と考えられるため、大八木らの研究により導かれた（4）式を用い、崩壊土砂量に比例するものとして到達距離を算出した<sup>3)</sup>。

$$X = 10^{0.193} \cdot H \cdot V^{0.058} \dots (4)$$

$X$ : 斜面高  $L$ : 到達距離  $V$ : 崩壊土量

発生崩壊土砂量については、統計資料を用いて平均 383.9m<sup>3</sup> 標準偏差 909.9m<sup>3</sup>の正規分布に従うものと仮定した。実斜面であればボーリング調査などを行い3次元的な解析を行うことで崩壊土砂量を予測する事が可能であると考えられる。

**被害額算出** 図5のグラフは横軸に発生土砂量、縦軸に被害額の期待値を表している。発生土砂量ごとに被害範囲が決まり、到達土砂の堆積分布を仮定することにより各土砂量における被害額が決定する。崩壊土砂量が小さい時は崩壊範囲が道路まで及ばないので人家に対する被害が卓越している事がわかる。斜面が一度崩壊することによって約 189（百万円/回）の被害が起こりうる。

2. 3) リスク算定

確率分析と被害分析によりその積をリスクとして算出すると、各都市における地震による斜面崩壊リスクは東京約 52（百万円/年）、大阪 50 百万円、札幌 49 百万円、福岡 48 百万円となった。また福岡における降雨による斜面崩壊のリスクはおよそ 27（百万円/年）となった。この結果、軒並みかなり斜面崩壊のリスクは高いものとなり、福岡においては降雨リスクよりも地震リスクのほうが高いことがわかる。

3) 結論と今後の課題

- 1) リスク指標の導入によって、斜面の存在する地域性、地盤強度の特性などを反映して危険度を判定する事が可能となる。また、危険度のコスト次元定量化により斜面の相互評価、対策の優先順位を判断する指標となりうる事がわかった。
- 2) リスクアセスメントの一連の流れに沿ってリスク算出を行ったが、確率分析（誘因発生・崩壊確率など）および被害分析（人命の価値判断、経済的影響、土砂の到達範囲など）各段階の妥当性を検討していかなければならない。

参考文献 1) 吉田一 亮：地震・降雨を誘因とした斜面崩壊への RM 導入，地盤工学会（提出中）2002  
 2) 土質基礎の信頼性設計，土質工学会編，pp73, 1985 3) 森脇 寛：崩土の到達距離予測，地すべり，第 24 巻，2 号，1987

**表 1 斜面・地盤定数**

斜面形状		
傾斜角度	$\theta$	55
斜面高さ	$H(m)$	65
風化土層厚	$h(cm)$	150
地盤強度定数		
粘着力(平均)	$c(gf/cm^2)$	154
粘着力(標準偏差)	$c(gf/cm^2)$	10000
摩擦角(標準偏差)	$\phi$	31.23
摩擦角(平均)	$\phi$	27.38

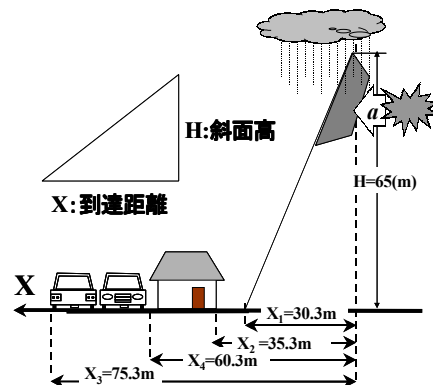


図 4 モデル斜面と被害対象物

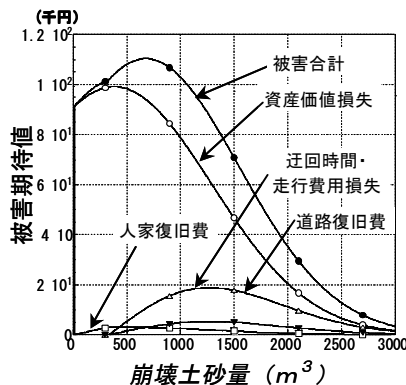


図 5 崩壊土砂量と被害期待値