

斜面災害リスク指標の導入に関する一考察

九州大学大学院 学 ○吉田 一 亮 正 善 功 企
同上 正 陳 光 斉 正 笠 間 清 伸

1) 研究の背景と目的

潜在的な危険斜面をあまた有するわが国において、国土の防災的観点および経済的な背景からも合理的かつ効果的な斜面災害対策が望まれている。近年斜面の危険度の定量的分析および防災対策の投資効果の最大化を行うための指標として、リスク指標の導入に関する研究が盛んに行われるようになってきた。リスク指標は、斜面崩壊を引き起こす誘因外力の不確実性や地盤の有する強度定数の不確実性に加えて、崩壊の伴う被害額の不確実性など様々な形態の不確実性を伴うパラメーターを確率・統計的理論を用いて導入している。本文では、数ある不確実性を有するパラメーターの感度解析を行うことによって、リスク算出過程における重要なパラメーターを解明し、リスク指標導入の一助となることを目的とする。

2) 感度分析

リスクアナリシスは図1のフローに沿って確率分析と被害分析に分かれて行われ、リスク指標は斜面崩壊の発生確率と災害損失被害額の積により損失期待値として表現される。その為には個別斜面のフラジリティ(崩壊の脆弱性)の定量的評価が重要となる。本報では、斜面の崩壊確率分析に注目し、地震を誘因とする斜面崩壊のフラジリティと年崩壊確率に対して地盤強度定数(c 、 ϕ 、 γ)のばらつきのが及ぼす影響について感度分析を行った。

①地震ハザード曲線

斜面崩壊誘因外力の発生確率は石川¹⁾らによって提案されている地震ハザード曲線を用い、対象地点における地震加速度と発生確率の関係を近似した発生確率曲線(図2)を算出した。

②フラジリティの性能関数

Newmarkにより使用された、斜面の静的安定解析を用いて崩壊確率を算出する。(1)式が安定、不安定を判別する性能関数である。

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

γ : 単位体積重量 c : 粘着力 ϕ : 摩擦角 h : 表層厚

a : 地震加速度 θ : 斜面角度

上式を用いて地盤強度定数(c 、 ϕ 、 γ)のばらつきが正規分布に従うものと仮定し、地震外力 a が作用したときの条件付崩壊確率 p_a を1000回のモンテカルロシミュレーションを用いて算出し、フラジリティ曲線を求めた。地震発生確率曲線と条件付崩壊確率を(2)式を用いて合積することによって年間の斜面崩壊確率を算定した。

$$P = \int_0^{\infty} p_a \frac{dP(a)}{da} da \quad \dots (2) \quad p_a: \text{条件付崩壊確率} \quad \frac{dP(a)}{da}: \text{地震発生確率}$$

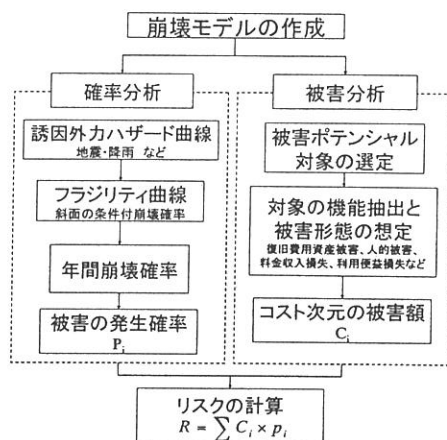


図1 リスクアナリシスフロー

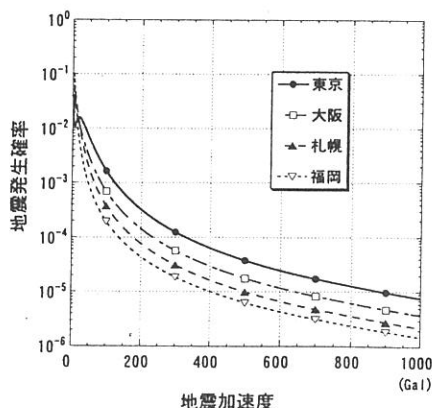


図2 地震発生確率曲線

3) 結果と考察

解析ケース

既存の土質試験資料²⁾におけるモデル①(土砂)モデル②(軟岩)およびモデル③(両者の平均値)を用い、変動係数を変化させることによって、ばらつきの程度を変化させてフラジリティ曲線の感度分析を行った。地盤の強度定数モデルは表1に示すとおりである。

ケース①地盤強度定数の違いとばらつきの及ぼす影響について。

地盤強度のばらつきが大きくなり変動係数が増加すると、フラジリティ曲線の傾きは緩やかになり、地震加速度の大きさに関わらず崩壊確率が均一化する傾向にある(図3)。また、平均強度が弱い斜面(モデル①)は変動係数が増加しても、小さな地震加速度における崩壊確率がもともと高いため、相対的な影響は小さくなるため年間崩壊確率の感度は小さい傾向にある。逆に平均強度の強い斜面(モデル②)はもともと安全性が高いが、変動係数が増加することによって、小さな加速度で崩壊する可能性が相対的に大きくなるため、崩壊発生確率は急激に増加する傾向にある(図4)。C ϕ γ 変動と γ を固定させたものとを比較すると、変動係数が0.5より大きくなると、崩壊確率に与える γ の影響が顕著になる傾向がある。

ケース②(C, ϕ)のばらつきの崩壊確率変化の寄与度について。

経験的に単位体積重量 γ の変動は小さいことが知られているので、ここでは γ を一定値とみなしCのみ、 ϕ のみおよびC ϕ 両者の3パターンのパラメーターにおける変動係数を変化させフラジリティ曲線を比較することで、C, ϕ , C ϕ 両者による影響について感度分析を行った。得られた変動係数と年崩壊確率の関係を図5に示す。

モデル①では変動係数1以下で、C ϕ の両者をばらつかせた時とCのみのばらつかせた時の年崩壊確率はほとんど一致しており、強度の弱い地盤であれば ϕ のばらつきを考慮する必要はないと考えられる。しかし変動係数が1を越えるような大きな値となると、 ϕ のばらつきも無視できなくなる。一方モデル②のような比較的強度の高い地盤においては変動係数が小さければ、崩壊確率に対するCのばらつきの影響が卓越し、変動係数が大きくなると ϕ のばらつきの影響が卓越してくる傾向がある。これより、地盤性状、平均的強度によってC, ϕ のばらつきの崩壊確率に及ぼす影響の感度が異なると考えられる。

4) まとめ

本報では、リスクアナリシスにおける確率分析の地盤強度定数の与える感度に対する考察を行ったが、リスク指標の導入に向けては更なる詳しい感度分析および、被害分析の感度についての研究も行っていかなければならない。

5) 参考文献

- 1) 石川 裕: 確率論的想定地震と低頻度巨大外力評価への応用に関する研究 京都大学大学院博士論文、1998
- 2) 宮崎県日向土木事務所: 国道327号道路改良小八重工区地すべり整理業務、1999

表1 地盤強度モデル定数

平均値	①土砂モデル	②軟岩モデル	③
γ (kN/m ³)	18	23.7	20.9
C (kN/m ²)	18.6	34.8	273
ϕ (°)	10	38	29

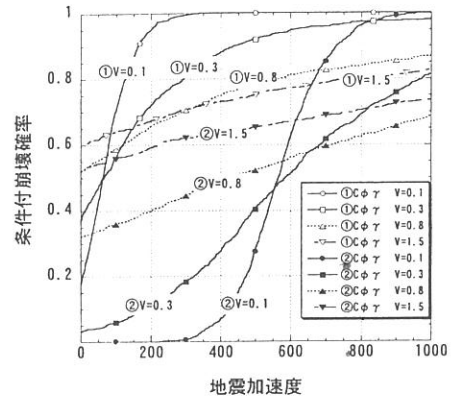


図3 フラジリティ曲線比較

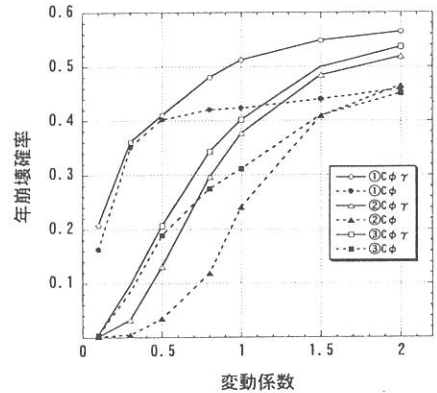


図4 年崩壊確率感度比較

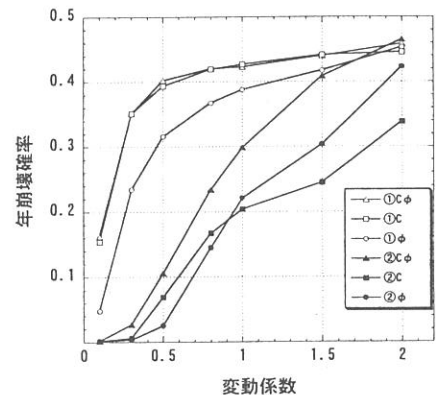


図5 年崩壊確率C, ϕ , C ϕ 感度分析