

86 信頼性解析を用いた地すべり危険度区分について

鳥取大学 農学部生存環境科学講座 °久保田 哲也

1. はじめに

航空機などの輸送機械やダムなどの土木構造物を設計する場合、それが外力によって破壊された際の重大性を考慮し、安全を見込んだ大きめの設計外力値が採られるのが一般的である。しかし、外力の上限は、経済性とのバランスの下に決定されるものであり、絶対に安全という設計は不可能である。この観点からも、そのシステムや構造物が、どれぐらい安全であるかの“信頼性”が把握されることが、設計思想上重要とされており、近年、信頼性解析がその手法として用いられている。一方、地すべり・崩壊の対策工や危険度判定の分野においては、この考え方は一般的ではない。しかし、地質構造や土質強度の推定に不確定な要素の多いことを考えれば、この分野への信頼性解析の応用は有意義と思われる。ここでは、判定された地すべり危険度の信頼性を考慮し得る、地すべり危険度区分について検討した。

2. 危険度判定法

地すべり危険度の判定の“常識”として、自然斜面に安定計算を施し、得られた安全率より危険度を判定することは、すべり面が未知であり、避けるべきであるとされている。しかし、本研究の危険度判定は、多くの斜面の中から「要注意斜面」を抽出するための概査として用いられるものであって、対策工の設計のような精度で用いるものではない。ここでは、このような概査手法として、最小安全率を持つすべり面を探索できる臨界すべり面解析 (CSSDP) ¹⁾ を応用し、土質・地質条件の不確定さを信頼性解析により評価する危険度判定法を検討する。

2. 1 現状安全率 F_{SP}

将来、斜面に加わる外力の大きさは不明であるので、外力の加わらない状態での現状安全率 F_{SP} を用いて、危険度判定を行うものとする。この F_{SP} は、前述臨界すべり面解析により計算されるが、これは、任意の斜面形状に対する非円弧すべりの最小安全率を動的計画法により探索するものである。本研究では斜面の地下構造は均質として単純化し、そのために生じる F_{SP} の計算誤差や、土質定数 (C 、 ϕ 等) の代表値の取り方に起因する誤差は、次で述べる信頼性解析の中で、 F_{SP} の信頼性として評価して行く。

2. 2 信頼性解析

ある斜面が外力のかからない現状で持つ安全率は F_{SP} により判断できるとして、この F_{SP} が持つ信頼性を評価する為に、以下の信頼性指数 β とその時の錯誤の確率 $P(F)$ を検討する。

$$P(F) = \int_{-\infty}^{t(R-D)} \Gamma(t) dt = \int_{-\infty}^{\beta} \Gamma(t) dt \quad \cdots (1) \quad \text{ただし、} t \text{ は確率変数、} \Gamma(t) \text{ は標準正規確率}$$

密度分布関数、 R は抵抗力、 D は滑動力である。 β は、信頼性解析において、信頼性指数と呼ばれているものであり、 R と D の平均を、 \bar{R} と \bar{D} 、分散を $\text{Var}(\quad)$ として、

$$\beta = \frac{\overline{(R-D)}}{\{\overline{\text{Var}(R)-\text{Var}(D)}\}^{1/2}} = \frac{\overline{\{R-(D_g+D_e)\}}}{(\sigma_R^2 - \sigma_{D_g}^2 - \sigma_{D_e}^2)^{1/2}} \dots (2)$$

ここに、 D_g と D_e は重力と外力による平均滑動力、 σ_R 、 σ_{D_g} 、 σ_{D_e} はそれぞれ、抵抗力、重力滑動力、外力滑動力の標準偏差。通常平均安全率を F_s とすれば、 $D_g/D_e = (F_{sp}/F_s)-1$ となること、及び滑動力の不確定さは抵抗力のそれに比べれば無視できると仮定されること²⁾に基づいて、結局、次式を得る。

$$\beta = \frac{\overline{\{F_{sp}-(F_{sp}/F_s)\}}}{\{F_{sp}^2 \cdot V(R)\}^{1/2}} \dots (3) \quad \text{ただし、} V(R) = \sigma_R/R \text{ で、} R \text{ の変動係数。}$$

ここで、危険度区分を行う際に用いる、ある基準安全率 $F_{ci}(i=1, 2, \dots)$ を導入すれば、これは F_s の1.0に相当するから、

$$\overline{F_{sp}-F_{ci}} = \overline{F_s}-1.0 \dots (4)$$

$$\therefore \overline{F_{sp}/F_s} = 1/(1 + \overline{F_{sp}-F_{ci}}/\overline{F_{sp}}) \dots (5) \quad (5) \text{式を(3)式に代入し、結局、次式を得る。}$$

$$\beta = \frac{\overline{(F_{sp}-F_{ci})}}{\{(\overline{F_{sp}-F_{ci}}+1) \cdot V(R)\}} \dots (6)$$

従って、 F_{ci} が定めれば、(6)式より β が計算でき、次いで β と(1)式より $P(F)$ が計算できる。

2. 3 危険度区分

基準となる安全率 F_{ci} としては、 $F_{c1}=1.0$ 、 $F_{c2}=1.2$ とする。 $F_{sp} < F_{c1}$ であれば、その斜面は活動中の地すべり斜面であることを示唆し、 $F_{sp} \geq F_{c1}$ であれば、現状では安全率1.0以上となるものの、外力が加わると地すべりが発生する可能性が大きい斜面。 $F_{sp} \geq F_{c2}$ となれば、現状ではとりあえず、目標安全率を上回る斜面で、比較的危険度が低い斜面と言える。それぞれの場合を、例えば危険度A、B、Cとする。 F_{c2} の値は、地すべり対策工を行う場合の重要保全対象物に対する目標安全率とされているものを採用してみた。この場合(6)式より、 $F_{ci}=F_{c1}$ の場合の β を β_1 、 $F_{ci}=F_{c2}$ の場合を β_2 として、 $\beta_1 = \overline{(F_{sp}-1.0)}/\{F_{sp} \cdot V(R)\}$ 、 $\beta_2 = \overline{(F_{sp}-1.2)}/\{(F_{sp}-0.2) \cdot V(R)\}$ … (7)

3. サンプル地域

この危険度区分を試みる地域として、地すべり多発地域で、かつ、諸調査の行き届いている新潟県新井市丈ヶ山貫入岩ドーム周辺斜面を採用した。この貫入岩は、主として粘土し易い新第三系黒色泥岩より成る寺泊・椎谷層を貫く「ひん岩質」のもので、その上昇応力により、周辺に地すべりを多発させている(図2)。このサンプル地域の地形図(1/2万5千)に250mメッシュをかけ、等高線パターンから該当メッシュ内の最も危険な斜面形(∟型、∟型、∟型、∟型、∟型斜面の順に危険)を選び、CSSDPにより、 F_{sp} を求めた。使用した代表土質定数は、丈ヶ山斜面に生じた地すべり地内の風化泥岩の値($C=2.2t/m^2$ 、 $\phi=28^\circ$ 、単位体積重量 $\gamma=1.9t/m^3$)を用いている。 $V(R)$ としては、寺泊層に属する数箇所の地すべりにおいて、基岩から、すべり面、表層にわたって求められた³⁾一軸圧縮強度 qu の変動係数 $V(qu)$ が使用できる唯一の統計的に整った値である。従って、せん断強度に関係の深い、この $V(qu)=0.365$ を $V(R)$ として用いた。標本としたメッシュは、主な構成斜面である、貫入岩を中心とした半径1kmに含まれる第三紀層のメッシュ60個とした(図2)。

4. 危険度区分の当てはめ

危険度区分は、上記サンプル斜面について得られた F_{sp} と(7)式より求められる β_1 を用いて、表1と図3ようになる。このうち $P(F)$ は前出の錯誤率で、 $F_{sp} \geq F_{c1}$ となると判定されたにもかかわらず、 R のばらつきによって、 $F_{sp} < F_{c1}$ になる確率。つまり、危険度Cと判断されたものは、当該メッシュが危険度BやAとなる確率であり、危険度Bと判断されたものは、Aとなる確率を意味し、その

危険度区分の非信頼性となる。通常、土木構造物の設計で用いられる目標信頼性指数 $\beta=2.0$ では、 $P(F)$ は5%であるが、 $\beta \geq \beta_1$ となる F_{sp} を有するメッシュは60中15%、 $\beta \geq \beta_2$ は13%に過ぎないので、この目標値2.0は高すぎると思われる。では、 $\beta=1.65$ で $P(F)=10\%$ (信頼性90%) とすると、危険度Aのものは全メッシュ中50%、危険度Bのものは50%、危険度Cのものは45%となり、この地区の地すべり分布状況から、ほぼ妥当なランク分けと考えられる。このことは、この60メッシュ中に活動中の地すべり(図2)を持つものが、26ある、換言すれば、危険度Aに当たるメッシュが少なくとも全メッシュの43%あることになり、概ね、表1の $\beta=1.65$ の値と一致することからも裏付けられる。故に、この手法を用いて、信頼性90%の危険度区分が可能となる。

5 結語

抵抗力 R の変動係数 $V(R)$ の精度に検討の余地が残されているが、上記の危険度区分法によって、当該地域では、信頼性約90%で妥当な危険度区分ができるものとする。ここでは、地下の地盤構造や土質特性を $V(R)$ に反映させ、信頼性という概念を用いて、外力を与えない時の現状安全率によって実行可能な、新しい危険度区分の方法が示されたと信じる。

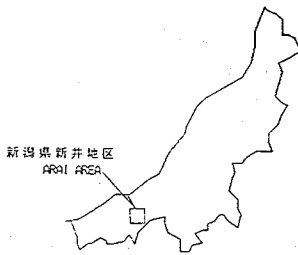


図1 サンプル地域位置図

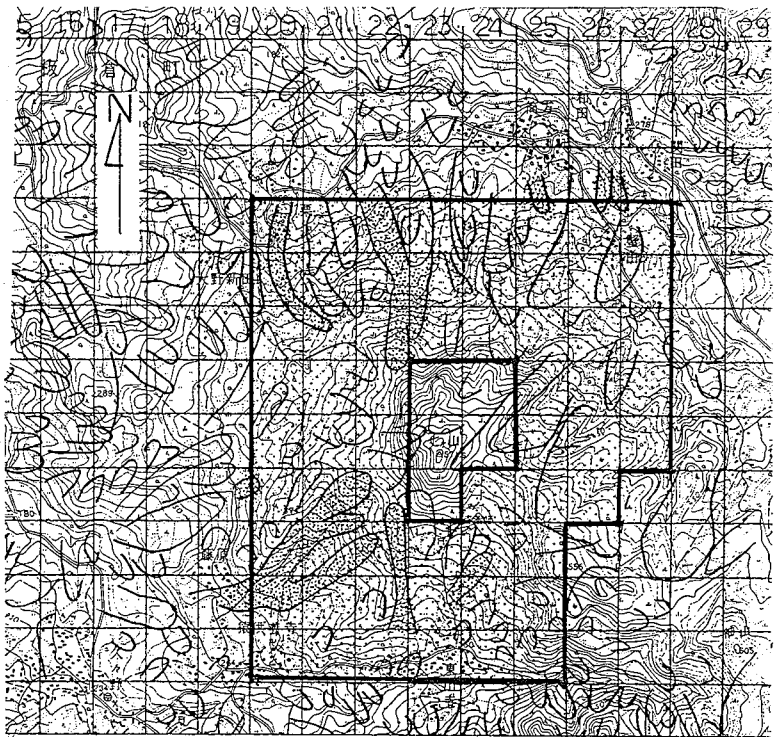
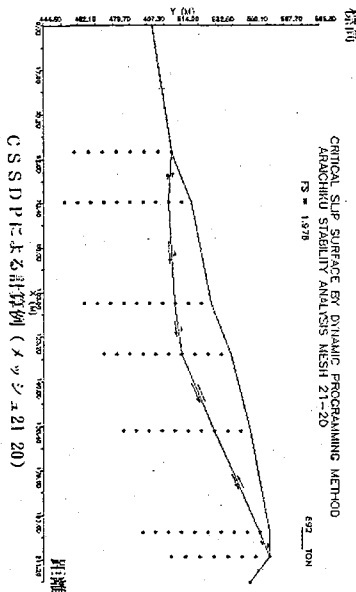


図2 サンプル地域内の地すべり分布状態

表 1 目標信頼性指数 β と $P(F)$ ならびに各危険度のメッシュ頻度

目標信頼性指数 β	$P(F)$ (%)	危険度 C の メッシュ頻度(%)	危険度 B の メッシュ頻度(%)	危険度 A の メッシュ頻度(%)
2.0	5	13 (個数 8)	15 (個数 9)	85 (個数 51)
1.65	10	45 (27)	50 (30)	50 (30)
1.30	20	68 (41)	75 (45)	25 (15)
1.04	30	78 (47)	83 (50)	17 (10)
0.84	40	82 (49)	92 (55)	8 (5)

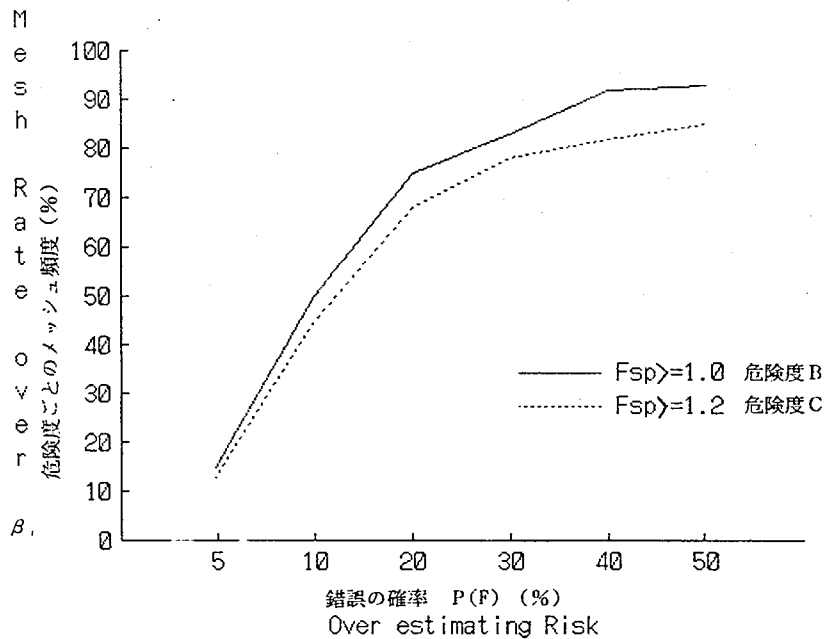


図3 錯誤の確率 $P(F)$ と危険度別メッシュ頻度の関係

参考文献

- 1)久保田哲也、中村浩之：臨界すべり面解析と信頼性解析を応用した地すべり・崩壊危険度判定法、地すべり 第27巻、第4号、1991。2)R. V. Whitman：Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering、Proc. ASCE GT 110、No. 2、1984。3)中村浩之：黒色泥岩地帯における地すべりの土質工学的特性、地すべり 第9巻第2号、1971。