

(51) 地震による斜面崩壊の確率的評価手法に関する研究

首都高速道路公団 正員 田沢 誠也  
 東京エンジニアリング(株) 正員 由井 洋三  
 豊橋技術科学大学 正員 栗林 栄一

1. はじめに

本研究は、地震が発生したときに生ずる斜面崩壊に着目している。換言すれば、斜面崩壊を発生させる誘因が地震の場合である。斜面崩壊は、山地地形発達的主要因素であり、長年にわたる浸食過程の一つの条件である。よって、斜面崩壊は地球上のあらゆる山地で発生しており、災害となりうる場合は逆に稀であると言えよう。しかし、ひとたび災害になった場合、その被害は膨大である。

筆者らは、1984年の長野県西部地震による斜面崩壊について調査、解析を進めてきた。既往の研究は主に御岳山八合目付近の斜面を対象としていた。つまり、この地点で実際に斜面崩壊が発生しておりその崩壊断面形状が既知であり、斜面安定解析を行う上で斜面のモデル化が比較的容易であったからである。しかし、従来は、崩壊した斜面の力学的メカニズムの解析を主としているが、崩壊を免れた地点の危険度についても調べることができるのか。このような成果と課題からここでは、地震によって発生する斜面崩壊の可能性が高い地点を示すことができる一つの指標を得ようと、破壊確率の概念を地震による斜面崩壊に応用してみた。対象地域は、御岳山南麓を主体に王滝川付近までの標高約1000mから約3000mまでの範囲とした。なお、地震の発生確率は1.00とし、長野県西部地震による斜面崩壊について確率的な評価(以下、斜面の破壊確率と呼ぶ)を試みた。

2. 本論文の特徴

地盤定数の中でも推定が難しい粘着力と内部摩擦角を、ばらつきを持つ量として扱うことにより、解析結果に及ぼす解析者の主観を少しでも排除しようと図った。通常斜面安定解析法では地質、外力などすべての入力量が確定量であり、解析者の主観に支配されやすい。したがって、それらの設定値に解析結果が左右されやすくなる。例えば、斜面傾斜角の大きい斜面が危険と言うことになり、地盤定数や地震力のばらつきの影響は考慮されにくい。ここでは、これらをすべて解決しているわけではないが、解析結果により一層の客観性をもたせた。

3. 地盤定数の期待値とばらつきの検討

土の性質を表す種々の数値がかなりばらつくことは知られている。本研究で用いる地盤定数、すなわち粘着力、内部摩擦角、単位体積重量は、松尾らによる研究を参考にした。土の単位体積重量のばらつきは、土の粘着力と内部摩擦角のばらつきに比べてかなり小さい。よって、斜面の単位体積重量は確定量として取り扱うこととした。土の粘着力及び内部摩擦角はばらつきが大きいいため斜面の粘着力及び内部摩擦角は、確率量として取り扱うことにした。この場合の分布形は正規分布とする。

対象地域の土質は、過去の研究より御岳火山噴出物がそのほとんどであることがわかっている。よって、表層土は

表-1 斜面の単位体積重量の設定値

地質区分	単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )
古生層	25.5
濃飛流紋岩	26.5
古期安山岩	25.5
新期流紋岩	21.6
滝越層	19.6
新期安山岩	25.5
現世堆積物	19.6

表-2 地盤定数の期待値とバラツキ

地 域	粘着力 (C)		内部摩擦角 (tan $\phi$ )		面積占有率 (%)
	期待値	変動係数	期待値	変動係数	
王滝村山間部	(kN/m <sup>2</sup> ) 196.1	0.400	0.577	0.300	90.75
王滝村河川部	14.5	0.487	0.239	0.460	8.64
松越地区	52.0	0.295	0.342	0.082	0.61

大略、均一な火山噴出物が積み重なっていると、土層の厚さは一定で、かつ一層と仮定した。ただし、王滝川、伝上川、赤沢、濁沢、鈴ヶ沢、大又川では、河川堆積物が主体と考えられる。松越地区では実際の崩壊地でサンプリングを行い室内試験をした報告がある。

これらから、土質は王滝村山間部、王滝村河川部、松越地区の3地域に分けて検討した。ただし、斜面の単位体積重量は王滝村付近の地質図に従い、その岩石類を7種類に大別して各々の値とし表-1にまとめた。王滝村山間部の斜面の粘着力及び内部摩擦角については、通常的设计で用いられている土の支持力をまとめている報告を参考にし、期待値を設定した。王滝村河川部では、河川堆積層は不飽和土に近い性質を示すと考え、不飽和土の三軸圧縮試験結果を整理し度数分布を求めている既往の研究より、期待値及び標準偏差を設定した。以上により、斜面の粘着力と内部摩擦角の分布形の設定値をまとめて表-2に示す。なお、表中の面積占有率は、対象地域全体の鉛直射影の表面積と各地域のその占める割合を表す。これによると、王滝村山間部地域はおよそ90%程度であり、その占める割合が高い。これは、過去の研究より対象地域の土質はそのほとんどが御岳火山噴出物であると推定されたことによる。

#### 4. 地震による斜面崩壊の確率的評価

##### (1) 斜面の力学モデル

地震動の水平成分を静的慣性力として作用させる静的安定解析法を念頭において、斜面の2次元断面のモデル化を行った。本来、斜面は多質点系でモデル化するのが望ましいが本研究では、各メッシュ内の斜面は集積土塊として考え、したがって、各メッシュにおける斜面間の不静定力は考慮しない。地震力は、地震動の水平成分の最大値(以下、最大水平加速度と呼ぶ)のみを考えまた危険側を考慮し斜面外向きのみ作用させる。ここで、斜面のせん断抵抗力に対する影響は考えない。

実際の地表面は、凹凸が不規則に分布しておりその形状をより正確に表現するには、解析地域の正方形メッシュの分割数をより多くする必要がある。しかし、現実には地形図の精度、読み取り誤差等の問題があり細分化には限度がある。そこで、地表面の凹凸を考慮した2次双曲放物面近似させる方法で、地表面をモデル化した。

##### (2) 地震動入力

長野県西部地震の震央はN35°49.3'、E137°33.6'であり、地震規模は、マグニチュード6.8である。斜面の平均すべり深さは、御岳山八合目付近では50m、王滝村河川部は5m、その他の王滝村山間部は15mである。各メッシュにおける最大水平加速度の推定には距離減衰特性に関する既往の研究を用いた。この推定式にはばらつきが存在するし、それは対数正規分布になる。よって、距離減衰式は次の通りとなる。

$$A_{max} = 227.3 * 10^{0.308M} * (\Delta + 30)^{-1.201} \quad (1)$$

ここで M: 地震マグニチュード

Δ: 震央距離 (km)

A<sub>max</sub>: 最大水平加速度の期待値 (gal)

また、(1)式における最大水平加速度のばらつきは、0.244と報告されている。

##### (3) 解析手法

確率量として設定した変数は、前述したように斜面の粘着力、内部摩擦角と最大水平加速度がある。また、確定量として設定する変数は斜面の単位体積重量、斜面表面積、斜面の平均すべり深さ、斜面傾斜角度、重力加速度である。ここで、抵抗力項(斜面のせん断抵抗力)と荷重項(斜面せん断力)の2つの確率密度関数が決定されると、斜面の破壊確率が求められる。ここで、便宜上斜面せん断力項を地震力のみにし、完全に外荷重として仮定した。

## 5. 考 察

### (1) 解析事例との比較

図-1は、長野県西部王滝村の御岳山南麓における斜面の破壊確率の分布である。メッシュは、200m正

方メッシュである。0.0 ≤ P<sub>sf</sub> < 0.2、0.2 ≤ P<sub>sf</sub> < 0.5、0.5 ≤ P<sub>sf</sub> < 1.0の三つに確率の範囲を区分して算出した。図-2にはこの地震によって新たに斜面崩壊が発生した地点、既存の斜面崩壊地で崩壊が拡大しないしは再発した地点、既存の斜面崩壊地でななら変化の無かった地点を総て黒ぬりで示した。

図-1と図-2を比べてみると、細かい地点までは一致していないが、対象地域全域で見ると整合している。本手法において算出の範囲は、自由に操作できるためここで重要なことは、算出された値の持つ意味を吟味するところにある。

図-3には、算出された全メッシュ(2640個)における斜面傾斜角と斜面の破壊確率の関係を示してある。この図を見ると、それぞれの斜面の破壊確率は斜面傾斜角に依存することがわかる。また、斜面傾斜角が同じでも斜面の破壊確率がばらつくのは、地盤定数及び斜面の平均すべり深さの影響が出ていると考えられる。斜面傾斜角が小さくても斜面の破壊確率が高い点の集まりを示す地域は、王滝村河川部及び松越地区、御岳山八合目の斜面崩壊地付近の地域であり、王滝村河川部及び松越地区は、その地盤の強度定数は王滝村山間部に比べてかなり小さく、御岳山八合目の斜面崩壊地付近の平均すべり深さは、王滝村山間部に比べて大きい。

同様に最大水平加速度と斜面の破壊確率の関係も調べてみたが、わずかに正の相関がみられるだけで目だった傾向はみられなかった。

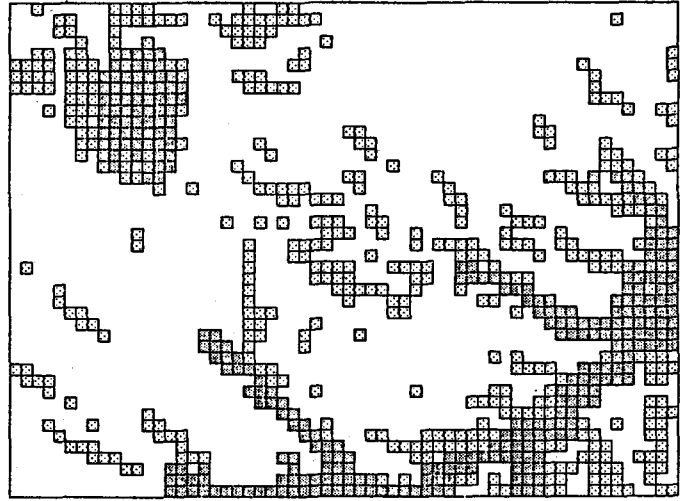


図-1 地震による斜面の破壊確率分布図

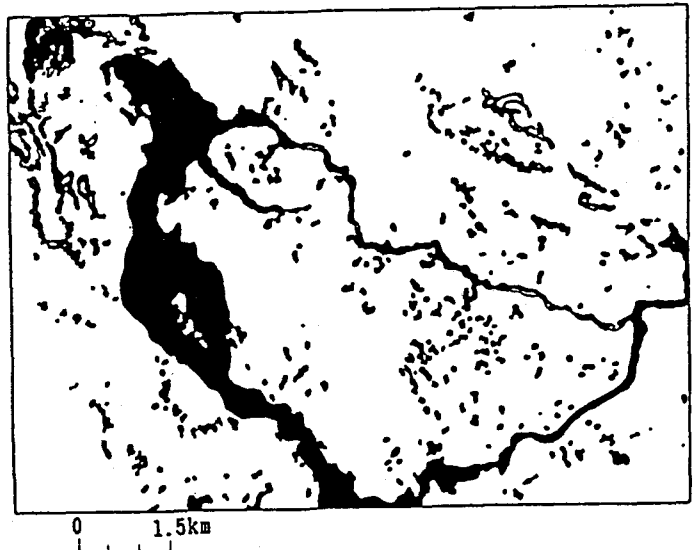


図-2 長野県西部地震による斜面崩壊分布図

## 6. 結論

地震による斜面崩壊について、従来行われている崩壊地のみに限定した解析と違い、広範囲にわたる地域を対象にし、かつ定量的に解析を行う手法を提案し、長野県西部地震における斜面崩壊を実例として算出した。その結果と、次の結論が得られた。

(1) 本手法による斜面の破壊確率は斜面傾斜角に大きく影響される。  
(2) 実例との比較によると、斜面の破壊確率0.2以上の地域が実際崩壊地と良く一致した。

(3) メッシュの切り方を大きくすると、斜面傾斜角及び斜面の破壊確率を過小評価する傾向がある。

(4) 斜面の破壊確率分布より御岳山八合目付近、松越地区、滝越地区、御岳高原の代表的な斜面崩壊

地区では、その周辺の非崩壊地も含めて斜面崩壊の可能性が非常に高かったことが認められた。

(5) 本手法は地震による斜面崩壊のメカニズムの直接的な解明にはならないが、メッシュの大きさをより小さくすることにより、さらに細かく斜面崩壊の危険箇所を抽出することが可能である。

(6) 当然の帰結ではあるが、地震による斜面崩壊の起こりうる可能性が高いと考えられる場所は震源に近く、斜面傾斜角が大きく、斜面の土または岩石の強度が小さい場所である。また、これら三つの条件がそれぞれ同程度ならば平均すべり深さの大きい場所が危険度は高くなる。

## 7. 謝 辞

文末に記載した文献に限らず多数の文献を参照させて頂いた。多くの諸先達に厚く御礼申し上げる。また、本研究は文部省科学研究費補助金(研究課題番号58460156)による研究成果の一部であることを付記する。本研究の遂行にあたり、長野県王滝村の地質等について有益なご助言を受け、また、貴重な資料を拝見させて頂いた九州工業大学 安田 進先生に、深謝の意を表する次第である。

## 《参考文献》

- 1) 池田哲夫 : 構造物の安全率と破損の確率, 土木学会誌, P30~P35, 1955.
- 2) 成瀬勝武他: 土木設計データブック, P195~P232, 森北出版, 1962.
- 3) 松尾 稔 : 地盤工学(信頼性設計の理念と実際), P19~P26, 技報堂出版, 1984.
- 4) 谷口栄一他: 長野県西部地震による松越地区の斜面崩壊, P59~P65, 土と基礎, 1985.
- 5) 川島一彦他: 最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, P26~P45, 土木研究所報告, 1985.
- 6) 粟林栄一他: 長野県西部地震における斜面崩壊の特性について, 第20回土質工学研究発表会, 1985.
- 7) Kuribayashi, E. and Nakazawa, T.: Research and Analysis of Landslide by Ground Motion, Proceedings of The Second Workshop on Joint Research in Earthquake Engineering between Japan and China, P19~P26, 1986.

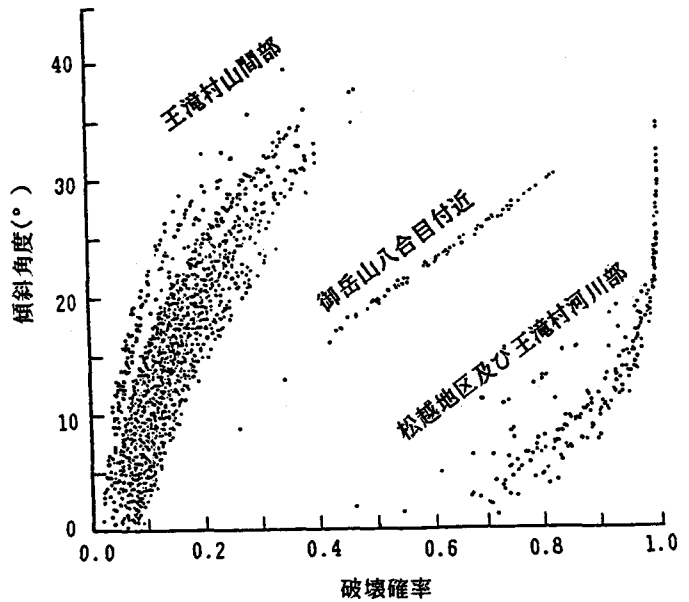


図-3 斜面の破壊確率と斜面傾斜角度の関係