

地震時の斜面の危険度評価法に関する研究(Ⅲ)

— 加速度分布に着目した安定解析 —

建設省 土木研究所 安江朝光・仲野公章

1. まえがき

地震時の斜面の危険度評価法のうち計算によるものでは、円弧ないし複合すべり面法に地震加速度を静的慣性力に換算して作用させ安全率を計算する方法と、有限要素法を用いた弾性、非弾性の応力解析法を介してすべり安定を動的に検討する方法等がある。ところで、前者のすべり面法による方法においては、入力加速度をどうとるかということが問題となる。そこで、動的応答解析により求められた加速度分布に着目して、すべり面法による安定解析法の適用性を既往地震災害地でのケーススタディにより検討したので報告する。

2. 対象斜面および検討方法

解析対象斜面は、静岡県下の沿道斜面であり、昭和53年7月の伊豆大島近海地震により崩壊した南西向き斜面(勾配約40°)とそれに隣近した未崩壊斜面である。崩壊斜面は道路延長125mにわたり路面より30~50mの高さから崩壊したものであり、崩壊厚は斜面に垂直で最大5m程度である。基岩は変朽安山岩であり、表層2~5mには崖錐性堆積層があったと考えられ、それが崩壊物質となった

上記の崩壊、未崩壊斜面を対象として、有限要素法による動的応答解析およびすべり面法による安定解析を実施した¹⁾。すべり面法による安定解析の手法は、すべり面法の一つであるJanbuの方法に水平加速度を慣性力に換算して地震力を考慮する図-1に示した石原の方法²⁾(以下、Janbu式と呼ぶ)を用いた。なお、図-1中、 α 、 γ は地震時水平および重力の加速度、 ΔW_i 、 S_i 、 N_i 、 α_i は各細片の重量、せん断力、垂直反力、すべり面の傾き、 ΔH_i 、 ΔV_i はそれぞれ水平、垂直方向の不静定内力である。土塊の粘着力を c 、内部摩擦角を ϕ 、 u_i を各細片に働く間隙水圧とし、すべり土塊の上部に働く水平力等の外力 Q をゼロ、また、 $\Delta V_i = 0$ とした場合の安全率(F_s)は以下の式で示される。なお、式中の f_0 はすべり面形状によって決まる補正係数である³⁾。

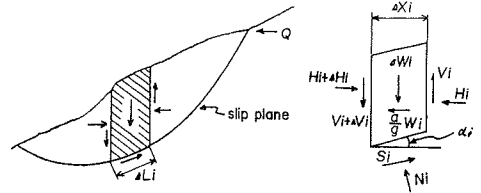


図-1 すべり解析のモデル

図-1中、 α 、 γ は地震時水平および重力の加速度、 ΔW_i 、 S_i 、 N_i 、 α_i は各細片の重量、せん断力、垂直反力、すべり面の傾き、 ΔH_i 、 ΔV_i はそれぞれ水平、垂直方向の不静定内力である。土塊の粘着力を c 、内部摩擦角を ϕ 、 u_i を各細片に働く間隙水圧とし、すべり土塊の上部に働く水平力等の外力 Q をゼロ、また、 $\Delta V_i = 0$ とした場合の安全率(F_s)は以下の式で示される。なお、式中の f_0 はすべり面形状によって決まる補正係数である³⁾。

$$F_s = f_0 \frac{1}{\sum \frac{a}{g} \Delta W_i + \sum \Delta W_i \cdot \tan \alpha_i} \cdot \sum \frac{c' \Delta L_i \cos \alpha_i + (\Delta W_i - U_i \Delta L_i \cos \alpha_i) \tan \phi'}{\cos^2 \alpha_i (1 + \frac{\tan \alpha_i \cdot \tan \phi'}{F_s})}$$

Janbu式による計算に際しては、各スライスの入力加速度を、(イ)400gal一定、(ロ)動的応答解析より求められた最大水平加速度の2ケースとした。(イ)は、基石の転倒状況から解析地点付近での最大水平加速度がおおむね400gal程度と推定されている⁴⁾ことによっている。(ロ)は、図-3に示したような動的応答解析により節点毎に計算

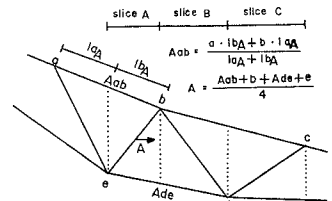


図-2 節点およびスライス

される加速度を用いて、図-2に示したモデルにより各スライスの最大水平加速度を計算した。

地盤強度としては、(a) $C = 5 \text{ ton/m}^2$, $\phi = 0^\circ$ と (b) $C = 3 \text{ ton/m}^2$, $\phi = 30^\circ$ の2ケースを用いた。(a)は、サウンディングの結果から $\phi = 0^\circ$ の仮定のもとに推定した値であり、(b)は、解析地近傍での土質試験の結果等から推定した値である。

3. 検討結果およびまとめ

400gal一定の加速度, $C = 3 \text{ ton/m}^2$, $\phi = 30^\circ$ の条件で計算した安全率は、崩壊部で0.89, 未崩壊部に経験的に想定した2つのすべり面で0.93, 1.02となった。崩壊部での安全率を1.0とすると、未崩壊部では1.04, 1.15となり、この方法が、相対的危険度評価には適用しうると考えられる。

すべり深さを3~5mに想定した条件で、入力加速度を一定値とした場合と動的応答解析から得られる値とでの安全率を比較した結果が図-4であり、両者は良い相関を示し、±10%以内のバラツキを許せば両者はほぼ一致する結果となった。

動的応答解析の結果では³⁾地震加速度の増幅は表面に近い程、また、斜面形状が凸状を示すほど大きいという結果が得られたので、斜面凸部に深さ3~5mの局所的なすべり面を想定して安全率を計算したが、すべて経験的に想定されるすべり面より高くなった。地震による崩壊は、斜面形状が凸状の斜面で発生しやすい傾向が実態調査により認められているが、極端に局所的な崩壊は発生しにくい結果となった。また、図-3に示したように経験的に想定される断面を基本としてすべり深さを $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ と変化させて計算したが、安全率はすべり面深さを深くするに従って低下する結果となった。これから、深さ数m程度の崖錐層では、

その内部に強度の差が大きな境界がない限り、崖錐層の深部からすべると考えることができる。

検討内容および課題点は以下のようにまとめられる。すべり面法による安定解析手法の適用性を動的応答解析からの加速度分布に着目して検討し、この手法が相対的な危険度評価に適用しうると考えられること、また表層に数mの一樣な崖錐が分布するような斜面においては、墓石の転倒率等から推定される加速度を用いた場合と動的応答解析からの加速度を用いた場合の差が±10%以内であること、および極端に局所的な崩壊や浅い崩壊は発生しにくいという結論を得た。

今後は、動的応答解析からの最大せん断力やひずみに着目した検討、および鉛直加速度や地盤の動的強度も考慮した検討が必要とされよう。なお、本研究は土木研究所振動研究室と共同で実施した。

<参考文献> 1), 4) 地震応答解析による沿道斜面の耐震性の検討; 土木研究所資料1600号, 1980.7, 2) 石原研而; 崩壊地における不攪乱資料の強度試験; 東伊豆道路震災対策委員会報告書, 1979.3, 3) 例えば、赤井浩一: 土質力学: 朝倉書店, 1966.5

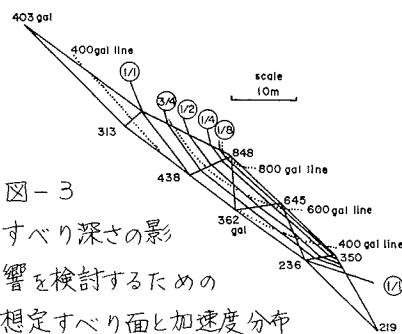


図-3

すべり深さの影

響を検討するための

想定すべり面と加速度分布

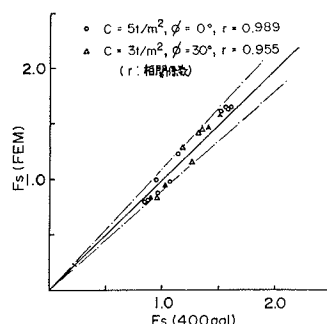


図-4 安全率の相関

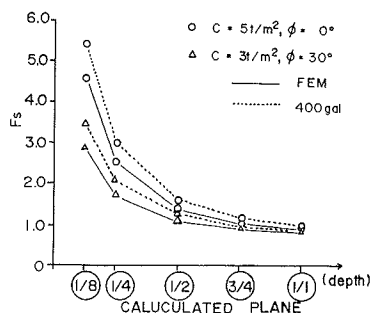


図-5 深さによる安全率の変化