地すべりの運動特性に関する有限要素解析

信州大学工学部　○学生員　長谷部美雄　　正会員　吉澤孝和

はじめに

地すべり発生後、地すべり土塊がどのような運動特性を示すかを知ることは、地すべり対策上重要な課題のひとつである。一般に、地すべり地に生ずる地表の変状は、すべり面上における土塊の滑動と、土塊自体の変形という２つの要素の組み合わせで構成される。そして地すべりの発生初期における地表の変状には、前者の影響が強くあらわれるものと考えられる。したがって同じ土質的条件であっても、地下のすべり面の形状によって地表に現われる移動形態は異なったものとなる。

地すべりを含む一般的な斜面の解析問題に関しては、様々な手法を用いて有限要素法が適用され、応力解析、変形解析、安定解析などが試みられている。それらの中で吉松[1]は、既知のすべり面を持つ再活動型の地すべりに対して、残留強度の概念を導入した斜面安定解析の手法を提案し、安定解析と共に地すべりの初期の変形特性についても考察している。

本研究は、吉松により提案された手法を基礎として、斜面形態の変化、間隙水圧の変化等を考慮して、破壊に至るまでの地すべり土塊の初期変動に関する基礎的な検討を行なうものである。

解析モデル

本研究はすべり面上の土塊の運動特性を考察するため、地すべり斜面を図１のようにモデル化し、斜面を（1)地すべり土塊（2)すべり面（3)地山の３つの部分に分割する。各部分の力学モデルはつぎのように定める。

（1)地すべり土塊：地すべりの初期変動を考えた場合、その挙動は巨視的には連続体と考えられる。よってここでは線形弾性モデルを用いる。

（2)すべり面：すべり面にはジョイント要素を導入する。解析系全体に対してすべり面は非常に薄いと考え、厚さ０のグッドマン型のジョイント要素を用いる。

（3)地山：地すべり土塊と同様に線形弾性モデルであるが、弾性係数を地すべり土塊より大きくとる。

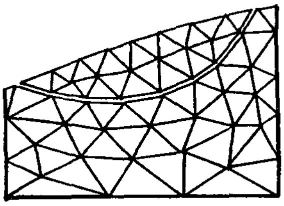


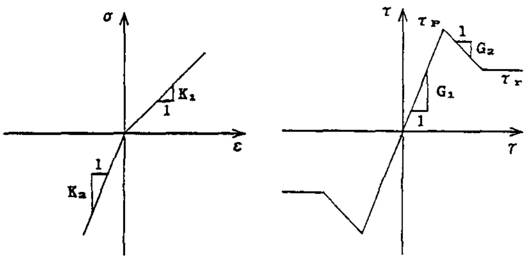
図１　　地すべり斜面のモデル化

ジョイント要素

［ジョイント要素の剛性］単位長さあたりのジョイントの接線方向及び垂直方向の剛性は、図２のようなモデルで与えられる。一般に垂直方向の剛性は、引張力に抵抗しないとみなすが、ここでは粘着力による抵抗が生ずると考えて抵抗を持たせた。また、ピーク強度τ_p,残留強度τ_rは各々の強度について粘着力c，内部摩擦角ϕを用いて計算される。

$$\tau_{p,r} = c_{p,r} + \sigma \cdot \tan\phi \qquad (1)$$

［ジョイント要素の計算法］　ジョイント要素のせん断方向の解析において、ひずみ軟化を考慮するため、非線形解析を行なう必要がある。ここでは荷重伝達法を用いて解析を行なった。収束の判定は不平衡力の許容値で行なう。



（ａ）垂直方向　　　　（ｂ）せん断方向

図２　　ジョイント要素の剛性

解析手法（図３参照）

安定状態にあった土塊が各種の要因によって破壊状態に至る状況をつぎのように解析する。

(1) 初期応力の計算

自重のみを作用させた解析を行ない、その結果を初期応力値として用いる。

(2) 要因の作用とその影響の解析

地すべりを誘発する要因としてつぎの２つの因子を考える。

(a) 間隙水圧の変化　　(b) 斜面形状の変化

ここで(a) については、すべり面への垂直応力を有効応力で評価することにより、強度低下が生ずるものとする。(b)についてはその影響を斜面上への載荷等に置き換えて取り扱うものとする。

以上の手法により、すべり面が受ける諸要因の作用で、地すべり土塊がどのような変形挙動を示すかを数値解析により検討する。

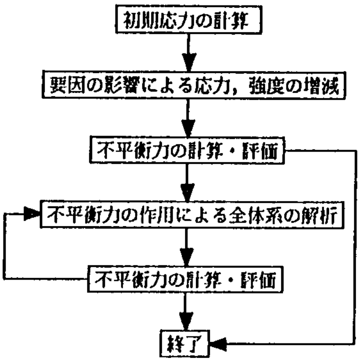


図3　　解析の手順

解析結果と考察

実際の地すべり地への適用例として、長野県信州新町奈良尾地区に発生した奈良尾地すべりに対する解析の結果を示す。作用させた要因は　1)高水位　2)低水位　3)上載荷重　の３要因である。なお、図４，５のジョイント要素の番号は、地すべり地の上部（頭部）から下部（脚部）へ向けてつけた通し番号である。

考察1)　この解析により、すべり面上の土塊の運動が観察できる。

考察2)　間隙水圧の発生により、地すべり地の上部と下部ですべりが発生し、中央部へ拡大していく。

考察3)　斜面上部に上載荷重が加えられた場合、徐々に中央部に移動が生じていく。その挙動はすべり面の形状に大きく左右されると考えられる。

本研究は初期変動を考えた基礎的な研究であるが、今後この解析手法を種々の形状のすべり面に対して適用し、すべり面形状と地表に生ずる変形・移動特性との関係、土塊の内部応力等について検討したい。

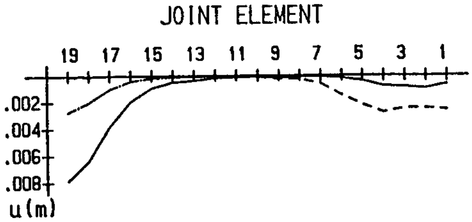


図４　すべり面せん断方向変位

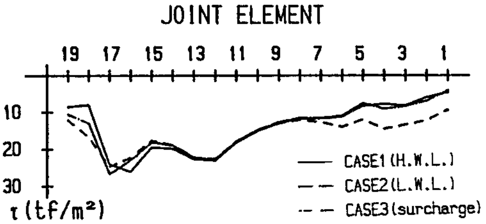
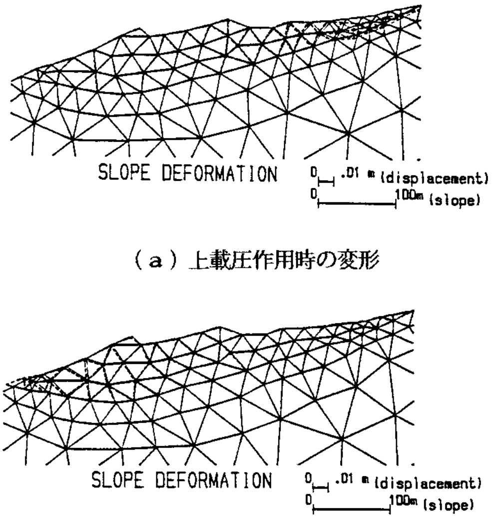


図５　すべり面のせん断応力



（ａ）上載圧作用時の変形

（ｂ）高水位時の変形

図６　　地すべり土塊の変形（奈良尾）

[1] 吉松弘行：有限要素法による地すべり斜面の安定解析について，地すべり，第20巻１号，1983.