

神奈川県 県土整備部

正会員 ○田口 雅丈

神奈川県 県土整備部

正会員 遠藤 清亮

神奈川県 県央地区農政事務所

正会員 日比野 新一

1. はじめに

表面の風化した斜面の崩壊は、降雨などにより通常、突発的に起こるため、崩壊時の地山物性値は実測困難であり、防災施設設計の過程で情報量の不足を生じている。必然的に崩壊事例から地山物性値を逆解析等により算出する方法が不可欠となり、この場合、崩壊するか否かという議論からさらに進めて、崩壊した場合の崩壊量を求めることが重要と考えられる。この問題の解決の一手法として、遠藤らはあるモデル地山に対して有限要素法とクラスター分析を組み合わせ、崩壊断面を決定する手法を提案している[1]。この方法では未崩壊のケースの判定や、法尻部の崩壊形状決定に若干の難点があった。今回、有限要素法に擬似的に要素を落下させる手法を適用し、これらの問題の解決と計算の簡略化をめざした。

2. 計算手法概要

2.1 擬似落下モデルの導入 地山は完全弾塑性体とし、有限要素法による2次元ひずみ解析として取り扱った。初期地圧として自重を载荷し、破壊基準はMohr-Coulomb破壊基準と引張破壊基準を適用して、破壊した要素にかかる節点に修正等価節点力を作用させ、初期剛性を用いて反復計算する初期応力法を採用した。

ここで、ある判定基準を満たす要素を落下させる、擬似落下モデルを導入した。本モデルは計算効率を上げるため、以下の単純化を行っている。

- 落下したとみなせる要素は、解析領域から存在しなくなったと仮定する。
- この要素を取り除く代わりに、無応力状態になるよう修正等価節点力を設定する。

上記a.の仮定から、落下した要素にかかる節点に逆向きの自重を载荷するだけで計算が可能となり、b.の仮定から初期剛性マトリックスを修正することなく、初期応力法が適用可能となる。

2.2 落下の判定 落下の判定方法は要素図心変位 u_G が判定値 u_c 以上に達した要素を計算過程で逐次落下させる方法と、要素図心変位のうち最大の値 $u_G^{\max}$ が判定値 u_{c1} に達した時点で判定値 u_{c2} 以上

($u_{c1} > u_{c2}$)の要素を遅延落下させる方法の2手法を採用した。この計算過程はFig.1に示しており、 $\{\sigma^e\}$ 、 $\{\Delta \sigma^e\}$ は要素内応力及びその修正量、 $\{\sigma_f^e\}$ は降伏面上に修正させた要素内応力、 $\{\Delta P^e\}$ は修正等価節点力、 $[G^e]$ は節点変位-要素ひずみ関係マトリックス、 $\{\gamma^e\}$ は自重と等価な節点力、 t は各計算ステップを表す。

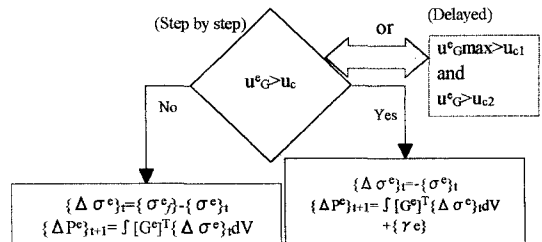


Fig.1 Modification scheme of equivalent nodal force induced by yield element

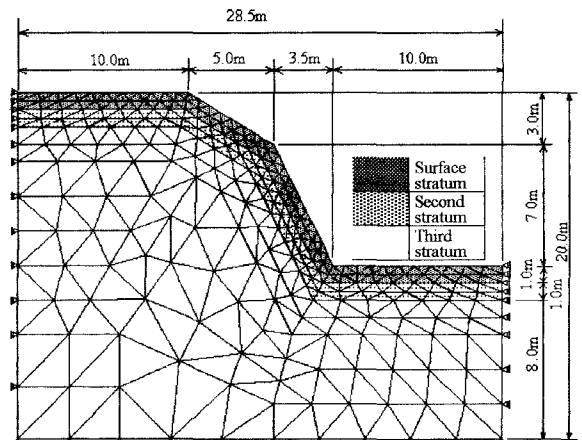


Fig.2 Finite element meshes

キーワード：斜面崩壊、地山物性値、有限要素法、擬似落下モデル

連絡先：〒231-8588 横浜市中区日本大通1 Tel 045-210-6120 Fax 045-210-8885

2.3 計算対象

計算対象はFig.2に示す高さ10m、2段の勾配をもち、表層風化部1m、中間部1m、及び基層の単純化した3層系地山で、地山物性値はTable 1に示すとおりである。表層について表の範囲で C, ϕ を変えて12ケースの計算を行った。判定値は、塑性域と落下域の一致状況から判断し、 u_c, u_{c2} を5mm、 u_{c1} を10mmとした。

Table 1 Properties of rock masses

	Young's modulus E (kPa)	Poisson's ratio ν	Unit mass γ (N/cm ³)	Cohesion C (kPa)	Angle of internal friction ϕ (Deg)	Tensile strength σ_t (kPa)
Surface stratum	1180	0.46	0.016	2.0~7.3	0.3~29	1/2*C
Second stratum	10800	0.40	0.017	255	20	1/2*C
Thind stratum	20400	0.35	0.017	255	20	1/2*C

3. 計算結果と考察

計算結果の一例として、 $C=6.7\text{kPa}$ 、 $\phi=13^\circ$ の場合について遅延落下の場合の変位ベクトルと落下域をFig.3に示す。なお、この図では落下域を強調するため、この領域を右上方向に切り離して描画しているが、実際の解析では連続している。落下域は表層50cmから1mの深さで生じており、この部分の除荷により未崩壊領域でも上方向に変形が生じている状況が観察され、落下形状も妥当といえる。

比較のため、擬似落下モデル遅延落下法、同逐次落下法、有限要素法+クラスター分析[1]による崩壊面積と表層の C, ϕ との関係をFig.4に示す。有限要素法+クラスター分析では崩壊するケースとしないケースの判定が困難で、2郡に分類した状態で単純に計算したため、擬似落下モデルで崩壊しなかったケースでも大きな崩壊面積を示している。崩壊面積の大きさは、遅延落下法と逐次落下法とを比較すると前者のほうが大きな値を示している。遅延落下法ではある程度塑性変形が進行した状態で一括して落下するため、逐次落下法より大きな崩壊域を示したもので、表層部がまとまって落下する場合に対応すると考えられる。逐次落下法では計算ステップの早い段階で小規模な落下が生じて応力が軽減されるため、小さい崩壊面積を示したもので、表層部がばらばらになって落下する場合に対応すると考えられる。植生等に被われた自然斜面への本方法の適用を想定すると、根系の補強効果がある段階まで表層の崩壊を抑制すると考えれば、遅延落下法がより適していると考えられる。

4. まとめ

擬似落下モデルはクラスター分析を必要としないため、計算時間の観点からはすぐれおり、また崩壊形状も大きな矛盾はないといえる。しかし、落下を要素図心変位で判定したため、判定値 u_{c1}, u_{c2} などを決定しなければならないというクラスター分析には不要であった要因が生じた。今後は実際の崩壊事例との比較や、落下の判定をより合理的に行うため、各計算ステップごとの変位増加量から自動的に算出するなど、改良を行ってきたい。

参考文献

- 1) 遠藤清亮・日比野新一・田口雅丈：クラスター分析による急斜面崩壊域の判定，土木学会第26回関東支部技術研究発表会講演概要集，pp614-615，1999

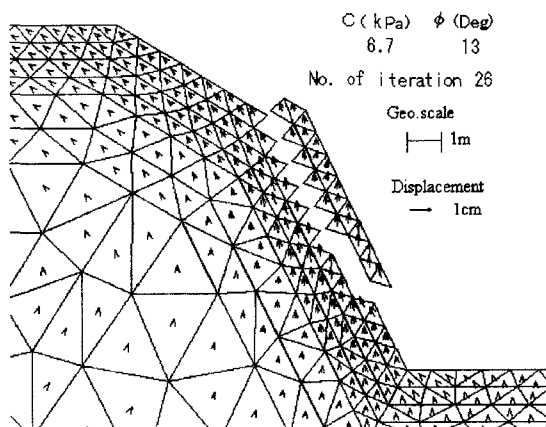


Fig.3 Displacement vectors and separated illustration to emphasize collapsed domain obtained by pseudo-drops model

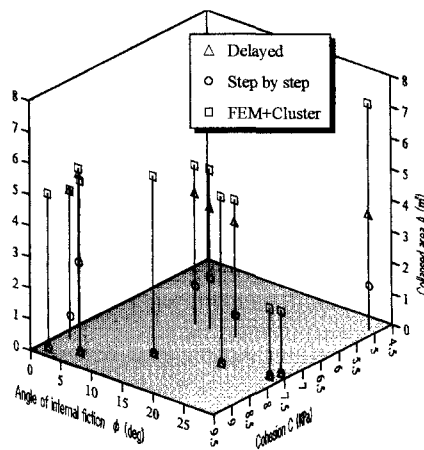


Fig.4 Summary of collapsed area obtained by different methods respectively