

PSⅢ-7 せん断帯を含む構成モデルと地盤・斜面の三次元有限要素崩壊解析

明治大学農学部 正会員 田中忠次
農業土木試験場 正会員 川本 治

1. はじめに

従来、有限要素法を適用して地盤・斜面などの三次元問題の崩壊判定を行うことは困難とされてきたが、動的緩和法は大きな可能性を有している。ところで、過圧密を受けた粘土あるいは密な砂はひずみ軟化を示し、このような材料から成る地盤・斜面では破壊が進行的となり、崩壊荷重はひずみ軟化率、せん断帯の形成に大きく影響される。ここでは、まず、せん断帯の形成を取り入れた構成モデルの定式化を行う。続いて完全塑性体を構成関係に採用した三次元有限要素解析を斜面の崩壊事例に適用した結果を示す。最後に、帯状のフーチングにせん断帯を含む構成モデルを用いた三次元有限要素解析を適用し、二次元解析と比較し、せん断帯によってサイズ効果が生じることを示す。

2. せん断帯を含む構成モデル

せん断帯の形成を取り入れた構成関係は、すでにいくつかの試みがあるが、ここでは次のように定式化を行う。要素すべてが塑性流動する場合は

$$d\varepsilon = d\varepsilon^e + d\varepsilon^p = D^{e-1} d\sigma + \lambda b \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。降伏条件 f が軟化パラメータ κ に規定されたとするなら、 $df = 0$ より

$$a d\sigma - A \lambda = 0, A = - \frac{1}{\lambda} \frac{f}{\kappa} d\kappa \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここに

$$a = \frac{\partial f}{\partial \sigma}, \quad b = \frac{\partial \phi}{\partial \sigma}$$

である（ ϕ は塑性ポテンシャル）。

要素の体積を F_e 、要素を横切るせん断帯の体積を F_p とすれば、体積比が次のように定義される。

$$\frac{F_p}{F_e} = s \quad \dots\dots\dots (3)$$

直方体の要素で辺の長さが 1 とすれば、 $F_e = 1^3$ となりせん断帯の幅を W とすれば、近似的に $S \approx W/1$ とおくことができよう。

このように、要素に対するせん断帯の体積比を定義すると、全ひずみは

$$d\varepsilon = d\varepsilon^e + s d\varepsilon^p = D^{e-1} d\sigma + 3 \lambda b \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。これより

$$\lambda = \frac{a^T D^e d\varepsilon}{A + s a^T D^e b} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となり、次式のように応力-ひずみ関係が得られる。

$$d\sigma = \left(D^e - \frac{s D^e b a^T D^e}{A + s a^T D^e b} \right) d\varepsilon \quad \dots\dots\dots (6)$$

（5）、（6）式を用いることによって、ひずみ軟化を示す材料のサイズ効果が解析的に得られる。

3. 斜面の三次元崩壊解析事例

千葉県宮奈良地区の強風化泥岩の地すべりを解析対象とする。電気探査及びボーリングより、上層の強風化泥岩と下層の崩壊土層であるレキまじり粘土との境界付近にすべり面が存在すると推定され、その深度は地表面下2.5m程度と考えられる（地すべり地の地形は図-1を参照）。透水係数は 1×10^{-5} cm/sec と推定され、この値を用いて自由表面を有する三次元浸透解析を実施した。図-1に流速ベクトルの透視図を示す。崩壊解析は、浸透解析から求まる浸透力、浮力および自重を作用させてMohr-Coulomb基準を用いて完全

塑性体の仮定で行った。上層の強風化泥岩の強度パラメータは図-2に記入してある。下層は弾性体とみなしている。図-2に代表点での変位と荷重の関係を示す。この図にはACOS 850-20（約16 MIPS）を用いたCPU時間も示してある。図-3に崩壊時の応力の透視図を示す。崩壊解析はアイソパラメトリック一次要素に、一点ガウス求積を適用した要素に動的緩和法を用いて実施された。剛性マトリクスを必要としない陽解法による動的問題に、臨界減衰近傍の減衰を与えることにより大規模問題の解が効率的に得られ、ここに示したように実際の三次元斜面の解析が、通常の大型コンピュータでも十分に実行出来ると言えよう。

4. 帯状フーチングの解析

2で述べたせん断帯をふくむむずみ軟化構成式の三次元問題への適用性を調べるために、帯状フーチングに三次元解法を適用し、二次元解法で得られた解と比較する。用いた有限要素モデルを図-4に示す。降伏関数にはMohr-Coulomb、塑性ポテンシャルにはDrucker-Prager基準を用いている。軟化関数については、文献(1)を参照されたい。なお、三次元解析では、計算時間短縮のための加速法を適用している。計算結果を図-5に示すが、これより、崩壊現象をとらえて得ていると言えよう。三次元と二次元の解で、差異が見られるが、これは、塑性ポテンシャルに、それぞれ、圧縮コーン（三次元）、Mohr-Coulomb内接コーン（二次元）を採用していることによる。即ち、三次元解析ではより大きなダイレイタンスーが発生する構成モデルを用いていることによるのである。

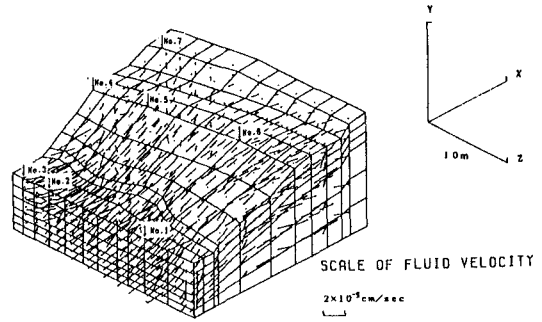


図-1

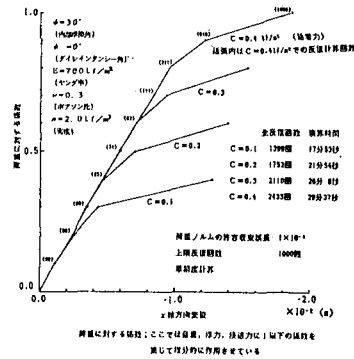


図-2

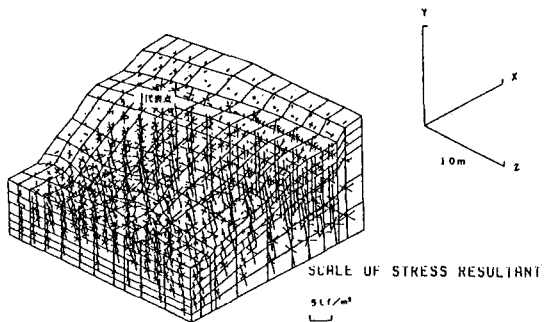


図-3

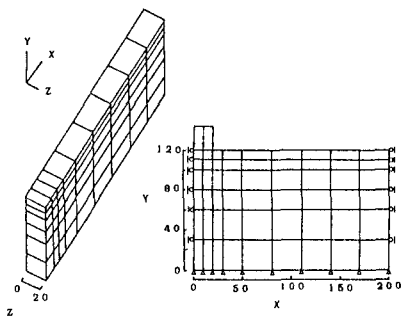


図-4

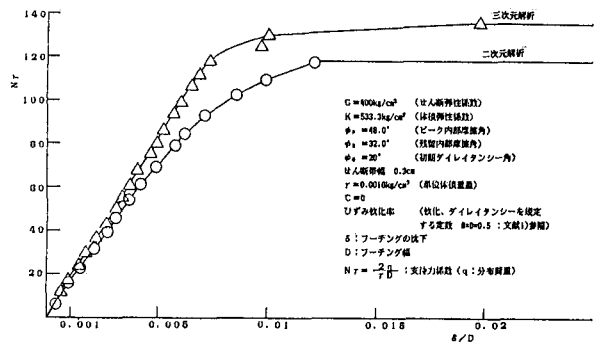


図-5

(参考文献) 1) 田中忠次、せん断帯を含む構成モデルと地盤の崩壊荷重解析、第22回土質工学研究発表会