

III-149

ひずみ勾配依存性弾粘塑性構成式による粘土の変形解析

岐阜大学工学部 岡二三生  
 同上 八嶋 厚  
 東亜建設工業 北村俊明  
 (元岐阜大学学生)

1. 緒言

地盤材料は変形過程において必ずしも均質変形をするわけではなく、大変形、破壊に近づくにつれ、変形の局所化やパターン形成が見られることが知られるようになってきた。そのような変形の不安定性や変形パターンの形成をシミュレーションするため、古典的な塑性論の枠を越えた構成式が用いられるようになってきた。ひずみ軟化型構成式もその範疇にはいる。本研究においては、そのような方法の一つとして、すでに提案している(岡ら1990、1991)、ひずみの勾配を導入した粘土の構成式を用いた有限要素解析を行った。その結果、本構成式を用いることにより、チェッカーボードパターンが表現できることが明らかとなった。

2. ひずみ勾配依存型弾粘塑性構成式

すでに提案している粘塑性体積ひずみの空間に関する二階微分を考慮した構成式を再記すると以下ようになる。

$$\dot{\epsilon}_{ij}^p = \langle \Phi(F) \rangle \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$$

$$\Phi(F) = M^* \sigma_{m0}' C_0 \exp \left\{ m' \left( \frac{\eta^*}{M^*} + \ln \frac{\sigma_{m0}'}{\sigma_{m0}} - \frac{1+e}{\lambda-\kappa} v^p + g(v^p) - a_3 \frac{\partial^2 v^p}{\partial x^2} \right) \right\}$$

ここで、 $\dot{\epsilon}_{ij}^p$ は塑性ひずみ速度テンソル、 $\sigma_{ij}$ は応力テンソル、 $\sigma_{m0}'$ は平均有効応力、 $v^p$ は塑性体積ひずみ、 $e$ は間隙比、 $\lambda$ は圧縮指数、 $\kappa$ は膨潤指数、 $M^*$ は限界状態での $\sqrt{2} J_2 / \sigma_{m0}'$ の値( $J_2$ は偏差応力の第二次不偏量)  $C_0$ 、 $m'$ は粘塑性パラメーター、 $a_3$ は勾配依存パラメーターである。

3. 有限要素法による解析

すでに述べたように(岡ら1990)、勾配依存構成式を有限要素法に適用する場合、構成式自身を空間的に離散化する必要がある。勾配に線形依存する場合は弱形式を考え離散化できるが、ここで述べた構成式では勾配に非線形依存するため離散化に際して、繰り返しが必要となる。ここでは、時間 $t$ でのひずみ速度を計算するために、 $t - \Delta t$ での値から二階微分の項を差分スキームで計算し、陽的に $\Phi(F)$ を計算した。全体の支配方程式系については仮想仕事の原理を用い、水の運動については差分法によって行った。

解析を行った問題は、平面ひずみ条件で高さ10cm、幅5cmの長方形の試料で、境界で非排水条件とした。また、境界で非弾性体積ひずみの空間一回微分はゼロとした。不均一性の成長を調べるため、weak elementを導入した。解析は対称性を考慮し、要素の1/4を解析した。図-1は解析に用いた有限要素メッシュを示す。用いた材料定数は以下のとおりである。 $M^*=0.865$ 、 $C=1.0 \times 10^{-12}$ (1/sec)、 $\sigma_{m0}'$ (初期平均有効応力)= $1.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、初期は等方応力状態とした。 $m'=25$ 、 $\kappa=0.05$ 、 $\lambda=0.231$ 、間隙比=1.5、弾性せん断係数 $G=20 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $k$ (透水係数)= $1.16 \times 10^{-18} \text{ m/sec}$ 、 $\epsilon_{11}=0.2\%/min$ 。

4. 解析結果

Fig.1に解析に用いた有限要素メッシュを示す。Figs.2,3に軸ひずみ2%での粘塑性偏差ひずみ速度テンソルの第二不変量の分布を示す。勾配を導入した場合、その分布はより

