

相異なる三主応力状態における異方圧密砂の弾塑性構成式について

山口大学工学部 正 員 安福規之 兵動正幸
学生員 ○西川明宏 中田幸男

1. まえがき

著者らは、過去に軸対称条件下における砂の弾塑性構成式の提案を行ってきた¹⁾。本報告は、軸対称条件下において提案した構成式を実際の地盤の変形・安定解析へ導入することを目的として、相異なる三主応力状態下への拡張を試みたものである。

2. 提案モデルの概要

提案モデルの概要は、関連しない流れ則に基づき、降伏関数 f と塑性ポテンシャル関数 g に破壊包絡線の評価 (η_p の評価) と硬化パラメータの検討 (k^p , α の評価) そして硬化則の仮定 ($\ln k - \ln p$ 関係) を導入することにより応力比-主ひずみを求める関係となっている。以上の関係をフローチャートに示すと図-1 のようになる。

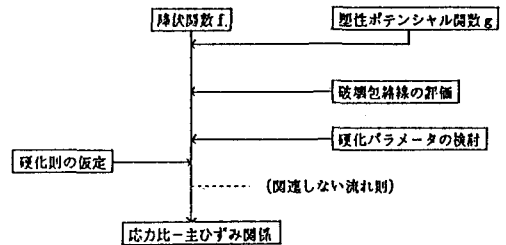


図-1 提案モデルの概要

3. 降伏関数・塑性ポテンシャル関数

軸対称条件下においてすでに定式化されている降伏関数に、降伏特性のロードアングル依存性と応力誘導異方性を導入すると、相異なる三主応力下における降伏関数 f は、式 (1) で与えられる。

$$f = p^2 - pp_0 + \frac{3}{2N^2} [(S_{ij} - p\alpha_{ij})(S_{ij} - p\alpha_{ij}) + (p_0 - p)p\alpha_{ij}\alpha_{ij}] = 0 \quad (1)$$

ここで、 N は降伏曲線の勾配が 0 となるときの応力比であり、ロードアングル θ^* の関数として式 (2) で規定している。これは、降伏関数に中間主応力の影響を取り入れるために導入したものである。

$$N(\theta^*) = N_c \cdot g_L(\theta^*) = N_c \cdot \frac{A}{[A^2 \cos^2[(3/2)\theta^*] + \sin^2[(3/2)\theta^*]]^{1/2}} \quad (2)$$

ここで、 A は $A (=N_e/N_c)$ で定義される材料定数であり、 N_c は三軸圧縮状態の時の N の値、 N_e は三軸伸張状態の時の N の値である。もし $A=1$ とすると $g_L(\theta^*)$ は、 π 面上で円となり提案モデルの降伏曲面は、Drucker-Prager の降伏曲面に一致する。図-2 に A の値の違いによる π 面上での降伏曲面の形状を示す。

また、塑性ポテンシャル関数 g についても降伏関数 f と同様に、ロードアングル依存性を導入するために式 (3) で与えている。

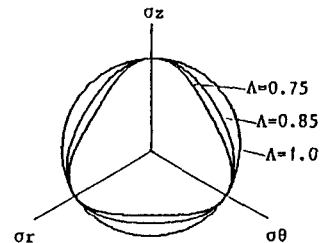


図-2 π 面上での降伏曲面の形状

$$g = p^2 + \frac{3}{2M^2} [(S_{ij} - p\alpha_{ij})(S_{ij} - p\alpha_{ij}) - p^2 \alpha_{ij}\alpha_{ij}] = \text{const.} \quad (3)$$

ここで、 M は塑性ひずみ増分比の勾配が 0 となるときの応力比であり、 M 値もまた、 N 値と同様にロードアングル θ^* の関数として式 (4) で規定している。

$$M(\theta^*) = M_c \cdot g_L(\theta^*) \quad (4)$$

4. 破壊包絡線

軸対称条件下におけるピーク時の応力比は、拘束圧の増加とともに低下する。提案モデルは、その特徴を踏まえた上でロードアングル依存性を導入することで、相異なる三主応力下におけるピーク時の応力比を規定する。その式形は式(5)で表される。

$$\begin{aligned}\eta_p &= \alpha_{hc} \cdot g_L(\theta) & \dots p < p_h \\ \eta_p &= \alpha_{pc} \cdot g_L(\theta) \left(\frac{p}{p_a} \right)^{b-1} & \dots p_h < p < p_l \\ \eta_p &= M_c \cdot g_L(\theta) & \dots p > p_l\end{aligned} \quad (5)$$

5. 硬化パラメータの検討¹⁾

硬化パラメータの展開式 dk^p は、塑性せん断ひずみ増分が拘束圧に影響されることから式(6)で与えている。また、 χ は、土の硬化に対する塑性せん断成分の関わり方を決める重要なパラメータであり、これは、土(砂)が破壊状態において完全塑性材料として挙動するという仮定に基づいて、以下のように決定される。

$$dk^p = d\varepsilon^p_{ij} \delta_{ij} + \chi \eta \left[\frac{2}{3} d\varepsilon^p_{ij} d\varepsilon^p_{ij} \right]^{1/2} \quad \chi = \frac{- \left[\frac{\partial g}{\partial p} \right]}{\eta_p \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{\partial g}{\partial s_{k1}} \cdot \frac{\partial g}{\partial s_{k1}} \right]^{1/2}} \quad \text{at } \eta = \eta_p \quad (6)$$

6. 提案モデルの検証

提案モデルの検証は、異方圧密を受けた秋穂砂の応力比-主ひずみ関係の予測により行った。この試験は、 $\theta = 0^\circ$ 方向に応力比0.6で $p = 0.2\text{MPa}$ まで異方圧密した後、応力比一定で $p = 0.1\text{MPa}$ まで除荷し、さらに、 p 一定の条件で静水圧軸まで戻した状態から、種々な θ 値の基で行った p 一定、 θ 一定試験である。図-3は、 θ が 0° (三軸圧縮状態)、 15° 、 30° 、 60° (三軸伸張状態)の場合の予測値と実測値の比較を示している。図より、提案モデルは、相異なる三主応力状態下での応力比-主ひずみ関係をうまく表現しているといえる。

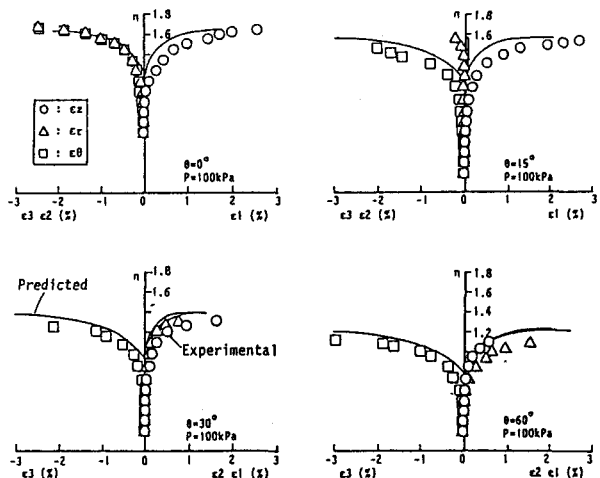


図-3 p 一定、 θ 一定試験によって観察された応力比と主ひずみの関係
($\theta = 0^\circ$ 方向に過圧密比2の異方圧密除荷履歴を受けた秋穂砂の場合)

6. まとめ

本報告は、従来、軸対称条件下において提案されたモデルを相異なる三主応力状態下へ拡張することを試みたものである。提案モデルは、等方圧密あるいは種々な方向への異方圧密履歴を受けた砂の応力比-主ひずみ関係や主ひずみが顕著に生じ始める応力状態を相異なる三主応力状態下においてうまく表現できることを確かめた。

《参考文献》

- 1) 安福規之：広範な応力域における異方圧密砂の降伏特性と弾塑性構成式に関する研究，九州大学学位申請論文