

Ⅲ—4 修正二重すべりモデルによる応力・ひずみ関係及びせん断帯発生の解析

八戸工業大学正会員○ 戒田善雄

同上学生会員 田中聡 中嶋聡

1. はじめに

修正応力法を用いて二重すべりモデルを改良し、異方的な応力・ひずみ関係の表現を可能とする修正二重すべりモデルを提案する。この修正二重すべりモデルを用いて、せん断帯の発生条件について検討した。せん断帯の発生条件に及ぼす構成式の影響を調べるために、やはり修正応力法を用いた非関連流動則に基づく弾・塑性構成式についても併せて検討を行った。簡単のために、微小変形の範囲内での計算とした。対象とした変形挙動は平面（二次元）変形である。

2. 修正応力法¹⁾

物体の異方性を特徴付ける微視的構造の方向性を平均化し、ファブリックテンソルを求めることができる。このファブリックテンソル H_{ij} を介して修正応力を定義する。修正応力空間では、物体は等方的に挙動すると考えると、既に提案されている等方物体に関する構成式が適用できる。この構成式を元々の変数である σ_{ij} 、 H_{ij} に変換すると、応力 σ_{ij} とひずみ ε_{ij} は異方的な関係を示すことになる。修正応力法を用いた場合、必要な演算は合成微分（鎖則）のみであり、簡単に異方性を表現できることになる。

3. 修正二重すべりモデルの概要

二重すべりモデルは、砂の様々な粒状帯の変形挙動を表現するモデルに多用されてきている。（詳しいレビューはNemat-Nasser(1983)）²⁾ 二重すべりモデルを用いると、塑性ひずみ増分の主軸と応力主軸のずれ：非共軸性の表現が可能となる。しかし、二重すべりモデルはその議論が運動則に、多くの場合、限定され、ひずみ硬化則を備えたモデルは少ない。

修正二重すべりモデルは、非共軸性の原因を異方性に求め、修正応力法を用いて、二つのすべり面に、それぞれ独立の等しい硬化則を用いている。この場合、応力主軸に関して対称に設置されている二つのすべり面上のせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}(\alpha)$ は、応力主軸とファブリックテンソルの主軸が一致しなければ、相異なる値を取り、非共軸性を示すことになる。³⁾

修正応力法を用いて、非関連流動則に用いると、修正二重すべりモデルと同様に、応力主軸とファブリックテンソルの主軸が一致しない場合の非共軸性を表現することが可能になる。両者の大きな差異は、ひずみ速度と応力速度の関係を表現する $\dot{\varepsilon}_{ij} = C_{ijkl} \dot{\sigma}_{kl}$ の C_{ijkl} が応力速度依存性を有するかどうかである。修正二重すべりモデルの場合、応力速度の方向によって弾性除荷も含めて、 C_{ijkl} は4種類の全く異なる値をもつものに対して、修正非関連流動則では弾性と弾・塑性の2種の値をもつことになる。言い替えれば、修正二重すべりモデルの方が変形の自由度が大きいことになる。紙数の都合でモデルの詳細は別の機会に譲る。

4. せん断帯の発生条件の解析⁴⁾

最も標準的な方法を採用した。すなわち構成式の瞬間剛性テンソル L_{ijkl} を用いて、ある方向に想定したすべり面が存在できるか否かの条件を求める手法である。すなわち、せん断帯における力のつり合い、不連続な変位勾配の存在により計算されたマトリックスの行列式の値 Y_0 が正であれば、同次方程式は解が存在せず（せん断帯は存在せず）、 $Y_0 = 0$ の状態から始めて解が存在する（せん断帯が発生しても良い）事を利用して、せん断帯の発生条件を議論する。ある角度 θ に対して Y_0 の値が大きければその方向でのせん断帯の可能性はなく、 $Y_0 \approx 0$ の θ があれば、その角度でのせん断帯の発生の可能性が大きいことを示している。

5. 数値計算例

図1は、修正二重すべりモデルを用いた異方性が存在する場合の応力ひずみ関係である。最大圧縮応力主軸と H_{11} の主軸（最も接触点の多い方向）のなす角を ψ とすると、 $\psi = 0^\circ$ で最も強く、 $\psi = 90^\circ$ で最も柔らかい挙動を示す。

図2は修正二重すべりモデルを用いたときのせん断帯の発生のし易さを等方の場合について求めたものである。図3は非関連流動則を用いて、やはり等方の場合について求めたものである。（平均応力 $P = 1.0$ としているので Q の値は応力比を表現する。）

$$Q = \sqrt{(T'_{11}T'_{22} + T'_{12}T'_{21})/2} : T'_{11} = T_{11} - P\delta_{11}$$

両者のモデルは、ほぼ同様の応力・ひずみ関係を示すにも関わらず、せん断帯の発生可能性は全く異なる。すなわち、修正二重すべりモデルは全ての方向 θ で、せん断帯の発生の可能性が高いのに対して、非関連流動則では特定の方向のみが高いことが示唆されている。

6. 結び

修正応力法を用いて、異方性の影響を加味した修正二重すべりモデル、修正非関連流動則に基づくモデルを提案した。数値シミュレーションを用いて両者のモデルを比較したところ、応力・ひずみ関係がほぼ同様であるにも関わらず、せん断帯の発生の可能性は両者相異なる結果となった。

参考文献

- 1) 飛田(1989).第34回土質工学シンポジウム PP203-210
- 2) Nemat-Nasser(1983).J.Applied mech.Vol.50 PP 1114-1126
- 3) 飛田・柳澤(1991).土木学会論文集投稿予定
- 4) 飛田(1990).土と基礎12月号 PP17-22

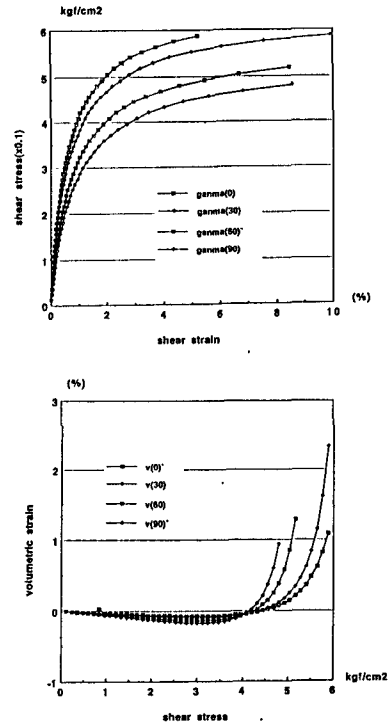


図-1：異方的な応力ひずみの表現 (a) せん断力・せん断ひずみ (b) ダイレイタンスー（修正二重すべり）

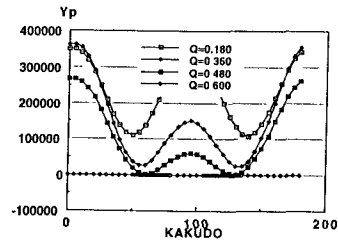


図-2：せん断帯の発生に関する結果（修正二重すべり）

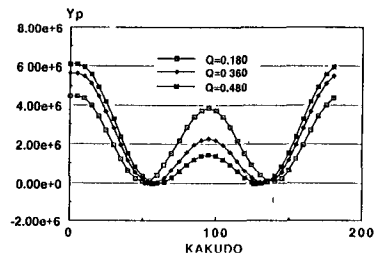


図-3：せん断帯の発生に関する結果（修正非関連流動則）