

逆解析による土質材料の流れ則の判定

鹿児島大学工学部 正○三隅浩二 正 佐藤 清
同 上 学 福本忠浩 学 田平秀樹

1. はじめに 砂質土や粘性土などの土質材料のせん断挙動はフック則による等方弾性挙動とヒルの式による塑性挙動とを重ね合わせた弾塑性構成式¹⁾で説明できる。三軸実験などの軸対称条件を考えると、弾塑性構成則は、独立な応力の不変量の数は2つ、独立なひずみの不変量の数も2つなので、 $2 \times 2 = 4$ つの成分 C_1, C_2, C_3, C_4 からなるコンプライアンス・マトリックス $[C]$ の挙動で表されることになる。そこで本報告では、この $[C]$ を逆解析により求めたうえで、土供試体のせん断挙動が関連流れ則に従うのか非関連流れ則に従うのかを確かめ、弾塑性挙動 $[C]$ を弾性挙動 $[C^e]$ と塑性挙動 $[C^p]$ に分離する方法を提案する。

2. 流れ則の判定と弾塑性挙動の分離 図1はラディモデル¹⁾の拘束圧一定排水せん断挙動、図2は平均主応力一定排水せん断挙動を表したものである。もちろん試料は同じで密度も応力状態もほぼ同じレベルであり、試験経路だけが違うものとする。平均主応力一定試験の p' の値は、拘束圧一定試験で変化する p' の平均値をとって、双方の応力レベルをそろえている。したがって、どちらの応力ひずみ曲線も同じ弾塑性パラメータによって機能するラディモデルの $[C]$ のメカニズムにより計算している。

これら4本の応力ひずみ曲線より接線勾配がはかられていれば、 $[C]$ の挙動を簡単に逆算することができる。すなわち、 $[C]$ がつくる増分型構成式中には4つの未知成分(C_1, C_2, C_3, C_4)が存在するが、どの η' レベルに対しても4つの接線勾配がはかられているので、4つの条件式をつくることができる。したがって、これらを連立して解くことにより、4つの未知数(C_1, C_2, C_3, C_4)を求めることができる。ただし、 C_1, C_2, C_3, C_4 はすべて p' をかけて正規化しておく必要がある。正規化されたコンプライアンス($C_1 \cdot p', C_2 \cdot p', C_3 \cdot p', C_4 \cdot p'$)は η' 軸に対して応力径路に依存しないユニークなラインとなるからである。図3にせん断にともなう $C_1 \cdot p', C_4 \cdot p'$ の変化を示した。図4は $C_2 \cdot p'$ と $C_3 \cdot p'$ を比較している。この比較より $C_2 \cdot p' = C_3 \cdot p'$ であれば関連流れ則($f = g$)、 $C_2 \cdot p' \neq C_3 \cdot p'$ であれば非関連流れ則($f \neq g$)であると判断できる。ここに、 f は降伏関数、 g は塑性ポテンシャルである。

弾性挙動と塑性挙動の分離は以下の手順によって行う。まず、せん断にともなう C_4/C_1 の変化を求める。図5に示すようにせん断初期において弾性挙動のボアソン比に関わるパラメータ $a (=C_4/C_1)$ を測定することができる。次に、 η' 軸にそう $\det[C] \cdot p'^2 = (C_1 \cdot C_4 - C_2 \cdot C_3) \cdot p'^2$ の変化を求める。ここで興味深いことが生じる。図6を見てわかるように、せん断の初期における弾性挙動の $\det[C]$ はひずみの発生が少ないのでほとんどゼロに近い。ところが、せん断の後期に $\det[C]$ が急上昇してくる。ヒルの式より、塑性挙動では $\det[C^p] = 0$ のはずだが、塑性挙動が発生すると弾性挙動がわずかに生じていても $[C]$ は逆行列 $[D]$ を持つことを主張します。なお、図5、図6は、弾性的な挙動から弾塑性的な挙動に転ずる応力レベルの判定に使える。最後に、 C_1^e を適当に仮定すれば、 $C_4^e = a \cdot C_1^e$ 、 $C_1^p = C_1 - C_1^e$ 、 $C_4^p = C_4 - C_4^e$ が計算できるが、各 η' レベルに対して $\det[C^p] = 0$ の条件を満たす C_1^e の値をイタレーションして求めることにより弾性、塑性の分離が遂行できる。弾性仕事や塑性仕事などが逆算できる。

3. おわりに 砂質土は非関連流れ則で正規圧密粘土は関連流れ則で表せるとよく言われているが、そのことを上記で示した逆解析手法によりダイレクトに確かめることができる。 $[C]$ の変化が求められ弾塑性が分離できれば、文献2および文献3に示した K, G の異方性も考察できる。これら一連の研究を行って砂質土と粘性土のせん断挙動を詳細に比較検討し工学的に価値のある研究に発展させていきたい。

参考文献 1) R. ヒル：塑性学 (THE MATHEMATICAL THEORY OF PLASTICITY, 1950), 培風館

2) 田平, 三隅, 佐藤, 岩切：砂質土の異方性・非線形性の考察, 平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1991

3) 佐藤, 三隅, 田平, 松崎：粘土の状態境界面上における変形の異方性, 非線形性, 平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1991

