

I-11 平面ひずみ圧縮下での局所変形について

東北大学工学部 ○学生員 湯本 健寛
東北大学大学院工学研究科 正員 岩熊 哲夫
東北大学大学院工学研究科 正員 後藤 文彦

1. まえがき

地盤材料の特性を調べる試験に、平面ひずみ圧縮試験や三軸圧縮試験がある。この要素試験でも荷重が進むにつれて供試体内部に応力集中等による変形の局所化が進行するため、純粋に材料特性の測定にはならない。当然、試験体の境界条件や初期状態の影響を受け、結局は単純な材料試験も境界値問題に他ならないということは明らかである。一方、平面ひずみ圧縮試験の数値解析の報告では、変形の局所化の際に現れるすべり線の角度が実際の実験と異なるものがよく見られる。本研究ではこの原因を境界条件の影響という観点から検討する。また同時に内部摩擦角やダイレタンシー係数等の材料定数の影響の検討も行う。

2. 構成モデル

構成モデルは白戸・岩熊¹⁾によって提案されたものを用いる。弾性部分は一般化された Hooke の法則に従うとし、塑性部分は流れ理論の枠組みの中で最も基本的な弾性モデルである J_2 流れ理論を拡張して、拘束圧依存性や体積変化の塑性成分を考慮した非関連流れ則を基本とする。さらに変形の局所化に大きな影響を持つ非共軸項を加えることにより、塑性ひずみ増分が

$$d^p_{ij} = \frac{1}{H} \left(\frac{\sigma'_{ij}}{2\bar{\sigma}} + \frac{\beta}{3} \delta_{ij} \right) \left(\frac{\sigma'_{kl}}{2\bar{\sigma}} + \frac{\alpha}{3} \delta_{kl} \right) \bar{\sigma}_{kl} + A \left\{ \bar{\sigma}'_{ij} - \frac{1}{2\bar{\sigma}^2} \sigma'_{kl} \bar{\sigma}_{kl} \sigma'_{ij} \right\} + d^m_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

で表せるとする。右辺第3項は、Hill の不安定条件が満足された後にその特性方向に向けた二重すべりメカニズムが生じるとし、それによるひずみ増分成分である。この報告ではヤング係数 $E = 100 \text{ MN/m}^2$ 、せん断弾性係数 $\mu = 38 \text{ MN/m}^2$ 、硬化パラメータ $H/\mu = 0.001$ 、非共軸パラメータを $\bar{\mu}/\mu = 0.003$ とし、内部摩擦係数を $\alpha = 0.05$ 、ダイレタンシー係数を $\beta = \pm 0.1$ とした。なお、 $\bar{\mu}$ と A は $\frac{1}{\bar{\mu}} \equiv \frac{1}{\mu} + 2A$ という関係にある。

3. 平面ひずみ圧縮試験

解析対象は地盤材料の圧縮試験やそれに関する数値解析でよく用いられる 1:2 程度の寸法を持つ矩形供試体領域の圧縮である。圧縮するに当たり、図-1のように側圧 P/L を荷重した上で圧縮する。境界条件は図-1に示す2種類を比較する。図-1の左図は面 A-B を x, y 方向に固定、面 C-D は x 方向に固定し y 方向に強制変位を下方に与える。これを「固定条件」と呼ぶ。図-1の右図は、A'-B' 面は中央のみ x, y 方向に固定しそれ以外は y 方向にのみ固定、面 C'-D' は y 方向に強制変位を与える。これを「自由条件」と呼ぶ。本研究では文献²⁾の実験を参考に、側圧無しの固定条件における圧縮解析での初期降伏時の上載応力の 50% を、側圧 P/L として与えることとする。また、初期不整³⁾も両側面に $\cos$ カーブで与えた。

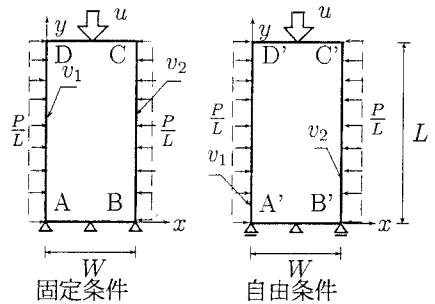


図-1 境界条件

4. 側圧の影響

図-2 が初期不整を与えた自由条件での側圧の無い場合で圧縮ひずみが 11% での変形図であるのに対し、図-3 が側圧を加えた場合である。図-4 がその荷重-変位曲線である。応答は側圧の分だけ抵抗が大きくなるだけであるが、同じ全体変形で変形の集中帯が側圧によって若干立っており、実験の観察に近づいていることが分かる。

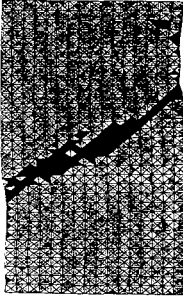


図-2 側圧無しの変形状図(ひずみ 11.0%)

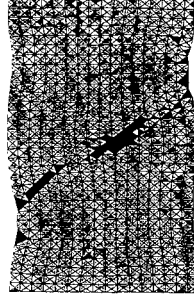


図-3 側圧がある場合の変形状図(ひずみ 11.0%)

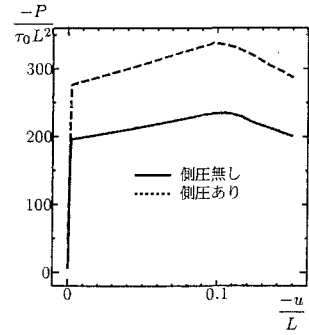


図-4 荷重 - 変位曲線

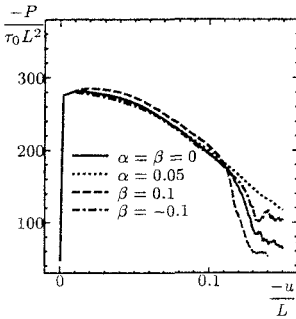


図-5 非対称 5 次

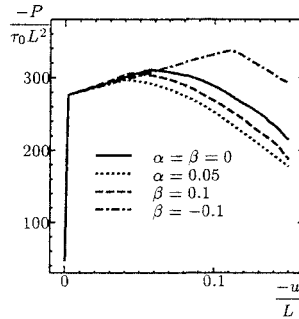


図-6 対称 1 次

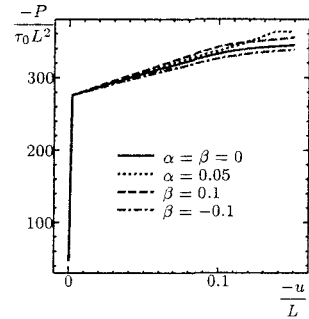


図-7 対称 4 次

5. 材料特性の影響

地盤材料特有の粒子性に関する特性をモデル化したに関するパラメータである内部摩擦係数 $\alpha > 0$ と正負のダイレイタンシー係数を与えた解析を行った。図-5, 6, 7 は 3 種の初期不整を与えた自由条件において側圧を加えた場合の荷重 - 変位曲線であり、比較のために $\alpha = \beta = 0$ のグラフも付した。 α は軟化、硬化をさらに強める働きをすることが分かる。この解析は全領域での平均応力は圧縮状態にあり、そこで $\beta > 0$ は塑性的体積膨張を意味する地盤材料の特性に近い。この 3 つの図からはこのダイレイタンシー効果によって降伏直後の剛性はやや大きくするが、その後の終局状態付近の軟化が促進されることが分かり、地盤材料のようなもののこの効果の重要性を再確認できた。

図-5 は非対称の初期不整を与えたために早期に袈裟懸けの変形の集中帯が生じ、剛性が最も低く出ている。図-6, 7 は対称の初期不整を与えたために応力集中が対称に近い形で進行し、特に、図-7 は変形の集中帯が対称である「X 字」型であったため剛性が強く出ている。この 3 種の変形は本解析において多く確認された。

6. まとめ

矩形供試体の単純一軸圧縮から側圧を加えることにより多軸圧縮にすることによりすべり線の入る角度の変化を確認することができたと共に、局所変形パターンの変化を確認できた。また、材料定数である内部摩擦係数とダイレイタンシー係数が材料の安定性に与える影響を定量的に示すことができた。

参考文献

- 1) 白戸真大, 岩熊哲夫: 微視すべりを組み込んだ構成モデルその大変形問題への適用, 土木学会論文集, No.598/I-44, pp.257-268, 1998.
- 2) 吉田輝, 後藤正司, 亀谷泰久, 龍岡文雄, 木幡行宏, 董軍: 砂礫の平面ひずみ圧縮試験に置けるせん断層の応力・変形関係, 地盤の破壊とひずみの局所化に関するシンポジウム発表論文集, pp.189-196, 1994
- 3) 千葉尚, 白戸真大, 岩熊哲夫, 後藤彦彦: 圧縮試験における局所変形の発達, 応用力学論文集 Vol3, pp323-334, 2000.