

III-53

”砂柱を含む粘土”の軸対称応力下の変形特性と構成式の適用性

住友セメント(株) 正員 石崎 仁
名古屋工業大学 正員 松岡 元, 中井照夫

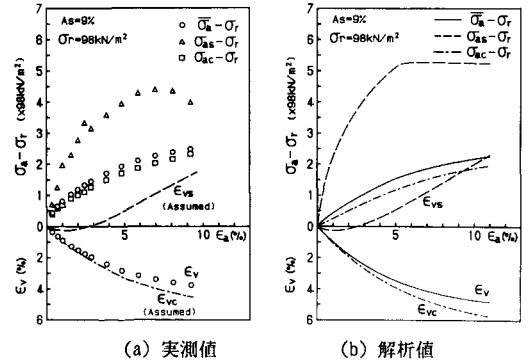
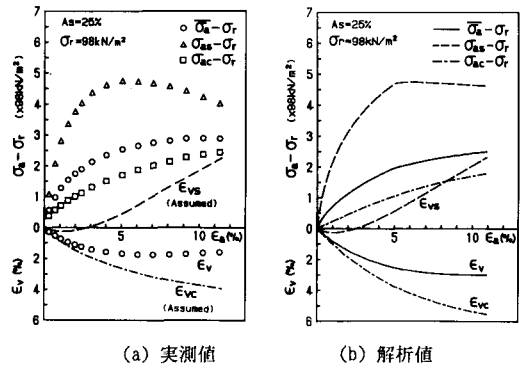
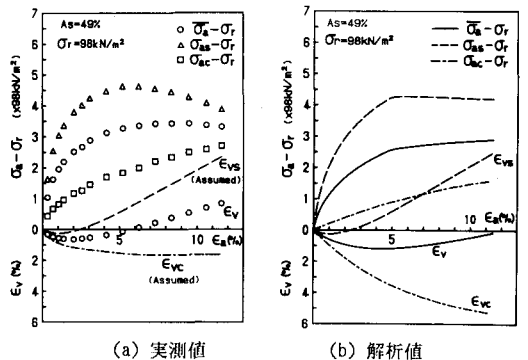
本報告では、複合地盤要素として”砂柱を含む粘土”を取り上げ、その軸対称応力下の試験(三軸圧縮, 異方圧密)結果とダイレタンシーを考慮した構成式による解析値を比較し、ダイレタンシー特性が複合地盤の変形に及ぼす影響について述べる。また、砂柱の”正のダイレタンシー(膨張)”を表現できない構成式を用いた場合との相違点についても報告する。

1. 供試体形状と実験方法

供試体は $\phi 10\text{cm}$, 高さ 10cm の円柱で、粘土を円柱に成形後、中央部を所定の内径に削孔し飽和砂を一定の間隙比($e_0=0.68$, やや密詰め)になるように詰めて作製した。粘土は藤の森粘土, 砂は豊浦砂を用いた。試験機は砂柱, 粘土に各々独立に載荷でき、途中で砂柱と粘土がほぼ等しい軸変位で変形できるように作られている。¹⁾ なお、試験は排水試験(軸変位速度 0.00088mm/分)とし、粘土の排水は砂柱を通して行われる。

2. 三軸圧縮試験結果と解析値の比較

三軸圧縮試験は、等方圧密(砂柱, 粘土とも同じ鉛直応力)後、側圧一定($\sigma_r=1\text{kgf/cm}^2$)で、砂柱と粘土を等軸変位で圧縮試験を行った。図-1, 2, 3は、砂柱の置換率 $As=9, 25, 49\%$ (砂柱径 $\phi=3, 5, 7\text{cm}$)での応力~ひずみ関係で、各図の(a)は実測値, (b)は解析値である。なお、解析に用いた構成式は、砂にはSMP*モデル²⁾, 粘土には t_{ij} -clayモデル³⁾で、軸対称FEMにより計算した。図中で、 $\sigma_{as}, \sigma_{ac}, \bar{\sigma}_a, \sigma_r$; 砂柱, 粘土, 平均鉛直応力および側方応力, $\varepsilon_a, \varepsilon_{vs}, \varepsilon_{vc}, \varepsilon_v$; 軸ひずみ、および砂柱, 粘土, 供試体全体の体積ひずみである。本試験機では、砂柱と粘土の各々の体積変化を独立に測定できないので、実測図中の ε_{vs} (破線), ε_{vc} (鎖線)は、砂柱の軸差応力 $\sigma_{as}-\sigma_r \sim$ 軸ひずみ $\varepsilon_a \sim$ 体積ひずみ ε_v の実測値を用いて、砂柱の応力~ひずみ関係(SMP*モデル)より計算した推定値である。図-1, 2, 3の砂柱の軸差応力 $\sigma_{as}-\sigma_r \sim$ 軸ひずみ ε_a 関係において、実測値と解析値は良く対応しており、特に置換率 $As=25, 49\%$ のピーク強度の実測値と解析値はほぼ同じである。一方、粘土の軸差応力 $\sigma_{ac}-\sigma_r \sim$ 軸ひずみ ε_a 関係は、実測値の方が解析値より大きくなっている。これは、せん断時の”砂柱と粘土の軸変位のずれ”が影響しているものと思われる。せん断中は砂柱と粘土が等変位で軸圧縮するようにしたが、試験機の構造上、砂柱の軸変位が粘土より5%ほど小さくなった。この”変位のずれ”は、砂柱と粘土の境界面で相互の摩擦力を生じさせ、粘土のせん断変形を妨げるように作用した

図-1 軸差応力~軸ひずみ~体積ひずみ関係 ($As=9\%$)図-2 軸差応力~軸ひずみ~体積ひずみ関係 ($As=25\%$)図-3 軸差応力~軸ひずみ~体積ひずみ関係 ($As=49\%$)

のではないと思われる。¹⁾ また、供試体全体の体積ひずみ ε_v の実測値が解析値より小さいのも、上述の理由によるものと考えられるが、各置換率別の実測された体積ひずみの傾向は解析値と良く一致している。すなわち、置換率 $As=9\%$ では圧縮一途、 $As=25\%$ では最大圧縮点があること、 $As=49\%$ ではせん断後期には膨張側に転ずる（実測値は完全に膨張している）傾向を、解析値は良く表現している。これは置換率が大きくなると砂柱の体積膨張量が粘土の体積圧縮量を上回るため、供試体全体の体積は膨張側に転ずるのであって、このような現象は砂柱の構成式(SMP*モデル)が”正のダイレタンスー(せん断による体積膨張)”を表現できて初めて説明できるのである。

3. 異方圧密試験結果と解析値の比較

異方圧密試験は、等方圧密後、応力比 $\sigma_a/\sigma_r=2$ 、平均主応力 $\sigma_m=1\text{kgf/cm}^2$ までせん断（砂柱、粘土とも同じ鉛直応力）し、その後砂柱と粘土を等軸変位で、平均鉛直応力 $\bar{\sigma}_a$ と側圧 σ_r の比を一定 ($\bar{\sigma}_a/\sigma_r=2$) に保ちながら圧密した。図-4,5は、置換率 $As=25\%$ の体積、軸ひずみ $\varepsilon_v, \varepsilon_a \sim$ 平均主応力 σ_m 関係と砂柱、粘土の鉛直応力 $\sigma_{as}, \sigma_{ac} \sim$ 平均主応力 σ_m 関係である。図中のプロットが実測値、実線が解析値である。図-4で、軸ひずみ $\varepsilon_a \sim$ 平均主応力 σ_m は、実測値の方が解析値より小さくなっているものの、体積ひずみ ε_v では実測値と解析値は良く一致している。図-5では、砂柱の鉛直応力 σ_{as} は、実測値の方が解析値より小さめに、粘土の鉛直応力 σ_{ac} では逆にになっている。これらは、2. で述べたように、”砂柱と粘土の軸変位のずれ”が影響していると思われるが、三軸圧縮試験と同様に解析値は実測値の傾向を良く説明していると言える。

4. 構成式による解析値の相違

ここでは、砂の構成式に、Duncanら⁴⁾による非線形弾性モデルを用いた場合を、2. の解析結果(SMP*モデル)と比較してみよう。ただし、粘土は t_{ij} -clayモデルとする。また、密詰め砂は、せん断により体積膨張（正のダイレタンスー）するが、弾性体ではこのような変形特性は表現できないため、なるべく体積圧縮しないようにポアソン比 $\nu=0.499$ とする。図-6は、置換率 $As=9, 25, 49\%$ の三軸圧縮試験の応力 $\sim$ ひずみ関係である。図-1,2,3と比較すると、軸差応力 $\bar{\sigma}_a - \sigma_r \sim \varepsilon_a$ はほぼ一致しているが、体積ひずみ ε_v は置換率 $As=49\%$ でも圧縮一途である。この計算では、ポアソン比 $\nu=0.499$ としたにもかかわらず、粘土の体積圧縮のため全体の体積ひずみ ε_v は置換率が残ら大きくなくても膨張側になることはない。この現象は非線形弾性モデルだけでなく、体積膨張を表現できない構成式ではすべて同様に生ずる。したがって、そのようなモデルで解析すると、例えば盛土問題で、沈下量を過大に、側方変位を小さめに計算する結果になってしまう。ここでは砂の構成式に着目したが、粘土についても応力 $\sim$ ひずみ関係を適切に表現できない場合には不合理な結果を与える。

複合地盤では、改良材、原地盤土の個々の応力 $\sim$ 変形特性を表現できる構成式を連立して、初めて妥当な解析ができるのであって、特に、2. の実験結果と解析値は、そのことを実証している。

謝辞 本報告は、第一著者の名古屋工業大学大学院博士課程在学中の研究成果である。日頃御援助頂いている本学 山内利彦、吉田弥智教授に謝意を表します。また、実験の一部を手伝って頂いた元本学学部生 丹羽康裕君に感謝します。

参考文献 1) 石崎・松岡・中井(1988):第23回土質工学研究発表会投稿中 2) 中井・松岡(1981):土木学会論文報告集 第306号,pp.23-34 3) Nakai,T. and Matsuoka,H.(1986):S & F,Vol.26,No.3,pp.81-98 4) J.M.Duncan and C.Y.Chang(1970):ASCE,Vol.96,SM5,pp.1629-1653

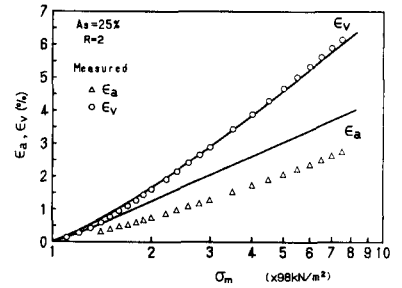


図-4 軸ひずみ、体積ひずみ～平均主応力関係

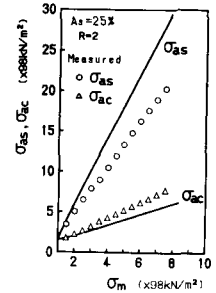


図-5 砂柱、粘土の鉛直応力～平均主応力関係

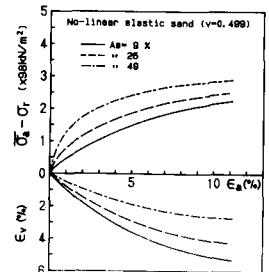


図-6 軸差応力～軸ひずみ～体積ひずみ関係