

弾塑性構成式によるしらすの応力ひずみ曲線の再現

鹿児島大学工学部 正〇三隅浩二 大学院 川添隆志
 同 上 工学部 秋吉智文 工学部 吉村公孝
 同 上 工学部 木村裕樹 工学部 加藤浩司

1. はじめに 比体積 v と拘束圧 p' を種々にかえて特殊土しらすの平均主応力一定三軸圧縮試験を実施した。得られた応力ひずみ曲線に下負荷面モデル^{1),2)}を反映させた弾塑性構成式をあてはめることにより、弾塑性パラメータならびに状態境界面と下負荷面の相似率 R の発展則を決定した。今回は、カムクレイモデルとは異なる塑性ひずみ増分比～応力比関係を用いて、しらすの三軸圧縮試験結果の再現を試みている。

2. 弾塑性構成式の適用 試料は鹿児島県垂水市で採取された山しらすであり、 $850\mu\text{m}$ ふるいを通し $75\mu\text{m}$ ふるいに残留したものを使用した。土粒子の密度 2.42g/cm^3 、最大間隙比 1.76 、最小間隙比 1.00 である。さて、試験は平均主応力一定の荷重制御試験を行った。

図1はひずみ増分比～応力比関係の一例を示す。これを直線で近似して、塑性ひずみ～応力比関係 $\phi=\beta(M-\eta')$ を決定した。すなわち限界状態パラメータ $M(=1.48)$ と $\beta(=0.759)$ を決定した。

図2はピーク強度時の応力比 η_{peak}' と比体積 v の関係を示す。点A、点Bは平均主応力 $p'=0.5\text{kgf/cm}^2$ の時の、点C、点Dは平均主応力 $p'=2.0\text{kgf/cm}^2$ の時のデータである。点A、点Bを通る直線と点C、点Dを通る直線はほぼ平行である。これら2つの直線で η_{peak}' の等しい2つの適当な v 値より圧縮指数 λ を決定することができる。すなわち、 η_{peak}' のほとんど等しい点B、点Cのデータを用いて、 $\lambda=(v_B-v_C)/(\ln p_B'-\ln p_C')$ より $\lambda(=0.252)$ を決定した。

図3のプロットは各試験で得られたピーク強度時の応力比 η_{peak}' とダイレイタンス特性に関わるパラメータ $v_s=v+\lambda\ln p'$ の関係を示している。右下がりの直線はプロットに線形最小二乗法を適用して得たものである。この直線を用いて限界状態線の位置を決めるパラメータ $\Gamma(=3.01)$ を $\eta_{peak}'=M$ のときの v_s の値より決定した。

その他、等方除荷試験より膨潤指数 $\kappa(=0.00273)$ を平均主応力一定条件で与えた軸差応力を減少させる除荷試験よりポアソン比 $\nu'(=0.298)$ を決定した。

正規圧密曲線の位置を決めるパラメータ N は、状態境界面にカムクレイモデル($\phi=M-\eta'$)を仮定したとき(下負荷面モデル1の場合) $N=\Gamma+\lambda-\kappa$ より $N(=3.26)$ 、状態境界面に $\phi=\beta(M-\eta')$ を仮定したとき(下負荷面モデル3の場合) $N=\Gamma+(\lambda-\kappa)\ln\beta/(1-\beta)$ より $N(=3.27)$ を決定した。

3. 応力ひずみ曲線の再現性の検討 さて、上記の弾塑性パラメータを使えば、式(1)より状態境界面の大きさ p_s' と下負荷面の大きさ p_v' の比を表すパラメータ R を求めることができる。但し、下負荷面モデル1の場合 $p_v'=p'\exp(\eta'/M)$ 、下負荷面モデル3の場合 $p_v'=p'\{(1-\beta)/\beta/M\cdot\eta'+1\}^{**}(1-\beta)^{-1}$ である。

$$R=p_v'/p_s'=p_v'/\exp\{(N-v_s)/(\lambda-\kappa)\}, \quad v_s=v+\kappa\ln p' \cdots (1)$$

一方、 R の変化率 $U_s=dR/d\varepsilon_v'$ は式(2)より求めることができる。但し、塑性ひずみ増分比 $\phi=d\varepsilon_v'/d\varepsilon_p'$ は、下負荷面モデル1の場合 $\phi=M-\eta'$ 、下負荷面モデル3の場合 $\phi=\beta(M-\eta')$ である。また $v_0=2.49$ 。

$$U_s=\phi\cdot\{d(\ln p_v')/d(\ln p_s')-1\}R/DM, \quad DM=(\lambda-\kappa)/v_0 \cdots (2)$$

図4に式(1)、式(2)より得られた試験S1の $U_s \sim R$ 関係すなわち R の発展則を示している。プロットを走る実線と波線は非線形最小二乗法で実験公式をあてはめた結果得られたものである。これらの $U_s \sim R$ 関係と弾塑性パラメータを下負荷面モデル1と3の構成式に用いて応力ひずみ曲線の再現を試みた。

図5は体積ひずみ $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係を示す。この図よりいずれの下負荷面モデルも実験結果をうまく再現できていることがわかる。図6はせん断ひずみ $\varepsilon_s \sim \eta'$ 関係を示す。この図より下負荷面モデル1よりも下負荷面モデル3の方が再現性がよいことがわかる。

4. おわりに 限界状態でなくても限界状態におけるパラメータ M を求めることができた。また、高圧三軸試験などせずとも通常の応力レベルの三軸試験で圧縮指数 λ を決定することができた。しらすの特殊性がどの力学パラメータに反映されているのか今後さらなる検討が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 浅岡顕, 「構造」を有した土の弾塑性モデルの一考え方, 第33回地盤工学研究発表会平成10年度発表講演集2分冊の1, pp.627-628, 1998.7.
- 2) 橋口公一, 弾塑性構成方程式, 福岡市での講演会資料, 2000.9.

