

液状化解析における S-D モデルの応力-塑性せん断ひずみに関するパラメータの影響

○荒木 一弘¹⁾・石井 武司²⁾・齋藤 邦夫³⁾

1) 非会員 ケミカルグラウト㈱, 東京都港区虎ノ門2-2-5, k-araki@chemicalgrout.co.jp

2) 正会員 中央大学研究開発機構, 東京都文京区春日1-13-27, t-ishii@kc.chuo-u.ac.jp

3) 非会員 中央大学理工学部, 東京都文京区春日1-13-27, saitoh@civil.chuo-u.ac.jp

1. はじめに

Stress-Density Model (以下, S-D モデル) は, 砂質土の液状化解析に適用するために Ishihara らが提案した構成則である¹⁾. この構成則のパラメータは原則的に土質試験の結果に基づいて設定される. そこで, ケーソン式護岸の実大模型実験結果を念頭に置いて, パラメータ設定が解析結果の残留変位へ及ぼす影響を定量的に評価するために, このモデルを組み込んだ動的 2 次元有効応力 FEM 解析によりパラメータ感度解析を行った. 以下にその一部を報告する.

2. S-D モデルの構成則

S-D モデルの基本骨格は, ①弾性状態の応力-ひずみ関係, ②応力-塑性せん断ひずみ関係, ③応力-ダイレタンシー関係, の 3 つで構成されている. 応力-塑性せん断ひずみ関係は, 式(1)の双曲線関数で近似されている.

$$\frac{\tau}{p} = \frac{G_N \cdot \gamma_p \cdot \left(\frac{\tau}{p}\right)_{\max}}{\left(\frac{\tau}{p}\right)_{\max} + G_N \cdot \gamma_p} \quad (1)$$

ここで, τ/p はせん断応力比, $(\tau/p)_{\max}$ はその最大値, γ_p は塑性せん断ひずみである. G_N は正規化初期せん断剛性である. G_N は通常一定であるが, 大ひずみ領域まで試験結果を再現できるように, 式(2)によってせん断ひずみに依存して変化させる.

$$G_N = (G_{N,\max} - G_{N,\min}) \exp\left(-f \frac{\gamma_p}{\gamma_0}\right) + G_{N,\min} \quad (2)$$

ここに, $G_{N,\max}$, $G_{N,\min}$ はそれぞれ小ひずみと大ひずみ領域における G_N である. f は定数, γ_0 は 1% のせん断ひずみである.

S-D モデルの特徴は, 状態指数「State Index (以下, Is)」と呼ばれる概念を導入し, 密度と有効拘束圧に関する地盤の初期状態を定量的に評価するところにある. ゆるい砂の非排水せん断試験では準定常状態 (QSS) が起こる. その e - p' 平面上での軌跡は, 図-1 の QSS-line となり, 式(3)で表される.

$$e_{QSS} = e_0 - m \cdot \log p' \quad (m > 0) \quad (3)$$

ここで, e_0 は $p'=1\text{kPa}$ のときの間隙比であり極限間隙比と呼ばれる. m は QSS-line の傾きを表す. このとき Is は, 初期状態(A)と極限状態(C)の間隙比の差

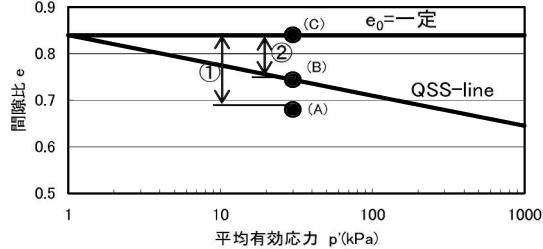


図-1 State Index,Is の定義

(1)と, 準定常状態(B)と(C)の間隙比の差(2)の比(1)/(2)であり, 式(3)を用いると式(4)のように e と p' の関数で表せる.

$$Is(e, p') = \frac{e_0 - e}{m \cdot \log p'} \quad (4)$$

S-D モデルの応力-塑性せん断ひずみ関係は, この Is によって規定される. すなわち, 式(1),(2)の $(\tau/p)_{\max}$, $G_{N,\max}$, $G_{N,\min}$ の 3 つの項目を Is の 1 次関数として式(5)で定義する. これは Is が等しければ応力-ひずみ関係は同じになるという考えに基づいている.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\tau}{p}\right)_{\max} &= a_1 + b_1 \cdot Is \\ G_{N,\max} &= a_2 + b_2 \cdot Is \\ G_{N,\min} &= a_3 + b_3 \cdot Is \end{aligned} \quad (5)$$

3. 感度解析

3.1 基本モデルと解析条件

S-D モデルを組み込んだプログラムを用いて動的 2 次元有効応力 FEM 解析を行った. 解析モデルを図-2 に示す. ケーソン式護岸の 2 次元モデルであり, 実大模型振動台実験を参考に設定した²⁾. 地盤材料のアルバニー砂は S-D モデルでモデル化した. そのパラメータは千本³⁾が実施した各種の土質試験に基づいて表-1 のように設定した. ここでは, この設定値を基本モデルとした. ケーソンについては線形弾性体として扱った. 地下水位は GL-0.5m である.

境界条件は, 水, 土骨格ともに底面を固定, 側面を鉛直ローラーとした. ケーソンと地盤の境界面には 2 重節点を用いて, ケーソン背面は鉛直ローラー, ケーソン底面は地盤の動きに追随するものとした.

入力地震動には, 1995 年兵庫県南部地震において JR 鷹取駅で観測された図-3 の加速度波形を用いた. 解析時間は 20 秒間で, 積分時間間隔は 0.0004 秒である. 基本モデルにおける変形後のケーソンを図-2 の破線で示してある.