

双曲線+おわんモデルを用いた初期サイクリックモビリティ後のシミュレーション

清水建設 正会員 ○福武 毅芳  
 伊藤忠テクノソリューションズ 非会員 馬淵 倉一  
 東北学院大学 正会員 吉田 望

**1. はじめに** 著者らは、三次元ダイレイタンシーモデル（おわんモデル）と三次元に拡張したR-Oモデルを併用<sup>1),2)</sup>し、種々の要素試験のシミュレーションを実施した<sup>3)</sup>。ここでは双曲線モデルとおわんモデルを併用して要素試験のシミュレーションを実施し、初期液状化後の挙動について検討した。

**2. 双曲線モデルの履歴曲線の補正** 双曲線モデルにMasing則を適用すると過大は履歴減衰と与えてしまう。そこで吉田らの方法<sup>4)</sup>を用いて履歴減衰 $h$ を調節した。履歴曲線での初期剛性 $G_{max}$ と基準ひずみ $\gamma_r$ を減衰定数に整合するように修正する。補正方法は図1に示すように、①履歴曲線の $G_{max}$ 、 $\gamma_r$ をひずみ $\gamma$ に依存するパラメータ $G_{max}(\gamma)$ 、 $\gamma_r(\gamma)$ とする。②履歴曲線で囲まれる面積が、式(1)を満足するように決定する。③骨格曲線上で除荷または荷重が起こった場合には、その除荷・荷重点を通る仮想の骨格曲線（ $G_{max}(\gamma)$ 、 $\gamma_r(\gamma)$ で想定される）を想定した履歴曲線を用いる。

$$h = h_{max} (1 - G/G_{max}), \quad G/G_{max} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma_a}{\gamma_r}} \quad (1)$$

(本計算では $h_{max}=27\%$ )

**3. 構成式の改良** 応力 $\tau$ をひずみと有効応力の関数とし、応力増分 $\Delta\tau$ を全微分形にして、陽な形でひずみ成分と有効応力成分に分離した。さらに $\Delta\sigma'_m > 0$ のとき圧縮指数 $C_c$ を用い、 $\Delta\sigma'_m < 0$ のとき膨潤指数 $C_s$ を用いた（従来は $C_s$ のみを用いていた）。これによりポスト液状化の液体的性質（せん断応力が小さいときにせん断剛性が非常に小さくなりひずみが伸びる現象）が表現できる。詳しくは文献<sup>3)</sup>を参照されたい。

**4. 要素シミュレーション結果と考察** 試料は飽和豊浦砂で各実験<sup>5),6)</sup>の物性を表1に示す。試験方法は

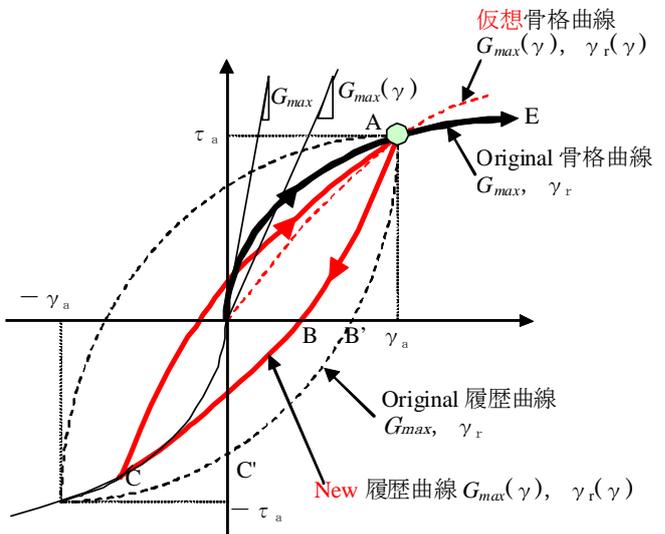


図1 双曲線モデルにおける Masing 則の修正方法

繰返しねじり試験であり、土質パラメータは表1 要素試験条件と検討ケース（豊浦砂： $e_{max}=977$ ,  $e_{min}=597$ ）既往の実験結果から設定した<sup>3),7)-9)</sup>。図2に実験値と計算値の比較を示す。 $D_r=63\%$ では双曲線モデルにそのままMasing則を適用した場合(計算値Orig)も示す。サイクリックモビリティ以降のひずみ振幅の増加傾向はほぼ適切に表現できている。計算における履歴ループは実験に比べ細くなっている。計算では内部摩擦角 $\phi$ から、 $\tau_{f0} = \sigma'_{m0} \tan \phi$ 、 $\gamma_r = \tau_{f0} / \sigma'_{m0}$  ( $\sigma'_{m0}$ : 初期拘束圧)として $\gamma_r$ を算定しているが、この値は $G/G_0=0.5$ となるひずみ $\gamma_{0.5}$ より大きく、これが原因の一つと考えられる。また乾燥状態の最大減衰定数 $h_{max}$ を27%と仮定しており、これが小さいことも考えられる。

表1 要素試験条件と検討ケース（豊浦砂： $e_{max}=977$ ,  $e_{min}=597$ ）

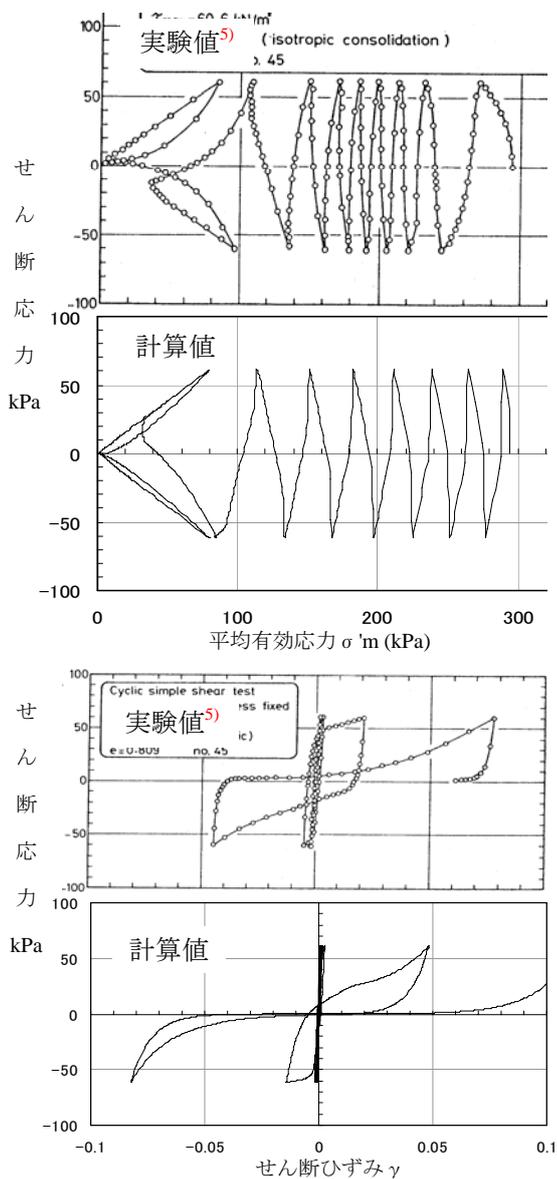
	間隙比 $e$	相対密度 $D_r$ (%)	内部摩擦 角 $\phi$ (°)	応力比 $R$ $\tau_{cy} / \sigma'_{m0}$	初期拘束圧 $\sigma'_{m0}$ (kPa)	せん断応力 振幅 $\tau_{cy}$ (kPa)
1	0.809	44	38.0	0.21	294	60.6
2	0.738	63	38.2	0.30	98	29.4
3	0.676	79	40.0	0.33	294	95.5

表1 要素試験条件と検討ケース（豊浦砂： $e_{max}=977$ ,  $e_{min}=597$ ）

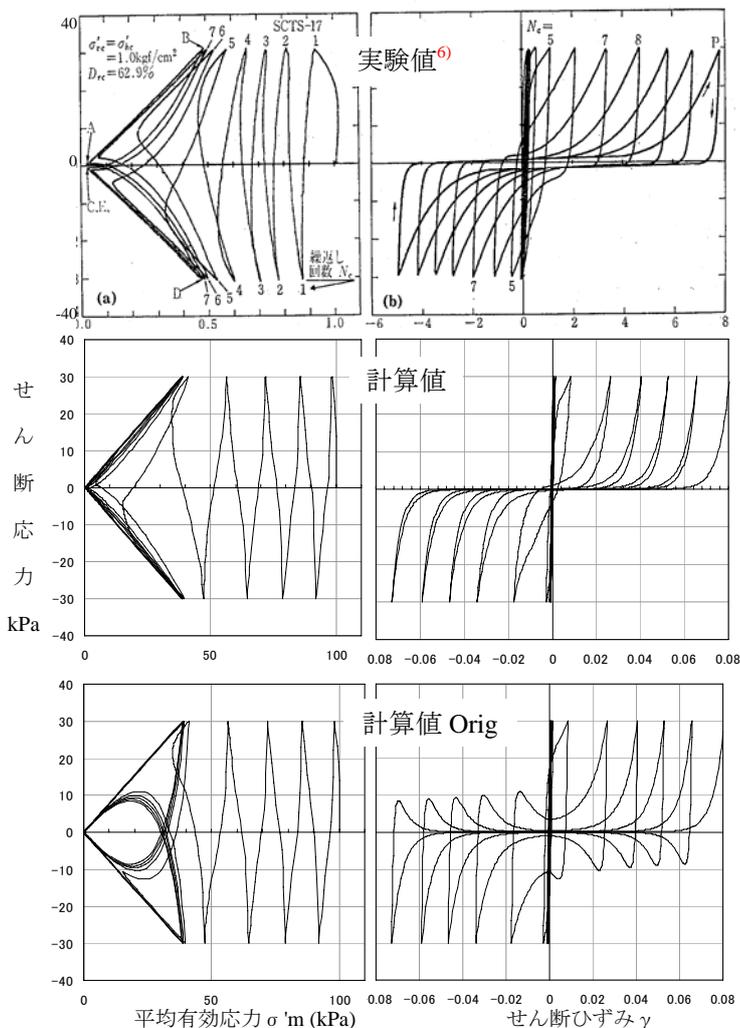
**参考文献** 1) 福武：土の多方向繰返しせん断特性を考慮した地盤・構造物系の三次元液状化解析に関する研究,名古屋工業大学博士論文,1997 2) 吉見・福武：地盤液状化の物理と評価・対策技術(5章),技報堂出版,2005. 3) 福武・馬淵・吉田・社本：砂や薬注改良体の初期サイクリックモビリティ後のシミュレーション,第43回地盤工学研究発表会,2008

キーワード 液状化, サイクリックモビリティ, 応力-ひずみ関係, 双曲線モデル, おわんモデル

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 TEL 03-3820-8314

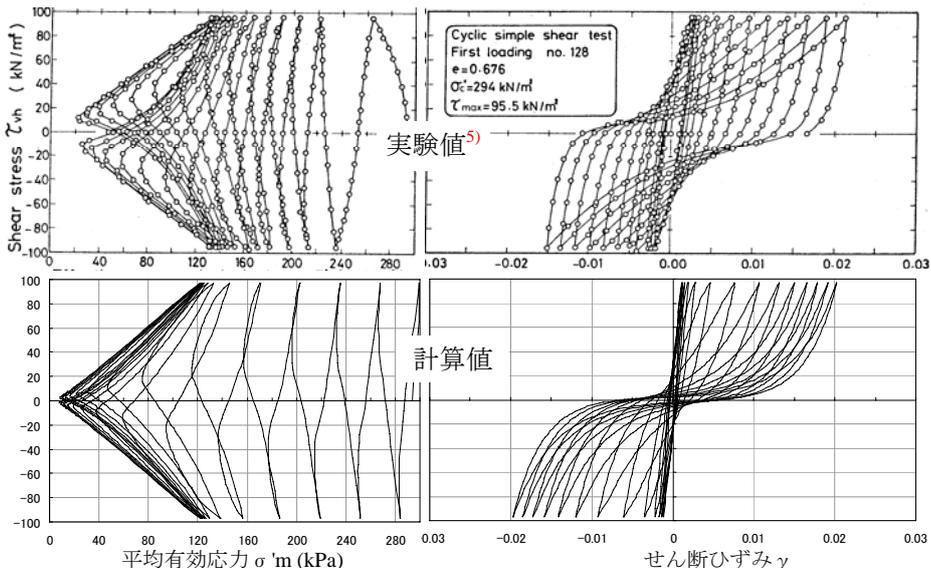


(1)  $D_r = 44\%$



(2)  $D_r = 63\%$

4) Ishihara, K., Yoshida, N. and Tsujino, S.: Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading, Proc. 5th International Conference for Numerical Method in Geomechanics, Nagoya, Vol. 1, pp. 373-380, 1985 5) 東畑: 砂の繰り返しせん断変形特性に及ぼす主応力軸回転の影響, 東京大学博士論文, 1981 6) プラダン, テージ, B.S.・龍岡・原: 非排水繰返しねじりせん断における砂の応力-ひずみ特性, 土木学会第40回年次学術講演回 III, 1985 7) 今津・福武: 砂礫材料の動的変形特性, 第21回土質工学研究発表会, pp.509-512, 1986 8) Toki, S., Tatsuoka, F. et al.: Cyclic undrained triaxial strength of sand by a cooperative test program, Soils and Foundations, Vol.26, No.3, pp.117-128, 1986 9) 佐々木・岩崎: 地震応答解析のための土の動的性質, 土と基礎, Vol.33, No.11, pp.85-91, 1985



(3)  $D_r = 79\%$

図2 豊浦砂の有効応力経路と応力~ひずみ関係