

簡易的な有効応力経路モデルを用いた粘性土の動的変形特性の表現法

佐賀大学理工学部 正会員 坂井 晃

1. まえがき

繰返し荷重を受ける粘性土の変形挙動は、載荷速度の影響を受けるだけでなく、その有効応力経路も破壊包絡線よりかなり小さい有効応力比の段階からサイクリックモビリティが見られる。サイクリックモビリティの表現法としては、放物線・双曲線およびそれらを組み合わせたモデルから、変相線¹⁾を用いて、強度曲線を取り入れたモデル²⁾や移動変相線としたモデル³⁾等、数多く提案されている。本研究は、サイクリックモビリティを含めた有効応力経路の表現法として、変相線を用いることなく、2つの曲線の和によって表現する簡易的な関係式を提案する。また、この提案式は、載荷速度・振幅の影響を考慮した累積せん断仕事と残留間隙水圧との関係式および有効応力比-ひずみ関係を用いることによって、繰返し荷重を受ける粘性土の変形挙動を表現することが可能である。

2. 有効応力経路の表現

単調および繰返し載荷時に発生する過剰間隙水圧の評価法として、筆者はすでに変相線の応力比 η_{PT} を用いた関数式を提案している⁴⁾。本研究は、この変相線を用いることなく、正・負のダイレイタンスーを表す2つの曲線の組み合わせとして過剰間隙水圧発生量を表現するために、次式の関係式を提案する。

$$\frac{du_1}{\sigma'_m - du_1} = A \left(\frac{\eta - \eta_i}{\eta_M - \eta_i} \right)^2 \left\{ 1 + \ln \left(1 + \frac{|\eta - \eta_i|}{1 - |\eta / \eta_M|} \right) \right\} \quad (1a), \quad \frac{du_2}{\sigma'_m - du_2} = -B \ln \left(1 + \frac{|\eta - \eta_i|}{1 - |\eta / \eta_M|} \right) \quad (1b) \quad --(1)$$

ここに、 A, B は応力経路の形状に関する定数、 η_M は破壊時の応力比 $(\tau / \sigma'_m)_M$ 、 η_i は初期応力状態の応力比 (τ / σ'_{m0}) であり、繰返し載荷時には折り返し点の応力比を示す。過剰間隙水圧増分 du は、 $du = du_1 + du_2$ で表される。図-1 は、単調載荷のときの一例を示している。また、有効応力経路に及ぼすパラメータ A, B の影響を図-2 に示す。 A の値が大きくなるほど過剰間隙水圧の発生は大きくなるが、変相線に相当する位置は変わらない。一方、 B が大きくなるほど逆に過剰間隙水圧の発生が小さくかつ変相線の表れる有効応力比の値も小さくなる特徴がある。

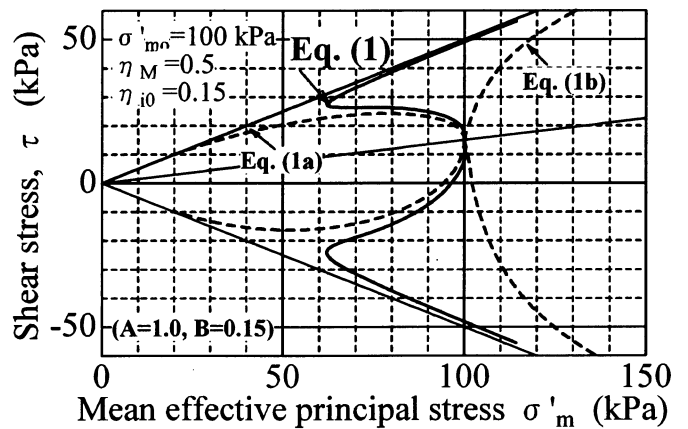
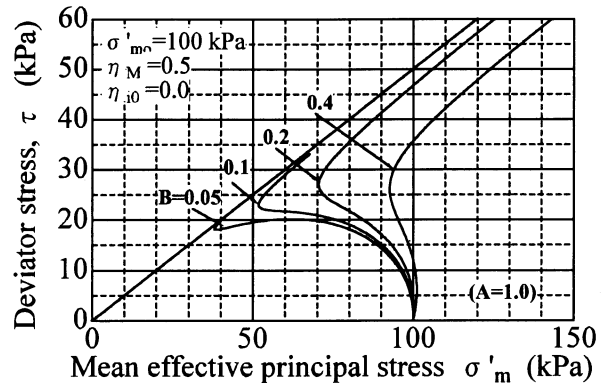
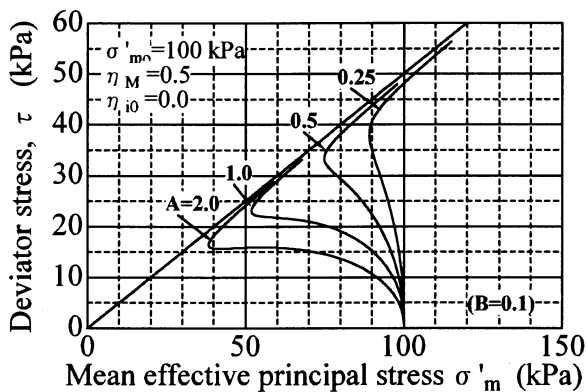


図-1 式(1)を用いた有効応力経路

図-2 有効応力経路に及ぼすパラメータ A, B の影響

キーワード：粘性土、繰返し荷重、有効応力経路、過剰間隙水圧

840-8502 佐賀市本庄町1 TEL 0952-28-8572, FAX 0952-28-8190

3. 過剰間隙水圧発生量に及ぼす載荷速度・振幅の影響

過剰間隙水圧発生に及ぼす載荷速度・振幅の影響を調べるために実施した不攪乱有明粘土 ($\rho_s=2.666\text{g/cm}^3$, $e_0=3.814$, $w_n=145\%$, $I_p=75\%$, $p_c=44\text{kPa}$, $C_c=1.44$) の繰返し単純せん断試験結果⁵⁾ (ひずみ制御試験: ひずみ速度 $(\dot{\gamma}_{zx})_{cyc}=7.2, 72, 240\%/min$ とひずみ振幅 $(\gamma_{zx})_{cyc}=0.5, 1.0, 1.5, 2.0\%$ の組み合わせ) から, 各半サイクルの残留過剰間隙水圧 u_{re} は, 累積せん断仕事 W_s を用いて次式で表される⁵⁾.

$$u_{re}/\sigma'_{v0} = \frac{W_s/\sigma'_{v0}}{a+bW_s/\sigma'_{v0}} \quad (2)$$

図-3 の破線は, 式(2)を用いた一例を示している. ここに, パラメータ a, b は, 図-4 に示すように, それぞれひずみ速度とひずみ振幅の関数で与えられる.

4. 有明粘土の繰返し単純せん断試験結果との比較

繰返し載荷に対する有効応力経路として式(1)を適用するに際し, まず応力・ひずみ関係としてはサイクリックモビリティを含んだ評価が可能な有効応力比・ひずみ関係を用いることにする(骨格曲線は双曲線で表し, 履歴曲線は Masing 則に従うものとする)²⁾. 有効応力増分 $\Delta \eta$ に対する各計算ステップは以下のとおりである. 式(1)の A は, ひずみ速度および過圧密比の関数, $A=A_0(3-2\sigma'_v/\sigma'_{v0})/(1+0.001(\dot{\gamma}_{zx})_{cyc})$ に従うものとし, そのときの B は, 有効応力比・ひずみ関係式から得られた各半サイクル毎の W_s を用いて, ひずみ速度とひずみ振幅を考慮した式(2)の残留過剰間隙水圧と式(1)の過剰間隙水圧が等しくなるように繰返し計算を行い, 各半サイクル毎に設定される. ただし, 初期の半サイクルにおける B は 0 とし, 初期せん断剛性は拘束圧の平方根に比例するものとした. 図-5 は, 不攪乱有明粘土の応力制御による繰返し単純せん断試験結果と本提案モデルによる計算結果を比較したものである. 応力・ひずみ関係および有効応力経路ともに, 比較的良好な関係が得られた.

参考文献

- 1) Ishihara, K., et al. (1975): "Undrained deformation and liquefaction of sand under cyclic stresses", Soils and Foundations, Vol.15, No.1, pp.29-44. 2) 山本陽一ら (1997): 砂および粘土の繰返しせん断強度に基づく有効応力モデルとその液状化解析への適用, 土木学会論文集, No.561/III-38, pp.295-308. 3) J.M.Zhang, et al. (1997): "Moving critical and phase-transformation stress state lines of saturated sand during undrained cyclic shear", Soils and Foundations, Vol.37, No.2, pp.51-59. 4) 坂井晃ら (1994): Undrained cyclic shear behavior of dense sand with an initial static shear stress, 第 29 回土質工学研究発表会, pp.743-746. 5) 坂井ら (1999): 繰返し非排水せん断時の過剰間隙水圧発生量に及ぼすひずみ速度・振幅の影響, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集, III-A81, pp.162-163

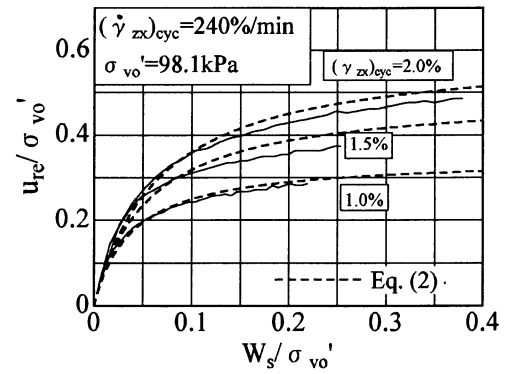


図-3 残留過剰間隙水圧 u_{re} と W_s の関係

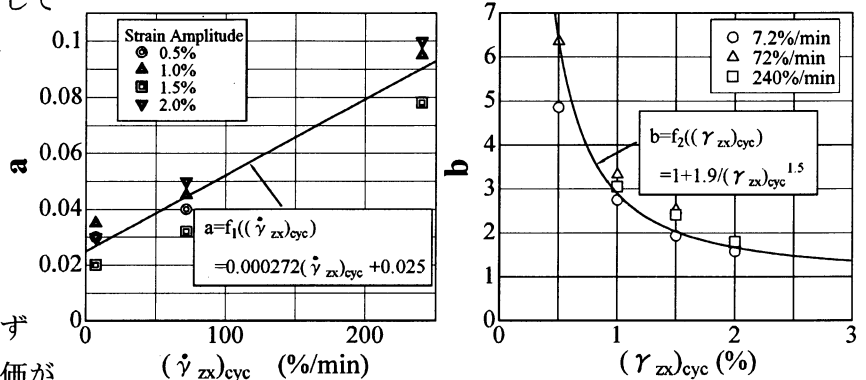


図-4 パラメータ a, b

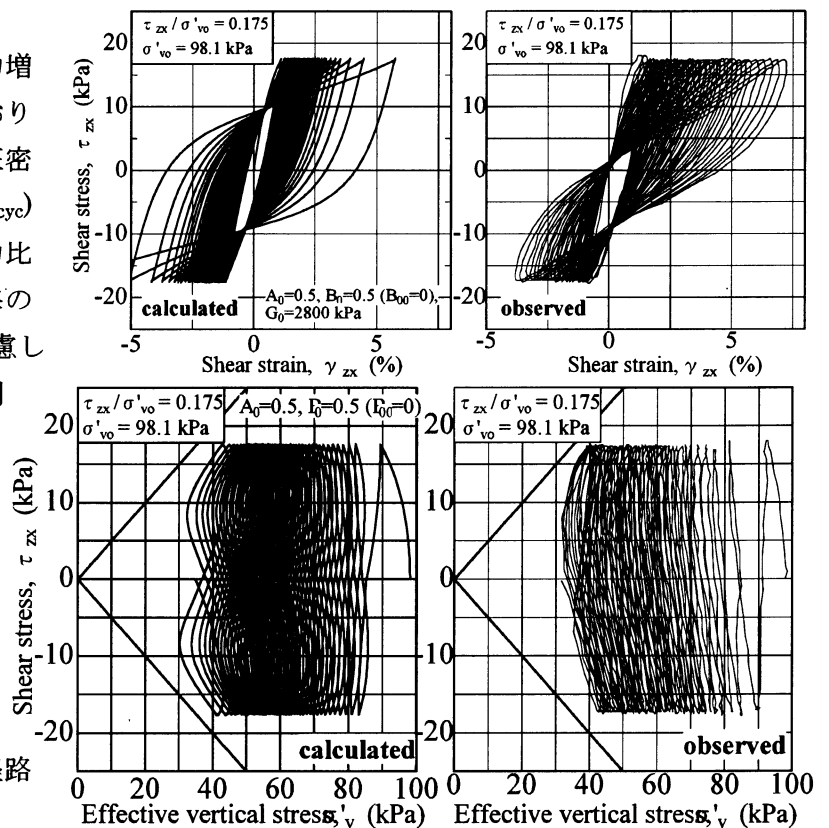


図-5 本提案モデルによる計算結果と試験結果の比較