

サイクリックモビリティを含めた有効応力経路の一表現法

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土、特に密な砂の有効応力経路は、サイクリックモビリティも含めた応力経路の表現が必要である。これらのモデルとしては、従来、放物線・双曲線およびそれらを組み合わせたモデル等があるが、最近では変相線（石原ら,1975）を用いて、強度曲線を取り入れたモデル（山本ら,1997）や移動変相線としたモデル（J.M.Zhang,1997）等が提案されている。

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、正・負のダイレイタンスーを表す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、等方圧密応力だけでなく、初期せん断応力状態からの有効応力経路の表現も可能である。

2. 有効応力経路の表現法

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、すでに応力比の関数形として筆者は次式で表される関係式を提案している（坂井ら,1994）。

$$\frac{u}{\sigma'_m} = A \left(\frac{\eta - \eta_i}{\eta_M - \eta_i} \right)^2 \left\{ 2 \left(\frac{\eta_M - \eta_{PT}}{\eta_M - \eta} \right) - \left(\frac{\eta_M - \eta_{PT}}{\eta_M - \eta} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

ここに、A は応力経路の形状に関する定数、 η_M は破壊時の応力比 $(q/\sigma'_m)_M$ 、 η_{PT} は変相線の応力比 $(q/\sigma'_m)_{PT}$ 、 η_i は初期応力状態の応力比 (q/σ'_{m0}) である。また、繰返し載荷時は、 η_i を応力の反転および折り返し点の応力比、定数 A を累積せん断仕事 Ws の増加に伴う間隙水圧増分の減少を表す定数として次式で与え、 $A = 1/(a_1 + a_2 \cdot Ws/\sigma'_{v0})$ 、初期せん断応力を受ける繰返し中空ねじりせん断試験の有効応力経路と比較している。

本研究は、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で過剰間隙水圧発生量を表現するために、式(1)を変更し、次式の関係式を提案する。

$$\frac{u}{\sigma'_m} = A \left(\frac{\eta - \eta_i}{\eta_M - \eta_i} \right)^2 \left\{ \ln \left(1 + m \frac{|\eta - \eta_i|}{1 - |\eta/\eta_M|} \right) - B \ln \left(1 + n \frac{|\eta - \eta_i|}{1 - |\eta/\eta_M|} \right) \right\} \quad (2)$$

式(2)の右辺の第1項（Eq.(2)-1）と第2項（Eq.(2)-2）は、それぞれ収縮、ダイレイタンスーに関する項であり、変相線に相当するものはこの2つの項の相対的關係によって決まることになる。図-1には、その一例を示している。パラメータ A, B, m, n は、それぞれ経路の形状に関する係数である。なお、圧縮の項に関して、 $m=0$ かつ $A=1$ の場合には、修正カムクレイモデルの状態曲面と同一である。

3. パラメータ A, B, m, n の影響

図-2 は、式(2)のパラメータ A, B の影響を示している。A の値は、間隙水圧 u に直接比例する係数であり、その値が大きくなると変相線に相当する位置は同一のまま変相線に至る間隙水圧上昇量が増加する。一方、B はダイレイトに寄与する係数であり、その値が大きくなるほど

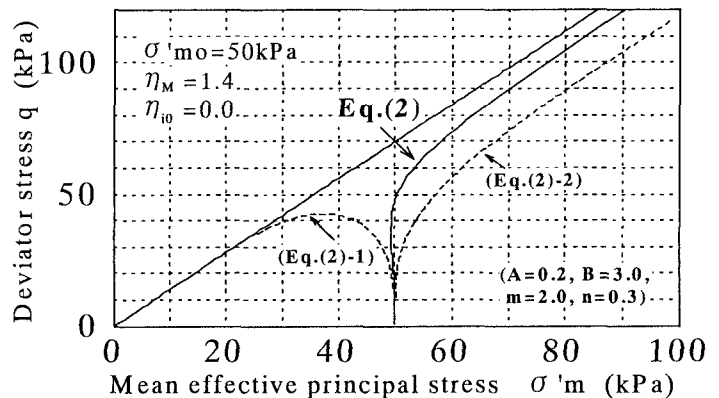


図-1 式(2)を用いた有効応力経路

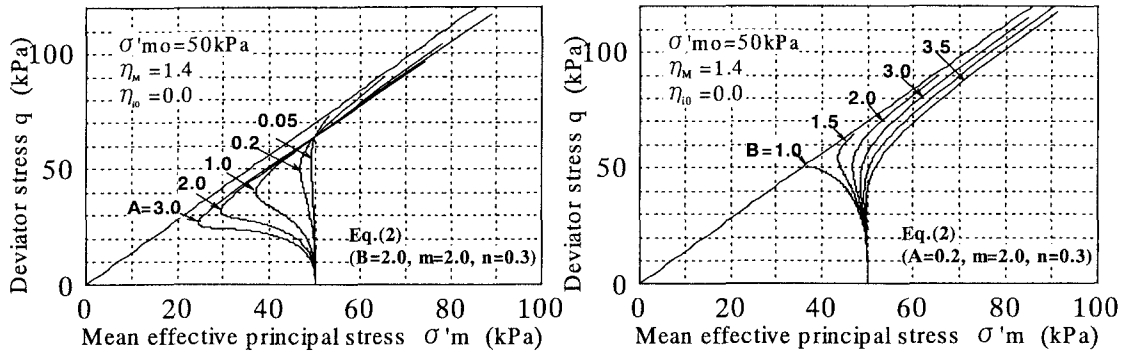


図-2 有効応力経路に及ぼすパラメータA, Bの影響

変相角が小さくなっている。また、 $m \rightarrow$ 小、 $n \rightarrow$ 大になるほど、変相角が小さくなる傾向が認められた。

4. 繰返し荷重を受けるときの有効応力経路

繰返し载荷に対する式(2)の適用は、式(1)を適用した場合⁴⁾と同様に、 η_i を応力の反転・折返し点に逐次対応させることによって表現可能である。ここでは、間隙水圧発生に及ぼすグレイテンション成分の変化傾向を表すために、係数Bの除荷時の値として、 $Bu' = Bu(1 + 4\sigma'_m/\sigma'_{mo})/5$ を試みとして採用した。図-3(a)は、このときの経路の一例であるが、 $q=0$ のときも $\eta_i (=0)$ であるため再载荷時の形状に幾分難がある。このため、 $\eta_i > 0.6$ の領域では折返し点のみを η_i としたのが図-3(b)であり、サイクルビリティおよびそこに至るまでの経路を良く表している。また、同様な方法で、初期せん断応力が作用している状態からの経路も図-4に示している。なお、ここでは係数Aを一定としているが、式(1)と同様にWs等の関数として取り扱うことが望ましいと考えられる。

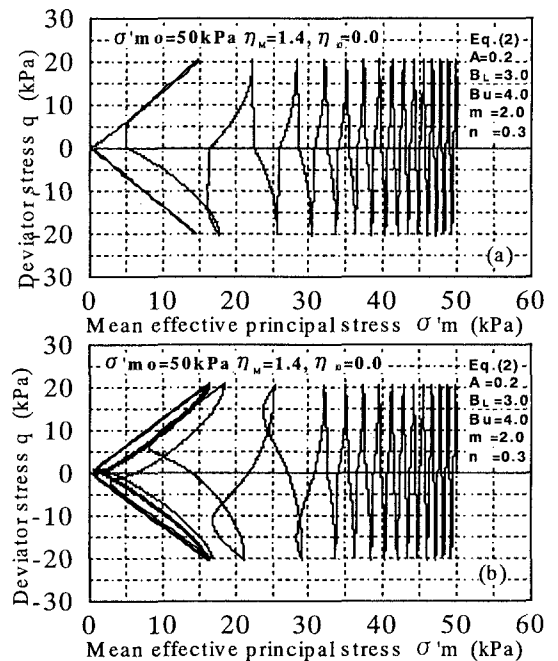


図-3 有効応力経路(式(2))(等方応力状態)

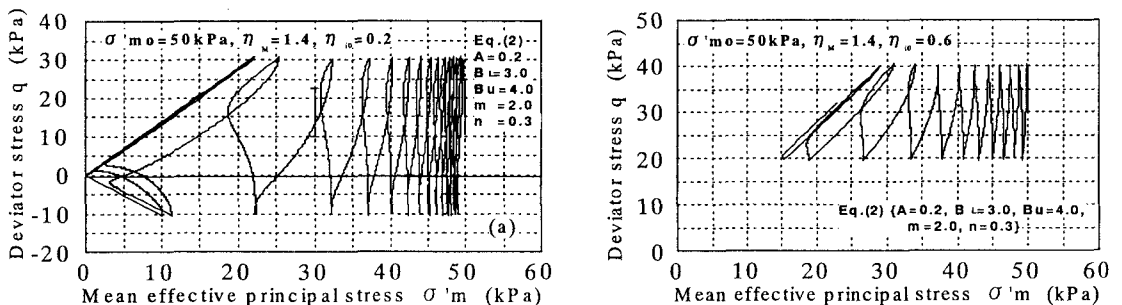


図-4 有効応力経路(式(2))(初期せん断応力作用状態)

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.