

Ⅲ-159

広範囲の密度および拘束応力下にある砂の非排水試験の解析

愛 知 県 正会員 ○武馬 雅志

名古屋工業大学 〃 中井 照夫

日 本 工 営 赤堀 智幸

前報¹⁾では、従来の等方、移動硬化型の砂の弾塑性構成モデル(t_y -sand model²⁾, kinematic t_y -sand model³⁾)を、広範囲の密度および拘束応力下にある砂の挙動をシミュレートできる構成モデルに拡張し、密度を変えた砂の圧縮、排水せん断試験結果を用いてその適用性を検証した。本報では、異なる密度、拘束応力下にある砂の単調および繰返し非排水(等体積)せん断試験を解析し、すでに報告されている実測値^{4)等}と比較することによりモデルの妥当性を検証する。

1. 拡張した砂の弾塑性構成モデルの特徴

解析に用いるモデルは、①力学量 t_y を用いることにより変形・強度特性に及ぼす中間主応力の影響を、②塑性ひずみ増分を t_y 空間で流れ則を満足する成分と等方的な圧縮成分の和で与えることにより塑性流動方向の応力経路依存性を、③応力比 x_y 空間で移動硬化則を考えることにより繰返し載荷時や主応力軸回転時の砂の応力誘導異方性を、④構造異方性テンソル b_y ⁵⁾ を応力比テンソル x_y に導入することにより、固有異方性が砂の応力・ひずみ挙動に与える影響を、⑤橋口の方法⁶⁾を参考に、塑性ひずみの大きさを決める係数 Λ の中で密度、拘束応力の大きさを考慮することで、拘束応力や間隙比が砂の変形・強度特性に与える影響(硬化・軟化特性や強度の密度、拘束応力依存性、ひずみ硬化中の正のダイレイタンシー特性)を同じ土質パラメーターを用いて評価できる構成モデルである。

2. 解析結果と実測値の比較

図-1(a),(b)には同じ初期間隙比で初期拘束応力を変えた場合の非排水三軸圧縮試験の解析結果(有効応力経路と軸ひずみ(ϵ_a)~偏差応力(q)関係)を示す。図-2(a),(b)には、同じ拘束応力で初期間隙比を変えた時の解析結果を同様の整理で表している。また図-3,4にはVerdugo・石原⁴⁾が行った、豊浦砂を用いたこれらの解析に対応する実験結果を示す。ゆるい砂ほどせん断に伴う有効平均応力(p')の減少が顕著になるが、せん断の最終状態では間隙比、拘束応力の大きさによらず限界状態(CSL)に到達するといった実測値に見られる傾向を含めて解析結果は実測値の種々の傾向を妥当に表現できているのがわかる。

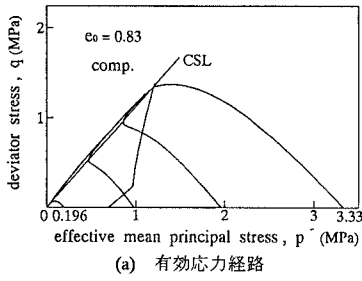
次に図-5(a),(b)には等方性試料を用いた非排水三軸圧縮、伸張せん断試験から得られる有効応力経路と応力・ひずみ関係の解析結果を示す。これに対して、図-6(a),(b)では異方性砂について同様の整理を行っている。特に(a)に示す有効応力経路において、等方性砂よりも異方性砂の方が伸張側で相対的に有効平均主応力(p')の減少が大きくなり、また圧縮側では小さくなる実測値の傾向⁷⁾を本モデルは評価できる。これらの固有異方性による p' の変化の差異は、排水条件下での異方性試料の三軸せん断試験において、せん断時にみられるダイレイタンシー量の違いに対応している。

図-7(a)~(c)はやや密詰め豊浦砂($e_0=0.679$)試料を用い、有効拘束応力 $p_0=196\text{kPa}$ から等体積条件でせん断繰返しをおこなった試験の有効応力経路、軸ひずみ(ϵ_a)~主応力比(σ_1/σ_3)、軸ひずみ(ϵ_a)~偏差応力(q)関係について実測値(プロット)と実験に合わせて行った解析結果を示す。実測値にみられる応力反転後の有効応力の極端な減少を含め、これら3つの関係において解析結果は実測値にみられる傾向を妥当に評価しているといえる。なお、解析結果が1cycle目で終わっているのは、伸張側から圧縮側に反転する際に有効平均応力(p)が0となったためである。

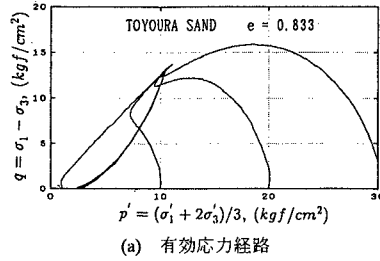
3. 解析に用いた土質パラメーター

解析で用いた豊浦砂の土質パラメーターは $\lambda=0.185$, $\kappa=0.055$, $N=1.01$, $m=3$, $\phi'_{CS}=28.3^\circ$, $\alpha=0.85$, $a=0.7$, $l=0.25$, $\xi=0.25$ である。ここで、 N は正規状態の基準時($p_0=98\text{kPa}$)での間隙比である。従来のモデル^{2),3)}と異なり、間隙比や拘束応力によらない唯一的な土質パラメーターである。

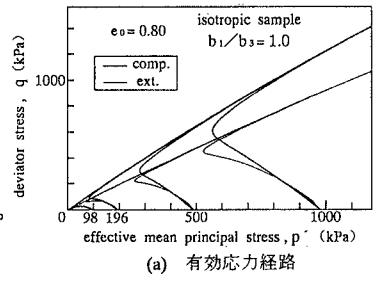
参考文献 1)武馬・中井・赤堀(1995): 第30回土質工学研究発表会, 2)Nakai(1989): Soils and Foundations, No.29(1), pp.119-137. 3)Nakai, Fujii and Taki(1989): Proc. NUMOG III, pp.36-45. 4)R. Verdugo and K. Ishihara(1991): International Symposium on Natural Disaster Reduction and Civil Engineering, JSCE-OSAKA, pp.287-296. 5)Nakai and Funada(1992): Proc. NUMOG IV, pp.63-72. 6)K. Hashiguchi(1980): J. Appl. Mech., ASME, Vol.102, No.2, pp.266-272. 7)上原,石原,吉嶺(1994): 第29回土質工学研究発表会, pp.391-394.



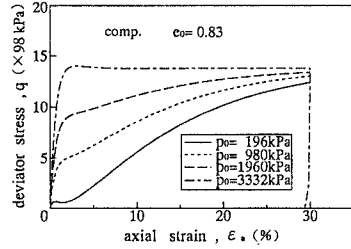
(a) 有効応力経路



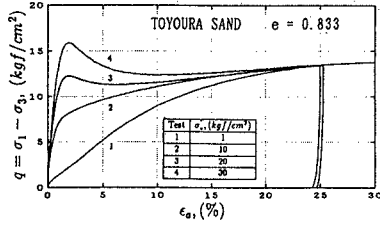
(a) 有効応力経路



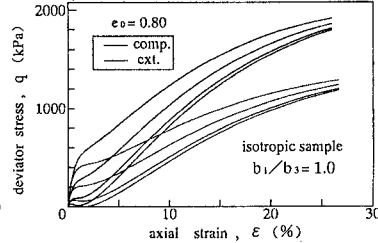
(a) 有効応力経路



(b) q ~ εa 関係



(b) q ~ εa 関係

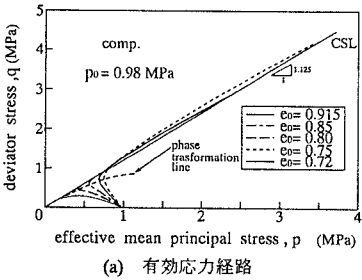


(b) q ~ εa 関係

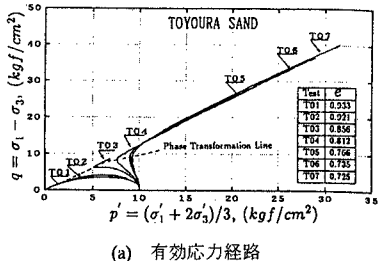
図-1 初期拘束応力の異なる砂の非排水三軸圧縮試験の解析結果

図-3 初期間隙比が同じ砂の非排水三軸圧縮試験の実測値(Verdugo・石原より引用)

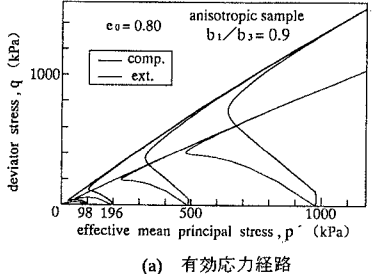
図-5 等方性試料による非排水三軸圧縮、伸張試験の解析結果



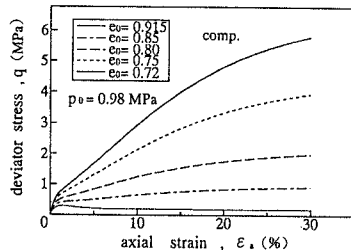
(a) 有効応力経路



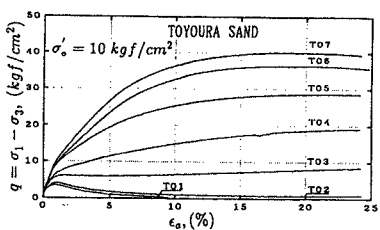
(a) 有効応力経路



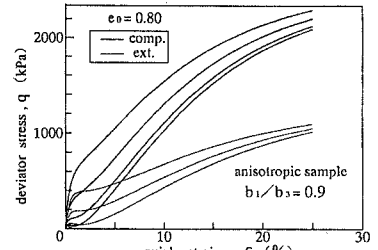
(a) 有効応力経路



(b) q ~ εa 関係



(b) q ~ εa 関係

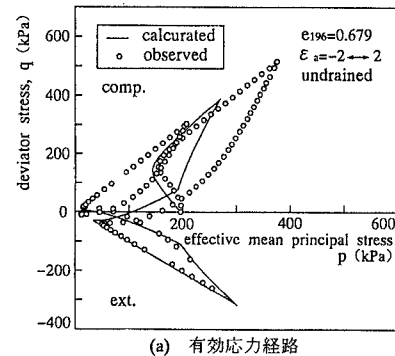


(b) q ~ εa 関係

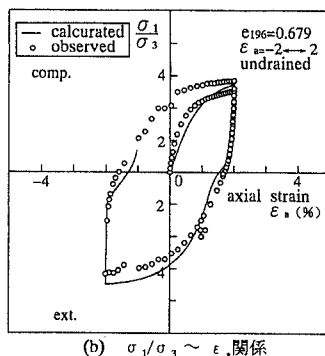
図-2 初期間隙比の異なる砂の非排水三軸圧縮試験の解析結果

図-4 初期拘束応力が同じ砂の非排水三軸圧縮試験の実測値(Verdugo・石原より引用)

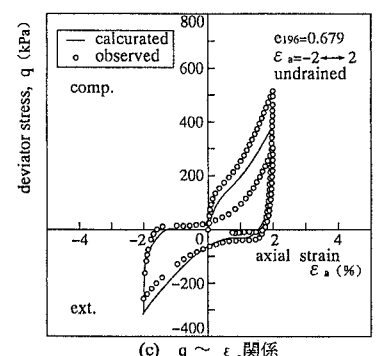
図-6 異方性試料による非排水三軸圧縮、伸張試験の解析結果



(a) 有効応力経路



(b) σ1/σ3 ~ εa 関係



(c) q ~ εa 関係

図-7 やや密詰め砂の等体積繰返しせん断時の実測値および解析結果