

種々の応力経路下の砂の弾塑性挙動について

名古屋工業大学 中井 照夫 名古屋工業大学大学院 ○藤井 次郎
 名古屋工業大学大学院 瀧 治雄 名古屋工業大学学部生 市川 衛

軸圧 σ_a =側圧 $\sigma_r=196\text{kN/m}^2$ の等方応力状態から直線応力経路となる豊浦砂($e_0 \approx 0.68$)の種々の三軸圧縮および伸張試験を行い、その実験結果をすでに提案している砂の弾塑性モデル(t_{ij} -sand model¹⁾)の解析結果と比較することにより t_{ij} -sand modelの適用性について検討する。

1. 試験の応力経路と t_{ij} -sand modelの特徴

図-1に示すように、実験の応力経路はO点($\sigma_a = \sigma_r = 196\text{kN/m}^2$)からA~I点に向かう直線で与えられる。ここに、A~E点は三軸圧縮条件下の応力点を、F~I点は三軸伸張条件下の応力点を表している。なお、経路OA, OC, OF, OGの実験は破壊応力比($R_f = (\sigma_1/\sigma_3)_f = 4.7$)まで行われず $R=4$ の応力状態で止められている。

解析に用いた t_{ij} -sand model¹⁾は1)土の変形・強度特性におよぼす中間主応力の影響や2)塑性ひずみ増分方向におよぼす応力経路の影響を妥当に評価できる等方硬化型の弾塑性モデルである。ここに、1)の中間主応力の影響は力学量 t_{ij} を用いることにより表現でき、2)の応力経路の影響は単一の降伏曲面と硬化パラメータを有するモデルであるにもかかわらず塑性ひずみ増分を2つの成分に分けることにより表現できる。したがって、その土質パラメータ(表-1参照)は等方圧密荷重-除荷-再荷荷後の側圧一定三軸圧縮試験より全て決定することができる。なお、図-1の破線で示す曲線は初期(応力状態がO点にある時)の降伏曲面を表す。

2. 実測値と解析結果の比較

図-2, 3は上述の三軸圧縮および伸張試験の比較を主応力比(σ_1/σ_3)~主ひずみ(ϵ_1, ϵ_3)~体積ひずみ(ϵ_v)関係で示したものである。図中、プロットが実測値を、実線が t_{ij} -sand modelによる解析結果を示している。両図より、経路OEを除く応力経路下で解析結果は三軸圧縮・伸張の差異や、応力経路の違いによる応力比-ひずみ曲線およびダイレイタンス特性の差異をよく表現していることがわかる。なお、提案モデルが粘土のモデル(t_{ij} -clay model²⁾)と同様の等方硬化型のモデルであるにもかかわらず正・負の両ダイレイタンス特性が説明できているのは、粘土のモデルではひずみ硬化パラメータに塑性体積ひずみ ϵ_v^p を用いているのに対し、砂のモデルでは力学量 t_{ij} に基づいた“塑性仕事相当量”($W^{*p} = \int t_{ij} \cdot d\epsilon_{ij}^p$)をひずみ硬化パラメータとして使っていることによる。さて、図-2(e)の経路OEではダイレイタンス関係はよい対応を示すものの、主応力比~主ひずみ関係の解析結果は主応力比が約3.5以下の所でひずみの発生を過小評価する。これは図-1の応力経路図からわかるように、本モデルのような関連流動則モデルではパラメータが少なく決めやすいという長所をもっているが、軸圧・側圧共減少するような経路では応力経路の大部分が弾性域に入るため実測値に比べひずみを小さく算定することによる。ところで、図-3はこの結果を縦軸に主応力差 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ をとり整理したものであるが、この場合ひずみが大きく発生しはじめる q の値はよい対応を示していることがわかる。つまり、 q の大きさは図-1において応力点と $R=1$ の直線の間の距離に対応するが、OEのような応力経路では図-1からもわかるように応力経路の大部分が主応力比の小さな領域になり破壊近くで主応力比が急増することになるため、図-2(e)の主応力比の整理では両者の対応が悪くても主応力差(せん断応力の大きさ)でみればそれほど顕著な差としてはみられないことになる。

謝辞 経路OD, OEの実験は本学松岡元教授の御助言によるものである。御助言いただいた同教授に感謝致します。

文献 1)Nakai(1987):Proc. Constitutive laws for Eng. Materials, Vol.1, pp.429-436.

2)Nakai & Matsuoka(1986):Soils and Foundations, Vol.26, No.3, pp.81-98.

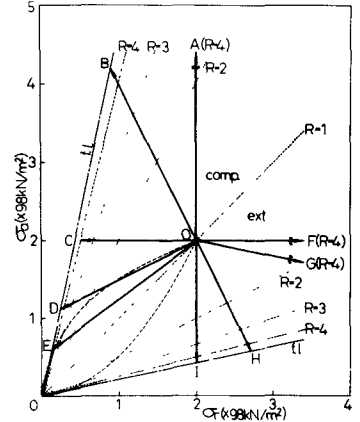


図-1 応力経路図

C_t	0.84×10^{-2}
C_e	0.60×10^{-2}
m	0.3
R_f	4.7
D_f	-0.60
α	0.85

表-1 豊浦砂の土質パラメータ

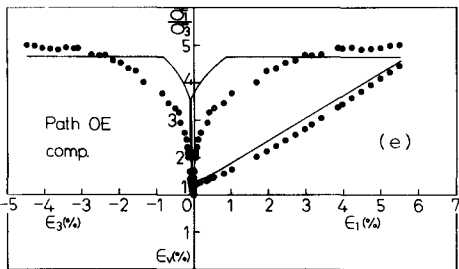
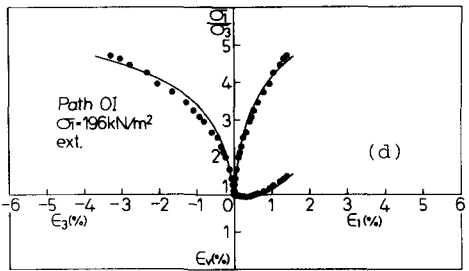
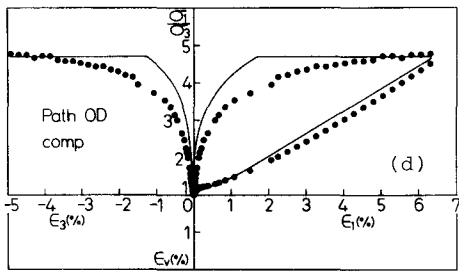
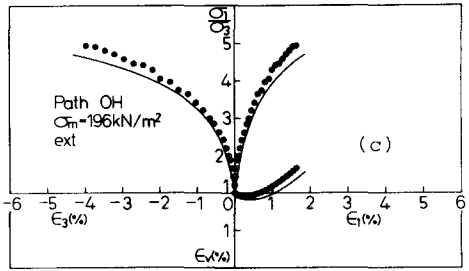
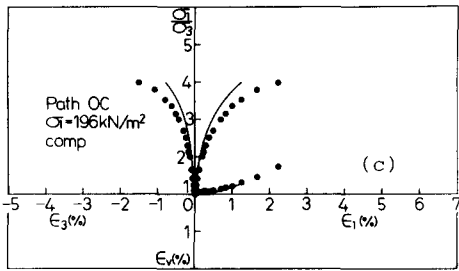
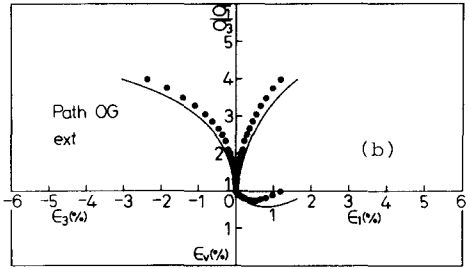
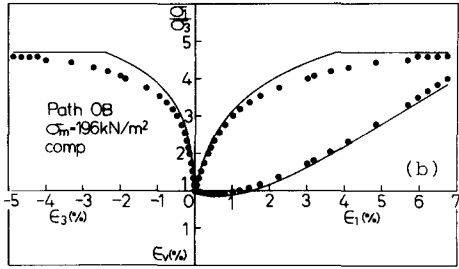
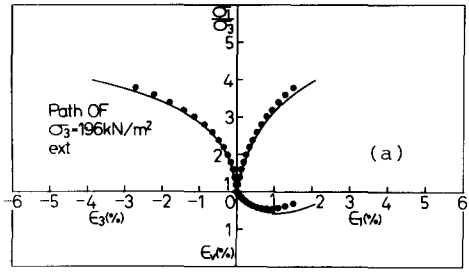
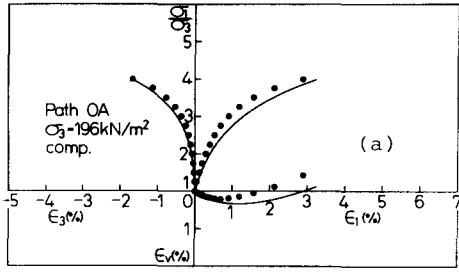


図-3 三軸伸張試験の主応力比～主ひずみ～体積ひずみ関係

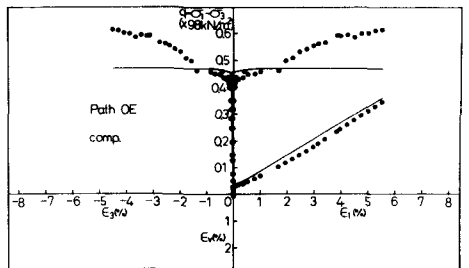


図-2 三軸圧縮試験の主応力比～主ひずみ～体積ひずみ関係

図-4 経路OEの三軸圧縮試験の主応力差～主ひずみ～体積ひずみ関係