

III-5

ひずみ増分方向の応力経路依存性を考慮した砂の弾塑性構成式 (その2)

— 提案式の実験データによる検証 —

名古屋工業大学 学生員 ○高柳 誠

正員

中井照夫

(株)三井建設(元名工大学部生)塩見 秀樹

岡山県(元名工大学部生)江原直樹

(株)東急建設()竹中 仁

本概要集別報で誘導した砂の弾塑性構成式は次の4つの特長をもっている。①力学的量を用いているため三次元応力経路下の土の挙動を同一パラメータで説明出来る。②ひずみ硬化パラメータとして $W^p = \int \sigma_{ij} d\epsilon_{ij}^p$ を使っているので正のダイレイタンス挙動が説明出来る。③土の塑性ひずみ増分が等方圧縮成分とダイレイタンス成分に分離しているのでひずみ増分方向の応力経路依存性が表現出来る。④基本的なパラメータは等方圧縮試験結果と側圧一定三軸圧縮試験の破壊応力比および破壊時のひずみ増分比より決定される。ここでは、この構成モデルの適用性を、豊浦砂のゆる詰め試料($e_0 \approx 0.83$) および密詰め試料($e_0 \approx 0.68$)の三軸圧縮、伸張試験結果ならびに三主応力制御試験結果を用いて検討する。

1. 構成式の土質パラメータ

表-1. 土質パラメータ

	loose	dense
C_t	1.30 %	0.84 %
C_e	0.77 %	0.60 %
m	0.3	0.3
R_f	3.8	4.7
D_f	-0.26	-0.60
α	0.85	0.85

表-1に、ゆる詰めおよび密詰め砂の土質パラメータをまとめるが、(C_t, C_e, m)は、等方圧縮試験(別報図-1 参照)から、(R_f, D_f)は通常の三軸圧縮試験(別報図-3 参照)から決められる。また、 α (別報図-2の直線の勾配)は粘土の構成式の場合同様 K_0 値あるいは破壊時ひずみ等を利用して決定するが実測値に基づけば、間隙比の影響はあまりうけないようである。

2. 実験データによる検証

図-1, 2は、密詰め砂の平均主応力(σ_m)一定試験の実測値と解析結果を示す。本報告ではプロットは実測値を曲線は解析結果を表わす。解析結果は圧縮、伸張両条件下の砂の応力・ひずみ関係の差異だけでなく、平均主応力が大きくなるに従いひずみが大きくなる実測値の特性もよく表現している。また、図-3は、

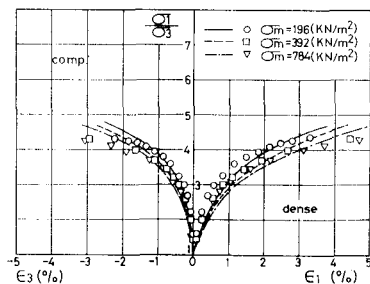


図-1. 主応力比-主ひずみ関係
(三軸圧縮条件)

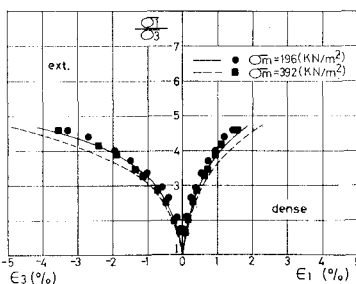


図-2. 主応力比-主ひずみ関係
(三軸伸張条件)

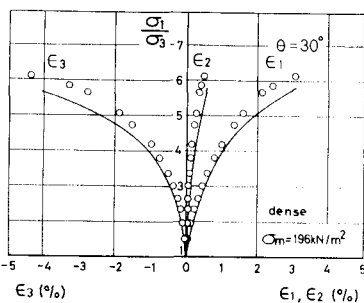


図-3. 主応力比-主ひずみ関係
($\theta = 30^\circ$)

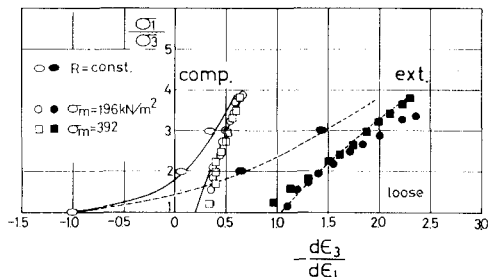


図-4. 主応力比-主ひずみ増分比関係(ゆる詰め)

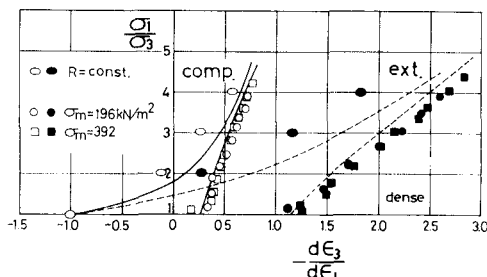


図-5. 主応力比-主ひずみ増分比関係(密詰め)

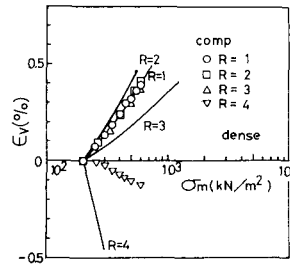
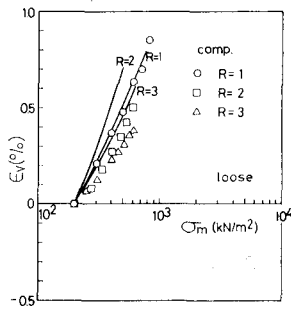


図-7. 体積ひずみ-平均

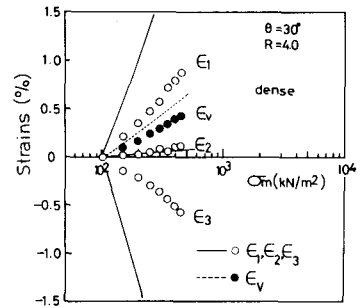


図-8. 主ひずみ体積ひずみ-平均主応力関係

図-6. 体積ひずみ-平均主応力関係

主応力関係

$\theta=30^\circ$ (θ : 応力経路上の方向からなす角度)なる三主応力制御試験 ($\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ なる関係がある)の結果を示しているが、ここでも実測値と解析値の間に良い対応がみられる。

図-4, 5は、ゆる詰めおよび密詰め砂の平均主応力-一定試験結果と主応力比 ($R = \sigma_1/\sigma_3$)-一定試験結果を主応力比-主ひずみ増分比関係で整理したものである。ここに、白いプロットおよび実線は三軸圧縮条件下の結果を、黒いプロットおよび破線は三軸伸張条件下の結果を示すが、解析結果は圧縮、伸張条件の違いだけでなく、ひずみ増分方向の応力経路依存性をよく表わしている。図-6, 7は三軸圧縮条件下の主応力比-一定試験の $E_v - \sigma_m$ 関係を、図-8は $\theta=30^\circ$ 条件下の主応力比-一定試験の $E_1, E_2, E_3, E_v - \sigma_m$ 関係を表わす。多少極端ではあるが解析結果は異方圧密中のダイレイタンス特性も表現出来ているようである。

図-9, 10は、三軸圧縮および伸張条件下の最大主応力-一定試験、平均主応力-一定試験、最小主応力-一定試験、および $\sigma_1 = \sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$ から $\sigma_1 = 16 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_3 = 4 \text{ kg/cm}^2$ まで直線的に変化する応力経路下の試験 (図-9の---, Δ 印)の結果を表わすが、ここでも応力経路の違いによるダイレイタンス特性の差異を解析結果はよく表現している。

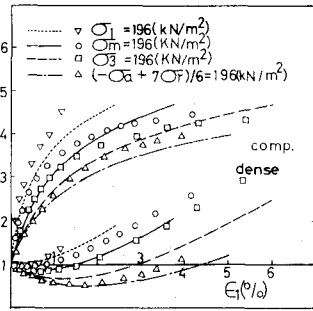


図-9. 主応力比-最大主ひずみ-体積ひずみ関係

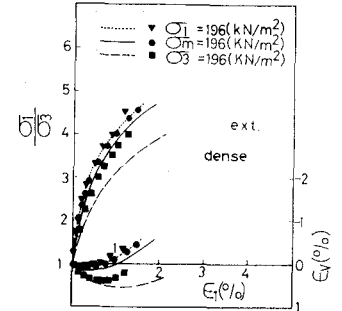


図-10. 主応力比-最大主ひずみ-体積ひずみ関係

最後に図-12は図-11に示す主応力空間で応力状態が $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ と変化した時の3主ひずみの変化を示している (応力状態は図-12左端に示す)。三主応力が任意に変化した時も解析値は、ほぼ実測値の傾向を説明しているのがわかる。

以上、別報¹⁾の弾塑性構成式(主な特長は本報告のまえがきに述べている)は、種々の応力経路下の砂の変形挙動を妥当に解析出来ることを実験データに基づいて検証した。

謝辞 日頃御指導いただいている本学松岡元助教授に感謝致します。

文献 1) 中井・松岡(1984): ひずみ増分方向の応力経路依存性を考慮した砂の弾塑性構成式(その1)、本講演概要集

2) 松岡・中井(1974): Proc. JSCE, No. 232, pp. 59-70.

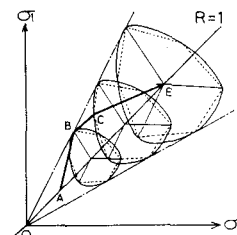


図-11. 応力経路 (図中、破線は Mohr-Coulomb 規準、実線は SMP 規準²⁾)

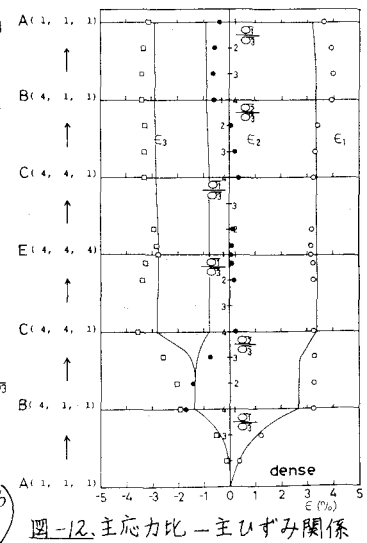


図-12. 主応力比-主ひずみ関係