

弾塑性構成式の鳥取砂丘砂への適用性について

鳥取大学工学部 正委員 清水正喜
○鳥取大学大学院 学生員 平岩竜彦

1. はじめに

模型実験を数値解析によりシミュレートする際、用いた土の挙動を適切に表現できる構成式を適用することが重要である。ここでは、鳥取砂丘砂について弾塑性構成式の適用性を検討する。三軸試験の結果から定めたパラメーターを用いて計算した応力～ひずみ挙動を実際の挙動と比較し、とり上げた構成式の適用性について検討する。

2. 実験方法

試料は、不純物を取り除き乾燥させた鳥取砂丘産の砂である。その物理定数を表1に示す。供試体は、密詰め(相対密度 $D_r=80\%$)、ゆる詰め($D_r=40\%$)になるように成形モールドに砂を詰め凍結させた直径5cm、高さ12.5cmの砂円柱のものをを用いた。

ひずみ制御式圧密排水、軸圧増加、側圧一定三軸試験を行なった。軸ひずみ速度は毎分0.6%とし、側圧は1.0、2.0、3.0(kgf/cm²)について行なった。三軸圧縮試験に先立ってゴム膜貫入量試験を行ないゴム膜貫入補正量を求めた。

3. パラメーター

三軸圧縮試験によって求めたパラメーターを決定した。結果を表2に示す。構成モデルは、非線形型弾性ひずみ硬化塑性のタイプである。塑性は西・江刺モデル¹⁾と同じである。 λ 、 κ は、それぞれ等方圧密試験より得られた $e \sim \log \sigma_m$ 曲線の処女載荷時、除荷時の傾きである。 K は体積弾性係数で、 $K = (1 + e_0) \sigma_{m0} / \kappa$ より求めた。 G はせん断弾性係数で、 $(\sigma_a - \sigma_r) \sim 2(e_a - e_r)/3$ 曲線の初期接線係数である。 E はヤング率で、 $E = 9KG / (3K + G)$ より求め、 ν はポアソン比で、 $\nu = (3K - 2G) / (3K + G)$ より求めた。 ϕ_r は破壊時に発揮されている内部摩擦角。 ϕ_m はダイレイタンシーによる体積最大圧縮時に発揮されている内部摩擦角で、 ϕ_r と同様にしてダイレイタンシーによる体積最大圧縮時の応力より求めた。ダイレイタンシーによる体積ひずみ v_d を $v_d = v - v_c$ として求めた。ここに、 v は全体の体積ひずみで、 v_c は圧密による体積ひずみである。 G' 、 $M(b)$ は $\tau_{oct} / \sigma_m \sim r_{oct}^P$ 関係を双曲線近似(式(1))するときを使うパラメーターである。

$$\left(\frac{\tau_{oct}}{\sigma_m} \right)_r = \frac{M_r(b) G' r_{oct}^P}{M_r(b) + G' r_{oct}^P} \quad (1)$$

これより、縦軸に $r_{oct}^P / (\tau_{oct} / \sigma_m)$ 、横軸に r_{oct}^P をとりプロットしたものを直線近似し、その切辺と傾きより G' 、 $M_r(b)$ を求めた。

G' は $\tau_{oct} / \sigma_m \sim r_{oct}^P$ 曲線の初期接線係数であり、 $M_r(b)$ は、破壊時の有効応力比に相当する。

4. 弾塑性構成式の適用性について 表2 パラメーター

構成モデルによる計算値と実験値との比較を行なう。結果を図1、2、3、4に示す。計算値は実線で実験値はプロットである。図1の $(\sigma_a - \sigma_r) \sim (\sigma_a - \sigma_r) \sim r_{oct}^P$ 関係については、

表1 物理定数

比重	2.700
最大空隙比	0.888
最小空隙比	0.579
最大乾燥密度(kgf/cm ³)	1.710
最小乾燥密度(kgf/cm ³)	1.430

	σ_a	G	K	E	ν	λ	κ	G'	ϕ_r	ϕ_m	e
普通の砂	1.0	107	1561	314	0.467	0.00538	0.00105	156	37.0°	27.9°	0.638
	2.0	157	3121	463	0.475			144			0.635
	3.0	269	4680	792	0.472			101			0.633
ゆる目の砂	1.0	102	1562	299	0.468	0.00849	0.00113	81	34.9°	29.6°	0.760
	2.0	181	3123	533	0.472			77			0.756
	3.0	212	4683	627	0.478			74			0.749

単位は kgf/cm²

ピーク付近については必ずしも精度が良いとはいえないが、初期部分については精度良く表わしている。また、図2のゆる詰めの場合については全体的に精度良く表わしている。したがって、せん断初期においては、鳥取砂丘砂には西・江刺モデルは適用できる。図3、4の $\varepsilon_s \sim v$ 関係は、密詰め、ゆる詰めの場合ともに計算値は実験値をよく再現しているとはいえない。これより、このモデルは圧縮を過大評価する傾向がある。体積変化挙動には ϕ_m が関係しているので、 ϕ_m に補正係数 α をかけて理論を改良した。実際に α を変えて計算した結果を図5に示す。図5に密詰めの場合、 $\sigma_{m0}=1.0\text{kgf/cm}^2$ の時 $\alpha=0.92$ 、 $\sigma_{m0}=2.0$ 2.0kgf/cm^2 の時 $\alpha=0.96$ 、 $\sigma_{m0}=3.0\text{kgf/cm}^2$ の時 $\alpha=1.0$ としたときの計算値と実験値を比較している。図4と比べてみると少し精度が良くなっているが、実験値の複雑な挙動を表現できないことがわかる。なお、密詰めの場合は、 α を変えても精度は良くならなかった。

5. おわりに

本研究でとりあげたモデルは、せん断変形～せん断応力の関係を比較的良く説明できるが、体積変化挙動はよく説明できない。

参考文献

- 1) 西・江刺：軟弱地盤における基礎の支持力と変形(その1)
～弾塑性論に基づく砂の応力～ひずみ関係式～、電力中央
研究所報告 376041 昭和52年6月

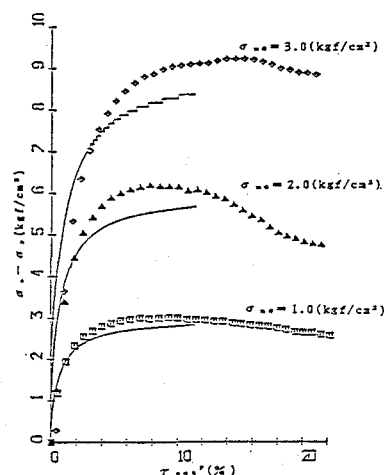


図1 $\sigma_a - \sigma_r \sim \gamma_{oct}^P$ 関係(密詰め)

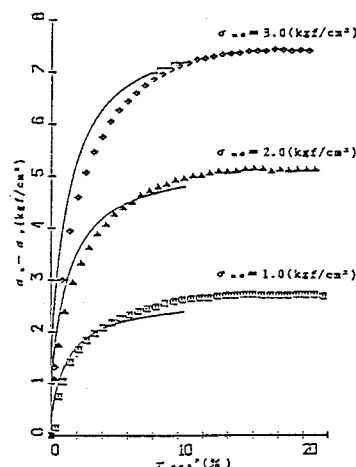


図2 $\sigma_a - \sigma_r \sim \gamma_{oct}^P$ 関係(ゆる詰め)

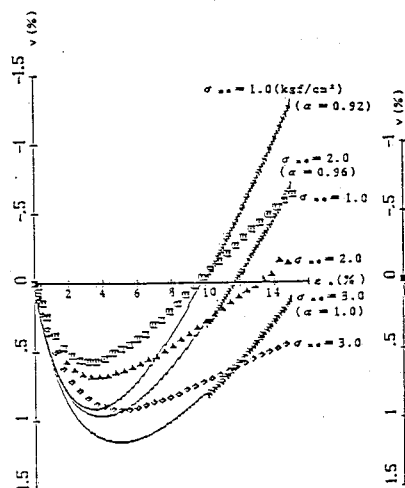


図5 $v \sim \varepsilon_s$ 関係(ゆる詰め・改良)

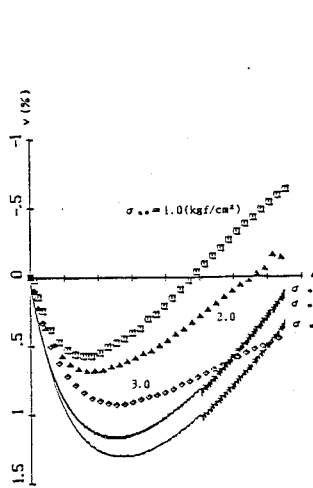


図4 $v \sim \varepsilon_s$ 関係(ゆる詰め)

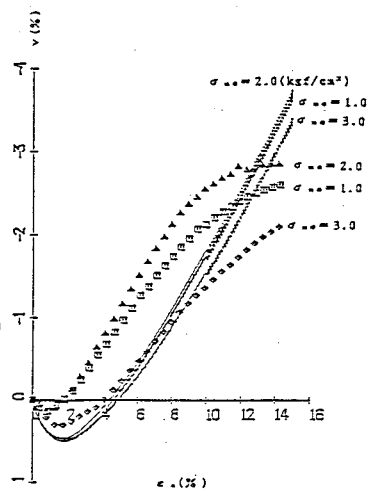


図3 $v \sim \varepsilon_s$ 関係(密詰め)