

広島大学 工学部 正 員 網 干 寿夫
東洋建設(株) 正 員 和 田 真郷
広島大学大学院 学生員 ○藤井 広記

1 まえがき

支持力の不足する軟弱地盤上に盛土などの構造物を築造する場合、軟弱地盤中に締固め砂杭を打設し複合地盤とすることによって、必要な支持力を得ようとするサンドコンパクションパイル工法がある。こうした複合地盤の力学的特性や変形及び支持力のメカニズムは未だ明らかにされていない。そこで本研究は、単純化した条件下にある複合円柱供試体を対象とし、粘土の応力～ひずみ関係には修正cam-clayモデルを、砂の応力～ひずみ関係には砂の排水三軸試験より得られた結果をそのままモデル化したものを用い、有限要素法によって解析し、その適用性を検討した。

2 解析方法

解析は、弾塑性有限要素法を用いて行なった。また、大型三軸圧密・せん断試験を解析の対象としているので、解析には軸対称要素を用い、図-1に示すような要素分割を行なった。実験ではペDESTALを用いて軸方向力を加えているため、軸ひずみが半径方向に変化しない等ひずみ条件となっている。また、ペDESTALと土要素の間に相互のすべりを表現できるジョイント要素を設けた。

粘土の応力～ひずみ関係には、修正cam-clayモデルを用い、表-1に示すような材料定数を使用した。

砂の応力～ひずみ関係には、砂の排水三軸試験より得られた応力比 η とせん断ひずみ γ の関係を1本の双曲線によって近似できるものと評価し、近似式として

$$\eta = \frac{1}{1/G_0\gamma + 1/\eta_f}$$

G_0 $\gamma=0$ のときの初期接線変形係数

η_f $\gamma \rightarrow \infty$ のときの η の値

を用いた。また、その際の体積ひずみ～せん断ひずみの関係を、体積ひずみが正(圧縮)の範囲を3次曲線に、体積ひずみが負(膨張)となるところを直線で近似した。

すなわち

$$v = C_0 + C_1\gamma + C_2\gamma^2 + C_3\gamma^3 \quad v \geq 0$$

$$v = D_0 + D_1\gamma \quad v \leq 0$$

近似式に用いた定数を表-2に示す。

3 解析結果と考察

実験では、 K_0 -圧密が容易でないため近似的に $K_0=0.5$ と考え、図-2に示すように $\sigma_1=1.8 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_3=0.9 \text{ kgf/cm}^2$ の応力状態まで段階的に圧密した。このように段

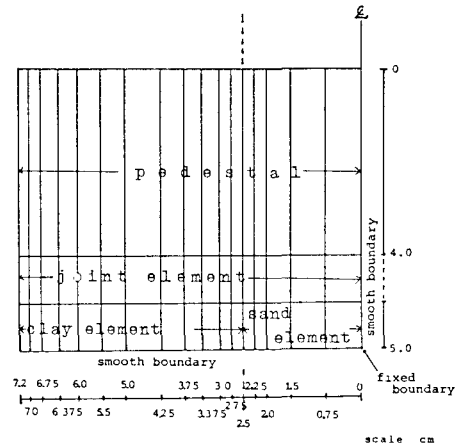


図-1 要素分割図

表-1 粘土の材料定数

λ	0.2122	e_0	1.637
κ	0.0300	k_s	1.0
M	1.49	k_{sc}	0.5642
ν	0.361	$k_v(\text{cm/sec})$	7.9×10^{-6}
$\sigma_{vs}(\text{kgf/cm}^2)$	0.1	$k_v(\text{cm/sec})$	7.9×10^{-6}
$\sigma_{vc}(\text{kgf/cm}^2)$	0.28	λ_s	0.377
T_t	0.611		

表-2 砂の材料定数

	$\gamma_d=1.55 \text{ kgf/cm}^2$	$\gamma_d=1.65 \text{ kgf/cm}^2$
G_0	7.2468	9.1307
η_f	1.7825	1.8245
C_1	-0.00246	0.05286
C_2	-0.2747	-0.5663
C_3	0.5969	0.7617
D_0	3.5089	2.5020
D_1	-0.6070	-0.6303
$T(v=0)$	2.132	1.577

階载荷圧密を行なった供試体をその後非排水状態にし、ひずみ制御で圧縮試験を行なった。また圧密開始時の砂の乾燥単位体積重量がそれぞれ 1.55、1.65 t/m³ となるように砂柱の初期密度を変えた。以下砂柱密度が 1.55、1.65 t/m³ のものをそれぞれ砂柱密度小、大と呼ぶ。

解析は、それぞれの砂柱密度について、段階载荷圧密過程と非排水圧縮過程を連続的に行なっているが、紙面の都合上、ここでは、段階载荷圧密過程に限って考察する。

図-3 は段階载荷圧密過程の砂柱密度小の場合の砂と粘土の鉛直応力及び応力分担比と载荷重関係である。この図をみると、多少ばらつきがみられるものの砂、粘土ともに比較的良く一致しており、比較的砂柱密度が小さい場合はこの解析方法で十分推定できると思われる。

図-4 は段階载荷圧密過程の砂柱密度大の場合の砂と粘土の鉛直応力及び応力分担比と载荷重関係である。図をみると、粘土に関しては、多少ばらついてはいるものの比較的良く一致しているように思われる。しかし、砂に関しては、実験値では载荷（圧密）による応力増加、応力集中による破壊、再締固めによる応力増加が現われているのに対し計算値では、定性的には、その傾向を表しているものの定量的には、実験値が計算値の約2倍になっている。これらの違いが生じた原因のひとつに、解析で砂柱の剛性を正しく評価できなかったことが挙げられる。すなわち、解析では実際の砂柱より剛性を小さく評価したため、砂柱への応力集中の度合いが小さくなり、計算値の鉛直応力が実験値より小さくなったと考えられる。

またこの他に、破壊後の砂柱が再び圧密されて密度が増大することを解析では、考慮できなかったことが挙げられる。すなわち、実験ではダイレイタンスーのため体積が増大して破壊した砂柱も、破壊後は圧密されて再び密な状態となり、剛性も回復する。しかし、解析では破壊後の密度の増加を考慮できないため、結果として、砂柱の剛性を小さく見積もり、計算値が小さくなったと思われる。

4 まとめ

1 複合円柱供試体に対する本研究で行なった解析は、実験によって得られた複合供試体の挙動をよく説明していた。
2 本解析法の問題として、破壊後の砂柱の再圧密および再締固めの影響を解析に反映できなかったことが挙げられ、砂柱密度の大きい供試体には適用しにくかった。

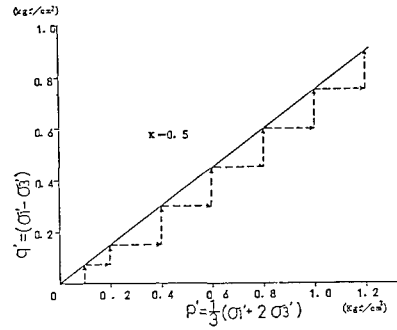


図-2 载荷過程

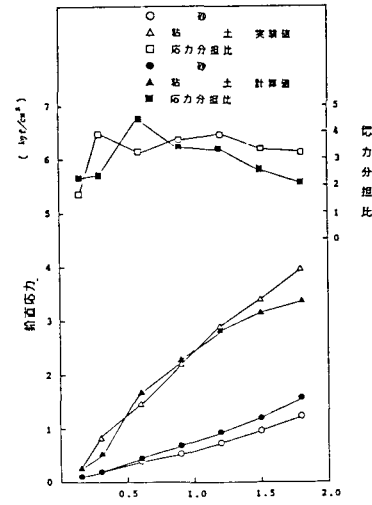


図-3 砂、粘土の鉛直応力、応力分担比～载荷重（砂柱密度小）

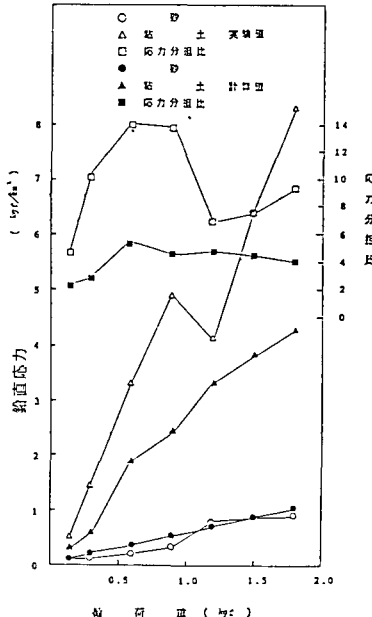


図-4 砂、粘土の鉛直応力、応力分担比～载荷重（砂柱密度大）