

東海大学 正員 稲田 信雄

〃 〃 赤石 勝

小野田セメント㈱ 〃 竹田 敏彦

1. まえがき 近年さまざまな軟弱地盤改良工法が研究されている。一般にパイル状に施工された深層混合処理工地盤は、半ば杭的機能を有する柱状の固結土と軟弱な未処理工土から成る複合地盤を形成する。そこで本報告は、複合地盤の強度特性の基礎的研究として、三軸圧縮条件下において未処理工土中にセメント安定処理工土を含む複合供試体について有限要素法を用いて非線形解析を行いその適用性を検討した。

2. 数値解析に用いた構成式の概要 本モデルは変数として、体積弾性係数(K)とせん断弾性係数(G)を選び各々を応力不変量あるいはヒズミ不変量の関数として表わす材料非線形モデルである。等方性材料では応力増分との関係を次のように示すことができる。^{1),2)}

$$\dot{P} = 3K\dot{e} \quad \text{--- ①} \quad \dot{S}_{ij} = 2G\dot{e}_{ij} \quad \text{--- ②} \quad \text{ここに、} P: \text{平均応力、} e: \text{平均ヒズミ、} S_{ij}: \text{偏差応力成分、} e_{ij}: \text{偏差ヒズミ成分}$$

K は四軸載荷に対して次式の様に平均ヒズミの2次関数として示される。

$$K = K_0 + K_1 e + K_2 e^2 \quad \text{--- ③} \quad K_0, K_1, K_2 \text{ は等方圧縮試験から求められるパラメーターである。} \quad G \text{ については、}$$

$$G = G_0 + \bar{r}_1 \sqrt{J_2} + r_1 P + r_2 P^2 \quad \text{--- ④} \quad \text{と示される。ここで } J_2 \text{ は偏差応力2次不変量、} G_0, \bar{r}_1, r_1, r_2 \text{ は三軸圧縮試験から決定されるパラメーターである。}$$

上記構成式と有限要素法を用いて三軸圧縮試験における未処理工土、セメント安定処理工土単体についてシミュレーションした後に複合供試体について解析を行った。

非線形応答解析には、剛性マトリックスのバンド性を利用した直接積分法を適用し、各ステップ毎に応力・ヒズミに対応した G と K を更新する。

3. 実験方法および試料

3.1 試料 実験に用いた試料の物理的性質を表~1

表~1 試料の物理的性質

Sample	G_s	$W_L(\%)$	I_p	Liq.	Clay _(%)	Silt _(%)	Sand _(%)
	2.64	112.0	61.0	10.2	47.0	38.4	14.6

に示す。安定処理工土としては普通ポルトランドセメントを $W/C = 50\%$ としたセメントミルクを用い、混合率 R を次のように表示した。

$$R = \frac{\text{セメントミルク重量}}{R \text{ で圧密後とり出した試料の重量}} \times 100$$

3.2 実験方法 初期圧密圧力 P_0 で等方圧密した未処理工土および未処理工土にセメントミルクを $R=6.3, 12.5\%$ 混合し、1週間水中養生した安定処理工土、未処理工土中心に直径2cmの孔を穿孔し、安定処理工土($R=6.3, 12.5\%$)を充填した後1週間水中養生した複合供試体(a)を各々直径5cm、高さ10cmに成形した後、圧密排水三軸圧縮試験を実施した。また複合供試体(a)の上部にビニールシートを置きその上に標準標準砂を高さ5cm載せた複合供試体(b)についても同様のせん断試験を実施した。

4. 実験結果と計算結果の比較

4.1 パラメーターの決定 図~1は未処理工土、安定処理工土、標準砂単体のせん断試験結果である。このせん断試験結果から解析モデルのパラメーターを決定すると次のようになる。

未処理工土 $G_0 = 1.68 \text{ kgf/cm}^2$, $\bar{r}_1 = -94.8$, $r_1 = 44.5$, $r_2 = -0.04 \text{ cm}^2/\text{kgf}$ セメント安定処理工土 ($R=6.3\%$) $G_0 = 5.03 \text{ kgf/cm}^2$, $\bar{r}_1 = -121.0$, $r_1 = 59.3$, $r_2 = -1.06 \text{ cm}^2/\text{kgf}$ セメント安定処理工土 ($R=12.5\%$) $G_0 = 336.0 \text{ kgf/cm}^2$, $\bar{r}_1 = -149.0$, $r_1 = 153.0$, $r_2 = -11.3 \text{ cm}^2/\text{kgf}$ 標準砂 (CD試験) ($e_0 \div 0.68$) $G_0 = 17.8 \text{ kgf/cm}^2$, $\bar{r}_1 = -1920$, $r_1 = 1910$, $r_2 = 26.7 \text{ cm}^2/\text{kgf}$

$K_0 = 85.26 \text{ kg/cm}^2$, $K_1 = 401.1 \text{ kg/cm}^2$, $K_2 = 946050.0$

4.2 セン断試験のシミュレーション 4.1で求めたパラメーターを用いて側圧 $\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$ でのセン断試験における応力 $\sim$ ひずみ関係の計算値と実験値を比較したのが図 ~ 2 である。未処理土、安定処理土($R=6.3, 12.5\%$)、砂それぞれ各試料とも実験値と計算値がかなり良く一致している。

図 ~ 3 は複合供試体(a)(b)の解析モデルについての主応力差 $\sigma_2 \sim$ 軸ひずみ ϵ_1 関係について、実験値と計算値を示したものである。 $R=6.3, 12.5\%$ といづれも実験値のほうが小さい値を示しているが、軸ひずみ 2% あたりまではほぼ良好一致を示している。同じ混合率の安定処理土のパイロを有する複合供試体であっても、上部パズタルと供試体との間に砂を置くことによって強度が増加することを示している。

図 ~ 4 は複合供試体(a)の要素内の応力経路を示したものである。均質な未処理土や安定処理土単体のセン断の場合、応力経路は直線で破壊線にタッチするが、複合供試体の場合はパイロ部に応力が集中するためパイロ部分は平均主応力の大きい所で、未処理土部分は平均主応力の小さい所で破壊線にタッチする。

図 ~ 5 は複合供試体(a)(b) (パイロ $R=12.5\%$)を側圧 2 kg/cm^2 でセン断した時の降伏領域のひかりを示したものである。複合供試体(b)ではパイロ部分から降伏が進むことは、複合供試体(a)と同じであるがパズタルの下に砂がある為、未処理土部分がパイロの降伏とともに均質的に進む。

5. むすび F.E.M解析結果は複合供試体のセン断挙動をまだ十分説明しうる段階ではないが、解析の手段としては期待できると思われる。

6. 参考文献

- 1) N.Radhakrishnan. TECHNICAL REPORT S-73-4. U.S.Army Engineer Waterway Experiment Station Soil and Payments Laboratory. May 1973
- 2) I.Nelson. Contract Report S-68-1. Report 2, July 1970.

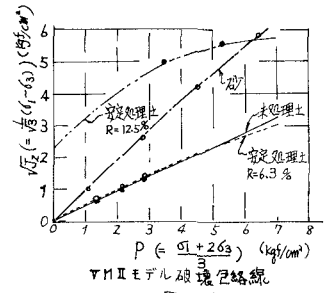


図 ~ 1

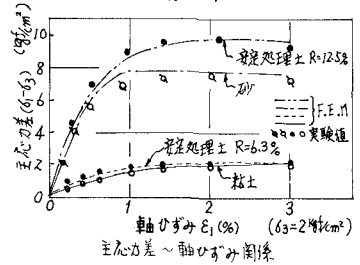


図 ~ 2

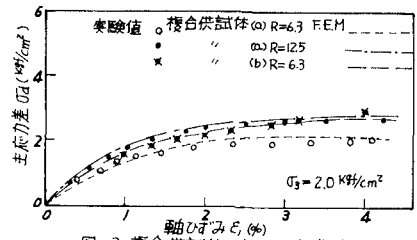


図 ~ 3 複合供試体の応力-ひずみ曲線

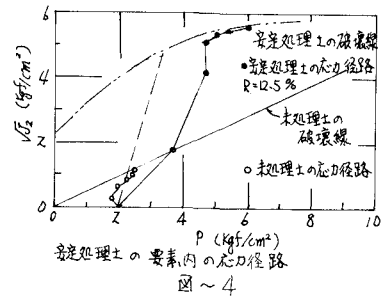
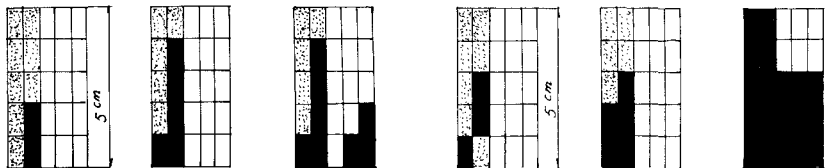


図 ~ 4



(a) 複合供試体 (a)

(b) 複合供試体 (b)

図 ~ 5 複合供試体の降伏領域のひかり

($R=12.5\%$) $\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$