

大阪大学工学部 正 松井 保
同 正〇 阿部信晴
大阪大学大学院 学 田村彰教

1. まえがき

土質工学においても境界値問題の解析手法として有限要素法は有力な方法である。特に土のような大きな応力の非線形性を示す材料に対してはほとんど唯一の方法であるが、土の構成式が確立されていない現状では土の基本特性に対する適切な配慮にもとづいた妥当な有限要素法が開発されていなのは当然のことと思われる。しかし、土の構成関係を追究する現在までの研究過程で明らかになった成果を有限要素法に導入して、その解析結果をこれまでの解析や模型実験結果と比較検討し、その有効性を検証することは、ただ単により近似度の高い解析値が得られるということにとどまらず、土の構成関係に関する研究に対して大きな示唆を与えるものと考えられる。したがって、本報告はケンブリッジ学派のエネルギー理論式を用いた弾塑性有限要素解析結果を従来から広く用いられている非線形弾性解及び実験結果と比較検討し、若干の考察を加えたものである。

2. 有限要素法

本報告で用いている有限要素法の詳細は紙面の都合で省略するが、大略は次のようなものである。

- 1) 微小変形理論にもとづく有限要素法である。
- 2) 飽和粘土地盤の非排水変形を取り扱うために、Christian等によって提案された有効応力の概念に基づく手法を弾塑性解析に拡張した有効応力解析法である。
- 3) 土の構成式としては、非線形弾性解析ではKondnerの双曲線近似式を、また弾塑性解析ではケンブリッジ学派のエネルギー理論式を採用している。
- 4) 変形は平面ひずみ状態として解析している。
- 5) 有限要素は四辺形要素で、その剛性マトリクスは4つの三角形要素から合成している。

解析対象は図-1に示すように幅50cm、深さ30cmの模型地盤の1/2領域である。また、解析に必要な定数は、模型実験に使用している粘土試料について、一連の圧密非排水三軸圧縮試験と圧密試験を実施して決定した。ただし、ポアソン比は1/2と仮定している。初期応力状態は鉛直有効応力 $\sigma'_{v0} = 0.3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 、初期間ゲキ水圧 $u_0 = 0.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 、静止土圧係数 $k_0 = 0.5$ とし、地盤内で一定とした。

3. 解析結果と考察

図-2は図-1に示す要素(3)、(33)の有効応力経路及び全応力経路を示したものである(図中 $\circ$ は弾塑性解析結果、 $\cdots$ は非線形弾性解析結果を示す。他についても同様である。)。タイレイトンシーを考慮することのできない非線形弾性解では有効応力経路は σ_{ave} 軸に平行とな

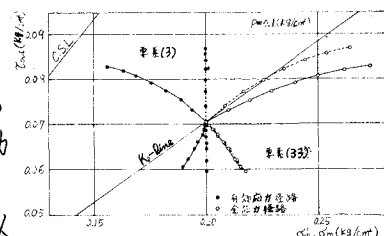
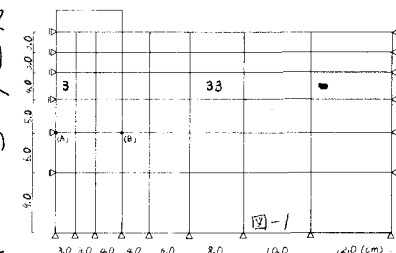


図-2

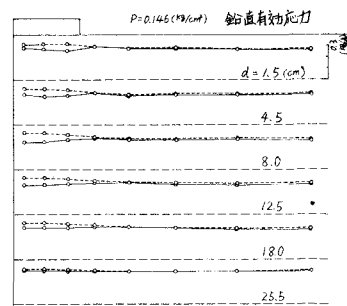


図-3

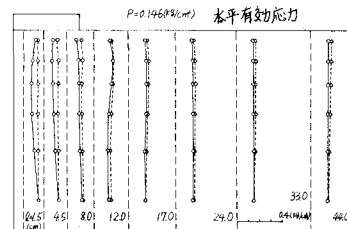


図-4

る。また、全応力経路は要素(3)では両解析結果は異なるのに対して要素(33)ではほとんど一致している。

図-3, 4 は載荷重 $P=0.146 \text{ kg/cm}^2$ での地盤内有効応力分布を示したものであり、図-5 は過剰間ゲキ水圧を Δp として表示している。過剰間ゲキ水圧はタイレイタンシーによって弾塑性解の方が解析領域のほとんどの部分で大きい値が得られる。その相違は載荷重直下の領域で顕著であり、特にここでは載荷重を越えた過剰間ゲキ水圧が発生している。また、最大過剰間ゲキ水圧は非線形弾性解では地表面要素で発生しているのに対して、弾塑性解では地表面下で発生している。地盤内有効応力は過剰間ゲキ水圧の発生量と対応して弾塑性解の方が小さくなっている。特に、載荷に伴って鉛直有効応力 σ_v は非線形弾性解では増加してゆくのに対して、弾塑性解では減少してゆく。そして、両者の差は弾塑性解の応力比分布とも対応している。

図-6, 7 は同じ載荷重下での地盤内変位分布を示している。地盤内鉛直変位は載荷重直下で両者に差が生じているのに対して、水平変位は載荷域の側方位置で比較的大きな差が生じている。また、両変位分布とも載荷重下で両者に差が認められる。

図-8 は載荷中央点での地表面沈下と載荷重の関係を示したものであり、弾塑性解が非線形弾性解に較べてより大きい沈下を与えるが、この程度の載荷重レベル(弾塑性解析で初めて破壊要素が発生する載荷重強度)では沈下性状に大きな差は認められない。

表-1 は過剰間ゲキ水圧について両解析結果と実験結果を示したものである。模型実験では測定結果から非排水変形部分を分離することは困難であるため表-1 の実験値としては間ゲキ水圧の経時測定結果の最大値を用いている。したがって、解析結果と実験値の比較に問題は残るが、載荷重 $P=0.136 \text{ kg/cm}^2$ では両者は比較的良好な対応が認められるのに対して、さらに高い載荷重 $P=0.292 \text{ kg/cm}^2$ では解析結果より大きい実験値が測定される。この時、解析においては載荷重下の要素のほとんどは破壊域に達している。したがって、地盤の極限支持力に近い載荷重が作用する場合の非排水変形を取り扱うためには正確な土の破壊後挙動の導入が必要と考えられる。

〈参考文献〉

松井・阿部・山本「局部載荷をうける飽和粘土地盤の沈下と間ゲキ水圧挙動について」 第12回土質工学研究発表会, 1977

			過剰間ゲキ水圧 $P=0.146(\text{kg/cm}^2)$		上段 弾塑性解 下段 非線形弾性解		
1.06	1.25	1.06	0.27	0.04	0.15	0.20	0.21
0.87	0.88	0.67	0.24	0.48	0.12	0.14	0.17
1.26	1.23	0.94	0.46	0.33	0.22	0.21	0.22
0.77	0.73	0.68	0.45	0.22	0.16	0.16	0.16
1.25	1.03	0.86	0.51	0.46	0.29	0.24	0.21
0.67	0.66	0.61	0.47	0.32	0.21	0.17	0.16
0.91	0.88	0.75	0.59	0.36	0.36	0.27	0.21
0.57	0.56	0.53	0.45	0.34	0.24	0.18	0.15
0.57	0.59	0.59	0.56	0.43	0.32	0.19	0.23
0.44	0.48	0.45	0.39	0.31	0.23	0.16	0.12
0.35	0.36	0.39	0.40	0.38	0.37	0.10	0.19
0.44	0.43	0.41	0.36	0.28	0.17	0.10	0.07

図-5

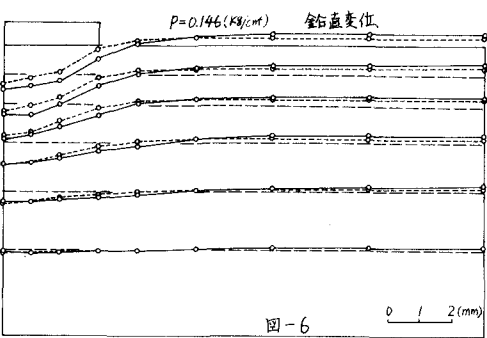


図-6

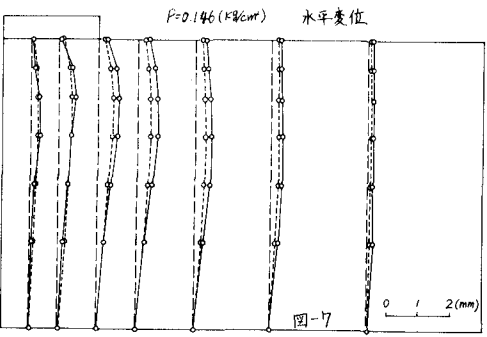


図-7

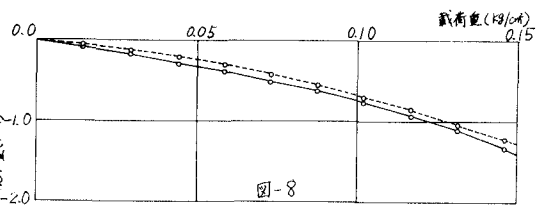


図-8

表-1					
生張力 (kg/cm)	載荷圧 (kg/cm)	測定位置	過剰間ゲキ水圧 (kg/cm ²)		実験値
			弾塑性解	非線形弾性解	
0.3	0.136	A	0.098	0.068	0.089
		B	0.079	0.058	0.051
0.3	0.292	A	0.228	0.202	0.386
		B	0.191	0.172	0.342