

# FEM を用いた中間土の定ひずみ速度圧密試験の解析結果とその検討

中央大学大学院 学生会員 ○石田 和希 齊藤 王二郎  
 中央大学 正会員 齋藤 邦夫 石井 武司

## 1. 目的

中間土の地盤の圧密変形解析においては、適用すべき構成するモデルやそのパラメータの設定など多くの課題があり、予測計算が非常に難しい。本研究では、砂分量をパラメータにした、人工調整試料に対する定ひずみ速度圧密試験を行うとともに、関口・太田モデルを適用した FEM 解析でのシミュレーションを実施した。これにより、中間土に対する関口・太田モデルの適用性を検討した。また、このモデルの簡易入力定数決定法<sup>1)</sup>が、中間土に対して拡大解釈して利用することが可能であるかも調べた。

## 2. 使用試料・試験条件

使用試料には 3 種類の中間土を用いた。中間土は、母材である塑性指数  $I_p$  約 40 の冴留粘土 (S40) に砂砂 7 号を混合し、砂分量を 50、60、70% に人工的に調節した。それらを含水比をおよそ液性限界の 2 倍に調節し、100kPa の下で予備圧密し作成した。試料はそれぞれ、冴留・砂砂の頭文字と砂分含有量の値より、SK50、SK60、SK70 と呼ぶ。表-1 に各試料の物性値を示した。定ひずみ速度圧密試験のひずみ速度  $\epsilon$  の値は、各中間土とも 0.5%/min とした。

表-1 試料の物性値

試料名	S40	SK50	SK60	SK70
土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.70	2.65	2.65	2.65
液性限界 $W_L$ (%)	66.4	42.9	39.1	30.6
塑性限界 $W_P$ (%)	27.2	21.9	22.9	24.0
塑性指数 $I_p$	39.2	21.0	16.2	6.6
砂分 (%)	8.5	50	60	70
シルト分 (%)	41.5	23.2	18.8	14.4
粘土分 (%)	50	26.8	21.2	15.6

## 3. 解析モデル

定ひずみ速度圧密試験結果を、二次元有限要素解析 (プログラム「GeoFEM」<sup>2)</sup>) で再現する。解析に用いた有限要素のメッシュ分割図を、図-1 に示す。解析モデルは軸対称とし、節点の自由度に水平、鉛直の変位及び間隙水圧を与えた。側方境界は水平変位を固定、底面の境界は鉛直変位、水平変位とも固定とした。水理境界条件については、上面を排水、下面と側面を非排水として、解析モデル (図-1) は軸対称モデルとし、鉛直方向の一次元方向のみしか変位しないモデルとする。変位の境界条件は、側面 (軸対称も含む) について水平変位を拘束し、底面の水平変位と鉛直変位は固定する。また、水理境界条件については、上面を排水、下面と側面を非排水として、載荷条件は定ひずみ速度圧密試験のシミュレーションであることから、上面を変位制御による強制変位を与えた。なおシミュレーションは正規圧密領域のみを対象とした。

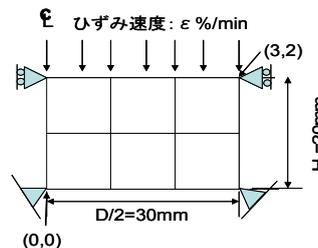


図-1 解析モデル

## 4. 圧密パラメータの設定

圧密試験結果および簡易入力定数決定法より求めた各中間土のパラメータを表-2 に示す。定ひずみ速度圧密試験結果の解析に用いる各試料の土質パラメータは、せん断抵抗角  $\phi'$  は  $K_0$  三軸試験結果の値を用いた。それにより、静止土圧係数  $K_0$ 、ポアソン比  $\nu'$ 、限界応力比  $M$ 、異方性指数  $\eta$  を求めた。また、圧縮指数  $\lambda$ 、膨張指数  $\kappa$ 、初期間隙比  $e_0$ 、圧密降伏応力  $p_c$ 、圧密係数  $c_v$  は定ひずみ速度圧密試験結果の値より

表-2 各圧密解析に用いる各試料のパラメータ

試料名	SK50		SK60		SK70	
	試験	簡易法	試験	簡易法	試験	簡易法
解析方法						
内部摩擦角 $\phi'$ (度)	34.1	30.13	34.4	31.88	34.5	38.2
静止土圧係数 $K_0$	0.439	0.48	0.435	0.471	0.434	0.381
ポアソン比 $\nu'$	0.305	0.324	0.303	0.321	0.302	0.276
限界応力比 $M$	1.38	1.21	1.39	1.28	1.40	1.56
異方性指数 $\eta_0$	0.298	0.265	0.302	0.272	0.303	0.216
圧縮指数 $\lambda$	0.162	0.162	0.121	0.128	0.0868	0.0612
膨張指数 $\kappa$	0.0174	0.0162	0.0174	0.0128	0.0135	0.00612
初期間隙比 $e_0$	1.16	1.11	0.978	0.938	0.834	0.74
圧密降伏応力 $p_c$ (kPa)	110	100	110	100	120	100
圧密係数 $c_v$ (cm <sup>2</sup> /day)	287	242	461	404	1463	553.8

求めた。ここで、膨張指数  $\kappa$  は過圧密領域での  $e-\log p$  曲線の傾きより求めた。また、圧密係数  $c_v$  は正規圧密領域以降の平均値とした。続いて簡易入力定数の決定法より設定したパラメータについて述べる。各試料の塑性指数  $I_p$  より、せん断抵抗角  $\phi'$ 、静止土圧係数  $K_0$ 、限界応力比  $M$ 、圧縮指数  $\lambda$ 、圧密係数  $c_v$  をそれぞれ求めた。ここで、圧密係数  $c_v$  は、求まる係数の範囲の中央値を用いることとした。また、初期間隙比  $e_0$  は初期含水比  $w_0$  を用いて求め、膨潤指数  $\kappa$  は、圧縮指数  $\lambda$  の 1/10 の値とした。表-2 より、各試料ごとに試験と簡易法より求めた土質定数をそれぞれ比較すると、SK50 と SK60 の各定数はほぼ同程度の数値である。SK70 では、異方性指数  $\eta$  や圧密係数  $c_v$  などが大きく異なる。

5. 解析結果と実験結果との比較

$e-\log p$  関係ならびに  $t-u$  関係の解析結果を図-2~図-7 に試験の結果の値と併せて示す。各試料の  $e-\log p$  曲線に着目すると、SK50 および SK60 の試験結果と簡易入力定数決定法でのそれぞれの解析結果と試験結果は、概ね対応が取れているといえる。しかし、SK70 の簡易法による解析結果は試験結果との対応が取れなかった。時間  $t$ -間隙水圧  $u$  曲線では、SK50 ( $I_p=21$ ) および SK60 ( $I_p=16.2$ ) の 2 種類の解析値と実験値は同様な挙動を示しているが、試験結果との差がそれぞれ生じた。今後は、透水係数を解析パラメータに用いた場合での違いなどを検討していきたい。最後に SK70 の結果に着目すると、 $e-\log p$  関係で見られるが、 $t-u$  関係においても簡易法を用いた解析結果は極端に違う結果となった。表-2 の SK70 の両解析のパラメータの違いからもわかるように、SK70( $I_p=6.6$ )では簡易法を用いた解析を行うことは適当ではないといえる。

6. まとめ

砂分量を調整した中間土の定ひずみ圧密試験のシミュレーションを FEM で行ない、その結果を以下にまとめる。

- ① 関口・太田の弾塑性モデルは、中間土においても表現できる可能性があることを SK50、SK60 の結果より確かめられた。
- ② 中間土 SK60 の  $I_p=16$  付近までは、簡易入力定数決定法が適用できる可能性を確かめられた。

<参考文献>

1) Iizuka, A and Ohta H: A determination procedure of input parament in elasto-vuscoplastic finiteelement analysis. Soil and Foundation Vol. 27, No. 3, PP71~87, 1987 . 2) GeoFEM (地盤解析汎用プログラム) マニュアル, 沿岸開発技術研究センター. 3) GeoFem による圧密沈下解析手法マニュアル、(独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部土質研究室平成 17 年 12 月.

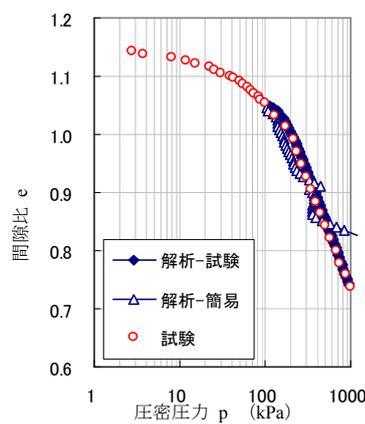


図-2 SK50  $e-\log p$  関係

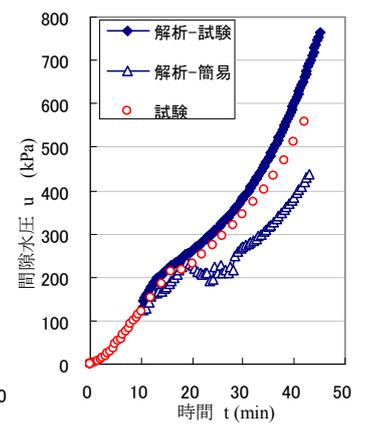


図-3 SK50  $t-u$  関係

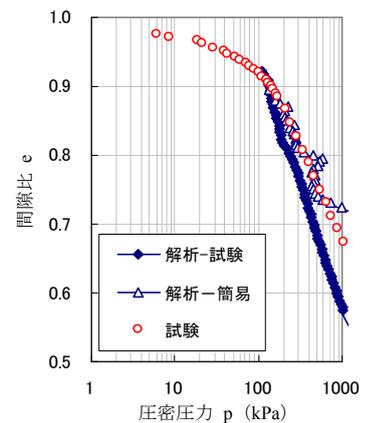


図-4 SK60  $e-\log p$  関係

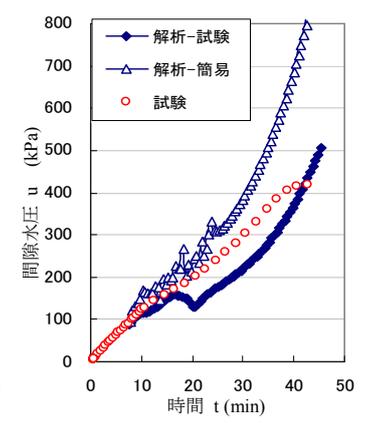


図-5 SK60  $t-u$  関係

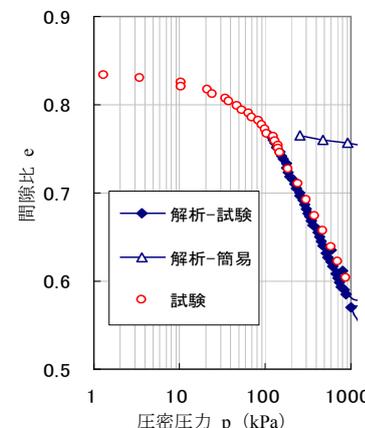


図-6 SK70  $e-\log p$  関係

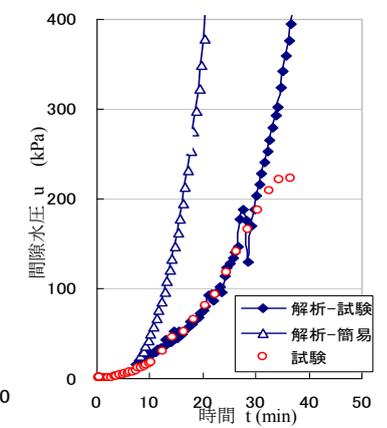


図-7 SK70  $t-u$  関係