

# 各種構成モデルによる高有機質土の三軸要素シミュレーション

秋田大学 学生会員 ○三浦豪太  
同上 学生会員 萩野俊寛  
同上 学生会員 高橋貴之  
同上 学生会員 川添誠隆  
(株)シーウェイエンジニアリング 正会員 山田誠隆  
日本大学 フェロー会員 三田地利之

## 1. 研究背景

高有機質土の構成モデルについてはこれまでいくつかの研究例が見られるが、近年、Cam-clay系の構成モデルが適用可能であることが示され<sup>1)</sup>、高有機質土地盤特有の大きな沈下やせん断変形もある程度表現可能であることがわかってきた。筆者らの一部は各種構成モデルや解析手法の適用性について検討を行うため、北海道の泥炭性軟弱地盤上に施工した試験盛土の変形解析を実施した<sup>2)</sup>。本研究はこの過程で行った高有機質土の $K_0$ 圧密三軸圧縮・伸張試験について実験結果と各種構成モデルによる要素試験のシミュレーション結果を比較することで要素レベルで各種構成モデルの適用性について検討するものである。

## 2. 試験概要

各種構成モデルのパラメータを決定するため、 $K_0$ 圧密三軸圧縮・伸張試験及び圧密試験を実施した。三軸試験は鉛直圧密応力40kPa、せん断速度0.02%/min、最終軸ひずみ15%の条件で行い、3t法で圧密を終了した後圧縮・伸張試験を行った。圧密試験は段階载荷でJIS A 1217に従った。用いた試料は4種の不かく乱・再構成の高有機質土試料であり、江別市の試験盛土から採取された泥炭の不攪乱試料の他、秋田市で採取された泥炭の不攪乱試料・再構成試料、秋田市元木山で採取された泥炭の不攪乱試料を試験に用いた。以後それぞれを江別泥炭、秋田泥炭不攪乱、秋田泥炭再構成、元木山泥炭と呼ぶこととする。各試料の物性を表1に示す。

FEMでシミュレーションするにあたって、泥炭試料に適用させる構成モデルは、オリジナルカムクレイ・モデル(OCC:Original Cam-clay)、修正カムクレイ・モデル(MCC:Modified Cam-clay)、関口・太田モデル(SO)、修正関口・太田モデル(MSO)の4種を用い、入力パラメータは室内試験により決定した(表-1)。

## 3. 試験結果及び考察

図-1～図-4は各試料の軸ひずみ-偏差応力関係を示しており、図-5～図-8は有効応力経路を示している。図には実験値の他、後述する要素シミュレーションによる計算値も示されている。このうち限界状態応力比 $M$ は圧縮条件下では秋田泥炭再構成を除いて $M_c > 3$ 、伸張条件下では $M_c = 1.05 \sim 128$ と $M_c$ の1/3程となり、大きく異なる。これは圧密応力を40 kN/m<sup>2</sup>と低く設定し、粘着切片 $c'$ を $c' = 0$  kN/m<sup>2</sup>として $M_c$ を求めたことが影響していると推測される。シミュレーションでは、微小変形を仮定して、軸対称条件下にある側方変位が1要素に対して要素上面に等ひずみを与えた。なお、地盤パラメータは圧縮/伸張条件下でそれぞれ異なる値を用い、 $M_c > 3$ を示す試料は $M_c = 3$ とした。

表-1 泥炭試料の物性値と計算に用いたパラメータの一覧表

試料	土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	強熱減量 $L_t$ (%)	初期含水比 $w_0$ (%)	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$K_0$ 圧密排水三軸試験				圧密試験		地盤パラメータ				備考
					圧密圧力 (kN/m <sup>2</sup> )	K値	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (deg.)	圧縮指数 $C_c$	圧密降伏応力 $p_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	圧縮指数 $\lambda$	膨張指数 $\kappa$	初期間隙比 $e_0$	限界状態応力比 $M$	
江別泥炭	1.996	45.1	315.0	1.058	-	-	-	-	4.57	24.3	-	-	-	-	圧密
			276.0	1.077	40	0.62	0.0	90.0	-	-	1.983	0.200	6.2	3.00	三軸(圧縮)
	2.384	19.6	79.4	1.467	-	-	-	-	0.62	21.9	-	-	-	-	圧密
			79.4	1.250	40	0.63	0.0	26.5	-	-	0.269	0.043	1.7	1.05	三軸(伸張)
秋田泥炭不かく乱	1.640	76.5	607.3	1.061	-	-	-	-	4.56	7.8	-	-	-	-	圧密
			530.9	1.063	40	0.55	0.0	68.2	-	-	1.977	0.176	6.7	2.69	三軸(圧縮)
			527.9	1.057	40	0.66	0.0	26.8	-	-	1.977	0.176	6.7	1.06	三軸(伸張)
			745.6	0.970	-	-	-	-	6.64	18.0	-	-	-	-	圧密
秋田泥炭再構成	1.640	76.5	630.0	1.004	40	0.45	0.0	90.0	-	-	2.882	0.320	8.9	3.00	三軸(圧縮)
			594.2	1.002	40	0.43	0.0	31.8	-	-	2.882	0.320	8.9	1.28	三軸(伸張)
			635.7	0.975	-	-	-	-	5.48	12.0	-	-	-	-	圧密
元木山泥炭	1.492	71.9	678.4	1.022	40	0.45	0.0	90.0	-	-	2.378	0.112	7.3	3.00	三軸(圧縮)
			537.6	0.930	40	0.57	0.0	29.5	-	-	2.378	0.112	7.3	1.18	三軸(伸張)

図-1～図-4は軸ひずみ $\epsilon_a$ -偏差応力 $q$ 関係をそれぞれ三軸試験値とシミュレーション結果で比較したものである。圧縮条件下において、 $\epsilon_a$ - $q$ 関係では解析値の $\epsilon_a$ が0%付近では $q$ は試験値に比べ小さく、解析値の $\epsilon_a$ が2～5%を超えると $q$ はほとんど一定の値になるものの、解析値はおおよそ試験値と同じになる。

図-5～図-8は有効応力経路それぞれ三軸試験値とシミュレーション結果で比較したものである。圧縮条件下において、不かく乱/再構成ともに $\epsilon_a$ が大きくなるに従って $q$ が増加し続けるひずみ硬化がみられた。どの構成モデルも試験値と近い経路をたどり、大きな違いはみられない。一方伸張条件下において、有効応力経路は限界状態線C.S.L付近まで鉛直下方を辿る。OCC及びMCCはSO、MSOと比較して非線形性の表現能力がやや低いが、非排水せん断強度 $S_{uc}$ はSO、MSO、OCC、MCCの順に大きくなり、概形ではOCC及びMCCが最も試験値に近い経路を再現できた。

SO及びMSOは伸張条件下における有効応力

経路の再現能力が低く $S_{uc}$ を過小評価する。そのため、これらのモデルを用いて変形解析を行った場合、要素が伸張条件となる部分の変形を過大に見積もると考えられる。OCC及びMCCは伸張条件下における $\epsilon_a$ - $q$ 関係の非線形性の表現能力が低いものの、実験値に最も近い値を得られる。

#### 4. 結論

本研究から得られた知見は以下のとおりである。

- ・ 高有機質土の三軸試験結果とシミュレーション結果を比較して、圧縮条件下では各構成モデルの違いによる大きな差は認められなかった。
- ・ 伸張条件下で構成モデルの適用性に差が生じ、SO及びMSOはうまく再現できず、OCC及びMCCが最も試験値に近い再現ができた。

#### 【参考文献】

- 1) Hayashi, H., Nishikawa, J., Odajima, H., Mitachi, T., Fukuda, F.: Deformation analysis of peaty ground with cam clay model, Proceedings of IS-Hokkaido 94, Vol. 1, pp. 575-581, 1994.
- 2) 三田地利之, 山添誠隆, 林宏親, 荻野俊寛; “泥炭性軟弱地盤の変形解析への各種構成モデル・解析手法の適用性”, 土木学会論文集C, Vol. 66, No. 1, pp. 1-20, 2010.

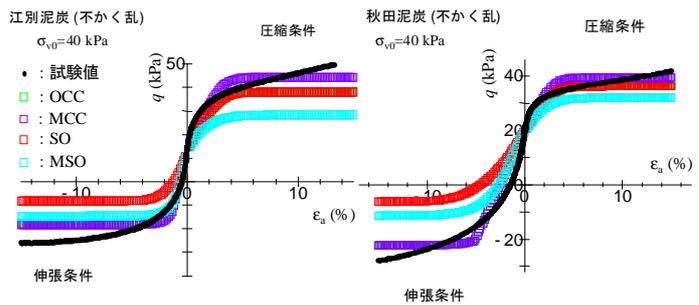


図-1 江別泥炭 $\epsilon_a$ - $q$ 関係

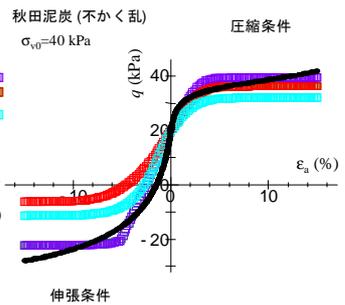


図-2 秋田泥炭不かく乱 $\epsilon_a$ - $q$ 関係

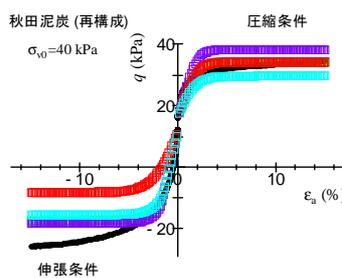


図-3 秋田泥炭再構成 $\epsilon_a$ - $q$ 関係

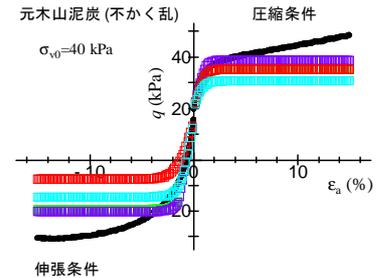


図-4 元木山泥炭 $\epsilon_a$ - $q$ 関係

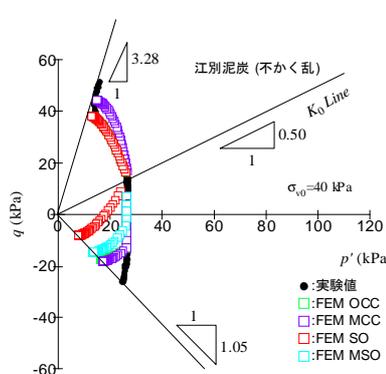


図-5 江別泥炭有効応力経路

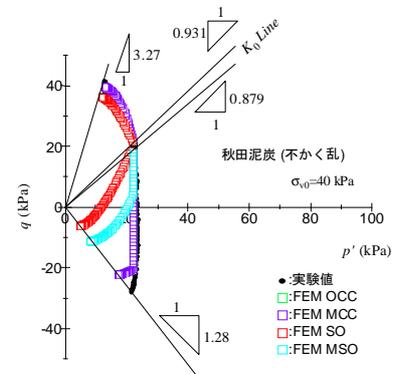


図-6 秋田泥炭不かく乱有効応力経路

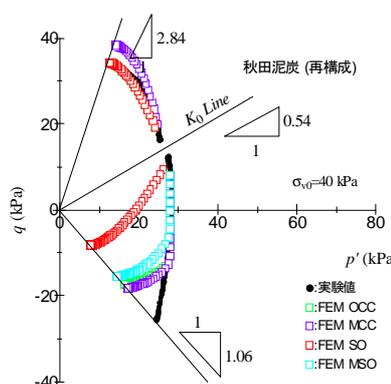


図-7 秋田泥炭再構成有効応力経路

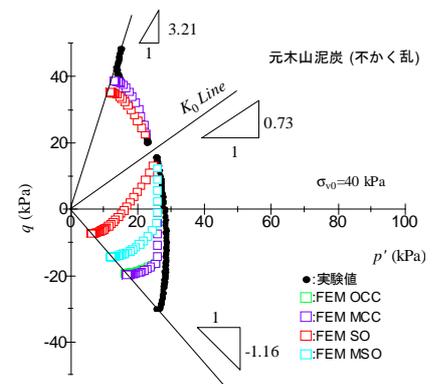


図-8 元木山泥炭有効応力経路