

## 上負荷面を用いた固化処理土の FEM 解析

東洋建設株式会社	正会員	和田 眞郷
東洋建設株式会社	正会員	平田 昌史
東洋建設株式会社	正会員	三宅 達夫

### 1. まえがき

近年、軟弱地盤上での開発が盛んになってきており、セメント安定処理による軟弱地盤対策事例も多い。このような地盤や構造物の沈下・変形等の将来予測を検討する場合 FEM 解析が有効であるが、固化処理土をどのように評価するのが解析上重要となってくる。ここでは、固化処理土のモデルとして Asaoka ら<sup>1)</sup>による上負荷面を取り上げる。この場合、固化処理土のセメントによる固結作用（セメンテーション効果）を Asaoka ら<sup>1)</sup>の提唱する「構造」として捉えれば、固化処理土の挙動を上負荷面で説明することが十分可能である。

本研究では、関口・太田による弾塑性構成モデル<sup>2)</sup>に上負荷面を導入し、固化処理土の要素試験に対して FEM 解析を行い、固化処理土への適用性について検討した。

### 2. 関口・太田による弾塑性構成モデルへの上負荷面の導入

関口・太田モデルの降伏関数  $f$  は、次式で表わされる。

$$f = MD \ln \frac{\bar{p}'}{p_0'} + D\eta^* - \varepsilon_v^p = 0 \quad , \quad \eta^* = \sqrt{\frac{3}{2} \left( \frac{S_{ij}}{\bar{p}'} - \frac{S_{ij0}}{p_0'} \right) \left( \frac{S_{ij}}{\bar{p}'} - \frac{S_{ij0}}{p_0'} \right)} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 $\varepsilon_v^p$  は塑性体積ひずみ、 $\bar{p}'$  は平均有効主応力、 $\eta^*$  は一般化された応力比、 $M$  は限界応力比、 $D$  はダイレイタンシー係数である。今、図-1 に示すような正規降伏曲面に対し相似な下負荷面と上負荷面を考える。各相似比を  $R$ 、 $R^*$  とすると、下負荷面の降伏関数は(1)式を参考に、

$$f_{sub} = MD \ln \frac{R^* p_0'}{R p_0'} + D\eta^* - \varepsilon_v^p = MD \ln \frac{p_0'}{p_0'} + D\eta^* - \varepsilon_v^p - MD \ln R + MD \ln R^* = 0 \quad \dots\dots (2)$$

となる。現応力状態は下負荷面上を移動することから、(2)式を用いて応力～ひずみ関係式を誘導し、土/水連成有限要素解析プログラム (DAC SAR)<sup>3)</sup> に組み込んだ。

なお、応力～ひずみ関係式を誘導するにあたり、相似比の発展則  $\dot{R}$ 、 $\dot{R}^*$  (相似比の時間微分) が必要になる。ここでは、Asaoka ら<sup>1)</sup> にならい以下のように置いている。

下負荷面相似比の発展則：

$$\dot{R} = U_R \|\dot{\varepsilon}^p\| \quad , \quad U_R = -\frac{m}{D} \ln R \quad \dots\dots (3)$$

上負荷面相似比の発展則：

$$\dot{R}^* = U_R^* \|\dot{\varepsilon}^p\| \quad , \quad U_R^* = \frac{R^*}{D} (1 - R^{*m^*}) \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 $m$  は下負荷面パラメータ、 $m^*$  は上負荷面パラメータとする材料定数である。

### 3. 固化処理土の FEM 解析

過去に行われた固化処理土の定ひずみ圧密試験・三軸  $\overline{CU}$  試験結果<sup>4)</sup> に対して、上負荷面を用いた FEM 解析を実施した。解析に必要なパラメータは、これらの試験結果から直接決定しており、三軸  $\overline{CU}$  試験結果から限界応力比  $M = 2.350$ 、定ひずみ圧密試験結果から見かけの先行圧密

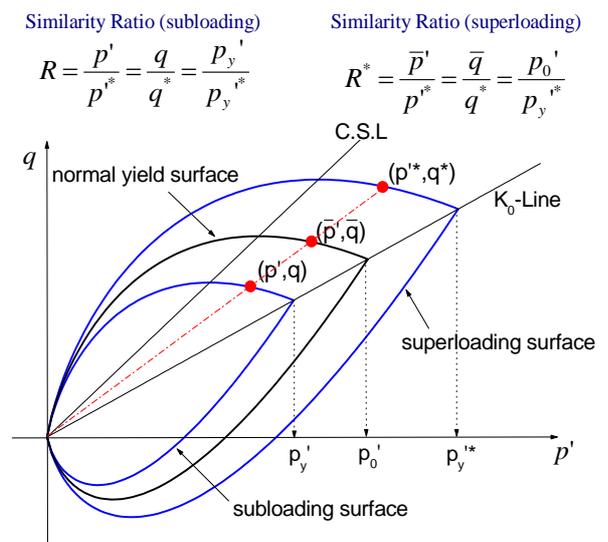


図-1 関口・太田モデルにおける下負荷面と上負荷面

キーワード 上負荷面、有限要素法、固化処理土、要素試験

連絡先 〒663-8142 西宮市鳴尾浜1丁目25番1 東洋建設(株) 鳴尾研究所 Tel: (0798)43-5903 Fax: (0798)40-0694

表-1 解析に用いた固化処理土の材料定数

限界応力比	$M$	2.350
ダイレイタンスー係数	$D$	0.0498
圧縮指数		0.466
非可逆比		0.916
有効ポアソン比		0.333
先行時の初期間隙比	$e_0$	2.650
見かけの先行圧密圧力	$\nu_0'$	200.0 (kPa)
下負荷面パラメータ	$m$	2.00
上負荷面パラメータ	$m^*$	0.30
上負荷面に対する正規降伏曲面の初期相似比	$R_{ini}^*$	0.260

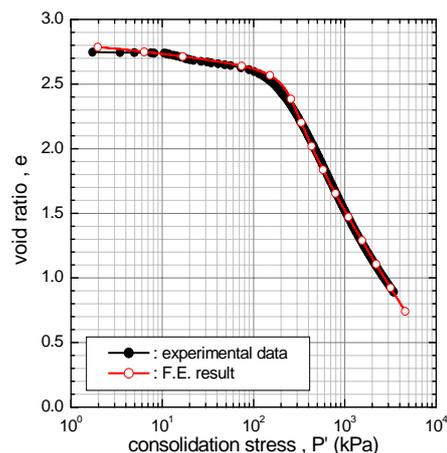
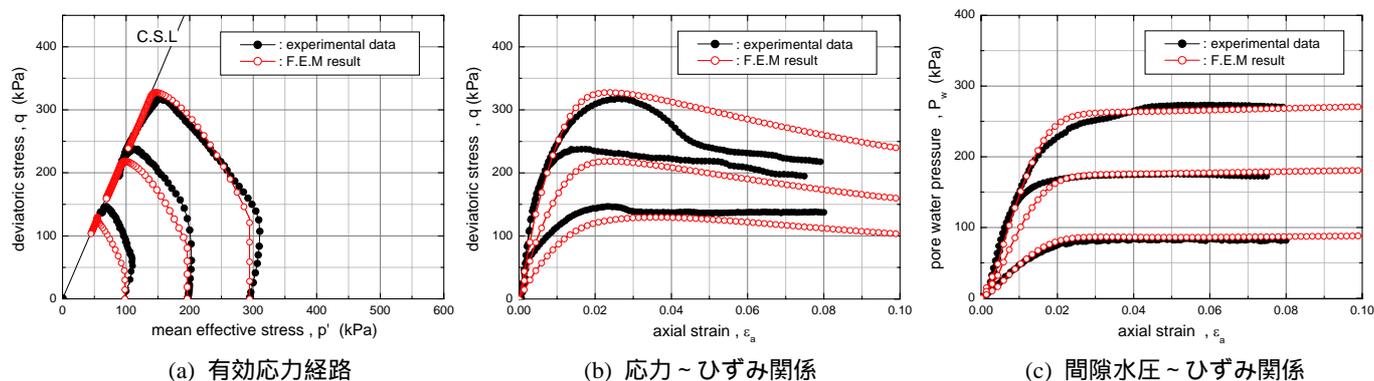


図-2 試験結果と解析結果（定ひずみ圧密試験）

図-3 試験結果と解析結果（三軸 $\overline{CU}$ 試験）

圧力  $\sigma_{\nu_0}' = 200 \text{ kPa}$  とした。なお、固化処理によるセメンテーション効果は、限界応力比  $M$  と見かけの先行圧密圧力  $\sigma_{\nu_0}'$ （上負荷面の大きさ）に反映されているもの考える。表-1 に解析に用いた材料定数の一覧を示す。

表-1 に示した材料定数のうち、下負荷面パラメータ  $m$  と上負荷面パラメータ  $m^*$  は要素試験から直接求めることが困難である。そこで、定ひずみ圧密試験とのフィッティングによりこれらの値を定めることにした。図-2 は、定ひずみ圧密試験結果と解析結果を比較した  $e \sim \log P'$  関係である。この解析により、下負荷面パラメータ  $m = 2.00$ 、上負荷面パラメータ  $m^* = 0.30$  を決定した。

定ひずみ圧密試験の解析から得られたパラメータ  $m$ 、 $m^*$  を用いて、三軸  $\overline{CU}$  試験の FEM 解析を行った。図-3 は、三軸  $\overline{CU}$  試験結果と解析結果との比較である。解析結果は実験結果とよく一致しており、上負荷面の固化処理土への適用性、決定した材料定数の有効性が確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では、関口・太田による弾塑性構成モデルに上負荷面を適用したモデルを用い、固化処理土の要素試験の FEM 解析を行った。FEM 解析結果を見ると、固化処理土の特徴を十分表現できており、また要素試験結果ともほぼ一致した。このことから、上負荷面モデルが固化処理土に対して十分適用可能であることがわかった。

**参考文献** 1)Asaoka,A., Nakano,M. and Noda,T. : Superloading Yield Surface Concept for Highly Structured Soil Behavior, Soil and Foundation, Vol.40, No.2, pp.99-110, 2000.4. 2)Sekiguchi,H. and Ohta,H. : Induced anisotropy and time dependency in clays, Proc. Specialty Session 9, 9th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp.229-239, 1977. 3) Iizuka, A. and Ohta, H. : A deformation procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soil and Foundation, Vol.27, No.3, pp.71-87., 1987. 4)末沢等,岡田英信,立川貴重,中辻健 : 浚渫固化処理土の高盛土地盤に関する安定性評価について - 遠心載荷装置による挙動確認と解析・評価 -, 四国電力, 四国総合研究所研究期報, No.78, pp.29-40, 2002.6