

清水建設(株) 土木本部設計部 正会員 荻迫 栄治
 清水建設(株) 土木本部設計部 正会員 出羽 克之
 清水建設(株) 土木本部設計部 正会員 西崎 晶士

1. はじめに

近年、粘土の応力～ひずみ関係については数多くの研究がなされ、種々の構成モデルが提案されている。今回、それらの中のいくつかの代表的な構成式に基づく盛土～基礎地盤の弾塑性あるいは粘弾塑性有限要素解析により、各種モデルの比較検討を行ったのでここに報告する。なお、本研究に用いた解析手法はSandhuらの手法と基本的に同等の圧密解析法である。

2. 粘土の構成式

本研究において取り上げた粘土に関する構成式は以下に掲げる6つである。このうち、(1)Cam Clayモデルは等方的ひずみ硬化を仮定することから導かれ、(2)太田・関口モデルはさらに応力誘導異方性が加味されており、両者はダイレタンシー等の粘土の力学的特性を考慮した代表的な弾塑性構成式である。他の4つはクリープや応力緩和等の時間依存性をも取り込んだ粘弾塑性構成式であり、等方的ひずみ硬化を仮定した(3)関口モデル(4)岡(等方)モデルと、応力誘導異方性を考慮した(4)関口・太田モデル(6)岡(異方)モデルである。

- (1) Cam Clay モデル: $f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p}{p_0} + D \eta$, $d \varepsilon_{ij}^p = \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \frac{dp}{p} - D d \eta \right) \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} / \frac{\partial f}{\partial p}$
- (2) 太田・関口モデル: $f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p}{p_0} + D \eta^*$, $d \varepsilon_{ij}^p = \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \frac{dp}{p} - D d \eta^* \right) \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} / \frac{\partial f}{\partial p}$
- (3) 関口モデル: $f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p}{p_0} + D(\eta - \dot{\eta}_0)$, $d \varepsilon_{ij}^p = \left[\{1 - \exp(-\frac{\eta}{\alpha})\} \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \frac{dp}{p} + D \dot{\eta} \right) + \dot{\eta}_0 \exp(-\frac{\eta}{\alpha}) \right] \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} / \frac{\partial f}{\partial p}$
- (4) 関口・太田モデル: $f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p}{p_0} + D \eta^*$, $d \varepsilon_{ij}^p = \left[\{1 - \exp(-\frac{\eta}{\alpha})\} \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \frac{dp}{p} + D \dot{\eta}^* \right) + \dot{\eta}_0 \exp(-\frac{\eta}{\alpha}) \right] \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} / \frac{\partial f}{\partial p}$
- (5) 岡(等方)モデル: $f = \ln p + \frac{\eta - \bar{\eta}}{M^*}$, $d \varepsilon_{ij}^p = CM^* p \exp\{m'(\frac{\eta}{M^*} \ln \frac{p}{p_0} - \frac{1 + e}{\lambda - \kappa} v^p)\} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$
- (6) 岡(異方)モデル: $f = \ln p + \frac{\eta^*}{M^*}$, $d \varepsilon_{ij}^p = CM^* p \exp\{m'(\frac{\eta^*}{M^*} \ln \frac{p}{p_0} - \frac{1 + e}{\lambda - \kappa} v^p)\} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$

ここに、 f は降伏関数、 $d \varepsilon_{ij}^p$ は弾塑性ひずみ、 $d \varepsilon_{ij}^p$ は粘塑性ひずみ速度、 D はダイレタンシー係数、 α は2次圧縮指数、 $\dot{\eta}_0$ は初期体積ひずみ速度、 C 及び m' は粘塑性パラメータ、 $M^* = \sqrt{2/3} \frac{\lambda - \kappa}{(1 + e_0) D}$ 、 $p = \sigma_{kk}'/3$ 、 $q = \sqrt{3/2} S_{ij} S_{ij}$ 、 $\eta = q/p$ 、 $\eta_{ij} = S_{ij}/p$ 、 $\eta^* = \sqrt{3/2} (\eta_{ij} - \eta_{ij0}) (\eta_{ij} - \eta_{ij0})$ 、 $\bar{\eta} = \sqrt{2/3} \eta$ 、 $\eta^* = \sqrt{2/3} \eta^*$ である。

表-1 土質パラメータ

λ	κ	G_0 (t/m ²)	e_0	ν	k_0 (m/day)	λ
0.231	0.05	200	1.5	0.3	$1. \times 10^{-5}$	0.1
M^*	m'	C (1/day)	D	α	$\dot{\eta}_0$ (1/day)	
0.865	25.0	8.64×10^{-9}	0.0683	0.0029	7.47×10^{-8}	

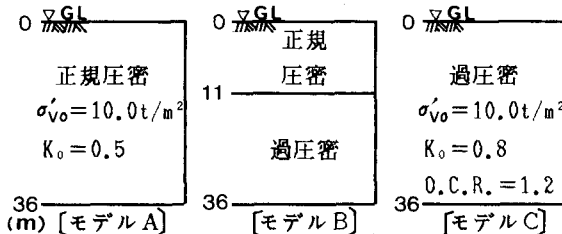


図-1 土層モデル

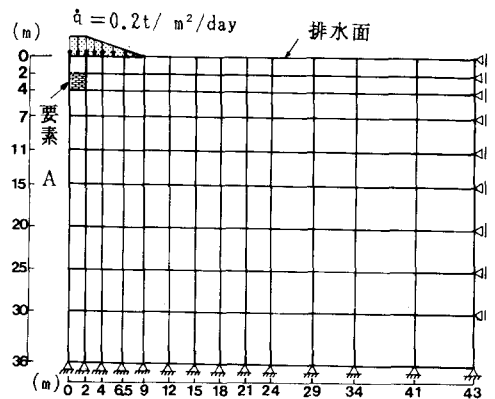


図-2 有限要素メッシュ

3. 解析結果

解析に用いた土質パラメータ、土層モデル及び有限要素メッシュを表-1、図-1及び図-2に示す。

載荷速度は $q=0.2\text{t/m}^2/\text{日}$ である。図-3は土層モデルCにおける要素Aの過剰間隙水圧と載荷重の関係を示したものである。粘弾塑性モデルである関口モデル

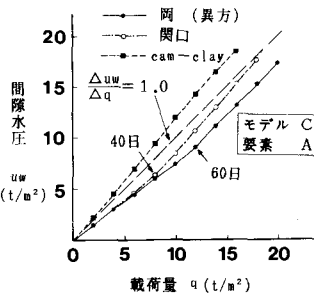


図-3 載荷重と間隙水圧の関係

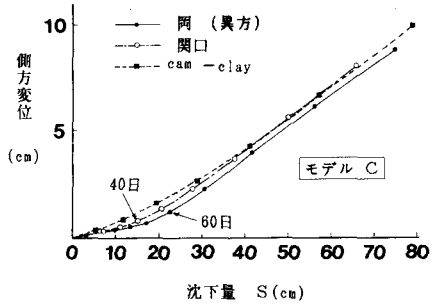


図-4 沈下量と法尻部側方変位の関係

と岡(異方)モデルでは、それぞれ40日と60日の時点で明確な変曲点が見られるのに対し、弾塑性モデルであるCam clayモデルではそのような変曲点が見うけられない。図-4はモデルCにおける盛土中央地表沈下量と法尻部地表側方変位の関係を示している。関口モデルと岡(異方)モデルにはやはり明確な変曲点が見られ、その時刻も図-3の場合と一致しているが、Cam Clayモデルではそのような傾向は見られない。

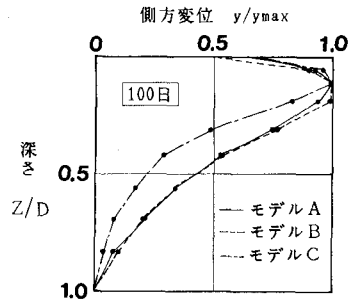
図-5は法尻部側方変位の地中方向分布を示したものであり、地中最大変位 $y_{\max}$ と地盤厚Dとで無次元化している。関口・太田モデル等の異方モデルでは、2層地盤(モデルB)の場合上層の正規圧密土層に側方変位が集中しており、1層地盤(モデルA,C)の場合とは分布形状が異なっている。一方関口モデル等の等方モデルでは、土層モデルの違いによる差はほとんど見られない。このような図-3、図-4に示される変曲点や図-5(a)に示される分布の相違はTavenasらの実験結果からも報告されており興味深い。

また図-6は70日まで載荷した後、500日まで放置した場合の側方変位の地中方向分布であり、横軸は500日での地中最大変位で無次元化している。関口・太田モデルは太田・関口モデルに比べて、放置期間中の側方変位の進展が著しく、時間効果が粘弾塑性モデルに顕著に表われていることがわかる。

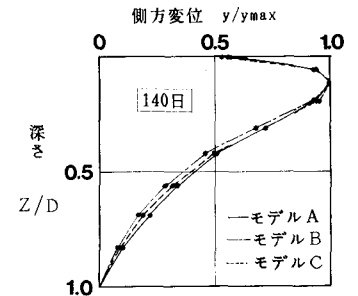
4. おわりに

種々の粘土の構成式に基づいて盛土-基礎地盤の圧密解析を行った結果、いくつかの知見が得られた。それらの中には、弾塑性モデルと粘弾塑性モデルならびに等方性モデルと異方性モデルとの違いを表わすと思われるものもある。今後より統一的な知見を得るべくさらに研究を進めていくつもりである。

- 1) 関口・太田(1977), 9th ICSMFE
- 2) 岡(1981), 10th ICSMFE

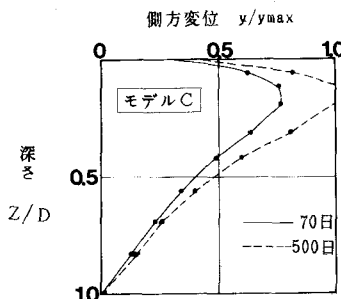


(a) 関口・太田モデル

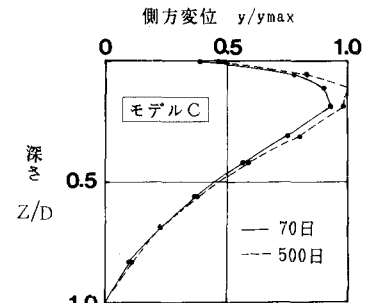


(b) 関口モデル

図-5 法尻部側方変位の地中方向分布



(a) 関口・太田モデル



(b) 太田・関口モデル

図-6 法尻部側方変位の地中方向分布(盛立終了後)