

III-670

修正Cam-clayモデルを用いたK₀圧密解析

(株)大林組技術研究所 正会員 高橋真一
 同上 正会員 西林清茂
 同上 正会員 上野孝之

1. はじめに

粘性土地盤の載荷周辺域も含む圧密変形予測に、多次元弾塑性FEM解析を用いる場合、解析入力定数の選定は重要であることは周知のことである。代表的な構成式である修正Cam-clayモデルを用いて一次元圧密解析を行う場合、解析に必要な強度パラメータ(M, κ , λ)と初期応力条件(K₀値)は、Roscoeら¹⁾が誘導したように、決して各々のパラメータを独立して決定することはできない。しかし、この誘導されたパラメータの組合せでは一次元圧密の精度を満足するが、圧密変形の他に重要な非排水変形を精度良く予測し得ない可能性が生じることになるため、できる限り全てのパラメータは試験結果に近い値を用いることが望まれる。

この報文では、修正Cam-clayモデルを用いてK₀圧密試験結果の数値解析を行い、強度パラメータ(M, κ , λ)と初期応力状態(K₀値)の組合せが解析結果に与える影響について検討を行った。

2. K₀圧密試験

K₀圧密試験は、大阪南港埋立地から採取した不覚乱試料(採取深度0P-48m)を用い、三軸試験機を利用する方法²⁾で行った。表-1に主な土質特性を示す。K₀値は、図-1に示すように、P_c以下ではK₀=0.4程度、P_c以上ではK₀=0.4~0.5を示している。

表-1 土質特性

PI 82%	Cc 2.0
e ₀ 2.135	Cs 0.15
P ₀ 2.0kgf/cm ²	Pc 5.8kgf/cm ²
	ϕ' 28.2°

3. K₀圧密状態におけるパラメータの関係

修正Cam-clayモデルを用いたK₀圧密状態では、圧密中の応力状態($\eta=q/p$ =一定)と圧密中に発生する横ひずみがゼロ($\delta_s=0$)の2つの条件から式(1)が成立する¹⁾。

$$\eta = \frac{1}{2} \left[-3 \left(1 - \frac{\kappa}{\lambda} \right) + \sqrt{9 \left(1 - \frac{\kappa}{\lambda} \right)^2 + 4M^2} \right] \quad (1)$$

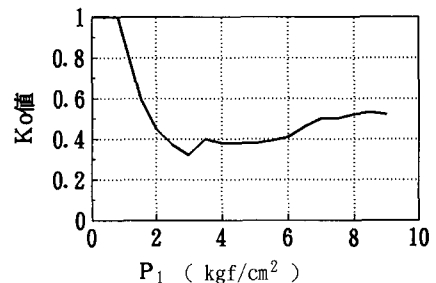
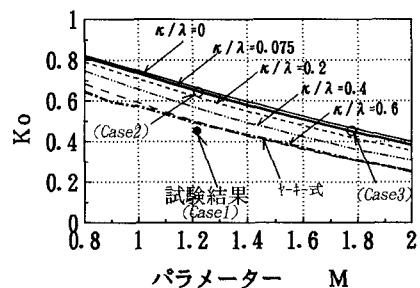
(なお、K₀と η の関係は、 $K_0 = (3 - \eta) / (2\eta + 3)$)

式(1)を満足させるために、解析に必要なM, κ , λ , K₀値の設定で制限を受けることが実際には多い。

図-2は、K₀圧密試験結果、式(1)を満足する関係と経験式であるヤキ-式を示したものである。試験結果はヤキ-式に近く、ほぼ妥当な試験結果であると考えられる。式(1)の関係から求められるK₀値は、試験結果に比べて大きい。 κ/λ の値が大きくなると式(1)を満足するK₀値は小さくなり、 $\kappa/\lambda \approx 0.6$ で試験結果に等しくなる。以上のことより式(1)を満足する関係を得るためにパラメータとして、

- ① 試験結果より大きなK₀値、 ② 試験結果よりも大きなM
- ③ 試験結果よりも大きな κ/λ

のいずれかが必要で、特に過圧密域、正規圧密域とも $e-\log p_1$ を満足させる場合には①または②いずれかの選択が必要となる。

図-1 K₀試験結果図-2 K₀圧密状態のM-K₀関係

4. K₀圧密解析

解析は、単位長さの立方体要素を用い、底面の全変位と側面の水平変位を拘束し、上面から载荷するK₀圧密定常解析を行った。解析条件は、表-1、図-2に示すように、全てのパラメータを試験結果から決定した場合(Case1)、式(1)を満足するK₀値を用いる場合(Case2)、式(1)を満足するMを用いる場合(Case3)である。

図-3に $e-\log p_1$ 関係を示した。Case1は、試験結果に比べて正規圧密領域における間隙比の減少が少ないが、Case2, Case3では、過圧密、正規圧密領域とも試験結果を良く表している。

図-4は、 $p-q$ 面上で応力経路を示したものである。Case3が、試験結果の応力経路を比較的良く表しているが、Case1, 2は試験結果と異なった応力経路を示している。Case1は、Case3と同じ弾性定数(κ, ν)であることから必然的に弾性範囲内で同じ応力経路を示す。しかし、塑性域(正規圧密領域)では、Case3が弾性域とほぼ同じ勾配で応力増加するのに対して、Case1はCase2の結果に漸近して試験結果との差を生じている。Case2の応力経路は、初期状態から試験結果と異なるものの、Case3と同様に弾性域、塑性域でほぼ同じ勾配の応力増加となっている。このことから、式(1)を満足しない場合には初期降伏以降の応力経路で直線性が失われ、 $e-\log p_1$ 関係に差を生じたと考えられる。

図-5は、Case3の κ, λ, K_0 値を用い、Mを任意に変化させて解析した $e-\log p_1$ 関係である。式(1)で求めたM以外にも $M \pm 10\%$ 程度の範囲であれば試験結果を良く表している。しかし、約10%以上異なるMの値を用いた解析結果では試験結果に比べて正規圧密領域の沈下量が小さくなる。Mが $\pm 10\%$ 程度の差であれば降伏曲線に達した時の応力状態と式(1)で求められる応力状態の違いによる影響が実用的に小さいことを意味している。

図-6は、Case3の κ, λ を用い、 K_0 値、Mを任意に変化させて行った解析結果から、 $e-\log p_1$ 関係をほぼ妥当に表わすパラメータの範囲を示したものである。 K_0 圧密に用いるパラメータは原則的には式(1)を満足すべきであり、実用的にも図に示した範囲内でパラメータを決定すべきであろう。

謝辞 室内土質試験に際してご協力頂いた中央開発(株)、(財)日本建築総合試験所に感謝の意を表します。

参考文献 1. 土田他: 三軸試験機を用いた不覚乱粘土土料の K_0 圧密試験法について、三軸試験方法に関するシンポジウム、1991
2. Roscoe, K.H., Burland, J.B.: In the generalized stress-strain behaviour of 'WET' clay, Engineering Plasticity, Cambridge University Press, 1968

表-2 解析条件

	Case 1 試験値	Case 2 M優先	Case 3 K ₀ 優先
M	1.213	1.213	1.778 ¹⁾
K ₀	0.45	0.65 ¹⁾	0.45
ν	0.31	0.39	0.31
e_0	2.135		
P _c	5.8 kgf/cm ²		
λ, κ	$\lambda=0.868$ $\kappa=0.065$		
荷重	P _{z0} : 2kgf/cm ²	P _{zf} : 9kgf/cm ²	

1) 式(1)から算出
2) $\nu = K_0 / (1 + K_0)$
3) $\lambda = 0.434C_c, \kappa = 0.434C_s$

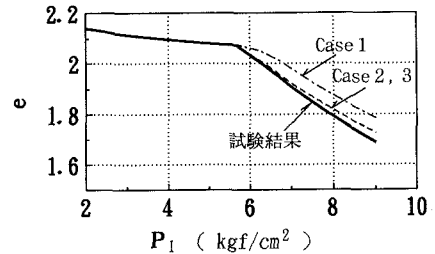


図-3 解析結果($e-\log p_1$ 関係)

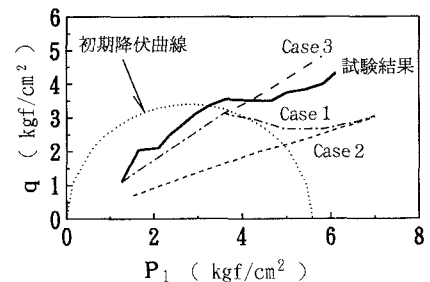


図-4 解析結果(応力経路)

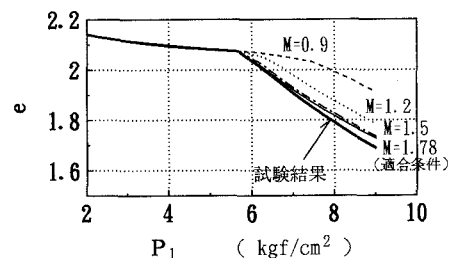


図-5 Mを変化させた場合の $e-\log p_1$ 関係

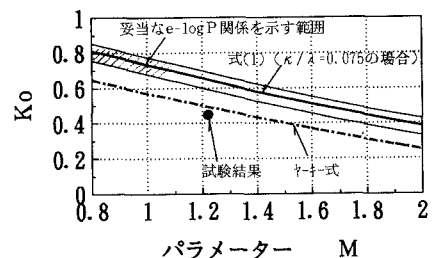


図-6 $e-\log p_1$ 関係を満足する $M \sim K_0$ 関係