

# 三軸試験による土圧の評価

地盤工学研究室 十文字康一  
指導教官 豊田 浩史

## 1. 研究目的

土構造物等の設計で使用するパラメータは強度定数試験（貫入試験，一軸試験，三軸試験）により得られたものを使用している。しかし、試験により様々な条件下でのパラメータは求められるが、どの条件の強度定数を用いるべきか明確ではない。

本研究では土圧定数選定方法について検討するため、三軸試験機を用いて主働・受働土圧を再現し、正規圧密・過圧密、排水・非排水せん断時の土圧の評価を行った。

## 2. 試験概要

### 2.1 試験機

図1に三軸試験機の概要を示す。自動制御・自動計測プログラムにより任意の応力経路をたどることが可能である。

### 2.2 供試体

試料は、新潟県柏崎市米山付近より採取した練り返し粘性土（ラテライト系）を用いた。以下、この粘土を米山粘性土と呼ぶ。表1に米山粘性土の物性値を示す。応力履歴を明確にするため、以下のような手順を経て飽和供試体を作製した。気乾状態の試料に蒸留水を加えてスラリー状にした後脱気し、一次元圧密容器により50kPaで予圧密し、作製した飽和状態の土塊を直径50mm、高さ125mmに成形し、三軸試験機に設置した。供試体の飽和には二重負圧法を用いた。

表1 米山粘性土の物理的性質

$\rho$	Wl	Wp	IP	Clay	Silt	Sand
2.746	52.4	29.9	22.5	23.6	57.0	19.4

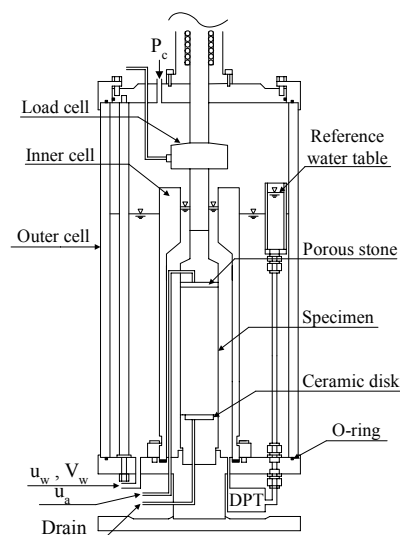


図1 三軸試験機

## 3. 実験結果

本研究では実験により求めた  $K_0$  値を用いて  $K$  一定圧密を行い、その後せん断試験を行った。過圧密にする場合は  $K_0$  除荷を行った。

### 3.1 静止土圧係数

排水量と軸変位から側方変位を求め、側方の変位が生じないように圧密を行うと、図2のような結果が得られた。この結果から、 $K$  値が0.38の応力経路とほぼ一致するため、本研究では  $K_0$  値を0.38とした。この  $K_0$  値は、米山粘性土の内部摩擦角 ( $\phi = 37^\circ$ ) を用い

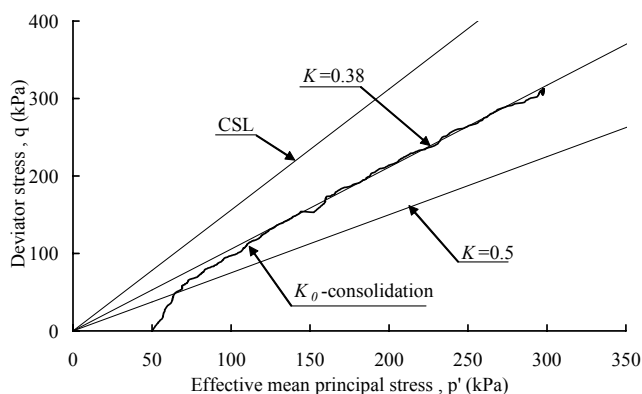


図2  $K_0$  圧密時の応力経路

て Jaky の式  $(1 - \sin \phi)$  よりもとめた  $K_0$  値と比較してもよく一致する。

### 3.2 要素試験による土圧の評価

三軸試験により土圧の評価を行った。軸圧一定、側圧減少の圧縮試験により主働土圧を、軸圧一定、側圧増加の伸張試験により受働土圧を再現し、排水・非排水、正規圧密・過圧密(OCR=6)の8ケースを行った。軸圧一定は土被り圧一定であることを示し、試験時は全応力で考慮している。

本研究では土圧係数を有効応力・全応力と区別して考慮した。有効応力の土圧係数  $K_a'$ ・ $K_p'$  は、式(1)、式(2)で表され、これは一般的に用いられているランキンの土圧係数<sup>1)</sup>である。全応力の土圧係数  $K_a$ ・ $K_p$  は、式(3)、式(4)で表される。

#### 3.2.1 排水試験

図3に正規圧密・過圧密粘性土の土圧係数・側方ひずみ関係を示す。図3中に示した  $K_a'$ ・ $K_p'$  は三軸圧縮試験から得られた内部摩擦角を用いて求めた値である。図3より主働側の  $K_a'$  は正規圧密の土圧係数とよく一致しているが、受働側の  $K_p'$  は過圧密の土圧係数と一致し正規圧密の土圧係数より大きい値を示している。この原因として、土は高拘束圧域になると内部摩擦角が減少することが影響しているものと考えられる。したがって、この内部摩擦角の減少を考慮し  $K_p'$  を求めたのが図の  $K_p' = 3.53$  である。このように拘束圧の影響を考慮しないと正確な土圧係数の評価ができないと考えられる。過圧密の土圧係数は主働・受働どちらも正規圧密とはかなり異なった値を示している。図4は600kPaで先行圧密された試料の破壊線を示したものである。図4のように過圧密粘性土は応力レベルによって粘着力と内部摩擦角が変化するためである。

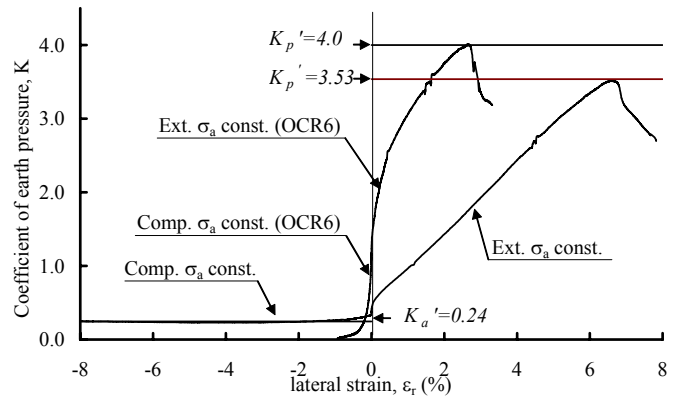


図3 排水時の土圧係数 - 側方ひずみ関係

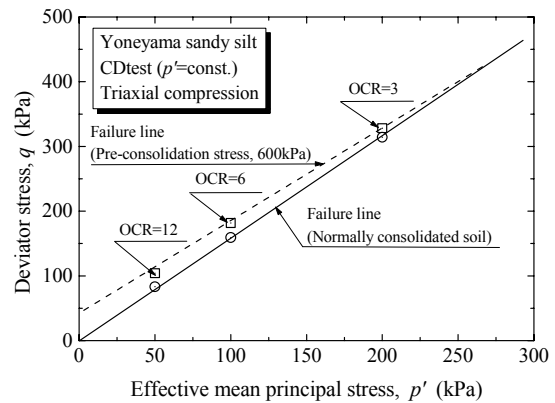


図4 過圧密の影響

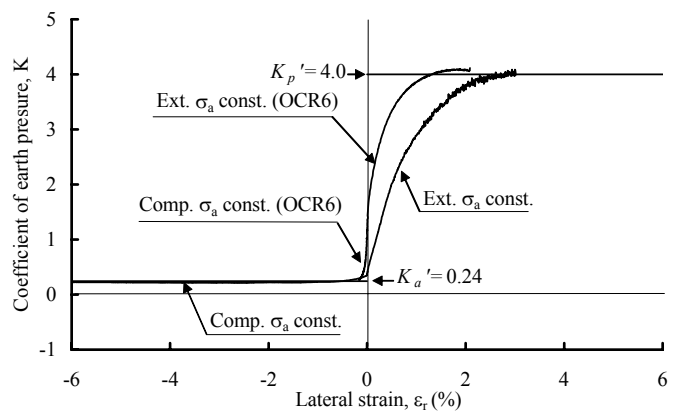


図5 非排水時の土圧係数 - 側方ひずみ関係 (有効応力)

### 3.2.2 非排水試験

図5は有効応力の土圧係数-側方ひずみ、図6は全応力の土圧係数-側方ひずみである。図5に示した  $K'_a \cdot K'_p$  は三軸圧縮試験から得られた内部摩擦角を用いている。このように排水試験とは異なり、正規圧密・過圧密とも  $K'_a \cdot K'_p$  と一致しているのは、非排水試験では排水試験とは異なり過圧密であっても応力経路が異なるだけで、破壊線付近にて破壊するためである(図7参照)。

次に全応力について検討する。図5、図6のように有効応力と全応力では間隙水圧の影響によりかなり挙動が異なっている。そこで全応力法による土圧の推定方法を提案した。 $K_a \cdot K_p$  は式(3)、式(4)で表され、 $\phi = 0$ 、 $c = q_u / 2$  のパラメータから求めることができる。ここで  $q_u$  は  $\sigma_1 - \sigma_3$  で表され、一般に一軸試験から得られる一軸圧縮強さが用いられる。正規圧密の受動側を例にとり評価を行う。図7から、三軸圧縮試験、三軸伸張試験から得られる  $q_u$  をそれぞれ 140kPa、55kPa とし計算を行うと図8のような結果が得られる。三軸圧縮試験により求めた  $q_u$  で予測した受働土圧係数はかなり過大評価している。一方、三軸伸張試験により求めた  $q_u$  で予測した受働土圧係数は正確に評価されている。このように、正確な応力状態を再現しないと異なる結果が得られることがわかる。

$$K'_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \dots (1)$$

$$K'_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \dots (2)$$

$$\frac{\sigma_{ha}}{\sigma_{va}} = K_a = 1 + \frac{q_u}{\sigma_{va}} \dots (3)$$

$$\frac{\sigma_{hp}}{\sigma_{vp}} = K_p = 1 + \frac{q_u}{\sigma_{vp}} \dots (4)$$

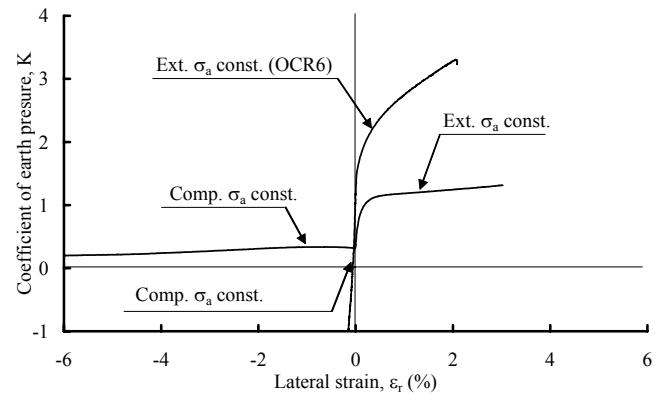


図6 非排水時の土圧係数-側方ひずみ関係(全応力)

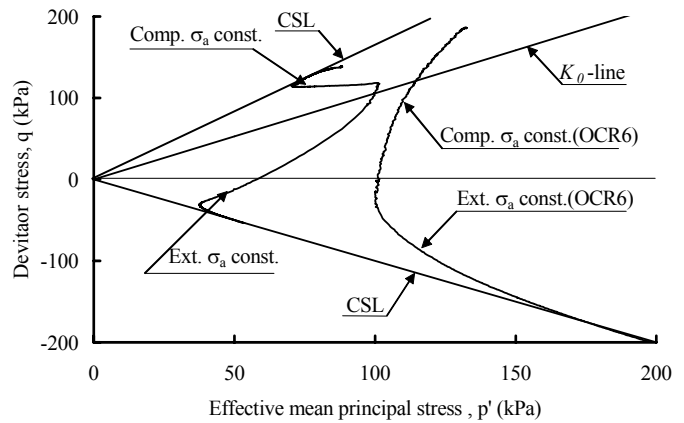


図7 排水時の応力経路

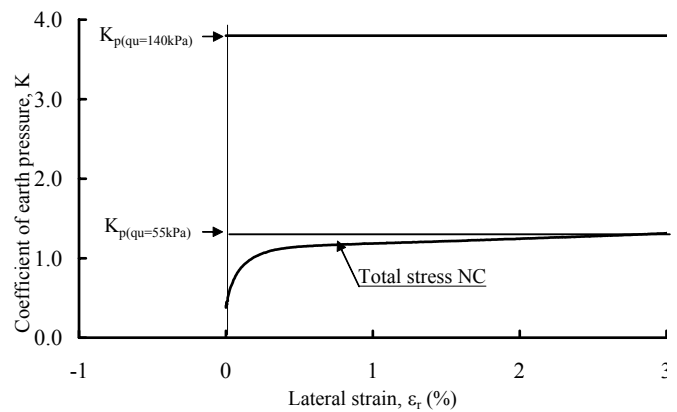


図8 全応力法による評価

### 3.3 $K_0$ 圧密された粘性土のせん断特性

図 9 は正規圧密の主働側の結果と修正 Cam-clay モデルによる計算結果を比較したものである。試験結果は初期の段階で急激に立ち上がり、明確な弾性領域を示している。一方、計算値では正規圧密のためせん断初期から塑性変形が始まっている。これより、正規圧密であっても  $K_0$  圧密された粘土では弾性領域が現れることがわかる。したがって、本節では  $K_0$  圧密された正規圧密度、またその後  $K_0$  除荷された過圧密において側圧一定排水試験、有効応力一定試験を行い、弾性領域が拡大するか確認した。図 9 は各試験より得られた弾性限界を 400kPa 付近について拡大したものである。このように、正規圧密であっても、 $K_0$  圧密されることにより弾性領域が拡大していることが確認できる。

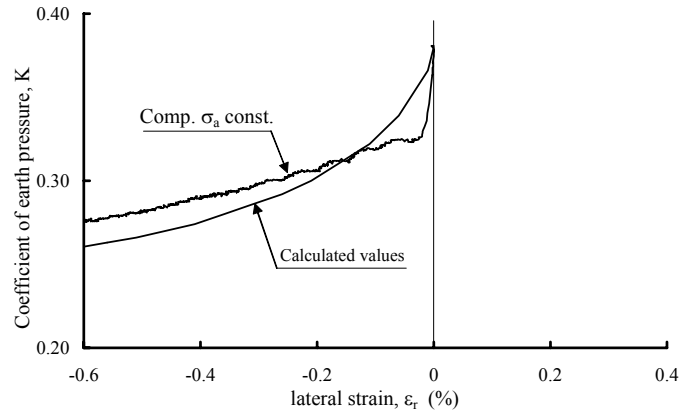


図 9 実験値と計算値の比較

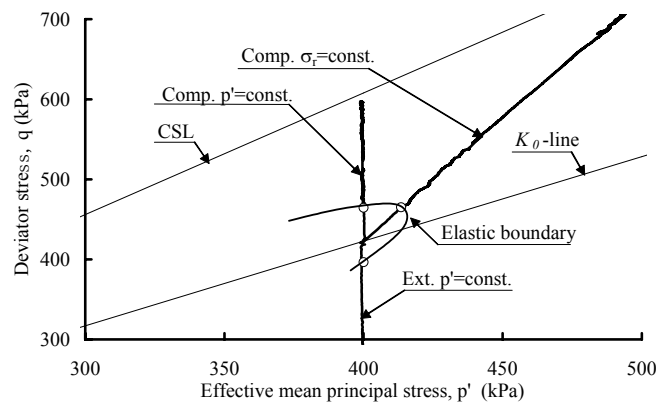


図 10 弾性領域の拡大 ( $p' = 400\text{kPa}$  付近)

## 4. 結論

- ① 粘土地盤における土圧の強度定数選定法について表 2 を提案した。
- ② 全応力法においては一軸試験だけでは不十分で最低限三軸試験による評価が必要である。
- ③  $K_0$  圧密された粘性土の弾性領域の拡大を確認した。

表 2 粘土地盤における土圧の強度定数選定法

		排水			
		有効応力		全応力	
		強度定数	注意点		
正規圧密	$\phi' (= \phi_{cd})$	$\phi'$ の拘束圧依存性	有効応力と同じ		
過圧密	$c_{cd}, \phi_{cd}$	応力レベル			

		非排水			
		有効応力		全応力	
		強度定数	注意点	強度定数	注意点
正規圧密	$\phi'$	間隙水圧を評価	$\phi = 0, c = q_u/2$	応力状態を正確に再現	
過圧密					

### 参考文献

- 1) 岡二三生, 土質力学演習, 森北出版株式会社, pp204-pp229, 1995.