

三成分コーン消散曲線における OCR と土の砂含有率の影響及び c_h 値の推定

佐賀大学 学 ○近藤健太 齋藤 昭則 正 柴 錦春

1. はじめに

三成分コーン貫入試験の結果は、地盤土層の分類、非排水せん断強度の推定に広く応用されている¹⁾。また、所定の貫入深さでコーンを止め、間隙水圧(u)の消散過程を計測した消散曲線から、地盤の水平方向の圧密係数(c_h)も推定することができる²⁾。 c_h を推定する方法は主に、消散試験において u が始めから単調減少する、いわゆる“標準”消散曲線に基づいている。しかし、一部の現場・室内試験結果は、最初に u が向上し、その後減少していく現象がある（“非標準”消散曲線）。その原因の一つとして考えられているのが、過圧密した粘土・密な砂質土の正のダイレイタンシーの影響によるものである³⁾。

本研究は三成分コーンの消散曲線に及ぼす、粘土の過圧密比（OCR）及び粘性土中の砂含有率の影響を、室内モデル試験結果を用いて検討した。

2. 試験装置・方法及び試料

モデル試験のモールドの直径は 0.485m、高さは 1m である。貫入試験に用いるコーンの直径は 20mm、コーン角度は 60° である。モデル地盤の作製では圧密速度を促進するため、まず、モールド内壁に幅約 0.1m の帯状ジオテキスタイルを 6 個取り付ける。次に初期含水比を液性限界値になるように調整した試料を、数層に分けてモールドに厚さ約 0.8m まで入れる。圧密時の u を測定するため所定の深さに水圧計を設置する。空気圧により所定の圧密応力で圧密を行う。応力条件を表-1 に示す。圧密度が 90%を超えたことを確認後、所定の OCR 値になるように空気圧を調整する。空気圧調整後、間隙水圧が安定したらコーン貫入試験を実施する。コーン貫入速度 25mm/min で約 0.3m まで貫入後、消散試験を実施する。また、コーン貫入・消散試験後、モデル地盤から試料を採取し圧密試験を行う。

本研究では 2 種類の試料を使用した。1 つは攪乱した有明粘土、もう 1 つは川砂と有明粘土を乾燥重量比 6:4 に混合した混合土である。使用した有明粘土の液性限界(w_L)は 104.6%、塑性限界(w_p)は 51.6%、川砂の平均粒径は 0.35mm である。

3. 試験結果と考察

3.1 OCR の影響

表-1 試験条件と結果

	試料	σ'_{vm} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	OCR	t_{max} (min)	u_{max}/u_i (kPa)	c_h (m ² /min)	c_v (m ² /min)	c_h/c_v
Case-1	混合土	48	48	1	0.50	1.13	3.90E-06	3.78E-06	1.03
Case-2	混合土	192	48	4	0.95	1.27	1.40E-05	2.10E-05	0.67
Case-3	有明粘土	48	48	1	1.40	1.12	6.51E-06	4.20E-06	1.55

図-1 に混合土試料モデル地盤中の初期垂直有効応力(σ'_{v0})を 48 kPa、OCR=1 (Case-1)、4(Case-2)の消散曲線を示す。OCR が大きくなると非標準的な消散曲線になることがわかる。 u の最大値、 u_{max} (図-2) に到達する時間 t_{max} (図-2) と u_{max}/u_i (u_i は消散試験開始時の u 値) の値を表-1 にまとめている。OCR の増加によって、 t_{max} と u_{max}/u_i 値が増加し、明確に非標準消散曲線になっている。OCR による影響のメカニズムは、OCR の増加により粘性土の非排水せん断過程に、正のダイレイタンシーが発生したと考えられる。

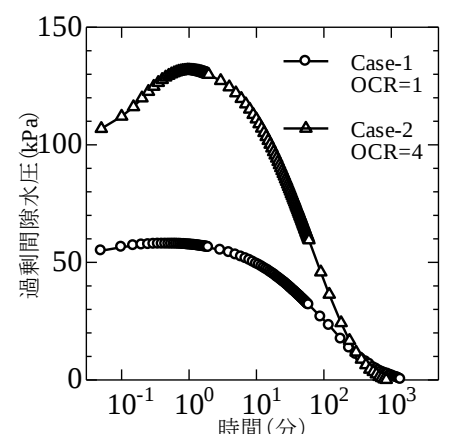


図-1 OCRの影響(混合土)

3.2 土の砂含有率の影響

図-3 に $\sigma'_{v0}=48\text{kPa}$ 、 $\text{OCR}=1$ の有明粘土 (Case-1) と混合土 (Case-3) の消散曲線を示す。2つの消散曲線は、 $u_{\max}/u_i$ 値を考慮しても大きな差が認められない。つまり、砂を 60% 混合しても、 $\text{OCR}=1$ の消散曲線は少し非標準的な傾向があるが、標準曲線に近いことがわかる。混合試料の半分以上は砂であるが、砂粒子が片状の粘土粒子に囲まれ、砂粒子間の直接接触が少なかったと推測できる。そして、混合土のモデル地盤は粘性土地盤に近い挙動を示した。

4. 非標準曲線から c_h の推定

Chai ら³⁾は非標準消散曲線から c_h を推定する方法を提案している。この方法の基本的な考え方は、過剰間隙水圧が最大値から 50% に消散するために要する時間 (t_{50}) を補正することにある。校正した t_{50} を t_{50c} と定義し、 t_{50c} の計算に式(1)³⁾を用いる。

$$t_{50c} = \frac{t_{50}}{1 + 18.5 \cdot \left(\frac{t_{u_{\max}}}{t_{50}} \right)^{0.67} \left(\frac{I_r}{200} \right)^{0.3}} \quad (1)$$

次に t_{50c} を用いて、以下の式(2)²⁾で c_h を計算する。

$$c_h = \frac{0.245 \cdot r_0^2 \cdot \sqrt{I_r}}{t_{50c}} \quad (2)$$

ここで I_r : 試料の剛性比 (せん断剛性/せん断強度)

r_0 : コーンの半径

消散試験を実施した 3 ケースの消散曲線から式(1)と式(2)により推定した c_h 値を表-1 にまとめている。表中にモデル地盤土の圧密試験から得られた垂直方向の圧密係数 (c_v) (コーン貫入時のモデル地盤中の初期有効応力に対応) 及び c_h/c_v の値も示している。混合土の 60% が砂であり、モデル地盤の圧密係数の異方性はあまりないといえ、 c_h/c_v 値は 1 に近い。有明粘土の場合、土粒子は片状であり粒子の定向配列により圧密特性の異方性がある。一般的に $c_h > c_v$ ⁴⁾ なので、 c_h/c_v は 1 より大きい。従って、式(1)と式(2)は非標準的な消散曲線から地盤の c_h 値を推定することができると考えられる。

5. まとめ

(1) 室内モデル試験結果から、三成分コーンの消散曲線にモデル地盤の過圧密比 (OCR) が影響を及ぼすことが分かった。OCR の増加により、消散曲線は非標準的なもの (水圧 u は初期上昇、その後減少) になる。また、実施したモデル試験結果より、粘土中に砂の混合率 60% までは、消散曲線に明確な影響が認められなかった。

(2) 圧密試験から得られた垂直方向の地盤の圧密係数 (c_v) とモデル試験の消散曲線から推定した水平方向の圧密係数 (c_h) との比較により、式(1)と式(2)は非標準消散曲線から c_h 値の推定に有効であることを明らかにした。

参考文献

- 1) Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M. (1997). Cone penetration testing in geotechnical practice. London: E & FN Spon.
- 2) Teh, C.I. and Houlsby, G.T. (1991). An analytical study of the cone penetration test in clay. Geotechnique, Vol. 41, pp. 17-34.
- 3) Chai, J.-C., Sheng, D., Carter, J.P. and Zhu, H.-H. (2012a). Coefficient of consolidation from non-standard piezocone dissipation curves, Computers and Geotechnics, Vol. 41, pp. 13-22.
- 4) Chai, J.-C., Jia, R. and Hino, T. (2012). Anisotropic consolidation behavior of Ariake clay from three different CRS tests. Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol. 35, No. 6, pp. 1-9.

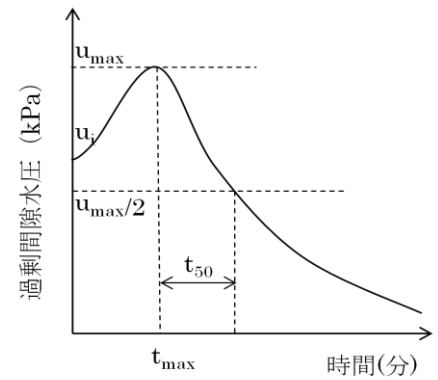


図-2 非標準消散曲線のイラスト

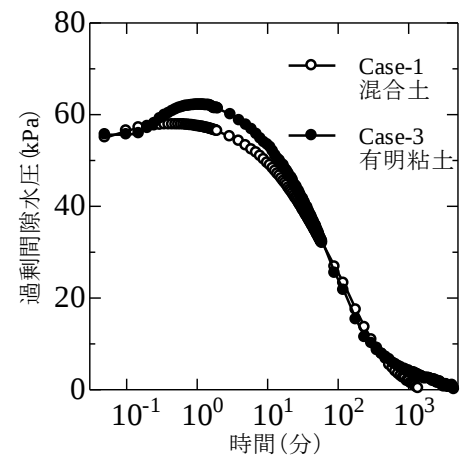


図-3 有明粘土と混合土の消散曲線の比較