

三成分コーンの現場消散試験結果から中間土の圧密係数の推定について

佐賀大学 理工学部

学生員 ○吉田 文弘

佐賀大学 低平地研究センター

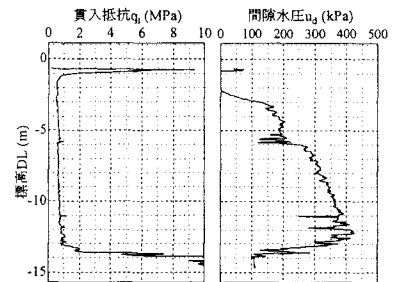
正会員 柴 錦春

軟弱地盤研究所(株)

正会員 三浦 哲彦

1. はじめに

地盤調査法において、粘土地盤の場合、三成分コーンが広く利用されている。三成分コーン試験のメリットの一つとして、現場消散試験結果から地盤の圧密係数を推定することが可能である。しかし、砂質粘土地盤（中間土）の場合、消散試験の開始後、最初の数分間、過剰水圧が上昇し、その後消散する現象がある。このような現象には、現在の地盤の圧密係数推定法が適用できない。本研究は、中間土のダイレイタンス特性を考慮して、地盤の圧密係数を推定する方法を提案した。



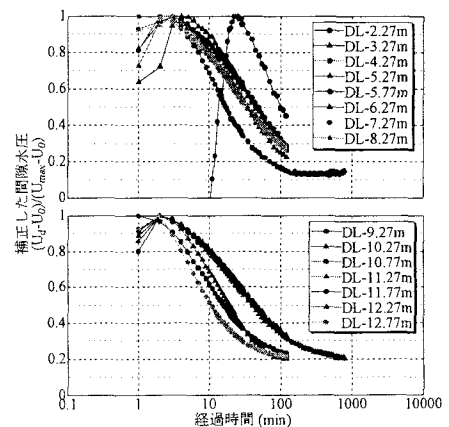
図・1 コーン貫入試験結果

2. 既存の圧密係数推定法

コーン貫入に伴って発生した間隙水圧の消散過程について、柱状空洞拡張理論に基づく解析法¹⁾、および有限要素法解析結果に基づく解析法がある²⁾。一般的に、過剰水圧が初期値の50%まで消散する時間 t_{50} を用いて、地盤の水平方向の圧密係数 C_h を推定する。直径 35.68mm のコーンの肩に水圧計がある場合、 t_{50} と C_h の関係は下式のようなものである²⁾。

$$C_h = \frac{0.245r_o^2 \sqrt{I_r}}{t_{50}} \dots (1)$$

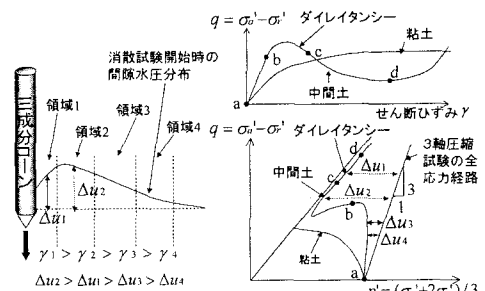
ただし、 r_o はコーンの半径、 I_r は地盤の剛性係数 ($I_r = G/S_u$ 、 G : 地盤のせん断弾性係数、 S_u : 非排水強度) とする。(1) 式が成立する前提は、コーン貫入時に発生した過剰間隙水圧の分布がコーン表面からの距離の増加によって減少し、そして、消散が始まると測定した水圧が減少することである。



図・2 補正した間隙水圧消散試験結果

3. 佐賀で行った現場試験

現場三成分コーン貫入試験は建設省武雄工事事務所（当時）が平成 11 年に佐賀県杵島郡江北町で行った³⁾。試験に用いたコーンの直径は 35.68mm、水圧計はコーンの肩にあるものであった。図・1 はコーン貫入試験の先端抵抗と水圧測定値の一例である。先端抵抗 q_t と間隙水圧 u_d の分布により、地表から標高 -2m、-6m、-12m 付近に砂層があることがわかる。連続貫入孔から 2m 離れたところで貫入・消散試験を行った。消散試験結果は、図・2 に示している。図中



図・3 貫入の初期過剰水圧分布モデル

の u_0 は地盤中の静水圧、 u_{max} は u_d の最大値である。いくつかの深さで消散が始まり、数分間水圧が上昇した後消散する。この現象は発生する原因は現在解明されていない。一つの解釈は、砂質粘土（中間土）のせん断に伴うダイレイタンスの影響が考えられる（図・3）。コーン周囲のせん断ひずみが大きく、ダイレイタンス

一（膨張）が発生し、初期過剰水圧はコーンから少し離れたところより小さくなる。そして、消散が始まると、隣の高い水圧の影響で水圧計部分の水圧が最初に上昇する。この現象が起こる場合の消散試験結果から地盤の圧密係数を推定する場合、（１）式をそのまま適用することはできない。

4. 新しい圧密係数推定法

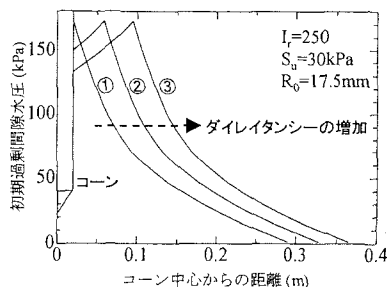
柱状空洞拡張理論に基づいて、コーン貫入により、コーン周辺に発生する初期過剰間隙水圧の分布は下式で表す。

$$\Delta u = 2S_u \ln(R_p/r) \cdots (2), \quad R_p = r_0 \sqrt{I_r \sec \phi} \cdots (3)$$

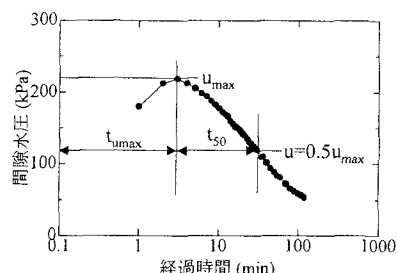
ここで、 R_p は空洞拡張による塑性領域の半径、 ϕ は地盤の摩擦角、 r はコーン中心からの距離とする。本研究で、正のダイレイタンシーがない地盤の初期水圧分布は（２）式で求め、地盤の正のダイレイタンシーによって（２）式の分布を r 方向に平行移動し、その最大値とコーン周面の間の過剰間隙水圧は線形的に減少すると仮定する（図・４）。次に、軸対称の圧密過程を有限差分法で解析し、 t_{50} と C_h の関係を検討した。解析結果によって以下の較正式が得られた。

$$t_{50m} = \frac{t_{50}}{1 + 70 t_{umax}/t_{50}} \cdots (4)$$

ここで、較正された値 t_{50m} を用いて（１）式で、 C_h を推定することができる。 t_{50} と t_{umax} の定義は図・５に示す。



図・４ t_{50} と C_h の関係



図・５ t_{50} と t_{umax} の定義

5. 提案法の佐賀現場試験の応用

（４）式を図・２に示す試験結果に応用し、推定した地盤の水平方向の圧密係数 C_h を表・１にまとめている。表中の C_{ht50} は較正しなかった t_{50} による C_h 値、 C_{ht50m} は較正した t_{50m} によるものである。 C_{ht50m}/C_{ht50} の値は 1～22.69 である。前述した地表から標高 - 2m、- 6m、- 12m の砂層ある付近以外の粘土層の C_h 値（ C_{ht50m} ）は約 $1\text{cm}^2/\text{min}$ である。地盤中の平均有効応力は $\sigma'_m = 50\text{kPa}$ 、圧縮指数 $C_c = 1.0$ 、間隙比 $e = 3.0$ と仮定して、 C_h から地盤の透水係数は約 $2 \times 10^{-6}\text{cm}/\text{min}$ という結果が得られる。この数値は試験盛土の観測結果から逆計算した水平方向の透水係数に近い⁴⁾。

6. まとめ

三成分コーン貫入・消散試験から砂質粘土地盤の水平方向の圧密係数（ C_h ）を推定する新しい方法を提案した。推定法を佐賀の現場試験に適用した結果、推定した C_h 値は試験盛土の結果から逆計算した C_h 値に近いことがわかった。これにより、提案法は現場の C_h 値を評価できることを示した。

謝辞 データを提供していただいた国土交通省武雄河川事務所に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) Rondonph, M. F and Worth, c. p. (1979). An analytical solution for the consolidation around a driven pile. International journal for Numerical and Analytical Method in Geomechanics. Vol. 3. pp. 217~229.
- 2) Teh, C. I. and Houlsby, G. T. (1991). An analytical study at the cone penetration test in clay. Geotechnique. Vol. 41, No. 1, pp. 17~34.
- 3) 建設省武雄工事事務所：「江北地区地質調査業務」報告書：平成 12 年 3 月
- 4) Chai, J.-C. and Miura N. (1999). Inverstigation at factors affecting vertical drain behavior. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE, Vol. 125, No.3, pp. 216~226.

表・１ 現場消散試験結果のまとめ

標高 (m)	t_{umax} (min)	t_{50} (min)	t_{50m} (min)	C_{ht50} (cm^2/min)	C_{ht50m} (cm^2/min)	C_{ht50m}/C_{ht50}
-2.27	22	71	3.13	0.12	2.62	22.69
-3.27	4	41	5.24	0.20	1.57	7.83
-4.27	3	46	8.27	0.18	0.99	5.57
-5.27	3	40	6.40	0.20	1.28	6.25
-5.77	2	15	1.45	0.55	5.65	10.33
-6.27	3	31	3.99	0.26	2.06	7.77
-7.27	—	32	32	0.26	0.26	1
-8.27	3	33	4.48	0.25	1.83	7.36
-9.27	2	41	9.29	0.20	0.88	4.41
-10.27	2	43	10.10	0.19	0.81	4.26
-10.77	2	40	8.89	0.20	0.92	4.50
-11.27	2	37	7.73	0.22	1.06	4.78
-11.77	—	15	15	0.55	0.55	1
-12.27	2	17	1.84	0.48	4.45	9.24
-12.77	2	9	0.54	0.91	15.08	16.56