

III-B 31 サイスマックコーンを用いた水圧消散試験による杭周面摩擦の推定に関する一考察

金沢大学大学院 学生員 五十嵐 辰也
 金沢大学工学部 正会員 松本 樹典
 鹿島技術研究所 正会員 武居 幸次郎
 鹿島技術研究所 俵尾 光

1. はじめに

杭打設後、時間の経過と共に周面摩擦が増加する現象、いわゆるセットアップ現象を調べるため、サイスマックコーンを用いた水圧消散試験を実施し、その圧密解析を行なった。本報告では、その圧密解析より得られた水圧と有効応力の関係から周面摩擦のセットアップについて考察を行った。

2. コーン貫入試験の概要

1995年7月に石川県能登半島の田鶴浜地区の計15箇所において、サイスマックコーン貫入試験(SCPT)を実施した¹⁾²⁾。これらの実施箇所には、1991年に同地区で実施した打込み鋼管杭の載荷試験工事³⁾の地点も含まれている。試験杭の動的載荷試験および静的載荷試験結果より、顕著なセットアップ現象が生じたことがわかった。1995年のサイスマックコーン貫入試験では、このようなセットアップ現象を説明することを目的として、水圧消散試験を実施した。

図1は、使用したサイスマックコーンの概要である。水圧フィルターはコーンを用い、コーン先端抵抗 q_t 、スリーブ摩擦 f_s 、水圧 u の測定に加えて、地表面で与えた衝撃による弾性波の到達時刻を測定するためのジオホーンを内臓している。

図2は地点C₁₈におけるSCPTの結果である。コーンの貫入速度は20mm/sであり、貫入1m毎にコーンの貫入を中断し、せん断波速度 V_s を測定した。

コーンの連続貫入中の f_s はほぼ80kPaである。 V_s

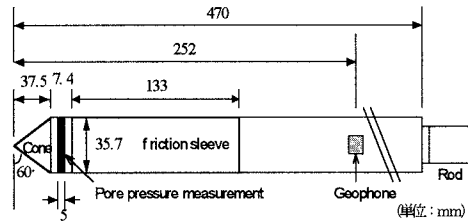


図1 使用したサイスマックコーンの概略図

測定中の数分の間に、水圧 u の消散に伴って、貫入再開直後の f_s は連続貫入中の1.5~2倍程度まで増加している。この現象を詳しく測定するため、深さ19.6mにおいてコーンの貫入を止め、水圧が完全に消散するまでの水圧の時間変化を測定した。

3. 平面ひずみ条件での円柱空洞拡張理論

水圧消散試験結果の解釈として、平面ひずみ条件での円柱状空洞拡張理論⁴⁾を利用した。

3.1 非排水条件での空洞拡張

図3に示す土の応力~ひずみ関係を仮定し、コーンの連続貫入中では、完全非排水条件で空洞が拡張するとすれば、コーン周囲の塑性（破壊）領域の半径 R は式(1)で与えられる。

$$R = r_o (G / c_u)^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 r_o はコーン半径、 G は土のせん断剛性、 c_u は非排水せん断強度である。

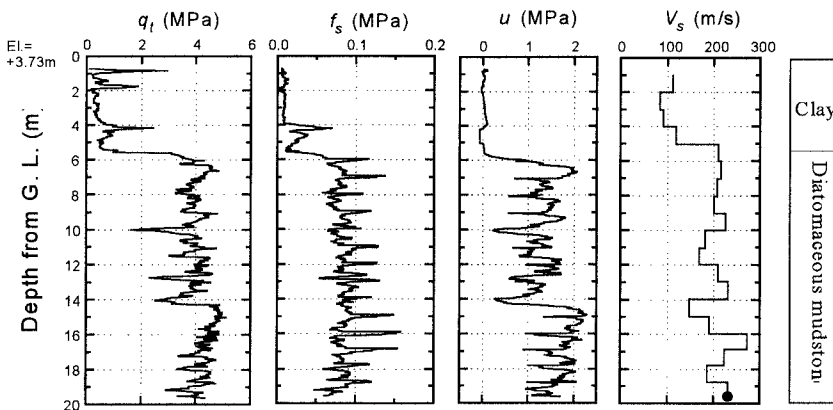


図2 地点C₁₈におけるサイスマックコーン貫入試験結果

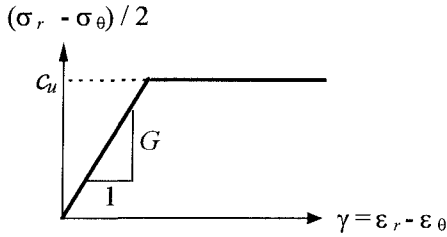


図3 土の応力-ひずみ関係

塑性領域内で発生する過剰間隙水圧 Δu は、式(2)で与えられる。ただし、半径 r が R より大きな弾性領域では、 $\Delta u=0$ である。

$$\Delta u = 2c_u \ln(R/r) \quad (2)$$

コーン側面($r=r_0$)での Δu は、式(2)において $r=r_0$ とすることにより、式(3)で与えられる。

$$\Delta u = c_u \ln(G/c_u) \quad (3)$$

3. 2 半径方向圧密解析

コーン貫入停止直後からの圧密過程において、間隙水の流れが水平方向のみに生じ、また土が弾性変形するとすれば、 Δu の時間的変化は、式(4)の半径方向圧密方程式に支配される。

$$\frac{\partial \Delta u}{\partial t} = c_h \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \Delta u}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Delta u}{\partial r^2} \right) \quad (4)$$

ここで、 c_h は圧密係数であり、 k を透水係数、 γ_w を間隙水の単位体積重量、 v を土のポアソン比として、次式で与えられる。

$$c_h = \frac{k}{\gamma_w} \frac{2G(1+v)}{3(1-2v)} \quad (5)$$

実際の圧密解析では、式(2)で得られる Δu を初期条件として、差分法によって式(4)を解いた。排水境界条件は、コーン側面では非排水、地盤外縁では排水 ($\Delta u=0$) とした。

4. 圧密解析結果

図4は、水圧消散試験における Δu の測定結果と圧密解析結果の比較である。圧密解析では、次のように土のパラメータを決定した。SCPT による測定 $V_s(=230\text{m/s})$ より、 $G=\rho V_s^2$ によって $G=70.4\text{MPa}$ を決定した。ただし、 $\rho=1.33\text{ton/m}^3$ である。次に、コーン貫入停止直後の測定 Δu と G の値から、式(3)によって $c_u=260\text{kPa}$ を得ることができる。ポアソン比 v は、珪藻泥岩の三軸試験結果を参考として、 $v=0.15$ と仮定した。図4からわかるように、 $k=2 \times 10^{-7}$ から $3 \times 10^{-7} \text{ m/min}$ とすると、 Δu の計算結果と実測結果

はほぼ対応した。ここで仮定した k の値は、珪藻泥岩の三軸圧密試験⁵⁾から求めた値の約 1/3 であり、CPT 装置を用いた水圧消散試験によって、土の透水係数のオーダーを推定できることを示唆している。ただし、圧密解析によって推定した k の値が実測の k に比べて小さい理由の一つとして、 V_s から算定した G は微小ひずみレベルに対応している値のため、コーン周囲の土のひずみレベルに対応する G を過大評価していることが考えられる。

図4には、コーン側面に作用する有効半径方向応力 σ_r' の計算結果も示している。ただし、水圧の減少分が σ_r' の増加分に相当している。解析結果ではコーン貫入停止時から3分程度で約7倍にまで σ_r' が増加しているが、実際の f_s の測定結果(図2)では、2倍までにしか増加していない。Randolph ら⁶⁾ は、圧密過程において土が弾・塑性的な挙動をする場合、半径方向の全応力 σ_r は時間の経過とともに減少することを指摘している。

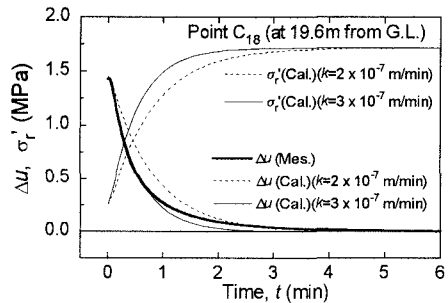


図4 水圧消散試験結果と圧密解析結果

5. おわりに

SCPT における水圧消散試験によって、杭周面摩擦のセットアップを定性的に推定することができた。今後、さらに検討を続けていきたい。

参考文献

- 1) 武居・笹尾・松本・二塚・道 (1996) : コーン貫入試験による珪藻泥岩地盤における鋼管杭の摩擦抵抗の推定, 第31回地盤工学研究発表会
- 2) 松本・五十嵐・武居・宮本 (1996) : サイスマックコーン貫入試験による珪藻泥岩地盤の非排水強度の推定, 第31回地盤工学研究発表会
- 3) 松本・道・平野 (1995) : 珪藻泥岩地盤における打込み鋼管杭の支持力原位置試験, 土木学会論文集, No.511/III-30, 35-45.
- 4) Randolph and Wroth (1978): An analytical solution for the consolidation around a driven pile, Int. Jour. Num. and Anal. methoeds in Goemech., 3, 217-229.
- 5) 嶋田・松本 (1994) : 和倉珪藻泥岩の圧密非排水せん断挙動, 第29回土質工学研究発表会, 367-370.
- 6) Randolph, Carter and Wroth (1979): Driven piles in clay - the effects of installation and subsequent consolidation, Geotechnique, 29(4), 361-393.