

III - 22

遠心載荷実験の模型粘土地盤の非排水せん断強度分布を推定するコーン貫入試験

(財)電力中央研究所 正会員 谷 和 夫

Univ. of Manchester

W.H. CRAIG

1. はじめに： 正規圧密粘土地盤のように強度が一様でない地盤の短期安定性を遠心模型実験によって検討する際には、比較的小型な模型地盤内の非排水せん断強度 C_u の分布を正確に把握することが重要である。本研究では、軟弱な粘土地盤で深度方向に変化する C_u 分布を評価するために、連続的にデータを得ることが可能なコーン貫入試験法(CPT)に注目し、 C_u が一様な数種類の模型地盤内で貫入試験を実施してコーン貫入抵抗 q_c から C_u を推定する関係式を導いた。この関係式は貫入速度、応力レベル、コーン先端のシールの影響を考慮しており、非均質な地盤に対する適用性が高いことも示されている。

2. 装置と実験方法： 不均質な地盤の強度分布を q_c から推定するためのコーンは、①ある特定の深さの強度のみを代表するように小型であること(深度分解能)、②軟弱な粘土であっても貫入抵抗の測定精度を維持するために十分なコーン面積 A_c を有すること(強度分解能)という相反する2条件を同時に満足しなければならない。さらに、遠心加速場での使用に耐えられるように頑丈かつ軽量であることも要求される。新たに開発した小型コーン・ペネトロメータは、コーン先端抵抗力 Q_c と、周面摩擦力 Q_s も含めた総貫入抵抗力 Q_t をそれぞれ上部のロードセルで測定する2重管式構造とした。

実験に用いた試料は北海沿岸から採取された難透水性のCowden粘土($I_p=23$, 粘土含有率 $F_c=32\%$)で、Roweセル型の円筒土槽(内径500mm, 高さ380mm)内で所定の上載圧(150~600kPa)で圧密した。実験は重力場(1g)と遠心加速場(45, 80, 100g)で行い、コーン貫入速度を0.45~107mm/secの範囲で変化させた。各模型地盤内で6回のCPTを終了後、サンプリングした供試体(直径38mm, 高さ76mm)を用いて三軸UU試験を実施して非排水せん断強度 C_u (18~75kPa)を求めた。

3. キャリブレーション試験： 計測された $q_c(=Q_c/A_c)$ を、コーン裏側に作用する間隙水圧 u に対し補正するために、力のつり合いを考慮した関係式が提案されている。

$$q_T = q_c + u(1 - a) \quad (1)$$

ここで、 q_T は補正された q_c 、 a は通常コーン面積比($=A/A_c$)を表わし、コーン係数 N_k はコーン深さの上載圧 σ_v とすると以下ようになる。

$$N_k = (q_T - \sigma_v) / C_u \quad (2)$$

式(1)の a の値を評価するために、コーンに水圧 p_o を作用させるキャリブレーション試験を実施した(図1)。式(1)は、 $q_T = u = p_o$ で $a = q_c / p_o$ となる。コーンとスリーブの隙間にシリコンゴムのシールがある場合は $a = 0.74 \sim 0.75$ となり、内側のOリングにも水圧が作用することを考慮して計算される $a_2 = A_2 / A_c = 0.74$ と一致することより式(1)の妥当性が示される。しかし、シールがある場合には $a = 0.64 \sim 0.68$ となり、計算値 $a_1 = A_1 / A_c = 0.61$ より高いことから、コーン裏側に実際に作用する圧力は p_o より低いことが判る。シールを弾性体として軸対称平面ひずみ状態を仮定した解析によると、 a の値はポアソン比 ν の減少と共に $a_1 = 0.61$ ($\nu = 0.50$)から増加し、計測値 $a = 0.64 \sim 0.68$ に対応する $\nu = 0.45 \sim 0.48$ は、シリコンゴムの $\nu = 0.46 \sim 0.49$ に近い。単純なモデル化のために計算値と解析値が厳密には一致しない結果となったが、シール材の圧縮性により、シール外面に作用する圧力と異なった応力が実際にはコーン裏側に作用し、式(1)による補正が不十分であると結論できる。また、透水型のシールを用いるピエゾコーンの場合も、間隙水圧については $a = a_2$ とした式(1)による補正が可能

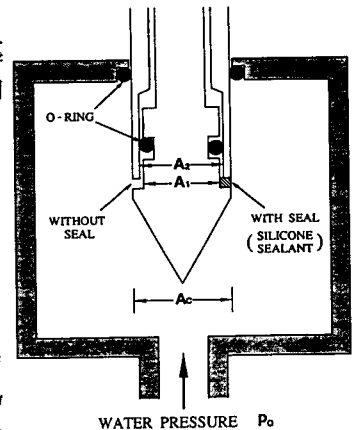


図1: キャリブレーション試験

だが、シール外面に作用する有効応力（ σ_N' 、 τ ）の影響を無視していることは留意しなければならない。

4. 貫入試験： コーン底部深さを深度 z とした試験結果を示す（図2）。

- ① 遠心加速度が貫入と共に変化する影響と、シール部分が貫入するまで（ $-h_c \leq z \leq 0$ ）に作用する浮力の影響は補正した。 Q_c に対するコーン裏側に作用する応力の影響は、後者の補正によって水中（コーン部分貫入中）では厳密に補正されるが、粘土内ではシール外面に作用する応力がわからないために補正不可能である。
- ② $-h_c \leq z \leq 0$ で $Q_t \div Q_c$ であることより、遠心加速場における微小な荷重の計測（分解能0.07N）と、上記補正が適切であることが判る。
- ③ C_u 一定の均一地盤であっても、遠心加速場では Q_c が深さと共に増加する応力レベル依存性を示す。
- ④ C_u 比が2.4の2層地盤で実施した試験では、コーン底部の前方 $2D_c$ 、後方 $0.5D_c$ が Q_c に対する影響範囲だった。強度が連続的に変化する地盤の場合では、 Q_c はコーン底部極く近傍の深度の強度を代表すると考えて良いだろう。

- ⑤ Q_c と Q_t は貫入速度 v の影響を受けるが、その度合は Q_t の方が大きい。

5. C_u 推定法： ① 貫入速度の影響：粘性土の変形・強度特性に及ぼすひずみ速度の影響は、対数則に従うことが経験に知られている。

$$q_c = q_c^* \cdot \{1.0 + \beta \cdot \log(v/v^*)\} \quad (3)$$

q_c^* は $v = v^*$ の時の q_c とする。同一模型地盤、遠心加速度、深度で得られた異なる（ v 、 q_c ）より $v^* = 20$ （mm/sec）に対する q_c^* を計算し、 $q_c/q_c^* \sim \log(v/v^*)$ 関係の直線近似の傾き $\beta = 0.10$ が得られる（図3）。

② 応力レベルとコーン裏側に作用する応力の影響：シール外面に作用する応力が上載圧 σ_v に比例すると仮定すると、コーン裏側に作用する応力が q_c に及ぼす影響を応力レベルの影響に含めて評価することが可能で、（2）式は次のようになる。

$$q_c^* = C_u \cdot N_k + \alpha \cdot \sigma_v \quad (4)$$

各模型地盤で得られた $q_c^*/C_u \sim \sigma_v/C_u$ 関係を直線近似した傾きより $\alpha = 0.637 \sim 0.847$ （平均0.737）、切片より $N_k = 11.6 \sim 13.5$ （平均12.5）が得られる（図4）。上記キャリブレーション試験が $C_u = 0$ （kPa）に対応すると考えると、 $a = 0.64 \sim 0.68$ は α の値と調和的であることは興味深い。

6. おわりに： 式（3）、（4）より、模型地盤内の C_u 分布を小型CPTの結果から推定することができる。強度が一定でない地盤の場合に推定された C_u の対応深度や、浅い部分（ $z < 4D_c$ ）での地表面の影響等の検討が残されているが、本研究で対象とした特定の粘土に対する C_u 推定法の考え方は、原位置で実施されるCPTについても当てはまるものと考えられる。

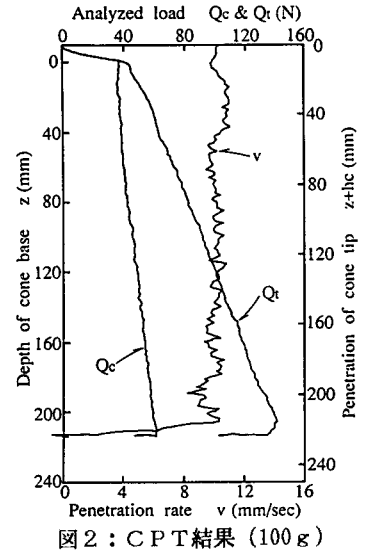


図2：CPT結果（100g）

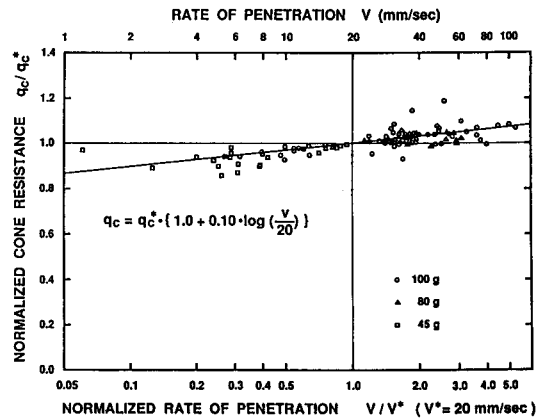


図3： $q_c/q_c^* \sim v/v^*$ 関係

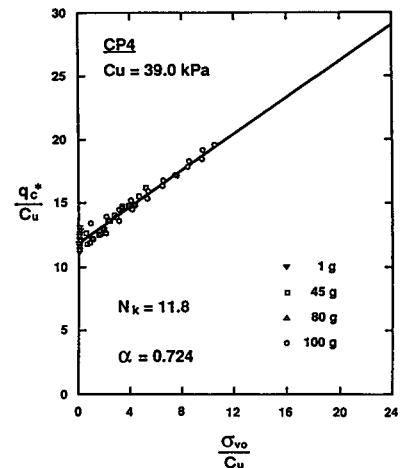


図4： $q_c^*/C_u \sim \sigma_{v0}/C_u$ 関係