

電気式コーン貫入試験(CPTU)実施時のロッドに生じる摩擦抵抗力についての考察

CPTU フリクションカッター 摩擦抵抗力

ソイル&ドロックエンジニアリング(株) 正会員○重富正幸
 同上 正会員 石井正紀
 同上 正会員 松浦良信
 同上 正会員 長澤 遼

1. はじめに

電気式コーン貫入試験 (CPTU) は、貫入長が長くなるに従いコーンプローブに作用する貫入抵抗力だけでなくロッドに作用する摩擦抵抗力も大きくなるのが既存の研究¹⁾で明確となっている。コーンプローブの直上には、通常ロッドに作用する摩擦抵抗力を低減させるためにフリクションカッターが取り付けられている。しかしながら、調査孔の自然閉塞や貫入時のロッドに生じるたわみ等によりロッドに作用する摩擦抵抗力がゼロになっていないのが現状である。ロッドに作用する摩擦抵抗力が大きくなるとコーンプローブに伝達される貫入力に低下するだけでなく、ロッドに過大な力が作用し折損事故の発生等が懸念される。

本報告は、CPTU 実施時にロッド頭部 (地上部) に設置したロードセルを用いて測定した貫入力 (P_L) と補正コーン貫入抵抗 (q_t) ならびに周面摩擦 (f_s) から算出したコーンプローブに作用する貫入抵抗力 (R_p) と、ロッドに作用する摩擦抵抗力 (R_R) の関係について考察を行ったものである。

2. 実験装置

実験に使用した自走式のコーン貫入装置を写真-1 に示す。この貫入装置は自重 28kN であるが、スクリューアンカー (最大 2 本) を反力として使用することで最大 164kN の貫入力を得ることができる。実験では写真-2 に示すように貫入装置の圧入部 (ロッド頭部) に取り付けられた 100kN ロードセルで P_L を測定した。なお全貫入力 (P) には、 P_L 以外にコーンプローブの重量 (W_p) とロッド重量 (W_R) も含まれる。

実験で使用したコーンプローブとロッドの外観図、それらの緒元を図-1 と表-1 に示す。 R_p は、貫入抵抗力 (Q) と摩擦抵抗力 (F) に分けられる。 Q は先端コーン部に作用する (Q_1) とフリクションカッター

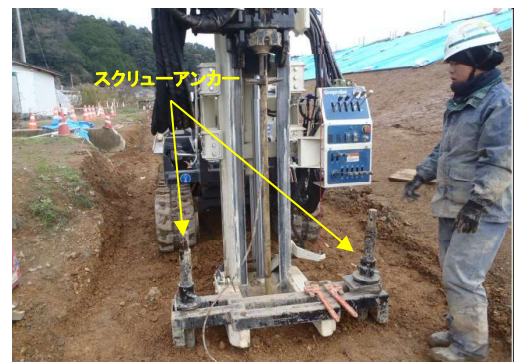


写真-1 自走式コーン貫入装置

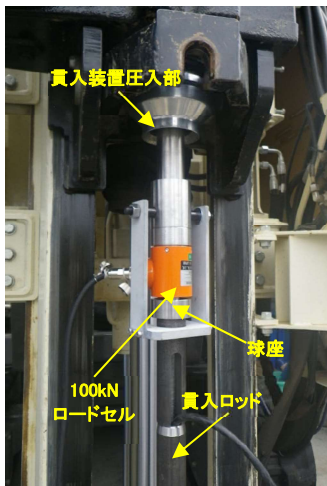


写真-2 ロードセル部拡大

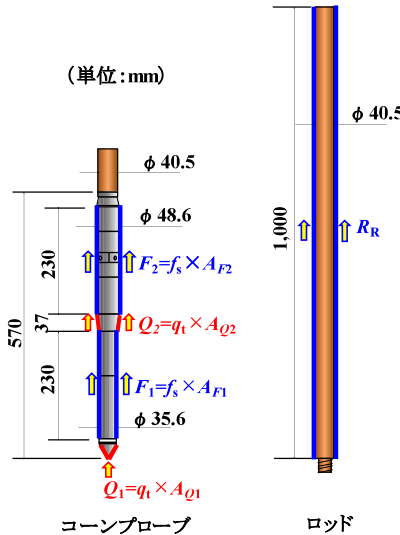


図-1 コーンプローブとロッド

表-1 コーンプローブとロッド緒元

項目	コーン プローブ	ロッド
コーン 断面積	A_{Q1} (m ²)	---
拡径部 断面積	A_{Q2} (m ²)	---
コーン 周面積	A_{F1} (m ²)	---
拡径部 周面積	A_{F2} (m ²)	---
ロッド 周面積	(m ² /m)	0.1272
重量	W_p, W_R (kN)	0.057 0.041

一の拡径部に作用する (Q_2) に分けることができ、 F はコーン周面に作用する (F_1) とフリクションカッター周面に作用する (F_2) に分けることができる (図-1 参照)。 P は R_p と R_R の総和であることから ($P=R_p+R_R$)、 R_R は式-1 で表すことができる。

$$R_R = P_L + W_p + W_R - (Q_1 + Q_2 + F_1 + F_2) \dots \text{式-1}$$

ここで、 Q_1 、 Q_2 、 F_1 、 F_2 は、CPTU で測定した q_t 、 f_s とプローブ各部位の面積 (A_{Q1} 、 A_{Q2} 、 A_{F1} 、 A_{F2}) (図-1 参照) から式-2 で表すことができる。ただし、 Q_1 、 Q_2 、 F_1 、 F_2 が作用する位置はそれぞれ異なるため、作用する位置に相当する貫入深度の q_t と f_s を適用する。

$$R_R = P_L + W_P + W_R - (q_t \times A_{Q1} + q_t \times A_{Q2} + f_s \times A_{F1} + f_s \times A_{F2}) \dots \text{式-2}$$

同様にフリクションカッターを装備していない場合、ロッドに作用する摩擦抵抗力 (R_R') は、貫入長を (Z)、コーンプローブ長 (Z_L)、ロッド周長を (L)、その深度 ($Z-Z_L$) までの CPTU により得られる平均周面摩擦 (f_{sA}) で表すと式-3となる。

$$R_R' = (Z - Z_L) \times L \times f_{sA} \dots \text{式-3}$$

3. CPTU 実施時の R_R

図-2, 3 は、CPTU 結果と P , R_P , R_R , R_R' の深度分布および CPTU 結果を用いて分類した土質柱状図である。なお、図-2 は砂質土地盤 (以降、地点 1 と記す) で、図-3 は砂質土の下部に粘性土が存在する地盤 (以降、地点 2 と記す) である。

今回実験に使用した試験器は、フリクションカッターを装備して貫入するとロッドと調査孔孔壁との間に計算上約 4mm の隙間が生じる。孔壁の崩落やロッドにたわみが生じなければ、調査孔孔壁との接触がなくなり R_R はゼロになる。しかしながら図-2, 3 を見ると R_R は R_R' より小さいもののゼロではない。また、地点 2 の GL-15m 以深の粘性土層では R_P が小さいこともあるが、 R_R が R_P より大きくなっている。

これらの要因として、「①調査孔の自然閉塞や崩落によるもの」と、「②貫入時のロッドのたわみによるもの」の 2 種類が考えられる。

①による R_R は、貫入対象地盤が軟弱な粘性土や飽和した緩い砂質土の場合によく見られる現象で、調査孔の自然閉塞や崩落でロッドと調査孔孔壁が接触することで R_R が作用する。貫入中に①の状態が連続して発生していると、ロッドと調査孔孔壁は常に接触した状態となり、 R_R は貫入深度が深くなるに従い大きくなる。

②による R_R は、 R_P が大きくなることで生じるロッドのたわみが調査孔孔壁に押し付けられることで作用する。この R_R は調査孔孔壁とロッドに生じる動摩擦力であるため、「動摩擦力 = 動摩擦係数 × 垂直抗力」で表すことができる。調査孔孔壁とロッドの動摩擦係数を μ' とすると、垂直抗力はロッドを調査孔孔壁に押し付ける力に相当することから、 R_R と R_P は式-4 に示す比例関係が成立するものと考えられる。

$$R_R = \mu' \times R_P \dots \text{式-4}$$

地点 1 の砂質土層の R_P と R_R の深度分布をみると、GL-8m 付近まではロッドと調査孔孔壁の接触する長さが短いこともあり GL-8m 付近までの R_R は比較的小さいが、GL-8m ~ GL-15m の区間は R_P と調和的である。

このことから、この区間の R_R は①より②が支配的であると考えられる。一方地点 2 の砂質土である GL-12m 付近までの R_R は小さいものの、それ以深の粘性土層では R_P がほぼ一定に関わらず R_R は貫入深度が深くなるに従い大きくなっている。これは①による R_R が支配的であると考えられる。

4. まとめ

以上のことから CPTU 時の R_R は、砂質土地盤では R_P に比例するロッドに生じるたわみの大きさによる影響が、粘性土地盤では調査孔孔壁の閉塞や崩落による影響が大きいことが分かった。このため、砂質土地盤ではロッドのたわみが大きくなる要因である R_R を可能な限り小さくする形状、つまり、 Q_2 と F_2 が小さくなるようなフリクションカッターの適用、粘性土地盤では調査孔の自然閉塞や崩落による影響を可能な限り小さくする形状、すなわち、フリクションカッターの直径が大きいものの適用により R_R を小さくすることができる。今後は、既存の文献²⁾等を参考にフリクションカッターの直径、長さ、形状を変化させたケースについての実験や、ロッド自体の摩擦抵抗力を小さくする機構の検討を行えば、調査地盤に最も適したフリクションカッターを設計できると考えている。

参考文献

- 1) 三村 衛, 吉村 貢, 寺尾庸孝, 松浦良信: 滋賀県守山市における CPT 貫入力に占める摩擦抵抗力の寄与, 第 48 回地盤工学研究発表会, 2013.7
- 2) T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M.Powell: CONE PENETRATION TESTING IN GEOTECHNICAL PRACTICE, pp.15, Nov. 1993

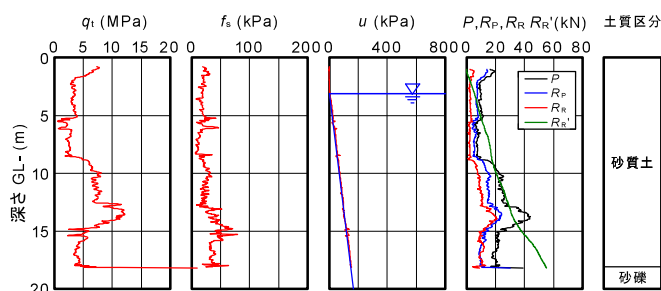


図-2 CPTU と P , R_P , R_R , R_R' (地点 1: 砂質土地盤)

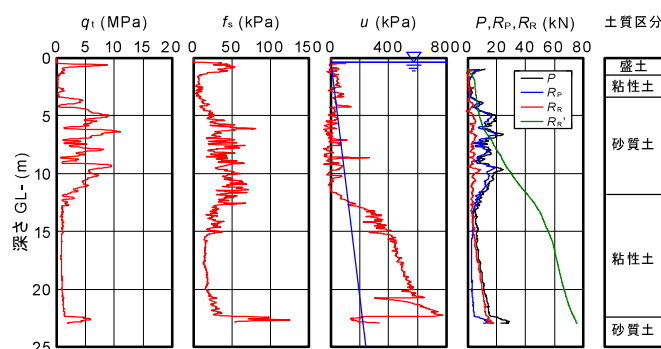


図-3 CPTU と P , R_P , R_R , R_R' (地点 2: 砂質土 ~ 粘性土地盤)