

電気式コーン貫入試験の摩擦低減法について

株式会社地盤試験所 〇仲 優太朗, 北條 豊, 山本 伊作
中央大学 齋藤 邦夫

1. はじめに

電気式コーン貫入試験（以下、CPT）は地盤特性を連続的かつ経済的にリアルタイムで把握できる試験法である。しかし、時として装置の推力不足により貫入不能となる事もある。推力不足となる主な原因は、硬質層による先端抵抗の急増、もしくはロッドに掛かる周面摩擦の累積などである。

周面摩擦の累積を低減する方法は、一般的にコーン貫入試験器（以下、コーン）先端より 400mm 以上上方¹⁾にロッド径より大きなフリクションカッターを設置し、孔を押し広げつつ貫入する方法である。また、ロッドに設けた穴から泥水または清水を吐出させ、土とロッド間の摩擦を低減して貫入する方法も提案されている²⁾。本実験では、ロッドより清水を吐出させる FL-CPT（フリクションレス CPT）による原位置実験を実施し、周面摩擦低減の程度を検証することを試みた。

2. 実験概要

(1) 原地盤の特性

本実験は、茨城県坂東市菅谷の洪積台地上で実施した。該当地の層序は、GL-1.40m まで盛土、GL-2.50m までローム、GL-4.20m まで凝灰質粘土、GL-5.70m まで礫混じり中砂、GL-7.60m まで砂混じりシルト、GL-11.60m まで細砂～中砂、GL-12.70m まで砂質シルト、GL-24.90m まで中砂～シルト混じり細砂、GL-36.90m まで砂質シルト～シルト、GL-40.50m まで細砂となる。

(2) FL-CPT システム

本調査では、無線 CPT システムを採用した。この無線システムは、コーン内部で測定データを音波に変換し、ロッド内を伝わった音波は、ロッド天端のマイクロフォンで受信、データをデジタル再変換する仕組みとなっている。このため、ロッド内は中空となっており、泥水や清水を通水することが可能である。また、ロッド上端に設置するマイクロフォンは、音波受信およびロッド内への注水を同時に可能とする既製品（図-1）を採用した。1本目のロッドには、フリクションカッターを設置し、吐出孔は清水が下部のコーンに回り込まないように、フリクションカッターの上部に $\phi 16\text{mm}$ の孔を設置した。清水吐出状況を図-1に示す。

(3) 実験方法

本実験では、ポンプで清水を注入する時の注水量を、0ℓ/min（無注入）、1ℓ/min、3ℓ/min、6ℓ/min の4ケースに調整して CPT を実施し、各ケースの距離を2mに設定した。また、CPT の三成分測定に加え、ロッド押込み部に



図-1 注水マイクロフォンと清水吐出状況(6ℓ/min)

ロードセルを設置して貫入推力を測定した。摩擦低減を確認する摩擦力 R は、押込み力 P_0 から先端抵抗 P_p (= 補正先端抵抗 $q_t \times \text{コーン断面積}$) を差し引いて求めた。

3. 調査結果

実験結果を図-2に示す。補正先端抵抗 q_t 、周面摩擦 $\mathcal{L}$ 、間隙水圧 u_2 の測定データに着目すると、ほぼ同じ値を示し、CPT は再現性の高い調査法であることを明示している。また、今回コーン上部のロッドより清水を吐出しているが、吐出水による測定データへの影響は見受けられない。

無注入で実施した通常の CPT では、GL-37.75m で貫入装置押込み力の限界となり、調査を終了した。注水有りのケースでは、流量1ℓ/min では GL-39.65m、流量3ℓ/min では GL-40.56m、流量6ℓ/min では GL-40.58m と流量増加とともに最大貫入深度は増加しており、摩擦低減の効果により調査深度が1.9m～2.8m 増加したことを確認した。ただし、本実験で用意したロッドは40m 分であったため、流量3ℓ/min および流量6ℓ/min については、コーン長を加えた調査可能な最大深度で調査を終了している。

図-2の貫入力 P_0 は、先端抵抗 P_p および摩擦力 R (= $P_0 - P_p$) の結果より、先端抵抗は補正先端抵抗 q_t と単位の違いのみで値の意味は同じであるため、摩擦低減による差はほぼない。貫入力と摩擦力に着目すると、流量の増加とともに両者は減少する傾向が見られる。これは、ロッドからの吐出水により摩擦力が低減され、貫入力が減少している状況を明確に示している。ただし、GL-22.0m 以浅では摩擦低減効果はほとんど見られず、GL-22.0m 以深で摩擦低減効果が得られている。これは、土質の差により摩擦低減効果の程度が変化していることを示す。

図-2の貫入力比および摩擦力比は、無注入時の測定値を1とした時の注入量の比を深度毎に示したものである。この結果より、GL-22.0m の砂層および CPT の土質

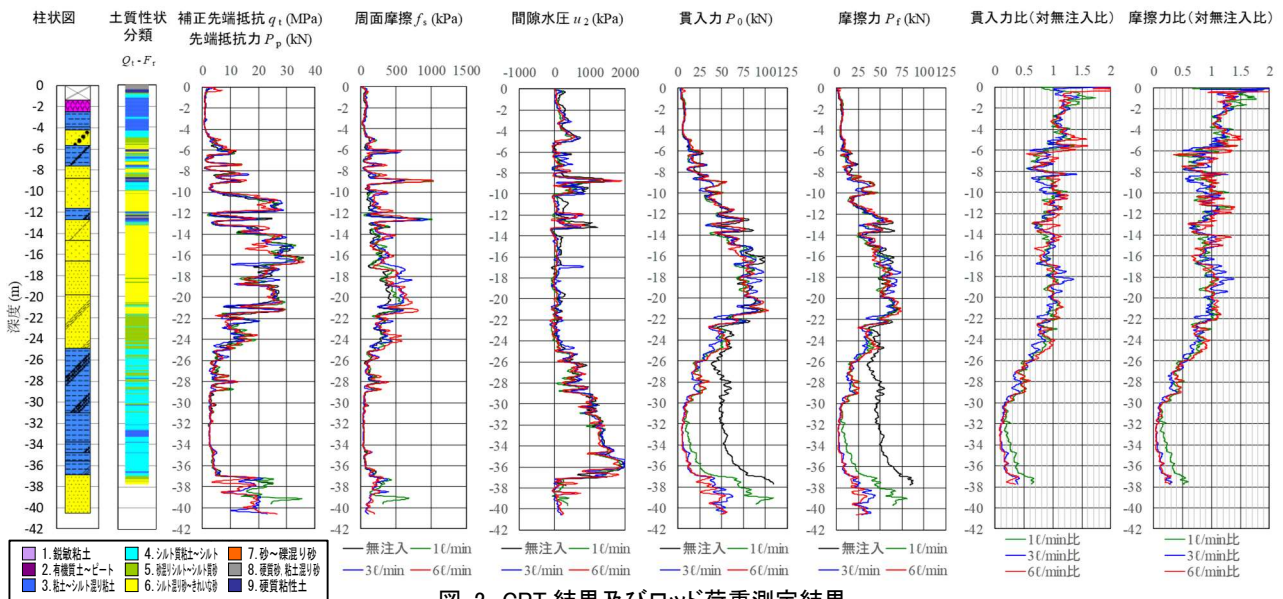


図-2 CPT 結果及びロッド荷重測定結果

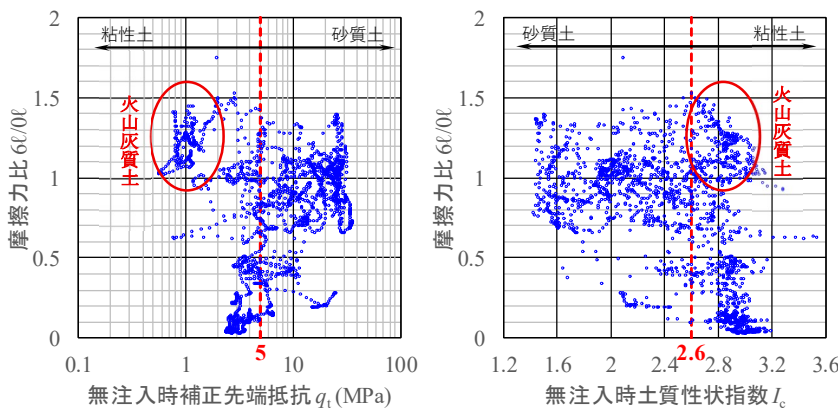


図-3 無水時補正先端抵抗と土質性状指数～摩擦力比

性状分類 SBT=3 (きれいな砂) までは摩擦低減効果は得られず、粘性土および SBT=3~5 (粘土～シルト質砂) では、50%から最大 90%を超える大きな摩擦低減効果を得ている。

補正先端抵抗および土質性状指数 I_c と 60/min 時の摩擦力比の関係を図-3 に示す。補正先端抵抗は、一般に 5MPa を境に砂質土と粘性土を区分することができる。また、土質性状指数は $I_c=2.6$ を境に砂質土と粘性土を区分することができる。補正先端抵抗 $q_t > 10\text{MPa}$ の砂質土は、摩擦力比=1 付近に分布し、摩擦低減効果は得られていない。 $q_t=2\sim4\text{MPa}$ に分布する粘性土は、摩擦力比 0.5 以下の小さな摩擦力比を示し、摩擦低減の効果がよく現れている。しかし、 $q_t=1\text{MPa}$ 付近に分布する粘性土は、摩擦力比=1 付近に分布している。これは、浅層に分布するロームおよび火山灰質粘性土である。土質性状指数 $I_c < 2.6$ に分布する砂質土は、摩擦力比=1 付近に分布し、摩擦低減効果は得られていない。 $I_c > 2.6$ に分布する粘性土は、摩擦力比 0.5 以下に分布するものと 1.0 付近に分布するものと二極化している。摩擦低減効果が得られていないのは、補正先端抵抗と同じく浅層に分布するロームおよび火山灰質粘性土である。この傾向より、注水量

に関わらず、火山灰質土に摩擦低減効果を与えることは難しいことが伺える。また、CPT の簡易な土質分類においては、火山灰質粘性土を粘性土と判定するため、調査地の地盤堆積環境に留意する必要がある。

4. まとめ

今回の実験では、ロッドに掛かる周面摩擦の低減を目的として、ロッド先端部より清水を吐出させて貫入する FL-CPT の効果を確認した。押込み部のロッドで貫入力を測定し、先端抵抗を差し引くことで求める摩擦力の低減効果を検討した。この結果、粘性土について50%から最大90%を超える大きな摩擦低減効果を得た。また、砂質土については、あまり摩擦低減の効果は認められなかった。なお、日本の特殊土となるロームや火山灰質粘性土に対する摩擦低減の効果も期待できないことが分かった。

今後は、火山灰質土や砂質土等に対して摩擦低減を行う条件・手法を検討する目的で、FL-CPT を実施していく所存である。

《引用・参考文献》

- 1) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp. 366-403, 2013年。
- 2) CPT 技術協会：地盤工学の実務におけるコーン貫入試験，2023年，Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice の翻訳