

電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 2: 貫入方法や所要時間等について)

電気式コーン貫入試験 斜め下方貫入 試験の所要時間

ソリアント・ロックエンジニアリング(株)	正会員	○石井正紀
(株)地盤試験所	正会員	高橋千代丸
千葉エンジニアリング(株)	正会員	若月洋朗
川崎地質(株)	正会員	小林優起
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員	武政 学
(株)ダイヤコンサルタント	正会員	太田雅之
(株)相愛		岸 孝司
(株)プラテック	正会員	日下部祐基

1. はじめに

電気式コーン貫入試験(以降、CPTU と記す)は、ボーリング調査に比べ迅速、かつ原位置にて力学、物理特性を把握することができ、地盤調査、土構造物およびその下位の地盤などの現状調査を実施する上で有効な手段である。しかし、現時点での貫入方法、結果の解釈は、鉛直下方貫入が前提である。CPTU の斜め下方貫入が可能となれば、その活用範囲は格段に広がるものと考え(例えば、供用中の道路盛土の法肩や盛土小段からの調査あるいは橋脚間地盤の状況調査¹⁾など)。

本試験では、鉛直(90°)および斜め下方(75°、60°、45°)貫入の CPTU を実施し、実際に斜め下方に貫入する方法や試験に要する時間等の確認や問題点の抽出、鉛直貫入と斜め下方貫入における試験結果の比較検討や室内土質試験結果などとの比較検討を行った。

本稿(その 2)においては、斜め下方貫入に必要な治具、スクリーアンカーの設置方法などを紹介する。加えて、通常の鉛直(90°)貫入に対して 75°、60°、45° で斜め下方に貫入した場合のスクリーアンカー設置等の所要時間や試験の所要時間、設定貫入角度と実測貫入角度の差異等についても報告する。

なお、試験位置等の試験概要の詳細は、参考文献 2) を参照されたい。また、本稿(その 2)における CPTU 結果は、参考文献 2) の試験位置図に示されるボーリング調査近傍にて実施したものである。

2. 試験準備

CPTU は、写真-1 に示す自走式専用貫入車²⁾等により鉛直下方にコーンプローブを静的に貫入しながら、コーン貫入抵抗 q_c 、周面摩擦 f_s 、間隙水圧 u を深度方向に連続測定する試験である(先に示した 3 成分以外にも 3 成分の計測値の補正に使用する貫入時の角度、プローブ温度の測定も行っている)。写真-1 に示す自走式専用貫入車は車両質量約 2,200kg であるが、写真-2 に示すスクリーアンカーを図-1 に示すように設置することで地盤の状態にもよるが貫入力を最大 165kN 得ることができる。

本試験においても写真-1 に示す自走式専用貫入車を用いて貫入を行ったが、車両質量だけでは貫入時の反力不足が懸念されたため鉛直貫入同様、スクリーアンカーを設置することとした。ただし、本試験における斜め下方貫入のスクリーアンカーは、図-2 に示すようにコーンプローブの設定貫入角度と同等



写真-2 スクリューアンカーと延長ロッド



写真-1 自走式専用貫入車²⁾

の角度で設置することとした。

スクリーアンカー設置方法は、自走式専用貫入車のスクリーアンカー設置装置を所定の設置角度に傾け、写真-3 に示すような治具を自走式専用貫入車に取付けて設置角度を保持できるように工夫した²⁾。その結果、表-1 に示すように

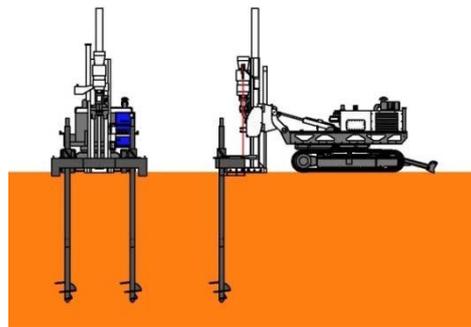


図-1 鉛直貫入時のスクリーアンカー設置状況(概略)

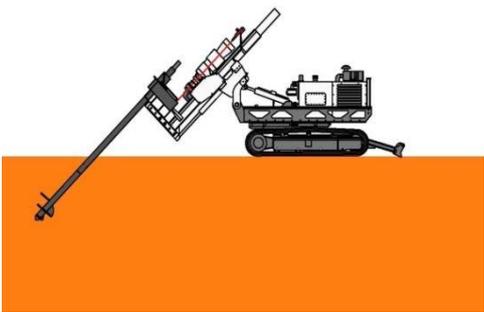


図-2 斜め下方貫入時のスクリーアンカー設置状況(概略)

An attempt to inclined downward penetration of electric cone penetration test (Part 2 : Method for penetration and required time etc.)

Masanori Ishii Soil and Rock Engineering Co.,Ltd. ,Chiyomaru Takahashi Jibanshikenjo Co.,Ltd.
 Hiroaki Wakatsuki CHIBA ENGINEERING Co.,Ltd.
 Yuki Kobayashi Kawasaki Geological Eng. Co.,Ltd.
 Manabu Takemasa kiso-jiban Consultants Co.,Ltd.
 Masayuki Oota DIA CONSULTANTS Co.,Ltd.
 Takashi Kishi Soai Co.,Ltd. ,Yuuki ,Kusakabe PLATECH Co.,Ltd.

設置角度 75° に対しては約 65° と 10° 程度傾きが大きくなっているが、それ以外はほぼ設定した設置角度どおりにスクリューアンカーを設置できたものと判断できる。また、スクリューアンカー設置（貫入試験を実施するにあたっての準備作業完了まで）に必要な時間は、鉛直（90°）貫入を基準とした場合、表-1 に示すように鉛直（90°）からの傾きが大きくなるにつれ設置時間が多くかかることが確認できた。加えて、必然ではあるがスクリューアンカー設置角度の傾きが大きくなるにつれスクリューアンカーの延長ロッドの本数も多く必要となることも合わせて確認できた。ただし、設置角度 45° については、スクリューアンカーの設置以外にコーンプローブをできるだけ設定貫入角度どおり貫入するために地表面から斜距離で約 0.8m ケーシングパイプ（φ86mm）を設置した（写真-4 参照）。表-1 に示す鉛直（90°）に関する時間比は、このケーシングパイプ設置時間は含まれておらず、あくまでもスクリューアンカー設置時間のみである。



写真-3 スクリューアンカーガイド²⁾



写真-4 ケーシングパイプ設置状況²⁾

表-1 鉛直（90°）設置に対する時間比他

設置角度 (°)	実測角度(°)			鉛直(90°)に 対する時間比
	右側	左側	平均値	
90(鉛直)	—	—	—	1.00
75	66.8	64.9	65.9	2.23
60	62.0	57.7	59.9	2.65
45	45.0	46.0	45.5	3.85

3. 試験の所要時間等について

CPTU の所要時間等について取りまとめたものを表-2 に示す。本試験における貫入速度は、地盤工学会基準 JGS 1435-2012 電気式コーン貫入試験方法に示される標準貫入速度である 20mm/s ± 5mm/s とした。

貫入角度が 90°（鉛直）と同等の貫入長の試験を斜め下方貫入で実施する場合、貫入速度、貫入角度が一定で

あれば貫入角度の傾きが大きくなるにつれ同一深度に達するまでの貫入長は長くなり、貫入用ロッドの継足し作業などを含めた、貫入に要した全ての時間（以降、試験時間と記す）もその分長くなると考える。今回試験を実施した各設定貫入角度における貫入長（実際に貫入した斜距離）は、設定貫入角度 90°（鉛直）、75°、60°、45° の順に 20.85m、21.50m、24.33m、31.61m となる。設定貫入角度 90°（鉛直）を基準として貫入長を対比すると、設定貫入角度 75°、60°、45° の順に 1.03 倍、1.17 倍、1.52 倍となる（因みに、鉛直距離 1m を一定の貫入角度 75°、60°、45° で斜め下方に貫入した場合の斜距離はそれぞれ、1.04m、1.15m、1.41m となる）。次に、設定貫入角度 90°（鉛直）を基準とした実際の試験時間を対比すると、設定貫入角度 75°、60°、45° の順に 0.97 倍、1.17 倍、1.28 倍となる。

これらの結果から、鉛直貫入と斜め下方貫入による試験時間の差異は、斜め下方貫入による作業の煩雑さや手間の増加などによるものはほとんどなく、大半が貫入長の差異によるものであることがわかる。しかし、貫入長比と実際の試験時間比を比較すると、設定貫入角度 75°、45° は、貫入長比よりも実際の試験時間比の方が小さくなっている。これは、表-2 に示す 1m 貫入するのに要する時間、すなわち貫入速度や貫入角度によるばらつきが影響しているものと考えられる。

因みに、今回 CPTU に加えて実施したラジオアイソトープ貫入試験（RI-CPT）⁴⁾ の試験時間は、表-2 に示すように CPTU 同様、貫入角度の傾きが大きくなるにつれ長くなる結果となっている（試験時間比と貫入長比はほぼ同等の傾向が窺える）。

次に、試験完了後（貫入完了後）に行うコーンプローブ引抜き作業の時間比は、設定貫入角度 90°（鉛直）を基準とすると、貫入角度 75°、60°、45° の順に 1.44 倍、2.10 倍、2.42 倍となる（表-2 参照）。この結果から、コーンプローブ引抜きに要する時間は、先に示した試験時間同様、貫入角度の傾きが大きくなる、すなわち貫入長の増加に伴い長い時間を必要とするが、試験時間（貫入時間）における貫入長比とは同等

表-2 CPTU の所要時間等

設定貫入角度(°)		鉛直(90)	75	60	45
CPTU	貫入長(m)	20.85	21.50	24.33	31.61
	鉛直貫入に対する貫入長比	1.00	1.03	1.17	1.52
	鉛直貫入に対する実際の試験時間比	1.00	0.97	1.17	1.28
	1m貫入するために要する時間(分)	1.5	1.4	1.5	1.3
	鉛直引抜きに対する時間比	1.00	1.44	2.10	2.42
RI-CPT	貫入長(m)	20.85	21.50	24.33	31.61
	鉛直貫入に対する貫入長比	1.00	1.03	1.17	1.52
	鉛直貫入に対する実際の試験時間比	1.00	1.02	1.10	1.53
	1m貫入するために要する時間(分)	1.5	1.5	1.5	1.6

注) 表中の貫入長は、実際に貫入した斜距離を示す。



写真-5 ロッド引抜き用トング

でない。これは、設定貫入角度 90°（鉛直）時に使用する引抜き治具が通常のボーリング作業時に行うロッドの挿入や引抜きに使用するトング（写真-5 参照）を自走式専用貫入車に取付けてほぼ連続的にロッドを引抜くのに対して、設定貫入角度 75°、60°、45° 時のロッド引抜き方法が、貫入したロッド先端に写真-6 に示すような治具を取付け、自走式専用貫入車にてロッドを引抜くためであると考えられる。この治具は、引抜いたロッドの連結部で切離す度に外しては次の引抜きを行うロッドに取付けるという作業を貫入した最終ロッドを引抜くまで繰り返し行わなければならない。

つまり、斜め下方貫入後のコーンプローブの引抜き作業は、試験（貫入作業）とは異なり、貫入角度の傾きが大きくなればなるほど作業はより煩雑になり、手間も増えることが分かった。

4. 設定貫入角度と傾斜角度について

表-3 に CPTU の設定貫入角度と傾斜角度等を取りまとめて示す。図-3 には傾斜角度と貫入長の関係を、図-4 には傾斜角度を基に算出した水平移動距離と補正深度の関係を示す。なお、傾斜角度は、コーンプローブに内蔵された加速度センサーにより計測した値である。

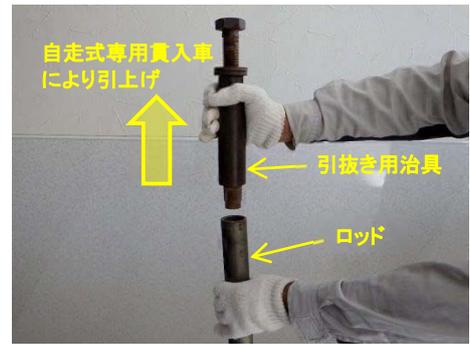


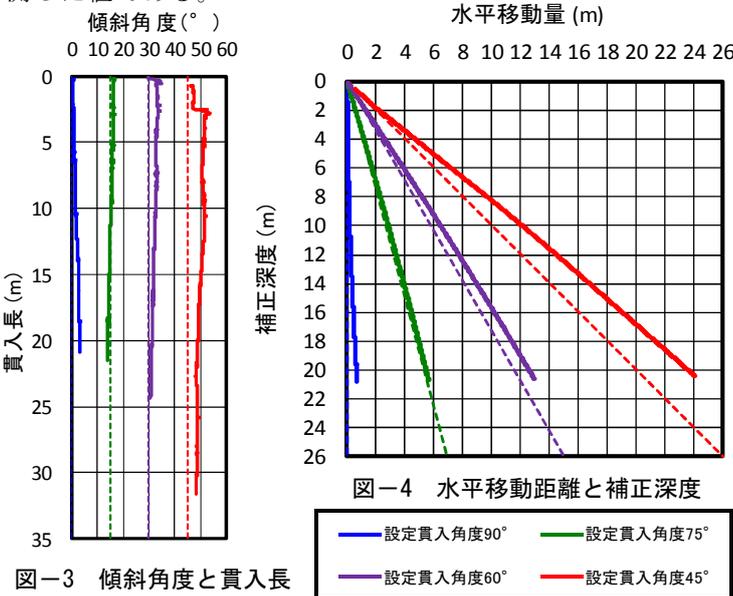
写真-6 ロッド引抜き用具

表-3 設定貫入角度と傾斜角度等

設定貫入角度	90°	75°	60°	45°
貫入長	20.85m	21.50m	24.33m	31.61m
補正深度	20.84m	20.74m	20.60m	20.44m
最終補正深度における水平移動量	0.69m (0.0m)	5.65m (5.56m)	12.95m (12.11m)	24.10m (22.34m)
傾斜角度	最大	3.39°	16.71°	34.82°
	最小	0.28°	13.80°	29.54°

注) ()内の値は、設定貫入角度で貫入した場合の水平移動距離を示す。

設定貫入角度 90°（鉛直）の傾斜角度は、最終貫入長で 3.39° 傾斜しているが（最終補正深度における水平移動距離は 0.69m）、地盤工学会基準 JGS 1435-2012 電気式コーン貫入試験方法に示されている傾斜角度の許容値（鉛直に対して 15°）以内である。設定貫入角度 75°、60°、45° の傾斜角度は、貫入が浅い区間では設定貫入角度と乖離していく傾向にあるが、貫入が深くなるにつれ設定貫入角度と徐々に整合していく傾向が窺える（図-3 参照）。これは、今回試験を実施した地盤が非常に軟弱な沖積層（参考文献 2）、3）参照）で、貫入したロッドやコーンプローブの重みで重力方向に僅かではあるが傾斜しながら貫入しているのではないかと考える。



次に図-4 に示す設定貫入角度 75°、60°、45° の水平移動距離と補正深度の関係をみると、設定貫入角度 75° はほぼ設定した貫入角度どおり貫入できているが、設定貫入角度 60°、45° は、設定した貫入角度に対して差異が生じている。最終補正深度における水平移動距離の差異は、設定貫入角度 60° が+0.84m、設定貫入角度 45° が+1.76m である。これは、地表面から約 4.0m の厚さの盛土層（参考文献 2）、3）参照）に含まれる大礫や堅固な層等にコーン先端が当たり、貫入角度が大きく変化したことによるものと考えられる（貫入初期の障害物の影響、図-3 参照）。

5. まとめと今後の課題

試験準備や試験の所要時間等について本試験にて確認できたことは、①斜め下方にスクリューアンカーを設置するには自走式専用貫入車に設置角度を保持する治具や工夫が必要、②スクリューアンカーの設置角度の傾きが大きくなればなるほど設置時間は多く掛かる、③試験時間（貫入時間）は、貫入長に比例して増加するが、引抜き時間は試験時間のように貫入長に比例するのではなく、貫入角度の傾きが大きくなればなるほど作業はより煩雑になり、手間も増え時間が多く掛かる、④軟弱な地盤であれば貫入深度が深くなるにつれ貫入したロッドやコーンプローブの重みで重力方向に僅かではあるが傾斜する、⑤設定貫入角度と実測貫入角度の差異（最終補正深度における水平移動距離）は、貫入初期の障害物の有無に大きく左右されるなどである。

今後は、今回試験を行った地盤よりも強固な地盤（N 値が比較的高く、多少の礫分を含むような地盤）を対象に斜め下方貫入による試験を実施し、今回確認した事象を改めて検証する必要がある。加えて、斜め下方貫入がスムーズに行えるような治具の開発や工夫を考案していく所存である。

参考文献

- 1) 高橋宏和・谷本俊輔・七澤利明: 既設道路橋杭基礎の耐震性評価のための杭間地盤調査, 土木技術資料, Vol.59 JULY 2017, pp.34-37
- 2) 北條豊・松浦良信・脇中康太・糸井理樹・原彰男・岡嶋眞一・片山浩明・西原聡: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その1: 実証実験概要), 第14回地盤工学会関東支部発表会(投稿中), 2017.11
- 3) 山本伊作・重富正幸・栗原朋之・久下信明・橘久生・佐渡耕一郎・大塚潤・深沢健: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その3: 電気式コーン貫入試験結果の評価), 第14回地盤工学会関東支部発表会(投稿中), 2017.11
- 4) 後藤政昭・石川恵司・大森将樹・野口浩承・中川範彦・金道繁紀・黛廣志・齋藤邦夫: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その4: ラジオアイソトープコーン貫入試験結果), 第14回地盤工学会関東支部発表会(投稿中), 2017.11