

全自動ボーリングマシンの開発ー粘性土を含む地盤での調査試験ー

(株)ワイビーエム
 川崎地質(株)
 (株)クリステンセン・マイカイ

○奈須徹夫 山田信仁
 星野一永 鶴飼康彦
 宮本哲臣 三枝佳美

1. はじめに

地質調査業界では、熟練オペレータの退職増加と新規入職者の減少が進んでおり、ボーリング技術伝承の問題と将来のオペレータ不足が危惧されている¹⁾。これらの問題解決のため、地質調査にワイヤーライン方式を導入し、自動化や省人化、数値化、データ化を取り込んだ次世代ボーリングマシンの開発を行ってきた。

開発に際しては、最適な削孔仕様の設定や削孔手順などを求めてきたが、これらは、ゆるい砂質土層において実施した試験結果に基づくものであった²⁾。今回は、粘性土を含む地盤においてコア採取および標準貫入試験を実施したので、以下にその結果を報告する。

2. 調査場所

調査は佐賀県唐津市南部の工業団地内で実施した。当該地は炭鉱跡地を1970年代に造成したものである。図-1に当該地の治水地形分類図³⁾と調査位置を示す。

今回は粘性土層での調査を目的としており、治水地形分類図にみられる埋土・盛土部分を試験箇所を選定した。また、事前に動的コーン貫入試験を行い、軟弱粘性土層が連続していることを確認した。図-2に事前調査結果を示す。

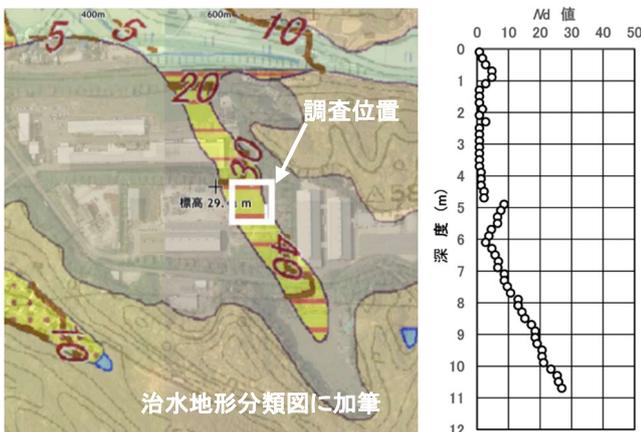


図-1 治水地形分類図と調査位置 図-2 事前調査結果

3. 調査方法

調査孔の配置と数量を図-3に示す。事前に行った動的コーン貫入試験孔に近接して、2孔を配置している。本件はボーリングマシンの自動化に関する研究であり、昨今の研究では、ボーリング調査の新たな展開として、地質確認ボーリングと物性評価ボーリングを別孔で行う方式が提案されている⁴⁾ことから、No.1をオールコアサンプリング、No.2を標準貫入試験（ノンコア・半ペネ）とした。

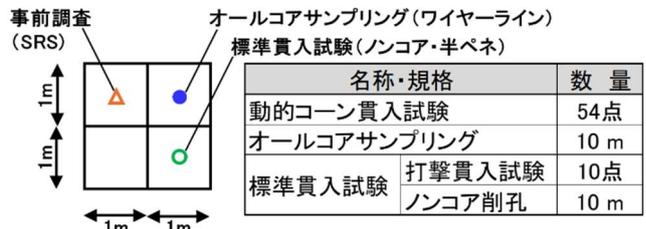


図-3 調査孔の配置と数量

使用したボーリングマシンを図-4に示す。ワイヤーライン方式によるオールコアサンプリングでは、インナーチューブをロッド先端に自由落下装着し、ロッドの回転貫入によりコアを採取する。削孔仕様は、これまでの確認試験から得られた削孔速度15min/m、回転数45rpm、送水量20L/minと設定した²⁾。

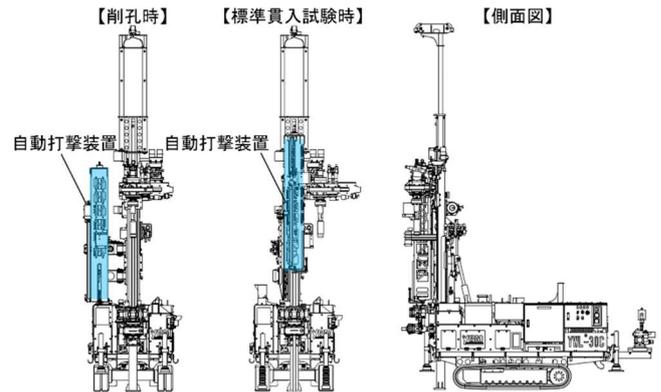


図-4 ボーリングマシン

標準貫入試験時には、内径78.0mmのワイヤーラインロッド内にSPTサンプラーを取り付けた外径φ40.5mmのロッドを挿入した後、ボーリングマシンのリーダーに装着された自動打撃装置をロッドセンターに巡回移動し、JIS A 1219:2023に準じて自動打撃計測を行った。次の試験深度までの削孔は、ロッド内にノンコア削孔ツールを自由落下装着して回転貫入削孔した⁵⁾。

4. サンプリング試験結果

図-5に削孔諸元の深度方向の変化を写真-1に採取コアを示した。GL-1.50m, 2.20m, 3.45m, 4.60m, 6.15m, 7.45mにてコア詰まりが発生したため、それ以下の粘土を採取できずにシユを地盤に押し込んだことにより、採取率は全長平均58.5%となった。ただし、採取できたコアは軟弱であるが乱れも少なく、顆粒状の石炭クズや小礫を含む細粒土であることが確認できた。これまでの砂質土層で行った削孔試験から得られた削孔仕様は粘

性土地盤にも適用可能であると考えられる。コア観察結果から、全層にわたり同様な層が連続しているものと推測され、土質名は粒度試験結果より砂混じり礫質粘土と判定された。参考に行った物理試験結果を表-1に示す。

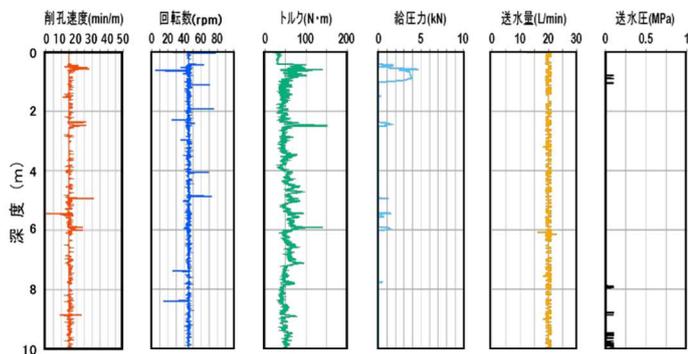


図-5 削孔諸元の深度方向の変化

深度(m)	コア	採取率(%)
0 ~ 1		100
1 ~ 2		50
2 ~ 3		20
3 ~ 4		45
4 ~ 5		60
5 ~ 6		90
6 ~ 7		15
7 ~ 8		45
8 ~ 9		85
9 ~ 10		75
全長平均		58.5

写真-1 採取コア

表-1 物理試験結果

項目	試験値	項目	試験値
礫分 %	19.3	自然含水比 ω %	22.3
砂分 %	8.0	液性限界 ω_L %	36.4
シルト分 %	38.0	塑性限界 ω_p %	19.1
粘土分 %	34.7	塑性指数 I_p %	17.3

削孔データからは、コア詰まりが発生した深度近辺で削孔速度、回転数、トルク、給圧力に数値の変化が見られる。これらの削孔データから、削孔時のコア詰まりを感知できれば、採取率を高める対策を行うことが可能である。今後、種々の地盤で調査を行い、コア詰まりのケースを収集して、解析を進める必要がある。

5. 標準貫入試験結果

図-6に予備打ち時のロッド貫入量を示す。ワイヤーライン工法では切削土はロッドと孔壁の間を通り地表に排出され、ロッド内には切削スライムは介在しにくく、削孔下端面は清浄となる。その下端面から行った予備打ちでは、ロッド自沈は平均21.9mm、ハンマー自沈は平均66.6mmであった。また、軽打撃時のハンマー引上げ高さの設定プログラムを修正したことで、軽打撃貫入を伴った予備打ち長は平均161.6mmと目標の150mmに近い数値を得ることができ、予備打ち長の精度が向上した。

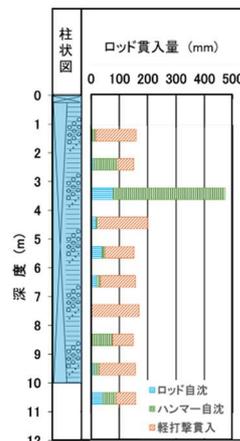


図-6 ロッド貫入量

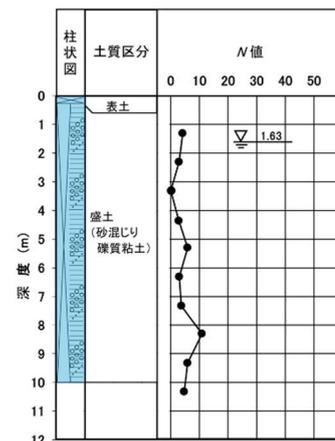


図-7 標準貫入試験結果

図-7に標準貫入試験結果を示した。当該地盤は $N=0 \sim 10.9$ 、平均 $N=4.4$ と強度にばらつきがある軟らかい粘性土であり、図-2に示す N_d 値のような GL-6m 以深から深度に沿った N 値の増大はなかった。先端に SPT サンプラーを装着したロッドをワイヤーラインロッド内に挿入することで、周辺地盤との摩擦の影響を受けないことによるものと考えられる。コアの肉眼観察結果を含め、当該地盤は転圧が不十分な埋土であると推定された。

6. まとめ

粘性土からなる軟弱な地盤に対して、1調査2孔方式でコアサンプリングと標準貫入試験を実施した。ゆるい砂質土地盤で得た削孔仕様で粘性土に対してもサンプリングが可能であることが確認できた。軟らかい粘性土地盤中で硬質な粘土や礫などがシュー先端を閉塞した場合の検知方法の検討が課題として残された。自動打撃装置を用いた標準貫入試験については粘性土地盤でも適用でき、予備打ち長の精度向上も図ることができた。

土木建設業界ではICT施工が多くの場面で適用されるようになっており、ボーリングにおいても自動化を進めていくことが必要である。

《引用・参考文献》

- 1) 岩崎公俊：技術伝承に関わる全地連の取り組み，地盤工学会誌，65-3，2017. 3
- 2) 奈須徹夫・他：全自動ボーリングマシンの開発 ―ワイヤーラインを用いた軟弱地盤の削孔について―，全地連「技術フォーラム2020」Web，2020. 11
- 3) 杉本智彦：治水地形分類図，スーパー地形（最終閲覧日2025年4月30日）
- 4) 全地連 現場環境改善委員会 標準貫入試験の在り方WG：標準貫入試験の在り方WG WG活動取り纏め，p. 68，2023. 8.
- 5) 宮本哲臣：全自動ボーリングマシンの開発 ―ワイヤーライン用ノンコア削孔ツールの開発について―，全地連「技術フォーラム2022」（那覇），2022. 11