

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 —

(株)ワイビーエム ○奈須 徹夫 近藤 純矢
 佐賀県工業技術センター 福元 豊 平井 智紀
 (株)クリステンセン・マイカイ 松熊 晋也 宮本 哲臣
 川崎地質(株) 濱田 泰治 近藤 勉

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担い手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⁾。対策として、機械メーカーの立場から、技術伝承を補完する削孔方法と全自動ボーリングマシンの開発を進めている。

本報告では、削孔方法としてワイヤーライン方式を選定し、新規に開発するボーリングマシンの能力仕様を確認するために行った削孔試験の結果について報告する。

2. 削孔方法の選定

現在、地質調査では、φ40.5mmのロッドの先端にコアバーレルを装着した削孔ツールを使用し、ボーリングマシンを用いて、ロッドを回転させながらポンプを用いてビット先端から泥水を噴出させ、地中に削孔貫入する方法が広く採用されている。多くのケースでは、削孔1mごとにコアバーレルを引き上げ、ロッドを継ぎ足して調査孔に再挿入するため、身体的作業負担は高い。

オペレータは削孔状態を観察しながら、ロッドの回転数、貫入速度、送水量、泥水濃度等を調整することで、地盤の削孔、土砂の排出および孔壁保護を行っており、地層に応じた泥水管理の習熟には長期の経験に基づく高度な技術取得が必要である。

削孔方法の比較を表-1に示す。ボーリングマシンの全自動化に際しては、回転・貫入・送水のみを制御し、泥水管理が容易な削孔方式を選定することにした。本開発では、標準貫入試験を行うことを想定し、先端が解放されたロータリー式ボーリングの中から、駆動系が1系統

であること、ケーシング状のロッドの使用により孔壁崩壊による孔内事故が発生しにくいことおよびコアバーレルの昇降作業をウインチで行うため身体的作業負担が少ないことなどから、ワイヤーライン方式を選定した。

土砂削孔用に用いた試作ワイヤーラインツールを図-1に示す。要求項目としては、標準貫入試験が可能となるよう内径を71mm以上とし、ロッド長を1mとした。コア径は従来のスリーブ式二重管サンプラーと同等の65mmとした。

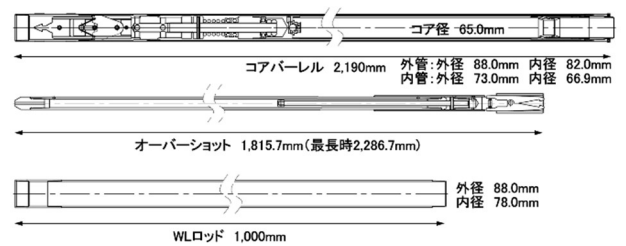


図-1 試作ワイヤーラインツール(土砂用)

3. 削孔試験

ロータリー式ボーリングにおける削孔の三要素（回転数、給進力、送水量）の組み合わせを変えた削孔試験を実施した。

試験は、佐賀県唐津市原の造成地にあるワイビーエム社有地で実施した。当該地盤は一級河川松浦川の氾濫原にあるため均質な砂地盤が分布しており、造成埋め立土の下（地表から2m）以深の3m区間を試験対象層とした。図-2に柱状図を示す。

表-1 削孔方法の比較

項目	従来方式	従来+ケーシング方式	ワイヤーライン方式
削孔概要	<p>φ40.5mmのロッドを先端から削孔泥水を噴射しながら回転貫入する。泥水の粘性あるいは比重を利用し、孔壁保護と土砂排出を行う。高度な技術が必要。</p>	<p>φ40.5mmのロッドで回転貫入する。孔壁保護はケーシングで行う。駆動系が2系統になり、調査機の運転が複雑になる。作業項目が多く効率は低下する。</p>	<p>φ88mmの中空ロッドを回転させ削孔する。ロッド先端のコアバーレルでコアを採取し、ウインチでコアバーレルを引上げ、コアを採取する。ケーシング上のロッドで孔壁を保護する。</p>
削孔ツール	ロッドφ40.5mm	ロッドφ40.5mm ケーシングφ114mm	ロッドφ88mm
削孔水	泥水	泥水	清水
孔壁保護	泥水	ケーシング	ロッド(ケーシング)
孔底洗浄	要	要	不要
試料採取	ロッド引き上げ	ロッド引き上げ	ウインチ巻き上げ

図-3に削孔位置図、表-2に試験ケースを示す。削孔試験における計測項目は、削孔深度・回転数・回転トルク・貫入速度・給圧力・送水量・送水圧・時間とした。3要素（削孔速度・回転数・送水量）3水準（大・中・小）の組合せについてはL₉直交表²⁾を用いることで、9ケースの試験と確認試験を計画した。また、ジャミング防止を目的として、削孔水にはポリマー系泥材を0.02%添加した。

計測機器の配置を図-4に示す。

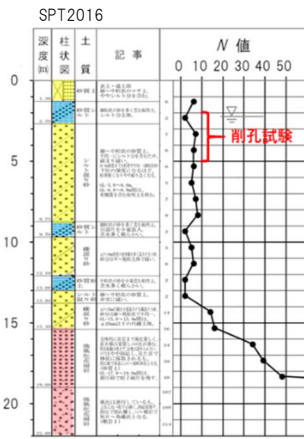


図-2 柱状図

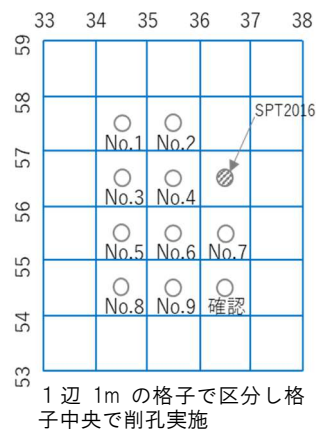


図-3 削孔位置図

表-2 試験ケース(L₉直交表への削孔条件の割り付け)

削孔位置No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
貫入速度(分/m)	5	5	5	10	10	10	15	15	15
回転数(回/分)	15	30	45	45	15	30	15	30	45
流量(L/分)	10	20	30	10	20	30	30	10	20

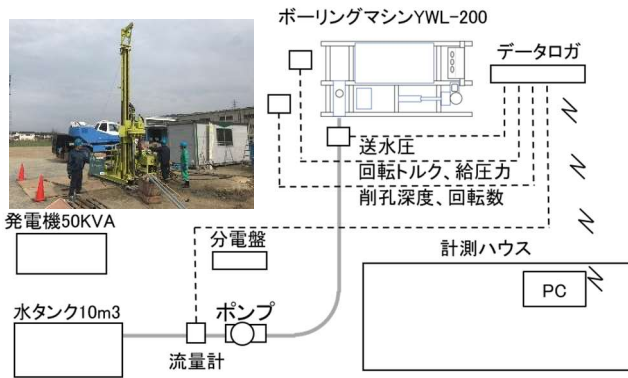


図-4 計測器の配置

ボーリングマシンに取り付けたセンサーの計測データは計測ハウス内のパソコンに無線転送してデータを保存した。あわせて、削孔で得られたボーリングコアを観察した。

解析に際して、良好なボーリングの定義付けが必要である。本研究では、ロッドの回転トルクのバラツキが少ない場合に良好なボーリングができると仮定し、その時の貫入速度、回転数、送水量を求め、それを参考にボーリングマシンの削孔仕様を決定することにした。

表-3 削孔位置(条件)に対する望目特性の SN 比

削孔位置No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	確認
SN比(db)	7.9	13.4	13.2	9.1	13.6	12.6	12.9	8.9	17.5	19.3

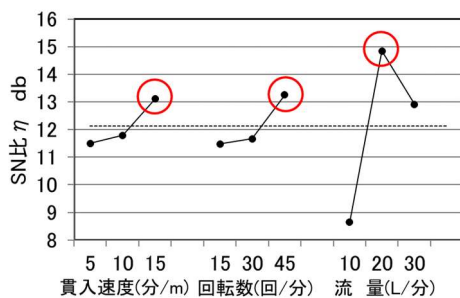


図-5 SN 比と水準の関係(要因効果図)

L₉直交表に割り付けた9ケースの試験データから品質工学における望目特性の SN 比²⁾で評価した。なお、この SN 比は削孔時の回転トルクの平均 m と分散 v の比 m^2/v を対数化したものに相当し、大きいほど回転トルクの安定性が高いことを示す。表-3に削孔位置(条件)に対する望目特性の SN 比を示す。更に、各 SN 比の要因効果について解析²⁾を行った。図-5に SN 比と水準の関係を示す。最適条件は SN 比が大きい水準を選定し、貫入速度15分/m、回転数45回/分、流量20L/分であると推定した。その後、確認試験により最適条件の SN 比が19.3db(表-3)であることから、推定が正しく、再現できることを確認した。

参考として図-6に直交表による実験の中から SN 比の大きさが最大、中間、最小の3つの試験ケースでの深度と回転トルクの関係を示す。SN 比が最大である No. 9の場合は、トルクが低くバラツキが小さい。

最適条件での確認試験コア(土砂)を写真-1に示す。GL-2~5m間のコア採取率は平均91.7%(82%、97%、96%)と良好なボーリング結果が確認できた。

4. まとめ

現状に比べ、技術習得しやすい調査方法の導入と自動化・省力化が可能な調査機械を開発するため、土砂用ワイヤーラインツールを試作し、試験削孔を実施し、良好なボーリングに必要な削孔仕様を得た。今後、これらの知見をもとに全自動ボーリングマシンを開発する予定である。

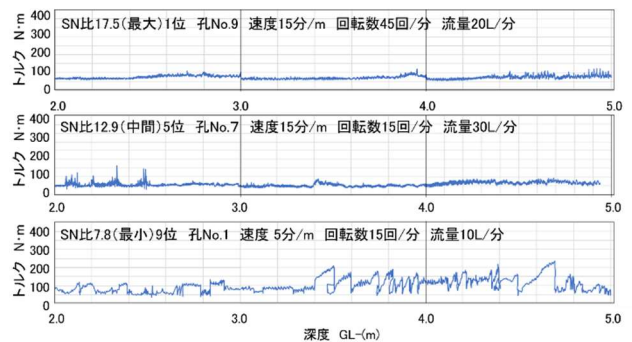


図-6 深度と回転トルクの関係



写真-1 確認試験コア(土砂)

《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, 2017.5
- 2) JISZ9061 新技術及び新製品開発プロセスのための統計的方法の応用—ロバストパラメータ設計(RPD), 2016.12