

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 その2

(株)ワイビーエム ○奈須 徹夫 矢羽田 祥貴
 (株)クリステンセン・マイカイ 宮本 哲臣 松熊 晋也
 川崎地質(株) 近藤 勉 濱田 泰治

1. はじめに

地質調査業界では、熟練オペレータの退職と担い手の入職減少が進んでおり、マシン・オペレータ不足や技術伝承の問題が懸念されている¹⁾。これらの対策として、機械メーカーの立場から、作業負担の低減や作業工数の省略化などに着目し、ワイヤーラインによる全自動ボーリングマシンの開発を進めている。これまでも既存ボーリングマシンによる削孔試験を行い、適正な削孔仕様について検討を行ってきた²⁾。今回は新たに開発した電子制御可能な試作実験機により、前回の最適仕様での削孔への適用性などについて実証試験を行ったので報告する。

2. 試作実験機について

ワイヤーライン方式で削孔する場合の作業手順や必要な出力、時間など、制御プログラムを作成するための情報を得ることを目的として試作実験機を開発した。

図-1に試作実験機の概要図を、表-1にボーリングマシンの性能および仕様を示す。

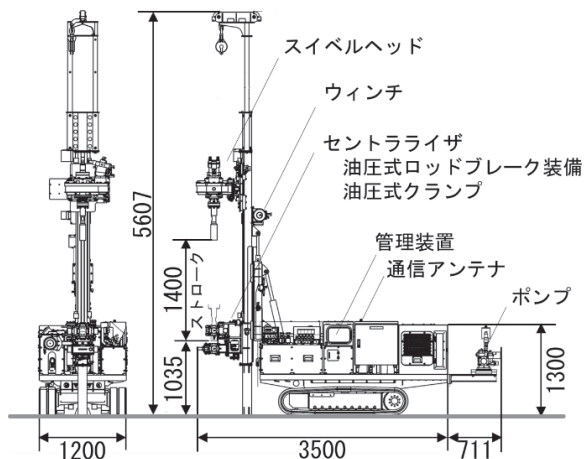


図-1 試作実験機の概要図

表-1 ボーリングマシンの性能および仕様

項目	単位	既存機 YWL-200	試作実験機 YWL-30C
掘削深度	m	200	30
回転数 (高速・低速)	min-1	800・250	200・45
最大トルク (低速時)	N・m	690	400
最大給圧力	kN	20.7	20.1
寸法 (L×W×H)	mm	3400×1800×8260	3500×1200×5620
質量	kg	3720	3100
走行		無し	自走式 (クローラ)
掘削ポンプ形式		三連ブランジャー SG-30SV-e	単筒複動ピストン GP-5
吐出圧力	MPa	4.9	2
吐出流量	L/min	235	40
エンジン出力	kW	28.8kW/2,400min-1	17.7 kW/2,700 min-1
操作方式		手動操作	無線電磁操作
管理装置		無し	タブレットPC

今回開発した試作実験機 (YWL-30C) は、電子制御システムにより全ての動作をプログラムで制御することを可能とし、削孔作業中の履歴データは管理装置に表示され、データとして保存される。インターネットを介することで、遠隔地での監視が可能で「見える化」に対応しており、将来の無人化を想定して無線コントローラによる操作とした。

作業負担低減のため、ロッド接続、オーバーショット投入等の補助作業は立ち姿勢で行えるよう、セントラライザの高さを地上から1m程度とした。

また、実際の調査現場は狭隘で、搬入車両が調査地点まで近づけない場合が少なくないため、ボーリングマシンは既存機よりも小型化を図り、自走式を標準とした。

ポンプについては、前回の実験では脈動が少ない3連ブランジャーポンプを使用した。試作実験機では単筒複動ピストンポンプを搭載することとした。

このようなマシンの小型化やポンプ仕様の変更等により、表-1に示すように回転トルクあるいは吐出圧力や吐出流量は、既存機のそれを下回る仕様となった。したがって、既存機と性能や仕様が異なる試作実験機への前回削孔試験で得た最適仕様の適用の可否等について実証試験による確認が必須となった。

3. 削孔試験

試作実験機による実証試験は、佐賀県唐津市原の造成地にあるワイビーエム社所有地で実施した。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厚く分布し、GL-15mで風化花崗岩層に至る。図-2に事前のボーリング結果、図-3に調査位置図を示す。

本試験においては、新たに開発した試作実験機の削孔特性を確認するため、表-2に示す前回削孔試験での適正

順位が1位の最適値と第5位の仕様で削孔し、品質工学による SN 比³⁾で評価することにした。表-3に試験ケースを示す。対象層は、前回と同様に GL-2~5m 区間とし、計測データ (削孔深度・回転数・回転トルク・削孔速度・給圧力・送水量・送水圧・時間)のうち、回転トルクに着目して解析を行った。削孔に際しては、図-4に示す前回と同様のコアバーレルを使用し、先端にはメタルビットを装着した。削孔水にはポリマー系泥材を0.1%添加した。

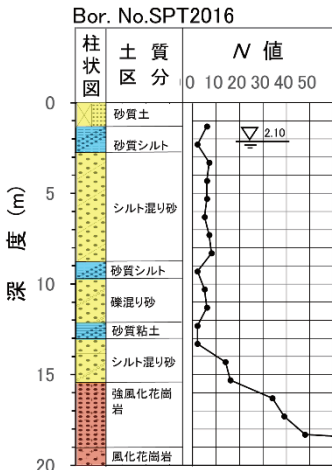


図-2 事前のボーリング結果



図-3 削孔位置図

表-2 前回削孔試験の結果

適正順位	9	3	4	7	2	6	5	8	最適
前回削孔位置No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
削孔速度 (min/m)	5	5	5	10	10	10	15	15	15
回転数 (rpm)	15	30	45	45	15	30	15	30	45
流量 (L/min)	10	20	30	10	20	30	30	10	20
前回試験SN比	7.9	13.4	13.2	9.1	13.6	12.6	12.9	8.9	17.5

表-3 試験ケース

削孔位置No.	削孔速度 (min/m)	回転数 (rpm)	流量 (L/min)	コアパーレル	使用ビット
15	15	15	30	試作型	メタル
16	15	45	20	試作型	メタル

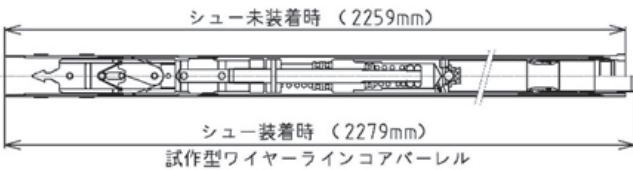


図-4 コアパーレル

図-5に深度とトルクの関係を示す。GL-2~5m間でのトルクの分布を比較すると、No. 16は、No. 15に比べ、全体的にトルクのばらつきが少ない。SN比は、No. 15で15.9db、No. 16で25.1dbであり、前回の最適値仕様であるNo. 16の方が良好なボーリングと評価でき、前回と同様な傾向を確認することができた。

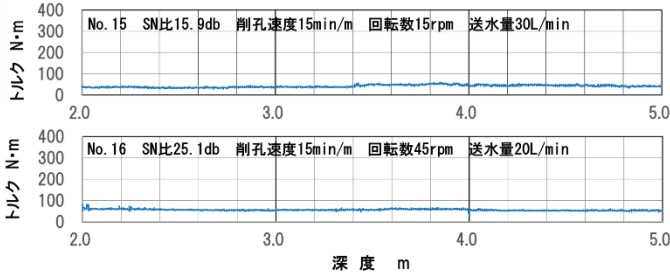


図-5 深度とトルクの関係

今回は、No. 16については、GL-5m以深についても削孔し、実地盤での適用性を確認した。No. 16の深度と回転トルクおよび採取率の関係を図-6に示した。メタルビットを用いた現状の仕様で、15.4mまで削孔することができ、本仕様で、緩い砂質土地盤以外の地盤でも対応可能なことが解った。

ただし、10m付近の砂層には砂礫が介在しており、11m

まで掘削後、インナーチューブを引上げ、落下装着を試みたが、インナーチューブがロッド下端まで降下せず、装着できなかった。そのため、ロッドを2m引上げ、ロッド内を送水洗浄後、インナーチューブを装着せずに OUTERチューブのみで GL-11m まで削孔した。当該深度からは、細粒分が極度に少ない2~5mmの垂円礫が採取され、ボイリングが発生したものと考えられた。今後、インナーチューブの引上げ速度の調整とロッド内への注水による水頭確保などのボイリング対策をプログラム化する必要がある。その他、砂礫層を掘進中に削孔水が逸水したため、削孔水を大量に供給した。併せて逸水防止策のシステム化も必要である。

GL-15.4mでは、φ30mm以上の垂円礫からなる礫層のため、掘進が困難となり、削孔を中断した。今後、メタルビットからダイヤモンドビットへの変更などを行い、礫層などにも対応していく必要がある。

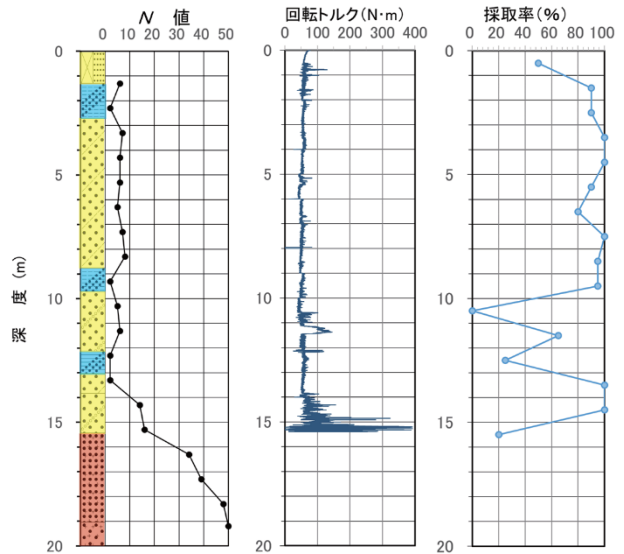


図-6 深度と回転トルクおよび採取率の関係

4. まとめ

試作実験機で削孔試験を実施した結果、2018年度に得た最適仕様が適用できることが確認できた。また、N値<10の緩い砂質土以外の地盤についても概ね良好なボーリングができた。ただ、礫層などでメタルビットからダイヤモンドビットへの変更、逸水防止対策技術などについて、従来のボーリング技術を自動化プログラムに取り入れる必要があり、地質調査専門家の知見収集と応用が必要である。また、作業時の地上高が1.3mと高いため、図-4に示したコアパーレルの短尺化が必要である。

《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, 2017.5
- 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, 2020.9
- 3) 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