

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岩相当地盤の削孔について

(株)ワイビーエム ○奈須徹夫 (株)アサノ大成基礎エンジニアリング 立石 亮
 応用地質(株)河内 誠 川崎地質(株)近藤 勉 基礎地盤コンサルタンツ(株)武政 学
 (株)クリステンセン・マイカイ 宮本哲臣 (株)ダイヤコンサルタント 谷 和繁 中央開発(株) 福原 誠

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危惧されている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、N<10のゆるい砂質土に対し、メタルビットを用いた削孔試験を行い、最適な削孔仕様について報告してきた²⁾。

今回は、軟岩相当の改良地盤に対して行ったダイヤモンドビットを用いた削孔試験の結果について報告する。

2. 削孔ツールについて

全自動ボーリングマシンの開発では、従来の外径40.5mmのロッドの先端にコアパーレルを装着した削孔ツールに変わって、ワイヤーラインの採用を提案し、メタルビットを用いた場合の最適な削孔仕様として、削孔速度15min/m、回転数45rpm、送水量20L/minを得た²⁾。

一方で、メタルビットでは礫層あるいは軟岩等での削孔能力に難点が見られたことから、ダイヤモンドビット削孔の導入が必要と考えられ、今回開発の地質調査用ワイヤーラインツールについてもダイヤモンドビット対応のツール開発とその削孔仕様を求めることにした。

ダイヤモンドビットを装着したワイヤーラインツールを図-1に示す。

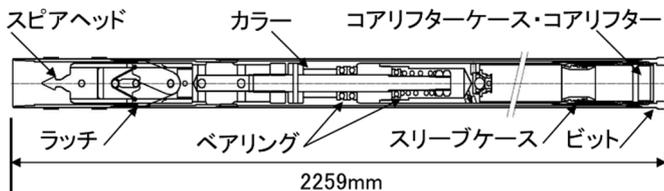


図-1 ワイヤーラインツール

開発したツールは、メタルビット装着タイプのインナーチューブのうち、シュアの突出度を制御するスプリング部をカラーに、先端部はコアリフターケースおよびコアリフターに交換し、ダイヤモンドビットを装着した OUTER チューブ内に地上から自由落下装着する。また、一般的なスリーブ内蔵二重管サンプラーと同程度に採取コア径は65mmとした。礫層や軟岩等での調査への利用を想定して、標準貫入試験に対応するようサンプリング長とロッド長を1mとした。ここに、SPTサンプラーは内径65mmのビット先端から外に突出可能である。

3. 削孔試験の方法

通常、沖積平野では互層が発達し、均質に連続した礫層は極めて少ない。また、軟岩、風化岩等は、多くは上方から侵食を受けるため、均質性は低く、地中深くにあり、連続した試験に利用するには困難であるため、試験削孔では、軟岩相当地盤として改良地盤を利用することにした。試験に際しては、改良品質が均質である Y-LINK (全自動施工管理制御システム)³⁾により施工された改良地盤を選定した。

当該システムは、羽根切り回数制御、流量制御などを行うため、改良品質にばらつきが少ない。また、さらに削孔する地盤の均質性を確保するため、配合水準が同じ上部の5mのみを削孔試験の対象とした。試験後に、ボーリングを行い、一軸圧縮試験に供し、平均改良強度 $q_u = 5,964 \text{ kN/m}^2$ 、変動係数 $V_d = 11.8\%$ を確認した。図-2に改良地盤の強度分布を示す。

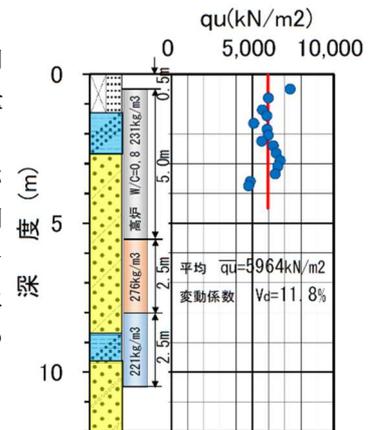


図-2 改良地盤の強度分布

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。また、比較試験の実施に際しては、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品質工学手法による L9 直交表を用いることで、9ケースの試験と確認試験を計画した。図-3に削孔試験の位置、表-1に試験ケースを示す。

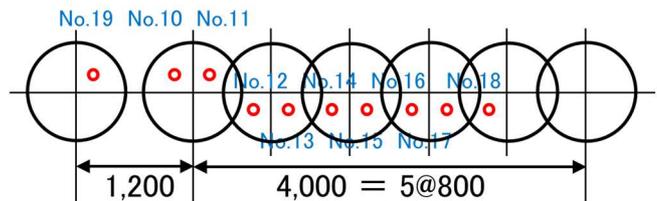


図-3 削孔試験の位置

表-1 試験ケース

試験ケースNo.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
分類	201	202	203	206	204	205	208	209	207
削孔長 (m)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
削孔速度 (min/m)	10	10	10	20	20	20	30	30	30
回転数 (rpm)	100	200	300	100	200	300	100	200	300
流量 (L/min)	10	20	30	20	30	10	30	10	20

削孔データの収集方法を図-4に示す。削孔データは、ボーリングマシンに取り付けた各種センサーからデータログを介して、無線で計測ハウス内のPCに転送し、保存した。また、孔壁とロッドのクリアランスが少なく、硬質な切削クズがその間に挟まる可能性もあるため、切削クズの排出促進およびロッドと孔壁の摩擦低減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。

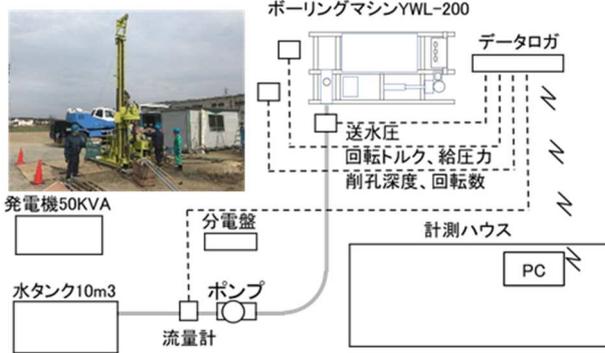


図-4 削孔データの収集方法

4. 削孔試験結果

品質工学手法による解析での良好なボーリングの定義を「トルクが低く、ばらつきが少ない場合」とし、トルクについてSN比を算出した。

SN比と水準の関係を図-5に示す。

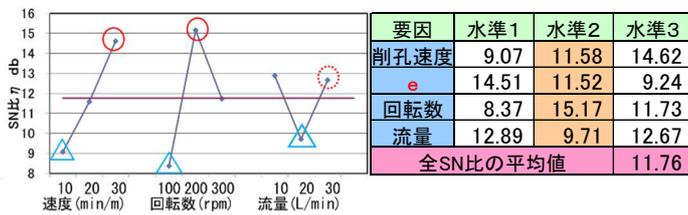


図-5 SN比と水準の関係

SN比と水準の関係から、最適値は削孔速度30min/m、回転数200rpm、流量30L/minと求められたが、表-1に示す試験ケースには無いケースでもあり、No.19として確認削孔試験を行った。これらの試験ケースごとのSN比を表-2に示す。

表-2 試験ケースごとのSN比

試験ケースNo.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
分類	201	202	203	206	204	205	208	209	207	210
順位	7	6	8	9	1	4	5	2	3	最適
削孔長 (m)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
削孔速度 (min/m)	10	10	10	20	20	20	30	30	30	30
回転数 (rpm)	100	200	300	100	200	300	100	200	300	200
流量 (L/min)	10	20	30	20	30	10	30	10	20	30
SN比 (dB)	9.57	10.21	7.44	3.63	18.66	12.46	11.91	16.65	15.31	14.17
感度 (dB)	44.19	46.37	41.35	43.81	39.27	36.37	38.43	38.63	35.68	40.18

確認試験結果から、最適値 No.19ではSN比=14.17dbと高位の望目値が得られた。しかし、写真-1に示す採取コアの状況から、GL-0.7m~GL-2.8mの範囲でコア細りが見られた。原因として、削孔速度に比べ、回転するビットでの切削が早く、ビットが切削面に押し付けられていない状態となり、ロッドが水平方向にぶれなが

ら回転したことで、ビット内に通過するコアをビットの内側で削ったものと推定された。

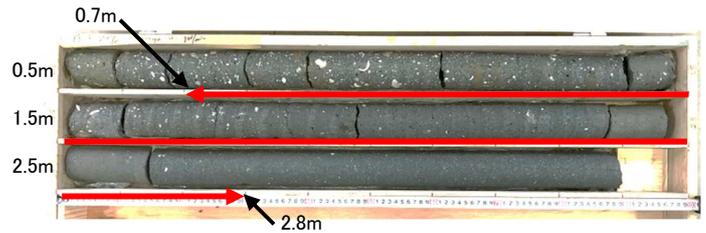


写真-1 採取コアの状況(最適値 試験ケース No.19)

最適値、第1位、第5位、第9位の深度とトルクを図-6に示す。SN比第1位のNo.14についてはトルクのばらつきは少なく、SN比=18.66dbと実施データ中、最高値を示している。したがって、コア観察結果も踏まえ、SN比第1位の試験ケースNo.14の仕様(削孔速度20min/m、回転数200rpm、流量30L/min)を最適な削孔仕様と判定した。

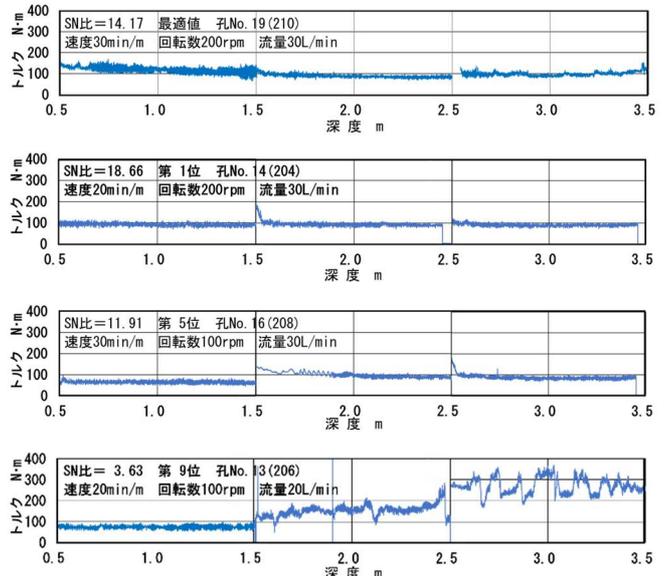


図-6 深度とトルクの関係

5. まとめ

これまで削孔試験により、メタルビットの削孔仕様を求めてきた。今回は、ダイヤモンドビットの削孔仕様(削孔速度20min/m、回転数200rpm、流量30L/min)を得ることができた。しかし、これらはコア削孔であり、地質調査ではノンコア削孔も必要である。今後、ノンコア削孔用ツールの開発と削孔仕様を求めることが必要である。

《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, 2017.5
- 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) 奈須徹夫・他: 地盤改良工事を全自動で施工管理 ICTを導入した全自動施工管理制御システムの開発, 建設機械施工 Vol.69 No.7, PP.82~86, 2017.7