【31】

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. 削孔ツールスについて

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バーレルを装着した削孔ツールスに変わって、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スについてもダイヤモンドビット対応のツールス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スを図-1に示す。

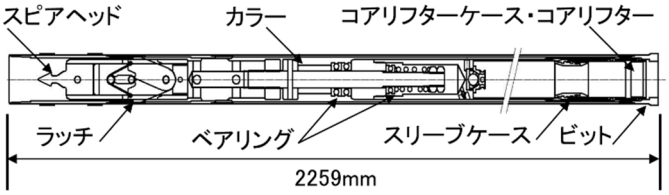


図-1　ワイヤーラインツールス

開発したツールスは、メタルビット装着タイプのインナーチューブのうち、シューの突出代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アウター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、一軸圧縮試に供し、平均改良強度 qu＝5,964kN/m2、変動係数 Vd＝11.8％を確認した。図-2に改良地盤の強度分布を示す。

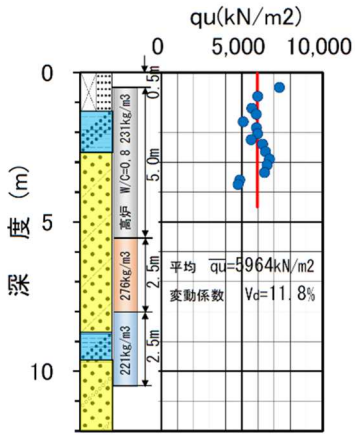


図-2　改良地盤の強度分布

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。

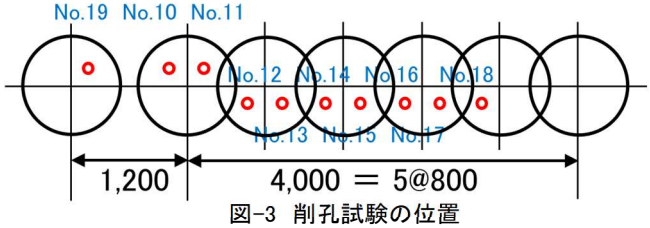


図-3　削孔試験の位置

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ガを介して、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。

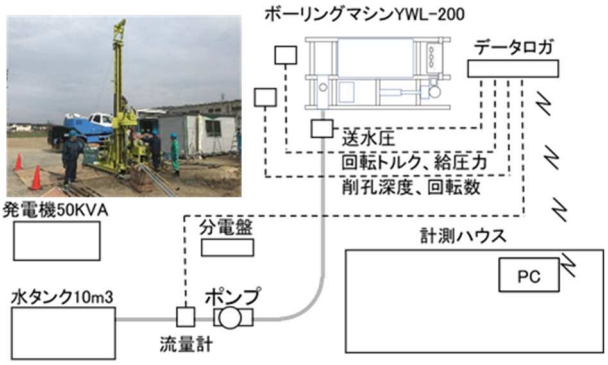
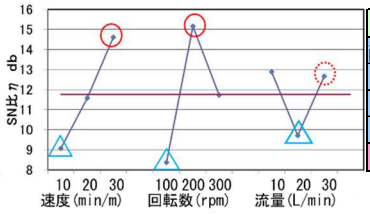


図-4 削孔データの収集方法

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。



要因	水準1	水準2	水準3
削孔速度	9.07	11.58	14.62
e	14.51	11.52	9.24
回転数	8.37	15.17	11.73
流量	12.89	9.71	12.67
全SN比の平均値			11.76

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。

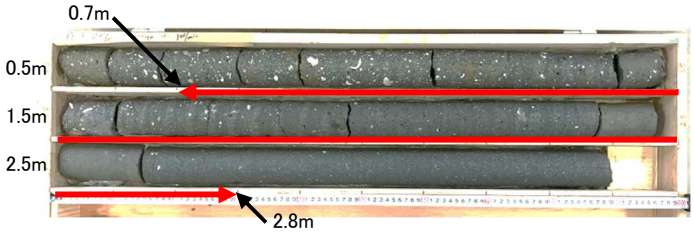


写真-1 採取コアの状況（最適値 試験ケース No.19）

最適値、第1位、第5位、第9位の深度とトルクの関係を図-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。

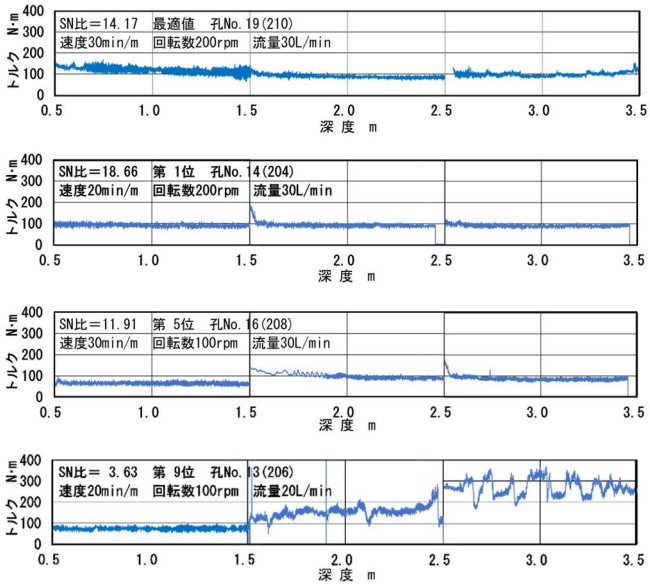


図-6 深度とトルクの関係

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

【32】

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スの開発について　－

（株）クリステンセン・マイカイ　○宮本哲臣　　（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）ダイヤコンサルタント 谷　和繁　　中央開発（株）　福原　誠　　（株）ワイビーエム　奈須徹夫

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、ボーリング技術の伝承と将来のオペレータ不足が危惧されている[1)]。これらの問題解決を目指して全自動ボーリングマシンおよびそれに使用するワイヤーラインツールスを開発してきた[2)]。

ワイヤーライン工法はコア削孔を基本としているが、地質調査ではノンコア削孔も必要である。そこで、本報告では、新たに開発したワイヤーライン用ノンコア削孔ツールスについて紹介する。

2. 削孔ツールスについて

これまでに開発したワイヤーラインツールスは従来のスリーブ内蔵二重管サンプラーと同等の仕様とし、コア径を65㎜、１回あたりの採取長を1m に設定した。また、標準貫入試験に用いる SPT サンプラー（外径51±1㎜）が挿入できるようメタルビットの内径は71㎜ としている。図-1にワイヤーラインコアバーレルおよびロッドを示す。

調査ボーリングにおいては、地質の変化に伴い、メタルビットからダイヤモンドビットへと先端部の仕様を変更する場合があり、その際はロッド先端のコアバーレルを引き上げ、地上でビット等を交換する。ここに、適切な泥水管理やオペレータの高度なスキルが得られない場合、調査孔では、孔壁の崩壊や変形等が発生し、崩壊物が孔内に堆積し、閉塞することもある。その後、ボーリング調査を継続する場合、コアバーレルによる堆積物への再度のコア削孔が必要となり、ワイヤーライン工法の削孔効率を損なうことになる。また調査ボーリングの中にはコアの採取を必要となしない調査もあり、コア削孔を行わないワイヤーラインツールスが必要とされた。

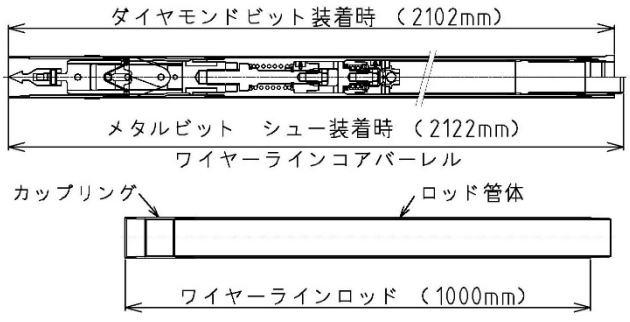


図-1　ワイヤーラインコアバーレルおよびロッド

3. ワイヤーライン用ノンコア削孔ツールスの開発

従来のワイヤーラインコアバーレルの内管部は内部にコアを収納するための空間を持つ筒状のインナーチューブを有しており、その上部には削孔時に内管部を外管内の所定位置に固定するための内管係止機構（ラッチ）、インナーチューブがアウターチューブと同一に回転しないための回転分離機構（ベアリング）を配置している。また、ラッチはアウターチューブと同一に回転できる構造となっており、さらに、土砂削孔用に開発した本ワイヤーラインコアバーレルにはシュー装着時におけるシューの突出代を制御するスプリングを配置している。そのためベアリングより上部（図-2においては左側）はアウターチューブと同一で回転する機構である。図-2にコアバーレルの機構図を示す。

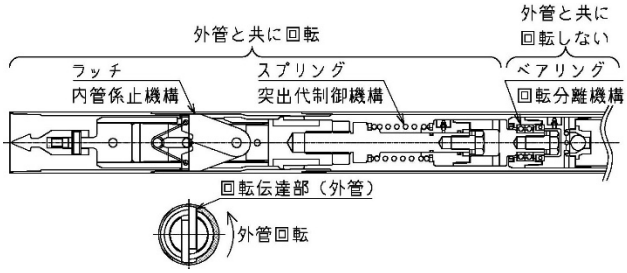


図-2　コアバーレルの機構図

今回開発したノンコア削孔ツールスは、内管部先端にクロスビットを設置し、その先端から削孔水を噴射しながらクロスビットをアウターチューブ先端のビットと同期回転させる機構とした。そのため、内管部に配置されている回転分離機構のベアリングおよびスプリングを外した構造とし、クロスビットの外周面に通水孔を配置した。クロスビットの外径は、メタルビットの内径71㎜ に対して69㎜、ダイヤモンドビットの内径65㎜ に対して63㎜ とした。図-3に先端部における切削水の流れを示す。

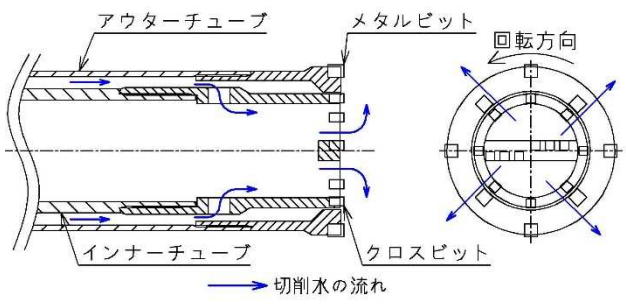


図-3　先端部における切削水の流れ

また、クロスビットに回転を伝達するインナーチューブは従来の外径73.0mm、内径66.9mm、肉厚3.05mm から同じ材質の外径73.0mm、内径60.5mm、肉厚6.25mm と肉厚を増やした管材を使用することにした。図-4にメタルビット用ノンコア削孔ツールス（組立て状態、外管部、内管部）を示す。あわせて開発したダイヤモンドビット用ノンコア削孔ツールスも含め、作業性と耐用性等を確認するため削孔試験を実施した。写真-1にメタルビット用削孔ツールスを示す。

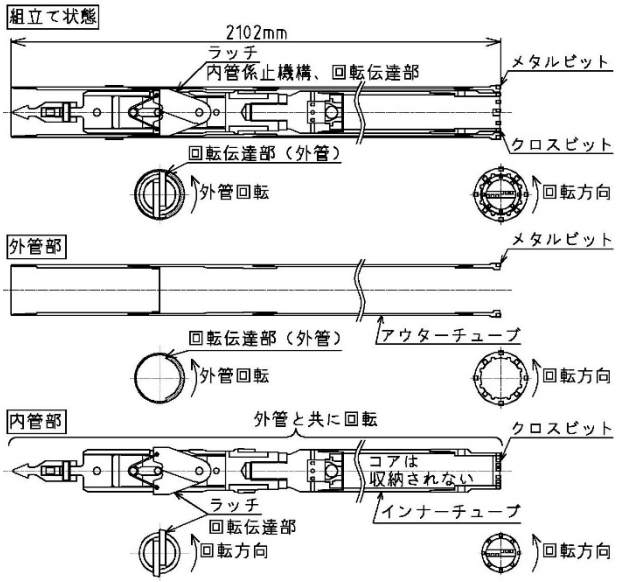


図-4 メタルビット用ノンコア削孔ツールス

写真-1 メタルビット用削孔ツールス

4. 削孔試験

ノンコア削孔試験は、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位置し、均質なゆるい砂質土が厚く分布しており、削孔試験は、その地表部5m で行った。図-5に事前のボーリング結果、図-6に削孔試験位置を示した。

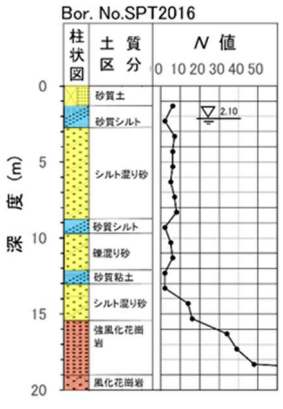


図-5 事前のボーリング結果

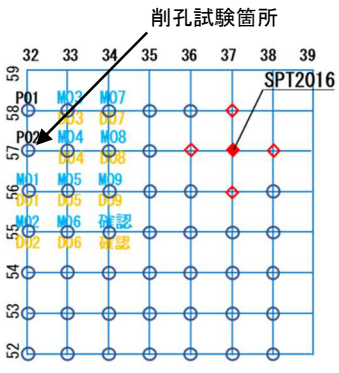


図-6 削孔試験位置

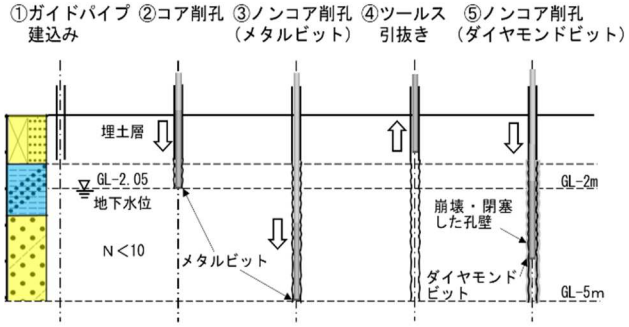


図-7 削孔試験工程

削孔試験工程を図-7に示した。削孔試験は、①ガイドパイプを建込み、②従来のシューを装着したコアバーレルにより、GL-2.0m までコア削孔した。ここに、削孔完了直後にコア切断のため、孔底より5cm の引き揚げを行った。次に③メタルビット用ノンコア削孔ツールスを投入して GL-5.0m まで連続して削孔した。地層変化に対したダイヤモンドビットへの変更作業を想定して、④ツールスを全回収した。⑤コアバーレル先端をダイヤモンドビットに変更し、ダイヤモンドビット用ノンコア削孔ツールスを挿入し、同じボーリング孔を GL-5.0m まで、回転、送水を伴いながら再挿入し、再度全回収した。

ここに、コア削孔、メタルビット用ノンコア削孔ツールスでのノンコア削孔およびダイヤモンドビット用ノンコア削孔ツールスでの再挿入は、いずれもメタルビットによるコア削孔時の最適仕様（削孔速度15min/m、回転数45rpm、送水量20L/min）[3]にて実施した。

削孔後の点検において、回収したツールスには異常はなく、ノンコア削孔時、再挿入時のクロスビットの目詰まりは見られず、ツールスの交換作業も問題なく行われ、実用性が確認できた。

5. まとめ

今回、全自動ボーリングマシン開発の一環として、地質調査ではコアの採取をしない削孔区間もあり、その対応も必要なことから、不要なコア削孔をせず全断面切削に対応可能なノンコア削孔用ツールスを開発した。削孔試験の結果、ツールスの実用性は確認できた。実務に反映するために適正な削孔仕様を求めておく必要がある。

《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) 宮本哲臣・他:全自動ボーリングマシンの開発 ― 軟弱地盤削孔用ワイヤーラインツールスの開発について ―, 全地連「技術フォーラム 2021」(大阪), 2021.9
3) 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 その2 ―, 全地連「技術フォーラム 2021」(大阪), 2021.9

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スによる削孔試験について －

（株）ワイビーエム　○矢羽田　祥貴（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

地盤調査業界における、熟練オペレーターの退職と担い手の入職者減少による技術の伝承とオペレーター不足が危惧される[1]中、その対策として、全自動ボーリングマシンおよびそれに使用するワイヤーラインツールスの開発を進めてきた[2]。ワイヤーラインはコア削孔専用ツールスであるが、地質調査では、孔内試験等ではノンコアボーリングも必要となる。そこで、本報では、新たに開発したノンコア削孔用ツールス[3]について、削孔仕様を求めるために行った削孔試験の結果について報告する。

2. 全自動ボーリングマシンとノンコア削孔ツールス

今回開発したノンコア削孔ツールスは、全自動ボーリングマシンで採用しているワイヤーライン方式の特徴を利用して、地上からコアバーレル先端にツールスを投入するだけで、コアボーリングからノンコアボーリングに容易に変更できるよう計画した。図-1に全自動ボーリングマシンを図-2にノンコア削孔ツールスを示す。

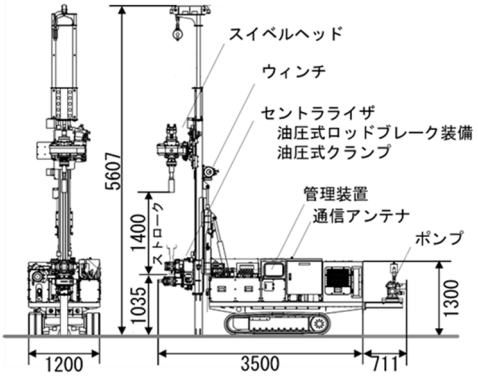


図-1 全自動ボーリングマシン

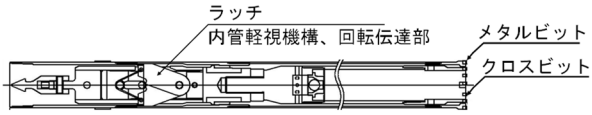


図-2 ノンコア削孔ツールス

3. 削孔試験方法

削孔試験は佐賀県唐津市原の造成地にあるワイビーエム所有地で実施した。当該地盤は一級河川松浦川の氾濫原にあり、緩い砂地盤が分布しており、削孔試験の対象層は造成埋土以深の GL-2m～GL-5m の3m の区間とした。図-3に試験場所、図-4に事前のボーリング結果を示す。

図-5に試験削孔手順を示す。地表から GL-2m までは、従来のメタルビットを装着したワイヤーラインツールスによるコア削孔を行った。ここに、削孔仕様は削孔速度15min/m、回転数45rpm、流量20L/min とした。

コア削孔後、ノンコア削孔ツールスをコアバーレル先端に自由落下させてセットし、GL-2mから GL-5mまでを所定の削孔条件でノンコア削孔する（試験ケースA）。

ノンコア削孔後、先端ビット交換を想定し、コアバーレル引上げ、ダイヤモンドビットへ交換、ノンコア削孔ツールスを装着したコアバーレルにて、所定条件で GL-5m までボーリング孔に再挿入した（試験ケースB）。

図-3 試験場所 [4]

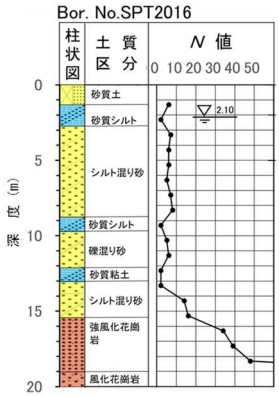


図-4 事前のボーリング結果

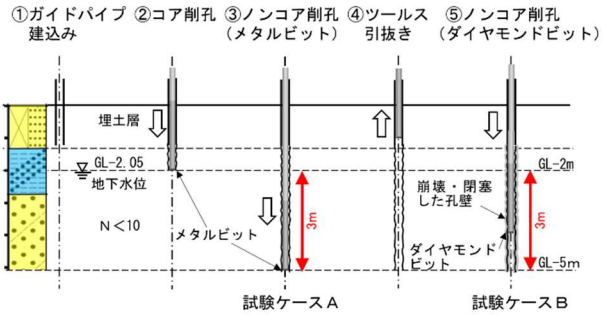


図-5 削孔試験手順

4. 削孔試験結果

削孔試験の位置を図-6に示す。ここに、メタルビットで行う試験ケースAについてはケース No.にM、ダイヤモンドビットで行う試験ケースBについてはケース No.のDをつけることで区分した。

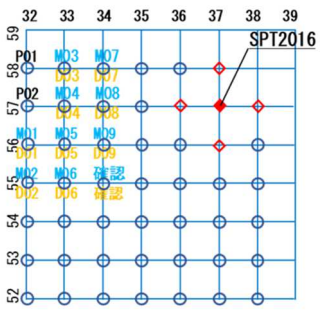


図-6 削孔試験位置

試験ケースＡでは、ノンコア削孔の最適値を確認するため、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）の組合せを変えて削孔試験を実施した。計測データ（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）のうち、回転トルクに着目して、品質工学手法を用いて SN 比で比較評価した。表-1に試験ケースと SN 比を示す。また、各 SN 比（M01～M09）の要因効果について解析を行った SN 比と水準の関係を図-7に示す。最適条件は SN 比が大きい水準を選定し、削孔速度15min/m、回転数60rpm、送水量30L/min であると推定した。その後、確認試験 M10により最適条件の SN 比が23.00db であることから、推定が正しく、再現できていることを確認した。

次に、試験ケースＢでは、再挿入時のダイヤモンドビットにおける削孔仕様の最適値を確認するために、ノンコア削孔時と同様の評価方法で評価を行った。表-2に試験ケースと SN 比の結果を示す。また、各 SN 比（D01～D09）の要因効果について解析を行った SN 比と水準の関係を図-8に示す。最適条件は SN 比が大きい水準を選定し、削孔速度3min/m、回転数60rpm、送水量30L/min であると推定した。その後、確認試験 D10を行い、最適条件の SN 比は22.82db と高い優位性を確認することができた。

表-1 試験ケースA削孔試験の結果

ケース	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10 確認
削孔速度(min/m)	5	5	5	10	10	10	15	15	15	15
回転数(rpm)	30	45	60	45	60	30	60	30	45	60
送水量(L/min)	10	20	30	30	10	20	20	30	10	30
SN比(db)	8.65	9.47	22.20	19.25	16.27	14.61	17.34	21.61	20.01	23.00

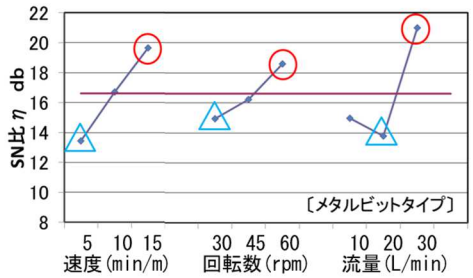


図-7 試験ケースＡ SN 比と水準の関係（要因効果図）

表-2 試験ケースＢ削孔試験の結果

ケース	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10 確認
削孔速度(min/m)	2	2	2	3	3	3	4	4	4	3
回転数(rpm)	30	45	60	45	60	30	60	30	45	60
送水量(L/min)	10	20	30	30	10	20	20	30	10	30
SN比(db)	3.79	14.41	18.04	20.02	26.60	6.12	10.76	13.93	8.96	22.82

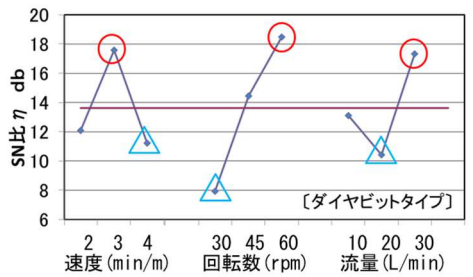


図-8 試験ケースＢ SN 比と水準の関係（要因効果図）

参考として図-9に試験ケースＡ，Ｂの最適条件と比較として SN 比の第5位と第9位の試験ケースの深度と回転トルクの関係を示す。図-9から、最適値はいずれのケースもトルクが低くばらつきが小さいことが確認できた。

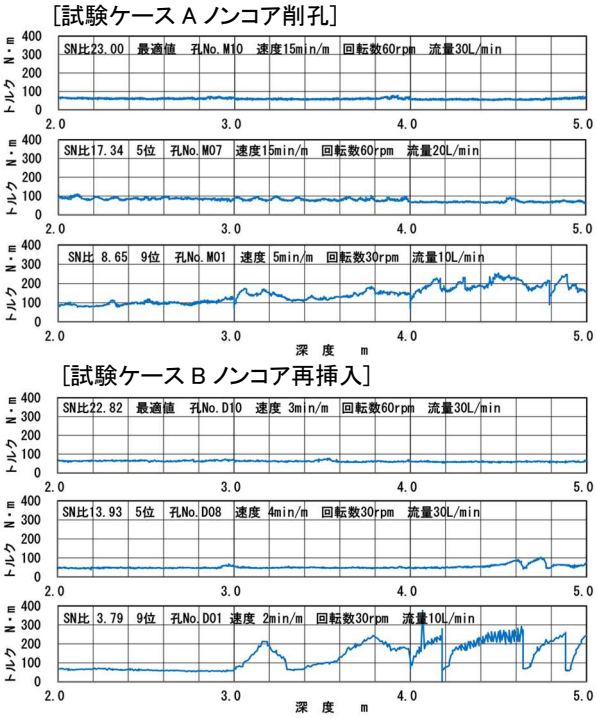


図-9 深度と回転トルクの関係

5. まとめ

ワイヤーライン方式にて地質調査を行う場合のノンコア削孔用ツールスを開発し、ノンコアボーリングの削孔仕様を確認するために削孔試験を行った。削孔試験の結果、下記の仕様が確認できた。

①ノンコア削孔仕様

（メタルビット＋クロスビット）

削孔速度15min/m、回転数60rpm、送水量30L/min

②ノンコア再挿入仕様

（ダイヤモンドビット＋クロスビット）

削孔速度3min/m、回転数60rpm、送水量30L/min

軟弱層でのノンコア削孔では、送水量を30L/min に設定するため、削孔水で孔底を乱す可能性がある。そのためノンコア削孔での削孔終了時は流量を徐々に下げるなどの対処を検討し、システム化していく必要がある。

《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 その２ー，全地連「技術フォーラム2021」大阪，2021.9

3) 宮本哲臣・他：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スの開発についてー，全地連「技術フォーラム 2022」那覇，2022.11

4) スーパー地形陰影起伏図

コア削孔機を利用した既設橋形状調査の事例

株式会社ウエスコ　　西岡　克知圭

1. はじめに

一般的にコア削孔機はコンクリート円柱試料の採取を目的に利用される．この場合，壁面に対して垂直方向に削孔されることが多いが，角度付きポールベースの使用により斜掘りも技術的に可能となる（図-1）．

このように，コア削孔機による斜掘りを活用して，削孔長・削孔角度・孔口高から既設橋フーチング底面高を調査した事例を2つ紹介する．

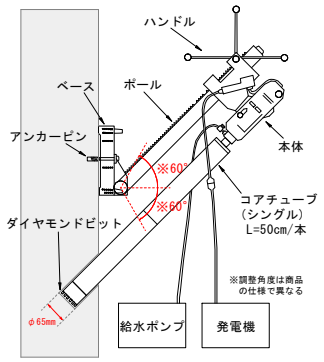


図-1　コア削孔機の斜掘り概念図

2. 既設橋形状調査の事例その1

自歩道橋の設計に伴い隣接する既設橋のフーチング底面深さを調査した事例である．

(1) 調査の目的

既設橋は市街地に位置しており，渡河できる要所であったことから車両および歩行者の通行が多かった．その一方で幅員が狭隘だったことから，自歩道橋の併設が計画されていた（図-2および写真-1）．自歩道橋の設計条件として，床掘り工事による既設橋下の土砂流出とそれに伴う空洞化・不安定化を防止する目的で，隣接する既設橋のフーチング深さを把握する必要があった．しかし，既設橋の設計・施工図面は現存しておらず，フーチング底面深さを調査する必要が生じた．

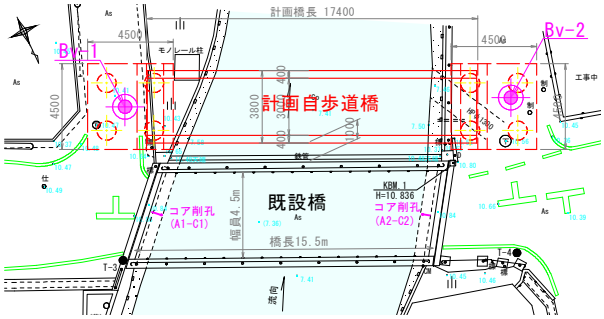


図-2　既設橋および計画自歩道橋の平面図

写真-1　既設橋の現状（下流方向から撮影）

(2) 調査の制約と方針

利用者が多かったため当該既設橋の通行規制はできなかった．加えて，橋台付近に埋設管が多かったため，道路上から行う斜めボーリングのリスクは高かった．そこで，河川内の各橋台壁面から斜掘りする方針とした．出水期であったこと，桁下の作業空間が狭かったこと，機材搬入が容易でなかったことから，機械ボーリングでの作業は困難と判断し，コア削孔機を採用した．

(3) 調査の結果

A1橋台はL=2.00m，A2橋台はL=1.75mでフーチング底面を確認した（図-3）．橋台コンクリートは概ね亀裂の無い連続したコアで得られた．そのため，桁下の天井高に注意してコアチューブを引き上げる必要があった（写真-2）．

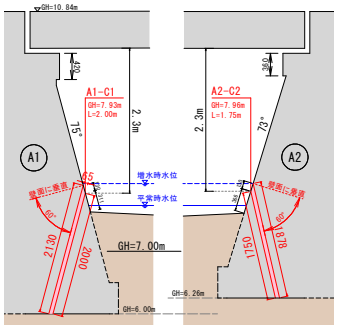


図-3　削孔結果図

写真-2　作業状況と採取コア

掘削孔は無収縮モルタルで閉塞し，全ての作業を約3時間で完了した．作業中の天候と河川水位に注意を払う必要はあったが，短時間の作業によりリスクを大幅に低減することができた．

3. 既設橋形状調査の事例その2

橋梁撤去設計のために既設橋形状調査を行った事例である．

(1) 調査の目的

調査対象は谷底平野を流れる1級河川に架かる橋長34.6m，有効幅員3.7mの旧橋であった．昭和8年に竣工した旧橋は，老朽化の激しいこと，幅員の狭隘なこと，河川通水を阻害することから新橋への架替え事業が進められていた．事例1と同じく旧橋の設計・施工図面は現存せ

ず，橋台・橋脚の形式および基礎の形状，撤去ボリュームを把握するために調査を行う必要があった（写真-3）．

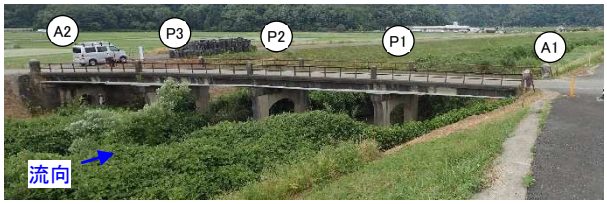


写真-3 対象旧橋の現状

(2) 調査の制約と方針

旧橋は業務期間中も供用されていたため，橋上を占用して調査を行うことは難しかった．

橋脚のフーチング上は土砂が厚く堆積していたため，土砂掘削に対応できる機械ボーリングでフーチングの深さおよび平面形状を調査した．さらに，斜めボーリングでフーチング下の木杭の有無を調査した．

一方，橋台についてはフーチング深さの調査にコア削孔機，フーチング奥行の調査にオーリス（衝撃弾性波法）を活用した（図-4）．出水期開始までの約2週間で橋台の形状をある程度把握する必要があったことから，足場等の工作物の仮設を必要とせず，機動性の高いコア削孔機を採用した．

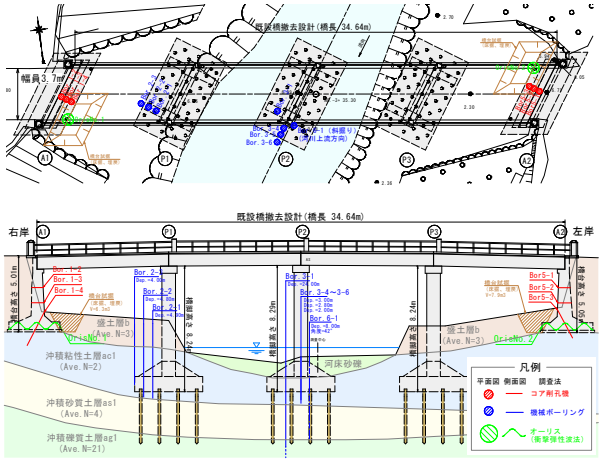


図-4 旧橋の平面図・側面図と各調査地点

(3) 調査の結果

各橋台で2点の水平削孔，1点の斜め削孔を実施した（図-5）．作業は水平削孔4箇所（ΣL=2.9m），斜め削孔2箇所（ΣL=3.6m）を2日で完了することができた．

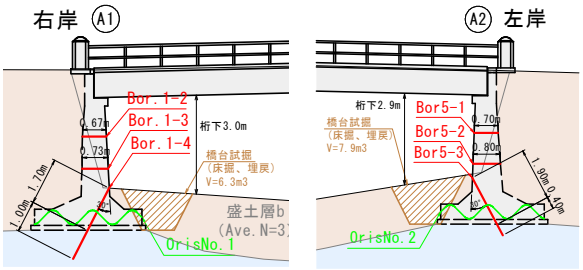


図-5 削孔結果図

橋台フーチング下の木杭の有無を調べるために，斜掘りにおいてフーチングを貫いた後，コアチューブの押し込みにより沖積粘性土層を追加削孔した．その結果，フーチング下の木杭は確認されなかった．一方でコアチューブ内壁に張り付いた粘性土の回収に苦労した（写真-4）．

写真-4 採取した粘性土

4. まとめ

コア削孔機による斜掘りの利点と注意点をまとめる．

(1) 利点

①概ね2～3m の天井高があれば，狭い作業空間での作業が可能であり，交通等の問題で道路上での調査が実施できない場合に有利である．

②橋台壁面から削孔することで，道路上からの削孔と比較して余計な削孔が発生せず，埋設管の損傷リスクも回避できる．

③機材の搬入・設置撤去が容易なため，機動性に優れ，特に削孔地点の多い場合に有利である．

(2) 注意点

①削孔長の長い場合は，コアチューブの引き上げに十分な天井高を確保するか，コアチューブを一本ずつ外す必要がある（低能率かつコア落下リスク高い）．

②土砂部の掘削に不向きであり，完全に地中に埋設された構造物調査には不利である．

③対象が鉄筋構造物の場合は，鉄筋探査結果をもとに削孔位置や角度を入念に検討する必要がある．

5. おわりに

インフラの老朽化に対するメンテナンスは我が国の課題であり，インフラの修繕及び更新業務は今後増えていくと考えられる（図-6）．

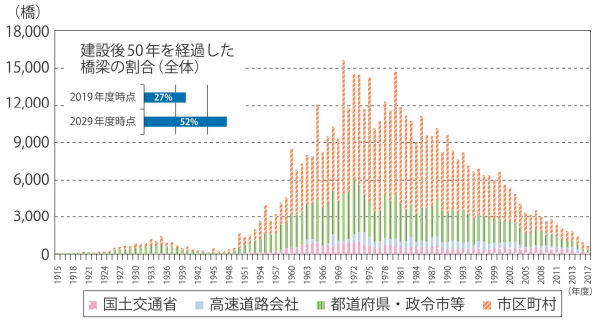


図-6 建設年度別橋梁数[1)]

構造物の維持修繕において，その形状は重要な情報である．しかし，古い構造物では設計図・施工図が現存しないケースもあり，その場合は調査を行って形状を把握しなければならない．コア削孔機による斜掘りはそのような場面で活用できる現場技術であり，本例のような橋台フーチング深さに限らず，既設砂防堰堤の根入れ調査等に対しても活用できるものと期待する．

《引用・参考文献》

1) 国土交通省：令和2年度版国土交通白書，p.114，2020.6

【35】

コアドリルを用いた堰堤調査事例

新協地水株式会社　　○二瓶　光，山家　雄太，高橋　友啓

1. はじめに

インフラ施設の長寿命化・老朽化対策では，施設の健全度を把握し，予防保全段階の対策を行うことがライフサイクルコストの縮小を実現する上で重要である．

砂防堰堤の老朽化に伴う補修設計の地質調査では，一般に機械ボーリングを用いた堰堤コアの採取が行われている．

しかし，調査が必要な既設砂防堰堤は，建設年代が古い場合が多いため，ボーリングマシンの搬入・仮設条件の難易度が高く，多大な費用と長期日数を要する．

本報告は，設計内容に応じ，工期短縮・低コスト化を目的とした，コアドリルによる既存堰堤調査の事例について示すものである．

2. 調査地の条件について

砂防堰堤調査の性質として，調査対象となる砂防堰堤は，建設年代が古く，砂防堰堤の資料（工事台帳等）が残されていない場合があり，堰堤構造（堤高，堤長，材料等）の正確な情報に乏しい．

補修設計には，既設堰堤の堤高や根入れ深さ，基礎地盤の種類等を調査する必要があり，これらの設計パラメータの取得に際しては機械ボーリングや弾性波速度試験等の採用が一般的である．

また，建設年代の古い堰堤は，工事用道路が消失し，堰堤へのアクセスが困難である場所が多く，人力で施工された石積堰堤もある．

設計パラメータは，砂防堰堤の状態（内部構造・堤体高）や基礎地盤の確認であることから，堤体中央や両端部による掘削とした．

設計パラメータを満足する方法で，かつ工期の短縮，費用の縮減を図るため，大規模な仮設を要せず，資機材運搬の容易なコアドリルによる調査を提案した．

3. 従来工法との比較と調査結果について

(1) 従来工法(ボーリング調査)との比較

従来工法（ボーリング調査）との比較表を表-1に示す．

従来工法と比較し，掘削孔径や採取コア径に大きな差異は無く，コアの観察はボーリング調査と同様に行うことが可能である．

(2) コアドリル工法の長所

従来工法と比較し，全作業工程の短縮，調査費用が安価であること，大掛かりな運搬が不要であること，コアドリルを堰堤に直接設置する為，仮設が容易であること（写真-1），河川増水時の資機材撤去が容易であること，ボーリング調査と同等のコア試料を採取することが可能であること等がある．

(3) コアドリル工法の問題点

コアドリル工法の問題点としては，通常深掘に用いられる工法（汎用工法）ではないため，掘削深度・採取コア試料の状態は地層状況・堤体の状況に左右され，特に堤体のコンクリートの状態が悪いと，掘削効率，コア採取率が落ち，15m を超える掘削では，連結チューブの揚げ降ろしにより，作業効率が極端に落ちる等といった問題点が挙げられる．

また，本工法単体では堰堤の基礎地盤が土砂であった場合に強度の把握が困難であり，別途仮設を行い，原位置試験の実施等が必要となる．

写真-1 コアドリルによる掘削状況

表-1 従来工法との比較表

掘削工法	施設	砂防堰堤地質調査	
	掘削工法	機械ボーリング	コアドリル を用いたコア採取
	掘削深度	10.0m	10.0m
工法概要		・ロータリー式ボーリングマシン5.5kw級を用いたコア試料採取 ・掘削孔径φ66mm， **採取コア径48mm**	・コアドリル2700kw級を用いたコア試料採取 ・掘削孔径2・1/2in（63mm）， **採取コア径53mm**
資材運搬 仮設概要	仮設数量	・水上足場 （水深1.0m以下） ・モノレール運搬 （50m以下） ・モノレール架設・撤去 （50m以下）	・人肩運搬 ・実質計上なし
全作業工程		モノレール架設2日， 資機材運搬仮設1日， 掘削4日， 資機材撤去1日， モノレール撤去1日 **延べ9日程度**	運搬設置～掘削3日， 撤去1日 **延べ4日程度**
工法の 特徴	長所	・地質調査で広く用いられる汎用工法であり，確実性が高い． ・地層（堤体）の状況に左右されない． ・大深度，増掘への対応が容易である． ・調査孔を用いた原位置試験の実施が可能．	・安価で，大掛かりな仮設，運搬が不要である． ・河川増水時の資機材撤去が容易である． ・機械ボーリング同等のコア試料を採取することが可能である． ・砂防えん堤での掘削実績がある．
	短所	・掘削費用に対し，仮設費用が高額となる． ・コアドリルと比較し，作業日数がかかる． ・河川増水時の迅速な撤去は困難． ・足場仮設はえん堤下流から組み上げ（通常の水上足場+14空m^3程度要）． ・安全なモノレールルートの選定が困難．	・通常深堀に用いられる工法（汎用工法）ではないため，掘削速度・採取コア試料の状態は地層（堤体）の状況に左右される． ・15mを超える掘削は作業効率が極端に落ちる． ・調査孔を用いた原位置試験ができない（別途仮設を行えば実施可能）．

(4) 調査結果について

写真-2にコアドリルを用いて採取したコアを示し，写真-3にボーリングマシンを用いて採取したコアを示す．

これらの掘削箇所は，同一沢筋内の異なる堰堤で掘削したものである．

掘削速度を比較するとボーリングマシンでの掘削では掘削速度60～120（cm/時）程度，コアドリルでの掘削では掘削速度60～100（cm/時）程度であり，堰堤の掘削においては，掘削速度に大きな差異は無い．

コアドリルを用いて採取したコアとボーリングマシンを用いて採取したコアを比較すると，コアドリルを用いて採取したコアの品質は，ボーリングマシンを用いて採取したコアと同程度を確保することが出来る．

写真-2 採取コア状況（コアドリル）

写真-3 採取コア状況（ボーリングマシン）

4. コンクリートの品質と砂防補修設計について

(1) コンクリートの品質について

調査対象である砂防堰堤の多くは，昭和30年代より古い堰堤である．これらの砂防堰堤の主要材料が粗石コンクリートであり，多孔質のセメントペーストが流出して砂礫状となった脆弱部がみられる場合もある[1)]．

過去に実施した砂防堰堤調査により採取したコンクリートについても粗石コンクリートが使用されており，1964年（昭和39年）以前に施工された砂防堰堤は単位体積重量が11.22～24.33kN/㎥の範囲を示し，単位体積重量には幅があり，一般的な普通コンクリートの基準値[2)] 22.5～23.0kN/㎥を下回るものが多い（図-1）．

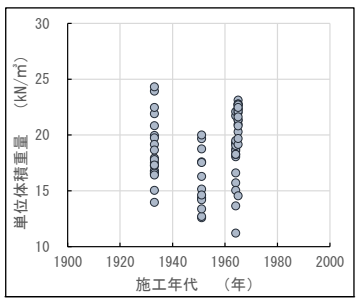


図-1 施工年代と単位体積重量

コンクリートの強度についても11.70～64.10N/mm²の範囲を示し，コンクリート圧縮強度の基準値[3)]である24N/mm²を下回るものがある（図-2）．

単位体積重量が大きいと圧縮強さも大きい傾向がある（図-3）．

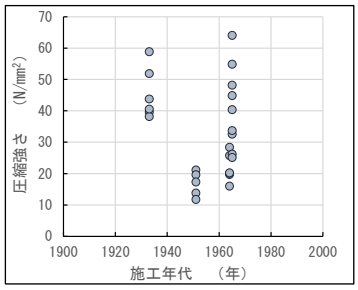


図-2 施工年代と圧縮強さ

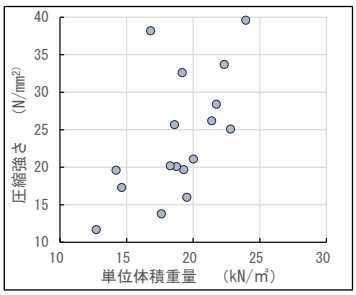


図-3 単位体積重量と圧縮強さ

(2) 砂防補修設計について

補修設計の段階では，既設砂防堰堤の重量，強度等が現行の基準を満たしていないため，補修は腹付けや嵩上げ等による補修が検討される場合が多い．

ただし，既設砂防堰堤の状態によっては，腹付け等では対応できず，設計に時間を要する．

このため，設計段階に応じたレスポンスの良い調査手法として，コアドリルによるコア採取が有用である．

5. まとめ

建設年代が古く，砂防堰堤の資料に乏しい既設堰堤の堰堤構造を把握する為の調査においては，コアドリルによるコア採取により，工期の短縮・低コスト化を実現することが出来た．調査期間の短縮・低コスト化により，多くの老朽化した砂防堰堤の調査を実施することが可能となることから，今後のインフラ施設の長寿命化・老朽化対策に係る事業の一助となることを願う．

《引用・参考文献》

1) 尾関 信幸・亀澤 奈央:「砂防堰堤におけるコンクリートの施工技術の変遷」，砂防学会研究発表会概要集，2014巻 B号，B.404-B.405，2014.
2) 公益社団法人土木学会:コンクリート標準示方書[設計編]，2018.
3) 一般社団法人日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説，2018.

【36】

京都府の寺院境内における軽量型ボーリング調査事例

ハイテック株式会社　　○岩田克彦，櫻井皆生，NGO XUAN LOC

1. はじめに

京都府京都市内に位置する 300 年の歴史がある寺院において、本堂建て替えに伴い地盤調査を実施した。

本事例では、発注者である寺院からの要望で、参拝者の迷惑にならないように調査を実施する必要があった。このため、モノレール架設すると参拝通路を塞ぐこと、作業ヤードが狭く3m×2m の足場は仮設が困難なことから、通常のボーリングマシンでは調査が実施できなかった。したがって、軽量型ボーリング（ドクターモール®ボーリング）を使用し調査を実施した。

2. 調査方法

軽量型ボーリングと通常ボーリングの性能を表-1 に整理する。軽量型ボーリングの重量は、分割すると 1 つ 10～30kg 程度となる。本調査では、標準貫入試験も実施することから、標準貫入試験用ハンマーも 3 分割にできるものを使用し、人肩運搬での搬入が可能となった。

簡易型ボーリングは電動型とエンジン型[1)]があり、電動型は 100V の電源で掘削可能なボーリングマシンである（写真-1 参照）。

ボーリング調査は寺院境内の庭園内で実施し、植木の伐採が出来ないことから狭い箇所では、1m×2m 程度の足場で作業を実施した（写真-2 参照）。

表-1 ボーリングマシン性能一覧

項目	軽量型ボーリング		通常ボーリング
	電動型	エンジン型	エンジン型
資機材総重量	300kg 程度	400kg 程度	1500kg 程度
マシン重量	20kg 程度	160kg 程度	300kg 程度
分解重量	15kg 程度	30kg 程度	50kg 程度
掘削能力	20m程度	30m程度	機械により変化
掘削深度最大	40m	50m	機械により変化
調査対象	通常ボーリングと同等		各種

写真-1 軽量型ボーリングマシン（電動型）作業例

写真-2 軽量型ボーリングマシン（電動型）作業状況

3. 通常のボーリングマシンと比較

軽量型ボーリングと通常ボーリングについて、作業工程と調査費用について比較する。

(1) 作業工程

1 孔 20m 掘削時の作業工程を表-2 に整理する。作業工程は現場状況により異なるが、今までの実績をもとに整理した。

表-2 調査工程比較一覧（1 孔　20m）

項目	軽量型ボーリング		通常ボーリング
	電動型	エンジン型	エンジン型
モノレール架設（50m）	-	-	1.0～1.5 日
運搬方法	人肩運搬主体で一部台車を使用		モノレール運搬
運搬（50m）	1.0～1.5 日	1.0～1.5 日	0.5～1.0 日
足場仮設（平坦地）	1～2 時間	1.5～3 時間	0.5～1.0 日
掘削(φ66, 礫混じり土砂相当)	7 日（3m/日）	5 日（4m/日）	5 日（4m/日）
撤去	1～1.5 時間	1～2 時間	2～4 時間
移設	0.5～1.5 日	0.5～1.5 日	0.5～1.0 日
合計	10.5 日	8.5 日	8.5 日（モノレール架設・撤去含まない）

軽量型ボーリングは、人肩運搬のため、運搬に時間を要するが、モノレール架設は不要であり、足場仮設はコンパクトであることから作業が速い。

掘削速度は、軽量型ボーリングの電動型は 100V の電源で掘削するため、エンジン型と比ベトルクが弱く、掘削時間を要する。ただし、20m 掘削では 2 日程度の差である。エンジン型の掘削速度は通常ボーリングとほぼ同等である。

(2) 調査費用

調査費用一覧を表-3 に示す。運搬距離は 50m として算出した。モノレール架設の単価は積算資料 [2] を参考とし、人肩運搬は実績の単価とした。また、費用が同等の項目は省略した。

軽量型ボーリングはモノレール架設・撤去が不要なため、通常ボーリングよりも諸経費を抜いた金額で約 10 万円のコストを縮減して調査を実施できた。

表-3 ボーリング調査費用一覧

項目	軽量型ボーリング		通常ボーリング
	電動型	エンジン型	エンジン型
モノレール架設・撤去（50m 以下）	-	-	23.8 万円
運搬（50m 以下）	16.3 万円（地質調査員相当 3 名×2 回）		3.8 万円
モノレール損料	-	-	+α
合計（諸経費未計上）	16.3 万円		27.6 万円+α

4. 調査結果

軽量型ボーリングの電動型の掘削速度は地質が大阪層群の砂礫層が主体であり、玉石も混入することから 3m/日程度であった。掘削が進むにつれ、ケーシング挿入の深度が 15m を超えた付近よりトルクが弱く、ケーシングが回らなくなった。このため、エンジン型に交換せざるを得なかった。また、エンジン型の掘削速度は 4m/日程度であった。

ボーリングコアは、軽量型ボーリングの電動型、エンジン型ともに通常ボーリングと同等のコアを採取できた（写真-3）。

また、φ86 に拡孔し孔内水平載荷試験（普通載荷）を実施したが、試験結果からも問題なく作業ができたと考えられる。

写真-3 軽量型ボーリングにより採取したコア

5. まとめ・今後の課題

軽量型ボーリングマシンを使用することで、発注者からの要望を満たすボーリング調査を実施することができた。1m×2m 程度の小さな足場仮設での掘削であったが、通常ボーリングと変わらないコアが採取できた。

仮設条件にもよるが、大阪層群砂礫層の場合は 15m 程度の掘削では電動型、30m までの掘削ではエンジン型を選定することが望ましい。

また、モノレール架設・撤去が不要なため通常ボーリングよりコスト縮減が期待できる。

今後はドローン運搬等が実現されれば、より効率的な調査が可能になると考えられる。

《引用・参考文献》

1) 株式会社 KANSO テクノス：技術リーフレット モバイルボーリング http://www.kanso.co.jp/aboutus/leaflet.html（確認日：2022.7.14.）；共同開発者

2) 一般社団法人建設物価調査会：建設物価,p.867,2022.7.