

# ボーリングマシン自動化WG

## WG活動取り纏め

令和5年5月

現場環境改善委員会

ボーリングマシン自動化WG

## WG活動実績

開催日	議題	話題	その他
第1回 令和3年9月10日	WG活動方針について	YBM 試作機の動画にて概要確認	
第2回 令和3年11月5日	アイデア出し意見交換	高品質コア採取に向けた計測ボーリング技術 (HQCS)	国交省意見交換会 サイト資料作成要請受け
第3回 令和4年2月1日	自動化マシンの目標	YBM 試作機による削孔試験動画	上記資料の紹介
第4回 令和4年6月1日	標準貫入試験あり方 WG のアンケート結果 CSPI-EXPO の自動化建設マシンの動向 今年度活動計画案について		
見学会 令和4年8月19日 20日、つくば応用		HQCS-MS 現地掘削試験見学会	自由参加
第5回 令和4年9月13日	生産性向上再整理 各作業工程の再検証	HQCS-MS (OYO つくば) 現地試験概要	
第6回 令和4年11月29日	生産性向上に向けた必要改善事項の整理 従来マシンと自動化マシンの組み合わせ		
見学会 令和4年12月12日 YBM 唐津工場	自動化ボーリングマシン見学・意見交換会		自由参加
第7回 令和5年3月2日	2年間の活動成果「取り纏め」について (目次案と役割分担)	上記見学会(事務局報告)地盤情報を効率的に取得するための地盤調査のあり方(OYO利藤氏作)	
第8回 令和5年5月23日	2年間の活動成果の「取り纏め」、アンケートの確認		

## WGメンバー (令和5年4月1日現在)

座長	中山 健二	川崎地質 (株)
委員	河内 誠	応用地質 (株)
	武政 学	基礎地盤コンサツタンツ (株)
	佐藤 明	(株) ダイヤコンサルタント
	藤本 泰史	(株) 地圏総合コンサルタント
	安 浩輝	(株) 東京ソイルリサーチ
	立石 亮	(株) アサノ大成基礎エンジニアリング
	石川 啓司	(株) 日さく

## 目 次

1. 地質調査業の現状と課題	1
2. 手動マシン（地質調査）の現状	2
3. 自動・半自動化マシンや計測ボーリングの新技术	3
3.1 国内外の自動化マシン動向	5
3.2 マシンメーカーによる次世代型自動化マシン	10
3.3 計測ボーリング技術（OYO-HQCS）	16
4. 生産性向上に向けた改善策	19
4.1 従来マシンと自動化マシンの組合せと自動化レベル区分	20
4.2 仮設備や従来調査方法の改善	24
5. 将来のビジネス領域の課題と取り組むべき対応	28
6. まとめ	33

<巻末資料> その他意見の集約

# 1 地質調査業の現状と課題

我が国の基盤となる地質構造は諸外国に比べ複雑かつ脆弱である。このような地質・地盤条件においてインフラ整備が計画的に進められているが、地質リスクに起因する工事中の地盤に関連する事故は一向になくならない。一方、気候変動による豪雨災害が激甚化、頻発化、広域化する中で南海トラフ地震や首都直下型地震の発生も切迫し、防災・減災・国土強靱化対策の推進や備えも待ったなしの状態である。

これら社会資本整備を推進するにおいて地質調査は土台となる地盤情報を後続の設計・施工に引き渡すと共に維持管理に活用するなど、重要度は極めて高いと言える。地質調査技術はボーリング調査、物理探査に大別できるが、近年のDX化による技術革新で地盤情報の3次元可視化も容易なものとなり、BIM/CIM技術の活用により後続の建設生産プロセスを経ながら高度化が図れるようになった。一方、建設工事分野では図.1に示すように「i-ConstructionによるICT活用を推進、2025年までに建設現場の生産性2割アップ（国土交通省）」で自動化・無人化マシンが開発され生産性向上が加速化されつつあるが、地質調査で使用するボーリングマシンは機能に大きな技術的变化はなく、ハード面では自動化が遅れている。

ボーリング調査は、コア試料採取をはじめ孔を利用する各種調査によって多様な地盤情報が入手できる重要な調査手法であるため、持続性を確保しつつ将来の国土づくりや保全に支障がでないよう、生産性向上、担い手確保、現場環境の改善を推進していけるような新たなボーリングマシンの開発や従来の調査方法の改善が喫緊の課題となっている。

## i-Construction推進に向けたロードマップ

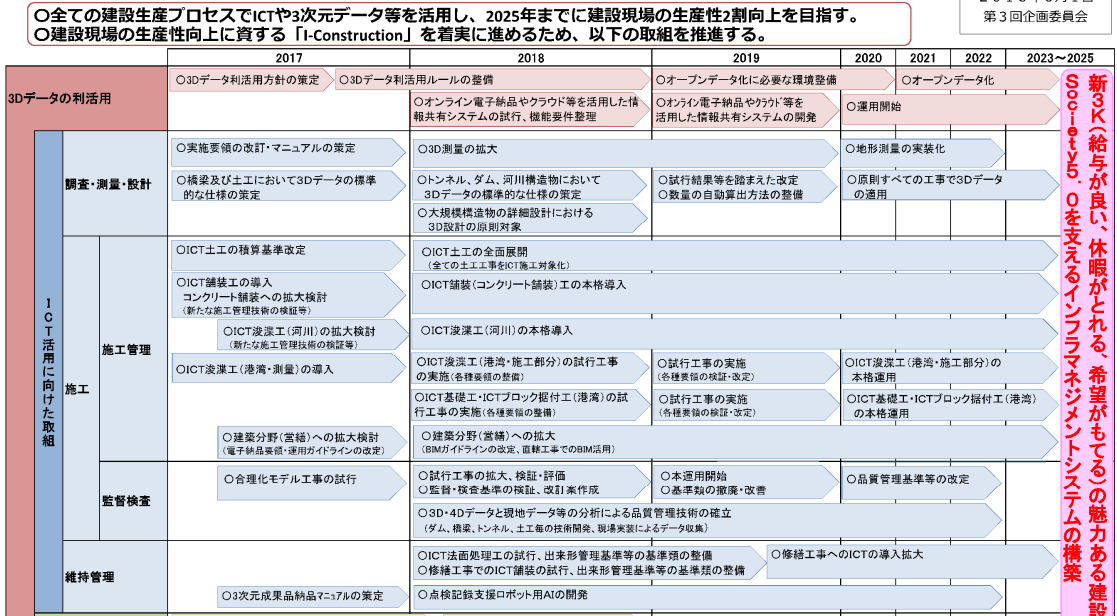


図.1 i-Construction 推進に向けたロードマップ (国土交通省)

## 2 ボーリングマシンの現状と開発背景

ボーリングマシンは図.2 のように地盤調査用と地盤改良用があり、これらはほぼ同時期に開発された。地盤調査用マシンは機械自体に大きな変化はなく、コアリングやサンプリング等の品質向上に関わる技術開発は行われているものの、マシン本体は1980年時点の技術から大きな変化はなく、ロッド・ケーシング、標準貫入試験用重錘（モンケン）等の長尺重量材料の脱着の一部を人の手で行う作業、削孔時の給圧や回転数・泥水管理等の人の経験に頼る制御は従来通りである。一方、地盤改良用マシンは自動化・ICT化を加えながら大きく発展してきた。

この原因として、市場の小さな地質調査業で使用する地盤調査用マシンの多くは個人や小規模な事業者が扱うため独自の開発が困難であった一方、市場の大きな建設工事で使用する地盤改良用マシンは協会・団体による開発で企業が容易に保有できた点あげられる。加えて技術的ハードル面として、前者は経験に基づく削孔と孔壁保護判断（ケーシング・泥水管理）、コアリング、サンプリング、標準貫入試験等、1本のボーリング孔における多様な作業工程の自動化が開発の弊害であった反面、後者は削孔と注入混合攪拌等の限定した作業工程のため順調に開発できたと思われる。

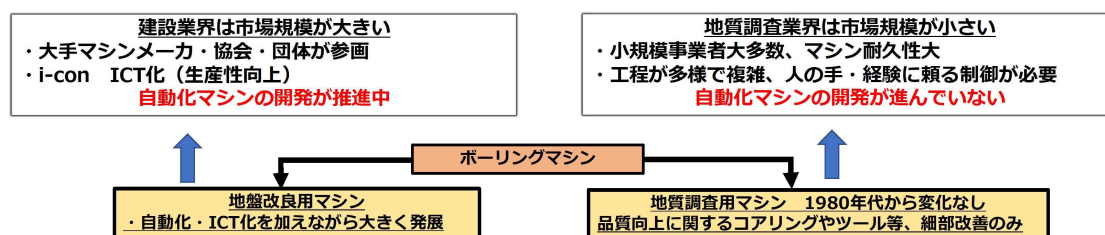


図.2 地盤改良マシンと地質調査用マシン

一方、ボーリングマシンを扱う機長は今後、高齢化による退職増加の他、若い機長や助手が定職しにくい現状より将来に向けた技術の伝承と技術者不足が危惧されている。特に、地質調査業におけるボーリング作業は低姿勢や三又檣上での作業が多く身体への負担が大きい、資機材脱着時の指詰め事故やマシン回転部への巻き込み事故等の労働災害が後を絶たない、作業環境の厳しさ、職業イメージの悪さ、不安定な就業機会や休暇、人の経験を必要とする事などが原因として考えられる。半面、地盤改良用はマシンの保有する機動性やパワーに加え、掘削作業は概ね自動化で施工可能なことより現場作業環境は良好である。また、僅かながらではあるが繁忙期のマシン不足を補うようになったエコマシンは若いボーリング技術者が定着するような傾向もみられ、マシンの自動化や人の経験に頼る動作が少ない等が、これを後押ししているようである。

以上、新たな地質調査用ボーリングマシンの自動化（標準貫入試験機も含む）の開発は生産性向上に向けた多様な工程の最小化、人の経験に頼らない制御機能を保有、品質確保が目的達成の必須条件となり、さらに土工機械や地盤改良機械に取り入れられている自動制御、遠隔操作等のICT技術の付加が求められる。

### 3 自動・半自動化マシンや計測システムの新技術

従来型の地質調査用のボーリングマシンにおいて、人の経験による操作主体のための技術継承に関する課題、現場や就労環境の課題がある（図.3）。

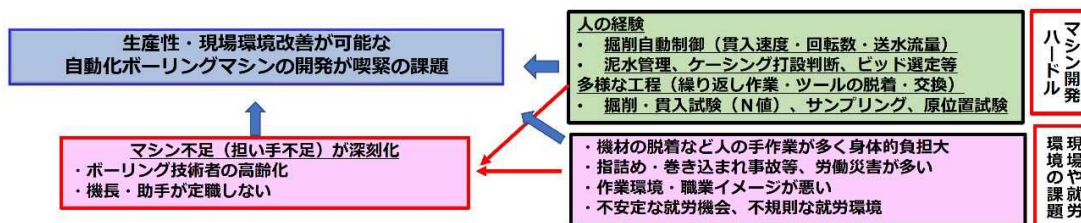


図.3 従来型の地質調査用ボーリングマシンの課題

ボーリングマシンの自動化により、これらの課題が解決され、技術継承の簡素化、生産性向上、品質確保や現場環境改善が可能となることで、担い手不足の解消につながる事が期待される。地質調査用のボーリングマシン自動化にむけた開発のイメージを図.4 に示す。



図.4 ボーリングマシン自動化のイメージ

一方、地質調査用ボーリングマシンの自動化にあたっては、以下の点が弊害となってきた。

- コアリング、サンプリング、標準貫入試験等の多様な作業工程
- 経験に基づく削孔と孔壁保護判断（掘削制御・ケーシング・泥水管理）

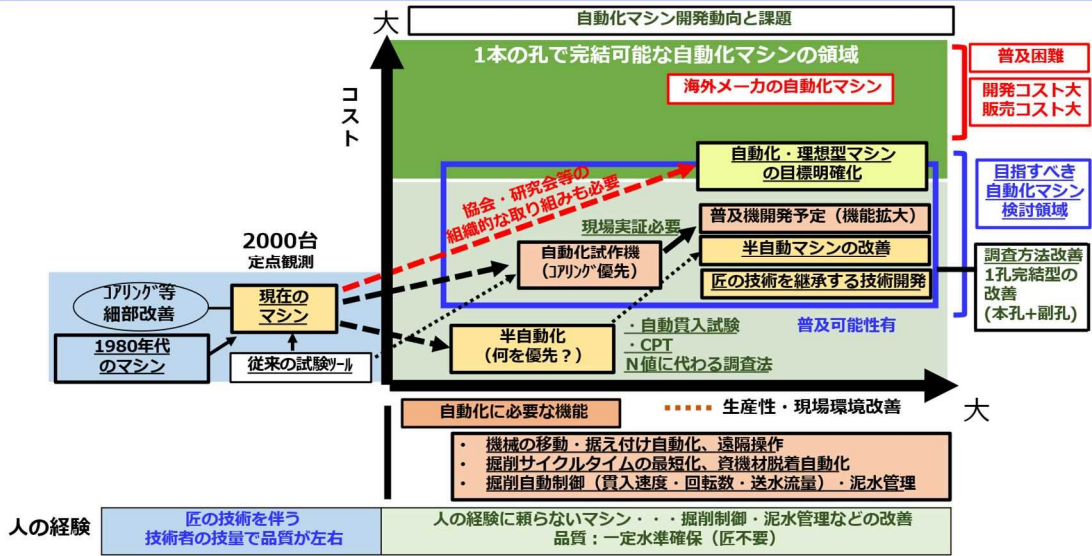
従来型の地質調査用のボーリングマシンで求める機能や判断を全て自動化するという事は、開発のためのコスト、時間、実現性、業界全体への普及可能性などから、実現困難と思われる。したがって、ボーリングマシン自動化に向けた現実的なイメージの検討を行う必要がある（図.5）。

例えば、多様な作業工程の改善は、ボーリング自動化だけでは解決が困難な課題であり、調査目的に応じた調査項目の絞り込みなどの従来の地質調査方法の改善を伴う必要がある。

また、経験に基づく判断については、人の経験に頼らない制御機能を保有するボーリングマシンの導入が必要となり、土工機械や地盤改良機械に取り入れられている自動制御、遠隔操作等の ICT 技術の付加が求められる。



# ボーリングマシン自動化WG 目指すべき自動化マシンの検討イメージ



以上のような背景をふまえ、マシンメーカーによる次世代型自動化マシンが開発された。一方、従来マシンに掘削制御システム（各種計測システム）を設置する半自動化ボーリングの開発も進められている（図. 6）。

	自動化マシン (Y B M YWL-30C等)	従来マシン (半自動化) (HQCS-MS) OYO																																																												
マシン	ワイヤーライン方式 (クローラ搭載)	従来マシンによるロータリーボーリング																																																												
用途	コアリング	コアリング (掘削制御) (計測ボーリングによるデータでシステム化)																																																												
効果	自動化で労働環境改善、人の経験を必要としない作業 軟弱土砂～軟岩 (地盤改良コラム) まで対応可能 地質調査の I C T 化施工が実現	国内で稼働する約 2000 台のマシンに装着可能 人の経験を必要としない掘削制御が可能 順次普及すれば諸般の問題が解消																																																												
課題	マシンは完成したが、多様な条件での試験施工はこれからのため、実用化・普及は暫く時間がかかる 機械が大きく大型トラック必要 山岳以外の規模の大きな現場に限定される	計測データの蓄積と分析でシステム化が実現するため 実用化・普及は暫く時間がかかる ロッド等の上げ下げは従来通り																																																												
仕様	<table border="1"> <caption>仕様</caption> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> <th>製作実績機 YWL-30C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全長</td> <td>3000</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>掘削径 (最大・標準)</td> <td>2000・425mmφ</td> <td>2000・425mmφ</td> </tr> <tr> <td>掘削深さ</td> <td>5000m</td> <td>5000m</td> </tr> <tr> <td>最大掘削力</td> <td>300kN</td> <td>300kN</td> </tr> <tr> <td>寸法 (幅×高さ)</td> <td>3500×1300×5000mm</td> <td>3500×1300×5000mm</td> </tr> <tr> <td>重量</td> <td>10000kg</td> <td>10000kg</td> </tr> <tr> <td>走行</td> <td>軌道式 (クローラ)</td> <td>軌道式 (クローラ)</td> </tr> <tr> <td>掘削ポンプ駆動</td> <td>電動機駆動 (電動ポンプ)</td> <td>電動機駆動 (電動ポンプ)</td> </tr> <tr> <td>掘削圧力</td> <td>20MPa</td> <td>20MPa</td> </tr> <tr> <td>掘削速度</td> <td>600mm/min</td> <td>600mm/min</td> </tr> <tr> <td>エンジン出力</td> <td>17.7kW (24馬力)</td> <td>17.7kW (24馬力)</td> </tr> <tr> <td>操作方式</td> <td>無線電送操作</td> <td>無線電送操作</td> </tr> <tr> <td>制御装置</td> <td>デジタル PLC</td> <td>デジタル PLC</td> </tr> </tbody> </table>	項目	仕様	製作実績機 YWL-30C	全長	3000	3000	掘削径 (最大・標準)	2000・425mmφ	2000・425mmφ	掘削深さ	5000m	5000m	最大掘削力	300kN	300kN	寸法 (幅×高さ)	3500×1300×5000mm	3500×1300×5000mm	重量	10000kg	10000kg	走行	軌道式 (クローラ)	軌道式 (クローラ)	掘削ポンプ駆動	電動機駆動 (電動ポンプ)	電動機駆動 (電動ポンプ)	掘削圧力	20MPa	20MPa	掘削速度	600mm/min	600mm/min	エンジン出力	17.7kW (24馬力)	17.7kW (24馬力)	操作方式	無線電送操作	無線電送操作	制御装置	デジタル PLC	デジタル PLC	<table border="1"> <caption>表1 計測物理値とセンサー仕様</caption> <thead> <tr> <th>計測物理値</th> <th>センサー種類</th> <th>検出精度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>掘削速度</td> <td>変位センサー</td> <td>0.1mm/sec 以下</td> </tr> <tr> <td>送水圧</td> <td>圧力センサー</td> <td>0.5~10MPa</td> </tr> <tr> <td>送水量</td> <td>流量センサー</td> <td>10MPa</td> </tr> <tr> <td>ビット先端 負荷</td> <td>掘削荷重センサー</td> <td>1~30MPa</td> </tr> <tr> <td>ロッド回転</td> <td>光輸出器</td> <td>10 30秒</td> </tr> </tbody> </table>	計測物理値	センサー種類	検出精度	掘削速度	変位センサー	0.1mm/sec 以下	送水圧	圧力センサー	0.5~10MPa	送水量	流量センサー	10MPa	ビット先端 負荷	掘削荷重センサー	1~30MPa	ロッド回転	光輸出器	10 30秒
項目	仕様	製作実績機 YWL-30C																																																												
全長	3000	3000																																																												
掘削径 (最大・標準)	2000・425mmφ	2000・425mmφ																																																												
掘削深さ	5000m	5000m																																																												
最大掘削力	300kN	300kN																																																												
寸法 (幅×高さ)	3500×1300×5000mm	3500×1300×5000mm																																																												
重量	10000kg	10000kg																																																												
走行	軌道式 (クローラ)	軌道式 (クローラ)																																																												
掘削ポンプ駆動	電動機駆動 (電動ポンプ)	電動機駆動 (電動ポンプ)																																																												
掘削圧力	20MPa	20MPa																																																												
掘削速度	600mm/min	600mm/min																																																												
エンジン出力	17.7kW (24馬力)	17.7kW (24馬力)																																																												
操作方式	無線電送操作	無線電送操作																																																												
制御装置	デジタル PLC	デジタル PLC																																																												
計測物理値	センサー種類	検出精度																																																												
掘削速度	変位センサー	0.1mm/sec 以下																																																												
送水圧	圧力センサー	0.5~10MPa																																																												
送水量	流量センサー	10MPa																																																												
ビット先端 負荷	掘削荷重センサー	1~30MPa																																																												
ロッド回転	光輸出器	10 30秒																																																												

図. 6 現在までに開発が進められている自動化マシンと半自動化マシンの特徴

本章では、国内外の自動化マシン動向、マシンメーカーによる次世代自動化マシン、計測ボーリング技術の現在の技術動向についてとりまとめた。

### 3.1 国内外の自動化マシン動向

#### (1) 国内のボーリング調査と自動化

戦後の日本国内での地盤調査用ボーリングマシンは、給圧方法がハンドフィード型から油圧型へと切り替わったものの、現代に至るまで写真 1 のようなスピンドル式ボーリングマシンを継続して使用している状況にある。三又槽の資材が木材から単管パイプに変更されたなどの細かい違いはあるものの、調査ボーリングの現場の様子は 1950 年代から大きな変化が無い状況にある。



写真 1 スピンドル式ボーリングマシンの例

(引用 : <https://www.ybm.jp/product/ybm-05da-2h>)

しかしながら、日本国内の調査ボーリングでは、ボーリングマシンに大きな変化がないのにも関わらず、ボーリング従事者やツールメーカーらの創意工夫により、「職人技」に依存した形でコアリング技術が発達し、岩盤だけでなく未固結地盤まで整ったコア試料を採取できるようになっており、土木分野では標準貫入試験に合わせてコア試料も納品する、いわゆる半ペネ半コアという形態での納品を求められることも常態化している。

一方で、このような職人技で得られる整ったコア試料を採取目標とされるために、日本での自動ボーリングマシンの開発は高度な技術が求められることになっている。表だったところでは応用地質株式会社や株式会社ワイビーエム (YBM) が自動コアリングについて技術開発している。両社の取組については、別項で紹介されているため、詳細は省略するが、YBMではワイヤーライン工法による自動化ボーリングによる掘削で、未固結土のコアリングを可能とし、一方の応用地質(株)は、一般的なスピンドルボーリングマシンに制御装置を付加することによって岩盤でのコアリングを可能としている。



## (2) 海外のボーリングマシン”掘削リグ”

海外、特に欧米では地質調査においてスピンドル式ボーリングマシンが使われることはほとんど無く、ロッド上端に回転駆動装置を直結させる写真 2 のようなトップドライブ式ボーリングマシン、いわゆる掘削リグが主流である。海外でもアジア圏ではスピンドル式ボーリングマシンが多く使われているものの、現場条件によっては掘削リグも利用されている。またノンコアボーリングであれば、ウォッシュボーリング（日本での上総掘に近い掘削方法）が用いられている点なども日本の状況とは異なっていると言える。掘削リグは日本国内でも主に施工分野で普及しているものの、調査分野ではほとんど使われていないのが現状である。



写真 2. 海外の掘削リグの例

(引用 : <https://mincon.com/rock-drill/>)

掘削リグは、装置の規模やメーカーによって違いがあるものの、日本のスピンドル式ボーリングマシンと比べると作業員を補助する以下のような機能が装備されていることがある。

- ① SPT オートハンマー：標準貫入試験の自動打撃装置（写真 3 参照）
- ② スクリューアンカー：掘削用動力を用いてスクリューアンカーを設置し反力とする
- ③ 自走機能：バックホウやブルドーザーのようにマシンが自走できる
- ④ 油圧クランプ：ロッドやケーシングの接続・切り離しを自動化できる
- ⑤ ログ機能：掘削時の深度や給圧、トルク、送水量などを記録する
- ⑥ 自動ロッドローダー：ロッド運搬と接続を機械で行える

上記①②以外は施工用掘削リグと共通のものであり、国内メーカーでも見られる装備である。また、⑤⑥の機能を装備するほど大型の掘削リグとなるため、大深度井戸掘削等の機能とも言える。



写真 3. 海外の SPT オートハンマーの例

(引用 : [http://www.geotekalaska.com/geotech\\_svcs/spt\\_auto\\_drp\\_hmr.html](http://www.geotekalaska.com/geotech_svcs/spt_auto_drp_hmr.html))

直方体のボックス内に国内のミニラムのようなチェーンドライブとハンマーが内蔵されている。掘削リグでは掘削と SPT オートハンマーとを切り替えながら作業することが可能で、標準貫入試験のたびにハンマーを吊って持ち上げる必要はない。

なお、海外のボーリングマシンでは日本でとり組まれているような高品質コアリング技術は組み込まれていないが、コアの採取率と掘削効率を向上させる高周波振動を併用するロータリーボーリング技術に人気があり、様々なメーカーが導入している。高周波振動による掘削（いわゆるソニック掘削）は、国内メーカーや商社も導入しているが、標準貫入試験への影響やサンプリングへの影響について不確かな面があり、通常の地質調査には用いられることが無い状況にある。

ところで、掘削リグを用いた海外のボーリング現場を観察すると、国内のボーリング現場以上に安全であることが強く感じられる。その理由のひとつには、1パーティが機長+助手2~3名という編成の大きさと明確な役割分担がなされていることもあるが、日本では普通に行われている機長によるウインチ操作+ワイヤーの取り回し作業がない、ロッドの接続を切る際にロッドに近づかない、パイプレンチでロッドを着脱する作業が無い、助手が重量物を一人で保持する作業がない、助手がほとんどの作業を腰高で行うことができるためか

がむ必要がない等、事故に繋がるような作業が格段に少なくということが安心感に繋がっているようである。

### (3) 国内で使われている海外製掘削リグ



写真 4. GeoProbe 社の掘削リグの例

(引用 : <https://geoprobe.com/drilling-rigs/6712dt-drill-rig>)

国内の調査ボーリングでは、スピンドル式ボーリングマシンが主流で、掘削リグはほとんど使われていないが、一部では GeoProbe 社の掘削リグ（写真 4 参照）が用いられている。同社の掘削リグには、以下の機能があり、CPTu を行う業者を中心に導入されている。

- ・電気式コーン貫入試験（CPTu）の押し込み機能を有している
- ・スクリューアンカーにより 10 t 特装車相当の反力を得ることができる
- ・通常のロータリーボーリング機能、振動掘削なども行う事が可能

ただし、GeoProbe 社では SPT オートハンマーを商品化しているものの、日本の JIS 規格ではオートハンマーの形状が認められていないため、国内では半自動式を取り付けて実施する必要があり、自動化面では国内で十分な実力を発揮できない面がある。

一方、GeoProbe 社の掘削リグを運用する上では、以下のような短所があり、スピンドル式ボーリングマシンと比べると取り回し難い面がある。

- ・ 運搬に大型トレーラーを必要とする
- ・ 山岳地には向かない
- ・ 埋設管のある調査地点では、スクリーアンカー箇所も含めて広範囲に試掘が必要

#### (4) 将来のボーリングマシン求められるもの

##### ○ 3K作業の解消

地質調査業に携わる者としても、現在のボーリングマシンは3K（きつい、汚い、危険）業種と言わざるを得ない。どれだけ技術が発達しても、土砂や泥水を扱う限り「汚い」という点は回避できないが、現在技術の掘削リグを用いるだけでも、「きつい」と「危険」はかなり改善されうると思われる。

##### ○ DX対応

地質調査のDX化という点では、位置情報と計測ボーリングという2点が重要になる。しかし、スピンドル式ボーリングマシンは、スピンドルにロッドを通して自由に下ろすことができるため自動で掘削深度を記録することができない問題がある。また、ロッドに動力が直結しているトップドライブ式ボーリングマシンと異なり、掘削トルクを計測することも困難である。

スピンドル式ボーリングマシンを用いても、上記の問題を解決することは可能ではあるが、そのために人の作業が増え、余分な機械構造を追加するのは本末転倒とも言える。

掘削リグは運搬方法や適用範囲に制限があるため安易にスピンドル式ボーリングマシンより優れているとは言えない状況であるが、DXという視点では優位にある。

##### ○技術の継承

海外では注目されていないが、日本では高品質なコアリング技術は調査対象によっては重要な技術であり、このような高度な技術が自動化されれば技術の継承にも繋がるし、国産ボーリングマシンの国際的なアドバンテージとなり、世界の地盤調査の品質向上の一助となることも考えられる。

### 3.2 マシンメーカーによる次世代自動化マシン (YBM)

地質調査業界が抱える諸課題を踏まえ、図.7 に示すようなマシンメーカーによる自動化ボーリング試作機が完成した。人の経験を必要としない（ケーシング判断、泥水管理、削孔調整）および人の手を使う作業の最小化（生産性・安全性向上、身体的負担最小化）など、2025 年生産性 20%アップを視野に入れたもので、大きな特徴としてこれまで大深度岩盤ボーリングで用いられてきたワイヤーライン工法の採用があげられる。

同工法はアウターチューブがロッドとなるため、ケーシング機能を兼ね備え、清水掘削が可能となる。コアリングはロッド先端のコアバーレルを用いて行われ、コア採取の後、オーバーショットで接続してウインチで巻き上げ回収される。このように、従来マシンで行われてきた多様な工程によるサイクルタイムの最短化が実現した。

掘削は試験施工を踏まえた最適条件（貫入速度・回転数・送水流量）による自動制御で高い採取率が得られる。生産性の面では移動据え付けが容易で正確、掘削サイクルタイム最短化によるスピードアップ、ICT 面では調査位置誘導、掘削自動制御で品質確保、掘削データの自記記録、転送、遠隔操作があげられる。加えて、現場作業環境では従来の低姿勢から腰位置への作業高さの改善による身体負担軽減、資機材脱着の自動化や全体作業工程最小化による労災や孔内事故のリスク低減が可能となった。

また、本試作機では標準貫入試験装置が導入されていないが、並行して開発された全自動大型動的コーン貫入試験機の打撃システム技術（図.8）、打撃回数の自動記録技術（図.9）も応用しながら付加されることを期待したい。試作機は今後、多様な現場条件による試験施工を積み重ねながら目標とする普及型が完成される予定である。

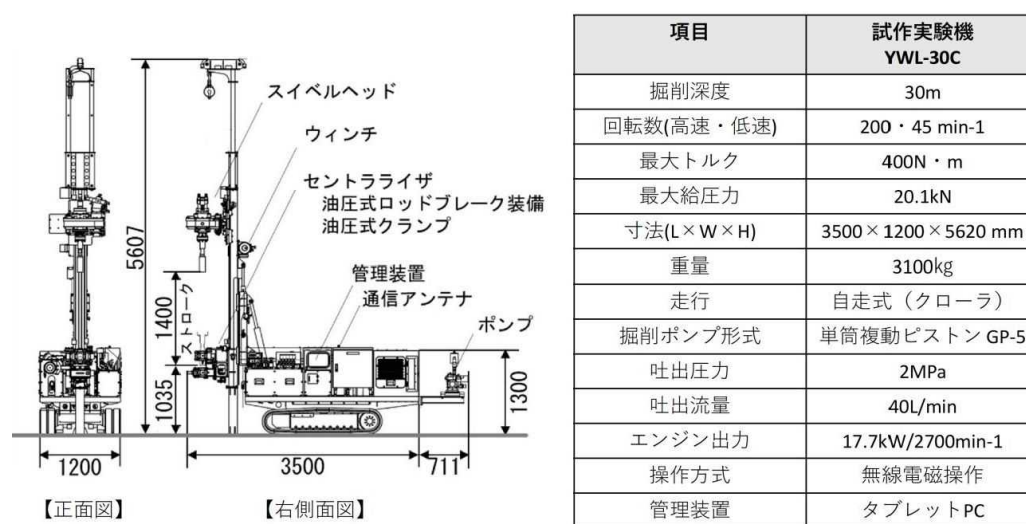
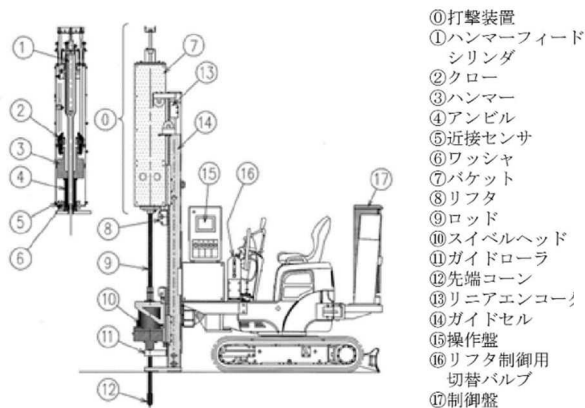


図.7 試作機の概要

（出典：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」/ 次世代ボーリングマシンコンソーシアム、YWL-30C（地質調査用ボーリングマシン）の開発及び試験削孔についての資料, 2021. 7）





- ⑩打撃装置
- ①ハンマーフィード  
シリンダ
- ②クロー
- ③ハンマー
- ④アンビル
- ⑤近接センサ
- ⑥ワッシャ
- ⑦バケット
- ⑧リフト
- ⑨ロッド
- ⑩スィベルヘッド
- ⑪ガイドローラ
- ⑫先端コーン
- ⑬リニアエンコーダ
- ⑭ガイドセル
- ⑮操作盤
- ⑯リフト制御用  
切替バルブ
- ⑰制御盤

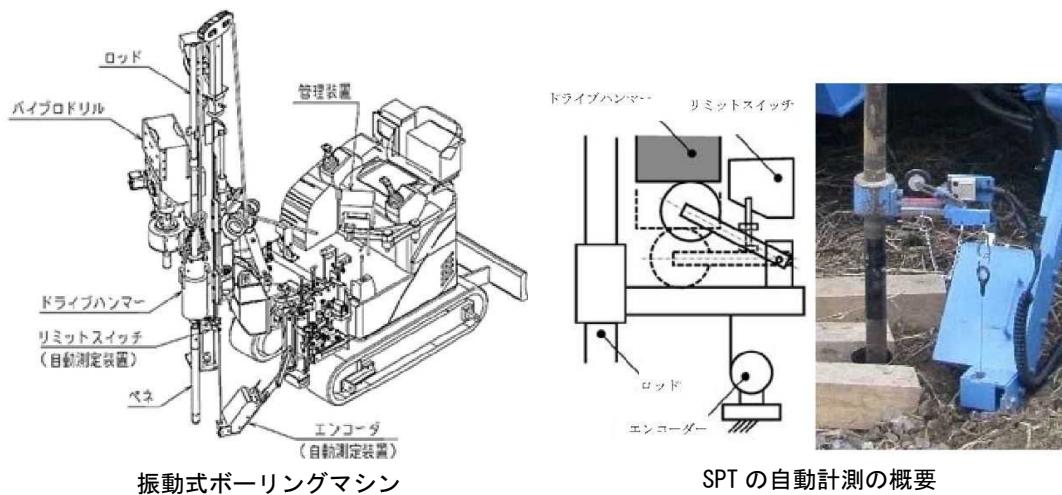
表-1 SRS 打撃装置の諸元

動的コーン貫入 試験装置	CRS-12-2	地盤工学会基準 JGS 1437-2014 大型(SRS)	国際標準化機構規格 ISO 22476-2 DPSH-A
	ハンマー質量 $m$ (kg)		63.5±0.5
落下高さ $h$ (mm)		500±10	
ハンマー外径 $Dh$ (mm)	246	---	---
打撃装置総質量 (kg)	81	(最大) 115	---
アンビル直径 $Da$ (mm)	120	50< $d$ < $Dh$	50< $d$ <0.5D
アンビル質量 $m$ (kg)	17.5	(最大) 18	(最大) 18

動的コーン貫入試験機 (CRS-12-2)

図.8 動的コーン貫入試験

(出典：奈須徹夫他、動的コーン貫入試験の支持層探査調査への適応試験  
全地連「技術フォーラム 2016」)



振動式ボーリングマシン

SPTの自動計測の概要

図.9 振動式ボーリングを用いた標準貫入試験

(出典：渋谷朋樹他、緩い砂質土地盤における振動式ボーリングを用いた

標準貫入試験について、全地連「技術フォーラム 2016」)

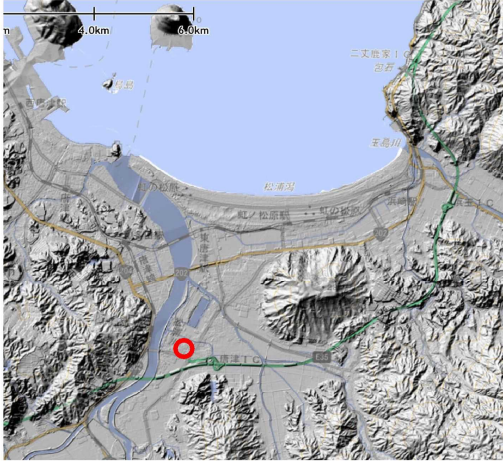
前述の自動化ボーリング試作機の完成に伴い、2022年12月13日に次世代ボーリングマシン視察見学会が開催された。視察概要を以下に示す。これにより自動化マシンによる生産性向上の可能性が確認された。



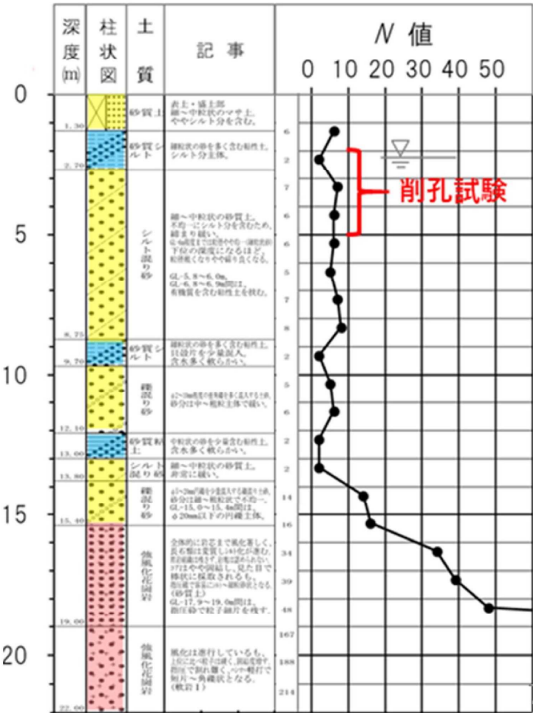
見学会	2022年12月13日
試験フィールド	株式会社ワイビーエム (YBM) 本社社有地 (佐賀県唐津市)
参加者	全国地質調査業協会連合会 関係者・関係企業
試作実験機	次世代ボーリングマシン試作機 (YWL-30C)

以下、見学会用YBM提供資料

## 対象地盤



当該地区は一級河川松浦川が唐津湾に注ぐ扇状地状の沖積低地で、N値が3~10の比較的ゆるい貝殻片を含む砂質土層を主体とする。GL-15m付近からはN>30の強風化花崗岩層が分布する。

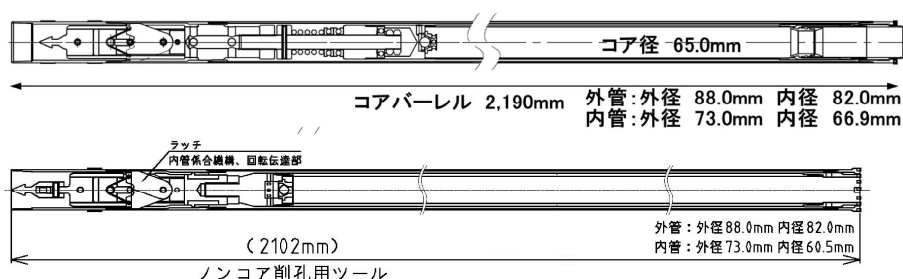


## 試作実験機について YWL-30C

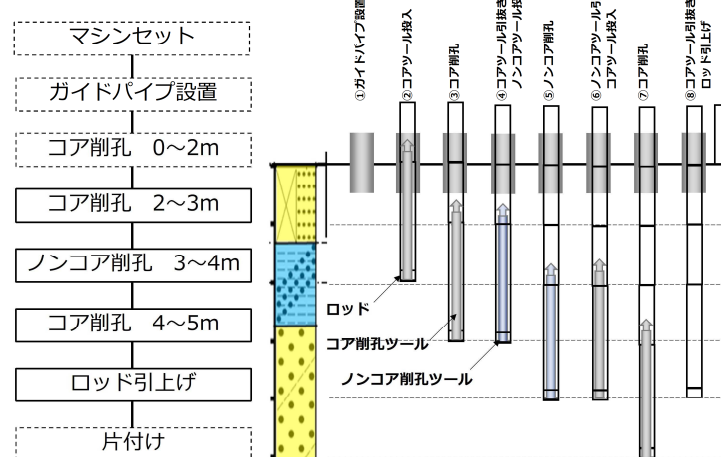
削孔仕様：削孔速度15min/m 回転数45rpm 流量20L/min

項目	試作実験機 YWL-30C
掘削深度	30m
回転数(高速・低速)	200・45 min <sup>-1</sup>
最大トルク	400N・m
最大給圧力	20.1kN
寸法(L×W×H)	3500×1200×5620 mm
重量	3100kg
走行	自走式(クローラ)
掘削ポンプ形式	単筒復動ピストン
吐出圧力	2MPa
吐出流量	40L/min
エンジン出力	17.7kW/2700min <sup>-1</sup>
操作方式	無線電磁操作
管理装置	タブレットPC

## 使用するツール（コアボーリング用・ノンコアボーリング用）



### 見学時削孔サイクル



- 機械概要：自走式（クローラ）、エンジン動力-油圧システム駆動、合計重量約 3t
- 掘削法：トップドライブ方式、ワイヤーライン工法
- 削孔径：ロッド径φ88mm、インナーチューブ径φ73mm、コア径φ65mm
- 制御：無線電磁操作（タブレット PC 管理）による油圧システム電子自動制御
- 掘削状況：視察により以下の性能を確認
  - ✓ 作業性：ロッド接続、送水、回転掘削、コアチューブ吊上げ工程の作業性により、身体負担軽減効果を確認
  - ✓ 掘削性能：掘削速度、送水量、回転数の自動制御による掘削性能を確認
  - ✓ （視察時の掘削速度 15min/m、送水量 20L/min、回転数 45rpm）
  - ✓ コア採取性能：最適条件を踏まえた自動制御掘削により、緩い砂質土地盤（N 値 10 以下）での採取率 100%のコア採取性能を確認



上、クローラ搭載

左：助手（世話役）が補助作業  
ロッド脱着は自動化



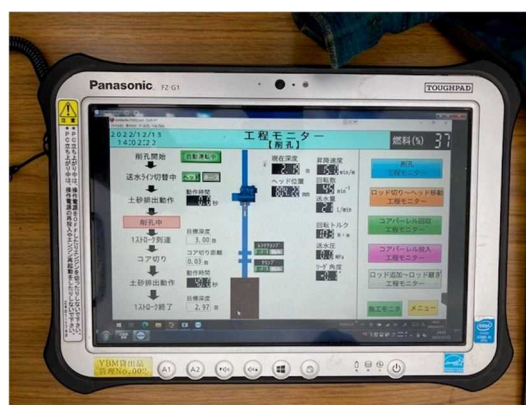
機長はテーブルで操作



操作盤



施工モニター



工程モニター





見学風景



N値 7~8 回のルーズな砂質土の採取コア（採取率 100%、堆積構造も確認）

### 3.3. 計測ボーリング技術 (OYO HQCS)

本項で示す計測ボーリング技術とは、従来の地質調査を行う際に、機長の経験値にて支えられていた掘削技術に関する情報を数値化することにより、主観的な評価から物理的な評価を行う取り組みである。地質調査業におけるボーリング掘削技術の担い手が不足している状況を踏まえると、今後良質なコア採取技術の伝承を途絶えさせないことが喫緊の課題である。ここで紹介する OYO-HQCS は、「掘進作業の担い手不足」、「コア採取技術の衰退」の一躍を担い、将来的には地質調査における良質なコア採取技術の自動制御化を目指すものである。OYO-HQCS の開発は「ボーリング作業の担い手育成」、「掘進技術の効率化・高度化」、「採取コアの品質平準化」を目標としており、その特徴は、掘削中の掘進速度、送水量、送水圧、ビット先端荷重、ロッド回転数の測定・記録ができること、現在流通している主たるボーリングマシンに装着が可能であるということである。



図. 10 OYO-HQCS 機器等概要

(出典：第2回ボーリングマシン自動化 WG 資料/2021. 11. 5)



図. 11 OYO-HQCS 設置状況写真

近年、地質・地盤リスクマネジメントの重要性が認識されており、地質リスク評価を行う際には高度な専門技術を持つ地質調査業の貢献は必須である。対象となる地盤の問題を検討するにあたり、高品質コアボーリングが推奨されており、高品質コアを採取し、精緻な地質観察を行うことにより、安全かつ経済的なインフラの整備や維持管理が可能となる。OYO-HQCS は、掘進作業状況を数値化し、機長の経験値（主観的）から物理的評価へと移行することで、高品質コアの高い採取率に繋がっていることが確認されている。

さらには、掘進に伴い取得された計測値は、地質・岩盤の状態の変化（破碎部、透水性亀裂等）をリアルタイムで捉えることのできる手段でもある。高品質コアより得られる情報に、掘進状況のデータを加味することによる、より実態に即した情報の取得は、地質リスク評価を行う際に多大な貢献が期待できる。

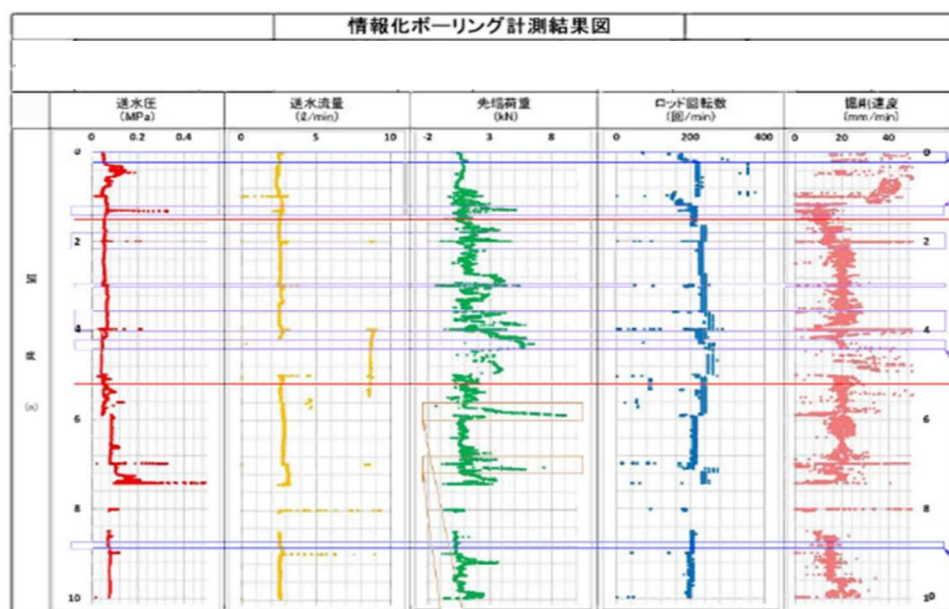


図. 12 OYO-HQCS 計測結果図

(出典：第2回ボーリングマシン自動化WG資料/2021.11.5)

DX化による地盤情報の3次元可視化、BIM/CIM技術の活用、ICT活用が推進され、建設現場においては、自動化・無人化マシン開発が加速化し、生産性向上が進んでいる。計測ボーリング技術の取組みは、メーカーが主体となり、ゼネコン等も積極的な技術展開が進んでいるが、地質調査で使用する調査を主体とするボーリングマシンは機能に大きな技術的变化はなく、自動化が遅れている。ここで紹介したOYO-HQCSの開発、活用にて得られるものは、生産性向上のみではなく、ボーリングによるコア採取技術の伝承、コア採取技術の平準化も含まれている。これは当業界が発注者に提出する成果の品質確保に繋がり、強いのは発注者の利益、安全かつ経済的なインフラの整備や維持管理への国益に繋がることとなる。





見学会（OYO つくば） 令和4年8月19日

#### 4 生産性向上に向けた改善策

ボーリングマシンに関する最新の技術動向を 3 章で述べたが、開発された自動化マシンの普及化に向けた課題解決、国内で保有する約 2000 台の従来マシンの改善が生産性向上に向けた重要テーマであることが確認できた。後者については従来マシンの半自動化と従来通りの原位置試験やサンプリングに特化したボーリングに区分されることになる。

一方、これらのマシンを使用するにおいて従来調査方法の改善、使用する業務レベル、組み合わせなど、仮設・運搬作業も含めた改善が必要である。整理結果を図 4.1 にまとめた。図には喫緊の課題である標準貫入試験の自動・半自動化、目指すべく将来の高度自動化マシンの位置付けも併記した。

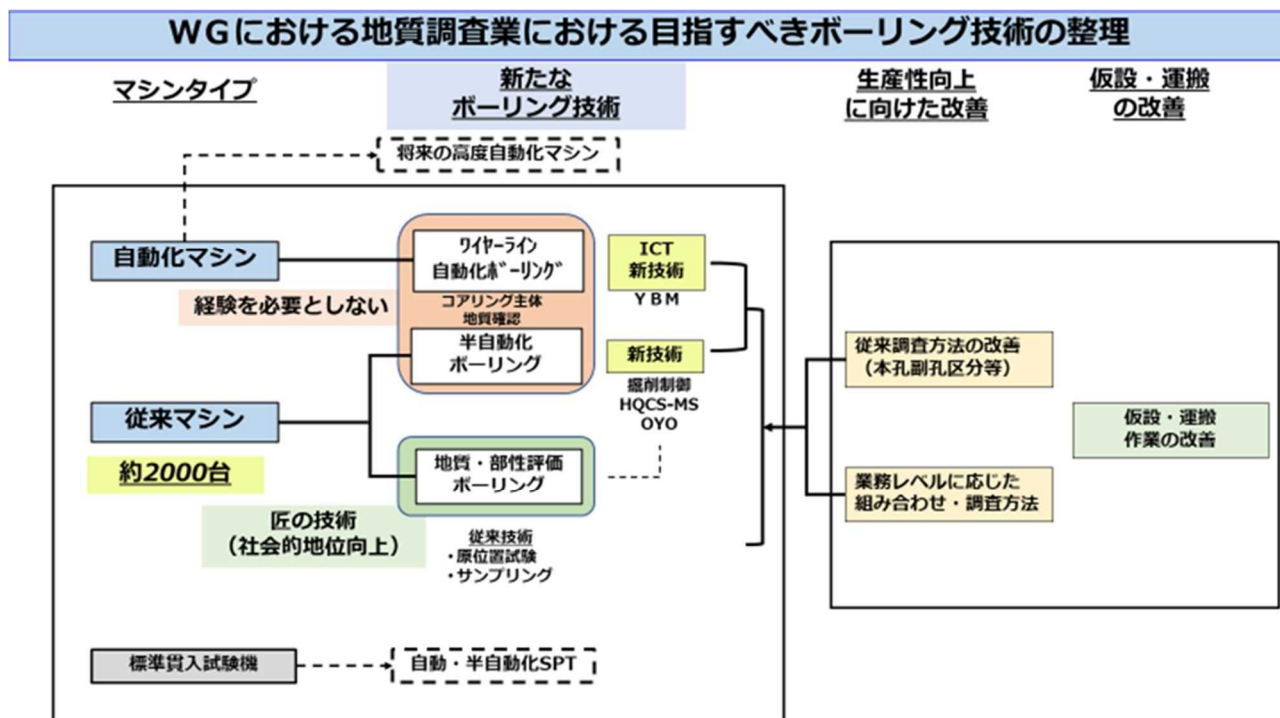


図. 13 地質調査業において目指すべきボーリング技術の整理結果

#### 4.1 従来マシンと自動化マシンの組み合わせと自動化レベル区分

調査ボーリングの状況は40数年以前より現状使用されている機械とはほぼ変わっておらず、労働環境の改善はなされていないと言える。調査ボーリングは、調査地の地質状況、現場条件や掘削条件によって、優先される機能が異なる。これは、目に見えない地中の状況を精緻に調査することや調査地の条件が多岐にわたることが理由となる。掘削孔を用いた試験、試料採取、検層など掘進以外の作業も調査ボーリングには組み込まれていることも、全ての現場条件に適した自動ボーリング汎用機の開発が現時点で困難な理由であると言える。加えて、1孔完結型の調査仕様に変化がないこともあげられる。

現在開発が進められている自動化マシンを有効的に活用することにより、調査の品質を低下させることなく、労働環境の改善を進めることが、当業界における喫緊の課題である。これまで実施されてきた1孔完結型の調査内容をその特性に着目すると、「地質確認」と「物性確認（評価）」に分類することができる。

「地質確認」は、ボーリングマシン等を用い掘進することにより、コア採取を行い、対象地点の地質を目視することを示す。この調査においては、自動（半自動）ボーリングマシンや土壌採取用のマシンを活用することが期待できる。これらのマシンを活用することは、計測ボーリングに位置付けられ、掘進中のデータも併せて計測が可能となり、地層コアに代表される理学的な評価項目に加え、掘削中の掘進速度、送水量、送水圧、ビット先端荷重、ロッド回転数の測定による工学的評価に転用可能な物理量の取得も可能となる。また、最も重要なコアの品質に関しては、調査目的と対象となる地質により、自動（半自動）ボーリングマシンや土壌採取用のマシンの使い分けが不可欠となる。

「物性確認（評価）」は、原位置試験や検層、サンプリング等の対象地点の物理・力学的特性の把握を示す。従来のボーリング調査方法により実施するものであり、孔壁・孔底が各種試験に耐えうる良好なボーリング孔の掘削と維持に経験と高度な技術が必要となる。

これらボーリング掘削を主体とする調査に加え、調査地点間を線的（2次元）な補完や、調査範囲を面的（3次元）に補完・表現する方法を組み合わせることが、担い手不足が予想される当業界において、調査の品質を低下させず労働環境の改善を進める新たな調査の組合せと考える。

これまでに示した調査方法をいかに組合せ、当業界や他業種でも進んでいるDX、3次元化、BIM/CIMへの高品質な地盤情報の提供と労働環境の改善が重要である。調査ボーリングの仕様は、調査目的や予算により、必要とする調査精度や調査本数は大きく変化する。調査目的が簡易な地質確認のみか？詳細な物性の取得が必要か？近傍の地盤情報（地質・物性値等）有無等によっても必要な調査内容は異なる。

調査方法の組合せにおいて、本孔に位置付ける地質確認孔の自動（半自動）ボーリングは、別孔の仕様決定など、調査の基礎となる情報を入手する目的を担う。自動ボーリング（YBM普及機）は、土質地盤においてもワイヤーライン工法にてコア採取することが可能であり、大幅な労働環境の改善が期待できる。また、半自動ボーリング（OYO-HQCS）は、岩盤コア採取を高い品質にて均一化することが期待できる。従来工法で担っていた本孔の作業を労働環境面、技術面で負荷軽減、品質確保することは、自動（半自動）化の推進と共に調査方法のあり方（組合せ）も議論を進め、業界として改善の方向に進む必要がある。図 4.14 に調査の組み合わせと内容を示す。

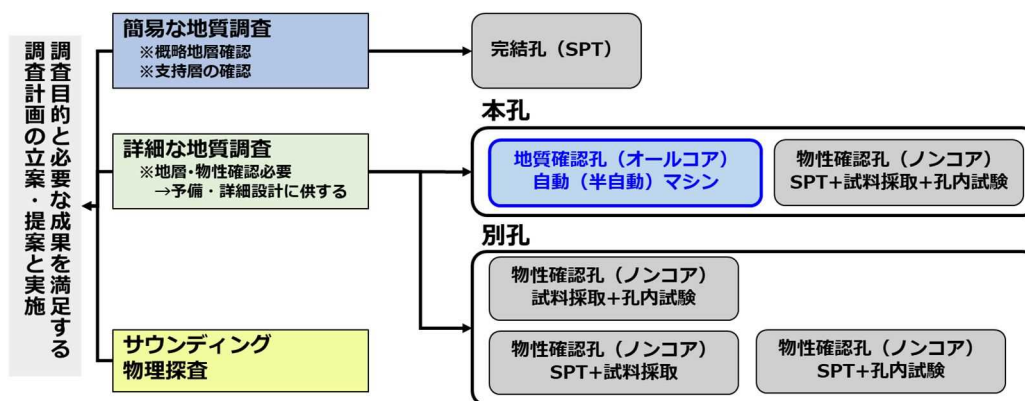


図. 14 調査の組合せと調査内容

次に自動化に関するレベル区分についてであるが、自動車分野、建設機械分野、農業分野では、全自動化の技術開発が進んでいる。この内、自動車の自動運転技術開発の変遷を図. 15 に、農業分野（トラクター）の自動運転技術開発の変遷を図. 16 にまとめるが、自動車業界ではレベル3（走行領域：限定的、運転主体：システム、名称：条件付運転自動化）が既に実用化されている。また、建設業界（機械）では以前より無人化・遠隔操作の実用化は実施されている。いずれの分野も最終的には、ドライバー（操作者）不要もしくは遠隔操作を到達目標としており、技術開発と合わせ法制度改革も進んでいる。

これに対し、ボーリングマシンの自動化（実用化）はほとんど進んでいないのが現状である。他業種の自動化レベルを参考にすると、掘進作業のレベル0は運転（作業）主体が人であり、自動化なしとなる。現在、開発が進められている全自動ボーリングマシンは、自動車分野であればレベル2相当、農業分野ではレベル1相当の開発といえる。建設業界では2055年に建設工事の完全無人化が目標とされており、これにあわせ、ボーリングマシンだけでなく地質調査で使用する装置・機械の無人化技術の開発も必要である。

## 自動車自動運転技術変遷

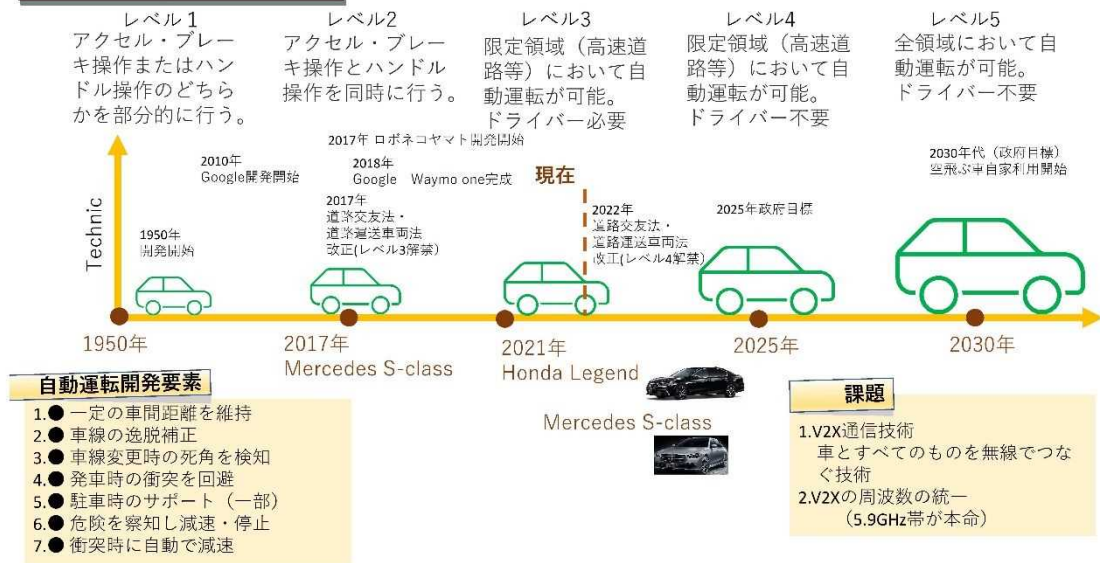


図. 15 自動車分野の自動化技術の変遷

## トラクター自動運転技術変遷



図. 16 農業分野の自動化技術の変遷

自動化を進める上で、以下の1)～4)に示す作業の自動化(システム化)が必要と考える。

- |  |
|--|
| <p>1) 地点移動、設置・撤去：調査地点への移動(必要資材含む)、機械据え付け(水平・鉛直調整)</p> <p>2) 掘進作業：ロッド昇降、ロッド締め・緩め、掘進情報把握(送水量・送水圧、掘進速度、回転数、先端荷重)、掘進深度把握 ※地盤状況に応じたコア採取が自動制御にて可能</p> <p>3) 安全回避行動：自動停止行動(機械の揺れ・傾倒、掘進資材のトラブル)、孔内抑留事故回避</p> <p>4) 各種孔内試験実施：SPTなどの孔内試験、各種検層、サンプリング</p> |
|--|

参考として、1)～4)の作業を基に、ボーリングマシン自動化レベルを区分する。ここに示すレベル5は運転(作業)主体がシステムであり、地点間移動、設置撤去、掘進作業、安全回避行動(作業停止・抑留事故防止)、各種孔内試験が完全自動化となる。

- |  |
|--|
| <p>レベル0：すべての作業に人が主体となる</p> <p>レベル1：1)、2)、3)の内、1項目がシステムで問題なく作動する</p> <p>レベル2：1)、2)、3)の内、2項目がシステムで問題なく作動する</p> <p>レベル3：1)、2)、3)がシステムで問題なく作動する</p> <p>レベル4：レベル3はクリアし、4)を半自動(人の補助あり)で実施</p> <p>レベル5：すべての作業がシステムで問題なく作動する</p> |
|--|



## 4.2 仮設備や従来調査方法の改善

ボーリングという作業には、現地で穴を掘るだけでなく、様々な工程がある。それぞれの工程に課題がある可能性がある。そんな課題を考えてボーリングという工種を改善できないか検討した。

以下に各工程と、その工程に関して思いつく問題などを備考として記載する。

### (1) 助手の定着

会社組織では問題ないが、ひとり親方のボーリング会社では、業務をうける度にハローワークなどで助手を探すケースがある。弟子をとれない状況は、技術の継承に問題があるだけでなく、安全管理の低下、品質の低下にも繋がる問題がある。

国内の人材不足に反した話題となるが、海外の仕事では、ドリラー（機長）、アシスタントドリラー、リリーフアシスタントドリラーの3人以上で1パーティが基本である。ドリラーは操縦に専念しており、日本のように操縦しながらロードホルダーを操作したり、パイプレンチを操作したり、という”ながら運転”という行為は行わない。ボーリング作業は待ち時間が多いため、多くの助手を用意するのは無駄のように感じられるかもしれないが、国内の建設現場の安全管理と照らし合わせてみれば海外の人数構成の方が適性と考えられる。

しかしながら、現実問題として一人の助手すら常時雇用できない国内事情を鑑みれば、雇用条件の改善だけではなく、二人目、三人目の助手の役割を果たすような技術の開発・導入を進める必要がある。

### (2) 資機材運搬

ボーリング資機材の運搬はクレーン付きトラックが一般的になっており、昨今は倉庫や現場で三又檣を使って積み下ろしするような状況はほとんど見かけない。しかしながら、クレーン付きトラックはボーリングマシンより高額であるため、トラックを購入できず廃業するボーリング業者も発生している。

古い時代では、ボーリング資機材の運搬は運搬業者が行い分業されていたケースもあるが、輸送業界も人材不足が懸念されている時代背景を考えると、分業制に戻すのも現実的でなく、クレーン付きトラックの所有やレンタルがボーリング業者や事業の負担にならないようにシェアできる仕組みの構築が改善策のひとつとして考えられる。

### (3) 現場小運搬（搬入・搬出）

現場で、ボーリング地点に資機材を運搬する小運搬は、大きく分けると以下ようになる。

- ・クローラー運搬
- ・モノレール運搬
- ・人肩運搬

- ・トラック横付け搬入
- ・大型クレーンによる搬入

トラックを横付けできる場合や、大型クレーンで搬入できるケース以外では、ボーリングマシンは分解して運搬し、現場で組み立てることが多い。施工現場であれば、ボーリングマシン程度の大きさの小型重機の搬入に対して搬入路を整備したり、3条式モノレールを仮設したりして安全に搬入するが、地質調査では手間暇をかけて安全とは言いがたい運搬をすることもある。

小運搬を根本的に改善するには、今後普及するであろう貨物用ドローンの利用や、空飛ぶボーリングマシンなどを考えることも重要ではあるが、まずは地質調査での作業員負担や安全意識を施工分野に近づけていくことが改善への一歩と言えそうである。

#### (4) 試掘

ボーリング地点に上下水道・ガス・水路・電線・光ファイバー等々の埋設物がないか、複式ショベル（通称カニスコップ）などを用いて、手掘りで1.5mほど掘って確認する。場合によっては2m以上確認することもある。

埋設物の位置情報については不確実な常態であり、管理者の立会確認を経ても埋設物を破損させる事故も発生しており、埋設物の多い平野部でのボーリング調査では試掘は重要な作業となっている。

この試掘作業の改善方法として、埋設物を傷付けないように軟らかい素材で作られてボーリングビット（プラスチッククラウン）や埋設管探知機のような商品も活用されてきているが、手掘りでの試掘が求められるケースが多いため、試掘技術についてもさらなる技術革新が必要である。

なお、埋設管の埋設位置の空間情報化は様々な機関がとり組んでいるものの地下レーダーの性能限界（深度1m程度まで）や管理者不明の埋設管などの問題もあり、ボーリング調査で必要とする埋設管位置の情報が整理されるのは当面難しい状況である。

#### (5) 足場仮設

仮設足場は、作業スペースを確保するだけでなく、ボーリングマシンの水平を出したり、反力を得たりするためにも必要である。また、平地であっても、助手の作業のしやすさから足場を組むことも少なくない。平地足場専用の鋼製フレームを製造・利用しているケースもあるので、少しでも作業を効率化するのであれば鋼製フレームは有効な選択肢である。

小型のクローラーにボーリングマシンを設置して可動型のボーリングマシンとして工夫しているケースも多い。ただし、クローラーに固定したボーリングマシンは安定性に欠ける場合もあるので、安価で安定性を確保できるアウトリガーのような固定具のようなものの商品化などに期待したい。

建築用には小型重機（バックホウ）と一体化したボーリングマシンも商品化されているが、様々な仮設条件で調査を行う土木分野の調査ボーリングでは、このようなマシンが便利なことあれば、適用出来ないこともありほとんど普及していない。現場条件によって、このようなボーリングマシンを現場条件に応じて簡単に利用できるようなサービスの登場などが望まれる。

#### (6) 孔閉塞

ボーリング孔の閉塞は安易に見られる作業であるが、孔閉塞が十分でないとならば後々に地表面（路面）の陥没の原因になったり、トンネル施工時の落盤の原因になったりするため、隙間無く孔閉塞する必要がある。大深度の調査孔の場合、孔閉塞だけに数日の時間と、100袋近いセメントを用いることもある。このような実体から、山岳地の孔閉塞については事前に予測できない作業量が発生することもあるため、作業量に応じた孔閉塞費の変更の制度を盛り込んでほしいところである。

#### (7) ケーシング挿入・抜管

安全なボーリング掘進、高品質なサンプリングには補孔技術が重要であり、特に軟弱な地質、脆弱な地質、膨張するような地質では泥水だけでは孔壁を保持できないため、ケーシング挿入が必要となる。即ち、設計・施工上重要な地質に高品質なデータが欲しい地質ほどケーシング挿入が必要と言える。ケーシングを脆弱な地質に深く挿入するためには、径の異なるケーシングを組み合わせて段落としを必要とする。ケーシングを段落としするには、挿入しているケーシングを抜管して、大径のケーシングで孔を拡孔しながら挿入し、ケーシング内の掘削土をコアチューブで回収した上で細い径のケーシングを再挿入するなどの手間が必要である。また、業務仕様としてΦ66mm径でのコア掘削であっても、約Φ140mmのケーシングを挿入する必要があるケースもあり、現場でボーリングマシンに求められる性能はケーシング径で決まると言っても過言では無い。一方、ケーシングは抜管に手間取ることもあり、撤収作業の大半をケーシング抜管に要することもある。ボーリングマシンの油圧能力では引き抜け無い事も多く、その場合は標準貫入試験用のハンマーで打ち上げて回収することになる。

ケーシングの抜管にはバイブロハンマーが有効であるため、ボーリングロッドに接続できる小型の油圧ハンマーなどがあれば現場作業の負担が低減できると思われるが、現実的にはそういう目的のツールは利用されていない。

ところで、これだけ労力を要するケーシング挿入・抜管作業については、現状ではボーリング掘削費に込みという扱いになっており、実施する側は「やるだけ損」という状況にある。この問題について改善を強く望むところである。

## (8) 野帳の記載

作業内容や掘削時の状況、SPT 結果等はボーリングオペレーターが野帳に記載し、日報にまとめて報告する形式がとられているが、その報告内容はオペレーターによって大きく異なり、情報量に差があるのが実情である。

2000 年代初頭に全地連ではパソコンや小型端末 (PDA) に日報を記録する電子野帳システム (図. 17) を開発したが、普及することなく消滅した経緯がある。現場端末を起点に、情報をサーバーに蓄積して柱状図に反映していくシステムは、まだスマートフォンが登場する前の時代に先んじていた感があるが、見方を変えるとボーリングオペレーターに入力の手間を負担させるシステムだったとも言える。

現在の施工技術を参照すれば、現場に設置したカメラで作業内容を AI が判断し、記録するということが可能となっているようであるが、ボーリング工においては、地上でボーリングマシンが作動していても、それがコアリングである場合もあり、スライム回収の場合もあり、サンプリングの場合もあり、ケーシング挿入の場合もあるなど、自動で記録することが難しい作業とも言え、ボーリングオペレーターによる記録は必要不可欠である。将来、計測ボーリングや SPT オートハンマーなどが国内でも利用できるようなになれば、これらの記録に作業内容や地質情報を追加するだけで詳細な日報となるため、ボーリングオペレーターの負担は軽減と個人差の少ない密な情報取得が期待される。

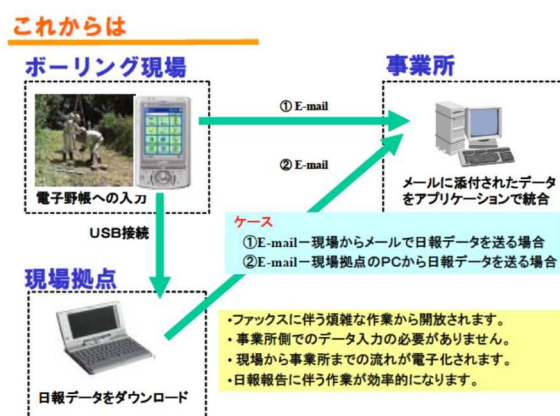


図. 17 2000 年台初め頃に開発された電子野帳システムの概要図

## 5 将来ビジネス領域を視野に入れた課題と取り組むべき対応

現在の建設業界は、DX化による様々な情報の3次元可視化、BIM/CIM技術の活用、ICT活用が推進され、建設現場においては、自動化・無人化施工マシンの開発が加速化し、生産性向上が進み出した。このような中、国交省はICT建設機械の認定制度を2021年度内に設計し、22年度から一定の基準を満たしたICT施工関連機器を認定する取り組みを始め、認定制度の創設においてICT施工を実施可能な機器を明確化するとともに、建設業者による認定機器の活用を支援することで普及を後押ししている。

一方、地質調査業界における現場作業におけるDX化の取り組みは、現在のところドローンやWEBカメラをはじめとした関連機器を使用する技術展開が進み出したところであるが、ボーリングマシンの掘削機能に大きな技術的変化はなく、自動化が遅れているのが現状である。

4章でマシン自動化に向けた検討を進めてきたが、今後、具体的にコア採取専用の次世代型自動化マシンの普及に向けての対応、従来マシンの半自動化（掘削制御技術）に向けた掘削データ取得と実用化に向けたシステム検討の推進が必要である。また、並行して従来調査方法の改善や業務レベルに応じたマシン選定や使用目的の組み合わせの検討、仮設・運搬の改善も並行して進めなければならない。以下、ビズネルモデルに向けたこれらの課題と取り組むべき対応について整理した。

### (1) 次世代型自動化マシン

#### ① 多様な現場・条件で実証実験・実績づくりで普及促進

自動化マシンは普及に向けた多様な地盤条件、長尺深度による試験施工を繰り返しながらの実績づくりが急務となる。これには人と金を伴うため、全地連・会員企業・マシンメーカー、関係機関による組織作り・仕組み作りが必要となる。なお、現場の実証実験に必要な資金の一部は官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）等に採択されれば研究費が獲得できるため、視野に入れておかなければならない。試験フィールドは国や地方自治体の支援により大規模事業地で実現可能なため、技術の広報と積極的な働きかけが必要である。

#### ② 原位置試験の付加による用途拡大

完成した自動化マシンはワイヤーライン方式によるコア採取専用マシンであり、標準貫入試験の機能を持ち合わせていない。原位置試験を付加することで用途の拡大が期待できる。

### (2) 半自動化マシン

#### ③ 従来マシンの一部自動化、標準貫入試験装置の自動化による生産性向上

従来マシンは国内で約2000台稼働中である。機械の一部自動化、標準貫入試験装置の自

動化が実現すれば相当な生産性向上が期待できる。

高度経済成長期に建設工事ではパイルドライバーを使用していたが、振動・騒音等の社会的な問題に対し、順次改良が加えられて来た経緯がある。このような背景より自動・半自動化においては現状のモンケンによる自由落下の改善がテーマになるであろう。令和の時代に入ったSPTは自動化、半自動化においても打撃音の軽減も重要な改善項目になると考える。

#### ④ 掘削制御（給水圧・回転・荷重・速度などの制御）

従来マシンの掘削に伴う計測デジタルデータを活用したHQC Sによる半自動化は、コア採取専用マシンに改善でき、人の経験を必要としない掘削制御が可能となる。このためには、計測データの蓄積とデータに基づいたシステム化に向けた検討ができるような組織づくり・仕組みづくりが必要である。

なお、半自動マシンは掘削制御のみであり、ケーシングの建て込みやロッド脱着などの基本的な操作は従来通りである。

### (3) 共通事項

#### ⑤ 従来調査方法の改善（本孔・副孔の区分等）

「標準貫入試験のありかたWG」で検討が進められている従来調査方法の改善は図. 18に示されるように、従来のタイプ-1のような仕様の調査方法（本孔でコア採取やSPT）を、タイプ-2、タイプ-4のようにサンプリングや原位置試験を副孔で行う内容である。一部の発注機関では認められており、今後このような調査方法の拡大が期待できる。

この中で自動化マシンや半自動化マシンの位置付けは本孔のコア採取を担うことになる。また、自動化の機能を有していない従来マシンにおいても先行して本孔を施工すれば、副孔において適切な原位置試験位置やサンプリング深度の計画が可能となり、品質の高度化や作業条件の改善が期待できる。

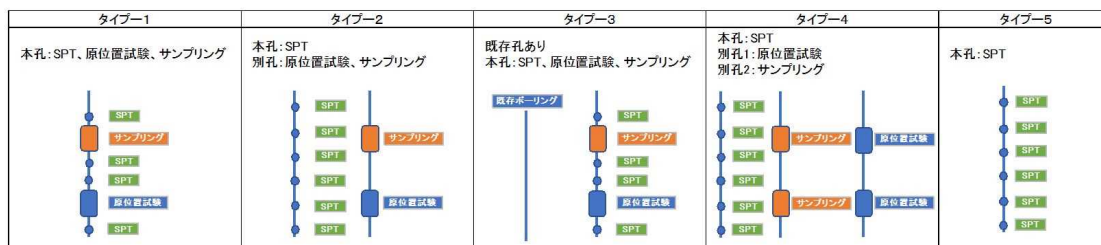


図. 18 ボーリング調査の本孔・副孔区分（「標準貫入試験のありかたWG」資料より）

#### ⑥ 業務レベルに応じた組み合わせや調査手法

自動化マシン、半自動化マシン、本孔・副孔区分（マシンの位置付けも含む）に応じた組



み合わせや新たな調査手法に関しての方向性も必要である。現状では自動化マシンは10t級の大型トラックによる輸送が必要、マシンはクローラ搭載のため、調査数量の多い平坦な大規模現場でその機能が発揮するであろう。しかしながら、コア採取がメインとなるため原位置試験やサンプリングは従来マシンが別途必要である。おのずと設計に直結する重要な業務、地質リスクの高い業務での実施という事になる。半自動マシンについても同様である。

このような現場環境改善に向けた新たな調査方法の提案によるビジネスモデルは設計・施工、維持管理に向けて事業全体のトータルコストの低減に大きく寄与するため、地質調査方法や内容の改善が急がれる。これが同時に地質技術者の社会的地位向上に繋がることから、しっかりとした広報、説明による国民や発注機関の理解・支援が必要である。

なお、原位置試験やサンプリングなどの地盤物性を取得する従来マシンによる調査ボーリングの社会的な役割は持続性をもって匠の技術として継承してゆかねばならず、業界の存亡はむしろここにあるのではないかと考える。⑤、⑥、⑦で取り上げた改善を推進しつつ、ここに従事する技術者の確保、地位向上に向けた取り組みも重要である。

#### ⑦ 仮設・運搬の改善

洋上風力発電事業に関わる海上ボーリングや工事では大深度鋼製櫓や大型工事用 SEP 台船が開発・施工され、実用段階に入っているが、ボーリング調査においても仮設・運搬機器の自動・半自動化を含めた改善はまだまだ検討・開発の余地はある。特に足場仮設、モノレール、運搬機などは着目すべき機器である。

なお、自動化ではないが、分解重量 20kg のボーリングマシンが実用化され、仮設・運搬関係の負荷が軽減できるようになった。

<http://hitec-homedoctor.co.jp/mobile.html>

以上、将来のビジネス領域を視野に入れた課題と取り組むべき対応について、項目別について述べてきたが、図. 19 にこれらをまとめた。

地質調査業における自動化マシンを利用した今後のボーリング調査のあり方（案）

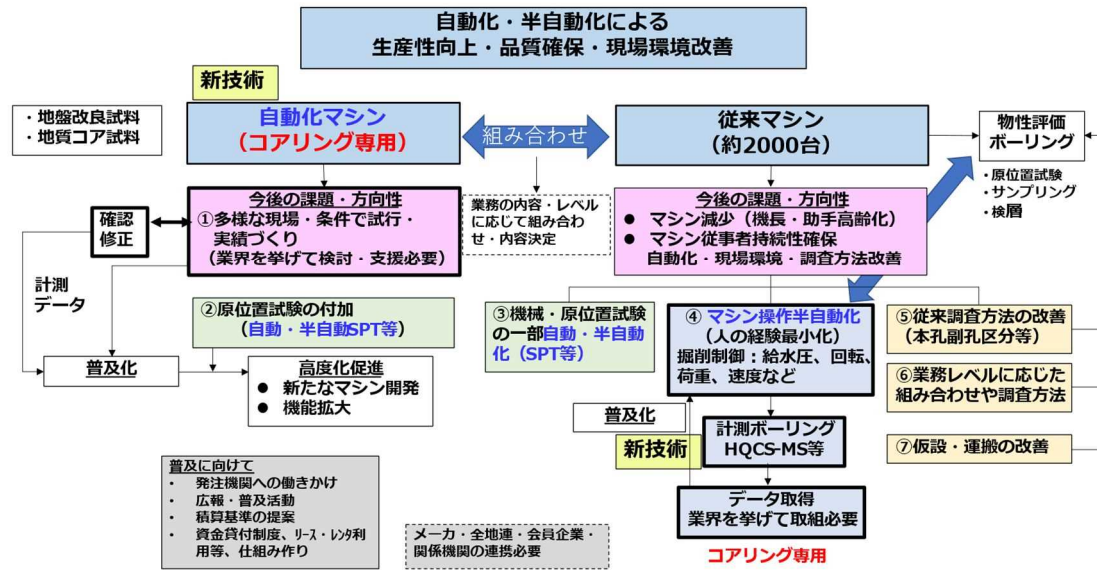


図. 19 将来のビジネス領域を視野に入れた課題と取り組むべき対応

まとめると、ビジネス領域の今後の展望としては、コア採取専用自動化マシンの普及・拡大、計測データに基づいた掘削制御システム化技術の確立と普及、自動・半自動化SPT、自動化マシンと従来マシンの組み合わせや調査手法の確立、従来マシンによる物性評価ボーリングの持続性確保等に区分できる。

取り組むべき項目

- 自動化マシン（地質調査業の ICT 化）
  - ①多様な地盤条件による試験施工を繰り返し、機能確認・修正
    - ・試験フィールドの確保（発注機関への働きかけ）
    - ・全国地質調査業協会連合会、会員企業、メーカーを中心に組合または協会の設立
    - ・試験機の入手、施工の費用負担
  - ②原位置試験の付加（SPT 等）
- 従来マシン（掘削制御で DX 化、マシン従事者持続性確保）
  - ③機械・原位置試験の一部、自動化・半自動化（SPT 等）
  - ④マシン操作の自動化（人の経験を最小化した掘削制御）コア採取
    - ・計測ボーリングでデータ入手（HQCS-MS OYO 等利用）
    - ・データ取得、AI 解析⇒システムづくり
    - ・上記技術を従来マシンに搭載して自動化（掘削制御）
- 共通
  - ⑤従来調査方法の改善（本孔、副孔の区分等）
  - ⑥業務レベルに応じた組み合わせや調査方法
  - ⑦仮設・運搬の改善（GPS 等による誘導、遠隔操作）

一方、視界に入った自動化マシンや半自動化マシン（HQCS 搭載）にない、将来を見据えた図. 20 のようなボーリングマシンもビジネスモデルに位置付ける必要がある。大事なことは、理想を追求すると開発研究に時間と金がかかる、開発できても市場が小さいため普及しないという現実を見つめながら、図に示される搭載すべき機能の取捨選択が必要である。

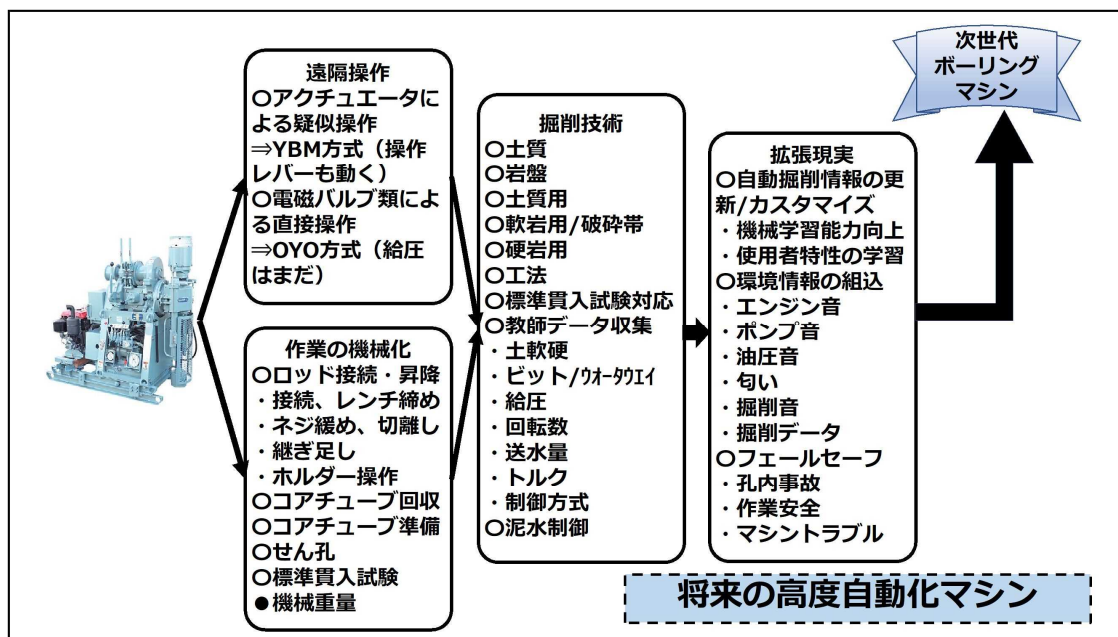


図. 21 将来的ボーリングマシンの保有機能イメージ

## 6 まとめ

現場環境改善委員会「マシン自動化 WG」では、従来からの地質調査の現状と課題を整理した上で、国内外の自動化マシンの動向、我が国の自動化マシンの開発・研究をふまえ、自動化・半自動化による生産性向上・品質確保・現場環境改善に向けて幅広く議論してきた。その中で自動化・半自動化によるマシンの改善は同時に調査方法や内容の改善に直結し、これを避けることができないため、「標準貫入試験あり方WG」の活動情報の提供を受けながら意見交換を行ってきた。

取り纏めの成果として、地質調査の現状（第1章、第2章）では、現場技術者の高齢化が顕著であり、今後の現場調査に関わる技術者不足や品質の低下が懸念された。一方、次世代の担い手である若手技術者は、就労機会が不安定であることや重労働作業の敬遠などから定着率が低い現状が浮き彫りとなった。技術面では、地質調査に使用するボーリングマシンの機能には大きな技術的变化はなく、ハード面では自動化が遅れている。現場調査の生産性向上、担い手確保、現場環境の改善から、ボーリングマシンの自動化を踏まえた技術的な開発が喫緊の課題であることが指摘出来た。

第3章では、国内外のマシン動向を調査し、開発された自動化マシンの性能確認、計測ボーリングによる半自動マシンの機能確認を行って、今後の新たなボーリング調査の期待できる技術として紹介した。

第4章では自動化マシンと現在国内で稼働する約2000台に及ぶ従来マシンとの組み合わせ、従来マシンにおいても半自動化による地質確認ボーリングと物性評価ボーリングに区分するような調査内容変更の必要性について指摘できた。また、事業規模や地質リスクもふまえた重要な特殊業務における組み合わせやレベル区分を行った。加えて、仮設備や従来調査方法の改善も整理した。

第5章では今後のビジネス領域を視野に入れた課題と取り組むき対応について提案した。マシン自動化による生産性向上やDX化に向けての課題と対応について細部に区分することができた。

以上、今後の取り組むべき方向性について整理できた。

社会環境の変化は目覚ましくデジタル化が加速的に進んでいる。ボーリング技術の自動化に伴うデジタル計測データの利活用による掘削作業、現場データの取得、地盤の3次元化やBIM/CIMに向けての高度利活用、今後の維持管理に向けてのDBの高度化に寄与できるように議論と実行をしっかりと行うことで、将来に向けてのビジネス領域の拡大が期待できる。その結果として地質技術者の社会的地位向上、持続性確保の地質調査業界が実現できるであろう。

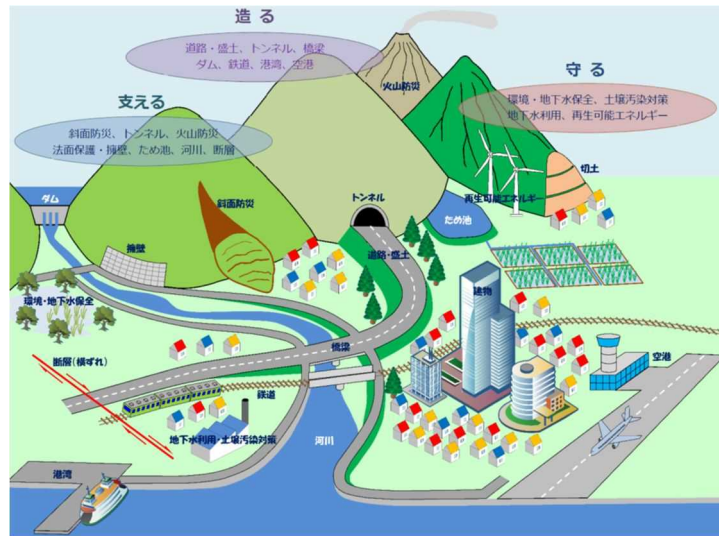


図.22 私たちの生活環境と深く関わる地質調査  
 (出典：関東地質調査業協会パンフ「私の前に道はない 私の後ろに道はできる」)

#### 申し送り事項

WGではマシン自動化に向けた検討を進めてきたが、開発されたコア専用自動化マシンの普及化へ向けての後押し、従来マシンの半自動化（コア採取の掘削制御技術）に向けたデータ取得と実用化に向けたシステム化検討の推進が急務である。

一方、現場環境改善委員会では取り纏めの成果となる今後の方向性を参考とした新たなフェーズへの取組みに移行しなくてはならない。そのためには、委員の増員、マシンメーカー、建設機械メーカー、情報通信系をはじめとした異分野の参画等、新たな組織づくりが必要である。また、今後の現場実証実験では人と金が伴い、そのための仕組み作りも急務である。加えて、ビジネス領域は多岐にわたるため経営者はどこにターゲットを置くのか、全地連はどのような調整を行っていくのかの準備も必要である。以下に具体的事項を示す。

- N値のWGと共通する部分については、合同で議論すべき（1本化）
- 自動化マシンは佐賀県唐津を出ていないので、多様な地盤条件・深度の試験施工が急務。実現するには金・人が必要。コンソーシアムとの位置付けと距離は？
- 金と人を必要とする各種調整対応は、委員会の各社委員では負担が大きすぎるので、組織づくりが必要（計測ボーリングも同様）
- 経営者が目指すべきビジネス領域の調整と仕組み作りも同様
- ある程度の目標設定（案）も重要
- ✓ 自動化マシンの試験施工による検証・修正、実績づくり・・・（3～5年先）
- ✓ 標準貫入試験の自動化、半自動化・・・（5～10年先）
- ✓ 従来マシンの半自動化（計測データの収集によるシステム化）・・・（5～10年先）
- ✓ 将来の高度自動化マシン（??年先） など

<参考資料>その他意見

1. 自動化マシンに要求する性能や従来マシンとの組み合わせ
2. 2000 台近い従来マシンに必要な改善とサポート
3. 標準貫入試験機の自動・半自動化が実現できた場合の生産性向上の効果
4. 計測ボーリングによる掘削デジタルデータを用いた半自動ボーリングの期待
5. N値に代わる調査方法と従来調査方法（SPT 必須）との組み合わせ必要性
6. 当面の 5 年、10 年先の見通しと改善策優先順位
7. 業界として自動化マシンの開発はどのような体制・組織で取り組むべき
8. その他（マシン以外でも可）

## 1. 自動化マシンに要求する性能や従来マシンとの組み合わせ

### 要求する性能

従来マシンで行っているような1孔完結型調査用(コア採取、SPT、サンプリング、原位置試験等)の万能な自動化マシンの開発は、人の経験、マシン自体は多様な機能を搭載する必要があるため制作に時間と費用がかかり、機械自体も相当大型化になることが海外マシンを見ても明らかである。当然、開発費用は販売コストに跳ね返り、市場規模や特定の現場条件でしか使えない等の理由により、このようなマシンは普及困難となることが予想できる。したがって、搭載すべき技術を限定しなければならない。

最近開発された自動化マシン(YBM)は地盤改良工事のコラム出来高確認用コア採取や、地質調査においては人の経験を必要としない現地盤コアサンプリング専用マシンとして期待できる。同マシンに標準貫入試験(SPT)もしくはその他の原位置試験の機能を付加できれば幅広い利用が期待できよう。

### 自動化マシン(掘削制御の半自動化マシン)と従来マシンとの組み合わせ

自動化マシン(半自動化マシン)でコア採取、従来マシンでSPT、サンプリング、その他原位置試験等、1地点で複数のボーリングを実施するという調査方法は生産性向上や品質確保に有効である。

### イメージ

- ① 先行して、自動化マシンでコア採取して地質情報を把握
- ② 同情報を基に原位置試験や、サンプリング・ケーシング計画立案
- ③ 従来マシンで②を実施(効率的作業・品質確保)・・・機長の負担軽減

### 必要条件

メインの調査孔では、自動化マシンと従来マシンの2タイプマシンの組み合わせが必要。規模の大きな調査フィールドの場合、先行して自動化マシンで調査先行(①)、その成果(②)を得て従来マシンで効果的な調査(③)が可能となる。

### 課題

1地点で2本のボーリング(SPT孔、原位置試験+サンプリング孔)を認めてくれる発注機関があるが、そもそも1業務で全地点このような仕様で行っているわけではなくメインの調査孔が対象であり、貫入試験専用孔は従来通りである。したがって、生産性や品質の向上が期待できるのはメインの調査孔のみとなり、当該業務全体的には大きな改善効果を得ることはできないが、同調査方法を認めて頂ける発注機関の拡大が必要である。

- 自動化、半自動化、調査方法の組合せ、SPTの変革など選択肢が非常に多く、この方法でと言う方向性を示すのは難しい状況である。
- 本WGにおいても方向性として認知されていると思うが、全自動・半自動・従来方法の使い分け条件における最適な活用を進めるのが現状の技術開発における最善の解と感ずる。
- 全自動は平地等における単なる物性確認(オールコア)、半自動は全自動が搬入できない条件下における計測ボーリング(SPT実施可能)であり、従来方法と同様の汎用性。従来方法は、全自動で得られた物性をパイロット的な情報として用い、汎用性のある調査を実施する(従来と全自動の順は逆でも可能)。
- 調査業務に使用する汎用性の高いボーリングマシンにおいて、全ての作業を全自動化(YBM汎用機レベル)し、可搬性の高いものが開発されるのは想像できない。人が実施していた仕事量(物理量)を機械が補うには、作業者の体重(60kg)以上の機械設備(100kg以上)とそれを支える機械本体重量が必要となり、必然的に可搬性の悪いものが出来上がる。調査は工事のような受注金額ではないので、可搬性を確保するような仮設はできない。調査で莫大な金額が必要となった時点で、従来工法しか採択されないと考える。

自動化マシンの要求性能としては、現状現場環境の課題の根底に若年層不足があり、その主な原因として身体負担や休暇不足など作業環境の厳しさにあるのであれば、身体負担軽減と掘進速度の向上(休暇確保)が必要となろう。また、従来マシンで培われ発達してきた多様な掘削機能や豊富な掘削調査ツールとの親和性を確保することで、より効率的な自動化が図られるものと期待する。

加えて、技術の伝承を考慮するのであれば、自動化によるデメリット(トラブル対応の経験不足、マシンブラックボックス化による思考停止など)を想定しておく必要もあろう。

自動化マシンには、計測ボーリングとして使えるように、位置情報、深度情報、トルクや先端荷重、送水



量などを記録する機能。標準貫入試験用のオートハンマーの装備などを期待したい。ひとまず、コア採取は従来マシン。ノンコアボーリングは自動化マシンという組合せが良いと考える。

小規模な市場に対して、用途を明確にして開発することが望ましいと考えます。例えば、掘進深度、対象土質・地質、掘削径の範囲、マシンサイズ・重量、原位置試験併用の有無、自動・半自動掘削機能など、どのようなスペックの需要が高いかを考慮することが重要と考えます。

現在までの発注条件、顧客からの要望を考慮すると、従来マシンで実施してきたことをすべて自動化することは非常に困難であるといえる。

一方で、ドローン等を用いた測量、掘削を伴う土工事や地盤改良については、自動化が進み既に ICT 施工が活用されている。したがって、地質調査分野においても ICT 施工を見据えたボーリングマシンの自動化が急務であると考えます。

ただし、従来のボーリングマシンと同様に、多岐にわたる項目を自動化するのは現在のところ難しいため、まずは SPT のみ、オールコアボーリングのみとシンプルなボーリング作業に特化した形式で自動化を導入し、徐々に全自動化を試みる。多岐にわたる原位置試験やサンプリングについては従来マシンを使用して作業し、自動化マシンと従来マシンを組み合わせる。

品質向上には掘削水も含めた自動制御の性能が必要と思います。

現場作業の負担軽減には、ロッドやケーシングの着脱を含む作業の自動化が必要と思います。

品質向上については、従来マシンに計測機能を持たせ、高品質コアリングの際にそのデータを蓄積し、最適な条件を整理することが必要だと思います。また、同時に自動制御機能の開発・向上をはかることで、品質の向上が期待されると思います。

一方で現場作業負担軽減を目的としたボーリングの自動化は、従来マシンとの組み合わせでは実現できないものと思われ、現在開発されているものも、サイズが大きすぎてすべての地質調査においての適応性低いと思います。

## 2. 2000 台近い従来マシンに必要な改善とサポート

自動化マシンが本格的に生産されるとしても、調達できるのは一部の大手企業やこれらで構成する協会、会社組織のボーリング業者のみとなるため普及先は限定的となろう。また、マシンの機能や特性より適用できる現場は調査数量の多い大規模事業地に限られる。

このような理由より自動化マシンが特定の企業や協会に限定的に普及したとしても当面は、従来マシンの活躍の場は失われることはないが、機長の高齢化、若い機長や助手が長続きしないなどの理由で、稼働台数の経年減少は避けることができない。

- 従来マシンの改善・サポート
- 従来マシンの現場環境改善による苦渋作業の軽減
- 本孔 (SPT 専用孔)・副孔 (原位置試験・サンプリング等) の区分で負担軽減
- 人の経験を必要としない半自動ボーリング (計測掘削データで制御)
- 標準貫入試験の自動化・半自動化
- 仮設・運搬の改善等

全地連で実施している定点観測、標準貫入試験のあり方WG (N値のWG) で実施したアンケートを持続しながら、常に現場の生の声を聴き取り、改善を進めなければならない。

生の声は、地質調査技士更新時講習等の場でも聴き取り可能であり、ぜひとも協会で企画・検討して頂きたい。

人が離れると、技術が衰退し、成果の品質が低下、発注者の欲する成果の品質を十分に満たされない可能性が高くなる。R5.4 現在、鳥インフルエンザで卵の生産が大幅に減、減の傾向が継続すると見込まれると、単価は高くなる。調査ボーリングも同様に、技術の供給量が減ることが見込まれるのだから、必然的に単価は上げるべきである。上げて現状維持程度。単価上昇分を作業実施者に確実に転嫁することも必要。

作業負荷に関して、掘削を行う際には、必ず反力が必要となる。ボーリング器材の軽量化が仮に進んでも、平地であれば、構台やアンカーの仮設が必要となる。重量物をいかに簡素に運搬できるかが、課題と

なる。斜面であればモノの活用もあるが、人力で運搬する作業は残る。工期（調査期間）的、賃金の改善で、作業者に余裕を持たすことはできないか？

従来マシンの改善には、地盤改良用マシンの発展との根本的な差異として、市場規模を起因とした開発にかかる資金調達猶予の違いにあると仮定すると、資金サポート体制や、資金投入への何等かの道筋を示すことが重要と思われる。地盤調査が社会資本整備に必要不可欠であるなら、資金調達の重要度は低くないであろう。

何を差し置いても単価の改善は必要。ケーシング挿入に関する精算は必須。

高品質ボーリングの積算基準案が公開されているが、この場合の「従来工法」を明確にすべきと考える。真面目なオペレーターは、一般業務でも高品質ボーリングと差異の無い作業を行って良いコアを採取してくれているが、低品質で採取して次々と現場を消化するオペレーターの方が収入が良いという状況を鑑みると、高品質ボーリング仕様でない業務の場合の「従来工法」は、品質を問わないというお墨付きが必要であり、発注者も品質を求めないルールづくりが必要である。それができないのであれば、品質に応じた増額・減額を講じるべきと考える。

標準貫入試験にしても、雑な作業でおこなえばN値が大きく乱れる試験であるが、単価が安いと日掘進量を増やすために雑な作業になってしまう。調査の目的を果たすのであれば、無理した掘進工程を必要としない単価と制限が必要ではないか。

10年後のマシン台数を予測するとどうなるか？

従来のマシンの使用者における改善点について考えていく必要があると思います。例えば、熟練機長に対しては軽労力となるようなケーシングやロッド脱着補助機能、若手機長に対しては掘削補助機能など。

近年ボーリングオペレータの減少や助手の離職率の高さより、従来マシンの稼働率が非常に高くなってきている。すべての現場で多岐にわたる原位置試験およびサンプリングが求められているわけではないため、1に記したようにSPTまたはオールコアボーリングだけを求められている現場については自動化マシンを投入し、過度な負担を減らすことも肝要と考える。ただし、自動化マシンは非常に高額であるため、積算基準の見直しおよび自動化マシンのレンタル等について整備する必要がある。

もし仮に様々な条件の中で使用に耐えうる自動化マシンが完成した際に、普及のためには、リース制度などの整備が良いのではないかと思います。

それとともに、比較的現実的に思える、掘削の自動制御については、計測ボーリングの普及が必要とされます。また、高品質ボーリングにおける計測ボーリングの掘削データの蓄積が必要となると思います。掘削データに基づく最適条件による掘削制御ができれば、コアリングへの不安がなくなり、オペレーターの重責が緩和され、オペレーターになりたいと思える環境となると思われます。

地質調査のオペレーターや助手の処遇改善に業界である程度取り組んではいかかかと思えます。(定着が悪いのは、労働に対して対価が安いということではないでしょうか)

### 3. 標準貫入試験機の自動・半自動化が実現できた場合の生産性向上の効果

N値のWGアンケートによれば、標準貫入試験は必ずしも苦渋作業と思われていない方がいるようである。特に、関東のオペレータは圧倒的に軟弱地盤を専門とする方が多いため、これが（ボーリング=SPT）当たり前と捉えているようである。

#### SPTの自動化・半自動化の効果

SPTは大抵の調査で全地点実施されている。頻度が1m毎であるため、掘削深度に見合った試験の回数が計上されることになるが、自動化・半自動化は生産性向上・苦渋作業開放・安全衛生活動面で大きく寄与することになる。実現すれば、最大2000台の従来マシンの改善効果が期待できるため、優先順位の高い改善項目である。

- YBM 汎用機に設置できれば、運搬・実施とも人的負荷が軽減されると思う。
- 標準貫入試験専用機（地盤王？）の汎用化も現場条件は限定されると思うが人的負荷が軽減できると思う。
- 試験実施の負荷として、仮設運搬と試験実施の2種類があると思うが、仮設運搬の負荷が軽減されれば、肉体的・精神的な面で大きな効果があると思う。 ウィンチやプーリーを使用した現行の試験実施方法は、特に大きな負荷とは思わない（機械の力で吊り上げるのみ）貫入量・打撃回数を含めたいわゆる全自動試験が標準となればさらに負荷は軽減されると思う。

標準貫入試験の自動化には、JIS に準拠して運用されている現状を踏まえると、効率化できる内容がある程度限定される可能性がある（試験時間の短縮幅、作業負担の軽減項目など）。それらを考慮して、生産性向上として期待される具体的な目安・効果（数量 or 金額）を検討することも必要かと思われる。

単純にオートハンマーを導入するだけで劇的に効率が上がることは期待できないが、作業員の安全性向上（指を詰める作業がなくなる、助手が櫓に登る必要がない）と品質の向上・均一化が期待される。オートハンマーを導入によって生産性を向上させるためには、標準貫入試験はノンコア孔とし、できれば計測ボーリングと兼用にすると将来的な効率化も期待できる。

掘削及び標準貫入試験が自動化・半自動化できると、その工程での生産性は稼働時間を高めることができるため向上すると思います。運搬・仮設など地質調査すべての工程を勘案しての生産性向上を考えていかなければならないと思います。

標準貫入試験はオールコア等一部の場合を除き原則的に実施されており、1m 掘進ごとに生じるロッド昇降作業やハンマー等重量物を取り扱うことから、作業員の肉体面・精神面・安全面の負荷が大きい作業である。したがって、ボーリング作業の中でも高頻度な試験である SPT の半自動化による作業工程の部分的な自動化や全自動化は生産性向上のみならず、作業員の負荷軽減、安全性の向上が期待されると考えられる。

作業面での効率化が期待できる一方で、装置に対する点検項目の増加や修繕作業等の手間数の増加も予測されるため、点検整備を効率的に実施できるシステムの構築が必要と考えられる。

標準貫入試験が自動化できれば安全性の向上が期待されると思います。同時に記録をとれるようにすれば日報への転記ミスなどによる品質の低下も防げるようになると思います。

#### 4. 計測ボーリングによる掘削デジタルデータを用いた半自動ボーリングの期待

地盤改良マシンやトンネル切り刃前方地質調査ボーリングでは掘削中のデータ（回転数、先端荷重、掘進速度、送水量、送水圧など）を入手する計測ボーリングが一般的に行われており、同データを用いて地質区分や性状を推定している。

HQCS（計測ボーリングシステム）は コア採取時の掘削データを入手するシステムであるが、データを積み重ね、同情報を基に人の経験に頼らない自動制御によるコア採取を目指している技術である。ボーリング技術者の担い手不足解消と生産性向上のためにはぜひとも、取り込まなければならない技術であり、従来マシンへ付加することで半自動化ボーリングも可能となる。SPT の自動化・半自動化と同様、デジタル化による 2000 台の従来マシンを持続させるための切り札といっても過言ではない。

装置はほぼ完成しているので、後は自動掘進を目指すために必要な掘進制御の AI 化に必要な教師データの取得が必要となる。

採取コアの品質が均一化され、採取コアによる理学的評価、計測データによる工学的評価が基準となれば、高度な掘削技術の汎用化と、ボーリング結果より得られる情報の展開が期待できる（岩盤 Bor、LWLP 工法）。

計測ボーリングは、熟練者と初心者の違いをデータ取得で見える化しているものと捉えられ、熟練者が掘削時やトラブル発生時に頭の中でイメージしている孔内の状態を数値化できる可能性があると思われる。一方、取得データが膨大となることで、データを如何に効率的に解析処理する技術などが必要となってくることも想像される。

計測ボーリングは、施工現場での支持層確認にも直結させることが可能である。また、トルク情報などにより大まかな地質区分が可能であり、データが蓄積すれば、調査地点の N 値や試験データとも相関を得る可能性が期待できる。

また、作業が単純化されることにより、ワンパーティで複数のマシンを同時稼働させることも期待できる。

非常に期待しております。

従来マシンにおいて、特に品質の良いオールコアボーリングは、オペレーターの腕（経験・仲間との情報共有、ツール類の選択等）によるところと、バックアップしているメーカーの協力によるところが大きい。計測ボーリングはオペレーターの腕が見える化する技術ともいえるため、掘削デジタルデータを用いた半自動ボーリングは、経験の浅いオペレーターにとって非常に有効であり、生産性向上につながると思われる。

高品質コアリングが比較的誰にでも可能となることが期待され、オペレーターの重責が緩和され、オペレーターになりたいと思える環境になることが期待される。

データの蓄積と工学的性質との対比がすすめば、掘削時の計測データから工学的な判断が可能となれば、N 値にかわる調査手法としての確立が期待される。

## 5. N 値に代わる調査方法と従来調査方法（SPT 必須）との組み合わせ必要性

我が国の建設分野の設計は N 値を基本としており、これを省くことはできない。SPT は 1m 毎の頻度で行われているが、地盤状況や調査の目的（重要度）によっては別孔での SPT 以外の原位置試験、サンプリングを実施する。地質リスクや重要度に応じた組み合わせマトリクスの検討が必要である。

従来の調査方法との組合せに関しては、調査必要箇所数（本数）と調査の次の段階に必要な物理量の種類と基準、発注者が調査に配分している予算で決まると考えますし、これは今までもこれからも変わらないと考えます。N 値のみの情報では、設計に供する情報として不十分と発注者が判断すれば、掘進以外の費用が発生し、調査本数や調査個所に求める情報も、予算によって変化すると思います。これを発注者に提案する、提示する、納得させることは、地質調査業を専門としている会社の責務だと考えます。この際の提案が、調査の組合せにはないかと考えます。

反面、N 値さえ取得できれば技術的要求を満足する調査内容もあります。これは、今までの N 値の精度で十分と設計者が判断し、いわゆる安全率によるバッファにより安全な目的物を構築することで事足りると言うことです。これに対してとやかく言うことは必要ないと思います。前項の 3 で示したような対応が進めば、良いと思いますが、本項で前述したような地盤リスクを含むような内容であれば、N 値のみでは判断できないことを提案する必要はあると思います。発注者が抱える予算の中で、調査内容や仕様の組合せが必要になっていると考えます。

N 値に代わる方法をいろいろ議論され、試験方法や試験器具の改良までも議論に上がったことがあると思います。N 値に代わる方法は現段階でも発注者の技術的要望次第で調査方法は実施されています。問題は、完成する構造物に対して施工時・完成後の地盤に関する問題を、地質調査業を専門としている会社の責務として提言しているか、しているにもかかわらず発注者が拒む現状があるのか？ 拒まれ、危険（安全性に問題がある）を承知で他の調査を実施していないのか？ではないでしょうか？ 調査量が増え、金額も増える では、発注者は困ります。調査の密度が向上され、金額も同等、金額以上に付加価値がある、金額の増を認めざるを得ないほど付加価値がある が正論かと考えます。利籐さんが示された ppt は最もな部分と発展的な部分が記載されています。N 値は悪者ではなくこれに依存していることが問題であ

り、地盤物理量のある範囲の代読をしていることを理解し、さらに現在は N 値以外にサウンディング、物理探査などの方法で、補完と連続性を精度よく確認することができることを理解する必要があると思います。

N 値に代わる調査方法は、徐々に使用される機会が増えていると感じるが、様々な設計指針類では N 値が必須の調査項目となっていることが多い。加えて、他の調査方法を使用した場合でも、最終的に換算 N 値として比較評価されることが多く、N 値を全く考慮しない調査方法の普及へは至っていないようである。ただし、昨今の構造物設計の高度化（解析等の精緻化）に対して、N 値の精度の曖昧さが目立つようになってきており、本来の N 値にも適用範囲があることから、そろそろ N 値で評価できる物性範囲を明示し、その他調査方法との棲み分けを明確にする時期に来ているかとも思われる。

日本国内では、CPTu のような大きな反力を要するサウンディングの普及は難しいため、実施的には計測ボーリングのみが N 値に代わる指標値を得る手法として期待される。ただし、そのためには計測ボーリングの標準規格を定めた上で、オートハンマーで得た N 値と従来調査方法による N 値とをそれぞれ相関を整理する必要があると考える。

土の評価に N 値を利用することが多いだけで、土を評価できる手法が確立されれば SPT と新調査方法を併用する必要はないと思います。但し、新調査方法で、要求が満たされなければ併用する必要があると思います。

N 値に代わる調査方法では、サウンディング（電気式コーン貫入試験、ラムサウンディング等）があげられるが、ボーリング地点間の地層状況を補間するために実施されることが多く、強度の指標となる N 値に代わる調査としての利用は少ない。

それに対し、従来の調査方法では、標準貫入試験を実施し強度の評価、地層の確認を行いつつ、原位置試験及びサンプリングを実施することが多く、非常に苦慮している状況である。したがって、現在行っている標準貫入試験の役割となる N 値の評価と土質の確認をサウンディングで実施し、計画を立てたうえで原位置試験及びサンプリングを実施する等、従来の調査方法とサウンディングを組み合わせることで、より適切に地盤の評価ができる体制（既存資料の地質情報のデータベース化）になると考える。

ただし、サウンディングについても自動化する必要があり、また、CPT では反力の確保や、貫入不能となる支持層の層厚確認をどのようにするかが課題となる。

N 値にかわる調査方法はいくつか既に提案されていると思いますが、さらに新たなものとなるとその確立には時間を要するものと思われます。

従来調査方法との組み合わせについては、いろいろ議論がありましたが、ケースバイケースなので単純化することは難しいように感じます。ボーリング実施地点間の補間は、必要に応じてこれまでも各技術者が必要に応じて提案してきたように思います。

## 6. 当面の 5 年、10 年先の見通しと改善策優先順位

コア採取をメインとした自動化マシンが完成しようとしているが、多様な地盤条件における試験施工による検証や修正が必要であり、これらを経てようやく実用化が可能となる。このためには業界・協会・学会の連携に加え、発注機関の支援がなくてはならない。当面は 3 年先、5 年先を目指した試験施工や施工実績の蓄積を優先させなければならない（普及方法・レンタル・広報活動はこの間に実施）。

並行して、標準貫入試験の自動化・半自動化システムを、自動化マシンや従来マシンへの組み入れる技術開発と普及が急がれるが、10 年先を見据えて加速化させる必要がある。

また、計測ボーリングによる掘削デジタルデータの収集による人の経験に頼らない技術革新と普及も 10 年先を見据えて重要事項と位置付ける必要がある。

SPT は当面切り離すことができないため、これの試験頻度の見直しや代替え調査方法の確立、1 地点複数孔実施（コア採取孔と原位置試験孔の区分等）など、比較的容易で即効果が得られるため最優先すべき対策

である。

生産性向上に向けた仮設備や運搬機の改善については出来るところから手を付ける。

全国定点調査ではピーク時で2000台の稼働台数となり全国的なマシン不足が3~4カ月にも及ぶ。特効薬は官庁業務の一層の平準化（数年後にはピーク時目標▲20%減など）であるが、引き続き働きかける必要がある。

ボーリング従事者、マシン台数は天変地異が無い限り、高齢化と減少傾向が継続すると思います。担い手の急激な増加は期待できないので、従来調査の対応可能本数が10年先では激減する可能性があります。

作業環境の改善は、独自に対応、メーカーが使い勝手の良いものを準自家発するかもしれませんが、前項に示す従来調査本数の調整は、地質調査業を専門としている企業や全地連の提言等が無い限り、発注者の考えは変わらないと思います。よって、調査の組合せの議論は重要であり、それに伴い従来のようなN値を各調査個所で打てば何とかなるの考えは改善が必要になると思います。

従来調査本数は担い手の減に伴い減となるが、調査結果の品質、頻度は他の調査方法や組合せによって補うことができ、成果の品質が低下しない・させない取組みが最優先ではないかと考えます。

現状の地盤調査では、掘削作業の他に資材準備、搬入段取りなどの作業も重要となっており、場合によっては、掘削作業より作業ウェイトが大きい。調査内容や孔内トラブル対応を想定した事前ケーシング選定、設置深度、安全な搬入搬出方法の検討準備など、熟練者の経験に依存する内容が非常に多い。これらには身体負担を伴うこともあり、今後の若年層の定着を視野にいと、改善策の優先順位としては低くはないと思われる。

5年後、世界的に現場に出る若者は減少する傾向にあり、日本でも稼働ボーリング台数の減少は避けられない。発注タイミングの調整やプロジェクトの長期化などの混沌期。大規模な震災が発生すると復興事業の足かせとなる。調査地点の最適化（数量減）について検討がはじまる。

10年後、既存データを活用した調査地点の最適化により、事前調査の数量を大きく減らし、その代わりに施工に合わせた確認ボーリング（計測ボーリング）の数量を増やす。施工時には機材の搬入路の確保や、調査地点の整地が行われているので、トップドライブ式のボーリングマシンでも作業が可能であろう。改善策の優先順位は以下のように考える。

1. 単価の見直し（定期的なマシンを買い換えられる程度の収入がないと、ボーリングメーカーの調査ボーリング撤退も止まらない）
2. 標準貫入試験のオートハンマーを容認
3. 計測ボーリングの標準化、オープンデータ化
4. 計測ボーリングとN値の全国一斉データ取得と設計方法の確立
5. 1パーティでの複数マシン同時稼働の技術、安全基準の確立
6. 施工前調査による設計変更重点をおいたプロジェクト管理方法の確立

2055年の建設工事無人化を見据えたロードマップをつくれませんか？

社会背景からマシンの自動化は必須だと思います。自動化マシンの需要が高いスペックや価格帯を調査・想定して、マシンを開発していくことが重要だと思います。

自動化マシンを速やかに普及させるために、学会・会社・協会のみならず発注者との連携が必須である。学会・会社・協会はマシンの調達をどのようにするのか整理する必要があり、また、発注者に対して自動化マシン用の歩掛および自動化マシンを使用するメリット（業務評定点のアップや入札時の加点等）を認めてもらう必要がある。

職場環境改善を考える上では、助手の処遇の改善（定着するような）が必要なように感じます。オペレーターには良質なコアリングや孔内事故への重圧がかかっており、それを理由に助手のままにいる

方々もいるように感じます。計測ボーリングの普及→計測データに基づくコアリング（自動制御）が確立され、良質なコアリングが可能となると、孔内環境も良くなり孔内事故発生リスクは低減すると思うので、オペレーターへの重圧は下がり、オペレーターの担い手が増加するように思います。安価な計測ボーリングシステムの開発・普及が当面現実的のような気がします。計測ボーリングデータの分析は、業界で行わないと普及に時間がかかるように思います。

現場作業の軽減については、コアチューブ、ケーシング、ロッド、SPT 装置の着脱が自動化されるとかなりの作業負担軽減につながると思われますが、装置の小型化や様々な現場条件に適合できるものの開発には時間がかかるように思います。

## 7. 業界として自動化マシンの開発はどのような体制・組織で取り組むべき

複数のマシンメーカ、全地連、地質調査業界に ICT 技術に優れた建設機械メーカ、電子機器メーカ等の異分野も加え、目指すべき協調領域を議論する。

自動化マシンと半自動化マシン（従来マシン+計測データによる掘削制御）に完全区分してコンソーシアム・協会を立ち上げ、着地点を明確化する。

人の経験に頼らない掘削制御技術は必須となるため、全地連が中心となって計測機器の統一、データの収集・分析について会員企業と共に行う。

全地連技術委員会でWGを発足させ、全地連として開発費用を国から調達する方法があれば良いと考えます。担い手不足、技術継承と成果の品質の問題は、いずれ国を含む建設関連事業に影響を及ぼすことが考えられます。

イメージはハークスとなります。コア品質の平準化は、品質の確保・向上を図ることができますので、単純な考えではありますが、高品質並みのコア採取が可能となれば、掘進単価は増となります。技術的に貴重なノウハウを保有している岩盤系のボーリング会社は、経営的に助かるのではないのでしょうか？

社会で顕著に発展してきた分野（IT 関連、自動車など）を顧みると、その特徴として、より便利で需要が高いものが多いと感じる。言い換えれば、明確に優れている分野の普及するスピードは速いといえる。加えて、業界団体を超えた誘導體制が効果的だった場合もあるかと思われる。よって、自動化マシンの開発には、他分野の成功例を参考とすると共に、業界を超えて需要を引き出すような戦略的な取り組みも、検討する可能性があるものと想像される。

地質情報を空間情報として汎用化していくには従来のスピンドル式ボーリングマシンは適しておらず、トップドライブ式のボーリングマシンを用いて計測ボーリングデータと組み合わせる必要がある。しかし、いきなり計測ボーリングに切り替えていく方針を出すと同業者も多くないと予想されることから、従来の業務に加えて計測ボーリングを追加するような発注を促す。地質調査については施工前調査に重点を置いたプロジェクト運用を実現するためのワーキングを国交省と取り組む。

マシンの自動化にむけ、協調領域と競争領域を明確にできないか？

- ・建設機器メーカにも参加してもらえないか？
- ・産学官の連携が必要とおもわれるが、現在の体制では「学」が足りない。

「市場調査、調査手法や要求性能の整備」「マシン開発」「導入コストの補助」を協会とメーカがタイアップして推進する。

自動化マシンについては現在 1 社のみとなるが、将来的には複数メーカが競合する形が望ましく、また、環境に配慮した電気式の自動マシンの開発も視野に入れる必要があるため、メーカや特定の会社が主導するのではなく、全地連主導型の体制で開発することが必要であると考えます。



全地連で WG 等を立ち上げ、当面の自動化マシンの方向性を決めるのが良いかと思います。その際には、これらの議論は、もともとは担い手不足解消を目的としていると思うので、オペレーターや助手の方々の意見もう少し直接聴取することも必要と感じます。方向性を決めたのちに、必要な関係者を再度選定し、体制を整備した上で着実に進めていくことが必要だと思います。

## 8. その他（マシン以外でも可）

運搬機改善、足場仮設の自動昇降、マシンの小型（分解単品）軽量化、

- ・事故が多い場面は、搬入仮設であり、ここを DX で改善できないか？  
（例えばドローンの活用等）
- ・ボーリング技術伝承の動画教材（背中をみて学べでは時代おくれ）

現状の地盤調査業の市場規模としては、1000～1200 億円程度で横ばいの傾向にあるが、今後の地盤調査に関連する環境改善には、その後ろ盾として市場規模や領域の拡大が必要不可欠と思われる。そのためにも、これまでの専門範囲を超える意識改革が重要となってくるものと想定される。

ボーリングだけでなく、地質コンサルタントのバックアップも必要でないですか？

自動化マシンや半自動ボーリングでは、回転数および送水圧等をデジタル制御しているため、そのデータを蓄積・解析することで、自動的に土質区分（粘性土・砂質土・礫質土）が可能になると考えられることから、将来的には自動的に柱状図の作成まで可能になると期待している。