

# 実用化された夢のボーリングロボット

遠藤 秀典<sup>1)</sup>・中澤 努<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

未固結な堆積物を容易に、しかもこれまで以上に確実に採取できるボーリングマシンが開発された。このマシンによるコア採取の能力は予想以上のものであることが、仙台市の低地におけるオールコアボーリング(GS-SD-1)によって明確になった。

地下地質の調査では、いうまでもなく地下のコア試料を確実に採取することが重要である。堆積物の種類・堆積構造・含有物などの観察、テフラ・微化石・年代測定などの地質学的分析、及び土質試験などの多くの目的のために、コアが必要である。しかし従来のボーリングでは、コアの採取が難しいことも多かった。特に、平野の地下浅部における未固結でルーズな砂れき層などから、堆積構造を

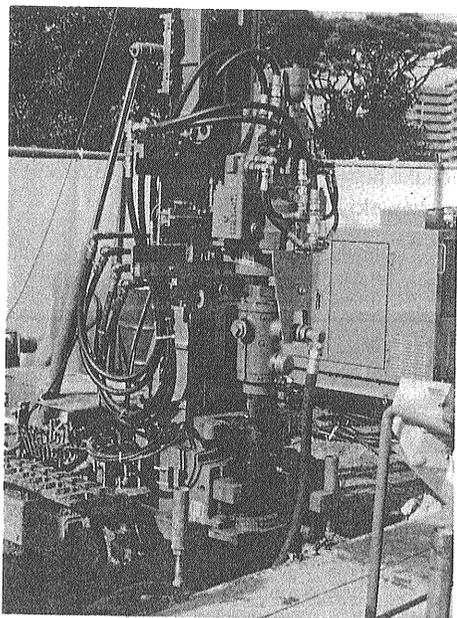
保ったコアを採取することは極めて困難だった。

第1図に新しく開発されたボーリングマシンの掘進時の主要部分を、第2図にコアパレルを引き上げた直後の全景を示す。

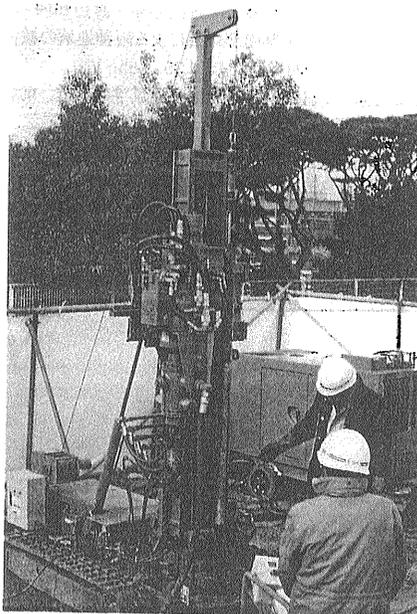
このボーリングマシンでは、砂れき層などのコアを従来よりも容易に採取でき、採取率も極めて高い。また多くの作業が遠隔操作で行え、ボーリングロボットと呼べるものである。さらに、ボーリングを掘削しながら、地下の状態に関する種々の計測値を得ることも比較的容易である。

## 2. 画期的なバイプロロータリー方式

このボーリングロボットの画期的な点は、従来の回転によるロータリーボーリングに、打撃を加えて



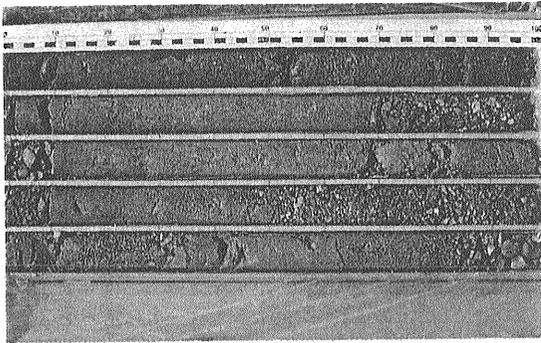
第1図 コア掘進時のボーリングロボット。



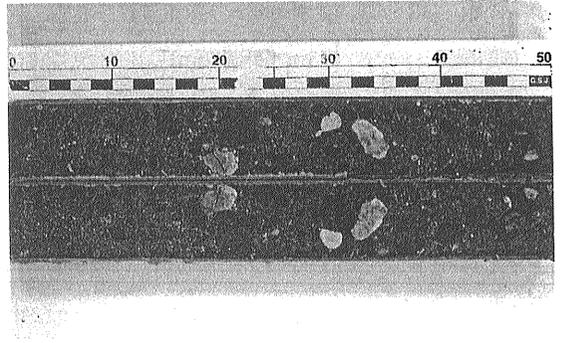
第2図 コアパレル引き上げ直後のボーリングロボット。

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード：ボーリング、コア、地下地質、仙台



第3図 バイプロロータリー方式によって採取されたコアの外見 (GS-SD-1, 深度12m-17m)。



第4図 バイプロロータリー方式によって採取されたコアの断面 (GS-SD-1, 深度37m-37.5m)。

コア採取を行えることであり、掘進力が極めて大きい。ドリルのことを思い浮かべていただきたい。回転だけによるドリルと比較して、打撃を組み合わせたインパクトドリルでは、孔をあける能力が格段に高い。

第3, 4図に、このボーリングロボットによって採取されたコアの例を示す。状態は極めて良好で、堆積構造が観察できる。また、砂れき層からなるこれらのコアの1mの長さの掘進に要した時間は、いずれも3分内外と極めて短時間である。

従来このような砂れき層では、数10分以上の長い時間をかけても、サンプラー内でコアがつまり、数10cm程度しか掘進できないことが多く、コアの状態も乱れることが多い。従来のロータリー方式では、先端のビットを回転させて、堆積物を円筒状に切断して掘進する。この先端部分に供給する泥水の水圧が低いと熱を持ちコアが焼き付く。水圧が高いと未固結の堆積物の細粒部分を洗い流す。このため、先端部分を工夫して、なおかつ回転速度、先端加重及び泥水圧を微妙に調整する必要がある。長年の経験による職人芸によってコアが採取されてきた。

一方、今回開発されたボーリングロボットでは、掘進能力が極めて高く、掘進速度も速いので、コアが焼き付いたり、あるいは洗い流されることが極めて少ない。このために第3, 4図に示されるように極めて良好な状態でコアを採取できる。

この方式の優れている点は、特に砂れき層などで発揮される。泥層などの場合には、従来のロータリーボーリングと同様に、回転のみで掘進することも可能である。ちなみに固結岩では、衝撃によっ

てコア全体が破碎されることがあり、回転のみによる方が地下での状態を保った良好なコアを採取できるようである。そのような岩盤においても破碎帯などでは、打撃を適時組み合わせることによって、これまで以上にコアを採取できると考えられる。

この新しい掘進方式によるコアボーリングは、バイプロロータリー(vibro rotary core drilling)ないしインパクトロータリーコアボーリング(impact rotary core drilling)と呼ぶのが適当だと考えている。従来のボーリング方式のなかには、重い掘削装置の落下によるパーカッションボーリング(percussion drilling)や、それに回転を組み合わせたロータリーパーカッションボーリング(rotary percussion drilling)などがある。これらでは一般的にはコアは採取されないことから、新しいコア採取の本方式にこれらの用語を用いるのは不適當であろう。

### 3. コア採取時間の格段の短縮化

本ボーリングロボットでは、ワイヤーライン工法が採用されている。このためもあって、コアバレル(採取コア収納部分)の上下が短時間でできる。泥水循環によるスライムの排出時間も含め1m間隔でコアを採取しても、1時間に4mのコア採取が可能である。参考までに、本ボーリングにおける実績を一覧表にまとめて、第1表に示す。

通常、浅い深度のボーリングでは普通工法が採用される。普通工法では、細いボーリングロッドの先にコアバレルを接続し、ロッドを継ぎ足しながらコアバレルを孔底におろし、掘進後ロッドをはずしながらコアバレルを地上まで回収する。それに対し

第1表 GS-SD-1 ボーリング掘削実績一覧表。

掘削深度	73m (計画70m)
地質概要	62m以浅：砂れき主体 62m以深：砂・泥岩
地下水位	GL-5.30m
コア採取率	97%
コア掘進時間(1m)	平均4.7分, 最短2分, 最長9分

ワイヤーライン工法では、太いロッド(STRING)内に、コアバレルを落下させ、回収ではワイヤーで吊し上げる。このため、短時間でコアを回収でき、その労力も少ない。しかし、ワイヤーライン工法では、先端のビット部分は太いロッドの先端(地中)についてままたまになるため、堆積物の種類や状態が変化した場合の対応が遅れがちで、コアの採取されない部分が多くなる傾向がある。また、ビット交換のために必要になる重いロッドの回収には、多くの労力が必要であり、ボーリング機材も大がかりなものになっていた。

しかし、本ボーリングロボットでは、先に述べたようにコアの掘進能力が極めて高く、またビット部分の調整・取り替えも一般的に不要であり、ワイヤーライン工法の弱点を補っている。

速い掘進速度及びコアバレルの上下の時間の短縮化によって、コア採取に要する時間は極めて短くなっているのである。ちなみに従来の方では、砂れき層のコア採取で1日(8時間)に5m以上を採取できた例はほとんどない。いうまでもなく、本ボーリングロボットの場合でも、孔壁崩壊や逸水防止などのためのケーシングの挿入等が必要になることがある。それらの作業時間が加わったとしても、工期を大幅に短縮できる可能性がある。

#### 4. ロボット化による省力化

新しく開発されたこのボーリングマシンをロボットと呼んだのは、これまで人手で行ってきた作業の大部分が遠隔操作で行えるからである。実現した大きな理由には、コア採取の掘進における微妙な操作が少なく、また第2表の使用機材のなかに示されるように、ロッドの長さが短く、泥水管とロッドの接続位置を低くできることが関係している。

第2表 主要使用器材一覧表。本表の使用器材はいずれも鉱研工業株式会社製である。「ロータリーパイプロ」は大洋地下調査株式会社独自の商標である。

名称	型式	規格
ボーリングマシン(本体)	アロードリル改良型 PRD-50TT	掘進能力70-100m 重量2500kg
(パワーユニット)	PUD-35	重量1250kg
ボーリングポンプ	MG-15h (インバータ制御)	最大吐出量200ℓ/min
ドリルロッド	PS114	外径114mm 内径91mm 長さ1m 重量23kg
ケーシング	P146	外径146mm 内径123mm 長さ1m 重量29kg
ビット	123D (スパイクタイプ)	ビット径123mm
コアバレル	ロータリーパイプロ サンプラー (3重管式)	採取口径68mm 外形123mm 採取有効長1.15m

掘進能力が高いことから、掘進時の微妙な設定が不要で、半自動的にコア採取の掘進を行える。また、今回のボーリングのように深度100m程度以内の掘進ではビット交換も不要であるため、ロッドを短くして、泥水管との接続位置を低くできる。

このため、本ロボットでは、次の[]以外の作業を遠隔操作で連続的に行える。1)ロッドと泥水管との接続、泥水循環によるスライム排出。2)ロッドと泥水管との切り離し。3)[コアバレル挿入]、4)[ロッド継ぎ足し]、泥水管接続。5)掘進。6)ロッドと泥水管との切り離し。7)[コアバレル回収]。

コア採取時における人力による主な作業は、ロッドを継ぎ足すこと及び回収されたコアバレルからコアの部分抜き取りなどに限られる。

改めて第2図を見ていただきたい。コア採取の作業の大部分が、この写真手前の人の影に置かれた操作盤のスイッチで行うことができるのである。これまでのコアボーリングでは、職人芸的な技術が必要であり、一方ではロッドの移動や泥水管との着脱などの労力が必要で、場合によっては泥水をかぶり、まさに3Kといった現場になりかねなかった。

そのためあって、後継者不足が危惧されてもいた。

このボーリングロボットは、そのような点についても大きく変化させる可能性がある。つまり、現場経験がこれまでよりも少なくて済み、重労働が軽減され、コア採取に専念できる。また、何といても大部分が遠隔操作で行えるという現場作業の状態が、コア採取の技術者が充実していく素地になると期待される。今後はむしろ、電気や油圧回路の知識が現場技術者に要求されるようになろう。

## 5. 多様なコアバレルによる地質や目的に応じたコア採取

新しく開発されたボーリングロボットは、地下浅部を対象としたワイヤーライン工法のマシンである。先に述べたように、従来のワイヤーライン工法のボーリングマシンは比較的大がかりなものであるとともに、10m以上といった高いやぐらが必要であった。しかし、本ロボットではマシン全体がコンパクトでやぐらも不要である。このため、ワイヤーライン工法によるボーリングの実施を容易なものとしている。

種々のコアバレルを開発することによって、地質や目的に応じてコアバレルを選択しながら、コアを採取することも容易である。実際、今回の掘削には3重管のコアバレルを用いたが、既に軟弱泥層用のシンウオールボーリングに対応する水圧圧入のコアバレルなども用意されている。軟弱な泥層の部分では水圧圧入でコアを採取し、基底部の砂れき層などでは、パイプローター方式に切り替えてコアを採取することができる。今後は、ミスト掘りやエア掘りなどのコアバレルが開発されると、水の少ない山岳地域など、特に火山におけるコア採取などにも大きな威力を発揮すると期待される。

## 6. MWDツールによるコア採取同時測定

また、ワイヤーライン工法を採用していることからボーリング掘削を行いながら地層の物性変化について計測するMWD (Measuring While Drilling, 掘削同時測定) の技術開発も容易である。現在でも掘進時の圧力などが計測されており、それらを記録することによって、標準貫入試験値などとの関係

を検討できる。今後、コアバレルにセンサーを組み込むことによって、種々の計測値を得ることもできるよう。場合によっては、計測用のゾンデとコア採取用のコアバレルを交互に用いることも考えられる。

近年種々のセンサーを組み込んだ貫入試験器が開発されてきた。地中に貫入しながら間隙水圧などを計測するものである。しかし、コアが採取されないことから、それだけでは不十分なことも多い。一方、掘削後の孔内において計測用のゾンデを上下して計測する検層も行われている。この場合には、ルーズで液状化などを生じやすい浅部の地層ほど孔壁崩壊を生じやすく、裸孔での計測には躊躇することも多い。そのような地層部分などにおける掘削同時測定に期待される面も大きいと考える。

## 7. おわりに

本ボーリングは、2月中旬に実施されたばかりのものである。とりあえず、その掘進能力を中心に報告した。コアの状態など、ボーリング結果の詳しい報告は今後改めて行う予定である。また、このボーリングマシンの各部分の詳しい構造などについては、今後公表されていくものと考えている。

筆者の一人が、コア採取の方法として回転に振動を加えた掘進方式が有力であるという話を聞いてから、ちょうど10年を経た。それが実現されるまでには、各部分の機構や材質の検討などの多くの課題があったものと推測される。完成されたものをみると、本体だけではなく、コアバレルやロッドなどにも多くの工夫が必要だったことがわかる。それらの多くの課題を乗り越えて、本ボーリングマシンの実用化を果たされた関係者の皆様に敬意を表します。

本ボーリングの実施に際しては、用地について日本国有鉄道清算事業団東北支社にお世話になりました。また株式会社ダイヤコンサルタント大友淳一氏の協力を得ました。これらの関係者の皆様に感謝いたします。なお、本ボーリングは、大洋地下調査株式会社によって行われました。

ENDO Hidenori and NAKAZAWA Tsutomu (1997) : The realization of core drilling robot.

<受付：1997年3月4日>