

## ボーリング分類に関する一考察と PtoN工法開発に至る経緯とその意義

馬場 信也

### 1. はじめに

私は長年、ボーリングの現場に携わってきました。

新潟応用地質研究会には、地質を調べる有力な手段であるボーリングに関する報告が少ないのではないだろうか。現場を経験する身として、常々感じておりました。

私のボーリングに関する一考察と、地盤調査方法開発に向けて行っている活動を紹介します。

### 2. ボーリング分類

ボーリングは地質を調べる手段としては、もっとも有力な方法の一つです。しかし、そのボーリングに関してわかりやすく解説した文献は意外に少ないと感じられます。

少ないボーリング文献中、分類に関する記述はさらに少ないと感じます。

それは、ボーリングが地質を調べる手段であって目的ではないことに起因しているのではないのでしょうか。

ボーリングは自由度が高く、様々な奇抜な発想のもとに考案され、多様に分かれます。

例えば、深度1,000mを1日で掘削可能なボーリングが欧米には存在するらしい。

これは、15年ほど前にあるゼネコンで英文コピーを見せられただけで資料が手元にないのが私の限界と痛感しています。

記憶からの概要は、帯鉄板1,000mロールを現場で溶接しながら1,000mで1本物のロッドを造り、ホースリールに巻き取り、先端駆動式のドリルをロッド先端に取り付け、ホースリールからロッドを繰り出すことで1,000mをロッド繋ぎ無しで、いっきに掘り切るシステムと記憶しています。

1,000mのロッドを現場で作ることなどの準備を別とすれば、1日24時間掘削機械を稼働させ1,000m掘削することは、毎分70cmの鑿下がりで可能です。

毎分70cm鑿下がりとは決して無理な数字ではないが、ボーリング進捗が遅いのは、ロッドを繋ぐ作業が付帯するからです。そして、ロッド繋ぎ時の掘削流体の送水停止が無いことは掘削トラブルの危険度が格段に低減されます。

このように、あっと驚く奇抜なボーリングが欧米には多々存在します。

これは、ボーリングが手段であり、目的に対する効率的な手法や機械を作ればよい。欧米には、このような手段はいとわらない結果主義的発想が強いからだと思います。

結果主義とは資源なら資源をいかに効率よく採掘するか、調査ならいかに調査成果を得

るか、その得られた成果で報酬を精算するとします。

日本はというと、手段と結果をはき違えている感が否めない。日本式は、どのような手段をこうじて掘削したから、どれだけの日数と何名の人員とどれだけの機材を使用したから、よって精算してくださいである。

私は、ある公団の職員から、

「企業努力は減額の対象。早く仕事が終わったのだから、安く済んだはずだから減額します」

冗談とも、本気とも取れる会話をよく交わしました。

このような、欧米と日本の風土の違いが、日本の閉鎖性が指摘され、発展性を阻害していると思えました。

例外的な話や精神論的なことを繰り返しては、きりが無いので、私の持論としての機械ロータリー式ボーリングの分類を試みます。

機械ロータリー式ボーリングがロッドを介して、先端盤に回転と荷重制御を行うことで孔を掘ることと定義すれば、以下の三種類に分類していけば理解しやすく、例外的な事例もいずれかに入ることが出来るのではないかと考えます。

まず、基本的考えとしてのボーリングは、

- (1) ボーリングの目的、
- (2) ボーリング機械の方式、
- (3) 掘削ビットの仕組み、

の三種類です。

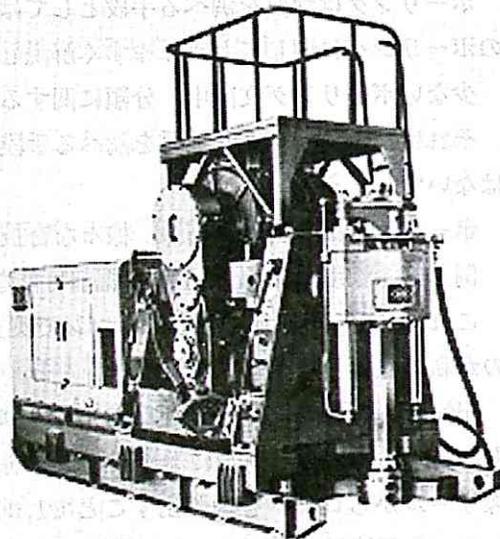


図-1 (2)-①スピンドルの例

ボーリング目的は、

- |                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| (1) - ① 調査ボーリング | ボーリングにより地質を調べる。        |
| ② 工事ボーリング       | 基礎杭、グラウンドアンカーなど構造物構築。  |
| ③ 資源ボーリング       | 石油・天然ガスなどを求める（温泉も資源？）。 |

ボーリング機械の方式は、

- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| (2) - ① スピンドル | スピンドル内をロッドが貫通。     |
| ② トップドライブ     | マシンとロッドはロッドネジ部で連結。 |
| ③ ロータリーテーブル   | 異形断面のロッドで回転を伝達する。  |

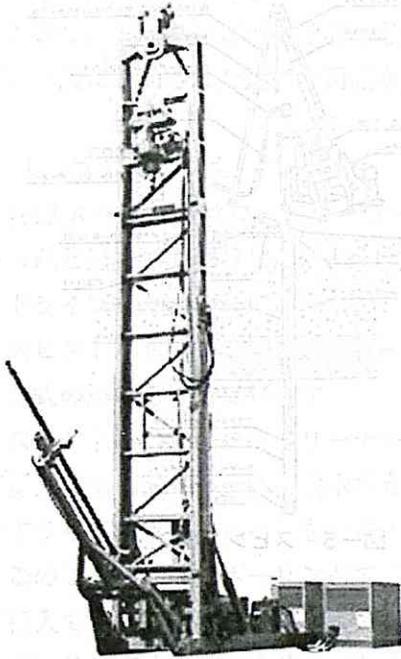


図-2 (2)-②トップドライブの例

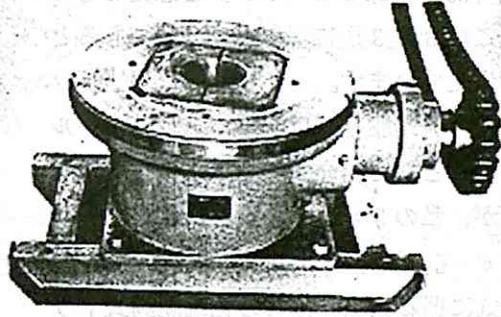


図-3 (2)-③ロータリーテーブルの例

掘削ビットの仕組みは、

- (3) - ① 切削 ダイヤモンドビットに代表される、削りながら掘るもの。
- ② 打撃 打撃で地盤（岩盤）破碎しながら掘る、削岩機の類。
- ③ 圧削 地盤に圧力を負荷し掘る、トリコンビットの類。

のいずれも、三種類に分類できると私は考えています。



図-4 左より切削・打撃・圧削ビットの各例

機械方式で①をスピンドル、②をトップドライブとしました。しかし、私の示す定義の機械とロッドの接続関係の違いから、スピンドルはロッドの側面をチャック等で締め付け連結する機構のボーリングマシン、トップドライブはロッドの端部をネジ等でボーリングマシンと連結するものと私は考えています。

用語的にはロッドが機械内を貫通するものをスピンドルタイプとし、非貫通型がトップドライブタイプとして一般的に通用しやすいと思えるから分類名称としました。

例外的や特殊なボーリングと思えるものも、この3×3類に解釈上は分類できると私は考えています。

ただ、先端駆動式は文献でダウンホールモーターとして紹介するところも最近見られるが、私の3×3の分類で一番悩むところです。先に紹介したロッド繋ぎなし1,000m一気に掘る仕組みはこの先端駆動式ドリルがあってこそ出来ることであります。

これも、ロッドを保持する仕組みから分類すれば、ロッド側面で保持することになるから②-①スピンドルの分類に入れられます。

そして、その組み合わせは幾通りにもなるが、最もポピュラーな組み合わせを文章表現で行うと、

(1)-①・(2)-①・(3)-①の組合せで、調査ボーリングはスピンドルタイプボーリングマシンを使用して切削で掘り、任意の深度で標準貫入試験などの調査の実施が容易である。

(1)-②・(2)-②・(3)-②の組み合わせで、工事ボーリングの工種であるグランドアンカーはトップドライブ式ボーリングマシンの一種ロータリーパーカッションドリルで打撃を付加した二重管掘削工法で殆どが施工されている。

(1)-③・(2)-③・(3)-③の組み合わせで、新潟平野の原油・天然ガスの採掘は、ロータリーテーブルを有したドローワークス掘削機を用いて、トリコンビット圧削で掘り進められることが一般的であった。

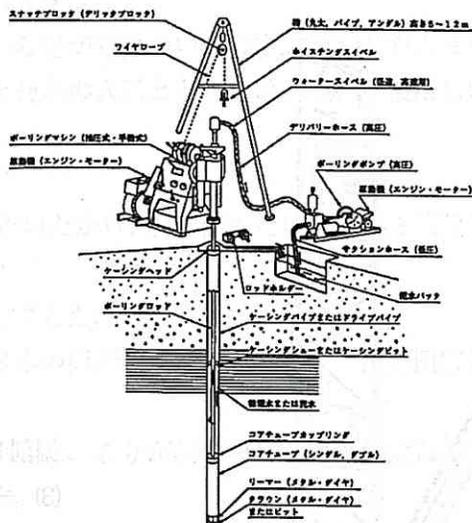


図-5 スピンドルの概念

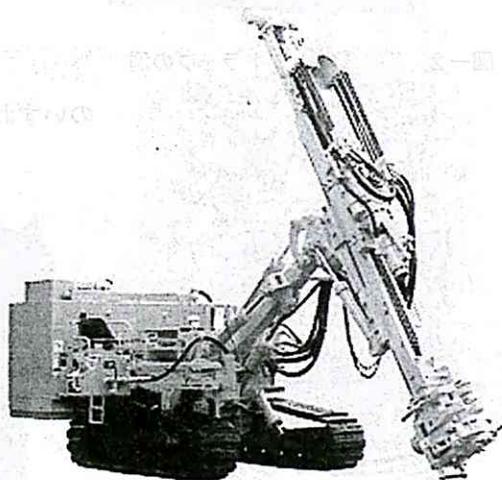


図-6 ロータリーパーカッションドリルの例

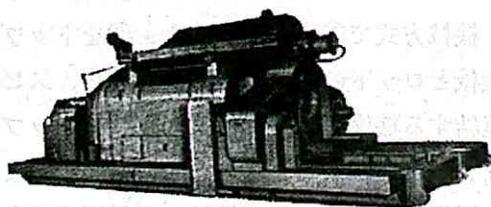


図-7 ドローワークス

という一例集が作成できます。

ここで、トリコンビットは商品名であり、オフィシャルで使用を避けるべきとも思ったが、一般に認知された適当な用語が見当たらないので使用しました。

### 3. トップドライブ式

資源ボーリングはロータリーテーブルが一般的であったと過去形で表現したが、現在の最新鋭機はトップドライブ式といわれています。

スピンドルおよびロータリーテーブルとトップドライブ式の違いを考えてみます。

スピンドルおよびロータリーテーブルがロッドの抜管挿入時に単位ロッドを複数本扱えるのに対し、トップドライブ式は単位ロッドを一本ずつしか扱えません。

このことは、調査ボーリングで長尺ロッド状態で抜管挿入で、コア回収の効率がよいだけではありません。

ボーリング技術の古典的基本とされる、ロッド接続時にビットを孔底に置いて送水を停止させずに、スピンドルおよびロータリーテーブルが可能であり、トップドライブ式が構造上不可能に近いからといえます。

しかし、最近のボーリングマシンはトップドライブ式が優勢となってきています。

工事ボーリングは効率優先が強く、面倒くさいスピンドルタイプを使用したBH（ボーリングホール）場所打杭工事は見られなくなったし、アンカー工事は極くまれな場合を除きロータリーパーカッションドリル施工です。

資源ボーリングは新潟でガス油を採掘している帝国石油や石油資源開発の最新鋭機はトップドライブ式です。

調査ボーリングにもトップドライブに移行する気運は高いです。

それは、トップドライブ式が扱いやすい点は、安全だからです。

扱いやすさは、単位掘削完了でロッドとドライブ機構（ドリルヘッド）を機械操作で切り離し、次のロッドを接続、この繰り返しで掘削していくシンプルさにあります。

安全性は操作の簡便性と、作業員の上下作業が基本的には無いことも大きいといえます。

欠点は、スピンドルなどと同等の作業をさせようとしたとき、ハイパワーで大掛かりな機械となること、専用機になりやすいことがあげられます。

時代の流れは、施工のスピードと安全性から、ボーリング業のトップドライブ化が進むものと思います。



図-8 トラックマウント水井戸機

#### 4. ロータリーパーカッションドリル

私達の身近なところで行われる地質調査ボーリングといわれるボーリングは、(2)-①スピンドルと(3)-①切削の組み合わせがもっともポピュラーといえます。

(2)-①のスピンドルタイプボーリングマシンはロッドがボーリングマシン内を貫通することから、ロッドの抜管挿入が容易です。

(3)-①の切削ビットはコアボーリングに適しています。

調査にはこの切削が重要であり、切削によるコアボーリングは調査ボーリングの基本中の基本ともいえます。

それに対し、(2)-②トップドライブと(3)-②打撃の組合せの一種にロータリーパーカッションドリル（これより以下、RPD）というマシンシステムがあり、主に工事用ボーリングに用いられます。

現在のグランドアンカー工事の掘削には極まれな場合を除きこの掘削機械が用いられています。

この掘削機のルーツは鑿岩（削岩とも書く）です。

孔を掘削する需要があり、ボーリングマシンが求められた歴史には、二つの出発点が見出されます。

一つは、深く掘って何かを求める。何かとは資源であり、地質情報などがそれです。削孔という表現が妥当に受け入れられると思われれます。

もう一つは、硬い岩石を切り崩すためや、トンネルとして掘り進めるためのダイナマイト装薬孔穿孔に用いられる鑿岩です。

削孔の掘削ビットの仕組みは(3)-①の切削および(3)-③の圧削が主力です。

この切削・圧削掘削の機械方式は(2)-①スピンドルか(2)-③ロータリーテーブルがおもに用いられてきましたが、近年の最新鋭機は(2)-②トップドライブ式といえそうです。

鑿岩は(3)-②の打撃により岩盤を砕くことで効率よく掘削を行う機械として発展してきました。機械方式は回転と打撃機能を有するドリルヘッドがガイドセル上を前後進する(2)-②トップドライブ式にならざるを得ませんでした。

削孔と鑿岩のイメージの違いは、

削孔 孔を作る。 → 泥水などで孔を保孔しながら掘り進む。

鑿岩 孔を明ける。 → 岩を打撃破碎しながら孔を明ける。

といえますが、歴史的違いを顕著に現在まで残す事例に、削孔の掘削回転方向は時計回りであり、しかし、鑿岩の回転方向は時計とは逆です。

そして、削孔と鑿岩の垣根を越えたのがRPDです。

削孔は孔が自立しない崩れやすい地盤を対象とした掘削技術といえる。鑿岩は孔が自立し、硬い岩盤をいかに早く掘削するかの技術であり、削孔対象地盤には不向きな工法とい

えました。

この鑿岩に不向きな削孔対象地盤に孔を作るイメージではなく、明けるというイメージで急速掘削を可能にしたのが鑿岩機的一种、RPDです。

それを可能にしたのが、RPDが有する二重管掘削機能です。

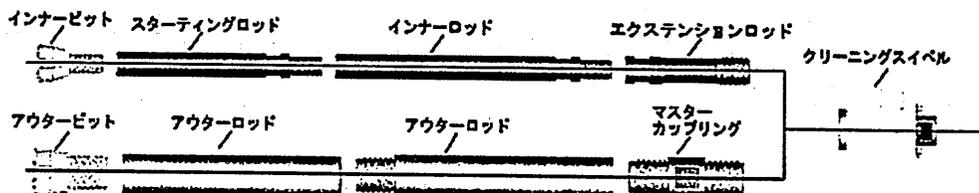


図-9 二重管掘削の概念

二重管掘削工法は内管ロッドと外管ロッドが同時進行で掘削を行い、掘削完了後、内管ロッドを抜くことで外管ロッドの内径分の孔が明いているという画期的な工法といえます。

二重管掘削は従来のスピンドルタイプ的一种にもありました。それは、保孔目的に使われるケーシングに掘削機能を付加した程度で、ケーシングでは掘削力に限界がありました。

対して、RPDの二重管は内・外管共にロッドであり、強い掘削力を示します。

この工法は従来掘削が困難とされていた。崩れやすい砂礫や玉石混じり層を極めてスピーディーに掘削します。

## 5. RPD調査

RPDは昭和40年代後半に国内メーカー二社が製造販売を行っていたと記憶しています。

RPD二重管掘削工法の新潟での本格普及は平成に入ってからといえます。

その普及のきっかけは内径3mの地すべり集水用井筒に入るRPDが造られたことに負う所が大きいと、私は考えています。

私は、昭和60年代に入り、RPDを製造販売するメーカーの工事に勤め、九州・山陰・新潟のトンネル現場でトンネル前方地質調査、いわゆるトンネル先進調査ボーリングに従事する機会が多くありました。

使用する工法はスピンドルタイプボーリングマシンによるワイヤーライン工法が主でした。

しかし、トンネル前方の地質が悪いと推定されるから行わないので、この工法は掘削力に劣り、立ち行かなくなることが多々でした。

そこで、RPDの掘削力を生かし、トンネル現場が休みの、土日の昼夜でトンネル切羽よりの掘削を提案実施しました。

しかし、RPD二重管掘削工法は二重管全断面掘削のノンコアボーリングです。

このノンコアボーリングであることは、トンネル先進調査ボーリングという、調査ボー

リングに対して致命的な欠点とみなされていました。

私は、社内でRPDによる調査ボーリングを提唱していたが、スライムによる岩種判別の不確実さや孔内計測を導入するに二重管の外管が障害となるなどの壁に当たっていました。

平成6年にRPDによるコアボーリング工法が開発されたと、設計からの連絡に、私の新潟での現場で初施工を実施しました。

この工法はRPDを使用するコアボーリング、パーカッションワイヤーラインサンプリング工法（以下、PS工法）といいます。

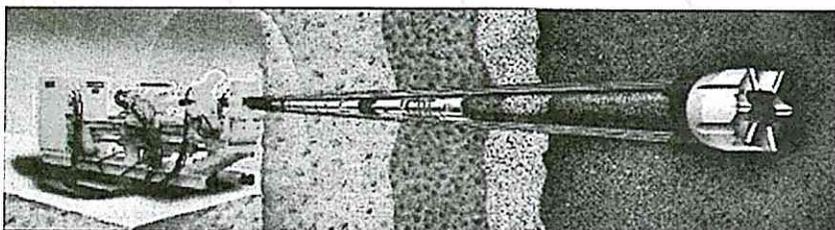


図-10 PS工法のご概念

PS工法は内管先端にコアサンプラーを装着、打撃回転で掘削、一単位コアボーリング完了後、ワイヤーラインでコアサンプラーを回収し、垂直の場合はサンプラーを吊下げ装着、水平の場合は水圧挿入で、次単位のコアボーリングに移るという手順です。

これにより、(1)-②・(2)-②・(3)-②の組み合わせによる従来工事ボーリング向きのシステムが調査ボーリングに本格参入することになります。

## 6. 我々の研究

我々とする、研究を共にするものは、私(馬場)が示すボーリング実務の現状に満足せず、RPD使用のPS工法による沖積地盤調査への適用を模索しました。

PS工法の姉妹工法にパーカッションワイヤーラインノンコア工法（以下、PN工法）のあることが判明しました。

PS工法はコアサンプリングを目的とするのに対し、PN工法はコアサンプリングする部分が全面掘削ビットとなっており、掘削は全断面ノンコアボーリングです。

計画深度掘削完了後内部(インナーアッセンブリー)を回収することでロッド内径を利

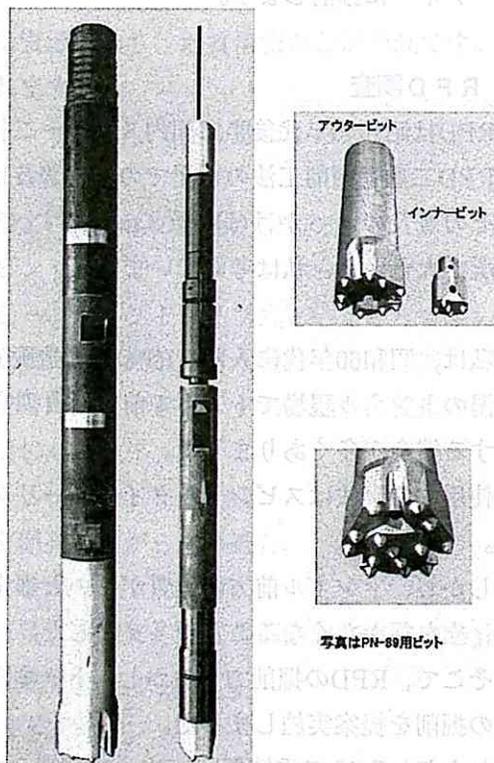


図-11 PNツールとビット

用したアンカー材や鉄筋などが挿入できる工法であり、工事ボーリング用の工法です。  
 しかし、工事ボーリング用PN工法は一単位掘削完了後に広い孔底面積が得られます。  
 その点を沖積地盤調査に生かせるのではと考えました。

研究発足の趣意として、

(1) N値相当

標準貫入試験より求められるN値、および貫入試料は地盤を評価する上で最初に把握すべき地盤情報といえる。

パーカッションドリルで標準貫入試験相当、それが行えないだろうか。

PS工法にはノンコアタイプのインナーチューブがある。これは、インナーチューブ先端が掘削ビットになっており、PSビットとともに全断面掘削を行い、インナー回収により、PSビット内径以内で地盤に対し計測センサーなどが挿入できる。本来、ロックボルト工事に開発されたものである。

PSノンコアタイプ（PN工法）を使用すれば、パーカッションドリルが苦手とする掘削途中でのロッドの挿入抜管なしで、連続貫入が可能と考えられる。

標準貫入試験の63.5kgハンマーを75cm落下させた時の打撃とパーカッションドリルの打撃の相関性を検証できれば急速簡易な地盤評価法の一つになると考えられる。

(2) 油圧パーカッション式貫入試験

仮称油圧パーカッション式貫入試験は、以下の部分からなる。

① 計測部

油圧力計測・長さ計測・時間計測からなる。

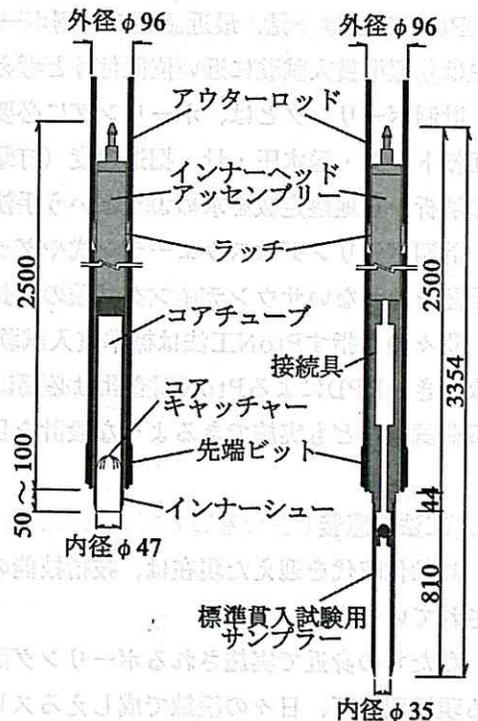
② 掘削機

既存のロータリーパーカッションドリルをベースマシンとする。

③ 試験器

標準貫入試験相当のサンプラーを地盤に貫入させて試験を行う。

試験の概略手順は、以下のとおり。



(a) コアボーリング時 (b) 貫入試験時 (P値測定時)

図-12 RPD連続貫入の概念

- ① 掘削 PSノンコアで試験深度まで掘削。
- ② インナー回収 ワイヤーラインでPSインナー回収。
- ③ 試験器投入 ロッド内に試験器を投入セット。
- ④ 試験実施 詳細な手順のもと試験を実施。
- ⑤ 試験器回収 ワイヤーラインで試験器を回収。
- ⑥ インナー投入 ワイヤーラインでPSインナーを投入セット。
- ⑦ ロッド接続 ロッドを継足、①に戻る。

ここで、ロータリーパーカッションドリルの急速削孔性を最大限に活用するため、試験途中でのロッドの抜管挿入が無い手順を確定する。

---

のもとに、平成17年4月より、これらの趣旨に集まる関係者で共同研究が開始されました。

## 7. 研究の概要

我々の、目指す調査方法はRPDの極めて簡易な操作性と掘削速度の早さに着目し、誰でもが行える標準貫入試験に代わる地盤調査方法であります。

工法名を（仮称）PtoN工法とし、この手法で得られる地盤定数をP値とすべく研究を重ねています。

PtoN工法は一見、最近話題の計測ボーリングの一種と見られそうであるが、我々は、やはり標準貫入試験に近い位置付けと考えています。

計測ボーリングとは、ボーリングに必要というか、ボーリング時に発生する、掘進圧・回転トルク・送水圧・量・掘進速度（打撃機能を有する場合は打撃圧）などを計測し、その解析から地盤定数を求めようという手法と解釈できます。

計測ボーリングはスウェーデン式やダッチコーン・ラムサウンディングなどの土層目視確認を伴わないサウンディング試験の延長上の試験方法と考えられます。

我々の目指すPtoN工法は標準貫入試験併用調査ボーリングと同等に土質サンプルが採取でき、RPDによるPtoN調査孔は必要に応じて、シンウォールサンプリングや孔内水平載荷試験なども実施できるような設計を目指しています。

## 8. 工法の意義

高齢化時代を迎えた現在は、技術技能の継承が途絶しようとする労働者環境が強く指摘されています。

私たちの身近で実施されるボーリング調査も、泥と油そして汗にまみれ風雨にさらされる現場環境下、日々の鍛錬で成しえるスピンドルタイプボーリングマシンを駆使する、過酷な労働環境です。

このような、標準貫入試験とその調査実務という技能継承が途絶える時が近いと危機感を強く抱いています。

RPDによるPtoN工法はその作業性のよさ、掘削の速さ、掘削力の強さ、そして、高い安全性が期待されます。

我々の研究はPtoN工法が実現することで、現場作業員が一定の教育のもとで調査業務を行えば、客先に高品質な地質情報を提供できるものを目指しています。

現状の研究経緯は、

- ① 昨年6月から、新潟市中心部のNEXT21に隣接して計画される超高層ビル地盤調査に基本仕様で臨み、その有効性を確認しました。
- ② その後、3回の試験施工でPtoN工法の基本となるP値の基礎研究を実施しています。

以上が活動の概要とその工法の意義と考えています。現状は基礎研究の段階を脱していません。

道半ば、目指す到達点は霞んで見えるか見えないかの状況ですが、その目指す意義は高いと我々は確信しています。

## 9. むすび

私は、今年4月末に離職し、現在は妻の農園で農業の手伝いをしながら、フリーターとして業界のお手伝いもさせていただいています。

離職後も関係者の理解の元、この研究会に席をいただき、新潟という地方から何かが発信できればとの想いと、そのようなことに微力ながら参加できていることに、生甲斐を感じています。

謝辞にかえ、研究を共にする主要な方々をご紹介します。

株式会社興和：柴田東、中野義仁、真島淑夫。

鉾研工業株式会社：木山隆二郎、生森敏、竹内久雄、梅本保博。

有限会社エンドレスライン：永井重樹。

近畿大学理工学部社会環境工学科地盤工学研究室：大野司郎  
敬称略。

最後に、新潟応用地質研究会で発表の場をいただき、有難うございます。今後の研究の励みにしたいと思います。

(参考文献)

- ・柴田等：効率化を目指したロータリーパーカッションドリルの地盤調査への摘要，土と基礎 第54巻 第4号 (2006)
- ・中野等：ロータリーパーカッションワイヤーライン工法による動的貫入試験第41回地盤工学研究発表講演集 (地盤工学会2006)
- ・地盤調査－基本と手引－ 地盤工学会 地盤の調査実習書改訂編集委員会平成17年4月
- ・中村小四郎著 試錐〔I〕昭和36年5月・〔V〕昭和54年6月 試錐研究会 (熊本大学工学部内)
- ・全国地質調査業協会連合会 ボーリングポケットブック (第4版)
- ・ボーリングマシン運転者必携 建設業労働災害防止協会 平成3年1月
- ・トンネル物語－技術の歩み－ 吉村恒 (監修) 山海堂2001年12月
- ・秋山昌夫・唐沢廣：ボーリング技術の最前線2. ボーリング技術の基礎，土と基礎 第54巻 第4号 (2006)
- ・鉦研工業ホームページ<http://www.koken-boring.co.jp/>
- ・鉦研工業社内技術資料
- ・ボーリングツールズ 神林鐵工製品カタログ
- ・地質ニュース 1989 7 特集超深度試錐：地質調査所編通巻419号