

# 施工中のトンネルにおける先進ボーリング調査

株式会社エーティック ○清水 義博、港 高学

## 1. はじめに

山岳トンネルの施工では、地山条件の予知と把握が極めて重要である。設計時の地質等調査結果と施工時の状況は必ずしも一致するとは限らない。また、トンネル掘削作業における熟練工は不足しつつあり、経験的な危険予知意識の薄れから安全性が低下する懸念がある。そのため北海道内で施工される道路トンネルでは、原則として設計時調査に加え、施工中調査としてトンネル切羽からの先進ボーリング調査がトンネル全線で行われている。

先進ボーリング調査では、ボーリングコアによるトンネル切羽前方の地質状況を把握する。またボーリング孔を利用した原位置試験および採取コアの室内試験により物性値を把握する。この先進ボーリング調査結果より、直近切羽前方の地質評価を行いトンネル施工が安全、確実に行われている。

併せてトンネル掘削による発生土の処理を検討するために、採取したコアを用いて化学分析が行われている。

また、先進ボーリング孔は、地山の地下水に対する水抜き効果もあり、施工時の突発的な湧水を防止し、施工上の安全性向上にも繋がっている。

## 2. 先進ボーリング調査内容

### (1) 調査項目

#### 1) ボーリングコア採取

ロータリー式ボーリングによるオールコア採取を行い、岩質、断層破砕帯、褶曲構造、変質帯等の分布・性状の詳細の把握、ガスなどの性状把握、地山試験試料の採取を目的としている。

#### 2) 原位置試験

ボーリング孔を利用して、プレッシャーメータ試験、孔内P波速度検層を行い、原位置での地山の特性を把握することを目的としている。プレッシャーメータ試験では、取得した変形係数によるトンネル掘削時の変形特性を検討する。孔内P波検層では、当初の地山区分の再評価、緩み領域、地層の亀裂、変質の程度、岩盤としての強度を検討する。

#### 3) 室内試験

ボーリングコアより試験試料を採取し、室内試験を行い地山の特性を把握することを目的としている。

室内試験は、通常は一軸圧縮試験、超音波伝播速度測定、単位体積重量試験、吸水率試験を行い、地質の物理的・力学的特性を検討する。また、脆弱地山や膨張性が懸念される地質の場合には、三軸圧縮試験、浸水崩壊度試験、X線回折試験、陽イオン交換容量(CEC)試験を実施する。

#### 4) 化学分析

ボーリングコアより分析試料を採取し、土壌汚染対策法に準じた重金属等項目について分析を行い、トンネル掘削発生土の処理検討のための資料を取得することを目的とする。

### (2) 地山判定

地山判定は、日本道路協会および北海道開発局の地山分類の項目に基づき、前述の調査内容から主に以下の項目により判定を行う<sup>1)</sup>。

- ・岩種、岩質 ・水による影響
- ・不連続面の間隔、状態 ・コアの状態、RQD
- ・弾性波速度 ・亀裂係数 ・準岩盤圧縮強度
- ・粘着力 ・内部摩擦角 ・変形係数
- ・ポアソン比 ・地山強度比

以上の項目の結果と、設計時のデータとを比較し総合的に地山判定を行い施工管理にフィードバックし、適正なトンネル支保パターンを選定、対策工等を決定する。

### (3) 調査頻度

各調査項目の調査実施の頻度を表-1に示す。なお、頻度は、トンネル掘削延長に対するものである。

表-1 調査実施頻度・間隔

項目	頻度・間隔
ボーリング	90~100mに1回
プレッシャーメータ試験	90~100mに1回、または地質毎
孔内P波検層	90~100mに1回
室内試験	90~100mに1回、または地質毎
化学分析	10m毎に1回

化学分析の試料は、図-1に示すように先進ボーリングコアから10mを1区間として、2m間隔で採取した5試料を均等配合して1試料とする。分析結果による処理検討は、トンネル掘進長10m単位で判定する。

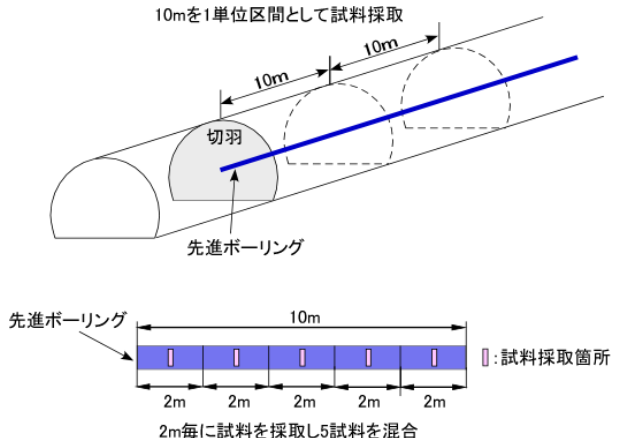


図-1 化学分析の試料採取

### 3. 調査時施工サイクル

先進ボーリング調査は、施工中のトンネル切羽から行うため、切羽でのトンネル工事作業を休止して行われる。通例的に切羽での調査期間は、2日間ないしは3日間が標準となっている。現地作業は、通常のトンネル掘削工事作業と同様に昼夜の2交代制で行われる。

1回あたりの調査深度は、不良地質、多量湧水等の問題がない場合には前項の調査頻度から100mが目安となる。

表-2に調査1回あたりの標準的な施工サイクルを示す。

表-2 先進ボーリング調査施工サイクル

日数	時間	作業内容
1日目 昼	7:00~11:00(4時間)	資機材搬入・掘削準備
	11:00~16:00(6時間)	掘削作業
1日目 夜	19:00~6:00(10時間)	掘削作業
2日目 昼	7:00~18:00(10時間)	掘削作業
2日目 夜	19:00~6:00(10時間)	掘削作業
3日目 昼	7:00~11:00(4時間)	掘削作業
3日目 昼	11:00~15:00(3時間)	検尺・試験
	15:00~18:00(3時間)	資機材撤去・搬出

### 4. 調査時の作業効率向上

先進ボーリング調査は、制限のある時間内に所定深度の掘削が必要となる。そのため、調査時には以下の事項により作業効率を向上している。

#### (1) 原動機の変更

ボーリングマシンは、市販のものを使用しているが、動力をエンジンから電気式モーターに換装している。またプーリーの変更を行い高回転、高出力での掘削を可能としている。スピンドル回転数は、インバーター（写真-1）により制御し、回転数を通常の倍程度までに上げ、掘進率を上げている。

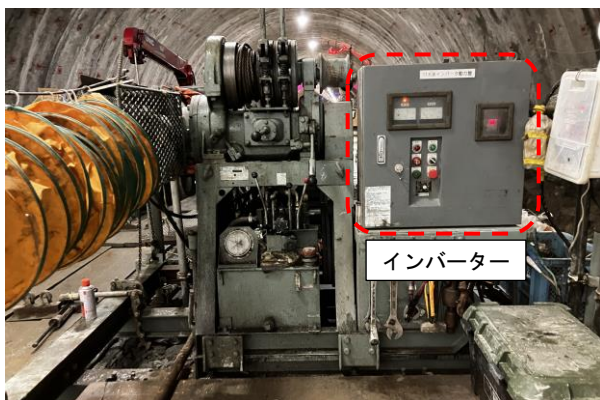


写真-1 回転数制御のためのインバーター追加

#### (2) 掘削ツールズ

掘削ツールズには、市販品の他、以下の特注品や改良品を使用し、作業量の向上を図っている。

- ・掘削ビット：調査対象トンネルの地質に併せた特注品
- ・リーマー：切粉（スライム）の排出を向上させるために通常より外径を大きくした改良品
- ・ダブルコアチューブ：掘削1サイクル当たりの掘削長を長くするためのチューブ長さ3m程度の特注品

#### (3) ボーリング架台

ボーリング架台は、先進ボーリング専用のものを製作し作業効率を向上させている。架台制作の工夫点は以下の通りである。

- ・ボーリングロッド脱着回数の減少：ボーリング架台の全長を6m以上とし、ロッドの脱着を6m（3.0m ロッド×2本）毎に実施
- ・架台のユニット化：ボーリング架台を2つまたは3つにユニット化し、設置時間の短縮、安全性を向上
- ・反力確保：架台自体をボーリング掘削の反力としてアンカー等の設置を省略し、掘削作業の時間を多く確保  
写真-2 に架台の使用状況を示す。



写真-2 ボーリング架台

#### (4) その他

原位置試験の孔内P波速度検層は、自社制作の受振器（写真-3）を塩ビ管に接続して連続的に孔内に挿入し、不安定な孔壁への対応、塩ビ管と受振機を同時に引き抜きながらの測定により測定時間の短縮を図っている。



写真-3 孔内P波検層受振機

以上の対応により、掘削時間の確保及び作業効率の向上により時間当たり3~4mの掘削ができ、短時間で調査深度100mの調査を可能としている。

### 5. まとめ

先進ボーリング調査は工事施工中の調査となるため、短期間調査の工夫や作業の安全性の向上が重要である。また、建設業界における働き方改革への適応も重要な課題である。

そのため、今後もさらなる工夫、改善を行い進化していければと考えている。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 北海道開発局道路設計要領 第4集 トンネル（2024）：北海道開発局