

# トンネル岩盤調査の実例と課題

住鉱コンサルタント(株)  
 ○荒木強・田村正春  
 佐々木孝雄・川西繁

## 1.はじめに

近年、道路の立地が山地へとシフトするに伴い、トンネル計画は長大化する傾向が強まっている。トンネル長大化は、必然的に不可知域の拡大につながるようになる。同時にTBMの一般化により施工時のリスクを極力低下させることが至上命題ともなっている。

本発表では、トンネル調査事例から、従来の調査手法の問題点(特に物理探査)について述べ、今後の地質調査のあり方について考える。

## 2.事例

### (1)事例1:Aトンネル

#### a.概要

トンネル延長:1340m、最大土被り80m

地質:第三紀の凝灰角礫岩主体

調査内容:弾性波探査、ボーリング、室内試験、JFT

#### JFT

調査結果:弾性波探査により確認された低速度帯付近で、ボーリングにより断層の分布を確認。湧水量はJFTにより推定し、幾つかの地下水ブロックの存在を予想。

#### b.施工との対比

湧水量についての施工資料は入手出来なかったが、施工時と調査時における地山分類の対比は図1のようになった。

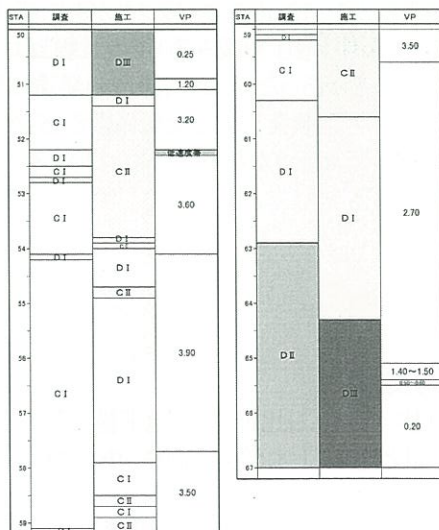


図-1 調査時と実施工の地山分類

STA52付近は調査段階では、弾性波探査の低速度帯をボーリングにより調査し、小規模な断層破碎帯と判断してD Iとしたが施工時には1ランク良質な岩盤(C II)が露出連続して分布した。また、始点側について調査時にはC Iと予想したが、施工時にはDが主体となった。終点側は調査時とあまり差はない。

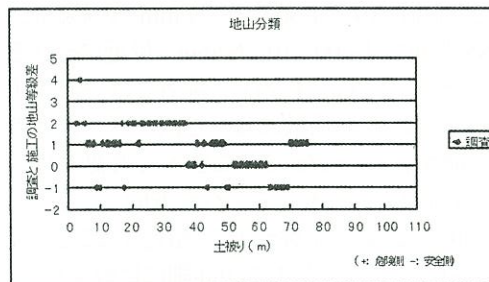


図-2 調査時と施工時の地山分類差

図2は地山分類のランク差を土被り厚に対してプロットしたものである。土被り厚に対する相関は認められないが、調査による予想は相対的に危険側になっている。

#### c.評価と問題点

トンネルの地山分類は通常①地質状況、②弾性波速度および③地山強度比(一軸圧縮強度)から推定される。地質状況と地山強度の予測は調査頻度を上げることにより、より実際に適合した成果が得られると考えられる。一方で、弾性波探査は、いくら精度を望んでも、上部に弾性波速度の速い層があると下部の低速度層は検出されないという限界がある(ブラインドレイヤー)。

Aトンネルのケースで、予測と実際が大きく異なるのは、STA54~58区間で、弾性波速度が3.9km/secであるにも関わらず実際の地山分類がD Iとなっている。通常、地山弾性波速度が速い場合には、良質な岩盤が分布すると判断し、後続調査は行わない。一方、終点寄りの若干遅い箇所についてはボーリング等の後続調査が詳細に実施され、地山の状況を確認しており、比較的予測と適合した結果となった。

以上のように、地表の弾性波探査では、問題点がブラインドレイヤーとなり、異常箇所を正しく



抽出するのは難しい。

d. 解決策

上記問題点を回避するためには、ボーリング孔を利用したトモグラフィーを利用するか岩片のP波速度を測定するなどして精度を上げることが考えられる。

また、地下深部の状況を上部の地質に関わらず把握する手法として、電気探査が有効な場合もある。

(2) 事例2: Bトンネル

a. 概要

トンネル延長: 約2500m

(調査区間: 終点側抗口部250m)

地質: 第三紀の泥岩、砂岩および礫岩

調査項目: ボーリング、速度検層、高密度二次元電気探査、弾性波探査

調査結果: 空中写真判読で推定された断層が、弾性波探査と電気探査両方で確認された。電気探査ではこのほかに2つの断層の存在が推定された。

表-1 トンネル地山状況の推定

| 距離     | 200+05                    | 200+05       | 200+20     | 200+20  | 200+50       | 200+50 | 200+65     | 200+65 | 200+90 | 200+90  | 201+30 | 201+30 | 201+40 | 201+40 | 201+50 | 201+50 |
|--------|---------------------------|--------------|------------|---------|--------------|--------|------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| トンネル構造 | 一般部                       |              |            |         |              |        |            |        |        |         |        |        |        |        | 抗口     |        |
| 比抵抗分布  | 20                        | 低比抵抗部 (10以下) |            | 10前後    | 低比抵抗部 (10以下) |        | 2~10       | 10~20  | 低~高    | 2~10    | 20以上   |        |        |        |        |        |
| 弾性波速度  | 3.0                       | 1.8          |            | 2.0~2.1 |              |        |            | 1.3    |        | 0.8~0.9 |        |        |        |        |        |        |
| 地層     | 砂岩                        | F-1断層        | 礫岩         | F-2断層   | 泥岩           | 砂岩     | F-3断層      | 泥岩     | 礫化砂岩   |         |        |        |        |        |        |        |
| 地山分類   | C                         | D            |            |         |              | C      |            | D      |        |         |        |        |        |        |        |        |
| 記号     | 幅200mの断層破砕帯<br>集中湧水の可能性あり |              | 集中湧水の可能性あり |         |              |        | 集中湧水の可能性あり |        |        |         |        |        |        |        |        |        |

b. 評価と問題点

弾性波探査では抗口から一般部に向かって次第に速度が速くなり、より良質な岩盤が分布することを示している。STA200付近に低速度帯が確認された。

電気探査では、比抵抗値の不連続面として3つの断層が推定された。また、既存ボーリング結果と比抵抗値を照らし合わせることにより、明瞭に岩相変化を捉えることが可能であった。

電気探査は弾性波探査に比べ、地質の電気的性質が明瞭に異なれば、より複雑な地質構造を把握するのに有効である。しかし、比抵抗分布が即座に地山分類へ反映されにくいという問題点がある。トンネル調査において、比抵抗分布を指標とした地山分類を、弾性波探査(Aトンネルのようなケースもあるが)と同様に行えないかどうかについては各方面で検討しているがex. 2、定量的な評価が難しいのが現状である。Bトンネルでは断層付近でDランク、その他の部分ではCランクとしたが、定量的評価が難しいためこれ以上の細分は無意味であ

ると判断した。

電気探査結果を地山分類へ反映させるためには多くの実績を収集して、過去の実績に併せているのが現状である。

弾性波探査は地山分類のパラメーターとして定義しているが、ブラインドレイヤーの存在等により必ずしも地山状況を明確に反映しないことがある。

電気探査では結果(比抵抗断面図)について定量的評価が難しいという欠点があるが、地質的なバックグラウンドを正しく認識しきちんと測定を行うことによりアノマリーを見逃す危険は少なく、リスクを考える上で有利である。また、探査深度による誤差も比較的少ない。

いずれの物理探査方法でも、ある程度の精度で地下深部の地質状況を二次元あるいは3次的に推定することは可能であるが、必ずしも不可知域が無くなる訳ではなく従来から指摘されているように結果がどのような地山状況を反映しているのかについて、適切な判断が必要であるex. 3。

通常のトンネル掘削(例えばNATM工法など)であれば、調査結果と実際の施工が異なっても、施工現場の対応でトンネルが完成しているのが現状であるex. 4。

TBM工法は突発的な状況に対応できない場合もあり、何らかのアクシデント(異常湧水など)が発生した場合に多大な被害が発生する恐れがある。これに対しては、どのようなリスクが存在し得るのかを的確に把握できる調査が必須と考える。

3. 長尺ボーリングの有効性と現状

深部地質状況を知る上で有効な地質調査として長尺ボーリングが挙げられる。この手法は資源分野では有効な探査手法として活用されてきたが、土木分野ではコストの面からあまり用いられていないのが現状である。

水平ボーリングは事前調査段階で、地質状況にもよるが、1000mまでなら、地質状況の把握は可能であり、MWD等の技術向上により得られる情報量は飛躍的に向上する。また、少なくとも水抜き孔としての機能は地質情報の如何に関わらず確保される面も評価される。TBM工法で掘削されている長大トンネルでは、リスクを低減するために、水抜き孔としての水平長尺ボーリングを実施し、地下水および地質状況を把握し、施工に大いに貢献している。

水平長尺ボーリングは掘進長が増すと非常に高価になるという問題点があり、これの使用には施工時のリスク評価と合わせて総合的に

判断する必要がある(現在は1000mを3ヶ月で掘削するという試みもなされつつあり、飛躍的に技術レベルは向上している)。

#### 4.おわりに

現状の調査手法では、地下深部の地質状況を明言するのは不可能であるが、実施工と異なっても構造物が出来たから良いというのは悲しい。NATM工法では調査不要論まで出始めているようであるが、このような状況で事前の地質調査の重要性と最適な調査手法を提案するためには、どのような条件で、どのような段階で、どのような調査手法が最適かを示す必要があると思われる。

今後は従来の調査手法を見直す姿勢が必要となると思われる。調査結果と施工結果を対比し、問題点をチェック(フィードバック)し、調査精度を向上させ、不可知域の的確なリスク評価が必須と考える。

#### <参考文献>

- 1.西牧均ほか(1999)「岩石・岩盤の比抵抗とその工学的性質との関係について」
- 2.(社)日本道路協会ほか(1996)「トンネル地山の電気・電磁探査—二次元比抵抗探査手順(案)—」
- 3.(社)土木学会(1996)「トンネル標準示方書 山岳工法編」
- 4.(社)地盤工学会(1999)「NATMにおける予測と実際」