

連続穿孔検層に基づく地山情報の先取りと実施工への応用

阪神高速道路公団伏見工事事務所

井手口昭

鹿島・大成建設工事共同企業体

正会員

○福田博之

小池健生

1. はじめに

山岳トンネル工事において先山状況を予測し、その結果を施工にフィードバックする方法は、安全かつ確実に施工を進めていく上において不可欠なものである。しかし、現実的には地表面弾性波探査法等に基づく発注段階での地山想定や日々の切羽観測を通じての先山予想が主体であり、地山変化の著しい環境下でのトンネル工事などでは、地山情報が不確実であった結果、地山崩壊・支保の変状など問題点を引き起こす場合も少なくない。

当稲荷山トンネルは、最大土被り 120m、山岳部施工延長 1460m（トンネル総延長 2500m）であるが、従前の地質調査結果（頁岩・粘板岩・チャートの混在、ひん岩の貫入、大小十数箇所の低速度層の存在）と初期掘進段階での施工実績から地山の複雑さが指摘されてきた。加えて、京都市の幹線水道トンネル直下を交差すること、地上には伏見稲荷大社を取り巻く「行場の滝」と小河川があることなどから周辺環境も視野に入れた情報化施工が求められてきたものである。本報文では、切羽面からの連続的なプレボーリングによる地山情報の先取りを通じて、掘削方式・補助工法・支保構造等を事前にプログラムして施工を進めてきた実績と応用例について報告するものである。

2. 前方探査用ツール

従来から、トンネル掘削に合わせた前方探査技術としては、コアボーリング、ノンコアボーリングに代表される直接法や、反射波を使った間接法が使用されてきたが、作業時間、コスト、投資対効果などの問題から、実施する領域も特定箇所に限られていた。しかし、地上水を中心としてトンネル工事の影響範囲が広域に及ぶ可能性があった本工事では、1) 切羽崩壊を発生させないこと 2) 突発性の大量湧水を発生させないことが重要課題であり、このためには、先行して掘削対象地山の地下水位を低下させるとともに切羽深度毎の地山状況を事前評価しながら施工を進めることが求められた。これを受けて、先行水抜きと先行地山の定量評価が同時に可能となる「削孔エネルギー検層」を前方探査用ツールとして導入してきた。

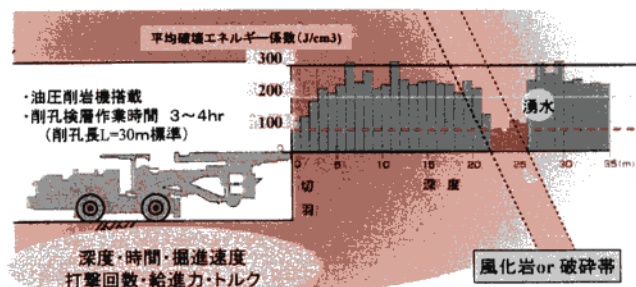
3. 削孔検層と応用例

削孔検層は、油圧ドリルを用いて岩盤を削孔（ノンコアボーリング）する際に得られる削孔データ（削孔速度・打撃回数・打撃圧力等）が岩盤の性状によって変化することを用いて、岩盤を評価しようとする手法であり、定量的な基準として破壊エネルギー係数が用いられる。（図－1）

■破壊エネルギー係数

$$Ev = \frac{Es \times Ns}{Vd \times Ar}$$

Ev：破壊エネルギー係数
Es：1打撃当たりの油圧ドリルの仕事量
Ns：単位時間当たりのピストン打撃回数
Vd：掘進速度
Ar：削孔断面積



図－1 破壊エネルギー係数と削孔検層概念

キーワード；NATM，削孔検層，先行ボーリング，前方探査，地山評価

連絡先；〒607-8211 京都市山科区観修寺東栗栖野町10 TEL. 075-502-4601 FAX. 075-502-4604

実施工では、標準削孔検層長を30mとし、5mのラップ長が確保できるよう25m進捗毎に検層用の削孔を繰り返して行った。これらの結果は、図-2に示すように、平均破壊エネルギー係数と深度の関係を中心に整理した。さらには、削孔作業の際に同時得られる湧水、スライム、ジャミングの有無などの情報や、別途実施した長尺水抜きボーリング結果を重ねて表示することにより、削孔深度毎の「岩盤状況（風化程度）」「不透水層（粘土等）」「地山自立性の良否」をある程度予想することが可能となった。これらの予想は、実掘削の結果を受けて検証できるため、削孔検層データの解釈は経験が増すごとに確度が上がり、稲荷山トンネル工事では図-3に示すような大きな指標を得ることもできた。

このように、地山情報を先取りすることで、

- 1) 複数のボーリング孔による立体的な地山予想
 - 2) 追加ボーリング（先行水抜き）の要否判断
 - 3) 補助工法必要領域の予想（事前準備）
 - 4) 支保構造変更位置の予想
 - 5) NATM工区～シールド工区境界の判断
- など、実施工への応用が早期段階から可能になり先に示した課題解決と合わせて合理的な対応が可能となった。

4. 今後の課題

これまで、地質の複雑なトンネル工事においては、湧水・鏡面の自立性などの問題から補助工法の採用や支保構造変更は不可欠であった。しかし、それらは施工上の不都合な現象が発生した後の対応である場合が多く、後手に回ることによって必要以上のエネルギー（時間・コスト）がかかるケースもあった。また、補助工法のグレード変更や、終了地点を判断する場合にも客観的な評価が難しく、現象に基づいた経験的判断に頼らざるを得ない面も指摘されてきた。

今回採用した削孔検層の総施工延長は約2000mに及び、施工実績を積み重ねることで、切羽前方地山の評価をノンコアボーリングレベルにおいて精度良く行うことができた。汎用機械により、掘削サイクルへの影響も比較的小さい本手法は常用可能な前方探査技術と判断することができる。この結果、施工性・安全性・経済性の面において、より地山状況に適合した合理的な支保・工法選定が可能になったものと考えられる。

特殊条件を持たない山岳トンネルの工事では、前方探査という概念は薄い。しかし、総合評価という観点から、先山情報をより積極的に採取しながら、合理的なトンネル施工を目指していくには、従来の切羽観察・評価手法と合わせた連続的かつ客観的な地山評価技術の確立が今後の課題と思われる。

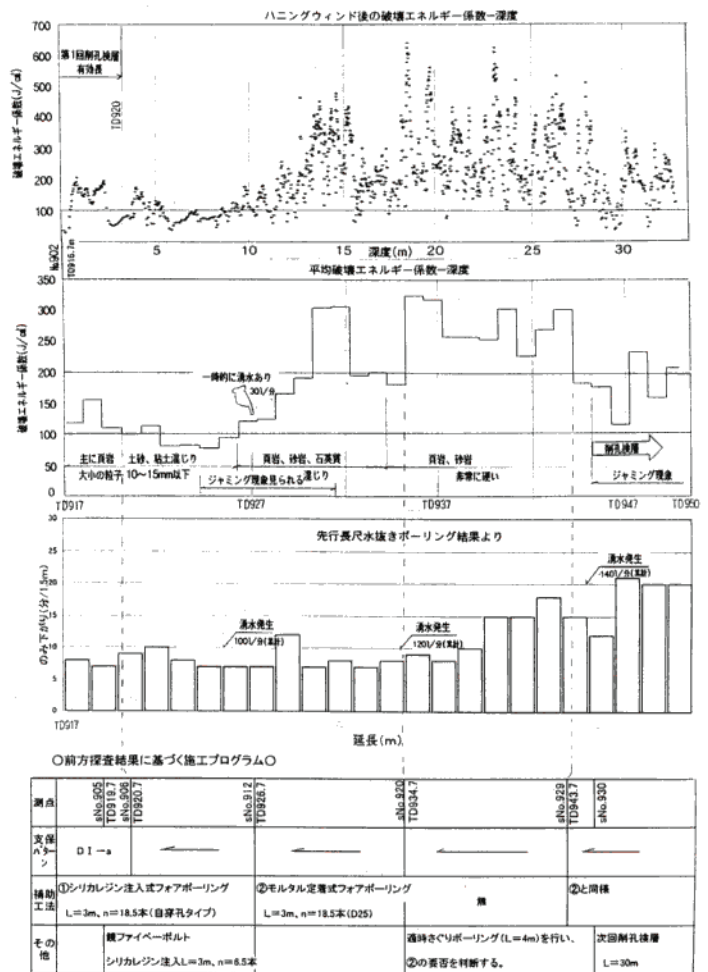


図-2 削孔検層に基づく

削孔深度毎の破壊エネルギー係数分布

- ① 破壊E係数 ≤ 100 J/cm³ ; 粘性化不透水層
- ② 破壊E係数 ≤ 200 J/cm³ ; 風化度進行地山
- ③ 破壊E係数 > 200 J/cm³ ; 弱風化岩盤

図-3 稲荷山トンネルにおける
破壊エネルギー係数～地山性状の関係