山岳トンネル切羽前方穿孔探査システム（DRISS）の適用

戸田建設(株)　正○　杉内 仁志
戸田建設(株)　正　　石垣 和明

１．はじめに

徳山ダムは岐阜県北西部に位置し、揖斐川の洪水調節・流水の正常な機能の維持・新規利水・発電を目的として建設中のロックフィル式の多目的ダムである。現国道 417 号線の水没に伴う付替道路は、全線約 9.5km ありそのうち 6 本のトンネル(約 7.2km)が計画されている。本トンネルは、このうちの 1 本で、全長 L=1630m の 6 号トンネルに対し、終点側坑口より、L=1153m を施工するものである。

地質調査は、地表踏査、ボーリング調査及び弾性波探査を実施し、速度値として岩盤物性を捉え同時に断層破砕帯等の速度低下部について全線を網羅して連続的に確認することが基本となっているが、一部民地への立入ができなかったため、終点側坑口より 250m区間を除いて弾性波探査等の詳細事前地質調査が未実施の状態でトンネル工事が発注となった。

特に山岳トンネルで問題となることの多い断層破砕帯等局部的な脆弱部に関しては、地表踏査だけでは、トンネル位置での推定に限界があり、施工上のトラブルを避け、切羽作業の安全を確保する上で問題となる。また、事前に地質状況を予知することで経済的で適切な支保パターンを設定することが求められており、前方地質予知と地山の合理的評価のため、『穿孔探査システム（DRISS）』を適用し、掘削を行った。

２．穿孔探査システム（DRISS）の概要

本システムは油圧式削岩機の穿孔データを収集し、得られたデータから穿孔区間の地山性状を評価するシステムである。計測する穿孔データとしては、穿孔油圧（フィード圧、回転圧、打撃圧およびダンピング圧）および穿孔油量（フィード距離、穿孔速度）などが挙げられる。これらを地山評価に利用する目的で種々のデータに変換し、目視データとともに地山状況の想定を行う。

2.1 穿孔速度（のみ下がり）

穿孔時にビットが進む速度で、この速度が大きいほど脆弱ないし軟質な地質であると判断できる。

2.2 穿孔エネルギー

単位体積あたりの岩盤を穿孔するのに要したエネルギー量を示し、より硬質な岩盤ほどより多くの穿孔エネルギーが必要となる。以下にその定義を示す。

$$\text{穿孔ｴﾈﾙｷﾞｰ}Ed(J/cm^3)=\frac{\text{打撃ｴﾈﾙｷﾞｰ}Ep(J)\times\text{打撃数}Cp(bpm)\times\text{損失係数}K}{\text{穿孔速度}Vd(cm/\min)\times\text{孔断面積}S(cm^2)}$$

$$\text{打撃ｴﾈﾙｷﾞｰ}Ep(J)=\text{ﾋﾟｽﾄﾝ受圧面積}A(cm^2)\times\text{ﾋﾟｽﾄﾝｽﾄﾛｰｸ}L(m)$$
$$\times\text{打撃圧}Pp(kgf/cm^2)\times 9.80665(J/kg\cdot m)$$

2.3 穿孔反力（ダンピング圧）

穿孔時に岩盤から削岩機に伝わる反力で、この反力が小さいほどより脆弱層であると判断できる。

2.4 回転圧

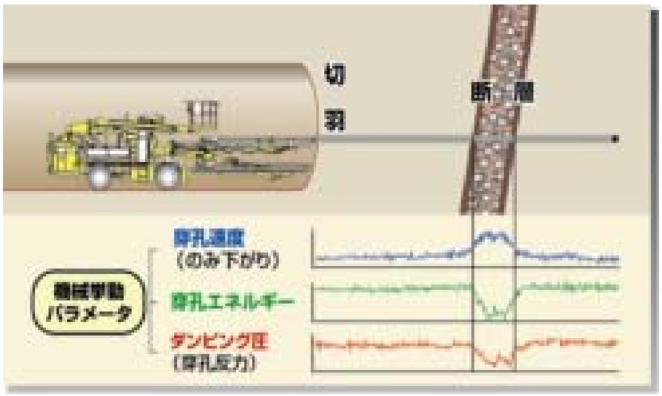
ビットを回転させるために加えられる圧力で、この圧力が高くなると脆弱層や粘土層の出現などの何らかの地層の変化があると判断できる。

2.5 スライム（くり粉）の性状

ロッド１本（3.0m）区間毎に孔口から採集したくり粉の性状から、区間内の地質状況を把握する。

2.6 区間湧水量

ロッド 1 本区間毎に孔口からの湧水量を求め、区間内の地山からの湧水量の推定を行う。



図ー1　地山状況の変化に伴う地山評価パラメータ

キーワード：トンネル　切羽前方探査　DRISS　NATM
連　絡　先：名古屋市東区泉１－２２－２２　戸田建設(株) 名古屋支店　TEL052(951)8543　FAX052(961)4543

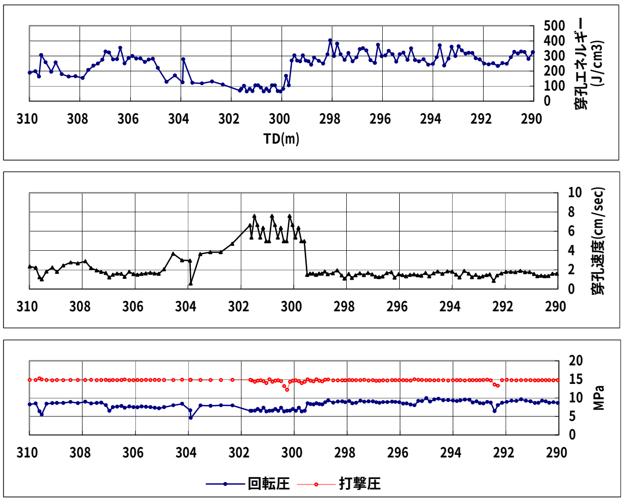
３．探査結果

施工上の問題が懸念される断層破砕帯等脆弱部の存在と、その位置を予知し事前に対応を行うため、20 回の穿孔探査（DRISS）を併用し約 1100m のトンネル掘削を行った。

3.1 断層破砕帯等局部脆弱帯の確認

現地で実施した地表踏査により、TD290m 付近に出現することを予測した断層があったが、掘削では予想位置より 10m 程度ずれて出現した。

図-2 の TD300m～304m に示すように、巾 4m の小規模な破砕帯を伴うもので、穿孔探査では当該深度で 100J/cm³ まで穿孔エネルギーが低下し、穿孔速度の上昇が見られることから、事前に断層の存在を予想した。



図－2　断層区間穿孔探査データ

当該箇所手前の区間は、『ＤⅠ』パターンと同じ上半鋼製支保工を伴った『ＣⅡb』パターンで施工した。断層予想区間への対策は、破砕帯の状況と変位状況に応じ、下半鋼製支保工を設置し『ＤⅠ』パターンとすることとし、引き続き『ＣⅡb』パターンで施工するものとした。

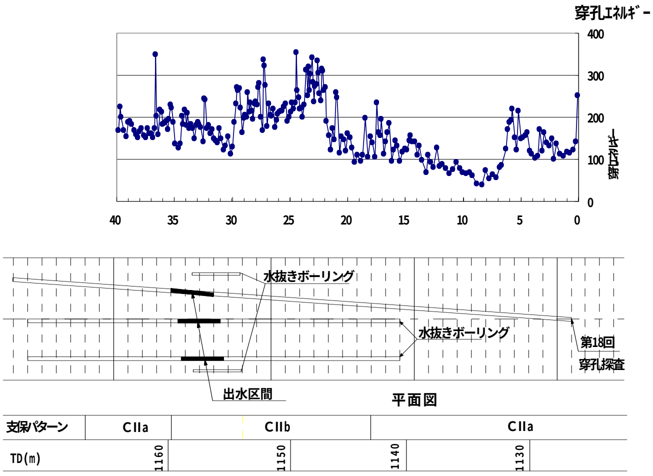
掘削の結果、破砕帯の巾が DRISS 測定結果と同様に 4m 程度と狭く、坑内変位の増大もなかったため『ＣⅡb』パターンで通過した。

3.2 湧水を伴った亀裂質帯の確認

図-3に示すTD1126mからの第18回穿孔探査の際、深度 30m より 200L/分の湧水を確認した。当面 14.4m 上半掘削を進めた後、TD1140.5m から再度水抜きボーリングを実施し、ほぼ同等の湧水を確認した。当該深度で、穿孔エネルギー値が再度低下していることに加え、出水箇所が、穿孔探査孔と水抜き孔の 3 孔で直線上に並ぶことから断層とこれに伴う破砕帯を予想した。

支保パターンは現行の『ＣⅡb』パターンを継続するものとし、断層予想位置近傍から再度短尺の水抜きを行い、水抜き孔からの湧水量が、50L/分以下となったことを確認し、掘削を進めた。

掘削の結果、当該部分は断層破砕帯ではなく、玄武岩の亀裂質帯で、開口した亀裂から湧水を伴っており、天端や鏡の安定性に支障をきたすことなく無事通過することができた。



図－3 穿孔探査エネルギー－湧水位置関係図

４．おわりに

『掘ってみなければわからない』といわれることの多いトンネル工事では、『先山がわからないから』安全側の判断に偏る傾向があったように思う。

逆に正確に地山状況を事前予知することで、的確な判断に繋がり、これが原価低減に結びつくところの効果が大きいと考える。

今回、崩壊や押し出しなどを伴う施工上問題となる断層破砕帯などの脆弱部はなかったが、3 箇所の軽微な破砕帯や湧水を伴う亀裂質帯を事前に検知し、対策を行い、掘削を進めることができた。特に、穿孔探査の結果として湧水帯を検知し、穿孔探査データと併せての事前の対応から、無事に施工できたことは、山岳トンネルのトラブルが、湧水を伴う場合に被害規模が大きくなることを考えると、意義が大きいと思う。

建設工事全般を通じて、VE や技術提案で、原価低減、品質確保の必要性が高まっており、本探査システムを生かすべく、データの蓄積・解析と研鑽を重ね、今後のニーズに備えたいと考える。