

(21) 帯 水 泥 岩 層 の 湧 水 対 策

日本道路公団 新潟建設局 正会員○中村正人＊
 東急建設・白石共同企業体 齊藤正文＊＊
 東急建設（株）土木技術部 正会員 清水憲吾＊＊＊

1. はじめに

新潟県西蒲原郡黒崎町を起点とし、富山県・石川県を経て滋賀県坂田郡米原町で名神高速道路に接属する延長 476m の北陸自動車道は、すでに大半が供用されており、現在、残りの上越インターチェンジから朝日インターチェンジまでの74kmの区間を施工中である。

上越市の西方約 8 km に位置する花立トンネルは、日本海に面した丘陵地形を比較的浅い土被りで貫くものであるが、周辺地山は新第三紀の帯水泥岩からなるため、施工に際しては湧水が問題となるであろうことが調査の時点から予想されていた。本論文は、この花立トンネルにおいて湧水対策工として実施した水平水抜きボーリング工について、神戸大学桜井教授の逆解析手法を用いてトンネル安定性評価を行った例を交じて報告するものである。

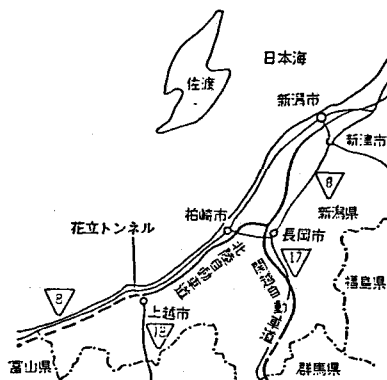


図-1 位置図¹⁾

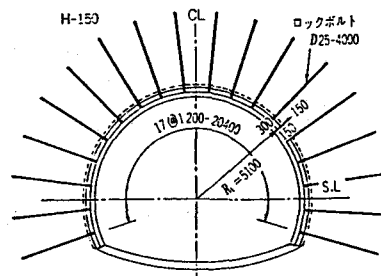


図-2 支保パターン¹⁾

2. 花立トンネル工事概要

工事名 北陸自動車道 花立トンネル工事
 工事場所 新潟県上越市大字長浜～大字三伝
 工期 自) 昭和59年3月14日 至) 昭和61年11月28日
 工事延長 962.7m (トンネル延長 922m)
 施工法 全線 NATM (機械掘削による上部半断面先進ショートベンチカット工法)

掘削断面積 標準断面: 87m², 拡幅断面: 103m²

設計支保 図-2 に示す D1-I タイプを基本とする

表-1 地山物性値 (STA54+00)

地山弾性波速度 (P波)	(km/sec.)	1.8
岩片弾性波速度	(km/sec.)	Vp: 1.97 Vs: 0.87
一軸圧縮強度 (コア)	(kgf/cm ²)	30.6
変形係数 E50 (コア)	(kgf/cm ²)	7.64E3
粘着力 (コア) C	(kgf/cm ²)	21.8
内部摩擦角 (コア) φ	(deg.)	20.9
限界ひずみ ε ₀	(%)	0.4
単位体積重量 γ	(g/cm ³)	1.86
ポアソン比 ν		0.398
亀裂指数		0.21
地山強度比		33.5
帯岩盤変形係数	(kgf/cm ²)	1.5E3

3. 地形および地質の概要

花立トンネル付近は、標高 100m 前後の丘陵地帯であり、地表部では、地にり地形や急傾斜崩壊地形が数多く見られる。地質はほとんどが新第三紀の谷浜層からなり、一部、第四紀の段丘堆積物が存在している。地山の弾性波速度 (Vp) は、1.8～2.0km/sec でありこの中に断層など、泥岩が破壊され脆弱化したと推定される低速度帯が 6ヶ所ほど確認されている。これらの区間では、RQD 値も低く、多量の湧水が予想されたのである。

＊ 日本道路公団 新潟建設局 上越工事事務所 工事長

＊＊ 東急建設（株）・（株）白石共同企業体 北陸道花立トンネル工事所長

＊＊＊ 東急建設（株）施工本部 土木技術部 技術課

4. 湧水対策工の決定

NATMでは、地山からの湧水量の多少によっては吹付コンクリートの付着やロックボルトの定着が困難になったり、支保工脚部の沈下や切羽付近の泥酔化が生じるなど、施工性、品質管理、安全管理等、全ての面から好ましくない事態が生じることがあり、その場合には湧水に対して何らかの対策を施す必要がある。湧水の対策工法は大別して、地下水を抜き水圧を低下させる方法と、地山の改良や圧気などにより湧水を止める方法があるが、いずれにしても、切羽付近での作業を伴うものは、施工性や工期の面から望ましくない。そこで、当トンネルでは、工費や効果なども含めて総合的に判断して、インバート下方のビットからの水平水抜きボーリングを湧水対策として実施することにした。

5. 水平水抜きボーリングの設計

トンネル掘削に先立ち、地質状況、湧水や可燃性ガスの発生状況を推定する目的で行った先進ボーリングの結果から、地山の水理定数を推定し、これに基づき水平水抜きボーリングの設計を行った。水平水抜きボーリング

の施工位置は、入坑口坑外からの水平水抜きボーリング（3本）の他は、図-3に示すような坑内ビットを3箇所へ設置することにした。坑内ビットからの水平ボーリングは、次のような特長をもっている。

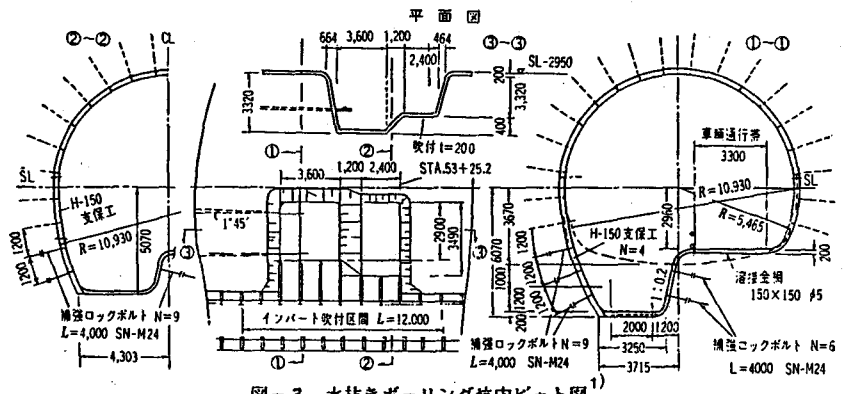


図-3 水抜きボーリング坑内ビット図

- ① 作業範囲がビット周辺に限定されているので、工程への支障がほとんどない。
- ② インバート施工基面より下からの水抜きができるので、切羽全体への効果が期待できる。

また、ビット掘削によるトンネル本体への影響を最小限に抑えるために、吹付コンクリートによる仮インバートの打設を行う他、ボーリング作業終了後は、コンクリートによりすみやかにビットを埋戻した。

6. 坑内ビット施工に伴うトンネルの安定性評価

有限要素法による事前解析結果からは、坑内ビットを掘削することによるトンネル本体への影響は無視しようという結論を得ていたが、実際の施工にあたっては不確定要素も多いので、ビットの断面において、天端沈下、内空変位、ボルト軸力の計測を実施し、神戸大学桜井教授の開発による逆解析プログラム（DBAP）²⁾を利用して、トンネルの安定性評価を行うことで万全を期した。

図-4は、3箇所のビットのうち、STA 49+79.5の地点での天端沈下、内空変位の計測結果である。以下、この計測結果より、トンネルの安定性評価を行った例を示す。

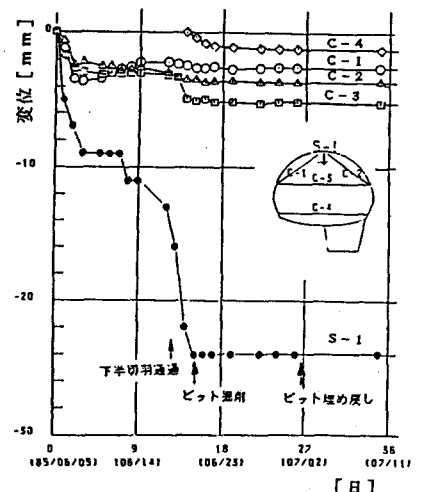


図-4 計測変位経時変化 (STA49+79.5)

(1) 評価手順

トンネルの安定性評価は、次の手順で行う。

- ① 上半掘削後、変位の収束した時点で、計測開始前の先行変位を推定（ここでは、先行変位量は計測変位量と等しいとした）し先行変位も含めた全変位量を入力データとして、DBAPによる逆解析を行い、初期応力パラメータを求めると同時に、トンネル周辺のひずみ分布を推定し、安定性評価を行う。
- ② ①で求めた初期応力パラメータを用いて、有限要素法により、下半掘削後に発生するトンネル周辺のひずみ分布を予想し、安定性評価を行う。
- ③ ビット掘削後の計測結果と、先に求めた下半掘削による変位増分との差を入力データとして逆解析を行い、ビット掘削により生じるトンネル周辺のひずみ分布を推定し、これを②で求めたひずみ分布に加え、ビット掘削後のひずみ分布とし、安定性評価を行う。

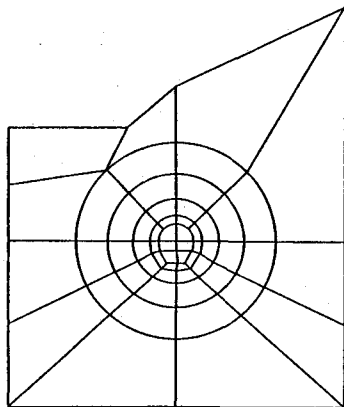


図-5 逆解析メッシュ分割

(2) 評価結果

上半掘削後の変位計測結果をもとに逆解析を行った結果を表-2

に示す。なお、覆工の剛性は考慮していない。

表-2 上半掘削後逆解析結果

計測名	入力変位 (先行変位 +計測変位)	逆解析結果 変位	初期応力パラメータ地	σ_y を土被り圧と等しい としたときの諸量
天端沈下 S-1	-1.80 ^{cm}	-1.36 ^{cm}	$\sigma_x / E = -0.512E-3$ $\sigma_y / E = -0.140E-2$ $\tau_{xy} / E = -0.193E-4$	$\sigma_x = -2.90 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_y = -7.95 \text{ kgf/cm}^2$ $\tau_{xy} = 0.11 \text{ kgf/cm}^2$ $E = 5663 \text{ kgf/cm}^2$
内空変位 C-1	-0.45	-0.84	$\left(\begin{array}{l} K = 0.356 \\ \phi = 1.24(\text{deg}) \end{array} \right)$	$E_o = 5954 \text{ kgf/cm}^2$ $\gamma_c = 0.49 \%$
C-2	-0.50	-0.90		
C-3	-0.60	-0.29		

ここに *K: 側圧係数 E : 地山の等価弾性係数
 ϕ : 主軸の傾き E_o : 地山の真の弾性係数³⁾
 γ_c : 地山の限界せん断ひずみ³⁾

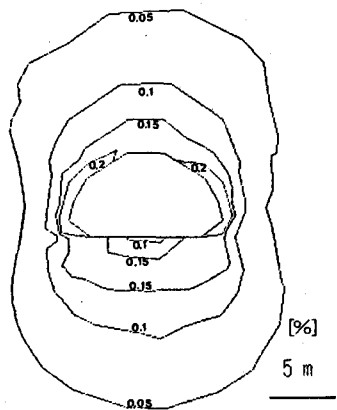


図-6 上半掘削により発生する
トンネル周辺の最大せん断ひずみ分布

上半掘削によりトンネル周辺に生じた最大せん断ひずみの分布は図-6のように推定され、限界ひずみ 0.4%を超えるひずみは発生していない。

表-2の初期応力パラメータの値をもとに、下半掘削後のトンネル周辺に発生するひずみの分布を予想した結果(図-7)、下半掘削後も限界ひずみを超えるひずみは発生しないと予想され、トンネルは安定した状態を保つと考えられる。

下半掘削およびビット掘削による計測変位の増分と、先に計算された下半掘削による変位を表-3で比較する。天端沈下量については、計測値と計算値の間には、かなり大きな差があり、これをビット掘削による変位増分とは考え難く、このモデルでは表現しきれない沈下が生じていると考えるべきである。そこで、ここでは暫定的に、内空変位データのみを入力データとして逆解析を行い、ビット

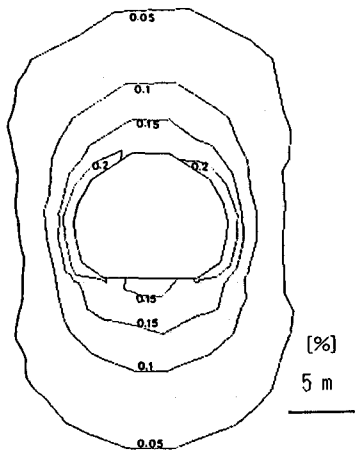


図-7 下半掘削後のトンネル周辺の
最大せん断ひずみ分布(予想)

掘削後のトンネル周辺のひずみ分布をもとめ、図-8に示した。ビット掘削後は、ビットの下方および右側に限界ひずみを超えるひずみが生じており、さらに、塑性領域を推定する³⁾と図-9のようになる。しかし、限界ひずみを超える領域も塑性領域も、極くわずかの範囲であり、各変位の収束している現状ではトンネルの安定性に問題はないと判断された。

7. 水平水抜きボーリングの効果

逆解析により求めた地山の等価弾性係数 $\bar{E}$ (表-2)は、吹付コンクリート覆工やロックボルトの効果等を含んだ値である。これを事前調査結果に基づく、地山の準岩盤変形係数(表-1)と比較すると、約3.5倍の大きさであり、水平水抜きボーリングの効果により、地山の力学特性も改善されたと推定される。

また、現実には、水平水抜きボーリングを先行させることにより、切羽からの湧水量を、ほとんどの区間で100ℓ/min以下に抑えることができ、補助工法の採用や特別な施工法の変更もなしに、能率よく掘進することができた。このように水平水抜きボーリングは、当初、われわれが期待した以上の効果をもたらした。

8. あとがき

今回報告した花立トンネル工事におけるインバート下方に設けたビットからの水平水抜きボーリング工は、トンネル本体の安定性に問題のない範囲で、ビット内で安全に作業がされるので、工程への支障もほとんどなしに、切羽付近の施工性を向上させ、さらには、地下水位低下により地山の安定効果、および、ボーリング孔からの集水による汚濁水の希釈効果などの良好な結果を生んだ。一般に水抜きが難しいとされている泥岩層のトンネルでありながら、このような効果があったのは湧水のほとんどが裂か水であったことなど、地形的・地質構造的諸条件が好く重なったものと推察される。

今後も、今回のように切羽での施工面に重点をおくだけでなく、湧水等の環境面、および、水収支などを含めた総合的な観点から、より合理的な湧水対策法を検討していく所存である。

表-3 ビット掘削による変位 (cm)

測域	ビット掘削後 計測変位	下半掘削による 計算変位	ビット掘削 による変位
S-1	-1.50	-0.072	-1.43
C-1	-0.03	-0.001	-0.03
C-2	-0.12	-0.004	-0.12
C-3	-0.22	-0.228	+0.01
C-4	-0.12	-0.081	-0.04

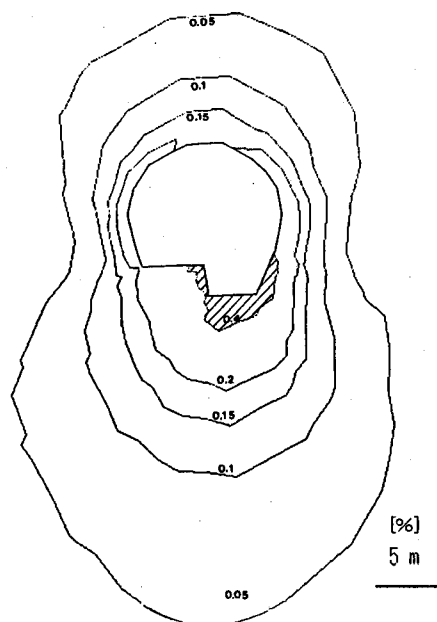


図-8 ビット掘削後のトンネル周辺の最大せん断ひずみ分布

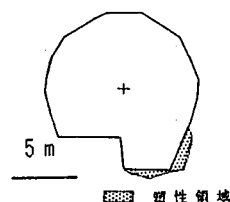


図-9 ビット掘削後の塑性領域

<参考文献>

- 1) 後藤公平・中村正人, 帯泥岩層の湧水対策とNATM 北陸自動車道花立トンネル工事, トンネルと地下, 1985年9月号
- 2) 桜井春輔・武内邦文, トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法, 土木学会論文報告集, 第337号, 1983年9月
- 3) 桜井春輔・清水則一・松室圭介, 現場計測結果に基づくトンネル周辺の塑性領域の推定法, 第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 1984年12月

(21) Disposal of spring water

from an aquiferous mudstone layer

Japan Highway Public Corporation
Masato Nakamura

Joint Venture Tokyu & Shiraishi
Masafumi Saitoh

Tokyu Construction Co., LTD.
Kengo Shimizu

Hanadate tunnel is an expressway tunnel having the total length of 922 m about 8 km west of Jyoetsu city, Niigata Pref., Japan. The geology around Hanadate tunnel is an aquiferous mudstone layer of Neogene period, so that application of "NATM" process to the tunnel required some disposal of spring water in the tunnel.

The following good results were obtained by cutting a pit under the tunnel invert and conducting horizontal drain boring from the pit before performance of the "NATM" process.

- (1) Draining under the invert was sufficiently effective.
- (2) The term of work was not affected by the draining because the draining was carried out with no work on the working face of the tunnel.
- (3) Cutting the pit did not damage the natural ground around the tunnel.

The paper reports results obtained by the horizontal drain boring process from the pit under the tunnel invert and mainly describes a stability assessment of an entire tunnel with pit cutting by using the back analysis program (DBAP) developed by Prof. Sakurai at Kobe University.