

近畿自動車道見草トンネルにおける ノンコア削孔切羽前方探査を用いた合理的施工

谷口 智洋¹・永見 晃之²・畑 浩二³・桑原 徹⁴・岩本 俊一⁵

^{1,5}正会員 大林組 見草トンネル工事事務所（〒649-2326 和歌山県西牟婁郡白浜町1061-8）
E-mail: taniguchi.tomohiro@obayashi.co.jp, iwamoto.shunichi@obayashi.co.jp

²国土交通省 近畿地方整備局（〒649-2104 和歌山県西牟婁郡上富田町岩崎字蓮ヶ池245-12）
E-mail: nagami-t87kf@kkf.milt.go.jp

^{3,4}正会員 大林組 技術研究所（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）
E-mail: hata.koji.ro@obayashi.co.jp, kuwahara.toru@obayashi.co.jp

山岳トンネルの施工に際し、切羽前方の地質状況を的確に予測することは、安全で合理的な施工を行う上で不可欠である。そこで本工事では、施工サイクルを極力乱さずに施工でき、かつ安価な探査技術である油圧ジャンボを利用したノンコア削孔調査を実施し、切羽前方の地質状況（岩盤の硬軟や脆弱性）を予測し、トンネル支保パターンを評価して安全で合理的な施工を行った。本報告は、この切羽前方探査技術による支保パターンの推定と実績の精度確認および今後の課題を述べるものである。

Key Words : geological prediction ahead of the tunnel face, exploration drilling, ground classification

1. はじめに

山岳トンネル工事における支保工の設計は、事前の地質調査にもとづき選定されるが、その調査は制約された条件（手法、費用、工期）のなか実施されるため、地山状況を正確に把握することは非常に困難な場合がある。そのため施工時に設計との相違を確認しながら支保パターンを決定している。

従来の支保パターンの選定は、発注時の設計情報（地質調査、設計支保パターン）と、施工情報（A 計測、B 計測、切羽情報）をもとに、切羽前方の状況を予測し、発注者と施工者が同意をした上で行っている。地質が大きく変化したり、不良地山が出現した場合には、その個所で補助工法の計画、採用の判断をしていたため、トンネル掘削作業を中断していた。

切羽前方の地山状況を事前に把握できれば、より具体的な支保パターンや補助工法の選定を準備することが可能となる。さらに発注者との協議もスムーズとなり、より効率的で安全な施工が可能となる。

前方探査の手法は、水平コアボーリング調査や先行変位測定および坑内弾性波探査等が考えられたが、本工事では経済性と工程短縮に有利な油圧ジャンボに搭載されたドリフターを利用したノンコア削孔調査技術を採用し

た。

2. 工事の特徴

(1) 工事概要

見草トンネルは平成27年供用を目指し建設を進めている近畿自動車道紀勢線（田辺市から西牟婁郡すさみ町までの整備計画区間L=38km）における白浜町富田から椿に至る全長2,380mの道路トンネルである。表-1に工事概要を、図-1に施工場所を示す。

(2) 地質概要

見草トンネルの地質（図-2）は、泥岩、砂岩泥岩互層を主とする新第三紀中新世の堆積物で構成されている。本トンネル施工区間には、3箇所の破碎帯が想定されていた。また、グラントアーチを形成しにくい土被り2D（D：トンネル掘削幅）以下の区間が存在すること、および低速度帯が6箇所認められていた。さらに湧水圧測定により、2箇所の湧水区間が想定されていた。

当初設計支保パターンはCⅠ、CⅡが主体であった。ただし、紀勢線（田辺・すさみ間）トンネル詳細設計トンネル設計統一基準では「地山等級がCⅠ、CⅡにおい

表-1 工事概要

項 目	内 容
工 事 名 称	近畿自動車道紀勢線見草トンネル工事
発 注 者	国土交通省近畿地方整備局
施 工 場 所	和歌山県西牟婁郡白浜町富田地先～樺地先
工 期	平成24年3月～平成27年2月
工 事 内 容	道路トンネル
主 要 工 種	トンネル工（発破工法）、残土処理、橋台下部工
数 量	トンネル延長L=2,380m、インバート工L=2,089m 残土処理 179,900m ³ 、橋台工 1基



図-1 現場位置図

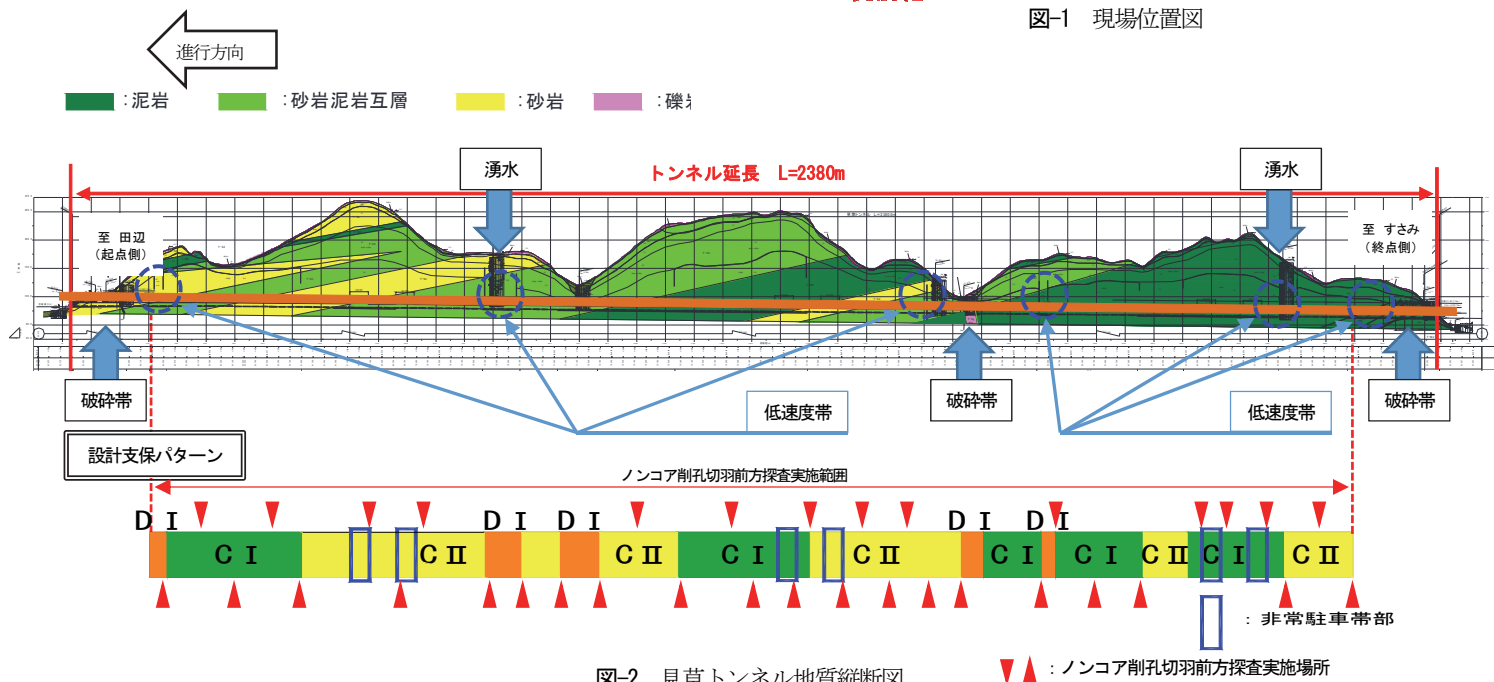


図-2 見草トンネル地質縦断面図

て、新第三紀泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の粘性土岩や風化結晶片岩、温泉余土等の場合はインバートを設置するものとする。」と指示されているため、Cパターンでもインバートが必要となり、トンネル延長に対するインバート施工区間が約90% (2,130.5m/2,380m) を占める特徴を呈している。

3. 切羽前方探査の必要性

事前の調査結果より、破碎帯や低速度帯および湧水区間が予想されていたが、詳細な範囲や位置および程度が事前の調査では把握できていなかった。また、発注者より工期短縮を要望されており、支保パターンや

補助工法の選定を迅速に判断するため、地山の状況を先行して判断することが必要であった。

地質調査の詳細を下記に記載する。

- ① 設計報告書によると、弾性波探査の結果、低速度帯が6箇所確認されていること。
- ② 岩質の状態は新鮮であるが、所々に亀裂部が多く見られ、天端・切羽のはく離崩壊の危険性が考えられること。
- ③ 岩質状況及び地質の構造を勘案すると湧水の生じる可能性があったこと。
- ④ 事前の先進コアボーリング調査（水平ボーリング）の結果、破碎帯からと考えられる湧水が常時100～150L/分供給されていたこと。

4. ノンコア削孔切羽前方探査技術

山岳トンネル工事における切羽前方探査技術の種類として、主に以下の手法があげられる。

- ① 先進コアボーリング
- ② 坑内弾性波探査
- ③ ノンコア削孔切羽前方探査

①の手法は、トンネルの施工サイクル内で作業が不可能であるため、トンネル掘削作業を中断し、先進コアボーリングの専門業者が専用機械で施工する。そのため、多大な施工時間（工期）と費用（コスト）がかかる。

②については、①の方法に比べて短時間で探査が行えるが、低速度層が挟在する場合の解析精度の低下や帯水状況の把握が困難な面があり、必要とする成果が得られにくい。

一方、油圧ジャンボに搭載されたドリフターを利用した③の手法は、トンネルの施工サイクルの合間で利用でき、②の方法よりさらに短時間で実施可能である。さらにスライム等で直接地山を確認できる利点がある。

ノンコア削孔切羽前方探査は、油圧ジャンボに設置された専用の計測システムを利用して、削孔時の機械データを取得し、そのデータから切羽前方の地質特性を定量的に評価するものである。写真-1に施工状況を、図-3にシステム構成をそれぞれ示す。一般にノンコア削孔切羽前方探査では削孔速度（穿孔速度）、打撃圧、回転圧、フィード圧、（以上は計測値）および削孔エネルギー（掘削体積比エネルギーとも呼ばれる解析値）が表示される。削孔速度や削孔エネルギーの大小関係、ピーク変動等から地山の良否（硬軟、断層破碎帯の存在等）や地山分類を判断している。今回は、フィード圧を考慮した「正規化削孔速度比」¹⁾をもとに切羽前方のトンネル支保パターンを予測、評価した。

表-2 道路トンネルにおける地山等級区分

道路トンネル	正規化削孔速度比
B	～0.30
CI	0.30～0.35
CII	0.35～0.40
DI	0.40～0.45
DII	0.45～

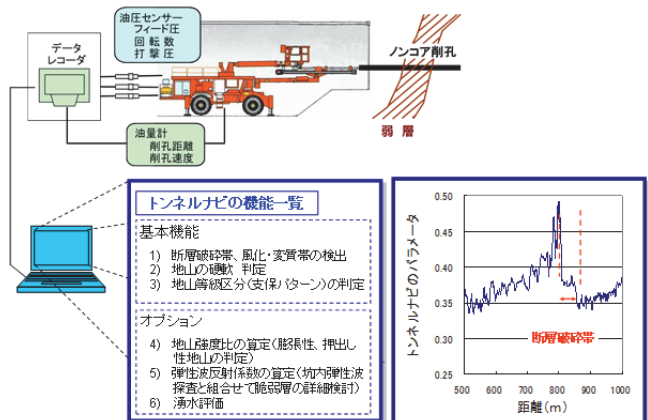


図-3 ノンコア削孔切羽前方探査システム構成

正規化削孔速度比にもとづく、地山の基本的な判定方法を以下に示す（図-4）。

- 1) 解析結果の値（正規化削孔速度比）が大きいほど地山は軟質、脆弱に、値が小さいほど地山は硬質、健岩部になると判断できる。したがって、風化変質帯や断層破碎帯等では解析結果が大きな値を示す。
- 2) 解析結果が概ね0.05程度の範囲内でばらつきも少なく収まることがある（図-4、A、B、D、E）。このような区間では、地山は相対的に一様、均質であると判断している。解析結果の大小関係から、A、BおよびD、Eの順で地山の軟質、脆弱化が顕著になり、Eは風化変質や断層等により脆弱化が進んだ地山と判断できる。
- 3) 図-4中Cのように解析結果が上に凸の変動パターンを示すことがある。このような変化は断層に対応していることが多い。
- 4) 図-4中Fのように解析結果が大きな値を示すとともに、非常に多くのばらつきを含む場合がある。このようなばらつきは、断層破碎帯や付加体等での岩質の顕著な不均質性等に起因する地山の著しい不均質性や力学的異方性を反映している。このような場合は、標準的な地山等級区分の判定に対して、1段階のランクダウンを行っている。



写真-1 ノンコア削孔切羽前方探査施工状況

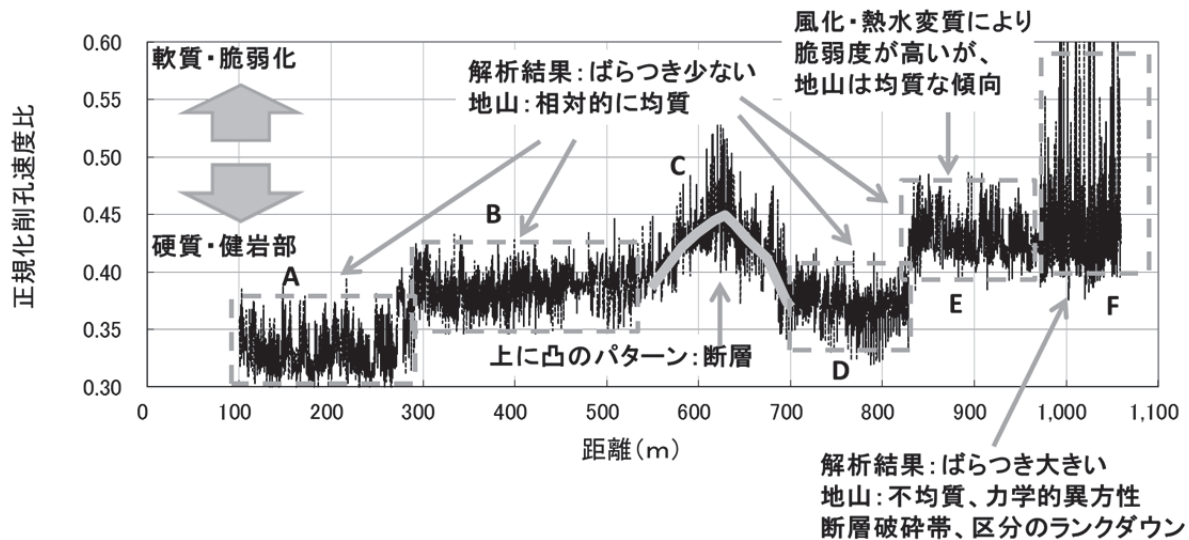


図-4 ノンコア削孔調査による地山の判定方法

- 5) 道路トンネルの地山等級区分（支保パターン）と正規化削孔速度比の関係については、過去の施工事例の社内データベースから、表-2のような関係を標準として提案している。
- 6) ノンコア削孔データによる地山等級区分は、基本的には、地山の硬軟の評価にもとづいている。大量湧水による切羽の安定性が損なわれる恐れがある場合は、解析結果による地山等級区分に対して1段階のランクダウンを行う場合もある。

5. ノンコア削孔切羽前方探査による調査結果

切羽前方の地質状況の推移を把握するため、前述のとおり、ノンコア削孔切羽前方探査を選定し施工を進めた。

前方探査の作業は、トンネル掘削作業を中断するが、大幅な段取替や機械の入替がなく、掘削作業に使用する油圧ジャンボに取り付けられた削孔機械を用いて施工する。

(1) 探査実施場所と頻度

- 1) 場所（前方探査施工延長L=2,000m）
 - ・図-2にノンコア削孔切羽前方探査実施範囲を示す。1箇所所の破碎帯、5箇所所の低速度帯を含むほぼ全線で実施。
 - ・岩区分判定時の視覚的に説明可能な資料として活用するため、設計支保パターンの変化点にて実施。
- 2) 1施工当りの切羽前方探査施工長
 - ・1施工当りの施工長を30m～50mと設定する。
- 3) 施工サイクル
 - ・1施工当りの施工時間は、準備～施工、片付けを含

むと約3～4時間のサイクルである。

(2) 探査結果と考察

図-5にトンネル全線区間の探査結果を示す。正規化削孔速度比は概ね0.35～0.40の間に収まっており、全体としては著しい脆弱層も少ないCIIを主体とした地山と考えられる。しかし詳しく見ると、TD2200～TD660mではCI～CII、TD660～TD200ではCII～DIの傾向が見られ、TD450～TD300mでは地山の脆弱傾向に伴い湧水も認められた。一方、安定していたTD2200～TD660m区間では、TD1600m付近にDIの地山が予測された。

図-6に詳細を示す。約40mの区間にわたり、正規化削孔速度比は0.375～0.450と当該トンネルでは高い値を示し、DI相当の地山が予測された。実際に掘削した結果によると、当該地点の地山の特徴は、砂岩、泥岩互層であり、亀裂面が発達し、部分的に抜落ちが見られたこと、また砂岩が風化し変色していることだった。岩石強度は高いが、亀裂間隔は5cm～20cm程度とはく離崩壊の危険性の高い地山だった。（写真-2参照）

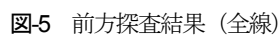
ノンコア削孔を実施した全区間に対して、設計支保パターンと予想支保パターン及び実績支保パターンの関係を図-5下段に整理した。

当初設計では、約37%の区間がCIと設定されていたが、切羽観察における評価点及び岩区分判定による総合評価の結果、地山等級CIIへ変更となった。全区間を通し、岩石強度は高いものの亀裂面が発達したはく離性の高い地山であったためと考察する。

各支保パターンの関係を比較してみると、設計支保パターンと実績支保パターンの関係は、約50%の適合率であったことから、山岳トンネルにおける設計時の地質調査等の難しさが浮き彫りとなる結果となった。したがっ

ノンコア削孔切羽前方探査で得られた予想支保パターンと実績支保パターンの関係は、適合率が85%と非常に高い値が得られた。この高い適合率は過去実施したノンコア削孔切羽前方探査結果²⁾と整合している。支保パターンは、発注者と施工者が、様々な指標をもとに同意し

以上より、予想支保パターンと実績支保パターンの適合率からも、トンネル前方地山の予測に今回使用したノンコア削孔切羽前方探査技術は、有用な方法と考える。



○ : 弱層や不良地山部

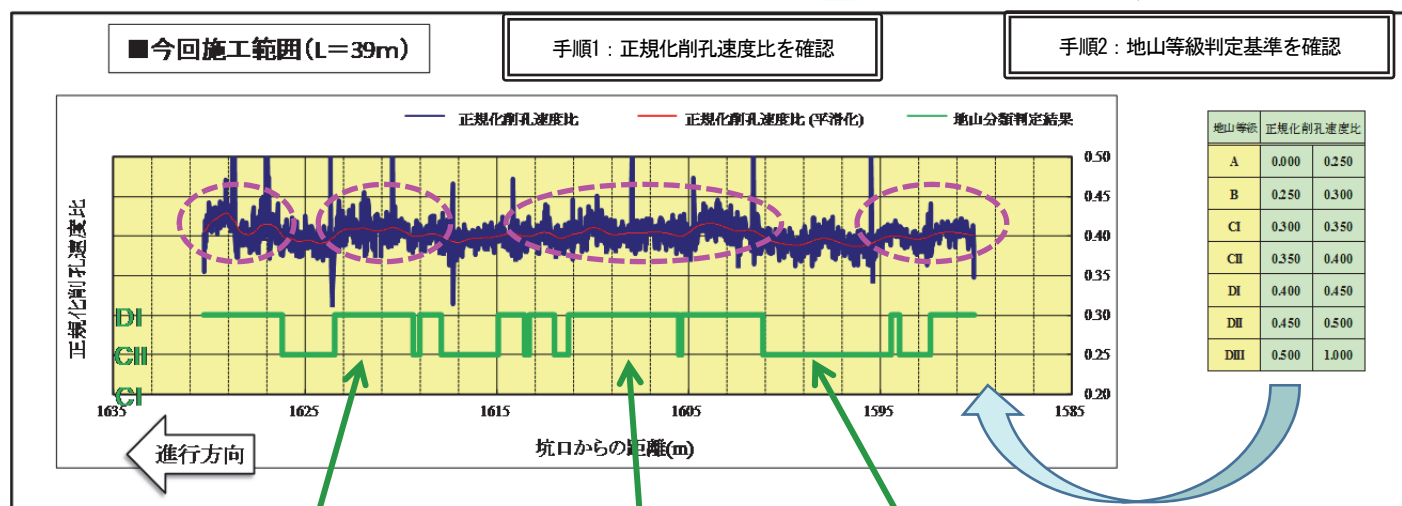


図-6 前方探査結果(詳細)

手順3: 地山等級を判定

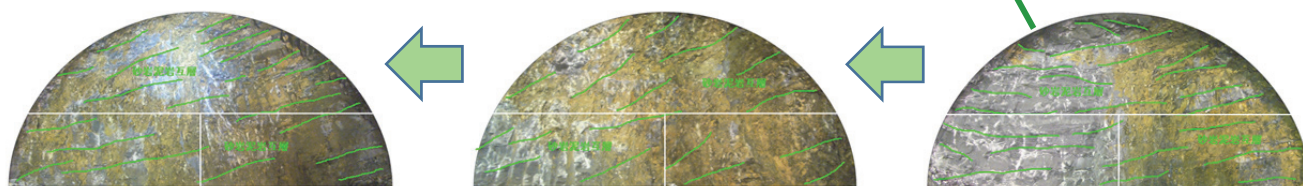


写真-2 切羽面の状況

6. まとめ

本報告では、このノンコア削孔切羽前方探査技術による支保パターンの推定と実績の精度を確認した。この技術を採用した結果を以下にまとめる。

- 1) 切羽前方の地山の状況が、事前に得られるので、施工方法の検討や、補助工法の選定及び材料の選定や準備等、施工性の向上と経済的効果に役立った。
- 2) 岩区分判定時に使用することで、岩区分判定時の切羽の状況だけでなく、今後の地山がどのように推移していくかを視覚的にかつ定量的に確認、説明できることから、支保パターンの選定に有効であった。
- 3) 安全面については、切羽前方の地山状況が事前に定量的に得られるので、岩盤の硬軟や脆弱性の状況が把握でき、注意喚起や施工、安全設備の準備に役立った。

今回の地山は比較的岩石強度が高く、地山変化が大きく富んだ状況ではなかったが、弱層、不良地山部分または断層破碎帯等では削孔に時間を要したり、ジャーミングを経験した。削孔ビットの工夫や、孔内清掃を考慮した削孔手順および自動運転と手動運転を併用したフィード圧の管理手法が、前方探査のさらなる信頼性の向上につながると考える。

また見草トンネルは、工事着手段階から当社が提案し、CIM (Construction Information Modeling) を施工に導入したトンネル工事として、全国初のプロジェクトである³⁾。そのCIMの統合モデルに、今回のノンコア削孔切羽前方探査技術のデータを取込み、連携させることで、トンネル供用開始後の維持管理における原因の特定に必要な資料としての活用方法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 桑原 徹, 畑 浩二, 稲川雄宣, 平川泰之: 変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術, 土木学会トンネル工学委員会, トンネル工学論文集第 18 巻, pp.1-10, 2008.
- 2) 桑原 徹: ノンコア削孔切羽前方探査技術「トンネルナビ®」, 国土交通省北海道開発局 平成 23 年度北海道開発技術研究発表会「特別セッション」実施報告, 2012.
- 3) 浅野 文典, 永見 晃之, 杉浦 伸哉, 岩本 俊一, 柏原 宏輔: 山岳トンネルにおける CIM システムの開発と適用, 土木学会トンネル工学委員会, 2014.土木学会論文集 F1 (トンネル工学) 特集号/トンネル工学報告集

(2014. 9. 15 受付)

RATIONAL TUNNEL EXCAVATION MANAGEMENT USING NEW NON-CORE DRILLING EXPLORATION AHEAD OF THE FACE IN THE MIKUSA TUNNEL PROJECT, KINKI MOTORWAY, JAPAN

Tomohiro TANIGUCHI, Teruyuki NAGAMI,
Koji HATA, Toru KUWAHARA, Shunichi IWAMOTO

For safe and rational tunnel excavation, it is essential to accurately investigate the geological conditions ahead of the tunnel face. New non-core drilling exploration system using a drifter mounted on a hydraulic drill jumbo was adopted, and both ground classification and support pattern were estimated in this project. This new exploration system is a promising technique called “Tunnel Navi” that can be applicable without stopping tunnel excavation and that is enable to be cost cut of the geological investigation ahead of the face.

This paper discussed following points ; (a) judgment support for the support pattern using this new exploration system, (b) accuracy of the new exploration method based on the actual tunnel excavation, (c) further problem for whole construction management of the tunnel excavation.