

スロバキア高速道路 SITINAトンネル工事の施工について

Construction on SITINA Tunnel Project in Bratislava, Slovakia Republic

青木俊彦¹・紺野大輔¹・端則夫²・大塚勇³・岩野政浩⁴

Toshihiko Aoki, Daisuke Konno, Norio Hata, Isamu Ohtsuka and Masahiro Iwano

¹正会員 工修 大成建設株式会社 国際事業本部 スロバキア高速道路建設工事

²正会員 大成建設株式会社 土木技術部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

³正会員 工博 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

⁴正会員 Ph.D 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

E-mail: iwano@ce.taisei.co.jp

The construction of D2 Motorway Bratislava, Lamacska cesta Stare grunty is the last missing section of D2 Motorway and its completion will link the Czech Republic through Bratislava to the Hungarian Republic. The section of D2 Motorway, whose length is 3,300 m, has been completed in 2006. In this section, SITINA Tunnel is approximately half of this motorway. This report summarizes the tunnel construction, especially the construction method in the disturbed rock zone.

Key Words : tunnel construction, jointed rock, countermeasure

1. はじめに

国内とは異なる基準法規や施工習慣の下での海外工事の難しさだけではなく、当初想定されていなかった不良地山に遭遇し、対策工の実施等困難を極めた海外トンネル工事の事例を報告する。特に突如遭遇する不連続性岩盤の脆弱部での対策工の検討内容や施工方法について示し、今後の同様な地山条件下でのトンネル工事の施工法等について考察を加えたものである。

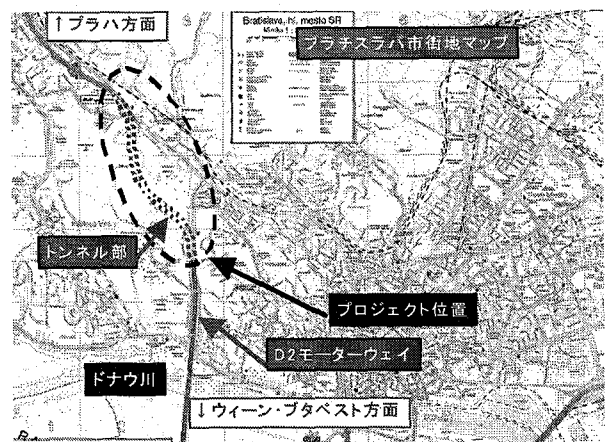


図-1 施工位置図

2. 工事概要

当該プロジェクトは、ヨーロッパ幹線道路網(モーターウェイ)整備として日本政府のODAの一環である有償資金協力によって建設が進められている中欧4カ国(スロバキア、チェコ、オーストリア、ハンガリー)を貫く南北縦断高速道路の一部をなしている。本トンネルプロジェクトは、図-1に示すように、スロバキア共和国の首都ブラチスラバ市の市街地に位置しており、現行の一般道の渋滞

を回避するトンネルを含む総延長3,300mのバイパス高速道路建設工事である。このプロジェクトは、スロバキアにおける戦後3本目の高速道路トンネルプロジェクトであり、首都に位置することもある、首相、市長を含め地元住民、報道関係からも極めて注目を集めているプロジェクトである。大成建設(株)はスウェーデンの大手建設会社・スカンスカ社とJVを組んで建設にあたり、大成建設(株)はトンネル部を担当した。発注者はスロバキ

ア共和国運輸郵政通信省道路管理庁であり、工期は坑内コンクリート舗装、設備工事を含み、2003年5月からの48ヶ月である。

トンネル部は延長1,400m(片道2車線)×2本(上下線)であり、高架道路部はインターチェンジを含む片道2車線で延長1,900mである。トンネルの掘削延長は、西トンネルが1,189m、東トンネルが1,159mであり、Cut&Coverによる明かり巻きトンネル部が、西トンネルで251m、東トンネルで256m

である。

図-2 にプロジェクトの平面図を示す。トンネル直上には、主に身体障害者を対象とした乗馬クラブ施設を有する動物園が広がり、隣接して国立研究施設、住宅街が存在する近隣状況で、周辺に及ぼす環境影響(振動、騒音、変位)を慎重に計測し、地元に対する十分な説明、交渉を行いながら工事が進められた。

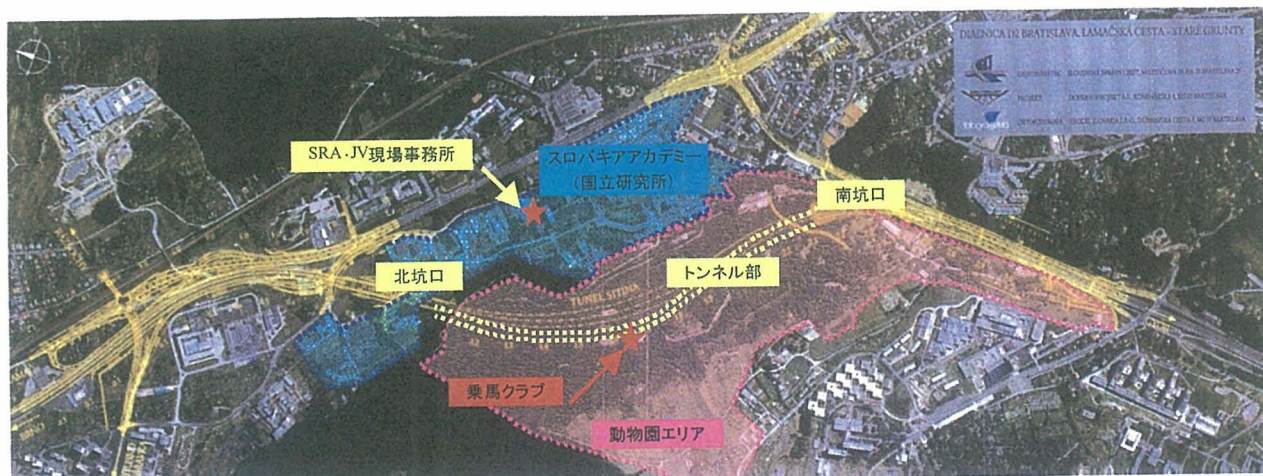


図-2 プロジェクト平面図

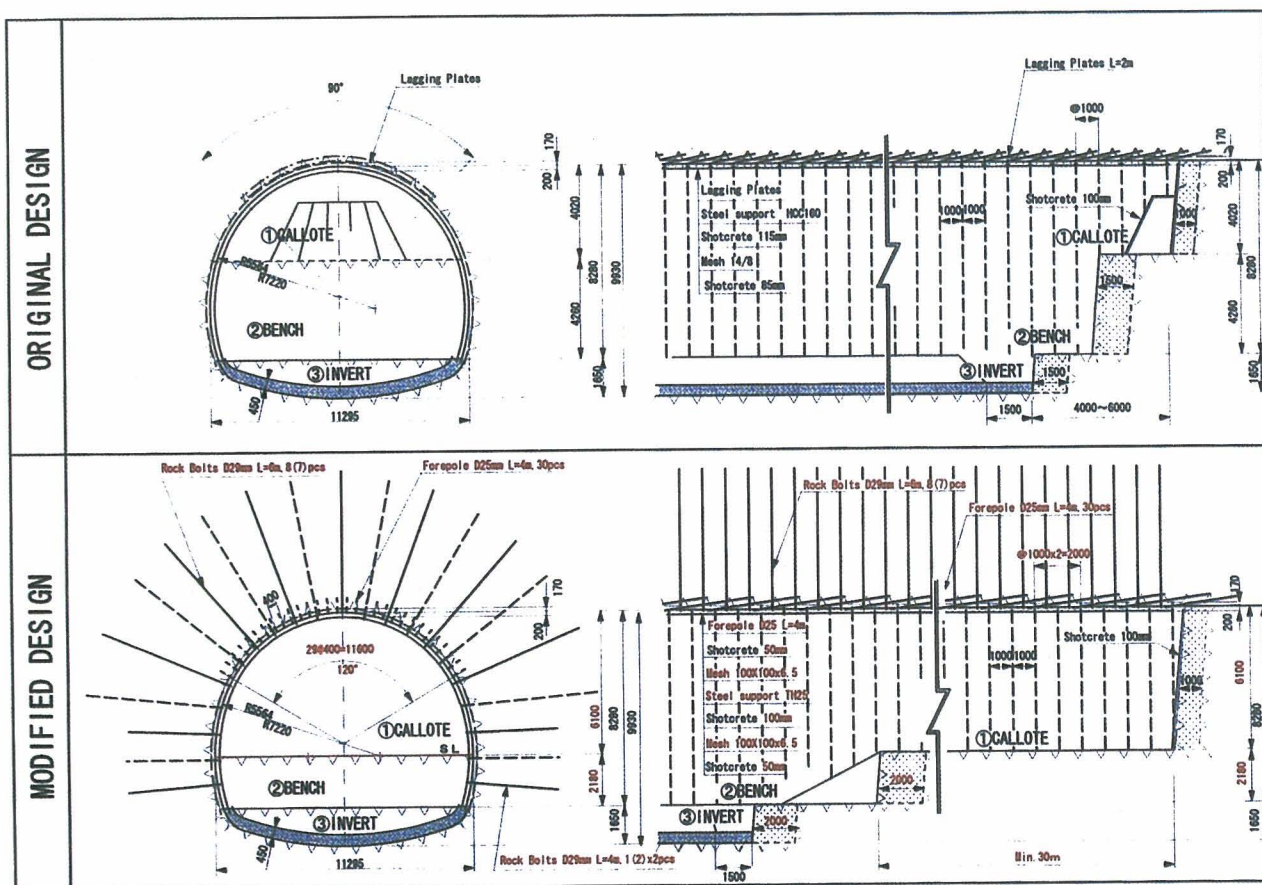


図-3 標準支保パターン図 (CLASS IV)

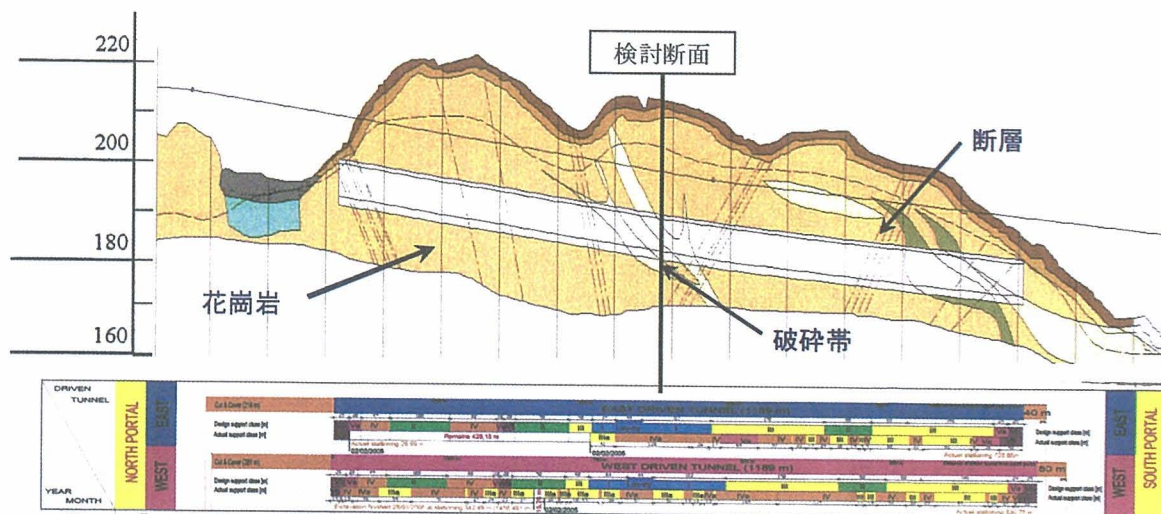


図-4 地質縦断面図および当初設計と実施工の岩盤等級の比較

表-1 Rabcewize Pacher による岩盤分類¹⁾

地 山 等 級	一 般 的 記 述
I	安定した岩
II	ややもろい岩
III	破碎され、中程度又は極めてもろい岩
IV	不安定で、地圧が作用する岩
Va	強度の塑性をもち、押し出し、膨張性があり、強度の地圧が作用する岩
Vb	展集力のない流動性の地盤

3. トンネルの掘削工法と支保

トンネル掘削は、発破を利用したNATM工法を採用しており、一例としてCLASS IVのトンネル標準支保パターン図を図-3に示す。上段が当初設計、下段が修正設計のものである。トンネル高さは9.93m、幅は11.295mである。当初設計の支保は、吹付けコンクリートを11.5cmと8.5cmの二層とし、間に金網（D8×140×140）を設けている。ロックボルトはなく、鋼製支保工はHCC160（H-160×160×8×13）である。また、天端90°の範囲には矢板を設けている。上半の加背は小さく、リングカット工法であり、掘削工法は補助ベンチ付き全断面である。修正設計では、大型機械による掘削を行うために、上半の断面を大きくし、掘削工法をショートベンチカット工法に変更した。修正設計の支保の仕様として、吹付けコンクリートの厚さは5cm、10cm、5cmの三層で総20cmとなっており、金網（D6.5×100×100）は各層の間に設けている。ロックボルトはD29を使用し、長さは天端から肩部の区間で6m、側壁は4mである。周方向のピッチは約1mで、一断面に10本と11本の千鳥配置である。鋼製支保工にはトラスガーターTH25（130×142）を使用した。また、フォアポーリングがトンネル天端から肩部の120°

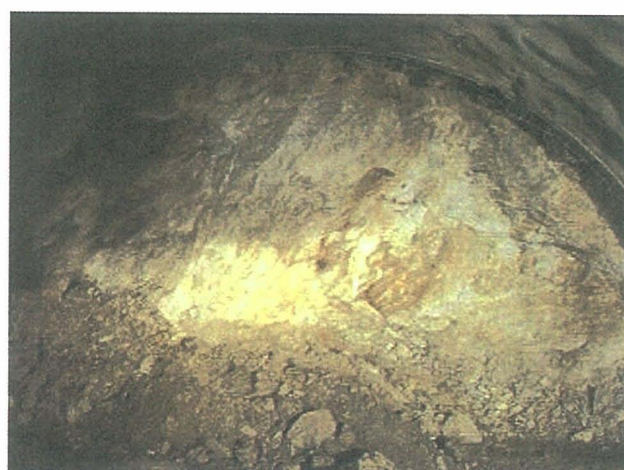


写真-1 切羽崩落状況

区間にかけて設計されている。長さ4mのD25を400mmピッチで配置し、一断面に30本となっている。また、国内の実績と同様に、低土被り部や破碎帯部では、長尺鋼管先受け工を採用し、1掘進長は1mである。

平均掘削断面積は93.1m²であり、総掘削土量は218,600m³となり、掘削された岩のうち良質なものは、仮置き場にて用途に合わせてすべてクラッシングを行い、高速道路部の路床、明かり巻き部の埋め戻しとして再利用された。

4. 地質状況と岩盤分類

岩盤分類としては表-1に示すとおりRabcewize & Pacherの岩盤分類に基づいて6階級で分類される。当該トンネルで遭遇した地山脆弱部は、CLASS IV「不安定で地圧が作用する岩」と判断された。CLASS IVのトンネル標準支保パターン図

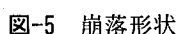


表-2 亀裂の幾何学的条件

	J1	J2
亀裂の方向 (°)	70	160
亀裂頻度 (1/m)	0.40	1.31
亀裂間隔 (m)	2.50	0.76

地質縦断面図を図-4 に示す。当該トンネルは、丘陵部に位置しており、土被りは8m～28mと低土被りとなっている。地山の岩質の大部分は花崗岩（コア部の圧縮強度は80～160MPa）であるが、当初想定より風化が著しく進行した箇所が点在した状況であった。破砕帯ではマイロナイトも出現した。

特に、風化による地山脆弱部が突如出現し、発破時にブロック状に切羽が崩落し、上部へ達するという落とし戸的な崩落が発生した。周辺施設への影響の最小化を図る上で、その位置の予想および対処が極めて重要であった。その箇所では岩盤自体の強度は保持したままの発達した亀裂による角礫化が顕著であり、フォアポーリングでも事前に発見するのは困難であった。切羽崩落状況を写真-1に示す。

5. 切羽安定解析

地山脆弱部で発生したブロック状の崩落現象について解析的な検討を実施し、崩落の原因を探り主に定性的に崩落現象の説明に用いた。

4回の崩落現象を経験したが、最大140m³の土砂が崩落した図-4に示した断面を、解析断面とし

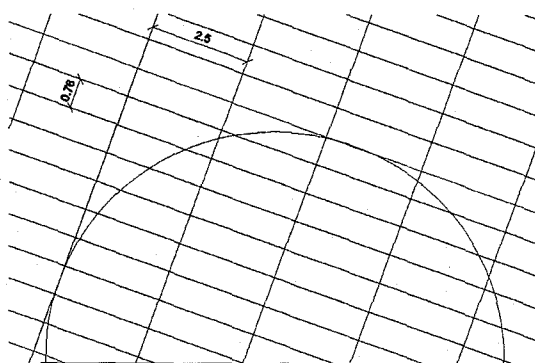


図-6 亀裂の分布図

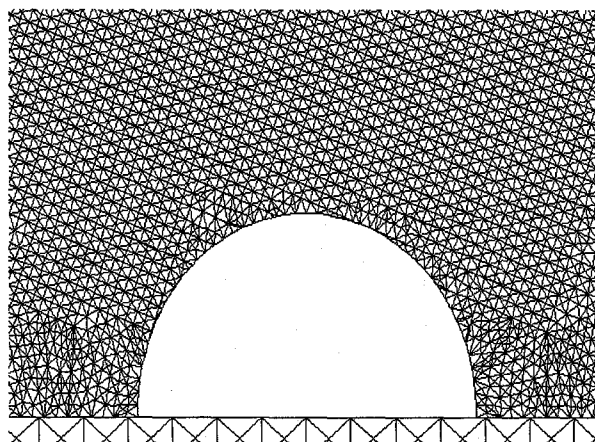


図-7 トンネル周辺の解析メッシュ図

て設定した。本断面における土被りは約25mで、支保パターンは図-3 に示すIVパターンである。

崩落形状は図-5 に示すように、トンネル天端部より切羽前方にブロック状に抜け落ちる形状であった。

(1) 解析条件

解析は二次元個別要素法（解析コードUDECC Ver.3.1）を用いて、切羽で観察された亀裂を含む岩盤を不連続体としてモデル化して解析を行った。

切羽にて観察された亀裂は、切羽写真によって画像処理され、主な亀裂セットは2つであり、幾何学的条件は表-2 に示すとおりである。幾何学的条件を反映した亀裂の分布図を図-6 に、トンネル周辺の解析メッシュ図を図-7 に示す。

上半の掘削直後に切羽で崩落が生じており、解析でその状態を再現するために、解析手順は初期応力を設定した後に、上半の掘削解放率を40%に設定して掘削したステージで崩落現象の検討を行った。

(2) 入力物性値

母岩となる岩盤は一軸圧縮強度90MPa程度の硬質な花崗岩であり、解析用物性値を以下に示す。解析においては亀裂の強度（粘着力 c 、摩擦角 ϕ ）

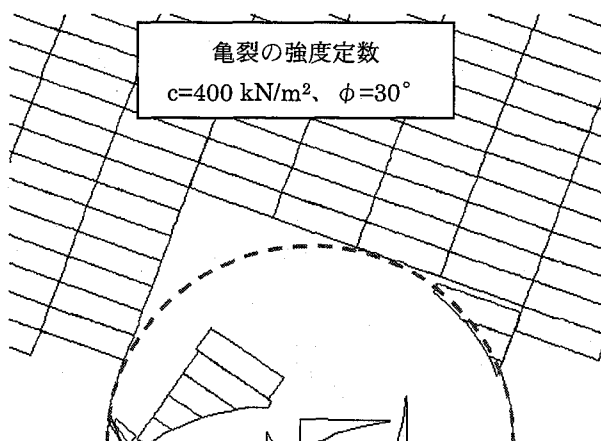


図-8 個別要素法による岩塊崩落状況

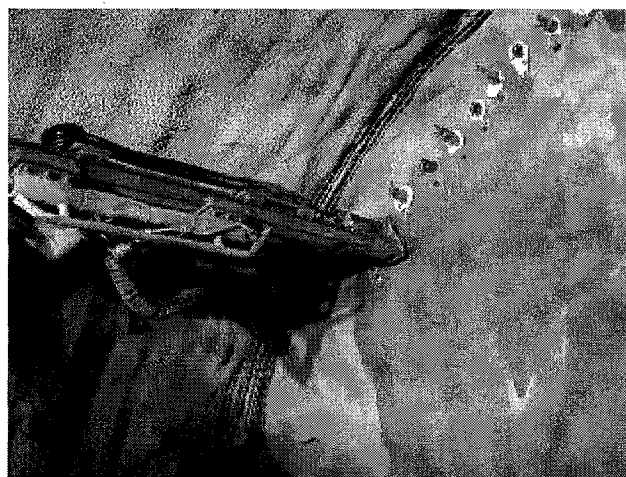


写真-2 長尺鋼管先受工の施工状況

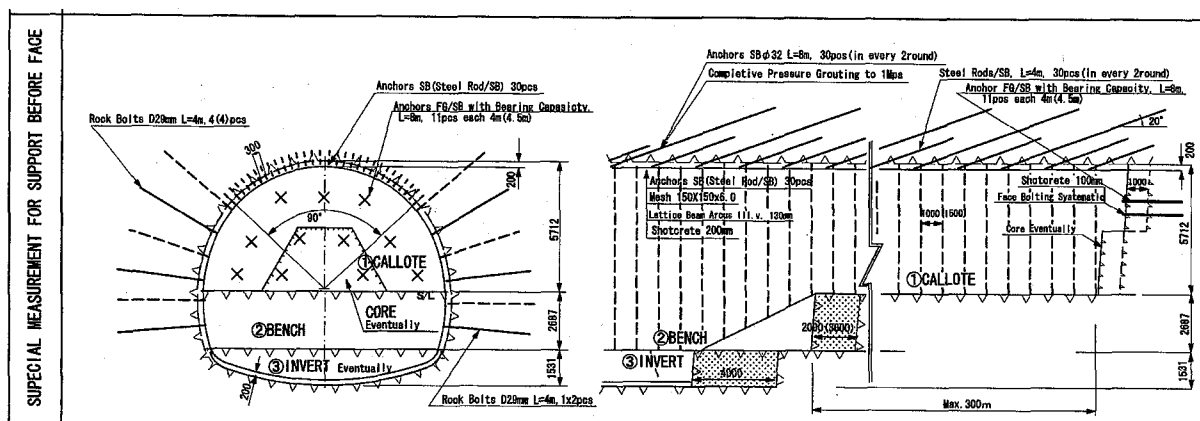


図-9 切羽前方を補強した支援パターン

をパラメトリックに変化させて、岩塊の崩落形状や崩落土量を実現象と比較しながら、ブロック的崩落現象の可能性について検討をすすめた。

岩盤の物性値

- ・ 単位体積重量 $\gamma=26.38$ (kN/m³)
- ・ 弾性係数 $E=1.20 \times 10^7$ (kN/m²)
- ・ ポアソン比 $\nu=0.25$
- ・ 強度定数 $\sigma c=90$ (MPa)
- ・ 側圧係数 0.5

亀裂の物性値

- ・ 垂直ばね定数 $k_n=1.0 \times 10^8$ (kN/m³)
- ・ せん断ばね定数 $k_s=3.0 \times 10^6$ (kN/m³)

(3) 解析結果

亀裂の粘着力を400kN/m²、摩擦角を30°とした場合の岩塊崩落状況を図-8に示す。亀裂に沿って岩塊が形成されて崩落していることがわかる。この強度定数の組合せでは、崩落土量は約10m³である。摩擦角が0°に近づくと、崩落土量が増え、亀裂面での強度を全く考えない場合、130m³程度の崩落が生じる可能性があり、実際の崩落現象を表現できることがわかった。

6. 地山脆弱部での対策方法

上記のような岩盤自体の強度が高くてもブロック状に切羽が崩落する箇所の不規則な存在については、岩盤判定会議を通じて、坑内変位、切羽観察からの特定、フォアボーリング等の施工時情報からの特定、追加物理探査による特定を試みた。しかし、発破とともに花崗岩の亀裂に沿って細かいブロックが滑り落ちてくるため、亀裂の方向によっては崩落することなく、母岩が硬いため、切羽後方部での計測データはいずれも小さく、計測データの分析では地山脆弱部を特定することができなかった。また、亀裂は局所的に存在するため、切羽観察によって必ずしも亀裂の有無を精度よく判別することができない上、切羽前方への削孔による検層や物理探査でも事前に崩落する箇所を予測することが困難であった。引き続き、岩盤判定会議にて事前対策の手法として、フェースボルトの長さ、本数、先受工の径、長さ、本数の検討に基づいて、数パターンによる対策工の実施を行い、最終的にフェースボルトと長尺鋼管先受工のパターンの有効性を確認し、そのシステム化を図った。

最終的に決定した支保パターンを図-9に示す。フェースボルトは長さ8mのFG(ファイバークラス)ボルトであり、4m掘進毎に打設しラップ長を4mとした。一断面に11本打設している。長尺鋼管先受工は長さ8mの鋼管を天端部90°の範囲に打設している。また、ピッチは300mmで、計30本打設し、2間毎の施工である。長尺鋼管先受工の施工状況を写真-2に示す。

また、全般的に岩質が当初の予測に反して悪化し、その上、上記のような補助工法の追加が余儀なくされたために、工期の促進がプロジェクト上必要とされ、岩盤判定委員会にて迎え掘りが採択された。

4回のブロック状の崩落を経験したが、上記に示したステップに基づいた検討を慎重に実施し、岩盤の状況を把握しながら、支保および補助工法の設定を行い、施工上の課題は多かったものの、無事故にて2005年2月に貫通することができた。

現在の現場の状況写真を写真-3から写真-5に示す。

7. おわりに

2004年5月、スロバキアはEU(欧州連合)に正式加盟した。欧州内外の自動車メーカー、電気メーカーが次々と進出を決定するなど政治的、経済的にも今後の発展が大いに期待されている。その一方、インフラ整備についてはまだ充分とはいえないのが現状である。当該高速道路工事は、プラチスラバ市内の交通渋滞緩和と周辺諸国地域経済の活性化、さらには欧州各国間の国際物流の円滑化に寄与するものである。このような状況の中で、2005年2月の貫通式においては、首相、建設大臣、市長および日本大使のご参加を頂戴し、日本の建設会社の技術力を高く評価して頂き、盛大に式典が行われた。また、トンネル掘削に引き続く二次覆工コンクリートを2005年9月に、トンネル内コンクリート舗装も同年11月に完了した。

地元の人々の大きな期待に応えるべく、現在トンネル設備工事を鋭意施工中であり、2007年5月開通を目指している。

謝辞：当工事を進めるにあたり、ご協力頂いた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) トンネル工事における岩盤分類の適用の現状と問題点、日本トンネル技術協会、p. 16, 1980.

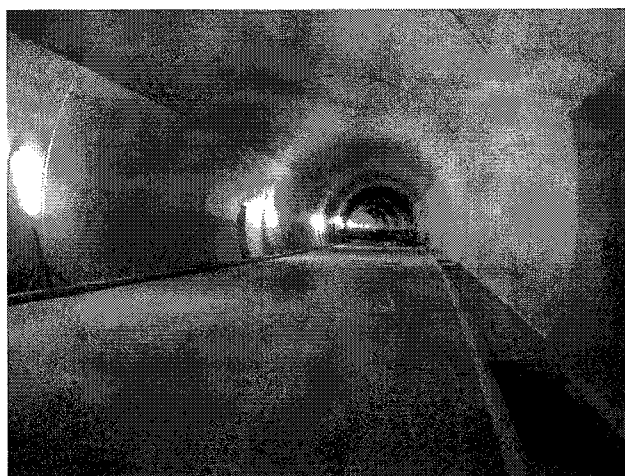


写真-3 トンネル坑内

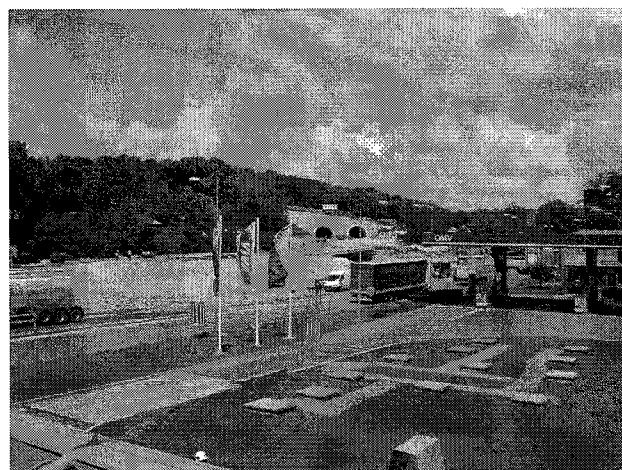


写真-4 南側坑口

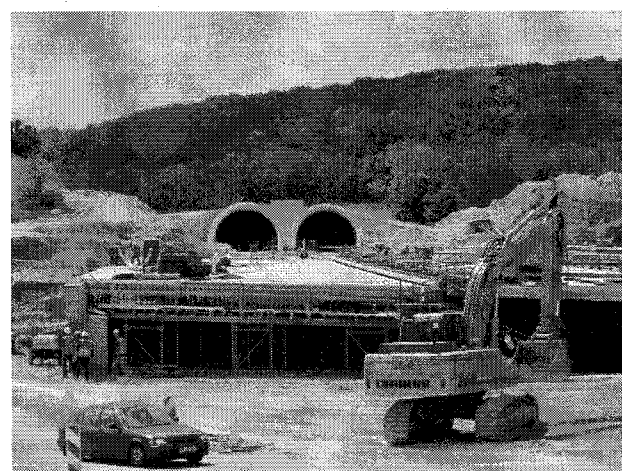


写真-5 北側坑口