

本論文はソウル市中心部より 20km 西方のハン側近傍にて NATM によりトンネル掘削を実施した結果、地下水位の低下のより過度の地表面沈下を引き起こした施工事例を紹介する。



図-1 地表面沈下計測位置

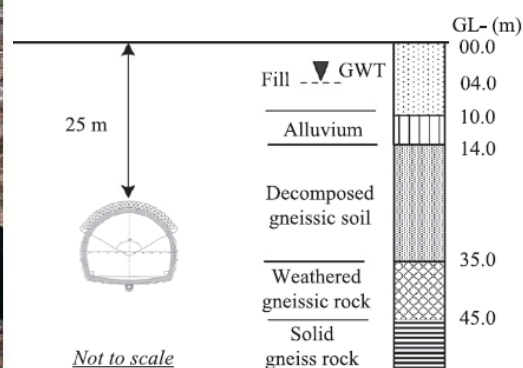


図-2 地質縦断面図

本トンネルの支保パターンを図-3 に示す。なお本トンネルではマイクロシリカによるプレグラウティングを施工し、地下水位低下に対抗することとした（図-4 参照）

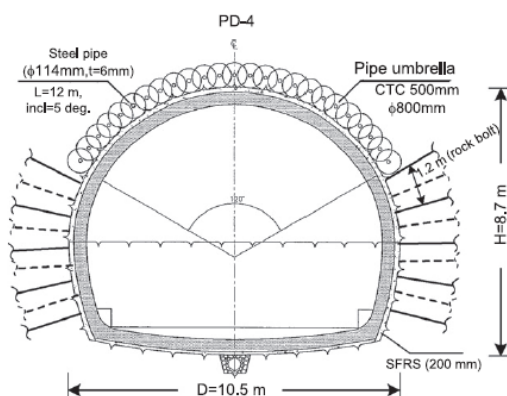


Fig. 4. Support pattern for STA22km800-890.

図-3 支保パターン

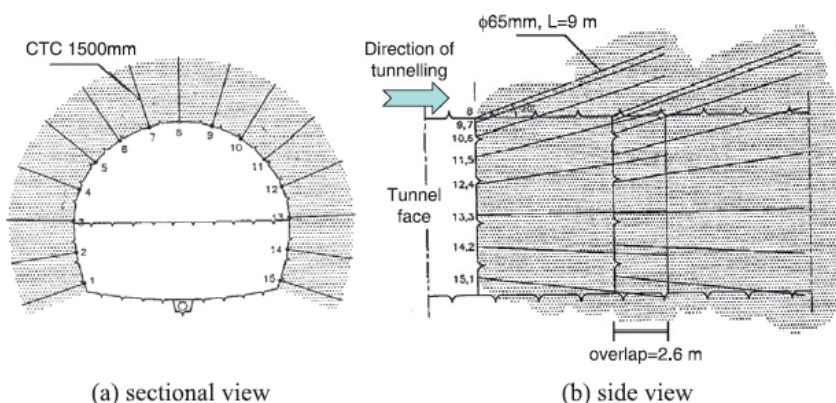
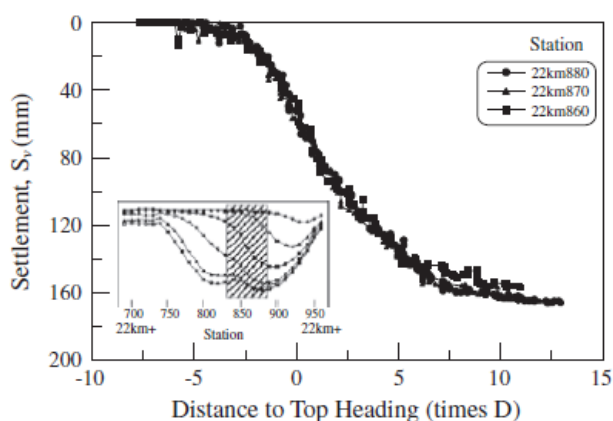


Fig. 5. Schematic view of pre-grouting.

図-4 プレグラウティング施工範囲

得られた結論は以下の通りである。

- ・地表面沈下計測によれば、切羽前方 4 ～5D 程度で先行変位が発生し、切羽通過から 6 ～7D 程度で変位収束する結果となった。これは、地下水位低下が無い施工実績に比べ影響範囲は広い結果となった。



(a) STA22km830~880

図-5 切羽離れと地表面沈下の関係

- ・累積確率分布関数を用いた地表面沈下の予測式 (New and O' Reilly 1991) の計算結果と実際に計測された切羽離れ-地表面沈下関係を比較すれば、完全に一致した。なお地表面沈下の実測値と一致した係数 i は 2.5 と求めたが、これは地下水がない場合の 5 倍である。

$$w = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi}i} \exp \left[-\frac{y^2}{2i^2} \right] \left\{ G \left(\frac{x-x_i}{i} \right) - G \left(\frac{x-x_f}{i} \right) \right\}$$

$$i = \frac{D}{2} \left(\frac{z_0}{D} \right)^{0.8}$$

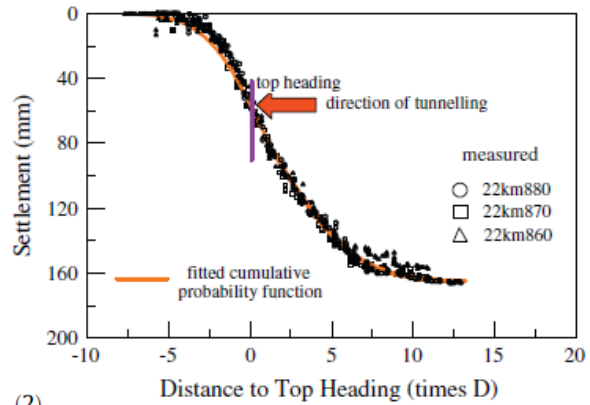


図-6 地表面沈下の予測式と実測値の比較

- ・本トンネルではプレグラウティングを実施したにもかかわらず、25m の地下水位低下が生じた。これはプレグラウティングの品質が期待したほどよくなかったことに起因すると考えられる。また全地下水位の 65% が切羽到達時に低下しており、ポストグラウティングの効果はほとんど発揮されないものと想定される。
- ・地盤有効応力と間隙水圧を連成した 3 次元解析の結果から、地下水位の低下が地表面沈下に対する一次的な要因になったことが確認された。

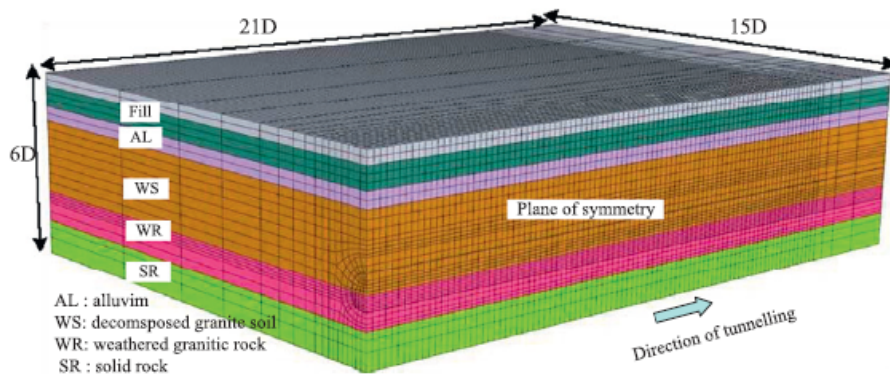


Fig. 12. Finite element model adopted.

図-7 3次元解析モデル

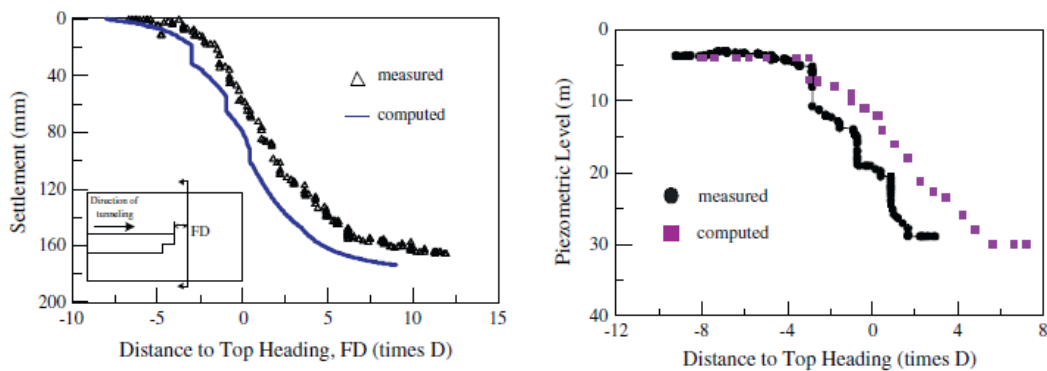


図-8 3次元解析と実測値の比較

中国では現在建設中あるいは竣工した大規模地下発電所において、合理的な加背割りと外周発破工法の組み合わせが広く用いられており、またその施工結果に関する分析がなされていること、岩盤の原位置応力と爆破孔に隣接する発破の圧力の組み合わせを考慮した爆発ガスによるクラックの生成過程に関する分析に基づき、側圧が高い状態にて掘削面外周に沿って形成されるクラックの発生過程を解析することが可能であるため、合理的な掘削順序とどのような外周発破工法を組み合わせるかは地下発電所の建設において重要な技術の一つとなっている。本文では岩盤の原位置応力(初期地圧)が外周発破工法による岩盤のクラック形成に大きく影響しており、原位置の岩盤応力が 10~12MPa である場合、岩盤を掘削する際にプレスプリットまたはスムーズブラスティングを用いるのは適当でなく、中央部を先に掘削した状態でプレスプリットまたはスムーズブラスティングを用いるのが適当であると結論づけている。

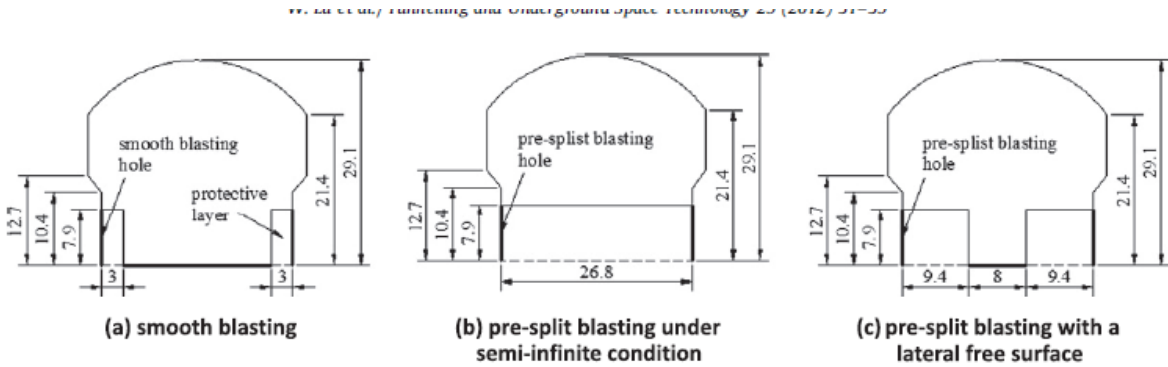


Fig. 11. The calculating conditions for contour blasting (units: m).

図-1 外周発破工法における計算条件

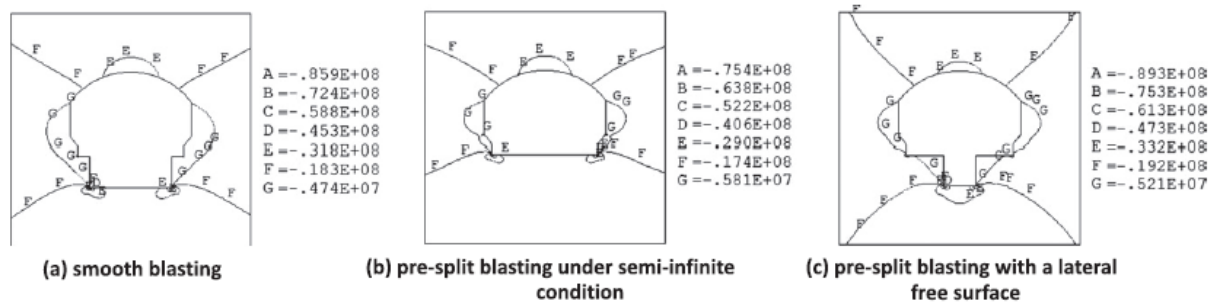


Fig. 12. The horizontal stress isoline of underground powerhouse before contour blasting (units: Pa).

図-2 外周発破を実施する前の水平応力成分

高速道路トンネルにおけるランドスケープデザインには、視覚的な連続性を確保することによる運転中の疲労を低減、当該地における文化などを表現、運転の誤操作を防ぐことによる安全性の向上、経済的な合理性の確保など様々な意義を有する。本文ではトンネル坑口の形状と地元文化との融合、環境保全に対する配慮、坑口における照度変化など、中国における発展途上にあるランドスケープデザインの多様性についてまとめる。

高速道路トンネルの坑口におけるランドスケープデザインの項目

デザイン項目	特徴	対応する写真番号
幾何形状 直線的 曲線的	雄大な 力強い 安全な 優しい 気品のある 楽しい	Fig8 Fig9
構造 擁壁付き坑口	単純な構造で設置されることが多くシンプルである しばしば装飾の対象となることが多い	Fig8 Fig10 Fig23 Fig40
坑門形状 突出式 ベルマウス式 逆ベルマウス式	シンプルであり連続性がある 坑口は植栽されることが多い	Fig9 Fig34 Fig38
色彩とパターン 色彩 パターン	数色の色を使って彩色される 絵やカリグラフィーにより装飾される	Fig10 Fig13 Fig29 Fig40
彫刻	坑口の擁壁に彫刻的な造形を施される	Fig29
建築物的造形	坑門を建築構造物により装飾する	Fig10 Fig13
建設資材を用いた ランドスケープ	セラミックタイル、花崗岩、軟岩、着色した岩石などを張り付ける	Fig13 Fig29 Fig40
民族的な特徴の表現 当該地の文化 歴史的な文化	抽象的な線構成、構造、パターン、形状などによる ランドスケープにより当該地の民族的な特徴を表現する	Fig13 Fig23 Fig29
トンネルのかさ部	トンネル外に出る際のまぶしさを緩和する	Fig34
地山形状に応じたかさ 構造	地山を切土することのないトンネルのかさ構造	



Fig.8



Fig.9



Fig.10



Fig.13



Fig.23

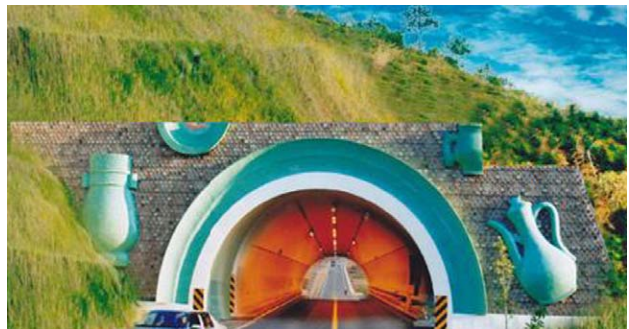


Fig.29



Fig.34



Fig.33



Fig.38



Fig.40

Hard-rock LHD cost estimation using single and multiple regressions based on principal component analysis
主成分分析に基づく単回帰および重回帰分析を用いたロードホールダンプの費用予測

ロードホールダンプは、鉱山または硬岩地山のトンネルにおいて、ずりの積み込みや運搬に欠かせない機械であり、計画段階にてこの機械に要するコストを精度よく予測することは重要である。本文では初期コストおよび運用コストの種別、ディーゼルか電気かの動力種別に分けて、ロードホールダンプに要するコストの予測式を単回帰および重回帰分析をもとに構築した結果を紹介する。

単回帰分析ではバケット容積（BC）に対して、またまた重回帰分析ではバケット容積（BC）、車両全幅（OW）、車両全高（OH）、馬力（HP）の4変数からロードホールダンプの初期コストおよび運用コスト予測式を作成した。なお重回帰分析を行うに当たり、まず主成分分析を実施して各変数同士の相関性を除去した後に有意なPC値を算定し、これを重回帰分析における独立変数として用いることでロードホールダンプに関する変数とコストの関係を構築することとした。なお、平均絶対誤差は単回帰分析で11.59%、重回帰分析で6.87%である。

$$\begin{aligned} \text{LHD}_{\text{diesel}} \text{Capital Cost} &= 72417.6 \times \text{BC} - 76992.4 \times \text{OW} - 290683 \\ &\quad \times \text{OH} + 2856 \times \text{HP} + 711670 \\ \text{LHD}_{\text{diesel}} \text{Capital Cost} &= 332670 \times \text{BC}^{0.586} \\ \text{LHD}_{\text{diesel}} \text{Operating Cost} &= 7.939 \times \text{BC} - 3.606 \times \text{OW} \\ &\quad - 20.653 \times \text{OH} + 0.2995 \times \text{HP} \\ &\quad + 51.723 \\ \text{LHD}_{\text{diesel}} \text{Operating Cost} &= 36.19 \times \text{BC}^{0.638} \\ \text{LHD}_{\text{electric}} \text{Capital Cost} &= 400060 \times \text{BC}^{0.484} \\ \text{LHD}_{\text{electric}} \text{Capital Cost} &= 38150.7 \times \text{BC} + 128092.1 \times \text{OW} \\ &\quad + 376946.9 \times \text{OH} + 1214 \times \text{HP} \\ &\quad - 593310 \\ \text{LHD}_{\text{electric}} \text{Operating Cost} &= 43.32 \times \text{BC}^{0.503} \\ \text{LHD}_{\text{electric}} \text{Operating Cost} &= 4.247 \times \text{BC} + 14.26 \times \text{OW} \\ &\quad + 376946.9 \times \text{OH} + 41.97 \times \text{HP} \\ &\quad - 66.79 \end{aligned}$$

単回帰分析のコスト予測式

重回帰分析のコスト予測式

表.1 運用コスト予測のための回帰係数

Cost items		Bucket capacity	Overall width	Overall height	HP	Intercept
<i>Diesel</i> Overhaul	Parts	0.455898	1.893403	3.686007	0.011268	-7.01104
	Labor	0.600886	2.495554	4.858253	0.014851	-9.24448
	Maintenance	0.847422	3.519448	6.851531	0.020944	-13.0585
	Parts	1.116283	4.636065	9.025319	0.027589	-17.1794
	Labor	0.001862	0.001921	0.006911	0.067662	-0.01714
	Fuel/power	0.458414	-0.44745	-1.74747	0.017966	4.236468
<i>Electric</i> Overhaul	Lubrication	0.282226	1.172121	2.281843	0.006975	-4.18899
	Tires	0.083239	0.345703	0.673002	0.002057	0.149536
	Ware parts	0.484701	1.627398	4.789075	0.015424	-7.54138
	Parts	0.638482	2.143721	6.308499	0.020317	-9.92655
	Labor	0.899788	3.021062	8.890322	0.028632	-13.99124
	Maintenance	1.18607	3.982262	11.71892	0.037742	-18.44537
<i>Electric</i> Overhaul	Parts	7.33E-05	0.008286	0.008893	0.0443	-0.02132
	Labor	0.217752	0.731107	2.151486	0.006929	-3.38131
	Fuel/power	-0.4456	-0.17465	-7.06685	0.072266	12.43615
	Lubrication	0.101841	0.341933	1.006233	0.003241	-0.36288
	Tires					
	Ware parts					

Capital Cost US\$
Operating Cost US\$/h

Input to the application of the convergence confinement method with time-dependent material behaviour of the support

支保挙動の時間依存性を考慮した CCM 法の応用

CCM 法は地下構造物設計の初期段階にて、GCC(地山特性曲線)、SCC(支保特性曲線)、LDP(軸方向変位特性)から、必要となる支保仕様を求める方法である(図-1)。

それぞれの曲線が解析上の仮定に基づき設定され、また仮定に応じて各種曲線が事実上異なることから、CCMの利用にあたっては注意が必要であり、CCMを正しく利用するためには、CCMの概念やトンネルの崩壊過程を理解することが重要となる。

図-2 は解析における解法の違いが切羽離れ-トンネル変位関係に与える影響を調べたものであるが、解法の違いによりトンネル変位が異なることが分かる。このため支保設置の効果をどのように見積るかは、解法に依存することを認識する必要がある。

図-3 は吹付けコンクリートの降伏を考慮した SCC(支保特性曲線)と吹付けコンクリート剛性の時間依存特性を考慮した SCC を CCM に当てはめた例を示している。この図から吹付けコンクリートの初期の強度発現を正確に模擬することが CCM を利用する上で重要であることが理解できる。

図-4 はロックボルトの結合力の増加を考慮した CCM の事例を示している。同図からロックボルト打設に伴う地山強度の増加により、GCC(地山特性曲線)も変化することが理解できる。

本文では異なる理論に基づいて求められる曲線を CCM 法に適用する場合の留意点を示したが、さらなる考察が必要と考える。

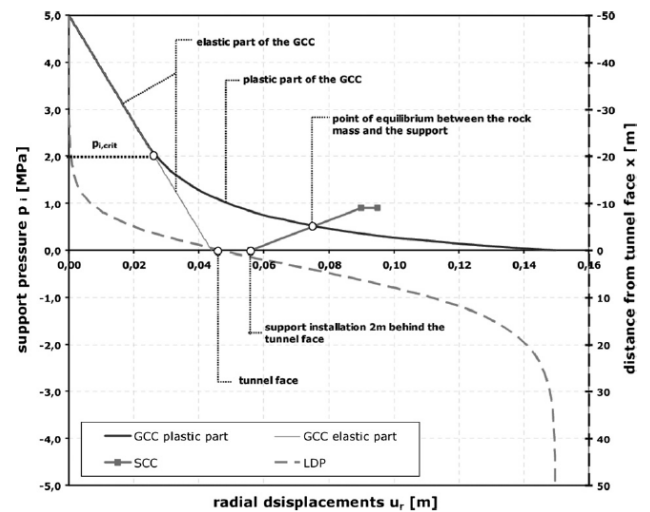


図-1 CCM 法の概念

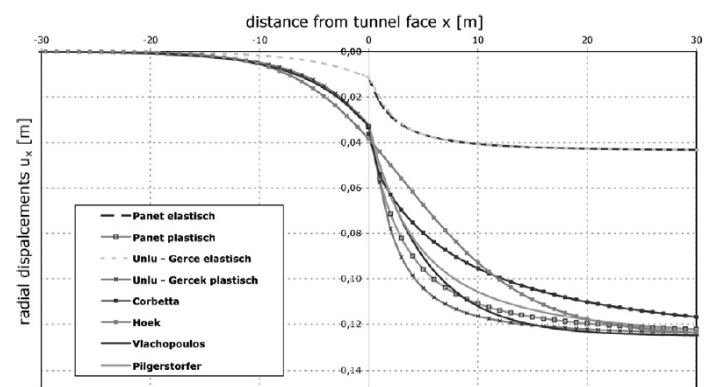


図-2 解析における解法と切羽離れ-トンネル変位

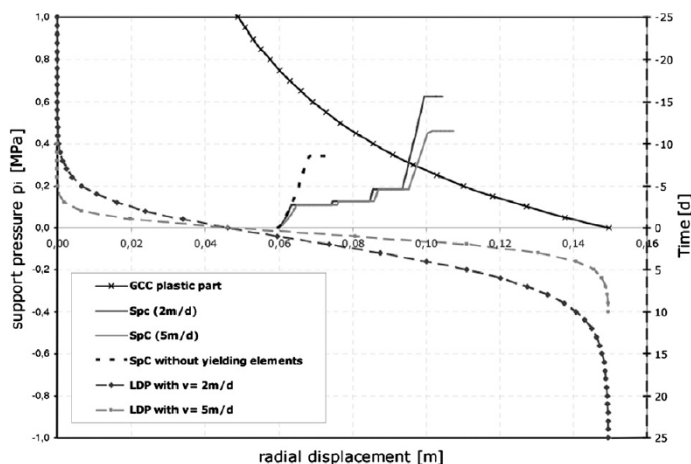


図-3 吹付けコンクリート剛性の時間依存性を考慮した支保特性曲線の CCM への適用

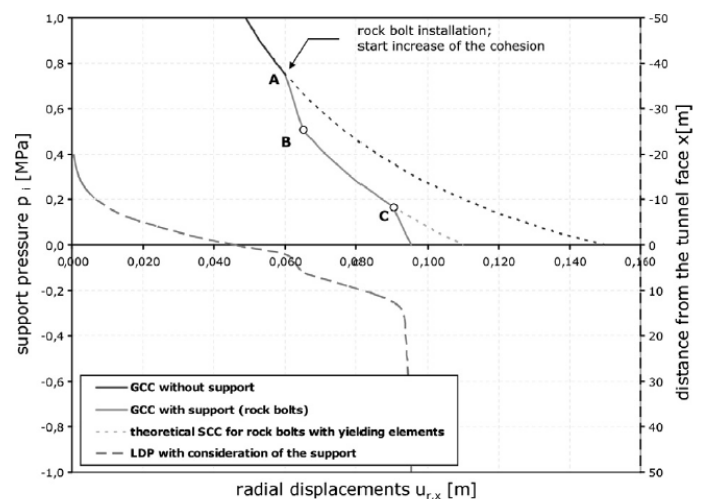


図-4 ロックボルトの結合力増加を考慮したの CCM 事例

長大トンネルにおける交通制御方策に関するシミュレーション

全長 12.9km の長大トンネルである雪山隧道の開通後に台北から宜蘭間の交通需要が飛躍的に増加しており、このトンネルで交通渋滞や事故・火災等が発生することを想定した効率的な交通制御方策が求められている。

本研究では、現在利用可能な交通制御方法（ランプメータリング、路肩の交通解放、情報掲示板を利用したリアルタイムの情報提供など）をベースとした各種の交通制御方策の有効性を評価することを目的として交通流シミュレーションを実施した結果を示す。なおシミュレーションにあたっては考慮すべき道路ネットワークが図-1 に示すとおり広範囲にわたり、かつ道路の渋滞状況や交通制御に応じてドライバーのルート選択を変更する事象を模擬する必要があるため、DynaTAIWAN というシミュレーションコードを用いて、出発前の交通状況から時刻に依存した OD 表を作成して交通流をシミュレートするフェーズと各種の交通制御手法による交通流動の変化を考慮した修正 OD 表を作成するフェーズの2層に分け、それらを連動させたシミュレーションを行うことにより、有効な交通制御方策を探ることとした。

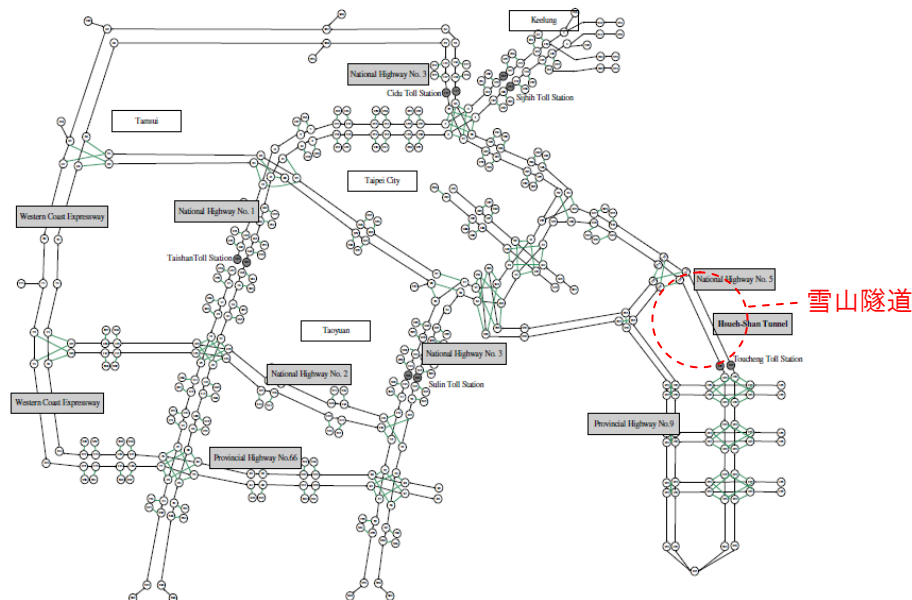


図-1 交通流シミュレーションのネットワーク図

この結果、単独の方策としてはランプメータリング（Strategy1）が事故発生時における円滑な交通流の維持に効果の高い方策となった。一方でネットワーク上で代替ルートが十分に表現できなかったことから、リアルタイムの情報提供に関する効果は明らかにならなかった。

表-1 交通流シミュレーションによる交通制御方策の比較
(渋滞長/交通密度/平均旅行速度)

A summary of simulation results.

Scenario	Average queue length (PCU/Interval)	Standard deviation of queue length	Average density (PCU/km)	Standard deviation of density	Average speed (kph)	Standard deviation of speed
No Incident	0	0	5.44	4.16	62.06	1.15
Incident	34.26	29.63	18.59	12.92	51.93	10.60
Traffic Management Strategies						
Strategy 1: ramp control	28.63	26.21	15.36	11.08	53.70	9.56
Strategy 2: shoulder-lane open	31.85	31.19	17.19	13.07	52.78	11.10
Strategy 3: Variable Message Sign (VMS)	30.20	27.52	16.79	11.90	53.22	9.92
Strategy 4: Ramp Control + VMS	31.88	28.77	17.40	12.57	52.67	10.34
Strategy 5: Ramp Control + shoulder-lane Open	28.68	27.04	15.91	11.68	53.72	9.86
Strategy 6: VMS + shoulder-lane Open	34.00	32.39	18.09	13.51	52.12	11.46
Strategy 7: Ramp Control + VMS + shoulder-lane Open	28.00	29.19	15.71	12.47	53.97	10.45

油圧インパクトハンマーとは切削に適した地質を経済的に掘削することができる機械である。しかし岩盤性状と機械特性とを関連付ける掘削性能予測方法に関する文献はほとんど存在しないが、トンネル掘削の際にはこれら機械の性能を正確に予測することが必要となる場合があり、性能予測が十分でないとコストの増大にもつながる。

本文では人工ニューラルネットワーク(ANN)と適応ニューロファジー推論システム(ANFIS)を用いてインパクトハンマーの正味の破壊率について、スタンプールのメトロトンネルプロジェクトで得られたデータを用いて検討を行った結果を示す。なおこれら2種の手法による予測モデルは重回帰分析に基づく予測手法と比較した。検討の結果、シュミットハンマーの計測値(SHRH)とRQD値を用いることにより、より正確で信頼性の高い予測を行えることが判明した。