

## Drained and undrained response of deep tunnels subjected to far-field shear loading

### せん断荷重を受ける深いトンネルの排水条件および非排水条件での挙動

本論文は、長方形空洞での理論式（応力・変形・水圧）を導出すると同時に、既往理論式を用いた円形空洞等と、比較検討を実施している。また、長方形空洞の理論式の妥当性確認のために FEM 解析（ABAQUS）との比較を行なっている。

比較検討しているパラメータとしては、

- 排水条件（排水 or 非排水）
- 空洞形状（円形 or 長方形）
- 構造物と地盤との結合条件（fullslip or noslip）

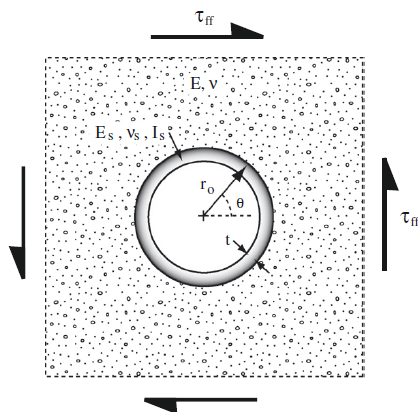


Fig. 1. Circular tunnel subjected to far-field shear stresses.

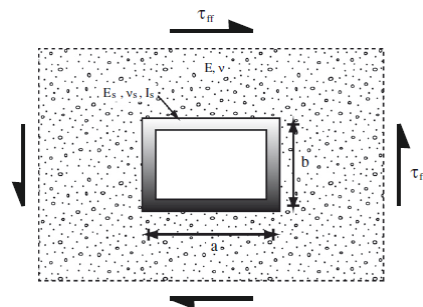


Fig. 4. Rectangular tunnel subjected to far-field shear stresses.

### <導出した理論式の妥当性について>

下図のとおり非排水条件で長方形空洞の最大せん断応力  $q$  と過剰間隙水圧  $u$  は、ABAQUS による結果とよく一致している。

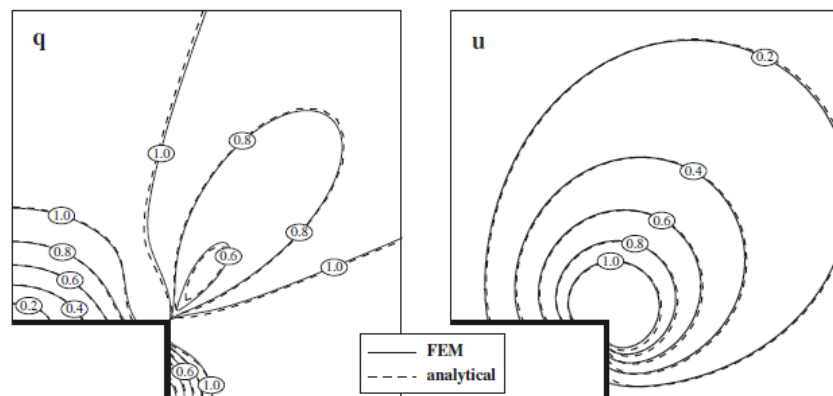


Fig. 5. Comparison between FEM and analytical solution for deep unsupported rectangular tunnel with  $a=8$  m,  $b=4$  m,  $\tau_{ff}=1$  MPa. Undrained analysis. Values in MPa.

### <パラスタ結果>

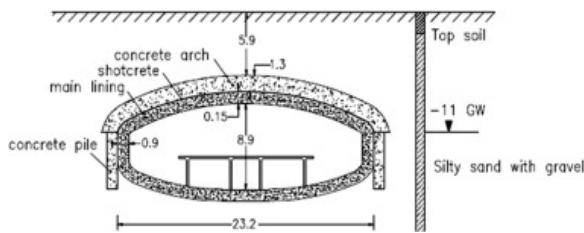
- ・円形空洞では、排水条件で noslip 条件の方が構造物のひずみ量は小さく、非排水条件では構造物のひずみは slip 条件に影響しない。
- ・長方形空洞では、排水・非排水の影響に関係なく noslip 条件の方が構造物のひずみ量が大きい。
- ・特に、長方形空洞で非排水・noslip 条件の場合には、構造物が地盤よりも剛性が低い場合に構造物のひずみは小さくなる傾向にあるが、高い場合には大きくなる傾向にある。

# Study on the effect of a new construction method for a large span metro underground station in Tabriz-Iran.

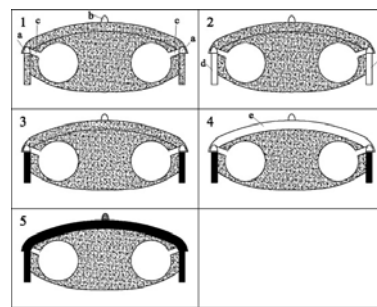
## イラン・タブリーズ長大地下鉄駅での新しい構築工法の効果の研究

この論文では、新しい先行支保システムを基本とした長大地下空間の構築工法、コンクリート・アーチ・プレサポートシステム (CAPS) が紹介されている。CAPS の構造は、古いイランの小さい水路トンネル **Quant** の構造の考え方が基本となっており、先行してコンクリートの杭とアーチ状の梁で構成される地下リブ構造物を構築するものである。CAPS は通常のフォアポーリング工法に比べ早くより経済的であり、2002 年以降テヘランの 12 箇所の地下鉄駅の施工で用いられてきた。

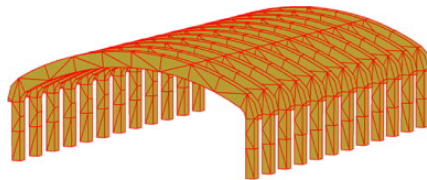
この論文では低土被り、脆弱地山、長大地下空間、地表面での大交通量といった施工条件での Tabriz 地下鉄 1 号線 Mansour 駅 (イラン・Tabriz 都市鉄道機構;TURO) 施工で CAPS を用いた場合の地盤挙動および地表面沈下について三次元 FEM 解析を用いて評価した。解析結果では、アーチ梁高が 1.5m 以上でより大きな変位抑制効果が期待でき、地表面の交通上載荷重が 30kPa 程度までであればトンネル天端変位および地表面変位を抑制することができることが確認された。これらの結果などから CAPS には地表面沈下を低減させ、トンネルの安定性を高める効果があり、大きな地山の变形抑制効果を持っていると考えられる。



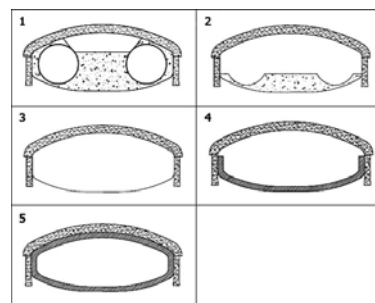
Mansour 駅断面図



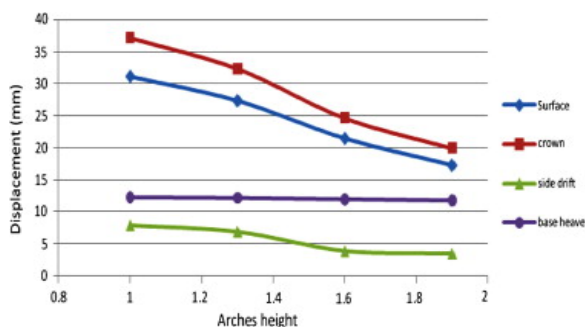
CAPS 施工順序



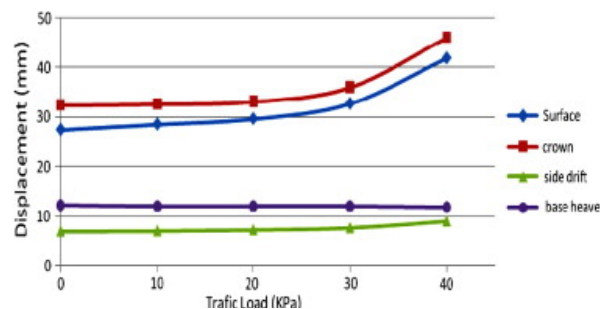
リブ形状先行支保構造 (CAPS)



CAPS 構築後掘削順序



CAPS アーチ梁高と変位の関係



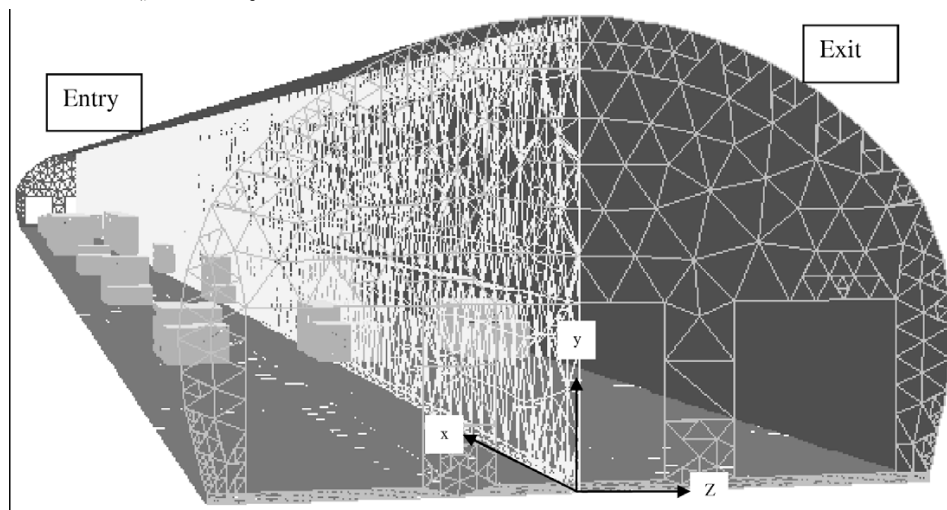
地表面交通上載荷重と変位の関係

## Simulation of air flow and pollution levels caused by severe traffic jam in road tunnel 道路トンネル内で発生する交通渋滞もたらす空気の流れと大気汚染レベルのシミュレーション

トンネル内の排気ガスの流れを把握することは、ジェットファンや換気立坑の設計必要である。一般的にトンネル内への車両の流入、トンネル外への車両の流出によるピストン効果により、トンネル内の大気汚染レベルは低く抑えられるが、トンネル内で渋滞が発生すれば、人体にとって危険な汚染レベルとなる可能性があり、安全な汚染レベルに低下させるよう、適切な排気システムが必要となる。本文では、メルボルン市のトンネル（延長1600m）を対象として、トンネル内で渋滞が発生した場合を仮定し、排気ガスによる空気の流れや大気汚染レベルに関するコンピューターシミュレーションを実施した。

### <解析条件>

流速、気圧、気温、トンネル内の空気の成分割合（ $O_2, CO_2, CO, H_2O, N_2$ ）について、流体力学を基にしたコンピューターシミュレーションを実施した。解析モデルは、高さ7m、幅12mの一方通行のトンネルを想定し、出口付近で発生した事故により渋滞が発生する状況を仮定した。なお全ての車両のエンジンが運転を続けており、トンネル坑口では20℃の外気と接していると仮定した。



### <解析結果>

シミュレーション解析では以下の2ケースを検討した

（ケース1：ジェットファンが定常的に稼働している状態）

トンネル天端に60m間隔でジェットファンを設置し、またトンネル終点から200m内側に入った場所に換気用立坑とジェットファンを設置したケース

（ケース2：ジェットファンが停電により作動を停止した状態）

ジェットファンが停電により作動しなくなった事態を想定したケース

シミュレーションの結果、ケース1においても、人体に有害と判断される濃度まで汚染物質濃度が上昇する地点が確認され、ケース2ではその濃度がさらに高まり、非常用電源設備を具備する必要があることが判明した。

トンネルの運用上は、事故時にエンジンを停止することが必要であり、トンネル管理者に対して、利用者が安全に避難できるよう、トレーニングを行なうことが求められる。

## Profile-image method for measuring tunnel profile – Improvements and procedures

トンネル内空形状測定のためのプロフィール画像法の改良と手順

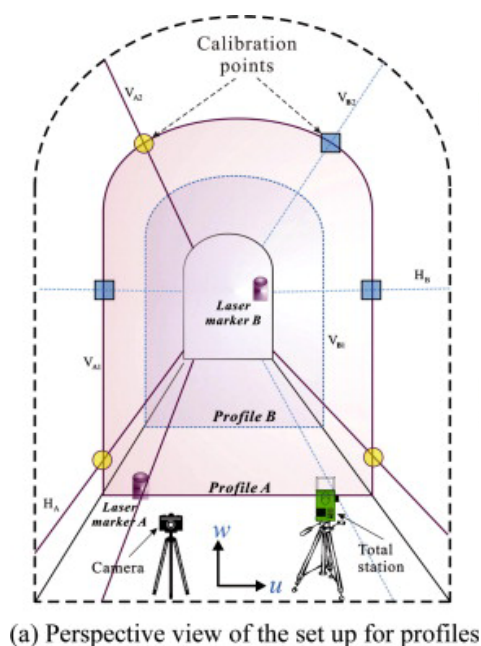
早く正確に安全にトンネル外形を計測する方法としてプロフィール画像法が用いられる。この手法では撮影したトンネル外形の写真から 3 次元座標を抽出し、計測値を計算するものであり、撮影した画像平面 (CCD) とレーザーで照射するトンネル外形が平行な位置関係にあることで精度よく計測ができる。

この平行な位置関係での写真を撮影するために、従来は手動でカメラが平行になるように設置してきたが、本論文では水平状態にする方法として、完全に水平には撮影されていない写真内に座標既知のキャリブレーションポイントを作成し、画像上でトンネル外形と平行な位置関係にキャリブレーションすることで、時間のかかるカメラの方向調節を省き、作業を効率化する方法を提案している。

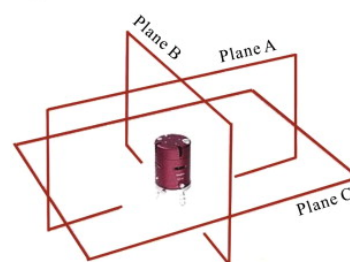
また、トンネル外形の照射には、通常、回転レーザーによりトンネル外形を照射して、その面との傾斜角を計測することとなるが、これに対してはマルチラインレーザーメーカーを用いることで容易に水平面をとることができ、その精度は 10m で 2mm の高精度が得られる。

論文ではキャリブレーションポイントの数と配置によりどの程度の精度が得られるかを比較しており、結果よりキャリブレーションポイントは数が多いほどよいというものではなく、6 点程度が最も精度が高く、またキャリブレーションポイントは計測点付近に多数とるよりもトンネル外形で一様にとるほうが高い精度を示した。

また検討にあたって原位置試験では日光や光源で明るくなりすぎた点について精度が非常に悪くなり、これについては更なる分析が必要である。



計測イメージ



マルチラインレーザーメーカー

## Tunnel safety, risk assessment and decision-making

### トンネルの安全性（リスクアセスメントと意思決定）

近年、ヨーロッパにおいて大惨事にいたるトンネル火災が多数発生している。この結果、EU 議会から著者に対してトンネルの安全性確保のため、特に意思決定手法とリスクアセスメントに関する将来的な政策を作るうえでの提言を行なうように依頼があった。

2008 年にレポートを提出し、このレポートは EU 議会のウェブサイトで閲覧が可能となっている。レポートでは、一般的なものから特殊なものまで、幅広いトピックを網羅する 25 の提言を記述しており、本文ではこの提言に関する要点が述べられている。

トンネルの安全性を確保するための意思決定に、定量的なリスクアセスメントが用いられ始めている。しかし、このリスクアセスメントは受け入れがたい設計に至る可能性があり、幅広い知見とリスクアセスメントに内在する危険性等を十分に考慮した上で、適用する必要がある。ただし、リスクアセスメントはツールであり、使用方法を誤ると不適切な解を導くことがある。全般的に、トンネルの新設や更新を行なう際には、長年用いられている基準、定量的または定性的なリスクアセスメントを用いられることが多いが、今後はコンピューターを用いた流体動力学モデルやゾーンモデルなどの決定論的なリスクアセスメント手法や、フォルトツリー解析、スキヤスティックモデル、あるいはユーロタップのような非決定論的なリスクアセスメント手法等が主流となる可能性がある。

リスクアセスメント技術はトンネル安全性確保のための意思決定に極めて有益な情報をもたらすが、コンピューター計算に基づくような理論的な計算モデルを用いる際には様々な問題がある。まず、一般民衆に広く受け入れられる計算モデルを内包したシステムに移行できるよう、計算モデルの調整を行なう必要があり、本レポートはトンネルの安全性に関する意思決定が合理的なシステムとなるように誘導することを意図している。また、水素自動車や身障者・高齢者の避難に関連する特徴的な項目についても述べている。

本レポートの中心となるテーマは、交通パターンの変化のような社会システムの変化を考慮できるよう継続的に社会動向に着目する必要があるということである。

全てのトンネルは、当該トンネルに固有の、または他のトンネルと共通する問題を抱えている。このレポートは、トンネルの安全性確保のための意思決定が改善され、一般利用者からトンネル設計者まで、ヨーロッパから全世界までのすべての人々が受け入れられるような、より良い方向に向かうことを目的として作成されている。