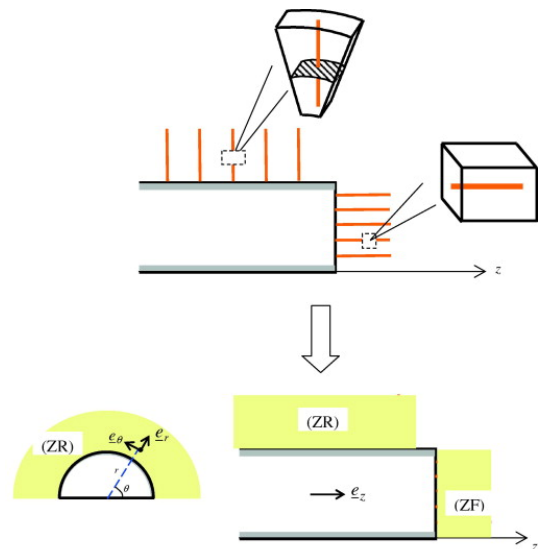


A numerical approach for design of bolt-supported tunnels regarded as homogenized structures

ボルトで支持されたトンネルを均質構造とみなした数値解析

Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 533-546

本論文はボルトで支持されたトンネルの掘削挙動を均質化アプローチによる理論モデルと数値解析により表現したものである。ロックボルトのモデル化において地盤とロックボルトを別々の部材としてモデル化すると情報量が多くなり計算量が膨大になることが難点となる。均質化手法は、このロックボルトを直接モデル化しない。具体的には、半径方向ボルトによって補強された岩盤のゾーン(ZR)とトンネル切羽が鏡ボルトで補強されたゾーン(ZF)にわけ、それぞれのゾーンを均質化された異方性地盤と見なし、Drucker&Pragerの構成則に組み込んで均質モデルのFEM解析を実施する。



Effect of rock mass quality on construction time in a road tunnel

道路トンネルにおける地質の違いによる施工時間への影響

Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 584-591

ノルウェー大学で開発したトンネルの施工速度算出モデルを用いて、延長 3000m、断面積 7 ケースの道路トンネルについて、4つの Q 値 (0.001、0.1、1.0、10) 対して施工時間および施工速度の違いについて比較検討を行った。

表. 作業分類

Standard:	トンネル掘削時間
Gross	: Standard+支保工施工時間
Tunnel	: Gross+トンネル設備に関する作業(防水工・防霜工、排水設備、電気設備、信号設備)にかかると時間
Total	: Tunnel+運搬作業、通路、坑口、不測の条件による修正などの作業にかかると時間

表. トンネル検討ケース

トンネルタイプ	T5	T8	T8.5	T9	T10	T11	T12
断面積(m ²)	35.2	56.1	59.6	63.7	65.9	79.0	86.9
高さ(m)	6.4	6.9	7.1	7.2	7.1	7.2	7.2
幅(m)	5.0	8.0	8.5	9.0	10.0	11.0	12.0

その結果、以下が得られた。

- Q 値が同じの場合、断面の大きさを T5 (35.2m²) から T12 (86.9m²) に変更すると、施工時間は一般的に 30~40%増加する。
- Q 値が 0.01 から 10 に変化すると、Total、Tunnel、Standard の施工時間はそれぞれ 50%程度減少し、Gross の施工時間は 70%近く減少している。
- Q 値が 0.01 から 10 に変化すると Total、Tunnel、Standard の施工速度は約 100%増加し、Gross の施工速度は 200%程度増加する。

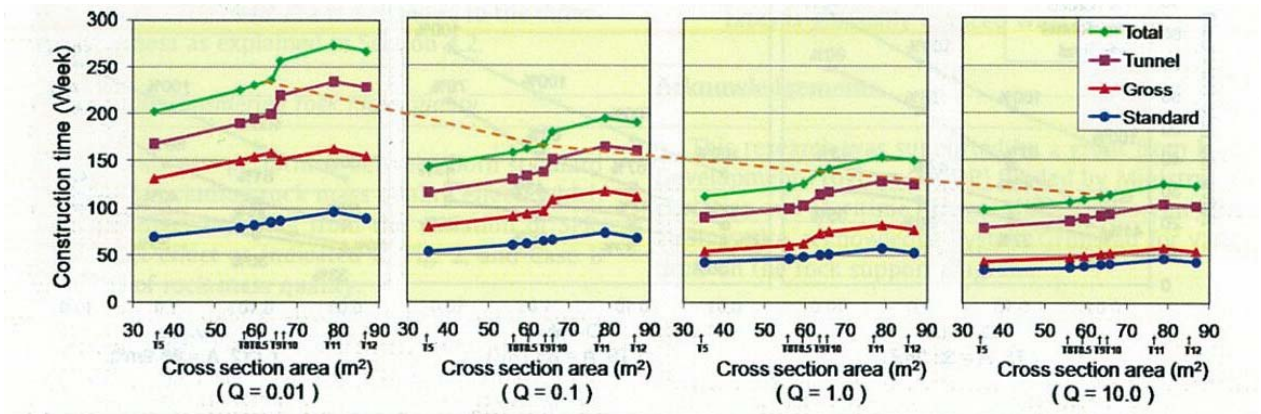


図. 検討結果 (施工時間)

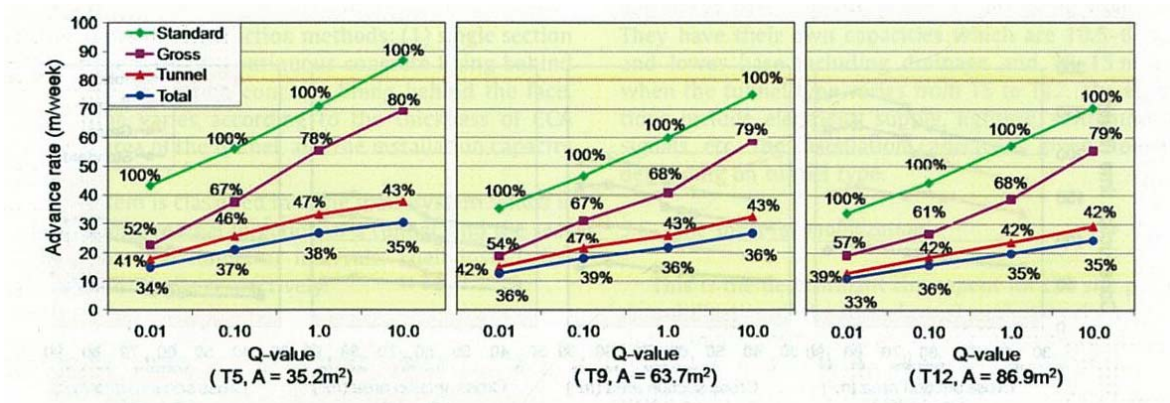


図. 検討結果 (施工速度)

本論文では、切羽面の形状（分割掘削形状）をパラメータに、3次元弾塑性FEM掘削解析により、トンネル変形量に着目した比較検討を実施したものである。分割掘削形状の代表として、下図の2工法（Ring cut method, Sidewall drift method）の比較を行なっている。地盤条件は、ソウルメトロ2期プロジェクトでの地質条件を参考に設定している。

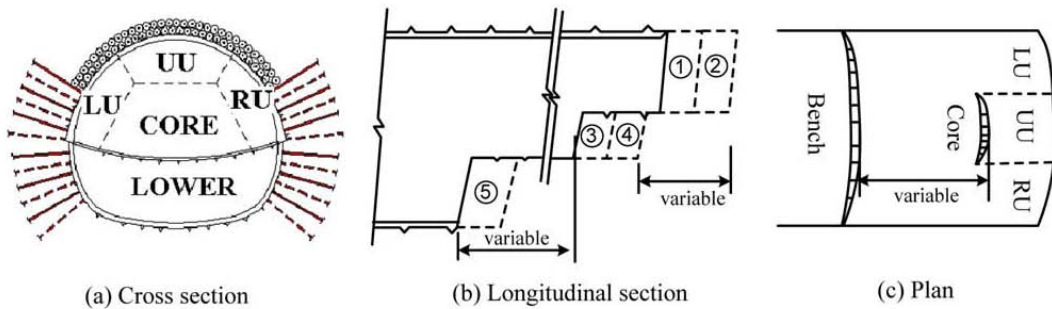


Fig. 2. Cross-section and excavation sequence of ring-cut method.

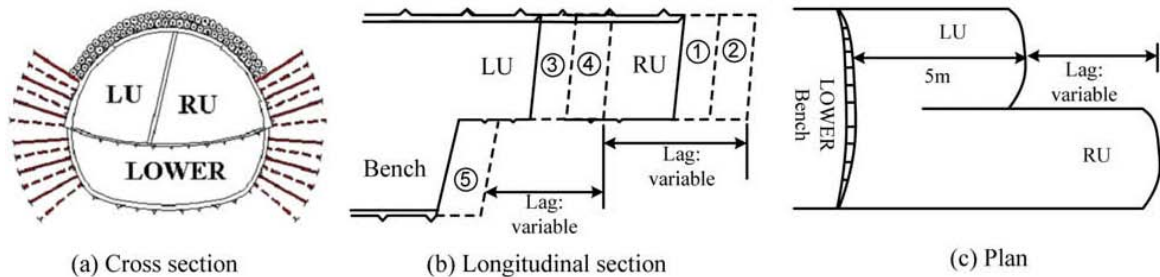


Fig. 3. Cross-section and excavation sequence of sidewall drift method.

解析の結果、トンネル天端沈下量・地表面沈下量・吹付けコンクリート応力とも、Sidewall drift methodが有利であった。

Ring cut methodでは、UU部の掘削で全変位量の80%が発生し、コアを長く取るよりもベンチ長を縮小し早期に閉合することが沈下に寄与する事が確認された。Sidewall drift methodでは、RU部の掘削時よりもLU部の掘削時のほうが天端沈下発生量は大きく、左右の切羽距離を離す方が変位抑制に有利である事が確認された。また、ベンチ長はあまり影響がないことも分かった。

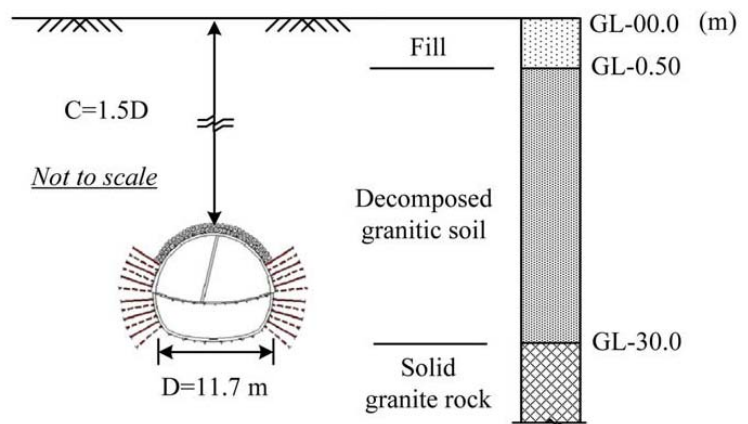


Fig. 1. Tunnel cross-section and ground profile.

Effects of the ring-cut excavation method on the restraint of displacements ahead of a tunnel face

～リングカット掘削工法によるトンネル前方変位の抑制効果～

Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 547-554

(注:M.Hisatake, Kinki Univ.)

近年では、経済性の理由から NATM が都市部でも用いられるようになってきている。しかし、周辺環境への影響低減策として各種補助工法を用いることは、NATM 工法の経済的優位性を損ねてしまう。そこで、本論文では安価で合理的なリングカット工法に焦点を当て、その沈下抑制効果について評価を行った。具体的には、実験的手法（遠心模型実験 36G）および解析的手法（3次元弾塑性解析）を用いて、リングカット工法のトンネル前方変位の抑制効果を全断面掘削工法と比較し定量的に評価を行った。

実験から、リングカット工法によりトンネル掘削を行うことで、切羽位置において沈下量が 25%、水平変位で 20% の変位抑制効果があることがわかった。解析では、リングカット工法による沈下抑制効果は 23% で実験結果とよく一致した。

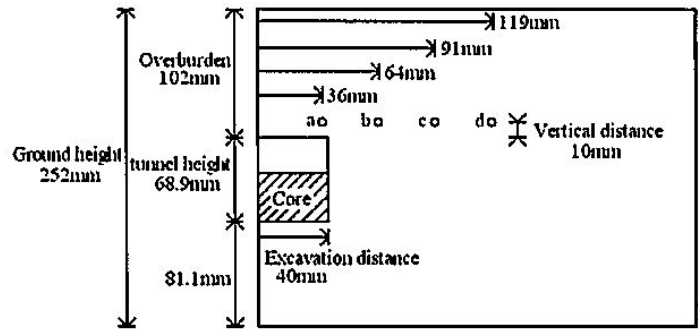


Fig. 3. Positions of the displacement measurements.

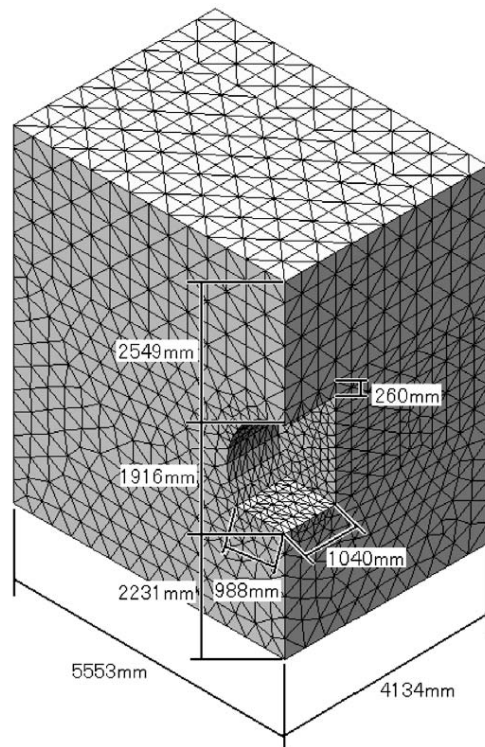
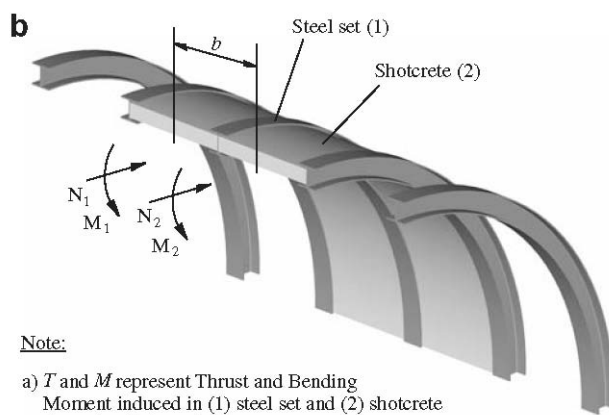


Fig. 12. Analytical model of the ground.

Mechanical analysis of circular liners with particular reference to composite supports. For example, liners consisting of shotcrete and steel sets
～複合構造に着目した支保の計算、吹付けコンクリートと鋼製支保工で構成された場合～
Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 506-532

吹付けコンクリートと鋼製支保工で構成された支保の断面力を、等価剛性のシェルとして計算する方法を紹介している。それぞれの部材における平面ひずみ状態での軸剛性 $D (= EA / (1 - \nu^2))$ と曲げ剛性 $K (EI / (1 - \nu^2))$ から等価剛性を算定し、シェルの理論式で断面力を計算する。そして、出てきた断面力を剛性により各支保工に配分する。



Note:

- a) T and M represent Thrust and Bending Moment induced in (1) steel set and (2) shotcrete along the distance b .
- b) The shotcrete thickness has been assumed to be the same as the height of the steel set section for clarity in the presentation. In practical cases, the steel sets are normally embedded in the shotcrete (see Figures 18b and 18c).

Fig. 2. (a) Circular tunnel liner consisting of shotcrete and steel sets in the Yacambu-Quibor tunnel in Venezuela (2004). (b) Schematic representation of thrust and bending moment distribution in a liner consisting of shotcrete and steel sets.

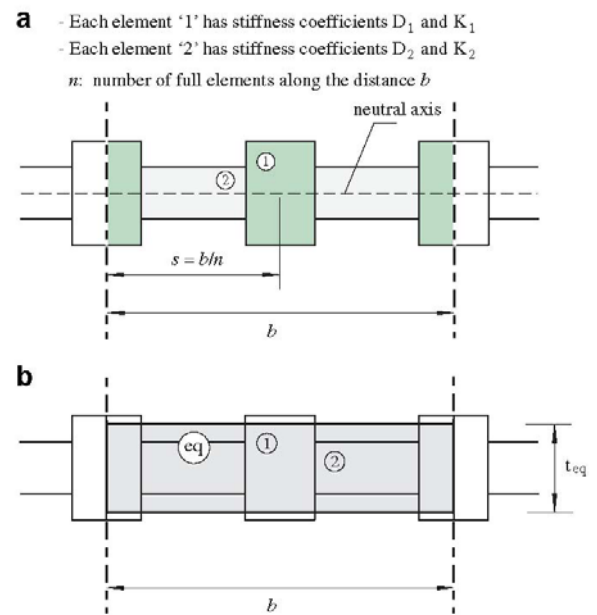


Fig. 12. (a) Schematic representation of a section of liner consisting of different materials 1 and 2. (b) Equivalent section for the composite liner.

Effective control of pore water pressures on tunnel linings using pin-hole drain method
～ピンホール排水を用いたトンネル覆工に作用する水圧の効果的な抑制方法～
Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 555-561

通常のトンネル排水方法（防水シートによる方法）はシングルシェルトンネルでは適用できず、代わってピンホール排水が有効となる。本文では数値解析を用いてピンホール排水による水圧低減効果を検証するとともに、パラスタをおこないその位置や長さによる効果の違いを確認した。

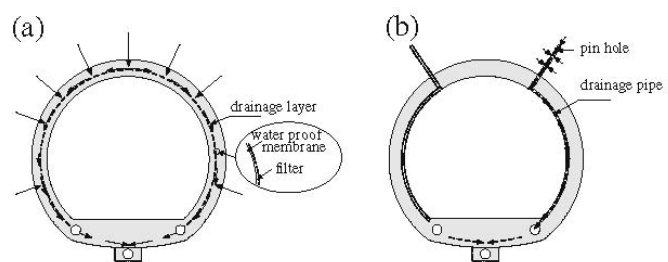


Fig. 1. Tunnel drainage systems. (a) Peripheral filter drainage system and (b) pin-hole drainage system.

解析の結果、以下の知見が得られた。

- ピンホールの長さを長くすると水圧低減効果は大きくなるが、その低減度合い小さくなる。最適長は $0.4D$ である。
- ピンホールの位置については、1本だけであればトンネルクラウンから 90° の位置が効果的。2本であればクラウンから 40° と 110° の位置が良い。
- 縦断方向の最適なピッチは $0.4D$ である。
- 水圧を効果的に下げるにはトンネル半断面で最低2本のピンホールが必要となる。

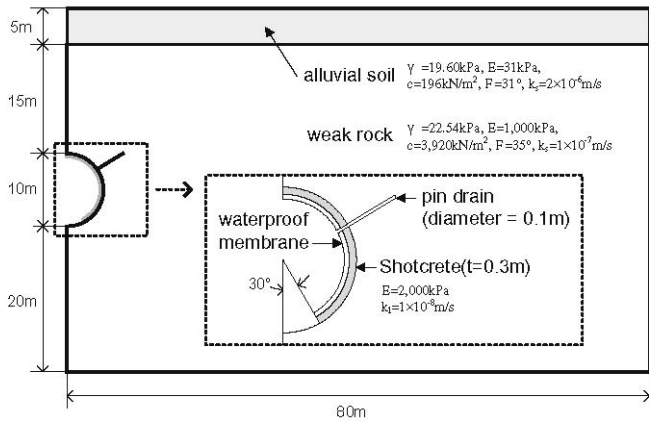


Fig. 3. Model tunnel and ground profiles.

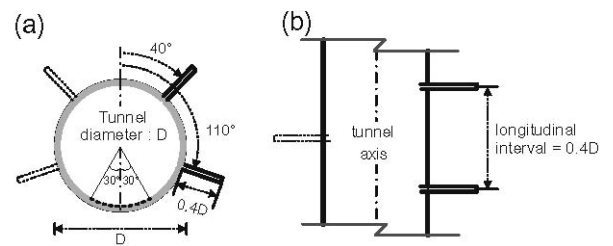


Fig. 13. Desirable arrangements of pin holes. (a) Lateral section and (b) longitudinal section.