

3次元解析によるトンネル切羽の安定評価に関する研究

九州大学工学部 正 員 江崎哲郎 蔣 宇静
九州大学工学部 学生員 末松史朗 ○田中陽子

1. はじめに

道路需要の増加や建設技術の進展に伴い、第二東名・名神高速道路におけるトンネルをはじめとする、掘削断面積が200m²を越える扁平断面形状の道路トンネルはで計画される例が増加しており、技術的・経済的対応が強く求められている。

大断面扁平トンネルでは掘削断面積が大きいため従来の二車線トンネルと比較してとくに、側壁での大きな応力集中や、切羽面の押出し量の増大によって切羽面が崩壊しやすくなることなどが考えられる。

そこで本研究では、掘削に伴う大断面扁平トンネルの周辺地山および切羽付近の挙動を3次元解析的に調べ、また、分割掘削工法を用いる場合の切羽面の安定化効果について基礎的に検討する。

2. トンネルの3次元弾塑性解析の概要

掘削に伴うトンネルの周辺地山と切羽面の力学的挙動を調べるために、破壊後の挙動も追跡できる三次元大変形差分解析法を用いる¹⁾。トンネルの断面形状は、扁平大断面(第二東名高速道路、清水第三トンネルの計画断面²⁾)を想定し、分割掘削工法としては、上半先進工法および中壁分割工法について検討し、前切羽と後切羽の間隔を25mとする。解析モデルに用いる地山の物性値をTable 1に示す。地山はMohr-Coulombの破壊規準に従い、ピーク後はひずみ軟化挙動を呈するものとする。また、残留強度をピーク強度の50%とし、トンネルの深さは地表からスプリングラインまで150m、側圧係数を0.54とする。

支保工は、延長方向1.2m間隔に鋼製支保工の打設を考慮した吹き付けコンクリート ($E=1.421 \times 10^5 \text{MPa}$, $\nu=1/6$, $\gamma=2.851 \times 10^{-3} \text{kg/cm}^3$, $\phi=35^\circ$, $\sigma_c=89.5 \text{MPa}$, $c=23.2 \text{MPa}$, 10cm厚)、二次覆工 ($E=2.5 \times 10^5 \text{MPa}$, $\nu=1/6$, $\phi=35^\circ$, $\sigma_c=200 \text{MPa}$, $c=5.1 \text{MPa}$, 30cm厚)を設置し、長さ6mのロックボルト(SD30-D29)を円周方向1.2m、延長方向1.2m間隔で打設するものとする。

3. 切羽面の安定機構と考察

切羽面の安定性に対して、無支保状態と支保工を打設した状態での上半先進および中壁分割工法を用いた場合について、切羽面とその付近の地山の安定と変形挙動を考察する。また、円形断面(直径10.6m)、標準断面(2車線断面³⁾)と比較した。

大断面扁平トンネルを全断面掘削したときの周辺地山に生じた塑性領域の発達と変位ベクトルの分布をFig. 1に示す。切羽前方にはおわん状の塑性領域が発生しており、切羽面の内空への押出しが引き起こされると考えら

れる。

上半先進工法および中壁分割工法での変位ベクトルと塑性領域の発生状況をFig. 2に示す。上半先進工法では、支保工の効果で側方には殆ど発生していないものの、脚部や切羽前方には塑性領域が広がっている。中壁分割工法でも同様に、切羽前方に塑性領域が発生しているほか、後切羽付近で塑性領域と変位が発生している。このため、中壁分割工法では、とくに後切羽の不安定が生じやすいことが分かる。

Fig. 3は、掘削に伴う天端沈下の分布を示す。またFig. 4は、切羽中心線に沿った切羽の押出し量の分布を示す。大断面扁平トンネル全断面掘削の場合は、切羽通過後の沈下量と切羽面の押出し量が、円形・標準形の2倍程度になっていることがわかる。

分割断面工法を用いた場合、中壁分割工法では切羽の押出し量が標準断面なみに抑制されているが、上半先進工法では、切羽の押出しの最大値や沈下曲線が一括掘削の場合とほぼ同じになっており、分割の効果は認められない。

Table 1 Mechanical Properties of Rock Mass.

Elastic Young's modulus (MPa)	500
Poisson's ratio	0.35
Mass density (kg/cm ³)	0.0024
Cohesion (MPa)	0.9
Angle of internal friction (°)	25
Dilation angle (°)	20

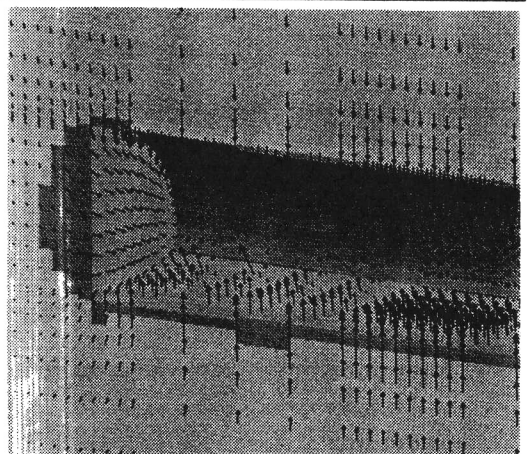


Fig.1 Plastic Zone and Deformation Vector around the Large Section Tunnel.

更に、支保工を設置した場合は、無支保の場合に比べて上半先進、中壁分割工法ともに沈下量は減少しており支保効果が現れている。しかし、上半先進工法では全断面工法の場合よりも沈下量の減少が小さい。これは、先進断面部分のトンネル脚部や下半部に支保工を設置していないため、支保効果が小さいことが原因であると考えられる。また、切羽面の押出し量は殆ど減少しておらず、切羽面前方の地山の塑性化による押出しを抑制するには前方補強が必要であると考えられる。

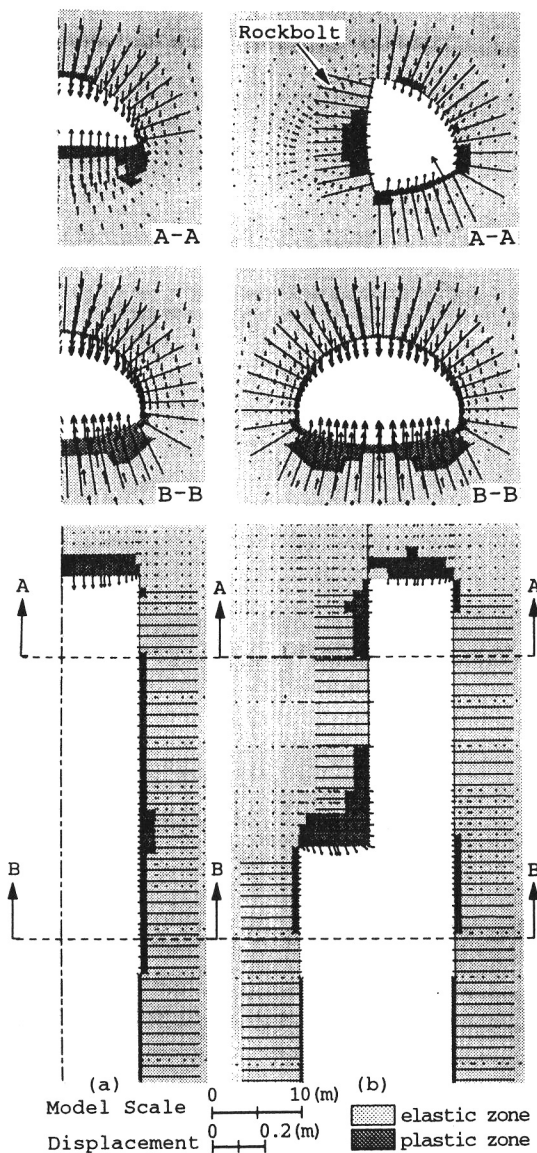


Fig.2 Comparison of Mechanical Behavior of Ground around Tunnel : (a) upper half method, (b) middle wall method.

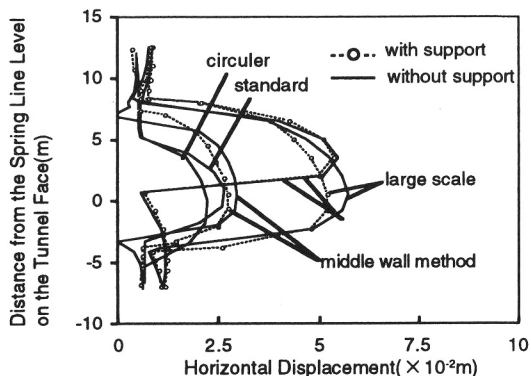


Fig.3 Distance of Horizontal Displacement at the Tunnel Face.

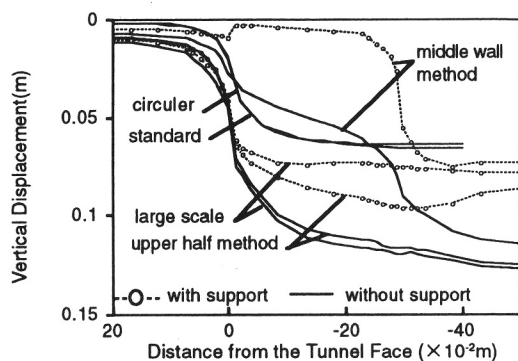


Fig.4 Distance of Vertical Displacement along the Tunnel Crown.

4. まとめ

本研究では大断面扁平トンネルの周辺地山の挙動と切羽の安定について3次元解析的に検討し、以下のように考察することができた。

円形断面や標準断面と比較して、大断面扁平トンネルでは、最終沈下量や切羽面の押出し量が約2倍発生しており、不安定となっていることが分かる。

上半先進工法は切羽面の押出し量の抑制や支保工の効果が小さく、中壁分割工法は他の箇所が不安定になる恐れがある。それに加えて施工の煩雑さを考慮すると、分割掘削工法は必ずしも有益ではないと考えられる。

通常の支保工を施工した場合には、少なくとも大断面扁平トンネルの切羽面については安定化効果を期待できない。

5. 参考文献

- 1) 中川光雄, 他, 第26回岩盤力学シンポジウム論文集, pp. 515-519, 1995.
- 2) 三浦 克, 土木学会論文集, No.516/VI-27, pp.1-13, 1995.
- 3) 日本道路公団, 設計要領 第三集, 第9編, p.16, 1985.