

大断面トンネルにおける導坑の三次元的地山改良効果の研究

THREE DIMENSIONAL EFFECTS TO SURROUNDING GROUNDS OF LARGE SECTION TUNNEL

BY ADOPTING PILOT TUNNELING

御手洗 良夫*・植松 澄夫*・西間木 朗*

Yoshio MITARASHI, Sumio UEMATSU, Akira NISHIMAKI

Recently, TBM pilot tunneling method has been attracting people's attention to construct a flattered large section tunnel, for instance in the second Tomei-Meishin Highway Project, rapidly, safely and economically. We studied the differences in effect of stress and displacement to the surrounding grounds of the main tunnel due to existence of pilot tunnel, differences in location, strength of support and diameter of the pilot tunnel by three dimensional FEM analysis. And we obtained some utilities of pilot tunneling.

Keywords: TBM's, pilot tunneling, flattered large section tunnel, NATM, FEM.

1. まえがき

モータリゼーションの成熟化に対応すべく最近の道路トンネル建設は大断面化の傾向にある。特に、いわゆる第二東名・名神プロジェクトでは掘削断面積 200m^2 (掘削巾 20m)級の扁平大断面トンネルが計画されており、これをいかに速く、安全確実に、かつ経済的に建設するかが課題となっている。その解決策として、TBM導坑を高速掘進した後本坑を拡幅掘削する、いわゆるTBM導坑方式が注目されている。そして、導坑の効果は、事前の地質確認と地山補強が可能なこと、換気坑としての利用、芯抜き効果による発破効率の向上などが期待される。

このうち地山補強効果については、扁平大断面トンネルでは地山アーチが形成されにくいいため、導坑を支持することによって本坑掘削に伴うトンネル周辺地山の不安定化をできるだけ防ぐといった観点から重要である。しかし、その効果の程度は導坑の位置などによって異なることが予想され、またどの位置などが最適かは明確でない。本研究では、導坑を利用した地山補強の三次元効果に着目し、導坑の有無・位置の違い、導坑の支保剛性の違い、および導坑の径の違いによる、本坑周辺地山の挙動の差ならびに最適な導坑位置・剛性・径について考察する。

2. 解析条件

2.1 地山モデル

* 正会員 (株)熊谷組技術本部土木技術部トンネルグループ

解析には、三次元FEMの弾性解析を用いた。解析断面は第二東名・名神プロジェクトのDⅠ断面を用い、扁平率が最も小さくなる上半掘削時を対象とした。解析モデルを図-1に示す。解析領域は、横断方向にはトンネル幅D(=20m)の2倍の幅を確保し、土被り50mとした。導坑径は3、5、7mとした。支保は、吹付けコンクリート(吹き付け厚:導坑5cm、上半本坑30cm)とロックボルト(L=6m)を考慮した。地山および吹付けコンクリートはソリッド要素で、ロックボルトは棒要素でモデル化した。解析に使用した物性値は、地山変形係数 $1,000\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.4、単位体積重量 2.0tf/m^3 、せん断強度 1kgf/cm^2 、内部摩擦角 30° とした。吹付けコンクリートの弾性係数は、本坑上半断面では $20,000\text{kgf/cm}^2$ 、導坑では $20,000\text{kgf/cm}^2$ および高強度吹付けコンクリートを想定した $200,000\text{kgf/cm}^2$ を用いた。ロックボルトの弾性係数は $2,100,000\text{kgf/cm}^2$ とした。また、破壊条件にはDrucker-Pragerの式を用いた。

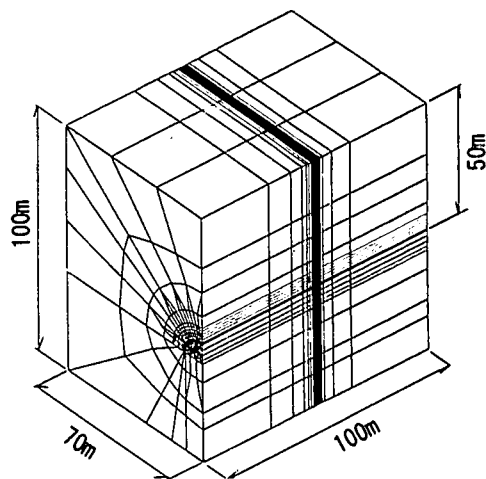


図-1 解析モデル

2.2 解析ステップ

初期応力は、弾性解析によって求めた鉛直応力に側圧係数1.0を乗じた値を側方応力として設定した。導坑掘削は、解析区間100mを1回で掘削して貫通させた。本坑上半掘削は、片側より30、10、5、2、1、1、1mずつ7ステップの掘削を行い、50mの掘削を行った時の切羽近傍の応力と変位を考察した。支保工は1ステップずつ遅れて設置した。

2.3 解析ケース

解析は以下の①～③について行った。①導坑の有無および導坑($\phi 5\text{m}$ 、導坑支保工の弾性係数は $200,000\text{kgf/cm}^2$)の位置の違いによる本坑上半掘削時の効果を考察するために、導坑を施工しない場合(ケース1)、導坑を本坑上半断面内の上部に設けた場合(ケース2)、本坑上半断面内の下部に設けた場合(ケース3)、本坑上半断面内左右に1本ずつ設けた場合(ケース4)の比較を行った。②導坑支保工($\phi 5\text{m}$ 、導坑位置は本坑上半断面内上部)の剛性の違いによる本坑上半掘削時の効果を考察するために、導坑支保工を設置しない(素掘り)場合(ケース5)、導坑支保工の弾性係数を $20,000\text{kgf/cm}^2$ (現在一般に使用されている吹付けコンクリートを想定)とした場合(ケース6)、導坑支保工の弾性係数を $200,000\text{kgf/cm}^2$ (高強度吹付けコンクリートを想定)とした場合(ケース2)の3ケースの比較を行った。③導坑(導坑位置は本坑上半断面内上部、導坑支保工の弾性係数は $200,000\text{kgf/cm}^2$)の径の違いによる本坑上半掘削時の効果を考察するために、導坑径が3mの場合(ケース7)、5mの場合(ケース2)、7mの場合(ケース8)の比較を行った。

3. 解析結果と考察

3.1 導坑の有無、位置の違いによる効果の差¹⁾(ケース1、2、3、4)

天端沈下分布を図-2に示す。導坑を本坑上半断面内上部に設けた場合(ケース2)は、導坑を設けない場合(ケース1)に比べて同沈下が切羽後方5m地点で約45%減少しており、天端沈下抑制効果が認められた。しかし、他のケースでは明確な効果が認められない。

本坑上半断面の根足部の変位分布を図-3に示す。切羽後方1mから前方では導坑を本坑上半断面内左右に設けた場合(ケース2)が、また切羽後方1mから後方では導坑を同上部に設けた場合(ケース4)が、導坑を設けない場合(ケース1)に比べて15～40%程度の側方変位の減少を示しており、導坑を設けることが天端沈下のみならず側方変位の抑制にも効果があることが認められた。

安全率の分布は、導坑を本坑上半断面内上部に設けた場合(ケース2)の効果が最も大きい(図-4~7)。また、根足部への効果として、同左右に設けた場合に影響範囲が最も狭くなっている。導坑を本坑上半断面内下部に設けた場合には、安全率の分布からは特に効果が認められないが、導坑を排水坑として利用したり、本坑上半断面根足部の地山改良のように他の作業空間として利用するなどの施工面での有利性が見いだせる。

3.2 導坑の剛性の違いによる効果の差(ケース2, 5, 6)

天端沈下分布では、支保工の剛性が高くなるに従って変位が小さくなっており、導坑効果が支保工の剛性に依存していることが認められた(図-8)。

安全率の分布を図-6, 7, 9~12に示す。ケース5と同6とで本坑上半断面の上方への影響に明確な差が認められないが、ケース2では掘削による影響範囲が狭くなっている。これは導坑効果を弾性計算による数値解析で検証した場合、地山と支保工の剛性に200倍程度の差があるときに明確な効果が得られることを示していると考えられる。また、本坑上半断面下方への影響には明確な差が認められない。

3.3 導坑の径の違いによる効果の差(ケース2, 7, 8)

安全率の分布を図-6, 7, 13~16に示す。各導坑径ごとの影響範囲の大きさは、本坑切羽地点と同後方5m地点において殆ど差がない。

つぎに、導坑径の拡大に伴う影響範囲の大きさは本坑上半断面の上方で小さく、同下方で大きくなる。本坑上半断面の天端、肩、根足および底盤の各部における影響範囲(トンネル壁面からの距離)を、導坑径3mを基準に比較すると次のようになる。①天端部では導坑径5mで80%、同7mで54%にそれぞれ減少し、肩部ではそれぞれ90%、70%に減少する。②根足部では殆ど変化がない。③底盤部では導坑径5mのとき殆ど差がなく、同7mでは150%に増大する。天端・肩部において影響範囲が小さくなるのは、導坑の掘削周長が長くなる分だけ支保面積が増して同規模が大きくなるためと考えられる。逆に底盤部において影響範囲が大きくなるのは、同じく支保規模は大きくなるものの、導坑径の拡大に伴って導坑掘削面が底盤部に近接するためと考えられる。また、根足部において影響範囲が殆ど変化しないのは、天部と底盤部との中間的な効果によるものと考えられる。さらに、これらの傾向は本坑上半断面の形状によっても影響を受けるものと考えられる。即ち、天端・肩部はアーチ形状であるため掘削に伴う地山応力の再配分上、比較的有利であるのに対して、底盤部と肩部はそれぞれ平面と鋭角形状であり比較的不利に働くと考えられる。以上より、本坑上半掘削断面の大きさと形状に依存する最適な導坑径が示唆される。

4. まとめ

扁平大断面トンネルの掘削にあたり、トンネル周辺地山の安定化を図る上での導坑の有用性が確認された。即ち、掘削径7m級の導坑を本坑掘削断面内の上部に配置して導坑の支保剛性を十分なものとすることが、亀裂性地山など特に天端防護に留意すべき地山条件下において、より効果的と考えられる。また、導坑を本坑断面内左右に配置した場合には、特に本坑上半断面根足部の安定化に役立つ。さらに、同下部に配置した場合には、周辺地山の安定化には目立った効果が見られないものの、排水効果など他の有効性を見いだすことができる。

今後は、導坑による根足部の安定化の詳細な検討、地山初期応力の違いによる導坑効果の差の検討等を行う予定である。

5. 参考文献

- 1) 植松 澄夫・御手洗 良夫・西間木 朗：扁平大断面トンネルにおけるTBM導坑の三次元的地山改良効果の研究，第50回年次学術講演会講演概要集第3部(B)，土木学会，pp.1096~1097，平成7年9月

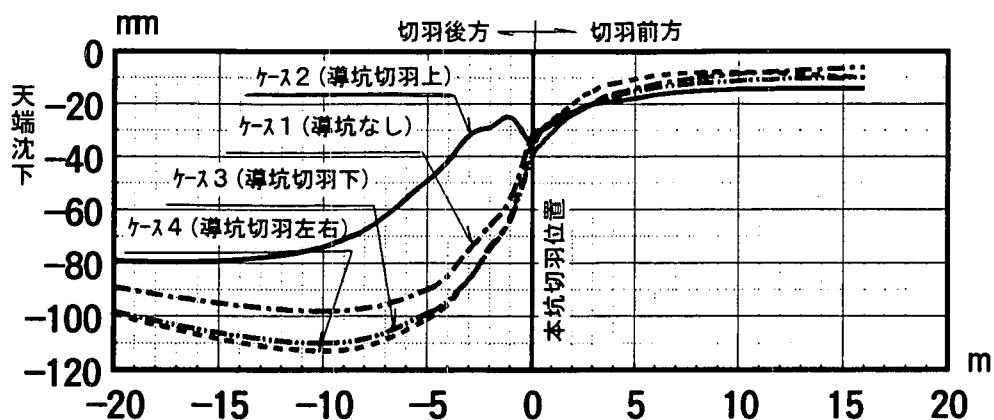


図-2 導坑位置の違いによる天端沈下分布 (ケース1, 2, 3, 4)

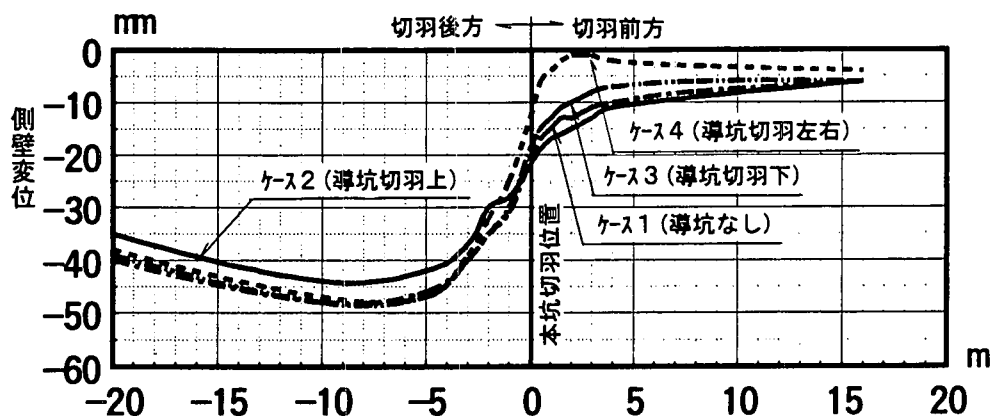


図-3 導坑位置の違いによる側壁根底部変位分布

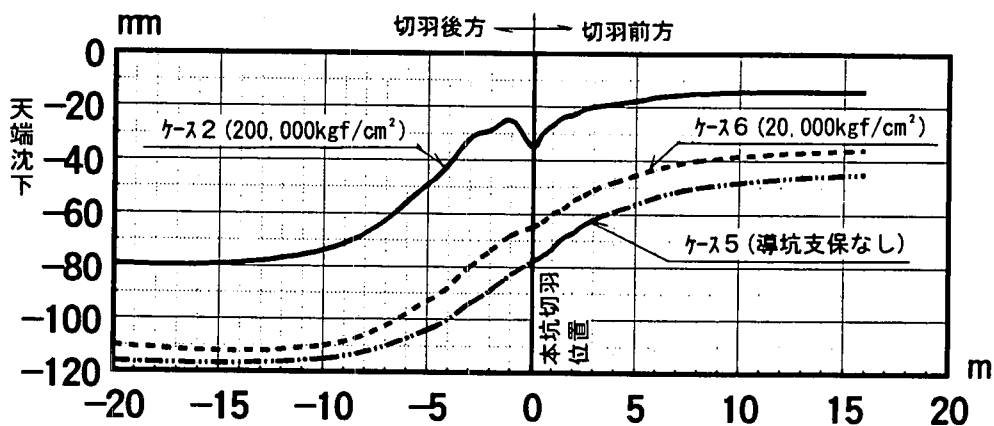


図-8 導坑の剛性の違いによる天端沈下分布 (ケース2, 5, 6)

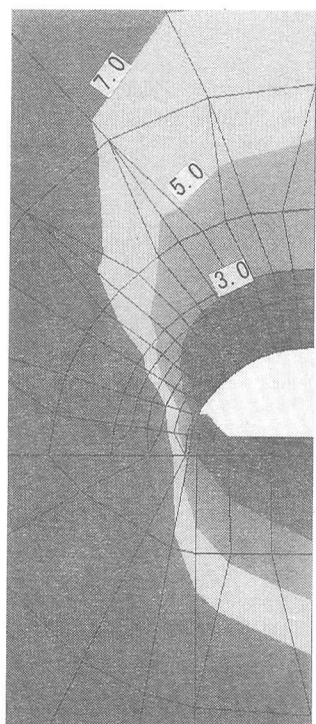


図-4 安全率の分布-ケース1
(導坑なし)切羽後方5m

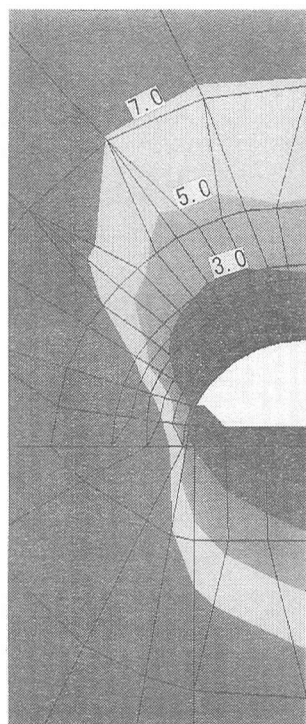


図-6 安全率の分布-ケース2
(導坑切羽上, $\phi 5m$,
導坑支保 $E=200,000kgf/cm^2$)
切羽後方5m

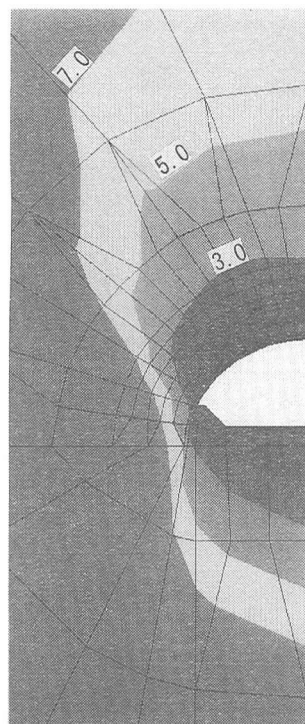


図-9 安全率の分布-ケース5
(導坑支保なし)切羽後方5m

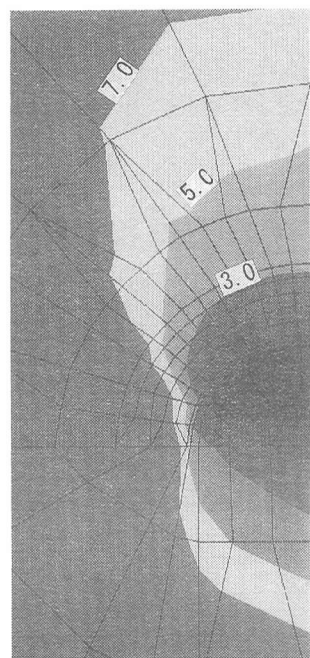


図-5 安全率の分布-ケース1
(導坑なし)切羽位置

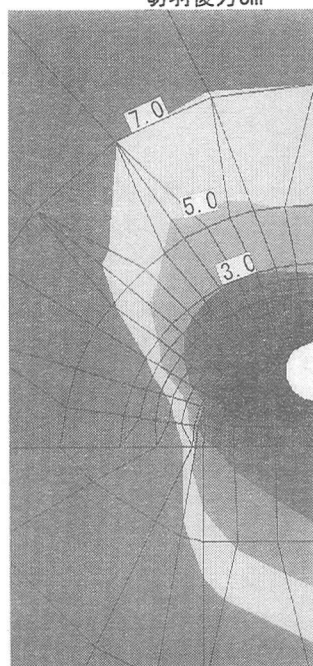


図-7 安全率の分布-ケース2
(導坑切羽上, $\phi 5m$,
導坑支保 $E=200,000kgf/cm^2$)
切羽位置

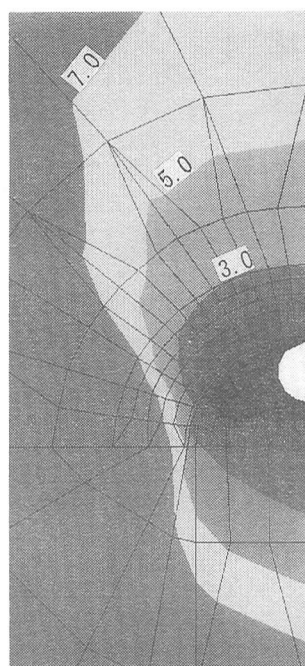


図-10 安全率の分布-ケース5
(導坑支保なし)切羽位置

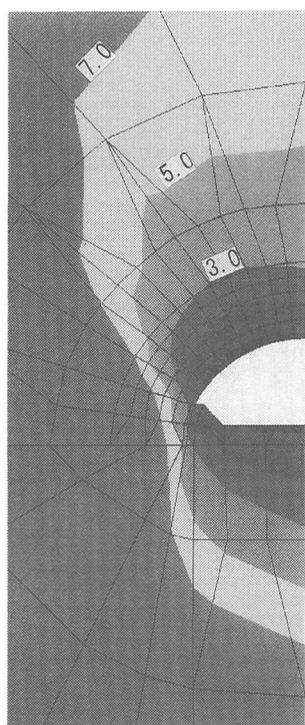


図-11 安全率の分布—ケース6
(導坑支保 $E=20,000\text{kgf/cm}^2$)
切羽後方5m

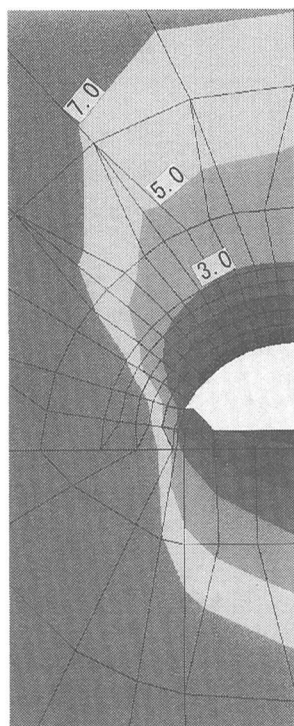


図-13 安全率の分布—ケース7
(導坑 $\phi 3\text{m}$)切羽後方5m

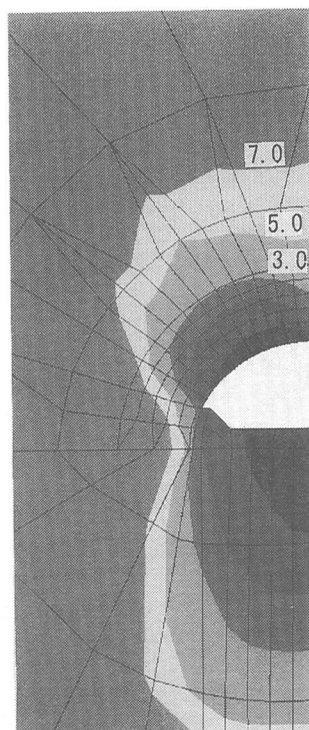


図-15 安全率の分布—ケース8
(導坑 $\phi 7\text{m}$)切羽後方5m

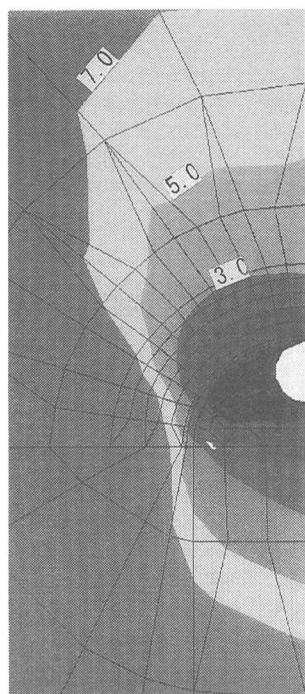


図-12 安全率の分布—ケース6
(導坑支保 $E=20,000\text{kgf/cm}^2$)
切羽位置

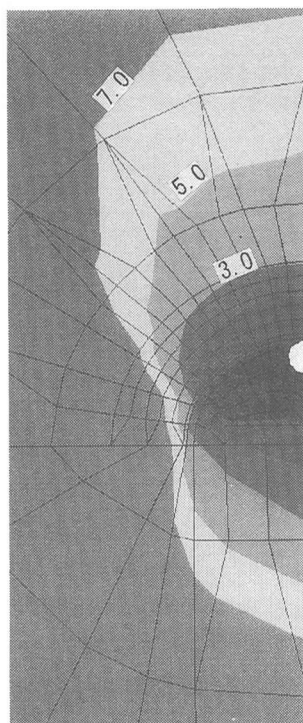


図-14 安全率の分布—ケース7
(導坑 $\phi 3\text{m}$)切羽位置

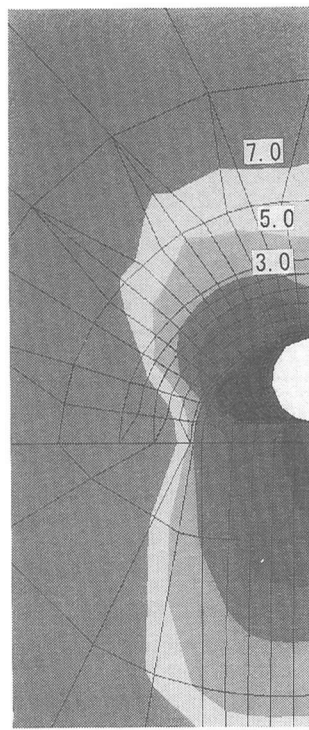


図-16 安全率の分布—ケース8
(導坑 $\phi 7\text{m}$)切羽位置