

三次元数値解析を用いた押し出し性山トンネルにおける掘削工法に関する研究

(株)異設計コンサルタント 正会員 〇村田洋一
住友建設(株) 正会員 高橋 浩
山口大学工学部 フェロー会員 中川浩二

山口大学大学院 学生会員 田中信次
山口大学工学部 正会員 進士正人

1. はじめに

押し出し性山においてトンネル掘削を行う場合、一般に用いられている切羽安定対策としての補助工法は、フォアパイルリングやAGF、鏡ボルトなどが挙げられるが、補助工法自身の施工に時間を要するため、結果として早期閉合の達成を遅らせる要因となり、地山の緩みを助長する可能性を有している。著しい押し出し性山トンネルである日暮山トンネルⅡ期線工事では、ベンチカット工法の補助工法として導坑先進工法を採用し、導坑先進工法の切羽安定効果が確認できたと報告されている¹⁾。

本研究では、押し出し性山で施工されたトンネルの事例を整理し、ベンチカット工法および導坑先進工法のそれぞれの支保効果を三次元数値解析により把握することにより、押し出し性山における適切な掘削工法に関する提案を行う。

2. 現場計測データの分析

押し出し性山に導坑先進工法ベンチカット工法を併用し施工が行われた日暮山トンネルⅡ期線工事では、表-1に示すように導坑の有無、導坑形状、導坑長および導坑吹付け厚を変更した5通りの試験的な施工が行われた。

図-1に断面閉合前と閉合後に発生した内空変位量の関係を示す。図より、総変位量（閉合前+閉合後）は、導坑の有無による違いがみられるが、閉合後の変位のみに着目すると、導坑の有無による顕著な違いはみられない。しかし、閉合前の変位に着目すると、導坑設置ケースに比べ、導坑なしのケースのほうが明らかに変位が大きく発生している。したがって、総変位量は、閉合前の変位に関係があると考えられる。

図-2に閉合日数と閉合前の変位の関係を示す。図より、閉合日数と閉合前の変位には関係がみられ、閉合日数が長くなるにしたがい、変位量が増大していることがわかる。また、導坑なしのケースが導坑設置ケースに比べて閉合日数が遅いことがわかる。

この理由として、導坑なしのケースは、切羽の安定性を確保するために、鏡吹付け、鏡ボルト、AGFなどの補助工法に要する時間が長くなったこと、ベンチを長くする必要があったことから、閉合日数が長くなったものと考えられる。その一方、導坑設置ケースは切羽に導坑が存在することで切羽の安定性がある程度確保できたため、切羽安定対策が鏡吹付けのみでよく、閉合日数が短縮できたと考えられる。

3. 三次元掘削解析による導坑とベンチ長の相互効果の把握

解析モデルは、日暮山トンネルⅡ期線工事を参考とした。土被り100mとし、それに相当する内部応力を与えた。トンネル断面は、本坑、導坑ともに円形断面とし、本坑掘削外径10m、導坑掘削外径3m

表-1 日暮山トンネルⅡ期線施工ケース

施工ケース	導坑の有無	導坑形状	導坑長 (m)	ベンチ長 (m)	導坑吹付け厚 (cm)
① 補助ベンチ付き全断面掘削(導坑無し)	×	-	0	5~9	35
② 円形導坑ロングスパン	○	円形	40~60	3~5	35
③ 馬蹄形導坑ロングスパン	○	馬蹄形	28	3~5	35
④ 馬蹄形導坑ショートスパン	○	馬蹄形	7	3~5	35
⑤ 馬蹄形導坑ショートスパン	○	馬蹄形	7	3~5	25

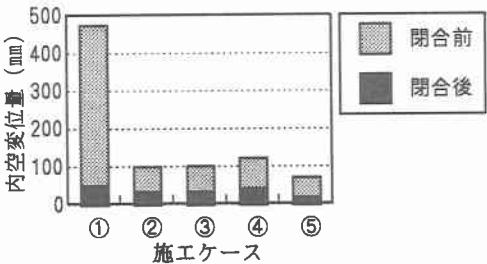


図-1 閉合前後の内空変位

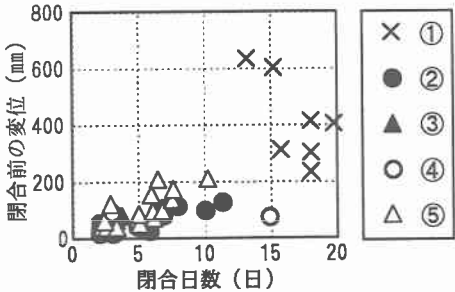


図-2 閉合日数と閉合前の変位

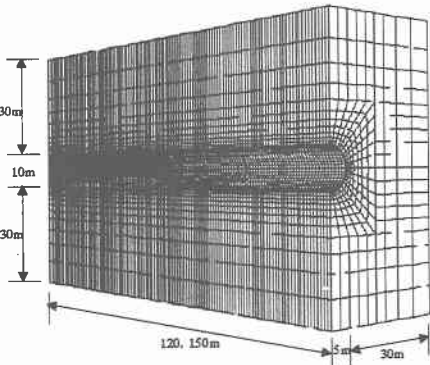


図-3 解析メッシュ

とした。図-3に解析メッシュを示す。

解析ケースは、ベンチカット工法と導坑先進工法を併用した場合の相互効果を検討するため、ベンチ長(0m, 5m, 10m, 30m)と導坑長(0m, 5m, 10m, 60m)をパラメータとした16ケースを行った。

(1) 地中変位

切羽周辺地山の地中等変位分布の一例を図-4に示す。この図はトンネル中心線を縦断方向にみたもので、全方向変位の絶対量である。ベンチが長くなるほど変位が大きくなり、周辺地山が緩んでくることがわかる。また、導坑を設置することによる影響はほとんどないことから、早期の断面閉合が変位抑制に効果があることがわかる。

(2) 切羽押し出し量

トンネル切羽面の押し出し量の一例を図-5に示す。変位量は全断面工法が最も大きくなった。また、ベンチ、導坑単独では切羽の変位抑制効果は小さいが、両者を併用することにより、相互効果が得られ、切羽押し出し量が減少することがわかる。

(3) 導坑とベンチの相互効果

解析結果から、内空変位量、切羽押し出し量に着目し、図-6に切羽通過後の内空変位量と切羽押し出し量の最大値を比較した結果を示す。なお、全断面工法(ベンチ長0m, 導坑長0m)の変位量を1とした等比率曲線で表している。

内空変位量は導坑長による影響は少なく、ベンチ長、すなわちトンネル断面の閉合時期に依存するといえる。

切羽押し出し量は、導坑先進工法またはベンチカット工法を単独で用いた場合では、全断面工法に対して2割程度しか抑制されていないものの、導坑先進工法とベンチカット工法を併用すれば5割程度抑制できるという結果が得られた。

4. おわりに

本研究により得られた知見を以下に示す。

- ①トンネル断面の早期閉合の重要性が示された。
- ②導坑の効果は切羽安定効果が主で、切羽安定対策工として導坑は非常に効果大きい。
- ③最適なベンチ長・導坑長については、導坑は10m程度で、ベンチは可能な限り短くすることが望ましい。

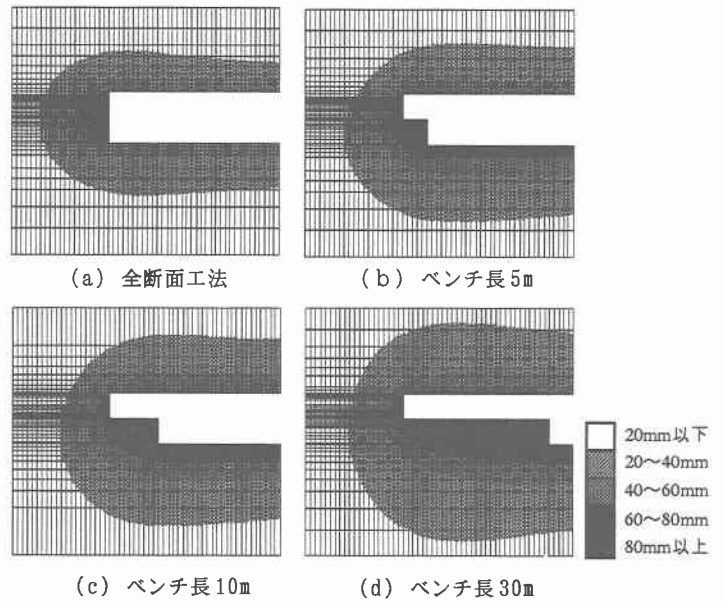


図-4 地中等変位

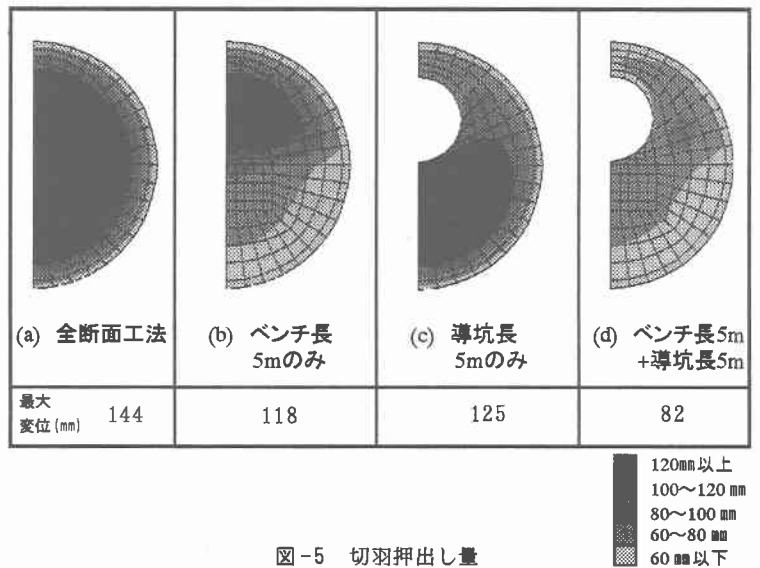


図-5 切羽押し出し量

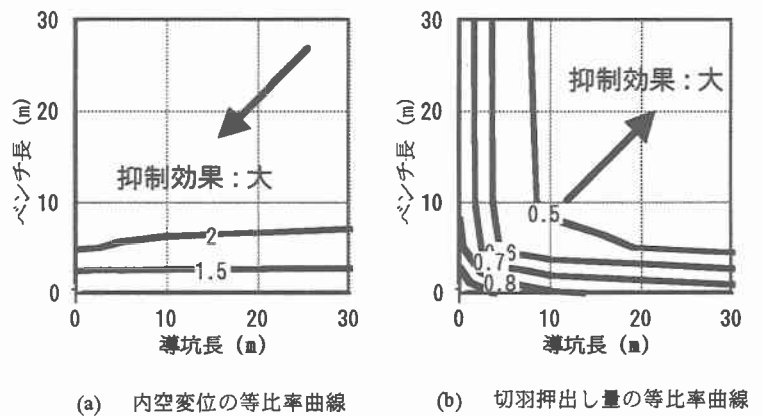


図-6 ベンチ長・導坑長の相互効果

参考文献

- 1) 天野角雄, 下田哲史, 青嶋寿夫, 高橋浩: 押し出し性泥岩を頂設導坑で貫く, 上信越自動車道日暮山トンネルⅡ期線工事, トンネルと地下, 第30巻11号, pp.17~23, 1999.11.