

二重構造シールド機を利用したパイプルーフ工法に関する考察

ハザマ
同

日本鋼管ライトスチール

正会員 ○名倉 浩
正会員 三木 章生
千葉 慎也

1. 概要

大都市部では地下構造物や地表の制約により、開削工法が困難な場合があり、地盤改良やパイプルーフなど補助工法を併用した非開削工法が適用される。パイプルーフ工法は、剛性が高い鋼管で地山を先受けするため、沈下抑制効果が高く、土砂地山や薄い土被り、近接施工で用いられる。最近は、密閉型推進機により地下水位下の施工や、到達立坑を不要とする回収型推進機も開発され、適用範囲が拡大している。

しかしながら、曲進施工、高水圧下（0.1MPa以上）、長距離施工（150m程度以上）が困難であるという欠点がある。これを解決する方法として小断面シールド工法による先受けを考えたが、その課題として、①マシン転用困難でコスト高になる、②全強の鋼管に比べ継手が多いセグメントでは剛性が小さく断面のわりに支保効果が小さいといったことがある。

これらの課題を克服するため、①については、マシンをトンネル内から回収して再利用する二重構造シールド機を適用し、コスト低減を図ることとした。また、セグメントは縦リブ・ボルト本数を増加させることにより剛性アップを図った。その結果、技術面だけでなく経済性・工期も含め、シールド工法によるルーフ施工の適用性が高いことが確認できた。

2. 検討条件と提案施工法

検討対象としては、図-1、図-2 および表-1 に示すように、高速道路ランプ部をイメージした $\phi 12\text{m}$ 級の大断面シールドトンネル間の延長約 100m、 $R=300\text{m}$ 曲線部の切り抜けとした。切り抜け部については、大型地下構造物をはじめとした多数の地下埋設物および交通量の多い交差点で、地表からの開削が困難であることを前提条件とした。

施工は、発進立坑からシールド機を発進させ、改良体内に到達させる。そして、マシン外筒とカタなど内蔵した内筒を分離し、内筒はトンネル内より立坑まで引き戻し、新たな外筒を取り付け、次のトンネル掘進を行う。以上の作業を繰り返し、上下のルーフを築造する。トンネル間の離隔は 200～500 mm 程度の超近接施工とし、シールド終了後、機内からトンネル間の止水用地盤改良を行い、二次覆工による補強を行う。その後、従来と同様に支保工を建て込みながら内部掘削を行う。

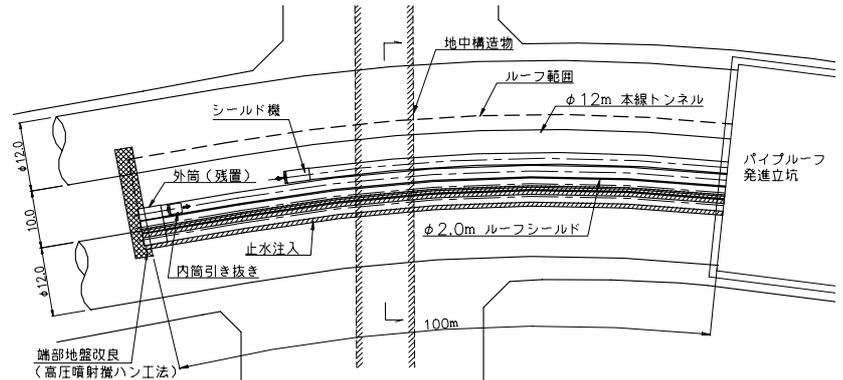


図-1 モデルケース平面図

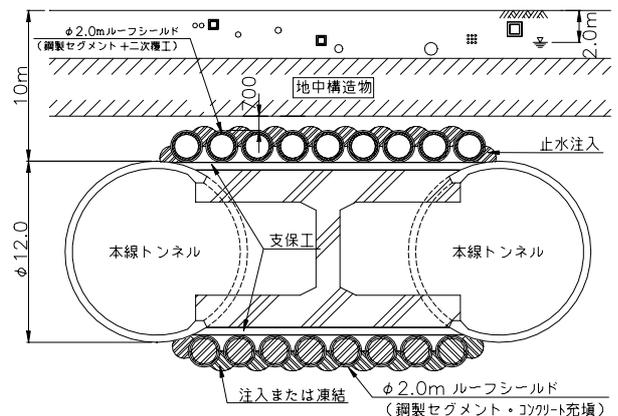


図-2 モデルケース断面図

表-1 検討条件

項目	検討条件
切り抜け延長	100m
本線トンネル離隔	約 10m
土被り	上部ルーフ： 8.0m 下部ルーフ： 22.0m
土質	滞水性洪積地盤 (N \geq 30)
地下水	GL-2m
ルーフ用セグメント	$\phi 2,000\text{ mm} \times$ 桁高 75 mm \times 幅 750 mm 鋼製セグメント
ルーフ用シールド工法	泥水式
到達部	高圧噴射攪拌工法による改良体
地表条件 ・地下埋設物	直上に交通量の多い交差点 多数の埋設物、大型地下構造物

キーワード：パイプルーフ、非開削、シールド、二重構造、セグメント

連絡先：東京都北青山2-5-8 TEL：03-3423-2451 FAX：03-3405-1854

3. ルーフ用セグメント

ルーフとしては小断面が望ましいが、シールド本体をトンネル内から回収することを基本としているため、外径 $\phi 2,000$ mm×桁高 75 mm を基本形状とした。その中でリング間剛性を高めるために、縦リブの厚さ・本数、リング間ボルト本数・径・材質を、製作および施工可能な範囲で変化させ、等価剛性、許容引張曲げモーメントおよび経済性のベースとなる重量を算出していった。²⁾ ³⁾ その結果、縦リブ・ボルト本数の増加が費用対効果が大いことが判明した。縦リブ・リング間ボルト本数を3倍にした結果を表-2に示す。同時に、許容曲げ耐力から土・水圧として 0.25MPa の等分布荷重が作用とした場合の単純梁モデルにおける最大スパンと変位量を求めており、コンクリートをトンネル内に充填すれば最大スパン

表-2 セグメント比較表

項目	通常タイプ	ボルト・縦リブ3倍増		
		54本(4・6)	54本(8・8)	
セグメント	ボルト	18本(4・6)	54本(4・6)	54本(8・8)
	縦リブ・継手板(t=8mm)	縦リブ13本 (縦リブ+継手板23本)	縦リブ49本 (縦リブ+継手板59本)	
	重量	288kg/リング	376kg/リング	
等価剛性(EIeq) (セグメント)	32MN・m ²	1,270MN・m ²		
許容引張曲げモーメント (セグメント)	3.1MN・m	8.1MN・m	22.3MN・m	
掘削最大スパン (w=0.25MPa ・等分布・単純梁)	6.68m	10.86m	18.01m	
変位	セグメントのみ	439mm	78mm	593mm
	セグメント +中詰コンクリート	26mm	10mm	75mm

18mで、変位量が75mmであった。

4. ルーフ用シールド機

ルーフ用二重構造シールド機は、 $\phi 2,130$ mmの外筒と、カッタおよび隔壁・シールドジャッキなどを内蔵した $\phi 1,700$ mm程度の引き抜き可能な内筒から構成される。掘進時には内・外筒間をせん断ブロックにより固定し、その隙間はシールによって止水する。引き抜き時は、改良体内で内筒より外周カッタスポークを切断し、エレクタ・泥水配管などを撤去・搬出する。そして、内・外筒を固定しているブロックを外し、内筒を発進立坑まで引き戻す。立坑内で新たな外筒に内筒はめ込み、エレクターなどの再設置を行う。到達から再発進までの一連の作業には約1週間を要する。

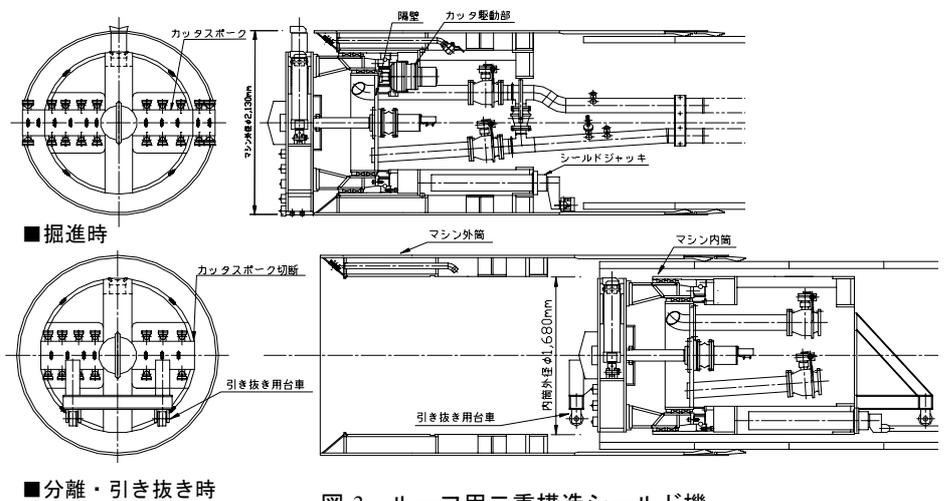


図-3 ルーフ用二重構造シールド機

5. 経済性・工期

経済性・工期について、上部に通常のパイプルーフ ($\phi 800$ 密閉型)、水圧が 0.2MPa を越える下部については高圧噴射攪拌工法(地上)または凍結(坑内)による底盤改良を適用した施工法と比較した。その結果、コストで15~30%、工期で1~2ヶ月ほど比較工法より優位であることが確認できた。

6. おわりに

二重構造シールド機を利用したシールドによるルーフ施工の可能性と適用性を、以上の検討で確認することができた。しかしながら、より具体化するためには以下の点を詳細に検討・確認していくことが必要である。

- ①セグメントのリング間剛性と耐力に関する実物大確認試験
- ②超近接施工、マシン引き抜き・再利用、トンネル間の止水用地盤改良などの施工性の確認
- ③内部掘削時におけるシールドトンネルの支保方法の具体化
- ④断面変化への追従性や距離に対する適応性

(参考文献)

- 1)中村・岸梅、再利用可能な二重構造シールド掘進機の開発、建設と機械化、'01/12
- 2)下水道施設の耐震対策指針と解説、日本下水道協会、'97/8
- 3)土木研究室資料、「大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案)」、建設省土木研究所、'92/3