

可変断面シールド工法の開発

DEVELOPEMENT OF CHANGEABLE TUNNEL SECTION SHIELD METHOD

山森規安 * 直塚一博 * 甲田 信 ** 小林 智 ***

Noriyasu YAMAMORI, Kazuhiro NAOTUKA, Makoto KOUDA and Satoshi KOBAYASHI

The shield tunnel is often needed to let a section in particular change for the use such as lamp section of road tunnel, emergency parking zone. As the shield tunneling so far can not change the cross section in particular without reconstruction of the shield machine, so cut and cover method, difficult to be employed in urban area, or enlargement, with much cost and time for auxiliary method, is applied.

Considering those conditions, we have developed the shield tunnel method to enable to let a section in particular change by one shield machine with function of enlarging its width.

This reports the outline of the changeable tunnel section shield method.

key word : shield tunneling, change section, tail seal

1. まえがき

シールドトンネルでは、その用途や機能に応じて部分的に広い空間が必要となる場合がある。従来のシールド工法は断面変化に対応できないため、これらの部分は可能な限り立坑内に設けられている。しかし、地上周辺の道路交通や環境対策、用地確保等の問題により立坑が設けられない場合にはトンネル内に設置することになり、部分的にトンネル断面を拡大する必要がある。

トンネル断面を拡大する施工法には、開削工法と地中切り掘り工法があるが、前述のように開削工法が適用できない条件では、非開削である地中切り掘り工法に限定される。この工法は、基本的に平面位置や深さの制約条件がなく路線計画上の自由度が高いなどの利点があるが、シールド工法が採用されるような都市部の地盤条件下においては、圧気工法、薬液注入工法、凍結工法などの補助工法を併用する場合が多く、施工位置が深い場合や拡大区間延長が長い場合には、補助工法にともなう工費・工期の増大が大きな問題となる。

その他の方法として、部分的に必要な空間がそれほど大きくない場合や、拡大区間が割合が多い場合には、前述の開削工法や地中切り掘り工法と工費・工期を比較して、最大断面に合わせたシールドトンネルで計画されることもある。

このような環境下、断面拡大区間を有するトンネルの施工の合理化を図るため、従来シールド工法の課題であった断面変化に対応可能なシールド工法の開発を進めてきた。この工法は、中間立坑を必要とせず、1台の拡幅機構を備えたシールド機で連続掘進するシールド工法であり、以下の特長を有している。

キーワード：シールド工法，可変断面，テールシール

* 正会員 熊谷組土木技術部

** 熊谷テクノス機械部

*** 熊谷組土木技術開発部

- ① 1 台のシールド機で中間立坑なしに断面変化が可能である。
- ② 拡大部分の施工延長により、工事全体としてコストダウン、工期の短縮が図れる。
- ③ 水平方向または鉛直方向への拡幅が行える。

なお、②についてはプロジェクト毎の検討が必要となるが、一般的には、トンネル延長に対する拡幅延長の比率が小さい場合には地中切り拡げ工法が、大きい場合には大断面シールド、その中間で本工法が有利となる。

2. 工法の概要

本工法では、トンネルの線形計画にあたり、トンネル一般断面部と拡幅部とをすり付けるためのテーパを設け、シールド機幅をシールド前後で変えて拡大・縮小することにより、シールド前面とシールドテール部がトンネル外形状に沿うように掘進する。図-1 は円形断面のトンネルの一部を水平方向に拡幅する例を示す。

現段階での限界拡幅量は、円形断面直径の約 20%（例えば $\phi 5$ m では左右各々 0.5 m、全幅で 1 m）、テーパ部の最大勾配は左右各々 1/20（トンネル延長 10 m 当たりの片側拡幅量 0.5 m）程度である。

拡幅区間の覆工は、断面変化に伴うセグメントの多種類化と隅角部の応力集中への対応が容易な鋼製セグメントを使用する。

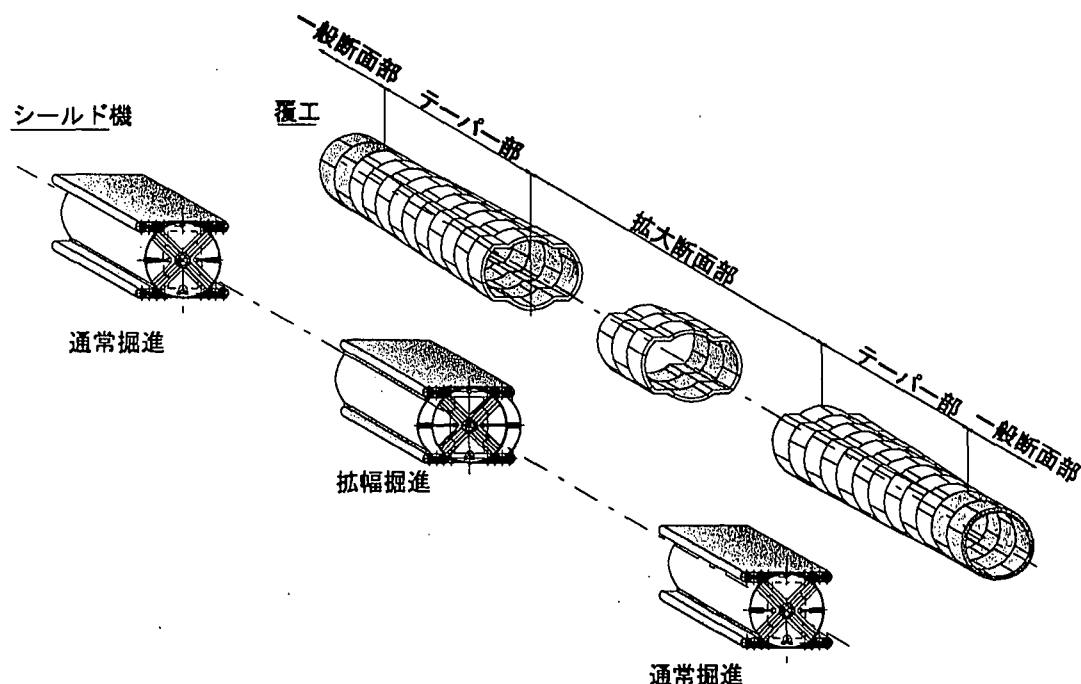
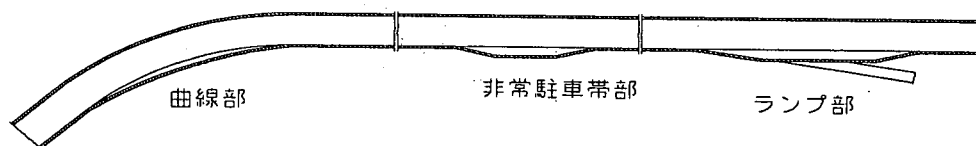


図-1 工法概要図

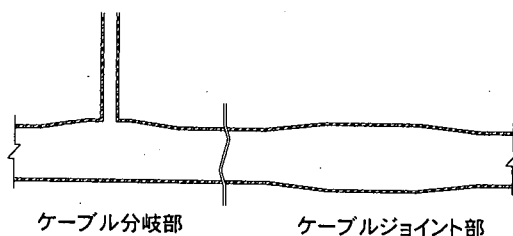
3. 適用例

本工法は次のようなトンネルに適用できる。図-2に適用例を示す。

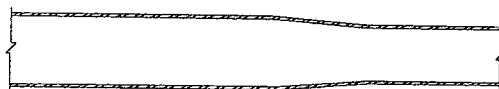
- ① 部分的に拡幅が必要なトンネル
 - ・道路トンネルのランプ部・曲線部・非常駐車帯部 (A)
 - ・共同溝、地中線洞道のケーブルジョイント部 (B)
- ② 途中で断面の変化(拡大)が必要なトンネル
 - ・上下水道、共同溝等 (C)



A 道路トンネル



B 共同溝、地中線洞道



C 上下水道、共同溝

図-2 可変断面シールド工法の適用例

4. シールド機

(1) 概要

シールド機は、側方に張り出す上下の水平フレームとこれらをつなぐ隔壁と柱からなるメインボディ、スキンプレート等からなる2つのサイドボディに3分割され、サイドボディを水平フレームに沿って左右にスライドさせることで拡幅を可能にする機構を有している。

図-3は、トンネル外径5mで1m程度の拡幅が可能なシールド機の基本構造である。シールド機前面には、メインカッタを装備し、余掘り装置により拡幅部分を掘削する。水平フレームは、拡幅時のスライド部分の止水性およびシールド機全体剛性を確保するための部材であり、前面にサブカッタを装備している。水平フレーム部断面の掘削はそのままテールボイドとなるため、シールド機後方で充填する。シールドテール部では、エレクターを用いてセグメントを組み立てる。

(2) 隔壁構造

図-4は隔壁のシール構造を示し、上半は円形断面掘進時、下半はテーパ区間掘進時の状態である。テーパ区間では、シールド前面とシールドテール部がトンネル外形状に沿うように掘進するため、左右のサイドボディ間隔が変化するとともにトンネル軸方向に回転する。従来のシールの追従性能を考慮して、サイドボディの回転中心を隔壁シール位置近傍に設定して、サイドボディの回転に伴う隔壁ラップ部の間隔の変動量が極力小さくなる構造を採用している。本例における最大拡幅量は、メインボディとサイドボディ隔壁の止水に必要なラップ長により制約を受ける。

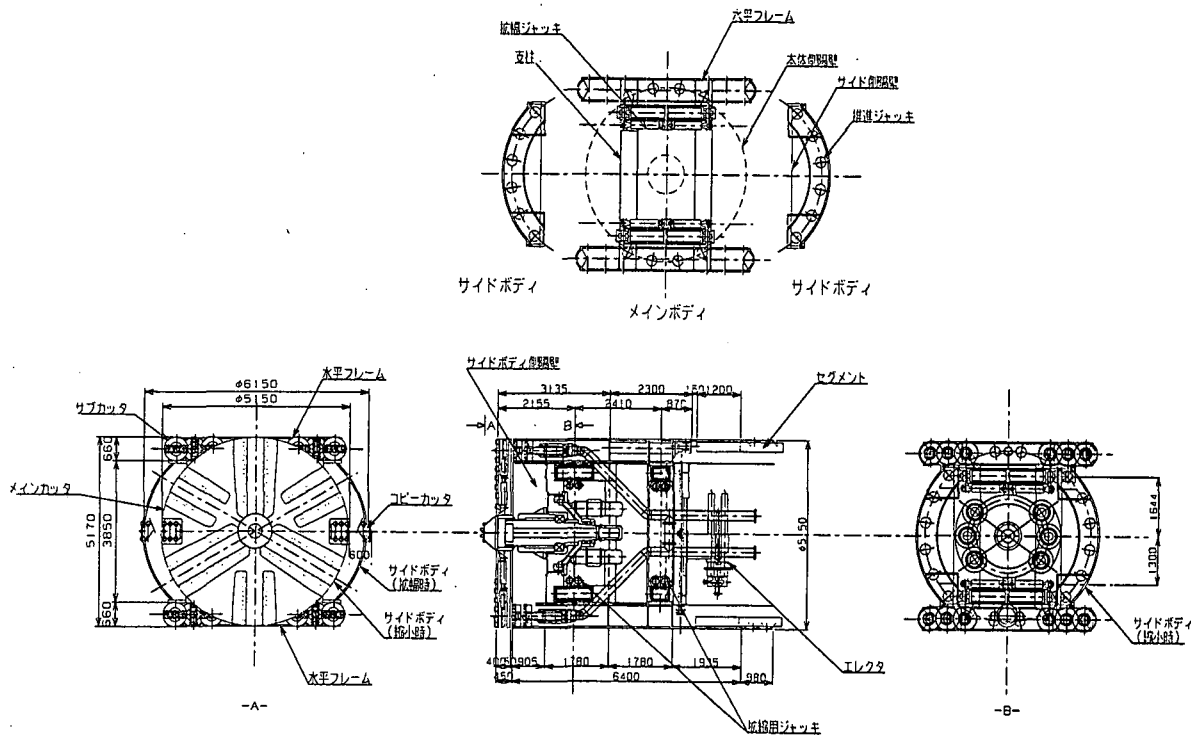


図-3 シールド機構造例

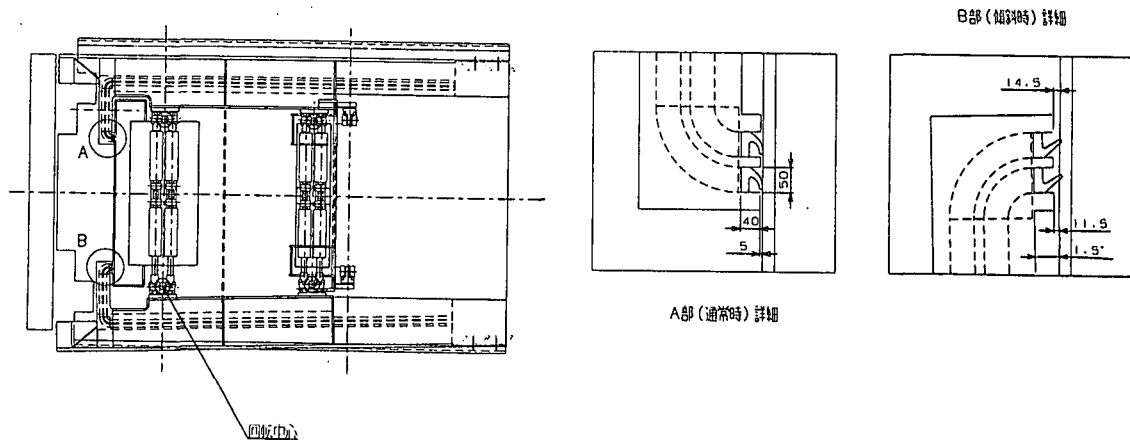


図-4 隔壁シール構造

(3) テールシール構造

テーパー区間を拡幅方向に掘進する場合、左右のサイドボディー間隔の拡大にともない、シールド水平フレームと覆工の隅角部の水平部分との間にクリアランスが発生する。逆にテーパー区間を縮幅方向に掘進する場合にはこのクリアランスが減少していく。

図-5は、この部分のクリアランスの変化に対応でき、かつ円形断面掘進時において水平フレームの幅がシールド幅以内となる止水構造例である。

上下の水平フレームのテール摺動面にゴムチューブ式のバックリンを装着し、バックリンのテール内側で円周方向にワイヤブラシのテールシールが接続している。一方、移動側となるサイドボディのスライド面にはゴムバックリンを装着し、サイドボディとメインボディの隔壁および側部スライド面に配置した土砂シールがこのバックリンと接続している。チューブシールの数列配置したチューブを加圧制御することにより、正規クリアランスに対して $\pm 25\text{mm}$ の施工誤差が生じる場合でも、適切な接面圧を保持しながらスライドできる構造である。このテールシール構造の採用により、テールクリアランス部の止水について 2 kgf/cm^2 以上の水圧に耐えられることを実験で確認している。

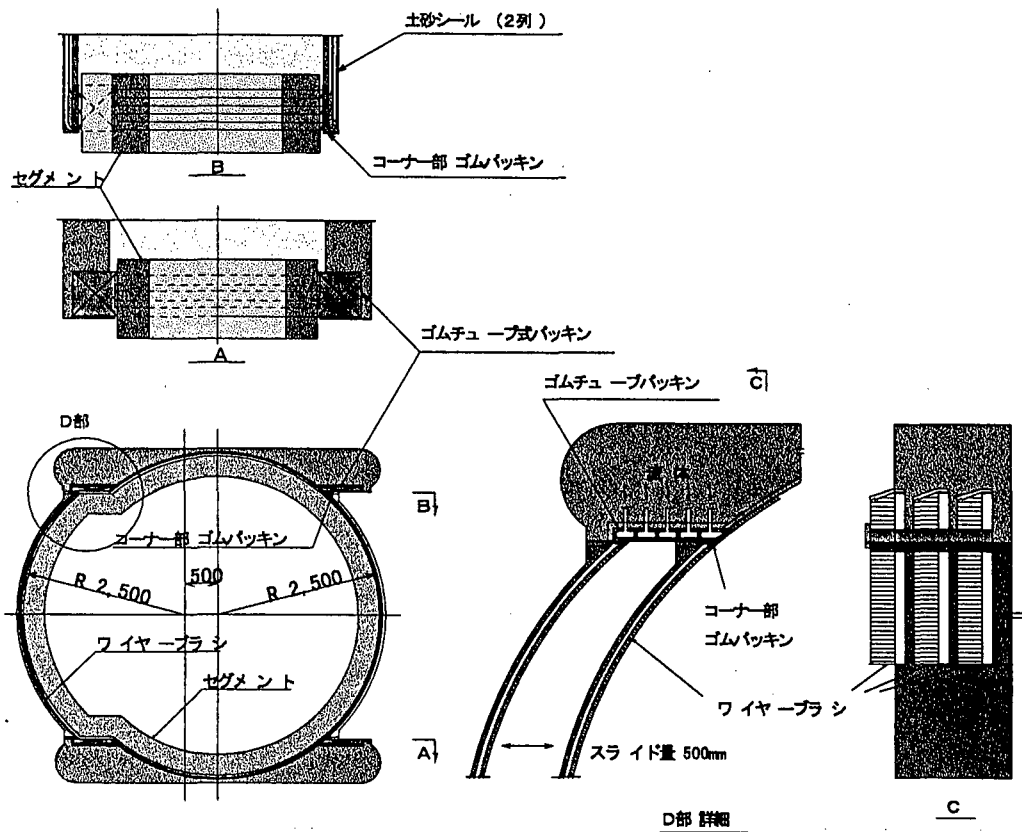


図-5 テールシール構造例

5. 覆工

トンネル一般部外径 5 m、拡幅量 1 m の覆工構造の例を図-6 に示す。一般部の覆工は、通常の単円シールドの覆工と同様である。テーバー部の覆工は、側円部の円弧状セグメント (A)、上部・下部の円弧状セグメント (K) と、拡幅により生じるトンネル水平部を包含し拡幅量に応じて水平部分の長さを順次変化させるセグメント (B 1), (B 2) で組み立てる。テーバー部の側円円弧部セグメントは、拡幅に伴いセグメント外面でリング間の段差が生じないように、セグメント幅方向にテーバー状に形成している。

セグメント (B 1), (B 2) は、水平部の増大に伴う付加曲げモーメントへの対処と製作性を考慮し、スチール構造である。

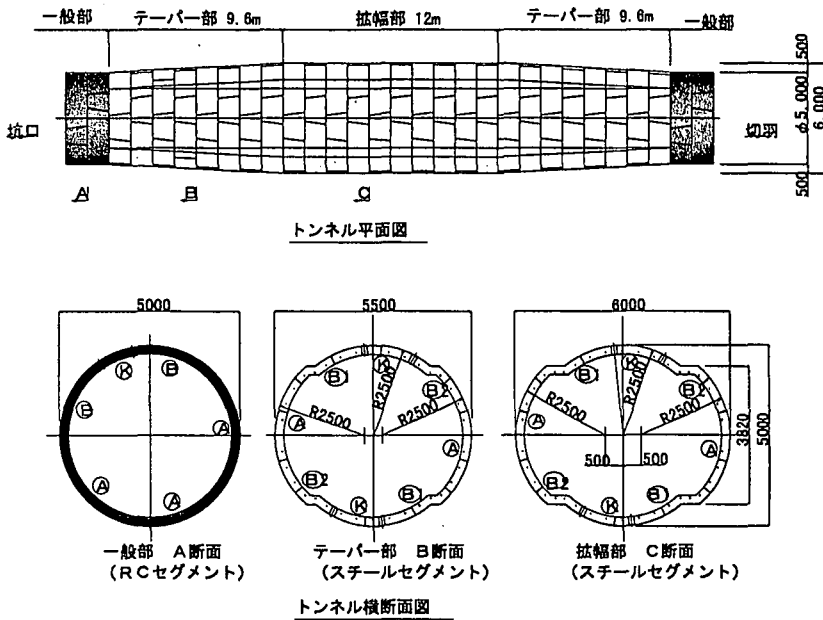


図-6 拡幅部の覆工構造例

6. おわりに

部分的に断面を拡大する必要があるトンネルを合理的に施工できる工法として、可変断面シールド工法を開発してきた。本工法の実用化に当たっては、シールド機のテールシールと隔壁のシール構造、セグメント構造が大きなポイントである。そこで、テールシールについてはゴムチューブタイプのバックリンを考案し、耐圧実験により適用可能との判断を得た。隔壁のシール構造については、サイドボディーの回転中心を土砂シールに近接させる構造を採用することにより、従来の土砂シールで対応が可能である。覆工については、現段階における拡幅量に対しては、スチールセグメントでの対応が可能である。

以上により、本工法は十分実施工に適用可能な工法であることが確認できたことから、今後は、さらに大きな拡幅を可能とするシールド機と覆工構造の検討および施工レベルの実証実験に取り組む予定である。

7. 参考文献

- 1) 直塚ほか：可変断面シールド工法の開発，土木学会第 54 回年次学術講演会，VI-71，1999.9