

# テールシール交換用止水装置の止水性能実験

## PERFORMANCE TESTS OF A NEW SEALING SYSTEM

### FOR SHIELD TUNNELING MACHINE TO REPLACE DAMAGED TAIL END SEALS

有泉 毅<sup>1)</sup>・五十嵐 寛昌<sup>2)</sup>・今立 文雄<sup>2)</sup>・黒沼 出<sup>3)</sup>・貝沼 憲男<sup>1)</sup>

Takeru ARIIZUMI, Hiromasa IGARASHI, Fumio IMADATE, Izuru KURONUMA, Norio KAINUMA

Shield tunnelling method has been widely applied to construction of underground structures in urban area and a demand for long distance tunnelling under high underground water pressure is growing recently.

To deal with the demand, we have been developed a high durability new tail-end-sealing system which is made by filling up ordinary wire brush with poly urethane form. However, for more long distance tunnelling, it is necessary to have additional technology which make able to replace damaged tail end seals with new one.

We designed a new sealing system which is applied technique of preceding new tail-end-sealing system. A series of fundamental efficiency tests has been carried out.

As a result, it was clarified that the new sealing system has higher sealing performance and higher durability.

**Key Words** :shield tunnel, shield tunnelling machine, tail end seal, emergency sealing system.

#### 1. はじめに

近年のシールド工事においては、都市部の過密化に伴う既設地中構造物の輻輳化、立坑用地の確保難、河川・海域などの横断施工などのニーズにより、長距離化・大深度化の傾向があり、また、工期短縮のための高速施工化が必要となっている。これらの課題に対応するとともに、シールド工事のコストダウンを図るシールド機・シールド工法の開発が求められている。

このうち、高水圧下での長距離掘進対応技術としてのテールシールの耐久性向上について、筆者らは、従来からのワイヤブラシタイプのテールシールを改良し、発泡ウレタンとの複合構造の新型テールシールを開発した<sup>1), 2), 3)</sup>。しかしながら、さらなる長距離化のためには、テールシール自体の耐久性向上に加えて、万が一、テールシールの交換が必要になった場合に備えて、簡便な止水技術の開発も重要である。

このような背景のもと、筆者らは、シールド坑内で短期間にテールシールの交換を可能とする新しいテール止水装置を考案し、要素実験を経て、現場に適用した結果、良好な止水性能を確認した<sup>4)</sup>。しかしながら、当該現場は、地下水圧が1.5kgf/cm<sup>2</sup>程度であり、さらに、シールド機の最終段テールシールの止水性を含めた評価であった。そこで、今回、実大規模の大型円筒模型実験により、新型テール止水装置の高水圧への適応性を確認したので報告する。

1) 正会員 東京電力株式会社 電力技術研究所 土木グループ

2) 正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 第二研究部

3) 鹿島建設株式会社 技術研究所 第七研究部

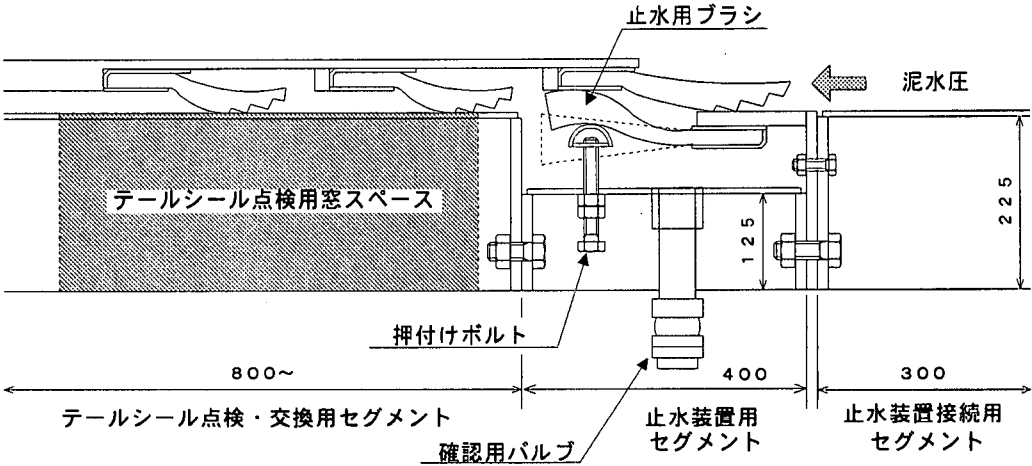
2. 新型止水装置の構造

テールシール交換のための止水方法としては、表－1に示すように、シールド機に装着するタイプの遮水装置と、地上又はシールド坑内から地盤中に止水材を注入する地盤改良があげられる。前者は、ユーロトンネルや東京湾横断道路のシールド機にも装着されたが、実際には使用されていない。後者は、実績はあるが、多大な工費と工期がかかるため、容易には採用できない。今回、考案した新型止水装置は、セグメントに組込むタイプのもので、図－1に示すように、発泡ウレタンとワイヤブラシの複合構造からなる止水ブラシを、最後段テール

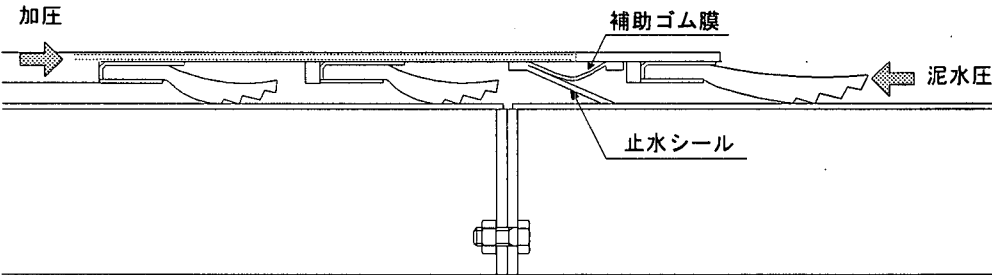
表－1 テールシール交換のための止水方法比較表

シールのかしめ部に押付けて止水する機構であり、前方のテールシールをすべて交換することができるようになる。

|    | 新型止水装置                                                                                                                                               | 緊急遮水装置                                                                                                                                                                              | 地盤改良                                                                                                          |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 概要 | セグメントに組み込んだ止水ブラシをテールシールかしめ部に押し付けて止水する。(図－1参照)                                                                                                        | シールド機テール部に装備した特殊ゴムシールを加圧しセグメントに密着させ止水する。(図－2参照)                                                                                                                                     | シールド機テール部付近の地盤中にセグメントのグラウトホールから地盤改良材を注入し止水する。                                                                 |
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"><li>作業時間が比較的短い。</li><li>あらかじめ止水装置を製作しておく必要があるが、不使用の場合は他現場に転用できる。</li><li>シールド機のバックングに対しても、十分な止水性能が確保できる。</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>作動時間が短い。</li><li>止水装置作動後に地盤改良が必要。</li><li>装備は外径10m級のシールド機に限定される。</li><li>使用は一回限り。</li><li>不使用でも転用不可。</li><li>シールド機テールが長くなり、曲線施工上不利。</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>止水できるまでの時間がかかりかかる。</li><li>施工費用が高い。</li><li>事前に、特別な準備を必要としない。</li></ul> |



図－1 テールシール交換用止水装置の概要



図－2 緊急遮水装置の例

3. テール止水装置大型円筒模型実験

1) 実験装置

実験装置の製作に当たり、テール止水装置並びにシールド機のテールシール及びクリアランスについては、外径4～5m程度の実機に用いられている標準的なものを実寸で採用し、実験装置の外径だけを約2mに縮小（約1/2）することにした。実験装置は、図-3に示すように、二重円筒構造になっており、外管がシールド機テール部、内管がセグメントに相当し、内管の一部に止水装置を組み込んである。この二つの円筒の間がテールボイド空間に相当し、ここに泥水を充満させ加圧し、止水装置の止水性能を評価する。止水装置の止水性能だけを評価するため、長距離掘進によってテールシールが損傷し、かしめ部分だけが残った状態を想定し、外管のテールシールはかしめ部分だけとした。また、曲線施工などにより生じるクリアランスの偏りを再現するため、内管は外管に対して偏心して回転するようにしてあり、均等(33mm)から最大偏心（上4mm, 下62mm）の間で、任意のクリアランスを再現できる。さらに、油圧ジャッキにより内管を軸方向に摺動できるようにしてあり、実工事で生じるバックリングも再現できる。

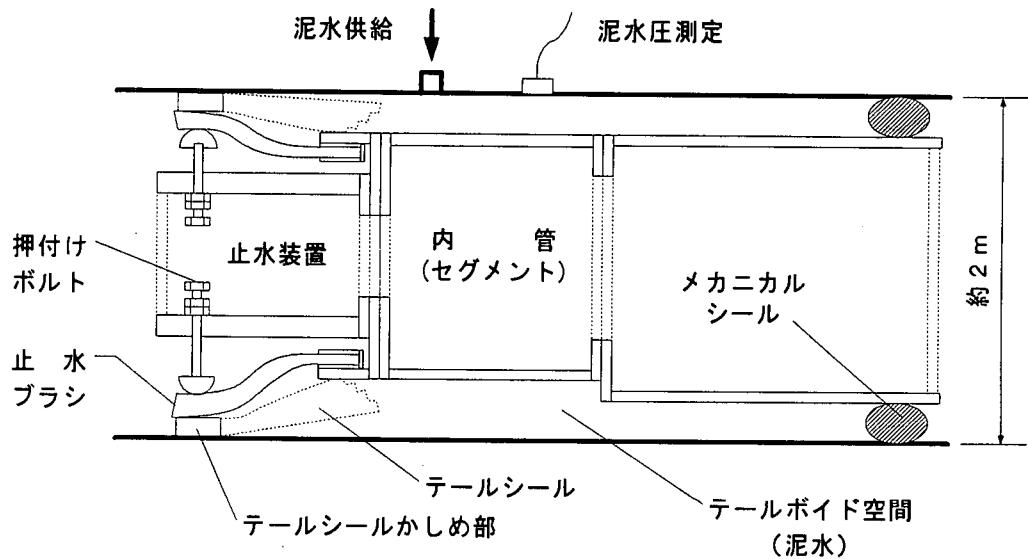


図-3 新型止水装置の止水性能評価用大型模型実験装置

2) 実験ケース及び実験方法

実験ケースは、表-2に示す2ケースである。クリアランス条件は、図-4に示すように、均等クリアランス（ケース1）と最大偏心（ケース2）である。ブラシ押付け部には、クリアランス変動や長距離掘進によるテールシールの損傷による裏込注入材の侵入を想定して、裏込注入材を設置した。さらに、ケース2においては、損傷したテールシールの部材が挟まることを想定して、表-3に示す4種類の異物を上下左右の4箇所に計16個設置した。

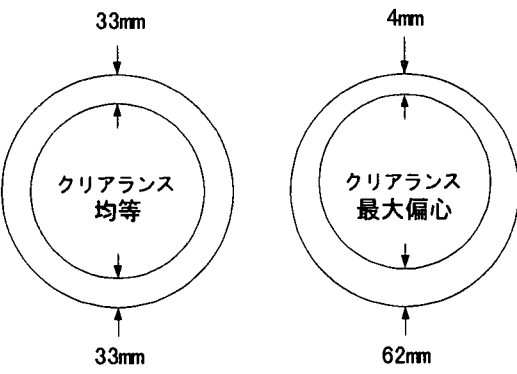
止水装置の作動は、押し付けボルトを締め込んで、止水ブラシをシールド機テールシールかしめ部に押し付

表-2 実験ケース

|        | ケース1                                                         | ケース2     |
|--------|--------------------------------------------------------------|----------|
| クリアランス | 均等                                                           | 偏心       |
| 止水部の異物 | 裏込注入材                                                        | 裏込注入材+鉄板 |
| 地山液体条件 | 泥水                                                           |          |
| 地山液体圧  | 0→10kgf/cm <sup>2</sup><br>(1kgf/cm <sup>2</sup> づつ10分間隔で加圧) |          |
| 相対移動   | ±10mm                                                        |          |

けることによって行い、押付けボルトの締込みトルクによって管理する<sup>4)</sup>。今回は、実験装置のボルト径(M20)を考慮して、450kgf・cm 以上とした。

止水装置の作動完了後、テールボイド空間に泥水を充填し加圧する。泥水圧は、10分経過毎に1 kgf/cm<sup>2</sup> を上げる。さらに、10kgf/cm<sup>2</sup>に達した後、内管を±10mm 摺動させる。この間、漏水量を測定する。



図－4 クリアランス条件

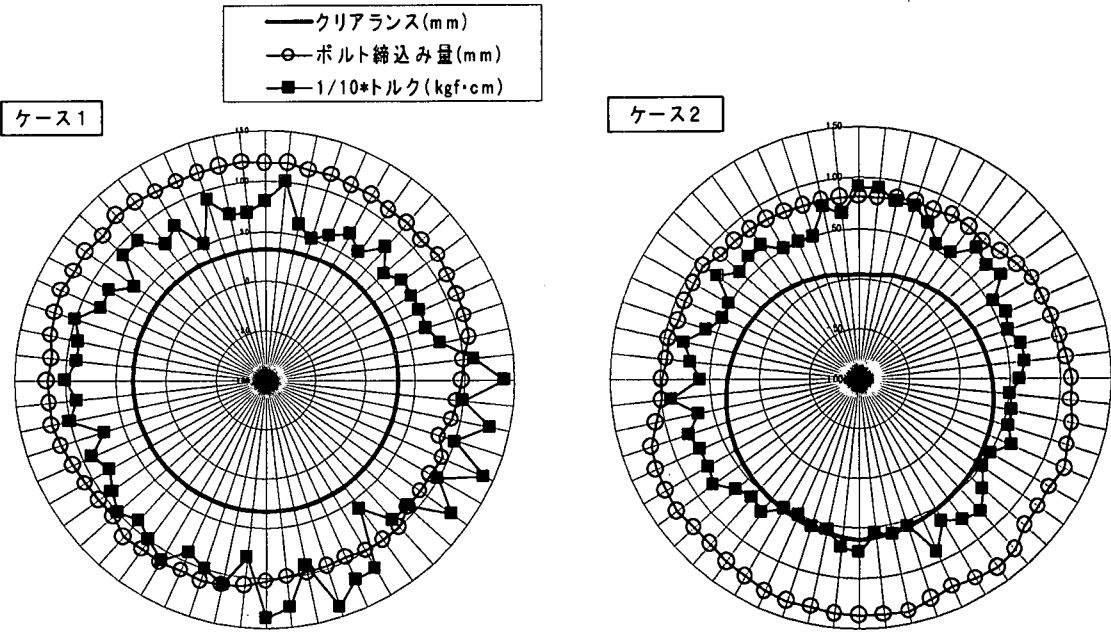
表－2 設置した異物の形状・寸法

| 異物種類    | 平面形状 | 寸法(mm)        |
|---------|------|---------------|
| 損傷した保護板 |      | 100×100, t=1  |
| フラットバー  |      | 38×150, t=3.2 |
| フラットバー  |      | 38×150, t=4.5 |
| フラットバー  |      | 38×150, t=4.5 |

3) 実験結果及び考察

ケース1、2ともに、泥水圧10kgf/cm<sup>2</sup> まで加圧したが、漏水は生じなかった。さらに、施工時のシールド機とセグメントの相対移動を想定して、軸方向に±10mm 摺動させたが、漏水は生じなかった。

実験終了後に測定したボルト締め込み量及びトルクの測定結果を、クリアランスとともに図－5に示す。この図から、ケース1は、クリアランス均等の条件であるが、各ボルトのトルクが管理値以上になるように締め込んだ結果、締め込み量及びトルクは一定値にならず、若干のばらつきが生じていたことがわかる。



図－5 ボルト締め込み量及びトルクの測定結果

次に、トルクとボルト締め込み量から推定した止水ブラシ推定厚さの関係を、図-6に示す。同図には、管理値の根拠とした要素実験結果(トルクは M20に換算)を併記した。大型模型実験ではブラシ締め込み部に裏込注入材や異物を設置しているため、止水ブラシ厚さを要素実験結果と直接比較はできないが、平均的には、要素実験と同程度であったといえる。

以上のことから、管理値(450kgf・cm)以上のトルクでボルトを締め込めば、止水ブラシ厚さは30～40mm 程度になり、泥水圧10 kgf/cm<sup>2</sup> に対しても止水可能であり、施工管理は押付けボルトのトルク値で行えることが分かる。

#### 4. 新型テール止水装置の施工手順

新型テール止水装置は、セグメントタイプであり、図-7に示すように、まず、セグメントを組立てる標準の位置で、止水用ブラシ及び止水装置用セグメントを組み立てる。止水ブラシは6～8分割であり、2～3ピースを組み立てる毎にウレタンで接続する。さらに点検・交換用セグメントを組んだ後、所定位置で、止水ボルトを締め込んで止水する。この間、昼夜2方程度を要する。

止水ブラシを押し付けるジグは、図-8に示すように、長さ25cm 程度の半円の筒状であり、ジグ1個当たり2本のボルトで押し付ける。ボルトの締め込みによって、ブラシは外周側に押し出され、止水用ブラシの接続部は、フープテンションを受けるとともに、ジグの当たり具合が悪いと内側に膨らむ。そこで、図-8中の下側の図に示すように、押付けジグの形状を改良している。

テール止水装置はこのように複雑な構造をしているため、適用できるセグメントの最小桁高が制限される。すなわち、一般部の桁高と同じ設計荷重を止水装置用セグメントの桁高で負担しなくてはならない。また、一般部が二次巻きなしの場合、止水装置部には二次巻きが必要になるので、表-4に示すように、一般部桁高250mm 程度が、適用できる最小桁高の目安である。

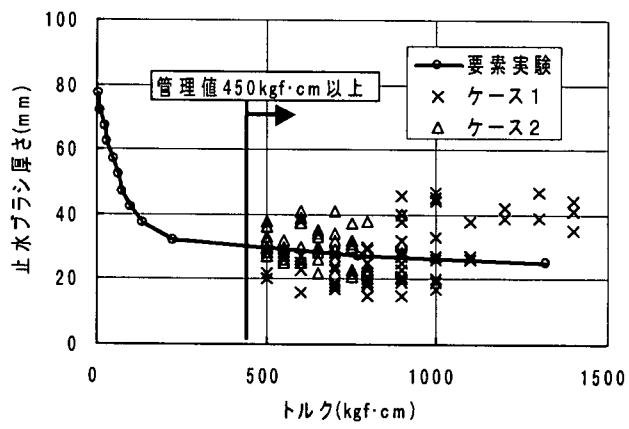


図-6 トルクと推定ブラシ厚さの関係

表-4 止水装置部セグメントの標準的桁高(mm)

| 一般部<br>(二次巻きなし) | 止水装置部        |                |                |
|-----------------|--------------|----------------|----------------|
|                 | 接続用<br>セグメント | 止水装置用<br>セグメント | 二次巻き<br>コンクリート |
| 250             | 225          | 125            | 25             |
| 275             | 225          | 125            | 50             |
| 300             | 250          | 150            | 50             |
| 350             | 300          | 200            | 50             |

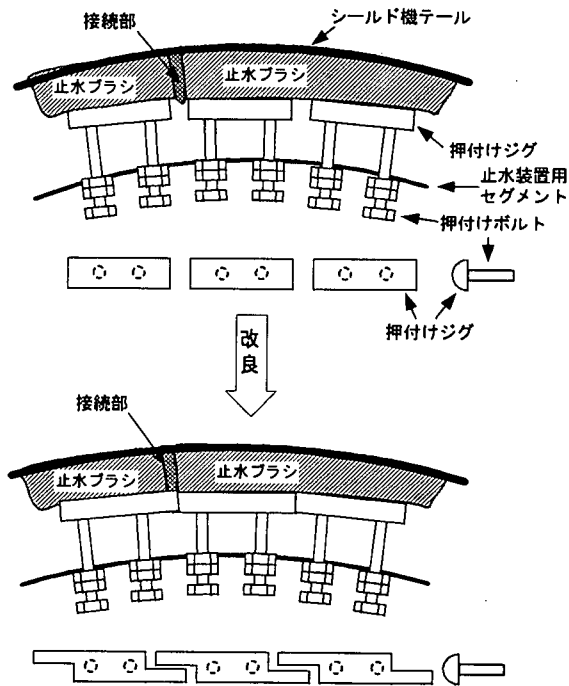


図-8 押付けジグの改良図

