

高 耐 久 性 新 型 テ ー ル シ ー ル の 開 発

HIGH DURABILITY NEW TAIL-END-SEALING SYSTEM

FOR SHIELD TUNNELING MACHINE

有泉 毅¹⁾・五十嵐寛昌²⁾・今立 文雄²⁾・吉村 宗男³⁾・貝沼 憲男¹⁾

Takeru ARIIZUMI, Hiromasa IGARASHI, Fumio IMADATE, Muneo YOSHIMURA, Norio KAINUMA

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

To deal with the demand, a tail-end-sealing system of shield tunneling machine is treated in this report among other technology developments. We have designed a high durability new tail-end-sealing system which is made by filling up ordinary wire brush with poly urethane form, and a series of fundamental efficiency tests has been carried out, and then this new tail-end-sealing system has been employed for a new shield tunneling construction. At the end of the construction, we have investigated the performance of the tail-end-sealing system.

As a result, it was clarified that the new tail-end-sealing system has higher sealing performance and higher durability than the ordinary wire brush type tail seal.

Key words : shield machine, tail seal, model test, durability, tail clearance

1. ま え が き

近年のシールド工事においては、都市部の過密化の進展に伴う既設地中構造物の輻輳化、立坑用地の確保難、河川・海域等の横断による長距離化ならびに大深度化する傾向がある。そこで、工期短縮のための高速施工化も含めた、これら課題に対応し、シールド工事のコストダウンを図るシールド機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については、現在ワイヤーブラシ式テールシールが主流であるが、急曲線部でのシールの反転、シール部またはテールシール間への裏込注入材等の侵入・固結によるテールシールの損傷等が発生する工事例が多いようであり、シールド工事の大深度化・長距離化を経済的に実現させるためには、テールシール自体の耐久性向上も求められているところである。

筆者らは、テールシールが損傷する要因としての前記の裏込注入材等の侵入・固結を防止し、テールシール自体の弾性を長期的に維持できる新型テールシールを開発し¹⁾、実大規模の大型円筒実験装置によって止水性等の基本性能を確認した²⁾。本報告では、この新型テールシールを実工事に適用し、施工中のテールクリアランス変化等を計測するとともに、シールド到達部においてテールシールを部分的にシールド坑内に露出させて損傷度等を調査したので、その調査結果を報告するものである。

1) 正会員 東京電力(株)電力技術研究所

2) 正会員 鹿島建設(株)技術研究所

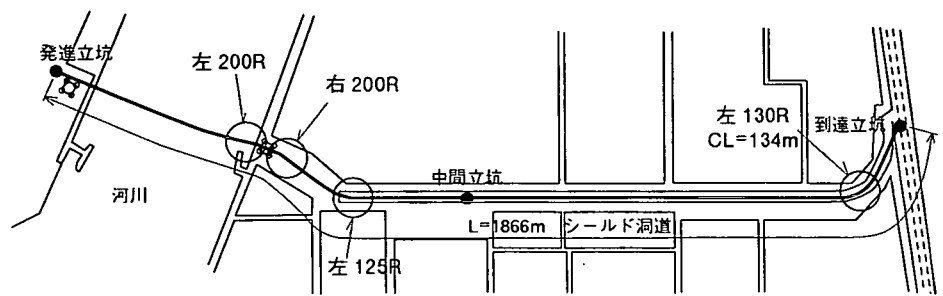
3) 正会員 鹿島建設(株)土木技術本部技術部

2. 新型テールシール現場実証調査

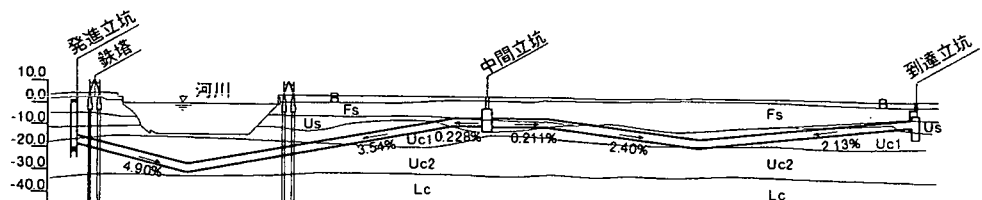
2. 1 実証工事概要

(1) 工事概要

新型テールシールの実証施工を実施した工事は、外径 4 m の泥水式シールド機で延長約 1.9 km の地中送電線管路を新設するものである。工事の平面線形は図－1 に示すとおりであり、最小曲線半径は $R=125\text{m}$ 、曲線半径 $R=130\text{m}$ では最大曲線長 134 m がある。また、図－2 に示すように、縦断線形は、最大勾配 4.9%、掘進対象土層は沖積の粘性土及び砂質土であり、地下水圧は最大で約 3 kgf/cm^2 である。



図－1 工事の平面線形



図－2 工事及び土層の縦断面図

凡 例

地 層 名	記 号	N 値
埋土層		
表 土	B	—
浚 渫 土	Fs	1～8
沖積層		
上部砂層	Us	4～34
上部第一泥層	Uc1	2～12
上部第二泥層	Uc2	1～5
下部泥層	Lc	3～12

(2) テールシール

新型テールシールは、前述のとおり従来型テールシールの損傷要因としての裏込注入材の侵入固結の防止対策を主目的に、ワイヤブラシ素線間をグリスに代わって安定した材料である発泡ポリウレタンで充填した構造としたものである。工事に適用した新型テールシールは、1，2 段目が長さ 180 mm、3 段目が長さ 230 mm である。このクラスのシールド機では一般的には 200 mm と 250 mm 程度の組合せが多いが、曲線施工を考慮して機長短縮のため、短くした。

2. 2 調査方法

(1) シールド機テール部止水方法

テールシールをシールド坑内で露出し、目視観察するためには、シールド機テール部において何らかの補助的な手段を講じて地下水圧に対抗し、確実に止水する必要がある。これは、テールシールが損傷しシールド坑内で交換する必要が生じた場合にも同様なことが言える。従来技術としては、シールド機テールプレート内に止水機構を組込む方法や、シールド坑内から地盤中に止水材を注入する方法などがあるが、前者の方

法は繰返し使用に難点があり、後者の方法はかなりの時間と費用がかかる。そこで、短時間に安価に複数回採用できる方法としてセグメントタイプのテールシール交換用止水装置を考案し、今回のテールシール露出調査のための止水方法として採用した。この止水装置は、新型テールシールの応用技術として考案したもので、図-3に示すように、前後のセグメントより外径を小

さくしたセグメントの外周に、発泡ポリウレタンを充填させたワイヤブラシを配置し、セグメント内側からボルトを締め込むことによってこの発泡ウレタンブラシを外方向に移動させ、最終段のテールブラシのかしめ部分に圧着させて止水するものである。

(2)調査方法

上述したテールシール交換用止水装置を組込んだ特殊セグメントを組立てた後、観察用の開閉可能な窓を取付けた観察用セグメントを組立て、さらに位置調整用のセグメントを組立て、所定ストローク掘進して到達した(図-4)。到達後、止水装置を作動させ、止水状況を確認してから、観察窓を開け観察を行った。

観察窓は円周方向30cm×掘進方向60cmで、円周方向10カ所に配置した。観察窓からは、図-3に併記したように、1、2段目テールシールが観察でき、内側保護板、ウレタンを充填したワイヤブラシ、外側保護板、ブラシ間のグリスの充填状況などを調査できる。

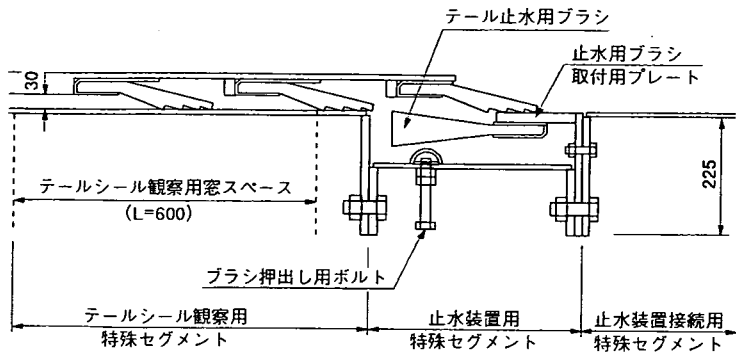


図-3 テールシール交換用止水装置の概要

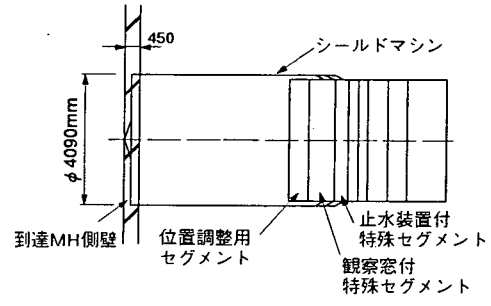


図-4 到達部での調査のためのセグメント割付

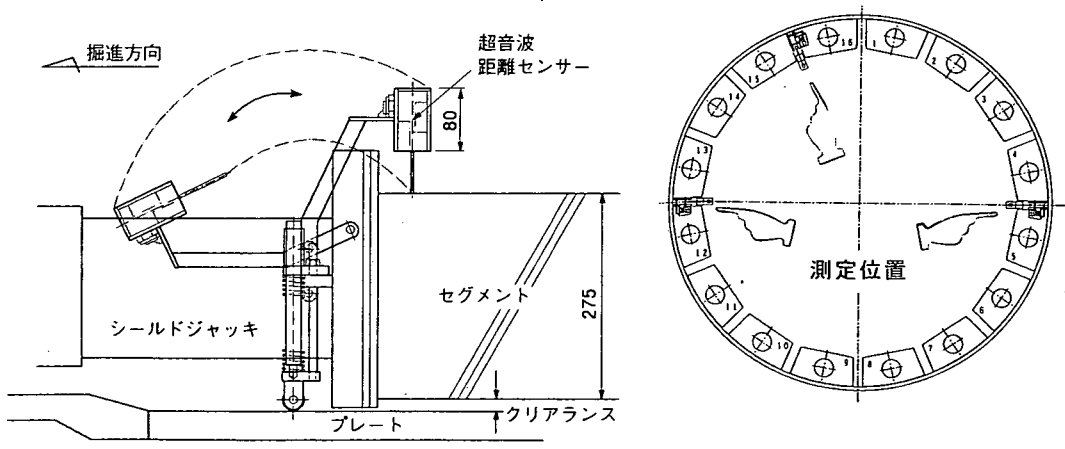


図-5 クリアランス自動測定装置の概要

3. 新型テールシール現場実証調査結果

3. 1 施工概要

施工中のクリアランスの変化を、図-5に示すクリアランス自動測定装置を考案し、連続的に計測した結果を、シールド線形と併せて図-6に示す。この図から、上下方向のクリアランスについては、掘進開始直後の下り勾配では下側のクリアランスが大きくなっているが、その後は全体的に下側のクリアランスが小さい傾向にあり10～20mmである。左右方向については、N0.1～N0.3カーブではカーブ外側のクリアランスが小さくなる傾向にあり、N0.3カーブ後の直線では左側のクリアランスのほうが小さく約20mmである。N0.4カーブでは特に一定の傾向は見られないようである。

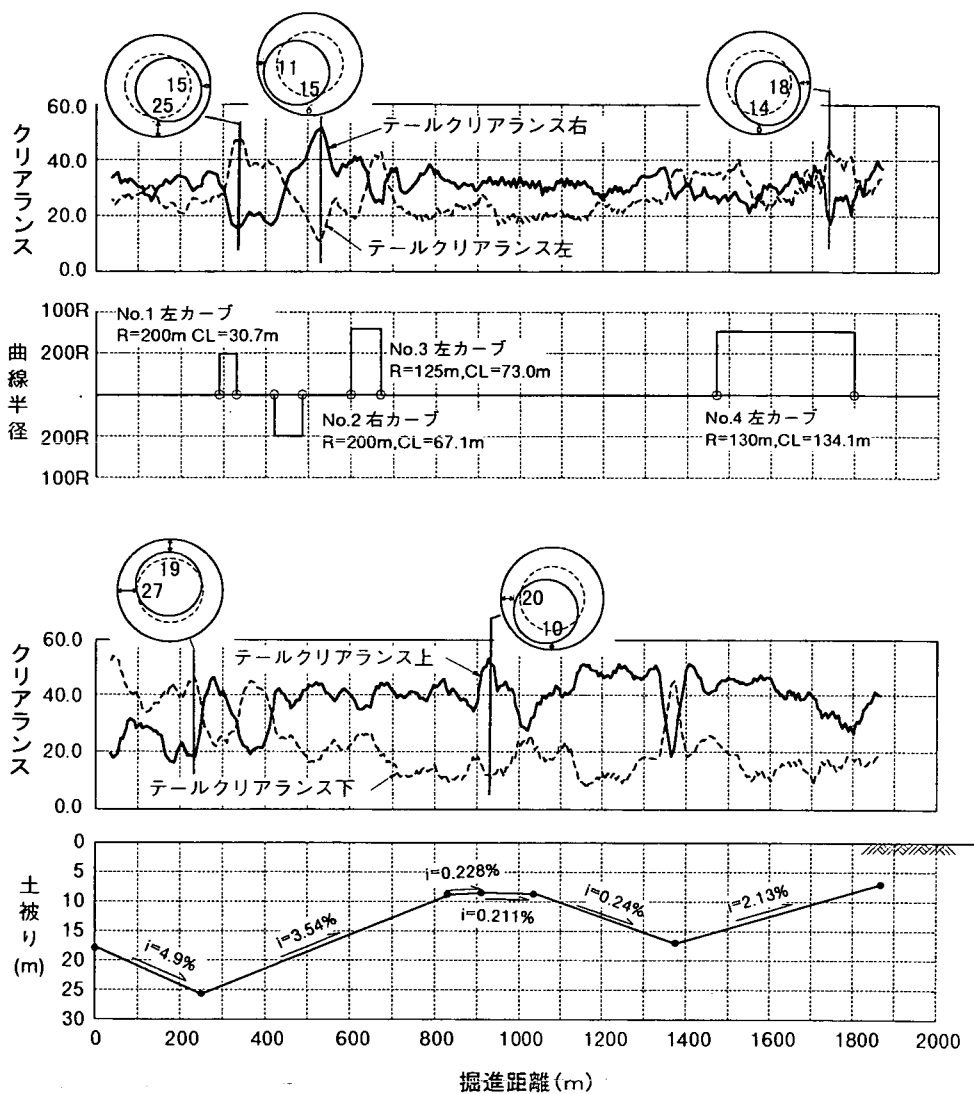


図-6 クリアランス測定結果

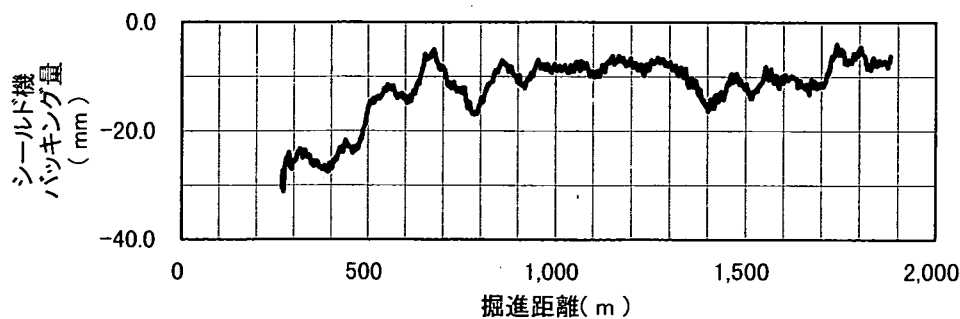


図-7 シールド機バックキング量測定結果

次に、セグメント組立時のシールド機のバックキング量を図-7に示す。バックキング量は、セグメント組立前後のジャッキストローク測定し、セグメント長を差し引いて求めた。掘進開始当初の地下水圧の高いところでは、20～30mm程度のバックキングが生じていたが、その後は10mm程度であった。

テールシールグリスについては、シールド機に設置してある給脂管から、従来型ワイヤブラシと同程度の量を定期的に充填した。

3. 2 新型テールシール現場実証調査結果

(1) 調査結果

止水装置の作動後に、観察窓を開放して、1，2段目のテールシールを観察した。

1段目テールシールの残存部の長さを図-8に示すように測定し、図-9及び図-10に示す。内側保護板は、セグメントとの摩擦により擦り減って薄くなり、シールド機のバックキングにより破断されていた。ウレタンを充填したワイヤブラシについても摩耗が見られ全体的に薄くなっているが、ブラシ間に充填したウレタンは残存しており、そのためブラシ

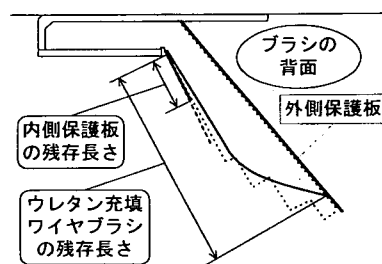


図-8 調査・測定方法説明図

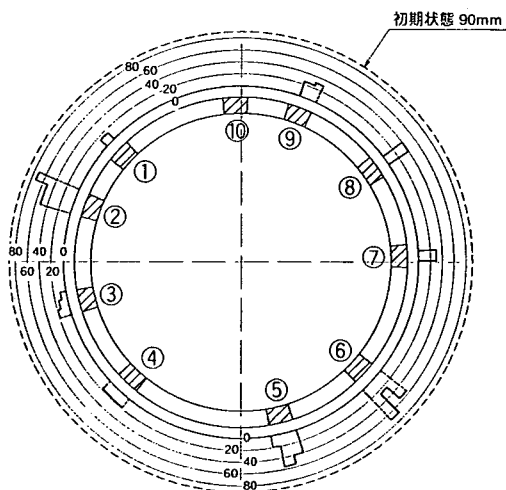


図-9 1段目内側保護板の残存長さ

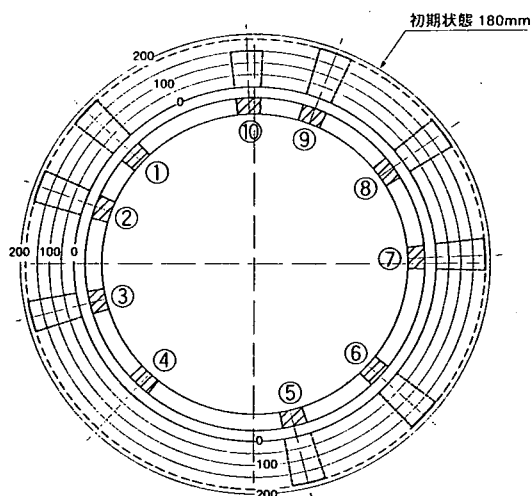


図-10 1段目ウレタン充填ワイヤブラシの残存長さ

表－１ １段目ブラシ背面の状況

調査箇所	１段目ブラシ背面の状況
①	グリスと裏込材が層状に厚さ55mm程度付着。
②	裏込材が厚さ40mm程度付着。
③	裏込材が厚さ45mm程度付着。
④	裏込材が厚さ40mm程度付着。
⑤	裏込材が付着。
⑥	グレー色の裏込材と油脂分の少ないグリスが付着。
⑦	裏込材が厚さ70mm程度付着。ブラシの素線が混入。
⑧	グリスと裏込材が付着。
⑨	グリスと裏込材が層状に厚さ65mm程度付着。内側にグレー色の裏込材、スキムプレート側にグリス(厚さ10mm)付着。
⑩	ボロボロと粒状に崩れるような固結状態の裏込材が厚さ80mm程度付着。

内には裏込材は侵入しておらず弾力性も失われていなかった。なお、調査箇所④については損傷が激しく、外側保護板だけが残っていた。

１段目テールシールブラシ背面の状況を表－１に示す。ブラシ背面には、グリス、裏込材が層状に付着しており、その厚さは最大で80mmにもなっていた。

(２) 考察

従来のワイヤブラシ型のテールシールは、長距離・急曲線施工後の調査において、ワイヤブラシ間に裏込注入材が侵入・破損しほとんど残存していない例があるが、今回調査した新型テールシールは、内側保護板のほとんどが破断されブラシ本体の摩耗も生じていたものの、従来型のようにシールド機のバックギヤによる反転・素線の抜け落ち等は発生しておらず、全体としてはその機能を保持しており、耐久性に優れているといえる。しかしながら、定期的にテールシールグリスを充填して施工していたにもかかわらず、ブラシ背面には裏込注入材の侵入が生じて損傷が生じた部分があり、クリアランス変化時におけるグリス充填等テールシール間への裏込注入材の侵入を防止し、テールシール背面に裏込注入材が固結しないための対策が今後の課題と考えられる。

４. あとがき

新型テールシールは従来型に比べて耐久性が優れていると判断できるが、クリアランス変化時におけるグリス充填等テールシール背面に裏込注入材が固結しない対策並びにシールド機のバックギヤを抑制し内側保護板の摩耗は発生するが破断させない対策が今後の課題といえる。また、高水圧下での4～5 km以上の長距離・急曲線施工においては、テールシールの交換が必要になることも想定されるので、今回開発したテールシール交換用止水装置の高水圧下での適用性について、今後実証していきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 今立文雄 他：新型テールシール（ウレタン注入型）の開発、土木学会第51回年次学術講演会、pp. 392～393, 1996. 9
- 2) 有泉 毅 他：高耐久性新型テールシールの基本性能試験、土木学会 トンネル工学研究発表会 論文・報告集第6巻、pp. 381～386, 1996. 11