

技術報文

開削トンネル用接着性先防水シート ～性能評価と施工状況～

(株)クラレ 伊勢 智一 楠戸 一正  
 (財)鉄道総合技術研究所 矢口 直幸

1. 開削トンネルと先防水工法

都市部の地下鉄や地下道路、排水路等の建設においては開削トンネル工法が多く用いられる。これらの地下構造物は周囲に防水工を施さないと地下水が構造物内に浸入し漏水による設備被害や排水処理費用の発生といった問題を引き起こす。防水工法には、構造物の建設前に施工する先防水工法と構造物構築後に施工する後防水工法があるが、後防水工法では掘削面積を大きく取る必要があり、特に工期短縮の要求の強い都市部においては先防水工法が多く用いられる。

先防水工法には土留め壁に防水シートを貼り付けたり防水剤を吹付けたりする工法があり、防水シートにはゴム製シートやエチレン酢酸ビニル共重合体（EVA）などの合成樹脂製シートがある。吹付け剤にはゴムアスファルト系吹付け剤やウレタン系吹付け剤があるが、専用の吹付け装置を要する、周囲に薬剤が飛散するなどの点より、簡便に施工できる防水シートの需要が伸びている。図-1に防水シートを用いた開削トンネルの概念図を示す。

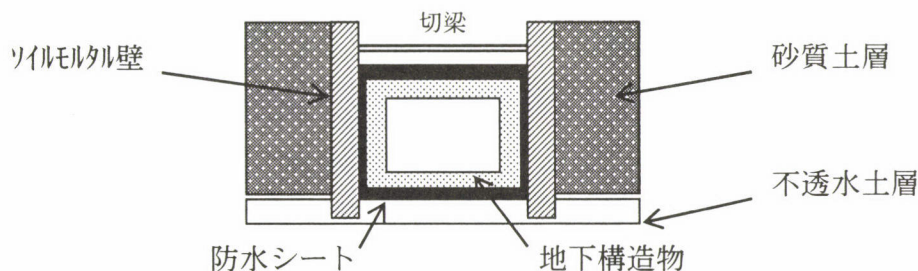


図-1 開削トンネルと先防水工法

しかし防水シートにも問題がないわけではなく、厚く重いゴムアスファルト系シートは地下への搬入を人力に頼る現場では作業効率を低下させるし、合成樹脂製シートも施工後に地盤から浸入した水が構造物とシートの間が生じた隙間を伝って構造物のひび割れから内部へ漏れ出ることがあり、より薄く軽量で防水効果の高い防水シートが求められていた。

そこで我々は、帆布やテントなどの樹脂加工布の製造技術とビニロン繊維によるコンクリート補強技術を生かして、シート上にコンクリートを打設した際に、コンクリートの硬化後に強固に化学接着することで高い防水性能を示す接着性先防水シート<エバブリッド>を開発した。図-2に接着性先防水シートと従来の防水シートの構造物との界面における防水挙動の違いを示す。

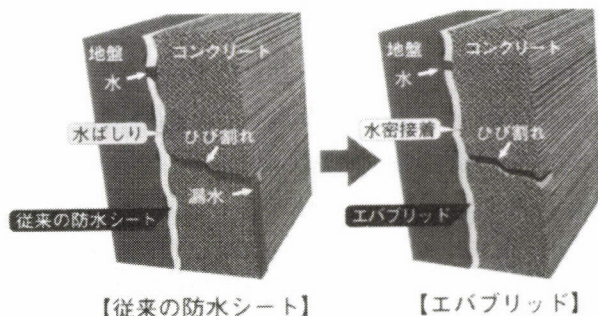


図-2 接着性先防水シートの防水機構

本接着性先防水シートは2001年に上市し、本誌2003年7月号（Vol.19 No.2）でその概要を紹介している。その後各地で施工実績を積んできたが、コンクリート打設直後の接着力発現速度が遅い、施工までの表面保護のために貼っているポリエチレンフィルムが現場で廃棄物となる、といった使用上の問題点があったため、これらの課題を解決すべく新しいタイプの接着性先防水シートの開発に着手した。その結果、接着面の表面成分を変更することで、初期の接着力発現速度が早く、表面保護フィルムを必要としない新しい接着性先防水シートを完成したので、ここにその概要を報告する。

## 2. 接着性先防水シートの構成とその接着機構

このシートは、EVA樹脂からなる防水層と、ポリエステル繊維織物からなる損傷保護層と、表面に特殊シリカを埋め込んだEVA樹脂からなる接着層とから構成され厚みは1.2mmである。図-3に断面図を、図-4に表層断面の電子顕微鏡写真を示す。

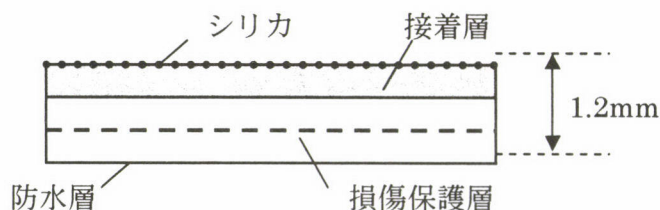


図-3 シート断面図

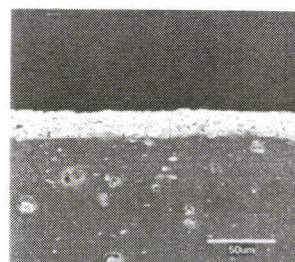


図-4 シート表層断面写真

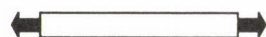
表面のシリカは、この上へコンクリートを打設するとセメントの水硬化反応の際にセメント成分と化学反応して強固なトバモライトを形成する。その結果コンクリートの完全硬化後にはシートとコンクリートは全面に渡って密着し水が通る隙間が形成されない。これが接着性先防水シートの防水機構である。

## 3. 性能評価試験

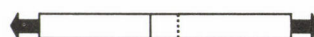
本シートの性能を定量的に把握するため（財）鉄道総合技術研究所においてこのシートの物理性能と防水性能を定量的に測定した。以下にその方法を示す。

### (1) 強度試験

①引張り強度試験

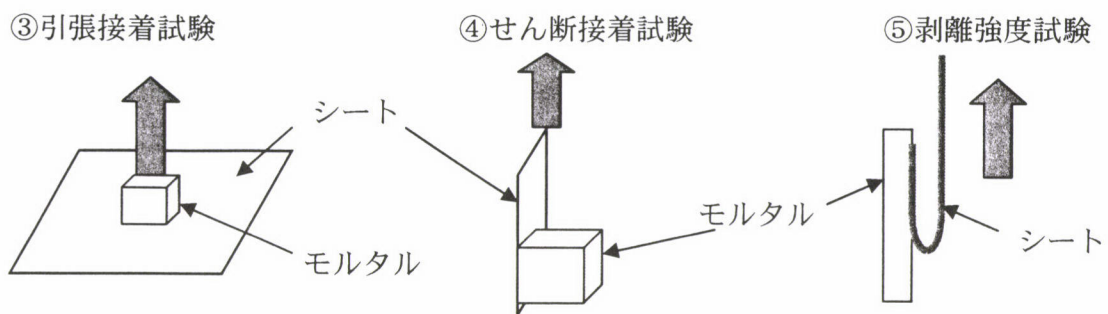


②接合部強度試験（接合は熱接合）



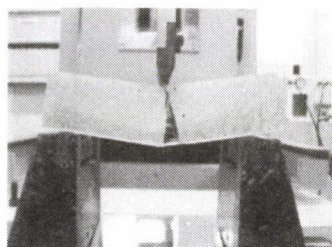
いずれも損傷保護層は破断しても防水層のEVA樹脂は破断していないことが確認された。

次に本シートの重要な性能である後打ちコンクリートとの接着力をモルタルで代用して測定した。モルタルの構成は、普通ポルトランドセメント／豊浦標準砂／水＝1／2／0.5とし、いずれの試験においてもシートの接着面上に型枠を設置し、そこへ調製したモルタルを流し込み、JIS-A1132 準拠の湿空環境で4週間養生した後に下記の方法で接着性能を測定した。

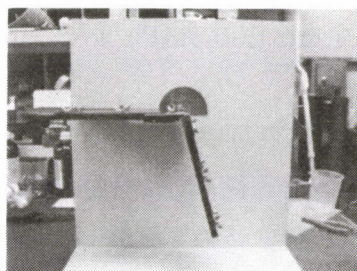


更にひびわれ追従性試験と柔軟性試験を実施した。これらは実際に現場で使用する際に、コンクリートのひびわれや設置面の不陸にシートが沿って施工できるかどうかを見極める試験である。ひびわれ追従試験は、4cm×4cm×16cm のモルタルの片面にシートを接着させ、シート面が伸長側に来るように3点曲げでモルタルにひびわれを生じさせ、シートが破断したときのひびわれの大きさを測定した。柔軟性試験では乾湿繰り返しによるシートの亀裂や硬化の有無を調べた。

⑥ひびわれ追従試験



⑦柔軟性試験



以上の強度試験の結果を表1に記す。開発品は従来品同等以上の性能を有していることがわかる。

表-1 強度試験の結果

		単位	従来品	開発品
引張強度試験	強度	kN/m	30	33
	破断伸度	%	16	14
接合部強度	強度	kN/m	27	32
	破断伸度	%	14	14
引張接着試験		kPa	270	350
せん断接着試験		kPa	620	652
剥離強度試験		kN/m	2.0	2.7
ひびわれ追従試験		mm	6	10
柔軟性試験 (乾湿5サイクル)		外観	異状なし	異状なし

## (2) 水密性試験

次に本シートの防水性能を測定するために各種の水密性試験を実施した。測定装置は独自に設計・製作したもので、最大0.5MPaの水圧で測定できるようになっている(図-5)。

装置は耐圧のために円筒形状で、試料シートも直径340mmの円形に切って設置した。漏水があればポーラスストーンを通過した水が計量ピペットに溜まるため、これを計量して水密性を測定した。この装置を用いて以下に示す6種類の水密性試験を実施した。

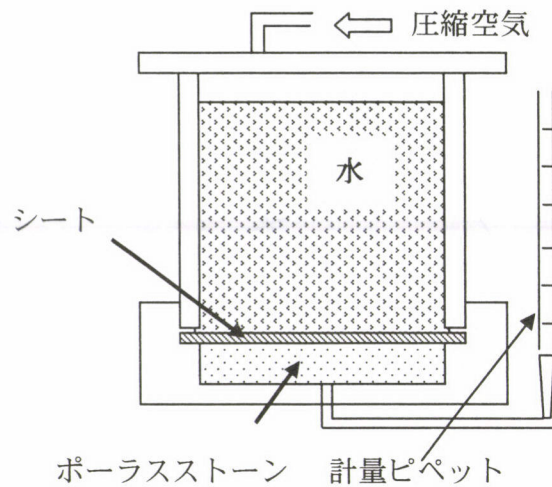


図-5 水密性試験装置  
(基本水密性試験)

### ①基本水密性試験

図-5のようにシートをそのまま設置し、水頭差50mに相当する水圧0.5MPaまで上げて測定した。

### ②圧縮変形に伴う水密性試験(図-6)

ポーラスストーンとシートの上に直径1cmのセラミックボールを敷き詰めて試験した。これは現場の不陸条件を模擬したものであるが、安全上の理由から水圧を0.1MPaに下げて実施した。

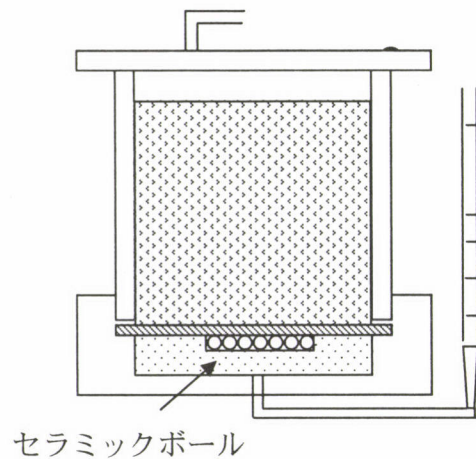


図-6 圧縮変形に伴う水密性試験

### ③接合部水密性試験(図-7)

シート中心部を円形にくり抜き、これを覆う形で切り抜き部より大きく円形に切り取った別シートをウレタン系コーキング剤で接着して試験を実施した。水圧は0.5MPaで実施した。

### ④釘穴水密性試験(図-8)

シートの裏側からシートを貫通するように釘を打ち込んで試験した。これは現場で切梁や鉄骨が貫通した場合を想定したものでコーキング剤等は塗らず水圧0.5MPaで実施した。

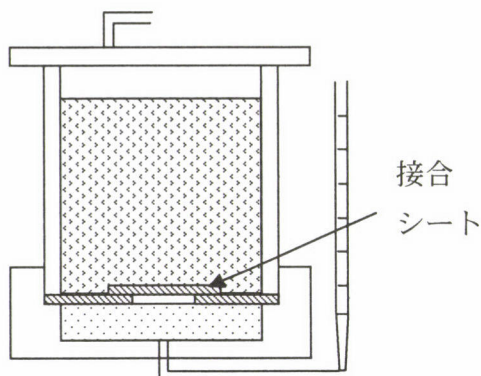


図-7 接合部水密系試験

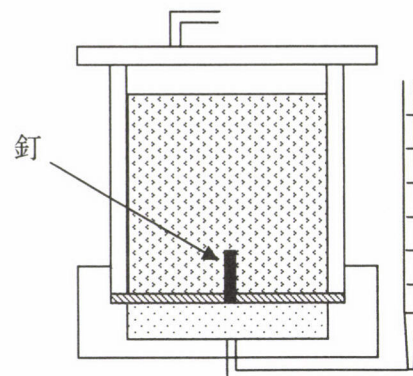


図-8 釘穴水密性試験

⑤モルタルと試料の水密性試験（図-9）

実際にシート上にコンクリートを打設し、硬化・接着した後の水密性を測定すべく、シートの中央に直径 100mm、高さ 200mm の円柱状にモルタルを打設し、シートの中央裏側からドリルで直径 10mm の穴を空けて試験した。シートとモルタルの接着が弱ければ多量の漏水が認められるはずであるが、今回は 0.5MPa の水圧で  $1.7 \times 10^{-5}$  ml/秒という微量の漏水を検出した。試験後にシートをモルタルから剥がして観察したところ通水した形跡は認められず、これはモルタルとシートの界面ではなくモルタルの内部を水が通ったものが検出されたものと判断した。

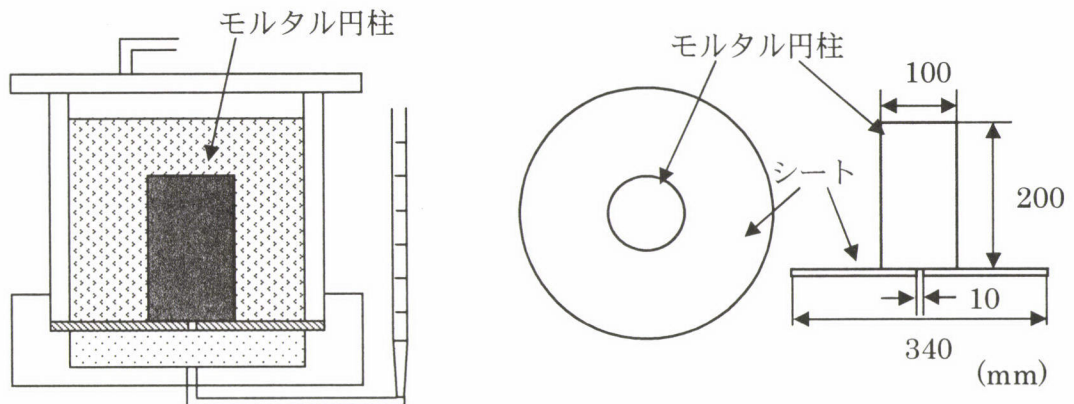


図-9 モルタルと試料の水密性試験と試料寸法

⑥不陸変形を伴うモルタルと試料の水密性試験（図-10）

②と同様にポーラスストーンの上にセラミックボールを敷きつめて⑤と同様の試験を行なった。0.3MPa の水圧で  $2.2 \times 10^{-5}$  ml/秒の漏水が認められたが、⑤試験と同様、シートとモルタル界面に通水した形跡は認められなかった。これは 24 時間で 2ml 程度の漏水量であり、小径のセラミックボールによる実際の不陸より厳しい条件での試験であるので、現場の設置面の不陸では防水性能に悪影響はないと判断した。

この不陸変形を伴うモルタルと試料の水密性試験が最もよく現場の状態を模擬しているとの判断より、この条件で今回開発した接着性先防水シートと市販の非接着性 E V A 製防水シートの水密性を比較した。結果は図-11 に示すとおり、非接着性シートが早期に全量漏水したのに対して接着性先防水シートは有効に漏水を防いでいることが確認された。

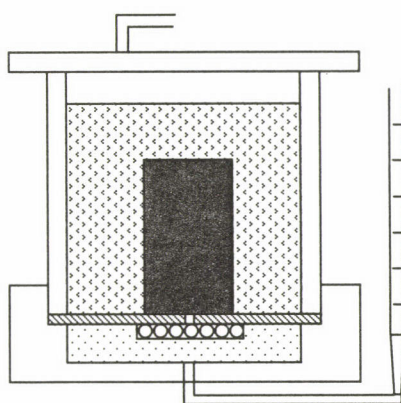


図-10 不陸変形を伴うモルタルと試料の水密性試験

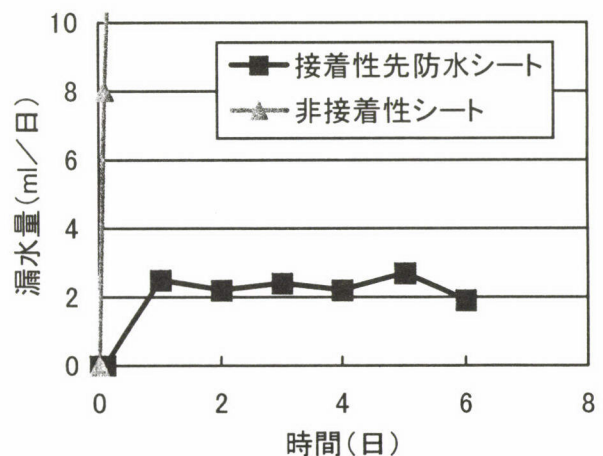


図-11 不陸水密性試験結果

表-2 に一連の水密性試験結果を示す。今回の開発品は全ての項目において従来品と同等以上の性能を示していることがわかる。

表-2 接着性先防水シートの水密性試験結果

試験名 (試験水圧)	従来品	開発品
基本水密性試験(0.5MPa)	0	0
圧縮変形を伴う水密性試験(0.1MPa)	0	0
接合部水密性試験(0.5MPa)	0	0
釘穴水密性試験(0.5MPa)	$1.5 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-2}$
モルタルと試料の水密性試験(0.5MPa)	$9.9 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$
不陸変形を伴うモルタルと試料の水密性試験(0.3MPa)	未測定	$2.2 \times 10^{-5}$

(単位 ml/秒)

### (3) 改良効果の確認

今回の開発の目的であるコンクリート打設初期の接着力の発現速度を、剥離接着試験にて確認した。結果は狙いどおりに接着力の発現速度が向上しただけでなく4週養生後の接着力も大きく向上しており、より高い防水性能を持っていることが確認された。

また今回の開発品は表面の粘着性が低いため保護フィルムを貼る必要がなくなり現場での廃棄物削減も達成した。

## 4. 施工状況

これまでこの接着性先防水シートは約50箇所、20万㎡の施工実績があるが、現在施工されているのは大阪市中之島線で、天満橋から中之島への2.9kmの区間で堂島川沿いの地下に建設されており約5万㎡の本シートが使用されている。図-13に施工中の現場写真を示す。

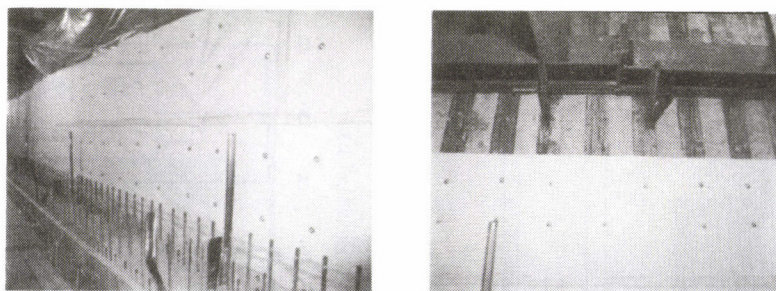


図-13 中之島線での施工状況

## 5. おわりに

施工性と防水性能に優れた開削トンネル用接着性先防水シートの性能評価と施工事例について述べた。今後は国内のみにとどまらず海外へもその適用先を広げていくとともに、ウォータータイトトンネルにも適用できるような更に高伸度の製品を開発していきたい。

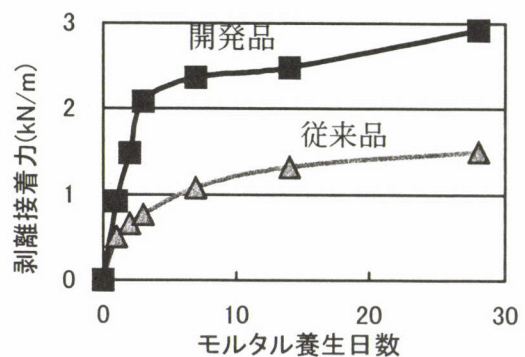


図-12 接着発現速度