

## 27. ラッピングシールド工法の開発 (完全止水型シールド工法)

五洋建設(株)：原 修一，\*松藤 広行

はじめに

近年のシールド工事は、浅深地下における埋設物の輻輳化によりますます大深度化が進み、高水圧に対する止水技術の要求が高まっている。

シールドトンネルの止水対策は、セグメントに施す止水シール・裏込注入・二次覆工等があるが、いずれも完全とは言い難い、そこで東京湾横断道路や横浜地下鉄では、セグメントの内側にシート防水を施し二次覆工を行う内防水型の止水対策も採られている。

しかし、近年では、コスト縮減や工期短縮の面から二次覆工を省略するという方向性にある。「ラッピングシールド工法」は、セグメントの外側でシート防水を行い地下水を完全に遮断する外防水型の「わかりやすい防水」を行い、二次覆工の省略はもとより地下構造物の劣化を抑え、さらに地下水保全の意味から環境にもやさしい完全止水型の新しいシールド工法である。

### 1. 工法の概要

「ラッピングシールド工法」は、セグメントの外周全体に防水シートを巻き立てた、完全止水のシールドトンネルを構築する工法であり、従来のシールド機構に加え、「防水シート巻立て機構」「掘進・巻立て同時施工機構」「シートプロテクタ」、さらに、「セーフティバリア」を施すための機構等から構成される。

### 2. 工法の特徴

(1) 厚さ2 mm以上の防水シートをセグメント外周全体に巻立てるため、シールドトンネル内への漏水を完全に防止できる。

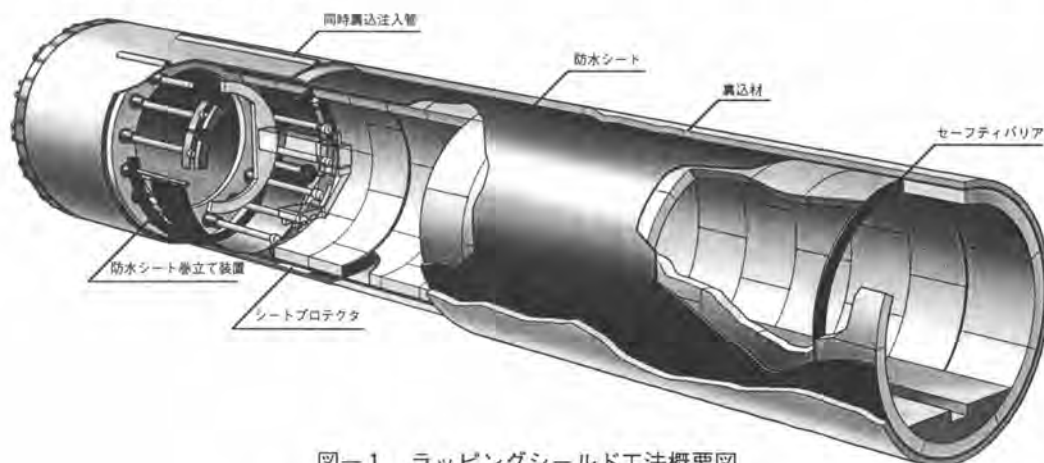


図-1 ラッピングシールド工法概要図

- (2) 防水シートが破損した場合でも、セーフティバリアにより止水性能を完全に回復することができる。
- (3) 完全止水が実現できるため、漏水による地下水の変動や地盤沈下など、環境に対する影響を与えない。
- (4) 防水シートを用いることにより、二次覆工の省略が可能。そのため大幅な工期短縮が実現できる。
- (5) 工事コストダウンはもとより、供用中の排水処理などのランニングコストが削減できる。さらに、構造物・施設の劣化が抑止されライフサイクルコストの低減が行なえる。



写真-1 防水シートを巻立てたセグメント  
(97年度実証実験)

### 3. 工法の機構・機能

ラッピングシールド工法は以下の機構・機能により構成される。

#### (1) 掘進・巻立て同時施工機構

シールドジャッキにロングロッドジャッキを使用し、セグメント組立後もテールプレート内に防水シートの巻立てスペースを確保することにより、シールド掘進と防水シートの巻立ては同時施工で行なう。

#### (2) 防水シート巻立て機構

シールド機テール部で、掘進中に防水シートの巻立てを行なう機構であり、「旋回リング」「巻立てアーム」「自走式溶着機走行ガイド」等の巻立て装置、「自走式溶着機」「手動式溶着機」等の溶着機器類から構成される。

巻立て方法は、テールプレートとシールドジャッキロッドの間の「巻立てアーム」に防水シートをクリップし、「旋回リング」を回転して巻立てを行い、円周方向は「自走式溶着機」、軸方向は手動式溶着機で溶着する。

#### (3) シートプロテクタ

特に、曲線施工時に、巻立てた防水シートがテールプレートと強く擦れ合って破れることが考えられる。これを防止するため推進時の摩擦抵抗を軽減する緩衝材をテールプレート内面全周に取り付け、防水シートの破損防止を図る。

#### (4) セーフティバリア

約30m毎に、「セーフティバリア」を取り付けることにより、万が一防水シートが破れた時も破損箇所限定と止水材注入による補修を容易にする。

また、河川横断部、高水圧区間、臨海部など部分的に『ラッピングシールド工法』を採用する場合には、その始点・終点の止水処理材としての機構もある。

なお、裏込め注入・テールシール充填材の供給は、セグメントの外側に防水シートが巻立てられているため、シールド機テールプレートに「同時裏込め注入管」、および「テールシール充填材供給管」を設置して行なう。

#### 4. ラッピングシールド工法の施工

##### 4-1 施工サイクル

図-2に示すようにシールド掘進と防水シートの巻立ては同時に施工する。

防水シートの巻立て時間と掘進時間の関係を表-1に示す。なお、シールド掘進の直線区間、および初期・到達区間、曲線区間の日進量は、従来シールド工法の日進量と同等である。

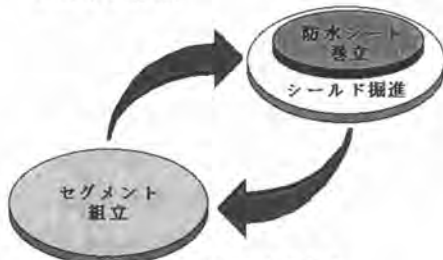


図-2 施工サイクル

##### 4-2 施工手順

施工手順を以下に示す(図-3参照)。

- ①シールド掘進を開始し、ロール受けに取り付けた防水シートの端部を巻立てアームにクリップする。
- ②旋回リングを回転しテールプレートとシールドジャッキの間に防水シートを巻立てる。
- ③自走式溶着機を使用して円周方向を溶着しエアチェックを行う。
- ④手動式溶着機を使用して軸方向を溶着しバキュームチェックを行い、防水シートの巻立てを終了する。
- ⑤掘進終了後セグメントを組み立てる。

セグメント外径 (mm)	セグメント幅 (mm)	掘進速度 (mm/min)	巻立て時間 (min)	掘進時間 (min)	余裕時間 (掘進時間-巻立て時間) (min)
3,550	1,000	30	26	33	7
3,800	1,000	30	26	33	7
4,050	1,000	30	27	33	6
4,300	1,000	30	28	33	5
4,550	1,000	30	29	33	4
4,800	1,000	30	29	33	4
5,100	1,200	30	31	40	9
5,400	1,200	30	32	40	8
5,700	1,200	30	33	40	7
6,000	1,200	30	33	40	7
6,600	1,200	25	35	48	13
6,950	1,200	25	36	48	12
7,400	1,200	25	38	48	10
8,050	1,200	25	40	48	8
8,300	1,200	25	40	48	8
9,600	1,200	25	44	48	4
9,800	1,200	25	45	48	3

表-1 防水シート巻立て時間表

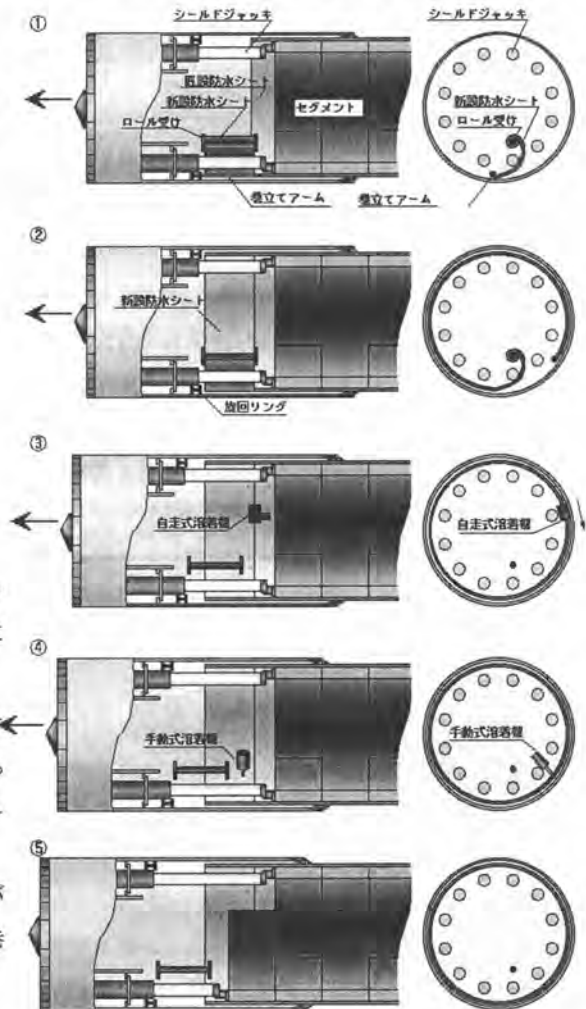


図-3 施工手順

## 5. 総合実証実験

### 5-1 実験概要

本工法は'93年度から'97年度にかけて各々の机上検討、要素実験、実証実験を重ね、既に工法としての確立はなされている。本年度は、 $\phi 3,478\text{mm}$ の実験機を使用して外径 $\phi 3,350$ のセグメントを10リング組立て、施工性・機能・機構について検証・実施実験を行い、実施工に即した工法の確立を行う。

#### ・実施内容

- (1) 総合的な施工性の検証
- (2) 新規問題点の掘り起こしと解決

実験機はソリ付き架台上に設置し、移動用レール上を走行させ、10リングの「掘進・巻立て同時施工」と「セグメント組立」を行った。

なお、移動用レールは直線区間と曲率半径100Rの曲線区間も有しており、曲線の施工方法の検証も併せて行った。

### 5-2 ラッピングシールド実験機

#### 5-2-1 シールドジャッキ

掘進・巻立て同時施工のため、セグメント組立スペースと防水シート巻立てスペースを設ける必要がある。そのためシールドジャッキとしては図-4に示すロッドの長いロングロッドジャッキを用いている。このジャッキは最も縮めてもロッドが突出している（摺動ストロークよりもロッドが長い）ジャッキである。

また、自走式溶着機を走行させるスペースを設けるためシールドジャッキの偏心量を考慮する必要があるが、偏心量を少なくするため自走式溶着機の改造を行い、写真-3に示す小型のものを使用した。

#### 5-3-2 シールドジャッキスプレッド

防水シートは、セグメントの外周にシワが無いよう密着して巻立てる。従ってシールドジャッキスプレッドはセグメント外周からは



写真-2 ラッピングシールド工法実験機

項目		仕様
実験機	外径	$\phi 3,478\text{mm}$
	機長	4,750mm
	シールドジャッキ	ロングロッドジャッキ 10t×1450mm (500mm)×10本 (摺動部) (非摺動部)
	テールシール	2段 旋回リング、巻立てアーム
	巻立て装置	防水シートロール受け 自走式溶着機走行ガイド等
シートプロテクタ	超高分子量ポリエチレン製	
セグメント	形式	スチール製 6分割、軸挿入式
	外径	$\phi 3,350\text{mm}$
	内径	$\phi 3,050\text{mm}$
防水シート	幅	1,000mm
	材質 厚さ	ポリエチレン系 2.0mm

表-2 実験仕様



写真-3 小型自走式溶着機



図-4 ロングロッドシールドジャッキ

み出さないようにする必要がある。テールクリアランスのずれを考慮して、スプレッドの外周=セグメント外周-テールクリアランス- $\alpha$ とした( $\alpha$ は余裕代)。

### 5-2-3 防水シート巻立て機構

写真-4はロール状の防水シートの端部を巻立てアームにクリップし、巡回リングを回転させて防水シートを巻立てている状況である。防水シート巻立て機構により重量 $2\text{kg}/\text{m}^2$ の防水シートは狭隘な空間であっても簡単に巻立てることができる。その後、写真-5に示すように自走式溶着機で円周方向の溶着を行う。

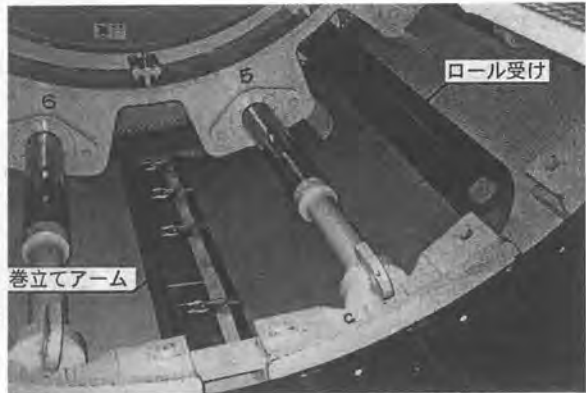


写真-4 防水シート巻立て状況

### 5-2-4 シートプロテクタ

実験機に装備したシートプロテクタを写真-5に示す。2段のテールシール間にも装備し、シールド機テール部で防水シートの破損を防止する構造である。

### 5-2-5 シールド機長

ラッピングシールド機は通常のシールド機に比べて防水シートの巻立てスペース(=セグメント幅分)だけ機長が長くなる。

### 5-2-6 シールド機外径

ラッピングシールド機では、以下の理由で通常のシールド機よりシールド外径が大きくなる。

- (1) 防水シートの保護のため、テールプレート内面にシートプロテクタを設置している。
- (2) セグメントの外周に防水シートが巻立てられている。

実験機ではシートプロテクタ厚さを $15\text{mm}$ 、防水シートの接合部の厚さを $4\text{mm}$ とし、シールド機外径は $38\text{mm}$ の増加となったが、その後の再検討によりシートプロテクタはテールプレートに溝加工をしてはめ込む形にして取り付けることから、シールド機外径の増加量は



写真-5 円周方向の溶着状況



写真-6 シートプロテクタ

施工条件によって検討を要するが、最小限(20m以内)におさえることができるようになった。

### 5-3 実験結果

この度の実験から、総合的な施工方法の検討はなされたが、種々の問題点を掘り起こし、その解決がなされ、実施工における施工技術の向上という大きな目標が達成できた。

### あとがき

本工法は大成建設株式会社、日立建機株式会社との共同開発である。

'98年5月に臨時大深度地下利用調査会の答申が出され、大深度地下利用は、今後ますます進んでいくと考えられる。そこでシールド技術における大深度化に対する一つの課題として高水圧に対する止水技術があげられるが、本工法はその課題を解決に導く有力な工法であると確信している。

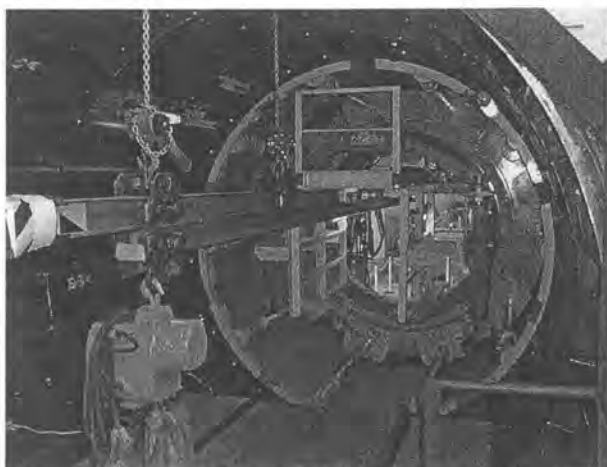


写真-7 防水シート巻立て後の機内状況



写真-8 実験状況

### --- 参考文献 ---

トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説 土木学会

シート防水工設計施工の手引き(案)都市トンネル編 日本鉄道建設公団監修 トンネル防水工研究委員会  
山岳トンネルにおける防水工指針 日本トンネル技術協会

駅部等地下構造物における防水工設計施工手引(地下構造物防水工技術協会委託)日本トンネル技術協会  
[東京湾横断道路]アクアラインシールドトンネルシート防水工報告書 TTBシート防水工技術協会