

ラッピングシールド工法の開発

—完全止水シールド工法—

原 修 一 飯 尾 正 史

要 旨

ラッピングシールド工法とは、セグメント外周を防水シートで巻き立てて、完全止水のシールドトンネルを構築する工法である。当社と大成建設、日立建機は、この工法を確立するため、防水シート巻立て装置を装備した実験機を用いて巻立て装置の機能・能力、また掘進時の外力による防水シートの強度などを確認した。実験を行なった成果は次のとおりである。

- (1) 防水シート巻立て実験は、十分満足できるものであり、その工程のサイクルタイムは、外径3.25mの実験機で23分/リングを要した。また、巻立て装置はシールド機外径を大きくすることなく、機長も大幅に伸ばすことなく装備できた。
- (2) 防水シートの破損防止実験においては、シールド機のテール部内側に装備した緩衝材の効果によりシートは破損することなく満足できるものであった。

1. まえがき

現在大都市の地下は、上下水道、地下鉄、道路、電力洞道などのインフラ施設が構築され浅層部は非常に輻輳している。このため、今後構築されるシールドトンネルは大深度化される傾向にあり、高水圧や供用後の経年変化による漏水に対応できる止水技術と、長距離掘進における高速施工の技術が要望されている。

ラッピングシールド工法は、これらの要求を満たす工

法として開発したものである。

2. 工法の概要

本工法は、掘進完了後セグメントを組立る前にテールプレート内でシールドジャッキを張ったままで、図-1の施工概念図に示すように防水シート巻立て装置で1リング分の防水シートを巻立てて、トンネル全体を筒状防水シートで包む工法である。

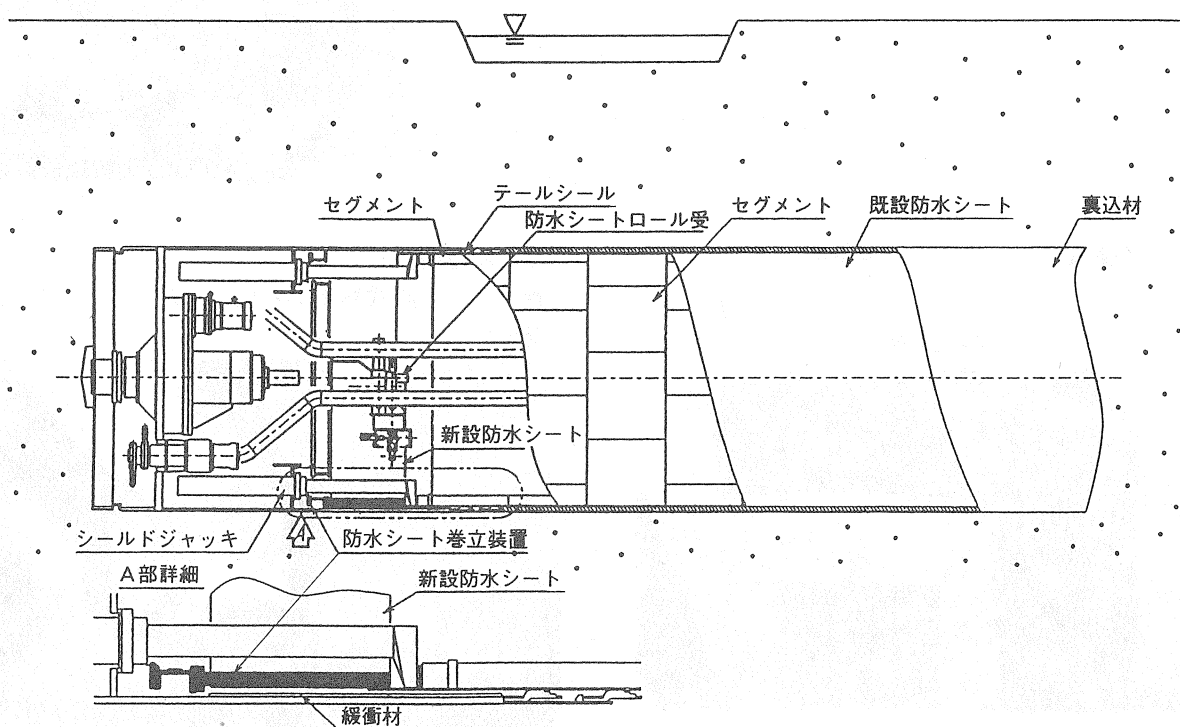


図-1 施工概念図

3. 施工手順

防水シート巻立ての施工手順は、図-2の巻立てフロー図に示す手順で行なう。

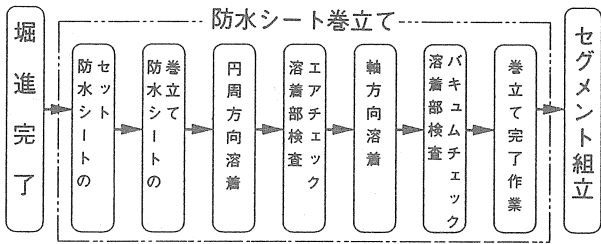


図-2 巻立てフロー

(1) 防水シートのセット

新設の防水シートをロール受けにセットする。

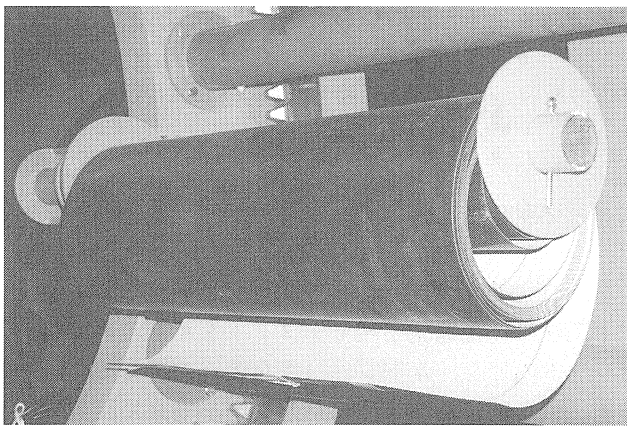


写真-1 防水シートのセット

(2) 防水シートの巻立て

セットした防水シートの引出し端部を巻立て装置のアームにグリップし、巻立て装置を回転させてテーブルとシールドジャッキロッド間に引出し巻立てる。

この時上部の垂れ防止のため、防水シート押上装置を使用する。図-5参照

(3) 円周方向溶着

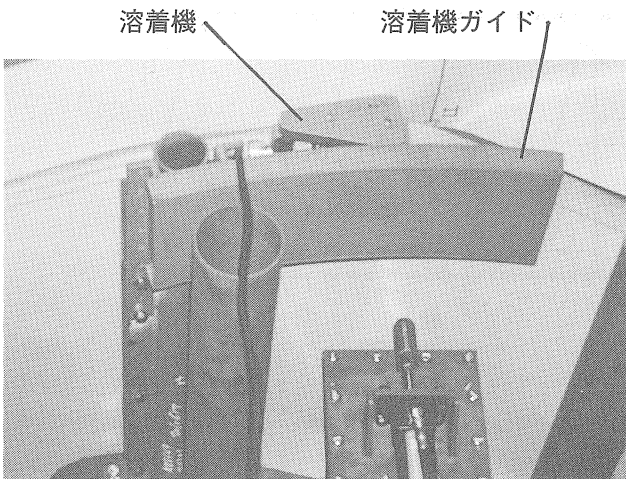


写真-2 円周方向溶着

ラップ幅(8cm)を維持しながら自走速度1m/min、溶着温度320°Cで溶着機を自走させ円周方向を溶着する。自走溶着機の支持は、巻立て装置のアームに取り付けてあるガイドで行なう。

(4) 溶着部検査(エアチェック)

円周方向の溶着部検査は、図-3に示す検査溝を使用してエアチェックを行う。検査針を検査溝に差込み、コンプレッサーを用いて3kgf/cm²の圧縮空気を送り、2分間保持し圧力低下が20%以下であれば合格とする。

(検査基準はシート防水工設計施工の手引による)

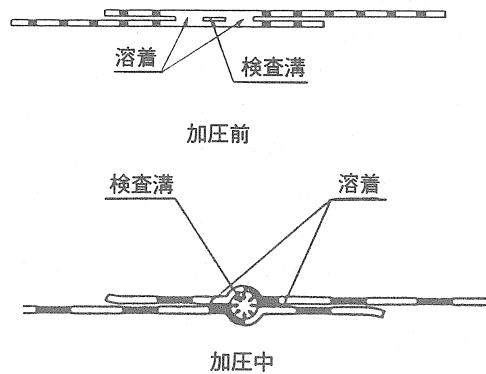


図-3 溶着部断面

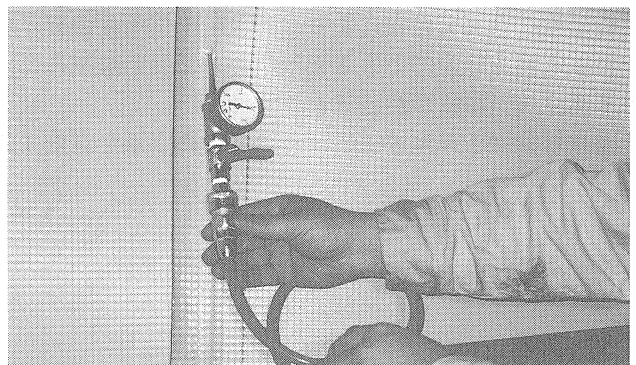


写真-3 エアチェック

(5) 軸方向溶着

軸方向は手動式熱風溶着機で圧着を十分に行ないながら接合する。



写真-4 軸方向溶着

(6) 溶着部検査 (バキュームチェック)

軸方向の溶着部検査は、検査液を塗り、検査治具を用いて200mmHg程度の負圧にし検査する。

(検査基準はシート防水工設計施工の手引による)

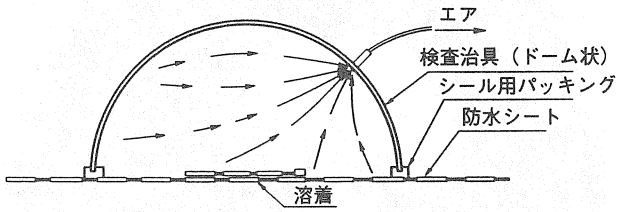


図-4 バキュームチェック

(7) 巻立て完了作業

巻立て用のアームおよび溶着機ガイドは、セグメント組立ができるように収納あるいは取り外す。

4. 工法の特徴

- (1) 大深度、高水圧地盤に幅広く適用できる。
- (2) 二次覆工が省略できるため掘削断面が小さくなり、30%の工期短縮、20%のコストダウンが期待できる。
- (3) 漏水による構造物や施設の腐食が防止できるため供用後のランニングコストが大幅に低減できる。
- (4) 地下水の侵入がないので地下水の変動、地盤沈下などを起こさない。

5. 実証実験

5.1 防水シート巻立て実験

(1) 実験目的

防水シートの巻立てはテールプレートとシールド

ジャッキロッド間の狭いスペースで行なうため、図-5に示す実験機を用いて手順にしたがい装置の機能・能力、および溶着機が規定のラップ代を確保し平滑で高品質な溶着ができるか確認するものである。

(2) 実験機仕様

1) 巻立て装置実験機

マシン外径	-----	φ 3,250mm
機長	-----	4,100mm
巻立て速度	-----	3 rpm (周速度30m/min)
押上装置	-----	前後ジャッキ 2.7t×900st×3本 押上ジャッキ 2.7t×100st×3本

セグメント幅----- 900mm

2) 自走式溶着機 (円周方向)

出力	-----	1,500W
温度	-----	20~600° C
溶着速度	-----	2.5m/min (max)
電圧	-----	220V

3) 手動式熱風溶着機 (軸方向)

出力	-----	1,680W
温度	-----	20~700° C
電圧	-----	120V

4) 防水シート仕様

材料	-----	エチレン共重合体ビチューメン (ECB)
サイズ	-----	W1,080×L10,000×T2mm

(3) 実験結果

防水シートの巻立てが完了した状況を写真-5に示すとおり懸念されたシールド機上部の溶着もラップ代を確保しながら均一で連続した仕上がりで十分満足できるものであった。この時のサイクルタイムは表-1に示すと

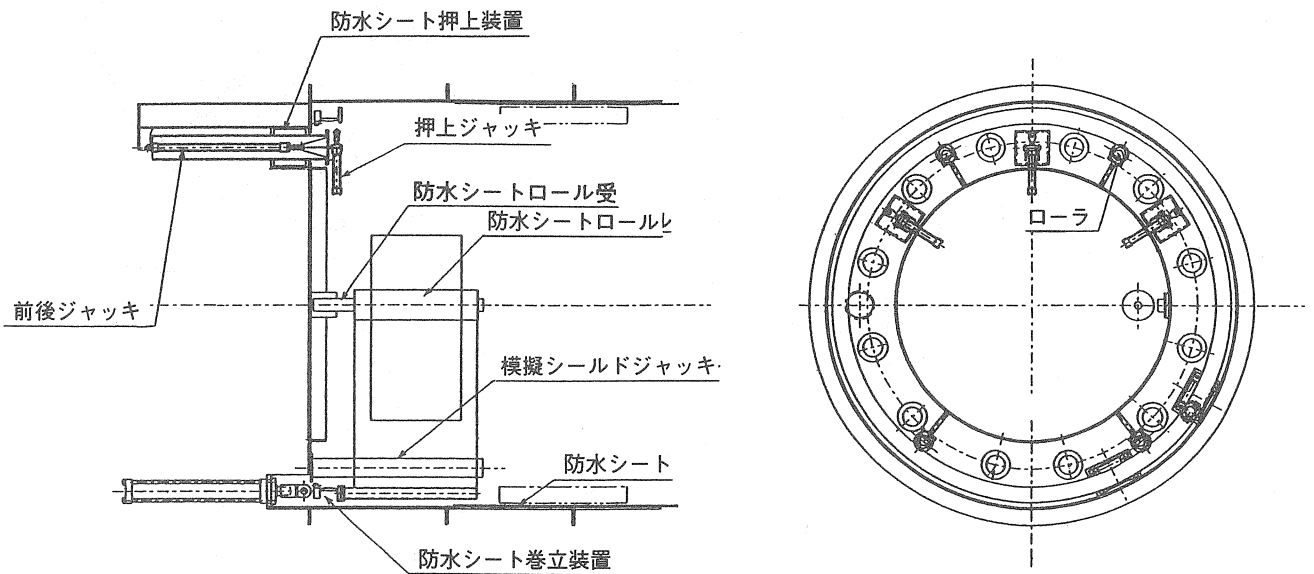


図-5 巻立て装置実験機

おり23分/リングであり、このうち最も大きな比率を占めるのは、円周方向の溶着段取りと溶着時間であった。

表-1 サイクルタイム

項目	時間
1 防水シートのセット	1.0分
2 防水シートの巻立て	
3 溶着段取り (溶着機準備、ラップ代確認)	5.0分
円周方向自動溶着	10.0分
4 エアチェック (部材撤去)	1.0分
5 軸方向手動溶着	2.0分
6 バキュームチェック	4.0分
7 巻立て完了作業	
合計	23.0分

5.2 防水シート破損防止実験

(1) 実験目的

曲線施工時、巻立てた防水シートがセグメントとテールプレートの中で強く擦れ合って破損することが考えられる。このため図-6に示すようにテールプレート内側に緩衝材を取り付けた実験機を用いて防水シートの破損防止効果を確認することである。

(2) 実験装置仕様

1) 実験機

- 荷装置 ----- 荷ジャッキ 30t×100st×2本
- 推進装置 ----- シールドジャッキ30t×900st×2本
- 緩衝材 ----- 超高分子量ポリエチレン
 - 摩擦係数 0.1~0.2
 - 形状 H15×W100mm
 - 取付ピッチ 280mm

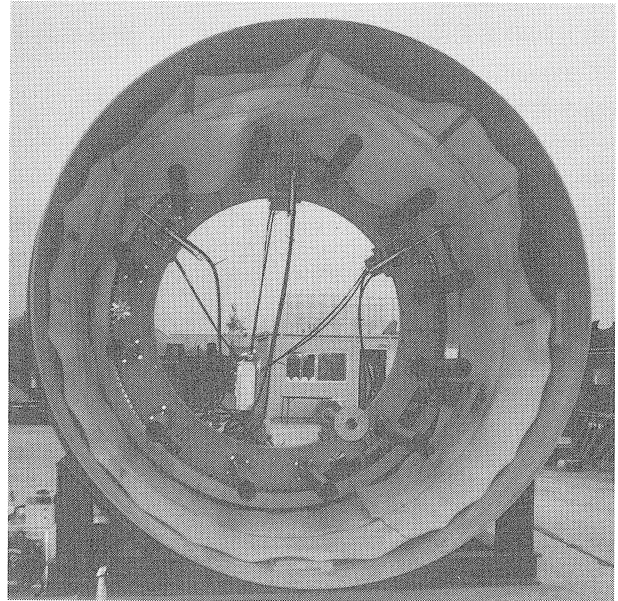


写真-5 防水シート巻立て完了

2) セグメント

スチールセグメント ----- φ3,150 2ピ-ス

3) 防水シート仕様

材 料 ----- エチレン共重合体ビチューメン (ECB)

サ イ ズ ----- W1,920×L2,300×T2mm (L1,200の溶着もの)

(3) 実験方法

実験は、荷ジャッキにて設定荷重を防水シート付セグメントに荷しながら、シールドジャッキ30mm/minの速度でセグメントを押し出し破損状況を調査する。

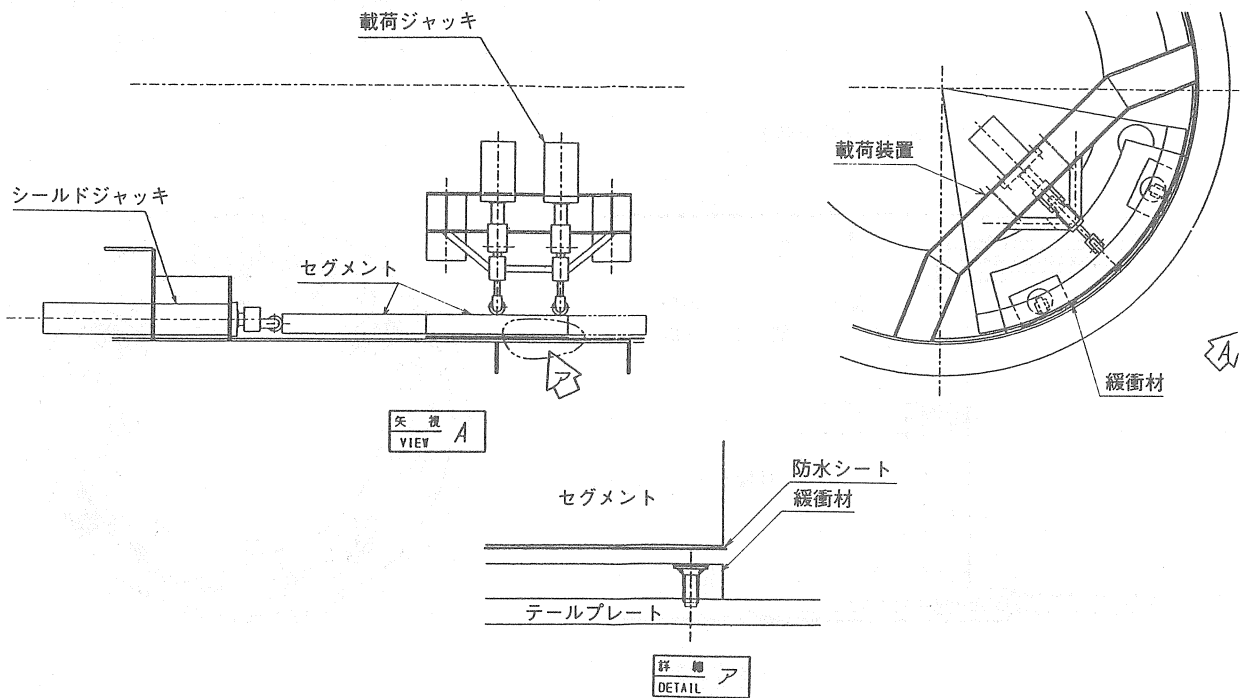


図-6 防水シート破損防止実験機

1) 載荷荷重の設定

曲線施工をする時、シールドジャッキの片押しを行ないシールド機を回転させるが、この際防水シートはセグメントとテールプレートに挟まれる。したがって防水シートの押付力はシールドジャッキの片押しによる回転モーメントにより算出できる。

実験機はφ3.25mであり、このクラスのシールド機の装備シールドジャッキは、一般的に100t×12本である。回転モーメントを計算すると580t-mである。この回転モーメントで回転しようとした時、回転反力はスキンプレートにかかる。シールドジャッキスプレッダー端面を中心としてシールド機が回転し、フード側、テール側で各々回転モーメントを負担すると考えテール側の反力を求めると8.7t/m²となる。実験はセグメント1ピースで行なうので、セグメント面積を乗じ14.4tとなる。したがって、最大荷重を15tとし、その他に5t、10tを加え3種類の荷重を設定した。

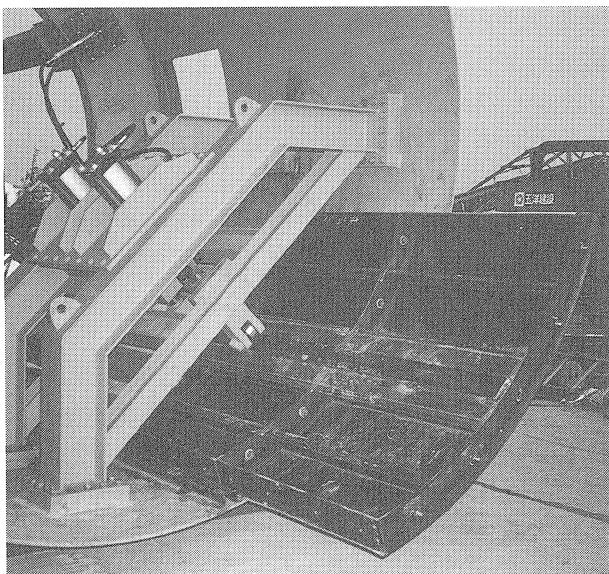
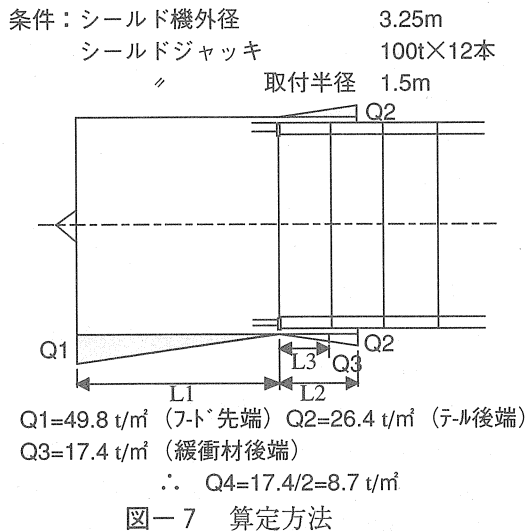


写真-6 破損防止実験状況

(4) 物性試験サンプリング

物性試験のためのサンプリングは、図-8の測定位置図に示すように緩衝材が接触していた位置をNo.1、No.2、No.3とし、載荷荷重別に採集した。また、比較するためのオリジナルは緩衝材が接触していなかった任意の位置から採集した。

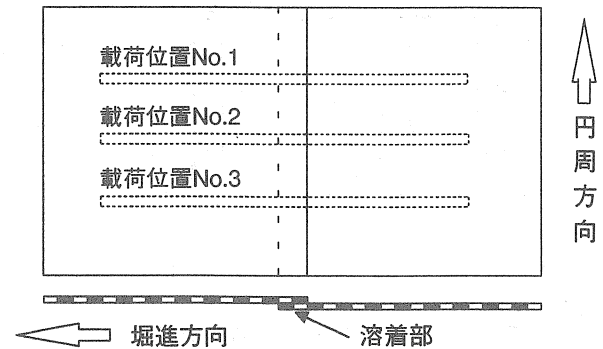


図-8 測定位置図

(5) 実験結果

掘進速度30mm/minの条件で防水シートにかけた荷重5t,10t,15tのいずれの場合においても防水シートの破損は見られなかった。載荷実験を行なった各防水シートの物性試験についても図-9に示すとおりオリジナルデータと全く変わらず全て規格値を満たしていた。したがって、緩衝材を装備することにより防水シートに過大な荷重がかかっても破損しないことが確認できた。

5. 3テールシールによる防水シートへの影響

セグメントの外周に巻立てられた防水シートが、シールド機掘進時にテールシールによってどのような影響を受けるかどうかの実験は、既に「掘削・覆工併進工法(TPCL工法)の研究開発」で確認済みである。

実験は、表-2に示す3社の防水シートを試用し、引張強さ・伸び・引裂き強さなどの物性試験を行なったが、全ての面で異常がなかった。

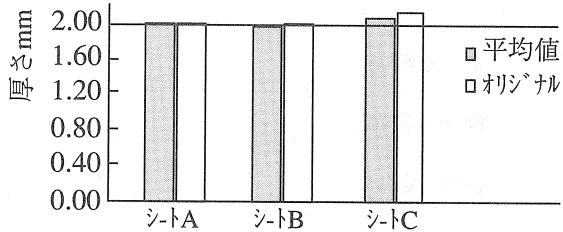
表-2 供試体材料

種類	材質	厚さ
A	エチレン共重合体ビチュウメン(ECB)	2 mm
B	エチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)	2 mm
C	エチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)	2 mm

実験方法など詳しくは、五洋建設技術研究所年報VOL.22, 1992の「掘削・覆工併進工法(TPCL工法)の研究開発」を参照下さい。

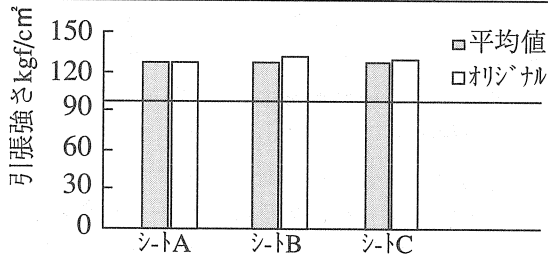
1. 厚さ

荷重	シートA 5t	シートB 10t	シートC 15t
規格値	2.0以上		
位置No.1	2.03	2.03	2.11
位置No.2	2.04	2.02	2.11
位置No.3	1.98	1.97	2.10
平均値	2.02	2.01	2.11
オリジナル	2.01	2.02	2.13



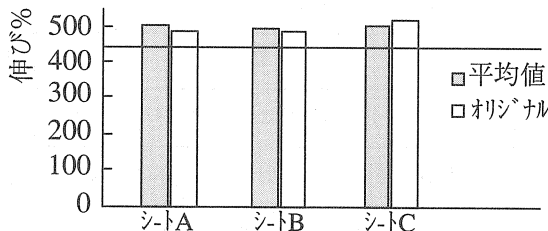
2. 引張強さ

荷重	シートA 5t	シートB 10t	シートC 15t
規格値	100以上		
位置No.1	135	131	134
位置No.2	127	125	124
位置No.3	126	129	127
平均値	129	128	128
オリジナル	129	133	130



3. 伸び

荷重	シートA 5t	シートB 10t	シートC 15t
規格値	450以上		
位置No.1	530	520	520
位置No.2	500	490	490
位置No.3	480	480	500
平均値	503	497	503
オリジナル	490	490	520



4. 引裂き強さ

荷重	シートA 5t	シートB 10t	シートC 15t
規格値	50以上		
位置No.1	74	74	82
位置No.2	76	73	79
位置No.3	72	75	79
平均値	74	74	80
オリジナル	73	73	82

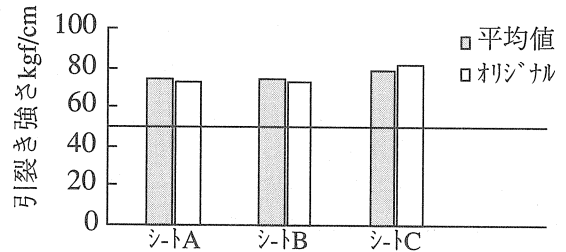


図-9 物性試験結果

6. まとめ

セグメント外周を防水シートで包み込むことで、完全止水を目指した「ラッピングシールド工法」を、要素実験や実証実験により工法として確立した。

今後、さらに実施工に向けて次のような研究開発を進めていく必要がある。

(1) 巻立てサイクルタイムはシールド機外径φ3.25mで23分/リングであったが、径が大きくなればなるほど溶着時間がかかりサイクルタイムが伸びるため、今後自送式溶着機の溶着速度の向上、または複数の溶着機を使用するなどの工夫が必要である。

(2) 万が一、防水シートが破損して漏水した場合に備え、20~30m区間毎にバリアを設けて漏水箇所の発見と補修を容易にするバリアシステムの開発が必要である。

(3) 本工法の裏込め注入は、シールド機からの同時注入であり、セグメントからの裏込め注入は防水シートの機能を損なうため困難である。しかし、どうしてもセグメントからの裏込め注入(二次注入)が必要になった場合、防水シートの機能を維持し裏込め注入の可能なシステムの開発が必要である。

(4) 巻立て装置の自動化や曲線路線を含め施工性に優れた防水シート巻立て装置の改良が必要である。

参考文献

- シート防水工設計施工の手引き(案)
；トンネル防水工研究委員会
- 本間紀世, 原 修一, 津田和男; 掘削・覆工併進工法(TPCL工法)の研究開発, 技術研究所年報 VOL.22, 1992