

## ラッピングシールド工法の止水性向上技術の開発

飯尾 正史 原 修一

### 要 旨

93年度に、完全止水のシールドトンネルを構築するラッピングシールド工法の開発に着手し、セグメント外周に防水シートを巻き立てる装置の実証実験を行ない機能・能力を確認した。

今年度は、本工法の実施工において必要な『バリア機構』と『二次グラウト注入機構』を開発し、それらの機能および施工性などを実験にて確認した。実験を行なった成果は次の通りである。

- (1) 一次覆工時に数リング間隔で設けるバリア機構の施工方法を確立し、万が一、漏水があった場合でも止水処置が確実にできることを確認した。
- (2) 打設位置のグラウトホールにインナーパイプを挿入し、先端部を防水シートに溶着することで止水機能を確保し、坑内からの二次注入や構造物周辺の地盤強化ができる二次グラウト注入機構の施工方法を確立した。

### 1. まえがき

ラッピングシールド工法は、セグメントの外周に防水シートを巻き立てているが、もしこの防水シートが破損した場合に備えての漏水箇所の限定と処置方法を検討しておく必要がある。また、一般的なセグメントからの二次グラウト注入方式では、防水シートに穴を開けなければならず止水機能を損なうため採用できない。

このような理由から、『万が一、防水シートが破損し漏水した場合に備えたバリア機構』と『防水シートの機

能を損なわないでセグメントからの二次注入や周辺地盤の強化ができる二次グラウト注入機構』を開発しておく必要があった。

### 2. 概要

#### 2.1 バリア機構

バリアとは、図-1の概念図に示す通り数リング間隔で防水シートの内側にバリア材を溶着し、リング状に仕上げセグメント間に挟み込んだものである。

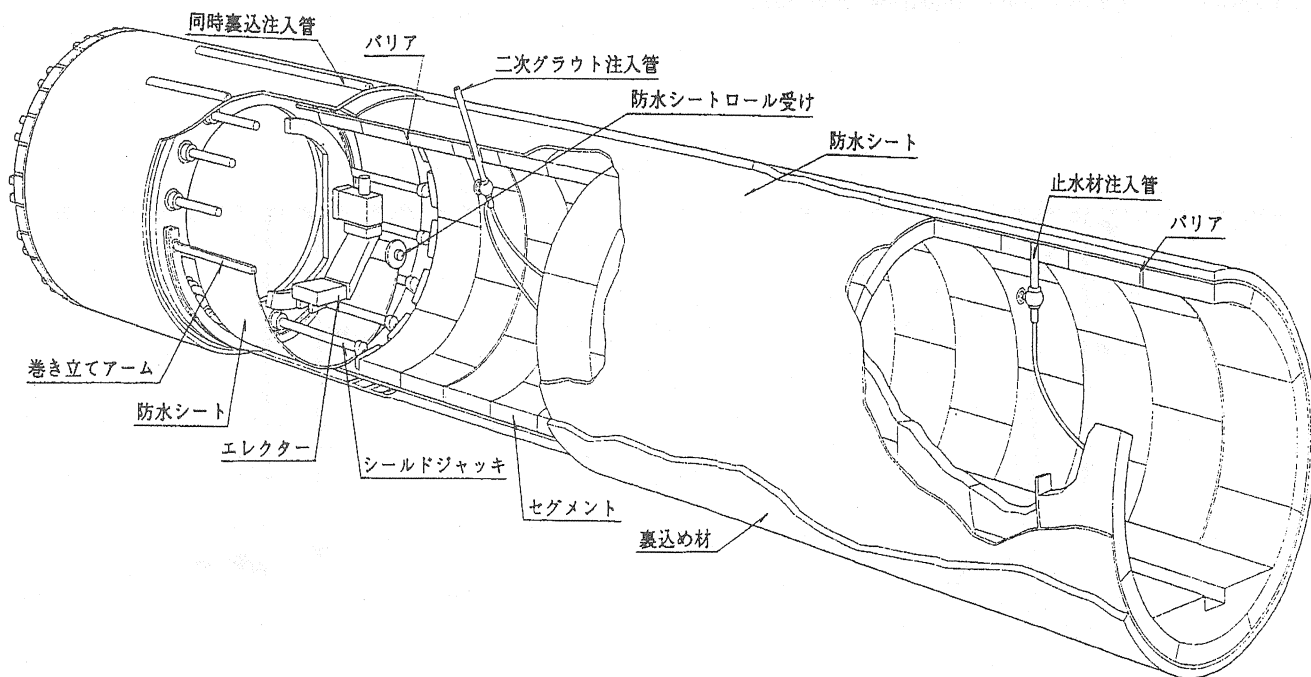


図-1 概念図

バリアの溶着は、図-2に示す方法で行ない、このとき使用する溶着機は、写真-1に示す突き合わせ溶着ができる機器で行なう。また、溶着部の検査は、バリアの溶着部前後に電極を配置し、電圧をかけることでピンホールがあれば放電が起こる原理を利用した放電検査法で行なう。

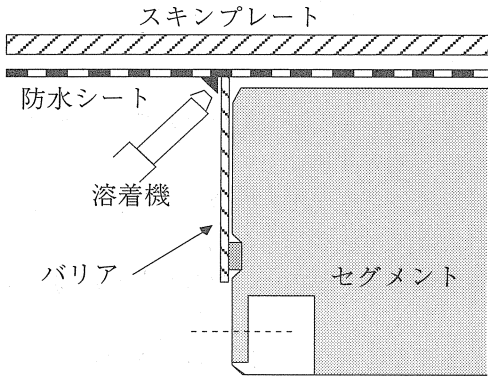


図-2 バリア施工縦断図

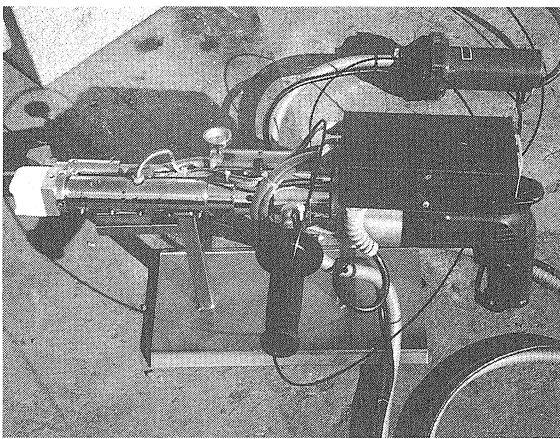


写真-1 バリア溶着機

## 2. 2 二次グラウト注入機構

二次グラウト注入機構の施工では、図-3に示すようにセグメントのグラウトホールにインナーパイプを挿入し先端部を防水シートに熱溶着し、水圧による所定の強度検査が終了したあと、グラウト注入管をインナーパイプの中央部に貫通させ必要な位置まで挿入し注入材を注入する。注入が終ると注入管を引き抜き最後にインナーパイプに盲蓋を装着する。

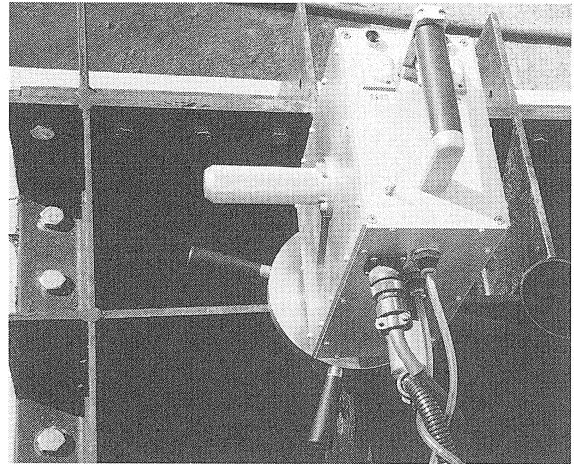


写真-2 電磁式溶着機

ここで使用する溶着機は、狭い所でインナーパイプの先端を溶着するのに適した電磁式溶着機(写真-2)である。さらに、電磁式溶着機に使われる溶着材には、アルミ溶着材と磁性シート溶着材の二種類あるが、次項で述べる実験の結果から溶着強度の強い磁性シート溶着材を選定した。

アルミ溶着材：アルミ箔をポリエチレンでコーティング  
 磁性シート溶着材：ステンレスファイバ<sup>®</sup>を規則的に包含

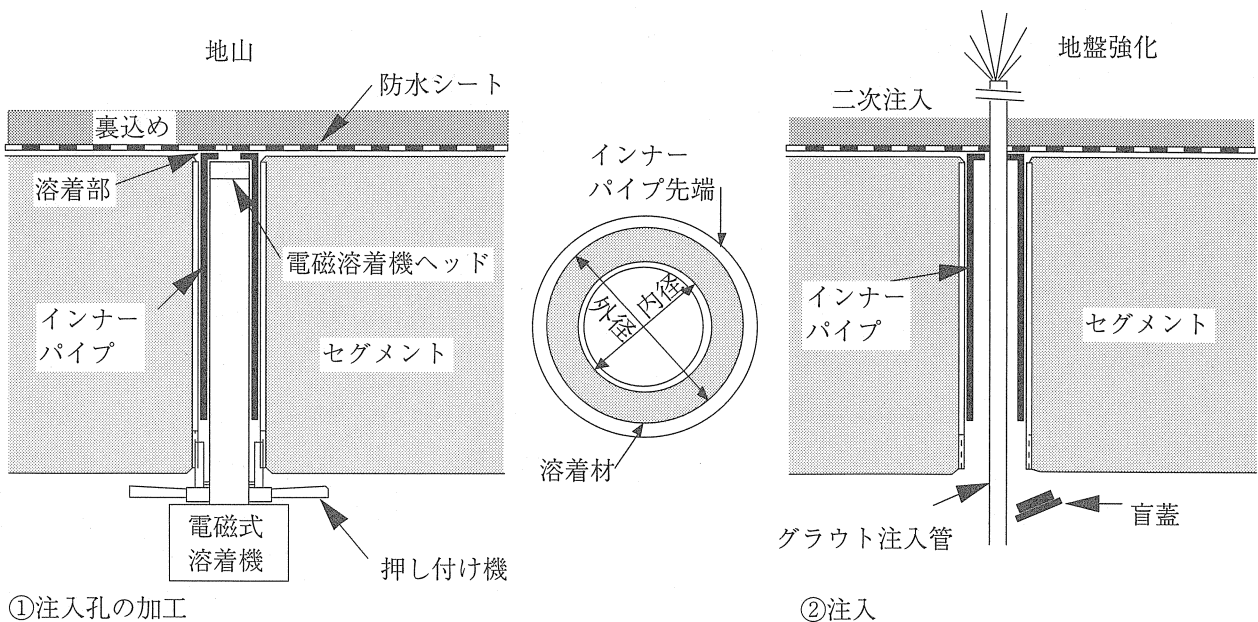


図-3 二次注入施工図

3. 実験結果

3. 1 バリア機構

バリア機構の実験は、図-4に示すセグメント断面を想定した実験装置にバリアを溶着した防水シートを挟み込み、故意に防水シートに穴を開け漏水状態を実現する。さらに最大5kgf/cm<sup>2</sup> (0.49MPa) の水圧をかけ漏水がバリアで仕切られた区間以外は漏洩の無いことを確認後、注入孔より止水剤を注入し漏水の停止過程を確認した。なお、止水剤は透水係数が小さく、安全性の高いポリウレタン系を使用した。

その結果、表-1に示す通り高水圧下でもバリアの機能および止水処置が確実にできることが確認できた。

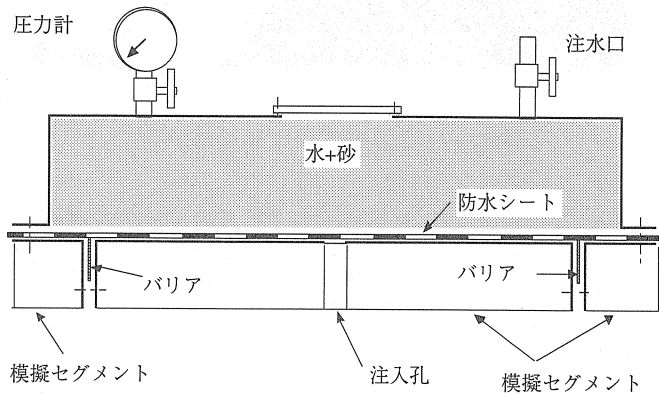


図-4 バリア実験装置

表-1 バリア実験結果

No	条件		漏水 拡散	止水剤注入		結果
	状態	水圧		圧力	量	
1	土砂80% 水 20%	3~5 kgf/cm <sup>2</sup>	無し	4~5 kgf/cm <sup>2</sup>	6 リットル	注入後、1時間程度でキャップなどの漏水が停止。破損部は塞がれ、さらにサンドゲルが生成
2	水 100%	3~5 kgf/cm <sup>2</sup>	無し	4~5 kgf/cm <sup>2</sup>	10 リットル	注入後、30分程度でキャップなどの漏水が停止。破損部は塞がれ、さらに水槽側に侵入して反応
3	土砂60% 水 40%	3~5 kgf/cm <sup>2</sup>	無し	4~5 kgf/cm <sup>2</sup>	10 リットル	注入後、30分程度でキャップなどの漏水が停止。破損部は塞がれ、さらにサンドゲルが生成

1kgf/cm<sup>2</sup>=0.098MPa

3. 2 二次グラウト注入機構

3. 2. 1 予備実験

予備実験では、アルミ溶着材と磁性シート溶着材とについて溶着強度と溶着面積との関係を、図-5に示す方法でバラツキを考慮し数回実施した。ただし、検査圧はエア-のため最大8.0kgf/cm<sup>2</sup> (0.78MPa) 相当である。

アルミ溶着材の溶着強度は、表-2に示すようにコーティング層の剥がれが原因で4.2kgf/cm<sup>2</sup> (0.41MPa) 程度と低く、面積が大きくなるとアルミ箔のシワが原因でバラツキが発生し強度は低下した。また、インナーパイプ先端部の肉厚は3mmの厚い方が高い強度が得られた。

磁性シート溶着材の溶着強度は、表-3に示すように

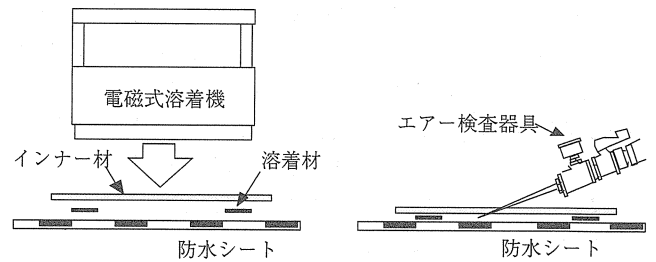


図-5 予備実験方法

表-2 アルミ溶着材強度試験結果

外径×内径	φ80×φ40			φ70×φ40			φ60×φ40			φ50×φ40		
溶着面積cm <sup>2</sup>	37.7			25.9			15.7			7.1		
溶着時間	30秒			30秒			30秒			30秒		
通水量	無し			無し			無し			無し		
先端厚さmm	1	2		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1回目 kgf/cm <sup>2</sup>	3.5	6.0		2.5	3.5	2.8	3.0	2.5	6.0	2.0	1.5	3.5
2回目 kgf/cm <sup>2</sup>	2.5	6.0		2.0	2.2	5.5	3.5	1.5	3.5	2.5	1.7	4.0
3回目 kgf/cm <sup>2</sup>	2.5	6.0		1.5	4.0	6.0	3.0	1.3	3.3	2.0	2.6	3.8
4回目 kgf/cm <sup>2</sup>	2.5			3.0	3.0	5.8		2.2	5.2		2.0	2.0
5回目 kgf/cm <sup>2</sup>	2.0				5.2	6.0		3.1	3.0		3.5	3.3
6回目 kgf/cm <sup>2</sup>	3.0				2.7							

1kgf/cm<sup>2</sup>=0.098MPa

表-3 磁性シート溶着材強度試験結果

外径×内径	φ65×φ45	φ65×φ45	φ65×φ45
溶着面積 cm <sup>2</sup>	17.3	17.3	17.3
先端厚さ mm	3	3	3
気温 °C	12.0	13.0	14.5
防水シート温度 °C	9.5	5.5	6.5
通水量	無し	1リットル/min	1リットル/min
溶着時間	30秒	30秒	45秒
冷却時間	10秒	10秒	10秒
1回目 kgf/cm <sup>2</sup>	8.0	6.5	8.0
2回目 kgf/cm <sup>2</sup>	8.0	2.5	5.5
3回目 kgf/cm <sup>2</sup>	8.0	-	8.0
4回目 kgf/cm <sup>2</sup>	8.0	4.5	8.0
5回目 kgf/cm <sup>2</sup>		-	8.0

1kgf/cm<sup>2</sup>=0.098MPa

8.0kgf/cm<sup>2</sup> (0.78MPa) 程度の強度が確認できたが、溶着時間や防水シート温度の条件が変わると強度低下がみられた。

表-2、3の溶着条件が同等のアルミ溶着材と磁性シート溶着材の強度比較をすると、約1.5倍相当の差がみられた。

3. 2. 2 実証実験

実証実験は、予備実験の結果を踏まえて実施工に近い状態を想定し、水圧・防水シート温度・溶着時間の設定を行ない溶着実験を行なった。なお、実験装置は図-4

に示す装置を用い、図-3に示す方法で行なった。

実験仕様として、深度50mを想定し水圧をmax 5kgf/cm<sup>2</sup> (0.49MPa)、溶着強度の検査水圧は安全を見込みmin7.5kgf/cm<sup>2</sup> (0.74MPa)、地下水温を想定して防水シート温度をmin 5° C、溶着材は磁性シートを用い溶着面積を17.3cm<sup>2</sup> (φ65×φ45)を設定し実験を行なった。

写真-3に溶着部の水圧検査状況を示す。

実験の結果は、表-4に示す通りであり 溶着時の防水シート温度が5° Cの低いとき、また水圧が5 kgf/cm<sup>2</sup> (0.49MPa)の高い状態でも適切な冷却時間を確保すれば、十分な溶着強度が得られることが確認できた。

また、施工性の観点から溶着強度検査のためのネジ式器具の取付に時間を要し、さらにネジ山を痛めたケースがあり検査方法を改良する必要があった。

なお、実験時の溶着時間は45秒、検査水圧は最低7.5kgf/cm<sup>2</sup> (0.49MPa)を確保すれば合格としたが、インナーパイプが膨張するため保持できず最大10kgf/cm<sup>2</sup> (0.98MPa)をかけて実施した。また、検査水圧の保持時間は、「シート防水工設計施工の手引(案)」に準じて2分としたが、1分程度保持すると検査水圧は低下しな

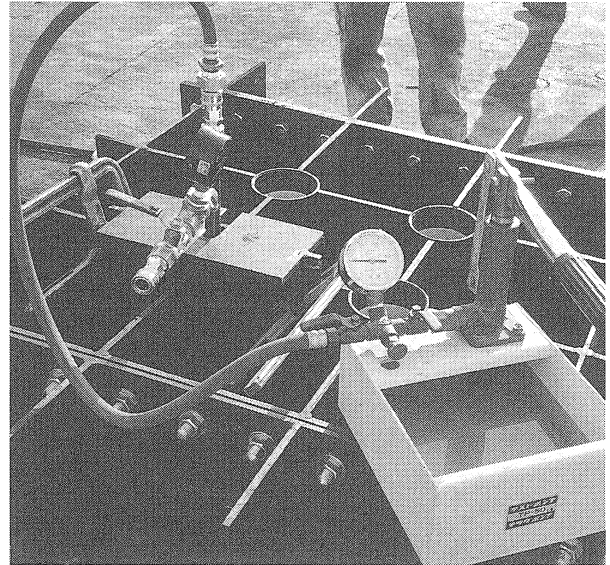


写真-3 溶着部の水圧検査状況

いため1分で終了とした。

これらのことより、溶着時間は45秒で冷却時間3分以上、また検査時初期水圧10kgf/cm<sup>2</sup> (0.98MPa)で保持時間1分程度を施工管理規定とする必要がある。

表-4 溶着強度試験結果

No	溶着条件			検査	
	防水シート温度° C	水圧 kgf/cm <sup>2</sup>	冷却時間	水圧 kgf/cm <sup>2</sup>	圧保持時間
1	10.5	2.0	3分	10→8.0	2分
2	11.0	4.0	3分	10→8	2分
3	11.0~11.5	2.1~2.0	5分	11→8.0	2分
4	10.5	3.9~4.0	5分	11→7.8	2分
5	6.0	2.9~3.0	3分	10→5	5秒
6	5.7~6.0	5.0	3分	検査ネジ不良 10→8.1	1分
7	6.0	3.2	5分	10→7.8	1分
8	6.0	5.0	5分	10→8.3	1分
9	4.0	2.1~2.4	1分	不可	シート穴明き
10	5.0	1.9	2分	10→9.0	10秒蓋より漏れ
11	5.0	3.0~3.1	2分	10→8.2	1分
12	5.0	4.2	2分	不可	シート穴明き
13	5.0	3.0	3分	10→8.2	1分
14	5.0	4.9~5.0	3分	10→8.0	1分
15	5.0	5.0	5分	10→8.2	1分

1kgf/cm<sup>2</sup>=0.098MPa

4. まとめ

実証実験の結果より、バリア機構および二次グラウト注入機構とも、深度50m程度までの実施工に対応可能なことが確認できた。

今後、細かな課題ではあるが次のようなことを検討しておく必要がある。

- ①バリアの施工は、数リングに1回程度であるが実験した方法と比べて、現場での溶着や検査の施工性を改善する方法を検討しておく必要がある。
- ②二次グラウト注入の必要の無いグラウトホールでは、土水圧により防水シートが坑内側に膨らむことを防止する押えが必要である。

参考文献

- 1) シート防水工設計施工の手引(案)  
; トンネル防水工研究委員会
- 2) 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
- 3) 原 修一, 飯尾正史; ラッピングシールド工法の開発, 技術研究所年報 VOL. 24, 1993