

営業線トンネルの防水工事について

石 川 浩*

要 約

開通以来50年以上も経過した鉄道トンネルで、内部の漏水の激しい部分の防水工事を深夜から早朝の僅かの時間で、実施した経験について報告する。

通常のトンネル改修工事と異なるのは、電車が運転されているため、作業時間の延長が許されないことと、作業終了時には作業に使用した機械等が電車の進行を阻害してはならないことの二つであった。

このため工法の検討から、小さな作業の改善まで、きめ細かな対応を行い、作業員は当然のこと、対外的にも無事故で300mの工事を完成させることができた。

目 次

- § 1. 概 要
- § 2. 設 計
- § 3. 施 工
- § 4. ま と め

§ 1. 概 要

小田急電鉄株式会社の小田原線、渋沢～新松田間の第一菖蒲トンネルは、開通以来50年以上も経過し、コンクリートの経年劣化により、年々漏水量が増加し、その防水対策が問題となった。

防水対策として採用された工法は、防水シートをトンネル内面にびよう打ちで止め、そのおさえにH鋼支保工を建て、H鋼のウェブの間に鋼板を差込み、鋼板とシートとの間に発泡モルタルを注入する方法である。

今回施工したのは、特に漏水の多い、下り線新宿方坑口より300mの区間である。

電車の運行を中止しないため、許容作業時間は、停電を必要としない時、0時50分から4時30分までの3時間40分、停電を必要とする時には1時20分から3時30分までの僅か2時間10分とされた。このように作業の全体時間だけでなく、開始と終了の時間まで規制される点が、本工事の特異点の一つである。停電を要しない作業は、入出坑や下部工事等の架線に触れる怖れないものだけに限られるため、平常は停電作業となった。

設計、施工上の問題点の第2は、構造物が建築限界を絶対に侵してはならないことと、毎日の作業終了時にも当然ながらこれが適用されることである(図-1)。

第3の問題点は50数年前の施工精度が粗く、H鋼支保工を一定の規格で製作するのが困難であったことである(図-2)。

これらの難問を一つ一つ、小さな創意工夫の積み重ねで解決した。

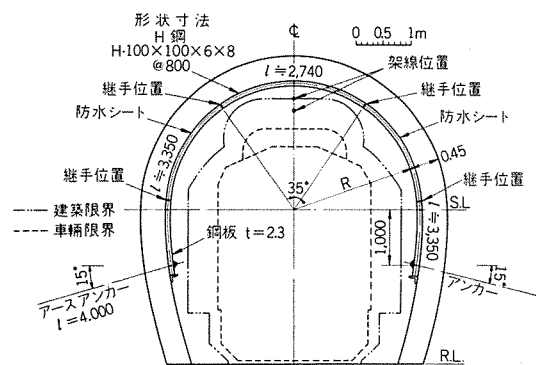


図-1 標準図

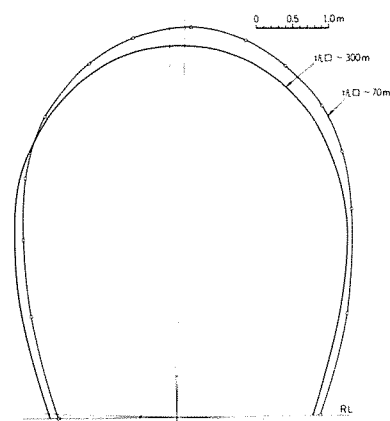


図-2 断面測量

* 横浜(支)秦野(出)

表-1 工事概要

工事名称	第一菖蒲隧道防水工事（下り線）		
工事場所	神奈川県秦野市沼代新町		
	小田急電鉄(株)小田原線		
	渋谷～新松田間新宿起点 66km557m		
	第一菖蒲隧道下り線 新宿方坑口～300m間		
工 期	昭和52年11月～昭和54年 3 月		
工事内訳	アースアンカー工	752本	$\phi = 4\text{m}$ 削孔 $\phi 75$ PCより線12.7
	アングル取付工	600m	L-150×150×12 ホールインアンカー止
	防水シート取付工	2,832㎡	t=1.2 溶着接合
	H鋼セントル工	376基	H-100×100×6×8 加工・組立
	鋼板取付工	2,686㎡	W 2.3 9,300×760
	モルタル注入	283,200ℓ	エアモルタル
	モルタル詰	376ヶ所	H鋼セントルと ライニングの間
	塗装工	2,820㎡	酸洗+ジンキー2回塗 タールエポキシ2回塗

§2. 設 計

設計に当っては、シートによる防水と、吹付コンクリートの2種類の工法を検討した。

前者に対しては、電車が時速60kmで通過するのでその際、風圧によって、シート張りだけではダメで何等かのおさえが必要であろうと判断された。

後者に対しては、水が多い場合には吹付コンクリートが付かないこと、また施工時に付着していても、長い期間を考えると、剥落の怖れがあること、等から見送られた。

このような観点から、前述の工法に決定した。特異点としては、シートおさえ用のH鋼支保工の脚部が、建築限界の関係で下盤まで下げられないことであった。このためアングルを側壁覆工に略々水平に張付け、その上にH鋼支保工をのせることにした。

3. 施 工

3-1 施工順序

測量→アースアンカー→防水シート張付→アングル取付→H鋼支保工建込→鋼板差込→シール→モルタル注入→塗装となる。これらの夫々について、作業上の問題点、解決策等を以下に記述する。

3-2 測 量

H鋼をトンネル断面に近い形に加工する必要がある、また、建込位置や、アングル取付位置を決定する目的で、測量を行った。

5m間隔に行った断面測定の結果、図-2のような結果が得られ、H鋼の加工を一定のものにすることは不可能であるとの結論に達した。この解決策については後述する。

3-3 アースアンカ

前述のようにH支保工の脚を下盤までつけずに途中で支持しなけなければならないので、長さ4mのアースアンカを施工した。

表-2 アースアンカー

工事仕様	
①アンカー長	4.0m
②アンカー径	$\phi 65\text{mm}$
③ピ ッ チ	0.8m
④本 数	752本
主なる使用機械	
①ダイヤモンドドリル（ダイモドリル）	
長0.40m×巾0.40m×高0.14m 重量18kg	
回転数 1000回/分	
出 力 110V 1.5kW	
②YSO-1ボーリングマシン	
長1.35m×巾0.65m×高1.20m 重量390 kg	
回転数 1800回/分（油圧ポンプ）	
2000回/分（原動機）	
出 力 7.5HP（原動機）	
主なる使用材料	
①引 張 材	
PC鋼より線 7本より $\phi 12.7\text{mm}$ (S.W.P.R7B)	
②セメントペースト（注入材）	
セメント 普通セメント	
配合（重量比）	
セメント：水 = 1：0.55±0.03	
圧縮強度	
$\sigma_{28} \geq 180\text{kgf/cm}^2$	
③定 着 金 具	

穿孔作業には、YSO-1 ボーリングマシンとダイモドリルを使用した。前者は機械重量が約400kgもあり、運搬台車が必要で、搬入搬出に時間を要し、実作業時間が短くなるので、機械性能を十分に活用できなかった。これに反し、後者は本体重量が僅か18kgと軽いことと、スペースをとらないため、安全で能率も良かった。今後ダイモドリルを使用していきたいと考えている。

穿孔後、ケーシング内にセメントペーストを注入し、ケーシングを抜き、引張材を挿入する。定着前の鋼線固定は、建築限界の制限から、壁面より30cm以内に納め、列車通過時の障害にならないようにした。挿入後セメントペーストを加圧注入する。

アンカ幹体養生後、耐力チェックを行い、H支保工を建込み、定着する。

品質管理としては、孔長の確認、セメントペーストの圧縮強度試験、アンカ耐力確認試験を行った。

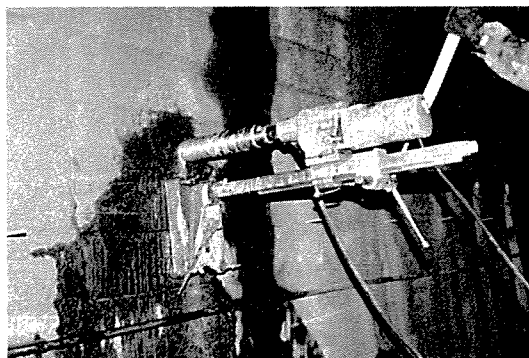


写真-1 ダイモドリルによる穿孔

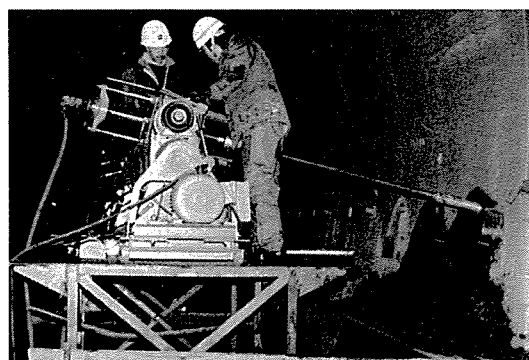


写真-2 ボーリングマシンによる穿孔

3-4 防水シート

防水シートは覆工面より直接軌道内に落下する水を、これを張りつけて、裏側を伝わらせて側溝内へ流入させるために施工した。

シートとしては種々の検討を行った結果、ハイパネルTX 止水シートを採用した。この特徴を列記すると、強度、伸び率が大きいこと(最大8倍)、溶接が極めて容易で、水密加工に信頼性があること、表面の溝により水の流れがスムーズになること等が挙げられる。

施工法は、巾1.15mのものを長さ10mに切断し、現場に持込み、覆工面に沿って張付け、止水ワッシャーのつ

表-3 ハイパネルTXの基礎物性表

項目	単位	
密度	g/ml	0.922
軟化点	℃	100
融点	℃	120
脆化温度	℃	< -80
線膨張率	m/m・℃	2.0×10^{-4}
絶縁耐力	kV/mm	48
耐酸性	95%硫酸、35%塩酸、85%磷酸 過塩素酸など使用可能	

たラムセトリベットを銃で打ち込み覆工コンクリート面に止める。次のシートは約10cm程度重ね合せて順次施工して行き、重ね合せた接合面は溶着接合する。最下部はアングルで止める。起点又は終点の不必要な部分は、ハサミ、ナイフ等で切り取って仕上げる。

最下部のアングルはH支保工のをせるもので、ホールインアンカで覆工に固定した。

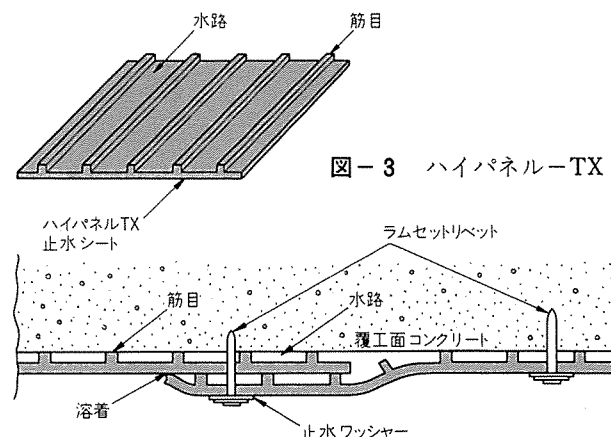


図-3 ハイパネルTX

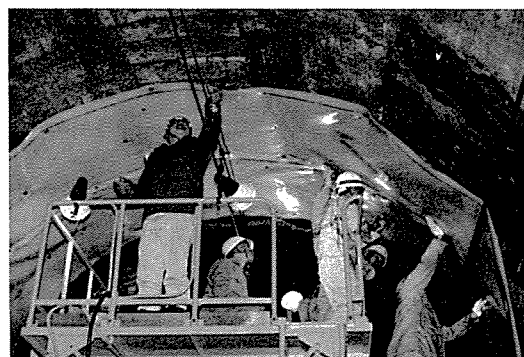


写真-3 防水シートの張り付け

3-5 H鋼支保

支保工については既述のような問題があり、この解決策として、5部材に分割し、最下部の部材を各断面に適合した長さに切断して調整することにした。

この調整は、板材で作ったH鋼と同じ型を現場にあてがい、一枠毎に切断長を測定した。ところが、1スパン隣で20cmも切断長が異なるような箇所も出現し、アング

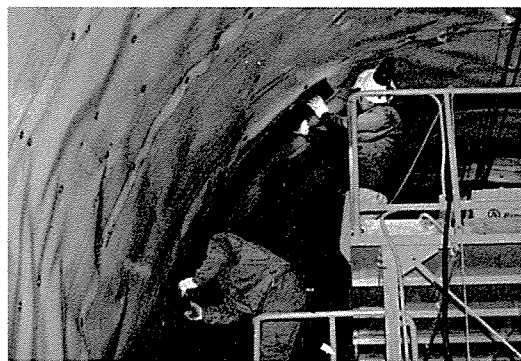


写真-4 支保工建込み

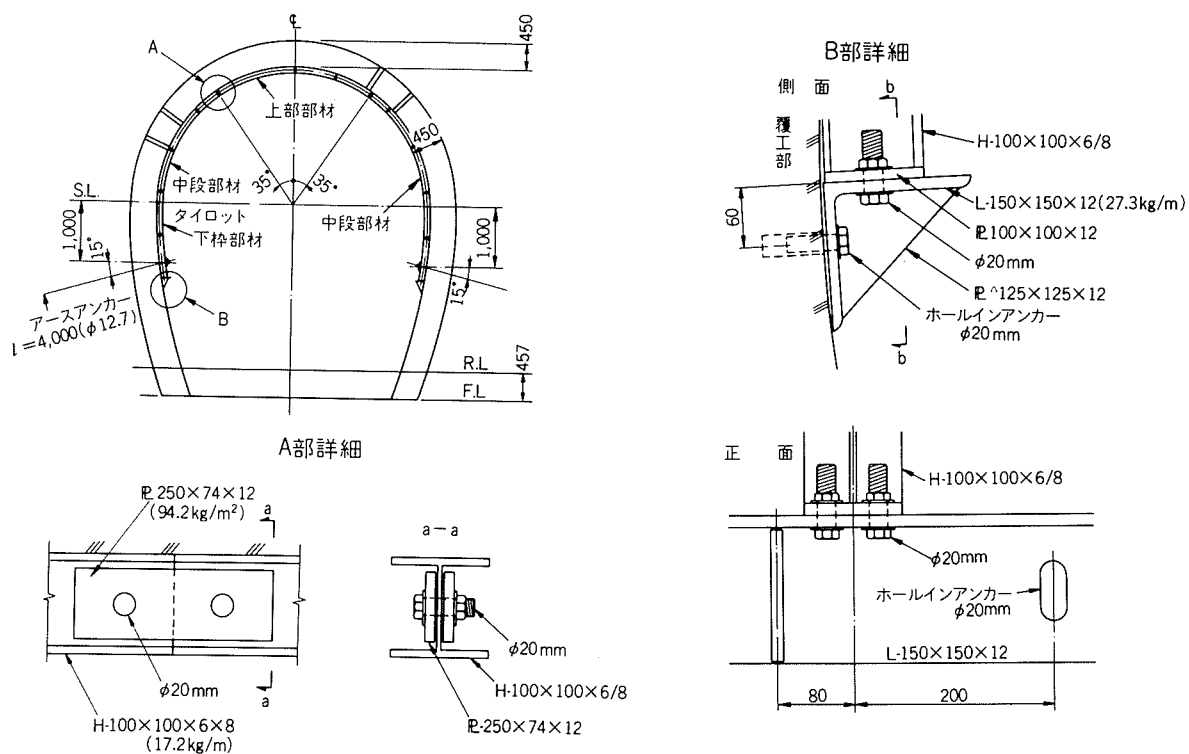


図-4 支保工図

ルの通りが不能のような形になるので、アングルの通りを決めて10～15スパンで調整するように、切断長を加減した。

この結果、部分的にはあるが、H鋼と防水シート面との間に空隙を生ずることとなったが、既設トンネルの施工精度に起因するもので止むを得ないことであった。

3-6 鋼板取付 (スキンプレート)

不燃性ではない防水シートを保護することと、モルタル充填のせき板として、鋼板をH鋼のウェブとウェブの間にはさみ込んだ。

H鋼にフラットバーを溶接し、鋼板を差し込むガイド溝を設け、H鋼接手部の内側フランジを切断して、差し込み口をつけて、ここから差し込んだ。

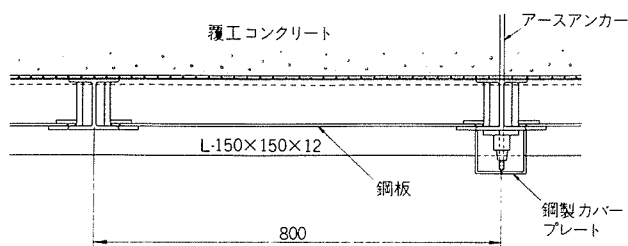


図-5 鋼板取付図

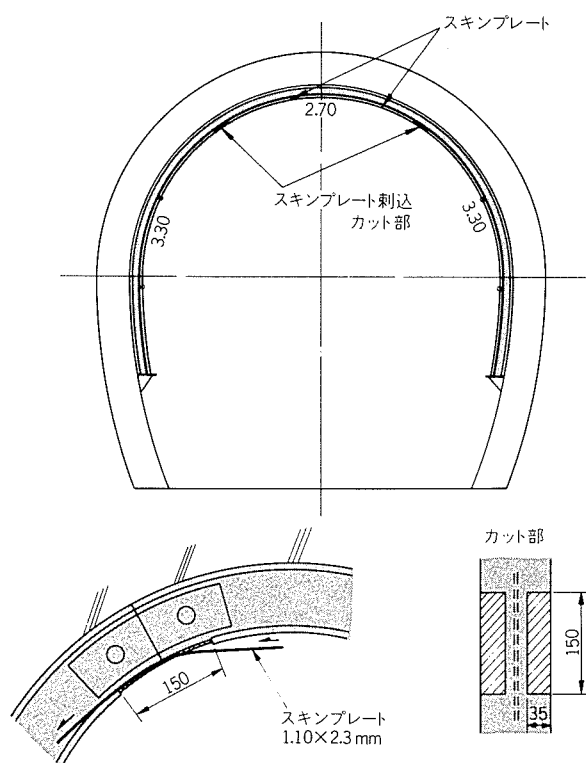


図-6 鋼板取付工

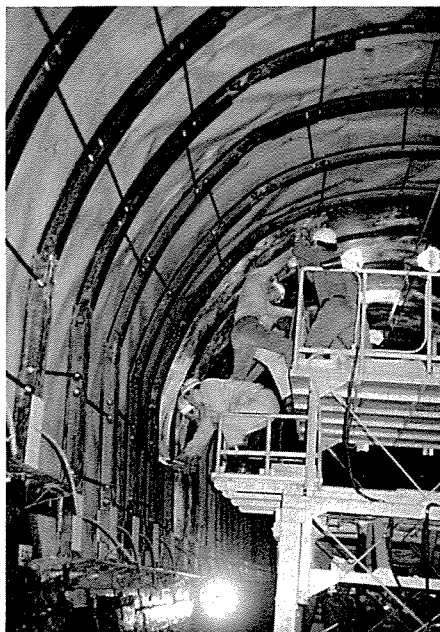


写真-5 鋼板差込み

問題点は、鋼板がトンネル断面形状に順応して変形しなければならないので、厚いものが使用できないことである。逆に薄過ぎれば弱いので、結局 2.3mm 厚を使用した。またモルタル注入の際に変形されても困るので、注入の方で変形防止法を考えることにした。

3-7 シール

原設計では鋼板取付の次にモルタル注入を行う計画であったが、数 mm の空隙でもモルタルの漏出を防ぐことはできない。エポキシ樹脂系の接着剤「シヨーボンド101」で空隙部分をシールすることにした。

この接着剤の特徴は、機械的強度が高いこと(150kgf/cm²=14.7MPa)、揮発性の溶剤を含まないこと、硬化後の収縮がないことと、金べらや刷毛などで容易に施工できる作業性の良さである。

3-8 モルタル注入

鋼板に変形を及ぼす怖れの無い、比重の小さな、流動性の良い気泡モルタルを注入した。

気泡モルタルはその起泡液の発泡の仕方により、プレフォーミング、アフターフォーミング及びミックスフォーミングの3つのタイプに大別できるが、本工事ではプ

表-4 A.F.Cの配合

圧縮強度	生比	空気含有量	水・セメント比	フロー値	1m ³ 当り材料		
					セメント	水	マールP液
σ_{28} kgf/cm ² (MPa) 15(1.47)	0.52	% 69	mm 60.5	mm 180 ±20	kg 300	kg 181.5	ℓ 1.53

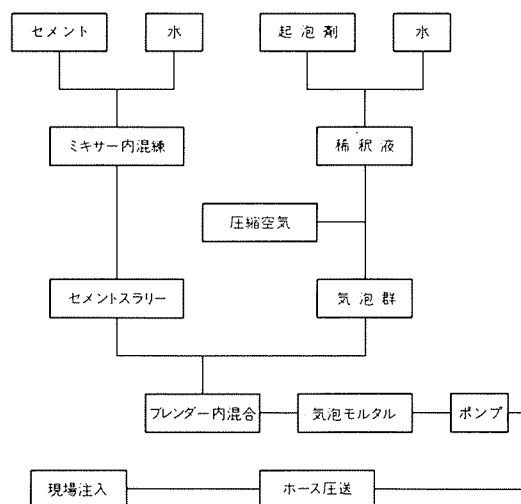


図-7 A.F.Cの製造、注入工程図



写真-6 A.F.C.注入

レフォーミングタイプのアソウフォームクリート (A. F. C.)を採用した。A. F. C. には次のような特徴が挙げられる。気泡群を予め作って所定量を混入するため、気泡の発生状態、気温その他の要因に左右され難く、生比重をチェックすることで製品のでき上り比重、強度まで把握できるので、品質管理が容易であり、安定した気泡モルタルを作り得る。連続注入のため工期を短縮できる。

A. F. C. の製造と注入のフローは図-7に示すとおりで、自動総合施工機(フォームクリータ)で製造し、モイノポンプでインチ半~2インチ半のホースで注入する。

注入方法は予め鋼板に孔をあけ、ニップルを溶接しておき、スルースバルブをつけ、ホースを接続して注入する。終了後はバルブを閉じ、ホースを外し、ホース内部を水洗する。バルブはモルタル硬化後取外し、掃除して再使用する。

品質管理としては、気泡群の容重測定、ミキサ内スラリーの容重測定、製品生比重測定、フロー値の測定、空気量の測定及び圧縮強度試験の6項目を実施した。

3-9 塗 装

当初の計画では、鋼材は現場で組立てた後に、上塗りをする計画であったが、営業線トンネル内で有機溶剤を使用することの是非、短時間で塗装することの能率問題、乾燥時間の問題等から、工場塗装を主とした。ところが、既設の電力線、通信線等の移設が必要となり、これらの支持金具をH鋼に溶接するという関連作業が派生し、溶接部だけ工場塗装を止め、現場で塗装した。

表-5 塗装仕様

工 程		使 用 塗 料 名	塗布量 kg/m ² /回	標準膜厚 μ/回	塗回数 回	塗装間隔 20℃
工 場 施 工	素地調整	鋼材表面の処理は、酸洗法により錆、油等完全に除去する。				
	下 塗	ニッペジンキー-8000 (有機質ジンクリッチペイント)	0.20	20	2	16時間以上
	中 塗	エポタールBO (タールエポキシ樹脂塗料)	0.45	150	1	24時間以上
	上 塗	エポタールBO (タールエポキシ樹脂塗料)	0.45	150	1	乾燥養生
現 場 施 工	二 次 表面処理	溶接部は 2 種ケレン (除錆) 一般部は 4 種ケレン (面粗し)				
	補 修 塗	ニッペジンキー-8000 (有機質ジンクリッチペイント)	0.25	40	1	24時間以上
	上 塗	エポタールBO (タールエポキシ樹脂塗料)	0.45	150	1	乾燥養生
		(注)現地上塗でスプレー塗装が不能な場合はハケ塗にて70μ/回×2回とする。				

3-10 工 程

着工は昭和52年12月3日で竣工は54年5月31日であった。約1年半で、300mの防水工事を終了した。

§4. まとめ

以上、防水工事についての問題点とその解決策について述べたが、継続して工事が発注される計画もあるので、留意点をまとめて置く。

① 短い作業時間の活用

極く僅かの作業時間しか許容されないで、いかにして有効に活用するかが最も重要な問題となる。

並行作業や、可能な段取り作業を活線(非停電)中に有効に実施することが、全体工程を早めるのに大いに役立つ。

② 現場に適合したH鋼の製作

H鋼の加工精度が悪いと、連続的に後続作業の能率に悪影響を及ぼすので、できるだけ現場に適合したものを製作するようになければならない。

常に次の作業箇所の断面のチェックを正確に行ない、完成部との通りを良くすることを考える。また、H鋼の補正を必要とするような場合には、予め坑外で作業しておく事等が肝要である。

③ モルタルの漏出防止

モルタルの漏出が多いと、時間的にも経済的にも不利なので、シール作業は特に入念に行なう必要がある。

このような変則的なトンネルの防水工事にはじめて取組み、仕事に教えられながら、何とか無事故で消化することができた。

我社ではトンネルに関する想像外のような工事も過去に手がけたことがあるのではないかと考えられるので、留意点とか、改善点とかの御指導を御願いたい。