

# クラックの発生及び漏水を防ぐ二次覆工の施工——横浜市高速鉄道3号線地下鉄工事——

## Secondary Lining Installation Preventing Cracking and Water Leakage

### ——Subway Construction of Yokohama Municipal Rapid transit Railway No.3 Line——

小西 守\*  
Mamoru Konishi

#### 要 約

新横浜地下鉄工事の二次覆工施工にあたり、近来問題になっているクラックおよび漏水による地下鉄営業後のメンテナンスを少なくするため、施工検討委員会等で検討の結果、防水シート、膨脹コンクリートを使用する施工方法を採用した。

この結果、防水シートによる二次覆工背面防水によりほぼ完全に漏水を防止することができた。

なお、シートによって背面拘束をゆるくすることと乾燥収縮・温度変化に伴う体積変化を抑える膨脹コンクリートを使用して、現在のところ目視可能なクラックは発生していない。従来のシールド二次覆工に比べ、防水シートの施工費、特殊コンクリート使用による費用増が伴うが、鉄道トンネル等使用目的によっては完成開通後の維持管理費の大幅の節約が期待できる。

#### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 施工数量
- §3. 検討結果
- §4. 施工
- §5. 施工結果
- §6. あとがき

#### §1. はじめに

本工事は、西松建設技報第6号に報告した新幹線高架駅直下の地下鉄工事である。

一次覆工は、泥水加圧シールド工法で掘進し、φ6600mmのRCセグメントを組立てた。一次覆工の精度は、左右・上下蛇行およびセグメントの組立精度（真円度）とも良好な結果を得ることができた。

なお、懸念された新幹線高架駅、横浜線、民家および

地表面に影響を与えることなく無事貫通した。

今回二次覆工の施工にあたり、事業主体である横浜市から地下鉄開通後の維持管理に対する強い要望があり、次の観点から二次巻き施工の検討を行った。

- ①クラックを完全防止することにより漏水を防止すること。
- ②一次覆工で止水処置をとり、二次覆工表面に多少のクラックが発生しても漏水を起さないこと。

①については、コンクリートに発生するクラックは多岐にわたっており、極めて多くの研究がなされている。クラックが発生した場合、そのクラックの真の原因をつきとめることは困難である。また、その防止対策については、その原因を断ち少なくする方法は明らかにされているが、定説が得られてないのが現状である。

②については、一次覆工時点で完全締結セグメントシールドおよび裏込注入の研究改良、コーキング等による止水が従来なされ改善されて来た。しかし、二次覆工施工時点で完全に止水ができた状態でも、地下鉄開通後はそ

\*横浜(支)新横浜(出)係長

の繰返しの振動により、シーロおよびコーキング材の耐久性の不足から、二次巻きコンクリートのクラック等より漏水が発生していると報告されている。

以上の考察の結果、防水シートを使用してトンネル・アイソレーション工 (Tunnel Isolation) を行う事に決定した。

Table1 クラック防止の検討

クラックを少なくする方法として	使用材料	特徴
A. 乾燥収縮、体積変化を抑制するためのコンクリート配合 (単位セメント量及び単位水量を減らす。) (発熱量の少ないセメントを使用する。) (粗骨材の最大粒径をあげる。)	AE剤、減水剤の使用 通常使用されているもの (プラスタクリート、ポゾリス、ヴィンゾール他) (高炉セメント) ワーガビリチーを増すもの 流動化剤 パリックF、L サンフロフ、B マイチーF、D ハイフルド デンカFT-800 他	現場施工管理によってはある程度の期待はできると思うが、背面拘束がある場合、クラックの発生はやむを得ない。
B. 拘束がある程度以上ある場合、乾燥収縮温度変化に伴う、体積変化を押える。	膨張材を使用して体積変化を抑制する。 (デンカC.S.A100R)を使用によりコンクリートの水和熱を抑制する。標準配合30kg/m <sup>3</sup> コンクリート表面被膜施工によりコンクリートの乾燥収縮を抑制する。 (ユニタックF、W)	施工条件により異なるが実績面でもかなり評価できると考える。
C. クラックを分散させ実用的に問題となる様なクラックを防ぐ。	鉄筋、金鋼を使用する。  スチール、ファイバー、コンクリート コンクリート強化繊維 (ボンフィクス)	一般的に使用されている施工及び養生管理によってはクラック発生の原因となる。 鉄筋、金鋼等は省略できるが経済的には割高となる。コンクリートの引張強度が大きくなり、クラック防止効果は大となる。
D. 二次覆工ライニングの変形 (収縮) に対し、背面拘束をゆるくする工法	(防水シート) ハイパネルT、X、ウルトラセンシート、ヒノンD Cシート、農業用ビニールシート	(1)セグメントとの拘束がないためクラック防止の効果は大きい。 (2)山岳トンネル覆工の実績面では最近特に多くなっている。 (3)集水措置が必要である。 (4)シートの取付け、ジョイント部に問題が残る。

アイソレーション工には、次のメリットがある。

- ① 全面防水により完全にドライなトンネルができる。
  - ② 二次ライニングの背面拘束をゆるくすることでひびわれを防止できる。
  - ③ 二次ライニングに曲げモーメントが発生しにくい。
- なお、クラックについても外観を著しく損ねることから、減水剤を使用した膨張コンクリートに、鉄筋および

メッシュを配筋して施工することとした。

この報告は上記の経過により、防水シート・膨張コンクリートを使用して二次覆工を施工した報告である。

## § 2 . 施工数量

二次巻コンクリート；2450m<sup>3</sup>

防水シート 取付工；A線 5706m<sup>2</sup> t=1.0mm  
；B線 5789m<sup>2</sup> t=1.0mm

Kセグメント防錆工；879箇所 タールエポキシ塗料  
ボルトボックスモルタル填充工；46m<sup>3</sup> 1：2モルタル

## § 3 . 検討結果

二次巻コンクリートのクラック防止対策として、当工事では種々の検討の結果下記のように決定した。

①乾燥収縮、体積変化を抑制するためのコンクリート配合として AE 混合剤ヴィンゾールを使用した。

②拘束がある程度以上ある場合、乾燥収縮・温度変化に伴う体積変化を押えるために、膨張材(デンカ C.S.A. 100R)を1 m<sup>3</sup>当り30kg 配合し体積変化及び水和熱を抑制した。

③クラックを分散させ実用的に問題となるようなクラックを防ぐ方法として、アーチ天端には鉄筋、それ以外はメッシュを組立てた。

④二次覆工ライニングの変形 (収縮) に対し、背面拘束をゆるくする工法として、防水シートをセグメントとアーチコンクリートの間に張った。

⑤防水シート施工前に、Kセグメントボルトの防錆処置及びスプリングライン以下のボルトボックスにモルタル填充を行い、コンクリート打設圧によるシートの破損及びボルトの錆を防いだ。

その他に現場施工管理として、コンクリート打設管理は念入りに行い、トンネル内の温度及び乾燥を少なくするためコンクリート打設完了箇所を養生シートで仕切るとともに、型枠脱型の時期を検討し養生期間を20時間以上確保する工程とした (Fig.1)。

## § 4 . 施工

### 4-1 施工手順

Kセグメント防錆工→ボルトボックスモルタル填充工→防水シート工→鉄筋、ワイヤーメッシュ組立→スチールフォームセット→アーチコンクリート打設

### 4-2 Kセグメント防錆工

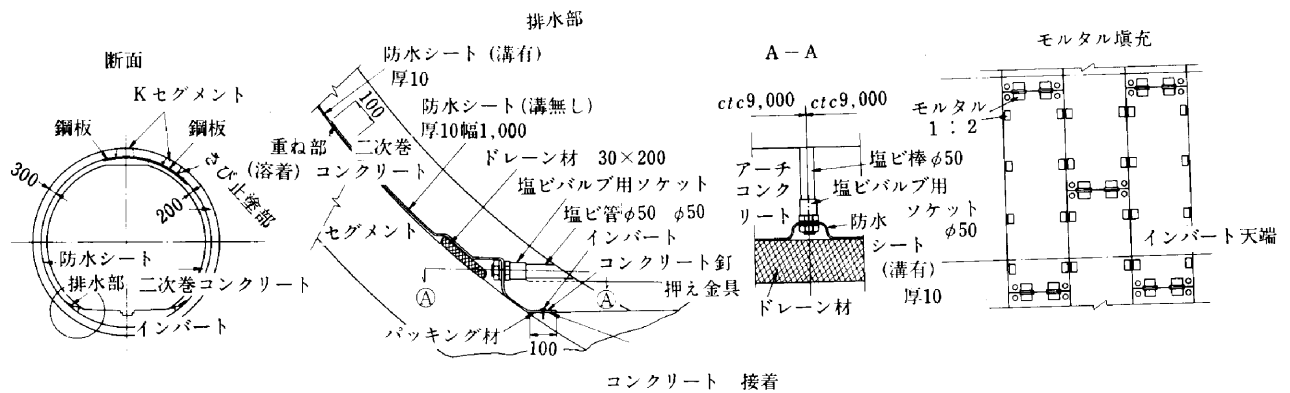


Fig.1 二次覆工コンクリート詳細図

RCセグメントのKセグメント継手は、引張接合であるので高力ボルトを用いている関係で、将来ボルトの錆が問題となる。防水シートを用いないアーチコンクリートであれば、ボルトはコンクリートで充填され錆が出ないと思われるが、今回は防水シートを張るので防錆処置として、タールエポキシ塗料(ビチュラック No.203)で処置を行った。作業方法は、作業員が後続作業台車でボルトホール清掃を行い、その後塗料を190g/m<sup>2</sup>程度刷毛で塗布した。

4-3 ボルトボックスモルタル充填工

RCセグメントS.Lより下のボルトボックスを1:2モルタルで充填した。その理由は、今回は防水シートを張るのでS.Lより下部のボルトがボックス構造上の問題で漏水の水が溜り錆る事が考えられたのと、アーチコンクリート打設の際コンクリート側圧(最大1 kgf/cm<sup>2</sup>-98kPa程度)でシートがふくらみ破損する可能性があったことである。

4-4 防水シート工

(1)施工法

A線はハイパネル TX-2, B線はビノン DC1010を使用した。工場一枚の長さ13.6mに切断した物を現場に持込み、鉄筋ジャンボ台車を利用してRCセグメント内面に沿って張付け、止水シールのついたインサートボルト(M16)にてセグメント面に止める。次のシートは約10cm程度重ね合わせ順次施工し、重ね合せた接合面は、携帯式熱風溶接機(スイス製)にて溶着接合する。防水シートの導水溝を伝って来た湧水を、末端のシート裏面に取付けた排水ドレイン材(30t×200)に集め1スパン(9m)に片側1箇所取付けられたφ50排水管にてインバートコンクリート面上に排水する。

(2)使用材料表

1スパン(9m)当りの使用材料はTable2のとおりである。



Photo1 防水シート溶着

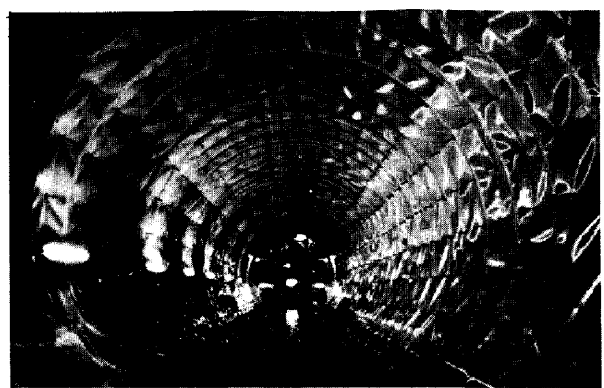


Photo2 防水シート工

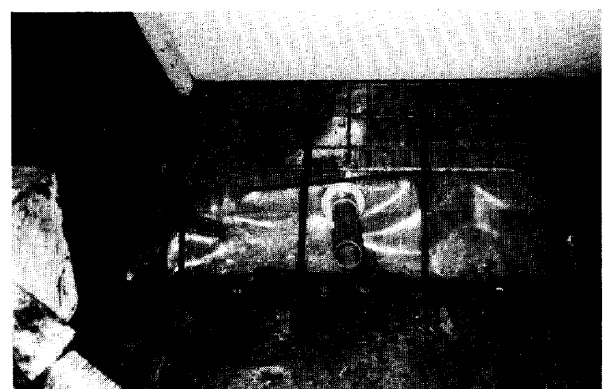


Photo3 排水ドレーン工

Table2 使用材料表

名称	形状	セグメント 幅780mm	セグメント 幅900mm
溝付防水シート	幅1.1m×13.6m×1t	134.64m <sup>2</sup>	同左
フラット防水シート	幅1.0m×1t	18.0m <sup>2</sup>	同左
排水ドレーン	30t×200w	18.0m	同左
インサートボルト	M16×210tナット付	208本	180本
止水シール	M16用ワッシャー付	208ヶ	180ヶ
シール材	3t×100w	18.0m	同左
コンクリート釘	3.8φ×38t丸ワッシャ付	60本	同左
排水パイプ	50φ×300tシール材付	2本	同左
接着材	ショーボンドエラスメント	7.2kg	同左
シート押え板	3t×50w×4.7m	11.5枚	10枚

(3)共通使用機械

- 手動溶着機 (スイス製)
- 釘打ち機
- 取付台車

(4)防水シートの形状及び構造 (Table 3)

Table3 防水シートの形状及び構造

呼名	シートの厚さ	幅	長さ	筋の高さ	色
ハイパネルTX-2	1mm	1150mm	任意	2mm	半透明
ピノンDC1010	1mm	1100mm	任意	2mm	黄色

シート幅 1,100(1,150)  
有効幅 1,000(1,050)  
導水溝部 (コルゲート)  
接続部 (フラット)

(5)防水シートの特徴

- ①軽量であるので、現場での作業性が良い。
- ②柔軟性が優れているので、地山に馴染んだ施工が可能である。
- ③厚手防水シートであるため、二次覆工コンクリート打設による破損の心配が無い。
- ④現場溶接が通常のポリエチレンに比べ極めて容易にでき、水密加工に信頼性がある。
- ⑤強度、伸びともに大きく、特に伸び率は640%に達する特色を有する。
- ⑥-70°Cから70°Cまで使用可能。
- ⑦表面の溝加工によりシート裏面湧水を積極的に処理でき、排水処理の効果は抜群である。
- ⑧耐薬品性に優れており、酸・アルカリ・有機溶剤等に侵されない。
- ⑨万一、火災にあっても燃焼時に有毒性のガスは発生しない (人体には無害)。

(6)防水シートの加工方法

切断……はさみ又はナイフで簡単に切れる。

接続……重ね合せ又は溶接

ファスニング……コンクリートアンカー、コンクリート釘又はインサートボルトで処理する。

(7)防水シートの基礎物性 (Table 4)

Table4 防水シートの基礎物性

項目	測定法	ハイパネルTX-2 ポリオレフィン系 ポリエチレン (S. P. N)	ピノンDC1010 ポリオレフィン系 酢酸ビニール (EVA)
比重	JIS K6773	0.93	0.94
引張り強さ	JIS K6773	180 kgf/cm <sup>2</sup>	198 kgf/cm <sup>2</sup>
伸び	JIS K6773	640%	650%
引裂き強さ	JIS K6301	86 kgf/cm	86 kgf/cm
硬さ	JIS K6773	94度	94度
軟化温度	VICAT	70°C	80°C
低温脆化	JIS K6301	-70°C以下	-70°C以下
耐塩類性	食塩, 重クロム酸カリ, 過マンガン酸カリなど使用可能		
耐有機溶剤性	ニトロベンゼン, アニリン, クレゾール, メタノール, エタノール, グリセリンなど使用可能		

(8)耐水圧試験結果

接合部 (熱風溶着機による溶接) 有りのシートで、注水を行い漏水を確認したが最終水圧 (1.5kgf/cm<sup>2</sup> - 147 kPa) まで漏水はなかった。

4-5 アーチコンクリート工

防水シート施工後、インサートボルトを利用して天端より左右60°部分は D13mm 鉄筋、それ以外は網目100×100径φ6mmのワイヤーメッシュを鉄筋ジャンボ台車を利用して組立てた。組立完了後、スキンプレートのケレン作業、剥離剤塗布を行ったスライド・フォームをアーチコンクリート打設箇所へ移動セットし企業先の検測を受けたのち、立坑上へ配置したコンクリートポンプ車により坑内6インチ鉄管を通して圧送打設した。アーチコンクリート打設は、2日に1回とし作業サイクルは (Table 5) のとおりである。

4-6 コンクリートの配合

当現場のコンクリート配合はひびわれ防止の目的で、硬化収縮・温度変化・乾燥収縮の少ないとされている混和材 CSA100R を使用した配合として示方書に提示された。示方書によるコンクリートの配合条件を Table 6 に示す。

Table 6 の条件の下に試験練り等により検討して当現場の二次巻きコンクリートの配合とし下記の様に決定した。

コンクリート配合の特長は、混和材 CSA100R をセメントと置き換えて使用しているため、若材令強度発現が

普通コンクリートに比べ若干遅れることである。コンクリートの若材令強度は、セメントの水和熱（単位セメント量）、養生温度、コンクリート練り上り温度等により大きく変わってくるが、型枠脱型時期に影響するので、気温の低い時期及び単位セメント量の少ないコンクリートでは、混和材はセメントと置き換えず、骨材と置換した方が良いと考えられる。

デンカ CSA100R は、クラックの少ないコンクリートを打設する目的で、最近特に使用されており実績も多い。デンカ CSA100R の特長として次節のものがあげられる。

Table5 標準作業サイクル表

	1 日		2 日	
	昼	夜	昼	夜
A 線	防水シート張り		軌条撤去・インバート清掃	
		鉄筋・メッシュ組		防錆・モルタル詰
	アーチ コンクリート打設		スライドフォーム脱型・セット	
		養生24h		検測
B 線	軌条撤去・インバート清掃		防水シート張り	
		防錆・モルタル詰		鉄筋・メッシュ組
	スライドフォーム脱型・セット		アーチ コンクリート打設	
		検測		養生24h

Table6 コンクリートの示方配合条件

設計基準強度	セメントの種類	骨材の種類	粗骨材の最大寸法	スランプの範囲	空気量の範囲	耐久性等から定まる最大水セメント比	混和材デンカ CSA100R
kgf/cm <sup>2</sup>			(mm)	(cm)	(%)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )
210	N	普通	25	12±2.5	4±1	58	30

注) 混和材(デンカCSA100R)セメント重量に対して30kg/m<sup>3</sup>(標準量)を置き換えて使用する。

Table7 コンクリートの現場配合

セメント	水	細骨材	粗骨材	粗骨材	混和剤 ヴィンゾール	混和剤 デンカ CSA 100R	水セメント比	細骨材率
kg	kg	kg	(砕石 200S)	(砂利 25mm)	kg	kg		
254	162	790	323 kg	758 kg	0.057	30	57%	43%

σ<sub>28</sub>=210kgf/cm<sup>2</sup>, スランプ12±2.5cm, 最大骨材寸法25mm

4-7 デンカ CSA 100R

1) デンカ CSA 100R の特性

デンカ CSA 100R は、コンクリート 1 m<sup>3</sup>当り30kg(標準量)をセメントと置き換えて使用することによって、セメントの水和速度を遅くして温度上昇を抑え、さらに上昇した内部温度が最終安定温度まで冷却する過程でも、CSAの水和による膨脹が継続するように調節された新しいタイプの膨脹材である。特性として下記の3点があげられる。

①水和熱の抑制

普通ポルトランドセメントに混和した場合、中庸熱セメントに似た水和速度を示し、コンクリート温度の上昇を抑える。この効果は、コンクリートの練り上り温度が高いほど大きくなる。

②体積膨脹

コンクリートの練り上り温度が高い場合でも、CSAの水和による膨脹エネルギーは温度降下時においても持続し、温度降下による体積収縮を緩和する。

③乾燥収縮の低減

CSAの水和によって化学的結合が増大し、また、エトリンガイトの針状結晶が生成して空隙が減少するため、乾燥収縮が減少するとともに長期の強度が増大する。

2) デンカ CSA 100R の物性

①デンカ CSA 100R の物理化学性状 (Table 8)

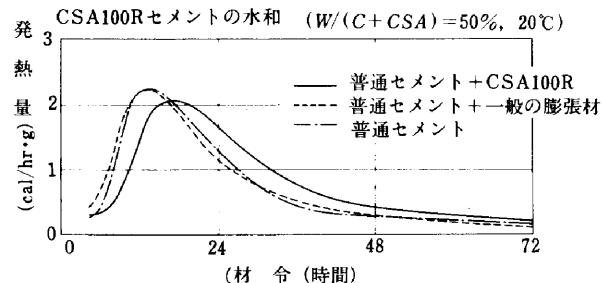
②デンカ CSA 100R の水和性状

CSA 鉱物の水和速度も一般の膨脹材に比べて遅延し、材令1日以後にも水和が続くために、温度ひびわれの抑制に有効な膨脹発現となる (Fig.2)。

Table8 デンカCSA 100Rの物理化学性状

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	比重	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	強熱減量 (%)
2~4	9~12	1以下	45~52	2以下	24~30	2.71	2,500 ~ 3,100	3以下

注) 強熱減量は主成分であるCSA#20の測定値



CSA100Rによりセメントの水和発熱速度が抑えられます。

Fig.2 材令と発熱量の関係

4-8 コンクリート打設

コンクリート打設機械は、IHI製コンクリートポンプ車 PTF-85T を使用、また、配管内コンクリートの水送り機械として東邦式モルタルポンプ PA-30 を使用した。

打設にあたって圧送抵抗を求めると最長時（水平換算長408m）で28kgf/cm<sup>2</sup>（2.7MPa）に対して、ポンプ車吐出圧力は43kgf/cm<sup>2</sup>（4.2MPa）であったので余裕をもって打設できた。打込は吹上げ方式としたが、一般のトンネルアーチと異なり天端部がレベルであり、また、鉄筋が入っている関係上、吹込口は上下に稼働できる潜望鏡方式とし両サイドに固定バイブレーターを配置した（Fig.3）。

脱型時期は、本社土木設計部の検討解析によると圧縮強度（ $\sigma_{c\ max}=25\text{kgf/cm}^2$ （2.5MPa））以上であれば脱型可能であり、現場一軸圧縮試験結果は  $\sigma_1=32\text{kgf/cm}^2$ （3.1MPa）となったので養生を1日取った後脱型した。また、養生方法の一環として工区境に隔壁及びコンクリート打設完了箇所に移動式隔壁を設け、坑内の風が吹き抜けるのを防止するとともに湿気を保った。なお坑内温度は20℃前後、湿度は100%であった。

コンクリートを打設して上り線は工事完了、下り線も約60mを残すところとなっている（昭和58年10月12日現在）。現在のところ目視できるクラックは発見されず、当初の目標である漏水のない、きれいな内装コンクリートの施工という目的を達したという点で満足のいくものであった（Photo4）。

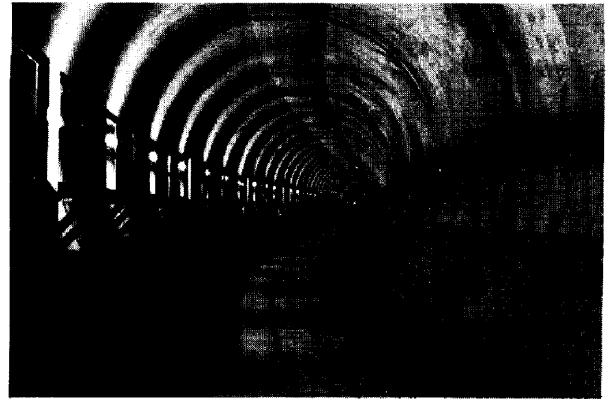


Photo4 二次覆工完成

これは、シートによる外部拘束の解除と膨張コンクリートの使用が大きな比重を占めたと考えられるが、養生を含めた綿密なコンクリート施工管理も見逃さない。施工中の坑内温度、湿度を測定した結果は Fig.4 のと

### § 5. 施工結果

昭和58年5月18日の打設開始より順調に二次巻きコ

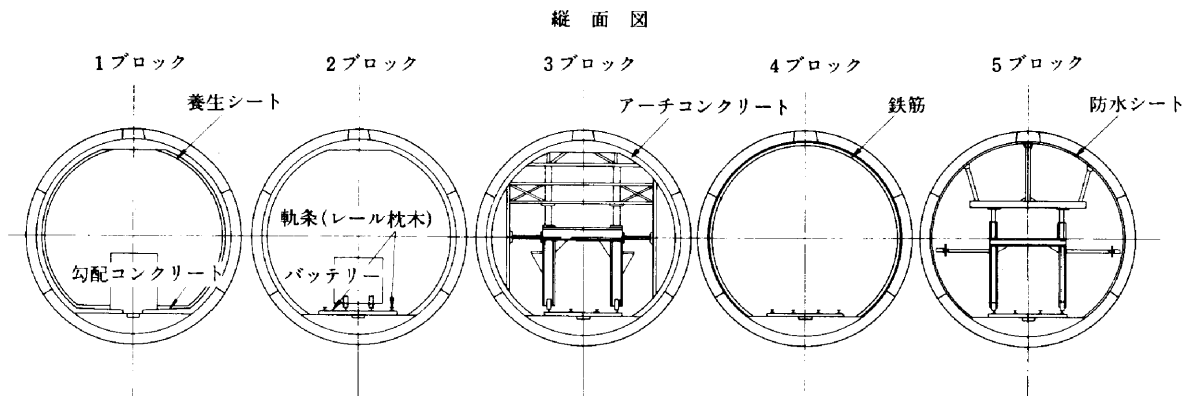
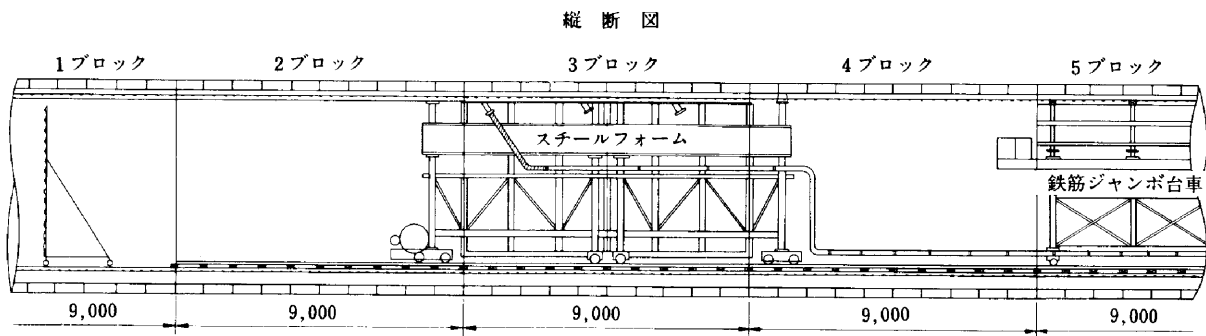


Fig.3 アーチコンクリート施工図

おりであったが、ここに現場においてコンクリートの硬化過程で発生する水和熱を測定した結果がある (Fig.5 参照)。

測定方法は生コン車への投入口でコンクリートスランプ練り上り温度を測定し、打設箇所では、CC熱電対をワイヤメッシュにビニールテープで固定し、コンクリートに埋込み、温度は自動記録装置で記録した (Table 9)。

Table9 水和熱によるコンクリート温度の上昇度

No	場所	最高温度 ①	自動記録 坑内温度 ②	アルコー ル温度計 天端部③	温度差 ①-②	温度差 ①-③	摘要
0	S. L	33.5°C	19°C	—	14.5°C	—	コンクリート厚20cm
1	天端	41.0°C	19°C	20.8°C	22.0°C	20.2°C	コンクリート厚30cm
2	S. L	32.8°C	19°C	—	13.8°C	—	コンクリート厚20cm
3	ダミー	44.6°C	19°C	—	25.6°C	—	コンクリート厚30cm 保温を行う

※(コンクリート、スランプ14cm、コンクリート温度28°Cであった。)

Table 9 からコンクリートの発熱量はコンクリート厚さにより開きがあり、天端部 (厚さ300mm) で打設後15時間程度で最高に達している。しかし、水和熱抑制材の効果で練り上り温度からの上昇13°C、坑内温度との温度差22°C 上昇度が低くなっている。スプリングライン (厚さ200mm) においての温度上昇は、練り上り温度より5~6°C、坑内温度からの上昇度15°C 以下で温度降下

によるコンクリートの引張応力はひび割れ発生荷重まで致ってないと考えられ、膨脹コンクリート、外部拘束解除の防水シート工が有効であったと考えられる。

## §6. あとがき

本報告書は、工期の関係もあり他条件との比較検討、試験等が少なく、単に防水シートおよび膨脹コンクリートを使用して漏水、クラックのないトンネル二次巻き施工ができたという報告にとどまり、真のコンクリートクラック防止に対する検討にはなっていないが、満足のいける施工ができたことは、企業先、関係各機関の御指導、努力によるところが大である。ここに謹んで感謝の意を表します。

地下鉄3号線新横浜駅付近トンネル工事も59年1月完成を目前に最後の最後まで鋭意努力中ではありますが、従来のトンネル二次覆工に比べ工費等も増大している点で、地下鉄開通後のメンテナンス等でその真価が問われることと思われる。

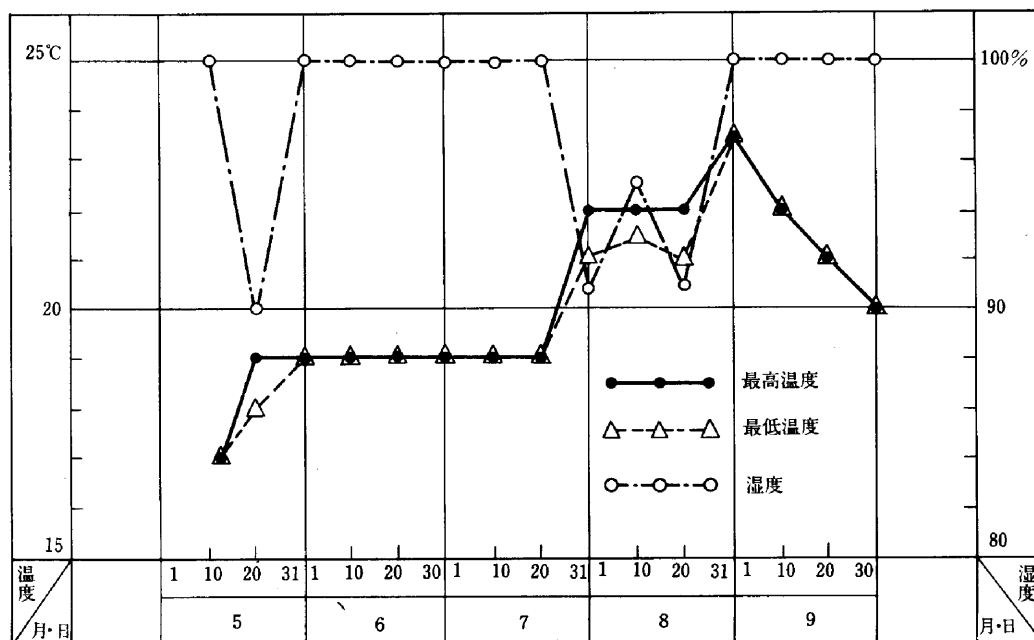


Fig.4 トンネル坑内湿度及び温度測定

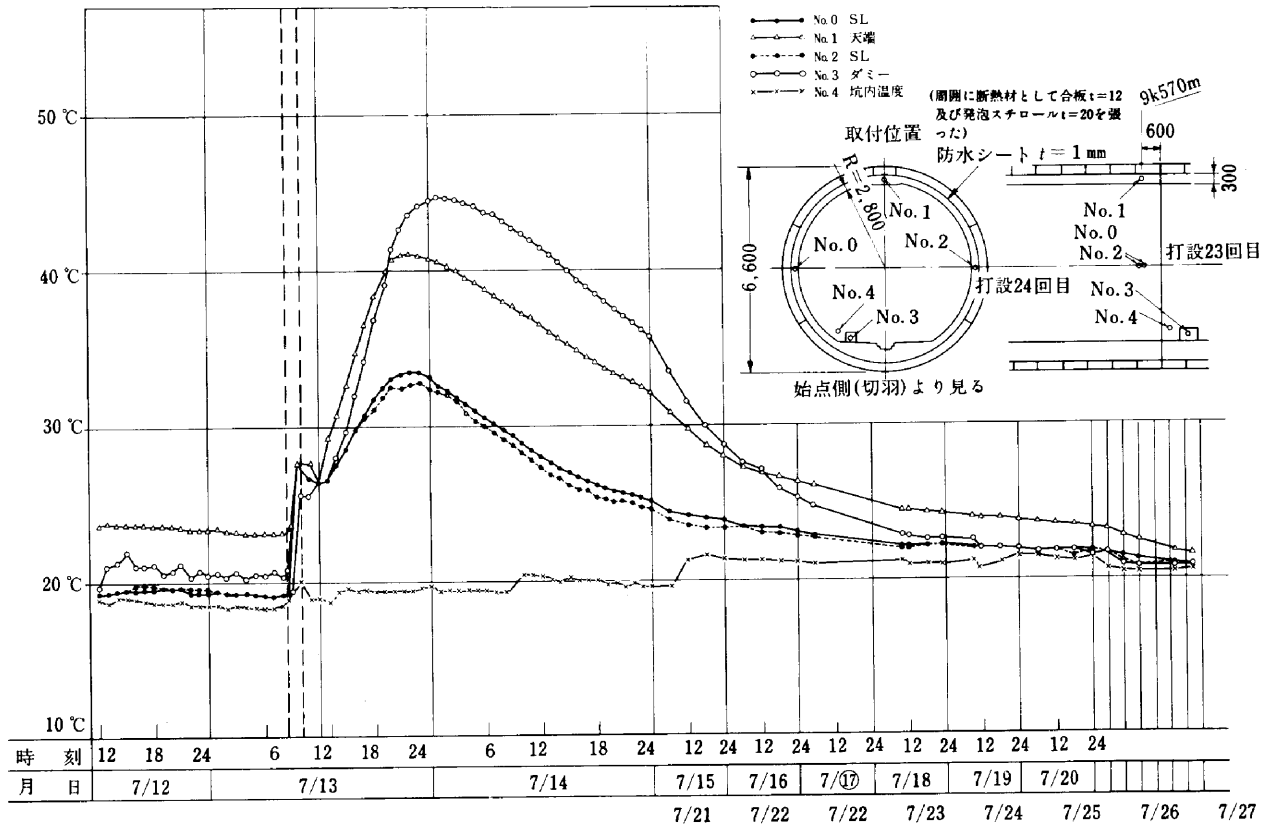


Fig.5 材令一温度図