

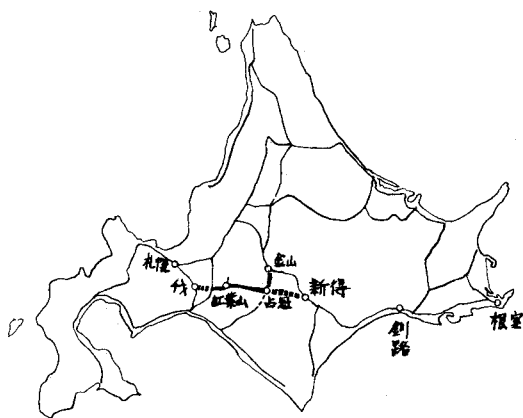
# 紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工について

橋本和久\*  
戸田甚平\*\*

## まえがき

新登川トンネルは、紅葉山線のほぼ中央部に位置する全長 5,825 m の国鉄単線トンネルである。

紅葉山線は夕張線紅葉山と根室本線全山を結び、北海道の中央部と東部を短絡する新設線で、現在日本鉄道建設公団により建設中である。この路線は北海道を南北に縦走する神居古潭構造帯を、東西に横断しており、その複雑な地質は、工事関係者に多くの難問題を投げかけている。



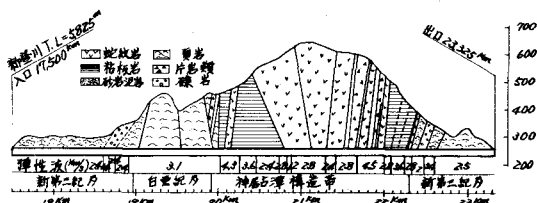
図一 紅葉山線（石勝線）

新登川トンネルも複雑な地質で構成され、トンネルのほぼ中央部に約 1,200 m の長さで蛇紋岩が分布しており、当初その施工には著しい困難が予想された。

ここでは、この難工事を克服するため、吹付コンクリート工法、8時鋼管支保工等の特殊工法を採用したトンネルの施工について、その概要を報告するものである。

## 1. トンネル地質

新登川トンネルは図一2に示すように、神居古潭帯と呼ばれる構造帯に属し、中央部に蛇紋岩をはさんで、その同縁部は粘板岩、泥岩、頁岩等が分布しており、岩石は造山運動の作用を強く受け、複雑な地質構成を示している。



図一2 新登川トンネル地質図

蛇紋岩は温泉余土、頁岩、泥岩などにみられるような、トンネル掘さくの際、比較的短い期間のうちに、強大な地圧が作用して、それが経時的に変化し、その地山の変状から支保工及び覆工を破壊するほどの膨脹性を有しており、施工中の計測支保工による土圧測定を行ったところ、支保工にかかる平均土圧は 130 t/m<sup>2</sup>、軸力は 260 t にも達することが判明した。

## 2. 蛇紋岩帯施工の基本方針

このような大規模な蛇紋岩帯にトンネルを施工することは、非常に困難が予想されたので、本工事で先に、蛇紋岩帯の断面形状、施工方式、支保工方式の方針を確立するため試験工事を行った。

試験坑は、土かぶり約 100 m 得られるよう本トンネル上部の蛇紋岩地帯内に、直径 3 m の真円断面で 200 m 掘り、その奥に本坑断面のものを種々の掘り方で 26 m 掘さくし、土圧測定、地山の押出し、吹付コンクリート等の試験を行い、次のような設計及び施工方針を決められ

\* 大成建設株式会社札幌支店 作業所長

\*\* 大成建設株式会社札幌支店 工事主任

た。

(1) トンネルの断面はできるだけ円形に近くし、支保工はインパートを含め全周閉合させること。

(2) 掘さくは、全断面を一挙に掘ることが望ましいが、高さが約7mあり、切羽の自立は難かしいので上下半二段に分け、ベンチ式掘さくとする。また上半掘さくから下半掘さく閉合までの時間はできるだけ早くする。

(3) 掘さく面は、地山の押出しを拘束することが必要であるので、掘さく後ただちに地山に直接コンクリートを吹付ける。また矢板を使用すると板裏の空げきが、地山変位を誘発するので、矢板の使用を極力避け、やむ得ず使用する場合は板裏の空げきを、即時モルタル等の注入によって、てん充する。

(4) 吹付コンクリートの一次覆工（外巻）の後、土圧の終息をまって内巻コンクリートの二次覆工を行い、いわゆる二重巻工法とする。

### 3. 実際施工に於けるトンネル断面と支保工の関係

新登川トンネルは東口側より3,185mを当社で、西口側より2,640mを鹿島建設㈱が担当した。

東口側は昭和41年9月着手し、1,044m地点まで特1号型断面（馬蹄形）で施工したが、昭和42年12月末この地点で予想通り短区間（35m）の蛇紋岩帯に遭遇した。このため試験工事にもとづく方針で施工した。断面は卵型断面（図-3参照）として、吹付コンクリート厚15cm、支保工はH-125を70cm間隔で建込んだ。

この結果は、支保工の変形、座屈は著しく、切断されるものもあり、吹付コンクリートもほとんど全面的に破壊されはく脱現象が多く現われ、地山の押出しで内空断面を侵するようになった。

土圧は試験工事のとき計測した10~20 t/m<sup>2</sup>程度のものでなく、本坑ではもっと強大なものであると推定された。

坑口より約1,330mの地点で延長的1,200mと推定される本格的な蛇紋岩が現われたので、卵型断面の結果からみて断面を真円に変更し、支保工は4-150に、吹付コンクリートの厚さも20cmとした。この形状で約220m施工したが、支保工の座屈、変形、吹付コンクリートの破壊及びはく脱は多く、この状態で掘進することは、今後の施工にいささか確信が持てなくなった。

上記のように支保工の座屈、変形、吹付コンクリートの変状が続くので、より強力な支保工を採用する必要にせまられた。そこでより強力な支保工部材として200H型鋼と8吋鋼管が考えられた。200H型鋼は半径3.7mでの冷間加工は困難であるが、8吋鋼管は曲げ加工が可

能であることが判明した。部材試験によると8吋鋼管は200H型鋼に相当する強度を有し、管内にモルタルをてん充することによって、約2倍の強度を出すことが判明した。

H型鋼支保工では吹付コンクリートが、フランジ内部及び背面に入りやすく、支保工周辺に空げきを残し、支保にかかると力が不均等になるが、鋼管支保工を使用することにより吹付コンクリートは支保工背面に入りやすくなり、地山とのブロッキングが確実にでき、地山の支保工に対する力は一層ユニホームになることが期待できた。また鋼管は単位重量当りの断面係数が大きく、 $W_x : W_y = 1 : 1$ であるので、ねじれや面外座屈の抵抗がH鋼より強く支保工単体としても有利である。

以上により鋼管支保工を採用した結果、支保工の変形は小さくなり、支保工の内空領域を侵すことが少なくなった。しかし、上半での地圧の特に大きなところでは支保工と支保工の間から吹付コンクリートが付着力不足により、押出されてくる現象があらわれた。下半では支保工、吹付コンクリートとも変状は全くみられず非常に安定していた。

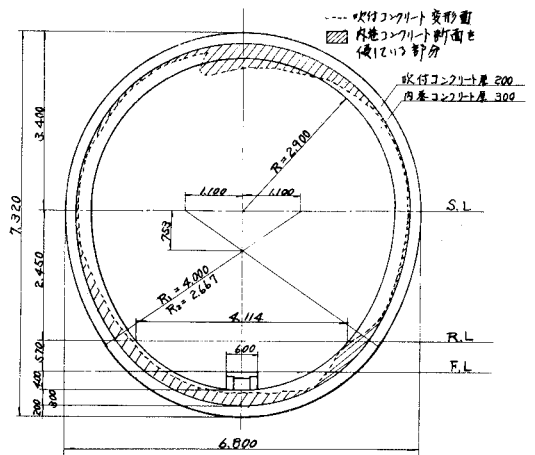


図-3 卵型断面図とその変形

### 4. 蛇紋岩帯のトンネル諸元

8吋鋼管支保工使用後のトンネル諸元は図-4、表-1に示すとおりである。

### 5. 施工計画と実績

ここに述べる施工計画と実績は、主に鋼管支保工採用後の掘さく関係と内巻コンクリートについて概略をまとめたものである。

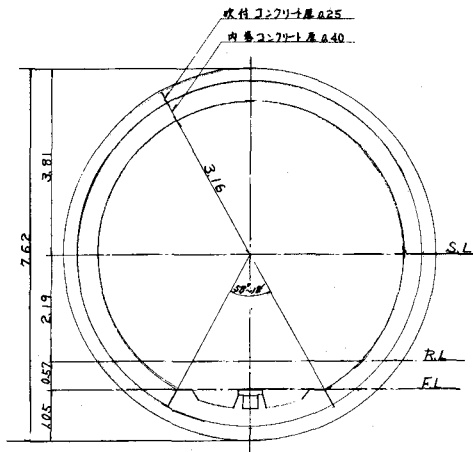


図-4 トンネル断面図

表-1 諸元数値

掘さく	m <sup>2</sup>	コンクリート	m <sup>2</sup>
上部半断面	18.27	アーチコンクリート	7,078
下部半断面	27.34	インパットコンクリート	1,433
全断面	45.61	吹付コンクリート	5,789

(上下半の掘さく区分はS. Lより60cm上り)

蛇紋岩帯1,085 m (地質調査では約1,200 mの推定であった)のうち初期のH型支保工を使用した約220 m区間は、支保工の変状が大きく地圧の終息に時間がかかり、内巻コンクリートの施工時期が明確につかめず、一応終息したと思われたところで掘さくを中断し内巻コンクリートを施工した。鋼管支保工を使った後は地圧の平衡が早まり、下半で10~15日、上半で約1ヶ月ぐらいであることが判明した。このように支保工にかかる地圧の平衡状態に収まるのが早くなったので、掘さくと内巻コンクリートの施工を併行して行えるようになった。

#### 5-1 坑外設備

掘さく及びコンクリート関係の坑外設備と主要機械は図-5、表-2に示すとおりである。

#### 5-2 掘さく

掘さく方法は、方針にしたがい上下半の二段ベンチカットで行い、上半掘さく後下半掘さくは10日以内とする制約により、また上下半平行作業を行う安全度から上半ベンチを10~15mの長さにおさえて掘さくすることにした。

ところで上下半同時作業を行う施工上の問題点は、上半掘さくのずりを如何にして出すかということで、方法として三つ考えられた。

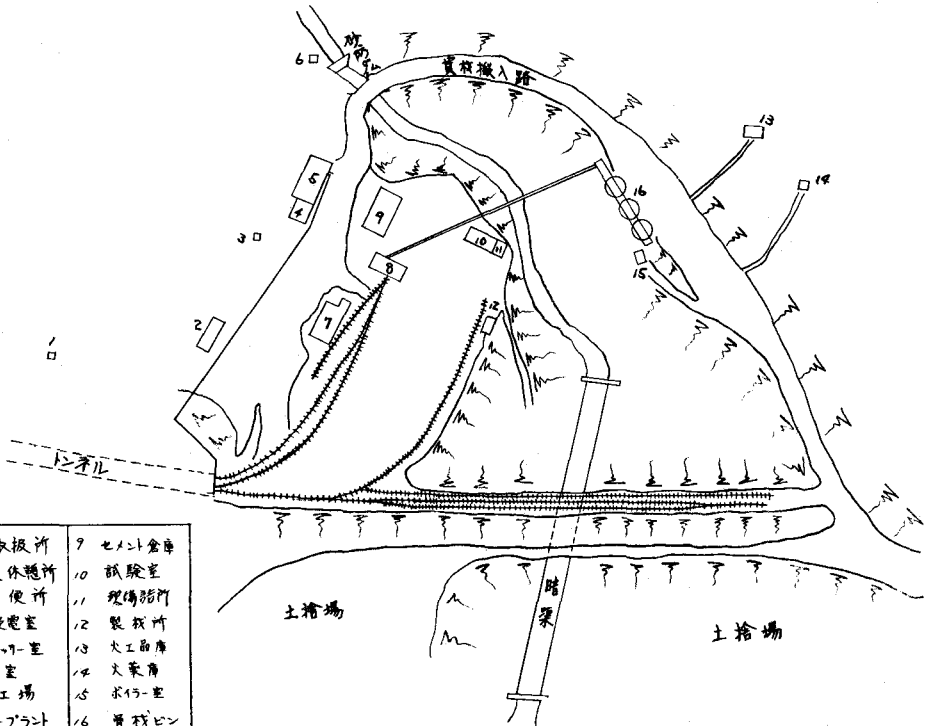


図-5 坑外設備配置図

表-2 坑外設備主要機械

機械名	形式	性能	単位	数量	備考
コンプレッサー	日立BTD-100	200PS 33.7m <sup>3</sup> /分	台	1	
コンプレッサー	石川島WN-112	200PS 34 "	"	1	
コンプレッサー	日立HSO-WRC	100PS 15.4 "	"	1	
バッチャープラント	石川島, 全自動, 卵字	40m <sup>3</sup> /H	機	1	
セメントサイロ	川上 30t	30t	台	1	
セメントスクルーコンベア	川上 15t	15t/H	"	1	
傾斜コンベアー	成和 450mm×64m		"	1	骨材
引出コンベアー	川口 450mm×24m		"	1	"
水中ポンプ	桜川 4時		"	1	バッチャープラント
電動ウインチ	田部		"	1	支保工積込
製材機		5.5KW	"	1	
油圧転倒機	成和		"	2	土捨場
トラクターショベル	BS-13		"	1	
ダンプトラック	トヨタ	6t積			

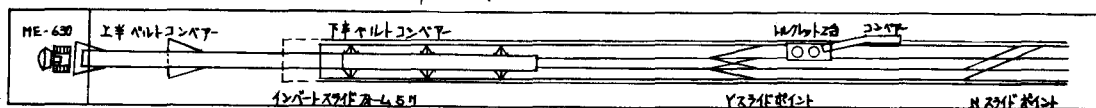
- (イ) 下半を落し、下半ずりと一緒に積み出す方法。
- (ロ) 発破、支保工、吹付コンクリートの各作業ができる範囲で切羽のずり取りを行い、ずりは上半ベンチに残していく方法。
- (ハ) 栈橋等を利用して下半切羽後方にずりを投げる方法。

以上の方法で、(イ)は下半掘さくの作業負担が大きくなり上下半のタイムスタディーの調整が難しく、掘さく能率が上がらない。(ロ)は支保工の運搬、ずり積機の発破退避、支保工中詰モルタルの作業足場が不適當、これら安全作業の立場上難点が多すぎる。(ハ)の方法は切羽の移

動により栈橋を移動することが必要となる。しかし栈橋の問題は上半支保工に中間ストラットを取付けるので、これを利用することによって解決できる。

以上のことから(ハ)の方法を採用することとし、ストラットを利用してこの上にベルトコンベアーを設置し、切羽の移動に伴いベルトコンベアーも移動させ、上半ずりはベルトコンベアーにて下半切羽後方でトロに積込むことができる。またインバートコンクリートの施工で下半には図-6のようにトレンコンベアーを設置することによって、上下半の掘さくは、それぞれ単独に行えるようになる。

平面図



側面図

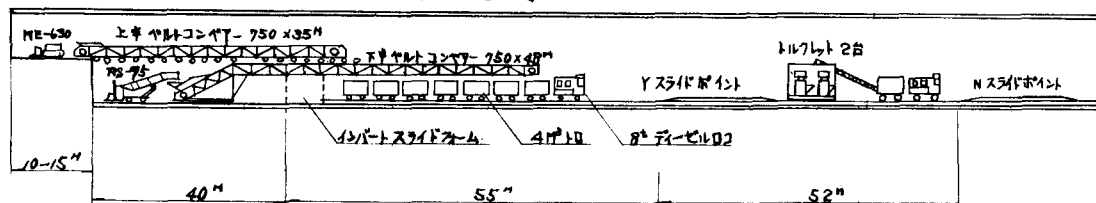


図-6 掘さく関係施工全体図

表-3 掘さく関係設備主要機械 (坑外設備を除く)

工種	名 様	形 式	性 能	単 位	数 量	備 考
掘 さ く	ロッカーショベル	日開 RS-P5	0.5m <sup>3</sup> 3~4m <sup>3</sup> /分	台	1	下 半
	ク	日開クローラ式ME-630	032m <sup>3</sup> 1~2 〃	〃	1	上 半
	ベルトコンベアー	永和 750 <sup>mm</sup> ×35m		〃	1	上 半
	トレンコンベアー	川上 750 <sup>mm</sup> ×48m		〃	1	下 半
	ホイストクレーン	250×100 I型鋼80m	2 t 吊	連	1	支保工運搬
	エアーホイスト		7 P S	台	1	支保工建込
	ディーゼルロコ グランピーカー	日照UDL-108 成 和	8 t 4m <sup>3</sup> 積	〃 〃	5 22	吹付コンク リート共用
吹 ク 付 リ コ ー ン ト	吹 付 機	トルクレット S-3		〃	2	急 結 剤
	ベルトコンベアー	35 <sup>mm</sup> ×7 m		〃	2	
	コンクリート運搬車			〃	2	
	パイプフィーダー			〃	1	
鋼 管 支 保 工	中詰 モルタル	グラウトポンプ	鉋研MG-10	105ℓ /分	〃	1
	支	グラウトミキサー	鉋研	600rpm 2 00ℓ	〃	1
	保 工	ベルトコンベアー	35 <sup>mm</sup> ×5 m		〃	1
給 排 水	ダービンポンプ	日 立	2吋 5 st	〃	2	
	水 中 ポ ン プ	三 興	2吋	〃	3	

(1) 上半掘さく

切羽は半断面であれば自立できると予想していたが、  
 実際掘さくしてみると予想外にもろく、一発破毎に切羽  
 を全面吹付けをしなければならぬ場合もあり、全掘さく  
 のほとんどをリングカットで進んだ。また切羽の天端附  
 近はリングカットでも岩魂の抜け落ちが多く、落石や崩  
 壊による災害を防止するため、やむを得ず矢板を使用し  
 た個所もある。矢板の使用は板裏に空けきを生じ地山の  
 押し出しを誘発する原因となるため、できるだけ使用せず、  
 使用した所はモルタルをてん充した。

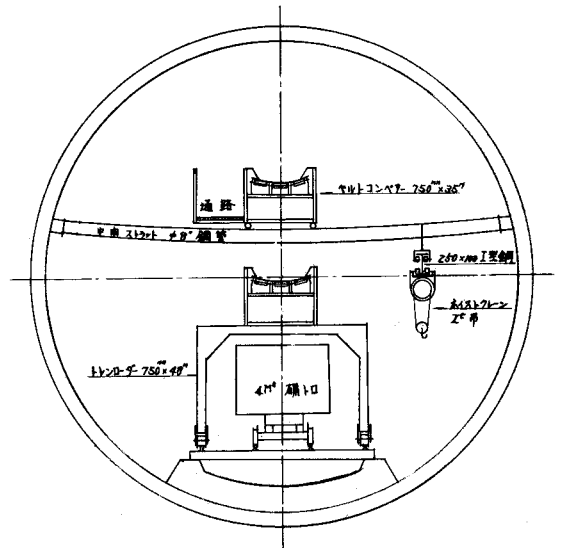
掘さくは、発破とピック掘りの併用で行い、ずり積み  
 は0.3m<sup>3</sup>クローラショベルを使用し、上半コンベアーか  
 らトレンコンベアーに導入して、ずり出しを行った。

(図-6参照)

(2) 下半掘さく

下半掘さくでは、発破後一見して安定しているかにみ  
 える切羽が、インパート部の掘さく及び支保工の建込等、  
 時間の経つにつれて弛み、突然崩壊することが度々ある  
 のでコソク点検には一時の油断もできなかった。

掘さくは発破を主として、周辺掘さく面の仕上げをピ  
 ックで行った。ずり出しはRS-95ロッカーショベルを  
 使用、トレンコンベアーでトロに積込んだ。(図-6参  
 照)



(図-6) 断 面 図

5-3 支 保 工

支保工は全周閉合して一体となすが、上半での断面形  
 状は外力に対して弱い形をしているので、リングカット  
 の中核を過ぎたところで、8吋鋼管のインパートスト  
 ラットを挿入した。

上半での建込みは下半の閉合するまでの間に、地山の

押し出しや沈下のため相当の変位があるので、あらかじめ変位を見越した敷巾と高さで建込んだ。下半支保工が取付くまでは毎日測定し、その変位量を知ると共に、掘進するにつれて変化する節理状況による押し出しと沈下の傾向を求めた。また約30基毎に測定枠を決めて、建込み後およそ90日間にわたって変位量測定を行った。

支保工は中詰モルタルをてん充して地圧に対する強度を維持しており、建込み後すみやかにモルタル注入を行う必要があった。支保工はモルタル注入の際、管内の空気抜きと背面の密着上から背面に1.10m間隔で径16mmの穴を開けてあるので、吹付コンクリートで巻いても切羽から2基ぐらいまでは、注入圧（5 kg/cm<sup>2</sup>）によってモルタルが漏出する恐れがあった。また発破による注入コックの破壊でモルタルが流出し、一度モルタルをてん充した支保工は、空気抜き穴及び水抜き穴の塞りで再注入しても充分なてん充が期待できない。これらの理由で、中詰モルタルは切羽建込み支保工から2～3基遅れで注入していた。

モルタルの注入方法及び設備は図-8に示す。ポンプとミキサーはトレンコンペアーに取付け掘さくの進行に伴い移動させた。

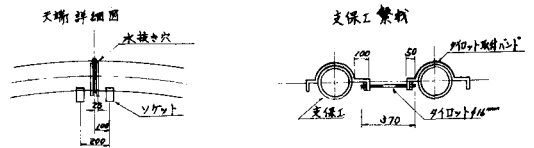
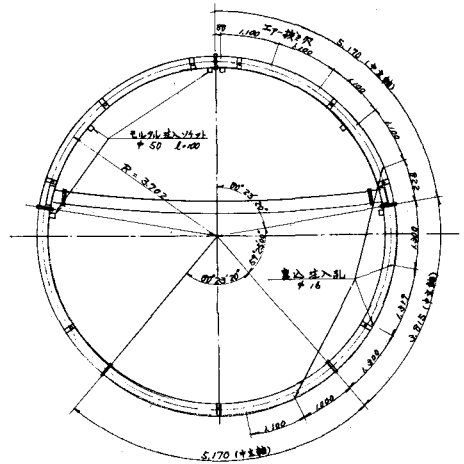


図-7 8吋鋼管支保工図

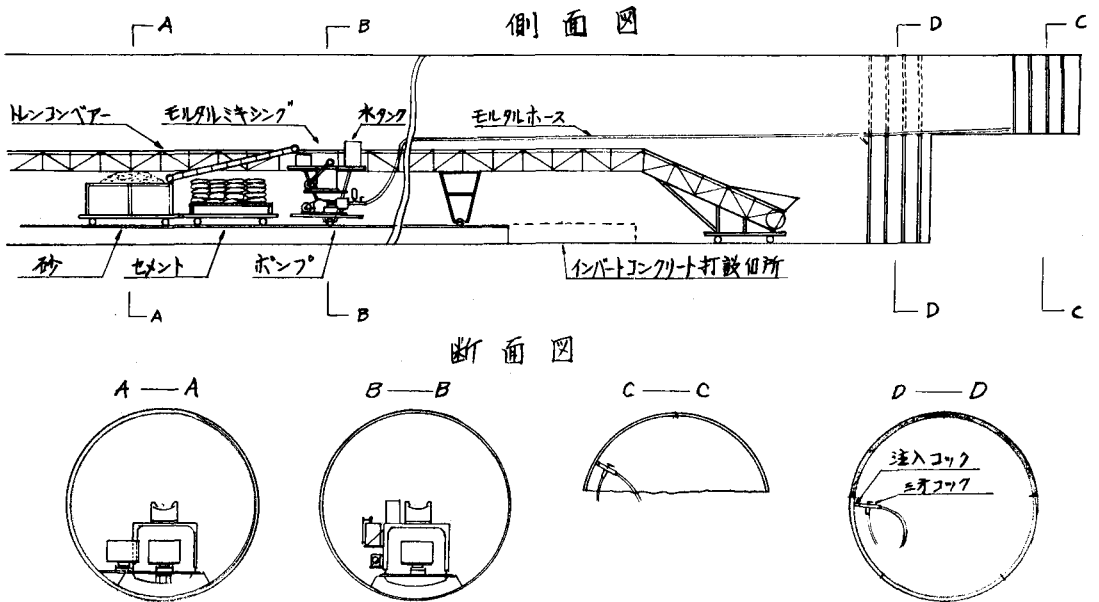


図-8 鋼管支保工中詰モルタル注入

#### 5-4 吹付コンクリート

蛇紋岩帯の地圧は、地山の強度が低いため掘さく後周辺地山内に生ずる附加応力（せん断力）に対して地山が破壊し、内方向に押し出してくるので、支保工建込み後す

みやかにコンクリートを吹付け、地山の押し出しを拘束した。

吹付コンクリート工法は、最近各所で行われてきているが工法の普及度が小さいため技術者が少なく、当現場

に於ても試験坑である程度経験したものの、本トンネルでは大半が未経験者であった。蛇紋岩帯掘き初期の間は作業員の知識不足と技術の未熟で、吹付けが思うにまかせず、技術の取得までは相当の期間を要した。

吹付コンクリートの施工は図-9に示すように、コンクリートを坑外パッチャープラントでドライミキシング

して坑内に運搬し、急結剤を混ぜて吹付機に投入、圧縮空気によって吹付け個所まで鉄管及びゴムホースにて圧送し先端のノズルで水を加え吹付けた。上下半同時に吹付作業が行われることもあるので吹付機は2台設置した。吹付コンクリートの実績は表-4に示す。

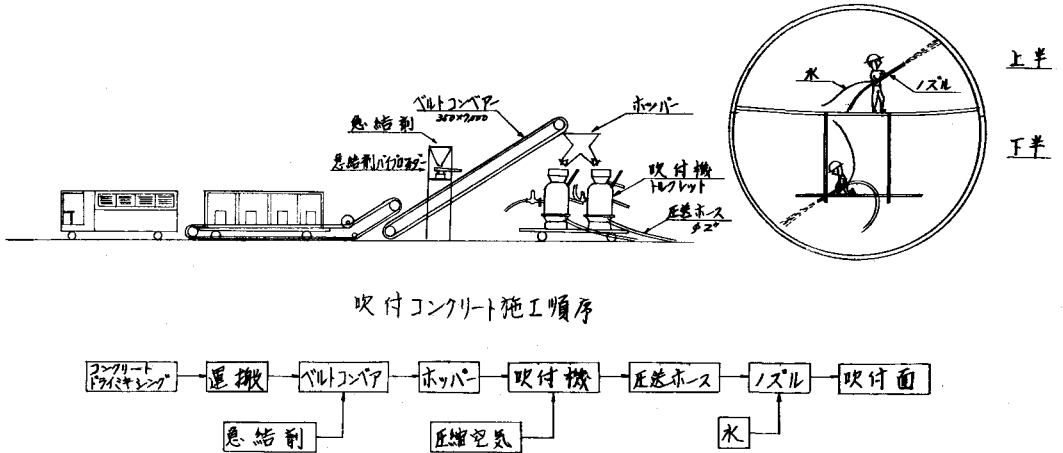


図-9 吹付コンクリート施工図

表-4 吹付コンクリート実績

(一基当たり平均、支保工間隔 0.5m)

設計量 (厚25cm) A (m <sup>2</sup> )	吹付量 B (m <sup>2</sup> )	設計に対する 吹付倍率 B÷A (倍)	吹付厚		吹付厚に対する コンクリート量 8 (m <sup>2</sup> )	上下半平均跳返率 $\frac{B-C}{B} \times 100$ (%)	急結剤 使用量 (%)
			上半 (cm)	下半 (cm)			
2.07	5.39	2.60	44	38	3.95	26.7	4.8

吹付コンクリート施工の要点を、実績により要約してみると大体次のようなことである。

(1) コンクリートの配合について

配合設計は、普通(練り)コンクリートと同様に要求される強度、耐久性、水密性等をもち品質のばらつきの少ないものでなければならない。しかし吹付コンクリートはコンクリート自身の粘性や摩擦力によって密着するものであるから、吹付けの位置(吹付面)の傾斜角度によって配合要素が多少違ってくる。

新登川トンネルの場合は、吹付けの角度が360度とな

るため天端附近の吹付けを主眼とし、吹付け後次の掘きによる発破の振動や衝撃によっても壊れない程度の強度に達するよう配合を決めた。

表-5 吹付コンクリートの標準配合 (1m<sup>2</sup> 当り)

普通セメント C (kg)	水 W (kg)	砂利 最大20mm (kg)	砂 S (kg)	急結剤 (C×3%) (kg)	S/A (%)	W/C (%)
340	約 136	780	1,200	10	60	約 40

## (2) 骨材について

特に細骨材は表面水が多すぎると、吹付機内のコンクリート附着や輸送管内の閉塞、吹付け中はく落等により吹付能率に直接影響を及ぼすので、吹付けに適した値(2~3%)を一定に保つように心掛けねばならない。冬期の骨材暖房はボイラーによるスチームで行うと細骨材の表面水が多くなり上記のようなことで能率が低下するので、重油バーナで圧縮空気を加熱して熱風による暖房を行うと共に骨材を乾燥させた。

## (3) コンクリートの給水加減について

給水の割合は、現在のところノズルマンの感にたよるしか方法がなく、水セメント比を一定に保つことは、かなり難く、また吹付け角度によっては水セメント比を変えた方がよいコンクリートを得られる。給水圧は2kg/cm<sup>2</sup>以上ないとコンクリートとの混合が悪く、吹付けたコンクリートの品質にばらつきを生ずるばかりでなく、跳返りが多くなったり、吹付け中はく落が多くなる。

## (4) 急結剤の添加について

急結剤の添加はコンクリートの吹付け中はく落防止発破による衝撃や振動に耐えるだけの初期強度を出すための最小限の量にとどめることである。急結剤の添加によりコンクリートは急激な凝結作用を起すため、配合にむらがあると強度のばらつきが大きくなり、またはく脱の原因にもなる。現在市販されている急結剤は非常に高価なものであり、吹付コンクリートの材料費の中で急結剤の比率はセメントと同程度か、使用方法によってはそれ以上の費用になる。なお急結剤はQ P -500 とハーデックスを使用した。効力はどちらも大差はなかった。

## (5) ノズルマンの技量について

吹付コンクリート施工の優劣は、ノズルマンの技量如何によって左右されるといっても過言ではない。吹付厚さに対する層状吹付けの程度、吹付角度、ノズルと吹付面の離れ、混合水の割合等によって、コンクリートの品質、吹付能率、仕上げ面の出来ばえ等ノズルマンの技量に大きく影響される。

コンクリートを吹付ける、そのことは非常に簡単であるが、上述のようにノズルマンに要求される技術は非常に大きいので、ノズルマンの選任については、その性格と体力を吟味することが重要である。

## (6) 跳返りについて

跳返りは材料の損失からみると吹付工法の難点であり、その量は吹付コンクリートの20~30%に達し、跳返り減少の問題は今後に残された研究課題である。

跳返りがコンクリートに多く混入すると、ポーラスなコンクリートとなり、強度を低下させる原因ともなるので、混入はできるだけ避けなければならない。

## (7) 施工後のく脱について

支保工と吹付コンクリートで地山の押出しを拘束しても、特に強力な膨脹を現わす箇所は、支保工間のコンクリートを押出すのでコンクリートに亀裂を生じ、その後破壊されコンクリート魂となつてはく脱し、傷害事故を起すことがあった。

この対策として、コンクリートに極く少量の鉄筋を挿入しコンクリートが破壊されても、鉄筋で吊り下げた状態となり魂の自然落下を防止した。

鉄筋の挿入について注意しなければならないことは、鉄筋量を多くして、鉄筋コンクリートとして強度を期待しても吹付けの際、コンクリートの鉄筋に当る率が多くなり、よって跳返り率も増加することになる。この結果コンクリート内に跳返り量を多く巻込み、強度を逆に低下させることになる。

## 6-6 掘さく関係総括

掘さく作業は、せん孔発破、ずり出し、支保工建込み、吹付コンクリートで一つのサイクルを形づくることになる。このほか中詰モルタル及び後述のインパートコンクリートの作業が切羽附近に集中して行われ、いづれも工程上のクリティカルポイントであるため順調な工程を進ちよくさせるには、それぞれの作業の一つでも支障をきたさぬことであり、各設備機械の維持管理は勿論、資材の入荷、作業の打合せ等には特に注意をはらった。しかしながら当該現場の地理的環境から、冬期には積雪や雪崩等により交通がしばしばとどえてコンクリート材料の入荷が中断されることがあった。このため吹付コンクリートが行えず、したがって掘さくも中止しなければならなかった。

## 6-7 内巻コンクリート

内巻コンクリートは、150 H支保工を使用した変状の大きい個所(1,450m 附付)を選んで、コンクリートに作用する応力を確かめるため、先づ31.5mの試験巻を行った。試験巻区間にはφ22mmの鉄筋をダブルに入れ、これに鉄筋計をとりつけてコンクリートを打設し、内部応力を測定した。その結果は、乾燥収縮による応力の範囲内にとどまり、土圧による応力はほとんどないものと推定された。

試験巻の結果から、内巻コンクリートの鉄筋は用心鉄筋程度とし、また吹付コンクリートの変状が小さい区間は無筋として施工した。鋼管支保工の採用により地圧の平衡も早く収まり、内巻コンクリートは掘さくと併行し



表-6

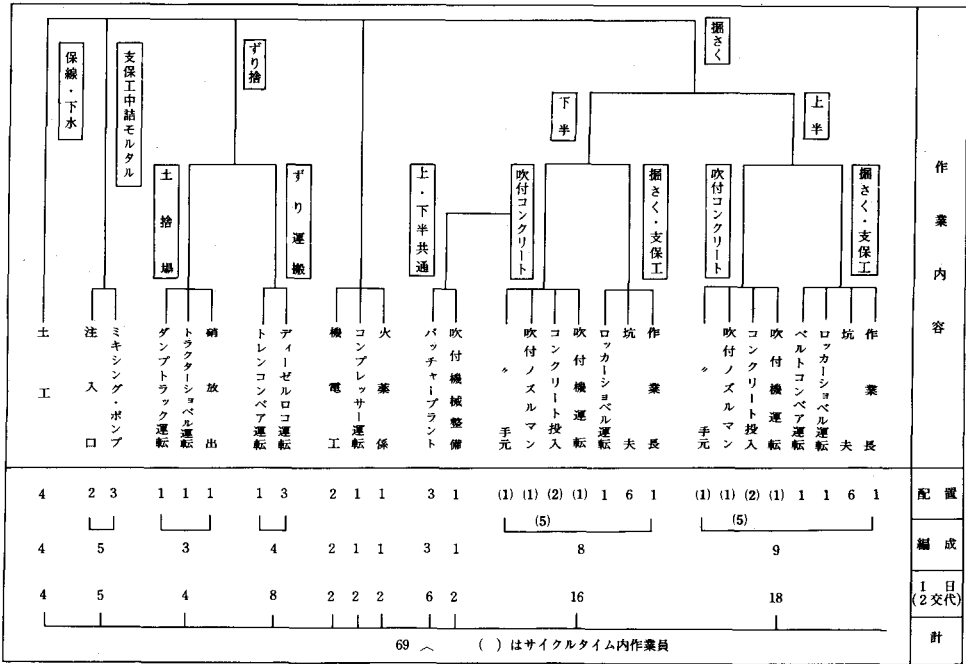


表-7 掘さく及鋼管支保工中詰モルタル標準サイクル  
(1日2交代, 表は1番方を示す)

時刻	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	備考
掘さく・吹付コンクリート関係	入坑及掘さく段取	0:45											
	せん孔・発破		0:45			0:45							
	ずり出し		1:15				2:00						
	支保工			0:45				0:45					支保工 2基
	吹付コンクリート				1:45				1:45				掘さく 1m
	ストラック取付								1:30				
	跡片付									0:30			
	入坑及掘さく段取	0:45											
	せん孔・発破		0:44			0:40							
	ずり出し		2:00				2:00						支保工 2基
鋼管支保工	支保工			0:40				0:40					
	吹付コンクリート				1:30				1:30				掘さく 1m
	ストラット外し								1:30				
	跡片付									0:30			
中詰モルタル	上半注入				1:30								
	下半		2:00										中詰モルタルは昼勤のみ
鋼管支保工	段取及跡片付					ホース水洗			ポンプ整備及材料搬入				支保工 4基

て施行し、インパート部分を先行することにした。

(1) インパートコンクリート

インパートコンクリートは、掘さくを中断して施工することが簡便な方法であるが、工事全体からみると時間と工費で大きな損失であるので、どうしても掘さくと併

行して施工する必要がある。

そこで問題は掘さくを進めながら、インパートコンクリートをどこで打設するかにあった。軌道敷設した個所での施工は高さで車輛の運行の関係で、非常に困難となる。種々検討の結果、図-6のようにトレンコンペアー

を長くして、ずりトロの操作に支障のないようにすることにより、コンベアーの下で施工することが、全体作業の関係でも最も好ましい方法であることがわかった。  
 施工は図-10に示すように、1打設5mとしてコンベ

アーに2打設分の区間を設け、これを利用してスライドセトルをセットした。コンクリートは小型アジテーター (1.8m<sup>2</sup>) で運搬し、シュートによる人力打設を行った。

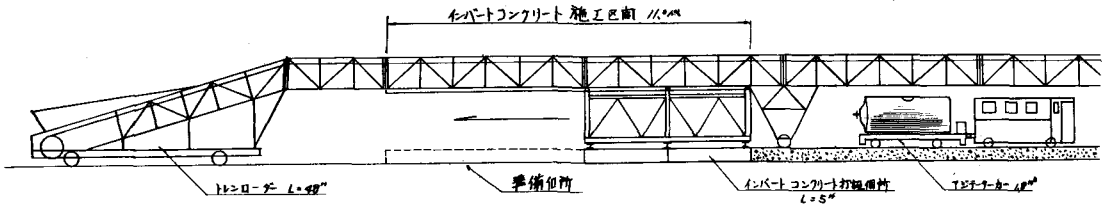


図-10 インパートコンクリート施工図

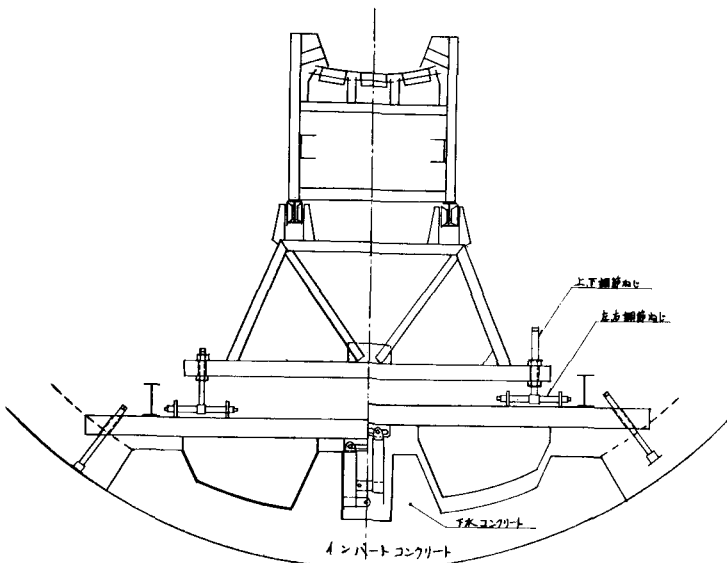
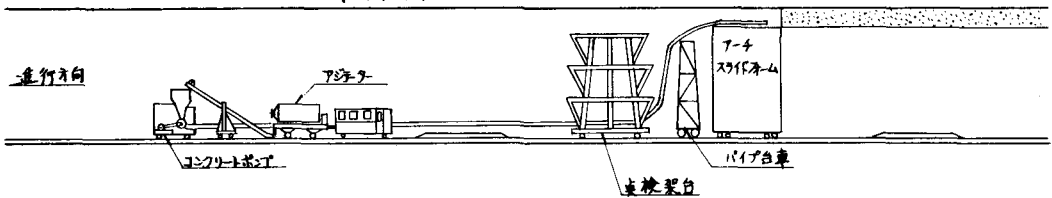


図-11 インパートコンクリート型枠図

側面図



平面図

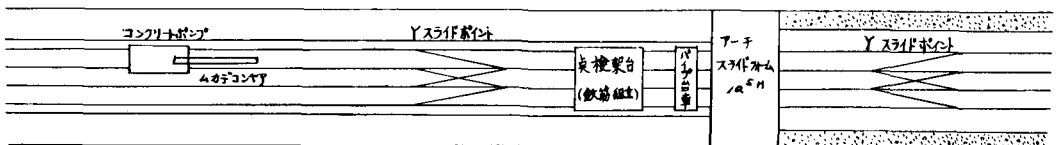


図-12 アーチコンクリート施工図

(2) アーチコンクリート

アーチコンクリートは、図12に示すような一般的な方法で、1打設10.5mのスライドセントルを使用して施工した。クラウン部に生ずる内巻と外巻との空げきは、モルタル注入を行ってん充した。

ルタル注入を行ってん充した。

(3) 内巻コンクリートの配合及び設備等

内巻コンクリートの標準配合及びコンクリート関係の設備は、表-8、表-9に示すとおりである。

表-8 内巻コンクリート標準配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 A E
25	15	2~4	54	37	162	300	725	1,227	1.2

表-9 コンクリート関係設備主要機械 (坑外設備を除く)

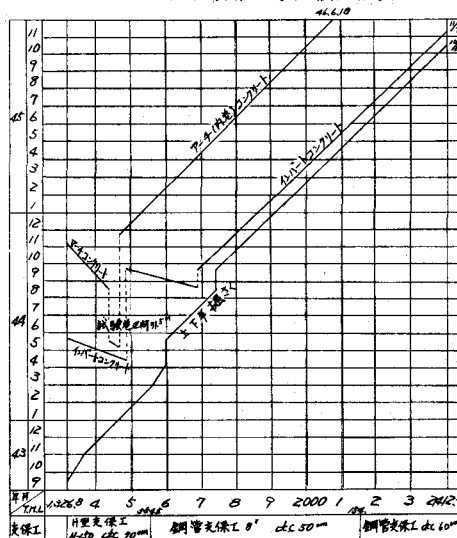
機 械 名	形 式	性 能	単 位	数 量	備 考
コンクリートポンプ	成和 6B02	6吋 10~18m <sup>3</sup> /H	台	1	
ムカデコンベアー	柴田建機 10m	60 m <sup>3</sup> /H	〃	〃	
アジテーターカー	成和	3 m <sup>3</sup>	〃	3	アーチ
〃	〃	1.8 m <sup>3</sup>	〃	2	インバート
バイブレーター	林 HT-200	1 KW	〃	4	
ディーゼルロコ	日熊 UDL-108	8 t	〃	4	アーチ、インバート共同
電動ウィンチ	田部	10 KW	〃	1	アーチセントル移動
セントル	スライド 10.5m		〃	1	アーチ
〃	〃 5m		〃	1	インバート

7. 工 事 工 程

を使用してからは順調な工程であった。

実績工程は表-10に示す。表の示すように鋼管支保工

表-10 蛇紋岩帯工事実績工程表



### 8. 可燃性ガスと換気

安全衛生管理のうちで、新登川トンネルは長大トンネルと特殊な地質の関係から、換気及びメタンガスの検定には特に注意をはらった。

新登川トンネルは、紅葉山線の登川、長和、鬼峠等の各トンネルと同様、鉄道トンネルとしてはまれな可燃性ガス（メタンガス）の発生をみるという問題があった。またトンネル長大化によって、せん孔、ずり積込みの粉じん、発破の後ガス及びディーゼル機関車の排気ガス等による坑内空気の汚染で、強力な換気設備が必要となり種々検討の結果、集中型吸出・吹込併用式による換気を行った。（図-13参照）

トンネルの作業環境は、一般明り作業に比べて相当劣っているが、その原因として空気の汚染、湧水、温度湿度、照明、騒音などがあり、湧水はともかくとして、その他は換気不良による影響が非常に大きいようである。また空気汚染による視界不良は作業能率の低下をまねくことにもなる。

このようにトンネルの長大代にともなう空気の汚染、

有毒ガスによる酸素の欠乏及び可燃性ガスの爆発等、労働安全衛生上の問題はきわめて大きなものである。新登川トンネルの場合、メタンガスの推定発生量、内然機関、坑内作業員等から、その換気量を算出すると200m<sup>3</sup>/分前後の換気が必要であり、また掘さく、吹付コンクリートの粉じん等から300m<sup>3</sup>/分を目標として設備した。

換気は反転型軸流ファン（40HP）に径900mmのビニール風管を取付けて行ったところ、吐出延長を1,200mとしたアトキンソン公式による理論風量は340m<sup>3</sup>/分であるが、同じ長さで実測によると390m<sup>3</sup>/分の換気ができた。

メタンガスの検定は常時行い、切羽天端附近で5%程度検出されたこともあったが、普段は大体0.2~0.5%ぐらいであった。しかし蛇紋岩帯区間ではメタンガスの存在が絶無ということにはななかったので、上半は禁煙とし、機械の修理等でガス切断、溶接などやむを得ない場合は、圧縮空気を吹かしながら完全にメタンガスを一掃して作業を行った。

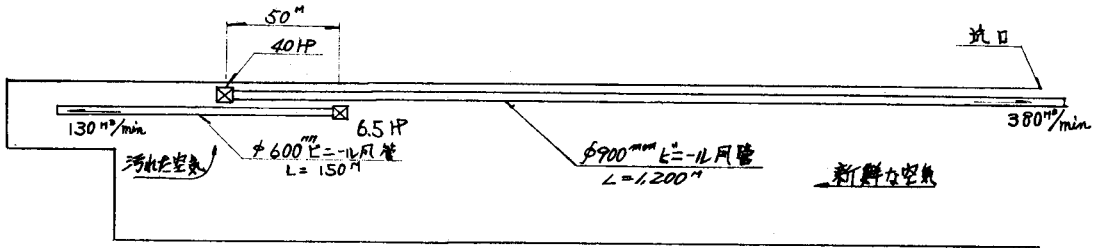


図-13 換気設備

### 9. 各種試験関係

新登川トンネルの施工過程に於て、各種の試験を行ったが、そのうち主なもので、計測支保工による地圧測定、支保工変位量測定、鋼管・中詰モルタル合成柱試験、吹付コンクリート試験等があった。以下その成果について述べる。

#### (1) 計測支保工による地圧測定

No. 809 支保工	 上半建込り18日	 上半建込り38日	 上半建込り68日	 上半建込り88日	 上半建込り118日 下半 26	 上半建込り178日 下半 114	 上半建込り218日 下半 154	 上半建込り358日 下半 294
No. 814 支保工	 上半建込り28日	 上半建込り48日	 上半建込り68日	 上半建込り128日 下半 20	 上半建込り168日 下半 64	 上半建込り218日 下半 114	 上半建込り258日 下半 154	 上半建込り378日 下半 294

図-14 等分布荷重平均土圧

8" 鋼管支保工に作用する合力から鉛直及び水平分力を求め、等分布荷重に換算した結果は図-14に示し、支保工建込みから土圧終息までの経過を図-15、図-16、図-17に示す。

これらの図から土圧の大きさは130~140 t/m<sup>2</sup>に達していることがわかる。

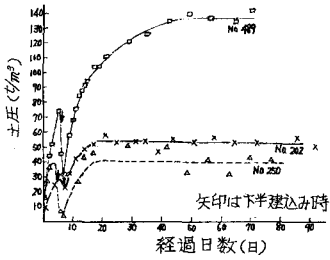


図-15 鉛直平均土圧の経時変化

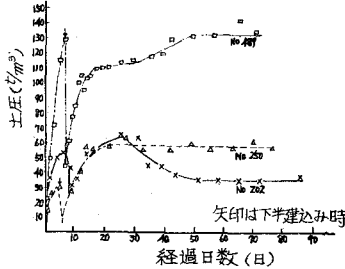


図-16 水平平均土圧の経時変化

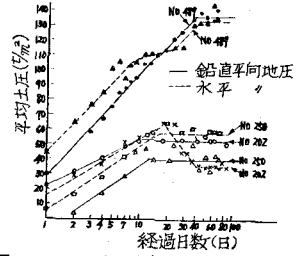


図-17 平均土圧～log Tの関係

(2) 支保工変位量測定

変位量測定は図-18に示した位置で行い、その成果は図-19, 図-20, 図-21に示す通りである。

変形は、上半掘きく後、下半が閉合されるまでほぼ直線的に進行し、その後はや、緩慢となる。鋼管支保工は土圧が平衡するより早く変形はおさまるが、150H支保工は土圧が平衡しても変形はなお進行した。トンネル幅の縮小は土圧に直接影響されH型、鋼管で明らかな変化を示したが、沈下量は地山の支持力に最も大きく支配され両者の差は大した違いはなかった。

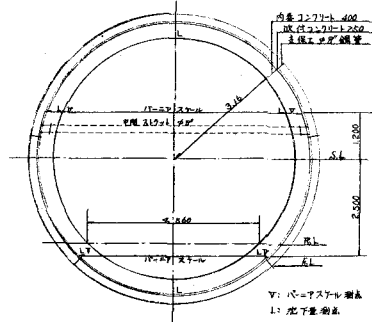


図-18 支保工変位量測定位置

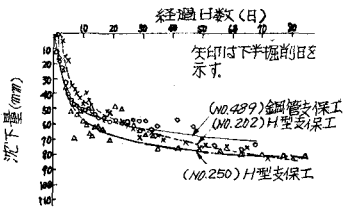


図-19 トンネル天盤の沈下

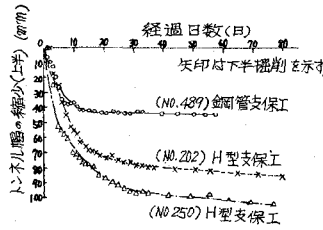


図-20 トンネル幅の縮小(上半)

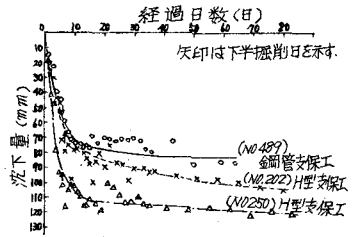


図-21 アーチ脚部の沈下(上手)

(3) 鋼管及び中詰モルタルの合成柱試験

(イ) 中詰モルタルについて

中詰モルタルとして、次の条件を満たすことが要求された。

- (a) 管内に空けきを残さないことで無収縮、ノーブリージングであること。
- (b) トンネル地圧の発生は急速であるので、早強性であること。
- (c) 施工継続時間を通じて確実な施工の出来る流動性(フロー値20秒)を確保すること。

モルタルの配合は上記条件を満たすようブリージング率、流動性、早強性等について各種試験を行い、表-11に示す配合を決めた。

(ロ) モルタルをてん充した鋼管の強度

試験に使用した鋼管は、次の2種類で供試体寸法

は図-22に示し、その成果は図-23, 図-24に示す。

セメント(C)	水(W)	砂(S)	W/C	S/C	ポリスチレン <sub>10</sub>	アルミ粉末	フロ-値
kg	kg	kg	%		kg	kg	sec
835	400	835	48	1	8.3 (C×1%)	0.083 (C×0.01%)	20±1

試験の結果、モルタルを中詰した鋼管柱の圧縮強度はモルタルの圧縮強度と鋼管のみの降伏荷重を単純プラスしたものにほぼ等しいことがわかる。

(3) 吹付コンクリートの試験

吹付コンクリートの試験は、施工したコンクリートをコアカッターで抜き取り、そのコアを供試体とした。試験は単位重量と強度の関係、跳返り混入の割合を知ることが目的とした。吹付コンクリートは吹付位置によ

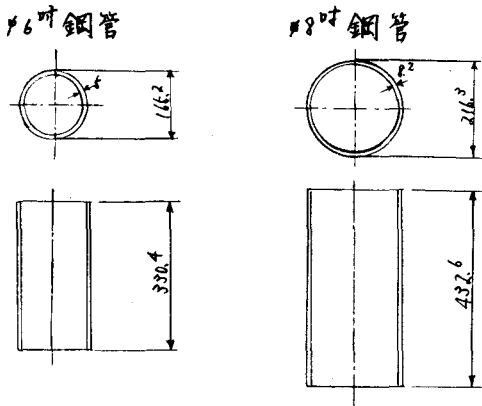


図-22 鋼管管 供 試 体

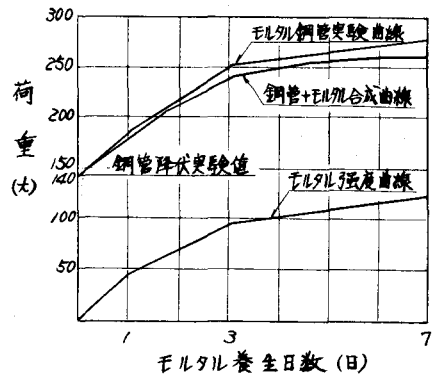


図-24 実験降伏値と合成降伏値

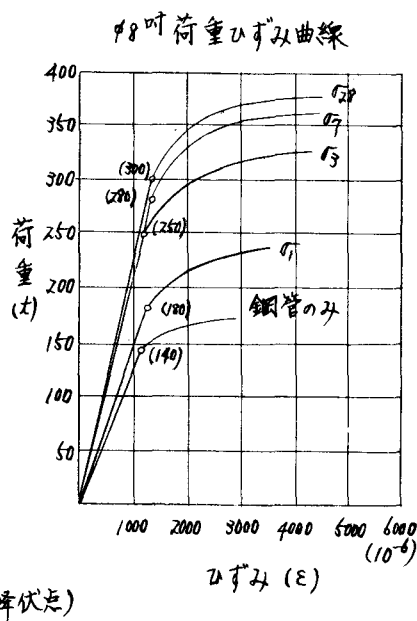
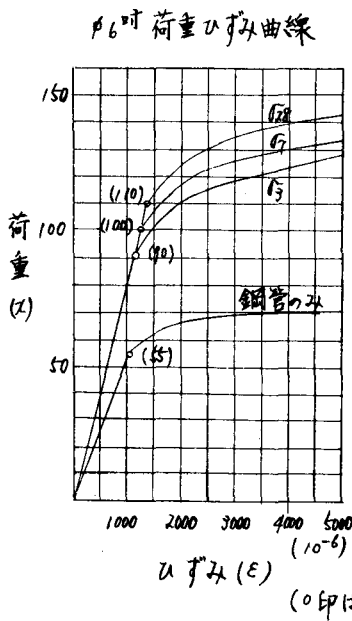


図-23 鋼管の中空及び中詰モルタルの圧縮試験

表-12 H型鋼，鋼管支保工の諸元

支保工の種類	寸 法	重量 kg/m	鋼材断面 係数 cm <sup>2</sup> W <sub>x</sub> , W <sub>y</sub>	モル タル	破 壊	
					荷 重 ton	重 心 σ
H 型 鋼	150×150 mm	31.5	218 75	—	98	
H 型 鋼	200×200 mm	49.9	472 160	—	150	
鋼 管	径 6 吋 (φ 165.2mm) 厚 5.0mm	19.8	97.8	中 空	55	
				注 入	110	σ 28
鋼 管	径 8 吋 (φ 216.3mm) 厚 8.2mm	42.1	269	中 空	140	
				注 入	300	σ 28

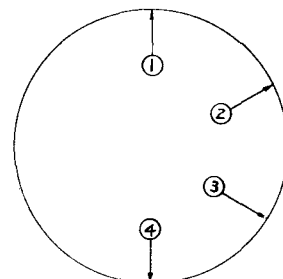


図-25 供試体採集位置図

て強度の差があると思われるので、採集位置を 4ヶ所 (図-25参照) に分けて、それぞれ試験を行った。

供試体は径10cmとし、長さは地山まで抜取ったものを 10cm以上のものは圧縮強度、10cm以下に切断されたものは引張試験を行った。

試験成果は表-13に総括の平均値を示す。

表-13 強度試験総括表

	圧縮強度			引張強度			単位体積重量		
	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
A	228	74.13	32.51	23.8	6.67	28.03	2.26	0.0794	3.51
B	208	71.75	34.50	23.7	5.74	24.20	2.32	0.0734	3.16
C	220	78.42	35.65	21.4	4.86	22.73	2.32	0.0743	3.20
D	212	86.65	40.87	23.8	6.76	28.42	2.32	0.0812	3.50
全体	217	95.89	44.19	23.5	6.17	26.26	2.31	0.0770	3.33

試験の結果から、次のようなことが得られた。

イ) 圧縮強度、引張強度とも材令との関係は、20日以後についてはあまり認められない。

ロ) 採集位置による強度の差異は明瞭でない。

ハ) 圧縮強度は平均220kg/cm<sup>2</sup>あり、引張強度は平均24kg/cm<sup>2</sup>で圧縮強度の約10分の1である。

ニ) 強度値のばらつきが著しく、採集位置による数値のばらつきは明瞭でない。

以上のことから吹付コンクリートは、ノズルマンの技量、跳返りの混入等で、その品質管理が非常にむづかしく、均一な強度が期待できない。しかし吹付コンクリート工法の特長は強度に期待することよりも、掘さく面の凹凸による地圧の集中応力を分散し、入念に施工し吹付面を平に仕上げることによって地山と一体となし、アーチアクションとして地山強度の増加を目標にした方が効果があると思われる。

む す び

以上新登川トンネルの強大な膨脹性地圧を有する蛇紋岩帯区間の施工概要について述べたが、これまでの支保工の概念を大きく飛躍した鋼管支保工と吹付コンクリ

ートの合成支保工によって、強大な地圧を克服し、この難工事を完遂することができた。

またこの工事の施工にあたって、日本鉄道建設公団をはじめ関係各位の懇切なる御指導と御助力にたいし深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 土木学会第5回トンネル工学シンポジウム  
『紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工と膨脹土圧の測定結果について』  
足立貞彦・重松 治・水出康雄
- 2) 鉄道公団第5回技術研究会  
『膨脹性地圧のあるトンネルの地圧測定結果について』 谷 健史
- 3) 鉄道公団第5回技術研究会  
『モルタルを中詰した鋼管支保工の強度について』  
永井宏生
- 4) 鉄道公団技術研究会  
『紅葉山線・鬼峠他2ずい道の換気設備の改善計画画について』 工藤智明