

新清水トンネルの工事計画と技術上の問題点

齊 藤 徹*
野 沢 太 三**

1. まえがき

上越線新前橋・宮内間 155.4 km は、表日本と裏日本を結ぶ重要幹線であるとともに、沿線には上信越国立公園、温泉、スキー場など多くの観光地を有し、旅客貨物の増加はいちじるしいものがある。しかもこれまで単線であって、輸送力は 図-1 に示すようにその限度に達し、増加する輸送要請に応じ切れない状況である。

国鉄ではこれに対処するため、昭和 36 年から始まった第 2 次 5 年計画の一環として、全線複線化の計画をたて、すでに 5 駅間 25 km を複線として使用開始し、10 駅間 58.6 km を目下工事中である。この工事は、現在線と、利根川、魚野川などの河川、17号国道や県道などにはさまれ、きわめて制約の多い地形のもとで設計、施工が行なわれ、難工事の連続であった。中でも 9 月 20 日から着工した新清水トンネルは、在来の清水トンネルと並んで、上越国境に横たわる谷川連峯を貫き、延長 13.490 km におよぶ長大トンネルで、この掘削工事は、上越線線増工の最大の難関となるものである。工期は

4 年、総工費は 57 億円におよぶ。

2. 地形と地質

(1) 地 形

上越線は利根川、魚野川の刻んだ河岸段立に沿ってさかのぼり、上信越国境にそびえる三国山脈の一部を形成する谷川岳、一の倉岳、茂倉岳の直下を貫いている。

この山脈は日本海側と、太平洋側との分水界をなしており、完全な壮年期地形となっている。加えて豪雪によるなだれで岩はただは磨かれ、清水トンネル上部の谷川岳東面は 1000 m におよぶ断崖、絶壁が連り、わが国でも有数の岩場を形成している。トンネル上部のかぶり、一の倉から茂倉にかけて最大 1250 m におよび、この付近のトンネル掘削にあたり、岩はね現象 (Bergschlage) が発生した。

(2) 地 質

この付近の地質は、現清水トンネルを掘削した当時、豊田英義博士が行なった地質調査が最もくわしく、最近では新井房夫博士の調査があり、独自の解釈を打出して

おられる。これに加えて、今回信濃川工事局では、トンネル予定線付近の地質踏査、弾性波調査、ボーリングなどの諸調査を行ない、万全を期した。

現トンネルと並行する区間については工事記録により、詳細な地質、断層、湧水などのデータが得られたので、今回の調査は主として、湯檢曾川の右岸に沿い、湯檢曾から土合までの区間に集中した。

これらの資料を総合して作製した地質図を図-2 に示す。トンネル付近の地質は主として、石英閃緑岩とその関係岩よりなり、これらは御坂層として知られた第三紀層を貫いて、現出したものと考えられている (豊田

図-1 線路容量と列車回数

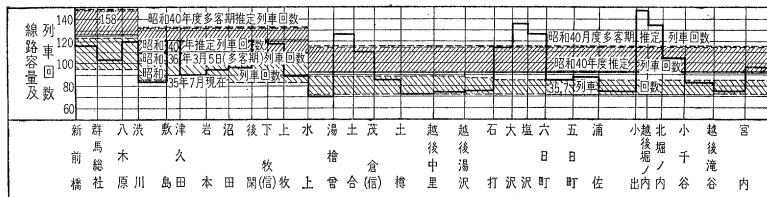
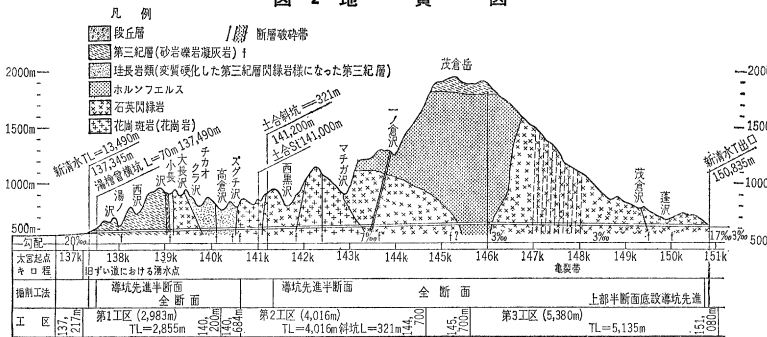


図-2 地 質 図



* 正員 国鉄信濃川工事局次長

** 正員 国鉄信濃川工事局土樽工事区長

説)。

これらの深成岩の間にカコウ斑岩、粗粒アブライトの侵入があり、トンネル中央部には、粗粒アブライトの岩脈をともなうホルンフェルスが現われる。

湯桧曽方坑口から約 150 m は崖錐の中をとるが、ほかはすべて火成岩、変成岩よりなり、わが国でも屈指の堅岩トンネルである。ボーリングで採取した資料の物理試験結果を表-1 に示す。

表-1 岩石の物理的性質

岩石名	採取地	比重	吸水率	硬度	弾性波速度	圧縮強度	備考
			%		m/sec	t/cm ²	
珪化細粒疎岩	No. 46 ボーリングコア	2.58	1.1	—	5 170 (5 170)	1.38 (0.83)	
石英珪岩	No. 48 ボーリングコア	2.58	0.8	—	5 060 (5 250)	1.88 (1.88)	鉍化し、黄鉄鉍の微細な結晶が散点している。
石英閃緑岩	掘削ずり	—	0.48	19.23	4 430	1.30	
〃	No. 49 ボーリングコア	2.65	0.8	—	5 000 (5 500)	2.02 (1.0)	鉍化受ける。
〃	No. 50 ボーリングコア	2.67	0.4	—	5 000 (5 600)	2.32 (1.05)	
ホルンフェルス	掘削ずり	—	0.29	19.39	5 250	2.82	
〃	〃	2.82	0.3	—	3 500 (3 980)	1.44 (1.93)	高度風化のためか?

注：() は含水飽和試料における試験値、値は3個の平均値をとったもの

(3) 断層と湧水

トンネルに関係する断層は、湯桧曽・土合間では小長沢～赤沢、小長沢～大長沢間に大きな断層があり、走向はN20Eが卓越している。そのほか高倉沢、ズブチ沢、現トンネル坑口からSW方向に走るものなどがある。

土合・土樽間については、現トンネルに現われた断層は大部分新トンネルにも現われるものと予想される。おもなものとしては、西黒沢の下ならびに一の倉沢の下にN15Wの走向をもった断層があり、それぞれ、3.4 m³/min、10 m³/min の湧水があった。

土樽方には、茂倉谷の奥すなわち、土合口より5.5～6.5 kmの間は節理がいちじるしく、目に粘土層が発達し、いたるところから少量の湧水があった。茂倉沢、蓬沢の横断部付近は、破碎帯が現われ、トンネルに沿った断層面も現われて、工事が難行した記録がある。

建設当時の湧水量は、土合口で最大 13.3 m³/min、土樽口で 18.3 m³/min に達したことがあり、現在では季節により変動があるが、土合口約 15 m³/min、土樽口 9 m³/min くらいが最高である。

なお今回生じた特殊な問題として、新ルートが湯桧曽温泉の泉源地付近を通過するため、温

泉調査を行ない、ルート選定の資料とした。これらの内容は、泉源の位置と地形、地質、湧出量、温度、泉質、水位などを測定し、これと、河川水位、気圧、雨量、汲み上げなどの変動要因の相関を検討し、トンネル掘削による影響の有無を知る手がかりとしたものである。

3. 路線計画

(1) ルート選定

上越線は、新前橋・水上間および石打・宮内間が標準勾配 10% で、水上・石打間だけが 20% になっており、補助機関車がついている。

今回複線化するに先立ち、水上・石打間の標準勾配をいかにすべきか、国鉄本社建設局、信濃川工事局が中心となって研究を重ねた。

その結果、線増方式としては大別して、水上・石打間の標準勾配を 10% にする案、20% とする案および 35% とする案にしぼり、比較検討した。これらの案の線路略図と得失を図-3 と表-2 に示す。

このうち 10% 案は延長 22.3 km の複線トンネルをふくみ、画期的な勾配改良となるので、将来の列車運転には最良であるが、4 駅が廃止になること、工費が他案の倍かかること、工期が長く、さしせまった輸送要請に応じられないことなどの理由でまず見送られた。20% の腹付案もループ区間の施工が困難なこと、工費が割高につくにもかかわらず運転上の利得が少ないことから対象からはずれた。

図-3 ルート選定

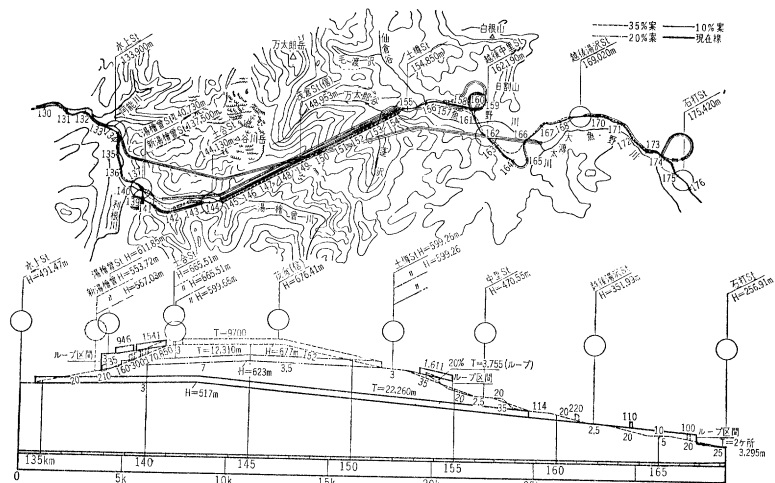


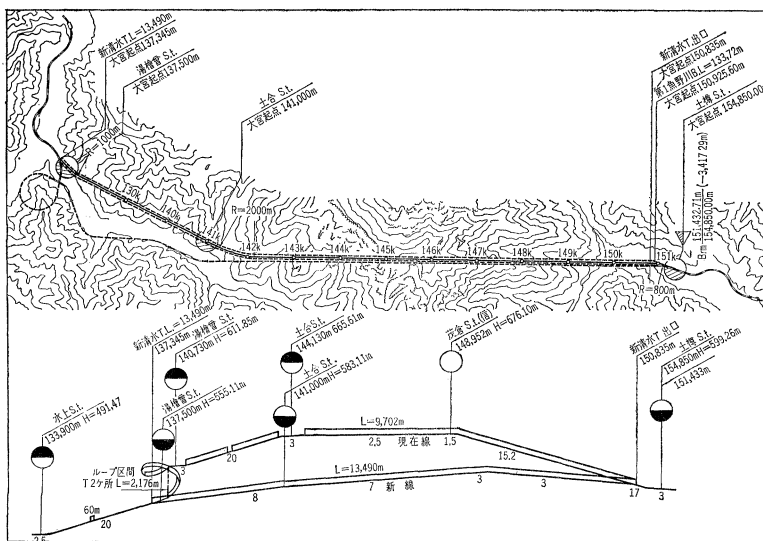
表-2 水上・石打間各案比較表

ルート	現在線 (参考)	10‰ 案	20‰ 腹付案	20‰ 12 km トンネル案	35‰ 案
延 長	41.5 km	36.0 km	41.3 km	38.0 km	34.5 km
最高点(標高)	677 m	517 m	677 m	623 m	677 m
標準勾配	20‰	10‰	20‰	20‰	35‰
トンネル					
総延長	17.6 km(7カ所)	25.7 km(4カ所)	18.4 km(7カ所)	16.3 km(3カ所)	11.6 km(7カ所)
最長	9.7 km	22.3 km(複線)	9.7 km(単線)	12.3 km(単線)	9.7 km(単線)
橋梁					
総延長	1.243 km	137 m(2カ所)	1.465 km(12カ所)	1.008 km(8カ所)	1.159 km(11カ所)
(30 m 以上)	(12カ所)				
最長	220 m	90 m	237 m	237 m	237 m
停車場		湯松曾, 土合, 土樽, 中里を廃止	現在通り	湯松曾をループの手前に新設する土合駅をトンネル内に新設する。各片線使用	湯樽曾駅をループの手前に新設する。土合, 土樽は右側通行
投資額		164 億円(複線)	90.7 億円(単線)	84.3 億円(単線)	84.2 億円(単線) 建設費 75.3 億円 車両費 8.7 億円 回生設備 0.2 億円
線増上の課題点		22 km トンネル完成まで(工期約 6~7 年)水上・湯沢間の線路容量は現状のままとなる(区間長 33.1 km)。	各駅間をつぎつぎと複線使用開始できる(最長区間土合・土樽間 10.7 km)。	水上・湯松曾間は部分線増できる。湯松曾・土樽間は 12 km トンネル完了まで複線化できない(最長区間湯松曾・土樽間 14.1 km)	各駅間をつぎつぎと複線使用開始できる(最長区間土合・土樽間 10.7 km)。

また 35% 案は急勾配のため、運転保安上問題が残る、将来の経営費、車両費等が増になり、建設費が少なくても結局不利になることがわかり、20% の 12 km トンネル案が残った。信濃川工事局では、この案に対してさらに地質調査の資料を加え、選定を研究した結果、13.490 km の新清水トンネルをふくむルートが決定した。

このルートは湯松曾方でループを用いず、トンネルに入り、湯松曾、土合駅の下りホームを地下に新設し、土樽では現在線とほぼ並行になり、土樽駅へ取付くもので

図-4 新ルートと現在線



ある。

これを現在線と比較してみると図-4、表-2 のようになる。トンネルを約 3.8 km 長大化することにより、最高点を約 60 m 下げることが可能になり、結果として線路延長を 3.4 km 短縮することができた。

新清水トンネル内部の曲線は $R=1000\text{ m}$ 以上になっており、勾配も 8% 以下であるため、制限速度は最高 100 km/h まで許容され、在来線より 10 km/h 高くなる。これらの諸条件を列車の運転時分に換算すると約 10 分の節約が可能である。

(2) トンネル縦断勾配の決定

トンネルの縦断勾配は、列車運転、保線上の理由からなるべく小さくしたいが、トンネル施工上 3% 以下にはすると排水が困難になる。排水勾配と流量の関係は Manning の平均流速公式により計算すると図-5 のようになる。

また最高点が工区境にくる必要があるため、図-4 に示すように、8%、7% および 3% の拜み勾配とした。

(3) 運転設備

新清水トンネルは現在線の水

図-5 正方形断面における勾配と所要辺長の関係
(流量・粗度係数をパラメータとする)

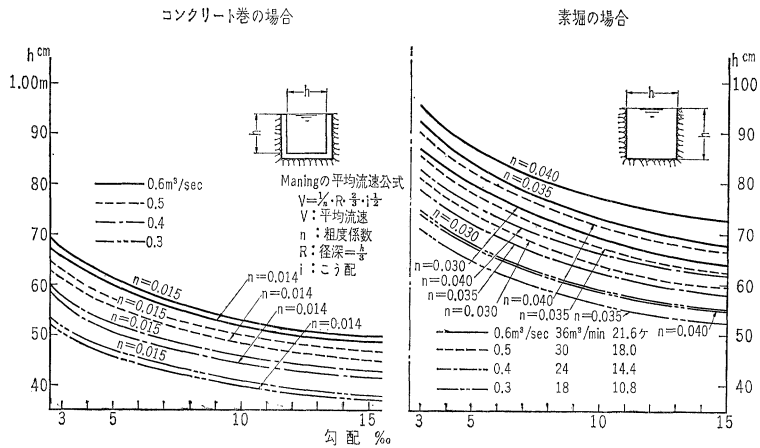
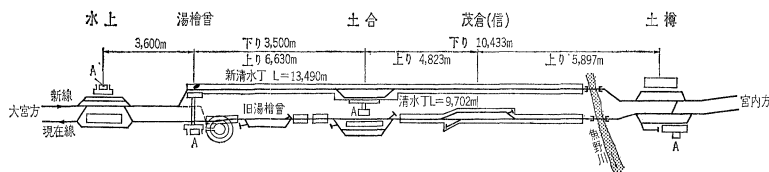


図-6 水上・土樽間新旧線路略図



上・石打間のうち、水上・土樽間の増設線となるもので、単線であるが、土合には追越し設備として、待避線を二線設け、有効長 480 m を確保する。通過列車の速度維持を考慮して通過線は直線とした。

今回も新線の茂倉付近に行違い設備を設け、水上・土樽間を CTC とし、逆線運転を行なう計画が検討されたが、その必要性が薄いと見られ、茂倉信号場の設置は見送られた。線路略図を図-6 に示す。

4. 設計概要

(1) トンネル標準断面

トンネルの標準断面は、単線 1 号型を基本とし、排水、大型機械による施工の必要および保線上の要請などから側壁を直とした。

コンクリートの巻厚は、坑口部分を除いて 30 cm とし、支保工のクラウンはポリケン型にしてコンクリートポンプによる施工を容易にし、覆工裏に空げきが発生するのを極力防止することにした。

地質が変化して支保工を必要とする場合は、H 型鋼による 2 ピースのアーチ支保工 (125×125×6.5×9 mm 程度) を主体として山留めする。この場合、覆工の巻厚は原則として変えずに、支保工のピッチをかえて地質の変化に対応する予定でピッチは 150 cm, 120 cm, 90 cm, 60 cm を適宜選択する。

支保工はこのほか、はだ落ち防止の意味でロックボルトとワイヤスの組み合わせも考慮しているが、掘削面

の状況を見てから判断する予定である。

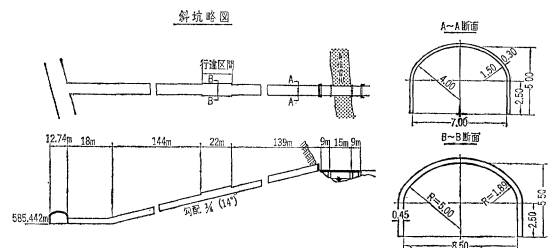
(2) 斜坑、横坑の勾配と断面

湯槽と土合に設けられる横坑、斜坑の勾配と断面は停車場設備として要求される一面と、施工上の必要性からのおおの独立に設計され、その大きい方で決まる。

斜坑の勾配はざり出しベルトコンベヤを用いる可能性を考慮して約 14°(1/4) と定めた。将来は階段を原則とするが、機械設備を設ける場合もこの勾配で可能である。斜坑の断面は停車場設備としての必要性和、スキップカーの大きさ、ざり出し線、材料線、人道を分離し、独立に運用できるようにするため図-7 に示すように幅員

7 m、内空約 31 m² としたが、これで必要十分であると考える。

図-7 斜坑設計図



湯槽横坑の勾配は 1/16 程度で斜路となり、歩道としては支障ないが、機関車の能力を越えないよう配慮した。横坑の断面は湯槽駅が土合ほどの集中的な乗降客が予想されないため幅員 5 m、内空約 18 m² とした。この横坑は坑外に良い立地がないため、施工用としてはコンクリート、材料の搬入および人道として使用し、ざり出しは分離して、別に斜坑を掘削し、専用の運搬道路により、土捨場まで運ぶ。

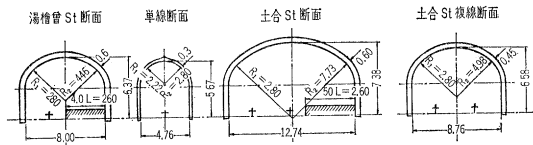
(3) 湯槽・土合駅の断面

湯槽駅は現在ループの上であり、今回上下線が分離するので駅をループの下に移し、4×260 m の下りホームを地中に新設し、トンネル断面はほぼ複線断面と同じ形とした。駅本屋および上りホームとは地下道により連絡する。

土合の下りホームも地下に入り、現在線と約 400 m 離

れ、80 m あまりの高低差がつく。ホームは季節的に集中する登山、スキー客に備えて 5×260 m とし、長さを 300 m まで延伸できるように断面を考慮してある。

図-8 トンネル断面設計図



土合駅は、列車の追越し設備を設けるためにトンネル断面は複線型となり、これにホームの空間が加わって、図-8 に示すような大断面が必要である。土合地下駅のホームの位置は、片ホーム、相対ホームおよび島ホームの 3 種類が考えられるが、表-3 のような諸点を比較した上、工費最少の片ホーム案を採用した。

表-3 ホーム形式比較

形 式	片 ホーム	相 対 式	島 式
ホ ー ム 効 率	1 線	2 線 (一面は利用少)	2 線
停 客 の 行 違	不 可	可	可
通 過 列 車 に 対 す る 危 険	な し	な し	あ り
保 線 上 の ス ペ ー ス	小	中	大
旅 客 連 絡 設 備	最 小	要 跨 線 通 路	要 跨 線 通 路
掘 削 量	46 769 m ³	52 115 m ³ (+4 346)	60 290 m ³ (+13 521)
コ ン ク リ ー ト	6 310 m ³	8 140 m ³ (+1 830)	7 138 m ³ (+828)
ホ ー ム 面 積	260×5	260×5 260×3	260×5
工 費 差 額	—	48 600 000円	81 670 000円

(4) 排水路と道床コンクリート

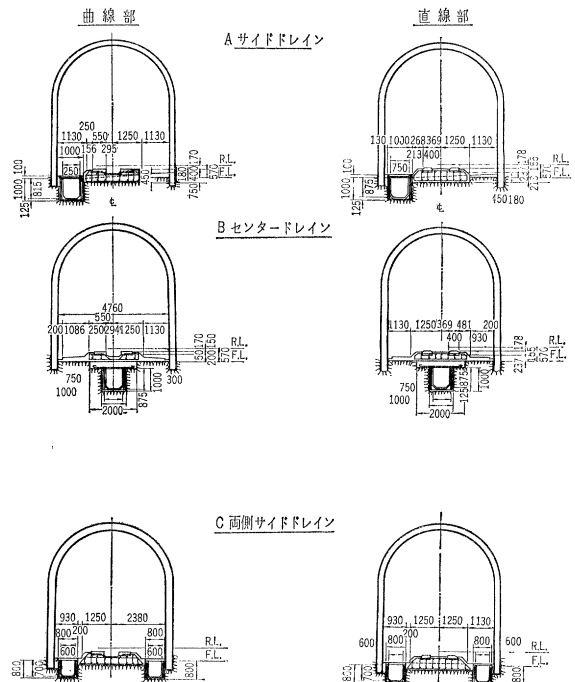
軌道構造は入口と土合駅のポイント区間を除いて道床コンクリートに直結し、ロングレールとする。

排水路の設計は、掘削と覆工の施工に重要な影響を与え、また、道床コンクリートの設計と施工に決定的な条件となる。

最近の排水路の設計傾向として、湧水を覆工内空に導かず、覆工の裏をまわし、インパットまたは路盤コンクリートの下に有孔パイプを入れて排水し、坑内を乾いた状態に保ち、保線を有利にしようとする方法がある。この方法の長所は掘削時のジャンボー線、トロ線の配置に便利なこと、覆工のスチールホームの中をトロが複線で通れること、路盤コンクリートを打つと路面が乾き、道床コンクリートの施工程度が良くなることである。その反面、排水路自身の保守がむずかしく、湧水量が多い時はパイプの径が太くなり、道床コンクリートの設計に問題が生じてくる。新清水トンネルのような長大トンネルの場合で予想以上の湧水があると、この方式では別に水抜坑が必要になり、工期、工費ともいちじるしい変動を生ずるおそれがある。

側溝方式の場合は、断面に余裕をとれること、万一の

図-9 排水溝・道床コンクリート断面図



各案断面比較

種 別	掘 削			コ ン ク リ ー ト			
	踏 ば ん	下 水	合 計	踏 ば ん	道 床	下 水	下 水 量
片側下水	0.533m ²	1.052m ²	1.585m ²	0.533m ²	1.027m ²	0.412m ²	0.110m ²
中央下水	0.600	1.000	1.600	0.600	1.292	0.360	—
両側下水	0.618	1.404	2.022	0.618	0.904	0.606	0.120
							2.248

場合は両側に側溝を設けて相当量の水を流せること、開きよにできるため保守が容易であることなどの点が有利である。

新清水トンネルの排水溝の設計は以上の問題点と、北陸トンネルに採用した道床コンクリートの設計が好成绩を得ていることを考慮して、施工上の便宜を犠牲にし、図-9 A のように片側に集中した側溝とした。

比較のため検討したセンタードレインとサイドドレインの図を参考にかけた。

5. 施工計画

(1) 工区割と工事工程

新清水トンネルは、湯掛曾、土合、土樽の 3 カ所から施工できる。このうち湯掛曾・土合間を第 1 工区、土合・茂倉間を第 2 工区、土樽・茂倉間を第 3 工区とし、1,2 工区の境には約 500 m、2,3 工区の境には 1 km の未契約区間を残した。

第 1 工区 2.855 km は、湯掛曾の停車場予定地から施工し、連絡用の横坑を利用して資材の搬入、労務者の出入排水などを行なう。

第2工区 4.016 km は土合駅の連絡用斜坑を施工用の斜坑として利用でき、坑外設備は土合駅前の広場に設置する。

第3工区 5.155 km は土樽駅から魚野川橋梁を渡り、現清水トンネルの坑口より約 50 m 上流側の坑口から施工し、坑外設備は魚野川右岸の土捨場跡に行なう。

これにもとづいて計画した工事工程は図-10 のようになる。ここで、1, 2 工区の境に約 500 m の未契約区間を残したのは、1 工区が地質不良、湧水などの理由で進行が予定より遅れた場合に、2 工区側から突込みで施工し、2 工区の途中にある 143.550~0.660 km 付近で予想される大湧水を自然流下で処理するためである。

(2) 掘削

掘削は、坑口付近と駅区間を除き、全断面工法によるものとし、平均進行は前記のとおりである。

削岩はレッグハンマーなどの軽量削岩機を主体としたスウェーデン工法によるか、ヘビードリフターを用いるアメリカ方式とするか大いに議論のあるところである。この利害得失は定性的面と経済面につき比較検討した結果表-4 に示すとおりとなり、たとえば設備費が多少大きくなっても、作業の高効率化を計れば、ヘビードリフター方式が有利であると判断し、これによって掘削工法を計画した。

せん孔は11~13ブームの3デッキドリルジャンボに、ASD 35 D, TY 150 B クラスのヘビードリフターを搭載して行なう。孔数は90孔前後、孔深は1.5~3 m、

表-4 削岩方式の比較

種別	レッグハンマー	ヘビードリフター (ブーム付)
設備費	少	大
労働者の疲労のみ下り	大	少
能率	少	大
実績	10~15 m/日	18~30 m/日

サイクルは1日3~4サイクルとする。

ダイナマイトはあとガス改良の覆系は主体とし、段発電気雷管を用いる。

換気は毎分 300 m³ 以上を期し、換気時間の短縮と、労働条件の改善をはかった。

ずり積みにはコンウェイ 100 型電気ショベルと 10 t バッテリー機関車を貸与し、高能率化を期している。

ずり捨場は、1, 2 工区がともに湯楡首川の河川敷、3 工区は魚野川の河川敷に指定し、流水に支障ないように配慮し、各工区ともダンプカーに積みかえて運搬する計画である。3 工区においてはバーンカット工法による全断面掘削を示方し、高速掘進の条件でこの工法がまだ鉄道トンネル(断面約 30 m²)で定式化されていないので、今回その成否を問う予定である。国鉄では神岡線の直轄工事で試験的に試みているが、まだ十分といえないので、当時購入した DH 143 大型削岩機を貸与し、本工法の確立をはかる。

土合、土樽はともに豪雪地帯であり、なだれを避けるため諸建物の位置選定には格段の配慮を要した。

(3) 覆工

覆工にはコンクリートポンプを用い、ノンテレスコピックスチールホームにより順次打設する。

ポンプは1工区は石川島 20 A クラスを考え、2, 3 工区はレックス 200 D を貸与する。スチールホームは 15 m 以上の長さを考え、打設速度の向上を目指している。

コンクリート用骨材は、現場でずりを砕いて製造する。クラッシングプラントは、碎石の形状によるセメント使用量の増を極力抑える意味でインペラブレーカを用いることを示方した。

分散剤としてはポゾリス No. 8 と同等以上のものを入れ、フライアッシュは 20% 考慮したが、混入率は現場でさらに検討したい。

コンクリートの標準配合は表-5 のとおりとする。

バッチャープラントは管理を厳正に

図-10 工事工程図

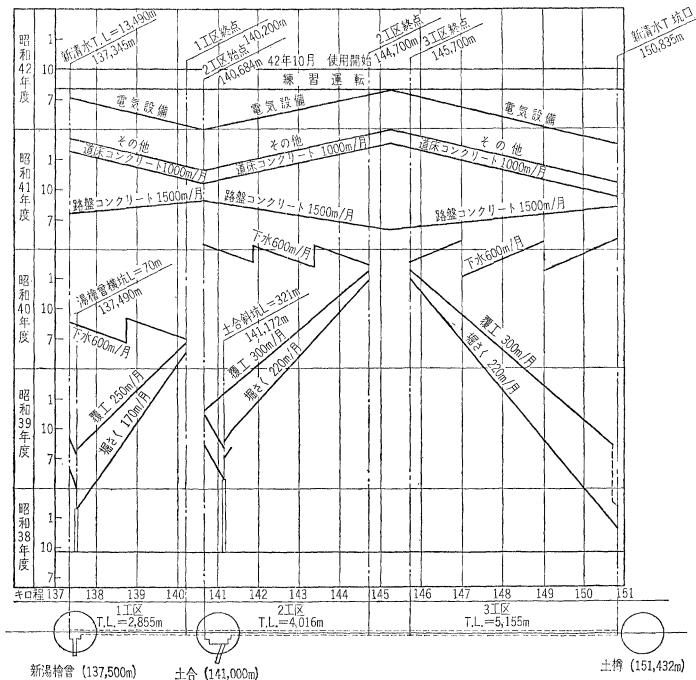


表-5 標準配合

コンクリートの種類	覆工コンクリート
粗骨材の最大寸法 (mm)	50
スランプの範囲 (cm)	13~17
空気量の範囲 (%)	4
単位水量 (kg)	140
単位セメント量 (kg)	224
単位フライアッシュ量 (kg)	56
w/c+F (%)	50
細骨材率 (%)	40

し、要員の不足を補うため、全自動式のプラントを示方し、コンクリート品質の向上を期した。

覆工の防水処理については、軌道、電車線などの保守上きわめて重大な問題であるが、従来多くの方法が試みられながら決定的方法が見当たらない現状があるので、ジョイントリボン、防水被膜、水抜孔などの対策を掘削の状況により適用してゆく予定である。

道床コンクリートの施工については、上線、吊金具、コンクリートジャンパーなどの組み合わせが考えられるが、詳細な検討は今後にゆずる。

6. 技術上の問題点

(1) 北陸トンネルと新清水トンネル

去る37年6月10日開通した北陸トンネルと、この新清水トンネルとは、その長さ、工事の意義においても最近のトンネルの話題の中心となるものと思う。7年前岐阜工事局において北陸トンネル計画に参画するチャンスを与えられ、1年後の32年9月契約まで世紀の大工事に対する責任の重さに震えながら設計、積算を行なったものだが、奇しくも6年後の同じ月、新清水トンネルの契約を無事終え、やがて来る雪を前に、段取りを急いでいる状態が北陸の場合と全く同じなのを見て感慨無量なものがある。当時と今と比較してみたい。

a) 地質調査 新清水トンネル 13.490 km のうち、9.700 km 間は現在の清水トンネルとほぼ平行しており地質、湧水、施工方法など詳細に記録されており、今回の調査は主力を東京方の 3.800 km 間に集中できた。これに対して北陸トンネルは 13.890 km 全延長にわたって未知であり、しかも調査期間は数カ月しか与えられなかったうえ、調査の進捗にともなってルートは三変四変したため最終的に決定したルートについての地質調査は全く不十分であったといわざるを得ない。このことが施工段階に入り、多くの苦労と経費の増加の原因をなしたことは、当時の客観状況、トンネル工事の特異性から考えてやむを得なかった面もあるが、技術屋としては大いに反省させられた。今回の新清水トンネルでは幸い、調査はほぼ満足すべきものと思っており、前回の轍は踏まない自信がある。

b) 掘削工法の選択 北陸トンネル計画当時、国鉄ト

ンネルの全断面掘削は、単線断面で2カ所施工されていた。そのうち2本目の紀勢線直轄トンネルではカコウ岩の堅硬かつちみつな山で工事が予期以上の成果をあげていただけに、全断面掘削工法に対する自信過剰の気持が無かったとはいえない。

北陸トンネル付近の地形、ボーリングのコアの採集状態から推して、山全体として堅硬ながらきれつの多い岩で断層破砕帯も随所に現われることは想像され、しかも復線断面であることから全断面掘削工法の成功率については多分の危惧の念があったことは事実であり、その反面、全断面掘削で成功したいという希望的観念も大いにあった。したがって示方書には全断面、あるいは半断面工法によるのを原則とするという表現を用い、請負業者の技術判断に期待する方式によった。工事は各請負業者とも全断面掘削に踏切ってスタートしたが、山は不幸にも危惧されたとおりであり、大部分の工区が半断面工法への変更を余儀なくされた。これを今にして思えば設計者側にも工法に対する安易感があった点は認めるが、請負者側にも山に適応した工法の判断に未熟なものがあったともいえる。要するに復線トンネルの全断面掘削に対する経験が甲・乙ともに不十分であったことが北陸トンネルの場合についていい得たと思う。

今度の新清水トンネルについては地質の把握もほぼ十分であり、単線断面であることを考えあわせ、トンネルの大部分が全断面掘削に適していると確信し、施工計画もその線にそって行なった。

(2) 掘進速度について

前述のとおり新清水トンネルは山は堅硬で安定していると想定され、開通時期は42年10月と決められていることより、施行工程を図-10のとおり策定したのであるが、これは1工区 170 m/月、2工区 220 m/月、3工区 220 m/月の平均掘進速度で、断層あるいは破砕帯と想定される区間を除くと 250 m/月のスピードを堅持しなければならぬ。これは従来のトンネルの計画とくらべると飛躍的なスピードアップである。最高能力の機械を用い、しかも常に点検整備を完全にして故障による作業の休止を皆無にする努力、また全断面掘削に最高度に熟練した作業員と一糸乱れぬチームワーク等々が総合されて初めて達しうる目標である。

(3) パーンカット工法

第3工区において本格的にパーンカット工法を採用した理由は山が安定しているという想定のもとに掘進スピードを飛躍的に向上するためである。パーンホールのせん孔技術、それに用いる削岩機、ビット、ロッドの耐用命数、最適爆薬量、破砕ずりの大きさ、余掘り量、当り取りなど問題点は非常に多いが、トンネル技術発展のため最後まで研究と改善に努め、是が非でも成果を上げた

いと考えている。

(4) 第2工区の湧水処理

現在の清水トンネルを掘った実績より新トンネルの東京方坑口より5.0 km 付近および6.2 km 付近よりおのおの3 m³/min, 10 m³/min 以上の湧水、しかも高圧、低温の湧水が想定される。したがってこの湧水帯の予知方法、突破方法は慎重に研究しおきたいと考えている。それとともに前記2カ所以外の部分の小湧水をふくめ合計24 m³/min 以上と想定される湧水の坑外排出の問題も、本工事の死命を制するものである。もしこれを第2工区斜坑よりポンプアップすると仮定すると2400 HP の高揚程のポンプ設備が必要で、それだけのために1800 kW の配電設備と停電に備えての2400 HP のディーゼル発電機の常備が必要となり、経費はく大のみならず、坑内浸水の危険性すらある。よって今回の施工計画では1,2工区の貫通時期を40年6月と規定し、その時期までに36 m³/min の湧水を流しうる排水溝を設ける計画になっている。このまきに背水の陣である第1工区は他工区とくらべ破砕帯、断層の数も多いと想定されるため、全断面掘削の施工体制を持続したまま、これらの悪条件を突破して行かねばならぬという技術上の課題がある。事態によって第2工区よりの迎え突込み施工を敢行して貫通時期のくり上げなども常に考えて進捗状況を監視しなければならない。

(5) 削岩用のみの問題

名にし負う堅い山であるだけにビット、ロッドの寸法、材質が大きく耐用命数に影響し、ひいては掘削経費に響いてくる。清水の山に最も適合した製品への努力をづけたい。

(6) 余掘り

掘進速度をあげるため当然長孔発破となると思われトンネルの岩質を考え合わせると必然的に余掘りが従来の観念よりはるかに多くなることが予想される。余掘りの問題は単に新清水トンネルに限られたことではないが、岩質がほぼ均一で安定している本トンネル工事において技術的に不可避な余掘量の把握と余掘りをできるだけ減ずるための努力と研究を行なうことも大きな課題の一つを考えている。

(7) 山はね対策

現トンネルの記録によれば茂倉岳の直下付近の約600 m 間においてわが国では珍しい山はねの現象が起こされている。新トンネルにおいても、ほぼ同じ箇所では山はねに遭遇することは必定である。作業能率の低下防止、危害防止対策を十分検討しなければならないと考えている。

7. むすび

新清水トンネルの計画は、路線選定から数えると、今回着工にいたるまで約3年を要したが、予算、要員等の関係が許せば調査期間としては2年でよかつたと思われる。

それにしても痛切に感じられるのは、十分とはいえないまでも、ほぼ九分通り既知の調査手段を動員しつくしたにもかかわらず、山は依然神秘であり、未知のベールに包まれている。

また施工法にしても、技術革新の時代によって、はたして最良の組み合わせをとったかどうか反省するところであるが、この点は今後施工を進めながら研究するつもりである。一番心強かつたのは30余年前、現清水トンネルの工事を担当された諸先輩がいまだかくしゃくとしてご健在であり、折にふれそのご労苦とご高説の一端を拝聴できたことであり、ここに記して感謝の意を表するとともに、今後のご指導を期待する次第である。

参考資料・文献

- 1) 鉄道省：上越線水石打間工事誌全5巻
- 2) 山口 昇：寒天模型によるずい道内応力分布の研究，業務研究資料，Vol. 17, No. 6 (1929)
- 3) 山口 昇：清水ずい道坑岩片裂の説明，業務研究資料，Vol. 18, No. 4 (1930)
- 4) 豊田英義：上越線清水ずい道付近の地学観察概報，地学雑誌，Vol. 43 (1931)
- 5) 新井房夫：上越地方谷川岳南部のグリーンタフ第3系について，藤本博士記念論文 (1957)
- 6) 新井房夫：群馬県地質図，同説明書 (1962)
- 7) 岐阜工事局：紀勢線逢坂曾根ずい道工事誌 (1960)
- 8) 岐阜工事局：神岡線第4中山ずい道工事誌 (1963)
- 9) 岐阜工事局：北陸ずい道工事誌 (1963)
- 10) 信濃川工事局：各種地質調査資料

トンネルと掘削工法頒布

本書は今まで施工された長大トンネルの施工方法を解説した技術者必備の書です。ぜひお求め下さい。

体 裁：B5判 342 ページ 図・写真多数 定 価：600 円(〒120 円) 会員特価：500 円(〒120 円)

トンネル工学シリーズ1・第1回トンネル工学シンポジウムテキスト

体 裁：B5判 106 ページ 図・写真多数 定 価：400 円 会員特価：300 円(〒50 円)