

記憶に残る工事 1. 昭和49年1月号 (第287号)

# 大清水トンネルの工事現況

宮崎 弘\*

## 1. まえがき

上越新幹線工事は昭和46年10月14日運輸大臣の工事实施計画認可により現在は全線にわたって測量、地質調査、用地買収等を行っており、すでに用地買収終了地域においては高架橋工事が着工されている。特に用地買収の不必要である河川工事、トンネル工事等は大部分がすでに着工し、最盛期を迎えている。特に大清水トンネル (L=23.28 km) は山岳トンネルとしては世界最長であり、技術的に上越新幹線の工期を制するものであるので、地形的な制約のため現在8工区にこれを分割して請負工事により施工中である。

## 2. 地形・地質の概要 (図-1, 図-2 参照)

### (1) 地形および地質

大清水トンネル付近の地形は上越国境の分水嶺である

三国山脈があり、谷川岳 (1,963 m)、一の倉岳 (1,971 m)、万太郎山 (1,954 m) 等の2,000 m級の山が連なり、これらを源流として太平洋側には利根川、日本海側には信濃川の支流の魚野川がそれぞれ急峻な峡谷をなして流下している。

地質の概要は図-2のようである。断層については、いくつかの断層破砕帯があるが、規模は大きなものではないと思われる。大部分の地質は非常に堅固なる石英閃緑岩で圧縮強度 2,000 kg/cm<sup>2</sup> 前後、まれには 3,000 kg/cm<sup>2</sup> の超硬岩もある。

### (2) 山はね

山はねはアルプスのトンネル工事の掘削および清水トンネル、新清水トンネルの掘削中にも発生して相当数の傷害事故を発生させた非常に危険な現象で、今回のトンネル工事でも土被り1,000 m以上の区間1,500 m程度に発生するものと考えられている。非常に特殊な現象で原因は弾性歪のエネルギーが均質な岩石中に集積して限界に達した際に岩石が飛散して解放されるために起るといわれている。弾性歪のエネルギーは圧縮応力 (≡地山の土被り・密度) の2乗に比例する。

山はねの起り方はトンネル面が不整で部分的に応力集中が起りやすい個所で発生する。最終的にはスムーズなトンネル面を形成する。岩石の飛散状況は剝離した片状を呈する。また、発生時期は、掘削直後に大部分は終了するが、まれには数時間～1週間後に起ることもある。これの対応策としては、トンネル掘削面をスムーズに掘削するためスムーズプラスティング工法で掘削を行う。また全断面掘削

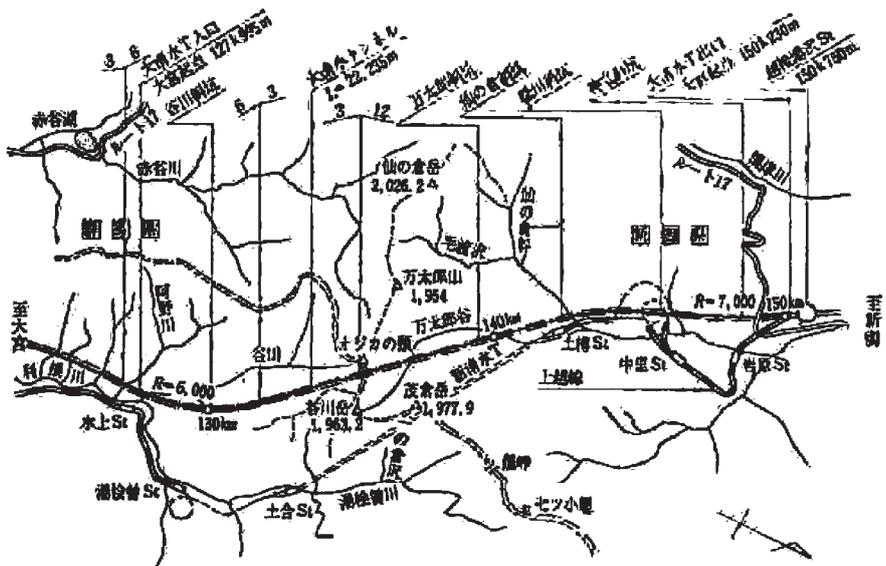


図-1 大清水トンネル付近地形図

\* 日本鉄道建設公団新潟新幹線建設局次長

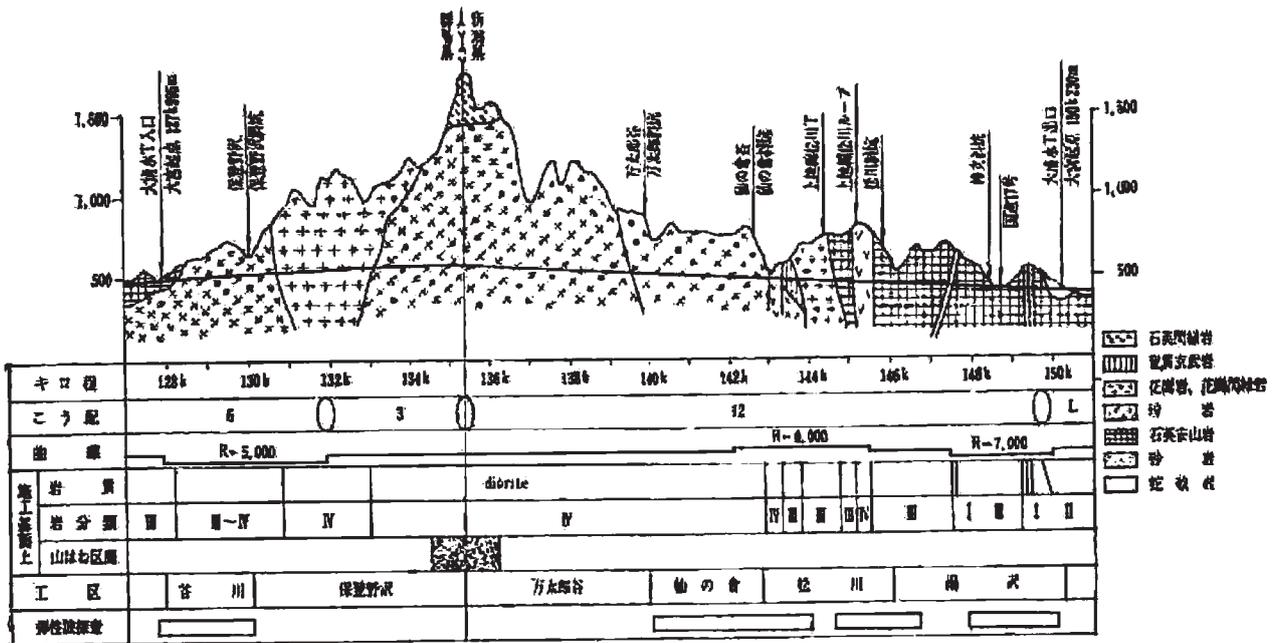


図-2 大清水トンネル地質縦断面図

ジャンボにプロテクタを設備する。その他鉄製支保工を全面的に行う。

(3) 湧水

トンネル掘削においては、湧水は地質の良否と同様に重大なる影響を及ぼす。特に斜坑等によりトンネル掘削する場合には重大なる人命事故等にもかかわることが生ずる。湧水地点と湧水量を的確に把握することは極めて困難であるが、地質構造、地盤の節理、地下水の流水範囲等を事前に調査することによりある程度の湧水量の想定は可能である。トンネルの湧水には浸透水のように長期間に現われる恒常湧水と、大量の水が突発的に現われる集中湧水とに分けられる。特にトンネル掘削で問題になるのは集中湧水である。大清水トンネルでは水温が9℃~12℃程度の低温であるので、湧水の完全なる排水をしないと労働者の健康に悪影響を及ぼし、欠勤率を増して稼働率を低下し、作業進行に重大な影響が生ずる。また、掘削時には踏元のさく孔、装薬等が困難でサイクルタイムが延長し、ずり出し作業が遅延する等、トンネル掘削の進行に重大な影響を及ぼす。

特に斜坑等では異常湧水またはポンプの故障等により一度トンネルが水没すると坑内の設備機械等の復旧および修理、その他切羽のストップ等により甚大なる被害が発生する。これを防止するために先進ボーリングによる湧水の探知、揚水設備としては余裕あるポンプ設備、予

備貯水槽である。当トンネルではポンプ設備は予想恒常湧水量の2倍の容量、予備貯水槽は20~30分程度の容量を有するものを設備している。また予備電源としてはディーゼル発電機を準備し、停電に備えている。特に当地は冬期間3~5m程度の積雪があり、雪崩の危険があるので十分な防護設備、特に送電に対して行っている。

なお、各工区の湧水想定量は表-1のようである。

3. 本坑の設計

本坑断面は図-3のように山陽新幹線(岡山~博多間)および東北新幹線と同一である。曲線用と直線用があるが、直線用は半径7,000m以上のものに適用する。覆工コンクリートは巻厚50cmおよび70cmで、特に地質不良箇所では巻厚90cmとしてインパートを考えている。また、下水については、センタードレンを考えている。本坑の掘削は先進導坑上部半断面切抜げを標準工法としているが、地質等の状況により別工法の指定をすることにしており、請負者等の願出により変更したものもある。

次に各工区の掘削工法を略記する。

谷川工区：上半先進タイヤ工法

保登野沢工区：全断面掘削工法

万太郎谷工区：全断面掘削工法

仙の倉工区：底導先進上半切抜げ工法

表-1 各工区の湧水想定量

工区	単位	谷川	保登野沢	万太郎谷	仙の倉	松川	湯沢	備考
工事中断湧水量	m <sup>3</sup> /min	2.8	27.0	29.8	6.5	10.5	2.1	群馬方 29.8、新潟方 53.8
恒常湧水量	m <sup>3</sup> /min	4.4	21.3	20.7	7.2	9.5	2.4	群馬方 25.7、新潟方 42.9

松川工区：底導先進上半切掘げ工法  
 湯沢工区：上半先進タイヤ工法

のようである。

支保工は鋼アーチ支保工で 200 H, 175 H, 150 H の 3 ピースを使用している。地質の状況によりロックボルトの使用も考えている。

また、コンクリート運搬については、立坑により本坑に落下させて運搬する工区は保登野沢、仙の倉、松川工区であり、直接生コンクリート運搬車により持込む工区は谷川工区、湯沢工区である。さらにドライミックスコンクリートによる万太郎谷工区等がある。以下、各工区の施工法について述べる(表-2 参照)。

#### 4. 横斜坑の設計

横斜坑の断面は A, B の 2 種類とし、A 形は工区延長も長く、大口径の排水管、空気管、大形機械の投入の必要な保登野沢、万太郎谷工区、B 形はそれ以外の工区に採用した。覆工の巻厚は 30~50 cm とし、地質良好なる箇所は厚 10 cm 程度の吹付コンクリートを施工している(図-4 参照)。

斜坑の掘削は全断面で施工した。支保工は 125 H, 150

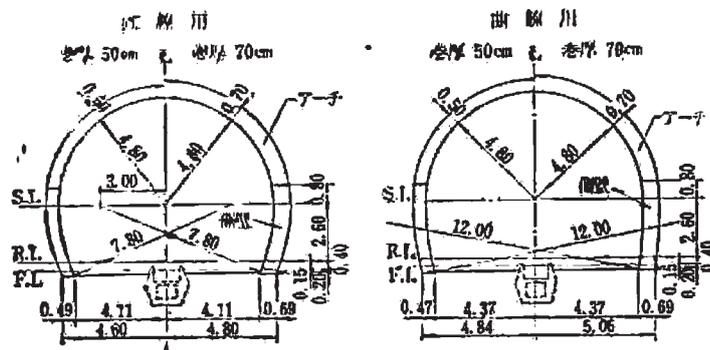


図-3 本坑断面図

表-2 各工区の施工概要

工区名	谷川	保登野沢	万太郎谷	仙の倉	松川	湯沢
工区延長(m)	2,005	3,600	3,200	2,750	3,300	4,030
未契約延長(m)		1,750	1,600			
斜坑長	傾斜部 水平部 計	横坑 67 58 483	806 138 944	544 117 661	302 328 630	神立 152 鳩小 123 36 36 188 169
工法	ダンプトラック	ベルトコンベヤ	ベルトコンベヤ	鋼車巻揚	鋼車巻揚	ダンプトラック
コンクリート	生コン車	自家プラント	自家プラント	自家プラント	自家プラント	自家プラント
掘削機	生コン車	投入立坑	(ドライ) ベルトコンベヤ	投入立坑	投入立坑	生コン車
施工費	成建建設	前田建設	大成建設	佐藤工業	鹿島建設	熊谷組
当初計画(百万円)	1,975	3,150 (その1)	3,070 (その1)	2,050	2,085	3,305
工期	47.8~50.1	46.12~50.3	46.12~50.3	47.3~50.3	46.12~50.3	47.2~50.3
担当建設所	水上鉄道建設所		湯沢鉄道建設所			

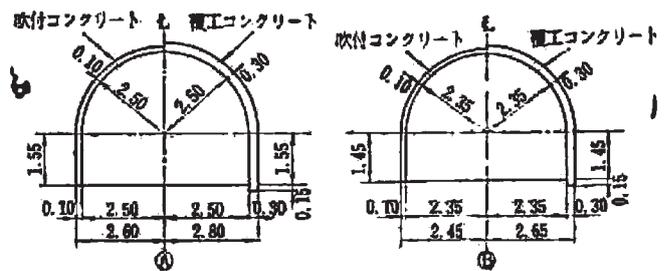


図-4 斜坑断面図

Hを使用した。斜坑のこう配は 1/4 である。本坑のずり出しは斜坑の延長が 300~800 m となり、インクラでの巻揚げでは能率がよくなく、かつ安全管理上問題があるのでベルトコンベヤによるものと設計したが、仙の倉、松川工区は業者の願出によりインクラによる巻揚方式とした。

#### 5. 谷川工区

本工区は大清水トンネルの入口、大宮起点 127 k 995 m~130 k 000 m までの  $l=2,005$  m で、現在の進行は上半で 1,100 m である。

本工区の掘削工法は請負業者の願出により上部半断面先進タイヤシステムである。当工区の岩質は坑口付近が一部変質玄武岩、大部分は石英閃緑岩で、弾性波速度は 3.7~5.5 km/sec の良質のものである。この付近の石英閃緑岩は大清水トンネルの中心部付近の石英閃緑岩よりも比較的やわらかい岩質である。

##### (1) 掘削工法採用理由

本工区は大清水トンネル入口に位置し、本坑への取付は横坑  $l=67$  m で簡単に取付くこと、次に横坑口付近が地形上、県道および谷川等にはさまれ、レールシステムの設備が必要とする用地が取得困難であることによる。

##### (2) 施工概要

横坑断面積は当初設計の内空断面積 12.4 m<sup>2</sup> であったが、タイヤシステムの採用によりトラックミキサの高さの制限で SL 以下を 1.4 m 長くし、内空断面積を 19.0 m<sup>2</sup> に変更した。

本工区の着工は当初横坑掘削開始が昭和 47 年 10 月を予定していたが、地元との協議の関係で 12 月に掘削開始し、2 カ月の遅れである。その後順調に横坑掘削を完了し、本坑掘削も比較的順調である。ただし、128 k 584 m 付近で延長約 15 m, 約 300 m<sup>3</sup> 程度の崩壊事故があり、復旧に 1 カ月程度を要したが、現在のところ別

段竣工期限等には影響なく、工事が完了できる見込である。

横坑の掘削はトラックジャンボによりさく岩して（レックドリル使用）一気に全延長を掘削し、その後コンクリート巻立を行った。

本坑掘削は上部半断面タイヤ工法の採用により上半ジャンボ（D-95 ヘビードリフタ9台）で行い、コンクリート巻立は  $l=15\text{ m}$  のスチールフォームでコンクリートポンプにより打設している。

### （3）施工上の問題点

当工区ではタイヤ工法で片押し延長 2,000 m と長大であり、排気ガスの換気について検討を要する。現状はコントラファン 37 kW×2 台、軸流ファン 15 kW×2 台で 1,101 m まで掘削中である。現在の換気方式ではせん孔、支保工建込作業中は十分であるが、ずり出し中はダンプトラック、ずり積み機（CAT 955）の排気ガスで若干問題がある。今後換気の強化、排ガスの抑制、各種集じん機の使用等の改善を検討中である。

次に坑内排水の問題であるが、レールシステムに比べて相当坑内排水の汚濁が大である。特に群馬県条合により浮遊物質が利根川の当地区では国の基準の 120 ppm が 40 ppm と厳重であり、相当な設備および薬品処理を要する。施工基面の荒廃については十分なる配慮が必要である。

## 6. 保登野沢工区

本工区は 130 k 000 m から 135 k 350 m までの  $l=5,350\text{ m}$  であるが、その 1 工事として  $l=3,600\text{ m}$  区間を契約している。現在の進行は一応斜坑  $l=483\text{ m}$  間の掘削を終了しているが、一部未覆工区間が地山の膨圧により鉄製支保工 150 H が変状し、巻厚不足の個所が生じたので縫返し中である。

本工区の掘削工法は当局の指示により全断面掘削工法に変更した。国鉄の新幹線複線形のトンネルでは初めてであるが、新清水トンネル掘削で同様な石英閃緑岩で単線の在来線形であるが全断の経験があるので、あえて全断掘削に踏切った。地質は石英閃緑岩約 3,000 m、花崗岩 2,200 m で、一部斜坑交点付近に蛇紋岩、玢岩等がある。大部分は弾性波速度 4.2 km/sec 程度である。斜坑交点付近より県境方向 2 km 程度は谷川工区と同様な地山と想定されるが、それより県境方面は非常に硬い石英閃緑岩である。

### （1）掘削工法採用理由

本工区は昭和 46 年 12 月 8 日契約したものであるが、地元との設計協議が難行し、47 年 7 月頃地元との話合

いがつき、それより斜坑口付近が国立公園の重要地区のため環境庁の許可があるので相当に時間的に遅れて 9 月 25 日に再着手したものである。その結果、月進平均 160 m を確保しなければならぬ状態になった。また、地山の状態も全断掘削可能と判断し、スピードアップ可能な全断工法に踏切ったものである。

### （2）施工概要

昭和 47 年 10 月より工事用道路および坑外設備に着工し、12 月に斜坑掘削を開始した。斜坑は坑口より 90 m まではショベル積込みのままで坑外まで直接ずり出しを行ったが、それよりは巻揚設備が完成したので 10 m<sup>3</sup> スキップによりずり出しを行い、せん孔は当初レックドリル、90 m よりは 2 ブームクローラジャンボ（D-95×2 台装備）を使用してせん孔した。

現在は斜坑および水平坑部分の掘削を完了したが、一部未覆工で蛇紋岩地帯が変状し、所定の巻厚の確保が困難になったので縫返し中である。坑口より 370.8 m から 385.9 m までの区間の縫返しを 8 月 25 日に行っていたが、同地点より坑口に向かって 20 m および 30 m 付近にあった約 300 l/min の水が縫返し地点にまわり、付近の崩壊が生じた。現在は同地点に薬液注入、水抜ポーリング等を行っているが、これらの作業が終り次第縫返しを続行する予定である。なお、本坑の掘削は 21 ブームのジャンボで行う予定である。

### （3）施工上の問題点

斜坑掘削における蛇紋岩地帯であるが、現在のような状況では掘削後直ちに吹付等で 1 次覆工をなし、順次 2 次覆工を行う方がよい結果を生むと思われる。今後本坑における蛇紋岩地帯では円形断面に近い断面と吹付工法による 1 次覆工を掘削直後に行う等慎重な工法が必要である。また、本坑の全断掘削であるが、若干破砕帯等もあり、この突破には相当な対策が必要である。さらに県境付近の土被り 1,000 m 以上の区間には山はね区間もあり、相当な設備を考えなければならない。

## 7. 万太郎谷工区

本工区は 135 k 350 m から 140 k 150 m までの  $l=4,800\text{ m}$  であるが、その 1 工事として現在斜坑  $l=944\text{ m}$ 、本坑 3,200 m を契約している。現在の進行は一応斜坑、坑底設備が完了し、本坑の全断発進基地を掘削中である。全断の発足は 11 月 8 日の予定で現在鋭意工事中である。本工区の掘削方式は全断面掘削工法である。当工区の地質はほとんどが石英閃緑岩であり、圧縮強度は平均 2,000 kg/cm<sup>2</sup> 程度で、見掛比重は 2.69、吸水率 0.54~0.64%、ショア硬さ 78~84 である。

### (1) 掘削工法採用理由

当工区において全断面掘削を採用した理由は、設計協議等のため着工が2カ月ほど遅れたこと、群馬県側の保登野沢工区の着工が7カ月程度遅れたこと、および斜坑掘削が蛇紋岩地帯のため相当遅れている等の理由により少しでも早く新潟県側の掘削を進める必要があり、最悪の場合は群馬県側へ越境して掘削する必要があること、それと同時に、斜坑掘削時の実績からして全断面掘削の自信を深めた結果にもよる。

### (2) 施工概要

万太郎谷斜坑は上越新幹線のトンネル坑口では一番人里離れた僻地にあるため工事契約と同時に工事用道路の整備に着手し、在来県道の橋梁では負担力が不足するので専用の橋梁を架設し、また、林道の拡幅等を行い、昭和47年8月には斜坑掘削に必要な設備を完了し、斜坑掘削に着手した。その後、順調に斜坑掘削、坑底設備等を完了し、現在は全断面掘削の基地の切上げを施工中である。

斜坑の掘削はヘビードリフタ2ブーム搭載のクローラジャンボ2台を切羽に並列してせん孔を行い、せん孔の芯抜きパターンとしてはコロマント法で行った。これは小断面坑道で長尺せん孔による急速掘進に有効な工法である。火薬の使用実績は $2.5 \text{ kg/m}^3$ 程度であった。斜坑のざり積みは955Lサイドダンプローダを使用し、ざり出しは $6 \text{ m}^3 \times 2$ 台のざりトロを400HPウィンチ巻揚げで行った。斜坑内の支保工は125H、150Hを建込み、岩質良好な箇所では厚10cmの吹付コンクリートを行った。覆工巻厚は30cmである。

本坑掘削の計画の概要は次のようである。19ブームの全断面ジャンボでヘビードリフタ18台、芯抜きパーンホール搭載のもので大目節理による余掘りの減少と周辺



写真-1 万太郎谷工区坑外設備

地山のゆるみの縮少のためスムーズプラスチック工法で行う。また、大きなざりが発生するとクラッシュ以外の小割りが必要となるので小孔径( $\phi 35 \sim 38 \text{ mm}$ )でせん孔本数を増やす計画である。掘削は1発破2.25m、すなわち、2発破で3わく(支保工150H、1.5m)の計画である。

ざりはバケット容量 $4.0 \text{ m}^3$ のサイドダンプローダで $15 \text{ m}^3$ トロに積込み、5両編成で運搬し、坑底設備のざりピンに投入、それよりベルトコンベヤで坑外に排出する。過去の新清水トンネルの全断面掘削では進行実績が167m/月にとどまったが、この原因は、第1に地質が堅固であったが風化節理が極めて発達し、切羽の落石のため全断面同時せん孔が不可能で、下部せん孔を先行して上部せん孔という2段せん孔区間が相当あったこと、第2に切羽の集中湧水( $5 \text{ m}^3/\text{min}$ )によるせん孔作業への影響、第3に山はね現象による退避等があげられる。今回は第1に対してジャンボの中間デッキをスライドさせ、デッキを切羽に接触することにより落石を下部に落下させない、第2には強制排水、第3にはジャンボにプロテクタを設備することにより対応させる。コンクリート打設にはドライミックスコンクリートを考えている。

### (3) 施工上の問題点

特にコンクリートにおいてはドライミックスコンクリートを使用するが、わが国のトンネル工事では初めて使用するものである。この工法の概要は、あらかじめセメント、細粗骨材を計量後混練し、所定の打設箇所付近まで運搬し、それより所定の水、AE剤等を加え、ミックスして打設する工法である。当工区では坑外でセメント、細粗骨材を計量混練し、斜坑内をベルトコンベヤで運搬し、本坑内はホッパー車に積替え、バッテリーロコで運搬、コンクリート打設箇所付近のプラントで水、AE剤等を加えて混練し、コンクリートポンプで打設する計画である。

利点としては、コンクリート運搬中に発生する骨材の分離等を防ぐことができる、また、運搬距離がいかに長大になっても影響が少ない等であるが、欠点もある。最大の欠点は、運搬中におけるセメントの細粗骨材の表面水による水和反応、吸湿等による強度低下、ベルコン等に対する付着等で、今後実用化のためには実物による実験が必要で、現在実験中である。

## 8. 仙の倉工区

当工区は140k150mから142k900m

までの  $l=2,750$  m で、現在の進行は斜坑、坑底設備は完了、導坑上口 438 m、下口 279 m、上半は 185 m である。

本工区の掘削工法は底導先進上部半断面工法である。地質は万太郎谷工区と同様に石英閃緑岩であり、弾性波速度は  $4.5\sim 5.0$  km/sec である。

### (1) 掘削工法採用理由

本工区 2,750 m のうち、地質調査によると一部岩 I の区間があり、また全体として湧水があり、節理の発達した岩質であるので地質変化に順応性がある当工法を採用した。

### (2) 施工概要

当工区は地元との協議関係も順調に進み、昭和 47 年 3 月契約と同時に着工し、現在に至っている。

斜坑掘削は万太郎谷工区と同様な段取りで行い、本坑のずり出しはインクライン方式である。コンクリートは  $\phi 30$  cm の立坑 2 本を掘削し、これより投下して本坑内を運搬する方式をとっている。当工区ではずり積み、ずり運搬等にはいっさい内燃機関を使用していないので非常に坑内の空気は清浄である。

### (3) 施工上の問題点

特に問題点はない。

## 9. 松川工区

本工区は 142 k 900 m から 146 k 200 m までの  $l=3,300$  m で、現在の進行は斜坑、坑底設備が完了し、導坑は上口 86 m、上半掘削 24 m である。また、迂回坑は完了直後である。本工区の掘削工法は底導先進上部半断面工法である。一部蛇紋岩地帯ではショートベンチ工法を採用する。地質は大部分が玄武岩であり、安山岩、流紋岩、玢岩等を含む。斜坑と本坑の交点付近においては一部蛇紋岩がある。この蛇紋岩には粘土鉱物として滑石、モンモリナイト、クロライト、カオリナイト、アンチゴライト等を含み、膨張性を有している。膨張については定量的な把握は困難であるが、エチレングリコール処理を行った結果では 24% 程度の膨潤性を示した。

### (1) 掘削工法採用理由

地質の変化が相当あるので最も地質変化に順応性のあ



写真-2 仙の倉工区坑外設備

る底導先進上部半断面工法、一部蛇紋岩地帯ではショートベンチ工法を採用し、すみやかに覆工を完了して膨圧に対処せしめる。

### (2) 施工概要

当工区は昭和 46 年 12 月契約以来地元協議関係も順調に進み、斜坑掘削は若干問題があったが比較的順調に進み、坑底設備も完了し、本坑掘削に着手したが、蛇紋岩地帯に突入したため導坑支保工の変状が激しくなったので掘削工法を変更し、本坑の断面を円形に近い形にすることにし、ショートベンチ工法に切換えた。なお、工期の関係上迂回坑を図-5 のように掘削し、切羽の増加をはかった。迂回坑の断面は約  $14\text{ m}^2$  程度である。

コンクリートは立坑  $\phi 30$  cm  $\times$  2 本で本坑に投入し、それより本坑内を運搬打設する。

### (3) 施工上の問題点

蛇紋岩地帯の掘削は、ショートベンチ工法でまず上半を掘削、250 H の支保工を建込み、直ちに吹付コンクリート 30 cm 厚を施工し、下段を掘削、250 H の支保工を建込み、吹付コンクリート厚 30 cm を施工し、順次 2 次覆工巻厚 70 cm を施工する計画である。この地帯の突破が一番困難で、1 カ月進行 40~50 m 程度になると思われる。

## 10. 湯沢工区

当工区は 146 k 200 m から 150 k 230 m までの  $l=4,030$  m の工区で、現在神立斜坑  $l=186$  m、こう配 1/12.5、坡平斜坑  $l=158$  m、こう配 1/8 の両斜坑より掘削を行っている。両斜坑、坑底設備は完成し、上半は神立

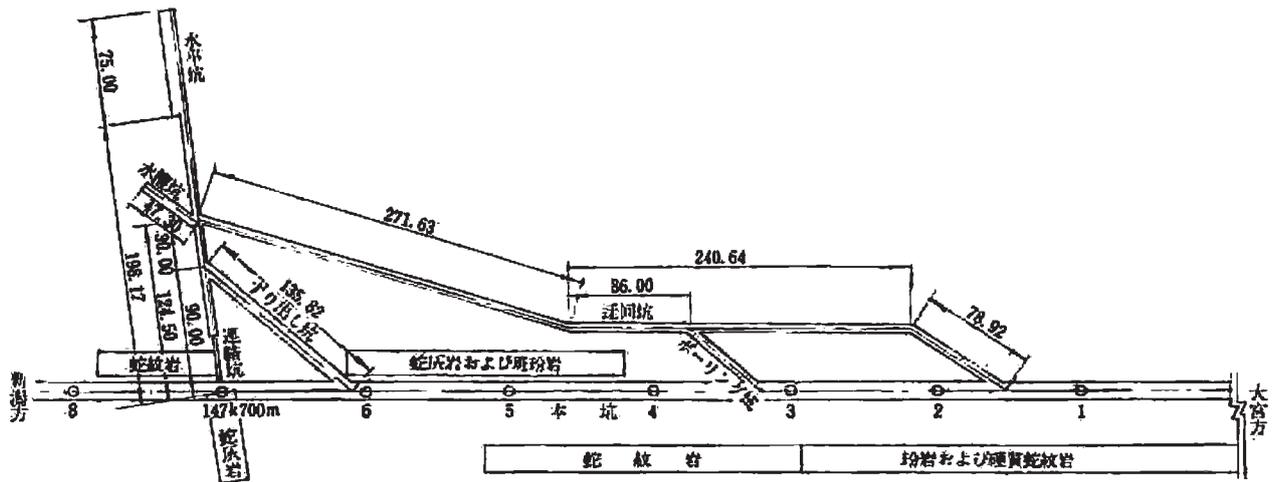


図-5 大清水トンネル松川工区工事平面図

斜坑方 1,643 m、城平斜坑方は完成し、下段を掘削 130 m 程度である。本工区の掘削方式は請負業者の願出により上部半断面先進タイヤシステムである。

地質は変質玄武岩が主体で、表層には火山泥流堆積物が分布している。変質玄武岩はかなり風化が進行しており、粘土をかんだ部分もある。弾性波速度は 3.7~4.4 km/sec 程度である。神立付近は現宇津野川の河川堆積物が延長で約 300 m にわたって相当の深さまで堆積している。この付近の上被りは 10~15 m 程度であるので開さく工法を行っている。

(1) 掘削工法採用理由

本工区では短い緩こう配の斜坑により簡単に本坑に取付くことが最大の原因で、また新幹線断面では上半部を覆工した場合でも内空断面が 36 m<sup>2</sup> (R=4.8 m の 1/2 円) と広いためずり出しに大形タンブ (11 t) の使用が可能のためである。

(2) 施工概要

本工区は非常に順調に地元協議等も完了し、すでに上

半掘削は 73% 程度の進行である。本坑掘削は神立側は東洋工業ガントリー形ジャンボ 8 ブームでライトドリフト 8 基搭載、城平方は 8 t トラックに昇降可能なデッキを付けたもの 2 台を準備し、これを足場として併列せん孔した。

(3) 施工上の問題点

施工上の問題点は谷川工区と同様で、換気、施工基面の荒廃、排水の汚濁、地質の急激な変化に対する対応性が底導先進工法より問題である。

11. む す び

以上、非常に簡単に大清水トンネルの現況について述べたが、現在のところ大部分の工区はようやく本坑掘削にかかったところである。今後相当な難工事が予想されるが、掘削機械の近代化により一層の省力化をはかり、事故もなく 51 年度上越新幹線の開通に努力する覚悟である。