

施工研究

笹子トンネルの工事概要

柳場 武*

はじめに

現在供用中の中央自動車道富士吉田線が、絹織物で有名な大月市にある大月 I.C. より分岐したところから道路の名称が中央自動車道西宮線と変わり、国道 20 号線 沿いに約 10 km 西進すると大月市黒野田に至る。これより標高 1358 m の笹子峠の下を高速道路の笹子トンネル (延長約 4400 m) が計画され、緑の山腹に白い坑口がポツカリと大きな口をあけ、ダンプが忙しく動きまわっている。西坑口は往時甲州街道の宿大和村に影である。それより以西は清冽な日川の渓谷を長大橋りょうで渡り、あるいは大切土で急峻な山を処理しながら葡萄で有名な勝沼町に出て、国道勝沼バイパスと勝沼 I.C. で連結される (図-1 参照)。

以下笹子トンネルの工事概況を述べてみたい。

(1) 地 質

トンネル予定地の地質は、中世代白亜紀と推定される小仏層の頁岩、砂岩、チャートとこれらに第三紀に貫入した花崗閃緑岩である。

東坑口より米沢川を経て標高 1000 m 位の地域は、頁岩層であり一般に割れ目が多く脆弱である。西坑口より小屋西沢付近は、花崗閃緑岩が分布し、深部は堅硬であるが坑口近くは風化が進んでいる。

特に問題となるのは棚小屋西沢に沿った断層で、破砕帯の規模は推定 100~200 m に及んでいると考えられる。また小仏層と花崗閃緑岩との接触部は破砕帯が多く、切端掘削中、30~100 m³ 位の落盤にしばしば悩まされている。湧水は東坑口は上下線で約 1.0 t/分、西坑口は上下線で 6.0 t/分ぐらいである (図-2 参照)。

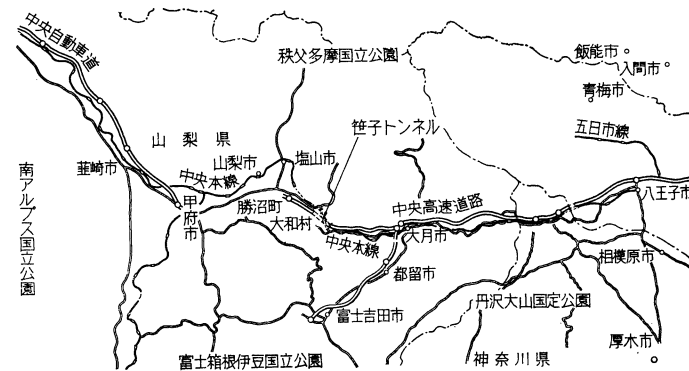


図-1 位置図

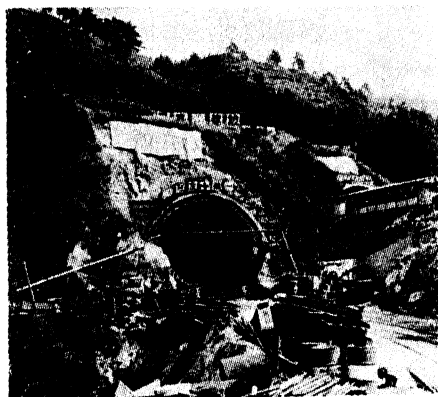


図-2 西坑口付近

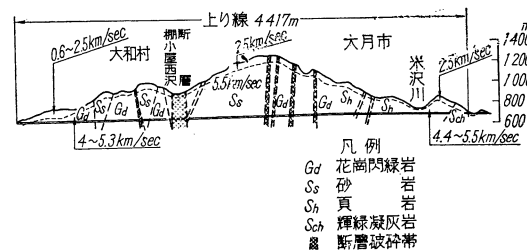


図-3 笹子トンネルの地質図

* 日本道路公団東京建設局笹子トンネル工事事務所長

(2) トンネルの全体計画

i) 基本計画

- (イ) 延長 約 4 420 m
- (ロ) 規格 設計速度 80 km/h
- (ハ) 幅員 8.5 m (車道幅員 3.5 m × 2 + 路肩 0.75 m × 2)

(ニ) 計画交通量

30年後の交通量 26 000 台/日 (1 820 台/h) であり、これをもとにして換気および断面計画を行なった。

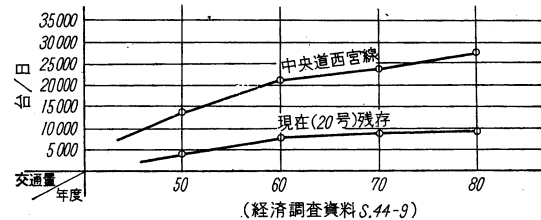


図-4 大月～勝沼間交通量

しかし最近の交通量の異常な伸び率(図-4)を考えると、換気計画として交通量の増加にみあった段階建設を考慮する必要があると考えられる。

ii) 線形および断面(図-5 参照)

(イ) 線形

トンネルの平面線形は、各種比較案を検討した結果、東坑口については走行車両の速度抑制効果と運転手の目の順応を良好ならしむることとともに坑口付近の地形に順応する線形として $R=1300\text{ m}$ を挿入し、西坑口は

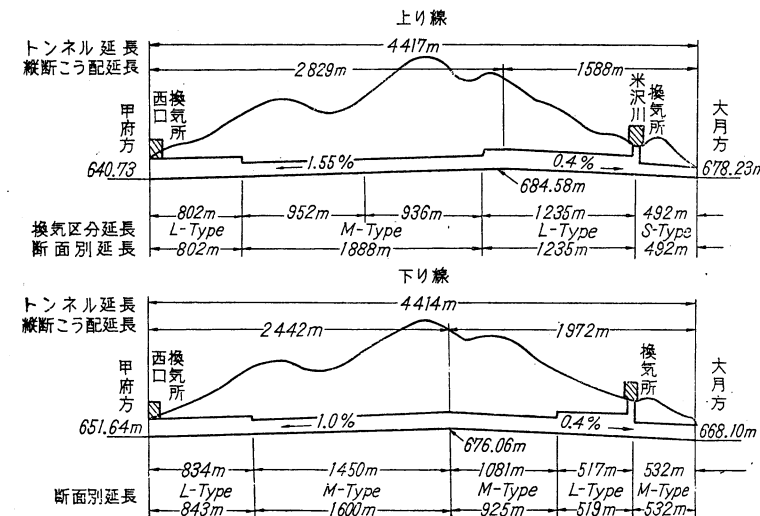


図-5 トンネル縦断面図

$R=1800\text{ m}$ につらなる直線と、途中は直線で結んでいる。

縦断線形は換気の問題、施工性等検討し、下り線については大和側より約 2 440 m は 1.0 %、笹子側約 1 970 m は 0.4 % の拌みこう配とした。また上り線の大和側の 1.55 % のこう配は途中米沢川の河床高によって規制されたものである。

(ロ) 断面

トンネル内空断面としては、車道、路肩幅員、監査廊および換気断面等が検討されている。

最近供用開始後におけるトンネルの安全管理が強調されているため、両側に車道上約 75 cm の高さの監査廊を設け、左側の監査廊幅員は約 80 cm として、施設の管理を左側監査廊でまかなえるように計画されている。

iii) 換気および安全対策

(イ) 換気計画

換気計画の基本は、計画交通量にみあった必要換気量をいかに経済的に供給するかということになる。換気能

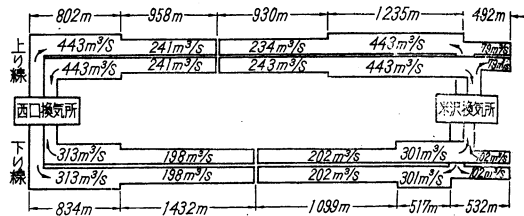


図-6 換気系統図

力としては、設計交通量 1 820 台/h に対するものを考え、上り線で約 965 m^3/s 、下り線で 716 m^3/s の換気風量を計画している。

換気方式としては長大トンネルの換気の安定性と、火災のさい排煙対策について最善の処置がとりうる横流式換気方式を採用した。このとき送気ダクトをトンネルの外に別に掘削する方法と、トンネルの中に送排気ダクトを包含する方法とが検討された。比較した結果、地質が比較的良好であり大断面掘削が可能であると判断されたため図-6 のとおり後者を採用した。すなわち送気、排気ダクトを車道上部に設けダクト断面は換気量に応じて変化させ、トンネル標準断面を L, M, S のタイプ

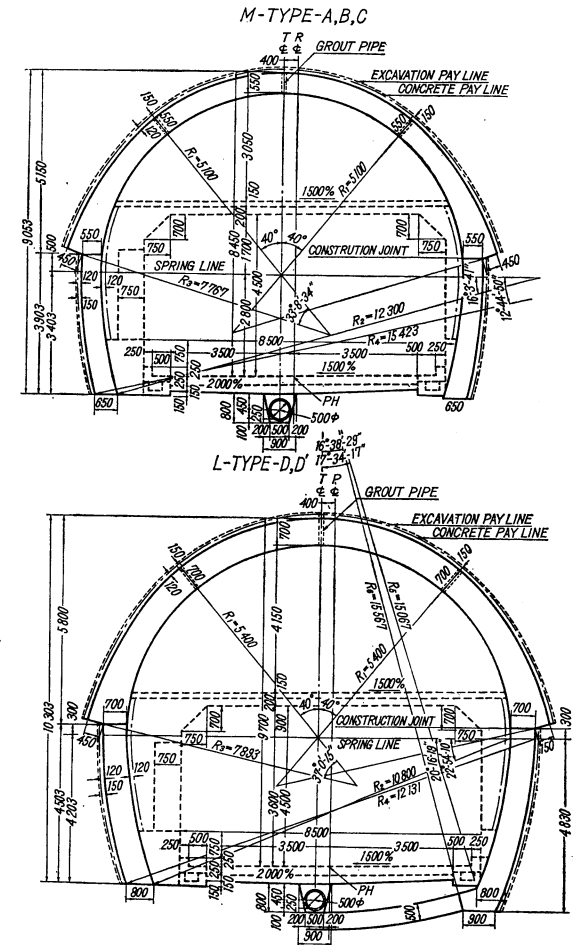
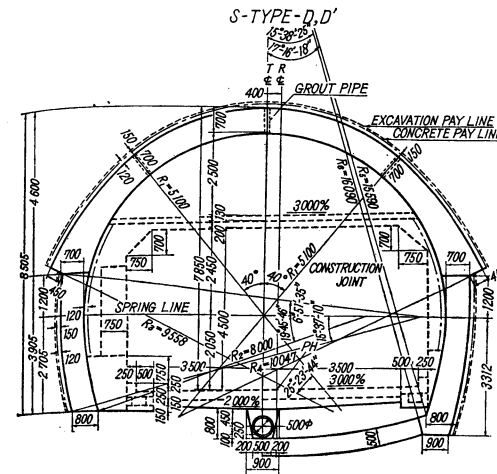


図-7 標準断面図

採用することが最も経済的な工法と考えられた。その結果L断面は 139 m^2 にもおよび、このような大断面のトンネルを延長掘削することは、わが国トンネル史上初めてのことである(図-7 参照)。

次に送風機、排風機を設置する換気所は 2 箇所設け、東側は米沢川立て坑上部、西側は坑口部に設ける予定である。

(ロ) 交通安全施設

長大トンネルにおける自動車の安全かつ快適な走行を保証するために、照明、計測、防災設備等が考えられる。また換気設備としては、送排風機 20 台、約 12 000 kWh を設置している。

a) 防災設備

防災設備には自動通報設備と手動通報設備とがある。
○自動通報設備
火災等があった場合、感知器が感知してコントロールセンターに自動通報されるとともに、水噴霧器によって放水して延焼を防ぐ方法である。

○手動通報設備

事故を発見した人が近くにある押しボタンスイッチを押すとコントロールセンターに連絡される。センターの監視員がテレビジョンにより事故状況を確認し指令を送る方法である。

iv) 非常駐車帯、連絡横坑

トンネル内における火災、衝突事故その他の非常時にさいし、避難できるように、1 000 m おきに非常駐車帯を設けるとともに、500 m おきに連絡横坑を設置し、保安に万全を期している。また 100 m おきに緊急放送設備を設け、通行者に情報を提供するように考えている。

v) トンネルの施工

掘削方法として底設導坑を先進させ、地質の確認と湧水の処理を行ない、その後上部半断面を掘削する施工法を採用した。また長大トンネルのため、トンネル内の換気上の問題よりディーゼル機関車を使用せずバッテリーカーを使用している。

なお狭いトンネル内でダンプカーによるずり出し等を

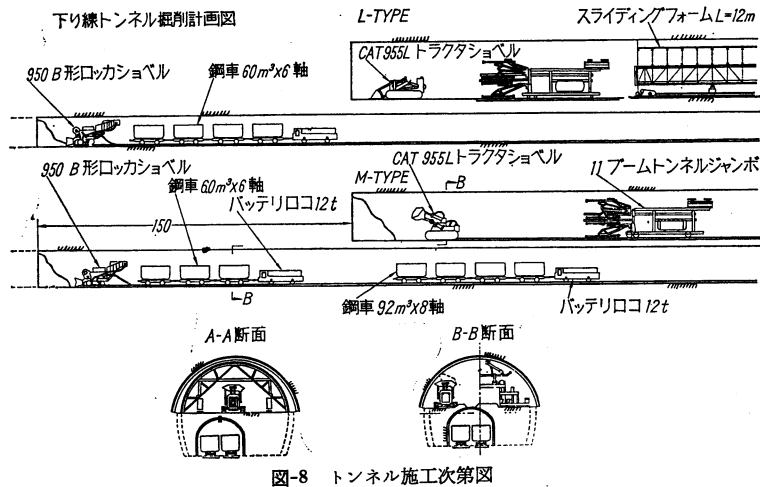


図-8 トンネル施工次第図



図-9 導坑支保工と大背掘削

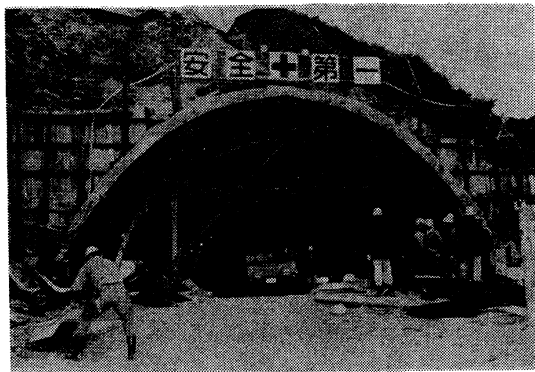


図-10 アーチ部スライドセントル

行なうと事故が発生しやすいため、レールシステムを採用している(図-8 参照)。

(イ) 導坑(図-9 参照)

導坑の掘削断面は約 13.8 m² あり、4 ブームトラックジャンボで穿孔している。ずり積みは Rs 95 形ロッカーショベルを使用し、蓄電池式機関車(10 t)が索引する鋼車 6 m³ 積み 7 両で坑外に搬出する。導坑掘進速度は 100~180 m/月 である。

(ロ) 上部半断面

切端断面が 55~59 m² もあるため、掘削するにさい

しては、門形ドリルジャンボ(ヘビードリフタ 11 連装)を使用している。ずり積み機は容量 1.3 m³ の D 55 S を使用し導坑と上部半断面との間に間隔 15 m ごとに開削されたずり出し孔よりずりを 6 m³ の鋼車の上に落下させ、バッテリーロコ(10 t)で坑外に搬出している。掘削速度は鋼アーチ支保工 4 基/日程度、月進 100~140 m 位である。

アーチ部コンクリートの打設は長さ 12 m のスライドセントルを使用し、プレスクリート(容量 6 m³)でコンクリートを打設している(図-10, 11 参照)。

(ハ) 大背, 土平

大背の掘削はレッグドリフタ(架台使用)を使用し、導坑支保工は掘削に合わせて逐次撤去する。ずり出しは Rs 95 A ロッカーショベル、片側は 1.4 m³ のベイローダを使用し、鋼車に積み込み搬出している(図-12 参照)。

側壁コンクリート打設は、アーチコンクリートの安全を確保するため、継目部を抜掘りし(l=3 m)組み立て

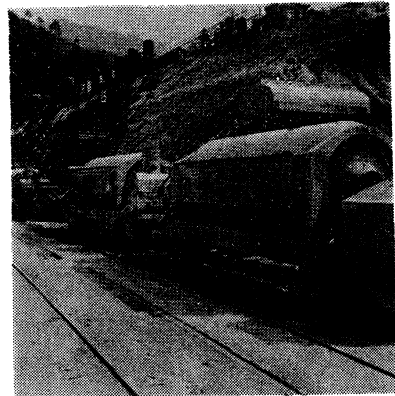


図-11 プレスクリート



図-12 土平掘削中のベイローダ

セントルを使用してコンクリートを打設する。これを通常“脚付け”といっている。次に土平を掘削し側壁用スライドセントルを使用し、側壁コンクリートを打設する(図-13 参照)。

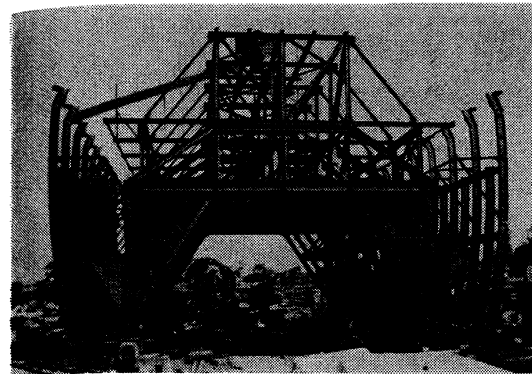


図-13 側壁スライドセントル

(ニ) 上部半断面掘削パターン

上部半断面の断面は 59 m² にもおよぶため、爆破後の断面が所定の形状寸法となるように、穿孔の長さ、方向、本数の配置等考慮を払っている。

最近のジャンボの性能は良好のため短時間に多数穿孔でき、いきおい使用火薬量も若干増える傾向で結果的には地山をゆるめる危険をおかすことになる。逆に火薬使用量が少ないと、トンネル覆工巻厚をおかし“あたり”を生じ再発破を必要とするわけである。

しかし再発破は坑内を無支保で放置する時間が長くなること、地山をゆるめることよりして、崩落事故の原因となりやすい。そのため極力再発破を生じないよう指導している。図-14 はトンネル西工事の穿孔パターンである。

(3) 仮設備(図-15 参照)

i) 給水設備

西口は小路沢川より 4 in パイプで取水し、コンプレッサの冷却水 7 m³/分、削岩機用水 40 l/分に供給している。なお湧水期にはトンネルの湧水をポンプアップして使用している。

ii) 給気設備

坑口仮設広場に、上り線、下り線おのおのに 160 kW × 5 台のコンプレッサを設備し、8 in の送気主管を布設している。そして切端の掘岩機と、コンクリート打設時のプレスクリートに 3 in の支管で分岐して給気している。

iii) コンクリートプラント

プラントは国道 20 号線沿いに設置された生コン工場を利用している。

(イ) プラント形式 HA-4H 形(自動計量装置付)

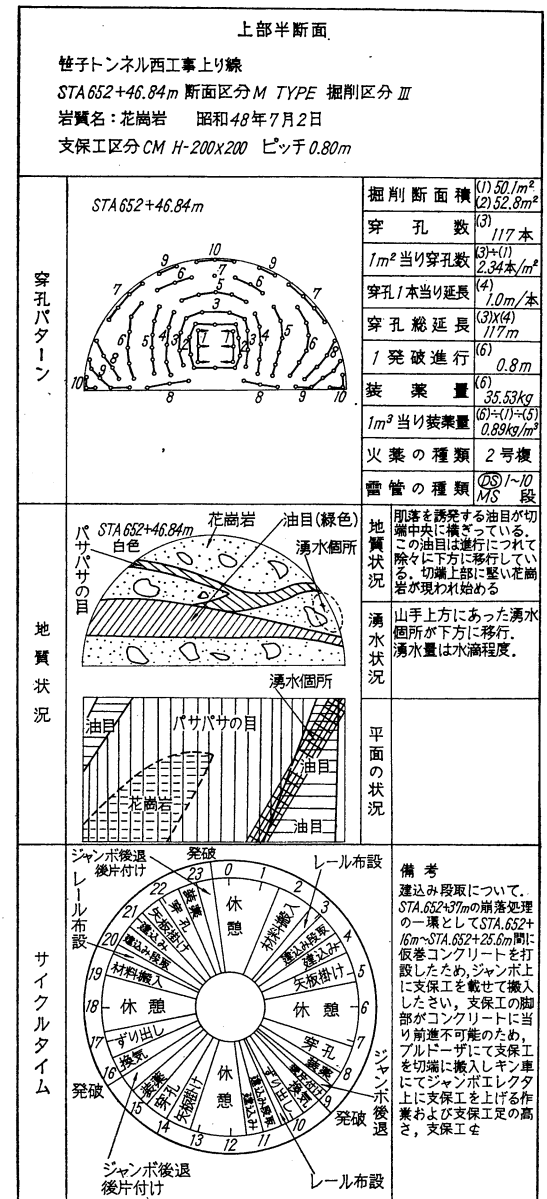


図-14 穿孔パターンとサイクルタイム

(ロ) ミキサ 石川島コーリング強制攪拌式

(ハ) 計量機

計量方式 電子管全自動パンチカード方式

容量 1.75 m³~0.5 m³ まで 6 種類

(ニ) 能力 90 m³/h

iv) 充電設備

8 t または 10 t のバッテリーロコを、上り線、下り線とも 10 台使用している。充電設備は上下線いずれもシリコン整流器 200 V 18 kW を設備して充電している(図-16 参照)。

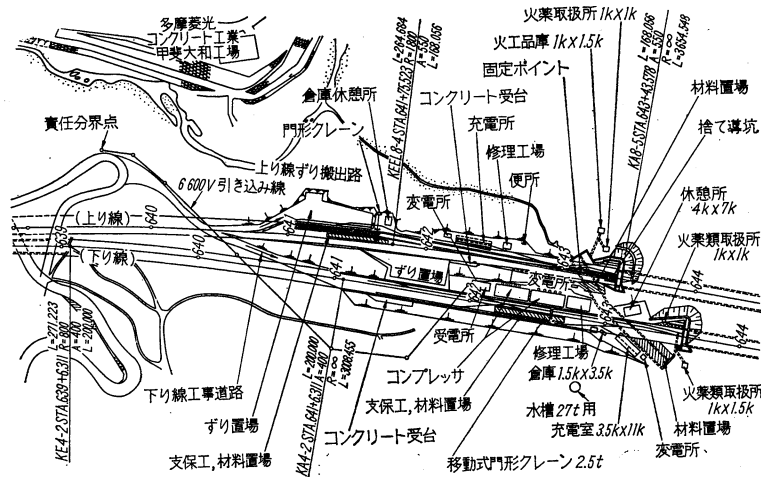


図-15 西坑口仮設備配置図

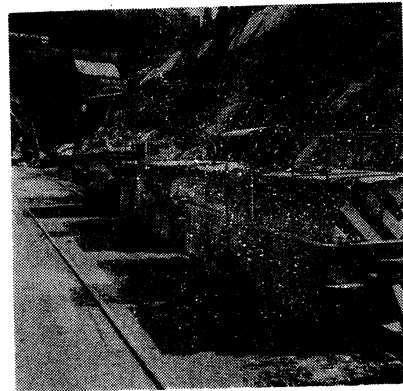


図-16 蓄電池式機関車 (バッテリー D 5)

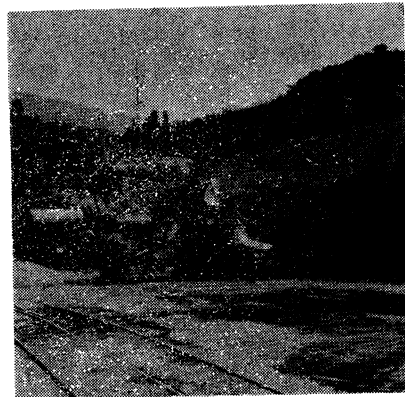


図-18 ずり置場とドーザーショベル

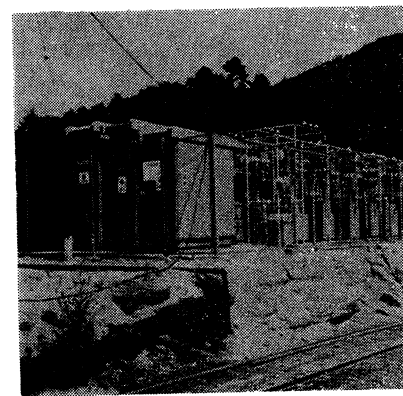


図-17 受配電設備 (受変電所)

v) 受配電設備

最大契約電力量は西口として1500kWである。6000Vの高圧受電設備(図-17)を西口近くにおき、これより分岐して構内高圧は3000V、明り部動力は200V、電燈用は100Vの低圧電線で供給する。主な機器は1坑口あたりコンプレッサ825kW、構内換気150kW、充電関係110kW、明照100kW等である。

vi) ずり置場

トンネル西坑口では、ずりびんを設けず、ずり棧橋より落下堆積させる方法をとっている。堆積したずりはD60S(1.8m³)またはD705S(2m³)ドーザーショベルで積み込みダンプで搬出する(図-18)。

(4) 安全施設

i) 歩車道の分離

笹子トンネル東口においては、コンクリート運搬用のミキサー車、ずり出しダンプ等坑内が輻湊し、坑内において重機誘導による接触事故が続いた。その対策として重機のUターン位置の指定とともに、坑内をロープによって歩車道を区別し、接触事故を防止している。

ii) 暴走防止にATSの採用

トンネル東口の上り線の黒野田トンネルよりずり捨場に至る区間は、2%の下りこう配のため速度を10km/hに制限している。しかし鋼車がずりを積んだまま暴走したときの安全対策としてレールにATS装置を取り付け、10km/hをオーバーした鋼車は自動的に停止して事故を未然に防ぐ装置が取り付けられている。

表-1 掘削実績 (m/日)

工事	上下線	薄 坑		上 半		大 背	
		最小~最大	平均	最小~最大	平均	最小~最大	平均
西口工事	上り線	100~220	170	80~150	130	100~180	140
	下り線	150~180	160	100~120	110	120~170	130
東口工事	上り線	100~120	120	100~140	120	90~200	150
	下り線	170~180	180	90~150	120	100	100

表-2(1) トンネル主要機械一覧表 (西工事上り線)

名 称	仕 様	数 量	摘 要
ドリルジャンボ	ヘビードリフタ級4連装	1	D-95
ずり積み機	バケット容量0.60m³	1	RS-95 A
バッテリーロコ	10t	2	再生制御式
鋼 車	6.0m³	7	
ドリルジャンボ	ヘビードリフタ級11連装	1	D-95
ずり積み機	バケット容量1.34m³	1	D-55 S
バッテリーロコ	10t	3	再生制御式
鋼 車	6.0m³	19	
ずり積み機	ベイローダ1.45m³	2	JH 63
オイルジャンボ	重量72t	1	D-95
バッテリーロコ	10t	2	
鋼 車	6.0m³	11	
レッグドリル	322DL 級	6	
スライドセントラル	l=12.00m	1	メタルフォーム
プレスクリーン	6.0m³	3	PC-605
パイプレータ	フレキシブル φ45mm	5	
組み立てセントラル	4.50m分	1	
バッテリーロコ	8t	3	
スライドセントラル	l=12.00m	1	メタルフォーム
プレスクリーン	6m³ 積み	2	PC-605
バッテリーロコ	8t	2	
組み立てセントラル	2m分足付用	7	抜き掘り用
コンプレッサ	200kW	5	掘削、コンクリート
ドーザーショベル	バケット容量1.8m³	1	D60S級ずり積み用
ダンプトラック	8~11t	8	ずり運搬用
トラッククレーン	8t	1	仮設作業用
ブルドーザ	13.3t	1	D50S 級捨場用
門形クレーン	2.5t	1	
ポンプ	φ2", 2.5"	1	式

故を未然に防ぐ装置が取り付けられている。

iii) 落石防止

L断面の部分の側壁の高さは5.60mもあり、通常のトンネル側壁高さ(約3.5m)より約2.1mくらい高い設計になっている。そのため大背、中背を掘削したあと

表-2(2) トンネル主要使用機械一覧表 (西工事下り線)

名 称	仕 様	数 量	摘 要
ドリルジャンボ	ヘビードリフタ4連装	1	古河 D-95 4台
ずり積み機	バケット容量0.6m³	1	大空 950 B
バッテリーロコ	8~12t	2	
鋼 車	6m³	9	
ドリルジャンボ	ヘビードリフタ9連装	1	古河 D-95 9台
ずり積み機	バケット容量1.4m³	2	Catt 955 L
バッテリーロコ	12t	2	無線装置付
鋼 車	9.2m³	16	
ドリルジャンボ	ヘビードリフタ2連装	1	古河 D-95 2台
ずり積み機	バケット容量1.34m³	1	小松 D55 S
〃	〃 1.0m³	1	ベイローダJH30
〃	〃 1.4m³	1	〃 JH63
バッテリーロコ	8t	3	
鋼 車	6m³~9.2m³	13	
レッグドリル	TY 24	6	
スライドセントラル	l=12m	1	メタルフォーム
スクリーン	6m³	3	
バッテリーロコ	8t	3	
パイプレータ	4.5mフレキシブル	5	
パラセントラル	4.5m分	4	
スライドセントラル	l=12m	1	メタルフォーム
スクリーン	6m³	1	
バッテリーロコ	8t	1	
パラセントラル	3m分	6	
コンプレッサ	200kW	2	
〃	165kW	1	
〃	110kW	1	
〃	75kW	4	
ドーザーショベル	バケット容量2m³	1	小松 D75 S
ダンプトラック	11t	7	
門形クレーン	3t 級	2	

では高い側壁部より岩石が落下して不慮の事故をおこす危険があるので、落石防止網(合成繊維)で側壁を全面的にカバーして落石による被害を防いでいる。

む す び

i) 掘削実績

薄坑、上部半断面、下部半断面の掘削実績は表-1のとおりである。

ii) 設備機械

西工事の設備機械は表-2のとおりである。