

甲府盆地に延びる中央自動車道 — 笹子トンネルの計画と現状 —

西村 嘉隆*

1. ま え が き

高速自動車国道中央自動車道は東京都を起点として神奈川、山梨、長野、岐阜の各県を経て、愛知県小牧市ですでに完成している名神高速道路につながり、兵庫県西宮市に至るもので総延長は 550 km に及ぶものである。

このうち、東京都杉並区から山梨県富士吉田市間を富士吉田線と呼び、同じく山梨県大月市からわかれ峠、小牧を経て兵庫県西宮市に至る路線を西宮線と呼んでいる。

西宮線は多治見～西宮間を完成し、現在残りの区間（多治見～大月間）の建設を行なっている。

笹子トンネルは、西宮線大月～勝沼間の御坂連峰の笹子峠を貫く延長約4.4km、上下線2本の長大トンネルで、昭和47年3月着工し、昭和50年10月完成を目標に工事を急いでいるものである。

2. 地形と地質

2-1 地形

笹子峠は古くから甲州街道の要衝の地として知られたところで、現在も国鉄中央本線(上下線)、一般国道20号線、旧国道20号線のトンネル4本が平行または交差している。この地域は標高1,300mを越える急峻な山岳地形となっており、大月側のけつ岩を主とする地域の谷山塊は急な山腹斜面をなし、山肌の崩落がところどころある。大和側の花崗閃緑岩を主とする地域では、多少緩やかな山容

* 日本道路公団笹子トンネル工事事務所前所長

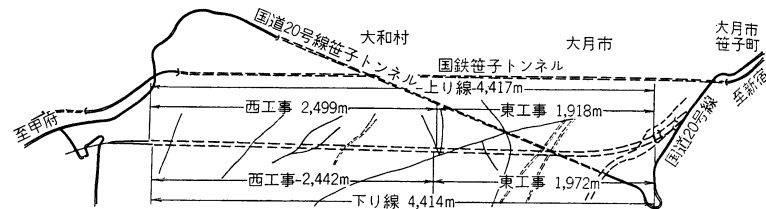


図-1 笹子トンネル平面図

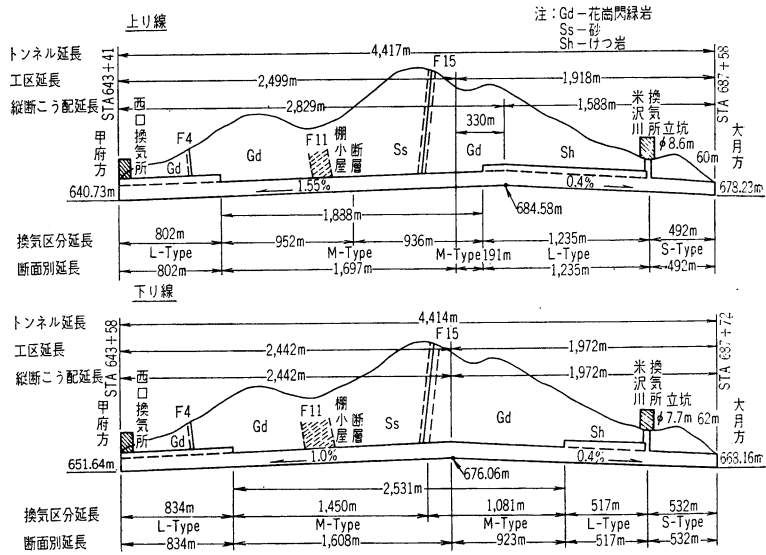


図-2 笹子トンネル概要図

をなし、河川には真砂土層の崩落地形がみられる。

2-2 地質

この地域の地質は中世代の小仏層で、砂岩、けつ岩を主とする堆積層と、これに第三紀に貫入した花崗閃緑岩とからなり、花崗閃緑岩と接しているところはホルンヘルス化している。

大月側のけつ岩を主とする地域の岩は、堅硬であるが一般に割目が多いと推定される。分水嶺より棚小屋西沢付近に至る地域は砂岩が優勢で堅硬である。大和側坑口

より棚小屋西沢付近、および分水嶺より笹子に至る山腹には花崗閃緑岩が分布する。深部は堅硬とおもわれるが、坑口側では割目が多く、真砂状になっており、湧水も多いと推定される。

問題となるのは、棚小屋西沢に沿った広い断層と、分水嶺付近の小仏層と花崗閃緑岩とを境とする断層だと思われる。

3. 線 形

3-1 平面線形

上り線施工延長4,417mのうち、大月側坑口よりクロノイド長をふくめてR=1,300m、影響曲線長約900mを有している。残り大和側坑口まで直線である。

下り線施工延長4,414mのうち、大月側坑口よりクロ

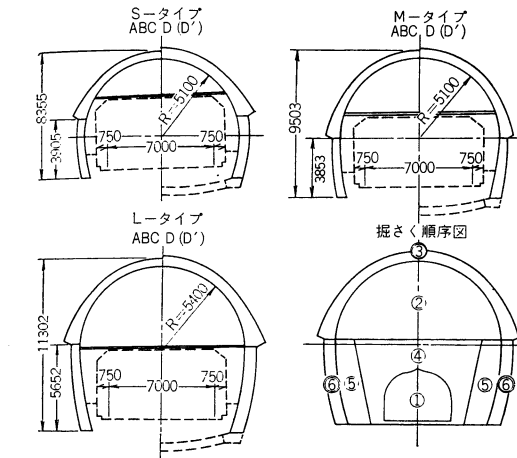


図-3 トンネル断面図(上り線)

ノイド長をふくめてR=1,100m、影響曲線長約900mを有し、残り大和側坑口まで直線である。

3-2 縦断こう配

本トンネルは4km以上の長大道路トンネルであり、機械換気を必要とする。このため、完成後走行車の排気ガスをできるだけ少なくするため、上りこう配は2%以下とし、トンネル前後の道路の関係を考慮して、図-2に示すおがみこう配とした。

4. トンネル断面

トンネルの内空断面を決める道路構造規格(昭和45年10月道路構造令)は、第1種3級、設計速度80kmを採用する。また車道上部を換気用の送排風ダクトに使用するので、その必要面積から上下線とも3種類の断面としている。このうち1種類(Lタイプ)区内は、掘さく断面140m²にも及ぶ大断面となっている。

覆工厚は坑口部、断層破砕帯部は70cmとし、ほかはすべて55cmとした。とくに地質の悪いところと、坑口部で偏圧を受けるところはインバートを設けた。施工は逆巻工法によるので、アーチ基部には45~60cmのアゴを設けた。側壁は土圧に対して有利な円弧を採用した。

また、トンネル延長が長いので、トンネル内に監視員通路を設置する。監視員通路の位置は走行方向左側の建築限界外とし、幅75cm、高さ2mとし、車道面より1m高くした。

5. 非常駐車帯および連絡路

長大道路トンネルにおいては、適当な間隔で走行車の非常駐車帯を設ける必要がある。笹子トンネルにおいては1,008mごとに非常駐車帯、および上り線、下り線の連絡路を設けることにした。配置および構造の概要は図-4のとおりである。

6. 換気計画

6-1 計画の経緯

昭和44年度における中央自動車道西宮線大月・勝沼間整備計画によれば、笹子トンネルは一時期対面交通トンネルとして供用を開始し、近い将来往復4車線の一方交通トンネルに移行する段階施工を予定していた。換気計画も、この方針に基づいて検討を開始したも

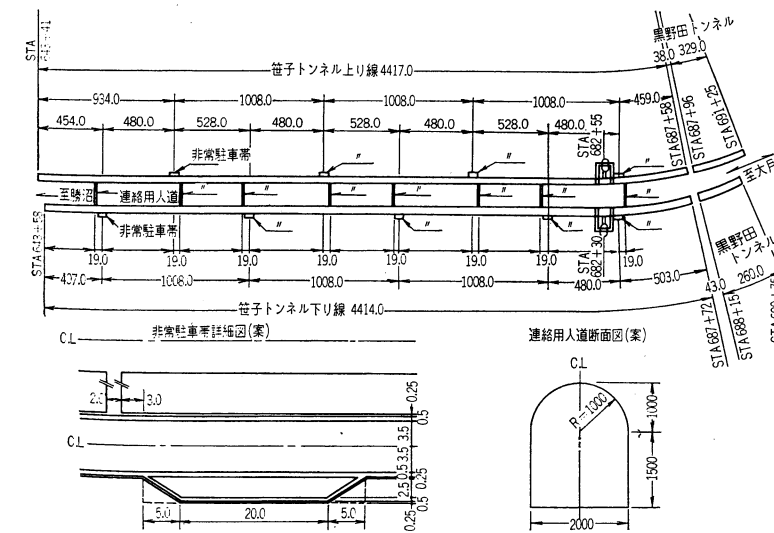


図-4 非常駐車帯、連絡路配置図

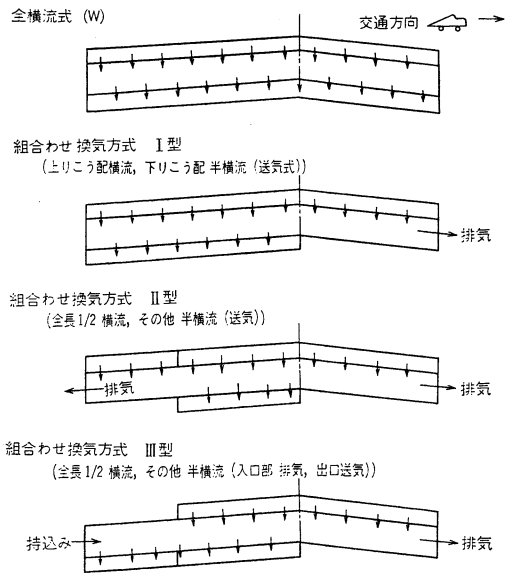
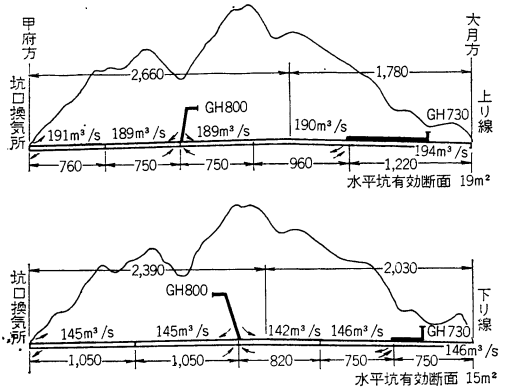


図-5 換気方式のパターン

のである。

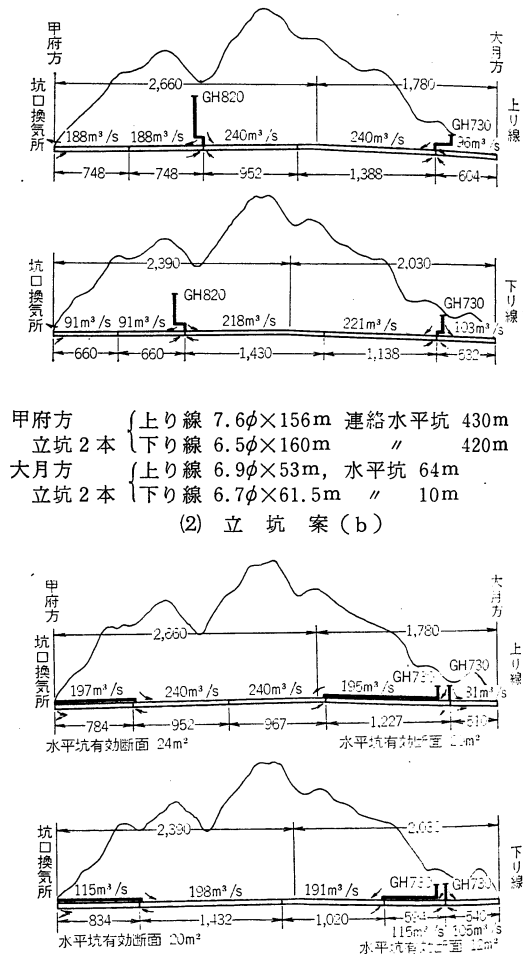
笹子トンネルの延長が約 4.5km と恵那山トンネルにつぐ長さから、対象となる換気方式は横流換気方式である。他面、一方交通のトンネルでは横流換気方式を採用しても、車両の通行に起因する(ピストン作用)縦方向車道内空気流(持込み風量)が生じる現象がある。この現象を積極的に利用して換気動力費の節減を計るべく、笹子トンネルでは、横流換気区間と半横流換気区間が共存する組み合わせ換気方式が検討の対象として立案された。横流・半横流の組み合わせ換気方式では、交通の流れる状



- 甲府方 斜坑 2本 { 上り線 28.7m²×650m
- { 下り線 38.7m²×820m
- 大月方 斜坑 2本 { 上り線専用立坑 7.4φ×53m
- { 下り線専用立坑 6.5φ×61.5m
- 立坑 2本 { 上り線 7.4φ×53m
- { 下り線 6.5φ×61.5m

(1) 立坑案(a)

態が比較的安定し、かつ、トンネル内で交通渋滞があり得ない場合は、理論的に十分換気目的が達成できると予想されるが、反面、トンネル坑口からの吐出汚染空気が横流換気方式にへらべて多い点、ならびに、車道内風圧の影響を受けやすいため、交通状態に対応して換気風量を変化するような運転方式の場合に、換気効果が横流の場合のそれにくらべて不安定な点などが欠点となる。本トンネルでは、昭和45年改めて全線4車線施工命令を受けた重要路線上にあり、かつ、トンネル東西坑口の地形上から汚染空気の吐出状況は無制限であり得ない判断から、安定した換気方式である横流換気方式に対応するトンネル断面および各種施設を整備し、組み合わせ換気方式の採用は、実際の換気運転の段階で、実情の許す限



- 甲府方 立坑 2本 { 上り線 7.6φ×156m 連絡水平坑 430m
- { 下り線 6.5φ×160m 〃 420m
- 大月方 立坑 2本 { 上り線 6.9φ×53m 水平坑 64m
- { 下り線 6.7φ×61.5m 〃 10m

(2) 立坑案(b)

- 大月方 立坑 3本 { 水平接続立坑(上下共通) 7.9φ×56.5m
- { 上り線専用立坑 6.2φ×53.0m
- { 下り線専用立坑 5.8φ×61.5m

(3) 水平補助坑案

図-6 ダクト分割図

り運用してゆく方針を採用し現在に至っている。

6-2 換気計画上の諸元

線形決定後の換気計画に関する必要諸元の概要は、つぎのとおりである。

- ① 計画交通量 26,000台/日(4車線), 1,820台/日(2車線あたり) 道路規格は第1種第3級山地を適用しているが、昭和80年における予想交通量を上のとおり定めている。
- ② 設計速度 80km/時
- ③ ディーゼル車混入率 17%
- ④ 所要換気風量 上り線 965m³/S (4,417m) 下り線 716m³/S (4,414m) いずれも煤煙を対象とし、許容透過率を50%と仮定している。

6-3 ダクト分割

トンネル計画の準備段階の線形は現在のそれと若干異なっているが、つぎに示す案が選出され、比較検討の対象となった。

いずれも、建設費のうえでは大差はないが、中間部の立斜坑を設ける案では、建設のうえから地上換気所が望ましく、一方、管理の面から中間換気所に至る道路のルート、および冬期凍結の面で難点があって、動力費は数%高いが、管理上とくに問題のない水平補助坑案(3)が採用された。その後、線形の一部変更を経て地質調査の進行とともに、水平補助坑を本坑の断面内に包含する現在の大断面案が採用されている。

6-4 換気設備計画と問題点

換気設備は現在計画中であるが、大断面案を採用したことによって、図-7に示す設備計画のとおり、トンネル換気系統を2分割する案の検討が生じてきている。本案は4分割案と動力費のうえではほとんど差がないため、天井板、連絡ダクト構造および換気所内送風機配置計画のうえで、きわめて有利である。ただし、つぎの諸点に問題が残されている。

- 1) 従来、トンネルダクトの限界長は約1,500mを目標としていたが、本案では1,616~2,266mと長大化する。この影響は、主として換気風量の少ない運転状態にお

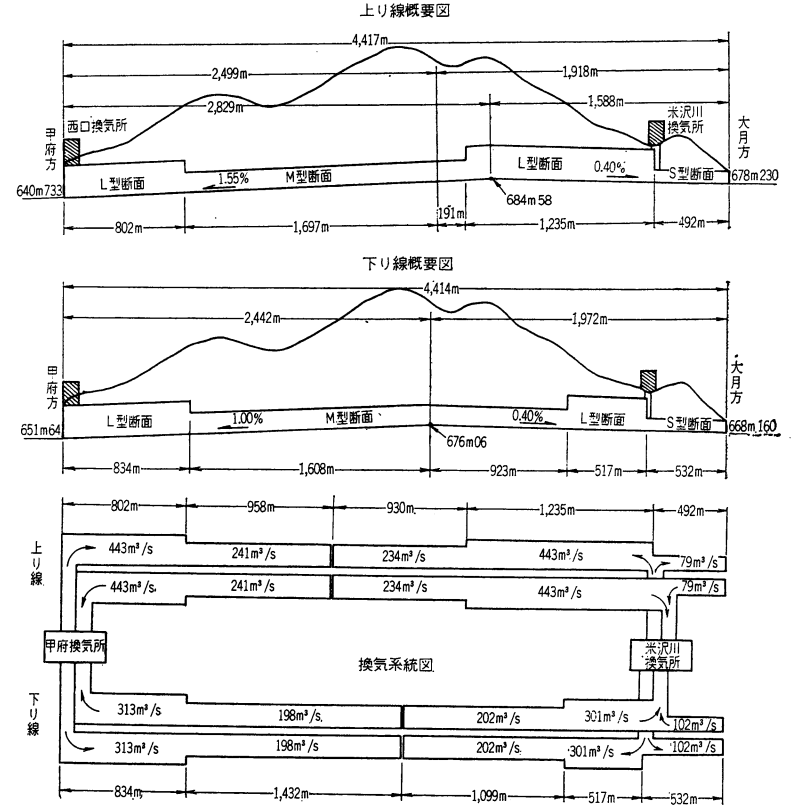


図-7 笹子トンネル換気概要図

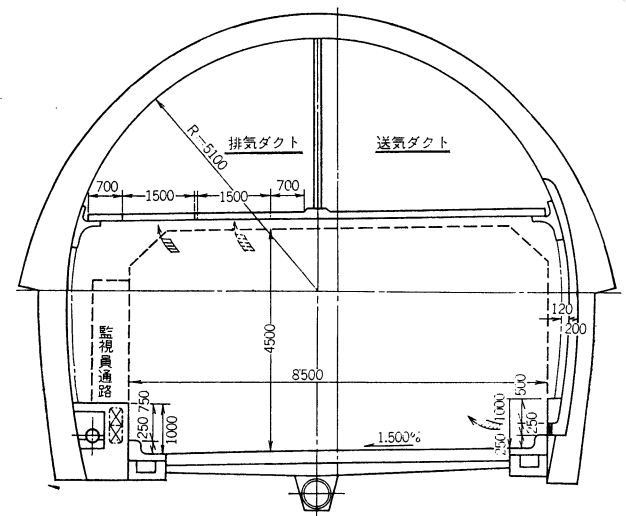


図-8 トンネル内装図

けるトンネル延長方向の風量の分布性と、火災時の排煙対策用換気運転プログラムの数が少ない点に問題点がある。

- 2) 送風機の1機あたりの風量が大容量となり、大型電

表-1 立坑各案比較表

区分	立坑形状	既算工事量	施工性	構造概要	送風機	ダクト曲り	維持管理性
一本案	上下線 10.0×16.5m 上下線 送排気共用	掘さく量 約16,000m ³ コンクリート量 約3,000m ³	1.トンネル本体との間隔が十分とれない 2.立坑掘さく断面大である(約200m ²) 3.横坑ダクトが、トンネル本体越しとなり、構造上の難点がある	立坑↔連絡ダクト取付け4か所 本坑↔連絡ダクト取付け4か所 計 8か所	上り線6台 下り線4台 計 10台	送気3か所 排気2台 計 5台	エレベータ 1か所
二小判	上り線送排気立坑 7.0×13.5m 下り線送排気 7.0×12.0m	掘さく量 約18,000m ³ コンクリート量 約6,000m ³	1.立坑底部取付けが容易 2.立坑とトンネル本体が別作業可能 3.立坑掘さく断面が小さい	立坑↔連絡ダクト取付け6か所 本坑↔連絡ダクト取付け6か所 計 12か所	5台並列 2階建	同上	エレベータ 2か所
本円型	上り線送排気 φ11.4m 下り線送排気 φ10.4m	掘さく量 約20,000m ³ コンクリート量 約6,500m ³	1.立坑の安定性良、および施工が容易 2.②小判に同じ 3.②小判に比し断面若干大となる	②小判と同じ	②小判に同じ	同上	同上
案④(直上小判)	上り線送排気 8.0×12.5m 下り線送排気 7.0×12.0m	掘さく量 約15,000m ³ コンクリート量 約6,000m ³	1.施工性に難点あり 2.トンネル本体先行施工となり、取付け構造上問題点多い 3.トンネル本体工事と輻奏する 4.危険性大	本坑と立坑取付け4か所	上り線6台 下り線4台 計 10台 縦型配置となる	送気1か所 排気1か所 計 2か所	同上

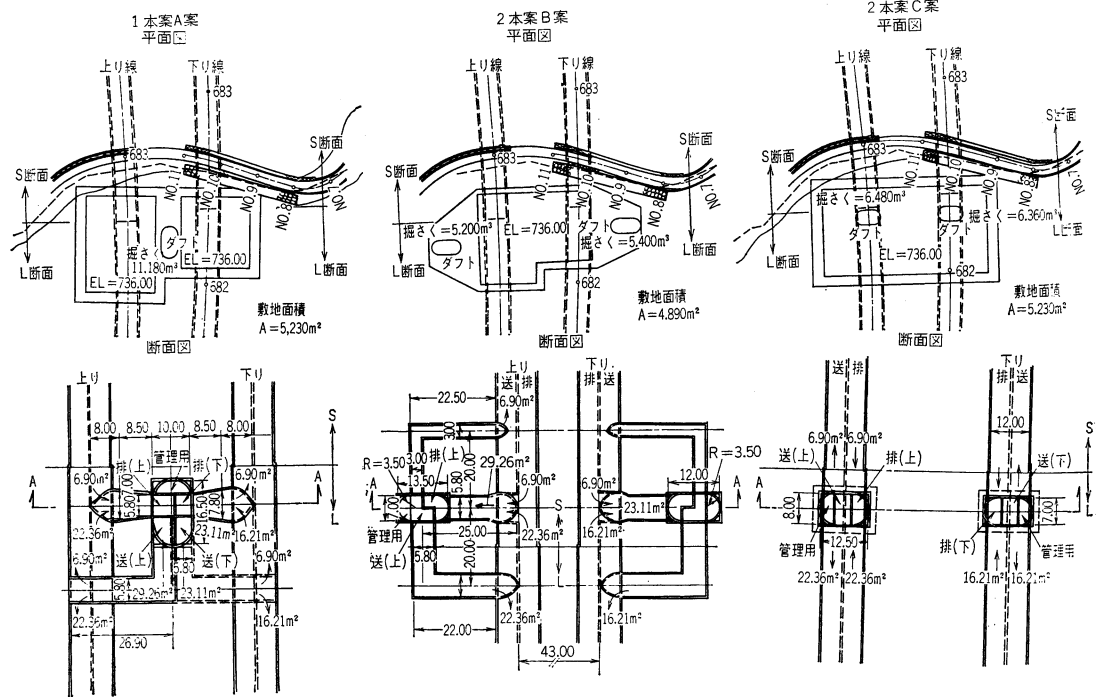


図-9 立坑案比較図

動機を必要とする。

3) 換気運転運用上の組み合わせ換気方式の選択数が減少する。
これらについての検討結果は、後日改めて報告することにした。

7. 立坑計画

7-1 配置、形状の選択

笹子トンネルの換気計画により、立坑の位置は米沢川

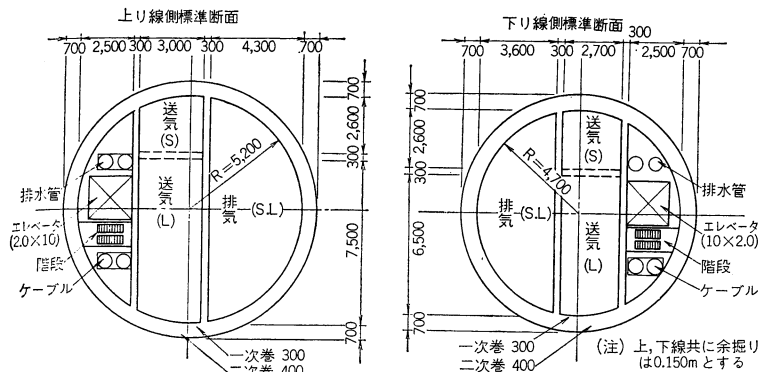


図-10 立坑断面図

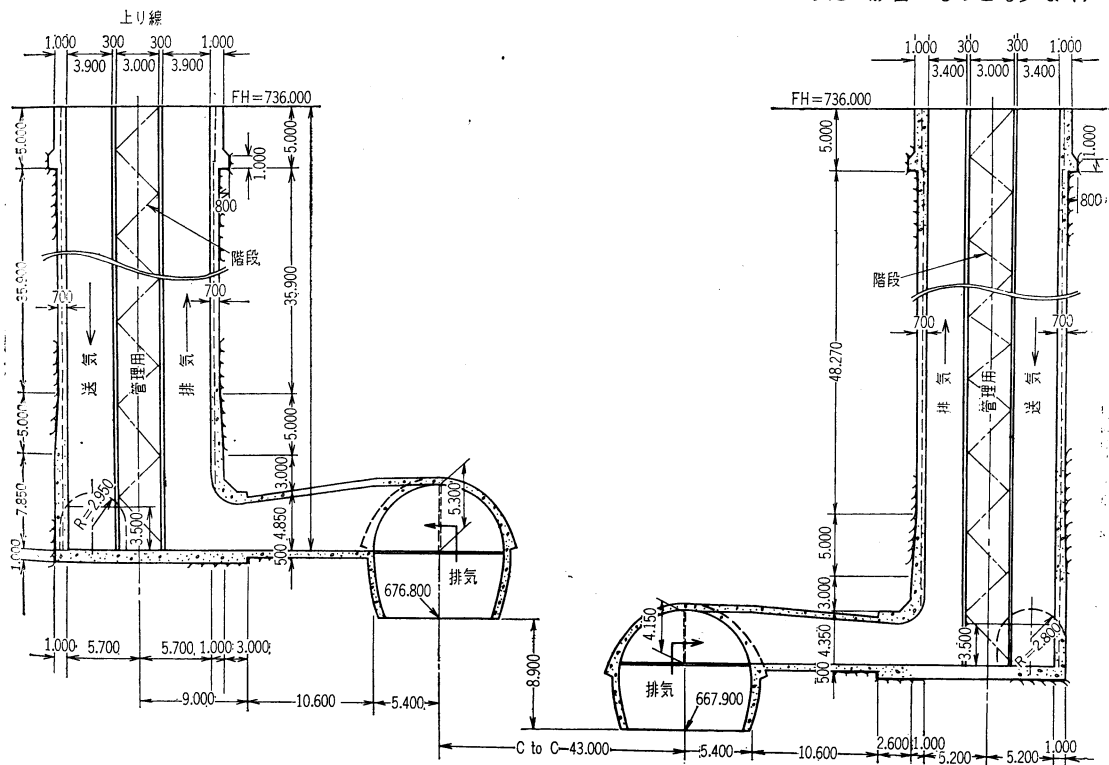


図-11 立坑計画図

付近と決定した。立坑の配置は、本坑送排気ダクトとの取付けを考慮すると、1本案と2本案が考えられ、さらに立坑下部における連絡ダクトの配置から、1本案、2本案についてそれぞれ数案が考えられる。

断面形状は、円形と小判形の2種について比較検討を行なった。一般的には円形の方が、土圧に有効に耐え経済的であるが、断面積では送排気ダクトの必要断面積、および管理用の必要断面積を考慮した場合、小判形が経済的となる。これらを考え、配置と形状を組み合わせ比較

を行なって見たのが表-1である。

立坑1本案は掘さく断面が大断面となること、立坑位置を上下線トンネル中間に設けるので、トンネル本体に影響をあたえるなど、施工上に問題が多い。

2本案は立坑位置を、a) 本坑と本坑の中間に設ける。b) 本坑上下線の外側に設ける。c) 本坑上下線の直上に設ける3案が考えられる。このうち、b) 本坑外側に設ける案が、他案に比して本坑に与える影響がもっとも少なく、

構造も単純であり、上下線換気は独立し、連絡ダクトも数は多いがそれぞれ独立しており、本坑と立坑が単独で作業ができる。以上検討の結果、立坑本体、連絡ダクトの施工性、経済性から判断して、立坑2本案、円形断面、本坑上下線外側に設置する案が採択された。

7-2 構造

換気計画から立坑の送気・排気の必要断面積は、上り線58.5m²、下り線46.2m²となる。別に管理用のスペースをそれぞれ約15m²設け、内空断面を図-10のとおりとした。

覆工厚、構造の詳細については検討中であるが、概略の構造を示すと図-11のとおりである。

8. 施工

8-1 工区割と工程

笹子トンネルの東側に沢を隔てて、黒野田トンネル(上り線329m、下り線280m)が接している。工区割りは黒野田トンネルを含めて2分割して、大月側、大和側の上下線4坑口より着工することにした。

東工区は、笹子トンネルのずり搬出を黒野田トンネルを通して行なう計画としたので、笹子トンネルの掘さくは、黒野田トンネル上部半断面掘さく後にかかることに

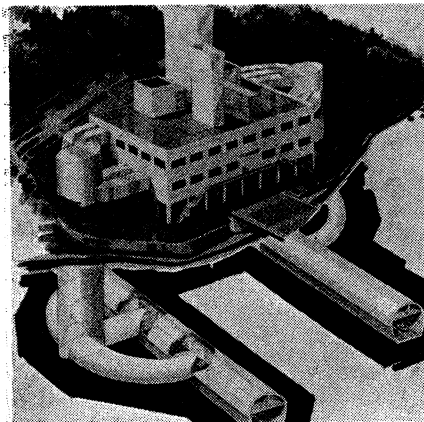


写真-1 立坑完成予想図

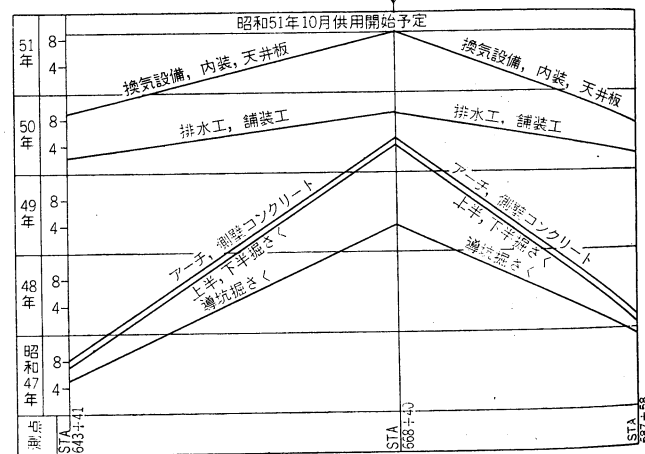


図-12 工程表

表-2 笹子トンネル概算工事数量

項目	単位	東工区			西工区			合計
		上り線	下り線	小計	上り線	下り線	小計	
トンネル掘さく	m ³	214,500	188,600	403,100	267,800	243,900	511,700	914,800
覆工コンクリート	m ³	41,500	37,200	78,700	51,900	48,200	100,100	178,800
鋼アーチ支保工	t	1,550	1,590	3,140	1,840	1,850	3,690	6,830
火薬量	t	320	280	600	400	370	770	1,370
コンクリート舗装	m ²	13,400	13,800	27,200	17,500	17,100	34,600	61,800

せにより導坑上の鋼車に積み込み、搬出する。

大背掘さくはレッグドリルによりさく孔する。積み込みは、ロッカショベルおよびドーザショベルにより搬出す

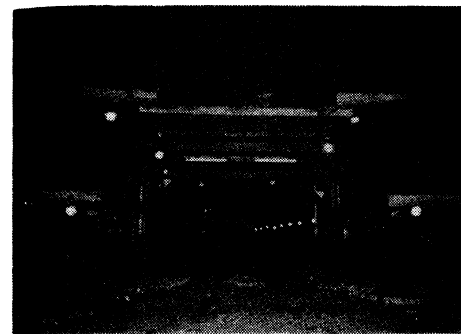


写真-2 さく岩機11台搭載ジャンボ

る。

土平掘さくは、アーチコンクリート打設12mのジョイント部3mずつを抜掘り、コンクリート打設後その間9mを掘さくする。

東工区下り線の施工は、坑口30mは側壁導坑先進上部半断面により施工し、以奥は底設導坑先進上部半断面掘さく工法で施工する。

導坑は単線断面とし、導坑掘さく中心線は図-14に示すとおり、本坑中心線より右へ偏心して掘さくする。

底設導坑の目的は、主として地質の確認、地山の湧水をしぼることを考慮し、とくに地質の悪い部分、および工期が延期した場合には、この導坑を側壁導坑に移行し、工事の安全確実な施工と工期の確保を計る。

導坑掘さくはレッグドリル2台により、ショートさく

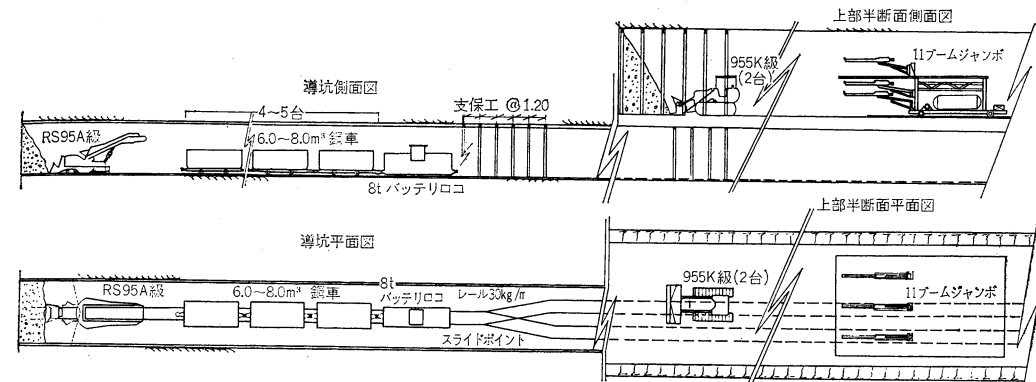


図-13 トンネル掘さく計画図(西工区)

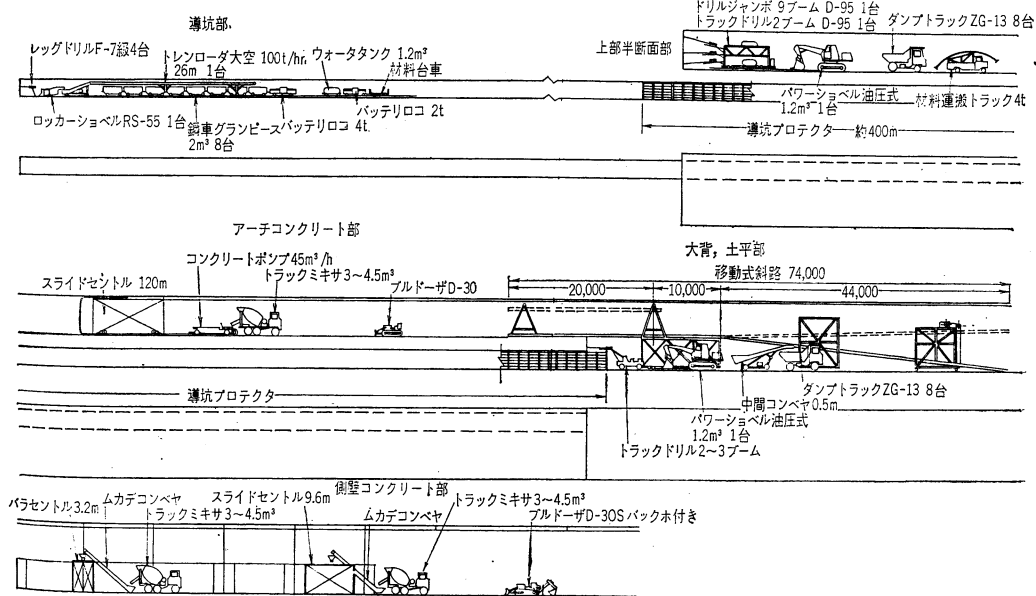


図-14 トンネル掘さく計画図(東工区下り線)

表 3・1 笹子トンネル主要機械一覧表 (東工区)

工種	項目	上り線				下り線			
		機械名	性能	台数	備考	機械名	性能	台数	備考
導坑掘さく	さつ孔	ジャンボ	4ブーム自走、エレクタ付 ヘビードリフタ, X-85	1	パケット容量0.5m³	レックドリル	F-7級 ロッカシヨベル RS-55 大空100t/H×26m	4	
	ずり運搬	ロツカシヨベル トレンコベヤ車 鋼パツテリロコ	RS-95 900%×35m 6m³ 8t	1 1 1 8 2	4両2編成 4両けん引	ロッカシヨベル トレンコベヤ車 鋼パツテリロコ	2m³グラランビ 4t RG610	1 1 12 2	
上半掘さく	さつ孔	門型ブームジャンボ	9ブーム自走、エレクタ付 ヘビードリフタ, X-85	1		ドリルジャンボ	9ブーム, D-95	1	
	ずり運搬	トラツクジャンボ タイヤシヨベル車 鋼パツテリロコ	2ブーム自走 ヘビードリフタ, X-85 1.9m³ 6m³ 10t	1 18 3	6両3編成 6両けん引	トラツクドリル パワーシヨベル 重ダンプトラツク 移動斜路	2ブーム, D-95 油圧1.2m³ 13.5t×平積8m³ 3.5mW×80m	1 1 1 8 1	油圧シヤッキ4, ワイナチ3, パワ ーユニユニット装備
大背・土平掘さく	さつ孔	クローラドリル さく岩機	CD-5 レック付	1	L断面中段掘さく用				
	ずり運搬	トラツクシヨベル車 鋼パツテリロコ ジャンボ	955K 6m³ 8t	1 8 2	" " "	レックドリル	F-8級	6	
アクリリ チコン	さつ孔	タイヤシヨベル車 ダンプトラツク 鋼パツテリロコ	2ブーム自走、 ヘビードリフタ, X-85	1 3 8 2	4両2編成 4両けん引	トラツクドリル パワーシヨベル トラクタローダ 重ダンプトラツク	2ブーム, D-95 油圧1.2m³ CAT977L 13.5t×平積8m³	2 1 1 1 2	
	ずり運搬	スライドフォーム 組立セントル	l=12m 6m	1 1		スライドセントル 組立セントル	l=12m 6m	1 1	

表 3・2 笹子トンネル主要機械一覧表 (西工区)

作業名	上り線				下り線							
	名	仕	機	数量	台数	要	名	仕	機	数量	台数	要
導坑掘さく	ドリルジャンボ	ヘビードリフタ 級4連装	X850	1	X850	ドリルジャンボ	X850	1	ヘビードリフタ 級4連装 950B	1		
	ずり運搬	パツテリロコ車	パケット容量0.60m³ 8~10t 6.00m³級	1 1 2 7~8	R S-95A	ずり運搬 パツテリロコ車	パケット容量0.60m³ 8~12t 9.2m³級	1 1 2 5				
上半掘さく	ドリルジャンボ	ヘビードリフタ 級11連装	X850	1	X850	ドリルジャンボ	X850	1	ヘビードリフタ 級11連装 CAT 955級	1		
	ずり運搬	パツテリロコ車	パケット容量1.34m³ 重量13t級 8~10t 6.00m³級 322DL級	2 3 16	CAT 955級	ずり運搬 パツテリロコ車	パケット容量1.34m³ 重量13t級 12t 9.2m³級	2 2 2 16				
大背・土平掘さく	ずり	積機	パケット容量0.60m³	1	土平川側RS-95A	ずり	積機	パケット容量0.60m³	1	土平川側RS-85A		
	ダイゼルまたは パツテリロコ車	パケット容量1.34m³ 重量13t級 8~10t 6.00m³ 322DL級	1 1 2 8 6	土平山側CAT955級		ダイゼルまたは パツテリロコ車	パケット容量1.34m³ 重量13t級 8~10t 9.2m³ TY24	1 1 3 5 8		土平山側CAT955級 中割1台 大背・土平2台		
拱コンクリート	スライドセントル	l=12.00~15.00m 6.00m³ 6~8t	1 3 3	メタルホォーム型 PC-605		スライドセントル	l=12.00m 6.00m³ 6~8t	1 3 3	メタルホォーム型 PC-605			
	パイプレンター 組立セントル	フレキシブルφ45mm 4.50m分	5 1			パイプレンター 組立セントル	フレキシブルφ45mm 4.5m分	5 1				
側壁コンクリート	スライドセントル	l=12.00~15.00m 6.00m³ 6~8t	1 1 1 4	PC-605		スライドセントル	l=9.00m 6.00m³ 8~10t 3m分	1 1 1 4	PC-605			
	パイプレンター 組立セントル	200kW パケット容量1.80m³ 重量17.30t 8~11t級 8t級 13.30t級 2.5t級 φ2'~5'	4 1 5~6 1 1 1 1式	抜挿用		パイプレンター 組立セントル	200kW パケット容量1.80m³ 重量17.30t 11t級 8t級 13.30t 2.5t級 φ2'~5'類	4 1 5~6 1 1 1 1式	抜挿用			
共通機械	コンプレッシャ	パケット容量1.80m³ 重量17.30t 8~11t級 8t級 13.30t級 2.5t級 φ2'~5'	4 1 5~6 1 1 1 1式	挿さくコンクリート D60S級 トンネルずり積用 ずり運搬用 仮設作業用 D50級, 捨場用		コンプレッシャ	パケット容量1.80m³ 重量17.30t 11t級 8t級 13.30t 2.5t級 φ2'~5'類	4 1 5~6 1 1 1 1式	挿さくコンクリート D60S級 トンネルずり積用 ずり運搬用 仮設作業所 D50級, 捨場用			

孔の多サイクル方式として、掘さく長は1.2m程度とし、坑内のずりは1列車にて搬出する。

上半断面掘さくは11ブームドリルジャンボを使用し、西工区と同じ施工とする。ずり搬出は重ダンプトラック8t車により搬出する。このため図-14掘さく計画図に示すような移動斜路を設ける。

移動斜路は上下に重ダンプトラックの通行可能な構造としておき、下部の通行するときは斜路後部を巻上げるようにし、大背の発破およびずり積み時には前部の橋りょう部を巻上げて、橋りょう部の破かいを防止し、かつ、積み込み能率をあげる。斜路の移動は移動式レールによって行なう。

西工区上り線の掘さく工法は、東工区とはほぼ同じ底設導坑先進半断面掘さく方式を採用している。

アーチ部支保工は、H型鋼アーチ支保工を全線に使用
表-4 鋼アーチ支保工断面および設置間隔

断面	岩質区分	支保工断面	ピッチ	備考
L	A	H-200	1.50	H-200×200×8×12
	B	H-200	1.20	
	C	H-200	0.90	
	D	H-200	0.60	
	D'	H-200	0.60	
S.M	A'	H-175	1.50	H-175×175×7.5×11
	B	H-175	1.00	
	C	H-200	1.00	H-200×200×8×12
	D	H-200	0.75	
	D'	H-200	0.75	

表-5 覆工コンクリート配合設計

	用途	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	細骨材率 (%)	単位細骨材 (kg)	単位粗骨材 (kg)	AE剤	空気量 (%)	材令28日にける圧縮強度 (kg/cm ²)
T ₁	アーチ側壁	40	10~15	59.3	270	160	35	664	1,240	減水剤	3~6	200
T ₂	インバート	40	5~10	59.3	270	160	38	741	1,220	—	—	200

する。建込み間隔は地質別に表-4のとおりである。

8-3 覆工

覆工は逆巻工法を採用する。アーチ部型わくはスライディングフォームを使用し、1打設12mずつ施工する。スライディングフォームは、両工区とも3種類の断面になっているので、Mタイプに作製し、S.Lタイプに流用できる構造とした。

東工区の打設はコンクリートポンプを使用し、西工区はレミコン車にて直接上半断面坑口まで運搬し、6m²積プレスクリーンに積替えて、坑内に運搬し打設する方法をとっている。

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、ジョイント部分を抜掘りし、組立セメントを使用して打設する。

9. あとがき

笹子トンネルは、着工して約10か月を経過したにすぎない。工事もようやく最盛期を迎えようとしている段階である。

建設中の中央自動車道恵那山トンネルにつぐ長大自動車道であり、換気、照明、防災施設などについて、それぞれ検討する事項が多い。

工事を安全、確実に進めるとともに、これらについてさらに調査研究してゆきたいと思っている。

工事のその後については機会を得て報告したい。