

中央自動車道西宮線 笹子トンネルの施工概要

周 佐 光 衛*
岸 寛**

1. はじめに

中央道西宮線は東京都を起点とし、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、兵庫県西宮に至るもので、総延長は約 550 km に及んでいる。このうち、東京都杉並区から山梨県富士吉田市間 92.8 km を富士吉田線と呼び、同じく山梨県大月市から分かれ、勝沼、韮崎、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。大月～勝沼間は昭和 44 年 4 月 1 日施工命令を受け、幾多の路線を比較検討しつつ現在の路線を昭和 45 年 3 月発表し、昭和 47 年 3 月、笹子トンネル本工事の発注に至っている。

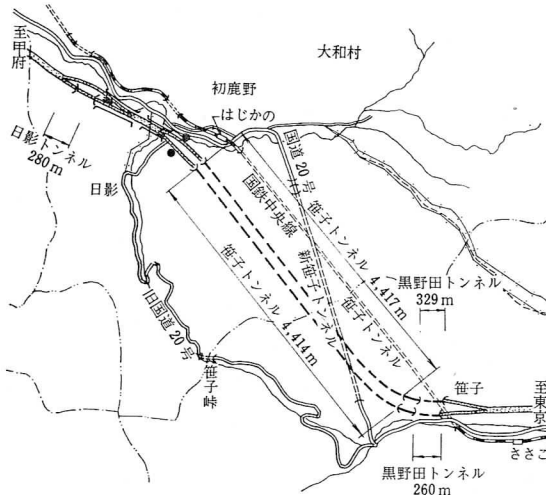


図-1 笹子トンネル位置図

この区間は笹子峠を境として大月側の笹子川、勝沼側の日川と各々急峻な谷間の山腹に 600 m を越す日川橋をはじめ、長大橋、長大のり面とその中間の笹子峠を延長約 4.4 km のトンネルで通過している。この笹子峠はすでに旧国道 20 号の笹子トンネル、国道 20 号新笹子トンネルおよびその補助ダクト、国鉄中央上下線と、笹子峠の山腹を計 7 本のトンネルがぬっている。これら条件下において現在施工中の中央道西宮線笹子トンネル（以下笹子トンネルという）について以下概況を述べる。

2. 工事概要

笹子トンネルは上下線同時施工で、その延長は上り線 4,417 m、下り線 4,414 m、道路トンネルとしては現在施工中の中央自動車道西宮線のうち、恵那山トンネル（延長 8,476 m、2 車線施工）に次ぐもので、その断面は換気上の必要面積より S 断面、M 断面、L 断面の 3 断面に分割し、そのうち L 断面は 140 m² の大きな断面となっている。なお、昭和 49 年 7 月現在約 85% の進行をみている。

3. 地質

笹子トンネル地域の地質は中世代白亜紀と推定される小仏層の頁岩、砂岩、チャートの堆積層と、これに第三紀に貫入した花崗閃緑岩から成り立っている。そして花崗閃緑岩と接しているところはホルンフェルス化している。大月側の東坑口より米沢川を経て約 2 km の区域は頁岩層であり、一般に割れ目が多く、粘土をかみ、脆弱中央部の砂岩層は安定した岩盤である。甲府側の西坑口一帯は花崗岩地域であり、深部は硬岩であるが、地表部は割れ目も多く、かつ風化も進んでおり、湧水も多い。特に問題となるのは棚小屋西沢に沿う断層で、破砕帯の規模は 150 m に及んでいる。また、全般に粘土をか

* 日本道路公団東京第 2 建設局笹子トンネル工事事務所笹子工事区工事長
** 日本道路公団東京第 2 建設局笹子トンネル工事事務所笹子工事区

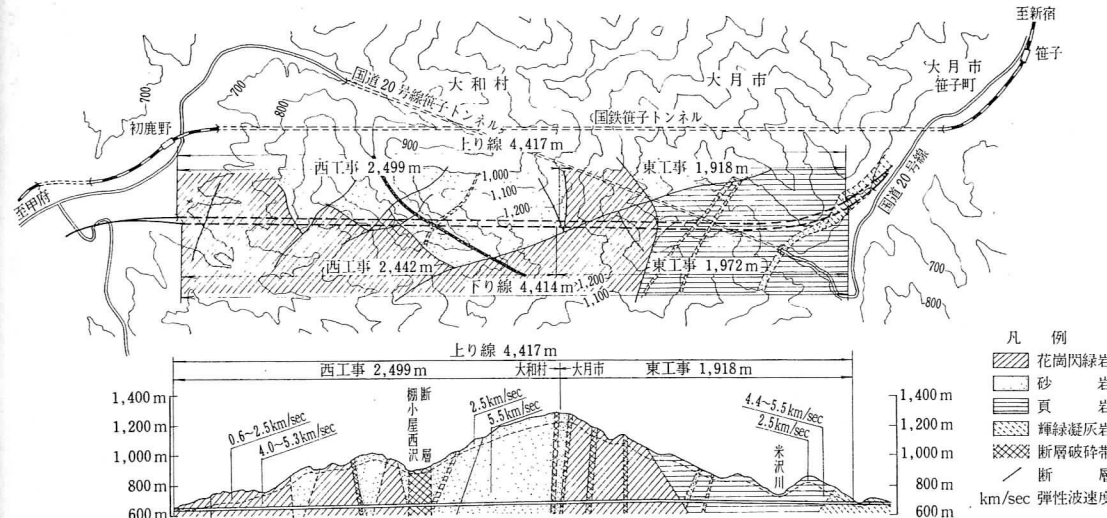


図-2 笹子トンネル地質図

だ破砕帯が競合して 30~150 m³ の落盤を誘発し、工事進捗上支障となっている。通常の湧水は東坑口で約 1.0 m³/min、西坑口で約 6.0 m³/min である。

4. 諸施設

トンネル内外に自動車の安全かつ快適な走行を計るため照明設備はもちろんのこと、トンネル内で発生する火災あるいは交通事故に対処し、工業用テレビ、火災感知装置、自動水噴霧装置、消火栓設備が設けられている。また、1 km おきに非常駐車帯を設け、その設置される個所には上下線の連絡坑が設けられている。

5. 換気方式

換気方式としては横流換気、横流と半横流の組合せ方式、半横流換気の三つに大別されるが、本トンネルでは種々比較検討し、4,420 m という長大トンネルの換気にできるだけ安全性をもたせるとともに、火災時の排煙を効果的に行い、トンネル内の人々が避難しやすい横流式、また、初年度交通容量 15,000 台/日、30 年後 26,000 台/日という交通量を考えると、半横流換気方式では近い将来換気の質の向上ということで改善を余儀なくされるであろうことなども考慮して横流換気方式が採用された。

わが国で完全横流換気方式を採用しているのは現在日本道路公団で有料道路として営業している関門トンネル（2 号線）と現在建設中の恵那山トンネル、笹子トンネルのみである。恵那山トンネルについては補助トンネルを設け、送

排気するものであり、笹子トンネルは関門国道トンネルと送排風ダクト位置の相違はあるが、相似かよった形式で、立坑により送排気を行い、トンネル本体の上部に仕切板を設け、送排する形式を採用している。

換気能力としては設計交通量 1,820 台/hr（昭和 80 年度推定交通量 26,000 台/日）に対するものを考え、上り線 965 m³/sec、下り線 716 m³/sec の換気風量を計画している。送排風機を設置する換気所は 2 箇所とし、東方は坑口より約 500 m の米沢川に設け、立坑口より連絡する。西方については坑口より 80 m 地点に設ける予定である。送排風機は各々 10 台とし、全体の換気動力は

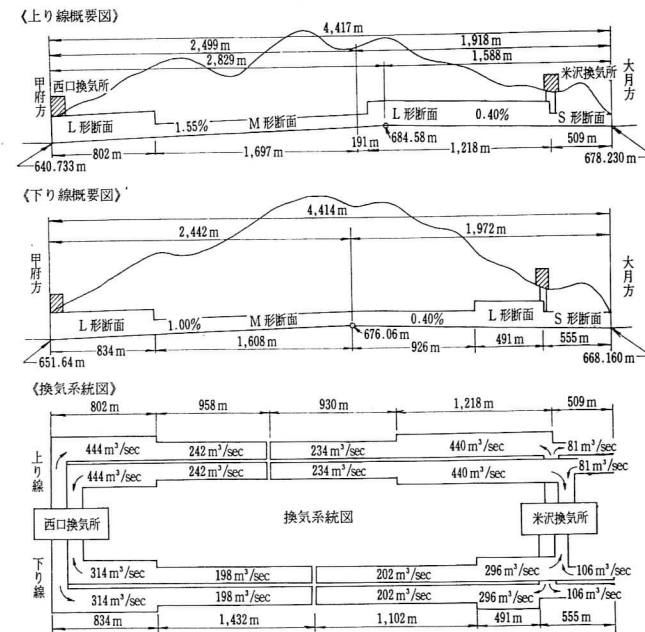


図-3 笹子トンネル縦断および換気系統図

最大 13,000 kW である。図-3 は換気系統図を示したものである。

6. トンネルの構造および規格

(1) 規格

当該区間の高速道路は3種A規格であり、設計速度は80 km/hr、トンネル幅員は車道幅員 3.5m×2 と路肩 0.75m×2 で計 8.5m で構成されている。上下線の中心間隔は約 35m で、トンネルの平面線形はほぼ直線で東側に R=1,300m、西側に R=1,800m の曲線を入し、地形に順応させている。

(2) 構造

トンネル断面としては、前に述べたように換気ダクトをトンネル本体に設けたためその必要断面積から 図-4 のように3断面に分類している。また、トンネル延長が長いので監査路の上に点検車を設ける計画である。

7. トンネルの施工

(1) 掘削工法

地質的には風化の進んだ花崗岩あるいは割れ目、破碎帯の多い頁岩であるため湧水も多いと予想されたので、掘削工法としては底設導坑先進上部半断面工法が採用さ

れた。すなわち、底設導坑を推進することにより湧水を処理し、また地質を確認しつつ上部半断面を掘削する工法である。すでに導坑は昭和49年2月27日に上下線それぞれが貫通し、その役割の大半を終ろうとしている。

(2) 導坑

導坑掘削は4ブームトラックジャンボでさく孔し、RS 95 ロッカショベル (容量 0.6m³) で積み込み、蓄電池機関車 8t で鋼車(6.0m³ 積)6~8両編成に積み込み、坑外に搬出している。導坑断面は 13.8m² を有し、トコ2車線通行が可能で、30kg/m レールを使用している。

(3) 上部半断面

(a) レール方式

上部半断面の掘削は門形ドリルジャンボ(ヘビードリフタ9連装)と2ブームドリルトラックを併用し、ずり出しは 1.9m³ 2台のドーザショベルで積み込み、上部半断面と導坑の間に約 10m ごとに開削されたずり落し孔より導坑内に待機している運搬鋼車に落下させ、パツテリロコで坑外に搬出する(西側上下線および東側より上り線施工)。

(b) タイヤ方式

上部半断面の掘削は、門形ドリルジャンボ(ヘビードリフタ9連装)と2ブームドリルトラックを併用し、ずり出しは 1.2m³ 油圧式パワーショベル2台で積み込み、

ZG-13 (13.5t, 8m³ 積) の重ダンプトラックにより坑外に搬出している(東側下り線施工)。

(4) 支保工

支保工は H-175, H-200 を岩質によって使い分け、9連装ドリルジャンボの架台に装着されたエレクトによって建込みを行なっている。

(5) アーチコンクリート

アーチコンクリートは長さ 12m のスライドセメントを使用し、プレスクリートおよびコンクリートポンプ車で2日に1回のサイクルで打設している。

(6) 下部半断面掘削

下部半断面掘削は2ブームトラックドリルとレグドリルを併用し、タイヤショベル950およびトラクタローダ(CAT 977 級)で積み込み、鋼車および重ダンプトラックで坑外へ搬出している。

なお、東工事の頁岩質部分における下部半断面掘削は個々の岩については堅固であるが、亀裂が多く、粘土をかみ、すべり面となっており、大背を掘削することによって土平の安定断面が確保できなく、アーチコンクリートの沈下ならびに破壊が予想されたので、上下線とも工法の違いはあるが、下半掘削以前に1工程を設け、大背掘削することによって起る土平の崩落を防止している。

(a) 下部半断面掘削の変更概要

L断面区間(側壁高 5.65m)の地質は導坑掘削の結果その大半は頁岩で、S断面区間同様依然節理が多く、かつ、多くの油目を介在している。S断面区間(側壁高 2.7m)の施工は通常工法の脚付、掘削で実施したが、油目、節理等による崩落が各所に見られ、当初予定した土平の安定断面を確保することが大変困難な状態であ

表-1 作業内容および作業機一覧表

作業項目	主な作業	1次巻コンクリート打設による作業機械
① 中背掘削	ブレーカによる掘削 1回の掘削長 12m	ジャイアントブレーカ付ユンボ 1台 ユンボ UH 03 1台 トラクタショベル 1台 パツテリロコ (10t) 1台 グランビ 6台 掘削作業員 2編成
② 1次巻コンクリート	H=2.40m, W=0.35m のコンクリート打設、鉄筋 D16×1.00m ctoc 0.30 ピッチ (アーチのジョイント打継目)	スライドセメント (L=12m) 2組 型わくおよびコンクリート打設作業員 1編成
③ 中背掘削 ④ 1次巻コンクリート ⑤ 大背掘削 ⑥ 脚付掘削 ⑦ 脚付コンクリート ⑧ 土平掘削 ⑨ 側壁コンクリート	①に同様 ②に同様 標準部と同様 標準部と同様 標準部と同じ要領で打設 H=5.65m 1回打設 標準部と同様 標準部と同じ要領で打設 H=5.65m 1回打設	①に同様 ②に同様 標準部と同様 " " " " " " " "

た。

L断面の掘削にあたっては、側壁高が 5.65m と S断面に対して約2倍の高さとなり、平均地山安定こう配を L断面に適用すると 図-5 のようになり、アーチ反力を受ける重要な個所まで地山が崩落し、通常工法ではアーチの沈下を招きかねなく、また、アーチ部に掛るゆるみ土圧も 0.35 (B+H) に相当する土圧と考えられるので、S断面区間よりL断面の場合2割強のゆるみ土圧およびコンクリート重量の増加が想定されるので、上下線工法の違いはあるが、以下のような工法でこの区間の施工を行なっている。

(b) 上り線下部半断面掘削の施工

基本方針として 図-6 のように土平の崩壊を防ぎ、また、土平の安定断面を確保するため1次巻コンクリートを打設することにした。表-1 に作業順序および作業機械等を示す。

(c) 下り線下部半断面掘削の施工

表-2 のとおり上半掘削完了後支保ぐいを打設し、下部半断面掘削の結果、 図-7 のようにすべりを起し、くい上部が露出されているが、くい下、くい背面は完全に支持ぐいに支持されており、また、アーチコンクリート底部が少ないが、支持ぐいが一部負担しているので早期に脚付コンクリートを施工すればなら心配なく、土平掘削の余掘り防止ともなっている。支保ぐいを打設した後の施工は通常のとおりである。

(7) 断面変化点における施工

断面変化点における施工については、 図-8 のとおり各断面ごとのスプリング高さが異なっている関係上表-3 のような作業の増加および摺付が生じている。なお、表-3 には作業順序も示す。

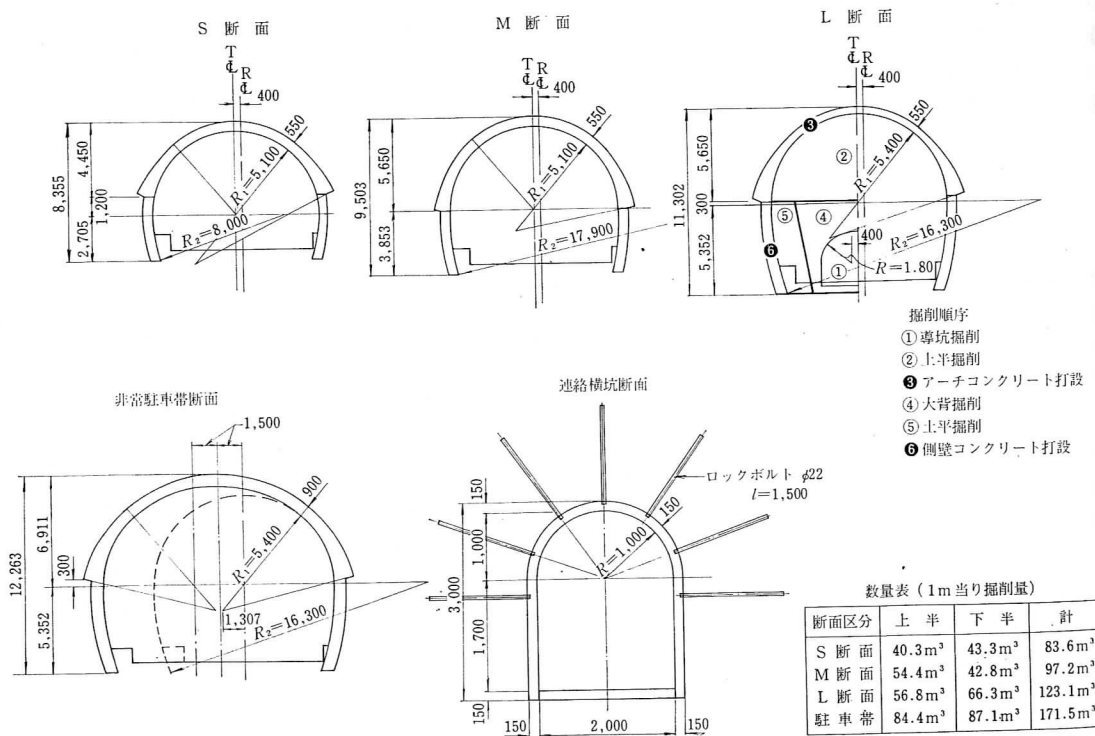


図-4 管子トンネル標準断面図

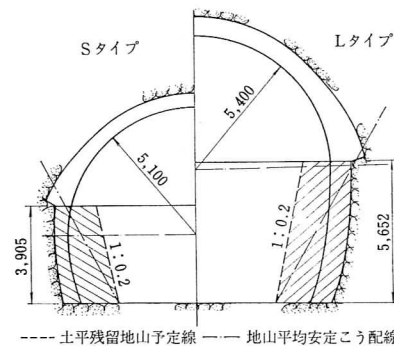


図-5 S断面とL断面

8. トンネル諸仮設備

(1) 移動式橋梁(斜路)

通常長大トンネルについては底設導坑先進上半断面工法を採用し、ずり出しはレール工法によって行なっている。笹子トンネル東工事下り線は上述工法ではあるが、ずり出しはタイヤ工法を採用している。ここで一つ問題となるのは、トンネル延長が長いので各作業は平行作業とし、下部断面掘削も施工している。上半掘削のずりおよびアーチコンクリートの運搬路として斜路が必要となる。この問題を図-9のような移動式橋梁(斜路)によって上半ずり出し、アーチコンクリート各諸資材の運搬路として使用している。上半と下半の各作業のサイクルおよび施工順序を表-4に示す。

(2) 遠隔無線バッテリー機関車

従来のバッテリー機関車の運転は運転士と誘導員が笛および手旗信号によって行なっていたが、無線操縦方式は運転士が進行方向最前部の鋼車に乗込み、直接前方を確認しつつ無線操縦によって運転する方式である。この方式によるメリットおよびデメリットについて次に述べる。

(a) 無線操縦のメリット

- ① 運転士が直接前方確認、監視を行いながら運転できるので誘導員方式に比べて安全性が高い。
- ② 積込時のインテングによりずりの適性な積込みができる。

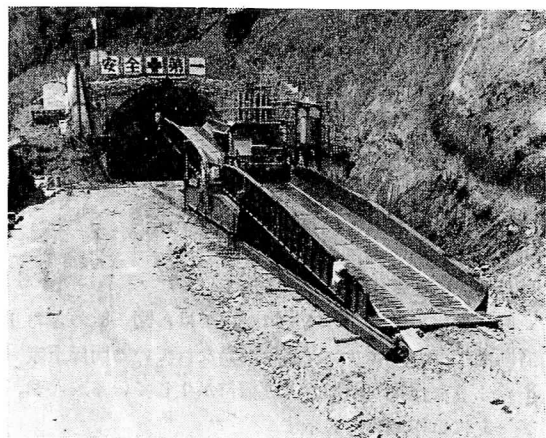


写真-1 移動式橋梁(斜路)

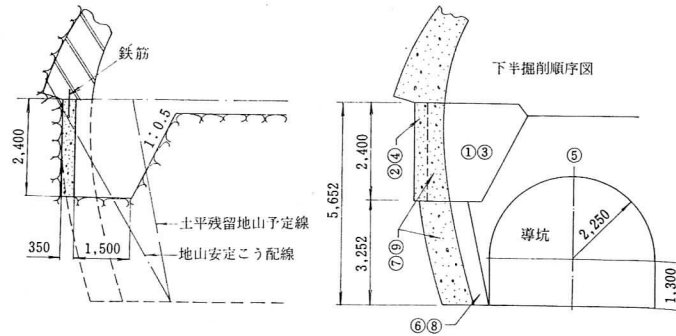


図-6 土平掘削、側壁1次巻および下半掘削順序図

表-2 支保ぐい施工順序および機械一覧表

作業順序	作業機械	備考
① 上半掘削完了		
② 鋼アーチ支保工の根固めコンクリート打設	人 力	さく孔機械の振動による支保工地盤をゆるめないこと
③ クローラドリルでさく孔	クローラドリル CO-5	トンネル内通行に支障とならないようにボデーをトンネル方向にし、横向きにして打てるよう一部改良
④ 鋼管パイプをそう入してモルタル充填	人 力	
⑤ くい頭をエキスバンドメタルで処理		
⑥ アーチコンクリート		アーチコンクリートと一体化すること

表-3 断面変化点の施工工程表

施工順序	作業内容	工程(日数)	摘要
①	L断面の上半断面掘削終了		
②	ジャンボ後退および改良	2	
③	L断面支保工の根固めコンクリート打設	4	
④	上半盤摺付のため斜線部の掘削	3	
⑤	M断面掘削		所要日数計 24日
⑥	L断面アーチコンクリート打設のため斜線部の埋戻し	5	
⑦	L断面アーチコンクリート打設終了		
⑧	アーチスライドセントル後退および改良	7	
⑨	上半盤摺付のため斜線部再度掘削	3	
⑩	M断面アーチコンクリート打設		

- ③ 誘導員の削減により工費の節減ができる。
 - ④ ポイント付近およびその他、運転途上における低速通過、緊急事態等に対する処理が的確にできる。
- (b) 無線操縦のデメリット

① 坑内外を問わず電波の遮断現象を生じる場所があり、機関車が停止することもある。その場合は運転士がコントロール可能な位置まで移動させることにより脱出

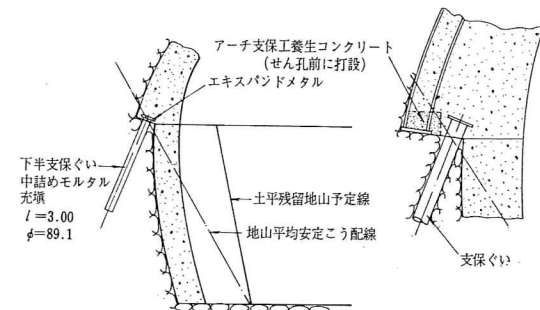


図-7 下半支保ぐい設置図

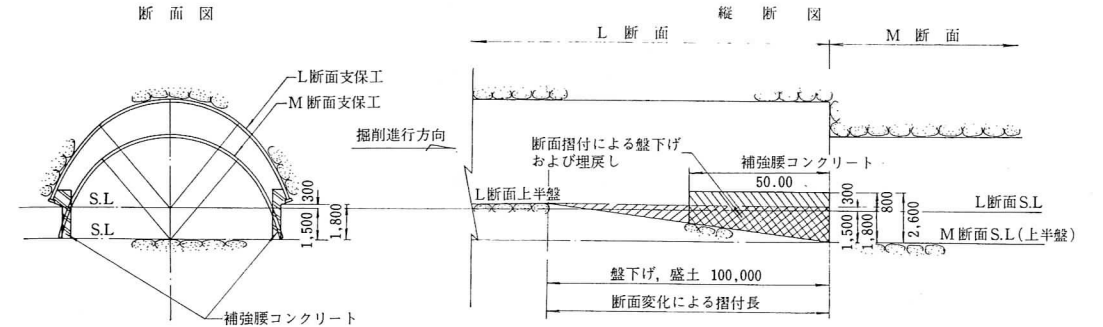


図-8 断面変化部施工概要図

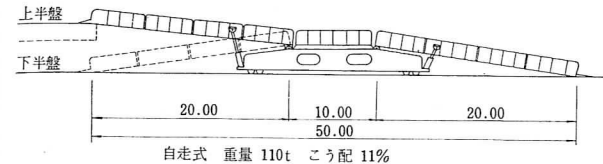


図-9 移動式橋梁概略図

する方法を取っているが、中継アンテナの設置、送信出力のアップ等の措置を講ずれば解決できると思われる。

② 送信装置の内部に水が入った場合、使用不能となる。

以上、未解決の問題点はあるものの、従来方式と比べた場合多くのメリットを有し、実績をあげている。

9. おわりに

笹子トンネルは換気のための補助坑を設けず、トンネル本体上部にエアダクトを抱き込んでいた関係上大断面となり、おのずと側壁高が普通の道路トンネルに対して非常に高くなっており、実際の下半掘削に困難を来している。岩質的には非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状

表-4 移動式橋梁(斜路)と上下半とのサイクル関係

作業工種	1日作業時間																							
	7:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	24:00	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	24:00	3:00	6:00							
上半断面掘削	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工	せん孔	ずり出し	支保工
アーチコンクリート	セントル移動, セット												準備											
大背掘削	ずり出し	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔	せん孔
斜路の状況	通行可能																							
	通行止め																							

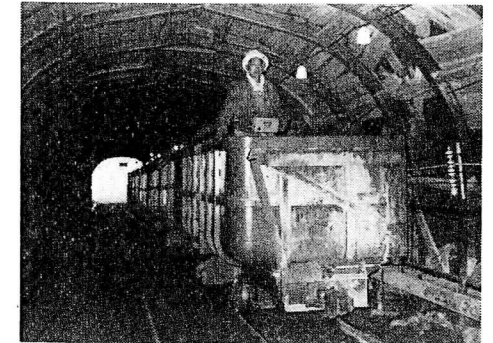


写真-2 無線操縦用鋼車

を呈し、割れ目がほとんどなく、連続して安定した山であれば若干いくつかの問題はあるが可能であると思う。しかし、わが国の山は地質的に非常にもまれていたため、今後このような大断面の施工は問題があると思う。また、非常駐車帯(掘削断面積 180 m²) および国道20号線(笹子トンネル)と交差する関係上、工法および若干の問題点があったので機会があればあらためて後日報告したい。