

上半崩落の復旧工 中央道笹子トンネル

周佐 光衛*
山本 治雄**

1. はじめに

現在施工中の中央自動車道西の宮線・笹子トンネル（上り線4,417m、下り線4,414m）は昭和49年2月27日に導坑が貫通し、トンネル本体工事としては約80%完了しているが、以下にこのトンネル本体の概要、および西工区の上り線を主とする施工概要、および同工区内で発生した上部半断面の崩落災害とその復旧工について主に述べることにしたい。

2. トンネル概要

2-1 地質、湧水

笹子トンネルの地質は、中生代白亜紀の小仏層のけつ岩、砂岩、チャートなどを主とする堆積層と、第三紀に貫入した花こうせん緑岩からなる。東工区側は花こう岩とけつ岩を主とし、その接触部はホルンフェルス化しており、西工区側は細粒砂岩と花こう岩からなり、砂岩は破碎作用をうけき裂の発達が著しく、花こう岩も全体に風化し粘土をはさむ割れ目が多い。また、幅約150mにおよぶ断層破碎帯があり圧砕され粘土化していた。

湧水は西工区側で多く、特に断層の手前の花こう岩部およびその奥の花こう岩と砂岩の接触部付近で著しく、最大時には片側の導坑で約4m³/minに達した。

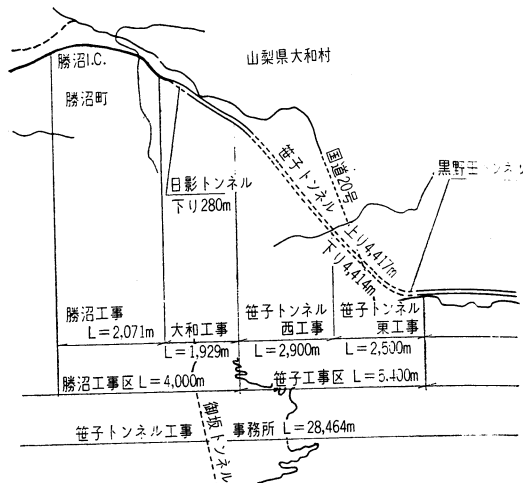


図-1 笹子トンネル位置図

2-2 延長、断面

笹子トンネルは横流換気方式を採用しているが、その必要換気ダクト断面を組み合わせ断面としているためS、M、Lの3つのタイプを有し、上下線の換気量が異なるため、上下線で同一タイプでも若干の違いがあり、また1,000mごとに設置している非常駐車帯を有する断面も各タイプに合わせているため、多種類の断面をもつ

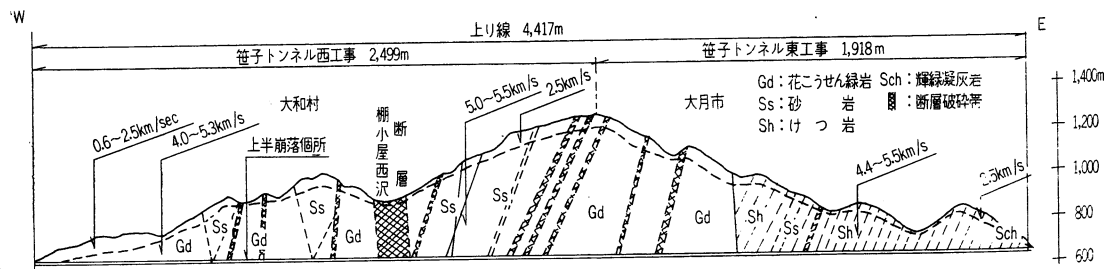


図-2 地質縦断面図(上り線)

* 日本道路公団笹子トンネル工事事務所 事務所長
** 笹子トンネル工事事務所

表-1 トンネル延長と断面別掘削断面積

延長	タイプ	その延長	通常区間掘削断面	非常駐車帯掘削断面
上り線 4,417m	S-type	492m	83.6~98.6m ²	120.9m ²
	M- "	1,888m	97.2~112.4m ²	138.1m ²
	L- "	2,037m	123.1~139.0m ²	171.5m ²
下り線 4,414m	S-type	532m	83.6~98.6m ²	120.9m ²
	M- "	2,531m	91.8~106.8m ²	136.0m ²
	L- "	1,351m	108.2~123.4m ²	151.1m ²

トンネルとなっている。各タイプの掘削断面積は別表(表-1)のとおりであるが、上り線のL-タイプの通常区間で約140m²、非常駐車帯区間では約170m²という大断面となっている。

2-3 掘削、ずり出し

掘削は上下線共東西から行っているが、工法としては底設導坑先進上部半断面工法を採用しており、施工業者により若干の違いがあるが、ここでは西工区の上り線を例にとることとする。

2-3-1 導坑

導坑断面は14.3m²複線軌条方式とし、大背掘削を考慮して、本線中心より1.2mシフトする。掘削は、D-95(ヘビードリフタ)を使用し、4連装ジャンボとして削孔する。ずり積み込みは、RS-95A型ロッカーショベルを使用し、8tロコにて2両(1両6.0m³積み)をけん引し坑外へ搬出する。

2-3-2 上部半断面

削孔はD-95(ヘビードリフタ)を使用し、11連装ジャンボで行う。基準断面は、M-タイプで52.8、L-タイプで60.5m²であるが、非常駐車帯区間では約80m²となり、11ブームジャンボのみでは全断面の削孔ができないため、レッグドリフタまたは2ブームのトラックジャンボなどを補助的に使用した。

棚小屋西沢の断面破碎帯区間では、一部リングカット方式を採用した。ずり搬出は導坑上部にずりホッパーを約20m間隔に設け、導坑内鋼車に1.4m³級のD55Sドーザーショベル2台を使用して積み込み10tパツテリロコ

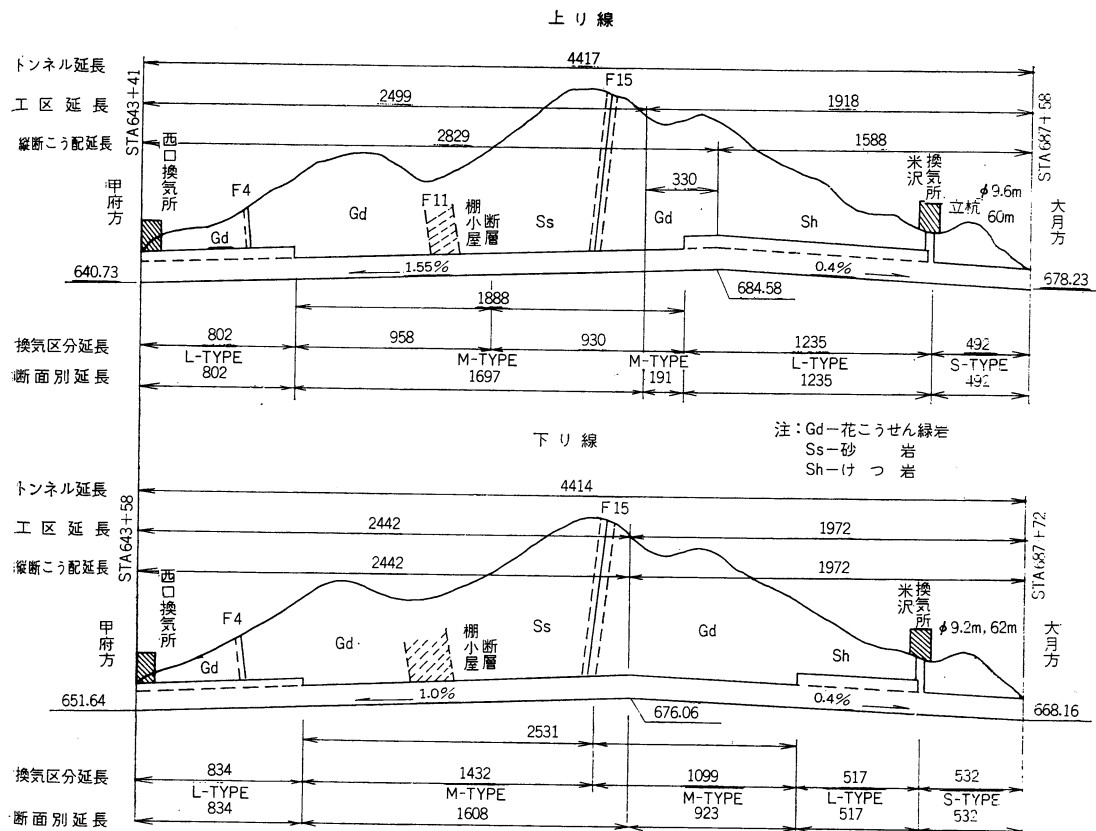


図-3 笹子トンネル概要図

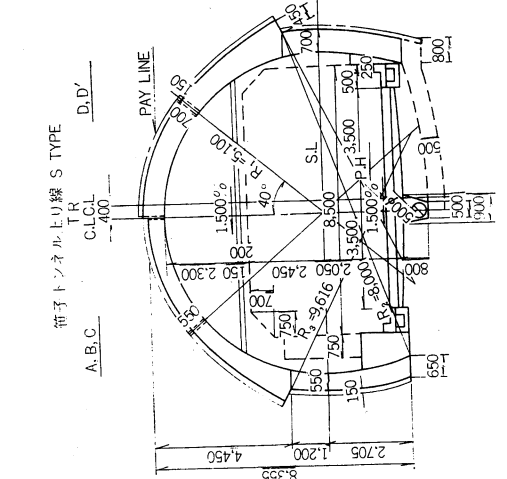
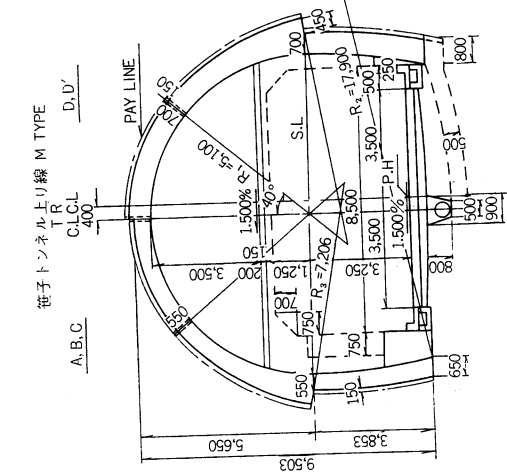
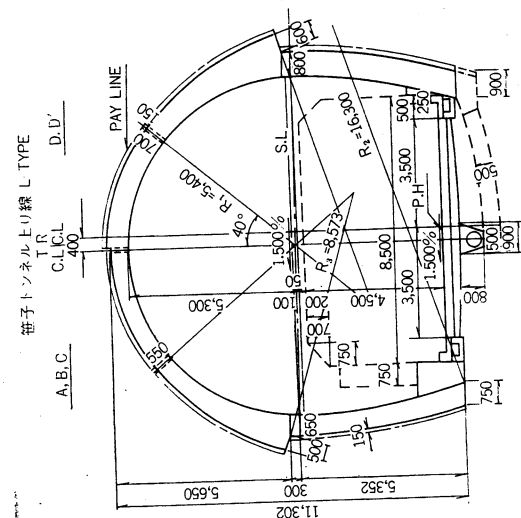


図-4 籠子トンネル標準断面図

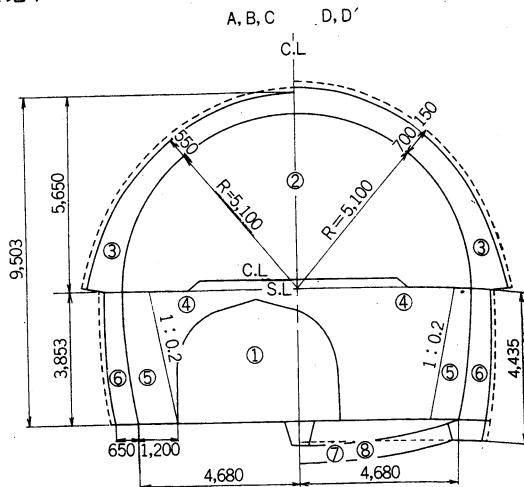


図-5 上り線 (Mタイプ) トンネル施工順序図

にて7両 (1両 6~8m³ 積み) をけん引し搬出を行っている。

2-3-3 大背, 土平

大背, 土平の掘削はホイールジャンボ (D-95, ヘビードリフタ2連装) およびレッグドリフタを使用し, ずりはペイローダ (サイドダンプ型に改良, 1.5m³ 積み) にて鋼車に積み込み, 10t バッテリコにてけん引して坑外へ搬出している。

2-4 覆工

2-4-1 アーチコンクリート

生コンを使用し, 現場仮受場で 60m³ 積みプレスクリートに積み替えて, 導坑レール上から直接打設する。打設長は12mとし, 型わくはスライディングセントルメタルホーム型を使用, 1打設量は 160~170m³ となる。

2-4-2 側壁コンクリート

側壁コンクリートは, 基本的にはアーチコンクリートの打継ぎ目に, 抜き掘り足付けコンクリートを仕上げ面より約 25cm 控えて打設し, その後1スパン12mの側壁用スライドセントルを使用し打設する。上り線Lタイプ区間の側壁は約5.65mの高さがあり, 当初その施工について2段階掘削, コンクリート打設などの工法も検討したが, 西工区側は花こう岩で比較的地質もよかつたため, 施工にあたり細心の注意をはらい1段階施工とした。なお, 東工区側では, けつ岩でく離などが著しいため, 2段階施工法を採用した。

2-5 非常駐車帯と上下線連続坑

2-5-1 非常駐車帯

火災時または緊急避難用として, 1,000m おきに幅員 3.0m, 延長30mの非常駐車帯を設置している。この区間の断面は, 通常部の断面と側壁長を合わせているため,

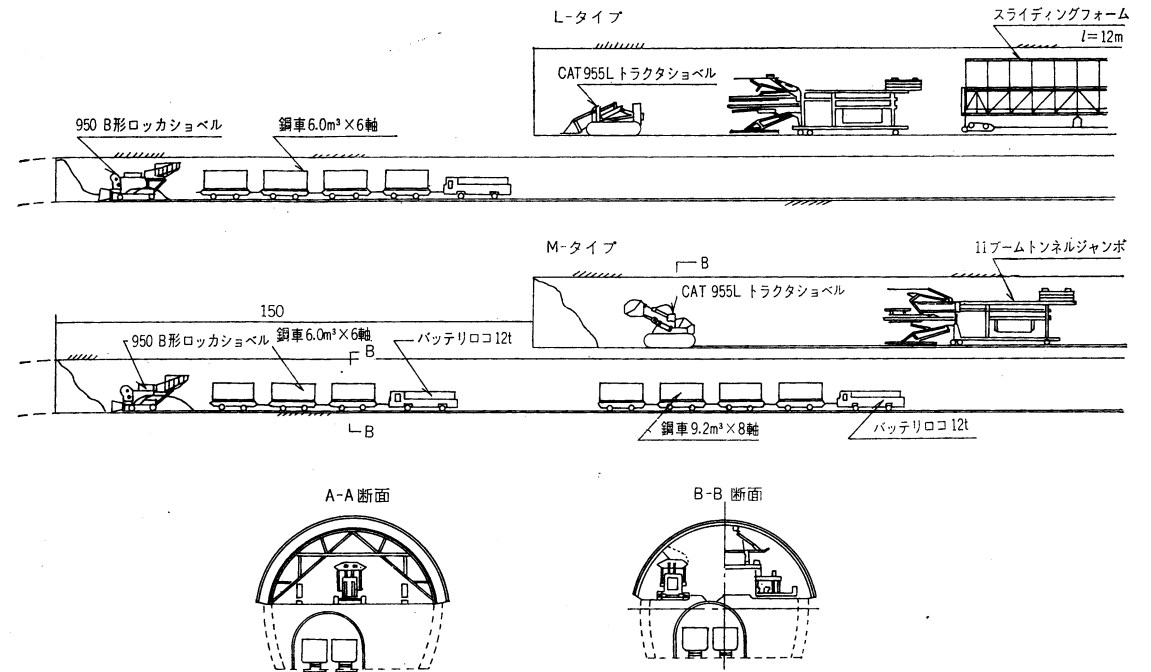


図-6 掘削模型図

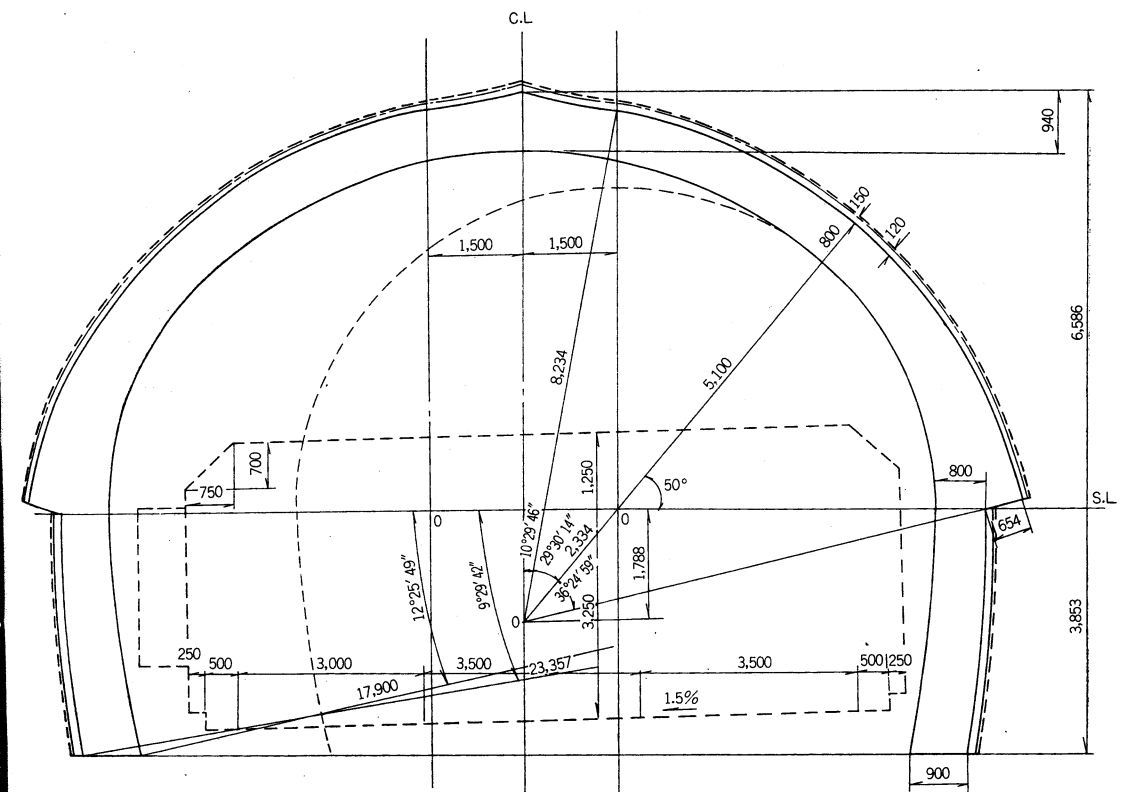


図-7 非常駐車帯区間標準断面図 (Mタイプ)

5種類の断面となり、上り線Lタイプでは170m²、上部半断面だけでも85m²もあり通常部のジャンボではドリフタがとどかない部分ができるため、次のような施工法をとった。

1. 非常駐車帯の始端部については、通常断面の門型ジャンボを用いて、1発破(75cm または 100cm) 掘削し、拡幅部は架台を利用し、レッグドリルで拡幅部の天井から掘削する。

2. 拡幅部の切り広げ掘削は、天井部より側面に向け数ブロックに分割して行い、ブロックの掘削終了ごとにロックボルトと金網により頭上からの落石を防ぎながら、次のブロックの掘削を行った。

3. 以上の掘削を2回程度繰り返したところで(進行1.5~2.0m)、拡幅部を規定の幅員を確保するまで掘削し、支保工を2基建て込みロックボルトで岩に固定する。

4. 通常断面と非常駐車帯断面との差によって生ずる鏡の部分には、両種の支保工をH-150などでつなぎ矢板で土留するかロックボルトと金網で山をおさえた。

5. 支保工はH-250を使用し、建て込み間隔は75cm または100cmとし、覆工は長さ6mのパラ型わくを使用し巻き厚は80cmとした。

2-5-2 上下線連絡坑

火災時または緊急避難用として、500mごとに上下線連絡坑を設置した。これは、幅員2m、高さ2.7mのも

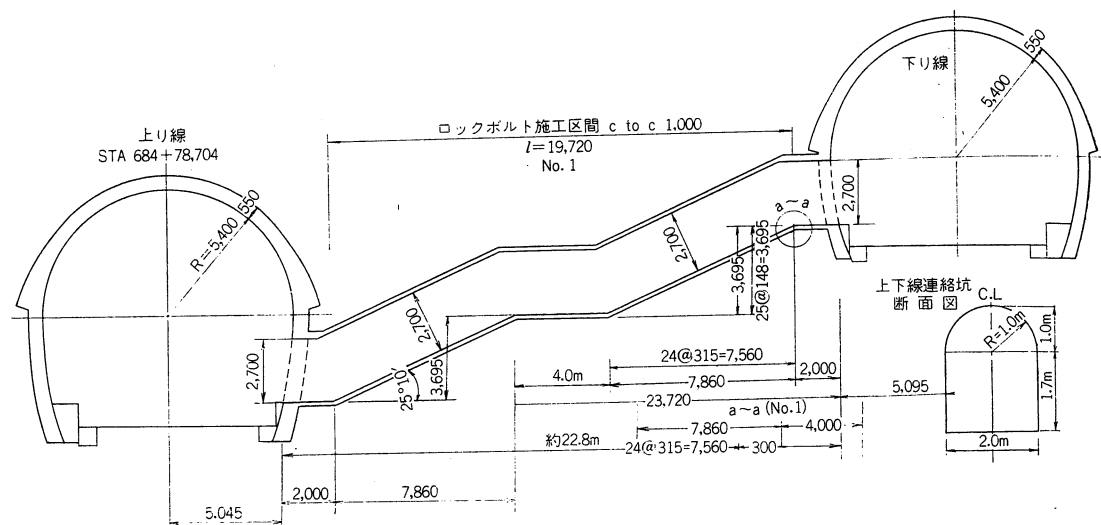


図-8 上・下線連絡坑図

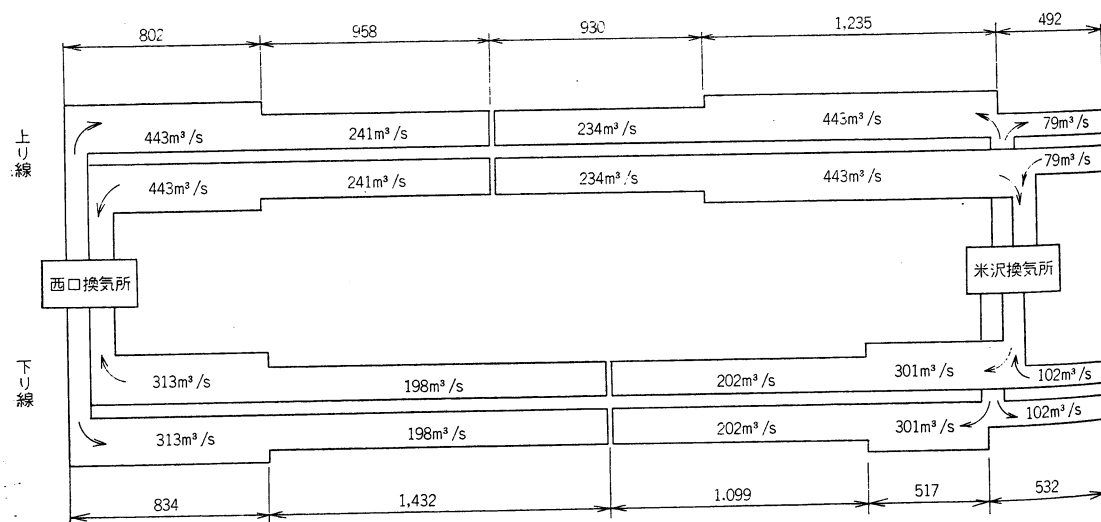


図-9 換気系統図

のであるが、梯子トンネルでは、西坑口側は上り線が下り線に対して約10m低く、東坑口側ではその逆となっているため、上下線連絡坑は最急こう配のところでは約34°という急こう配となった。

2-6 換気方式

換気方式の決定にあたっては、(1)換気方式(①横流換気、②横流と半横流の組み合わせ換気、③半横流換気)(2)分割区分数、(3)換気所の位置、(4)換気ダクトとしての立坑、斜坑など、種々検討の結果、最終的に横流2分割方式とし、換気所は西側については坑口上部に、東側については坑口から約500m奥にある米沢に設置することとし、本体とは約60mの立坑で結ぶこととした。

換気用ダクトについては、トンネル本体に抱き合わせる方式としたため、上述のようにS、M、Lという3つの断面をもつトンネルとなった。換気能力としては設計交通量1,820台/時(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965m³/s、下り線716m³/sの換気風量を計画している。

3. 上半崩落復旧工

3-1 崩落箇所、崩落量など

上半崩落の発生箇所は、図-2に示すように坑口から約900m地点で、この付近は比較的硬質の花こう岩であるが、大きな間隔で粘土をはさむき裂のある地質で、湧水はほとんどなかった。

発生日時 昭和48年5月31日 午前10時ごろ
 崩落量 約490m³(地山)
 被害状況 鋼製支保工H-175×175破損5基

鋼製支保工H-175×175損傷2基
 支保工の建て込み間隔 $\rho=120$ cm
 人的、機械類の被害なし

3-2 崩落状況

(1) 午前9時30分ごろ、第1回目の発破完了後換気時間を置き、ずり出し段取りのため現場に入ったが、切羽上部の無普請(発破により、切羽約1.3mは無普請になっている)箇所より約1.5m³くらいの岩塊肌落ちがあり、またその他支保工裏で小さな肌落ちが続いているので、しばらく様子を見るため全員退避した。

(2) しばらくは肌落ち状態であったが、逐次崩落状態に変わり、支保工の左手側が変形してきたので、全員約40m後方のジャンボ地点まで退避し、立入禁止として警戒体制に入った。

(3) 切羽クラウンの約4m上方で坑口に向かって約30°の上りこう配をなし、トンネルを斜めに切断するような油目があり、これから逐次はく離し支保工を破損しながら各節理面の岩塊を引っ張り込むようにして崩落した。また、切羽に向かって左手側に屏風状態(傾斜約80°、走向はトンネル軸方向)の油目があり、その下部は上半支保工脚部付近に達していたため、崩落を助長したと思われる。このような大規模な崩落となったのは、上半クラウンの上約7mの位置にある水平方向の粘土目、およびそこから台形状に前後、左右に走る粘土をはさむき裂からはく離して崩落したものであり、導坑または上半掘削中に予知することは不可能であった。

3-3 復旧対策

事故発生後、直ちに復旧資材として現場準備中材料の

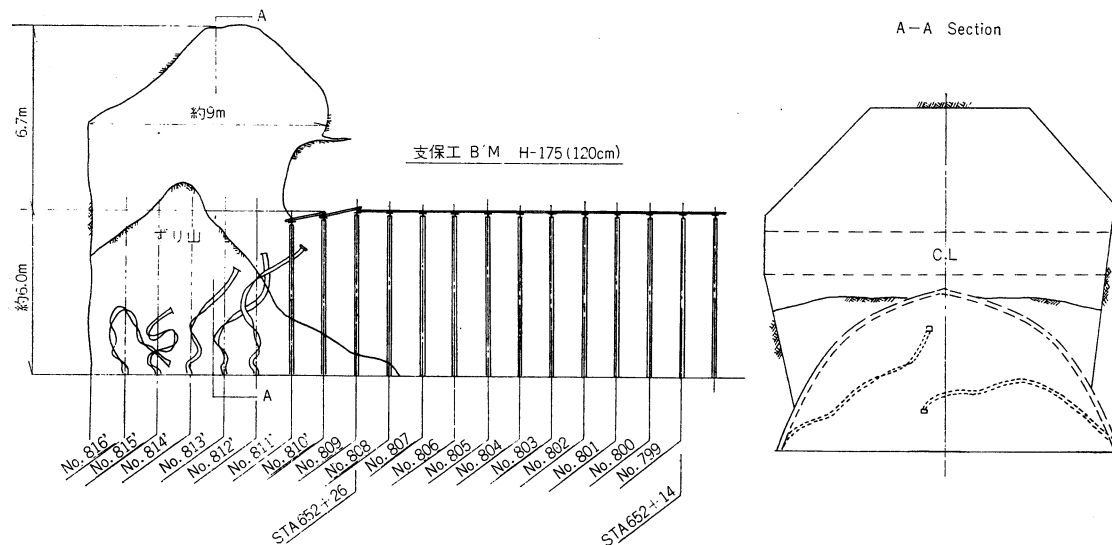


図-10 崩落現状縦断および横断面

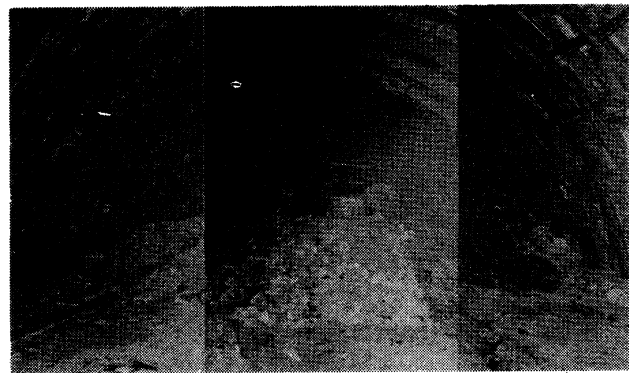


写真-1 崩落現況写真(1回目)

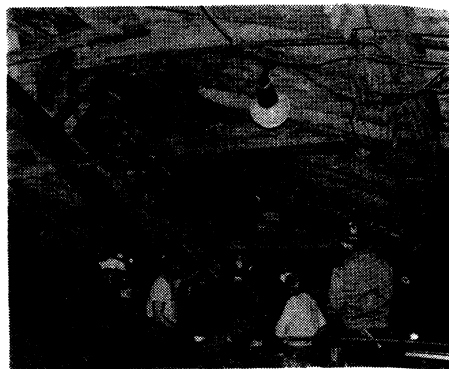


写真-3 縫い地工法による復旧作業



写真-2 2回目の小崩落

他に松丸太、松太鼓材、松矢板、古タイヤ、H鋼などの手配をする。それと同時に復旧方法を検討して、次の手順を決める。

(1) 崩落箇所後方約10mを、増し支保工により補強し、根固めコンクリートを施工する。なお、支保工間のつなぎ材としてH型鋼、レール、またはφ32mm以上の鉄筋にて溶接補強する。

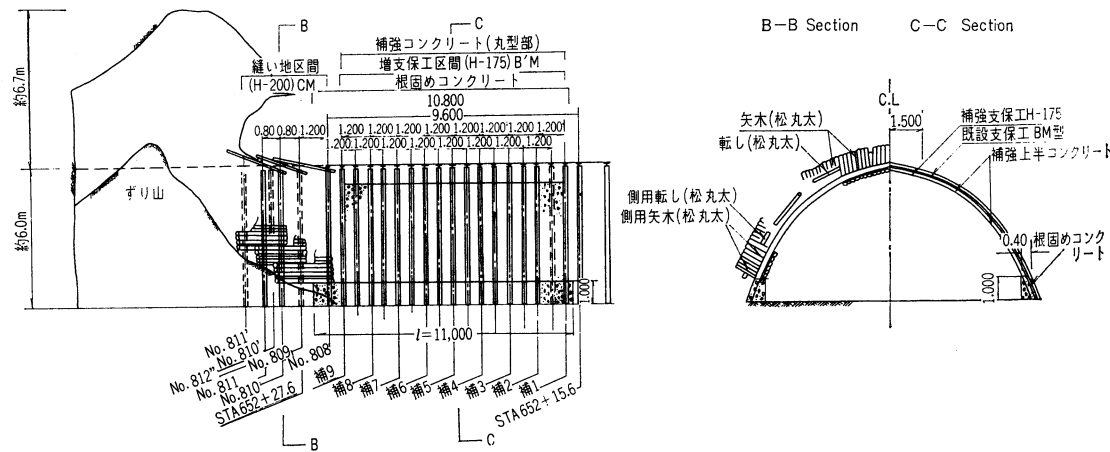


図-11 崩落箇所復旧図

(2) 矢木による縫い地工法で逐次切羽に向かい進行する。

(3) 空洞部にはサンドルを組み、左側から右側に移りながら空洞部分の天盤をおさえる。また、空洞部分にはクッション材として古タイヤ、ソダ等を使用して充てんする。

(4) 復旧支保工は、約3基程度完了後に根固めコンクリートを高さ約2m程度で施工する。

(5) 空洞の大きな部分についても支保工を建て込み、サンドルを組みながら復旧していったが、空洞部分の高さが、支保工のクラウンからさらに約7mと高いため、本工法が不可能となり、また、危険を伴うため、天端空洞部分はモルタルで充てんし、再度掘削する工法を採用し復旧することとした。

3-4 復旧作業

上記のような復旧対策を考え復旧作業に入ったのであるが、復旧作業の途中で再度の崩落におそわれ、サンドル組みによる復旧工は危険で不可能となったため、気泡モルタルによる空洞充てん工法を行うこととなった。以

下に目を追っての復旧作業を記す。

(1) 6月1~2日、増し支保工による補強作業を実施するとともに、継ぎ材としてH鋼、鉄筋φ32mmなどを使用して溶接する。なお、崩落個所の推移を観測するため、支保工の変形状態およびその後の肌落ちについて、2交代制による徹夜体制に入る。

(2) 6月3~6日、縫い地工法により支保工 No. 811まで建て込み、変形した支保工の撤去を完了する。切羽崩落個所からは断続的に落石があり作業に危険なため、復旧完了支保工から切羽まで約7mくらいの長尺H型鋼(H-150)を渡して仮防護するとともに、空洞個所にはサンドルを組み天盤をおさえる。なお、サンドル組みは崩落地山の状態を検討した結果、左手より施工した。6月6日昼ごろ、仮防護した個所で再度の崩落があり、復旧した支保工(H-200)1基が変形した。

(3) 再度多量の崩落があれば導坑がつぶされることが懸念されたので、崩落個所にあたる導坑内は全長10mにわたり増し支保工(H-150)による補強を行った。

(4) このように崩落個所手前の補強、変形した支保工の縫い地工法による再建て込み、低い空洞部分のサンドル組みなどを行って、大きな空洞部分の手前までできたが、本工法での復旧は危険かつ不可能となったので、以後の復旧工について危険性、難易、経済性について種々検討の結果、空洞部分を気泡モルタルで充てんし、それを掘削するという安全かつ確実な工法をとることとした。

3-5 空洞充てん工法

(1) 充てん段取り

崩落部分には図-12のように6"ポリエチレンパイプを前向き約45°および70°の仰角で各々4本を、打設予定高さより約1.0m高く設置し、充てん確認のためさらに2"ポリエチレンパイプを各々6本設置した。また、



写真-4 気泡モルタル注入用パイプと鏡止め型わく

小口鏡止めは、支保工 No. 810 の位置で行うこととし、現場材料の集積と同時に不足材料の手配などを行った。作業は材料搬入6月8~10日、10日から小口鏡止め組み立て作業に入り、6月13日までに注入パイプその他打設段取りを完了した。

(2) モルタルの配合、打設

気泡モルタルについて麻生フォームクリート、グルフォームなど種々検討したが、緊急工事に対する材料手配その他の都合がつかず、やむを得ず現在近くの生コンプラントで、次のような気泡モルタルを配合し打設することとした。また、モルタル取りこわし掘削後、頂版となるところは、普通モルタル(1:3)を打設することとした。打設は坑外コンクリート受け台で、トラミキ車よりモルタルをプレスクリートに受け、バッテリーけん引により打設現場まで運搬し打設した。打設は、鏡止め強度そ

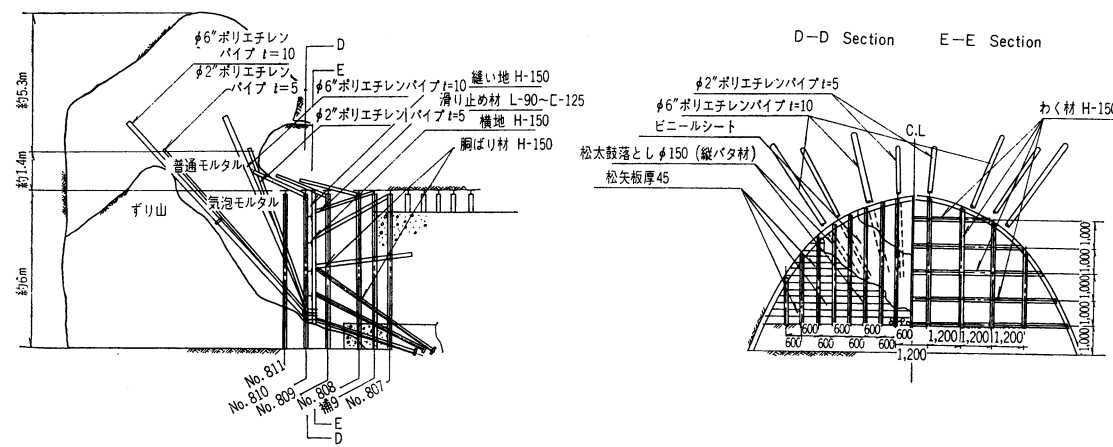


図-12 モルタル充てん設備図

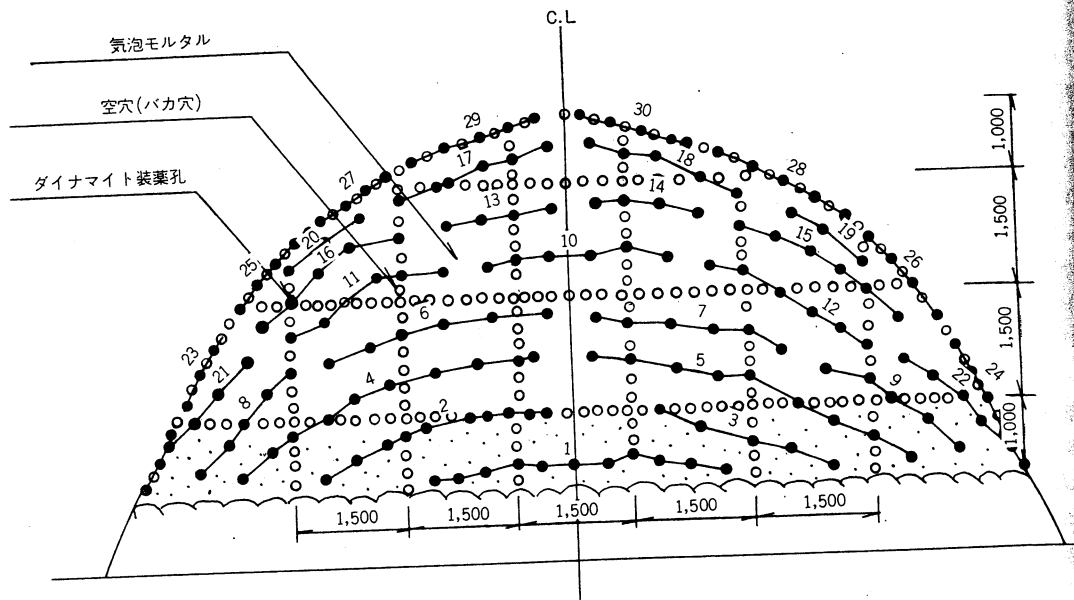


図-13 削孔配置図 (○印は衝撃を減少させるための空穴 (バカ穴) ●印はダイナマイト装薬孔, 数字は発破順序)

表-2 配合表

	セメント	砂	水	ピンゾル	フライアッシュ	空気量
気泡モルタル	kg 230	kg 1,400	l 170	kg 0.6	kg 50	% 19.8
普通モルタル	kg 540	kg 1,450	l 240	サンフロー 1.35kg	—	% 6.2

の他を勘案し、分割打設とし1日平均 150~200m³ とした確認パイプよりモルタルが流失した時点で、計画高まで打設したことを確認し打設完了とした。打設延長は 9.5m、打設量は約 420m³ であった。

(3) 取りこわし、掘削

3日間養生した後、ピックによる気泡モルタルの取りこわし掘削作業に入ったが、当初予定していた強度および予定したピック作業では、2日間行っても作業は進行せず、作業方法の変更を余儀なくされた。今後の掘削方法について再検討した結果、当初見合わせていた発破作業に切り替えることとした。しかし、この方法について衝撃をいかに少なくするかということで、削孔配置その他を検討した結果、図-13のような削孔配置図で空孔 (バカ穴) を多くし衝撃を少なくするように努めた。

発破作業は当初導火線を使用して実施したが、当初予想以上に硬化熱が高く (約 60°C) 暴発の危険性が出てきたので電気発破に切り替えた。しかし、衝撃および硬化熱を考え 4~5 孔/1回とし、十分注意を払って発破作

業を繰り返し行ったが、発破の効果が悪く、取りこわし掘削作業に手間どった。

(4) 支保工の建て込み

支保工はH-200×200を使用し、80cm間隔として建て込んだ。進行は1基~1.5基/1日程度であったが、作業員には不安感がなく順調に復旧作業ができた。なお、天板は松板1.5~2.0寸、長2m材を使用し、側面部分は全面的に縫い地工法で行い、天盤付近は状況によって掛板で施工した。

4. あとがき

以上、笹子トンネルの概要を記し、特に目新しいものはないが、1本のトンネルに3つの異なる断面があり、各々上半の施工盤が異なるため、ジャンボ、スライダントルの改良、移動に各々1週間程度の日数を要した。1,000mごとに追加設置した非常駐車帯区間では、段取りその他にそれ以上の日数を要した。このように1本のトンネル内に異なる断面を有するトンネルでは、段取りその他に相当の日数を要し、ジャンボや型わくの転用について、当初から考慮しておかなければならない。

上半崩落の復旧工については、緊急を要したこと、二次災害を防止すること、作業員の安全性などを考えた。この工法でよかったと思われるが、後の取りこわし掘削をする必要があったと思われる。モルタル上部の空洞部分は後日気泡充填モルタルとした。