

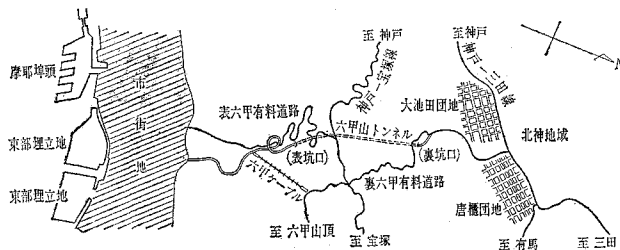
六甲山トンネル工事中間報告

神 生 秋 夫*

1. まえがき

神戸市北部地域の産業経済ならびに観光施設の整備は、近年急速な発展をとげている。これらの地域の総合的開発をはかることを目的に、神戸市ではすでに表六甲有料道路、裏六甲有料道路等を建設してきた。とはいえ六甲山を上り・下りする道路では、北部地域と市街地との連絡がかなり時間を要するので、北部の急速な発展にテンポを合わせるためには、トンネルを掘る以外に方法なしとの判断から、道路整備特別措置法に基づく有料道路事業として昭和40年3月本工事に着手した(図-1参照)。

図-1 六甲トンネル位置図



本トンネルは、六甲山脈を縦断勾配3%および0.3%で横断する道路トンネルで、曲線半径1000mのカーブを含む総延長2843mの長大道路トンネルである。掘削断面は平均70m²で、覆工厚は45, 60, 80cmを地質に応じて巻き立てた。本工事は昭和41年7月11日に無事上部半断面を貫通し、拱部コンクリートを打設完了して、現在大背、土平および側壁コンクリート工事を施工中である。

なお、本トンネルは昭和41年11月末完成予定で、引続きトンネル内照明工事、その他、付帯設備工事のうち、昭和42年4月供用開始の予定である。本トンネルが完成すると、関門トンネル、笹子トンネルについて、

* 正会員 神戸市土木局長

わが国で第3位、世界で第7位の長大道路トンネルとなる。

2. 設 計

本トンネルの車道幅員は7.5mである。延長2843mの長大道路トンネルであるから、機械的な換気設備が必要となる。換気計画は、結論として半横流式を採用した。半横流式は、送気あるいは排気ダクトを車道の下部へ設けるか、天井に設けるかによって、上方送気半横流式と下方送気半横流式に細分される。上方送気半横流式は車道の下に必要な断面を別に築造するから、円形掘削をする場合には路盤下を利用できるが、山トンネルのような普通の掘削による断面では、車道の床版は必然的に鉄筋コンクリート構造となるので、ダクトを別に築造しなければならない。下方送気半横流式は車両建築限界の上部空間を利用するから、ダクトの必要断面のために多少半径を大きくするか、あるいはその中心をあげるか、別途にダクトを築造するまでの掘削断面の増大は必要でない。また天井版も検査等のための、人間の荷重とダクト自体の自重だけであるので軽量構造で足りる。このような理由から、本設計は下方送気半横流式を採用した。その結果トンネル断面は車両建築限界を満足し、かつ所要換気用ダクトならびに照明その他保安設備に必要な断面積を包含し得ることとなった。そこで地圧、施工法を考慮のうえ決定したものが、標準断面図である(図-2)。

3. 施工計画

掘削方式は、施工の期間、施工延長ならびに地質条件等を検討し、さらにざり出し、覆工計画等も考慮のうえ決定したが、実際に工事を行なう建設業者にもおのおのその性格があり、特技があり、また所有機械器具類の相

10 000 t/日にも達したが、次第に減水して現在では 4 000 t/日である。

(2) 裏工区

坑口より 250 m 付近までは、風化作用のはげしいかこう岩で、トンネル工区内で最も結晶の粗粒な部分であった。そのうえ節理付近は完全に真砂土化しており、粘土化している部分も見られた。この区間ではわずかな湧水にもはだ落ちを起しやすく、ずりはほとんど砂質土になった。坑口では河川堆積層とかこう岩盤の境界線が現われ、その境より湧水があったので、坑口を奥に入れて直接岩盤より掘削した。250 m から 850 m 区間は、この工区で最も山の悪かった部分で、地質は六甲かこう岩が塩基性補獲岩をとり込んでいる状態であった。特に補獲岩の風化変質がはげしく粘土化している部分も数多く見られた。この区間は半かこう岩脈等を含むかこう岩類が複雑に分布し、時代の異なるかこう岩類が同一箇所に分布していたので、地質変化の複雑性がトンネル掘削上の困難さをともなったものと考えられる。湧水量は決して多量のものでなかった。むしろ少量であったため無事掘削速度を確保できたのである。この区間に表工区と同程度の湧水量を記録していれば、非常な難工事となったことと思われる。850 m から 1 283 m の貫通点までは、表工区と同じ土橋閃緑岩の分布が大きく、岩自体は堅固であった。しかし、湧水があったこと、節理間隔が細かく細分され粘土をはさむ率が多かったこと等の理由で、H-150 拱部鉄製支保工を使用するまでにはいかなかった。

図-3 は本トンネルの掘削実績にもとづく地質縦断面図および巻厚、支保工図である。図-4 は上部半断面貫通までの坑口総排水量グラフであり、図-5 は現在までの工事工程実績表である。

図-3 地質図

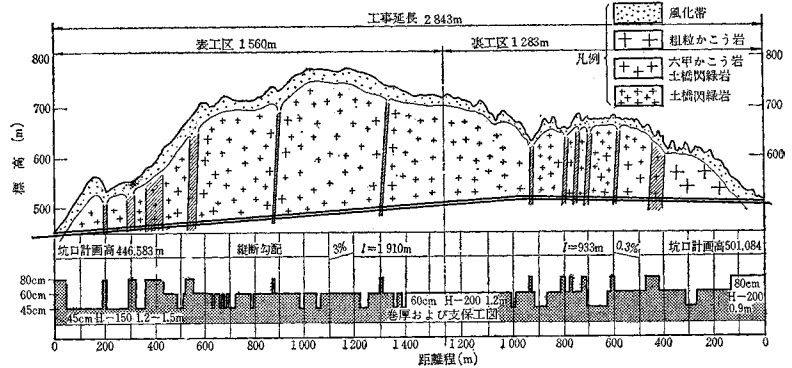


図-4 坑口総排水量

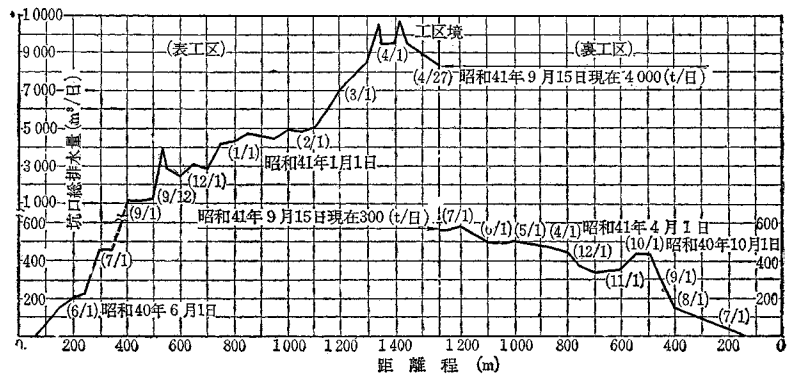
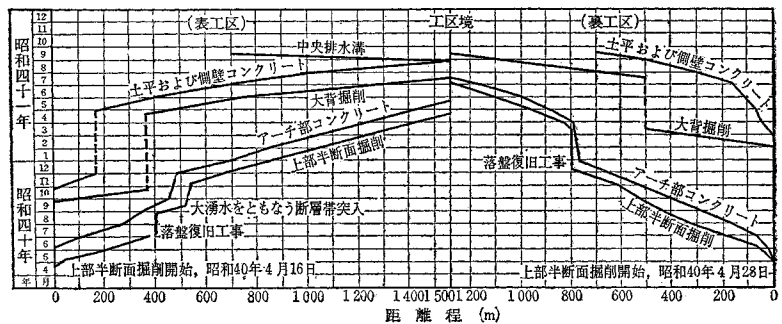


図-5 工事工程実績表



5. 施工

施工は表裏の二工区より掘削し、両工区とも上部半断面先進逆巻き工法を採用した。そして坑内主要器材として、キャタピラー型積込機とダンプトラックの組み合わせで行なった。わが国では、ずり処理の方法をレール方式によることが圧倒的に多い。トラック方式は坑内におけるずり積機とダンプトラックの排気ガスが坑内作業上の大きな問題である。だから 500~800 m までのトンネルでは、トラック方式を採用した実例があり、良好な成績を収めている。しかし 3 000 m に近い長大トンネルにお

いて両工区ともに、トラック方式にて貫通した事例はみあたらない。本トンネルはトラック方式を採用したが、事故を起こすことなく上部半断面掘削を完了した。今後トラック方式においては、トンネル用のずり積機およびトンネル用のダンプトラック等の使用が種々改良されていくであろうが、本トンネルにおいてはトラック方式による上部半断面工法は一応成功し、トラック方式による片押し 2000 m 掘進も十分可能な距離であることが示された。以下工区別に述べる。

(1) 表 工 区

a) 掘 削

ずり積機と運搬車の組み合わせは当初アイムコ (105 型, ディーゼル, バケット容量 1.15 m³) によって直接ダンプトラック (6 t 車) に積込む方式を採用していたが、ずり積機の故障のため、工事の後半からはドーザーショベル (D-50-S および D-60-S) を採用した。せん孔方法は、レッグジャンボーを採用した。このジャンボーを 13 t トラックに搭載して機動性を持たせ、発破、待避の迅速性を期したが、その結果工事現場では予想どおりの迅速性を発揮することができた。上部半断面掘削は、トラックジャンボー 2 台を切羽に並列させて使用し (写真-1 参照)、削岩機はレッグハンマー (322 DW) 各 8 台、計 16 台で、切羽に 80~100 孔をせん孔した。使用火薬量は覆 2 号で、その使用量は平均 0.7 kg/m³、1 発破進行で 1.2 m が標準であった。しかし、上部半断面掘削で 1 日最大進行が 9.6 m、月間最大進行は 203.1 m (昭和 41 年 2 月) の実績をあげることができた。

b) ずり処理

ずり積機はアイムコ 105 型, D-50-S および D-60-S を使用し、6 t ダンプトラックに直接積み込み坑口付近の土捨場に残土処理した。ずり積機がフルに稼働できるように坑口より 1000 m 以上では、ダンプトラックを常時 5 台使用した。なおダンプトラックの坑内での方向回転には、ターンテーブルを使用した (写真-2 参照)。

c) 覆 工

覆工コンクリートは型わくの移動、ケレン、すえつけ、およびコンクリート打設の順に行ない、型わくの移動にはずり積機にてけん引した。コンクリートは市販の生コンクリートを使用し、3 m³ 積コンクリート ミキサにて坑内に運搬ののち、コンクリート プレーサー (GF 500 I 型 8") にて打設した。コンクリート輸送管 (8") の吹出口は打ち継目より 2 m 程度のところにおき、左右へコンクリートを流し込んだ。アーチ部のせめは、吹出口がコンクリートに埋まらない程度に輸送管を一つずつ切りはなし、コンクリートが分離を起こさないよう注意した。アーチ部覆工コンクリートは切羽より 200 m 遅れで進

写真-1 上部半断面掘削トラック ジャンボー

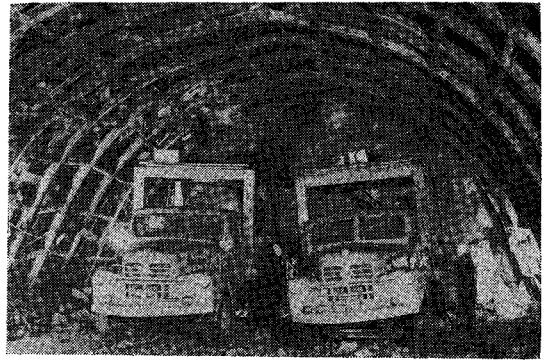
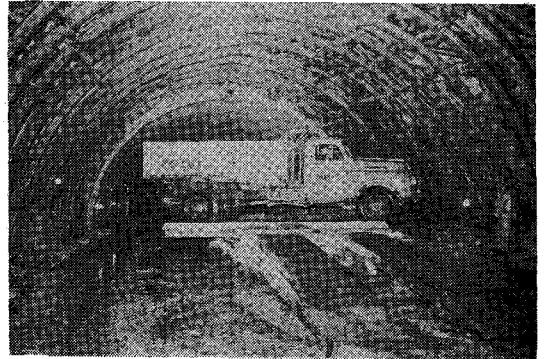
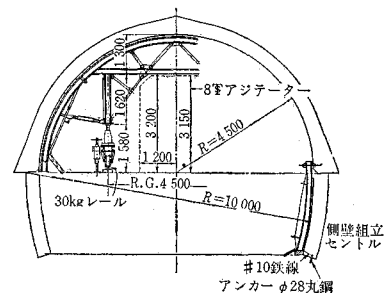


写真-2 ターン テーブルによるトラックの方向回転



み、型わくは 10.5 m のスライディング フォームを使用した。また、坑門部および特に急を要する軟弱箇所のため、別に組立セントル (8 基) を用意した。なお生コンクリートの使用セメント量は 300 kg/m³、骨材最大寸法 25 mm、スランプ 15±1 cm である。覆工型わくは 図-6 のとおり 8 t アジテータートラックの通行を考慮して決定した。またアーチ部コンクリート打設の段取りおよび側塗部コンクリートの打設状態を示したのが 図-7、8 である。

図-6 覆 工 型 わ く



アーチスライディング フォーム 1.5 m × 7 スパン = 10.5 m

メタル フォーム	300 × 1 500 × 55
ジャーナル ジャッキ	35 本, 6 本
サイド ストローク ジャッキ	6 本
ターン バックル	16 本
検 査 窓	4 枚
シ ー ボ ル ト	φ13

図-7 アーチ コンクリート打設図

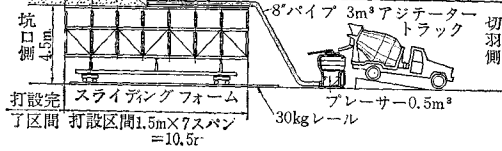
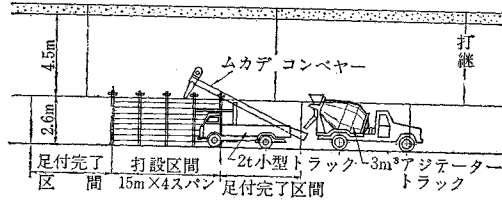


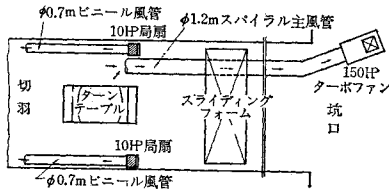
図-8 側壁コンクリート打設図



d) 坑内換気

主換気として 150 HP のターボファン1台を坑口に設置し、坑内の補助用として 10 HP を図-9 のとおり使用した。換気方式として、吹込み方式（送気）、および吹込み方式（排気）等のテストを行なった結果、工事期間中は吸込み方式の方がより効果的であるとの結論が得られた。工事中で換気状態が最悪のときは、発破後のずり出し中であり、坑内作業上トラックよりもむしろディーゼルエンジンを持つアイムコ等のずり積機による排気ガスが最も強烈なものであった。そのため、切羽付近の排気ガス濃度の高い部分を直接吸出す方式を採用した。なお、工事期間中は、換気量のロスを少なくするため、換気風管の維持補修には、特に注意を怠らなかつた。

図-9 坑内換気図



e) 断層処理

坑口から 519 m 地点で断層帯に突入した。545 m 地点でいわゆる破碎帯であったが、比較的良好な岩盤が現われ、この間 26 m を 60 日で突破した。この断層帯は幅 10 m 程度のものであったが、トンネル中心線と斜交したため、トンネルには大きな幅となって現われた。また湧水量が多く、かつ断続的に大湧水を噴出したので、トンネル作業上最悪の状態となった。以下切羽の様子について述べる。

昭和 40 年 9 月 12 日夜より切羽付近の湧水量が急増し、1200 l/min を記録した。1.2 m 間隔に建込んだ H-200 のアーチ支保工が大きく変形しはじめたので、掘削を中止し拱本巻コンクリー

トを打設した。その後鏡張りリング掘継地工法にて 2.7 m 掘進したが、再度 H-200 支保工が変形しはじめたので、組立てセントルにて拱本巻コンクリートを再度打設し変形を防止した。しかし、切羽からの湧水とともに断層粘土が噴き出しはじめ、522 m にて上半断面リング掘削は不可能となった。

9 月 24 日は上半断面掘削を中止し、水抜き処理および地質調査用として、頂設導坑の掘削を開始した。同時に水抜きボーリングを行ない、断層破碎帯の延長を確かめ、10 月 7 日にこれらの作業を終わった。この結果、水抜きボーリングが効果的で 10 月 8 日より半断面鏡張り縫地工法によりリング掘削を再開でき 529 m まで掘進した。

10 月 17 日夜より湧水が急増し、0.9 m 間隔に建込んだ H-200 支保工 4 基が大きく変形したので、坊主丸太でささえたま、ただちに拱本巻コンクリートを打設した。10 月 19 日夜半から 20 日朝にかけて、継続的に噴出する多量の湧水と、それにとりまう粘土および土砂の流出のため、頂設導坑の柱が折損し、H-250 4 基が大きく変形した。10 月 20 日午前 9 時 30 分頃、頂設導

写真-3 大湧水

(昭和 40 年 10 月 20 日午前 9 時 30 分ごろ、頂上導坑より突如多量の湧水が噴出し、流出土砂により、切羽一帯が埋まった)

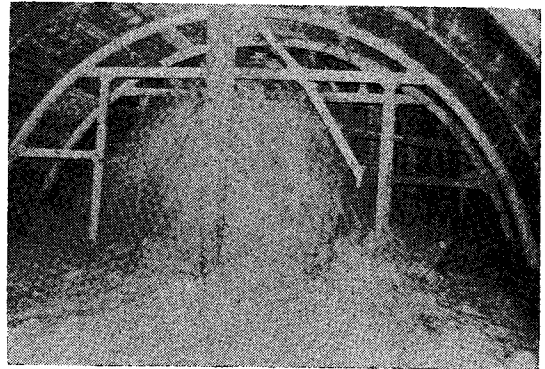
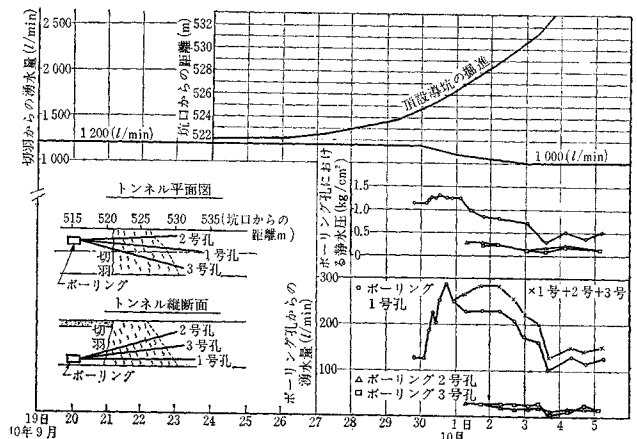


図-10 断層処理経過およびボーリング調査結果



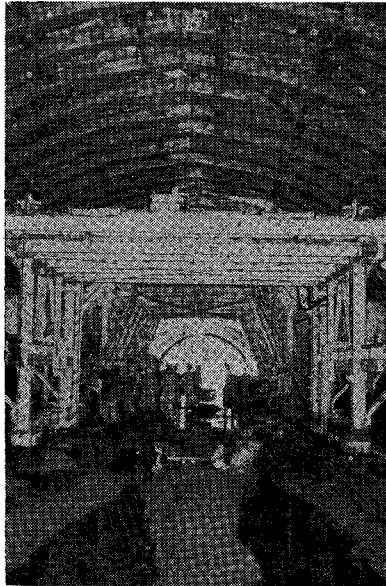
坑より突如大湧水があり(写真-3 参照)切羽一帯が流出土砂で埋没し、切羽前面が決壊噴出の寸前まで追い込まれた。その後、出水が落ち着き変形した支保工の足元に高さ 3.0 m の根固めコンクリートを打設し、リング掘削にかかった。支保工変形、掘削中止、拱本巻コンクリート打設のくり返しで、11 月 10 日無事 546 m 地点にて断層を通り抜けた。図-10 は、断層処理経過およびボーリング調査結果をとりまとめたものである。

(2) 裏工区

a) 掘削

上部半断面掘削には 3 デッキ ジャンボ(写真-4 参照)を使用した。削岩機はレッグ ドリル(TY-24-LD)にて 80~100 孔せん孔した。使用火薬は履 2 号で、使用量は平均 0.7 kg/m^3 である。1 発破進行は 1.2 m が標準で、掘削実績では 1 日最大 9.6 m、月間最大進行 159 m (昭和 40 年 11 月)であった。

写真-4 上部半断面掘削用 3 デッキ ジャンボ



b) ずり処理

ずり積機はドーザー ショベル(D-50-S)を使用し直接 8 t ダンプトラックに積み込み、坑口付近の土捨場まで運搬した。裏工区は、縦断勾配が 0.3% という緩勾配のため工事の水はけが悪く、また風化岩質の区間が多かったので、坑内路盤の状態は最悪であった。8 t ダンプトラックの絶え間ない通行で、坑内路盤の整理も進捗しなかった。湧水は自然流下させた。トラック方式による場合に、普通程度の湧水をもつトンネルでは作業能率の上から、トンネル縦断勾配は 1% 以上は必要と思われる。

c) 覆

拱コンクリートは 3.0 m^3 積コンクリート ミキサをそのまま坑内に入れ、コンクリート ポンプ (PK-20-b 型) にて打設した。拱コンクリートは切羽より 100 m 前後遅れて進み、型わくは 9.0 m のスライディングフォーム

写真-5 拱部覆工コンクリート用スライディングフォーム (9 m)

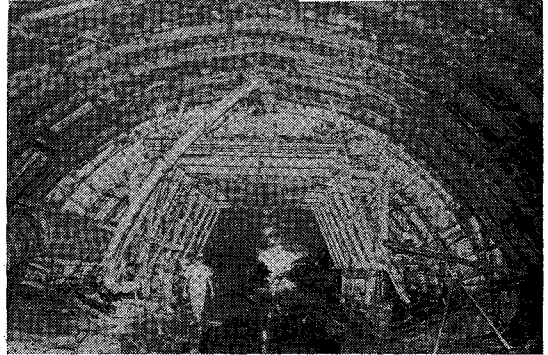
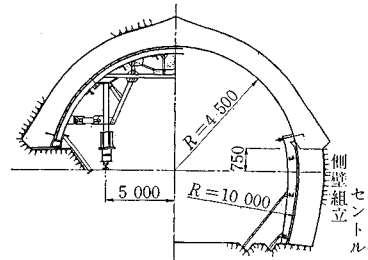


図-11 覆工型わく



アーチ スライディングフォーム 1.5 m × 6 m スパン = 9.0 m

メタルフォーム	300 × 1 500 × 40
ジャーナル ジャッキ	50 本, 4 本
サイド スクリュー ジャッキ	8 本
検査窓	4 枚
シーボルト	φ 24

図-12 アーチ コンクリート打設図

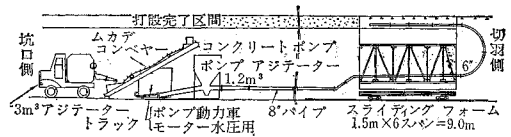
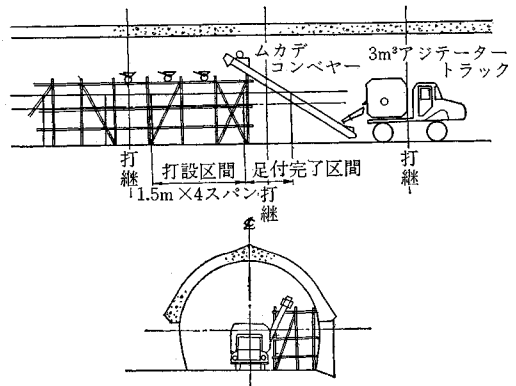


図-13 側壁コンクリート打設図

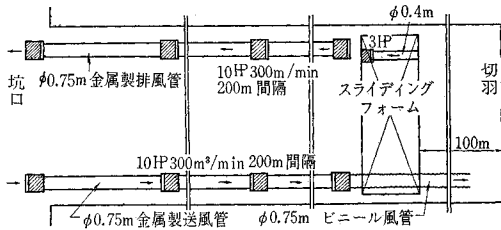


ームである。また坑門部および軟弱箇所のために別に木製セントルを8基用意した。なお、生コンクリートの使用セメント量は 300 kg/m^3 、骨材最大寸法 25 mm 、スランプ $15 \pm 1 \text{ cm}$ である。なお 図-11 に覆工型わく 図-12, 13 にアーチ部および側壁部コンクリート打設、図を示す。

d) 坑内換気

換気はプロペラファン (750 mm , $300 \text{ m}^3/\text{min}$) を 図-14 のとおり使用して、切羽の換気を良好に努めた。なお、上部半断面貫通後は、工事用換気は、両工区とも取りはずし、現在自然換気で施工中である。

図-14 坑内換気ファン設置図



6. あとがき

工事は現在上部半断面掘削および大背掘削を終り、最後のおいこみに入っている。大断層にぶつかったり、大湧水に悩まされたり、切羽の作業は目まぐるしい忙がしさであったが、一方覆工作業における生コン車によるコンクリート運搬の時間問題、ドーザーショベル、およびダンプトラックの故障、坑内路盤の改良、そして工事換気の維持補修等の作業にもかなり労力を必要とした。1 昨年3月に着工して、わずか 21 ヶ月で予定どおり今年 11 月末に完成できる。今後側壁コンクリートの一部、中央排水溝、側溝および道路舗装等の諸 工事を行なうが、いまいっそうの努力を重ねて所定の昭和 42 年4月に供用開始したいと考えている。終りに本トンネル建設に際して種々ご援助下さいました関係各位に深く感謝致しますとともに、本文の作成にあたり、本市トンネル工事主任監督員大野公男君の手をわずらわしたことを付記し謝意を表します。

構造力学 I

小西一郎・成岡昌夫 著
横尾義實・丹羽義次
A 5・¥1,300

既刊-(II)
A 5・¥980

土木、建築の学生の教科書として、新しい構成のもとに適切な内容と解説を加えて作成されたものです。巻末には練習問題を付して構造解析や実際のな構造物の設計にも充分応じられるよう、記述は懇切をきわめています。新版では〈ねじり〉の章が加えられ、新たな理論、知識が導入され、最新の課題が数多く取り上げられています。

■主要内容 カおよびモーメント/構造材料の力学的性質/引張りおよび圧縮/組合せ応力/せん断/断面の諸量/静定ばり/不静定ばり/柱/静定トラス/静定アーチおよびチェーン/ねじり

岩石力学とその応用

日本材料学会 編
A 5・¥2,500

構造物の基礎工学、採鉱学およびトンネル工学などの基礎科学としての岩石力学を体系化したもので、岩盤に対して種々の力学的モデルを仮定して応力および変形状態を解析し、有用な計算式、グラフ、データなどで具体的に解説、岩盤試験、岩盤補強工法、坑道維持、掘削と爆破の工法などの実際面も基礎から詳説しています。

新版 測量学
標準水理学
用水 廃水 便覧

{一般編}——米谷・山田 著 新書判・¥480
{応用編}——石原・森 著 新書判・¥980
本間 仁 著
A 5・¥480
編集委員会 編
委員長 内田俊一
A 5・¥6,500

M
丸善
東京・日本橋
振替東京5番