

近鉄難波線複線機械化シールド工事報告

甕 哲 司*
 中 井 政 一**
 市 川 勝 久***

1. ま え が き

近鉄難波線は、輸送力の増強と大阪市内地下鉄網の一環として南大阪の中心難波へ地下線で乗入れるもので、万国博関連事業の一つとして建設に着手し、4年半の歳月を経て本年3月15日万国博の開催と同時に開業した。

難波線の通る道路は、都市計画事業により現幅員21.8mが50mに拡幅される予定で、種々の事情から家屋立退きを要する拡幅部分に市地下鉄千日前線が入り、難波線は市電の走る交通頻繁な繁華街の現道路下を通ることになった。幸い、駅部は道路拡幅の進捗などによって開削工法で施工できたが、3.264kmの工事区間のうち、上本町一難波間1.451kmはシールド工法によらざるを得ず、しかも各種の条件からトンネル断面が複線型に限

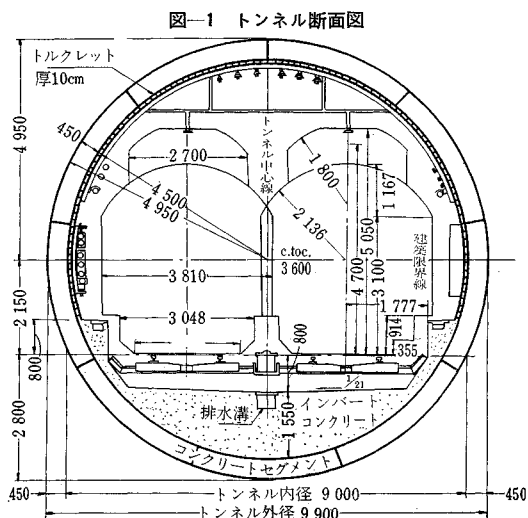
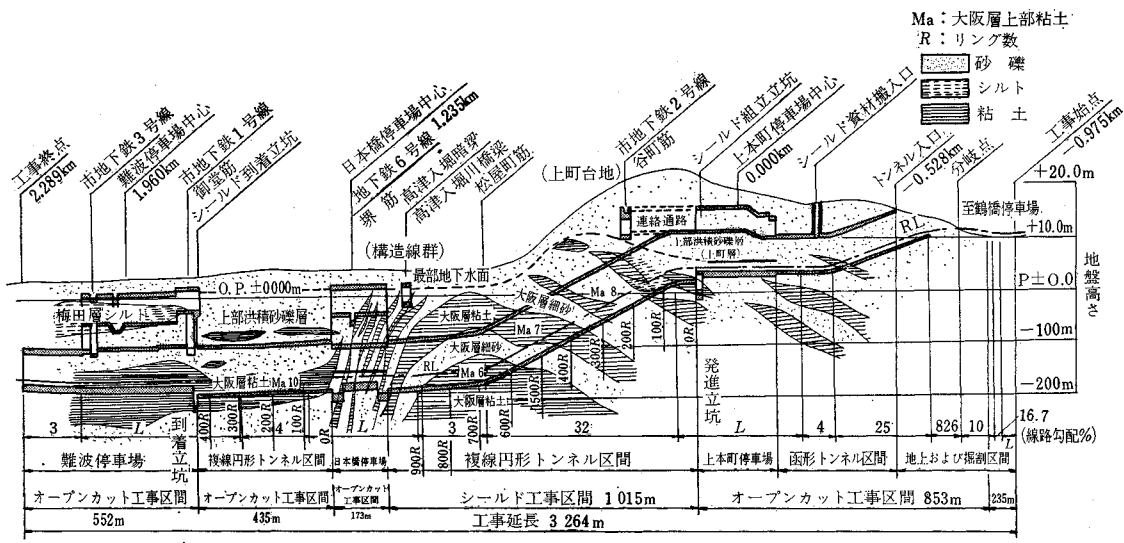


図-2 難波線地質縦断面



* 正会員 近畿日本鉄道(株)技術研究所部長(当時難波線建設工事局部長)
 ** 正会員 近畿日本工機(株)取締役機工部長(当時難波線建設工事局機械課長)
 *** 正会員 近畿日本鉄道(株)鉄道総局天王寺営業局土木課長(当時難波線建設工事局設計課長)

られたので、この大断面トンネルを安全かつ迅速に掘削するため、慎重な研究討論のすえ世界最初の試みであるが、傾斜カッターホイール式前面閉鎖型機械掘削シールドを開発使用することにした。そして、種々の経緯を経てアメリカ合衆国メムコ社が詳細設計および製作を行ない、同社と技術援助契約を有する大成建設が施工を担当することになった。工事計画、シールド、覆工などについては、さきに本誌 54 巻 4 号¹⁾ に発表したもので、以下施工実績をおもに報告する。なお、トンネル断面は二次覆工を廃し一部にトルクレット吹付けを行なうこととして、図-1 のように変更した。また、難波線の縦断、地質、リング数 (以下 R で示す) などを 図-2 に示す。

2. シールドの掘進実績

シールドの掘進実績を 図-3 に、掘進リング数と圧気関係データとを 図-4 (1), (2) にそれぞれ示す。

(1) 上本町-日本橋間の掘進²⁾

シールドは上本町発進直後の昭和 43 年 9 月 9 日夜駆動機構が破損したので、ただちに大修理を行ない約 2 ヶ月後の 11 月 3 日に再発進し、同 5 日初めて 1 m の掘進を得たが、そののちまた駆動機構の故障が続発して、ついに、全減速機の分解修理を行なわざるを得なくな

た。修理の間は推進ジャッキをきかせるとともに、カッタードアを閉じて切羽を防護したが、シールド前面閉鎖の効果は顕著で、路面に変状を与えることなしにすんだ。

12 月 15 日、ようやく本格的な掘進に入ったが、これら一連の事故のため駆動機構のピンギヤーは損傷がはげしく、常時監視を必要とした。それで、掘削トルクに余裕があると判断できたので減速機を 2 台カットし、その取付孔の一つを監視窓として、もう一つ取付孔からは圧力水で掘削中ピンギヤーに侵入する泥土を洗い流して監視点検を行なうこととした。これは難波到着まで欠かさず実行したが、故障防止にきわめて有効であった。

発進立坑は上本町駅構築を利用したので、圧気隔壁の設置がむずかしく、シールド設備全体が隔壁予定位置より奥へ入るまでの約 78 m を無圧気で掘進しなければならなかったが、シールド前面の閉鎖と傾斜刃口および傾斜カッターホイールの組合せによる切羽安定とは、所期の効果を十分に発揮し、特に補助工法を併用することなく、上町台地の滞水砂層を途中ウォーターポケットに遭遇しながらも安全に掘削することができた。

昭和 44 年 1 月 11 日から 2 月 5 日に至るロックセットと平行して、減速機の改造 (2 段減速を機構の簡単な 1 段減速に変え、トルク不足は油圧モーター 2 基を 3 基に増して補う) や、駆動機構の部品交換などの体質改善

図-3 シールド掘進実績

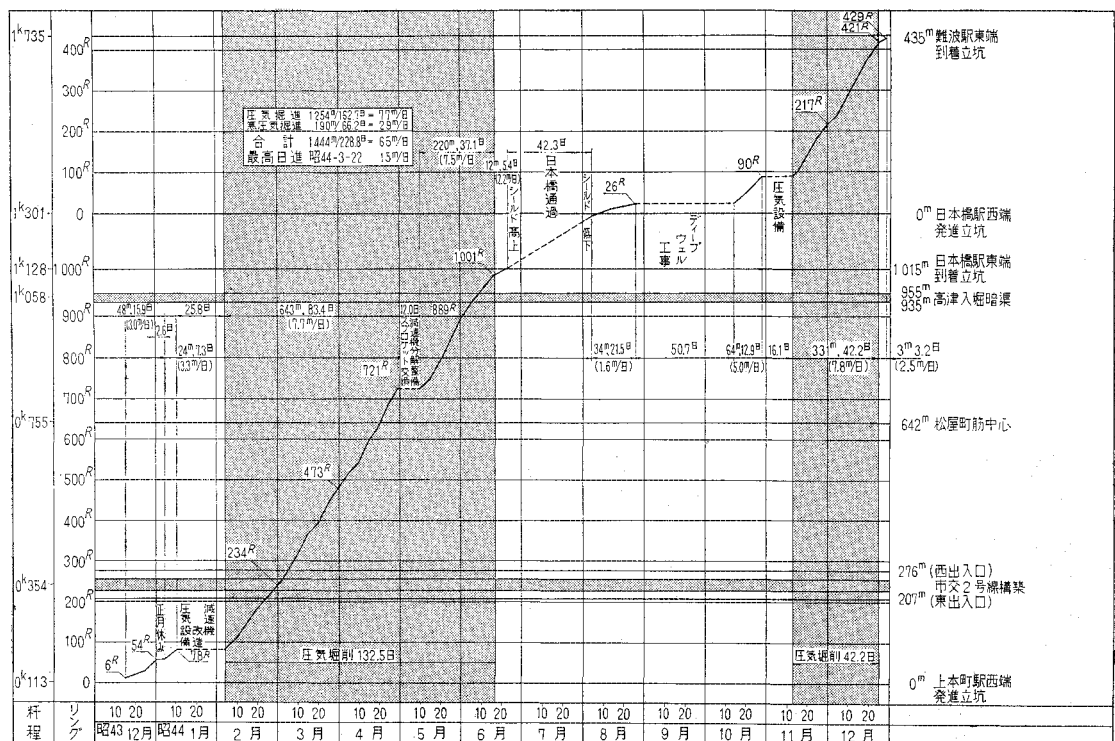


図-4 (1) シールド掘進実績

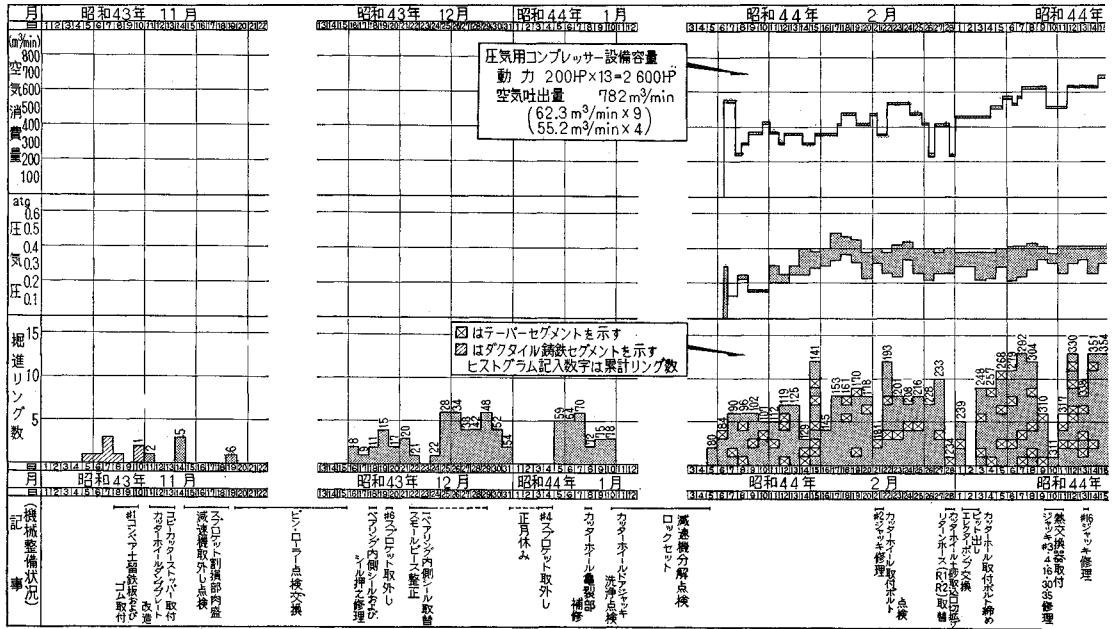
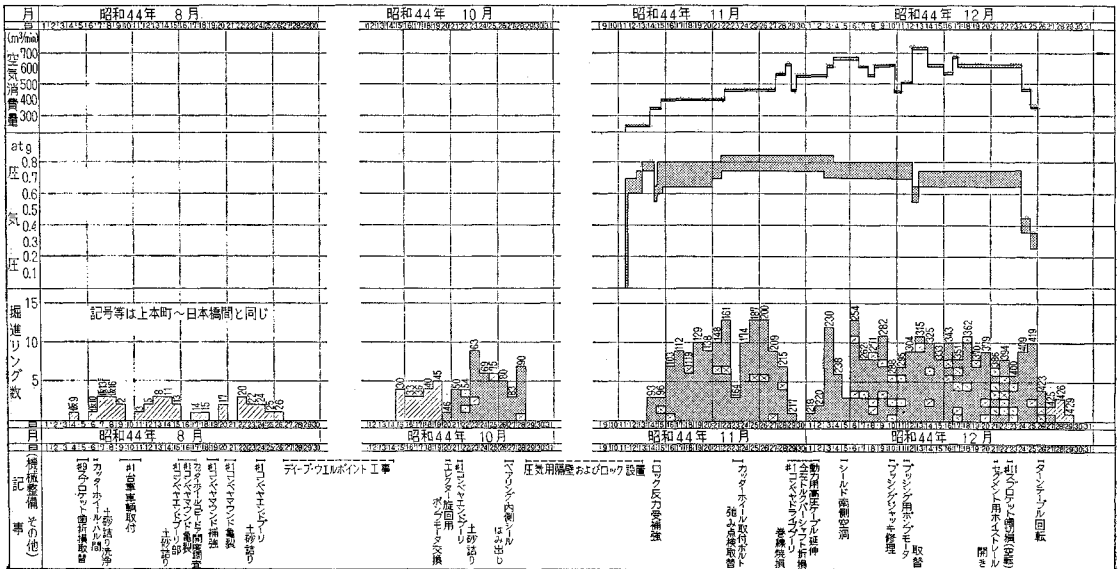


図-4 (2) シールド掘進実績、圧気圧、空気消費量
 (日本橋-難波間)



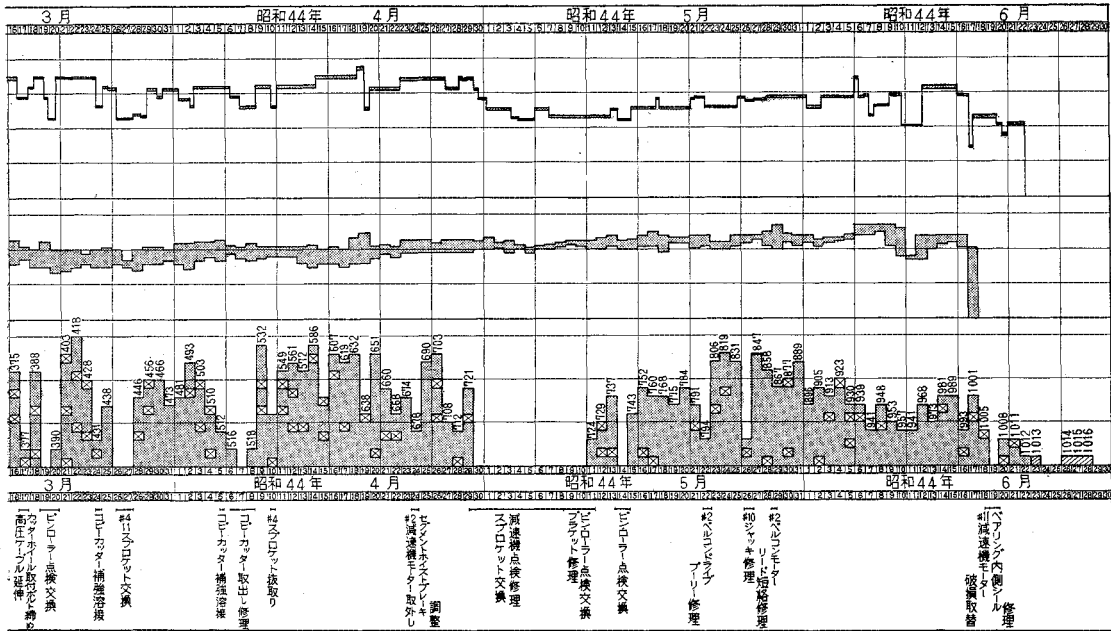
につとめ、2月6日送気開始、以後 0.4 kg/cm^2 の気圧で掘進を続け、同15日初めて日進12mを、また3月22日に最高日進15mをそれぞれ記録し、種々のトラブルを克服しつつ平均日進7.7mで進んだ(図-4(1))。

しかし、400R頃から減速機スプロケットの摩耗が目立ちはじめ、720R頃では相当数が摩耗の限度に達したと推定されたので、やむなく4月末から5月初めにかけて全スプロケットを交換し、同時に全減速機の分解整備をも行なった。このようなスプロケットの著しい摩耗は

当初予想しなかったことであった。

また、900Rを過ぎトンネルが長くなると、換気設備やトラック排気処理装置の働きにもかかわらず、すすがところどころに停滞して見通しを極端に妨げることが多く、またシールド油圧機器の発生する熱がシールド付近に蓄積し、かつトラック排気処理装置が多量の水蒸気を発生するため、特にシールド運転台付近は高温高湿でサウナ風呂のようになり、作業環境が著しく悪くなった。ただし、坑内空気中の有害ガスは、いずれも許容量をは

圧気圧, 空気消費量 (上本町-日本橋間)



るかに下まわり排気処理装置の効果は十分認められた。シールドは 234 R で市地下鉄谷町線谷町9丁目駅構築下, 940 R で高津入堀川橋梁および暗きよ下を通ったが, 前者は駅建設のさい地中に防護用 RC フレームを施工しておく (薬注防護併用), 後者は薬注を入念に行なうて, いずれも無事通過することができた。

6月20日早朝, シールド先端が日本橋駅構築東端に達し, 同28日1016 R の巻立て終了をもって上本町-日本橋間 1.015 km の掘進を終ることができた。

(2) 日本橋-難波間の掘進

シールドは日本橋駅構築内を通過し終点難波へ向け再び発進するのであるが, この区間は地質調査により相当量の地下水が予想され, 圧気併用による発進についても種々検討したが, 上本町発進と同じく駅構築の一部を発進立坑とするので隔壁の設置がむずかしく, またかりに可能であったとしても駅自体の工事を阻害することが多く, 難波線全体の工程からみて避けるべきであった。そこで, 無圧気掘進区間は立坑前面の薬注のほか, 地下水が南から北へ流れているとの判断のもとに南側に薬注注入による地中止水壁を, 北側にディープウエルをそれぞれ設けて地下水の流入をカットするとともに揚水を続け, さらに 8m 間隔に薬注注入による横断方向止水壁を併設して万全を期した。この南側止水壁はそのうち全区間に延長したが, 地下水のシャ断, 漏気の防止に顕著な効果があった。しかし, 8月4日の発進直後から妙に機械故障が続発し, 「悪地盤の掘削には急速施工が必要かつ

効果的」とのルールに反し, 予想外に長時間シールドが停止したため, 補助工法の効果も空しく切羽がうみ, 掘削すると土砂とともに多量の地下水が流入して, コムベアに載り切らず, 主ベアリングをオーバーフローしてシールド下部に堆積する有様で, この泥土搬出にバキュームカーやサンドポンプ類を動員しても 5~8 時間を要し, この間に切羽がさらに悪化する悪循環を呈して, 日進 2~3 R がせいじいばいであった (図-4 (2))。そして 8月25日, 26 R の掘削後路面局部沈下の徴候が認められたので, ただちにホイール開口部を閉じ埋設物等の調査を行なった。幸い異常はみられなかったが, これ以上掘進を続けるのははなはだ危険であると判断し至急, 地下水処理の抜本的対策を検討した結果, ディープウエルとウエルポイントとの合の子であるディープウエルポイントというべき方法で揚水することに決定した。

この方法はわが国にまだ実施例がなく, メムコ社を通じてアメリカ国内で成功をおさめたモアトレンチ社の技術を導入し, 無圧気掘進予定区間約 70 m の車道両側に 1.5 m 間隔で片側 46 本ずつ, 西端は車道を横断して 4 本, 計 96 本のディープウエルポイントを設置し 9月28日から本格的揚水にかかったところ, 1日約 700 l/min の揚水が続き, 切羽湧水も激減したので, 10月14日夜掘進を再開した。以後, 切羽の状況は次第に好転し, 同23日に日進 9 m を得たが, これは全区間を通じ無圧気掘進の最高記録であった。

同28日, 91 R の掘削を終り, ロックセットぎりぎりのところでただちに圧気設備に着手し, 13日間で完了

して 11 月 11 日送気開始, 同 13 日気圧 0.8 kg/cm^2 で掘削を始め, 以後 $0.75 \sim 0.85 \text{ kg/cm}^2$ を上限として掘進を続けた。

このように, 日本橋駅発進後の無圧気掘進は困難をきわめ, 約 91 m の掘進に 86 日 (ディープウエルポイント設置 33 日, 掘進前揚水 17 日, 実掘進 36 日, 実動平均日進 2.5 m) を要して当初工程より著しく遅れ, 45

図-5 (1) 1 リングあたり実掘削時間頻度分布図
(平均値 35.2 分)

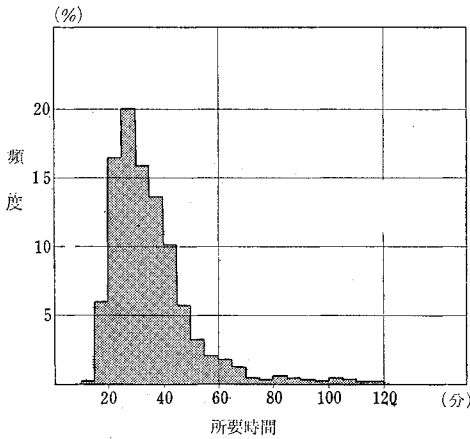


図-5 (2) 1 リングあたり RC ブロックセグメント組立て所要時間頻度分布図
(平均 48.5 分)

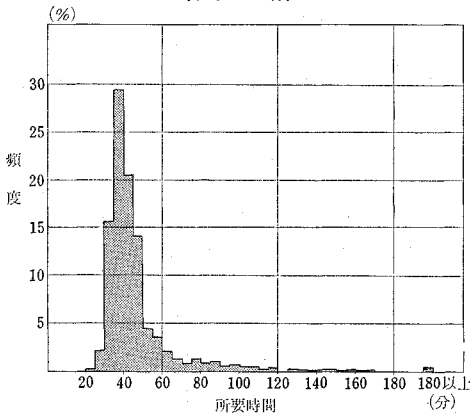
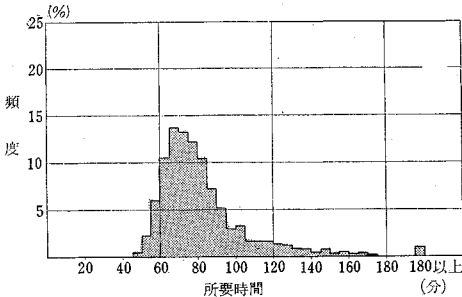


図-5 (3) 1 リングあたり実作業時間
(掘進+巻立て, 平均値 82.5 分)



年 3 月開催の万国博に間に合うかどうか問題となってきたが, この難局に際しても現場の士気は旺盛で, 11 月 22 日には日進 13 m を記録し, 平均して計画日進の 8 m をやや上回るハイペースで掘進を続けた。

途中, コンベヤ故障の続発によるスローダウンがあったが, 12 月 28 日早朝, 年内到着の予定ぎりぎりにシールド先端が待望の難波立坑に達し, 同日午後シールド前部が完全に立坑内に入ったので, ただちにシールドの解体にかかり, 約 1 ヶ月ですべての解体搬出作業を完了した。難波立坑の手前約 20 m の間は, 路面の安全をはかって後続の地下街工事の路面覆いを先行施工するとともに, 車道両側に 28 本のディープウエルポイントを設け揚水していたので, 断気しても切羽湧水は少なく問題がなかったが, トンネル内は駅工事の関係でコンプレッサーの撤去を急ぎ, 十分なセグメント止水工を行なう間もなく断気したので漏水が多く, そののちの止水に非常な苦勞をしたがやむを得ぬことであった。

(3) 掘進実績のまとめ

以上, シールド掘進の経過につき略述したが, 図-3 に点線で示す掘削ストップを除けば掘進日数 229 日 (うち圧気掘進 163 日), 平均日進 6.5 m (うち無圧気掘進

図-6 (1) シールド掘進トルク頻度分布図

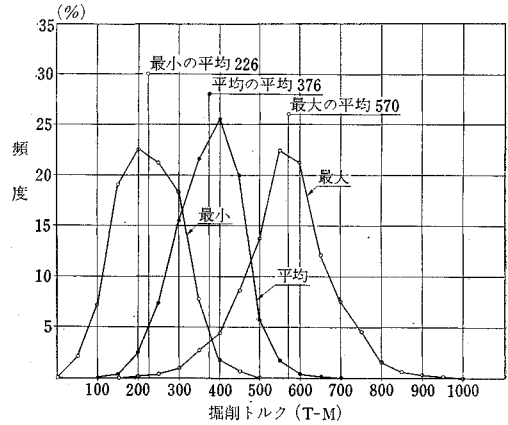


図-6 (2) シールド推力頻度分布図

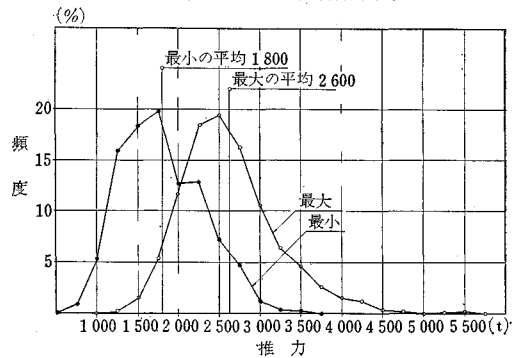
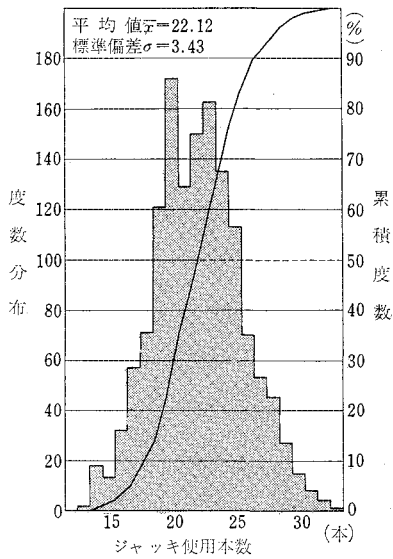


図-7 (1) 推進ジャッキ使用本数別頻度分布図
(データ数 1399)



平均 2.9 m/日、圧気掘進平均 7.7 m/日) であり、日進最高は 15 m、日進 10 m 以上は上本町-日本橋間 38 日、日本橋-難波間 14 日、計 52 日であった。図-5 (1), (2), (3) に、それぞれ 1 リングあたり実掘削時間、RCブロックセグメント組立時間、実作業時間の頻度分布を、また 図-6 (1), (2) に掘削トルクおよび推力の頻度分布を、図-7 (1), (2) に推進ジャッキの使用実績をそれぞれ示したが、これらについての考察は別の機会に述べることにしたい。

3. 問題点の検討

(1) 切羽の安定と掘削

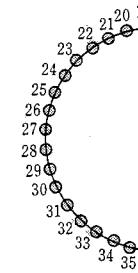
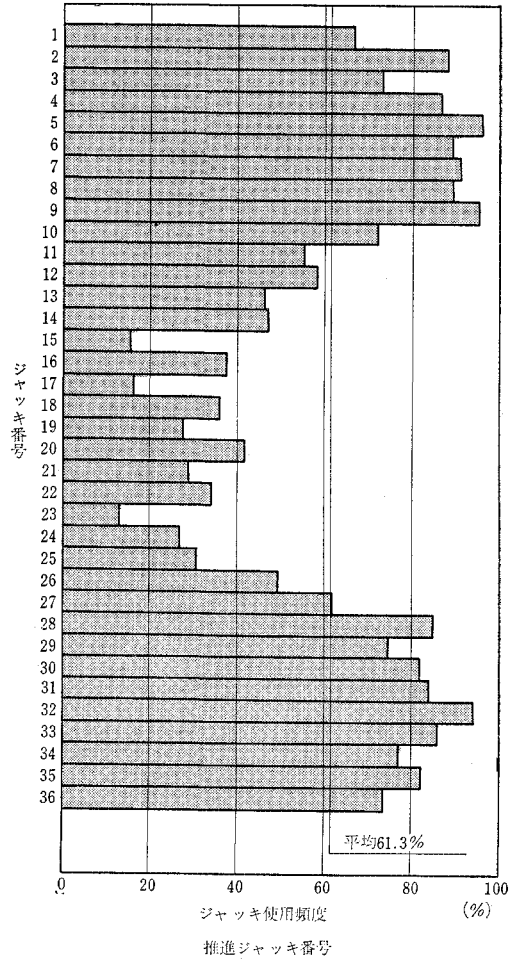
傾斜刃口と傾斜ホイールの組合せは切羽の安定を保つうえにきわめて効果的であり、シールド前面の閉鎖と相まって、通常のオープン型シールドでは不可能と思われる掘削ができた。ただし、18° の傾斜角は機械設計に相当な無理をしいたと反省され、13° 前後にゆるめた方が総合的に有利と思われる。

ホイール開口部は滞水砂礫層を対象に設計しカッターダアの突出量を 15 cm 程度としたが、粘土で含水比が大きく鋭敏比の高い場合は開口部に詰まり、切羽をかく乱して掘削をさらに困難にする。したがって、粘土掘削に備え、内側からフェースプレートを取りはずして開口部の大きさを調整できるように設計しておくのが望ましい。

(2) 摩 耗

約 1.5 km の掘削では、刃口や外殻に摩耗や変状は見

図-7 (2) 推進ジャッキ番号別使用頻度分布図

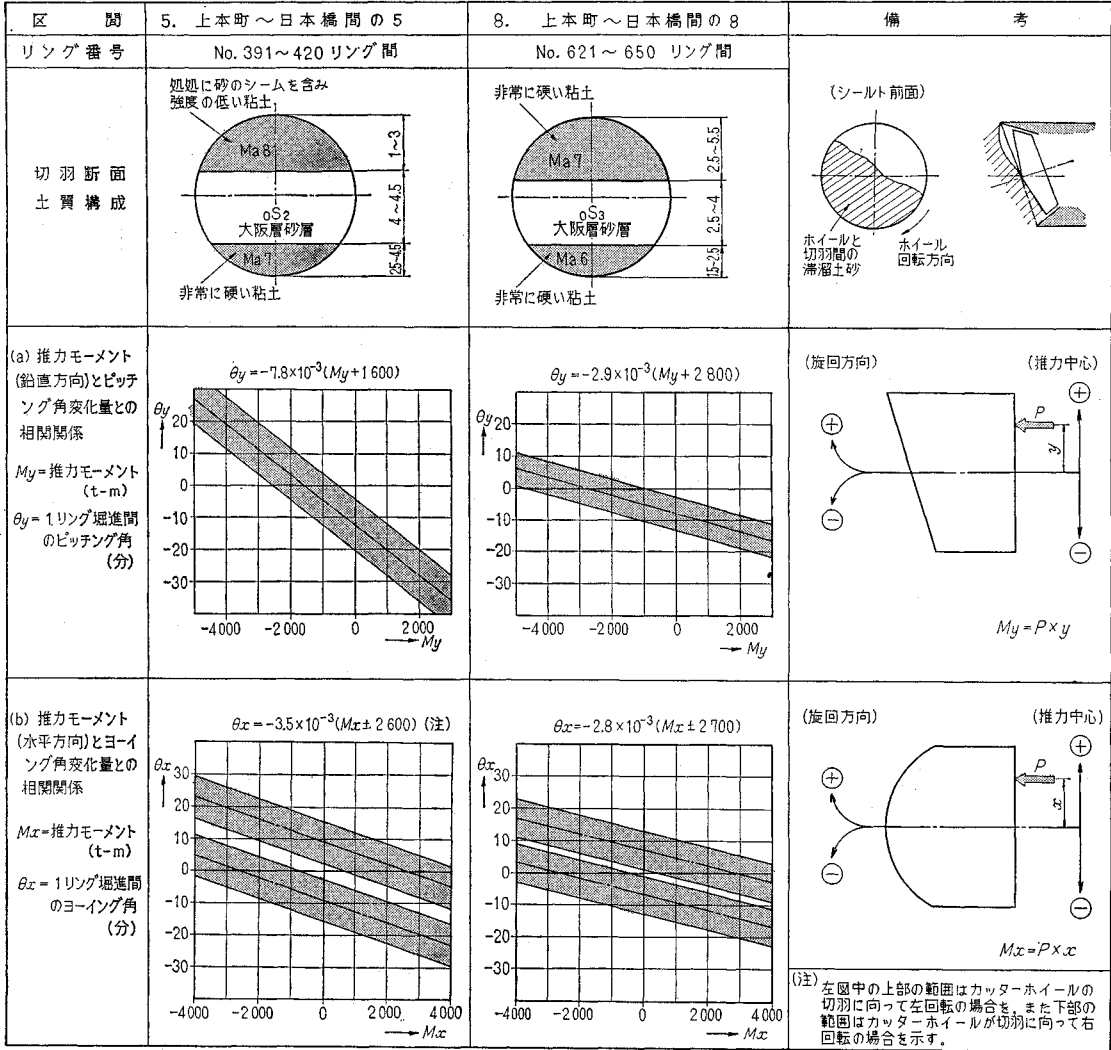


られなかった。ただし、ホイール前面は土砂で研磨されて一様に地はだが光り、ホイール外周部の切削刃 (T-1 鋼製断面 5 cm 角) は約 1 km の掘削で長さ 10 cm 程度摩耗し、同じく外周部にあるコピーカッター突出部 (厚 3 吋 T-1 鋼板 2 枚の接合部) は約 0.5 km の掘削で摩耗により破損した。しかし、これらはいずれもシールド内部から修理交換ができるので特に問題はなかった。

(3) シールドの方向制御

このシールドは、通常のシールドと同じく切羽土質に

図-8 推力モーメントとシールド旋回角との関係



応じたジャッキ操作のみで容易に操縦でき、特異な運動癖などは特に認められなかった。シールドの自転はおおむねホイール回転方向の逆に生じたが、ホイールの逆転で比較的容易に修正できた。また1リング掘進の間のシールド旋回角 θ と推力モーメント M との相関を

$$\theta = a + b \cdot M$$

ここに、 a, b : 定数

と仮定し、全線から切羽土質によって13区間を選び、水平・鉛直の両方向の実測値について相関分析を行ない興味ある結果³⁾を得たが、その一例を図-8に示す。このシールドでは、傾斜刃口のため刃口先端角度が上部より下部で大きく、したがって、下部刃口の貫入抵抗の方が大きい、またホイールと切羽の間は、下部は土砂が滞留するが上部は刃口の貫入によって一部に空間ができるなどの理由で、ピッチングについていえば推進抵抗の合

力作用点がシールド中心の下方になる。図-9は本例の区間5で下部粘土が非常に硬いためシールドが前傾気味となり、推力中心を下げて急にも修正できないことを示している。また、区間8では上下の粘土の硬さがほぼ等しいため、前傾の傾向が小さくなっている。ヨーイングでは図示のように切羽土質によって程度の差はあるが、ホイールの回転方向に大きく影響される。これはホイールと切羽間に滞留する土砂の勾配がホイール回転方向によって変わり、シールドの左右で推進抵抗に差を生ずるためと考えられる³⁾。

なお、このシールドは操縦性が予想外に良好だったので、結果論になるが、シールドを少し長くして機器配置に余裕を与え修理点検のしやすいようにし、テールプレートもやや厚くしてセグメント組立てに支障なくした方が総合的によかったように思う。

(4) セグメントと止水工

RCブロックセグメントは組立てが迅速で機械化シールドの掘進速度に十分対応できるが、他種のセグメントに比し、作業員の熟練度が、できばえにより大きく影響するほか、組立てに推進ジャッキを用いるので、この故障によってセグメント作業が阻害される欠点がある。止水については、前述の日本橋一難波間を除いて特に大きな問題はなく、ウッドインサートによる止水^りも、コーキング施工までの一次止水工として有効だったと思う。

4. む す び

以上、近鉄難波線シールド工事の施工実績について略述したが、初めての試みだけに未知の分野が多く、困難の連続であった。機械化シールドを採用した第一の理由は、シールドの前面閉鎖による施工の安全にあったが、作業の機械化によって施工速度が高まれば、これがまた

安全施工に結びついたので、今後機械化シールドによる急速施工が可能になるよう、在来と異なった新しい態度で作業管理を行なう必要のあることを痛感した。本稿を終るにあたり、終始暖かいご指導ご鞭撻を頂いた関係官公庁各位、顧問 沼田・村山両博士をはじめ諸先輩各位、また計画から完成までたえず検討を繰返し、ともに未経験の工事を進めてきた近鉄および大成建設の関係者各位に対し、心から謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 甕 哲司：近鉄難波線複線機械化シールド工事（計画および工事近況）、土木学会誌 54 巻 4 号，1969
- 2) 甕 哲司・中井政一・市川勝久：近鉄難波線の大型機械化シールドの施工例について，第5回トンネル工学シンポジウム，土木学会，1969. 11
- 3) 甕 哲司・沢竹正昭：機械化シールドの掘進に関する諸考察（未発表）
- 4) 甕 哲司：近鉄難波線シールド工事における漏水防止対策，コンストラクション，7 巻 11 号，1969

(1970.10.17・受付)

トンネル工学シリーズ 7 第6回トンネル工学シンポジウム 最新刊

B5判 252 ページ
定価 1800 円
会員 1600 円
特価 (〒100 円)
申込は代金に送料
を添え，土木学会
へ……。

TUNNEL SYMPOSIUM '70
の発表論文の集録

発売中

- トンネル標準示方書解説 800 円
- シールド工法指針 800 円

● 特別講演 ●

日本におけるトンネル工事 / 藤井松太郎

● 国内編 ●

わが国における岩石トンネル掘進機の現状と将来 / 三谷 健

わが国の山岳トンネルにおける不良地盤掘削工法 / 島田隆夫

膨張性地山におけるトンネルの施工法 / 足立貞彦

トンネル土圧の時間依存性について / 村山朔郎

わが国における都市トンネルの現状と特異性について / 西嶋国造

東京地下駅における軟弱地盤の大規模開削 / 横山浩雄

軟弱地盤における地下切広げ工法の問題点と施工例 / 遠藤浩三

わが国における沈埋トンネルとその問題点 / 大平拓也

● 国外編 ●

Present Status and Future Prospects of Tunnel Machines in the U.S.A. J. GEORGE THON

Mountain Tunnel Driving in Bad Rock Formations. VICTOR L. STEVENS, P.E.
Bored Tunnels Through Water Bearing Strata in Urban Condition in England. THOMAS M. MEGAW

The Method of Widening the Tunnel Through Soft Sand Layers in Germany. WILFRIED KRABBE

The Present Status and Future Prospects of Immersed Tunnels in the Netherlands. H. C. WENTINK C. I.

Some Results in Freeway Tunneling by Means of Grouting Technique. DIEGO VANONI

B5判・250ページ
定価 1800円
会員特価 1600円
(〒100)

〈最新刊〉

7 第6回トンネル工学シンポジウム

I. 岩石トンネル掘進機の現状と将来(アメリカの場合,日本の場合), II. 山岳トンネルにおける不良地盤掘削工法(イタリアの場合,アメリカの場合,日本の場合,日本の膨張性地山におけるトンネル施工法,トンネル土圧の時間依存性), III. 市街地の軟弱地盤におけるトンネル工法(イギリスのシールド工法,日本の都市トンネルの現状,東京駅の大規模開削,ドイツの地下切上げ,日本の地下切上げ工法の問題点), IV. 沈理工法の現状と将来(オランダの場合,日本の場合),などTunnel Symposium '70と題して9月14～16日・東京文化会館で開かれたシンポジウム発表論文のすべてを収録す。

第1回トンネル工学シンポジウム

B5判・106ページ
定価 400円
会員特価 300円
(〒50)

トンネル用鋼アーチ支保工の設計施工について/長大トンネルの地質/トンネル工事における災害の実情について/高熱トンネルの施工について/名古屋市高速鉄道シールド工法について/わが国トンネル施工のすう勢と問題点について

2 最近のトンネル工学 — 工事の実例と話題 — 〈第2回トンネル工学シンポジウム〉

B5判・136ページ
定価 500円
会員特価 400円
(〒50)

トンネル標準示方書制定について/青函トンネルについて/国鉄新丹那トンネルについて/羽田海底トンネルについて/富士川用水導水トンネル工事について/AN-FO爆剤とその発破法

3 第3回トンネル工学シンポジウム

B5判・146ページ
定価 1000円
会員特価 800円
(〒70)

トンネル土圧/トンネル土圧の測定方法と現況/トンネル用鋼アーチ支保工の強度について/トンネル掘削における余掘りの実態について/セグメントの設計について/栗子トンネルの工事計画と施工実績について/国鉄親不知トンネルの施工実績について/青函トンネルにおけるウォールマイヤー式トンネル掘削機の掘削試験について/大阪地下鉄複線型と単線型シールドの実施例と問題点/シールド工法による駅部の施工計画について/わが国における中小口径シールド工事の現況について

4 わが国シールド工法の実施例・第1集

B5判・338ページ
定価 2200円
会員特価 1800円
(〒110)

第I部 工事概要/第II部 設計および実績/第III部 セグメント/第IV部 シールドおよび付属機械/第V部 工所用機械その他/第VI部 主な図表類/付録 鉄道および道路・下水道・上水道・電力および通信・地下道その他に分類 158件を収録

5 第4回トンネル工学シンポジウム

B5判・268ページ
定価 1800円
会員特価 1600円
(〒50)

ソ連の地下鉄/アメリカのトンネル工事を視察して/アメリカにおける山岳トンネル工法/アメリカにおけるトンネル掘きく機/アメリカにおける都市トンネル/アメリカにおけるコンサルタント業務/アメリカにおける請負工事の諸事情について/アメリカのトンネル施工に関する新技術/欧州のトンネル工事を視察して/欧州におけるトンネル請負工事の諸事情について/欧州における山岳トンネル工法/欧州におけるトンネル掘進機について/欧州のシールド工事/欧州における地下鉄工事/欧州における沈理工事

6 第5回トンネル工学シンポジウム

B5判・124ページ
定価 1000円
会員特価 900円
(〒50)

六甲トンネルの碎破帯突破について/トンネルの掘きくに伴う地表沈下測定例について/牧の原地すべり地区のトンネル施工について/紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工法と膨張土圧の測定結果について/京葉線・多摩川河底沈埋トンネルについて/大阪地下鉄の沈埋管工事—堂島川と道頓掘川の施工例について—/近鉄難波線の大型機械化シールドの施工例について