

# 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 —

甕 哲 司\*

## 1. ま え が き

近鉄難波線は国鉄環状線との連絡駅鶴橋の西で分岐して地下に入り、道路下を西へ進んで南大阪の中心難波に至る、工事区間長 3.264 km (地下部分 2.817 km) の複線地下鉄道である (図-1)。駅は上本町・日本橋・難波の3地下駅で、大阪市地下鉄の南北4路線のすべてと交差連絡し、オープンカット工法で建設されるが、駅間計 1.451 km の一般線路部分は、道路幅が 21.8 m と狭いうえに市電が走り、かつ市内有数の繁華街と交通量のため、オープンカットは不可能で、シールド工法によらざるをえなかった。このような道路および沿道事情のもとに、鉄道施設としての諸条件、特に列車の折返しを行なう地下ターミナル難波駅の配線、およびこれともなう交差わたり線設置の問題、中間の日本橋駅において構築を道路下におさめねばならぬ関係上、乗降場配置を相対式とせざるをえない条件などを勘案すれば、トンネルは複線断面に限定される。複線断面とすればシールド外径は約 10 m、断面積にして単線型の2倍強、切羽安定確保のむずかしさを切羽押え力で表わせば、径の3乗に比例するといえるので、施工が飛躍的に困難の度を加えるであろうことは論をまたない。このため、38年春より地質地下水の調査を繰返し地盤構成の把握に努めるとともに、沼田政矩・村山朔郎両博士を顧問とし、一部建設業者およびメーカーの参加をえて社内委員会を設け、内外の資料・実施例の調査研究を進めた結果、シールド前面をカッター ホイールで閉鎖して常に切羽を押え、ホイールを回転させて掘削を行なう、いわゆる前面閉鎖型機械化シールドを用いれば、複線型大断面の掘進は可能との結論に達した。当時は、ホイール用の大径ベアリングをはじめとして、大型機械化シールドの国産には、材料および工作機械の面であまりにも問題が多く、結局、種々の経緯を経てアメリカ合衆国メムコ社が詳細設

\* 正会員 近畿日本鉄道(株)難波線建設工事局部長

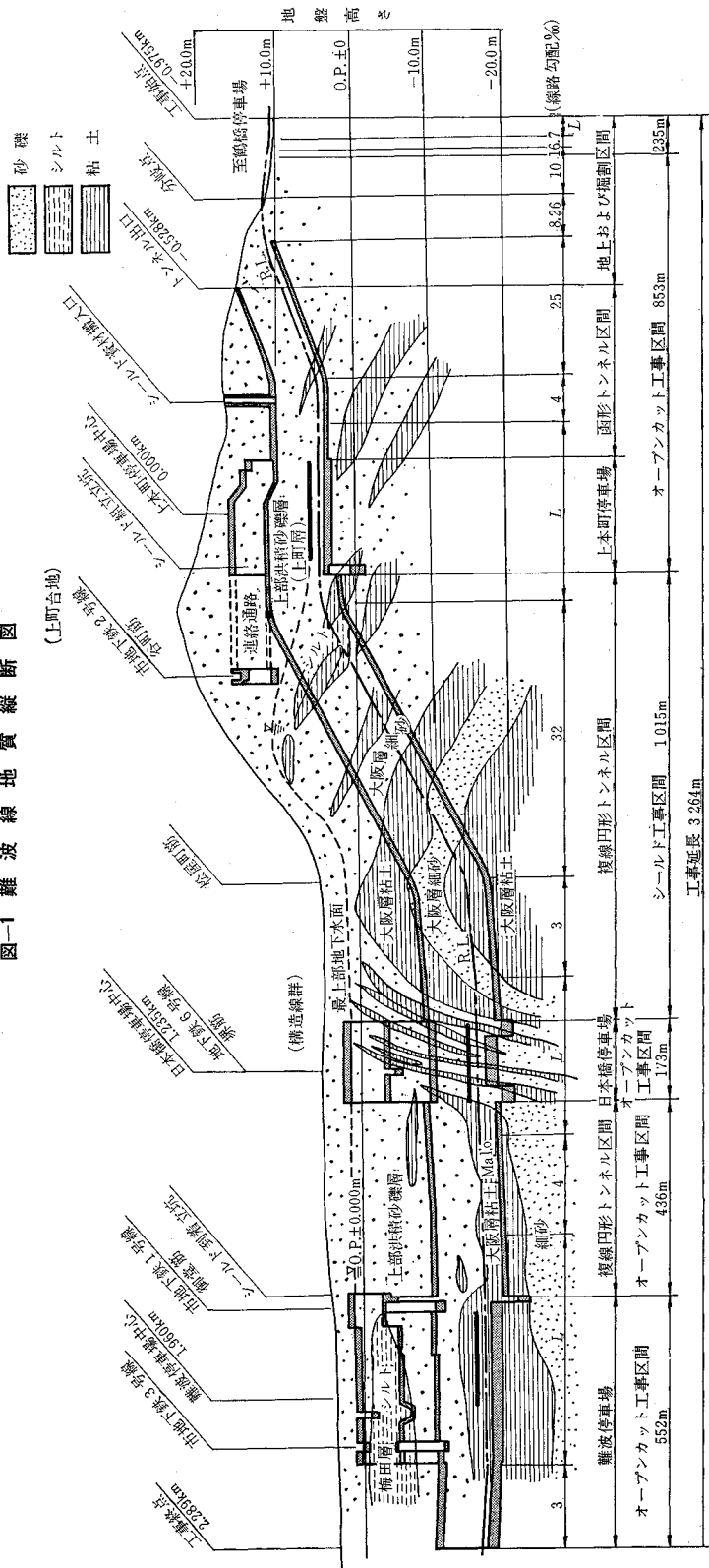
計および製作を行ない、同社と技術援助契約を有する関係で、大成建設(株)が施工を担当することとなった。シールドは昭和43年2月に現場組立を始めたが、アメリカにおける部品調達が著しく遅れたため、9月より試運転・調整に入り、11月はじめ発進の運びに至ったが、日ならずして駆動機構のピンギアに鋼片がかみ込み、減速機などが破損する不測のトラブルに出会い、至急修理のうえ、12月中旬ようやく再発進することができた。現在(1月上旬)78リング掘進して、圧気用隔壁・ロック類を設備中である。以下、本工事の計画およびわずかな実績ながら施工の実況につき、報告し参考に供したい。

## 2. シールド工事の計画

### (1) 地質の概要

シールド工事の成否は地質と地下水の条件いかにかかるから、工事の計画に先立ち多くのサンプリング結果を、大阪市大 藤田和夫・竹中準之介両博士のご指導をえて、大阪市を中心とする大阪平野のなりたちや地盤構成に関する幾多の研究結果と合わせ、総合的に検討し、大要 図-1 のような地質構成をえた。すなわち、中間駅の位置、堀筋付近に南北方向の構造線群があり、この東では、いわゆる六甲変動によって大阪層群上部の海成粘土と砂の互層が 80~100 m の変位をもってずれ上っており、上町台地と呼ばれる上本町付近高台の大部分は、この隆起した大阪層群上部層や上部洪積層が侵食を受け、その上に段丘砂礫層が堆積して現在の姿になったものである。構造線群の西には、大阪層群粘土の最上層(Ma 10 と称す)とみられる層があり、その上に、沖積層の基盤をなす上部洪積層が不整合に堆積している。シールドの路線はこれらの洪積層をとおり、できるだけ切羽頂部が粘土で覆われるように配慮した。また、Ma 10 層の下は、被圧地下水を含む細砂層となるので、この区間は切羽底部が Ma 10 粘土中にあるよう、シールドの深さ

図一1 難波線地質縦断面図 (上町台地)



を定めた。大阪層群粘土は一般に  $q_u = 2.2 \sim 4.5 \text{ kg/cm}^2$  に達する硬粘土で、粘土層間の砂層は微細粒子を含む良く締ったほぼ均等な細砂で、透水性低く、自立性に富む。上町台地、および中間駅以西の Ma 10 上の洪積砂礫層は、ところどころに粘性土のシームを含むが、中～粗砂が卓越し、自立性にやや乏しい。洪積層内の掘進において最も注意すべきことは、粘土層上面の侵食跡がウォーターポケットとなって、地下水が砂礫層内に局部的に貯溜された場合で、運悪くこれに当たると地下水とともに砂が吹き出し、瞬時にして多量の土砂が崩壊する。これはその位置が予知できず、圧気によっても処理できないだけに、十分警戒する必要がある。本工事で前面閉鎖型機械化シールドを採用した第一の理由がここにある。地下水は洪積砂礫層に多く、特に中間駅以西の区間は水位が高い。

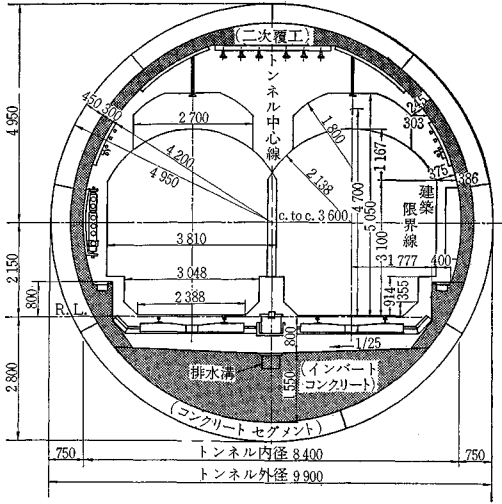
(2) 路線および断面

平面曲線は道路がほぼ直線であるため、半径 1000~3000 m とゆるやかで、縦断は上町台地のため 32% の急勾配が延長 600 m 続くが、縦曲線半径はシールドを操縦し易いよう、4000 m と大きくした。トンネル断面(図-2)は、仕上り内径 8.4 m、外径 9.9 m とした。土かぶりには地質地下水の状況や既設地下鉄の下を交差する関係上、13~14.6 m となった。

(3) 施工の計画

シールドは上本町地下駅西端の立坑で組立てられ、難波方面に向かい片押しに掘進する。中間駅では、構築両端各 18 m を到着および再発進立坑とし、到着したシールドを 300 t ジャッキ 4 本で 2 m ジャッキアップして構築を通し、西立坑部でジャッキダウンして再発進させる。終端では難波駅東端の到着立坑で解体

図-2 トンネル断面図



する。これらシールド下部品の搬入・搬出、ずり出し、セグメント・生コンクリートの搬入などの坑内輸送は、機械化シールドの掘進能力に見合う輸送力を確保するため、すべてトラックによることとした。この場合、ディーゼル機関排気中の有害成分（不完全燃焼炭化水素およびCO）と遊離炭素（煤）の処理は、かねてより研究の結果、前者に対しては、いわゆる白金触媒マフラーにより排気を完全燃焼させてCO<sub>2</sub>および水蒸気に変え、後者に対しては水マフラーと称し、遊離炭素を核として水蒸気を凝縮せしめて煤を除く装置を用いることにした。なお、発生したCO<sub>2</sub>は換気により許容濃度0.5%以下に押えるものとし、圧気設備として、低圧コンプレッサー150kWを13台（715m<sup>3</sup>/min）、上本町地下駅構内に設置した。トラック通路とするインバート部は掘進と平行して打設し、硬化待ちの間のトラック通路として、

トラス状の第2台車を設けた。電力設備容量は約6000kWとなるが、稼働率60%と仮定し、関電より3550kW（6600V、2系統）を受電し、第1台車上の変圧器で降圧して使用する。

### 3. シールド

本シールドの概要は表-1、図-3のとおりで、設計の主眼である、切羽の安定確保、操縦の容易、掘削および排土、セグメントの組立の諸点については、次のような考慮を払った。

#### (1) 切羽の安定確保

a) 前面閉鎖式とした。すなわちシールド前面にカッターホイールを設け、掘削中はずり取入口のみを開き、停止中はこれを閉じて、前面を完全にブラインドにし、切羽の崩落を防ぐ。

b) 傾斜刃口および傾斜カッターホイールを有する。シールドは一般にフードによって切羽頂部のゆるみを防いでいるが、さらに一歩進め、シールド前端を斜めに切って傾斜刃口とすれば、フード部直上の土圧でシールドが前傾する恐れなどの問題はあっても、通常の場合、切羽の安定度は一段と向上する。さらに、これに合わせてホイールを斜めに取り付けて切羽を押えるようにすれば、刃口の貫入および切羽の傾斜の2つの効果によって、切羽の安定をより確実にすることができる。しかし機械設計上は、ホイールの傾きが増すほどベアリング・回転機構の設計をはじめ、各機械要素のとりまとめにおいて困難が増し、比較設計によれば傾斜角が15°~20°実用上の限度と思われる。土質力学的には切羽押え力はホイールの傾斜とともに減少するので、最終的にはこれら

図-3 機械化

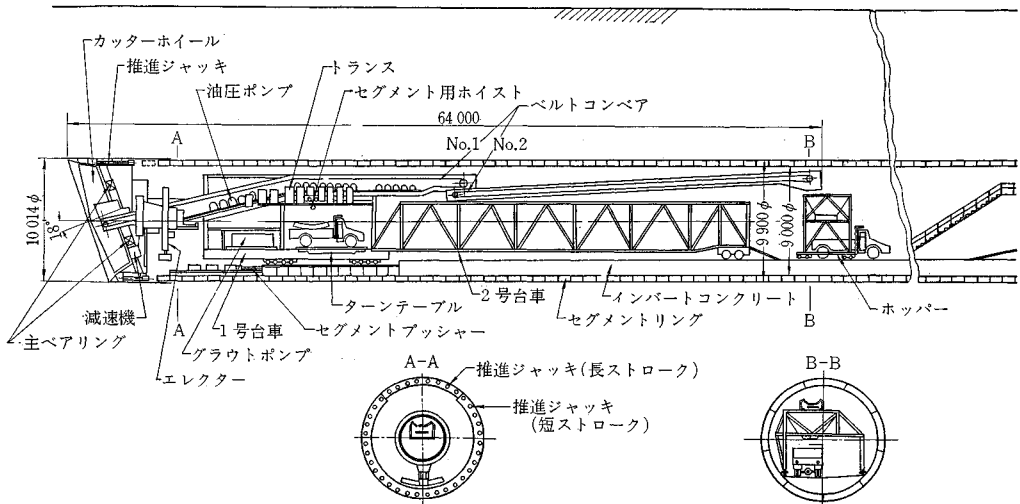
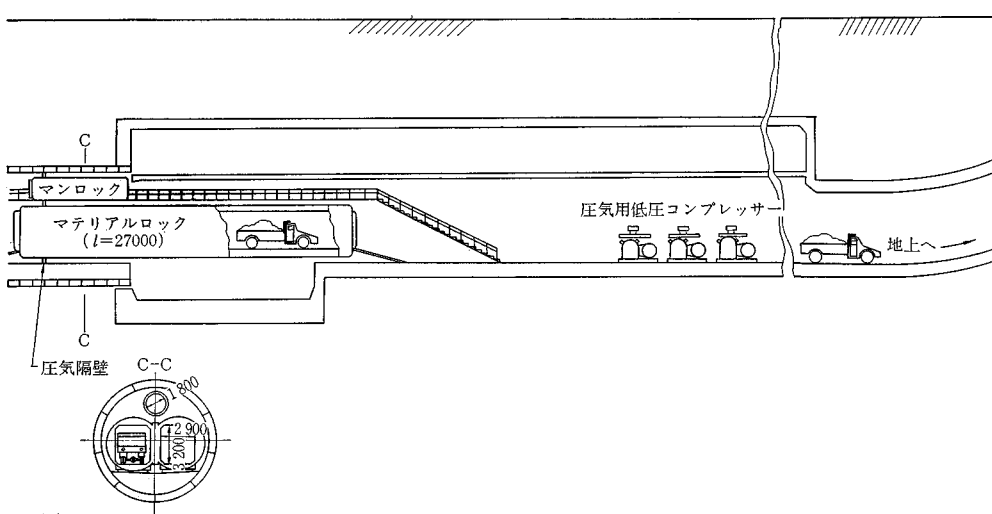


表-1 シールド機械主要目

名 称	仕 様	備 考
シールド 本 体	径10.014 m 長(上部) 8.205 m, (下部) 4.950 m 外 殻 材 料 T-1 鋼 (降伏点 63 kg/mm <sup>2</sup> 以上) 厚 25.4 mm, クリア ランス 31.6 mm	オーバカットを含まず (平均長)/(外径) ≒0.66 6分割して輸送, 現場 で全溶接 セグメント約1.4リン グをカバー
カッター ホイール	外径×最大厚 9.635 m×2.021 m 回 転 数 0~1.37 rpm	2分割して輸送, 現場 で全溶接
主ベアリング	(外径) 5.994 m, (内径) 4.000 m	リング型, 厚 59 cm, 重量 70 t
推 進 ジャッキ	推力×本数(長) 300 t×8 本 同 上 (短) 300 t×28 本 最大油圧 714 kg/cm <sup>2</sup> 推 進 速 度 10 cm/min ストローク(長) 2.438 m 同 上 (短) 1.422 m	等分配置, 137 t/切羽 1 m <sup>2</sup> 36 本駆動, 最大速度
エレクター	旋 回 速 度 0~1.4 rpm 昇 降 速 度 0~4.7 m/min 押 上 げ 力 20 t 摺 動 長 さ 2.6 m ベアリング径 4.5 m	中空軸型, 油圧駆動
排土コン ベア	ベルト幅 1.524 m ベルト速度 157 m/min コンベア長さ (No. 1) 30.29 m (No. 2) 30.48 m	駆動電動機 No. 1, No. 2, 各 75 HP 装備
カッター ホイール 回転機構	油圧ポンプ DENISON, 最大圧力 250 kg/cm <sup>2</sup> , 最大流量 440 l/min 同上駆動電動機 125 HP 油圧モーター STAFFA, 最大トルク 0.443 t-m, 最大圧力 228 kg/cm <sup>2</sup>	18台, コンベアフレ ーム内に装備 減速機(12台) 1台当 り2台装備
掘削ドア開閉機構	150 t ジャッキ 15 本	ずり取入口(特別掘削 ドアを含む) 9カ所
テールシール	薄鋼板と硬質ゴムの組 合せ	テール端部に設置

のバランスを取り, 中間の 18° とした。上町台地の礫混り中へ粗砂層内の掘削実績によれば, 切羽上半部は傾斜

シールド概要図



刃口により, 下半部は傾斜ホイールにより, 予期のとおりに安定を保っている。

c) 推進ジャッキ推力を大きくした。ジャッキ推力は強力な刃口貫入による切羽アーチングの形成やシールド操縦の面から大きいのが望ましく, セグメントをRCブロック型にしてひびわれを防ぎ, 最大推力 300 t のジャッキ 36 本を装備した。

(2) 操縦の容易

機械化シールドは本体が長くなり勝ちで, 操縦に困難を感ずることが多いので, 特にこの点に留意した結果, 平均長/外径 は 0.66 となった。テールスキンは厚 1" の T-1 鋼を用いてフレキシブルにし, あわせてテールボイドを少なくした。なお, 前述のようにジャッキ推力を大きくし, 方向転換に際し推進抵抗の大きい場合でも, ジャッキ推力の偏心量が十分えられるようにした。さらに, 余掘と周辺摩擦減少のため, 刃口周囲に鋼片を溶接した。

(3) 掘削および排土

a) ずり取入口および切削刃; ずり取入口は 6 カ所で, 平常は掘削ドアで閉鎖され, 掘削時ドアがジャッキにより回転方向に開いて切削を行なう。シールドの自転防止ないし修正のため, いずれの方向にも回転切削できるよう, ドアの両側に切削刃を設けた。このほか, 上下刃口の貫入を助け, ホイール外周寄りを掘削する特殊掘削ドアを 3 カ所に設けてある。

b) カッターホイール回転機構; ホイールは内径 4 m のリング状主ベアリングに支持され, シールドフレーム外縁寄りに配置した 12 台の減速機(各油圧モーター 2 台装備)の sprocket とホイール背面のピンギアとの

かみ合わせにより回転する。油圧駆動とした理由は、無段変速が可能なこと、および過負荷に対する安全性である。

c) 掘削トルク；掘削に要するトルクは、切削、土の積込み、およびホイールと土の摩擦の諸抵抗によるものであるが、定常掘削時より起動時において、はるかに大きなトルクを要する。起動時トルクは、機械の固有トルクと、停止中ホイール前面を押していた土の付着あるいは土との摩擦を切るための抵抗、および粘土質切羽に貫入した切削刃が粘土をせん断する抵抗

によるトルクの和として求めることができる。本シールドの場合、起動時トルクは 1390 t・m と計算され、これに対し油圧モーター 24 台、起動時トルク 1500 t・m と設計した。

d) 大容量の排土コンベアーを装備した；切削土はホイール内の補強リブで上方に持ち上げられ、排土コンベアー上に落ちるが、コンベアー上の堆積が継続的になるので、コンベアー容量は事情の許す限り大きいのが望ましい。本シールドでは、長さ短縮のためホイール用油圧ポンプ 18 台をコンベアーフレーム内に収納せざるをえない事情もあり、ベルト幅 5' とした。

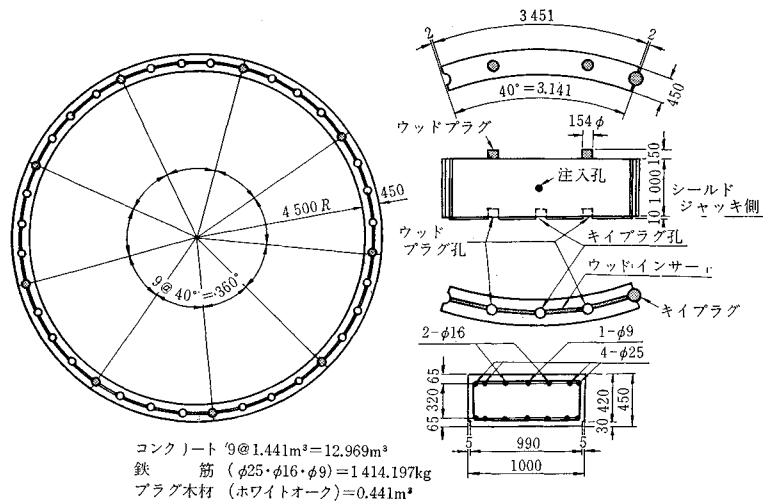
#### (4) セグメントの組立

セグメントの組立において、ホイールの傾斜によりシールド頂部に生じた空間を利用して、上部推進ジャッキ 8 本のストロークを約 1 セグメント幅だけ長くし、エレクターを前後に 2.6 m 摺動できる構造として、リングを閉合する際、最後のセグメントを切羽側から推進ジャッキにより水平に挿入するようにした。これによりセグメントはリングを 9 等分割した同形・同寸法となった。

### 4. 覆 工

覆工はトンネルにかかる全荷重を 1 次覆工で負担せしめ、2 次覆工は単なる化粧ないし保護巻きとして設計した。本工事の場合セグメントは、組立易く機械化シールドの施工速度を高めうるものであること、およびジャッキ推力でひびわれを生じないことが特に強く要求されたので、従来の RC 箱型を含む各種セグメントについて試作・検討を行ない、コンポジット型（石川島播磨式）とブロック型とに絞ったが、種々の事情から 図-4 に示す

図-4 RC ブロック セグメント



RCブロック セグメントとした。これはメムコ社提案の基本構想をもとに開発したもので、要点は次のようである。

① ブロック型で鉄筋少なく ( $109 \text{ kg/m}^3$ )、前述のよう同形・同寸法、形状単純で製作容易である。

② 硬木（防腐ホワイトオーク材）プラグの圧入により接合するから組立が早い。すなわち、セグメントの継手を、その両側のセグメントで添接する形になるよう目地をずらし、下方よりキープラグ（継手に挿入する硬木材）をはさみながら、順次推進ジャッキによりウッドプラグをプラグ孔内に圧入しつつ、セグメントを組み立ててリングを形成したのち、キープラグ 9 本を推進ジャッキでいっせいに圧入する。

③ ボルト接合セグメントにおけるボルト孔の余裕のごとき遊びがなく、3 リングを組み合わせたリング試験結果によっても、従来のボルト接合 RC セグメントと同等のリング剛性を示す。

④ 硬木（ウッドインサートと称す）をリング間にはさんで圧縮し、その吸水膨潤を利用して止水を行なうが、継手内面にコーキング溝 ( $5 \times 65 \text{ mm}$ ) を設け、永久防水工としてタール エポキシ系の材料を充てんする。

断面力は剛性一様なリングの慣用計算法により求め、曲げ剛性有効率はリング試験結果を参照し 0.5 とした。曲げモーメントは、継手においてウッドプラグのせん断抵抗により継手両側のセグメントに伝えられるので、設計値として 1 リング当りの 2 倍をとった。プラグは従来のボルトにかわるもので、種々の形式を検討したが、メムコ社よりホワイトオーク材を輸入し防腐して使用する案が総合的に有利となった。防腐関係については京大木材研究所西本孝一博士のご指導をえた。輸入材は原木径が小さく、ほとんど「心持ち」のため、割れ防止や均質

性の確保に非常な努力を要した。セグメントは高強度コンクリートをえるため、圧力養生式により日本プレスコンクリート橋本工場で製作した。コンクリートは脱型時（4時間後）最小強度を  $400 \text{ kg/cm}^2$  とし、セメント使用量  $400 \text{ kg/m}^3$ 、強度実績は平均  $\sigma_{28} = 686 \text{ kg/cm}^2$  であった。

## 5. 施工の実況

### (1) 概要

わずか 78 リングの実績で断定するのは尚早であろうが、これまでのところシールドは、駆動機構の一部を除いてほぼ予期の性能を示し、特に操縦性および刃口・ホ

写真-1 シールド現場組立状況  
(主ベアリング取付け作業中、右側はカッターホイール)

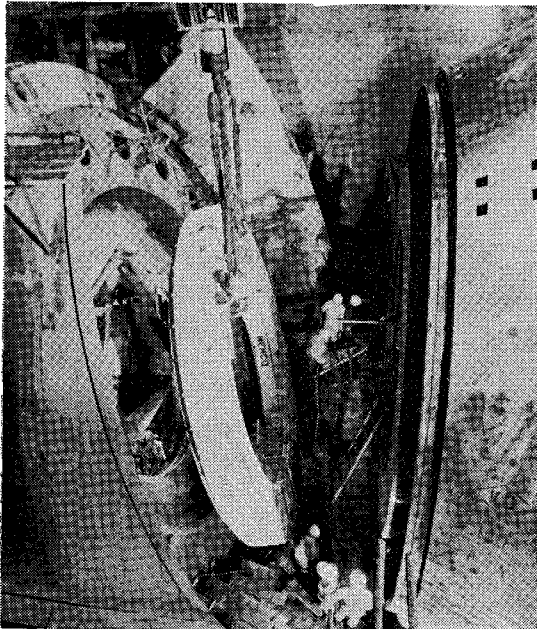
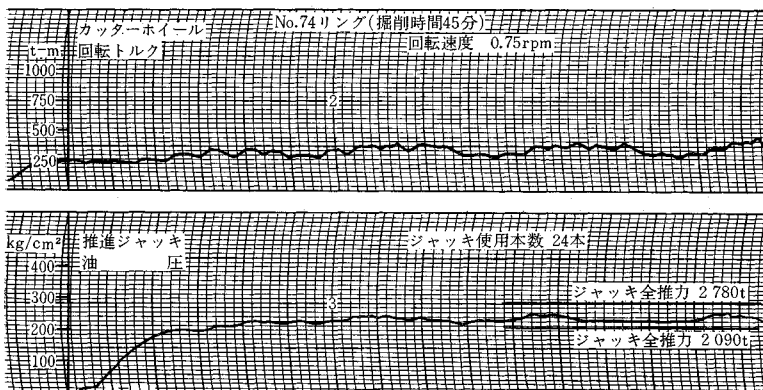


図-5 掘削トルクおよび推進ジャッキ油圧の記録例



イールの傾斜による切羽の安定確保には満足すべきものがある。また、無圧気で上町砂礫層の地下水やウォーターポケットに対しても安全に掘進でき、前面閉鎖方式により施工の安全性は一段と向上したといえよう。駆動機構は圧気設備を行なう間に、減速機の交換、ピンギヤ部の再改修を行なうものとし、掘削中はピンギヤ部を洗滌して侵入する土砂を排除しつつ、監視・点検を続けた。

シールドはアメリカにおいて全溶接で組み立てたのち、サンフランシスコまでの大陸横断鉄道輸送に差し支えない限り大きく分割して運んだが、寸法・重量とも主ベアリングが最大であった。現場段取りは、メムコ社における部品調達の遅れから、部品到着順序が予定より大きく相違したため、著しくやっかいになったが、日本側で種々工夫を重ね、所期の精度に組み立てることができた。組立は 80t オーバーヘッドクレーンを用い、シールドを上下転倒させて行ない、主ベアリング、ホイールを取り付けたのち(写真-1)、パワーロール 180°で転回し、正規の位置とした。

### (2) 掘進

まだ不慣れのため、1リング分、すなわち 1m の掘削に 30~95分、平均 49分、セグメント組立に 65~145分、平均 110分を要している。このほか前述のピンギヤ洗滌による泥水の処理に平均 68分を要し、やむをえぬことながら著しく能率が阻害され、掘進は 6~7m/日、平均 3.6m/日に止まった。実施中の駆動機構整備がおわれば、水洗は不要になる見通しで、作業の慣れとともに日進 10~12m が可能と思われる。ジャッキ使用推力は約 2300t 前後、ホイール回転数は 0.75 rpm 前後で、掘削トルクとジャッキ油圧記録の代表例を図-5に示す。セグメントは、㊸ 継手間隔が設計値の 4mm より大きく開きがちである、㊹ 組立方法の関係で水平位置付近のセグメント隅角部を作業中に破損することが多い、㊺ キープラグ圧入の際、相手セグメントにひびわれを生ずることがあるなど、まだ検討すべき諸点があるが、ほぼ所期の成績といえよう(写真-2)。

### (3) シールドの方向制御

本シールドは予想外に操縦し易く、自転・蛇行量は図-6に示すようである。上下方向には、発進時のシールド位置が正規より 5cm 低かったため、修正中に 8cm ほど余計に下った。測量のため、シールド頂部の運転台付近に、トランシットおよびレベル、

東大生研丸安教授考案のレーザー光線利用の蛇行指示針、自転・ピッチング・左右ジャッキのストロークの各指示針を備えた。

## 6. むすび

以上、難波線機械化シールド工事について略述した

写真-2 完成した1次覆工  
(シールド設備後端の排土ホッパーおよびトラックが見える)

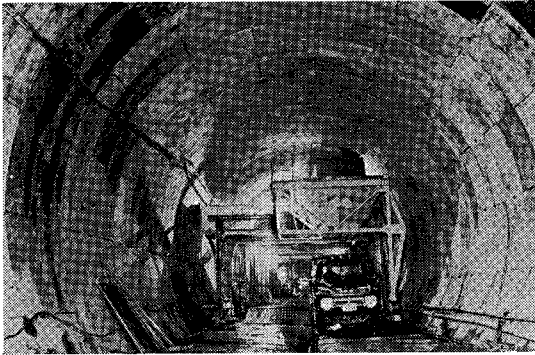
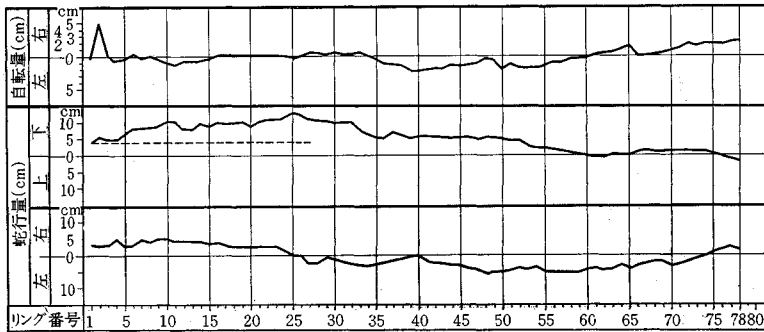


図-6 シールド自転および蛇行量



目下のところ、2月5日から3月12日までの36日間に252m掘進しており、平均7m/日、最大13m/日であるが、この数字をさらに高めなければならない。使用推力は約3000t前後、ホイール回転トルクの最大は約800t-m、同回転数0.9rpm、圧気圧は0.3~0.4kg/cm<sup>2</sup>である。

(1969.1.30・受付)

### ▶ トンネル工学シリーズ5

## 第4回トンネル工学シンポジウム<最新刊>

B5判・268ページ  
1600円・会員特価  
1800円(〒80円)

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さく機/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/欧州における沈埋工事