

大断面シールド機の回転施工

—首都高速道西新宿シールドトンネル—

野尻俊雄・和田 新・米村光文・中川 健

首都高速道中央環状新宿線は、東京都目黒区青葉台から板橋区熊野町に至る延長約 11 km、往復 4 車線の高速道路である。その大部分が地下構造で形成され、現在シールド工法を主体として建設を進めている。このうち西新宿シールドトンネルは、甲州街道（国道 20 号）と山手通りが交差する初台交差点の南北に、1 台の泥水式シールド機を回転させて、600 m×2 本の双設トンネルを構築する工事である。本報文は、この大断面シールド機（φ 13.23 m）の回転施工について紹介するものである。

キーワード：道路トンネル、泥水式シールド、大断面シールド、シールド機回転、シールド到達、ボールベアリング

1. はじめに

現在、首都高速道路は供用延長 280 km、1 日の平均使用台数 116 万台、推定利用者数約 200 万人に達し、首都圏における不可欠な社会資本としてその役割に大きな期待が寄せられている。このため、さらなるネットワークの完成を目指し中央環状線の整備を重点的に行っている。中央環状線は、東京都目黒区青葉台から板橋区熊野町に至る延長約 11 km の路線である。そ

の構造の大部分が地下構造で、シールド工法 7 割、開削工法 2 割、その他工法 1 割と、シールド工法主体で建設されている。

このうち西新宿シールドは、外径 φ 13.23 m の泥水式シールド機を甲州街道北側に位置する発進・到達立坑から発進させ、山手通り内回りの地下を約 600 m 掘進（先行トンネル）した後、回転立坑に到達させる。ここで、重量 3,000 t のシールド機を引出し 180 度方向転換させた後、再発進し、約 600 m 掘進（後行トンネル）して発進・到達立坑に到達させる。これにより、1 台のシールド機で総延長 1,200 m のトンネルを構築する。

本大断面シールド機は、都心で施工された最大級の泥水加圧式シールド機であり、中折れ機構およびセグメント自動組立てロボットを装備している。

本シールド工事の特徴として、全線にわたっての礫層（上半断面）の存在、基礎杭、地下鉄等の重要地下構造物との接近施工（最小離隔 8.2 m）大断面の双設シールド（最小離隔 3.3 m）、シールド機の回転施工などが挙げられるが、事前に入念な施工検討、計画を重ねた結果、周辺環境に影響を与える事なく効率的な施工を実現した。

本報文は、ボールベアリングを用いた特殊工法による大断面シールド機の回転施工について述べるもので

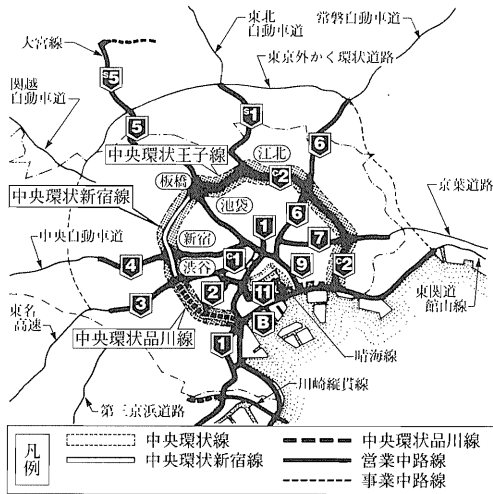


図-1 首都高速道路ネットワーク

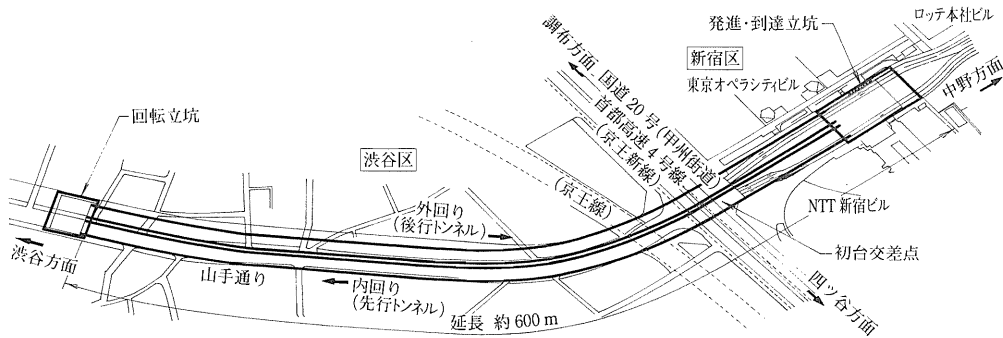


図-2 路線平面図

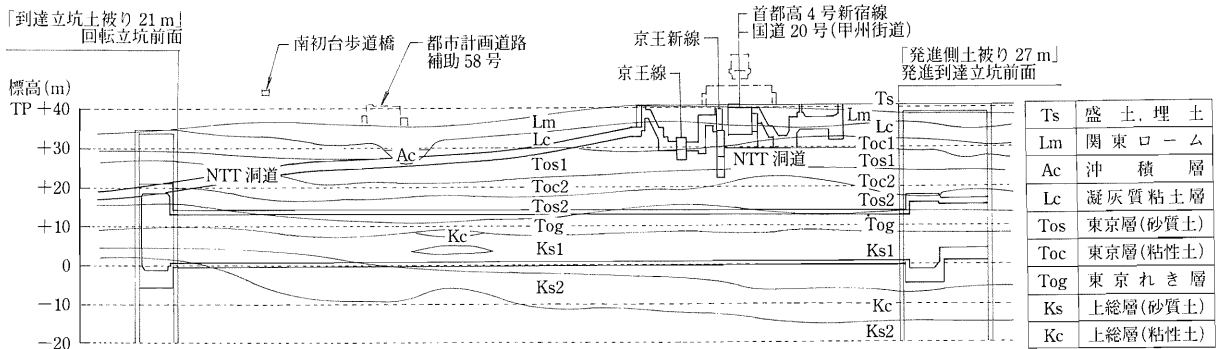


図-3 地質縦断面図

ある。

2. 工事概要

(1) 地質・地形

当該地域は、下住吉面淀橋台の標高 40 m 程度に位置し、地表面から関東ローム層、東京層、東京礫層、上総層群となっている(図-3)。シールド通過断面は、概ね上半が東京礫層(Tog層, N 値 >50)で、下半が上総層砂層(Ks層, N 値 >50)で構成されている。東京礫層では最大径 350 mm の礫が確認されており、高い透水性を有している。

(2) トンネルの諸元

設計時におけるトンネルの諸元(図-4)を次に示す。

- ・規格：第2種第2級(設計速度 60 km/h)
- ・車線数：1方向・2車線 往復4車線
- ・施工延長：599 m×2本
- ・双設離隔：最小 3.3 m
- ・縦断線形：最大縦断勾配 0.3%

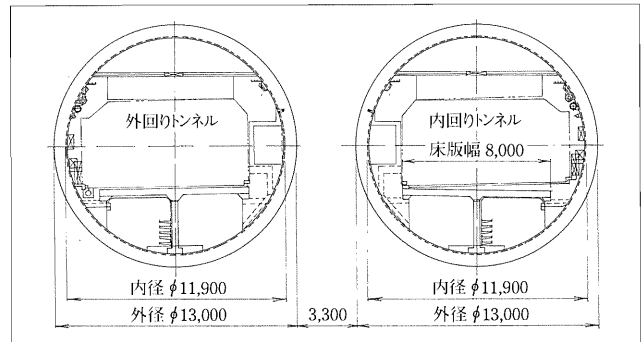


図-4 西新宿シールドトンネル完成断面図

- ・平面線形：最小曲線 $R=204$ m
- ・土被り：21 m~27 m
- ・道路附属施設：図-4 参照
- ・トンネル断面：セグメント外径 $\phi 13.00$ m
仕上がり内径 $\phi 11.90$ m

(3) シールド機の仕様

本工事のシールド機の仕様について次に示す。

本シールド機は、最小曲線半径 $R=204$ m を掘削す

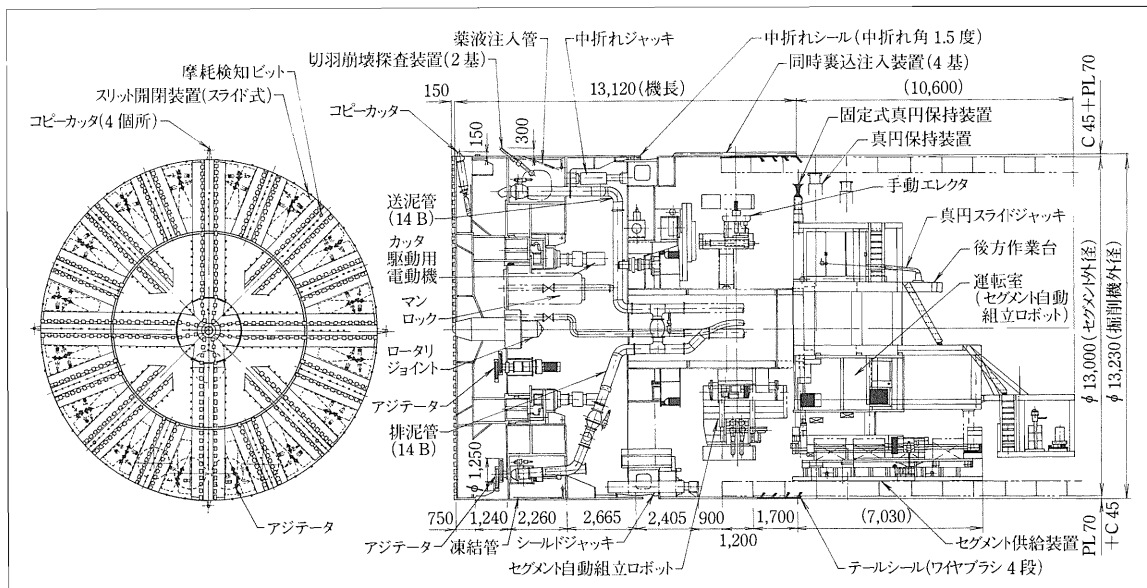


図-5 シールド機概要図

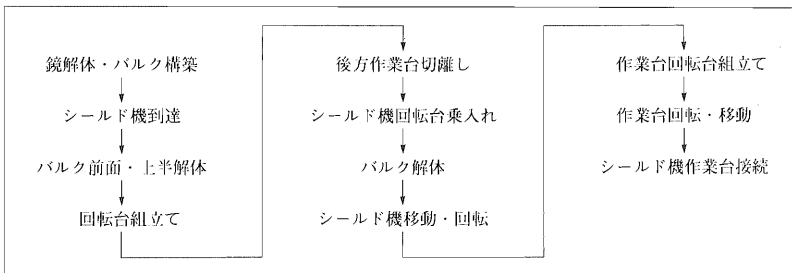
るため、中折れ装置を装備した点、セグメント自動搬送および自動組立てロボットを装備している点が大きな特徴である（図—5）。

- ・シールド機外径：φ13.23 m
- ・シールド機機長：13.12 m
- ・シールドジャッキ：3,920 kN×2,200 mm×42本
（装備推力=164,640 kN）
- ・カッタトルク：常用 24,160 kN-m ($\alpha=1.06$)
最大 28,990 kN-m ($\alpha=1.27$)
- ・中折れジャッキ：3,920 kN×500 mm×34本
中折れ角度=最大 1.5度
- ・エレクトラ：中空軸式自動組立て方式
（手動エレクトラ併設）

3. 立坑内での到達および回転施工

(1) 施工概要

立坑内におけるシールド機の回転施工は、図—6の



図—6 シールド機到達・回転工施工フロー

到達・回転工の施工フローに従い、図—7の回転イメージ図に示す手順で実施した。

重量約 3,000 t のシールド機の回転・移動方法として、ボールベアリングを用いた特殊工法を採用した。

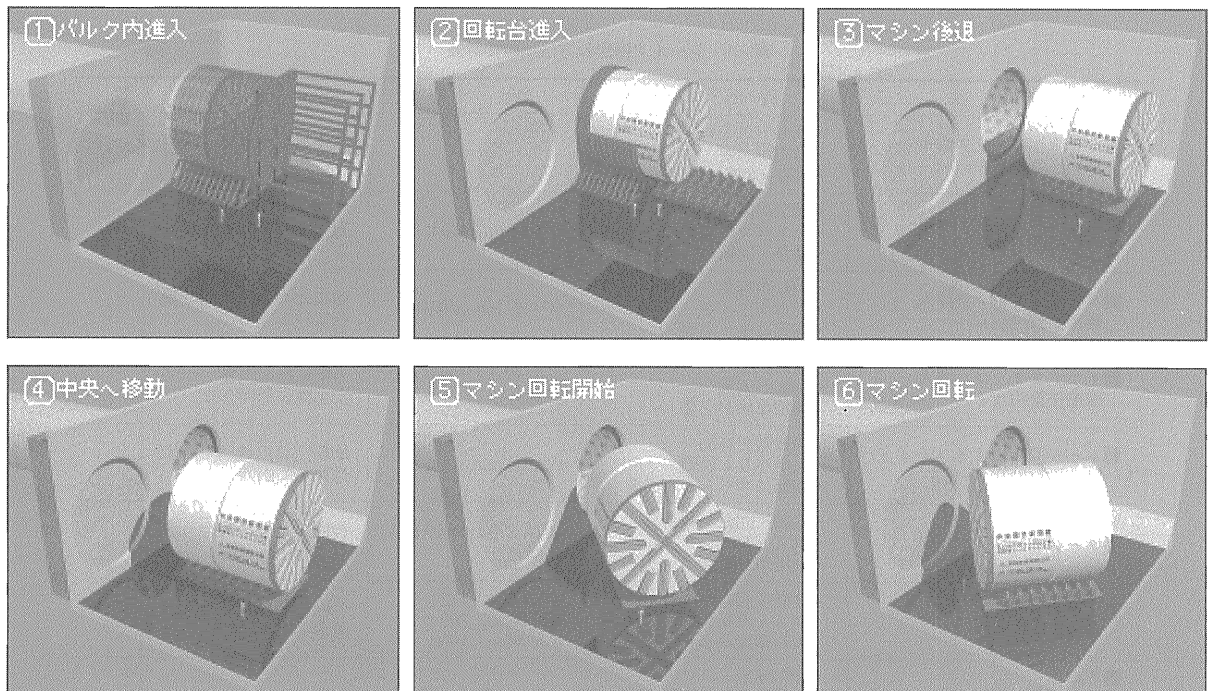
(2) 到達工

本工事は、シールド機到達・発進時の防護工として凍結工法を用いた。凍結工法の採用理由は、防護を必要とする断面の間隙水圧が高く、かつ透水係数の高い砂礫層を有することから優れた止水性と強度を持つ工法が必要とされたためである。

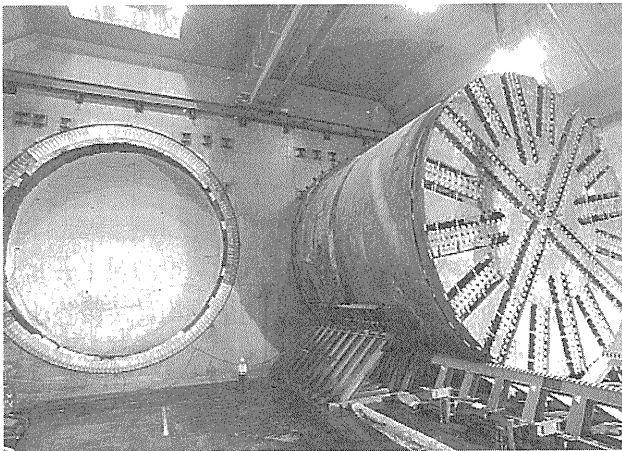
一方で、地盤変位の影響が想定されるが、原地盤は凍結による膨張が生じにくい砂または礫層であり、解析の結果から周辺地盤への影響は極小であると判断した。

到達部地山の凍土完成後、鏡部のコンクリート連続壁を解体し、鋼製バルクを構築、シールド機はバルク内に到達させた。このバルクは円筒形状でシールド機

外径に対して 150 mm のクリアランスを有しており、前面を H 鋼で支保した。バルク内には流動化処理土を充填、硬化させた。到達後、テール部をセグメントにあらかじめ埋込んでおいた凍結管で止水凍結を行い、バルクを解体して前方に設置した回転装置を備えた架台上にシールド機を引出した（写真—1）。



図—7 シールド機回転ステップ図



写真一 到達状況 (バルク解体完了)

4. 回転工法の選択

シールド機の回転作業は、シールド機外径7m程度(重量350t以下)においては多数の実績があるが、今回のような大断面で重量3,000t規模のシールド機では前例がない。そのため、縦横移動、回転についての様々な方法に対する検討を行った。

表一に示す検討の結果、コストが比較的安く、回転面の不陸(数mm)やシールド機に付着した泥等による汚れに対しても対応できる工法として、本工事では特殊なボールベアリングを用いた回転工法を採用することとした。

この工法は、摩擦係数が0.05と小さく、平面上ではジャッキ等によりどの方向へも移動が可能のため、水平移動、回転作業の切替えもジャッキの盛替えだけ

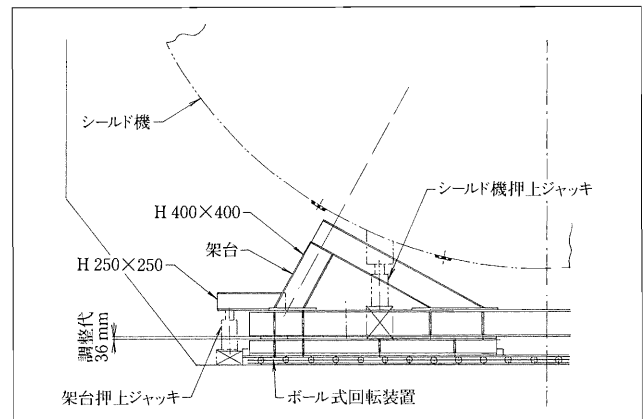
で済み、さらに鋼球のピッチ調整を行うことで重量に対する制約が少ないという利点がある。

5. 回転の手順

回転架台の基本構造は、図一8に示す通り、作業床と通常のマシン受台との間にボールベアリング($\phi 90$ mm 鋼球)を挟んだものである。回転床面は食込み防止と平滑性の確保のため、下床版上に約30 mmのセルフレベルングモルタルを打設し、さらに25 mmの敷鉄板を段差なく敷詰め、敷鉄板の継手部は現場溶接後にグラインダ仕上げを行った。

その敷鉄板上にボールベアリングを敷並べ、その上に底面に鉄板を取付けたマシン受台を設置、架台押し上げジャッキで高さ調整を行った。

架台を仮固定した後、シールド機をこの回転架台上



図一8 回転架台詳細図

表一 シールド機回転方法比較検討表

工 法	長 所・短 所	実 績	評 価
■作業床へのグリス塗布、 摩擦係数約0.3~0.5	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが安い ・労力が必要 ・調整・回転が困難 		摩擦係数が高く、現実 に合わない △
■受台へのテフロン取付け、 摩擦係数約0.06	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が簡単 ・テフロンに変形の恐れ ・調整・回転が困難 	$\phi 6.45$ m, 340 t	テフロンを取付け方、 耐久性が信頼性に欠け る ○
■ボールベアリング挿入、 摩擦係数約0.05	<ul style="list-style-type: none"> ・回転が容易 ・反力が小さい ・強固な床が必要 	75 tを140 m移動	他に比べ全ての面で優 れている ◎
■チルトタンク、コロ挿入、 摩擦係数約0.1	<ul style="list-style-type: none"> ・反力が小さい ・回転が困難 ・強固な床が必要 	$\phi 6.61$ m, 160 tの 計画有り	方向転換が困難、 安全性に問題有り △
■レール挿入によるスライド、 摩擦係数約0.2~0.3	<ul style="list-style-type: none"> ・横移動が容易 ・大掛かりな設備 ・回転にスペースが必要 	$\phi 7.45$ m, 350 t	回転立坑のスペースで は狭くて困難 ×
■ターンテーブルの使用	<ul style="list-style-type: none"> ・移動・回転が容易 ・コストが高い ・大掛かりな装置 	積載250 t, 400 tは 実績有り	今回の重量に見合う装 置が入手不可能 ×
■エアキャストの使用 摩擦係数約0.01	<ul style="list-style-type: none"> ・移動・回転が同時 ・コストが高い ・床の精度が必要 	$\phi 4.68$ m, 120 t $\phi 5.85$ m, 200 t $\phi 5.44$ m, 180 t	今回の重量に見合う装 置が入手不可能 ×
■その他 クレーン吊上げ (分解・再組立て)	<ul style="list-style-type: none"> ・能力不足 ・工期・品質に問題 		

に引出し、シールド機をこの架台ごと回転させた。ただし、回転台の移動距離に対してボールベアリングの移動距離は1/2となるため、移動進行方向にはあらかじめ余分にベアリングを配置し、後方から出てくるベアリングとフレームを移動方向の前方に順次盛替えながら施工した。

移動・回転には、400t油圧ジャッキ2台を使用した。実際に必要とした推力は約80~85t/台であり、摩擦係数は約5%であった。

移動・回転に要した実施工程は以下の通りであり、昼夜2日間で順調に作業を完了することが出来た。

- ・横移動(ストローク=5,100mm+3,500mm)：1方
- ・180度回転：2方
- ・横移動(ストローク=8,827mm)：1方

6. 回転装置

ボールベアリングは直径φ90mmで、写真-2、図-9に示す回転フレーム装置を用いてベアリングを整列させている。

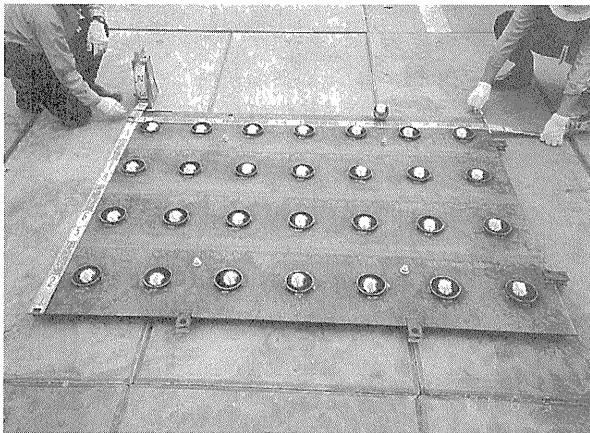


写真-2 ボールベアリング

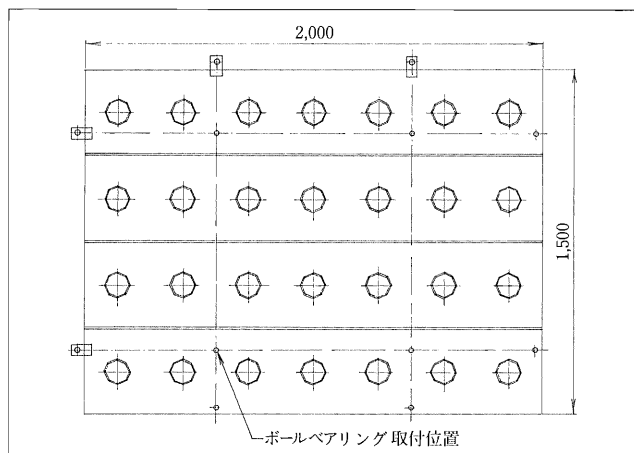


図-9 ボール式回転装置図

この装置は、鉄板2,000mm×1,500mm×15mmを1ブロックとして、28箇所の穴(φ116穴径)を開け、その内側にφ114.3×4.5t(100A)のリングを取付け、その内部にφ90mmのボールベアリングが多少の余裕を持って納まる形状としている。またこのフレームを簡単に移動できるように、フレーム底面に4点のベアリング式ローラを取付けている。

また、各フレーム間は、全体が一体化して移動するよう、ずれ止め金物およびボルトで連結している。このように、小さな回転装置を複数組合わせた構造として、移動、回転させる機械の大きさに合わせて回転装置の全体大きさを自由に選択できるような配慮した。また、この回転装置は、摩擦係数の低減はもとより、移動用ジャッキの取付け位置を変えることで、自由な方向に移動できることが大きな特長である(写真-3、写真-4)。

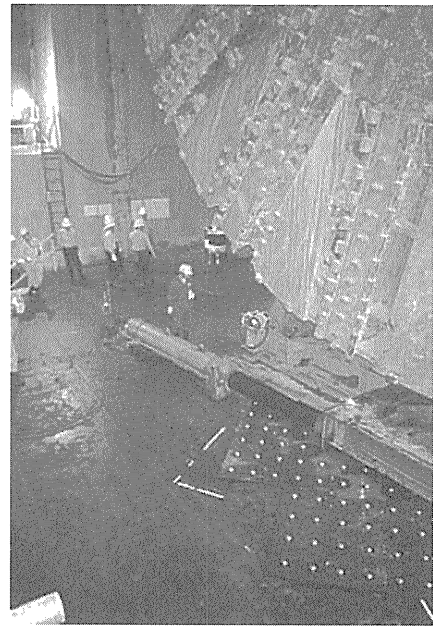


写真-3 回転状況

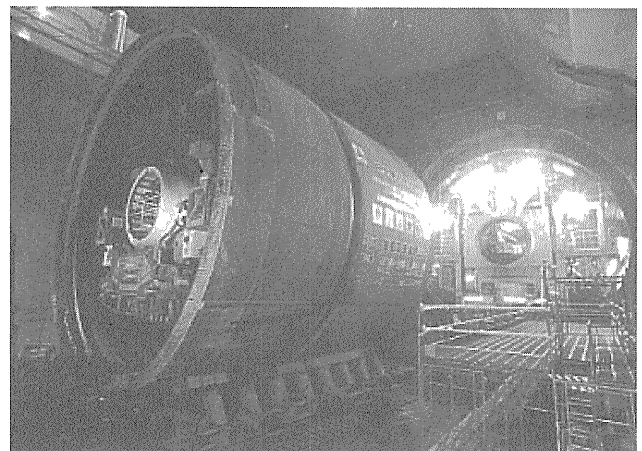


写真-4 回転完了状況

本シールド機 (3,000 t) の移動, 回転時, ボールベアリング 1 個当りに作用する最大荷重として 10.6 t の受圧荷重を想定した。この荷重はヘルツの公式で求めた許容受圧荷重 16.4 t に対して約 1.5 倍の安全率を確保している。

7. ま と め

今回ボールベアリング式の回転工法を用いた結果, ϕ 13.23 m シールド機, 総重量 3,000 t の移動に必要なジャッキ荷重は 160 t (80 t \times 2 台) であり, 移動時の摩擦係数は, $160 \text{ t}/3,000 \text{ t} \approx 0.05$ となった。また, 移動床面となった敷鉄板の平面度 $\pm 3 \text{ mm}$ を確保し, 移動中の敷鉄板の変形等も発生することなくスムーズに移動, 方向転換することが出来た。

従来のエアキャストによる方法についても検討したが, キャスタに内蔵されているキャストバックから圧縮空気が漏気し, 騒音問題がネックとなる可能性があった。一方で, ボールベアリング方式は全く騒音の発生しない方法であり, 特別な騒音対策を必要とせず, 本工事のように都心部での作業において有効な手段であった。

ボールベアリングを用いた機械の移動, 回転は, 比較的簡単な装置で実施することができ, 機械重量の大小に影響されることなく, またジャッキの取付け位置の選択で 360 度自由な方向に移動可能であることが大きな特長である。さらに, シールド工事特有の泥水や土砂の汚れに対応できる工法であるため, 今後の土木工事における機械移動の有効な手段になり得るであ

う。

J C M A

《参考文献》

- 1) 川瀬 修, 米村光文, 西岡 巖: 第 25 回日本道路会議特定会談論文集
- 2) 川瀬 修, 米村光文, 中川 健, 西岡 巖: 大断面シールド機械回転装置特許出願中, 2000 年 6 月

【筆者紹介】



野尻 俊雄 (のじり としお)
首都高速道路公団東京建設局
建設第一部新宿工事事務所
工事課長



和田 新 (わだ あらた)
首都高速道路公団東京建設局
建設第一部新宿工事事務所
技師



米村 光文 (よねむら みつふみ)
大成建設株式会社
経営企画部
部長



中川 健 (なかがわ けん)
大成建設株式会社
東京支店土木部
次長