

## 運河下地中接合を含む大断面泥水加圧シールド工事

## Construction of Large Dimension Slurry Shield, Excavated Under River

牛久保仁一\*  
Jinichi Ushikubo川村 正身\*\*  
Masami Kawamura大山 良秋\*\*\*  
Yoshiaki Oyama古谷 俊雄\*\*\*\*  
Toshio Furuya

## 要 約

当該工事は日本下水道事業団により発注された森ヶ崎処理場と南部汚泥処理プラントを結ぶ連絡施設用トンネルのうち、南部汚泥処理プラントから全路程の中央に至る工区に係わるシールドトンネルの築造、および隣工区トンネルとの地中接合を行うものであった。シールドトンネル工事では $R=150\text{m}$ および $180\text{m}$ の急曲線を含む路線が外径 $9.7\text{m}$ の泥水加圧シールド工法で築造され、地中接合工事では運河底下で地盤凍結工法が用いられた。本文はこれらの工事概要と施工実績について報告する。

## 目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. シールド掘進工
- § 3. 地中接合工
- § 4. 二次覆工
- § 5. むすび

## § 1. 工事概要

## 1-1 工事概要

工事名：東京都南部汚泥処理プラント連絡施設；

- その2 立坑設置工事,
- その2 連絡渠工事,
- その3 連絡渠工事

工事場所：東京都太田区城南島一丁目

通算工期<sup>1)</sup>：自) 昭和56年9月24日

至) 昭和60年8月30日

<sup>1)</sup>その2 立坑設置工事の着工日とその3 連絡渠工事の竣工日のみ記した。

## 主要工事内容：

- i) 立坑設置工事 [ニューマチックケーソン工法]
  - 立坑形状 ;  $19\text{m} \times 19\text{m} \times 45.46\text{m}$  (外寸法)
  - 発進部内空 ;  $13.7\text{m} \times 13.7\text{m}$
  - 地盤改良 ; 生石灰坑 /  $\phi 400\text{mm} \times 29\text{m} \times 340$ 本
  - 掘削土量 ; 機械 /  $3,096\text{m}^3$   
潜函 /  $15,418\text{m}^3$
- ii) その2 連絡渠工事 [泥水加圧シールド工法]
  - シールド外径 ;  $9,700\text{mm}$
  - 掘削延長 ;  $1,667.03\text{m}$
  - 曲線半径 ;  $400\text{m}, 180\text{m}, 150\text{m}$
  - 土被り厚さ ; 城南島区間 /  $25.4\text{m} \sim 29.6\text{m}$   
京浜運河区間 /  $15.2\text{m} \sim 16.4\text{m}$
  - セグメント ; RC平板型 / 外径 $9,500\text{mm}$ ,  $B=900\text{mm}$ ,  $h=450\text{mm}$   
ダクタイル / 外径 $9,500\text{mm}$ ,  $B=650\text{mm}$ ,  $h=400\text{mm}$
  - 二次覆工 ; インバート
  - 地盤改良 ; コラムジェットパイル / 一式  
坑内二次注入 / 一式
- iii) その3 連絡渠工事 [地盤凍結工法]
  - 地盤改良 ; 凍結工法 /  $1,000\text{m}^3$   
解凍注入工 /  $58\text{k}\ell$

\* 関東(支)南部(出)所長  
\*\* 関東(支)都営八幡(出)副所長  
\*\*\* 関東(支)都営八幡(出)  
\*\*\*\* 土木設計部設計課

二次覆工 ；上半及び側壁/100m

1-2 路線

路線は城南島地下通過区間と京浜運河下通過区間に大別される (Fig.1)。前者は昭和48年に埋立てを完了した圧密未了の軟弱地盤の区間で掘進延長が約660m, 土破り厚は25.4~29.6mである。当区間には  $R=400m$  と  $R=180m$  のS字曲線がある。後者は城南島護岸下から京浜運河下に入り接合地点に至る区間で、掘進延長約1,000m, 土破り厚は15~16mである。当区間の始端部には  $R=150m$ ,  $CL=231m$  の最急曲線がある。

1-3 土質

土質縦断図をFig.2に示す。また、城南島区間および運河区間の土質柱状図をそれぞれFig.3,4に示す。

城南島区間の地質構成は地表から埋土層, 続いて上部下部をゆるい砂層 (有楽町層砂質土) で挟まれた  $N=0\sim4$  の厚い軟弱シルト層 (有楽町層粘性土), その下方に  $N=30\sim50$  を示す密な砂層 (東京層砂質土) の順となっている。

シールドは層厚40~50mの軟弱シルト層を通過するが、当地層は埋土によって現在も圧密途上 (推定圧密度50~70%) にあり、安定していない。運河区間の地層構成は護岸付近で前述と同様であるが、以後は接合地点に向かって東京層砂質土が高くなり、途中埋没段丘礫層が出現するなど複雑な様相を呈する。従って、切羽土質も軟弱シルト、締った砂層、砂礫層および洪積粘土層と多様に変化する。

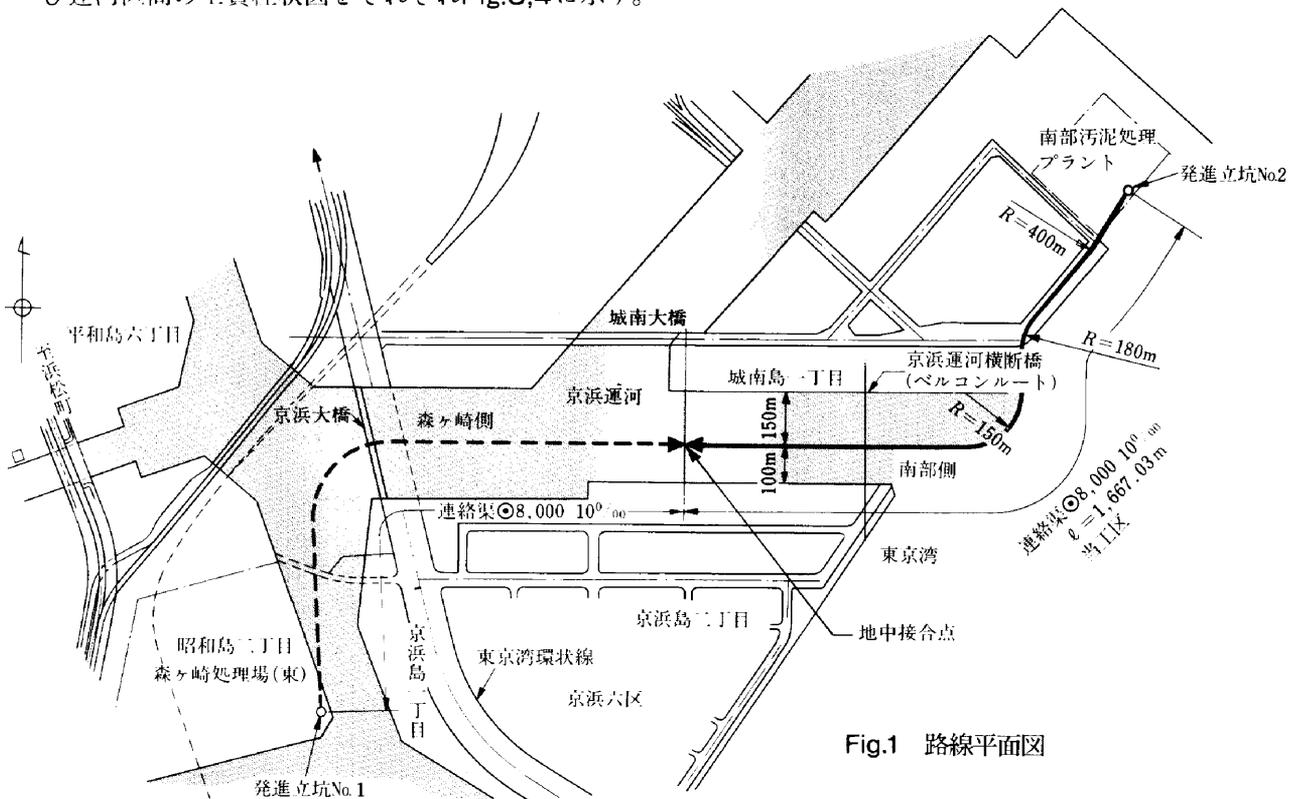


Fig.1 路線平面図

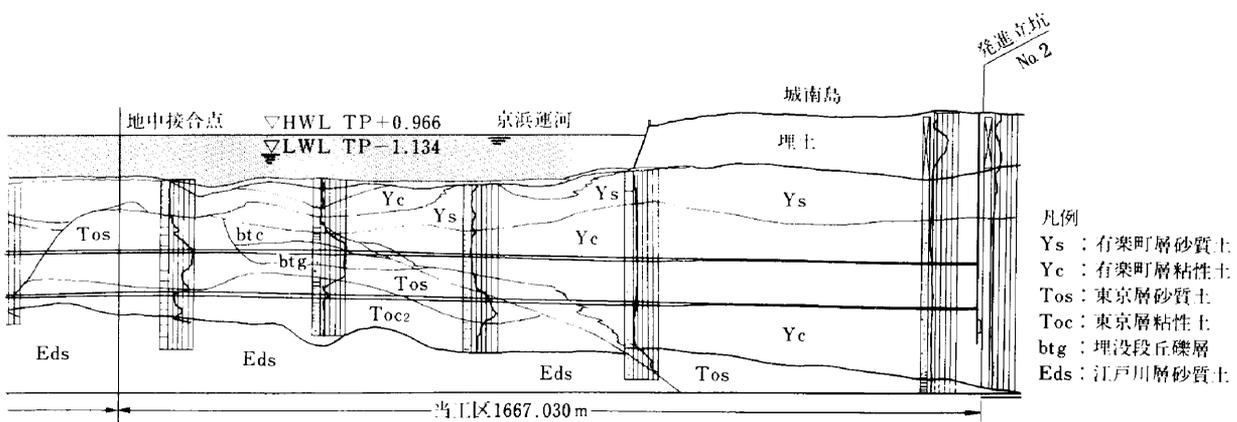


Fig.2 土質縦断図

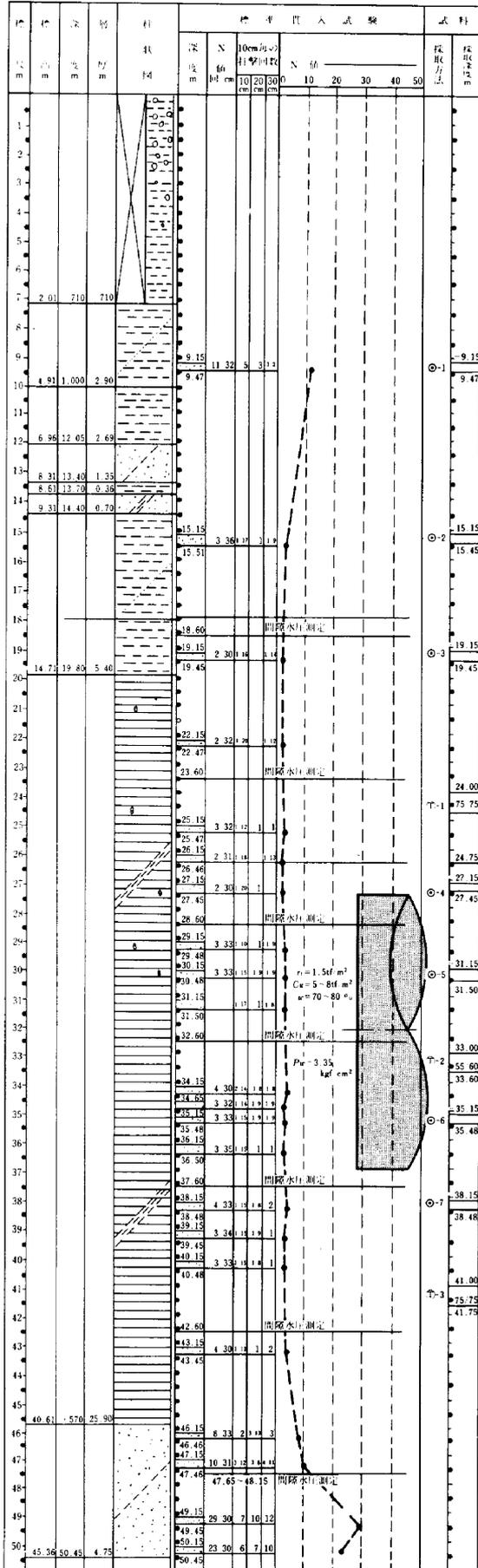


Fig.3 城南島区間の土質(No.新II)

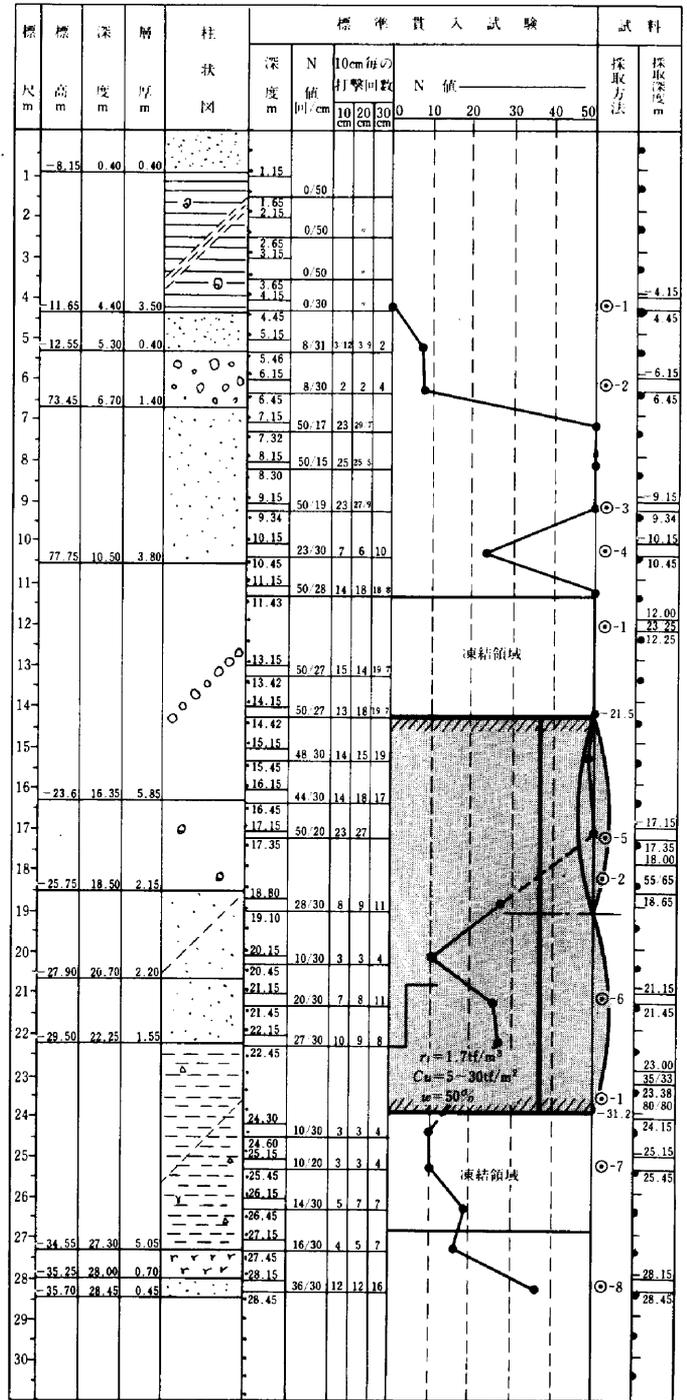


Fig.4 京浜運河区間の土質(地中接合地点)

## § 2. シールド掘進工

### 2-1 シールド掘進機

シールド機種は下記の事項を考慮した結果、泥水加圧シールド機が採用された。

- i) 大深度であり、運河区間帯水層での間隙水圧が約  $2.6 \text{ kgf/cm}^2$  と高い(圧密未了粘性土層では  $3.0 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ )。

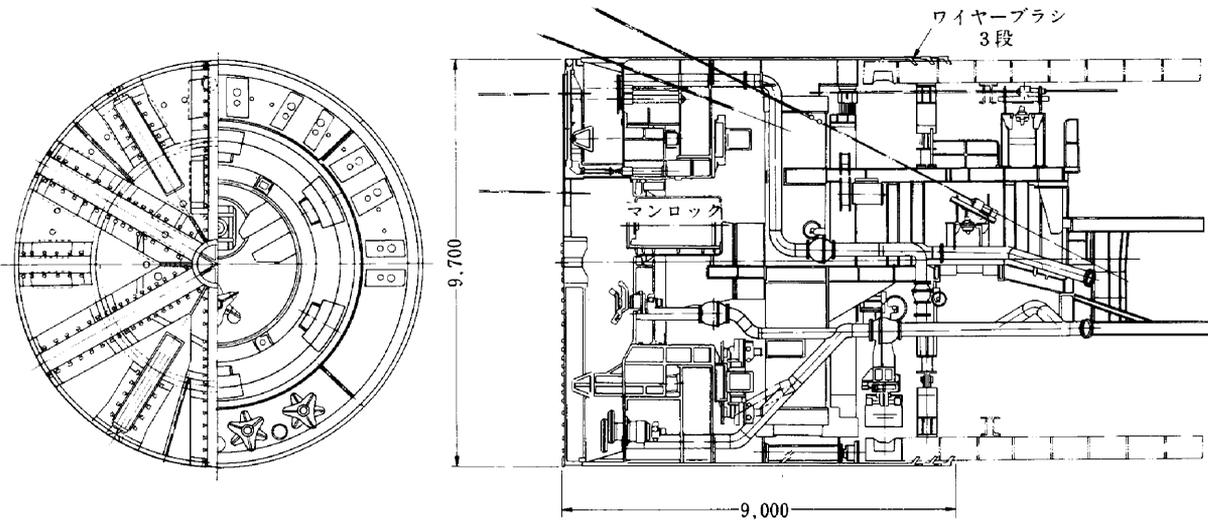


Fig.5 シールド掘進機

Table 1 シールド仕様表

| 仕 様         |           |   |   |                              |
|-------------|-----------|---|---|------------------------------|
| 掘進機本体       | 外 径       | 9,700mm                                 |   |                              |
|             | 機 長       | 9,000mm                                 |   |                              |
|             | テールクリアランス | 40mm×2                                  |   |                              |
|             | シールドジャッキ  | 250t×300kg/cm <sup>2</sup> ×1,100mm×33本 | 300t×350kg/cm <sup>2</sup> ×1,100mm×33本 |                              |
|             | 切羽面当り推力   | 111.6tf/m <sup>2</sup>                  | 133.9tf/m <sup>2</sup>                  |                              |
| カッター        | 外 径       | 9,630mm                                 |   |                              |
|             | トルク       | 830t・m                                  | 1,245t・m                                | 1,450t・m                     |
|             | 回 転 数     | 0.6rpm                                  | 0.52rpm                                 | 0.44rpm                      |
| エレクター       | 吊 上 荷 重   | 3,860kg                                 |   |                              |
|             | 押 込 力     | 1,500kg                                 |   |                              |
|             | 回 転 数     | 0~0.57rpm                               |   |                              |
|             | ジャッキ      | 伸 縮                                     | 7.5t×900mm                              |                              |
|             | 摺 動       | 5.0t×300mm                              |   |                              |
|             | 振 止       | 5.0t×150mm                              |   |                              |
| アジテータ       | 外 径       | 1,000mm                                 | 1,200mm                                 |                              |
|             | トルク       | 613(920)kg・m                            | 153(230)kg・m                            |                              |
|             | 回 転 数     | 0~50rpm                                 | 0~93rpm                                 |                              |
|             | 台 数       | 4台(本体用)                                 | 1台(バルクヘッド)                              |                              |
| 真 円 保 持 装 置 |           | 30t×1,000mm<br>(拡張)                     | 5t×1,500mm<br>(摺動)                      | 6t×120mm<br>(センターリング)        |
| 油圧モーター      | トルク       | カッターディスク<br>313<br>(470) kg・m           | アジテータ<br>313<br>(470) kg・m              | エレクター<br>38.6<br>(58.0) kg・m |
|             | 圧 力       | 140(210)kg/cm <sup>2</sup>              | 140(210)kg/cm <sup>2</sup>              | 140(210)kg/cm <sup>2</sup>   |
|             | 台 数       | 32台                                     | 5台                                      | 4台                           |

ii) 軟弱シルト層の他、運河下で滞水砂層、滞水砂礫層及び洪積粘土層などと遭遇し、切羽土質が多様に変化する。

iii) 大断面トンネルで、かつ急曲線区間を有する。  
なお、当シールド機には切羽薬液注入装置、オーバーカッター(δ=70mm)ならびに、前胴部に地中接合時使用

する貼付凍結管を装備した。

シールド掘進機諸元をFig.5およびTable 1に示す。

2-2 初期掘進

初期発進はFig.6に示すようにコラムジェットパイルおよび鏡切り時のFRPアンカーによる防護工を施して行われた。この時、エントランスパッキングは二段シールド

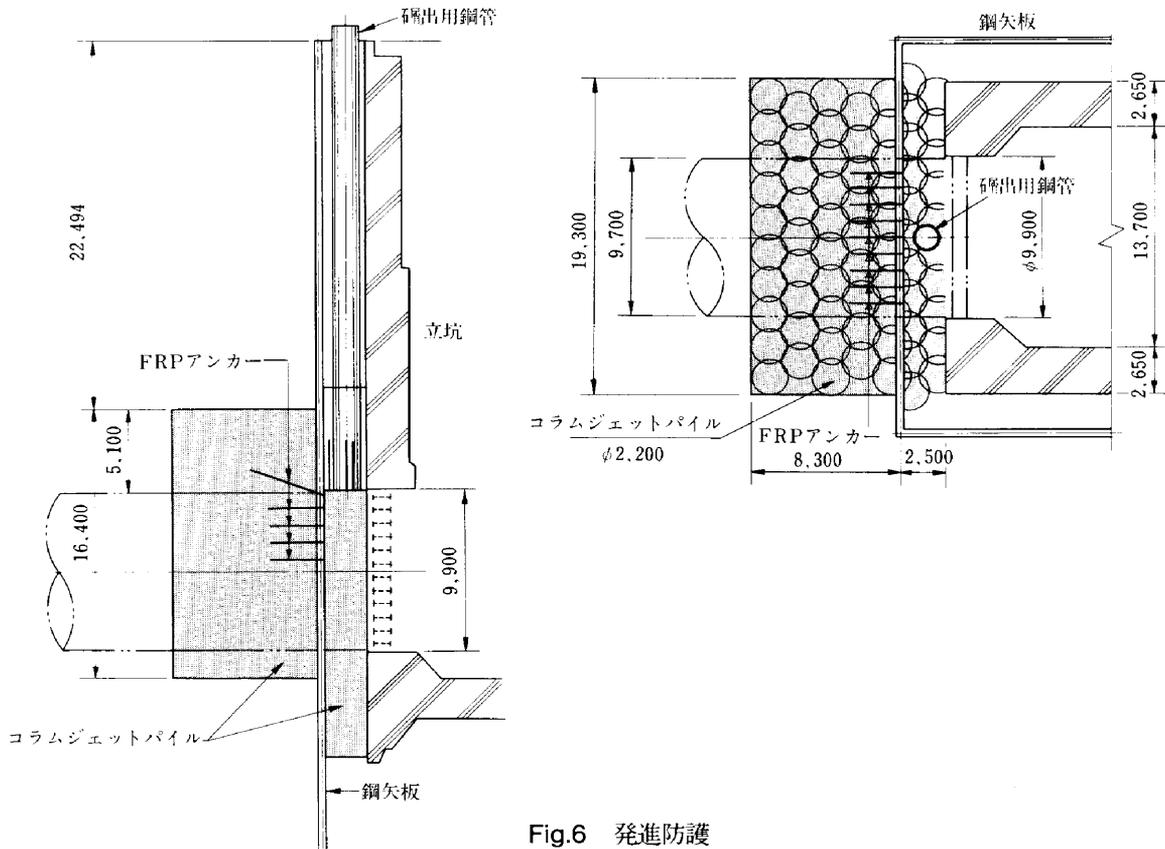


Fig.6 発進防護

ル構造としその間にグラウトする方式を採用したが結果は漏水もなく非常に良好であった。

初期掘進は後方台車（編成長58.75m～65.35m）が収納できかつ、推進反力がセグメントと周面地山とのせん断抵抗で十分処理できる掘進長、120リングまで行った。初期掘進時に、軟弱シルト中に海生動物の巣を核とした化石粘土塊に遭遇し排泥ラインの閉塞支障を生じたが、発進防護区間通過時に用いた水中クラッシャー（KC-750）を再度使用することによりその後は問題なく通過できた。

2-3 本掘進

121リング以降の本掘進は、次のように行った。

(1) 城南島区間

切羽泥水圧力3.8～4.0kgf/cm<sup>2</sup>を管理圧力として掘進し、Fig.7に示す一次覆工を行った。裏込め注入はTable 2に示す配合で行った。当区間の掘進について特筆すべき事項は以下のである。

i) 粘性土塊処理

切削された粘性土はカッタービット、アジテータおよびポンプインペラー等により概ね破碎されるが一部は塊状で排出される。当初、この粘性土塊による一次分離機スクリーンの目詰まりが懸念されたが特に対策を講ずることなく着手した結果、やはりスクリーンの

閉塞が生じ連続掘進が不可能となった。対応策とし排泥ライン終端に破碎ポンプ（FD型）を設置し、一次処理ルート通過を省略した結果、良好に連続掘進を行うことができた。

ii) 二次処理ラインの余裕

切羽全断面にシルトが出現する当区間では掘削全量に対して二次処理が必要となり、掘進速度は二次処理

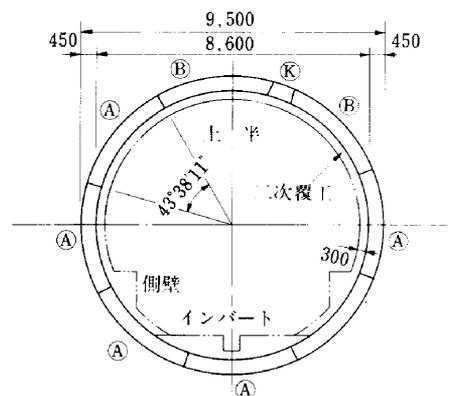


Fig.7 RCセグメント組立図

Table 2 裏込め注入標準配合

| (/m <sup>3</sup> ) |         |        |                    |      |
|--------------------|---------|--------|--------------------|------|
| 普通セメント             | フライアッシュ | ベントナイト | 砂                  | 水    |
| 150kg              | 50kg    | 100kg  | 0.71m <sup>3</sup> | 423ℓ |

能力に支配される。このため、基本計画掘進速度に基づくフィルタープレス能力の他、これらの故障に備え1リング分の排泥ストック量を余剰泥水槽およびスラリー槽にそれぞれ余裕をもって計画した。この対策によりプレス加圧打込ポンプ支障時も掘進作業に大きな影響を及ぼすことなく施工できた。

iii) 急曲線施工

R=180mの急曲線掘進は側部反力壁を設置することなく行われた。シールド機周辺地盤は変形係数が小さく ( $E_{50}=50\text{kgf/cm}^2$ 前後) 変形しやすい地盤であったため、掘進にあたっては過剰な法線方向推進分力が生じないよう、既設セグメントの面向き測定、テーパセグメント使用計画の検討を行って慎重に対処した。その結果、問題となるセグメントのずれやクラックは生じなかったが不可避免的に発生する推進分力によりシールド機テール部が水平移動し後述するような施工上の問題を生じた。即ち、法線方向に生ずる推進分力によりシールドテールが曲線外側へ変位し、さらに、セグメントリング側部にスキンプレートが接触し偏圧を与えたために、1)テールクリアランスは40mm×2であったが、セグメント外面とシールドテールプレート内面の空隙がなくなり、テールシールに過大な擦過力が作用した、2)既設セグメントリングが若干玉子形に

変形するためにセグメントの組立て作業に難渋した等の支障を生じた。これらシールド機およびセグメントリングの挙動は後述するテールシールの損傷ならびに地表面沈下量増大の大きな要因になったと考えられる。

iv) 護岸防護

城南島護岸通過部はFig.8に示すコラムジェットパイプによる事前防護工を行うとともにシールド機通過後、坑内から二次注入 (Table 3) を行うことにより、堤体に有害な影響を与えることなく通過することができた。

Table 3 二次注入標準配合 (/m<sup>3</sup>)

| A 液    |      | B 液    |        |
|--------|------|--------|--------|
| ケイ酸ソーダ | 水    | 普通セメント | 水      |
| 350kg  | 250ℓ | 200kg  | 436.5ℓ |
| 500ℓ   |      | 500ℓ   |        |

(2) 京浜運河区間

切羽泥水圧力3.0kgf/cm<sup>2</sup>を管理圧力として施工した。当区間は河底下の掘進であり、切羽土質が多様に変化することから切羽管理には特に留意した。当区間の掘進について特筆すべき事項を以下に示す。

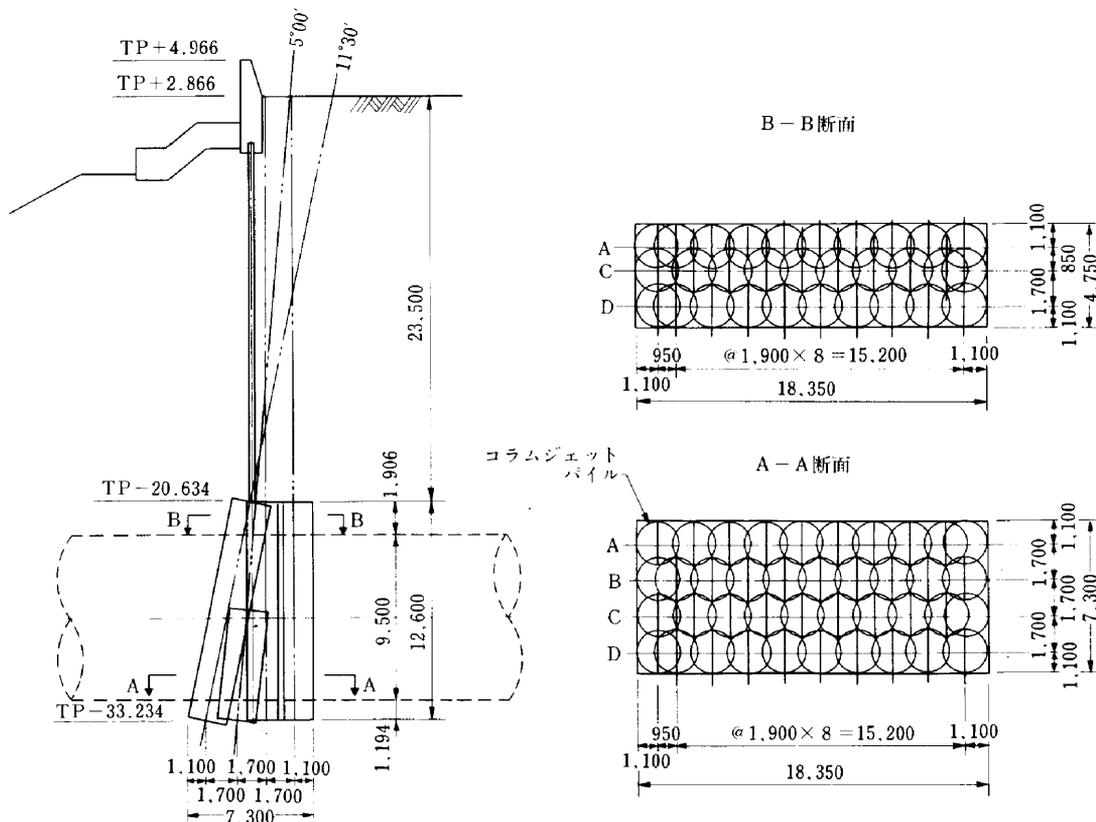


Fig.8 護岸防護

i) 急曲線施工

京浜運河進入部の急曲線(R=150m, CL=231m)にはダクタイルセグメントが用いられた。当急曲線部においても側部反力壁を設置することなく施工されたが、前述R=180m区間と同様に慎重な施工を行った結果、セグメント異常を生ずることなく通過することができた。しかし、トンネル周囲の地盤特性が前述R=180m区間とほぼ同じであったため、同種の施工上の問

題が生じた。特に、曲率半径が小さくなった分セグメントの組立ては一層難渋した。

なお、当曲線の回転方向はR=180m曲線と逆回転であったために、R=180m部で損傷したテールシール側のテールクリアランスが、大きく(C<sub>max</sub>=130mm)なり、曲線施工途中から泥水および裏込め注入材の漏出が著しくなった。このことより後述する第一段テールシール交換の必要が生じた。

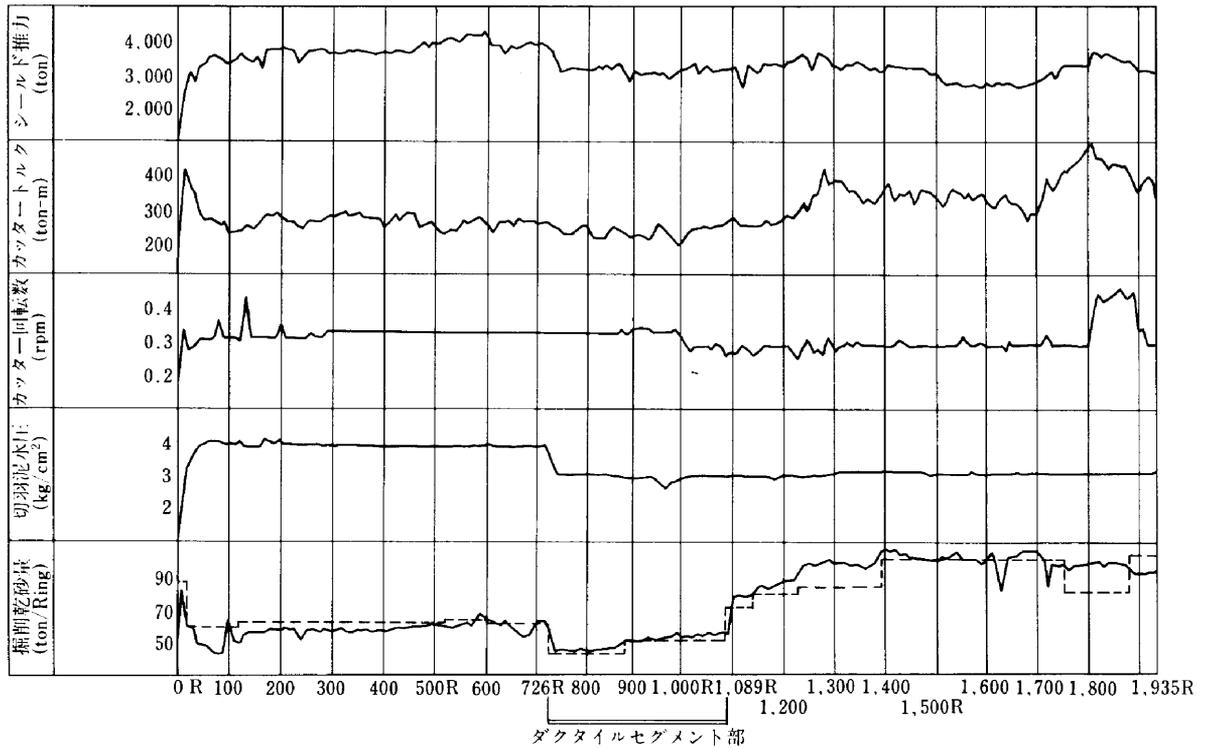


Fig.9 掘削管理図

Table 4 シールド掘進工実施工程表

| 工種        | 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |   |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 準備工       |   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 仮設ヤード工    |   |   | ■ |   | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| シールド補助工   |   |   |   | □ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| シールド組立・段取 |   |   |   | □ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| シールド組立    |   |   |   | □ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 泥水処理設備    |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 輸送計装設備    |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| シールド掘進段取  |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| シールド掘進    |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■ |
|           |   |   |   |   |   | □ | □ | □ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □  | □ |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |

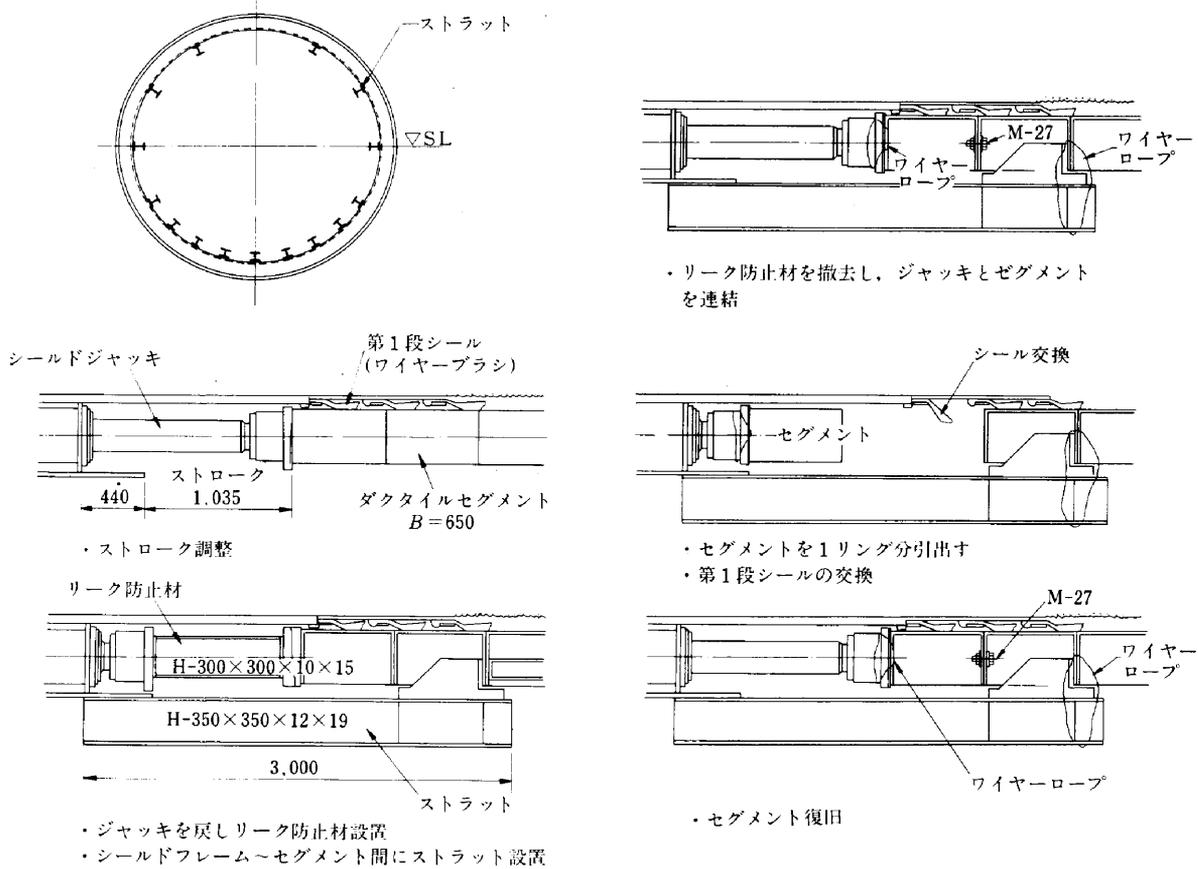


Fig.10 テールシールの交換

ii) バルクヘッド内モルタル充填

接合地点に到達したシールド機は先着の隣工区シールド機とフェース間距離約850mmを残し、予定どおり掘進を終了した。その後、切羽泥水をCBモルタルと置換し、切羽を閉塞した。

当工区シールド掘進工に関する掘削管理図および実施工程をFig.9、Table 4に示す。

2-4 テールシール交換

R=150mの急曲線施工時、テール部からの泥水および裏込め注入材の漏出が著しくなった。曲線施工中であったが、次に遭遇する帯水砂層を考慮し、当該粘性土中でのシール交換を行った。

(1) 交換作業

シール交換は第一段シールを対象とし、セグメント1リングをそのまま前方に外す方式とした。交換作業はFig.10に示すように行ったが、暫定的に外したセグメントリングの復旧に多少難渋した以外は順調に行われ、10日間程の昼夜作業で完了した。

(2) シール損傷状況

第一段シールの損傷状況をFig.11及びPhoto 1に示す。損傷程度はスプリングライン付近ほど著しく、ワイヤブラシのほとんどが失われ、一部のバネ板は反転して

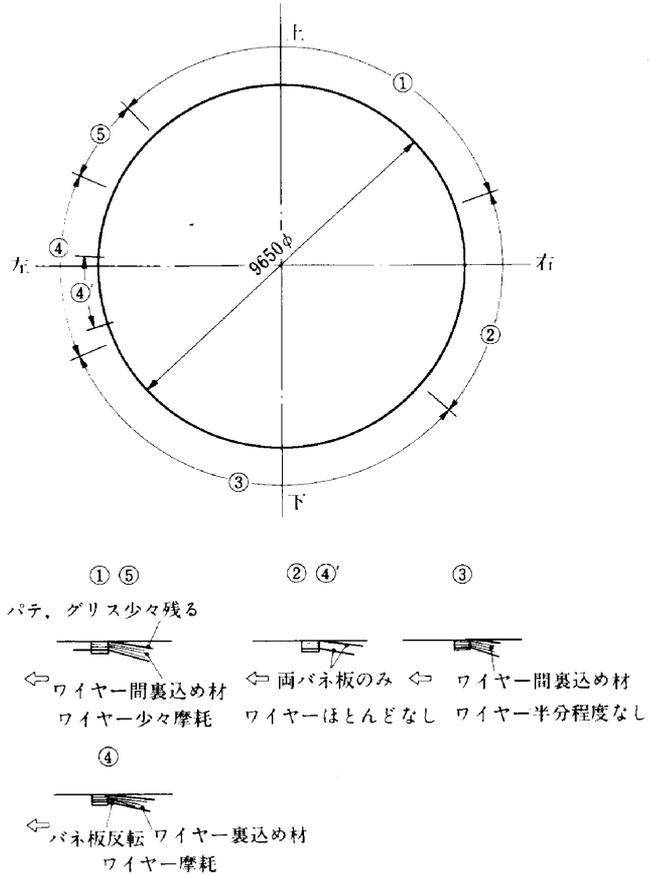
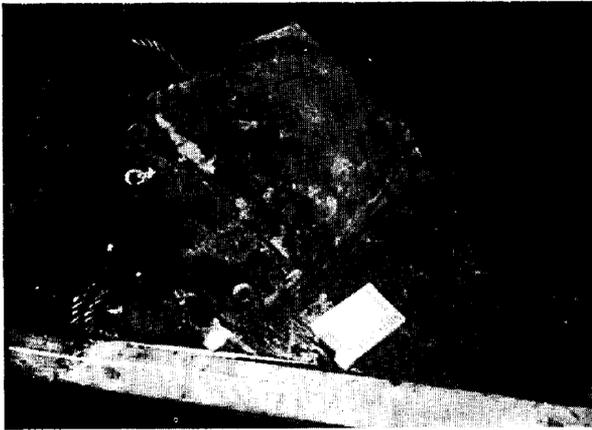


Fig.11 第1段テールシールの損傷状況



ワイヤブラシが途中から失われている。

Photo 1 テールシールの損傷

いた。この損傷状態は、2箇所の急曲線施工によって両側部のシールに過大な擦過力が作用したことを裏付けるものであると推察された。

2-5 諸測定

路線途中に地表面ベンチマーク、層別沈下計、傾斜計および間隙水圧計を設置し、圧密未了地盤におけるシールド工事の影響を観測した。

(1) 沈下トラフ

沈下トラフの中心から反曲点までの距離は、直線区間およびR=180m区間ともに20~30mであったが、地山ロス率は前者が4%前後であったのに対し、後者は7%弱を示した。また、後者の沈下トラフの中心はFig.12に示すように、トンネル中心から7.5m程曲線内側へ偏心し、左右のトラフの勾配も異なることがわかった。

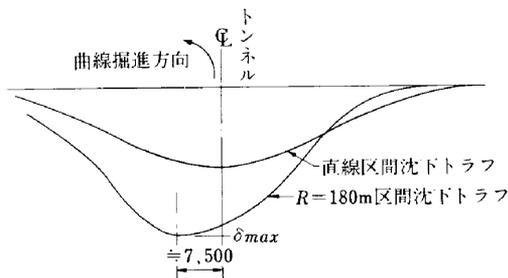


Fig.12 沈下トラフ概念図

(2) 地中変位

シールド機近傍地山の変位測定の一部をFig.13に示す。この図から地山はシールドテールが通過した後、トンネル側に変位し、それ以前は周辺土をむしろ地山側に排除する傾向にあることがわかった。

(3) 間隙水圧

沖積粘性土中の間隙水圧の変化をFig.14に示す。こ

の図によってシールドテール通過時間隙水圧が一時的に下がることわかった。

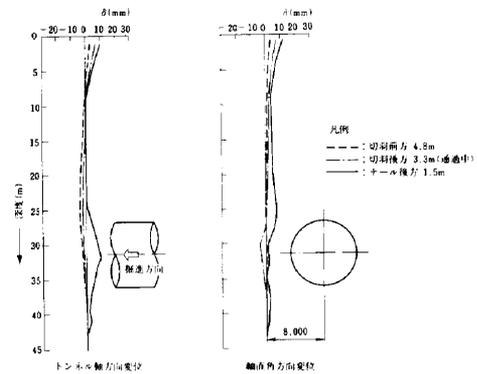


Fig.13 シールド通過時の地山水平変位

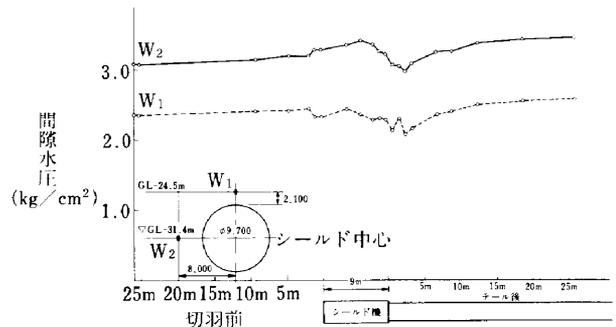


Fig.14 シールド通過時の間隙水圧の変化

§ 3 . 地中接合工

3-1 施工方法

(1) 補助工法の選定

地中接合は運河底下、Fig.4に示す土層中において同一軸上に相対した両シールド機のフェース部分を撤去し、残置された地山を掘削した後に覆工を行ってトンネルを貫通させるものである。運河底下土破り15.4mで行われた当工事の補助工法には、次の事項が考慮され、ブライン方式による地盤凍結工法が採用された。

- i) 運河上からの施工が困難であり、坑内作業となる。
- ii) 坑内施工でも確実な遮水効果が期待でき、強度的にも信頼性が高い。
- iii) 当該周辺環境の特徴から、この程度の凍上が及ぼす影響は問題とはならない。

(2) 施工順序

地中接合工の作業フローをFig.15に示す。また、実施工程をTable 5に示す。

3-2 凍結の事前検討

(1) 凍土の必要範囲

Fig.16に示す凍土の必要範囲は、貼付凍結管端部を固

定端とする支間2.3mの凍土の梁を仮定することにより曲げ強度に対する安全率が3.0を下回らないように設定された。

$$FOS = \frac{\sigma_{ub}}{\sigma_b} = \frac{9.3}{2.98} = 3.1 > 3.0$$

ここに、 $\sigma_{ub}$ ：塩分濃度2.5%、凍結温度 $-10^{\circ}\text{C}$ における凍土の曲げ強度 ( $9.3\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.91\text{N}/\text{mm}^2$ )

$\sigma_b$ ：土破り荷重によって梁高1.9mの凍土に生ずる曲げ応力 ( $2.98\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.29\text{N}/\text{mm}^2$ )

(2) 凍結管の配置

地中凍結管は次の理由によりFig.16及びTable 6に示す放射状配置とした。

- i) 口元管配置間隔が広くでき、管の打設延長も短くできる。
- ii) 埋設形状のバランスが良く、改良体の安定度に優れる。

また、シールドスキンプレート内側からの冷却熱損失に対し貼付凍結管を設置し、外殻との凍着をはかった。

(3) 凍土の形成

凍土の成長は凍結管最大間隔80cmの列状凍結パターンとみなし二次元解杵により推定した。その結果、凍結管片側1m(所要厚)が形成されるまで約60日必要であると予測された (Fig.17)。

3-3 準備工

凍結工に先立ち両シールド機内より地中凍結管および测温管を埋設するとともにシールドスキンプレート内側に貼付凍結管を設置した(Fig.16, Table 6)。また、これらと並行して凍結基地設置、配管ならびに防熱処理等を行った。

(1) 地中凍結管・测温管埋設

Fig.18に示す地中凍結管および测温管は回転・傾斜可能な架台(ポジショナー)上に設置した削孔機(TOP-M型, 30kW)にて、泥水コアボーリング方式で埋設された(Photo 2)。埋設誤差は平均35mm, 最大76mmであった。おな、スキンプレート ( $t=22, 32, 60\text{mm}$ ) は予め同削孔機にて $\phi 127\text{mm}$ のコアチューブにより事前処理されたが、当該切断には2.5~8.3hr/ヶ所、埋設管設置まで含めると1サイクル6.8~11.4hr/ヶ所(口元管設置は除

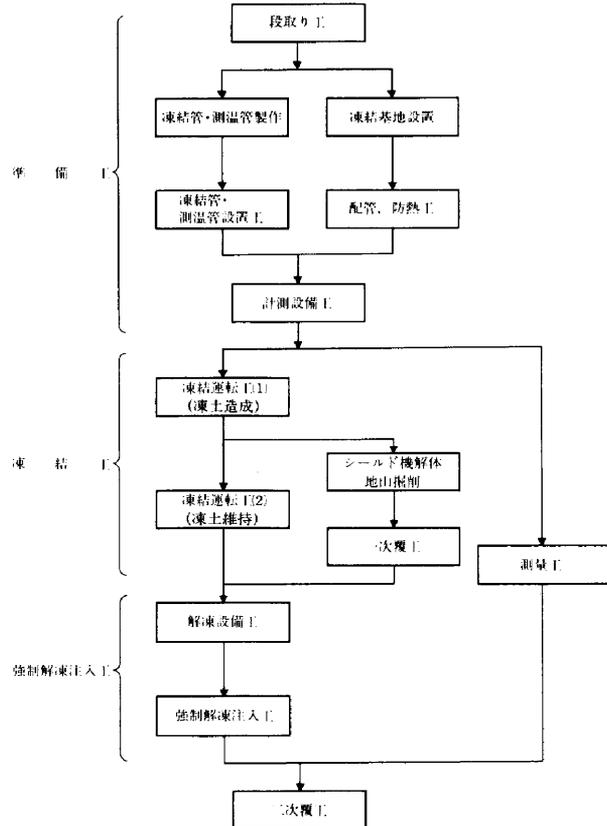


Fig.15 作業フロー図

Table 5 地中接合工実施工程表

| 工種                | 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 準備工・<br>連絡孔設置・測量工 |   | □ | □ | □ | □ |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 凍結管・测温管設置工        |   |   | □ | □ | □ |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 凍結基地設置工           |   |   |   | □ | □ |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 防熱工               |   |   |   | □ | □ |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 凍結運転工             |   |   |   | □ | □ | □ | □ | □ | □ | □ | □  |    |    |
| 接合工：シールド解体        |   |   |   |   |   |   |   | □ | □ |   |    |    |    |
| 一次土留工             |   |   |   |   |   |   |   |   | □ | □ |    |    |    |
| 強制解凍注入工           |   |   |   |   |   |   |   |   | □ | □ | □  |    |    |
| 二次覆工              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | □  | □  |
| 撤去・片付             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | □  |

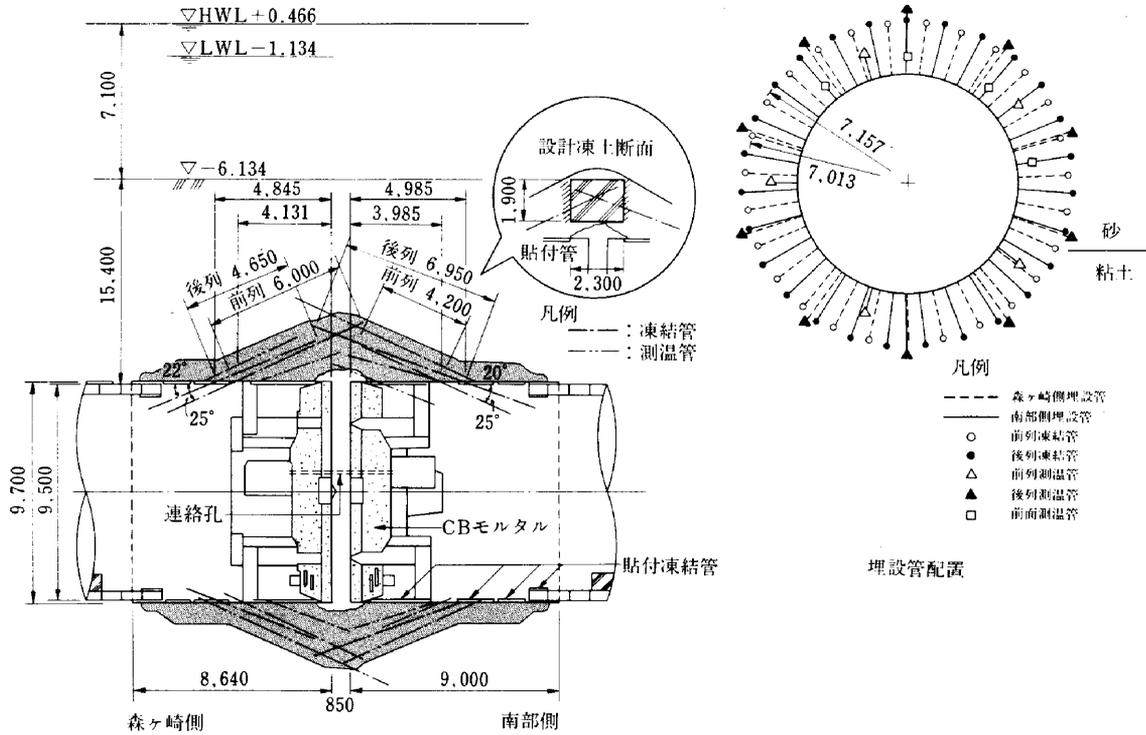


Fig.16 シールド機位置と埋設管配置

Table 6 凍結管・測温管数量

|       |    | 南部側   |    |        |       | 森ヶ崎側  |    |        |       | 記号 |   |
|-------|----|-------|----|--------|-------|-------|----|--------|-------|----|---|
|       |    | 管長(m) | 本数 | 打設角(°) | 測点数   | 管長(m) | 本数 | 打設角(°) | 測点数   |    |   |
| 地中凍結管 | 前列 | 4.20  | 14 | 25     | -     | 6.10  | 13 | 25     | -     | ○  |   |
|       |    | 4.10  | 13 |        |       | 6.00  | 14 |        |       |    |   |
|       | 後列 | 7.05  | 13 | 20     | -     | 4.65  | 14 | 22     | -     |    | ● |
|       |    | 6.95  | 14 |        |       | 4.55  | 13 |        |       |    |   |
| 貼付凍結管 | A列 | 0.90  | 99 | -      | 16    | 0.90  | 96 | -      | 16    | -  |   |
|       | B列 | 1.30  | 99 |        |       | 1.20  | 96 |        |       |    |   |
|       | C列 | 1.70  | 83 |        |       | 1.60  | 80 |        |       |    |   |
|       | D列 | 2.70  | 72 |        |       | 2.70  | 72 |        |       |    |   |
| 地中測温管 | 前列 | 3.60  | 5  | 17     | 3 × 5 | 3.70  | 1  | 20     | 3 × 1 | △  |   |
|       |    | 4.40  | 4  |        | 17    | 3 × 4 |    |        |       |    |   |
|       | 後列 | 4.90  | 5  | 25     | 3 × 5 | 4.60  | 5  | 25     | 3 × 5 | ▲  |   |
|       |    | 8.60  | 5  |        | 5 × 5 | 8.60  | 5  |        | 5 × 5 |    |   |
|       | 前面 | 1.30  | 4  | 22     | 1 × 4 | -     | -  | -      | -     | □  |   |

く)と長時間を要した。

(2) 貼付凍結管設置

Fig.19に形状および設置範囲を示す。

(3) 凍結基地設置および防熱工

凍結基地は南部側および森ヶ崎側の両トンネル内に設置された。Fig.20に南部側基地ならびにTable 7に凍結ユニット仕様を示す。

防熱工では、ブライン配管、枝管および貼付凍結管に対し、発泡ポリスチレン、グラスウール等を被覆した。

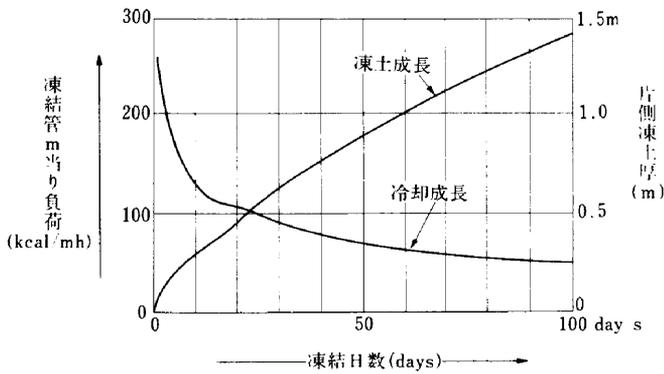
3-4 凍結工

凍結運転は凍土造成期間(南部側81日、森ヶ崎側79日)および接合工事中の凍土維持期間(62日)を通じ、昼夜連続で行われた。

(1) 凍土の形成

凍結および凍着状況は測温管ならびにスキンプレート内面温度計による定時測温(3回/日)にて監視された。接合中心位置の凍土形成状況をFig.21に示す。1m厚の凍土形成に要した時間は管列外側で36~78日、内側で14~32日であった。

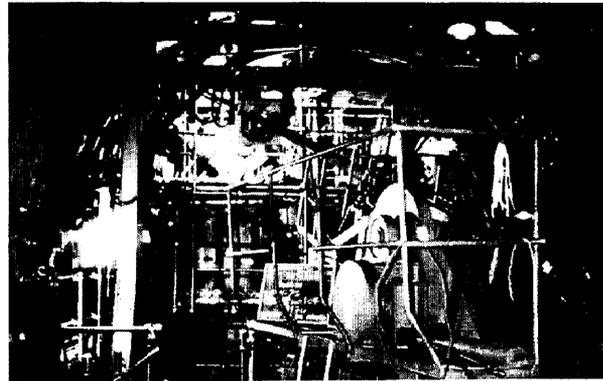
(2) 凍結管理



計算に用いた熱定数

| 飽水土の熱的性質 |                                | 凍結前                     | 凍結後                     |
|----------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 密度       | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )    | 1,720.0                 | 1,648.96                |
| 比熱       | $C$ (kcal/kg°C)                | 0.49209                 | 0.30982                 |
| 熱伝導率     | $K$ (kcal/mh°C)                | 1.2254                  | 2.3137                  |
| 温度伝播率    | $\kappa^2$ (m <sup>2</sup> /h) | $1.4478 \times 10^{-3}$ | $4.5288 \times 10^{-3}$ |
| 凍結潜熱     | $L$ (kcal/kg)                  | 28.9273                 | —                       |

Fig.17 凍土の成長予測



手前右にボーリングマシンおよびポジショナー、奥に門型支柱がみえる。

Photo 2 削孔状況

凍結管理は、冷凍機運転管理、ブライン管理および凍土管理の3項目について行った。運転状況をFig.22に示す。

(3) 凍上

凍上量を抑制するため、凍結運転は、上部から先行して行われた。凍上量は接合中心付近で最大約110mmであった。

なお、凍上により後方セグメントの一部にリング相互のズレや部分的なコンクリートのはく離を生じたが有害な影響を及ぼすことなく施工できた。

3-5 接合工

(1) シールド機解体および掘削

所定の凍土形成が確認された後バルクヘッド、カッターフェイスを解体、残り地山を掘削してトンネルを貫通させた (Photo 3)。

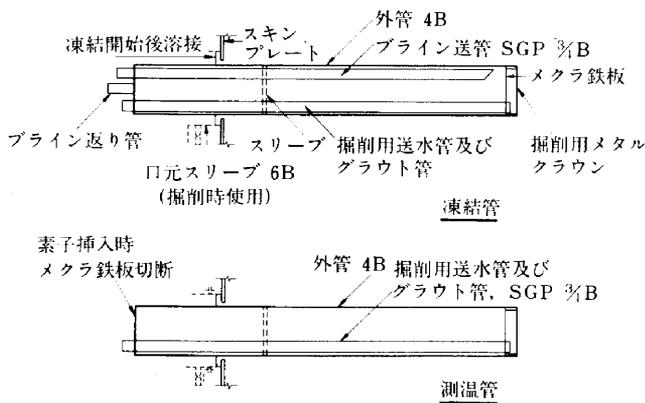


Fig.18 埋設凍結管・测温管の構造

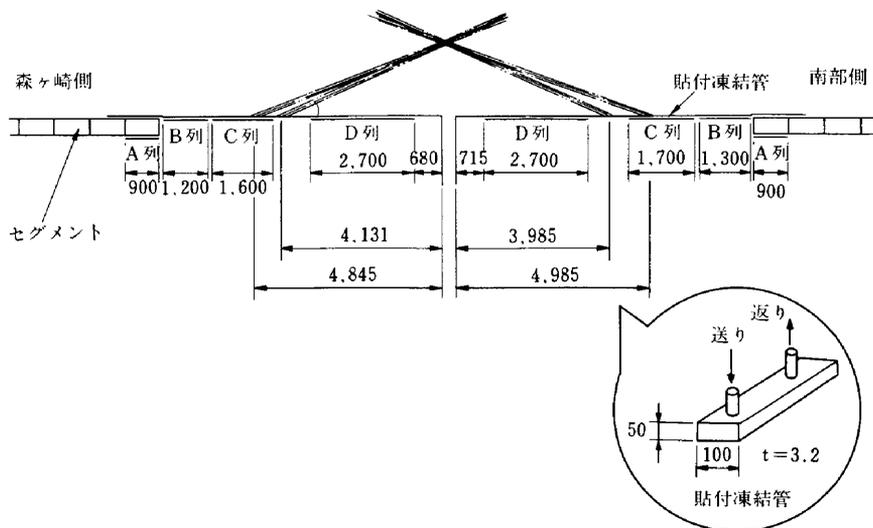


Fig.19 貼付凍結管

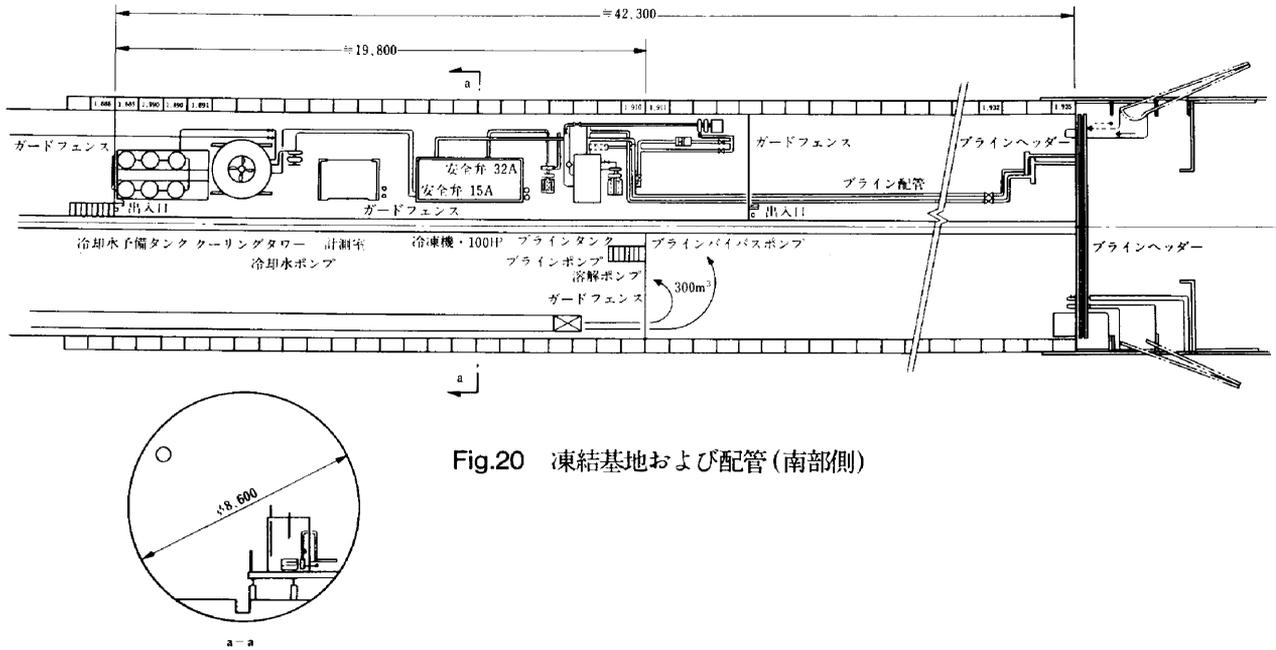


Fig.20 凍結基地および配管 (南部側)

Table 7 凍結ユニット仕様

| 使用機器の種類                                     | 容 量  |
|---|--|
| 冷凍機 圧縮機<br>日立RBU-10,000<br>(冷媒R-22)         | 蒸発温度 -27℃<br>凝縮温度 +40℃<br>冷凍能力 96,000kcal/h                        |
| 冷凍機 電動機<br>日立EFOUN-KK                       | 開放巻線形 75kW出力<br>3φ×3,300V×6P×50Hz(2,950回転)                         |
| 凝縮器 兼 受液器                                   | 横形シェルアンドチューブ式<br>伝熱面積 31.4m <sup>2</sup><br>冷却管 19.1φCUローフィンチューブ   |
| ブライン冷却器                                     | 乾式シェルコイル式クーラー<br>伝熱面積 39.4m <sup>2</sup><br>冷却管 16.0φCUインナーフィンチューブ |
| 冷却器<br>日立MT-5010S                           | 凝縮能力 195,000kcal/h<br>送風機 3φ×200V×1.5kW                            |
| ブライン循環ポンプ<br>エハラ80MSIII M<br>(塩化カルシウム溶液)    | 7.5kW 3段タービンポンプ<br>流量 650 l/min<br>モーター 3φ×200V×4P×11kW            |
| 冷却水循環ポンプ<br>日立OV-CH(80R <sub>4</sub> -53.7) | 吐出量 650 l/min<br>モーター 3φ×200V×4P×3.7kW                             |
| 制 御 装 置                                     | 電動機オーバーロードリレー, 圧力スイッチ, 断水リレー,<br>温度コントロール, 冷凍機油圧スイッチおよび容量制御        |
| 遠 方 監 視 装 置                                 | 遠方監視盤(パイロットランプ, ブザー, スイッチ)   |

(2) 一次土留工設置

両シールドスキンプレート間に鉄板を溶接し土砂および地下水の流入防止をはかった後、外径9200mm×幅750mm×高さ300mmの鋼製セグメントを4リング設置し、背面に膨張性モルタルを充填した。

3-6 強制解凍注入工

解凍沈下量は事前検討において135mmと推定され、凍上変位の生じた状態で施工された二次覆工は解凍時有害

な影響を受けると予測された。その結果、二次覆工施工前にインバートを中心とした90°の範囲を温水(60~75℃)管により強制解凍するとともに解凍沈下を抑止するためのセメント系注入を併用する施工法を採用した。

(1) 温水管および解凍設備

凍結管およびブライン配管を温水管および温水配管にそのまま転用した。Table 8に設備一覧を示す。

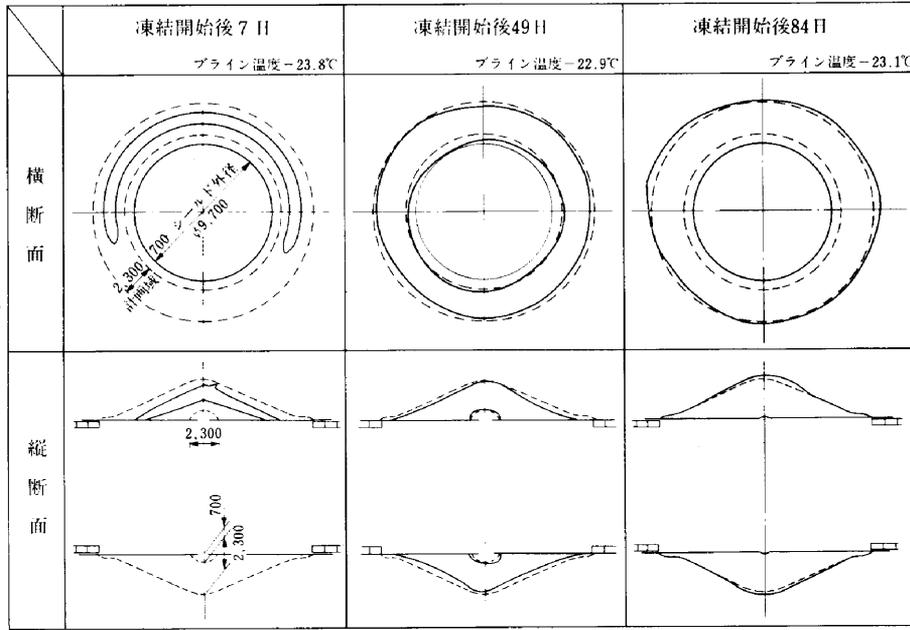


Fig.21 凍土形成状況

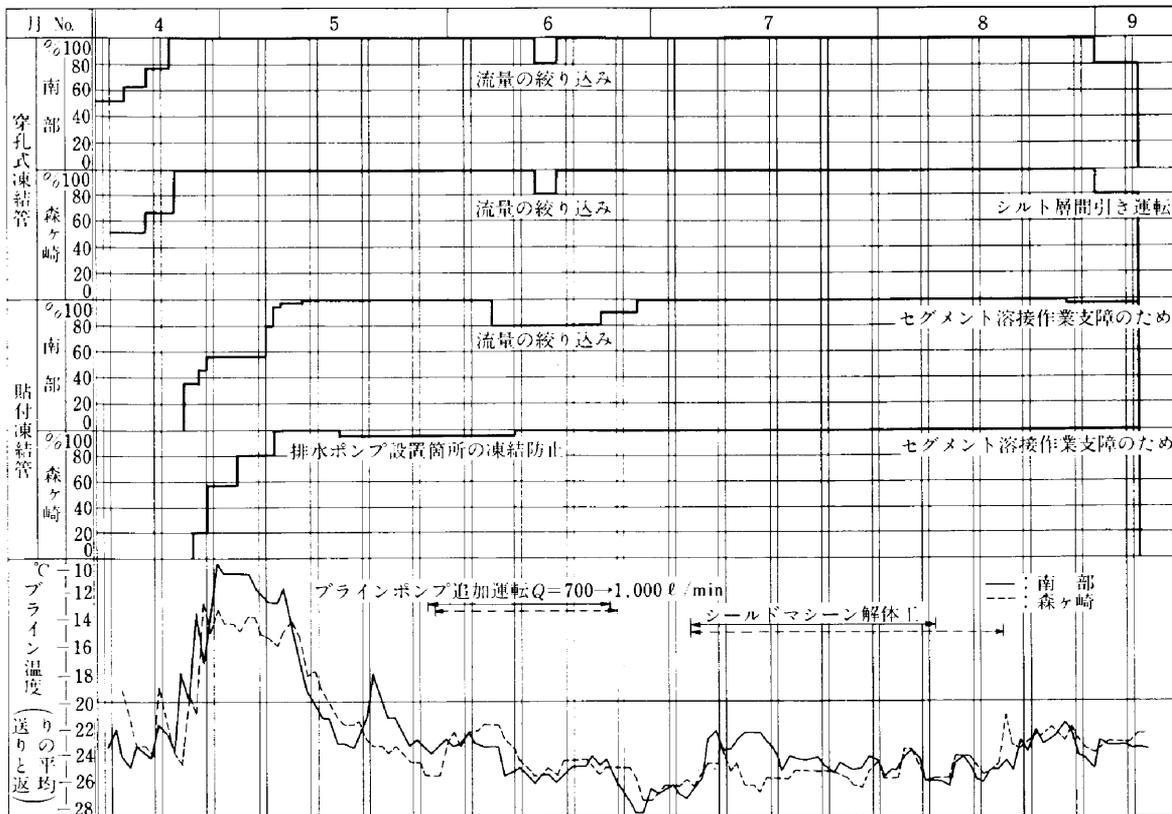


Fig.22 凍結運転稼働状況

(2) 強制解凍および解凍注入

解凍日数の短縮ならびに解凍注入を容易にするため、温水運転は貼付凍結管に対しても行われた。この結果、解凍は予定より9日短縮され36日で終了した。Fig.23に強制解凍部と自然解凍部の経時温度変

化を示す。

解凍注入は温水運転後6日目よりロッド注入方式で行われた。注入孔の配置および注入材の配合を Fig.24, Table 9に示す。凍結運転開始以後の変位の経時変化を Fig.25に示す。



中央に両カッターフェイスがみえる。右が南部側。

Photo 3 接合部掘削状況

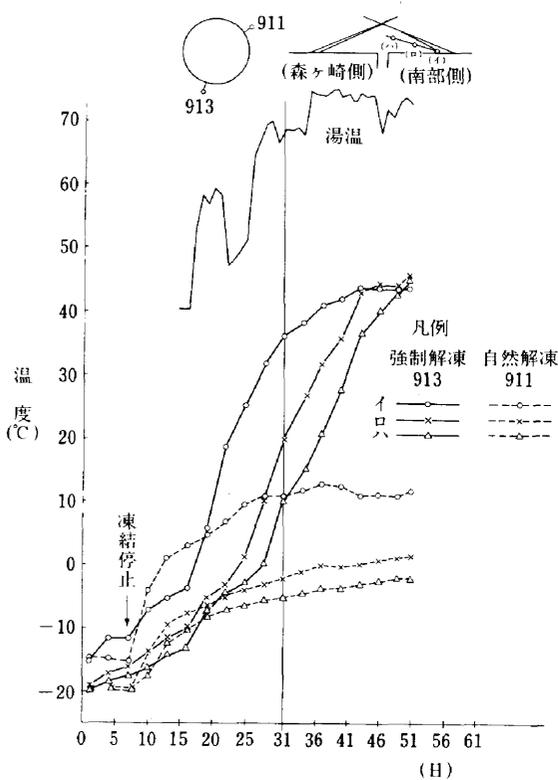


Fig.23 解凍状況

§ 4. 二次覆工

接合部を中心とした100m区間に対しFig.7に示す二次覆工を行った。コンクリート打設は側壁部と上半部に分けそれぞれスライドフォームを使用して行った。

Table 8 強制解凍注入工設備一覧

| 名 称  | 諸 元             |  |
|------|-----------------|--|
| 強制解凍 | 電 気 ヒ ー タ ー     | パイプヒーター(200V-15kW) 4 台, 60kW<br>加熱能力 60kW×860kcal/kWh=51,600kcal/h |
|      | 容 量 制 御 装 置     | 自動温度調節器等   |
|      | 温 水 タ ン ク       | 1.8m×0.9m×0.9m   |
|      | 温 水 循 環 ポ ンプ    | 200V-7.5kW 1 台   |
| 解凍注入 | ボ ー リ ン グ マ シ ン | YSO-1型 5.5kW 2 台<br>φ46mmスキンプレート穿孔, φ40.5mmロッド注入                   |
|      | 注 入 用 ポ ンプ      | BGW-3型 3.7kW 2 台<br>穿孔, 削孔, 注入                                     |
|      | グ ラ ウ ト ミ キ サ ー | MVM-5型 2.2kW 2 台   |
|      | タンク, 水中ポンプ      | 一式   |

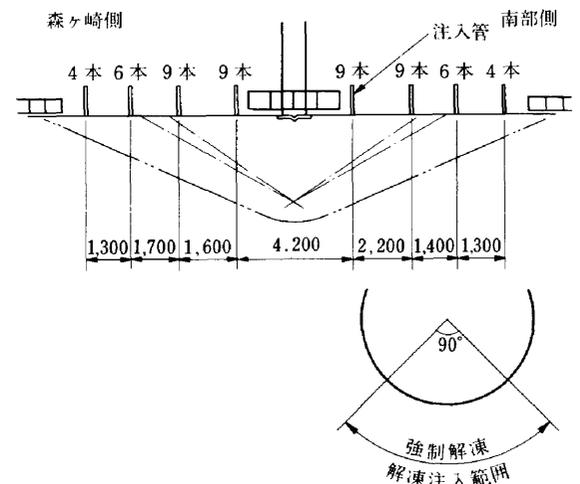


Fig.24 注入孔の配置

Table 9 解凍注入材の配合

| A 液    |       | B 液    |       |
|--------|-------|--------|-------|
| デンカES  | 75kg  | セメント   | 300kg |
| ESセッター | 1.5kg | 水      | 400ℓ  |
| 水      | 475ℓ  | -      | -     |
| 計      | 500ℓ  | 計      | 500ℓ  |
| 合 計    |       | 1,000ℓ |       |

§ 5. むすび

当工事にあつては急曲線施工を含む圧密未了地盤中のシールド掘進および地盤凍結工法を用いた運河底下の地中接合工事と技術的課題は多かったが本文に述べた対応を行って予定通りの成果をあげることができた。今後、シールド掘進については高水圧下の急曲線施工に関する課題 [テールシールの耐力, セグメントの安全性等] および本文に述べなかつたが一次覆工の耐水圧性に関する課題 [目地シール, 継手金物処理等], また凍結工については凍結・解凍時の変位に関する課題 [変位予測精度,

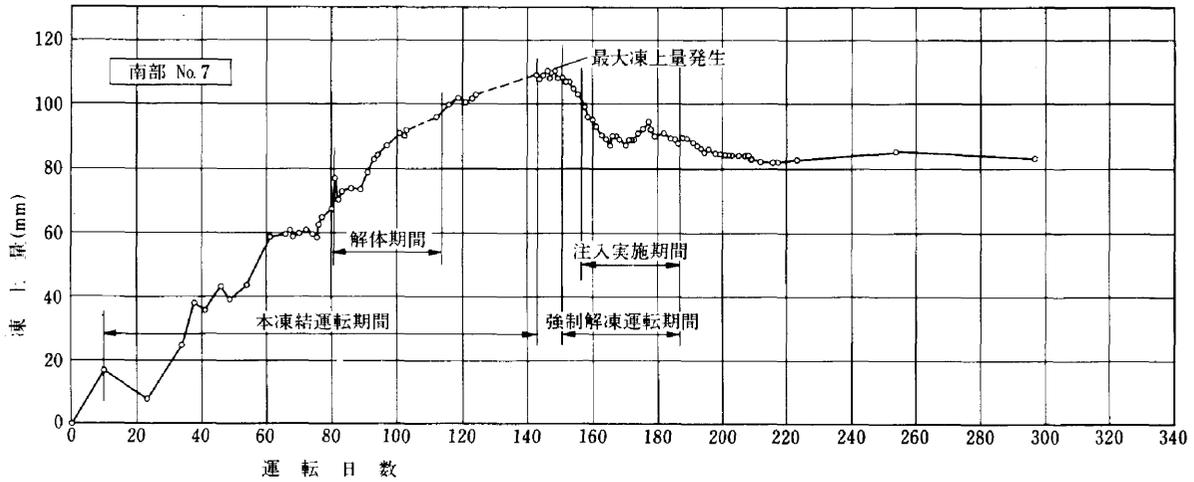


Fig.25 凍上・解凍変位量の推移

構造物への影響予測等] および補助工としての最適改良断面の設定方法等の課題について、検討が加えられ、さらに改良もしくは定量化されることにより、大深度・長距離化のすすむシールド工事へのより良い対応がはかれるものと思われる。

最後に、本工事の施工に当たり御指導を頂いた委託者の東京都下水道局、発注者の日本下水道事業団ならびに、当報文作成にあたっても多くのご協力を戴いた鹿島建設株式会社および榊熊谷組はじめ関係各位に深く感謝します。