

# 技術レポート

## 1

### 市街地におけるシールド内配管 (呼び径1000mm US形ダクタイル管)の 布設について

京都市水道局技術部工務課  
課長補佐 沼上 正人

#### 1. はじめに

本市では、給水需要の対応と改善をはかるための配水管整備および管網整備を行っている。

現在、鴨川を挟んで左岸側では京阪電鉄地下化工事(三条～七条間)に併せて配水幹線布設工事を実施中であるが、鴨川以西の既設配水幹線と連絡することにより、配水区域の変更、各浄水場の互換性をはかることができる。

今回の塩小路幹線布設工事では、鴨川横断と市街地工事の関係からシールド工法で行ったが、内配管には地盤の変動に強く、シールド内配管に適しているUS形ダクタイル管(呼び径1000mm)を使用し、延長344mの施工を行ったので、その概要を紹介する。

#### 2. 工事概要

- (1) 工事場所：第8期拡張事業蹴上系塩小路幹線配水管布設工事
- (2) 工事場所：京都市東山区一橋宮ノ内町～下京区上之町地内

- (3) 工事期間：昭和61年4月1日～昭和62年11月末日
- (4) 工事内容：シールド施工延長 L=344m(削土密閉型シールド工法)  
シールド機外径  $\phi$ 2140mm  
セグメント外径  $\phi$ 2000mm  
内径  $\phi$ 1850mm  
発進立坑(鋼矢板式) 1カ所  
到達立坑(深礎式) 1カ所  
補助工法(薬液注入他) 一式  
配管工(呼び径1000mm)  
延長 364.1m
- (5) 平面図、縦断面図：図1 参照

#### 3. 設計および検討事項

##### 1. 地形および地質、ルート選定

当工事の地質は段丘礫層、大阪層群などの洪積層が東山方面よりはり出し、鴨川による氾濫堆積層(沖積層)が薄く堆積するが、一般的に砂礫層でありかなり締まっている。最大

写真1 鴨川横断部

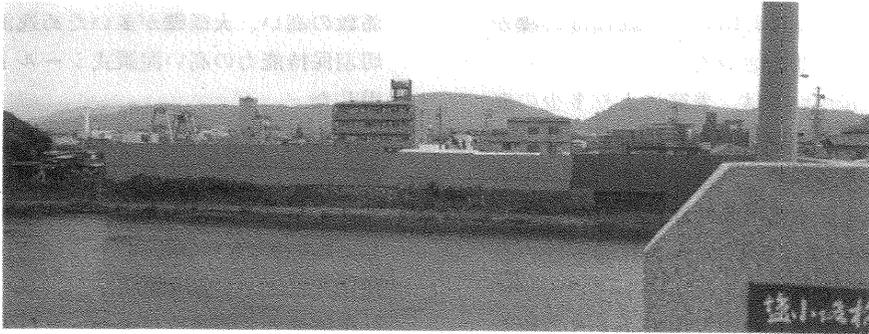
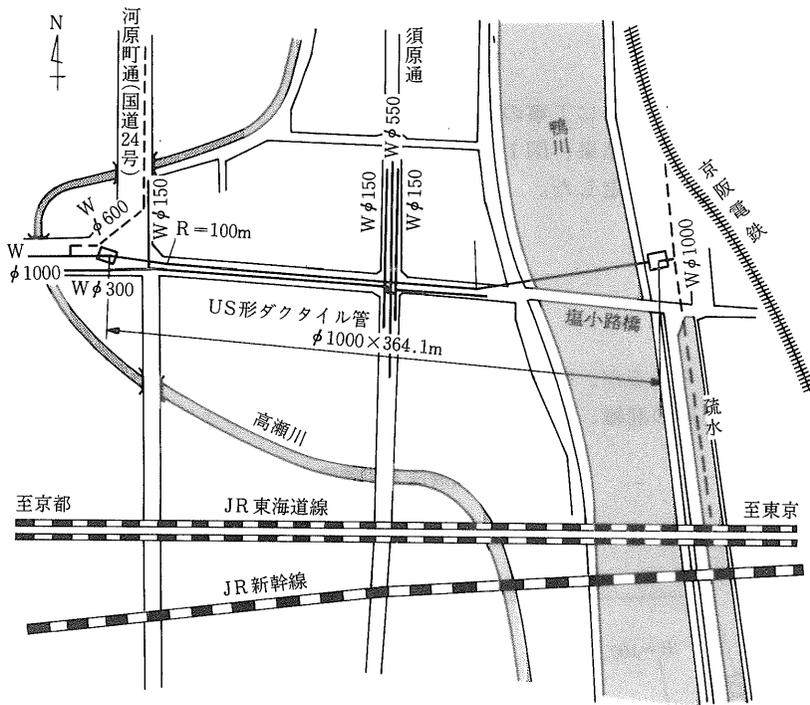
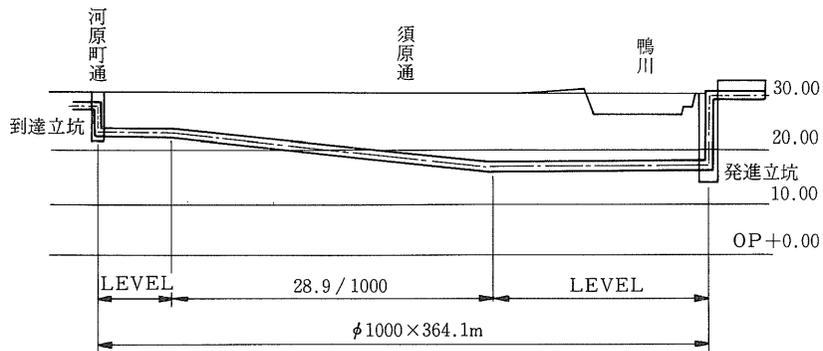


図1 平面図



縦断面図



礫径は、鴨川の上、中流域に位置するため、ボーリング結果からも180～240mm程度の礫が多く介在すると想定された。

地下水位については、季節により多少の変動は見受けられるが、おおむねOP+25.4～27mの間と考えられ、工法の選定にもっとも重要な要素となる透水係数は $1.1 \times 10^{-1} \sim 8.7 \times 10^{-4}$ cm/秒となっており、非常に透水性の高い地質と想定された。

ルートを選定は、鴨川左岸堤防より河川を横断し、塩小路通り(市道)中央部を河原町交差点(国道24号)内までの区間である。鴨川横断については占用条件として、

- ① 河川の流心に直角横断。
- ② 橋梁の拡幅計画。
- ③ 橋台の影響。などのほかに工事の作業基地を含めて検討した結果、図1の平面図に示すルートに決定した。

## 2. 工法の比較、検討

- (1) 開削工法。
- (2) 推進工法。
- (3) シールド工法。

上記3案の工法が考えられるが、鴨川横断施工時期、市街地での交通の混雑、地域住民

への工事公害などを考慮し検討の結果、透水係数の高い、大径礫が多いため逸泥の少ない切羽保持能力の高い泥漿式シールド工法を採用した。

したがって、施工は左岸の作業基地を発進坑として、右岸の橋台より上流側に向けて計画河床より5mの土かぶりを保ち鴨川を横断し、その後はR=100mの急曲線で市道の中央部に入るまでレベルとする。

市道部から到達坑に向かっては28.9%の上りこう配で施工し、国道部へ入る直前でレベルに戻す縦断ルートとした。

## 3. セグメントの選定

本工事においては、スチール、ダクトイル鋳鉄、コンクリートのうち、

- (1) セグメント外径 $\phi 2000 \rightarrow$ 小口径
- (2) 加工性がよい。
- (3) 安価。

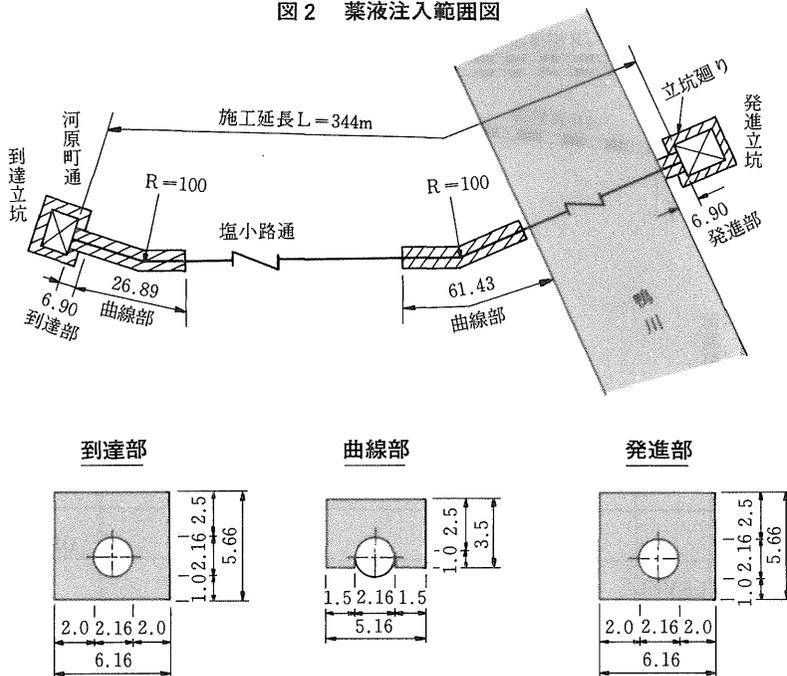
上記(1)～(3)の理由により、スチールセグメントを使用した。

## 4. 地盤改良工

地盤改良工は、最小限範囲と急曲線掘進に供って切羽の自立に必要な範囲とした。

施工場所および断面は図2に示す。

図2 薬液注入範囲図



## 4. シールド内配管の検討

シールド内配管の設計にあたっては、

- (1) 河川横断における地盤変動。
- (2) シールド内配管での作業スペース。
- (3) 曲線部配管。

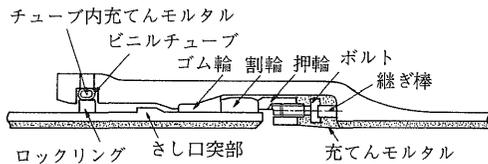
上記について種々検討した結果、US形継手ダクタイト管とした。

### 1. US形継手について

開削工事による埋設管には従来より耐震対策、地盤変動対策用継手としてS形、SⅡ形継手が多く使用されているが、今回採用したUS形継手はシールド内配管用として開発された内面接合、耐震継手である。

US形継手は伸縮、屈曲性があり、離脱防止機構を備えた継手である。

図3 US形継手の構造



### 2. 特長

- (1) シールド内配管用継手であり、シールド断面が小さくできる。
- (2) 耐震管路を構成し、軟弱地盤その他大きな地盤変動が予想される場所での配管にも適している。
- (3) 曲げ配管が可能であり、シールドの屈曲に順応した配管ができる。
- (4) 湿気の多い所での施工も可能であり、接合作業も安全である。
- (5) 水密機構はU形継手そのものであり、高水圧に耐える。
- (6) 伸縮、屈曲が可能であり、大きな抜け出し力に耐え、曲げの力に対してもある程度まで耐えることができる。

### 3. 継手の基本性能

呼び径1000mmのUS形継手の基本性能は次の通りである。

- (1) 伸縮余裕量：70mm/カ所
- (2) 曲げ余裕量

設計、施工時の許容屈曲角：1°50′

地震時などの限界屈曲角：3°51′

- (3) 抜け出し阻止力、耐圧縮力：300tf以上
- (4) 抵抗曲げモーメント(曲げ剛性)：

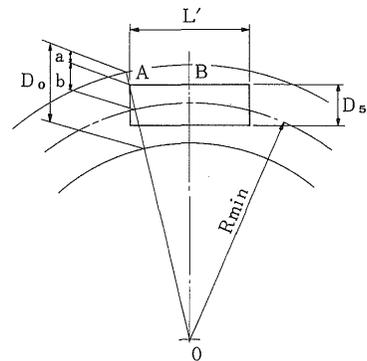
75tf・m

### 4. 曲線部の配管検討

本工事では、配管ルート上の制約から管路途中に曲率半径が100mの曲線部が2カ所あるため、当該部分について曲線配管の検討を行った。

- (1) 直管の搬入可能なシールドの最小曲率半径  $R_{min}$  計算の考え方を図4に示す。

図4



図中、

$D_o$ ：シールド内径 1850mm

$D_s$ ：管の受口外径 1183mm

$L'$ ：管の全長 6325mm

$a$ ：余裕間隙 20cm

$b$ ： $D_o/2 - a$  70cm

計算式および計算結果

$$R_{min} = \frac{(L'/2)^2 + (D_s/2)^2 - b^2}{2b - D_s} = 45.4m$$

したがって、 $R=100m$ であっても6mの直管が十分搬入可能である。

- (2) 配管可能な管長： $L$

$R=100m$ 部分の配管可能な管長計算の考え方を図5に示す。

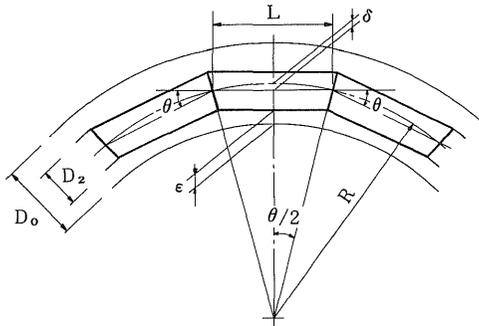
図中、

$D_o$ ：シールド内径 1850mm

$D_2$ ：管の実外径 1041mm

$R$ ：シールドの曲率半径 100m

図5



L : 管の有効長

$\theta$  : 継手の許容曲げ角度  $1^{\circ}50'$

$\delta$  : シールド芯と管芯のずれ

$\epsilon$  : シールドと管の隙間

計算式と計算結果

$$L = 2R \tan \theta/2 = 3.2\text{m}$$

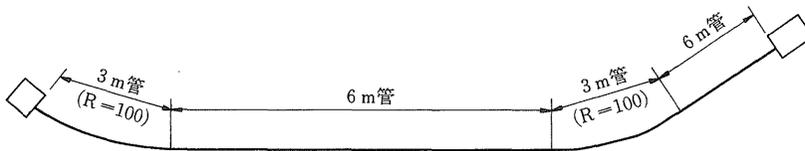
$$\delta = R(1 - \cos \theta/2) = 1.28\text{cm}$$

$$\epsilon = 0.5(D_0 - D_2) - \delta = 36.67\text{cm}$$

したがって、計算結果よりシールドの施工誤差を考慮して曲線部分には、管長  $L = 3.0\text{m}$  を使用することとした。

以上の検討の結果、本工事では図6に示すように直線部には6mの直管を、曲線部には3mの甲切管を使い分けて使用することに決定した。

図6



## 5. 施工

### 1. 現地調査

土質調査は、河川氾濫原地帯の複雑な互層を的確に把握するために発進基地、鴨川右岸、到達立坑横の計3カ所を現場透水試験のほか土質調査を行い、後に水位、水質の観測孔として利用した。また、井戸調査は工事境界線より約300m範囲の用途、水位高、水質などの計測を実施した。

試掘工では、薬液注入時およびシールド掘進時において路面沈下などの影響を測定するため、埋設物の位置確認を行い、かつ沈下観測を行った。

### 2. 発進立坑、作業基地

発進立坑は $11.5\text{m} \times 10.5\text{m} \times \text{H} - 18.5\text{m}$ の大きさで、土留めは鋼矢板V L型  $\ell = 24.5\text{m}$ を使用した。鋼矢板の打設、引き抜きはプレポーリング、サイレントパイラーを使用した。支保工はH 300  $\times$  300 ~ H 502  $\times$  475を使用し7段梁で施工した。

発進基地は鴨川左岸堤防横のため景観を損なうことのないよう万能塀で覆い、場内はア

スファルト舗装をした。

写真2 発進立坑付近

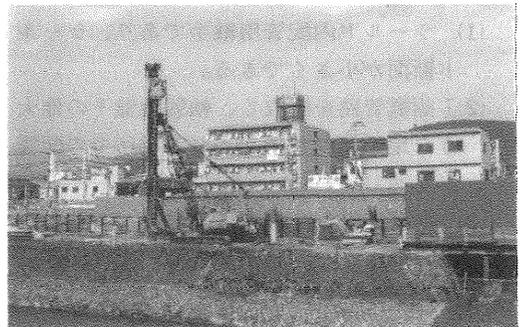


写真3 到達立坑付近



### 3. 到達立坑

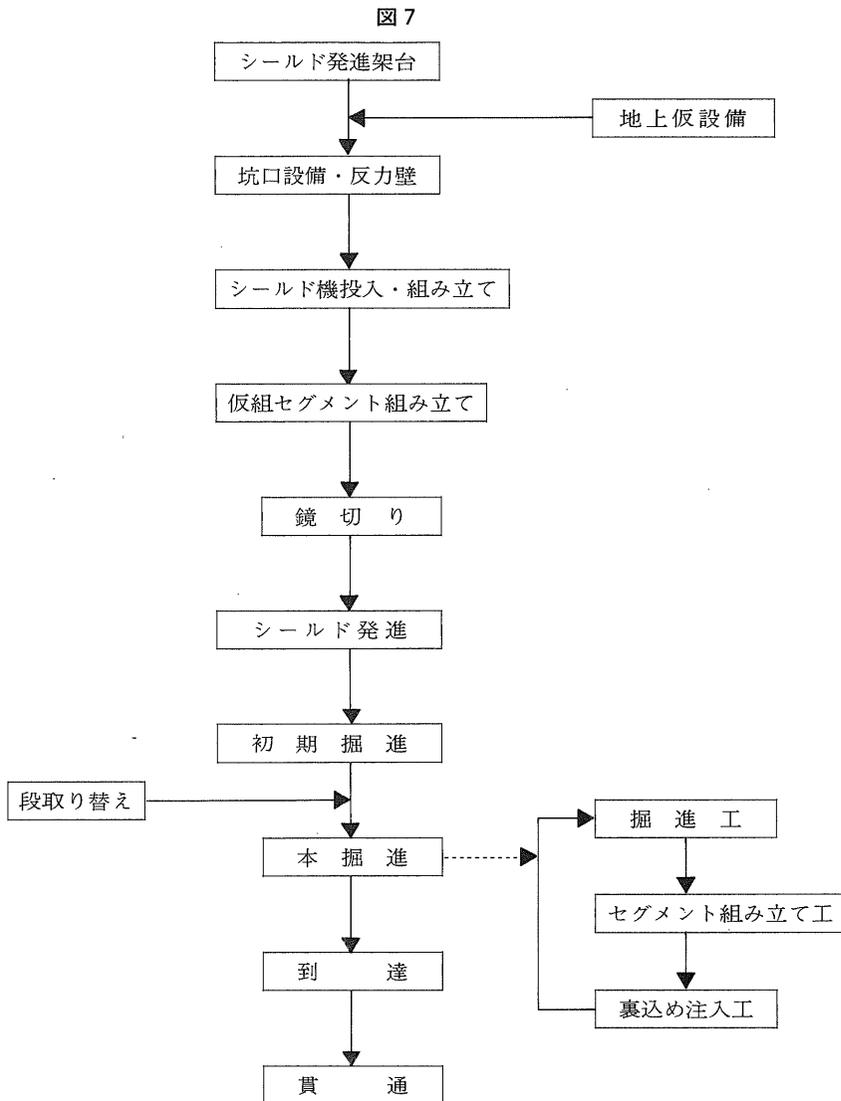
到達立坑は市街地道路の交差点に位置するため、ライナープレート矩形で4.0m×6.0m×H-11.0mとした。また、立坑上部は路面覆工を行い、夜間は路面の開放をした。

### 4. シールド工

シールドの施工フローを図7に示す。

#### (1) 初期掘進工

初期掘進長は、セグメントと地山との摩擦抵抗により必要長が決定されるが、当工



事においては、後続設備などを考慮して50リング( $l=37.5\text{m}$ )とした。

初期掘進時の設備配置は、下記のように行った。

- ① シールド機のパワーユニットは立坑後部に設置し、本体との間は高圧油圧

ホースを使用した。また、電気の制御盤も同一の場所に設置し、操作ケーブルで接続した。

- ② 掘削土砂の搬出は、バッテリーけん引車(2.5t+鋼車)運搬方式とし、積み込みはシールド機のスクリーコンベ

写真4 発進坑内

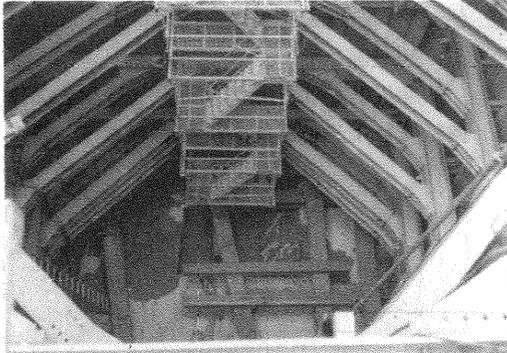
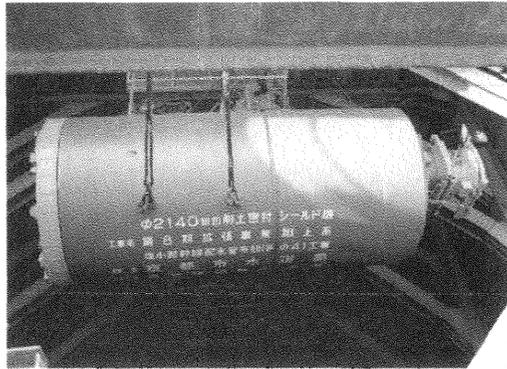


写真5 シールド機



アから平ベルトコンベアに受け、1㎡鋼車に積み込み、発進立坑で門型クレーンを使用して土砂ピットに投入した。

- ③ セグメントは、セグメント台車にて運搬したあと、人力にてエレクター下部へ引き込み、組み立てを行った。
- ④ 掘進作業は、周辺環境を考慮して昼間作業とした。初期掘進完了地点は鴨川横断の中間点に当たるため、本掘進への段取期間中および年末年始休暇中の切羽の保持には細心の注意を払った。

## (2) 本掘進工

掘進土層は砂礫層主体であったが、上部はN値20程度のゆるい地層であるとともに、礫径もφ250程度の大礫も確認されており、透水係数も大きいため、チャンパー内の土圧の保持には細心の注意を払い管理を行った。

掘削排土された土砂はベルトコンベアで

鋼車(1㎡)に積み込みバッテリーけん引車で立坑まで運搬し、立坑下土砂ピットに仮置した。

仮置した土砂は、門型クレーンに取り付けた油圧バケットで巻き上げ、立坑上の土砂ピットに処分した。

土砂の搬出は、0.4㎡級の油圧ショベルにて11トン級ダンプトラックに積み込み搬出処分した。

本掘進作業は昼夜間で行い、立坑内および地上での作業は昼間作業で行った。

特に地元住民への騒音、振動問題には注意を払い、土砂の搬出、セグメントの搬入は昼間作業で行い、夜間は立坑上部に防音シートで覆工を行った。

1日の掘進量は約5～6m(7～8リング)であった。

シールド掘進施工図を図8に示す。

## 5. シールド内配管準備工

### (1) 施工方法

仕上がり内径1850mmのシールド内に呼び径1000mmのUS形ダクトイル鋳鉄管を配管し、管とシールドの1次覆工(スチールセグメント)との間隙にエアーモルタルを充てんし、合わせて立坑内に垂直立ち上がり配管を行うものである。

施工フロー図を図9に示す。

### (2) シールド内点検、清掃

シールド坑内は、一次覆工完了後ただちにセグメントボルトの増締めおよび点検を行い、その後配管を施工するための中心線測量を行った。

坑内清掃にあたっては、裏込め注入残材などを人力でほぐし、鋼車にて処分のあとウォータージェットでセグメントの清掃を行った。

### (3) 仮設備

#### ① 軌条設備

軌条設備の概要は、下記に示す通りである。

- 軌条の高低差：4,822mm
- 軌条延長：345m

図8 シールド掘進施工図

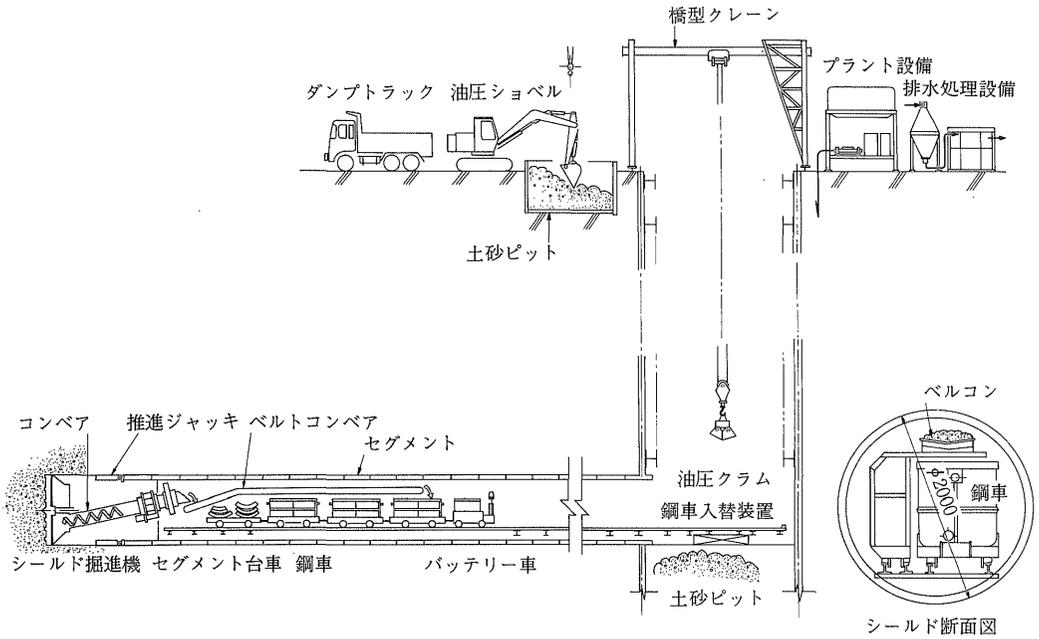
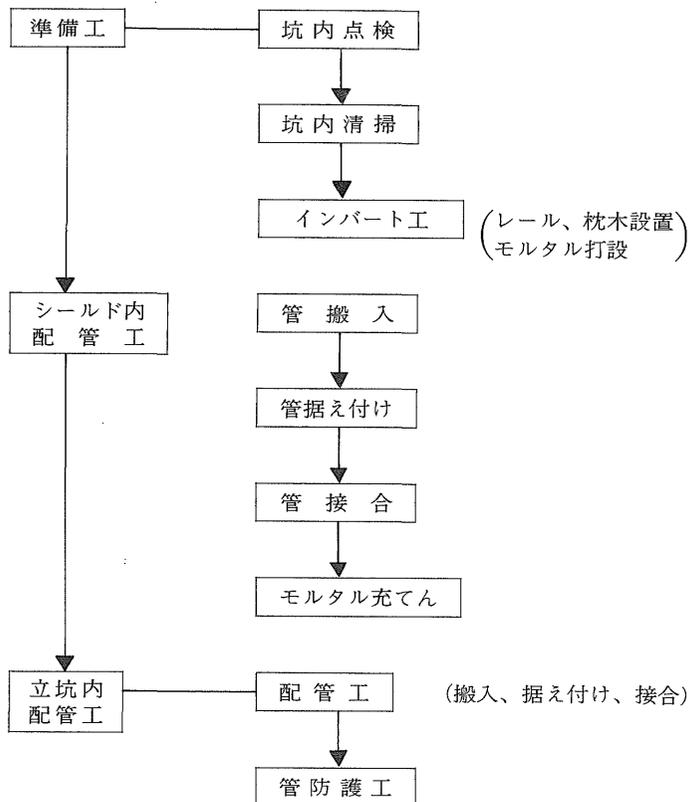


図9 施工フロー図



- 最小曲線半径：100m
- 最急こう配：28.9%
- 軌 間：610mm
- 軌条重量：15kg/m

シールド内断面図は図10に示す。

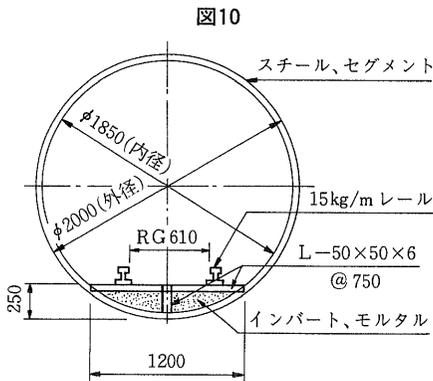


図10

坑内清掃完了後、配管運搬用の軌条を設置し、枕木天端までモルタルを打設した。

インバートモルタルは表1の配合としたが、急こう配部分(S=28.9%)ではモルタルの硬化時間が遅く、天端仕上げが困難であるため凝結剤を使用した。

打設方法は、セグメントの裏込め注入時

に使用した硬質塩化ビニル管(φ50)を使用し、到達側より順次施工を行った。

表 1

インバートモルタル配合 1.0㎡当たり

材料名	セメント	粉末粘土	水
配合量	480kg	480kg	650kg

写真6 シールド内軌条設備状況



② 排水設備

坑内からの漏水は特に見られなかったが、シールド掘進時セグメントの清掃、中詰モルタル打設時の排水は立坑下に釜場を設け、3インチのポンプにて揚水を行った。

排水処理設備を図11に示す。

図11 排水設備フロー

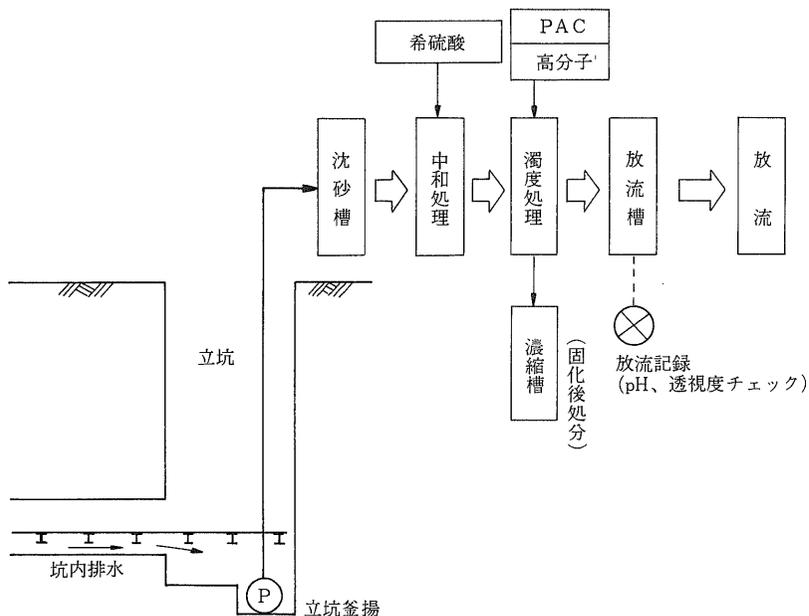
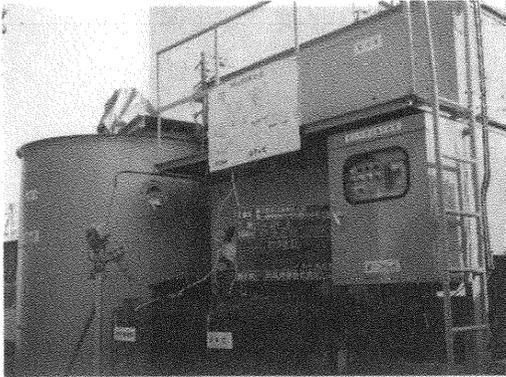


写真7 排水処理設備



## 6. シールド内配管工

### (1) 管運搬、据え付け、接合要領

- ① 門型クレーン(2.8t吊り)により立坑下踊場まで管を吊り降ろし、立坑下に待機の運搬台車に載せ、バッテリーけん引車にて接合箇所へ運搬する。  
運搬時にはゴム輪、割輪、押輪などの付属品も管の中に、ロックリングは受口溝内に収めて運搬する。
- ② 挿し口外面、受口内面はきれいに清掃をする。
- ③ ロックリングを挿し口外面の規定の位置に抱かせた状態でロックリング分割部の間隔を測定する。
- ④ 受口溝に、ビニルチューブをねじれないように挿入する。チューブ端部は溝部のチューブ取り出し口から管外へ出す。
- ⑤ ロックリングを受口溝に預ける。  
以上②～⑤までの作業を立坑下踊場で行った。
- ⑥ シールド内へバッテリーけん引車で搬入し、接合箇所へ到達したらセグメント金具に取り付けたチェンブロックにて管を吊り上げ高さ調整を行う。
- ⑦ チェンブロックで管を吊り上げた状態で、台車、レール、枕木の取り外ずし、撤去を行う。
- ⑧ 受口に規定の胴付間隔(105mm)を得るために木製のディスタンスピースを

置く。

- ⑨ 挿し口外面、受口内面に滑剤を塗布する。
- ⑩ 既設管に取り付けたレバブロック、けん引車にて挿し口がディスタンスピースに当たるまでゆっくりと受口に挿し込む。
- ⑪ チェンブロック、レバブロックを操作し、T定規、水準器などで微調整を行い、管の高さおよび中心線を合わせる。そして、ロックリングが挿し口に十分抱きついていることを隙間測定器具を使い確認する。
- ⑫ 管の据え付けが完了すれば、管受台、キャンパーで固定し、横ぶれ防止のための切りばりをはめ込んで固定する。
- ⑬ ゴム輪に滑剤を塗布して挿し口に預ける。
- ⑭ 割輪(3つ割)を下から順次挿入する。
- ⑮ 押輪(4つ割)を下から順次挿入し、留め金具で固定する。
- ⑯ 継ぎ棒を取り付け、締め付ける。
- ⑰ 先にセットしたビニルチューブに手動ポンプにてモルタルを充てんする。モルタルの配合は次の通り。

W	C	S	
1	2	0.7	(重量比)

チューブ内のエアが完全に抜けたことを確認して、充てんを完了する。

写真8 管納入状況

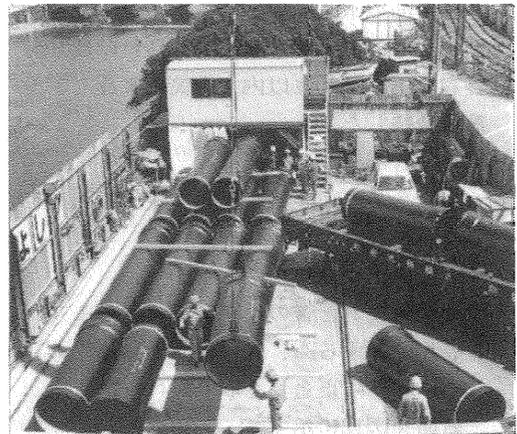


写真9 管搬入状況

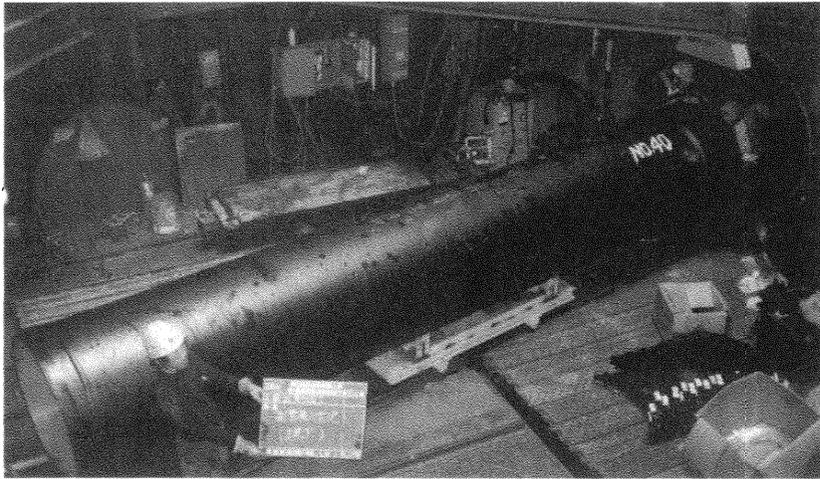


写真10 管搬入据え付け状況

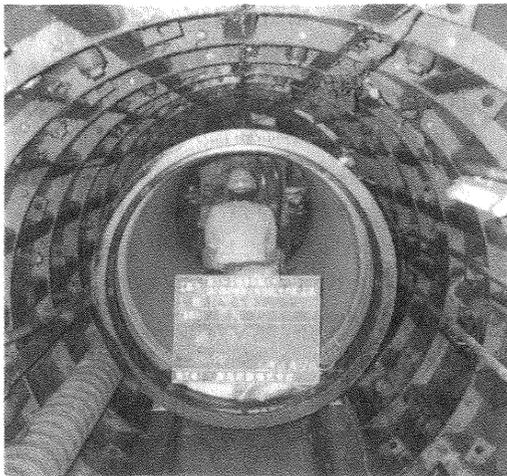
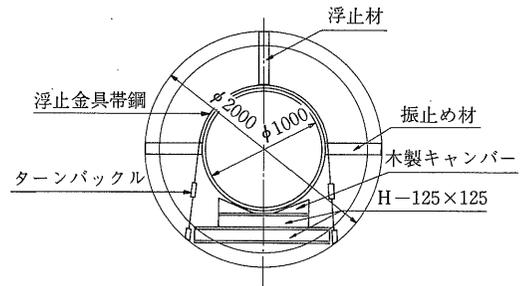


図12 浮き上がり防止図



7. エアーモルタル充てん

シールドの1次覆工のセグメントと管との間に、エアーモルタルを充てんするものである。

また、継手構造の耐震性を損わないために、圧縮強度を10kgf/cm<sup>2</sup>程度に押さえた。

- (1) エアーモルタルの配合、物性を表2、3に示す。

表2 1m当たり配合

材料名	セメント	粉末粘土	起泡剤	水
配合量	240kg	240kg	2.4kg	330ℓ

表3 物性

項目	エアー率	比重	フロー値	一軸圧縮強度
				628日
数値	50%±2	0.83±0.02	20cm±2	10kgf/cm <sup>2</sup> 程度

- (2) 接合部水圧試験

継手部の水圧試験はテストバンドを使用し、テスト水圧は3kgf/cm<sup>2</sup>、持続時間10分許容低下水圧20%以内で全箇所実施し、全箇所合格した。

- (3) 接合部モルタル充てん

水圧テスト完了後、モルタル充てんを行った。

- (4) 浮き上がり防止

セグメントと管のすき間にエアーモルタルを充てんする際、管に浮力が働くために浮き上がり防止金具を取り付けた。

断面を図12に示す。

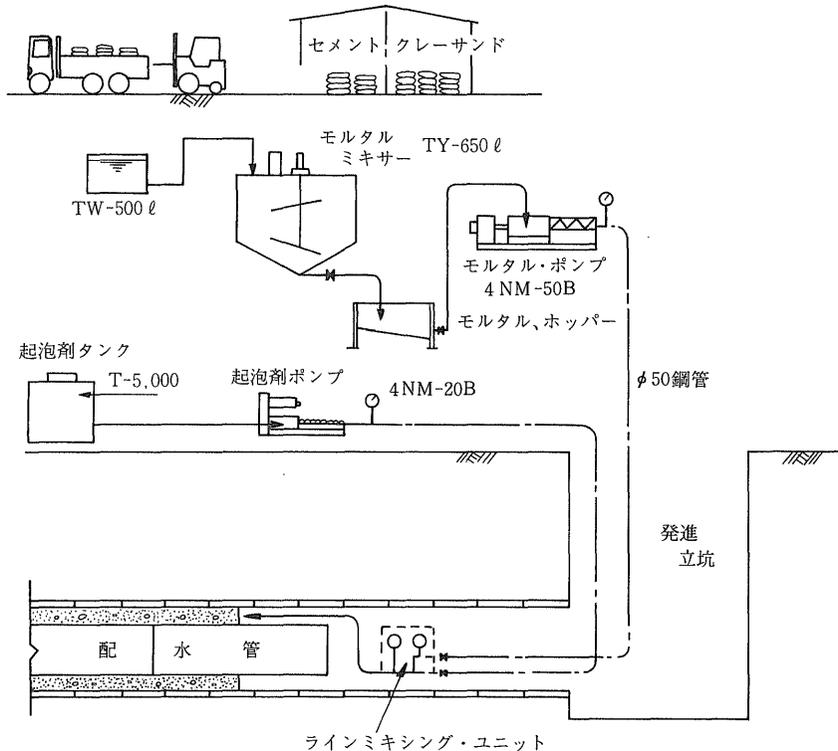
- (2) エアーモルタル注入設備

エアーモルタル注入用プラントは、作業

基地内に設置した。騒音などの地元環境を考慮して骨材、セメントのサイロ使用を断念し、セメントは袋詰を使用した。

材料を地上プラントで混練後、鋼管(φ50)にて坑内へ圧送を行った。注入設備を図13に示す。

図13 中詰モルタル注入設備



### (3) 充てん方法

注入作業は約30mに区切って行い、1日の配管ペースが約5本(30m)となるので、翌日に中詰モルタルの施工を行った。打設方法は次の通り。

- ① 注入管(塩化ビニル管φ50)をセグメント天端に番線で固定する。注入管は2系統設置し、1系統は奥30mまで配管し、別の1系統は中間の15mまで配管する。

エア抜きは、塩化ビニル管φ50を最上部に配管セットする。

- ② エアモルタルのせき止用として、土のうを管底部から8分程度積み上げる。

- ③ 混練されたエアモルタルを坑内で再度ラインミキシング装置を通して練直し注入する。

- ④ モルタル打設は奥から開始し、順次スパン中央部まで打ち進んだら注入管を切換えて連続して打設する。

- ⑤ モルタルが打設端部である程度上ってきた時点で、残りの土のうを積み完全に閉塞する。

- ⑥ 再度、モルタル注入を行い、エア抜きによりモルタルの溢出を確認して完了する。

断面図を図14に示す。

## 8. 実施工程表

実施工程表を表4に示す。

表4 実施工程表

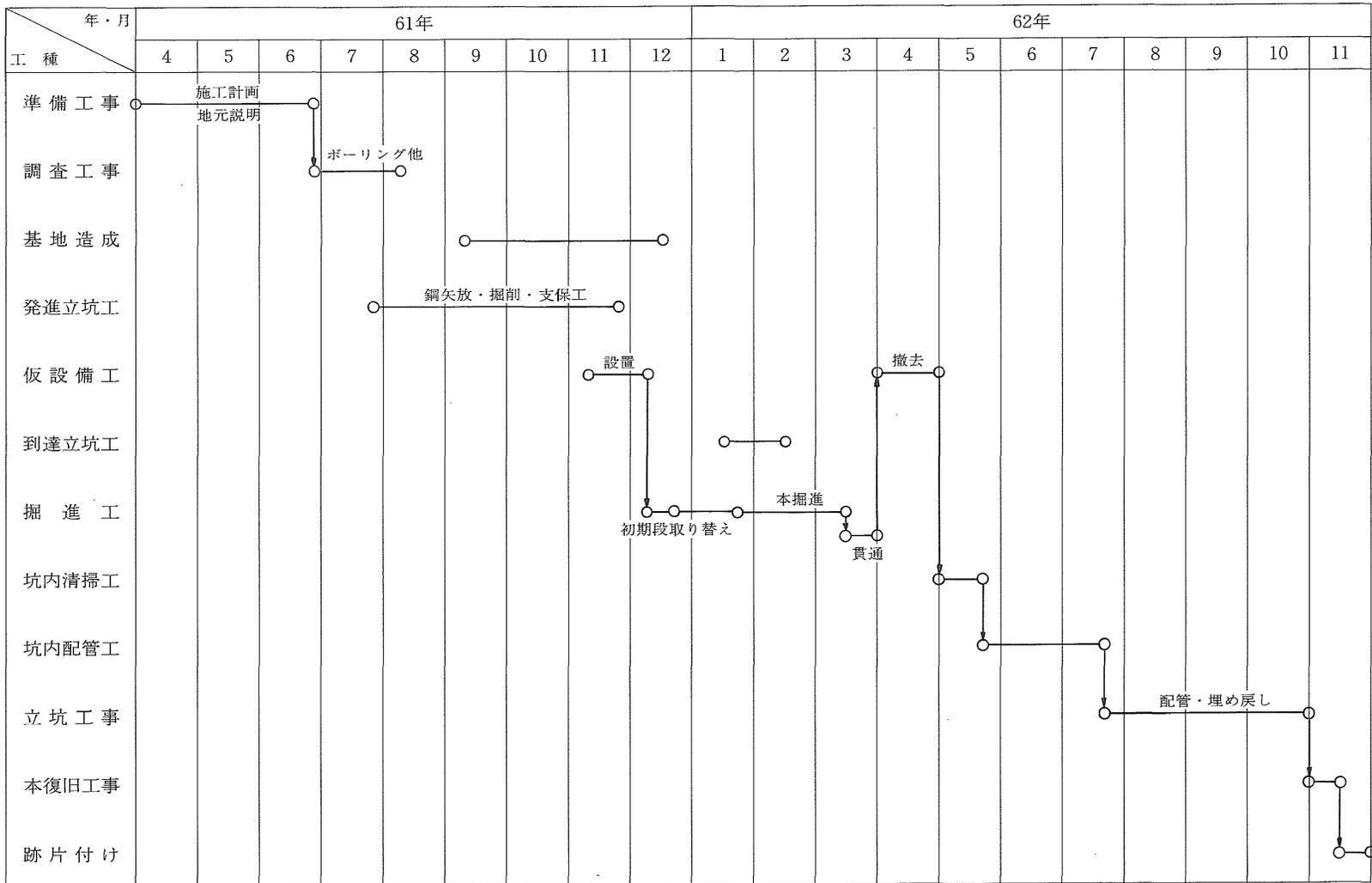
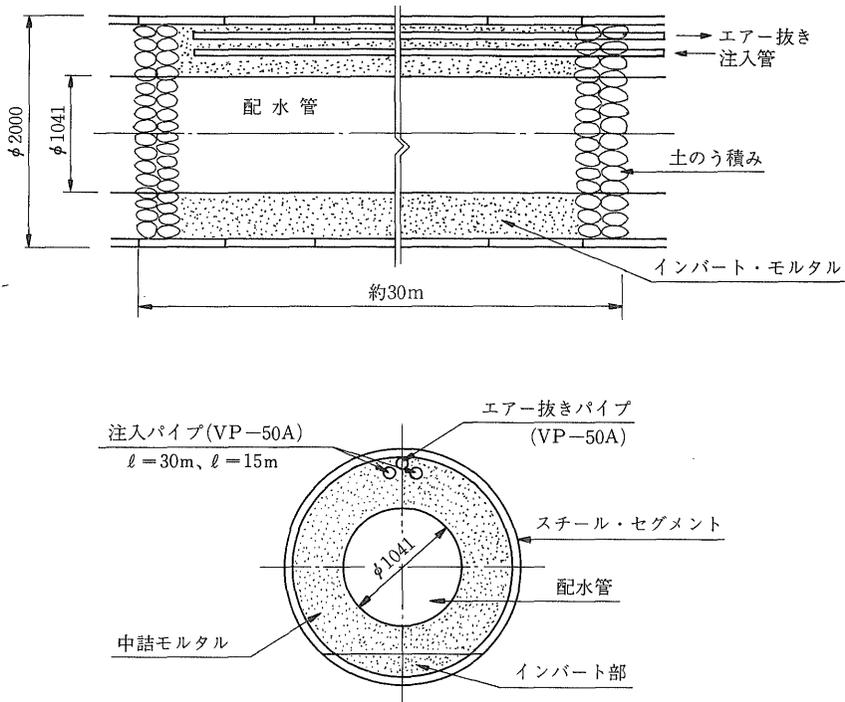


図14 断面図



## 6. おわりに

河川横断を含んだ市街地における急曲線こう配のあるシールド工法について工事概要を述べたが、限られた施工条件にもかかわらず

順調に計画工程通り無事工事を完了することができた。

この資料が今後の市街地工事の参考になれば幸いである。