

# 技術レポート 1

## 超大口径ダクタイル鑄鉄管による 導水路の改修

東京都水道局建設部

設計第1課長 峯尾正臣

### 1. はじめに

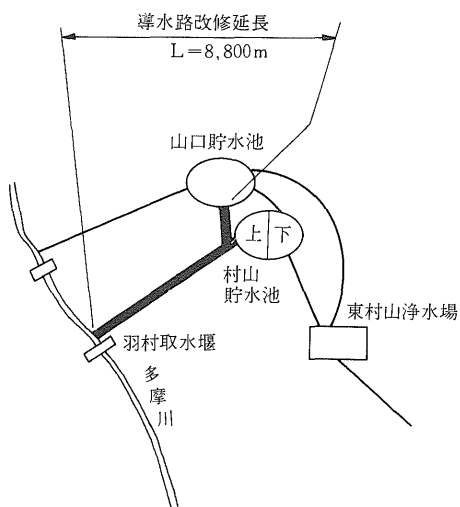
水道の社会的使命は、いうまでもなく常に安全な水を安定して供給することにある。

そこで、東京都では、将来の水道需要の増加への対応とともに、既存の施設を総合的、体系的に整備し、施設としての機能をより充

実させるために、現在、送配水施設整備事業・第4次利根川系水道拡張事業・多摩水道施設拡充事業・浄水施設整備事業を鋭意推進している。

ここで紹介する多摩川の羽村取水堰から村山・山口貯水池に至る羽村線導水路の改修工事は、浄水施設整備事業の一環として実施しているものである。

図1 導水路路線図



### 2. 改修工法ならびに管種の選定

本導水路は、幅3.34m、高さ3.34m、延長8,800mのコンクリート製馬てい形導水路で、築造以来60年余も経ており、既に全線にわたって老朽化が進み、コンクリートがところどころで崩壊しているほか、長年にわたる流水により、インパットコンクリートは大部分が摩耗した状態となっている。

そこで、これまでも特に悪化した部分については、内面にコンクリートを巻き立て応急補修を行っており、その延長は870mに及んでいる。このような状況から、早急に抜本

的な改修を行うこととなったものである。

本導水路の改修工法の選定にあたっては、立地条件などのため次の前提条件および施工条件を満たすものを比較検討した。

(1) 前提条件

- ① 所定の流量を確保すること。
- ② 強度・耐久性・水密性・耐震性などが十分得られる構造であること。

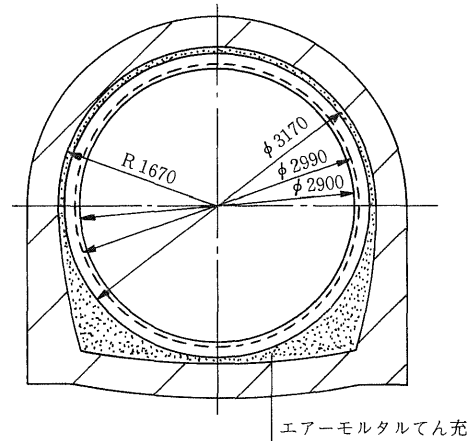
(2) 施工条件

- ① 断水期間が5カ月以内であること。
- ② 施工中に供用を開始する必要がある場合には、短期間に通水できること。
- ③ 1工区当たりの施工延長は、おおむね1,000mを超えること。
- ④ 応急補修により、断面が不整形かつ狭隘となっている所があること。
- ⑤ 導水路内は、漏水が多く作業環境が悪いことなど。

以上の条件を満たすものとして、コンクリート巻き立て工法をはじめ各種の工法を比較検討した結果、既設導水路内に新管を挿入しエアームタルを注入するパイプ・イン・ト

ンネル工法が最適との結論に達した。

図2 改修断面図

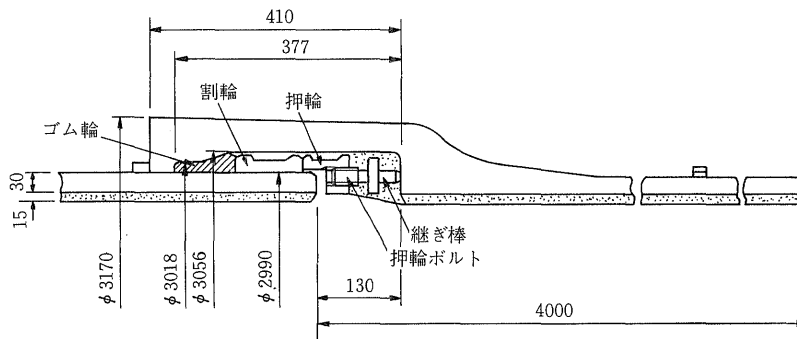


また、管種の選定にあたっては、前記の前提条件および施工条件から、呼び径2900mm U形ダクタイトル鉄管を採用することとした。

### 3. U形ダクタイトル鉄管の採用

U形ダクタイトル鉄管の採用にあたり、次のような検討および試験を行った。

図3 呼び径2900mm U形継手の構造と主要寸法(単位mm)



(1) 管体応力および管厚の検討

管体に加わる荷重条件は下記の通りとする。

- ① 既設導水路の強度は考慮せず、ゆるみ高さに相当する土圧を用いた。
- ② 管が大口径であることから管自重を考慮した。
- ③ 地下水位が高いため、外水圧を考慮した。

以上のことから、次式によって管応力を求

め管厚を決定した。

- 土圧による発生応力： $\sigma_1$

$$\sigma_1 = 0.7 \times \frac{6(K_f \cdot W_f)R^2}{t_1^2}$$

$K_f$ ：管底の支持角によって定まる係数

$W_f$ ：ゆるみ高さによる土圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$R$ ：管半径 (cm)

$t_1$ ：管厚 (cm)

- 管自重による発生応力： $\sigma_2$

$$\sigma_2 = 0.7 \times \frac{0.492 W_d \cdot R}{t_1^2}$$

$W_d$ ：管自重 (kgf/cm)

前記 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ に対し次式により所定の安全率を持つ管厚 $t_1$ を求める。

$$(\sigma_1 + \sigma_2)N = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$$

$N$ ：安全率

- 外水圧により求める管厚： $t_2$

$E \cdot Amstutz$ の式より

$$P_k = \frac{\sigma_N}{\frac{R}{t_2} (1 + 0.35 \frac{R}{t_2} \cdot \frac{\sigma_F' - \sigma_N}{E_s'})} \cdot \frac{1}{S_f}$$

$P_k$ ：最大外水圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_N$ ：円周方向直応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$$\sigma_F' = \mu \cdot \frac{\sigma_F}{\sqrt{1 - \nu_s + \nu_s^2}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\mu = 1.5 - 0.5 \cdot \frac{1}{(1 + 0.002 \frac{E_s}{\sigma_F})^2}$$

$$E_s' = \frac{E_s}{1 - \nu_s^2} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$E_s$ ：ダクタイルの弾性係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\nu_s$ ：ポアソン比

$\sigma_F$ ：ダクタイル鋳鉄の降伏点 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$S_f$ ：安全率

前記の $t_1$ と $t_2$ に対し、腐食代2mm、鑄造公差10%を考慮して、公称管厚は $T = (t_1 + t_2 + 2) \cdot 1.1$ によって求め30mmとした。

(2) 製品検査

素管寸法・質量検査・水圧試験およびモルタルライニング、接合部品の検査を行ったが表1に示すように特に問題となるような点はみられなかった。

表1 製品検査結果

項目	結果
素管の外観・形状および寸法検査	いずれも許容差内寸法であった
素管の質量検査	許容差内の質量であった
素管の水圧試験	水圧20kgf/cm <sup>2</sup> 、15秒負荷で異常なし
モルタルライニングの検査	ライニング、シールコート、外面塗装異常なし
接合部品の外観・形状寸法検査	いずれも許容差内寸法であった

(3) 材料試験

図4に示す試験片採取位置から各種試験片を採取し、引張試験をはじめ各種材質試験を行った。その結果を表2に示す。

結果はいずれも規格値(JIS規格)を満足しており、前記(2)の結果と合わせて、呼び径2900mm U形ダクタイル鋳鉄管の製造上における問

題点はみられなかった。

図4 試験片採取位置

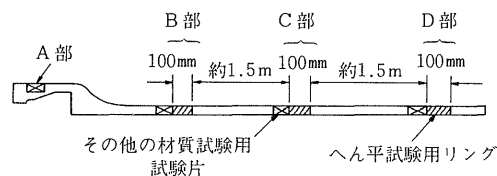


表2 材質試験結果

項目	結果				備考 (規格値等)	
	A	B	C	D		
引張試験	引張強さ(kgf/mm <sup>2</sup> )	46	45	45	45	42kgf/mm <sup>2</sup> 以上
	伸び(%)	18	18	21	26	10%以上
硬さ試験(ブリネルHB)	155	150	152	152	152	230HB以下
へん平試験		良	良	良	良	¼Dのへん平量(725mm)
顕微鏡試験	良	良	良	良	良	引張試験片より採取
化学分析試験	良					C、Si、Mn、P、S、Mgを分析

#### (4) 継手性能試験

継手性能試験は、次の4項目について行った。

##### ① 真直水圧試験

U形継手を管軸を一致させた状態で接合し、継手外部より水圧15kgf/cm<sup>2</sup>を5分間負荷した後、継手部からの漏洩の有無を調べた。

##### ② 曲げ水圧試験

U形継手を1°、2°、3°(φ2900 U形継手の限界曲げ角度)と屈曲させ、それぞれに水圧15kgf/cm<sup>2</sup>を5分間負荷した後、継手部からの漏洩の有無を調べた。

##### ③ 曲げ接合後の水圧試験

管軸を1°30′(φ2900 U形継手の許容曲げ角度)曲げた状態で接合し、水圧15kgf/cm<sup>2</sup>を5分間負荷した後、継手部からの漏洩の有無を調べた。

##### ④ 耐外圧試験

図5に示すように、継手部に水圧15kgf/cm<sup>2</sup>を負荷した状態で偏心荷重を載荷し、継手部の変形量の測定および継手部からの漏洩の有無を調べた。

その試験結果は表3に示す通りであり、この継手は十分な性能を有していることを確認した。

図5 耐外圧試験方法

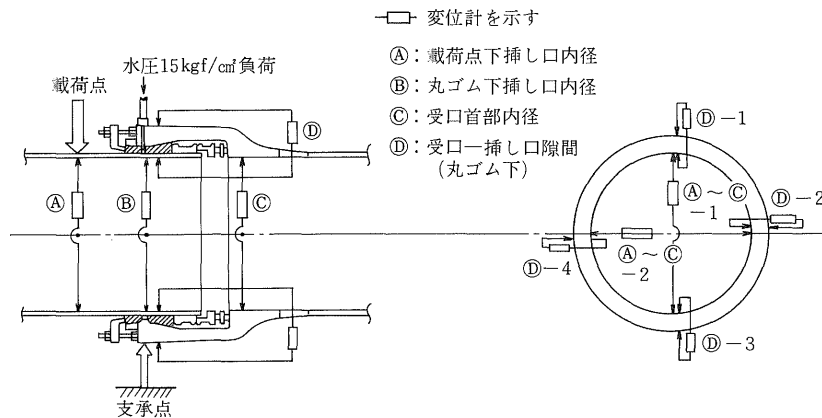


表3 継手性能試験

試験項目	結果
真直水圧試験	水圧15kgf/cm <sup>2</sup> 、5分間負荷異常なし
曲げ水圧試験(1°、2°、3°)	水圧15kgf/cm <sup>2</sup> 、5分間負荷異常なし
曲げ接合後の水圧試験(1°30′)	水圧15kgf/cm <sup>2</sup> 、5分間負荷異常なし
耐外圧試験(受口支承一挿し口載荷)	90Tonf 載荷、漏洩、変形など異常なし

#### (5) 施工性試験

工事現場での配管施工は、

- ① 導水路内への管の搬入
- ② 継手の接合
- ③ テストバンドによる水密性の確認
- ④ 継手部のモルタルてん充

が行われるが、事前に②③④について各作業に要する人員・時間などを調査した。

その結果、呼び径2600mm U形ダクタイル鋳

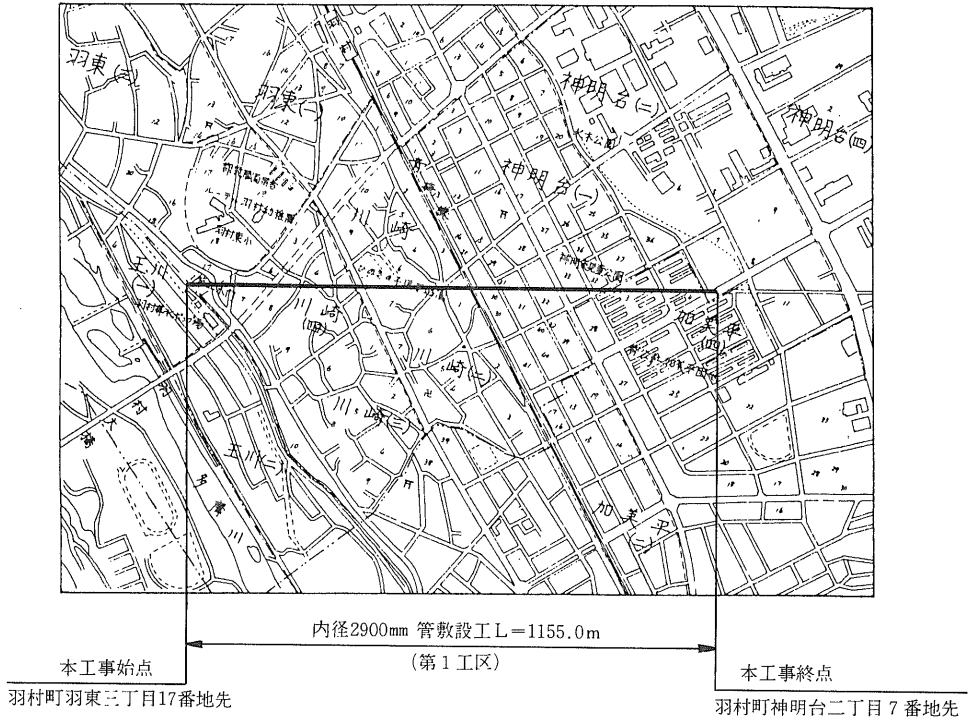
鉄管を使用した場合に比べると、呼び径にほぼ比例して人員・時間とも大きな値となっている。しかし、この値は施工上支障のない程度であると判断した。

#### 4. 工事概要

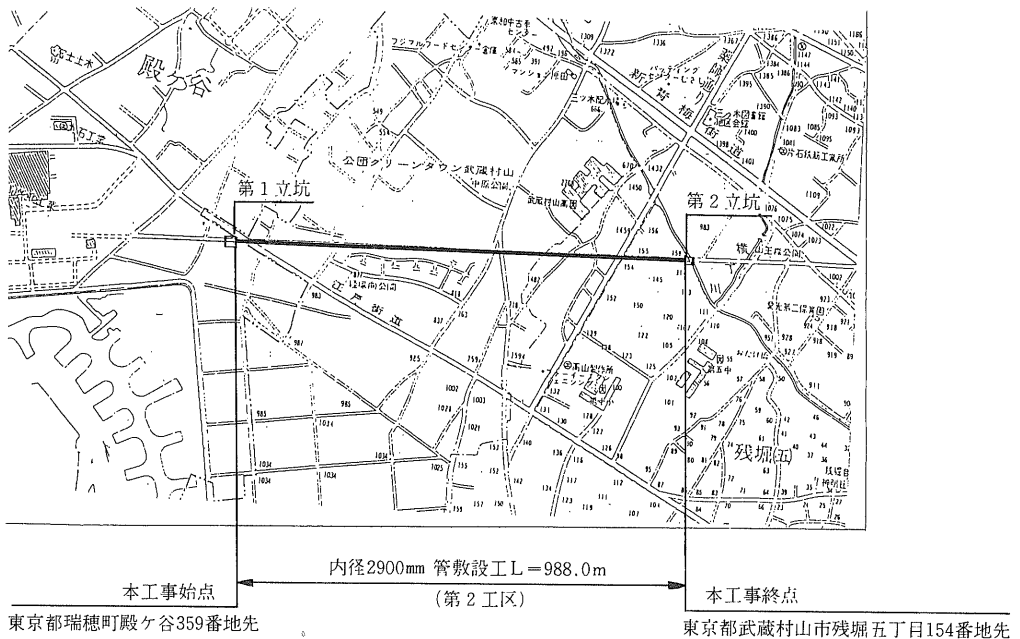
羽村線導水路の改修工事は、全長 8,800m のうち、昭和60年度は次の工区について実施した。

図6 工事場所

第1工区



第2工区



(1) 第1工区

工事場所：羽村取水堰～羽村町神明台四

丁目地先間

工事期間：昭和60年12月～昭和61年5月

工事内容：導水路内配管 (FCDU  $\phi$  2900  
 $l = 1,155\text{m}$ )

(2) 第2工区

工事場所：瑞穂町殿ヶ谷地先～武蔵村山市  
 残堀五丁目地先間

工事期間：昭和60年12月～昭和61年5月

工事内容：導水路内配管 (FCDU  $\phi$  2900  
 $l = 980\text{m}$ )

## 5. 施工

### (1) 管搬入立坑

立坑は、導水路内へ管を搬入するため、管の運搬に便利のように道路に隣接した箇所を選定した。1工区は、羽村取水堰を管の搬入

口とし、2工区は次年度以降のことも考慮して施工区間の両側に管搬入立坑を設けた。

なお、先に行った土質調査から、導水路は第四紀洪積砂礫層に築造されており、礫径も最大100～200mmの石が多く混入していることが確認されている。

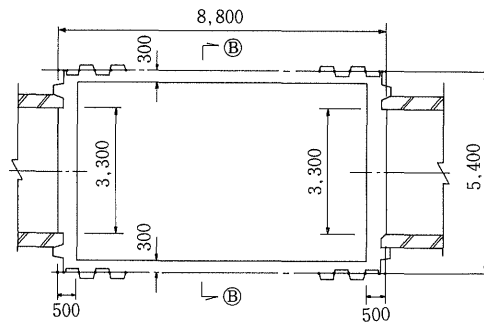
このような土質資料および次年度以降の立坑利用計画などから、立坑の土留は鋼矢板をダブルオーガーによる中掘工法で施工した。

### (2) 導水路内の補修

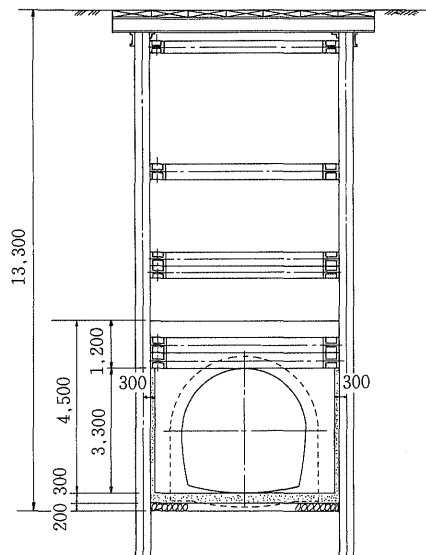
#### ① 一般部

洗掘された導水路のインパート部は、コンクリートにより不陸を修正した。また、導水路のコンクリート打ち継ぎ目、ひび割

図7 管搬入立坑図

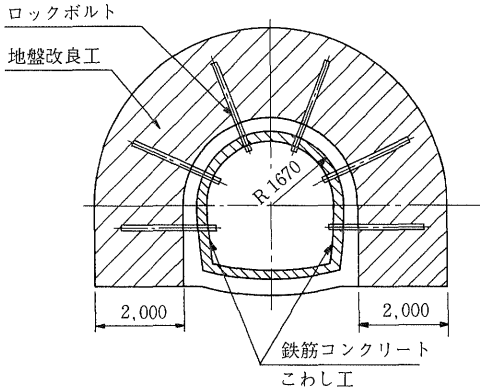


⑥-⑥断面



れ箇所などからの漏水は、配管後注入するエアモルタルの流出を防止するため止水した。

図8 薬液注入およびロックボルト断面図



② 応急補修部

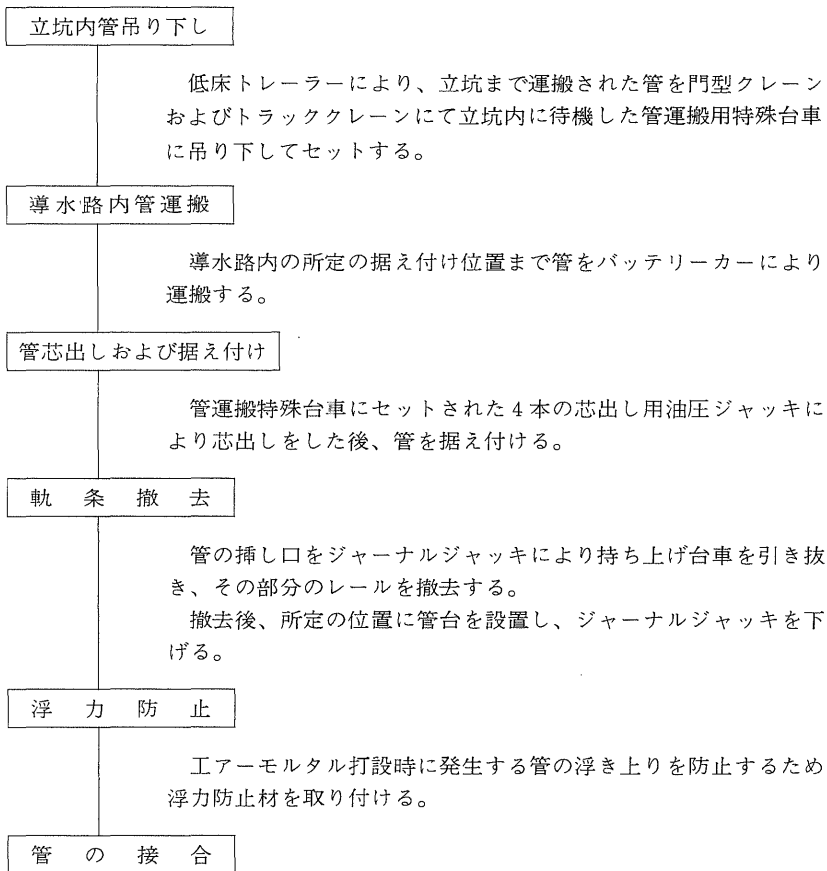
応急補修部は、導水路内から薬液注入を行って地山の改良をするとともに、ロックボルトにより既設導水路壁面を地山に固定し、所定の内空を確保するため応急補修用の鉄筋コンクリートの取り壊しを行った。

(3) 運搬設備

導水路内面とU形ダクタイル鋳鉄管との間隔は片側85mmしかないので、管運搬用台車は特殊な芯出し兼用台車を使用した。また、軌条は導水路の断面、管受口外径、軌条および台車の高さからレールゲージを1625mmとし、導水路のインバートに設置した。

(4) 配管

管の搬入・配管（接合、モルタルてん充・水圧試験）は、下記のような手順で行った。



低床トレーラーにより、立坑まで運搬された管を門型クレーンおよびトラッククレーンにて立坑内に待機した管運搬用特殊台車に吊り下してセットする。

導水路内の所定の据え付け位置まで管をバッテリーカーにより運搬する。

管運搬特殊台車にセットされた4本の芯出し用油圧ジャッキにより芯出しをした後、管を据え付ける。

管の挿し口をジャーナルジャッキにより持ち上げ台車を引き抜き、その部分のレールを撤去する。

撤去後、所定の位置に管台を設置し、ジャーナルジャッキを下げる。

工エアモルタル打設時に発生する管の浮き上りを防止するため浮力防止材を取り付ける。

接合手順に従い継手の接合を行う。次に内面テストバンドによって水圧試験を行い、漏水の有無を確認する。

図9 導水路断面とレールおよび特殊台車の位置図

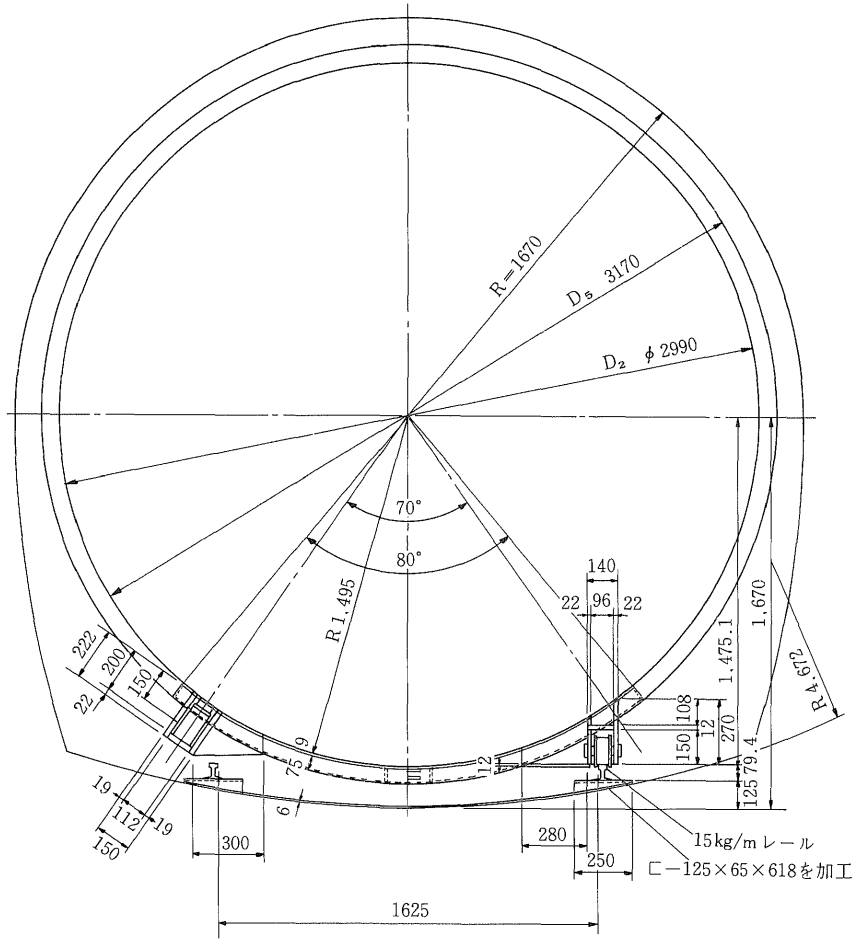


写真1 運搬状況

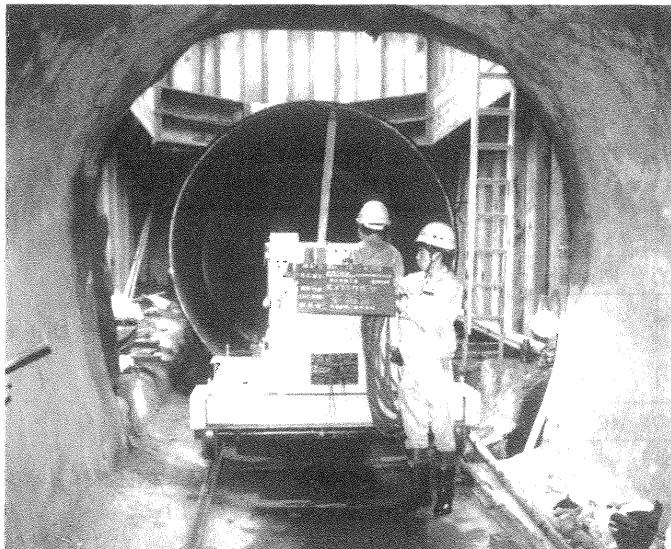
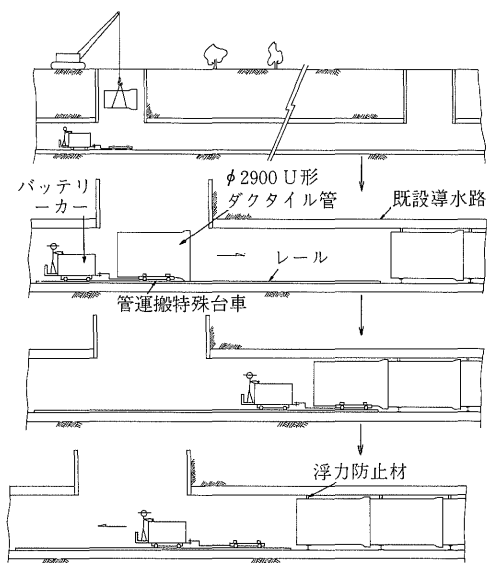




写真2 配管完了



図10 配管施工図



(5) エアーマルタルのてん充

導水路内に呼び径2900mmのダクタイル鋳鉄管を配管する前に、導水路内にあらかじめφ50mmの吐出管を敷設しておく。

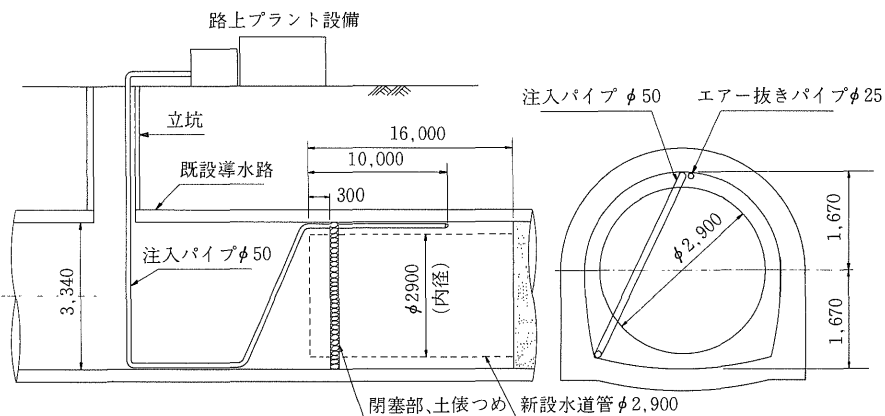
吐出口は、16m間隔に導路上部に設けておき、地上に設置したプラントから注入パイプを通してエアーマルタルを導水路内壁と管との間隙部に注入を行った。

表4 エアーマルタル配合表

圧縮強度	空気量	水セメント比	単位量		
			セメント	発泡液	混練水
20 kgf/cm <sup>2</sup>	62 %	62 %	400 kgf	1.42 ℓ	248 ℓ

フロー値 180±20mm 圧縮強度  $\sigma = 20\text{kgf/cm}^2$

図11 エアーマルタル注入図



エアーモルタルの流出防止は、土のうを管と導水路内壁の間に積み上げ、導水路上部の空気抜き兼てん充確認用塩化ビニル管からエアーモルタルが流出してくるまで注入し完了した。

## 6. おわりに

本工事は、羽村線導水路改修工事のうちの一部を実施したものである。

本来、この種の工事は、仮導水路あるいは新しい導水路を築造してから改修工事を施工するのが一般的である。

しかし、都市化が進む中で、市街地に新た

に用地を取得することは難しく、また、道路占用を考慮しても交通量の増大、大規模埋設物の輻輳などのために導水路を新設することは大変困難である。

この解決策として、今回、短期間に長い延長を狭隘で漏水などのある悪条件の下で、安全・確実に、しかも効率的な施工をはかるためにパイプ・イン・トンネル工法を採用したものである。

その結果、特に大きな問題もなく無事完成できたことは幸いであった。

最後に、施工関係各位のご協力に深く感謝する次第である。