

技術レポート

3

仙台市における 青葉山ずい道配水池内呼び径700mm ダクタイトル鑄鉄管布設工事について

仙台市水道局建設部

建設第1課長 大竹正男

建設第1係主査 川島銀造

1. まえがき

仙台市は今や人口70万人を擁し、その都市圏人口も120万人に達しつつあり、政治・経済・文化・交通など、あらゆる面で都市的集積が進み、東北の中核都市としての役割は一層高まってきている。

仙台市の都市づくりの基本理念は健康都市の建設であり、絶え間のない人口増加による水需要の増加に対しては、数次にわたって拡張事業を強力的に推進してきた。昭和52年度に完成した第4次拡張事業により、隣接市町への分水を含め、その1日の給水能力は35万 m^3 と「健康都市仙台」の名にふさわしい施設を有することとなり、豊かな水を給水している。

しかし、仙台市も最近における仙台港関連施設の拡充、東北高速道路および東北新幹線の開通、さらには昭和61年度開通予定の地下鉄などにより、都市部の高層・高密度・市街地の拡大が進み、人口の増加・集中化、昼間

人口の増大が予想され、これに伴って水需要はますます増加の一途を辿るものと想像される。

このような水需要の増加に対処し、長期的な安定給水を確保するためには、水源の確保が緊要な課題となり、阿武隈川支川白石川上流に国が施行する県内最後の大規模な多目的七ヶ宿ダムを水源として、宮城県営仙南・仙塩広域水道用水供給事業から1日最大28万3,200 m^3 を4カ所で受水する計画を基本に、第5次拡張事業を施工中である。この事業の一環である青葉山ずい道配水池概要と併せて、ずい道配水池内呼び径700mm鑄鉄管布設工事について報告する。

2. 青葉山ずい道配水池の概要

本ずい道配水池は、広域水道から太白受水池で受水した1日最大12万3,900 m^3 の用水を太白の丘陵地帯、青葉山の国有林ならびに青葉

山ゴルフ場、東北大学構内などを横断して市内の中心部に供給するものであるが、これに伴う送水施設の一部ならびに配水池を兼用さ

せた延長3,343m、半径2.5m標準馬蹄形のものである。

この配水池より伸びる配水管は、仙台市が施工する地下鉄と並行して、国が建設を計画している仙台共同溝内に布設予定の中央配水幹線呼び径1000mmに連絡する。また、広域水道から受水するまでに不足する需要水量の一部を補う目的で、釜房ダムを水源とする茂庭浄水場の季節的余裕水を浄水で本ずい道配水池に送水、貯留し、夏季の水需要のピーク時など、一時的な水量不足に対処しようとするものである。

写真-1 ずい道掘削状況

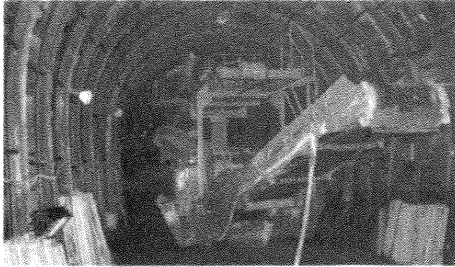


図-1 ずい道配水池関係系統図

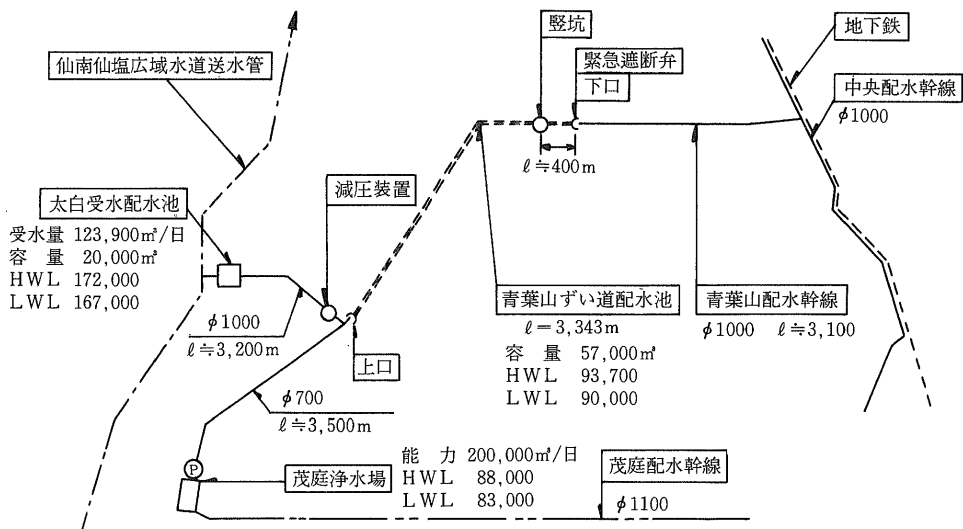
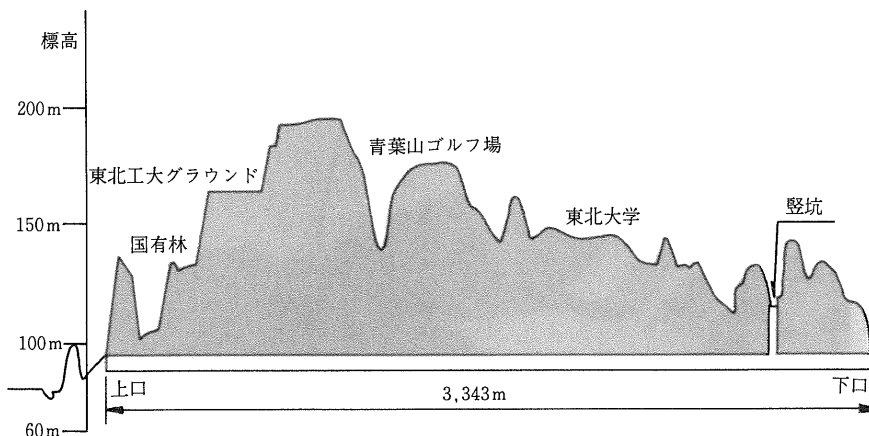


図-2 青葉山ずい道配水池縦断面図



一方、本ずい道配水池が安定した地層の中に築造され、特に地震に対しては地上の構造物よりも安全性が大であることから、災害時における飲料水を確保する有効な施設でもある。仙台市は1978年6月12日、宮城県を中心にしたマグニチュード7.4の宮城県沖地震により震度Ⅴ(強度)を記録した。このため配管工事と併せて緊急遮断弁(呼び径 600mm)をずい道配水池流出側、下口バルブ室内に設置し、地震などの災害時および配水幹線の破損事故などによる過大流量が検知された場合には、ただちに自動的に弁を遮閉し、ずい道内の水を外へ漏らすことなく「命の水」を確保できるようにした。しかも本施設は市の中心部近くにあるので、送水が遮断されても応急的に最小限度の水を給水車にて運搬給水できる重要な施設でもある。

3. ずい道配水池内配管布設概要

「水道施設設計指針」により、一般に配水池は点検・清掃および修理などにより空にすることがあるので、維持管理上2池以上に分けることが望ましく、1池の場合は隔壁で二分してその機能を2池とするか、側管を設ける必要があるとされている。したがって、本ずい道配水池もこれらの配慮が必要であるが、

隔壁で二分した場合は、高価なずい道内の空間断面を減少させて有効貯水量が少なくなるとともに、ずい道の構造上複雑多数の鉄筋の組立てが必要となり、工期が増大して工事費も高くなる。このためずい道配水池内に呼び径 700mm の鋳鉄管を布設して側管とすることとした。しかもずい道配水池を使用中も、こ

写真-2 下口工区立抗よりの管吊り下ろし状況

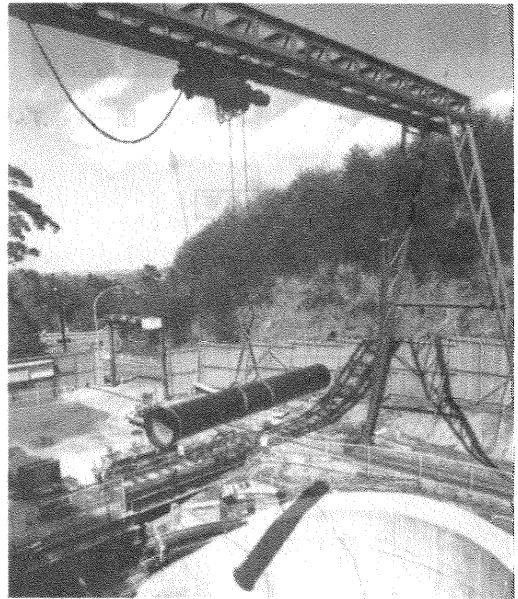
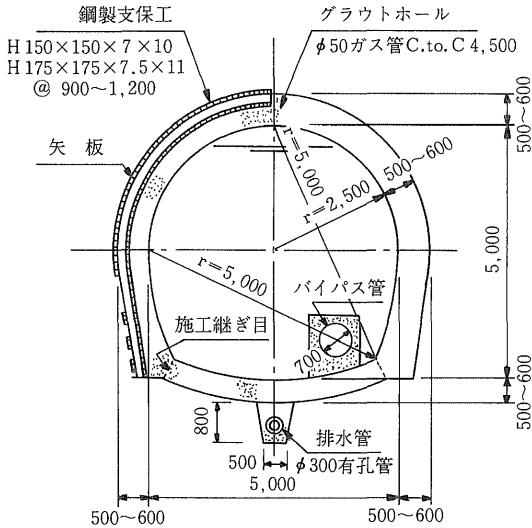


写真-3 下口工区立抗よりの管吊り下ろし状況



の側管は開放状態として使用するのので、側管布設によるずい道断面の減少はなく、有効貯水量にも変化はない。

図-3 標準断面図



ずい道配水池諸元

名 称	青葉山ずい道配水池	
延 長	3,343 m	
容 量	総貯水容量	59,000 m ³
	有効容量	57,000 m ³ (LWL~HWL)
内 空 断 面	標準馬蹄形 (r=2,500, 5,000)	
貯水池水位	HWL	93.700 m
	LWL	90.000 m
縦 断 勾 配	i=1/5,000 (おがみ勾配)	
概 算 工 事 費	ずい道	5,500,000 (千円)
	付帯設備	1,500,000 (千円)

鋳鉄管布設工事は、ずい道工事と同様2工区に分けて施工された。上口工区延長1,716mはずい道本体が5,000分の1のおがみ勾配であるが水平配管とし、下口工区延長1,627mは全線にわたりずい道と同じ勾配で配管しく凸部をなくし、空気溜りが起きないように配慮した。

バイパス管の管種選定に当たっては、鋳鉄管・鋼管・硬質塩化ビニル管などが考えられたが、強度・腐食性・施工性・経済性など、あらゆる角度から比較検討した結果、ずい道内の配管工事であることを考慮して、施工上

鋼管の溶接と比べ管接合作業が短時間にできしかも溶接による換気設備を必要としないダクタイル鋳鉄管を使用することとした。

鋳鉄管および継手付属品の製作仕様は、ずい道配水池内の送水管で内外面とも飲料水に接することから、水質の保全と長年月の使用に耐え得るよう内面はセメントライニング (JIS A 5314)、外面はタールエポキシ樹脂塗装 (JWWA K 115) 塗厚 0.3mm とした。押輪についても鋳鉄管外面と同じタールエポキシ樹脂塗装膜厚 0.3mm とし、またメカニカルボルト・ナットは SUS 304 製品とした。

管支承台は全巻の現場打ち鉄筋コンクリート製で、直管 1本 6m につき受口側、挿し口側各々 1カ所で支承するものである。そのうち挿し口側 1カ所は平パッキン (SBR製 JIS K 6353) 厚 6mm を管に巻いて支承台コンクリートを打設し、支承台コンクリートと管が直接に接触することを避けて、温度変化による管の膨張、収縮を K 形継手で吸収できる構造とした。

4. 設 計

1. 管厚の検討

設計条件は次の通りである。

呼び径 D = 700mm

半 径 R = 350mm

内 圧 P = 2.0 kgf/cm²

外 圧 P = 0.4 kgf/cm²

管 厚 T = 9mm (4種管)

t = 8mm (4種管の公称管厚から鋳造公差を差引いたもの)

(1) 外圧に対する検討

Bryanの式より

$$P_k = \frac{1}{12} \cdot \frac{m^2 E}{m^2 - 1} (n^2 - 1) \left(\frac{t}{R}\right)^3$$

P_k = 挫屈圧力

m = ポアソン数

E = ダクタイル管の弾性係数

n = 凹みの数。2 とする。

$$P_k = \frac{1}{12} \times \frac{(3.5)^2 \times 1.6 \times 10^6}{(3.5)^2 - 1} ((2)^2 - 1) \left(\frac{0.8}{35}\right)^3$$

$$= 5.18 \text{ kgf/cm}^2 > 0.4 \text{ kgf/cm}^2$$

5.18kgf/cm²の外圧が加わった時、
挫屈する。

(2) 内圧に対する検討

内圧により発生する応力(σ)を計算する

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \\ &= \frac{2.0}{2} \times \frac{70}{0.8} \\ &= 87.5 \text{ kgf/cm}^2 < 2,000 \text{ kgf/cm}^2 (\sigma_a)\end{aligned}$$

σ_a = ダクティル 鑄鉄管の許容引張り応力

(1)、(2)より内圧、外圧に対し安全な4種管(T = 9mm)を使用する。

2. 管支承台の検討

(1) 浮力に対する検討

$$\begin{aligned}\text{浮力 } F &= \frac{\pi \times (73.3)^2}{4} \times 100 \times 1.0 \times 10^{-3} \\ &= 189 = 233 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

管1本6mの浮力を2カ所で阻止すると、

$$1 \text{ カ所当たり } 233 \times 3 = 700 \text{ kg}$$

ずい道底版に150mm鉄筋φ13mmを支承台

1カ所当たり8本定着させる。

ずい道底版に埋込んだ鉄筋8本の付着強度

$$\begin{aligned}t &= (12.7 \times \pi \times 15) \times 21 \times 8 \\ &= 10,049 \text{ kg} > 700 \text{ kg}\end{aligned}$$

以上より安全である。

鉄筋定着にはアンカー用樹脂カプセルを使用する。

(2) 地震時における支承台の検討

地震による水平力Hを求める。

$$H = (\text{管と水の重量} + \text{管支承台の重量}) \times \text{水平震度}(0.2)$$

$$= \left\{ 1.775 + (1.2 \times 1.6 \times \frac{\pi \times (0.7)^2}{4}) \times 0.4 \times 2.4 \right\} \times 0.2$$

$$= 0.649 \text{ t}$$

$$M_a = H \cdot h \text{ 転倒モーメント}$$

$$M_b = P' \cdot \ell \text{ 鉄筋4本が耐え得るモーメント}$$

$$\sigma_{sa} = \text{鉄筋の許容引張り応力度}$$

$$P' = \sigma_{sa} \times A = 1,600 \times 1,267 \times 4 = 8,108 \text{ kg}$$

$$M_a = 649 \times 100 = 64,900 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_b = 8,108 \times 115 = 932,420 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

M_a < M_bであり、地震時に対しても安全である。

5. 施工

本工事はずい道配水池内の狭い場所での工事であるため、第1日目管運搬・管据付け・鉄筋定着用孔の削孔、第2日目鉄筋組立て・型枠組立て、第3日目仮受台取付け・コンクリート打設と1サイクル3日の工程で鑄鉄直管L = 6m、10本、布設長60m、支承台20カ所をずい道配水池中央の工区境より各坑口に向って施工した。また、延長3,343mという長大トンネルであることから、換気には十分注意するとともに、使用する機器は排気ガスなどを排出するものは一切使用せず、電動および手動式のものを使用した。

1. ずい道内配管材料運搬

工場より坑口までトラックにて運搬された配管材料は、坑口近くの材料ストックヤードに一時仮置きされ、そこからずい道内に運搬する。坑口に設置してある門型クレーン(2.8トン吊り)を使用して鑄鉄管をナイロンスリングによる2点吊りで吊り上げ、バッテリーフォークリフトにけん引された管運搬台車に下ろされる。管運搬台車には転がり防止のクサビとともに、管外面塗装の損傷防止用ゴムマットを取付けた。積込みを完了した台車は時速20km以下の速度で配管据付け現場まで1本または2本の鑄鉄管を乗せ搬送する。

2. 管据付け

管据付けに先立って管仮受台を設置する(図-4)。管の伸びを考慮して測量を行い、管据付け位置の芯出し、管支承台の墨出しを行い直管1本につき1カ所の仮受台を支承台コンクリートと同一箇所に設置する。仮受台は、最終的には支承台コンクリートに巻き込むようにした。仮受台はSS41等辺山形鋼(L-65×65×6t)製で、あらかじめ工場で加工されたものを使用し、現場ではホールインアンカーによるインバートへの取付けのみとした。

台車に乗せられた鉄管は、据付け場所で現場内の門型クレーン(1.5トン吊り)にて吊り上

図-4 仮受台

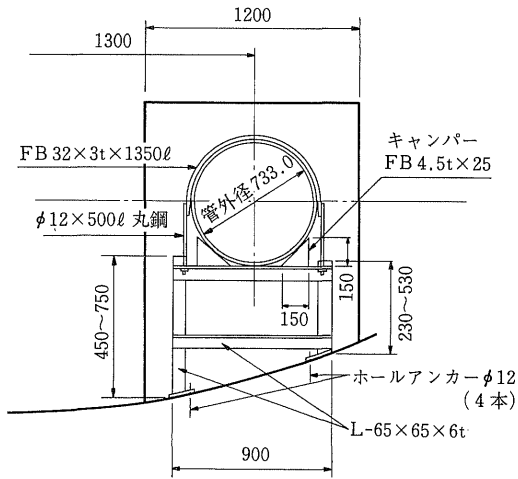


図-5 直管支承台平面図

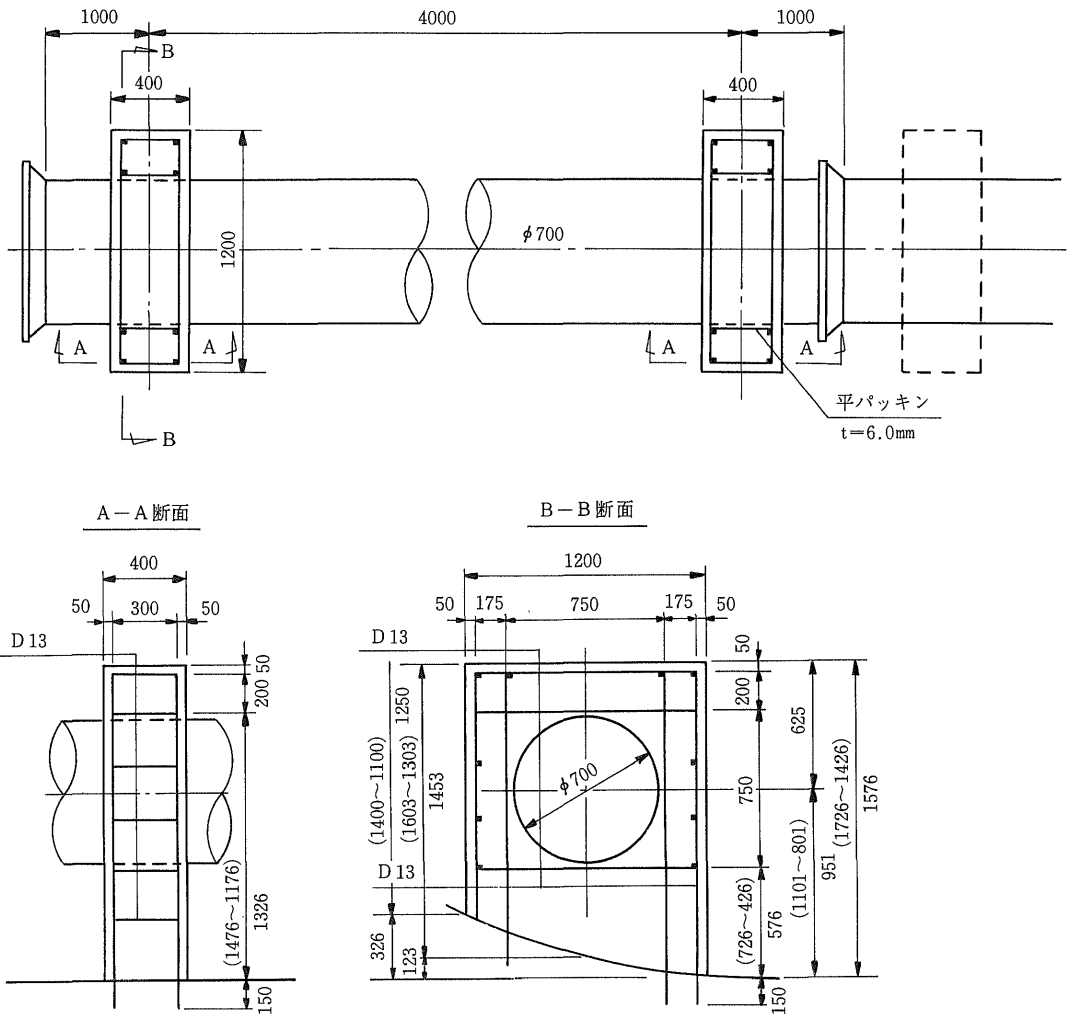


写真-4 管運搬状況

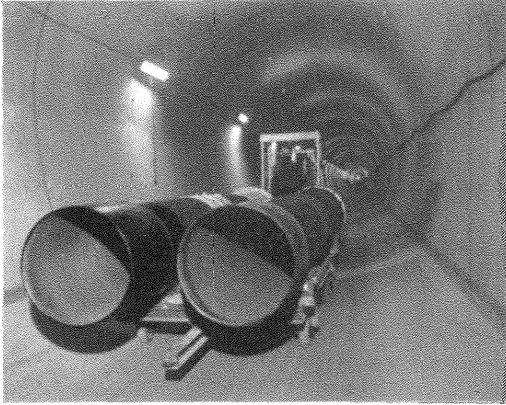


写真-5 管接合状況



写真-6 管接合状況



げられ、仮受台上に静かに吊り下ろし、すでに据付けられた管の受口および挿し口に少し角度をつけて静かに挿入する。門型クレーンにて鋼製パッキンを使用して高さの微調整を行い、正しい位置にセットさせ芯出しを行い完了すればただちに接合作業に入る。接合作業は日本ダクトイル鉄管協会編「K形ダク

イル管施工要領書」に基づき行った。接合用メカニカルボルト・ナットがSUS 304仕様のため、締付け時に生じる摩擦熱の影響で締付け不能となることが十分考えられた。したがって、一般的には焼付き防止剤を使用するのであるが、今回は配水池内の水質汚染の原因ともなることから一切使用せず、次の手順でボルト・ナットを締付けた。

- (1) ゴム輪を管挿し口に預け入れ、まず4本(図-6)のFCD製メカニカルボルト・ナット(M24×120)を使用して締付ける。この時ゴム製のクサビ(図-7)を使用して押輪の中心と管の中心が同心であることを確認する。締付けはスパナ・トルクレンチにて行い、電動式インパクトレンチは使用しない。また、ボルトのT頭と管受口外側の間にもゴム製のクサビを入れ、T頭が水平に保たれるようにして管受口外面の塗装を保護する。
- (2) SUS 304ボルト・ナットを残りの12カ所へセットし、規定の締付けトルク(1,400kg・cm)までトルクレンチにて締付ける。
- (3) FCD製ボルト・ナット4本を取りはずし、SUSボルト・ナットと交換して締付けを行う。
- (4) 上記の作業後、全部のボルト・ナットが規定トルクに達するまで追い締めという手順とした。

図-6 FCD製メカニカルボルト・ナット取付け箇所

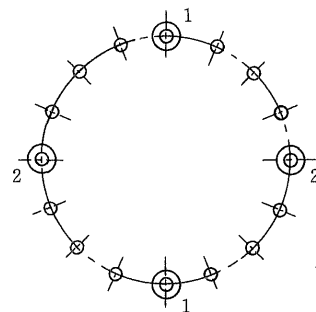


図-7 K形継手および接合時使用クサビ

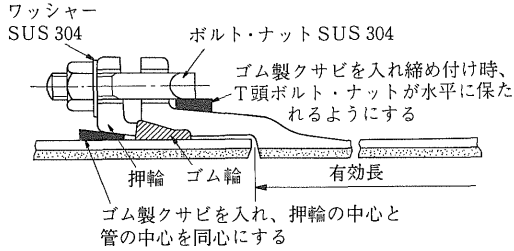
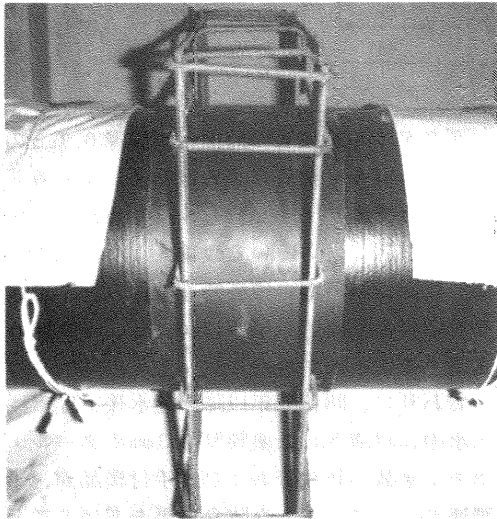


写真-7 鉄筋組立ておよびゴム製平パッキン取付け状況

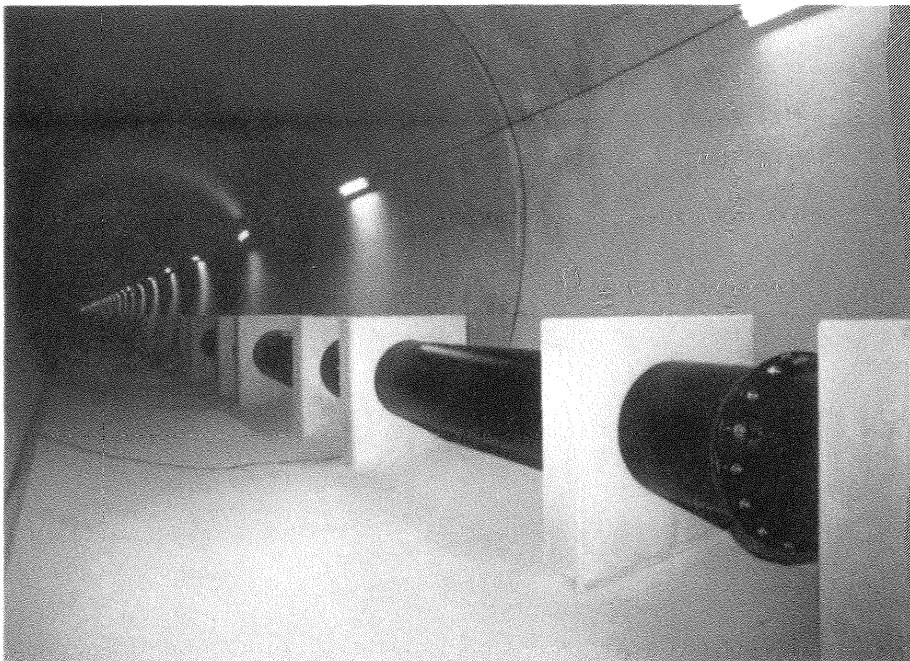


3. 管支承台工事

管据付けに先立ち、ずい道インバートに電動ドリルで鉄筋定着用孔を削孔する。孔は掃除機などでくり粉を除去し、管据付け後樹脂カプセルを挿入して、定着用鉄筋をアンカー打込み機により打込み、その後鉄筋を組立てる。型枠は1支承台当たり8分割として数10組製作し転用していく。

コンクリート打設は坑口までミキサー車にて運搬された生コンクリートを、バッテリーフォークリフトにけん引され、台車の上に乗せられた容量0.5m³のバケツで受け、2~3箇のバケツを打設場所まで運搬する。フォークリフトのフォークに台車から乗せ替えフォークを上昇させ、バケツのシャッターを開けて人力により打設する。型枠組立て・脱型・コンクリート打設時には、管の外面塗装に損傷を与えないよう十分注意するとともに、管にビニルシートを巻き、コンクリート打設の際、管にコンクリートが付着しないよう防護した。特に管に付着したコンクリートは、早い時期に清掃しないと清掃する時に外面塗装を傷つけるので、型枠と管のすき間に

写真-8 布設完成状況



付着するコンクリートは、型枠脱型時に木ベラを使用して管から丹念に取り除いた。清掃後、ホリデーデテクタを用いて塗膜全面について1,500Vの電圧でピンホール検査を行い、施工中傷ついた箇所がないかを調べ、火花の発生するような欠陥があった場合は、ただちに工場で使用したものと同一の塗料により補修した。補修後は電磁微厚計を使用して規定の塗厚に塗られたかを検査する。

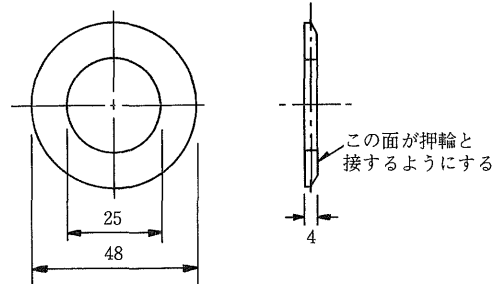
6. あとがき

青葉山ずい道配水池は、配管工事も終了し昭和62年度からの使用を目標に、現在覆工コンクリートおよび管支承台コンクリートへの防食塗装を行っている。

配管工事の施工に当たっては、鑄鉄管外面・押輪ともタールエポキシ塗装なので、塗装に損傷を与えないよう各工程で特に注意した。工場においても、わが国で使用する管材料として本塗装仕様を採用したのは、今回が最初ということで研究が重ねられ、いい製品を現場に搬入してもらった。特にメカニカルボルト・ナットを締付ける際に押輪の塗装が剥離する現象が見られたことから、これをクリアするために幾度かの実験を試みた結果、凸

型SUS製ワッシャ厚4mm、径48mm(図-8)を取付けることにより解決することができた。

図-8 ワッシャー図



ダクティル鑄鉄管の外面に塗膜厚0.3mmのタールエポキシ塗装によるはじめての試みということで当初予想し得なかった場面に幾度となく遭遇し、いろいろ改善を重ねる結果となったが、請負者の積極的な取組みと、迅速な対応により問題を早期に解決し、予定通り完工することができた。

おわりに、昭和62年以降の通水後、塩素注入水中に浸漬された塗膜厚0.3mmのタールエポキシ塗装の鑄鉄管および継手付属品が、予測通りパーフェクトな防食効果をあげてを期待して、今回の工事報告としたい。