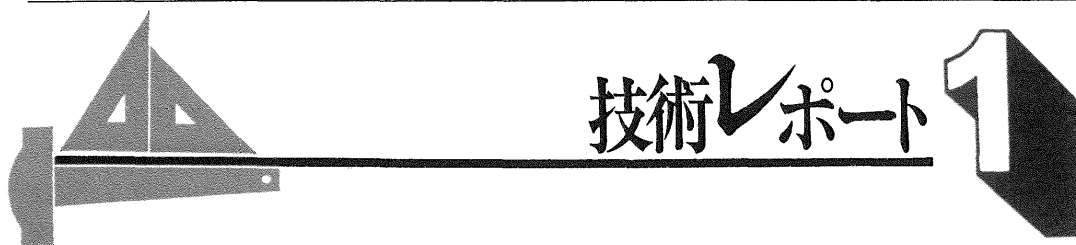


発行年	号数	タイトル	著者	概要
1992年	No.53	P 形ダクタイトイル鉄管による石綿セメント管の更新について	堺市水道局 施設部拡張課 拡張第2係長 山岡 剛 技術職員 浅尾 稔	<p>昭和39年に大阪府営水道の4次水を受水するために布設された呼び径800mm石綿セメント管。大事故もなく今日まで使用されているが、経年劣化による強度の低下が懸念されたため、今回管路更新が計画された。本論では、住宅密集地で道路幅員が狭く、地下埋設部が輻輳しているが、工期が短く、交通規制の期間が短縮できる工法として、PⅡ形ダクタイトイル鉄管を採用したと述べている。この採用によって、工事は順調で安全、経済的に施工でき、今後とも安定した受水が可能となった、と結んでいる。</p>
		非開削工法による管路更新事業について	徳島県板野町 建設水道課 課長 田村 幸雄 課長補佐 扶川 和稔 係長 矢口 哲	<p>水道の歴史も100年を超えると、管路施設の維持管理が水道事業の中で大きな比重を占める。特に長年月埋設された経年管は、使用状況や通水量の増大による管径不足、交通量の増加による強度不足など、更新の必要がある。本論では、これらの状況下により石綿セメント管、塩化ビニル管の更新を進めているが、主要幹線で昼夜とも交通規制の難しい場所は、非開削でダクタイトイル鉄管に更新できるP・A・P工法を採用したと述べている。更新工事は、沿線住民に対する支障や交通規制問題、舗装の維持管理面など、開削工法より低減でき、今後はこれらの工法を多用していくとしている。</p>
		ダクタイトイル鉄管製流雪溝の施工について	富山県細入村役場 産業建設課 山口 勲 滝川 和宏	<p>豪雪地帯であるこの地域で、その雪を排出する流雪溝の計画を昭和61年から始めた。この流雪溝にダクタイトイル鉄管を採用した主な理由は、雨水と1次処理生活排水用下水管を流雪溝と兼用したい、車両通行時に生じる流雪溝の蓋の騒音を抑えたい、曲がり部での雪の詰まりを解消したいなどである。本論では、管路こう配が大きくなるほど処理量も大きくなり、合流部でも雪は支障なくスムーズに流れたし、実際に住民が雪を投入したが問題なく処理できたと結んでいる。</p>

発行年	号数	タイトル	著者	概要
1992年	No.53	空気注入による圧送汚水幹線の硫化水素対策	神戸市下水道局 竹中 恭三 大西 修 (現日本下水道事業団) 株式会社クボタ 田中 直也 川崎重工株式会社 赤松 尚	下水道の輸送システムは自然流下方式が一般的である。が、神戸市では圧送方式を岩岡圧送汚水幹線で採用している。ところが、長距離圧送をした場合、管内で酸素が供給されないため、悪臭や腐食の問題が生じることとなる。そこで、幹線に空気注入システムを採り入れたが、本論では硫化水素の生成を抑制するために必要な空気注入量を検討した結果を述べている。空気を注入した場合、年間を通じて硫化水素濃度をピーク時で10ppm以下に抑えることができ、溶存酸素濃度が1ℓ当たり1mg以上あれば硫化水素の生成を抑制できることがわかった、と結んでいる。
		S 形ダクタイル鉄管を使った汚水圧送計画	小松市 建設部 下水道課 主幹 吉村 外志昭 主査 近藤 公一	人口が集中している木場潟周辺の環境保全上整備を急がなければならない区域および北部の人口集中区域で下水道整備を進めている。この整備事業では、汚水を圧送するためにSⅡ形ダクタイル鉄管を採用したが、木場潟付近は軟弱地盤層と砂れきが入り混じり、現在も道路の不陸状態が発していることからこの管種がとり上げられたのである。本論では、軟弱地盤での施工性と安全面に不安があったが、スムーズに工事が進むにつれて今後の維持管理に自信と安心感が持てるようになったと述べている。
		呼び径800mmGS形ダクタイル推進管を使用した1スパン268mmの長距離推進一倉	安城市 都市開発部 下水道建設課 課長補佐 倉橋 光夫 工務2係長 稲垣 勝幸	下水道事業の活発化に伴い、推進工事で不可能と思われていた長距離推進やS字カーブなどの工事が要求されるようになってきている。安城市においても、泥水加圧元押し工法を採用するため、経済性、管の品質などを考慮して呼び径800mmGS形ダクタイル推進管を採用した。本論では、呼び径800mmの推進工事は管内のスペースが狭く、作業性が悪く、色々と悪条件が重なるものであるが、トラブルもなく施工できた。推進管については一時的に推進力が上昇したが管の耐荷力が施工に活かされ、また、継手部からの漏水もなく、高い止水性能が実証されたと述べている。

ダクタイル鉄管第53号

平成4年10月



## PII形ダクタイトイル鉄管による 石綿セメント管の更新について

堺市水道局施設部拡張課

拡張第2係長 山岡 剛

技術職員 浅尾 稔

### 1. はじめに

堺市は大阪府中央部の西寄りに位置し、西は大阪湾に、北は大和川を隔てて大阪市に接し、東南方向に拡がった136.77km<sup>2</sup>の市域は温暖な気候に恵まれており、人口約81万人を擁する大阪府下第2の都市である。

本市の歴史はきわめて古く、その起源は縄文時代にさかのぼり、5世紀の前半には日本最大の方後円墳—仁徳天皇陵—が築造されるなど、古くから文化が進んでいた。

室町時代には遣明船の発着港となり、当時わが国では稀な自治都市を形成し、また、堺商人を中心に茶道をはじめ香り高い文化を開花させ、経済的にも文化的にも繁栄してきた。

その後、徳川幕府の鎖国政策や大和川の付

け替えによって大きな打撃を受けたものの、糸割符貿易の最高量に中世の名残りをとどめた。

明治22年4月1日、全国31市のひとつとして市制をひいて以来順調に発展を続け、戦後開発された沿岸部における堺・泉北臨海工業地帯は、わが国有数の重化学コンビナートであり、また、南部地域の泉北ニュータウンは計画人口18万人の大規模な住宅地を形成している。

現在は関西新空港の開港を控え、世界に開かれた堺市として調和と風格のある都市をめざして、21世紀に向けて都市の活性化とともに人間性を尊重する快適で住みよい新しい町づくり計画を進めている。



図1 位置図

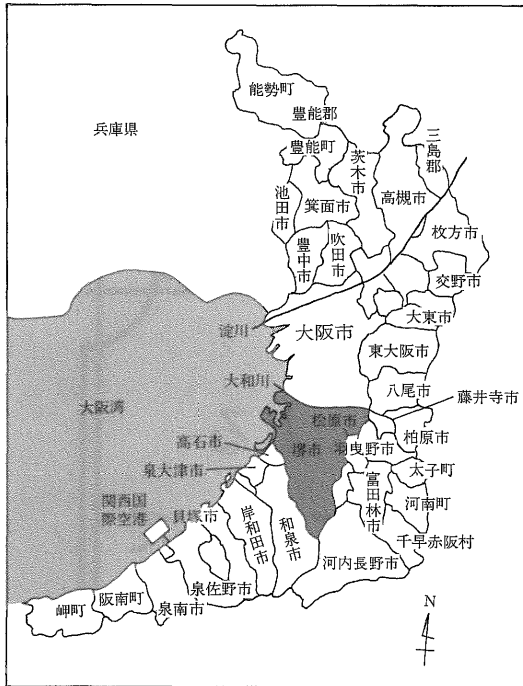


写真1 仁徳天皇陵



## 2. 水道の歴史

当市の水道の歴史は古く、明治43年（1910年）に給水人口1万4,000人でスタートしたが、年々増え続ける水需要に対応するため15次にわたる拡張事業を繰り返して、現在では給水人口81万人、普及率99.9%を達成するに至っている。

当初、水道水源は大和川に依存していたが、

その水量は乏しく、毎年のように夏季には給水制限を行わざるを得なかった。また、昭和30年代になってからの近隣の町村合併、臨海工業地帯の造成や住宅団地群建設などによって水需要は年々増加し、大和川と深井戸だけの水源では到底まかないきれず、淀川を水源とする大阪府営水道の水への依存度が高まってきた。

また、昭和53年には大和川の水質悪化が原因で取水を完全に休止したことによって、現在では水道水の99.87%を大阪府営水道から受水している。

今回紹介する800mm石綿セメント管の受水管は、昭和39年に大阪府営水道の4次水を受水するために布設されたものの一部である。

## 3. 更新工法の選択

当石綿セメント管路は布設から27年を経過しており、幸い大事故もなく今日に至っているが、経年劣化による強度の低下が懸念され、今回府営水道の断水時を利用して当管路の更新を計画した。

管路の更新工法としては、①開削工法、②パイプ・イン・パイプ工法、③ホースライニング工法、④インシチュフォーム工法など、さまざまな工法が開発されているが、検討の結果、

- ① 住宅密集地で道路幅員も狭く、付近住民へ与える影響が少ない工法である。
- ② 他の地下埋設物（水道・下水・ガスなど）が輻輳しており、できるだけ掘削部分の少ない工法である。
- ③ 工期が短く、断水および交通規制の期間が短縮できる工法である。
- ④ 既設管の僅かなだ行や継手部の抜け出しによる段差などに順応でき、しかも離脱することがない継手である。

などの理由により、PII形ダクトイル鉄管を使用するパイプ・イン・パイプ工法を採用することとした。

また、呼び径については必要な受水量を確保するため、呼び径700mmとした。

図2 ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法の概略

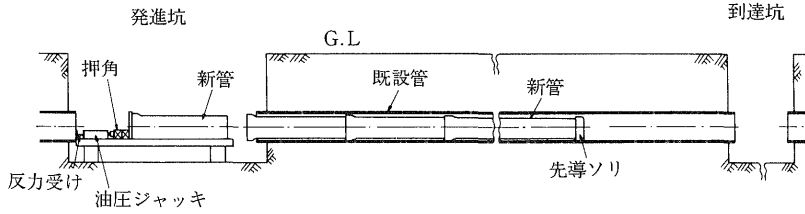
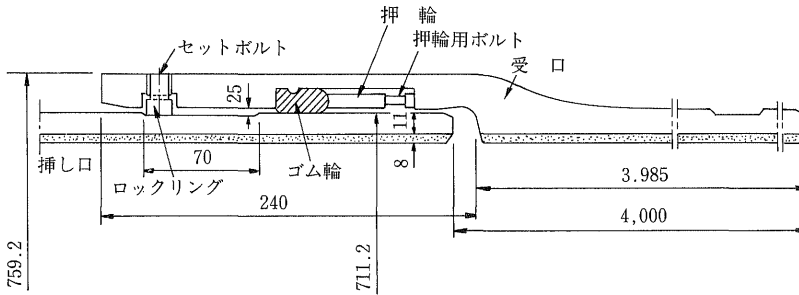


図3 P II形直管呼び径700mm



呼び径700mmP II形ダクタイル鉄管の継手性能は下表の通りである。

表1 継手性能

項目	性能
離脱阻止力	105tf
抜け出し余裕量	55mm
許容屈曲角	3°
曲げ剛性	6.6tf・m
限界屈曲角	4° 25'

#### 4. 工事概略

工事名：深井中町～堀上町受水管布設工事

工事場所：堺市深井中町～堀上町地内

工事期間：平成2年11月22日～

平成3年6月29日

工事内容：P II形ダクタイル鉄管による

パイプ・イン・パイプ工事

P II形呼び径700mm×4.00m

(3種管)

施工延長：立坑No.1～No.4

L=182.4m (3スパン)

立坑No.6～No.7

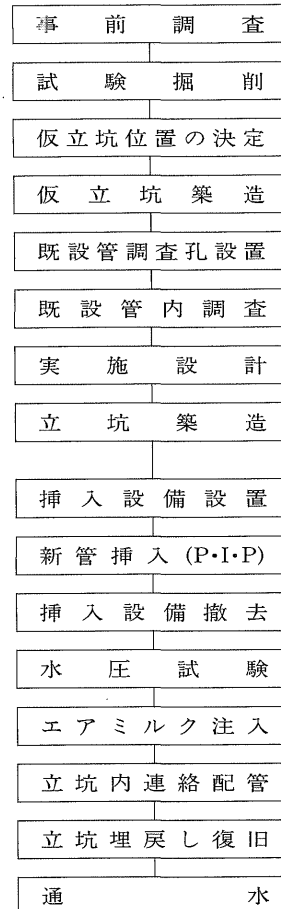
L=320.0m (1スパン)

#### 5. 工事手順

##### 1. 施工手順について

調査から通水までの施工手順は次の通り。

図4 施工手順



## 2. 事前調査について

- ① 配管管理図による既設管の埋設状況の調査。
- ② 現地踏査による既設管の位置調査。
- ③ 現地踏査による交通量、住宅状況、地下埋設物、地上構造物などの調査。
- ④ 管路延長の路上測量調査。

などを事前に行ったが、施工計画を立案する上で十分なものではなかったため、現地で試験掘りを実施し管路の埋設位置、深さなどを確認した。

管内の調査は断水が必要とするので実施できないため、試験掘りの結果より挿入用立坑の位置を仮定して仮立坑を設置し、断水時に管内調査を行うこととした。

## 3. 仮立坑について

仮立坑は円形900mmコンクリートブロックを既設管上部に段重ねして管に穴をあけ、排水、換気および調査のための管内出入口とした。その構造は図5の通りである。

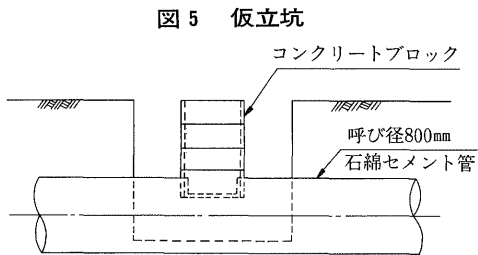


図5 仮立坑

## 4. 管内調査について

仮立坑より次の項目について調査を行った。

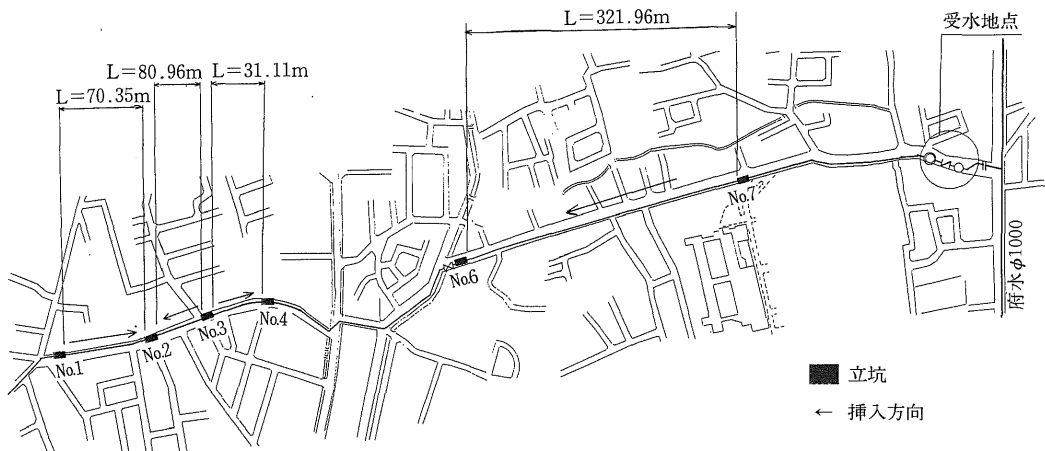
- ① 異形管の有無・使用箇所
- ② 胴付寸法測定
- ③ 継手段差測定
- ④ 管内径測定
- ⑤ 管長測定

調査の結果、異形管はほぼ予想通りの位置にあった。継手部の抜け出しおよび段差なども若干見受けられたが、4m直管の挿入には問題のない程度であった。

写真2 仮立坑



図6 立坑位置図



5. 実施設計について

管内調査結果をもとに立坑位置、配管方法などの実施設計を行った。

立坑位置を図6に示す。

6. 立坑築造

試験掘りなど明確になった他の埋設物の布設替え、切り回しのあと立坑の築造を行った。

交通規制を最少限とするため、到達立坑は管が到達する直前に完成するように配慮した。

発進立坑、到達立坑の写真を次に示す。

写真3 発進坑

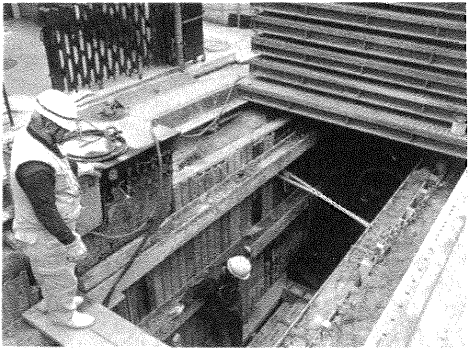
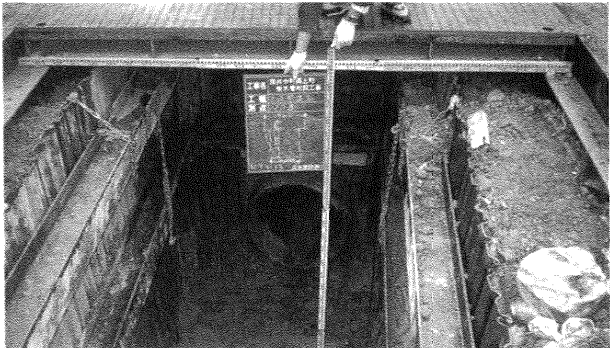


写真4 到達坑



7. 新管挿入 (P・I・P)

① 挿入力は次式で求められる。

$$P = \mu \cdot W \cdot L$$

ここに、P：挿入力 (tf)

μ：既設管と新管との摩擦係数 (0.5)

W：新管の1 m当たりの重量 (0.2175tf)

L：新管の挿入長 (m)

計算の結果、最大34.8tfの挿入力が必要である。

図7 挿入設備の概要

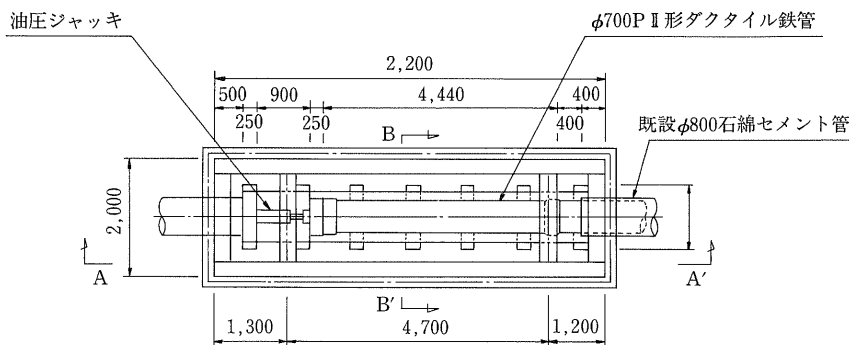
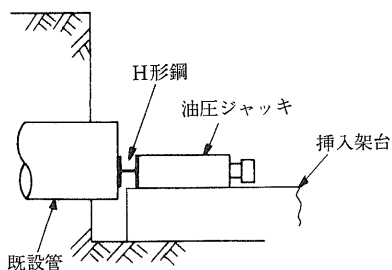


図8 反力受けの構造



② 挿入設備の概要を図7に示す。

③ 挿入架台

挿入架台はH形鋼材を使用した。

④ 反力受け

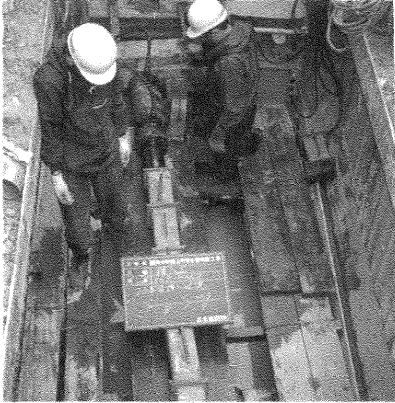
新管の挿入力を支えるために、鋼材を利用して反力受けを設置した。

⑤ 油圧装置

新管の既設管内への挿入は、油圧ジャッキを用いて推進工事と同様に押し込む方法で行う。なお、油圧ジャッキの能力

は挿入力の計算結果から50tfのものを1基使用した。

写真5 挿入設備（油圧装置）



⑥ 先導ソリ

先頭の新管が既設管の継手部の段差を乗り越え、スムーズに挿入できるように先導ソリを先頭管挿し口端面に7カ所取り付けた。

図9 先導ソリ

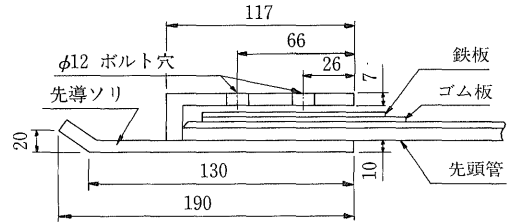


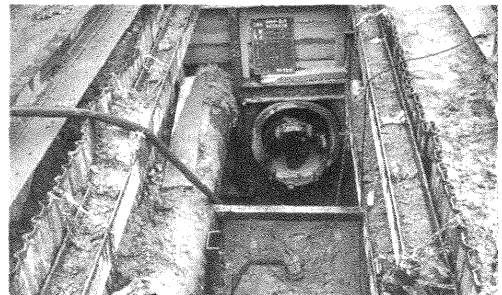
写真6 先導ソリ



写真7 到達状況

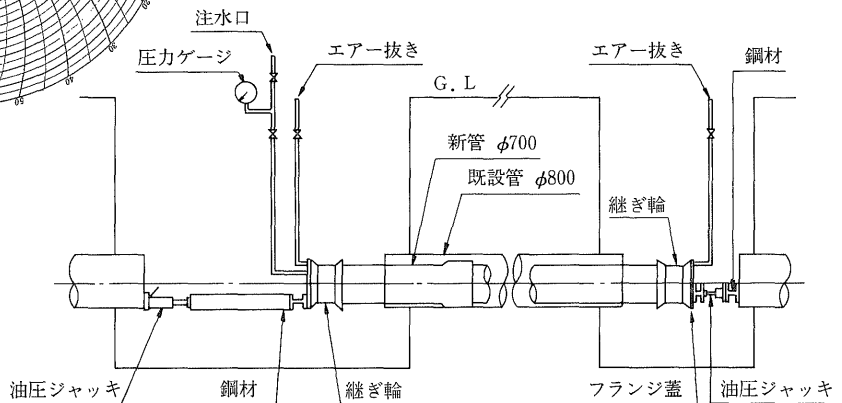
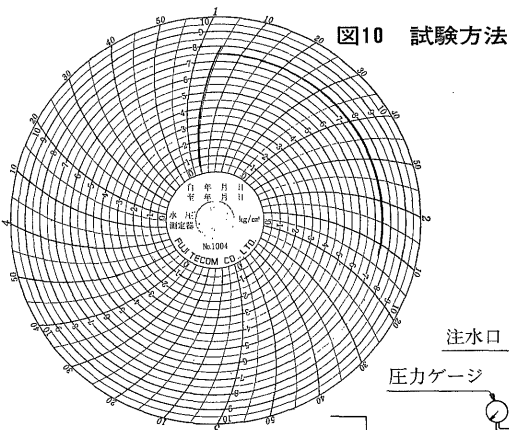
8. 施工実績

4 スパンを連続して新管挿入したが、各スパンとも施工実績は6本～8本/日であり、順調に工事を完了することができた。



9. 水圧試験について

各スパンごとに水圧試験を実施した。



試験水压7.5kgf/cm<sup>2</sup>、保持時間1時間で圧力降下は認められなかった。

エアームルクの配合は次の通りである。

表2 エアームルク配合表

年 度	平成2年度	工事番号	配整備第62-11号
工事名	深井中町～堀上町受水管布設工事		
管種・口径	φ700	延長	320M
注入水量	80ℓ	試験時間	1時間00分
実施年月日	平成3年11月11日	監督員氏名	浅尾 稔

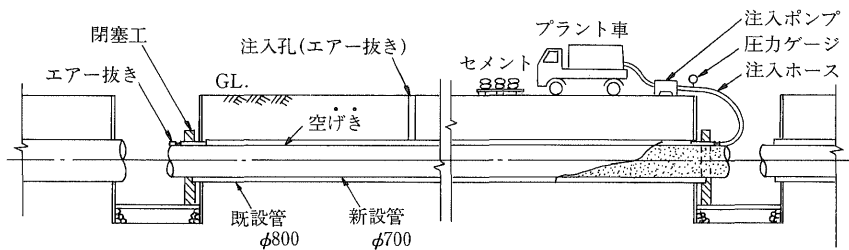
セメント	350kg
水	196ℓ
発泡剤	1.48ℓ
空気含有率	66%
比重	0.58
圧縮強度	147N/cm <sup>2</sup> (15kgf/cm <sup>2</sup> )

10. エアームルク注入

新管挿入後、既設管との間にセメントミルクを注入し、将来の地盤沈下などを防止する。

注入方法を次に示す。

図11 エアームルク注入標準図

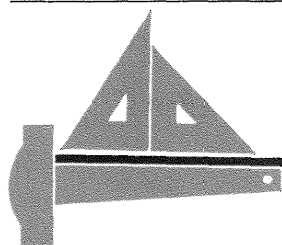


6. おわりに

大阪府営水道からの受水管である石綿セメント管の更新事業として、P II形ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法を採用したが、順調かつ安全に、しかも経済的に施工することができた。これにより強い安全な管路による安定した受水が可能となったこと

は適切な選択であったと考えている。

他都市におかれても同様な老朽管路の更新を計画されているかと思われるが、更新工法の選定に際してご参考になれば幸いである。なお、当工事に際し、設計・施工・技術指導などにご協力をいただいた関係各位に感謝する次第である。



# 技術レポート 2

## 非開削工法による 管路更新事業について

徳島県板野町建設水道課

課長 田村幸雄

課長補佐 扶川和稔

係長 谷口 哲

### 1. まえがき

板野町は、古く律令時代から都と阿波国府それに讃岐国府の3つの拠点を結ぶ南海道の分岐点に位置して、交通体系の変化とともに長い歴史を歩み、源義経が屋島の合戦へと向かうときに選んだのも、大坂峠越えの路であったといわれている。

また、50余年前に鉄道が敷かれて以来、人々の生活幹線として利用された路は瀬戸大橋の開通に伴って、板野駅が本州と直接結ばれる特急停車駅となり、四国も阪神経済圏の仲間入りをした。

一方、四国縦貫自動車道は、平成5年の開通をめざして着々と工事が進んでおり、完成後は大量高速輸送がもたらす経済効果が期待されている。

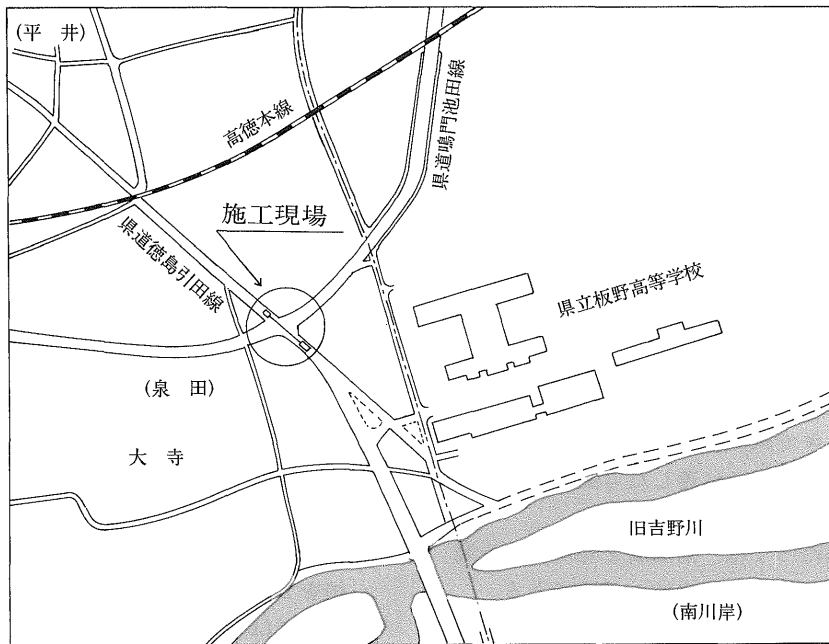
そういった中で、近代水道の歴史も100年を超え、管路施設の維持管理が水道事業の中で大きな比重を占めるようになってきた。

特に、長年月埋設された経年管は使用状況が埋設当時と大きく異なっており、通水量の増大による管径不足や交通量の増加による強度不足などのため、更新の必要に迫られている場合が多い。

当建設水道課でも、交通量が多く、舗装厚も大きい主要幹線道路に布設している石綿セメント管および塩化ビニル管の更新計画を進めている。

今回交通への影響が少ないP・A・P工法を試用し、呼び径125mm石綿セメント管を増径して呼び径150mmPA形ダクトイル鉄管に更新したので、その結果をここに報告する。

図1 施工現場位置図



## 2. 工法の選定

今回計画した更新管路は、呼び径125mm石綿セメント管、総延長144.47mで、そのうち64mが県道鳴門池田線と県道徳島引田線との交差点部に布設してあり、舗装厚も大きく、通行量も多い所である。

特に鳴門池田線は京阪神へ直結する主要幹線道路で、夜間でも昼間と変わりなく交通規制の非常に難しい所から、開削せずにダクトイル鉄管に更新できる工法の検討を重ねて、地域住民や周辺交通への支障などの少ないP・A・P工法に決定した。

写真1 施工現場の交差点





### 3. P・A・P工法について

#### 1. 工法の概要

P・A・P工法は、埋設されている既設管を非開削でダクタイトイル鉄管に更新する方法である。工法の概略および使用機材の配置を図2に示す。

図に示すように、エアハンマを内蔵した掘進機がエアハンマの衝撃力で既設管を破碎し、これを拡径しながら地中を前進する。

同時に、掘進機の後端に接続されたダクタイトイル鉄管（PA形ダクタイトイル鉄管）が、掘進機の前進に合わせて発進立坑内のスライディングジャッキで既設管路跡に押し込まれる。

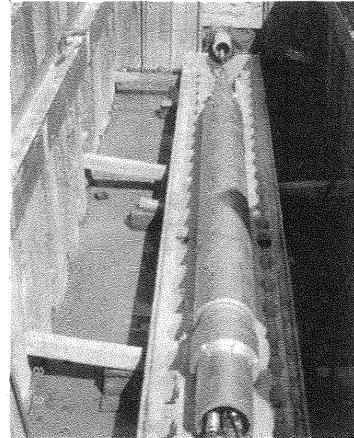
掘進機が到達立坑に達したら掘進機を回収し、管路の更新は完了する。

施工に当たっては、掘進機を発進させる発進立坑、回収する到達立坑が必要である。

発進立坑内にはガイドレール、スライディングジャッキ、立坑周辺の地上には掘進機動力源のエアコンプレッサやジャッキの油圧ユニットなどを配置し、到達立坑には定張力でけん引可能な油圧ウインチを設置する。

この油圧ウインチのケーブルは既設管の中を通過して掘進機先端と結ばれており、常時一

写真2 発進立坑内の掘進機

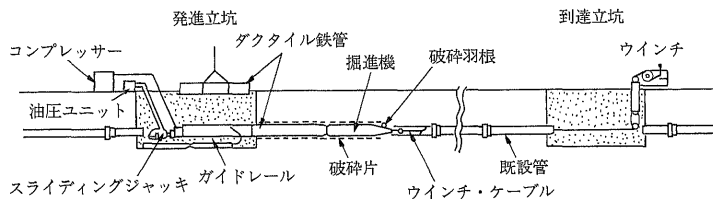


定の力でけん引するので掘進機は常に既設管路の軸線方向にガイドされ、新管が既設管路の通りに布設される。

また、掘進機の頭部には油圧駆動の破碎羽根を2枚取り付けてあり、エアハンマの衝撃だけでは破碎できない継手部などの厚肉部は、これを押し広げて破碎することができる。

なお、本工法は英国ALH社のSize for Size工法をもとに開発した工法で、工期短縮や経済性の改善を主眼として、直接ダクタイトイル鉄管を掘進機に接続できるようにした工法である。

図2 P・A・P工法の概略図



#### 2. 工法の対象既設管路

管種：石綿管、鑄鉄管（FC管）、硬質塩ビ管、その他不とう性管

呼び径：75～250mm

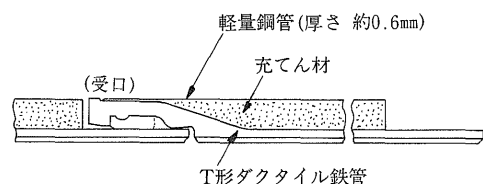
#### 3. 工法に使用する新管

P・A・P工法で布設する新管には、PA形ダクタイトイル鉄管を使用した。なお、この管の呼び径範囲は100～250mmである。

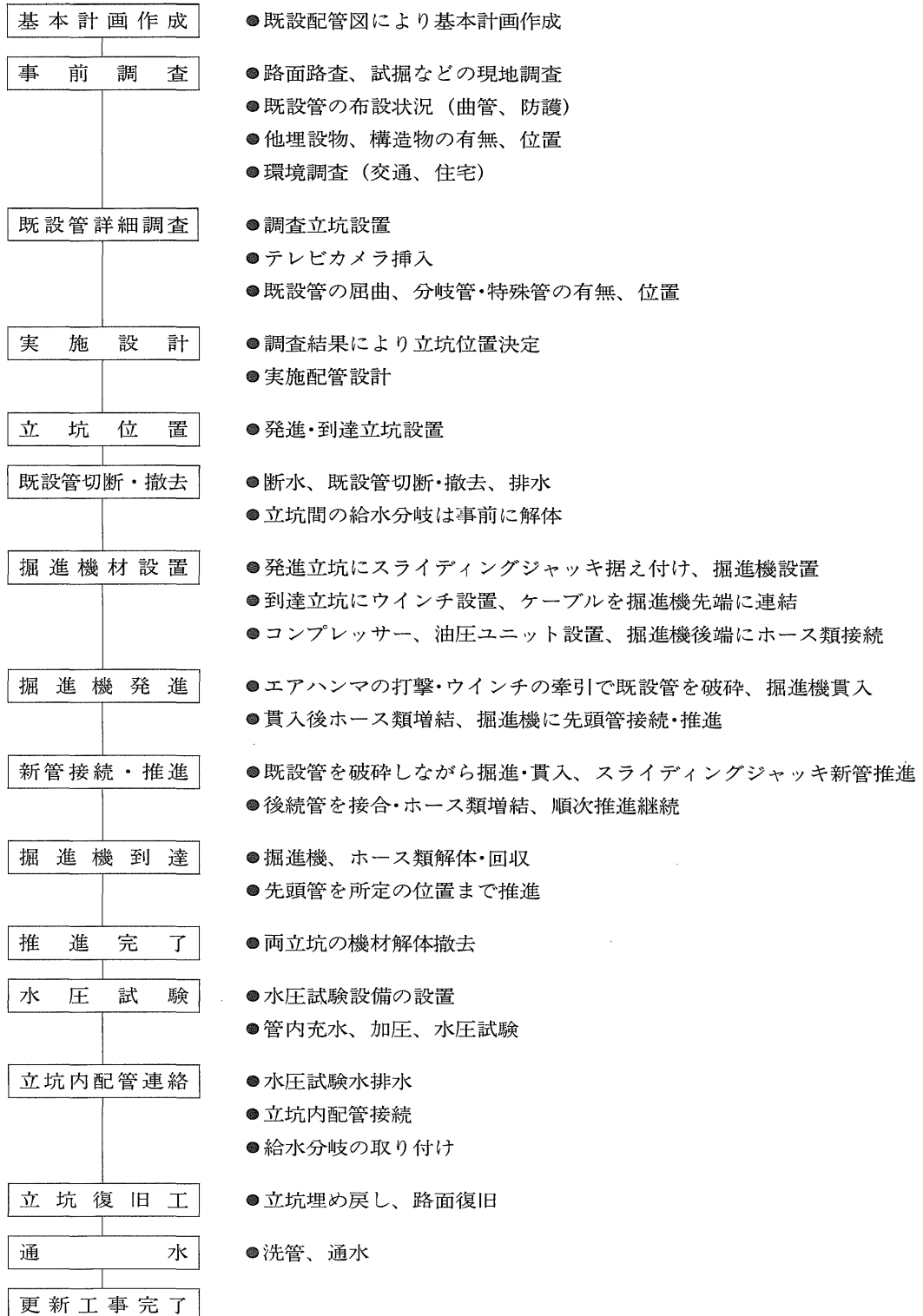
PA形ダクタイトイル鉄管は、JIS G 5526に規定されているT形ダクタイトイル鉄管に外装を施

した管で、図3に示すように外枠となる軽量鋼管とダクタイトイル鉄管とのすき間をモルタルで充てんした構造である。この外装により管外径は全長にわたって同一となり、ダクタイトイル鉄管押し込み時の抵抗を軽減させている。

図3 更新用 PA形ダクタイトイル鉄管



## 4. 施工手順



## 4. 施 工

### 1. 工事内容

工事名称：板野高校前配水管布設替工事

工事場所：徳島県板野郡板野町大寺  
(県道鳴門池田線)

工事期間：平成3年6月18日～  
平成3年9月30日

更新長：L=144.47m (内64m P・A・P  
工法による更新)

既設管路：呼び径125mm 石綿管 本舗装  
土かぶり1.1m

更新管：呼び径150mm PA形 ダクタイル  
鉄管、K形ダクタイル鉄管

土 質：真土 湧水少々

発進坑：7.2m×1.5m (写真6)

到達坑：5.0m×1.4m (写真7)

更新工法：P・A・P工法

更新長144.47mのうち、開削することの困難な交差点の横断部64mをP・A・P工法で、残りの80.47mを開削工法で布設替えした。

また、更新区間内にある4カ所の給水分岐には仮設管を設け、給水を確保した。

図4 立坑 配置図

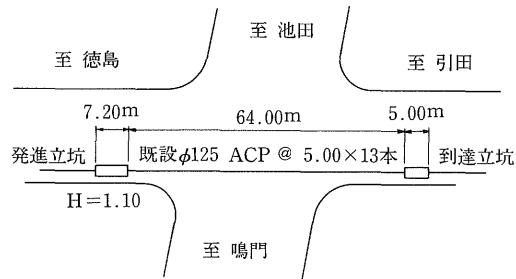


写真3 発進立坑

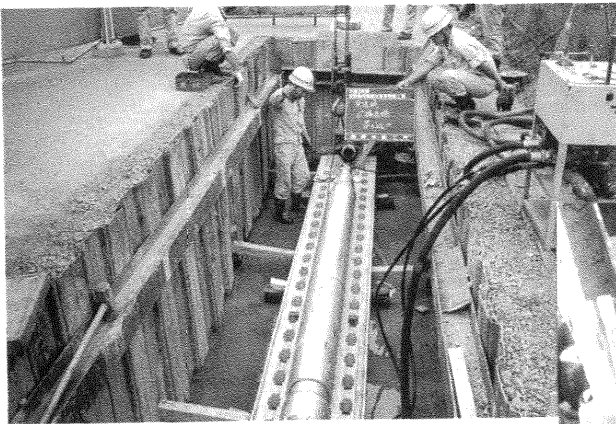
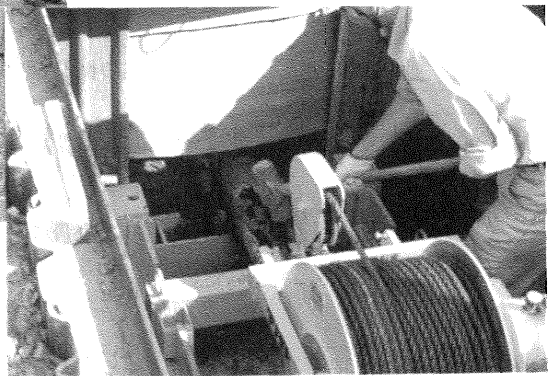


写真4 到達立坑



2. 施工結果

計画日数よりも早く完了した。

1. 全体工程

特に懸念された交差点部については交通障

施工の全体的な工程は表1に示す通りで、

害もなく短期間で施工できた。

表1 工程表

項目	2日	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
準備工	■	■	■												
開削部布設工				■	■										
仮設給水					■										
発進, 到達坑構築						■	■								
管内調査								■							
機材据付, 撤去									■	■					
推進工										■					
立坑内連絡配管											■	■			
立坑埋め戻し													■	■	
給水管接続														■	
路面復旧															■

2. 既設管内調査

工事にあたり既設管内の事前調査を行った。調査の内容は、管路の金属物探査と埋設されたままの状態に残っている仕切弁の有無を確認するため、金属探知器と管内調査カメラを利用した。

写真5は金属探知器のセンサーを挿入している状況であり、写真6は管内TVカメラを用い既設管路内の調査をしている状況を撮影したものである。

はじめに金属探知器で調査した結果、発進坑より26.5m, 38.7m, 47.2m, 55.0mの4カ所で金属反応があった。これらの金属反応部を管内より確認するため、管内にTVカメラを通した結果、管路は4mごとに継手が確認されたが、いずれの継手部も金属反応のあった位置とは異なったので、石綿カラーで接合されていると判断した。

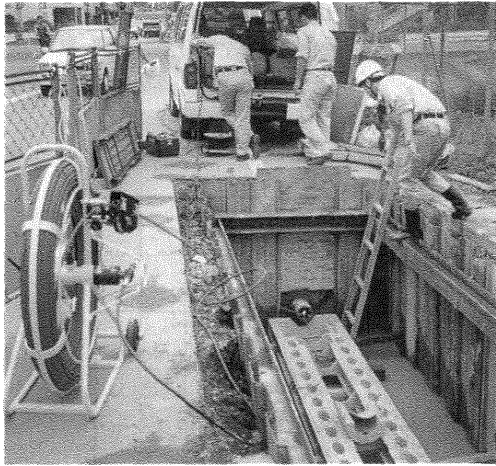
金属反応を示した部分は、いずれも継手部

をはずれており、近接している他埋設物の影響と考えられ、心配していた仕切弁の埋め込み、異形管の使用はしていないことを確認した。

写真5 金属探知調査



写真6 管内TVカメラ



### 3. 推力

更新管の推力を1mごとに油圧計の値を読み取り、圧力換算した。

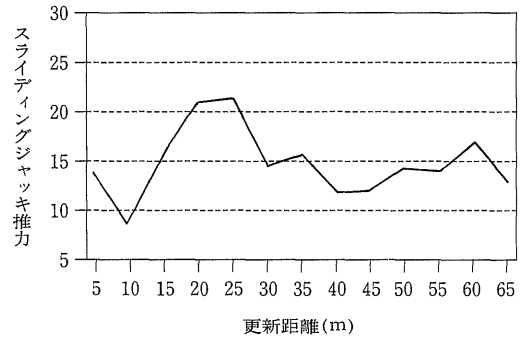
表2に示す推力は、5m管1本の平均値で大きなバラツキもなく、低い値で安定しており、50tf、500mmストロークのスライディングジャッキで余裕をもって更新できた。

これは、掘進機がエアハンマの衝撃力によって、既設管を破碎しながら自走するため、かなりの長距離スパンの施工が期待できる。

表2 PA形管挿入時の平均推力

本数	更新距離 m	ゲージ圧力 kgf/cm <sup>2</sup>	ジャッキ推力 tf
1	5	190	13.6
2	10	120	8.6
3	15	220	15.7
4	20	301	21.6
5	25	308	22.1
6	30	204	14.6
7	35	219	15.7
8	40	166	11.9
9	45	170	12.2
10	50	199	14.3
11	55	192	13.8
12	60	237	17.0
13	65	180	12.9

図5 PA形管挿入時の平均推力



### 4. 施工速度

更新管をユニック付きトラックに必要な本数だけ積み、発進側に駐車させて、管の小運搬時間を省くようにし、一方、更新管はスライディングジャッキで後押しして、掘進機の自走を速めた。

その結果は表3に示すように、1本(5m)ごとの更新サイクルが平均23分で、1時間の更新長が13mとなり、工事を早く終えることができた。

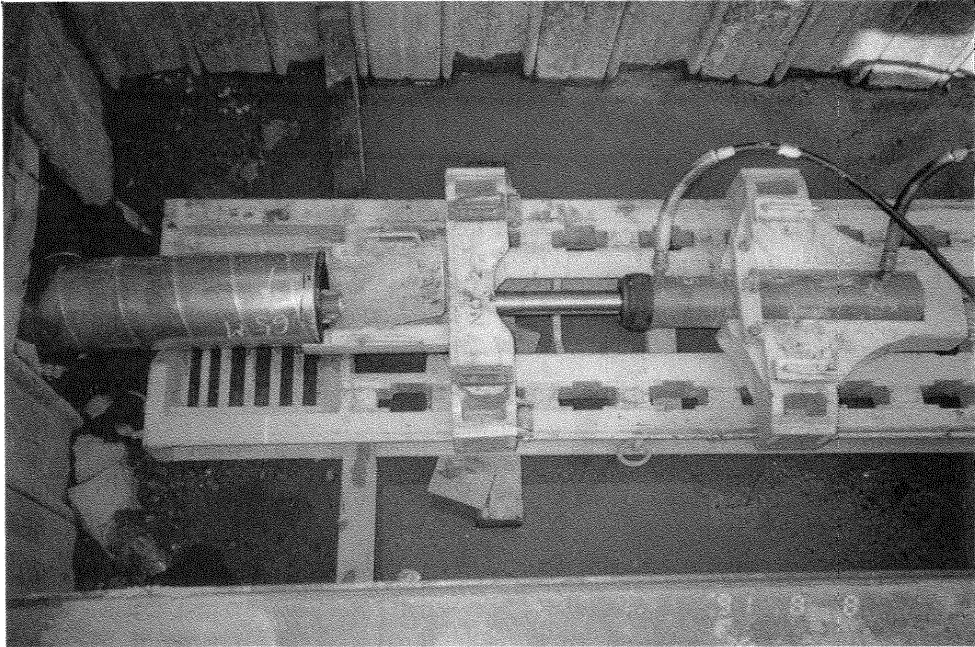
### 3. 施工総括

本施工に当たり特に留意したことは、交通

表3 PA形管 更新サイクル

本数	更新距離 m	更新サイクル (分)		
		接合	挿入	合計
1	5	22.41	13.37	35.78
2	10	9.70	13.00	22.70
3	15	7.68	12.81	20.49
4	20	9.53	14.43	23.96
5	25	7.59	18.32	25.91
6	30	6.72	14.60	21.32
7	35	5.89	12.80	18.69
8	40	7.76	13.32	21.08
9	45	7.30	13.75	21.05
10	50	7.51	17.53	25.04
11	55	8.02	12.88	20.90
12	60	5.47	15.69	21.16
13	65	8.18	12.44	20.62
5m当たりの 平均時間		8.75	14.23	22.98

写真7 PA形管の推進状況



量の多い交差点の横断であるから、交通障害を最小限にすべく工期の短縮、立坑の簡素化また、機材の配置などできるだけ交通の妨げにならないようにレイアウトして道路は終日開放し、短期間で更新した。

今回の施工は、非開削部が短距離なので、単純に費用面だけを見ると、あまり有利性が出てこないかも知れないが、このような開削工事が困難な場所においては、本工法の持つ特長が十分に活かされ、計算できない多くのメリットがあった。

さらにこれが、仮に倍の距離であった場合でも、立坑の規模、数、機材の搬入および据え付けなどに要する費用は変わらないので、長距離になればなるほど有利性は大きくなると思われる。

## 5. むすび

配水管の更新工事に当建設水道課として初めて非開削工法を採用し、大した支障もなく工期内に増径更新工事を完了した。

当初危惧した、沿線住民に対する支障や、交通規制の問題、復旧後の舗装の維持管理面など、従来の開削工法より低減できた。

今後、本町の開削施工の困難な場所での管路更新には同工法、または、これと同様のP・T・P工法を多用していく所存である。

維持管理時代を迎えた現在、経年管路の更新は重要な課題になりつつあり、種々の制約条件下での管路更新を計画されるとき、本報告が参考になれば幸いである。

# 技術レポート 3

## ダクタイトル鉄管製流雪溝の 施工について

富山県細入村役場産業建設課

山口 勲

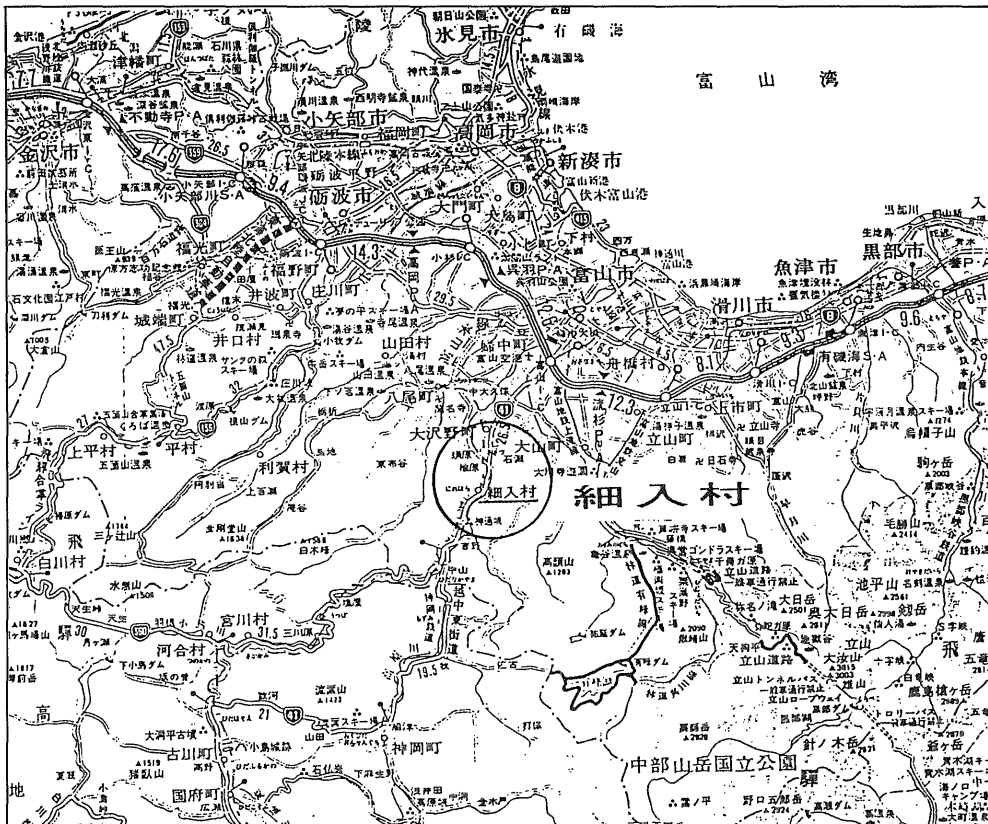
滝川和広

### 1. はじめに

当地は、富山県の中心を流れる神通川の上流に位置し、古くから飛驒・高山を經由して北陸地方と中部地方とを結ぶ飛驒街道（西街道）沿いの町として発達してきた。

地形的には、標高3,180mの槍ヶ岳を中心とする高山連峰を背にしており、年間平均積雪深1.3m、最大積雪深3.0mの豪雪地帯でもある。

図1 位置図



## 2. 流雪溝の概要

流雪溝は、道路上に積もった雪を処理するため、U字溝（コンクリート製）の中に水を流し、その流水の力で投入された雪を排出す

る施設のことである。

当課において、流雪溝の計画を始めたのは、昭和61年からであり、これまでの延長4,175 m、各戸への普及率は約50%である。

図2 流雪溝の整備地図

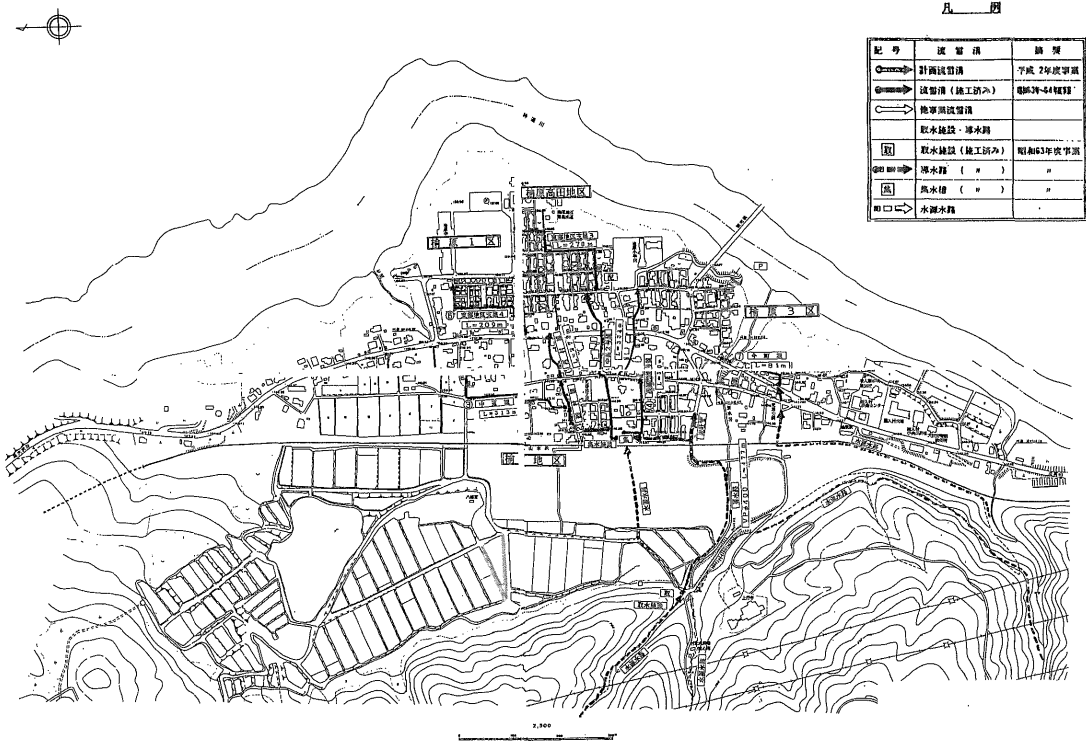
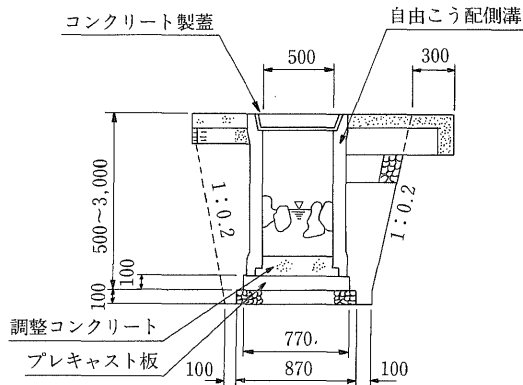


図3 コンクリート製U字溝の構造(例)





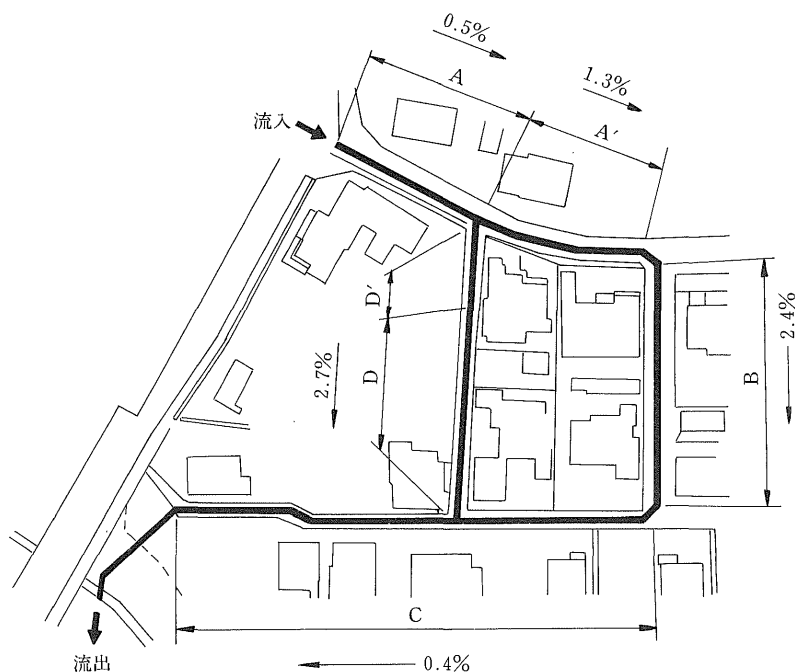
### 3. 工事概要

- (1) 工事名：楡原三区流雪溝工事
- (2) 工事場所：細入村楡原三区地内
- (3) 工期：平成3年10月9日～  
平成4年2月20日

- (4) 施工延長：呼び径500mmダクトイル鉄管(T形、K形3種)×280m
- (5) 工事内容：本工事は、雪および雨水処理と1次処理された生活排水処理を兼ねて行った工事である。

図4 ダクトイル鉄管製流雪溝の管路図

(注) 図中の数字%は管路こう配を示す。



### 4. 流雪溝の工法選定にあたって

- (1) 雨水と1次処理された生活排水用下水管を流雪溝と兼用したい。
  - (2) 民家と隣接した生活道路であるため、車両走行時に生じる流雪溝の蓋の騒音を極力抑えたい。
  - (3) 90°曲がり部、合流部での雪の詰まりを解消したい。
  - (4) 各地区へ流雪溝用水を配分して使用するため、多量の水量が確保できない。
  - (5) 本工事区間は、道路こう配の変化が大きいため、U字溝では側壁の高さが幾種類にもなり、材料管理が煩雑となる。
- 以上の点から、施工性、経済性に優れたダクトイル鉄管製流雪溝を採用することとした。

## 5. ダクタイル鉄管製流雪溝について

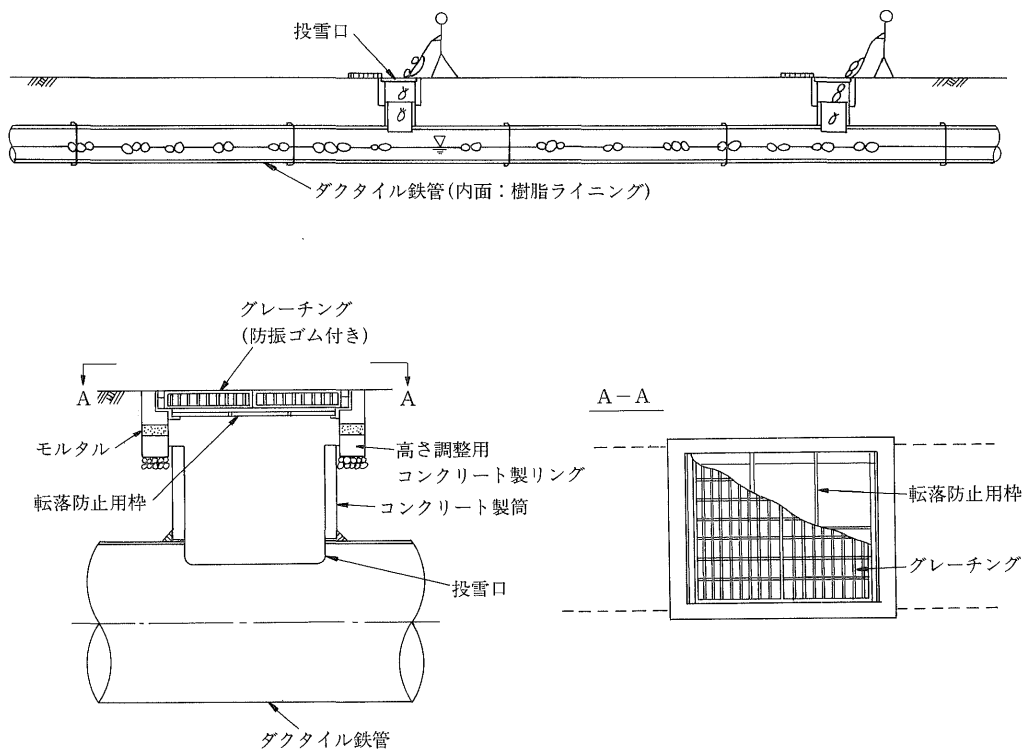
### 1. 構造

上水道、下水道、ガス管などで多く使用されているダクタイル鉄管の内面に、樹脂ライニングを焼き付け塗装したものである。この樹脂ライニングは、エポキシ樹脂粉体塗装

であり、管内面との密着性、表面の平滑性、耐摩耗性、耐酸性に優れている。

また、投雪口部は車両走行時に騒音を生じさせないため、グレーチングとコンクリート製筒の間に防振ゴムを設けた。

図5 ダクタイル鉄管製流雪溝の構造



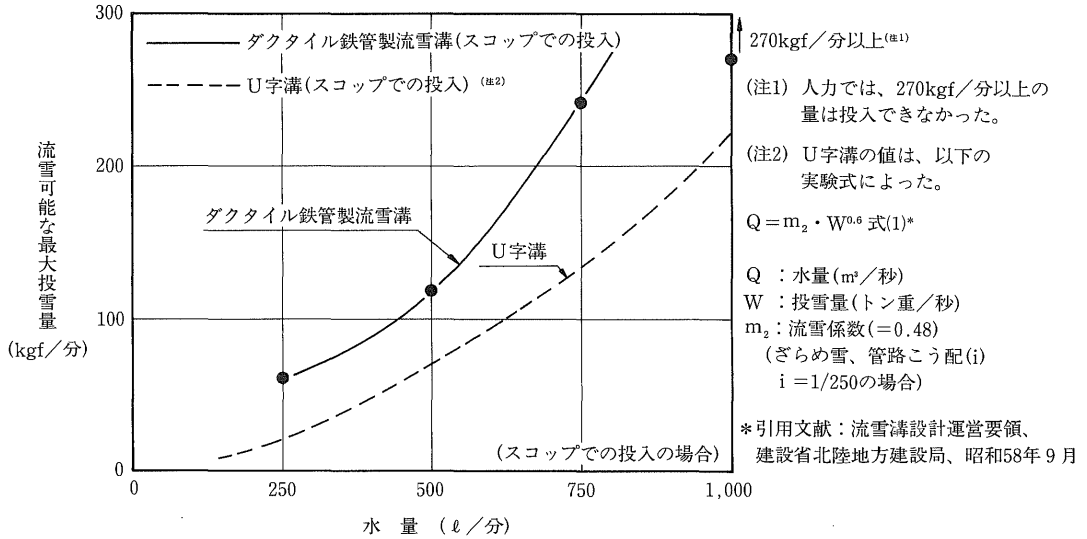
### 2. 特徴

- ① 流雪溝断面が円形であり、かつ内面に平滑性がある樹脂ライニングを施しているため、流雪性能に優れている。
  - (a) 同一水量に対する流雪量が大きい (U字溝の1.5～2倍程度)。
  - (b) 必要水量がU字溝に比べ少ない。
- ② 埋設管であるため、車両走行時の騒音

が生じにくい。

- ③ 現場でのコンクリート打設や道路こう配による使用材料の変更などがなないため、施工が容易である。
- ④ 雨水、生活排水および酸性の強い温泉水などを管内に流すことも可能である。
- ⑤ 各地区に施工された流雪溝に、水を搬送する圧送管路との連結が可能である。

図6 水量と流雪可能な最大投雪量の関係  
(ダクタイトイル鉄管製流雪溝とU字溝の比較)



(出典：第8回日本雪工学大会 論文集、1992.1)

## 6. 設計、施工

以下の手順により設計、施工した。

### (1) 現地調査

現地の地盤高さの測量を行い、管路こう配を決定した。管路こう配は、図4に示すように管路区間により0.4~2.7%とした。

### (2) 投雪口および1次処理された生活排水の取水位置の決定

住民との協議により、投雪口は6~10mに1カ所設置すること、また、1次処理された生活排水は、各家庭から1カ所取り出すこととした。

### (3) ダクタイトイル鉄管製流雪溝の布設

通常行われているダクタイトイル鉄管の施工手順に従い、掘削、床均し、管の接合を行った。

### (4) 投雪口用のコンクリート製筒の設置

ダクタイトイル鉄管に設けられた投雪口用穴にコンクリート製筒を設置した。

### (5) 雨水および1次処理された生活排水の取水管の取り付け

現地にて管に穿孔し、塩化ビニル製ブラケットを取り付けた。

写真1 配管状況



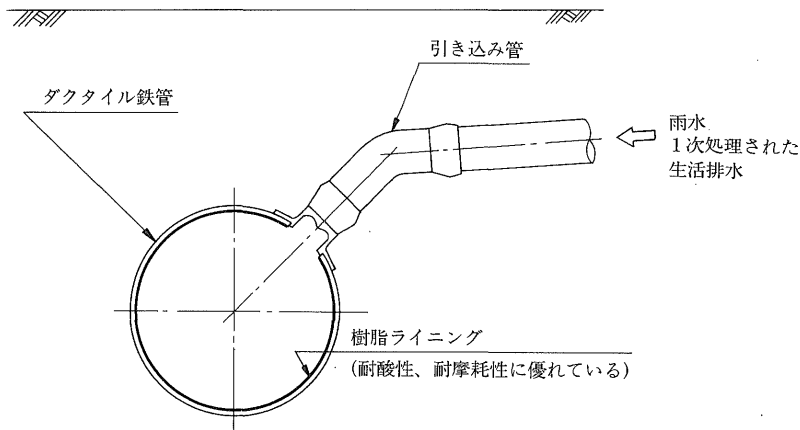
写真2 コンクリート製筒の設置状況



写真3 舗装完了後



図7 雨水および1次処理された生活排水の引き込み管の設置状況



(6) 埋め戻し

管頂10cmまでは砂で、それより上は発生土、碎石の順で埋め戻した。

(7) グレーチングの設置

グレーチングの下部にコンクリート製の高さ調整用リングを敷き、道路高さと合わせて据え付けた。

(8) 舗装

7. 流雪性能について

配管施工後、管内の水量を変えたときの流雪可能な最大投雪量の試験計測を行った。

図8に、スノーダンプを用いて投雪した場

合の試験結果を示す。

その結果、以下のことがわかった。

- (1) 管路こう配が0.4→1.3→2.4%と大きくなるほど、同一水量での流雪処理量も大きくなる傾向があった。
- (2) 水量が2 m<sup>3</sup>/分あれば、管路こう配によらずスノーダンプを用いて人力で投雪可能な雪量290kgf/分を流雪処理できることがわかった。
- (3) 滑らかな曲線であるため、90° 屈曲部、合流部でも雪は支障なくスムーズに流れた。

また、実際に住民により、道路上に積もっ

た雪を投入したが、問題なく処理できることを確認した。

写真4 投雪口(グレーチングの開口状況)

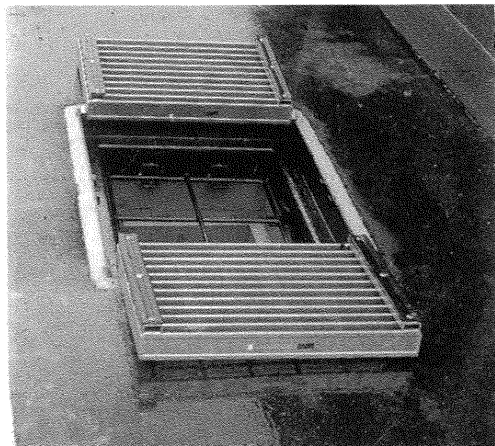
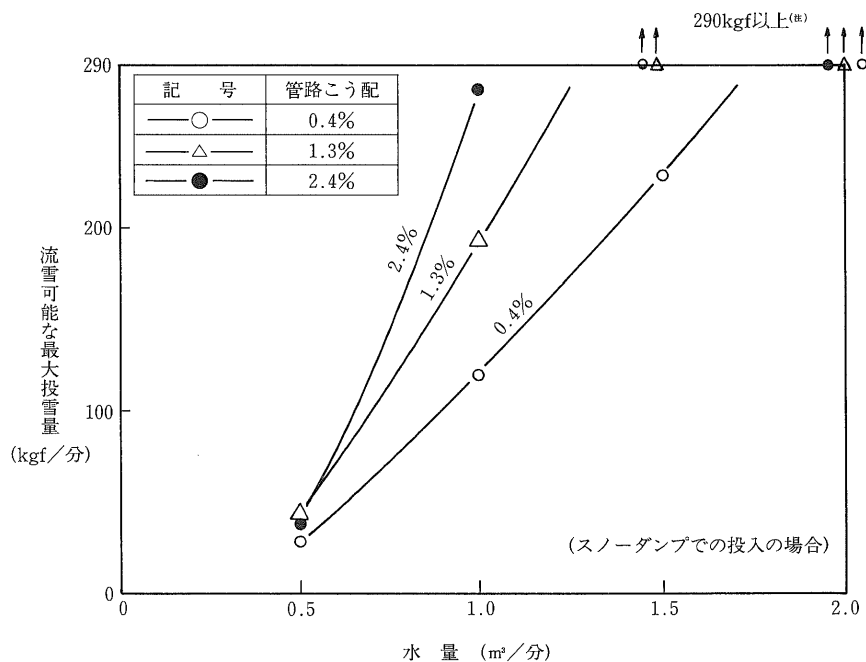


写真5 流雪試験の状況



図8 施工管路を用いた水量と流雪可能な最大投雪量の関係



(注) スノーダンプでは、290kgf/分以上の量は、投入できなかった。

## 8. おわりに

以上、ダクトイル鉄管製流雪溝の施工、流雪試験などについて報告した。当工法は、道路幅員が狭い場所、水量に余裕がない場所、下水管との兼用が必要な場所などでの使用が

可能と思われ、今後、流雪溝の面的整備を進めていく場合の参考になれば幸いと考える。

最後に、当工法の設計、試験などについてご協力いただいた(株)クボタの方々に感謝致したい。

# 空気注入による 圧送汚水幹線の 硫化水素対策

神戸市下水道局

竹中恭三

大西 修（現日本下水道事業団）

株式会社クボタ

田中直也

川崎重工業株式会社

赤松 尚

## 1. はじめに

下水道における下水輸送システムは、従来から自然流下方式が一般的に採用されてきた。

しかし、起伏に富んだ地形や長距離にわたり流入管の接続がない幹線の場合などには、その区間を圧送方式にすることにより、自然流下方式よりも管きょ施工費が削減され、経済的に有利となり、工期も短縮できるケースがある。神戸市下水道局、岩岡圧送汚水幹線でもこのような理由から圧送方式を採用している。

汚水の長距離圧送を行った場合、管内で酸素が供給されないため、汚水の嫌気化が進行

して硫化水素が生成し、その結果、圧送管からの吐き出し口周辺で悪臭や腐食の問題が生じることが懸念される。すでに、この種の問題がいくつか報告されている<sup>1)~3)</sup>。

この対策として、岩岡圧送汚水幹線では空気注入システムを採用した。このシステムは、汚水ポンプを設置している岩岡ポンプ場にて圧送管内へ空気を注入し、汚水の嫌気化を防ぐことによって硫化水素の生成を抑制しようとするものである。

本報では、このシステムの効果を確認し、硫化水素の生成を抑制するために必要な空気注入量を検討した結果を報告する。

## 2. 汚水圧送管内での硫化水素の生成

下水管路での硫化水素の生成は、スライム層や堆積物中の嫌氣的雰囲気の中で起こる。これは、嫌氣性細菌である硫酸塩還元細菌が汚水中の硫酸イオンを還元する現象で、(1)式で表わされる。

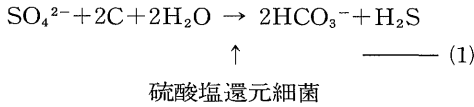


図1 汚水圧送管路内での硫化水素生成プロセス

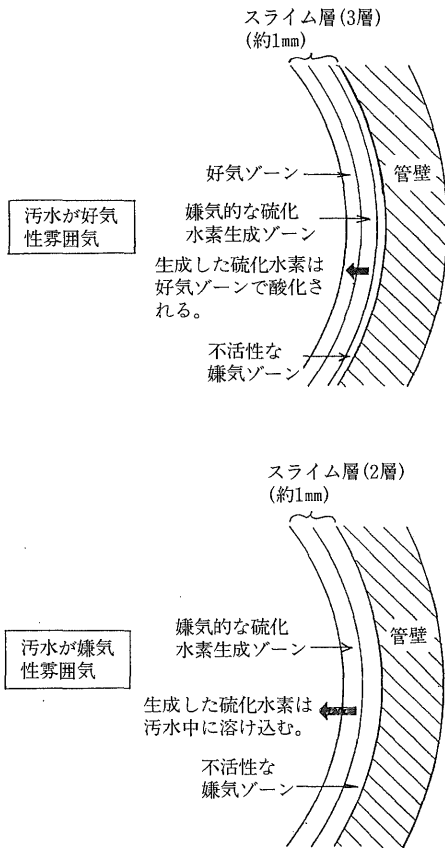
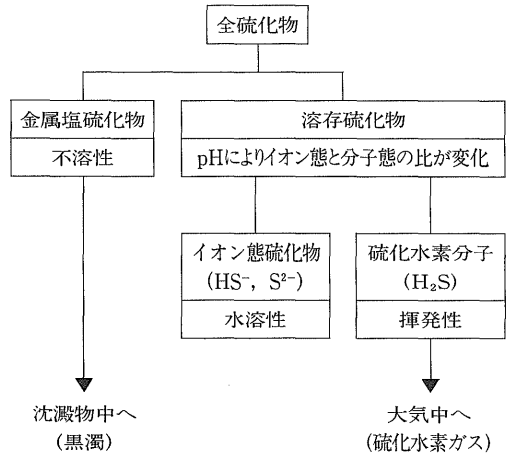


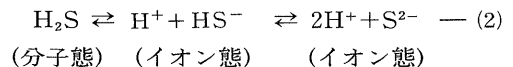
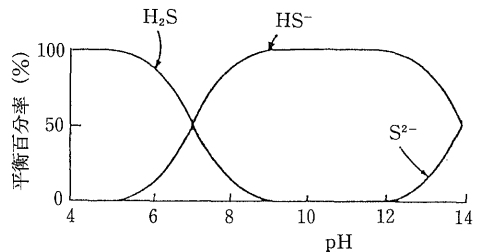
図1に示すように、汚水が溶存酸素を十分に好氣的な状態であれば、スライム層の嫌氣ゾーンで生成した硫化水素は好気ゾーンで酸化されて、汚水中に入ることにはない。しかし、汚水が嫌氣状態になれば、硫化水素は汚水中に溶け込むこととなる。

図2 汚水中の硫化物の形態



汚水中に溶け込んだ硫化水素は、(2)式の可逆的なイオン化反応を示す。そして、図2に示すようにイオン態となったもののうち一部は金属と反応して金属塩硫化物を形成し、残りは溶存硫化物として存在する。そして、これらを合わせたもの全硫化物と呼ぶ。さらに、溶存硫化物は分子態とイオン態で平衡状態となり、その存在比は図3のように汚水のpHによって変化する。

図3 硫化水素平衡へのpHの影響

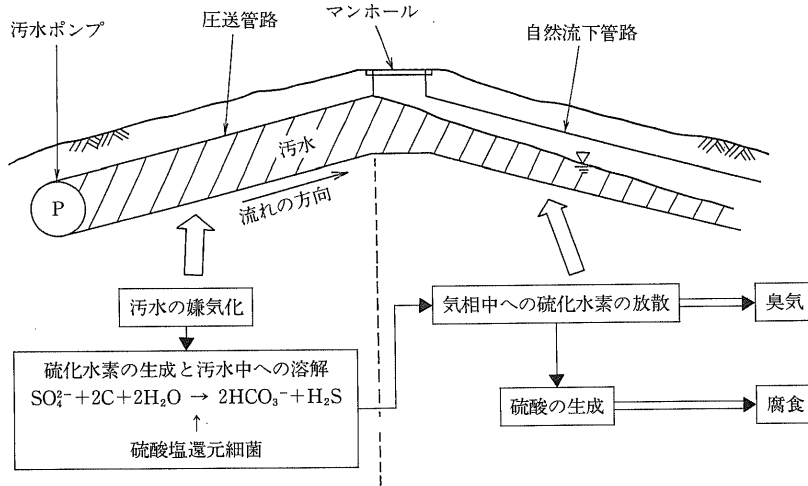


これらの中で、図4に示すように、分子態硫化水素が圧送管路終点のマンホールや着水井などの吐き出し部分で空气中に放散される。その結果、悪臭の原因となり、さらにマンホールや自然流下管路の表面で好氣性細菌である硫酸化細菌によって硫化水素から硫酸が生成し、腐食の原因となる。ただし、圧送管路内では、嫌氣的な雰囲気なので硫酸化細菌による硫酸の生成は起こらず、溶存硫化物による管材料などへの悪影響の心配はない。

今回、岩岡圧送污水幹線で採用した空気注入システムは、圧送管内へ空気を注入して、

污水の嫌気化を防ぐことによって硫化水素の生成を抑制しようとするものである。

図4 硫化水素の生成と臭気・腐食の発生



### 3. 岩岡圧送污水幹線の概要

岩岡地区における下水排除計画の概要を表1に示す。計画目標年次は平成12年であり、供用開始は平成2年6月である。また、下水の排除方式は分流式である。

岩岡圧送污水幹線および岩岡ポンプ場の概要を図5に示す。圧送管路は呼び径350mmSII形ダクタイル鉄管（内面セメントモルタルライニング）による2条管路で、延長は3,433m、管路の始点と終点のレベル差は約54mである。管路は全線上りこう配とし、途中に空気弁は設置していない。また、圧送管

路の下流は自然流下管路となっている。

前述のように、污水の長距離圧送を行った場合、圧送管内で硫化水素が生成し、圧送管路終点の污水の吐き出し部分で悪臭や腐食の懸念があった。そこで、岩岡ポンプ場にて圧送管内へ直接空気を注入し、硫化水素の生成を抑制するシステムを採用した。岩岡ポンプ場での污水と空気の流れを図6に示す。圧送管路への空気注入部を写真1に、圧送管路終点のマンホール内部を写真2に示す。

なお、岩岡ポンプ場への流入水は、ほとんど一般家庭からの排水である。

図5 岩岡圧送污水幹線および岩岡ポンプ場の概要

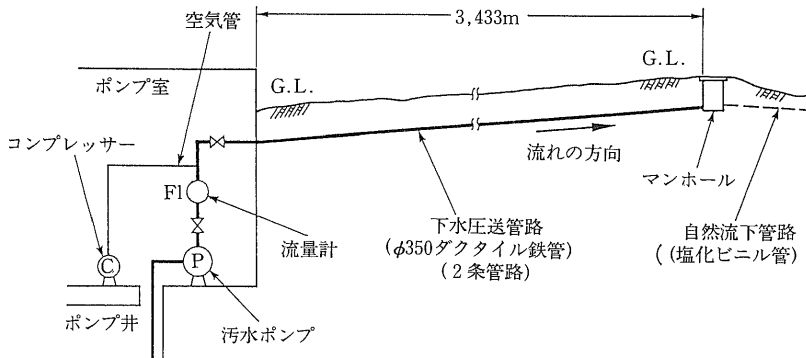
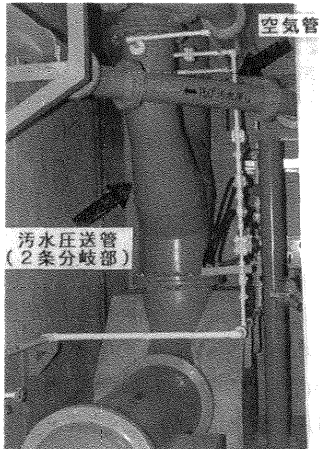




表1 岩岡地区における下水排除計画概要

項目	計画内容 (全体計画)
計画目標年次	平成12年
下水排除方式	分流式
計画区域面積 (ha)	165
計画処理人口 (人)	21,000
時間最大計画家庭汚水量 (m <sup>3</sup> /日)	19,300
時間最大計画工場排水量 (m <sup>3</sup> /日)	900
時間最大計画汚水量 (m <sup>3</sup> /日)	20,200

写真1 汚水圧送管への空気注入部



#### 4. 空気注入効果確認実験

##### 1. 実験方法

空気注入システムの効果確認実験を行うこととし、汚水の流量を一定にして空気注入量を変化させ、圧送管路終点のマンホール内気相中硫化水素濃度を2～5分間隔で連続測定した。

また、ポンプ場で汚水を採取し、管内滞留時間経過後、圧送管路終点で再び汚水を採取して水質を分析した。分析項目を表2に示す。

空気を注入した場合の管内滞留時間であるが、別に行ったトレーサーを用いた実験から得た実験式より算出した。この実験式を(3)式に示す。

$$T = \frac{\left(1 + \frac{1.033}{1.033 + P}\right) a \cdot Q_G \cdot Q_L + 2 Q_L^2}{2 \left(\frac{1.033}{1.033 + P} a \cdot Q_G + Q_L\right) \left(a \cdot Q_G + Q_L\right)} \cdot \frac{S \cdot L}{Q_L} \quad (3)$$

図6 ポンプ場での汚水と空気のフロー

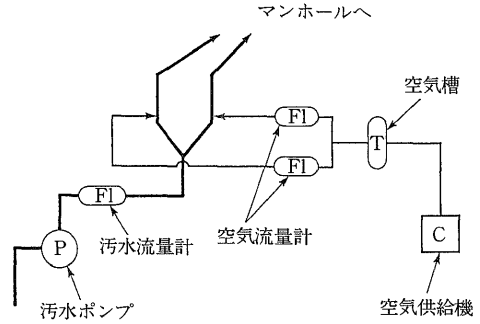


写真2 圧送管路終点のマンホール内部

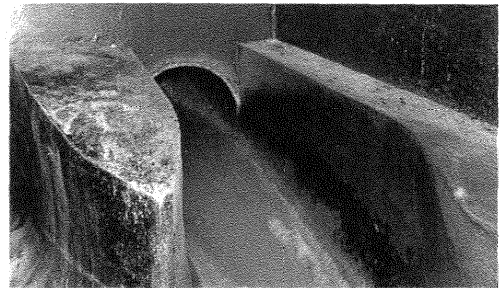


表2 汚水の分析項目

分析項目	備考
温度	—
pH	—
S S 濃度	JIS K0102 準 拠
蒸発残留物	JIS K0102 準 拠
酸化還元電位	白金電極法
硫酸イオン	JIS K0102 準 拠
溶存硫化物	JIS K0102 準 拠
全硫化物	JIS K0102 準 拠
溶存酸素	JIS K0102 準 拠
BOD	JIS K0102 準 拠
溶解性 BOD	JIS K0102 準 拠
COD <sub>Mn</sub>	JIS K0102 準 拠
溶解性 COD <sub>Mn</sub>	JIS K0102 準 拠
COD <sub>Cr</sub>	JIS K0102 準 拠
溶解性 COD <sub>Cr</sub>	JIS K0102 準 拠

(注) CODの測定方法は種々あり、COD<sub>Mn</sub>が排出規準などにおける法定試験方法となっている。

$$a = -0.046t + 1.41$$

T：管内滞留時間（分）

Q<sub>G</sub>：空気注入量（大気圧、污水の温度での値）（m<sup>3</sup>/分）

Q<sub>L</sub>：污水の流量（m<sup>3</sup>/分）

P：空気注入部の管内圧力（kgf/cm<sup>2</sup>）

S：圧送管の断面積（m<sup>2</sup>）

L：圧送管路長（m）

a：污水の温度による係数

t：污水の温度（℃）

実験は供用開始から2ヵ月後の平成2年8月から平成3年3月にかけて行った。

## 2. 実験結果

### 1. 圧送管内での硫化水素の生成と空気注入の効果

圧送管路終点のマンホール内気相中硫化水素濃度の測定結果の例を図7に示す。空気を1.065m<sup>3</sup>/分（大気圧20℃に換算した値。本稿では空気注入量はすべて大気圧20℃に換算した値で表わすこととする）注入した場合、硫化水素濃度は3ppm以下であった。しかし、10月18日の18時に空気注入を停止したところ、それから8.5時間後の10月19日の2時30分頃急激に濃度が上昇した。このときの污水の管内滞留時間は約9時間と計算されるので、汚

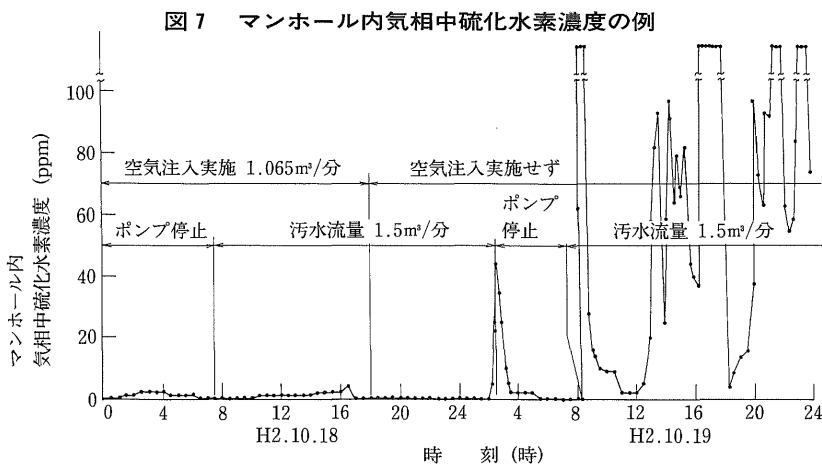


表3 全硫化物および硫化水素濃度の測定結果の例

通水管路の条数	污水の流量 A (m <sup>3</sup> /分)	空気注入量 B (m <sup>3</sup> /分)	B/A (%)	污水の温度 (℃)	BOD (mg/ℓ)	全硫化物		圧送管路終点のマンホール内硫化水素濃度 (ppm)
						ポンプ場 (mg/ℓ)	圧送管路終点 (mg/ℓ)	
1	1.4~2.4	0	0	28	240	0.24	2.00	10~100以上
1	1.4~2.4	0.795	33~57	28	170	0.34	0.16	0~10
2	1.5	0	0	24	580	0.16	2.50	20~100以上
2	1.5	0.782	52	24	270	0.26	0.37	0~10
2	1.5	1.065	71	24	180	0.13	0.21	0~3
1	1.4	0	0	21	490	0.22	1.10	10~30
1	1.4	0.668	48	21	310	0.23	0.30	0~2
2	1.3	0	0	15	320	0.16	0.86	10~40
2	1.3	0.725	56	15	330	0.21	0.23	0~2
2	1.4	1.023	73	15	220	0.28	0.25	0~2

(注) 1. 2条管路共通水の場合、1条当たりの污水の流量および空気注入量は上表の1/2である。  
2. 空気注入量は、大気圧20℃に換算した値である。

水が管内を流れている間に嫌気状態となって、スライム層などで生成した硫化水素が汚水に溶け込み、マンホールで空气中に放散されたものと考えられる。このとき、ポンプが停止したので硫化水素濃度は低下したが、再びポンプが始動したあとは最大100ppm以上に達した。

圧送管路終点のマンホール内気相中硫化水素濃度および全硫化物の測定結果の例を表3に示す。空気注入を実施しなかった場合、ポンプ場での全硫化物は0.16~0.24mg/ℓであったが、圧送管路終点では0.86~2.50mg/ℓであった。また、マンホール内気相中硫化水素濃度は最大で100ppm以上に達した。これに対し、空気を汚水流量の33~73% (体積比) 注入した場合、全硫化物はほとんど増加せず硫化水素濃度もピーク時で10ppm程度であった。

このことから、空気注入の効果は顕著であり、表3から汚水流量の約50% (体積比) の空気を注入すれば、夏期の汚水温度が高い時期でも硫化水素の生成を抑制できることがわかった。

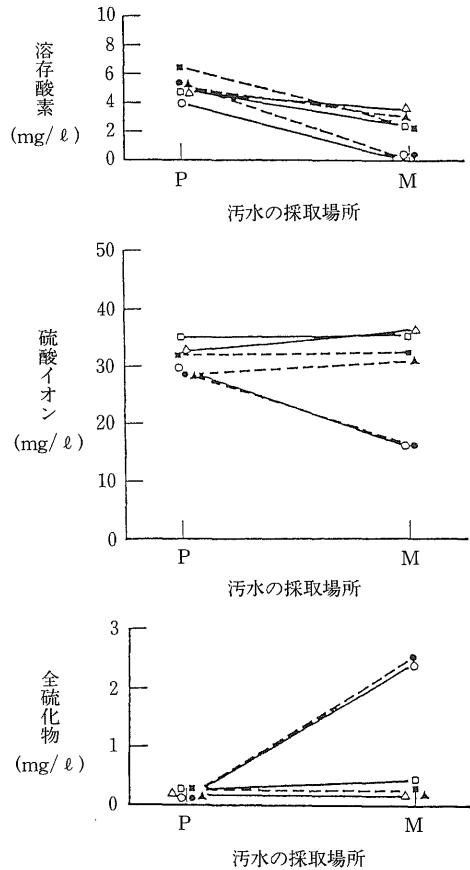
2. 汚水の嫌気化と硫化水素の生成

前述のように、スライム層で生成した硫化水素は、汚水が嫌気状態であればそのまま汚水中に溶け込み、臭気や腐食の原因となることがある。したがって、汚水が嫌気状態かそうでないかが非常に重要となるが、これは汚水中の溶存酸素濃度で判定することができる。

図8にポンプ場および圧送管路終点での溶存酸素、硫酸イオン、全硫化物の測定例を示す。空気を注入しなかった場合、ポンプ場での溶存酸素は4~5.5mg/ℓであったが、圧送管内で消費されて圧送管路終点のマンホールでは0.5mg/ℓ以下まで低下した。このことから管内で汚水が嫌気状態となったことがわかる。それに伴い、硫酸イオンが減少して全硫化物が増加した。これは(1)式に示した硫化水素の生成機構を裏付けている。

一方、空気を注入した場合には、マンホールにおいても溶存酸素は2mg/ℓ以上であり、管内で好気状態が保たれていることがわかる。

図8 汚水の嫌気化と硫化物の生成および空気注入の効果



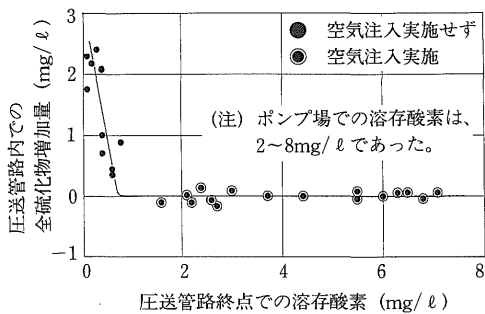
キャラクター	汚水流量 (m³/分)	空気注入量 (m³/分)
○ ( 9 : 30 )	1.5	0
● (12 : 00)		
□ ( 9 : 30 )	1.5	0.782
■ (12 : 00)		
△ ( 9 : 30 )	1.5	1.065
▲ (11 : 45)		

(注) 1. キャラクターの下の( )内は、ポンプ場で汚水を採取した時刻。  
2. 汚水の採取場所のPはポンプ場を、Mは圧送管路終点のマンホールを示す。

したがって、硫酸イオン、全硫化物ともにほとんど変化していない。

図9に圧送管路内での全硫化物増加量と圧送管路終点での溶存酸素の関係を示す。ポンプ場での溶存酸素は2~8mg/lであったが空気を注入しなかった場合、圧送管路終点では0.8mg/l以下に低下し、全硫化物が増加した。これに対し、空気を注入した場合には溶存酸素は1.6mg/l以上で全硫化物は増加しなかった。この図から、圧送管路終点で溶存酸素を1mg/l以上確保すれば、硫化水素の生成を抑制できることがわかる。EPAのマニュアルでは、溶存酸素が1mg/l以上あれば硫化水素は生成しないとされているが<sup>1)</sup>本実験結果はこれと一致した。

図9 圧送管路内での全硫化物増加量と圧送管路終点での溶存酸素の関係



## 5. 考察

### 1. 圧送管路内での硫化物生成速度

ここでは、空気を注入しない場合の圧送管内における硫化物生成速度の考察を行った。

これまでに、硫化物生成速度の予測式として、以下に示すEPAの式、ブーン&リスターの式、ツイストルウェイトの式、ヤコブセンの式の4式が提案されている。

#### ①EPAの式<sup>1)</sup>

$$dS/dT = 0.004 \cdot BOD \times 1.07^{(t-20)} \cdot \frac{1}{(1+0.393D)/D} \quad (4)$$

dS/dT: 全硫化物濃度の時間的变化  
(生成速度) (mg/l・時)

t: 汚水の温度 (°C)

D: 管径 (m)

#### ②ブーン&リスターの式<sup>4)</sup>

$$dS/dT = 0.000912 \cdot COD_{Cr} \times 1.07^{(t-20)} \cdot \frac{1}{(1+0.4D)/D} \quad (5)$$

#### ③ツイストルウェイトの式<sup>5)</sup>

$$S = 0.576 \times 10^{-6} \cdot L/D \cdot BOD^{0.8} \cdot SO_4^{0.4} \times \frac{1}{1.139^{(t-20)}} \quad (6)$$

S: 圧送管路終点における全硫化物濃度 (mg/l)

L: 圧送管路延長 (m)

SO<sub>4</sub>: 汚水中の硫酸イオン濃度 (mg/l)

#### ④ヤコブセンの式<sup>6)</sup>

$$dS/dT = a (COD_{Mnso1} - 50)^{0.5} \times 1.07^{(t-20)} \cdot \frac{1}{(4/D)} \quad (7)$$

a: 汚水の性状による係数

一般の汚水

$$a = 1.5 \times 10^{-3}$$

一般と食品排水の混合

$$a = 3.0 \times 10^{-3}$$

食品排水

$$a = 6.0 \times 10^{-3}$$

これらの式のうち、EPAの式、ブーン&リスターの式、ヤコブセンの式はほぼ同じ考え方で導かれている。ここでも、この考え方に沿って実験データから予測式を導いた。

EPAによれば、スライム層からの硫化物生成速度は(8)式および(9)式から求められる<sup>7)</sup>。

$$\phi_{se} = M \{ BOD \times 1.07^{(t-20)} \} \quad (8)$$

$\phi_{se}$ : 硫化物フラックス (g/m<sup>2</sup>・時)

M: 硫化物フラックス係数 (m/時)

$$dS/dT = \phi_{se}/R = 4\phi_{se}/D \quad (9)$$

R: 水理学的径深 (m)

(8)式は、次のような考え方から得られている。スライム層中の硫酸塩還元細菌は汚水中の有機物を食料源とするので有機物が多いほどよく増殖し、したがって硫化物生成速度が大きくなる。また、温度が高いほど硫酸塩還元細菌の活性が高くなるが、その影響をBODの温度補正 (BOD×1.07<sup>(t-20)</sup>) をすることで考慮している。

EPAの式では有機物濃度を表わす水質指標としてBODを用いているが、ブーン&リスターの式、ヤコブセンの式ではBOD以外

の水質指標が用いられている。そこで、実測した  $\phi_{se}$  と各種の水質指標の温度補正值（水質指標  $\times 1.07^{(t-20)}$ ）との相関を調査した。両者の相関係数を求めた結果を表4に示すが、6種類の水質指標のうち、相関係数をもっとも大きかったのは溶解性COD<sub>Cr</sub>であった。両者の関係を図10に、得られた回帰式を(10)式に示す。

$$\phi_{se} = 3.96 \times 10^{-5} \{ \text{COD}_{\text{Crso1}} \times 1.07^{(t-20)} \} + 0.0047 \quad (10)$$

(10)式を(9)式に代入して、硫化物生成速度の予測式を求めた結果が(11)式である。

$$dS/dT = 1.58 \times 10^{-4} \{ \text{COD}_{\text{Crso1}} \times 1.07^{(t-20)} + 119 \} / D \quad (11)$$

これまでに提案されている4種類の予測式および(11)式による予測値と実測値の比較を図11に示す。実測値ともっともよく合致したのは、今回求めた(11)式であった。すでに提案されている4種類の内ではヤコブセンの式がよく合致した。

表4  $\phi_{se}$ と各水質指標の温度補正值との相関係数

水質指標	相関係数
BOD	0.706
溶解性 BOD	0.348
COD <sub>Mn</sub>	0.743
溶解性 COD <sub>Mn</sub>	0.572
COD <sub>Cr</sub>	0.725
溶解性 COD <sub>Cr</sub>	0.814

図10  $\phi_{se}$ と溶解性COD<sub>Cr</sub>の相関

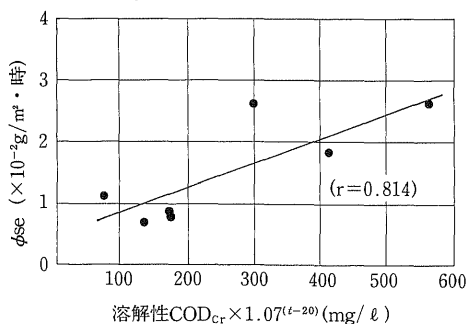
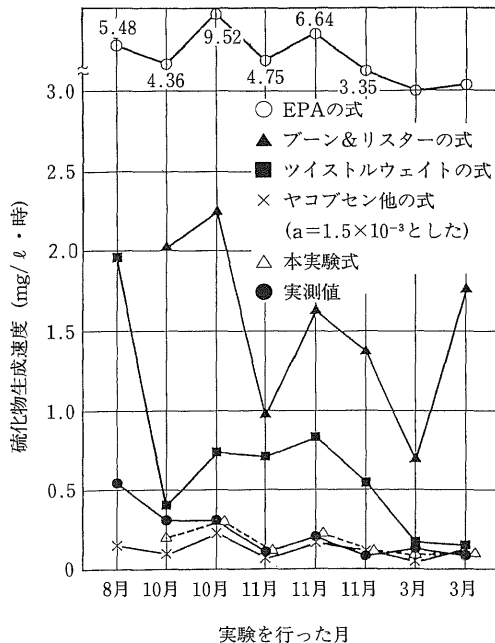


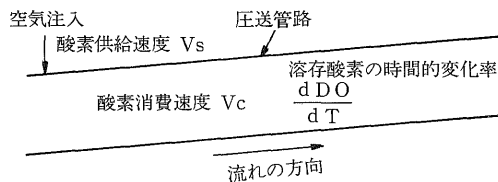
図11 硫化物生成速度の予測値の比較



## 2. 硫化水素生成を抑制するために必要な空気注入量

圧送管路へ空気を注入した場合の圧送管路内における溶存酸素の時間的変化率の考え方を図12に示す。溶存酸素の時間的変化率は、酸素供給速度から酸素消費速度を差し引いたものと考えられる。ここで、酸素供給速度は汚水流量に対する空気注入量の比で表わすことができ、酸素消費速度は有機物濃度を示す水質指標の温度補正值で表わすことができる。と考えると、(12)式が得られる。

図12 溶存酸素変化率の考え方



$$\frac{dDO}{dT} = V_s - V_c$$

⇓

$$\frac{dDO}{dT} = a \frac{Q_G}{Q_L} - b \{ \text{水質指標} \times 1.07^{(t-20)} \} + c$$

Q<sub>G</sub>: 空気注入量、Q<sub>L</sub>: 汚水の流量  
a, b, cは係数

$$dDO/dT = a (Q_G/Q_L) - b \{ \text{水質指標} \times 1.07^{(t-20)} \} + c \quad (12)$$

dDO/dT：溶存酸素の時間的変化率 (mg/ℓ・時)

Q<sub>G</sub>：大気圧、20℃に換算した空気注入量 (m<sup>3</sup>/分)

Q<sub>L</sub>：汚水流量 (m<sup>3</sup>/分)

そこで、dDO/dTを目的変数、Q<sub>G</sub>/Q<sub>L</sub>と{水質指標×1.07<sup>(t-20)</sup>}を説明変数として、実測データを用いて重回帰分析を行った。なお、水質指標は表4に示した6種類とした。また、dDO/dTは(13)式から求めた。

$$dDO/dT = (DO_T - DO_P) / T \quad (13)$$

DO<sub>T</sub>：圧送管路終点での溶存酸素 (mg/ℓ)

DO<sub>P</sub>：ポンプ場での溶存酸素 (mg/ℓ)

T：管内滞留時間 (時間)

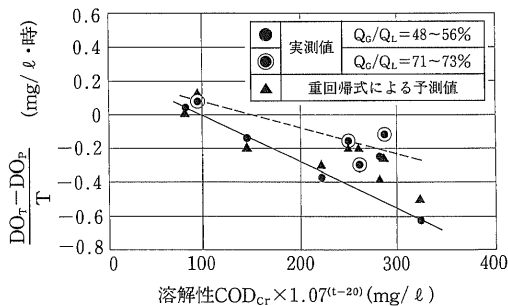
その結果、水質指標として溶解性COD<sub>Cr</sub>を用いた場合に重回帰による予測値と実測値がもっともよく合致した。溶存酸素の時間的変化率と溶解性COD<sub>Cr</sub>の温度補正值の関係を図13に示す。求められた重回帰式を(14)式に示す。

$$dDO/dT = 0.912(Q_G/Q_L) - 0.002 \cdot \text{COD}_{Cr_{so1}} \times 1.07^{(t-20)} - 0.341 \quad (14)$$

(13)式を(14)式に代入して整理すると(15)式が得られる。

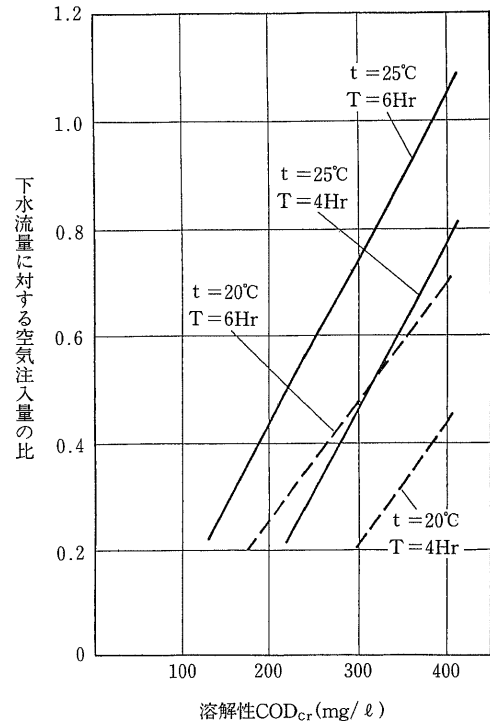
$$Q_G/Q_L = \{ (DO_T - DO_P) / T + 0.002 \cdot \text{COD}_{Cr_{so1}} \times 1.07^{(t-20)} + 0.341 \} / 0.912 \quad (15)$$

図13 溶存酸素変化率と溶解性COD<sub>Cr</sub>の関係



ここで図9から、圧送管路終点での溶存酸素が1 mg/ℓ以上であれば硫化水素の生成を抑制できると判定されるので、(15)式においてDO<sub>T</sub>を1 mg/ℓ確保できるようにQ<sub>G</sub>を決定すれば、硫化水素を抑制できると考えられる。Q<sub>G</sub>/Q<sub>L</sub>の計算例を図14に示す。

図14 圧送管路終点で溶存酸素を1.0mg/ℓ確保するための空気注入量



(注) 岩岡ポンプ場での溶存酸素を4.0mg/ℓとした。

### まとめ

神戸市下水道局、岩岡圧送污水幹線（呼び径350mm、延長3,433m、SII形ダクタイル鉄管による2条管路）では管内での硫化水素生成を抑制するために、圧送管内へ直接空気を注入するシステムを採用している。このシステムの効果および運転方法などについて検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 空気を注入しない場合、圧送管路終点のマンホール内における気相中硫化水素濃度は最低でも10ppm、汚水温度が24℃のときにはしばしば100ppmを超えた。
- (2) これに対し、汚水の流量の50%以上の

空気（大気圧20℃での体積比）を注入すれば、年間を通じて硫化水素濃度をピーク時で10ppm以下に抑えることができた。

- (3) 空気を注入しない場合、圧送管路始点での溶存酸素濃度は2～8mg/ℓであったが、終点では0.8mg/ℓ以下に低下し、管内で汚水の嫌気化が進行したことがわかった。また、全硫化物は圧送管路始点では0.2～0.3mg/ℓであったが、管路内で増加し終点では0.9～2.5mg/ℓであった。
- (4) このときの圧送管路内における流化物生成速度と各種水質指標との相関を調査した結果、溶解性COD<sub>Cr</sub>との相関がもっとも高いことがわかった。
- (5) 空気を注入した場合、圧送管路終点における溶存酸素濃度は1～7mg/ℓ確保でき、圧送管内での硫化物の増加は認められなかった。溶存酸素濃度が1mg/ℓ以上であれば、硫化水素の生成を抑制できることがわかった。
- (6) 圧送管路内での硫化水素生成を抑制するために必要な空気注入量を求める実験式を得た。空気注入量は、汚水の流量、圧送管路始点での溶存酸素濃度、管内滞留時間、溶解性COD<sub>Cr</sub>および温度から求められる。

今後、実験式の検証および運用方法について検討を進める予定である。

#### (参考文献)

- 1) US EPA: Design Manual "Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants" (日本語版: EPA設計マニュアル「下水道施設の臭気と腐食対策」, 日本下水道事業団業務普及協会)
- 2) 三品文男, 川口幸雄, 堺好雄: 下水圧送管内における硫化水素の生成に関する一考察, 下水道協会誌, Vol.25, No.316 (1988)
- 3) 森忠弘, 古賀みな子, 米倉義和, 堺好雄, 三品文男, 立脇征弘, 小泉淳一: 下水管生物腐食の原因と対策(1), 下水道協会誌論文集, Vol.27, No.316 (1990)
- 4) A. G. Boon, A. R. Lister : Formation of Sulphide in Rising Main Sewers and Its Prevention by Injection of Oxygen, Prog. Water Tech. Pergamon Press, 1975
- 5) D. K. B. Thistlethwayte : The control of Sulphide in Sewerage Systems, Butterworth Pty Ltd. Australia, 1972
- 6) T. Hvitved-Jacobsen : Hydrogen Sulphide control in Municipal Sewers, Pretreatment in Chemical Water and Wastewater Treatment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988
- 7) US EPA : Process Design Manual for Sulfide control in Sanitary Sewerage Systems, 1974

# 技術レポート

# 5

## SII形ダクタイトイル鉄管を使った 汚水圧送計画

～古典ロマンの継承と発展を願って～

小松市建設部下水道課

主幹 吉村外志昭

主査 近藤 公一

### 1. はじめに

小松市は、石川県の西南部、加賀平野のほぼ中央に位置し、北西部には洋々たる日本海を臨み、東には霊峰白山を控えた石川郡、西には加賀市および江沼郡、北に能美郡、そして南には大日山を境に福井県勝山市に接し、面積約371km<sup>2</sup>、人口約10万7,000人を擁している。

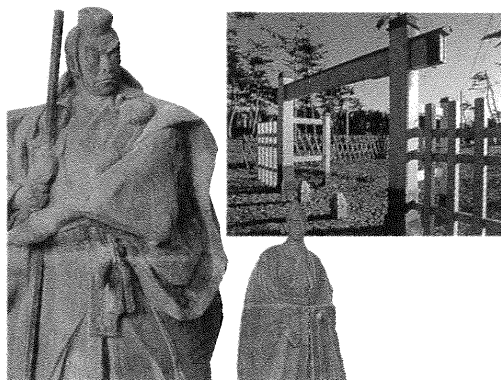
本市は、古くから城下町として栄え、安宅の関は世に名高い『勸進帳』の舞台となり、源平の争いのため幾度か戦乱の地と化し、今に残る齋藤実盛の兜などのロマンを北陸最古のいで湯とともに伝えている。

近年は小松空港から東京まで約1時間、福岡まで約1時間10分と空路にも恵まれ、地場産業である繊維・機械工業などを中心に発展を遂げており、金沢市に次ぐ県下第2の都市規模を有する南加賀地方の中核都市として、自然と活力に満ちあふれた文化産業都市をめざしており、下水道もこれに添った形で整備を進めてきた。

この間、昭和63年4月に、環境保全上急がなければならない木場潟周辺整備が、『木場潟みずぎわ作戦』として建設省のモデル下水道に選ばれた。

ここでは、『アピール下水道』の一環として、軟弱地盤地帯へ『SII形ダクタイトイル鉄管』を使った汚水圧送を計画し建設しているので、その概要を報告する。

写真1 勸進帳で有名な安宅の関





## 2. 下水道事業計画

小松市の下水道処理形態は、梯川（一級河川）により大きく2分割され、梯川右岸については、加賀沿岸流域下水道の梯川処理区小松北部処理分区として関連公共下水道により整備し、残りの梯川左岸は、小松市公共下水道中央処理区として単独公共下水道により整備する計画である。

全体計画区域は、市街化区域を中心とした2,936haであり、現在は、人口が集中している市街地、木場潟周辺の環境保全上整備を急がなければならない区域および北部の人口集中区域のトータル630haを事業認可区域として、昭和42年度より事業に着手し下水道の整備を進めている。

表1 計画概要

項目	全体計画	事業計画			
		中央処理区			梯川処理区 小松北部処理分区
		中央排水区	木場潟処理分区	松陽処理分区	
計画目標年度	平成17年度	平成10年度			平成7年度
排除方式	分流式一部合流式	合流式	分流式		分流式
計画区域	2,936ha	255ha	126ha	117ha	132ha
計画人口	106,950人	16,200人	4,890人	4,710人	4,080人
計画水量	81,000m <sup>3</sup> /日	22,000m <sup>3</sup> /日			2,400m <sup>3</sup> /日
概算事業費	102,600百万円	40,313百万円			5,045百万円

表2 下水道普及状況

区分 年度	行政区域人口 (A) (人)	処理区域人口 (B) (人)	普及率 (B)/(A) (%)	備考
元年度末	* 107,083	15,765	14.7	
2年度末	* 107,285	17,115	16.0	
3年度末	* 107,325	18,152	16.9	

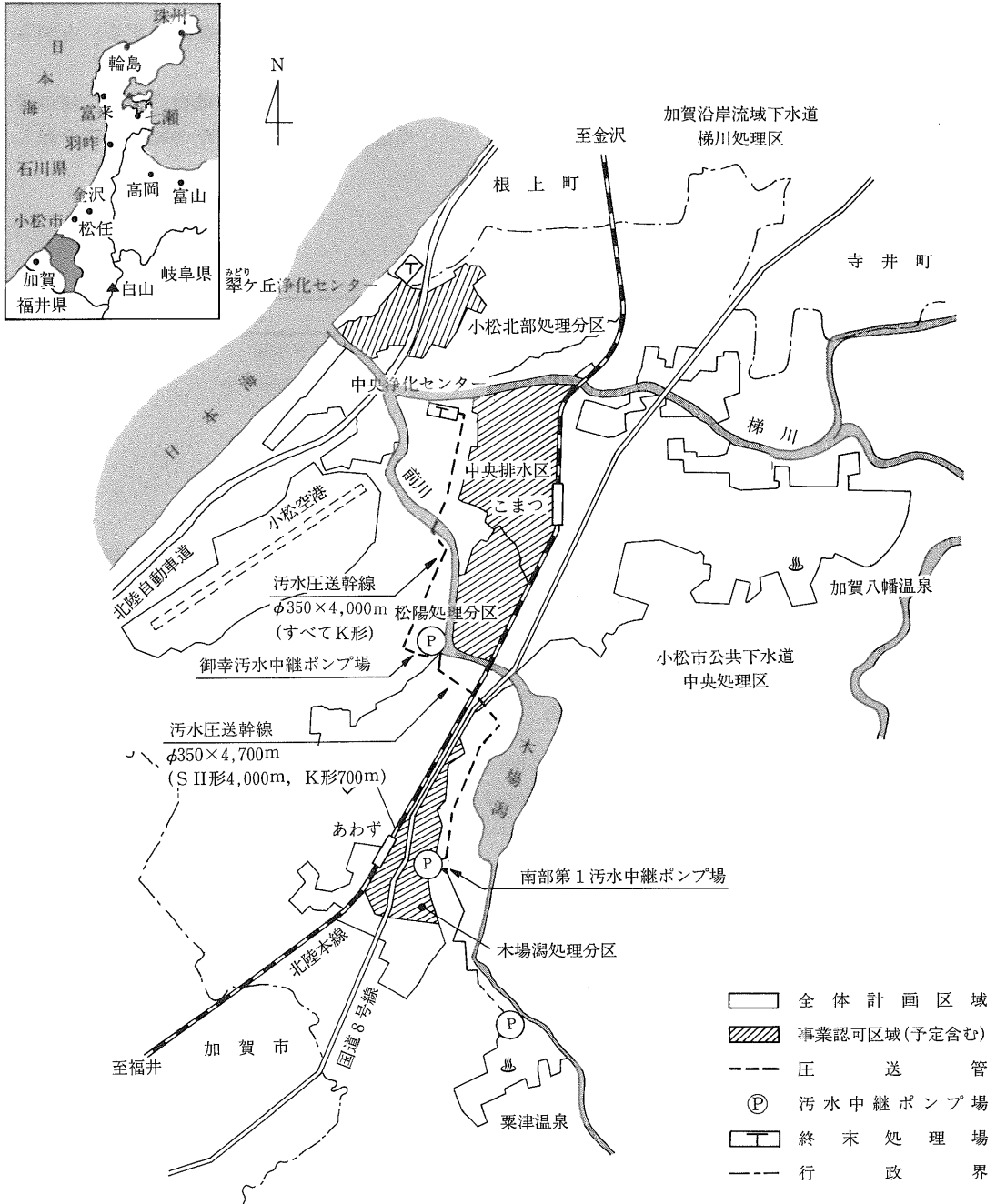
\*人口は、各年度3月31日現在住民基本台帳による。

写真2 中央浄化センター



図1 小松市公共下水道全体計画図

(但し、本テーマに関係のないポンプおよび幹線は除いた)



### 3. 汚水圧送計画

#### 1. 圧送方式採用理由

- ① 木場潟の水質悪化が進み、早急な下水道整備が望まれ、短工期で建設する必要があった。
- ② 処理区域と浄化センターが離れて流送距離が長く、途中に水管橋や軌道横断・国道横断があること。また、将来建設予定の地中構造物を避けて下水道管を布設

する必要があることなどから、自然流下方式での計画には無理があると判断された。

- ③ 流量計画から、圧送方式にして先行投資の削減（将来2条管路にする）を図ることが可能であった。
- ④ 木場潟付近は軟弱地盤のため、建設時や建設後の管路こう配の維持管理が難しい。

#### 2. ポンプおよび路線計画

表3 ポンプ計画

ポンプ場名称	全体計画	認可計画
南部第1汚水中継ポンプ場	*計画下水量 18.99m <sup>3</sup> /分 *ポンプ型式 水中汚水汚物ポンプ *ポンプ台数 φ200×3.2m <sup>3</sup> /分×2台 φ250×6.4m <sup>3</sup> /分×3台(うち1台予備)	*計画下水量 5.58m <sup>3</sup> /分 *ポンプ型式 同左 *ポンプ台数 φ200×3.2m <sup>3</sup> /分×2台 φ250×6.4m <sup>3</sup> /分×1台(予備)
御幸汚水中継ポンプ場	同上	同上

表4 路線計画

圧送管ルート	全体計画	認可計画
南部第1汚水中継ポンプ場 ↓ 御幸汚水中継ポンプ場	φ350×4,700m φ500×4,700m	φ350×4,700m (S II形3種管4,000m) (K形3種管 700m)
御幸汚水中継ポンプ場 ↓ 中央浄化センター	φ350×4,000m φ500×4,000m	φ350×4,000m (K形3種管)

#### 3. 管種の選定

比較検討管種としては、ダクトイル鉄管・鋼管・硬質塩化ビニル管などがあるが、長距離圧送管路では、ポンプ間欠運転による水撃圧が発生することや、軟弱地盤での不同沈下などを考え、管体強度・継手性能・施工性・耐久性に優れ、実績の豊富なダクトイル鉄管を採用した。

#### 4. 継手の選定

圧送管路建設予定ルートのうち、木場潟付近は軟弱地盤層と砂層が複雑に入り混じっており、過去に布設した農業パイプラインが1m程度沈下し、現在も道路の不陸状態が発生していることから、『S II形継手』を用いて耐地盤変動管路を形成することとし、比較的安定している旧今江潟の埋立地などには『K形継手』を選定した。

図2 模式断面図

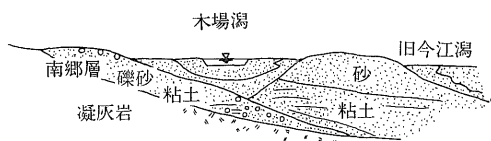


表5に軟弱地盤における建設管路の評価を示す。

5. 地盤沈下に対するS II形ダクタイル管路の順応性

S II形継手は、伸縮可とう性と離脱阻止性を有した鎖構造のダクタイル管路を構成することができる。この鎖構造管路が沖積層・

盛土・埋立地などの軟弱地盤に建設された場合は、不同沈下などの地盤変動に容易に順応できる。

また、地盤の振動はもとより、液状化による局所的な変動にも鎖構造の特長を生かし、管路が破壊されることはない。

ここに、S II形ダクタイル管路が地盤沈下に対し、どのように順応するか検討した。

1. S II形継手（呼び径350mm）の性能

【伸縮余裕量】

直管：±75mm(真直に接合した場合)

継ぎ輪：伸び余裕量 150mm

(直管の2倍/1個)

縮み余裕量 200mm

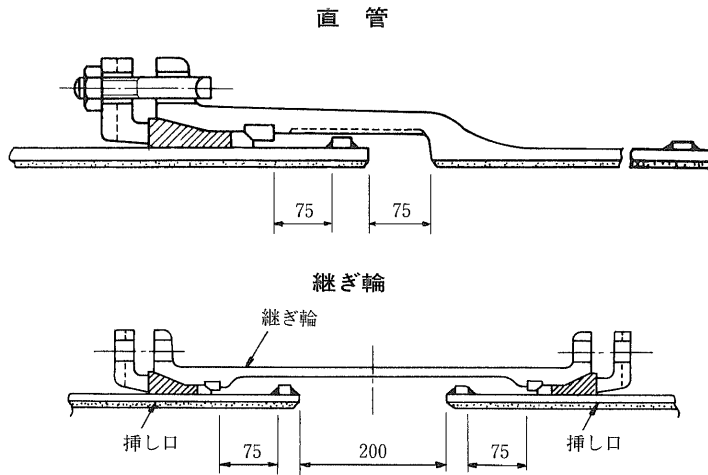
表5 軟弱地盤におけるダクタイル管路の総合評価

項目	耐地盤変動管路 (S II形ダクタイル管路)	一般管路 (K形ダクタイル管路)
継手構造		
特徴	<p>大きな伸縮性および可とう性を持つメカニカルタイプで、最終的には受口と挿し口がかかり合って離脱防止の役目をする。</p> <p>継手の水密性はK形と同じである。</p>	<p>ゴム輪は、角ゴムと丸ゴム輪を一体化したもので、丸ゴム部を強く圧縮させ、継手の水密性を高めたメカニカルタイプで伸縮性および可とう性がある。</p>
設計・施工の参考事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>●耐地盤変動用(耐震用・軟弱地盤用)</li> <li>●常用圧力—特に制限なし</li> <li>●離脱防止機能があるので、S II形用ライナを直管受口部に用いれば不平均力に対する防護は不必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●一般管路用</li> <li>●常用圧力—特に制限なし</li> <li>●不平均力の働く箇所には、適切な防護が必要である。</li> </ul>
内外圧に対する安全性	◎	◎
伸縮可とう性	◎	◎
継手の離脱防止性	◎	×
施工性	○	◎
維持管理性	◎	○
総合評価	◎	△

◎非常に適している。 △使用できる場合もある。

○適している。 ×適さない。

図3 標準接合図



## 【曲げ余裕量】

設計・施工時の許容曲げ角度： $3^\circ$

## 【曲げ強度】

限界曲げモーメント：16.6tf-m

## 【離脱阻止力】

継手部の離脱阻止力：105tf以上

## 〈参考〉

上記離脱阻止力は、仮に埋設管の管表面と土との摩擦抵抗を  $1 \text{ tf/m}^2$  としたとき、管路約100m分の摩擦抵抗力に相当する。

## 2. 軟弱地盤の沈下量の推定

軟弱地盤に管を埋設する場合は、管の重量・管内水重および埋戻し土圧などを考慮して管底分での土圧増加分を計算し、それによって沈下量を推定するのが一般的である。

木場瀉周辺のボーリング調査によると、N値0～2の地盤層が10～30mと、複雑な軟弱地盤層を形成しており、急激な不同沈下が発生すると予測される。

## 3. 不同沈下に対する順応メカニズム

S II形ダクトイル鉄管（呼び径350mm）の継手は、 $3^\circ$ の許容曲げ角度を持っており、この曲げ角度の範囲内であれば、管路は継手の曲げ余裕量だけで地盤の沈下に順応することができる。

図4 継手の曲げ角度と偏位置

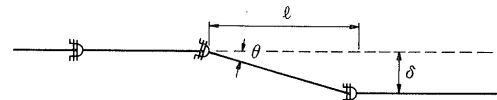


図4において、

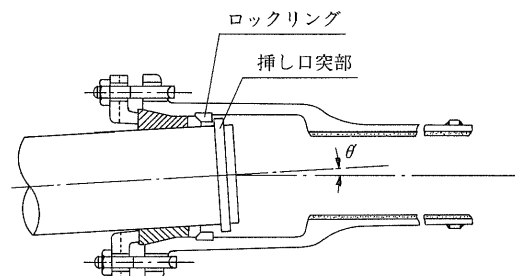
$$\delta \approx l \tan \theta$$

ここに、 $\delta$ ：偏位置（順応できる沈下量）、 $l$ ：管長、 $\theta$ ：曲げ角度として順応できる沈下量を計算することができる。

たとえば、本市の場合、呼び径350mmのS II形ダクトイル鉄管を使用するので、 $l = 6 \text{ m}$ 、 $\theta = 3^\circ$ （許容曲げ角度）であり、 $\delta \approx 31.4 \text{ cm}$ となる。

この後、さらに不同沈下が進み $\theta \approx 6^\circ$ （限界曲げ角度）になれば、ロックリングと挿し口突部のかけ合わせにより、ダクトイル鉄管が鎖状につながり管路が破壊することはない。

図5 継手の離脱阻止状態



すなわち、 $\delta \approx 600 \times \tan 6^\circ \approx 63 \text{ cm}$ 程度で、上記のような状態が予測される。

4. 異形管防護

圧送管路の屈曲部・分岐部・末端の栓・バルブなどには、水圧によって管を動かそうとする力（不平均力という）が働く。このような箇所には、特殊押輪やコンクリートによる防護工を行うのが一般的であるが、軟弱地盤では防護コンクリートが管路の不同沈下を助長したり、曲げ応力を発生するため好ましくない。

一方、S II形ダクタイトイル鉄管は、継ぎ輪および長尺継ぎ輪以外の異形管の継手が図6のような離脱阻止形になっている。

また、図7のように所定のライナを使用することにより、直管の継手を離脱阻止形とすることができる。

6. 横断部の検討

JR・国道・県道は、推進工法（3カ所）

図6 S II形異形管継手

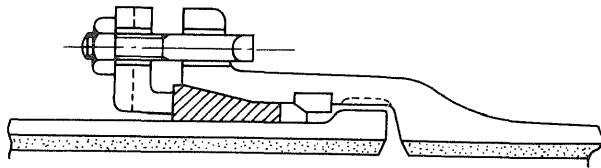


図7 S II形直管にライナを使用する場合（離脱阻止形）

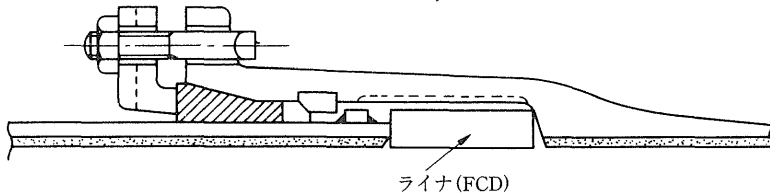
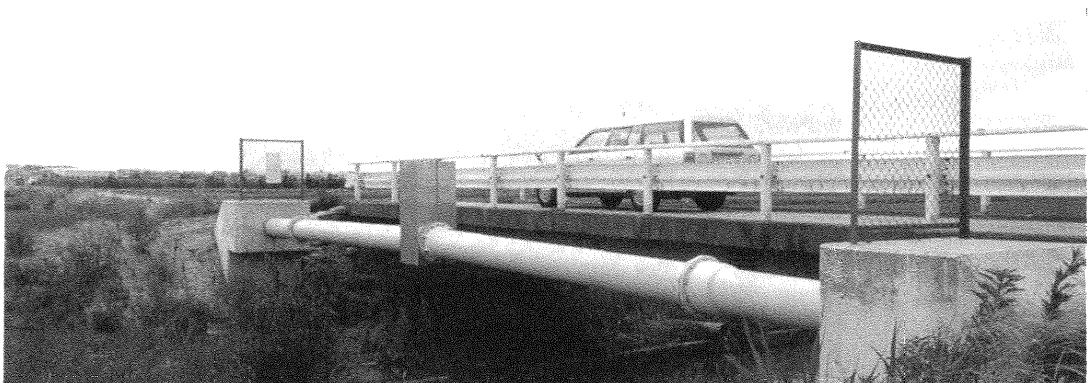


表6 横断部概要

横断箇所	横断距離(m)	工 法
J R	28	T形ダクタイトイル推進管(ℓ=4m)を圧入方式により推進
国 道	28	同 上
県 道	16	T形ダクタイトイル推進管(ℓ=2.43m)を推進(予定)
河 川	16	FT形ダクタイトイル鉄管による水管橋
河 川	100	K形ダクタイトイル鉄管による水管橋(予定)

写真3 FT形ダクタイトイル鉄管による水管橋



で、河川は水管橋（2カ所）で横断する計画とし、ダクトイル鉄管で施工することとした。

#### 4. 施 工

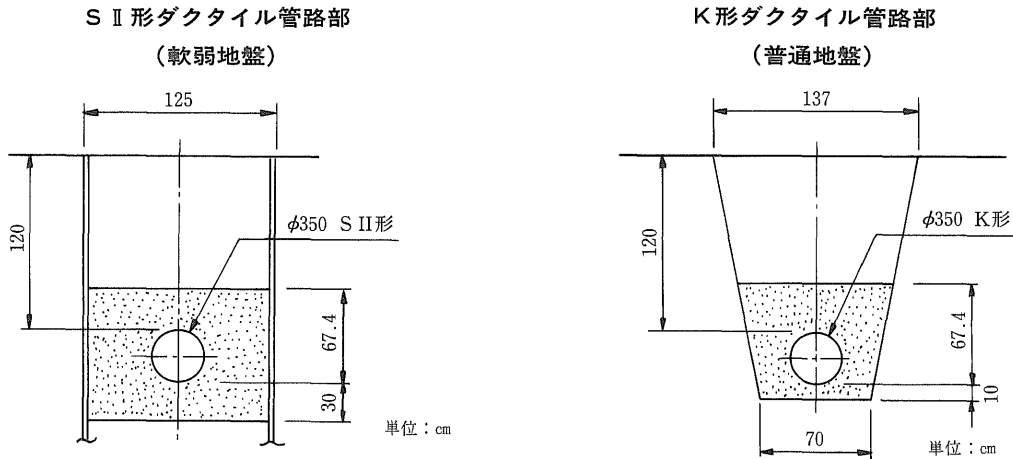
##### 1. 管基礎工

ダクトイル鉄管は、強靱である上に管厚が

厚いので剛性があり、一般には特別な基礎工を施す必要はないが、軟弱地盤には施工性を考慮して30cmの砂基礎を採用した。

図8に軟弱地盤と普通地盤の標準掘削断面を示す。

図8 標準掘削断面図



軟弱地盤では、胴木（3カ所／本）を用いてレベル調整を行った。

写真4 ウェルポイント工



写真5 既設パイプライン調査用試掘工



写真6 掘削工



## 2. 施工管理

ダクタイル鉄管の重量は重い、強靱でたわみにくいので、取り扱いには比較的容易である。

一方、S II形継手は離脱防止機構を有するため一般継手より接合部品が多くなるが、ポイントをつかめば高度な技能を必要とせず確

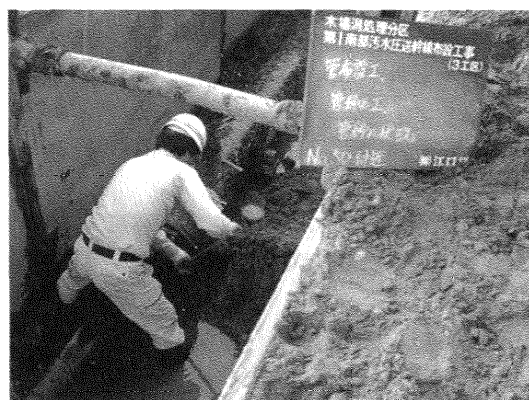
実な接合が行えるが、より確実な施工と安全を期するため、工事開始前に職員と施工業者を対象に接合講習会を開催した。

また、現場ではチェックシートの記入を義務づけ、履歴として残すことにより、施工管理の徹底を図った。

写真7 管布設工



写真8 管接合工



## 3. 管路水圧試験

建設された管路が、問題なく供用できることを確認するため、管内を満水にし設計水圧 3 kgf/cm<sup>2</sup> をかけ、一晩経過後の水圧を確認し、2.4kgf/cm<sup>2</sup> 以上であれば合格とした。

通常、試験距離は、責任範囲を明確にするため工区ごとに行うことが多いが、「施工には自信がある」との施工業者の声もあり、数工区同時（最長4,000m）に水圧試験を行ってきたが、トラブルなく現在に至っている。

なお、全線工事完了後に一括水圧試験を実施する計画である。

## 5. 維持管理

本計画は、将来的には2条管路とするが、先行投資の削減から1期工事は単一管路として供用開始することになり、供用後の停止はきわめて難しい。

また、長距離圧送管路でもあり、万が一、事故ともなれば、その影響は計り知れない。そのため、計画段階から維持管理を考慮して検討し建設してきた。

## 1. 初期対策

供用開始当初は、極端に流入水量が少なくポンプ運転時間が短くなる。そのため、汚水の滞留や固形物の沈でんにより硫化水素ガスの発生などの悪影響が考えられる。

その対策として、定期的にポンプ場近くの都市排水路から流水を受け入れ、高流速で管内を洗浄する計画である。

さらに、管路を健全な形で後世に引き継ぐために、管路内を建設当時のクリーンな状態で維持できないか、クリーニング方法なども検討している。

## 2. 排泥ピット

管路内を空状態にできるよう、管路の低部に排泥ピットの築造を検討したが、排出水量が多く、環境問題も絡み適当な築造場所の確保ができなかった。しかし、万が一の場合を考え、中央排水区の合流式下水管きよへ放流できるよう計画した。

## 3. 空気弁

汚水の超距離圧送であり、設置個数も多く



なることから、一般の空気弁に比べ維持管理が容易な下水道用空気弁を採用した。

しかし、メンテナンスフリーで維持管理できるものではなく、6カ月くらいの間隔で洗浄や機能確認が必要とのことであり、その体制で臨む計画である。

## 6. おわりに

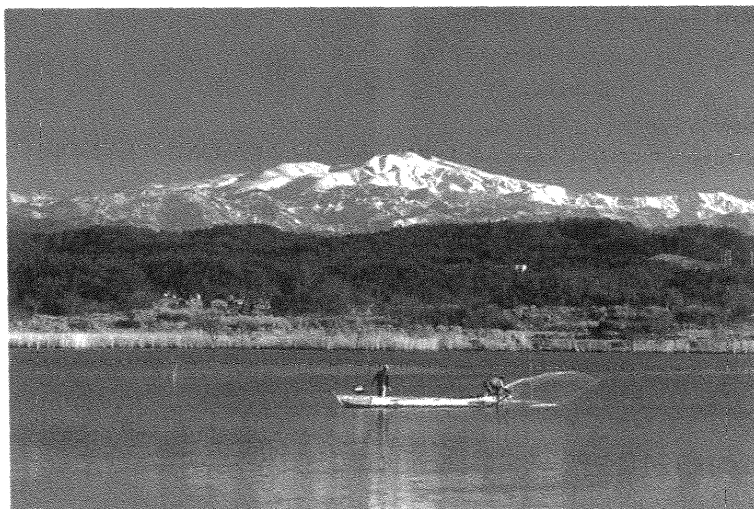
汚水圧送幹線布設工事の着工に際し、木場潟周辺の道路は非常に地下水が高く、軟弱地盤であるため、初めての試みとして一部S II形ダクタイトイル鉄管を採用した。

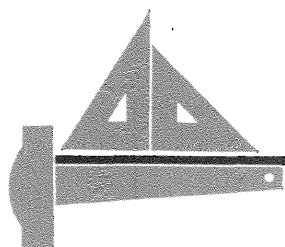
全線8,700m (φ350 S II形4,000m、K形

4,700m) に渡る圧送管も、平成6年3月末日の工事完成、4月供用開始まで間近に迫っている。当初は、軟弱地盤での施工性と安全面に不安であったが、スムーズに工事が進むにつれて、今後の維持管理についても自信と安心感を持てるようになってきたから不思議である。

アピール下水道『木場潟みずぎわ作戦』の完成によって、木場潟と周辺河川の水質改善が進むものと期待し、一日も早い供用開始とともに、本市の恵まれた自然の継承と発展を望むものである。

写真9 木場潟より白山を望む





# 技術レポート



## 呼び径800mmGS形ダクタイトル 推進管を使用した 1 スパン268mの長距離推進

安城市都市開発部下水道建設課  
課長補佐 倉橋光夫  
工務2係長 稲垣勝幸

### 1. はじめに

下水道事業の活発化とともに推進工法や推進管の開発、改良が積極的に行われている。推進工事の増大とともに近年施工条件の厳しいものが多くなりつつあり、長距離推進やS字カーブなど、今までの推進工事では不可能と思われるような距離と線形の工事が要求されるようになってきている。

本稿では、路線中間点でJR東海道本線を横断する1スパン268mの長距離推進工事の施工計画、施工実績について報告する。

### 2. 安城市の概要

安城市は愛知県のほぼ中央に位置し、昭和27年5月の市政施行以来40年になる。

人口約14万6,000人、面積86.01km<sup>2</sup>、「光と緑あふれる産業文化都市」をめざし、成長発展を続けている。

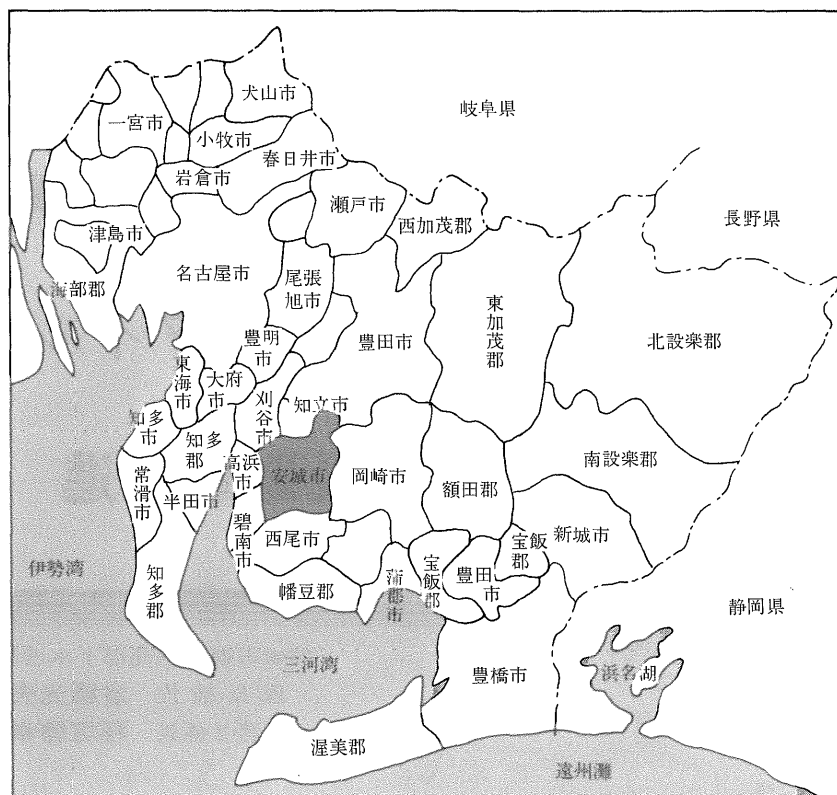
かつて、市域の大部分が安城ヶ原と呼ばれ、水利に乏しい洪積台地であったが、明治18年の明治用水の開通により「日本のデンマーク」と呼ばれる農業先進地として全国に名を広め、今も都市近郊型農業が発展している。

工業の中心は、紡績から自動車関連部門へと移行して、活発な生産活動が続いている。市街地は駅前都市改造事業によって新しい街並みが整い、近代化した商店街が活気を見せている。

毎年8月上旬の4日間「安城七夕まつり」が市街地一帯でにぎやかに開催され、100万人以上の観光客が訪れる。また、昭和63年3月に開業した新幹線「三河安城駅」周辺地区については、土地区画整理事業を進めながら、西三河地域の拠点都市にふさわしいハイグレードなふるさと街づくりに努めている。

安城市の位置を図1に示す。

図1 安城市の位置



### 3. 下水道事業の沿革

安城市の下水道事業は、昭和46年に下水道整備基本計画を立て、愛知県が事業主体である「矢作川・境川流域下水道」に接続する流域関連公共下水道として事業を進めているが、市域の地形状況から「矢作川」・「境川」・「衣浦東部」の3処理区に分割されている。

下水道計画区域としては、現在2,351haを都市計画決定しており、市域面積8,601haの約1/4であり、市街化区域2,011haと、周辺の一部市街化調整区域を取り込んだものとなっている。また、下水排除方式としては、雨水、汚水を分離した分流方式を採用している。

事業については、昭和49年に矢作川処理区において事業着手以来、18年を経過し、これ

まで事業認可区域631haのうち約230haが整備完了し、その投資額は150億円以上となる。

愛知県施工の流域下水道の矢作川浄化センターの供用開始とも相まって、遅ればせながら平成5年4月に一部の市街地について市民待望の供用開始を迎える目処がついたことは、安城市政史上も大いに意義のある記念すべき年となるものである。今後は、今までの遅れた分を取り戻し、先進都市の下水道普及率に追いつき、追い越すためにも、なお一層の事業の推進に努力する必要がある。

### 4. 工事概要

安城汚水幹線は、安城市公共下水道の幹線管きよであり、J R東海道線東稻荷踏切の約

150m南まで完成し、現在、県道の安城・八ツ田・知立線を施工中である。

本工事は、上下流の管きょの連絡を行うもので区間延長279.4m、計画呼び径800mmであり、区間のほぼ真中でJR東海道線東稲荷踏切下を横断する。

地上は、安城市の市街地の住宅や商店の立ち並ぶ交通量の多い市道である。また、路線上部にはガス、NTT、水道などの地下埋設物が存在している。土かぶりも深いため、開削は安全性、コストおよび工期の点で不可能であり、施工には万全を期する必要がある。また、JR東海道本線下の通過日は軌道に対する変状発生を防止するため、JRと協議の上で事前に取り決める必要があり、線路下の通過は沈下測量を行いながら推進することとなった。

図2 平面図

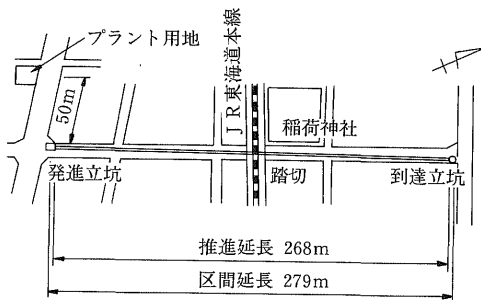


写真1 施工現場状況



## 《工事仕様》

- ①工 事 名：公共下水道築造工事 安城污水幹線（その3）
- ②工 期：平成3年6月22日～平成4年3月21日
- ③施工箇所：愛知県安城市朝日町地内
- ④線 形：1スパン268m、直線、こう配1.3‰
- ⑤土かぶり：6.6～8.2m
- ⑥土質概要：粗砂～れき混じり粗砂、N値15～20  
れき径 5～20mmが主体、最大40mm程度  
透水係数 1～10×10<sup>-3</sup>cm/秒

工事場所の平面図を図2に示す。

施工現場状況を写真1に示す。

## 5. 検討項目

### 1. 施工工法の検討

#### 1. 工法の概要

管きょ布設工事の際し、一般的に用いられる非開削工法は次ページの通りである。

工法の選定に関しては、以下の諸条件について検討することとした。

- ① 道路条件（幅員、交通量、道路線形、迂回路の有無）
- ② 土質条件（土質の物理定数、地下水）
- ③ 周囲環境条件（家屋の近接度、施工時の作業スペース、仮設用地の確保、騒音振動問題、地盤沈下）
- ④ 地上および地下構造物（電気、電話、ガス、水道、雨水、架空線）
- ⑤ 管きょ条件（管種、管径、延長、曲線施工、土かぶり）

#### 2. 工法の比較

シールド工法は長距離施工を前提としており、現在では最小仕上り内径1150mmまでしか施工できず、工事費が1m当たり70万円近くにもなることから、今回のように280m程度では採用される事例はほとんどない。したがって、推進工法の中で土質その他の条件に適合する工法として以下に示す工法を比較検討した。

① 刃口推進工法（全線断面薬注）

② 普通泥水加圧推進工法（坑口部のみ薬注）

③ 泥土加圧推進工法（坑口部のみ薬注）

④ 超高濃度泥水加圧推進工法（坑口部のみ薬注）

上記4種類の工法比較結果を表1に示す。

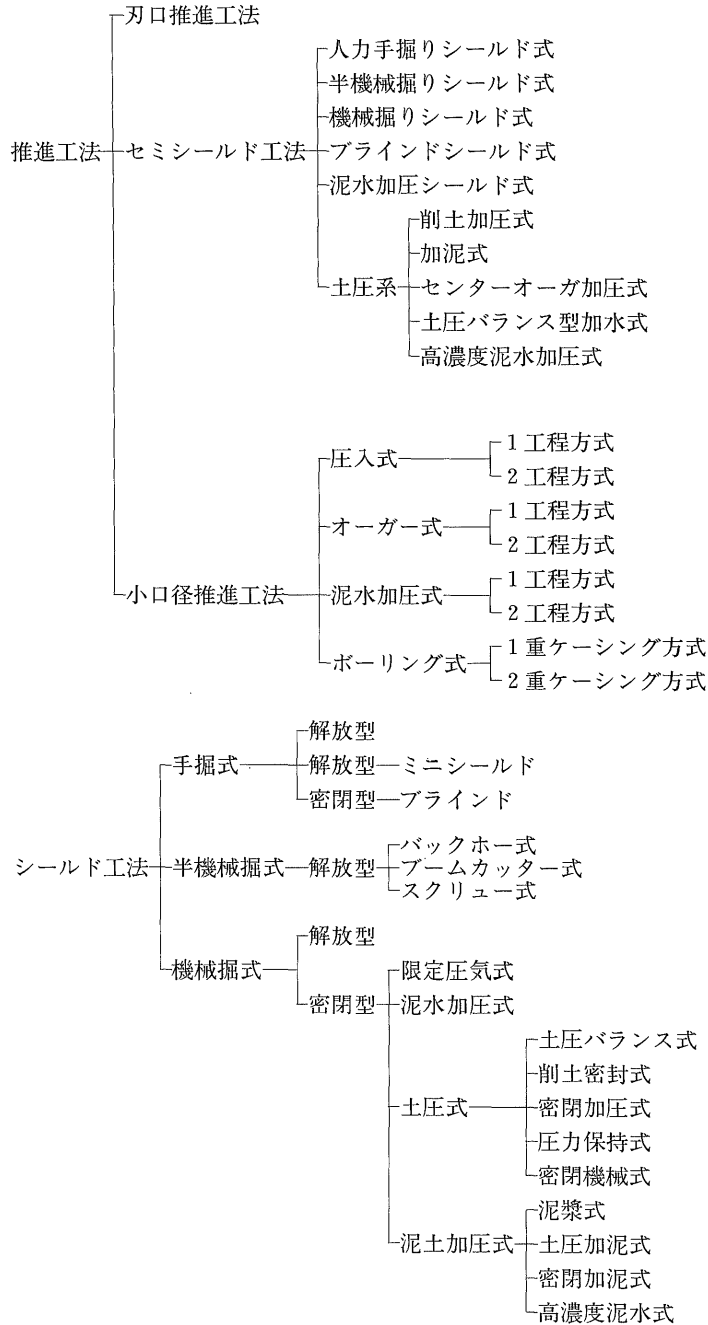


表1 工法比較結果

工法 項目	刃口推進工法	普通泥水加圧 推進工法	泥土加圧推進工法	超高濃度泥水加圧 推進工法
適用土質	原則的には自立性 地盤に適用するが、 補助工法を併用する ことにより適用範囲 を広くすることも可 能である。	粘性土・砂質土の 滞水軟弱層に適して いる。 玉石・礫が大きい 場合は礫破碎装置を 装備する必要がある。	粘性土・砂質土の 滞水軟弱層に適して いる。玉石・礫に対 しても比較的強い工 法である。	透水性・流動性の 高い軟弱粘土層から 砂礫層・玉石地盤ま でほとんどの地盤に 適用できる。
切羽安定機構	切羽には鋼製刃口 を使用しているため 地山の自立を前提と している。自立が期 待できない場合には 補助工法により止水 と地盤改良を行う。	掘削室内に泥水を 注入し、泥水圧によ り先端の土圧および 水圧に対抗する。	泥漿と混練された カッター圧力室内の 掘削土砂の塑性受圧 力と密土圧で土圧に 塑性化された掘削土 砂の難透水性により 水圧に対抗する。	超高濃度の泥水を 地山に注入し、全面 に泥膜を形成し、地 山の崩壊と水圧の両 方に対抗する。テー ル部にも注入を行い 周辺土圧に対抗する。
排土方法	ズリトロにより搬 出。	ポンプ圧によるス ラリー輸送。	ズリトロにより搬 出。	礫・玉石などの固 形分はズリトロ、泥 水分は真空圧による スラリー輸送。
処理設備	不要	一般に処理設備の 用地を必要とする。 ただし配管により処 理設備1ヵ所で発進 立坑数ヵ所に対応で きる。	一般に全量産業廃 棄物として処理する ため処理設備を設置 しないが、作泥設備 を必要とする。した がって送排泥に必要 な設備を発進立坑ご とに設置する場合が 多い。	一般に全量産業廃 棄物として処理する ため処理設備を設置 しないが、作泥設備 を必要とする。した がって送排泥に必要 な設備を発進立坑ご とに設置する場合が 多い。
補助工法	地盤安定と止水の ため全線必要。	発進および到達部 のみ必要。	発進および到達部 のみ必要。	発進および到達部 のみ必要。
工事費	400,000円/m	320,000円/m	340,000円/m	380,000円/m
評価	当該地盤では補助 工法にかかる費用が 膨大となり、もっと も高価である。	処理設備などによ る工事費は多いが、 補助工法は安価であ る。一般に送排泥を循 環スラリー方式で行 っているのもっとも 日進量が多い。	作泥設備などによ る工事費は多いが、 補助工法は安価であ る。泥水式に比べ排 土方法の違いからや や日進量が遅い。	最近開発された工 法であり、実績も増 えつつあるが、経済 性から超軟弱および 超硬質の泥水式・泥 土式で困難な場合に 採用すべきである。

### 3. 工法の選定

検討の結果、経済性などを考慮して普通泥水加圧推進工法を採用することとした。

## 2. 管種の検討

### 1. 管種の比較

従来鉄筋コンクリートが多く採用されていたが、近年管材メーカーの技術開発により、各種の推進管が市場に出てきている。

下水道工事は長期間にわたって施工されるため、施工時期から供用開始時期までの経過年数が非常に長くなる場合がある。そのため供用開始までに管体が損傷を受ける場合があり、対薬品性、対止水性に優れた推進管が要

求される。さらに推進工法の進歩により長距離推進が可能になり、耐荷力に優れた推進管が要求されるなど、要求性能が多様化している。

今回は268mを1スパンで施工するとして、それに使用する管について以下に示す推進管を比較検討した。

- ① 遠心力鉄筋コンクリート管
- ② 推進工法用ハイガードパイプ
- ③ 推進工法用セラヒュームパイプ
- ④ 推進工法用スーパーラインパイプ
- ⑤ GS形ダクタイトル推進管

推進管比較結果を表2に示す。

表2 推進管比較結果

管種	遠心力鉄筋 コンクリート管	ハイガード パイプ	セラヒューム パイプ	スーパーライン パイプ	GS形ダクタイトル 推進管
材 料	圧縮強度500 kgf/cm <sup>2</sup> のコンクリート、混和材料、滑材、鉄筋。	圧縮強度500 kgf/cm <sup>2</sup> のコンクリート、混和材料、滑材、鉄筋、ポリウレタン樹脂。	圧縮強度500 kgf/cm <sup>2</sup> のコンクリート、混和材料、滑剤、鉄筋、セラミックパウダー、合成樹脂	圧縮強度900 kgf/cm <sup>2</sup> のコンクリート、混和材料、滑材、鉄筋、耐アルカリ性ガラス繊維。	ダクタイトル 鉄、コンクリート、軽量鋼管、ポリエチレン樹脂。
製 造	組み立てた鉄筋を金属型枠に入れ、ミキサで練り混ぜたコンクリートを投入して遠心力、ロール転圧、振動などにより締め固める。	同左により成形後、ポリウレタン樹脂をライニングする。	同左により成形直後のフレッシュコンクリートに遠心力によりセラミックパウダーと合成樹脂からなる防食層を形成する。	内面、外面にガラス繊維を配置する以外は通常の推進管と同様である。	溶解した原料に適切な処理を行って黒鉛を球状化して製造する。
圧縮強度	500kgf/cm <sup>2</sup>	500kgf/cm <sup>2</sup>	500kgf/cm <sup>2</sup>	900kgf/cm <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>4</sup> kgf/cm <sup>2</sup>
粗度係数	0.013	0.010	0.010	0.013	0.013
内面処理	コンクリート	ポリウレタン樹脂コート	セラミック樹脂コート	モルタル	ポリエチレンライニング
対硫化水素	弱い	強い	強い	弱い	強い
剥離性能	摩耗しやすい	起こりやすい	起こりにくい	摩耗しやすい	起こりにくい
許容耐荷力	230tf	230tf	230tf	397tf	480tf*

\*標準管(管厚8.5mm)の許容耐荷力

2. 推進力の計算

① 計算条件

- 呼び径：800mm
- 土かぶり：H=8.11m
- 推進距離：L=268.6m
- 土の単位体積重量： $\nu = 1.9\text{tf/m}^3$
- 土の内部摩擦角： $\psi = 30^\circ$
- 上 載 荷 量：20tfトラック

② 項目

- 普通泥水加圧元押し工法での元押し推

進力

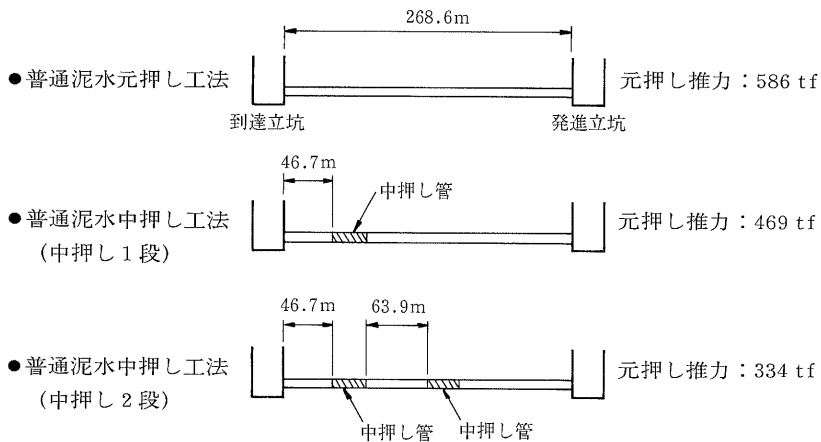
- 普通泥水加圧中押し工法(中押し1段)での元押し推進力
- 普通泥水加圧中押し工法(中押し2段)での元押し推進力

③ 計算結果

下水道協会の修正式IIで推進力を計算した。

計算結果を図3に示す。

図3 計算結果



3. 管種および工法の選定

呼び径800mmGS形ダクタイトイル推進管の標準管厚(8.5mm)での許容耐荷力は480tfであるが、管厚調整により許容耐荷力を大きくすることができる。

推進力の計算結果より、許容耐荷力が600tf(管厚9.5mm)のものを使用すれば、元押し推

進工法で施工できる。

以上の結果から、経済性、管の品質などを考慮して、呼び径800mmGS形ダクタイトイル推進管(管厚9.5mm、許容耐荷力600tf)を用いた普通泥水加圧元押し工法を採用することとした。

GS形ダクタイトイル推進管の構造を図4に、また、特長を表3に示す。

図4 GS形ダクタイトイル推進管の構造

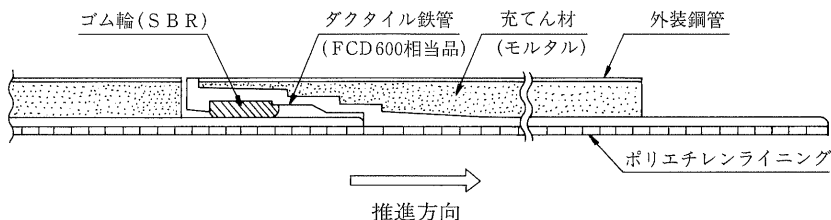




表3 GS形ダクトイル推進管の特長

寸法・重量	管の外径や重量を1口径小さい推進工法用鉄筋コンクリート管に概略合わせた。 管の重量は、推進工法用鉄筋コンクリート管の50～60%と軽量である。
施工性	管の外径や有効長を推進工法用鉄筋コンクリート管に概略合わせているので、推進工法用鉄筋コンクリート管用の推進設備で施工できる。
防食性能	管の内面には、ポリエチレンなどの耐食性や耐摩耗性に優れた樹脂をライニングし、自然流下系下水管路に発生するといわれている硫化水素に対する防食性能を向上させた。
継手性能	施工時や施工後に作用すると想定される苛酷な条件下においても、内外圧1kgf/cm <sup>2</sup> の水密性能を有する。
推進性能	次の理由により、推進工法用鉄筋コンクリート管に比べ長距離の施工が行え、同じ推進力で長距離を施工できる。 ●管の耐荷力が大きい。 ●管の外径が同口径の推進工法用鉄筋コンクリート管に比べ小さいので、管に作用する摩擦抵抗力や刃口抵抗力が小さい。 ●管の重量が同口径の推進工法用鉄筋コンクリート管に比べ軽いので、管に作用する自重による摩擦抵抗力が小さい。

## 6. 施工

### 1. 推進施工手順

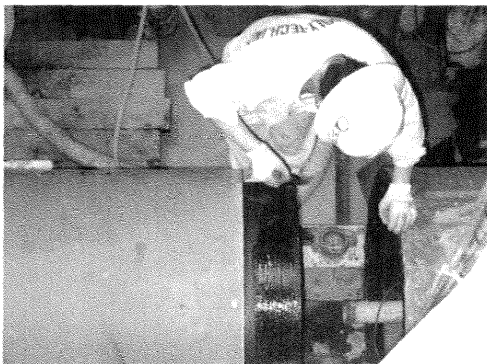
- ① 推進用マシンの初期掘進後、発進立坑内に管を降ろす (写真2 参照)。

写真2 管の吊り降ろし



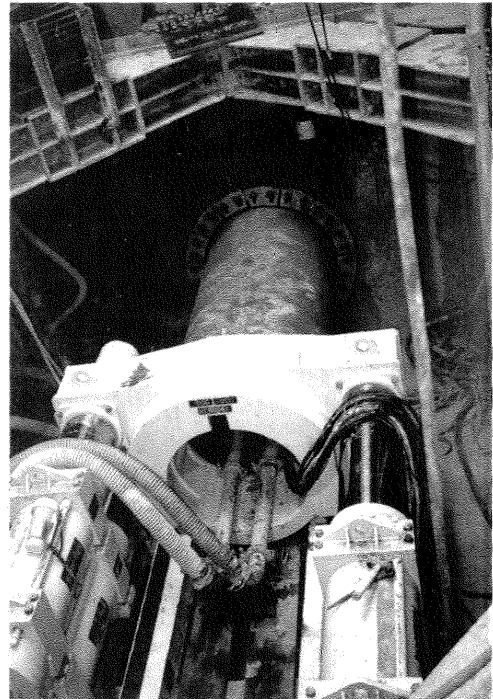
- ② ゴム輪および挿し口外面を拭いた後、滑剤を塗布する (写真3 参照)。

写真3 滑剤の塗布



- ③ 推進管の受口と挿し口の芯が合っていることを確認して推進ジャッキで押し込む (写真4 参照)。

写真4 推進ジャッキによる押し込み



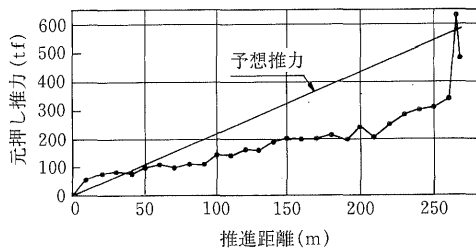
- ④ ①～③の作業を繰り返し、マシンが到達立坑に達するまで管を推進させる。

## 2. 推進力

図5に推進力の推移を示す。到達立坑付近での一時的な上昇は高圧噴射注入改良ゾーンで生じたものである。全体的には実績推進力は計算値を下回った値で推移した。長距離推進ということで下記のような推進力低減対策を講じたが、その効果があったと思われる。

- ① 推進機械の全周に厚さ16mmの鉄板を巻き、さらに3本のカッタスポークすべてに5mmのオーバーカッタービットを装備した。
- ② 滑剤を積極的に注入した。  
滑剤の注入は、常に全線にわたって注入できるように推進管4本ごとに注入ホースを取り付け、理論上のテールボイドの100%を注入するように管理した。

図5 推進力の推移



## 3. 測量

### ① 管の到達精度

今回採用した推進機械は、発進立坑で操作する後方制御式である。方向の制御は、マシン最後部に設置されているテレビカメラで、発進立坑から発射されたレーザーがマシンの後部にあるターゲット(8cm×8cm)のどの位置にあたるかを監視しながら行った。

通常はレーザートランシットで左右方向を管理し、上下方向はマシンのピッチングと人によるレベル測量で管理するのが一般的である。今回は、オートレベル機能を有し、こう配も設定できるレーザー測量機を使用した。その結果、運転席から左右方向と高さを同時にリアルタイムで管理することができた。到達精度は

上下方向が2mm、左右方向が10mmと良好な到達精度を得た。

### ② 沈下について

掘進による沈下の有無の確認のため沈下測量を行った。鉄道の踏切付近ではJRとの協議により特に入念に測量を行ったが、全線を通じて沈下はまったく認められなかった。

## 7. おわりに

呼び径800mmクラスの推進工事は管内のスペースが狭く、他の呼び径に比べ作業性が悪い。たとえば、マシンの維持管理、送排泥管の保守、測量時の精度など、あらゆる面で呼び径800mmの方が他の呼び径に比べ時間がかかり、精度も悪くなる。このような悪条件の中でトラブルもなく精度良く施工ができたのは施工前にいろいろな角度から検討し、施工中も万一の推進力の増大にも対処できる予備方策として、中押しを1段設置するなど慎重に施工管理をしたためであると思われる。

推進管については、到達立坑付近で一時的に推進力が上昇したが管体にはなんら異常は見られず、ダクタイル推進管の大きな耐荷力が施工に活かされたといえる。また、施工完了後の継手部からの漏水はまったく見られず、高い止水性能が実証された。

今回のような長距離推進が下水道事業の拡大とともに、将来的にも必要とされると思われるが、今回の施工データが今後の工事の参考資料となれば幸いである。

最後に、今回の推進工事の設計、施工にご協力いただいた関係各位に改めて感謝する次第である。

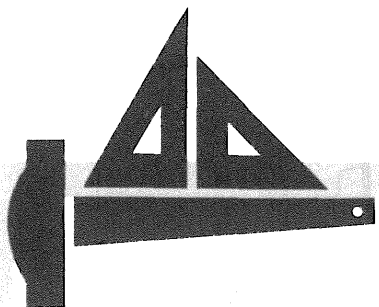
発行年	号数	タイトル	著者	概要
1992年	No.52	送泥システムの設計維持管理に関する基礎調査	<p>日本下水道事業団</p> <p>東京支社計画設計課 課長 金井 重夫</p> <p>兵庫広域処理事務所工事課 課長 伊原 恒己</p> <p>神戸市下水道局</p> <p>北下水道建設事務所 田中 良穂</p>	<p>下水道の普及の向上に伴い汚泥の量も増加し、その処理、処分も大きな問題となっている。これら汚泥を脱水ケーキ状にしてから焼却、溶融されているが、姫路市下水道局ではポンプ圧送に切り換えることになっている。そこで事業団では、皮革排水汚泥を処理する地域での送泥管路の設計と維持管理を行うための資料を得ることを目的として調査した。送泥管にはダクタイト鉄管が使用されているが、管内面に付着したスケールを除去後の試験ではセメントモルタルライニングは健全で、ひび割れ、はく離、劣化は見られず、鉄部ともに健全であり、送泥管の管材として適切であることが確認された。本論では、皮革排水汚泥の送泥システムについて設計・維持管理を今後おこなっていく上で有益な資料が得られたと述べている。</p>
		河川横断部における超大口径2900mm推進工法用ダクタイト鉄管の施工について	<p>愛知県</p> <p>半田土木事務所 工事課 石川 照雄 田中 龍次</p>	<p>本工事は、河川改修に伴って大府江川の既設暗きよの真下に逆サイホン方式で呼び径2900mmの管路を新たに設置するもので、河川横断推進管に要求される条件として、管体強度が高く、外圧に対して強度があること、継手の水密性や耐食性に優れ、地盤変動に対応できることなどを検討した結果、ダクタイト鉄管が採用された。工事は地下水の高い滞水層だったが、逸水、逸泥、地山の崩壊もなく、悪条件下ではあったが、無事完了したと述べている。</p>
		尾道市における汚水の多重圧送にダクタイト鉄管を使用した事例について	<p>尾道市</p> <p>都市部下水道課 課長補佐 迫田 国昭</p>	<p>尾道市の下水道計画は古く昭和32年に立案され、認可などの法手続き、管工事、浄化センターの用地取得を続け、平成元年4月1日に一部供用開始した。多重圧送システムを採用した理由として、処理区内の下水を処理場まで輸送するためには、自然流下で収集された流入管内の汚水を幹線に送り込むため、流入管に対してもポンプ圧送しなければならないためである。そして、強度、水密性を重視し、圧力管として信頼性のあるダクタイト鉄管が採用された。本論では、管路の複線化、ポンプ能力のアップなど、先行投資の削減効果があったと述べている。</p>

発行年	号数	タイトル	著者	概要
1992年	No.52	呼び径900mmダクティル鉄管を下水圧送管の曲線推進工事に使用した事例	宮崎市 下水道部 下水道建設課 課長 篠原 淳輔	宮崎市の下水道普及率は半世紀を経て46%までアップしている。今回の工事は汚水をポンプ場から宮崎処理場まで圧送するもので、この圧送管に推進工法用ダクティル鉄管が採用された。しかし、施工の難易性からダクティル鉄管の採用が疑問視されたが、高水圧に耐え、大きな土圧や輪荷重にも問題なく、水密性が高く、腐食しにくい上に不同沈下に順応し、現在の推進技術の進歩により問題もなく、工事はスムーズに運び、供用から1年経過したが、事故もなく維持管理も容易であると述べている。
		GS形ダクティル推進管による長距離推進と温泉排水対策について	秋田県 中央流域下水道事務所 工務課調査設計係長 村木 幹夫 主任 宇佐美 義光	硫化水素による下水管きよや処理場の腐食事故が各地で起こっている。当事務所でも硫酸イオンを多量に含む温泉排水対策を兼ねたGS形ダクティル推進管による長距離推進工事をおこなったが、採用理由としては、耐荷力が大きい、推進時の摩擦抵抗が小さい、管内面に耐酸性と耐摩耗性に優れたポリエチレン樹脂ライニングが施してある、継手の水密性がよい、施工性がよいなどであった。本論では、管の接合が容易で許容耐荷力に対して十分余裕があり、強度上安心して推進することができたと述べている。
		ダクティル鉄管による小口径長距離推進工事について	藤井寺市水道局 工務課 課長代理 浅野 俊朗 大森 克人	近年、市街地では地下埋設物の輻輳化、交通規制、工事公害などで制約されることが多く、開削工法は困難な状況となっている。藤井寺市では、その対策として推進工法用T形ダクティル鉄管による小口径推進工法を採用し、最大延長スパン107.2mの工事をおこなった。工事は無事に完了したが、長距離推進をおこなうためには、排泥水をいかに回収するかが、今後の課題であると述べている。

発行年	号数	タイトル	著者	概要
1992年	No.52	ダクタイトル鉄管を用いた既設管破碎工法による呼び径150mm管路の更新工事について	久居市 水道課 課長 行方 勝治 主査 波多野 隆生 技師 笠井 広己	<p>本工事では、P・T・P工法が採用されたが、道幅が狭く、開削工法ができない、既設管の周辺に他の埋設物がない、工期が短縮できる、同一口径に布設替えができるため水量が確保できる、そして工事に伴う騒音、振動が少ないなど、がその理由であった。久居市で初めてのダクタイトル鉄管を用いた既設管破碎推進工法であったが、危惧したトラブルもなく、工期内に工事が完了できたが、今後も管路更新に同工法を十分に活用していきたいと述べている。</p>

ダクタイル鉄管第52号

平成4年5月



# 技術レポート

1

## 送泥システムの設計・維持管理に関する基礎調査

日本下水道事業団東京支社計画設計課

課長 金井重夫

日本下水道事業団兵庫広域処理事務所工事課

課長 伊原恒己

神戸市下水道局北下水道建設事務所

田中良穂

### 1. はじめに

下水道普及率の向上に伴い下水汚泥の量も年々増加しており、特に大都市圏域においては下水汚泥の処理、処分が大きな問題となっている。

そこで、長期的、かつ広域的な視点に立って汚泥の処理、処分を行っていくために、日本下水道事業団が事業主体となり「下水汚泥広域処理事業（エースプラン）」が昭和61年度からスタートしている。現在、大阪北東、大阪南、兵庫県および兵庫西の各地域で事業を進めている。

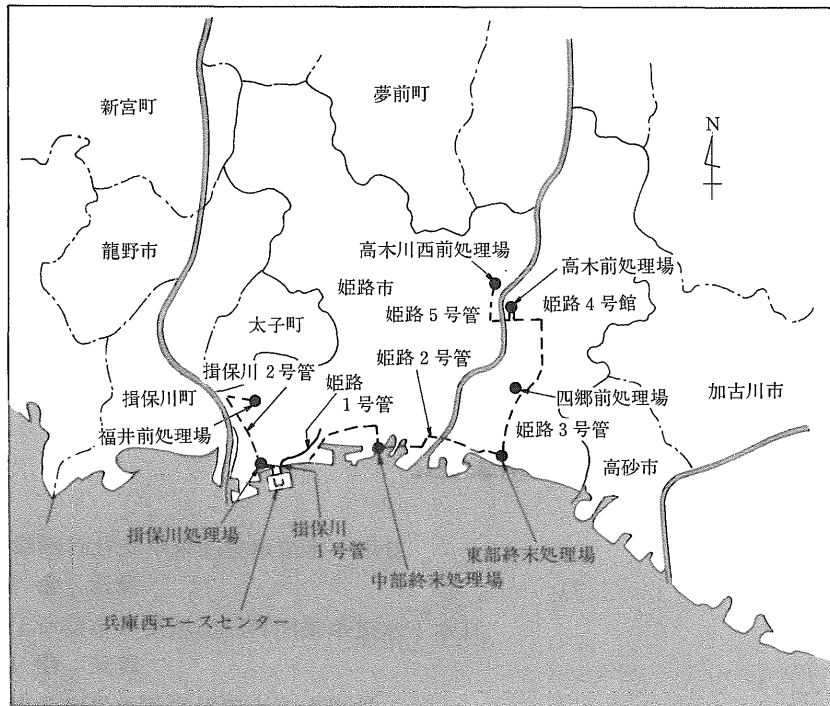
このうち、図1に示す兵庫西地域では、兵庫県と姫路市が管理する下水処理場の汚泥を受け入れ対象とし、当初は脱水ケーキの形で搬入して焼却、溶融されるが、平成5年度以後、各処理場からの汚泥は順次、生汚泥のポ

ンプ圧送に切り換えられる計画となっている。これらの処理場の多くは姫路市の地場産業である皮革工場からの高濃度排水を受け入れている。そのため、発生する汚泥は一般の都市下水汚泥とは物理的、化学的性質が異なり、東京都、名古屋市などで多年の実績を有する生汚泥のポンプ圧送についても、特別な配慮と対策の必要性が予想される。

そこで、本地域における送泥管路の設計と維持管理を行うための資料を得ることを目的として、表1に示す調査を行った。調査は、昭和61年度から平成元年度にかけて、姫路市下水道局E処理場に設置した実験管路および運転中の各処理場に対して行った。

本稿では、これらの調査のうち、管路本体に関わる調査だけについてその結果を報告する。

図1 兵庫西エースプランの計画図



## 2. 水理学的調査

下水汚泥のポンプ圧送は、わが国でも東京都、大阪市、名古屋市などで約20年以上の実績があり、その設計と管理の手法はほぼ確立されている。

すなわち、管路の設計でもっとも問題となる擬塑性流体である汚泥の摩擦損失水頭の算定には、主に①ヘーゼン・ウィリアムス方式による方法、②アップバサーテヒニックの式による方法、③遠藤・金成の式による方法などがある<sup>1)</sup>。(汚泥濃度は0.5～2.0%、最低流速は乱流域となる0.5m/秒、標準流速は1.0～1.5m/秒)

一方、本事業で対象とする汚泥は、表2に示すように汚泥の粘性に大きな影響を与えるとして脂肪を高濃度に含み、また、皮なめし工程に起因する石灰、獣毛などを多量に含むため、一般の都市下水汚泥とかなり異なった水理学的挙動を示す恐れがある。このため、実験管路を設置し、管路設計に必要な各種のデータをを得ることを目的として水理実験を行った。

### 1. 実験管路

実験管路を図2に示す。

実験管路は大別すると汚泥貯留タンク、汚泥ポンプ（スクリュウ渦巻きポンプ）、管路（G L上50cm高に露出配管、呼び径は主に200mm）からなる。

タンクに投入された汚泥はポンプで圧送され第1系列から第4系列の4つの同じ構成の管路を流れたあと、外周を形成する水理実験用管路（ダクタイトル鉄管で、内面は粉体エポキシ塗装）を通り、再びタンクに戻って循環する構造となっている。第1系列から第4系列は長期送泥実験用の管路で、詳細は後述する。

### 2. 摩擦損失水頭測定実験

#### 1. 実験方法

供試汚泥は、B処理場とE処理場から採取した汚泥および両者を4：1に混合した汚泥（以後、混合汚泥と呼ぶ）、そしてD処理場から採取した汚泥の4種類とし、これらを処理水で所定の濃度に希釈したものを用いた。

摩擦損失水頭の測定は、管内平均流速を変化させて、図2に示すA点とB点（管路延長



## 項 目

表1 調査概要

目 的	目 的	調 査 内 容
1 水理学的調査	送泥管路設計のための水理学的基礎資料を得る。	管摩擦損失水頭 (ヘーゼン・ウィリアムス式の係数) の測定と管内濃度・速度分布。
2 長期送泥実験	管材料、付属品などの選定に関する基礎調査資料を得る。	管内面の閉塞状況
		管内面の摩耗、腐食状況
		ゴム輪の状況
		管の強度
3 管材浸漬試験	〃	管内面のスケール生成、腐食状況。
4 既設汚泥管の調査	〃	管内面の摩耗、腐食、閉塞状況。
5 空気弁の性能試験	送泥管路に適した空気弁を選定する。	空気弁の性能、特に長期使用時の安定性。
6 ピグ工法による洗管実験	ピグによる洗浄の可能性の確認と、実施に必要な諸資料を得る。	洗浄効果 水圧、作業時間 その他(水量、排水水質)
7 前処理場汚泥濃縮槽臭気実態調査	受泥槽、ポンプ場の脱臭設備の設計に必要な資料を得る。	硫化水素、アンモニア濃度の時間変動とその他悪臭物質の濃度の計測と脱臭設備の機能。
8 前処理場汚泥pH値連続測定	汚泥ポンプ場のpH調整設備の必要性を明らかにする。	pH値の時間変動 (汚泥、流入水)
9 硫化物生成状況調査	管路中での硫化水素の生成量を把握し受泥槽、ポンプ場の脱臭設備の設計資料とする。	硫化物の生成状況、硫酸塩還元菌の増殖など。

図2 実験管路の全体図

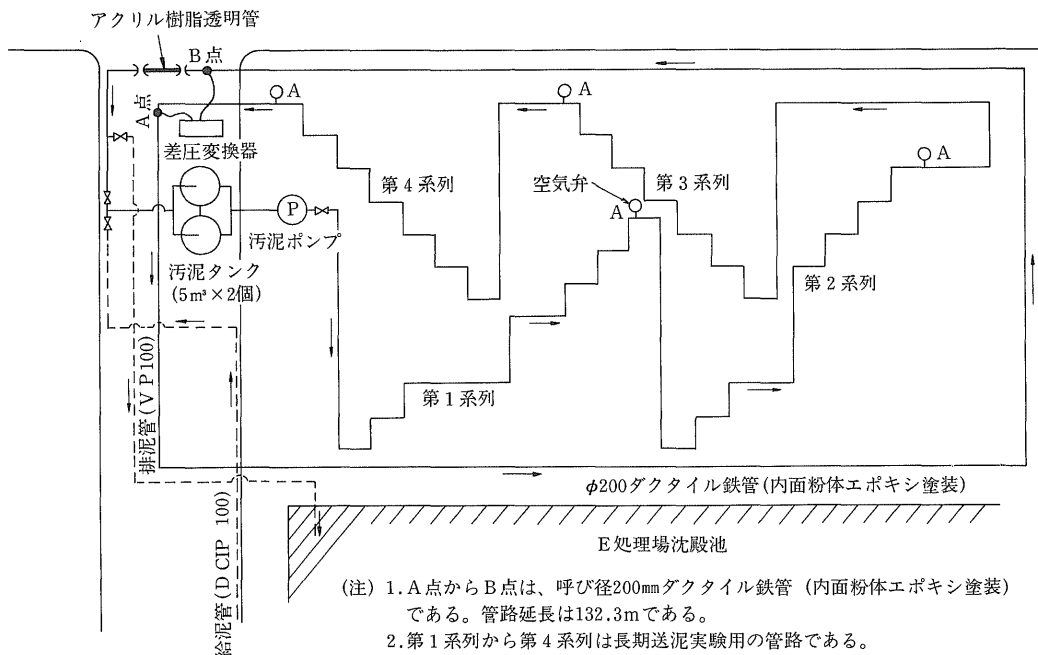


表2 汚泥の分析データ<sup>2)</sup>

都 市 名	姫 路 市						甲 市											乙 県			
調 査 日	S 62.3.19						S 62.3.12											S 62.3	S 62.3.9		
処 理 場 名	A	B	C	D	E	F	G	H		I			J		K	L	M	N	O	P	Q
温 度 ℃	14	17.2	15.7	14.2	16.8	21	13.7	13.2	13.8	13	14	13.6	13	13.6	13.2	13.7	13.2	15.7	-	-	-
pH値	5.6	6.53	9.57	9.5	7	7.1	6.48	6.43	6.53	6.51	6.8	6.52	6.48	6.47	6.45	6.65	6.62	6.31	-	-	-
ORP mV	-176	6.53	-475	-267	-247	-326	-163	-195	-205	-221	-121	-188	-176	-280	-282	-96	-173	-210	-	-	-
アルカリ度 mg/ℓ	628	1,420	14,800	12,200	9,470	10,800	157	166	200	202	141	180	182	218	244	115	117	174	-	-	-
酸 度 mg/ℓ	876	563	-	-	688	823	56.8	52.2	59.6	63.8	24	52.7	48.3	58.4	78.6	28.1	27.4	151	-	-	-
TS %	2.67	2.89	6.37	8.14	5.27	5.31	0.891	0.904	0.847	0.851	0.438	0.58	0.481	0.589	0.581	0.429	0.242	0.98	2.59	3.28	2.05
VTS比 %	75.3	76.1	61.7	69.9	71.2	73.1	78.7	80.5	80	80.2	76.3	77.7	77.2	76.7	75.4	78.9	79.4	81.4	75.7	74.7	74.6
SS %	2.3	2.3	5.3	7.2	4.6	4.7	0.841	0.855	0.787	0.791	0.404	0.521	0.436	0.538	0.522	0.403	0.194	0.83	2.1	2.8	1.7
VTS比 %	78.3	84.6	66	72.2	71.7	74.5	81.1	83	82.7	3	0.3	1	0.3	9.5	8.5	82.1	5.3	80.7	-	-	-
粗繊維50 mg/ℓ	1,980	790	5,220	14,800	5,160	4,920	2,030	1,440	1,388	1,678	970	325	465	1,243	838	1,288	998	670	-	-	-
粗繊維100 mg/ℓ	2,930	1,230	7,500	19,100	7,250	10,400	2,035	1,945	1,515	2,245	1,285	340	475	1,565	1,345	1,365	1,355	1,100	-	-	-
粗繊維200 mg/ℓ	4,200	2,430	9,130	25,200	10,400	20,400	2,445	3,680	1,660	3,075	1,485	610	620	1,830	1,750	1,890	2,005	1,770	2,010	7,500	6,300
硫化物 mg/ℓ	38.5	24.3	140	34.1	52.2	4.6	23.6	17	23.6	21.9	17.1	17.2	22.5	21	19.5	20.5	20.6	2.07	115	119	95.5
有機酸 mg/ℓ	3,200	2,300	1,910	862	3,790	239	136	108	185	179	100	123	102	143	155	75.9	51.9	154	20,701	3,790	1,970
粗脂肪 mg/ℓ	(251)	(118)	(122)	(109)	(137)	(28.2)	800	800	500	500	500	500	600	500	600	400	400	(163)	(116)	-	-
粗タンパク mg/ℓ	(419)	(606)	(356)	(378)	(307)	(20.7)	2,600	2,600	2,600	2,500	2,000	1,700	1,200	1,600	1,700	600	1,100	(337)	(239)	-	-
炭水化物 mg/ℓ	(74.9)	193.4	(64.4)	(41.8)	(72.1)	(9.42)	1,000	800	800	900	900	600	500	600	600	100	200	(71.4)	(66)	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/ℓ	14	570	680	660	240	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	36	29	20
NH <sub>4</sub> -N mg/ℓ	190	470	350	220	580	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-
D-TOC mg/ℓ	1,200	700	850	710	1,200	370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	550	-	-	-
硫酸塩還元菌 n/ℓ	-	-	-	-	-	-	1.11×10 <sup>5</sup>	1.57×10 <sup>5</sup>	1.55×10 <sup>5</sup>	1.90×10 <sup>5</sup>	-	1.03×10 <sup>5</sup>	9.5×10 <sup>4</sup>	-	-	5.9×10 <sup>4</sup>	2.00×10 <sup>5</sup>	-	-	-	-

( )内の単位はmg/TS 1g

132.3m)の圧力差を差圧変換器で測定する方法で行った。また、管内平均流速は超音波ドップラー型流速計で測定した。

測定は、昭和62年度から平成元年度までのそれぞれ夏期と冬期に行った。

2. 結果と考察

データの整理、解析は従来から「水理公式集」、「下水道施設設計指針」で示されている簡明で取り扱いよいヘーゼン・ウィリアムス式によることとした。

ヘーゼン・ウィリアムス式の流速係数の算出は(1)式によった。

$$C_H = \frac{V}{0.35464 \cdot D^{0.63} \cdot (H_f/L)^{0.54}} \dots\dots(1)$$

$C_H$ ：ヘーゼン・ウィリアムス式の流速係数

$V$ ：管内平均流速 (m/秒)

$D$ ：管内径 (0.2m)

$H_f$ ：A B間の摩擦損失水頭 (m)

$L$ ：A B間の管路延長 (132.3m)

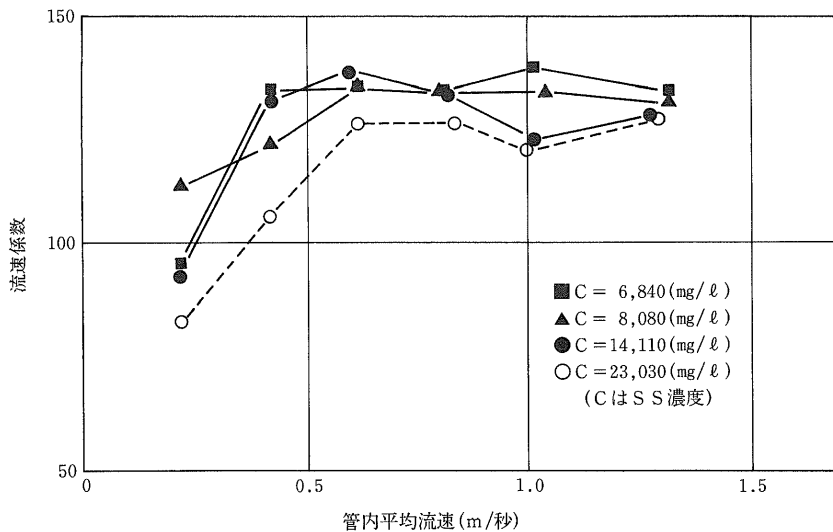
なお、曲がり損失は摩擦損失に比べ無視できるので、測定した全損失水頭を摩擦損失水頭とした。

(1) 流速係数と管内平均流速の関係

流速係数と管内平均流速の関係の一例を図3に示す。

流速が0.4~0.6m/秒以上では流速係数はほぼ一定であるが、この流速以下で

図3 流速係数算出結果の例  
(混合汚泥  
昭和62年12月測定)



は流速の低下とともに小さくなっており流れの形態が異なることが考えられる。

また、濃度が高いほど、流速係数が小さい。

(2) 動水こう配と管内平均流速の関係

動水こう配と管内平均流速の関係の例を図4に示す。

汚泥のデータが清水に平行な部分では動水こう配が流速のほぼ2乗に比例しているが、流速が0.4~0.6m/秒以下では

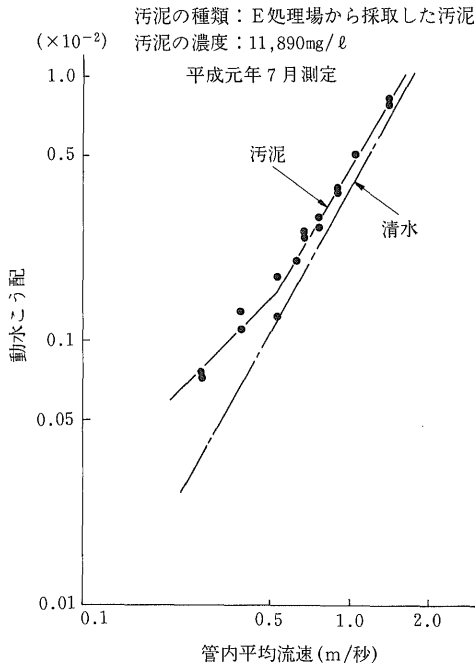
ほぼ1乗に比例していることから、この流速以上は乱流域、以下は層流域と考えられ、流れの形態が異なっていることがわかる。

他の測定データも同様の結果であった。

(3) 流速係数と汚泥濃度の関係

昭和62年度から平成元年度の夏期と冬期に測定した全データについて、流速係数と汚泥濃度の関係をまとめた結果を図5に示す。この図には、乱流域と考えら

図4 動水こう配と管内平均流速の関係の例



(注) 清水は  $C_H = 154$  (昭和61年度の測定結果) としてヘーゼン・ウィリアムスの式による計算値。

れる流速が0.6m/秒以上のデータを示した。図中、 $C_{HS}$ は汚泥の流速係数、 $C_{HW}$ は清水の流速係数を示す。 $C_{HW}$ はこの実験管路での測定で154であった。また、土木学会編「水理公式集」に示されている遠藤らの式<sup>(3)</sup>、Chouの式<sup>(4)</sup>も併記した。

夏期と冬期の流速係数を比較すると、冬期の方が5～10程度小さい。これは、汚泥の粘性が温度によって変化するためと考えられる。

本実験結果とChouの式は比較的良好に一致した。

この図には明瞭に現れていないが、測定結果を詳細に検討した結果、約3年間の送泥による流速係数の経年変化は見られなかった。これは後述するが、管路解体時に管内面のスケール生成や荒れなど

の、摩擦損失の増大につながる要因が見られなかった結果と一致する。

(4) 摩擦損失水頭の実験式

ここでは、東京都の調査結果<sup>(5)</sup>に沿って乱流域における摩擦損失水頭の実験式を求めた。

清水の摩擦損失水頭を  $H_{fw}$  とし、(1)式に示したヘーゼン・ウィリアムス式を変形すると(2)式となる。

$$H_{fw} = 6.82 \frac{L}{D^{1.17}} \left( \frac{V}{C_{HW}} \right)^{1.85} \dots \dots \dots (2)$$

先に示した図4から、汚泥の乱流域におけるデータは清水の場合の直線にほぼ平行であることがわかった。このことから乱流域での汚泥の摩擦損失水頭  $H_{fw}$  は流速の約1.85乗に比例すると考えられ、(3)式で近似できる。

$$H_{fw} = k_1 V^{1.85} \dots \dots \dots (3)$$

$k_1$  : 汚泥の摩擦損失水頭係数

ここで、清水の摩擦損失水頭係数を  $k_2$  として、 $k_2$  に対する  $k_1$  の比  $k_3 = k_1/k_2$  をとると(4)式が得られる。

$$H_{fw} = k_3 \cdot H_{fw} \dots \dots \dots (4)$$

実験結果から、 $k_3 (= C_{HW}^{1.85}/C_{HS}^{1.85})$  と汚泥濃度の関係を求めた結果を図6に示す。ここで、汚泥濃度は、汚泥温度10℃の粘性と同じ粘性を持つ濃度に換算したものである。換算には東京都の調査で得られている式を用いた。また、図中にはChouの式、東京都の式も併記した。

$k_3$  と10℃に換算した汚泥濃度  $C_{10}$  との関係は(5)式で表わされる。

$$k_3 = 1 + 2.61 \times 10^{-5} \cdot C_{10} \dots \dots \dots (5)$$

したがって、(5)式に(4)式を代入して汚泥の摩擦損失水頭  $H_{fw}$  は(6)式で求めることができる。

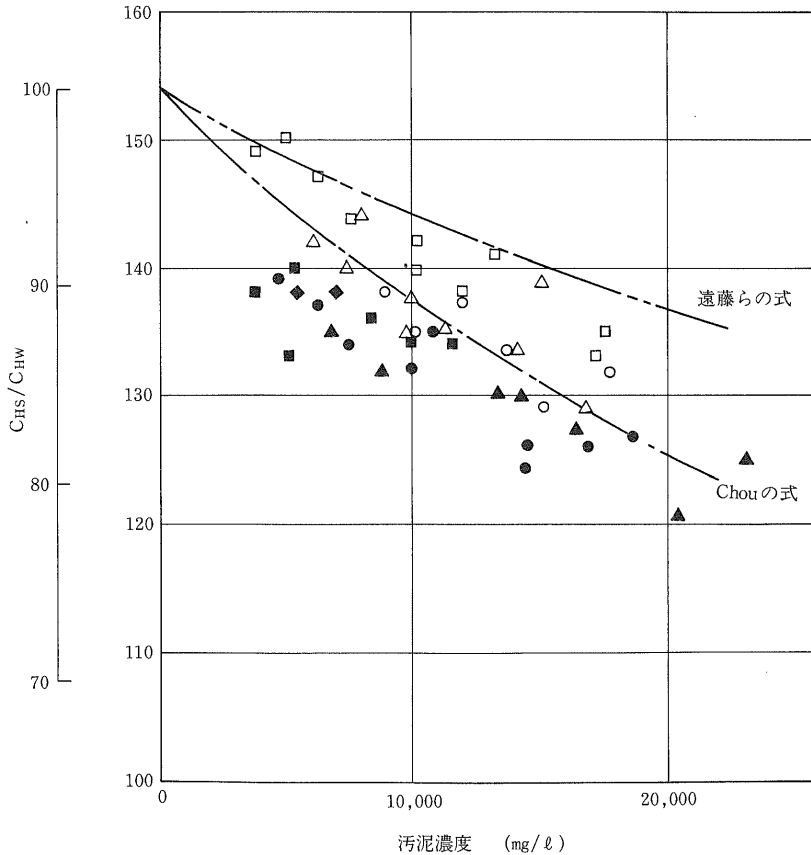
$$H_{fw} = (1 + 2.61 \times 10^{-5} C_{10}) \cdot H_{fw} \dots \dots \dots (6)$$

(6)式に(2)式を代入すると、乱流域での汚泥の摩擦損失水頭を求める実験式(7)式が得られる。

$$H_{fw} = 6.82 \frac{L}{D^{1.17}} \left( \frac{V}{C_{HW}} \right)^{1.85} \cdot (1 + 2.61 \times 10^{-5} \cdot C_{10}) \dots \dots \dots (7)$$

図5 流速係数と汚泥濃度の関係

汚泥の種類	測定時期 ( )内は汚泥温度	夏期 (30~41℃)	冬期 (5~18℃)
	B処理場から採取した汚泥	○	○
B処理場とE処理場の混合汚泥	△	△	▲
E処理場から採取した汚泥	□	□	■
D処理場から採取した汚泥	—	—	◆



(注) 流速係数は、管内平均流速が0.6m/秒以上でのデータの平均値である。

ただし、 $C_{10}$ は(8)式および(9)式から求める。

汚泥温度 5~20℃ のとき (東京都の報告では10~20℃)

$$C_{10} = \{1 - 0.023(T - 10)\}^{0.37} \cdot C_T \dots (8)$$

T : 汚泥温度 (℃)

$C_T$  : 汚泥濃度 (mg/l)

汚泥温度 20℃ 以上のとき (東京都の報告では20~30℃)

$$C_{20} = \{1 - 0.015(T - 20)\}^{0.37} \cdot C_T \dots (9)$$

本実験式と東京都の式、Chouの式を比

較すると、本実験式は東京都の式に比べ汚泥濃度の増加による摩擦損失の増大が大きく、Chouの与えた式と非常に近いことがわかる。

### 3. 管内汚泥の濃度分布測定実験

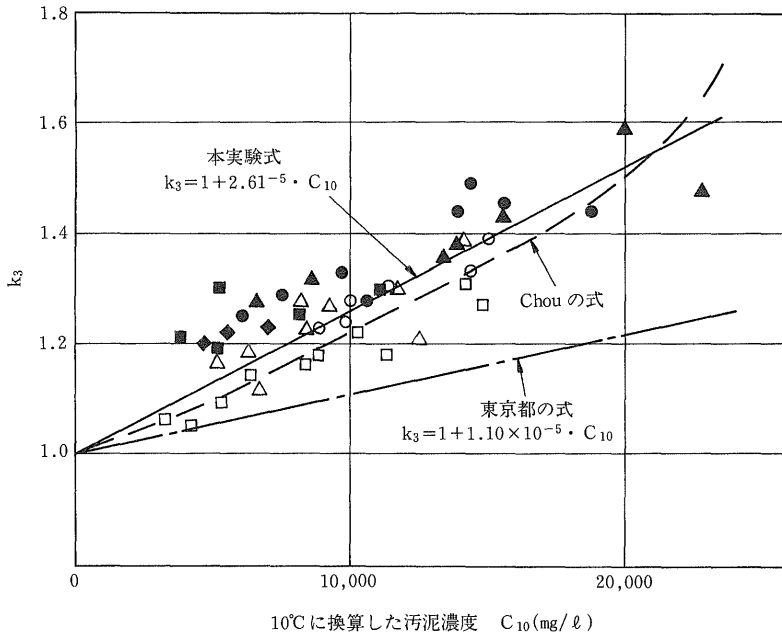
送泥管内を流れる浮遊物の挙動を明らかにするため、流速を変化させて管断面でのSS濃度分布を測定した。

#### 1. 実験方法

実験は、前述の摩擦損失測定実験に用いた4種類の汚泥のうち、D処理場を除く3種類

図6 K<sub>3</sub>と10°Cに換算した汚泥濃度との関係

汚泥の種類	測定時期 ( )内は汚泥温度	
	夏期 (30~41°C)	冬期 (5~18°C)
B処理場から採取した汚泥	○	●
B処理場とE処理場の混合汚泥	△	▲
E処理場から採取した汚泥	□	■
D処理場から採取した汚泥	—	◆



を用いて、昭和62年夏期と冬期に行った。

管内平均流速を0.5、0.3、0.1、0.1以下、0.1、0.3、0.5m/秒と変化させ、各設定流速が安定してから15分経過後、図2のB点にて図7に示すNo.1~No.5の各位置で汚泥を採取し、SS濃度を測定した。汚泥の採取は図8に示す要領で行った。

管内平均流速は、超音波ドップラー型流速計で測定した。

図8 汚泥採取の要領

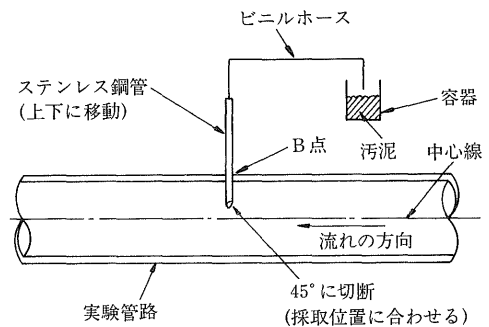
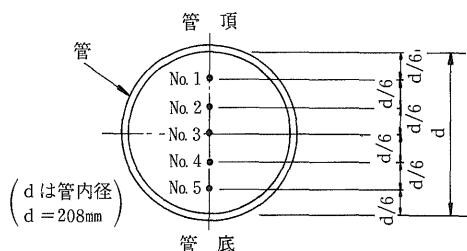


図7 汚泥採取位置

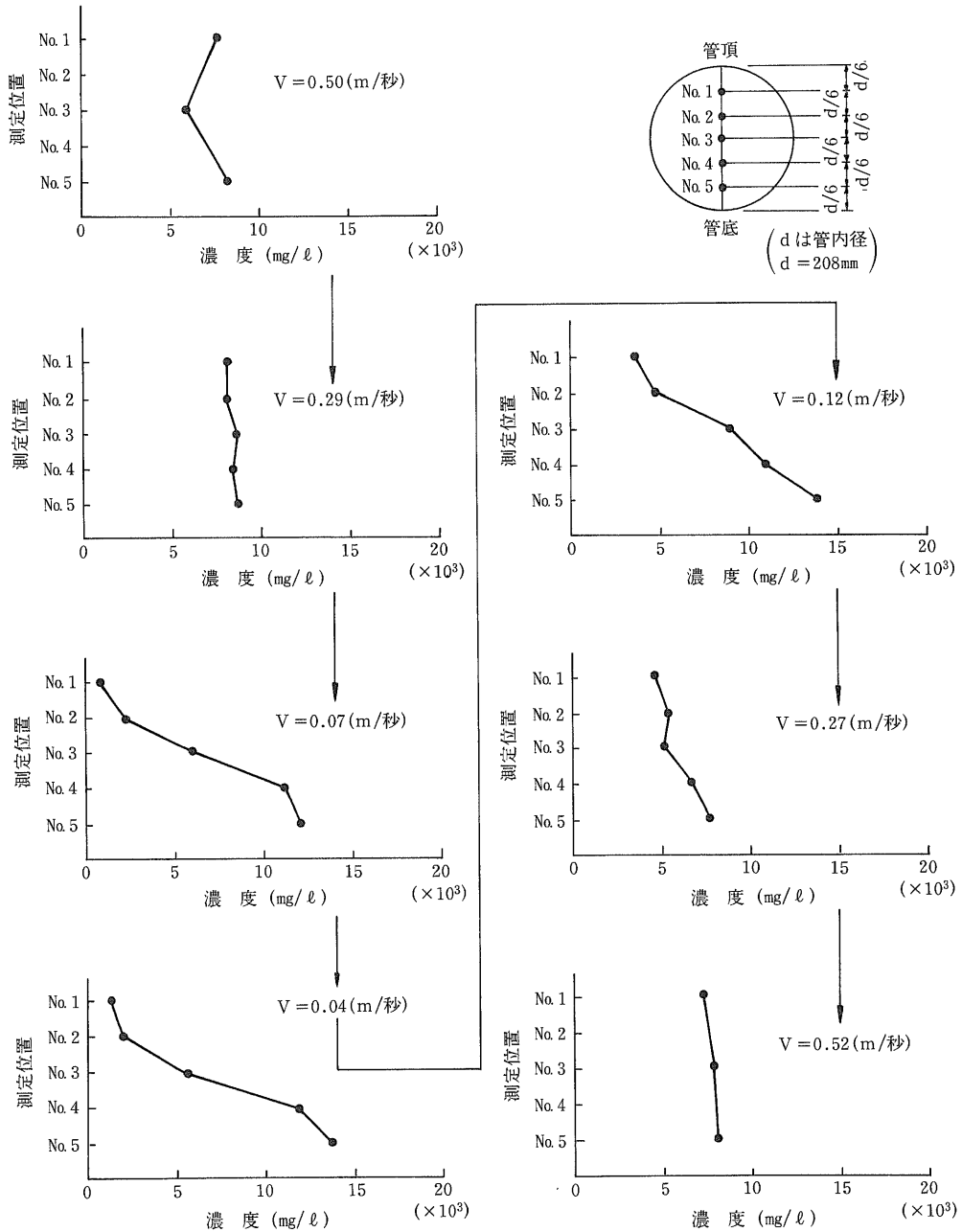


2. 結果と考察

採取した汚泥のSS濃度の測定結果の一例を図9に示す。

管内平均流速を小さくしていくと、0.3m/秒まではほぼ一様な濃度分布であるが、0.1m/秒で管頂が小さく管底が大きい傾向が現われている。0.1m/秒以下にするとこの傾向はよ

図9 管内汚泥の濃度分布測定結果の一例  
(混合汚泥  
昭和62年7月測定)



り顕著になる。次に、流速を大きくしていくと、0.1m/秒では同様の傾向が見られるが、0.3m/秒ではほぼ一様な濃度分布に戻っている。実験はこの他にも前述の3種類の汚泥で、濃

度が5,000~15,000mg/lのものでも行ったが(全体で7回)、すべて同様の結果であった。

これらの結果から、管内を流れている汚泥は流速が0.1~0.3m/秒で管底に沈殿し始め

一度沈殿した汚泥は0.3m/秒程度で再び流れ始めることがわかった。

本実験では、0.3m/秒以上の流速であれば汚泥が沈殿する現象は見られなかったが、安全を見込んで乱流に近い流れとなる0.4m/秒以上の流速で送泥を行えば汚泥の分離は起こらず、スケール付着も生じにくくなると思われる。

### 3. 長期送泥実験

従来、都市下水汚泥などの圧送管としては主としてダクタイト鉄管（内面モルタルライ

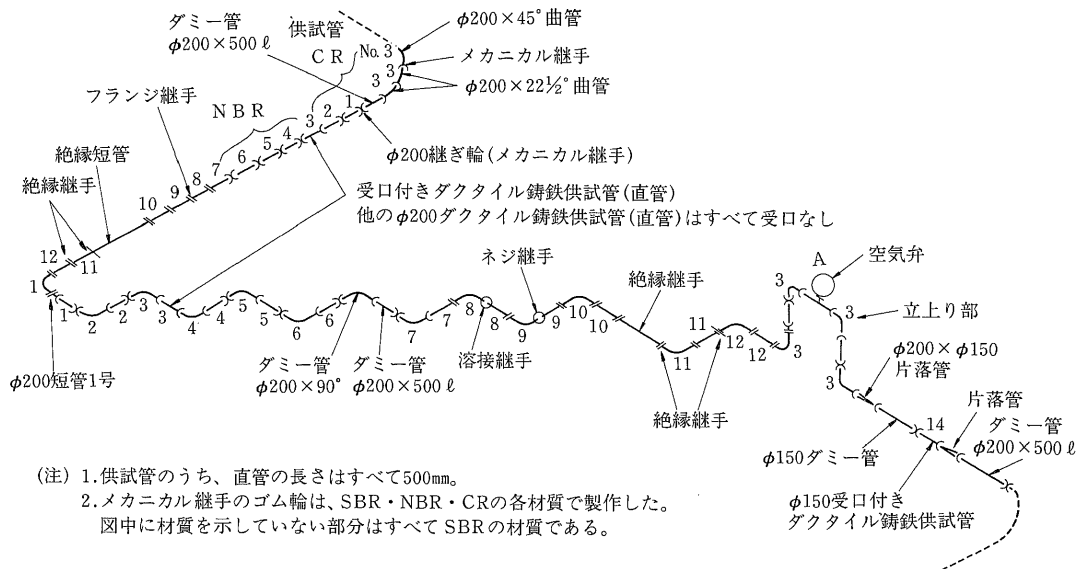
ニング）が用いられてきた。

そこで、兵庫西エースプランにおいてもダクタイト鉄管（内面モルタルライニング）が主要な配管材料として計画されているが、対象汚泥が特殊であることから種々の供試管について長期の供用によるスケールの付着、摩耗、腐食状況などを調査した。

#### 1. 供試材

図2に示した第1系列から第4系列の部分に、種々の管材で内面のライニングが異なる供試管を配置した。各系列はすべて同じ構造で、図10に示す通りである。

図10 各系列の詳細



- (注) 1. 供試管のうち、直管の長さはすべて500mm。  
 2. メカニカル継手のゴム輪は、SBR・NBR・CRの各材質で製作した。  
 図中に材質を示していない部分はすべてSBRの材質である。

供試管 No.	管 種	ライニング又は塗装
1	ダクタイト鉄管	モルタルライニング
2		モルタルライニング+タールエポキシ塗装
3		粉体エポキシ塗装
4		ポリウレタンライニング
5		ポリエチレンライニング
6		タールエポキシ塗装
7		ビュアエポキシ塗装
8	鋼 管	硬質塩化ビニルライニング
9		ポリエチレン粉体ライニング
10	ステンレス鋼管	ガラスフレーク入りタールエポキシ塗装
11		(SUS 304)
12	強化プラスチック管	—



また、ダクタイト鉄管のメカニカル継手用のゴム輪をSBR、NBR、CRの材質で製作し実験に供した。

## 2. 実験方法

### 1. 送泥方法と供試汚泥

昭和61年6月から平成元年2月の2年9ヵ月にわたり、前述の図2に示した実験管路でタンクに投入した汚泥を汚泥ポンプにより圧送、循環させた。ポンプは24時間連続運転、流速は呼び径200mmの部分で約1.2m/秒とした。

本実験では、B処理場から採取した汚泥とE処理場から採取した汚泥を、5:1の割合で混合したものをB処理場の処理水で希釈して、SS濃度を約10,000mg/lに調整したものをを用いた。なお、汚泥は1週間に一度、7月と8月については1週間に二度、新しいものと入れ替えた。

ただし、前述の水理的調査の間中は汚泥の種類、送泥条件ともに前述の通りである。

### 2. 各供試材の調査方法

送泥を開始してから6ヵ月後に第1系列、1年後に第2系列、2年後に第3系列、2年9ヵ月後に第4系列を解体して調査を行った。調査のため、管路を解体した部分は直管を用いて再度、配管した。

調査項目は下記の3項目である。

#### ① 供試管の内面の閉塞状況

管路解体直後に、供試管の内面および継手部での汚泥の付着状況を観察した。

#### ② 供試管の内面の摩耗・腐食状況

各供試管について、内面のライニングまたは塗装の厚さおよび重量を測定し、実験前の測定値と比較した。ただし、ステンレス鋼管、強化プラスチック管については全厚を測定した。

また、目視で腐食状態を観察した。

#### ③ メカニカル継手用ゴム輪の状況

各メカニカル継手用ゴム輪の外観を調査するとともに、SBR、NBR、CRの各材質のものについて、JIS K 6353「水道用ゴム」に従って引張試験、硬さ試験、老化試験を行った。

## 3. 実験結果

ダクタイト鉄管、ステンレス鋼管、強化プラスチック管については、いずれの系列も汚泥の付着、摩耗、腐食は見られなかった。

鋼管については、管体直部での汚泥の付着、摩耗、腐食は見られなかったが、溶接継手部とネジ継手部において腐食が観察された。溶接継手部は、配管時に手塗りでタールエポキシ塗装を行ったが、下地処理の不十分さ、塗装の不完全さが原因と思われる。ネジ継手部は、接合時の塗装のはく落などが原因と思われる。これらの継手の場合、接合時の施工管理に万全を期す必要がある。フランジ継手には腐食は見られなかった。

ダクタイト鉄管のメカニカル継手のゴム輪を観察した結果、送泥による異常は認められなかった。

SBR、NBR、CRの各材質のものについて行った物性試験の結果を表3に示す。この表から明らかなように、測定値はすべて規格を満足し健全であった。

## 4. 既設送泥管の調査

兵庫西エースプランの管材料の選定に当たり、より広範な検討を行うため、前述の長期送泥実験に加えて、姫路市内の処理場で場内送泥管として使用されていたダクタイト鉄管の調査を行った。調査を行ったのは昭和62年8月である。

### 1. 調査方法

調査した管の使用条件を表4に示す。

調査項目は下記の通りである。

#### ① 管の内面の観察

#### ② モルタルライニングの中性化試験

D処理場から撤去した管について、フェノールフタレイン溶液を用いてモルタルライニングの中性化を調査した。

#### ③ 管厚測定（F処理場から撤去した管のみ）

#### ④ 管内面の付着物の分析

分析項目はpH値、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>である。

#### ⑤ 管の断面の光学顕微鏡による観察

- ⑥ X線マイクロアナライザーによる管の内表面付近の元素分布分析

## 2. 調査結果と考察

### 1. 管の内面のスケールについて

撤去した管を写真1および2に示す。両管とも白色のスケールが付着しており、その厚

さはD処理場のものが約5mm、F処理場のものが約10mmであった。

これらのスケールを乾燥(100°C、1時間真空乾燥)させ、1gを採取して純水100mlを加え超音波攪拌を行ったあと、フィルターでろ過し、pH値の測定およびイオンクロマト分

表3 各種ゴム輪の物性試験結果

ゴム材質	試験項目	使用期間	6ヶ月間	1年間	2年間	2年間9ヶ月	規格値
			使用後のもの	使用後のもの	使用後のもの	使用後のもの	
SBR	引張試験	引張強さ(kgf/cm <sup>2</sup> )	211	211	215	214	180以上
		伸び(%)	321	320	309	315	300以上
	硬さ試験(Hs)	70	71	71	71	70±5	
	老化試験	引張強さ変化率(%)	-1	-1	0	-1	-20以内
		伸び変化率(%)	-6	-5	-6	-4	+10 -20
		硬さ変化率(%)	2	2	1	2	+7 0
CR	引張試験	引張強さ(kgf/cm <sup>2</sup> )	165	163	206	205	160以上
		伸び(%)	366	364	396	391	300以上
	硬さ試験(Hs)	69	70	67	67	70±5	
	老化試験	引張強さ変化率(%)	1	-1	2	1	-20以内
		伸び変化率(%)	-2	-2	-2	-2	+10 -20
		伸び(%)	2	1	1	2	+7 0
NBR	引張試験	引張強さ(kgf/cm <sup>2</sup> )	205	205	171	170	160以上
		伸び(%)	404	391	401	374	300以上
	硬さ試験(Hs)	68	67	69	68	70±5	
	老化試験	引張強さ変化率(%)	2	0	-1	0	-20以内
		伸び変化率(%)	-1	-1	-5	0	+10 -20
		伸び(%)	2	3	1	2	+7 0

(注) 各データは8個のゴム輪での試験結果の平均値である。

表4 既設汚泥管の使用条件

処理場名	受入れ排水	使用箇所	管種	供用年数
D	皮革排水	汚泥濃縮槽から加温装置への送泥管	・ダクタイトル鉄管 ・呼び径100mm直管 ・内面モルタルライニング	14年
F	にかわ排水主体(皮革排水約10%)	凝沈汚泥引抜管	・ダクタイトル鉄管 ・φ200×45曲管 ・内面タールエポキシ塗装	8年

析法により陰イオンの定量分析を行った。その結果を表5に示す。

白色のスケールは中性で、陰イオン濃度については $\text{SO}_4^{2-}$ がやや高いが、 $\text{Cl}^-$ は特に高いとはいえず、このスケールは管の防食に役立っているものと推定される。

表5 配管内付着物の分析結果

試料	pH値	F <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)
D処理場	7	20	350	不検出	20	0.12
F処理場	7	30	60	130	20	0.17

写真1 D処理場から撤去したダクタイル鉄管  
(呼び径100mm、内面モルタルライニング)

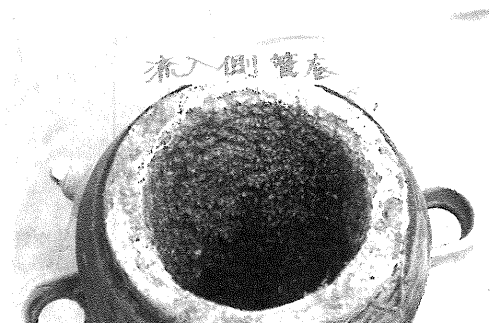
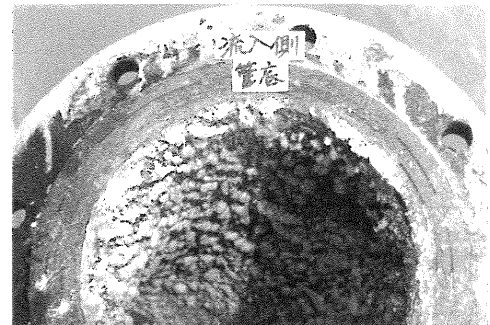


写真2 F処理場から撤去したダクタイル鉄管  
(呼び径200mm、内面タールエポキシ塗装)



## 2. 管の健全度について

D処理場から撤去した管について、スケール除去後フェノールフタレイン溶液による中性化試験を行い、モルタルライニングの健全度を調査した。

その結果、ひび割れ、はく離、劣化は見られ

ず、ライニング、鉄部ともに健全であった。

F処理場から撤去した管については、内面のタールエポキシ塗装はほとんど残っていなかったが、目視の限りでは腐食は見られず、管厚も製造時の許容範囲内であった。ただ直径4mm、深さ2mmの凹部が1ヵ所見られたので、この部分について光学顕微鏡による観察と元素分析を行った。

その結果、凹部の表面に深さ20ミクロン程度の軽微な変質が認められたが、その供用年数と変質の深さから工学的には問題とならない程度の腐食と判定した。

## 3. まとめ

これらの調査結果から、ダクタイル鉄管(内面モルタルライニング)が、送泥管の管材として適切なものであることが確認された。

## 5. 各種空気弁の性能実験

従来から行われてきた汚泥のポンプ圧送においては通常、水道用空気弁が用いられてきたが、汚泥の噴き出し、閉塞などの問題点が生ずるケースがあった。

そこで、各種水道用空気弁の性能調査とともに、本実験中に入手した複数の下水用空気弁の性能を調査した。

### 1. 空気弁の種類

#### 1. 水道用空気弁の種類

実験に供した水道用空気弁は下記の4種類である(図11参照)。

- ① 水道用空気弁単口(呼び径20mm)
- ② 水道用空気弁双口(呼び径75mm)
- ③ 水道用空気弁急速(呼び径75mm)
- ④ 水道用空気弁急速(呼び径75mm)とストレーナ付き副弁の組み合わせ

#### 2. 下水用空気弁の種類

実験に供した下水用空気弁は下記の8種類である(図12参照)。

- ① 英国G社製
- ② 米国A社製
- ③ 国内K社製 タイプI
- ④ 国内K社製 タイプII
- ⑤ 国内K社製 タイプIII
- ⑥ 国内M社製 タイプI

⑦ 国内M社製 タイプII

⑧ 国内M社製 タイプIII

下水用空気弁は、いずれも下水道用に比べフロートと空気孔との距離を大きくとり、空気とともに汚泥が噴出しにくい構造となっている。

なお、国内K社製、M社製のタイプII、IIIはそれぞれタイプIの改良型である。

## 2. 実験方法

E処理場に設置した実験管路(図2参照)にこれらの空気弁を設置して、作動状況の調

査、内部の観察を行った。

### 1. 水道用空気弁の調査方法

6ヵ月ごとに作動状況の調査、内部の観察を行った。

### 2. 下水用空気弁の調査方法

1週間に一度、ポンプのON・OFF運転を行って吸気、排気、汚泥の漏れの有無を観察した。

また、2～3ヵ月に一度の割合で内部の観察を行った。このとき、異常があれば内部を洗浄した。

図11 各水道用空気弁およびストレーナ付き副弁の構造

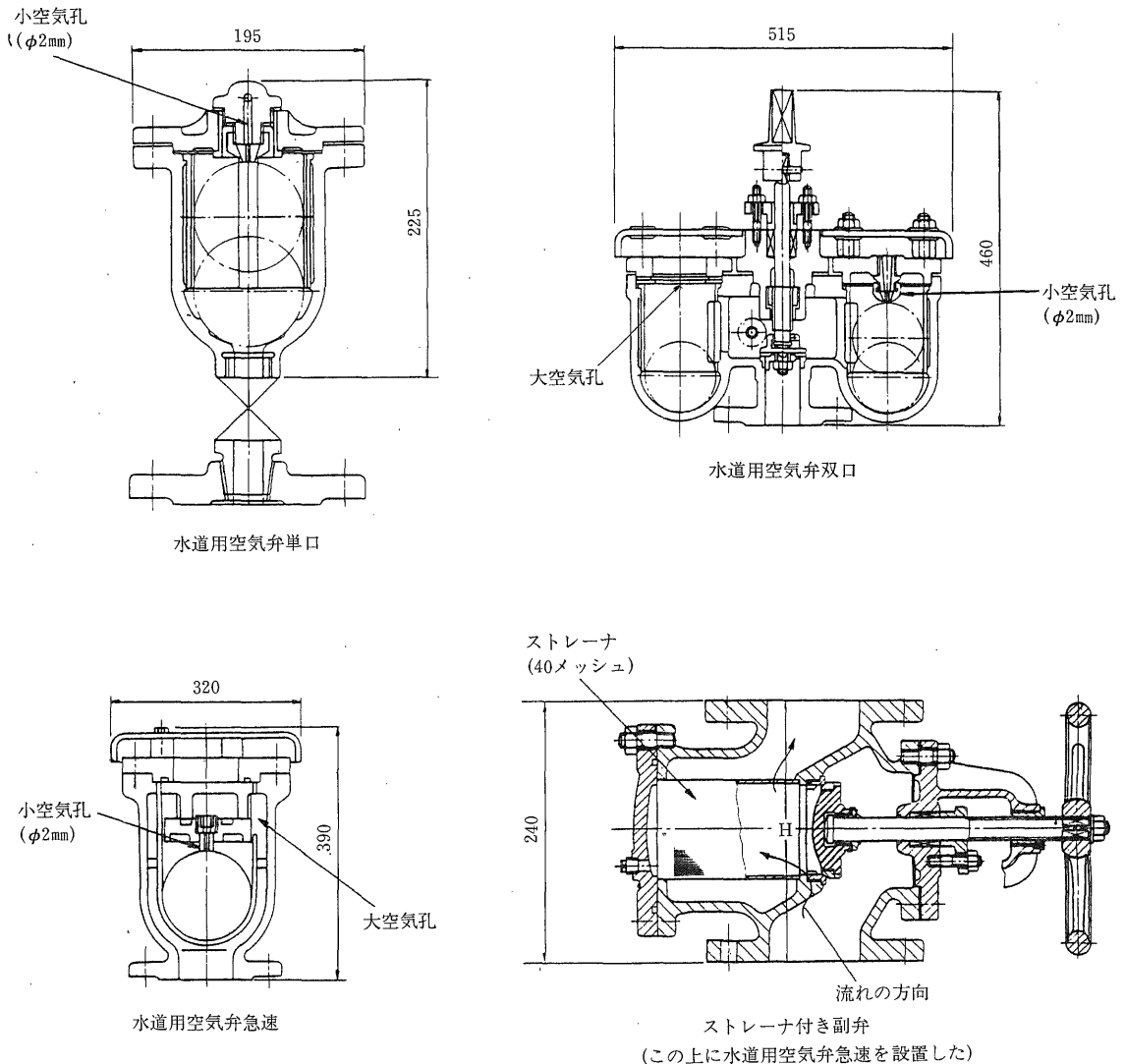
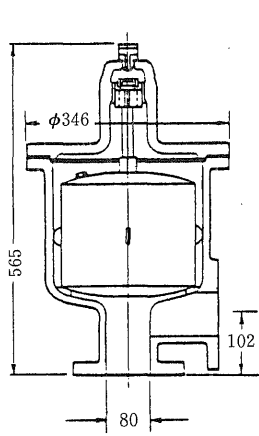
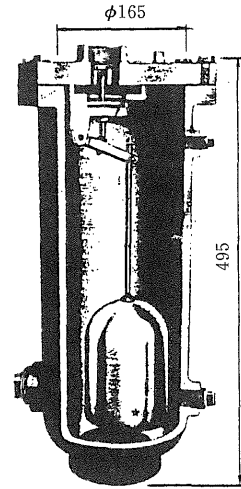


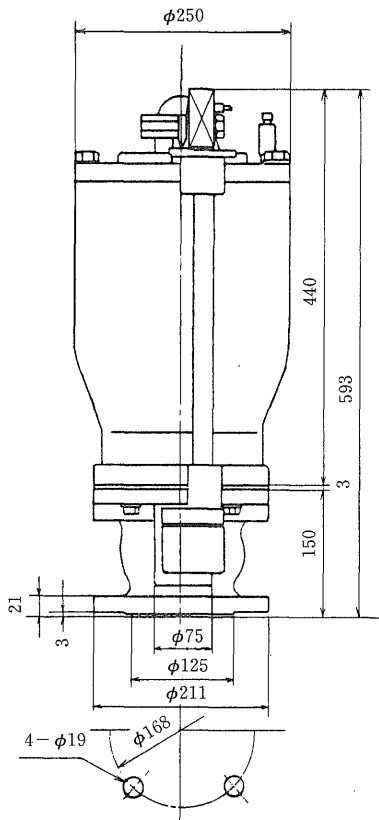
図12 各下水用空気弁の構造



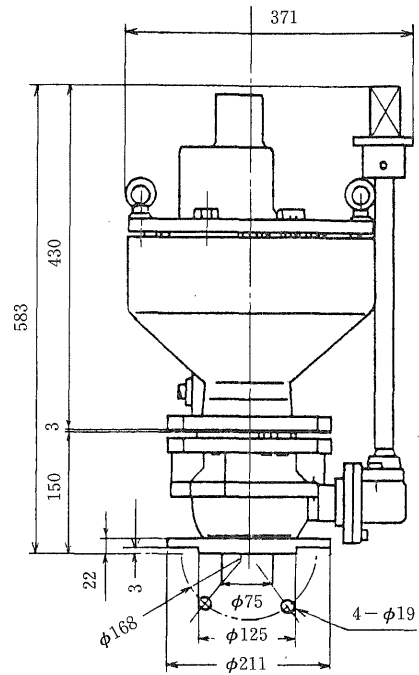
英国G社製



米国A社製



国内K社製タイプIII



国内M社製タイプIII

### 3. 実験結果

実験結果のまとめを表6に示す。

#### 1. 水道用空気弁の実験結果

水道用空気弁は、当初からすべてのタイプで少量ながら汚泥の噴出があった。

単孔、双孔の小空気孔は約1ヵ月で閉塞して機能しなかった。大空気孔は約6ヵ月の時点でかろうじて機能していたが、内部にはスラムが充満していた。

これらの結果から、水道用空気弁は送泥管には不適切であることが確認された。

#### 2. 下水用空気弁の実験結果

下水用空気弁はすべての種類とも正常に作動中は汚泥の噴出はなく、実用に供することができると思われる。ただ、それぞれでメン

テナンスの頻度に差が見られた。メンテナンスが必要な状態の例として、英国G社製の内部に汚泥が充満して作動しなくなった状態を写真3に示す。

写真3 英国G社製の内部に汚泥が充満して作動しなくなった状態（約2ヵ月間使用後）



表6 空気弁性能実験結果

空気弁種類		試験期間	観察結果	評価	
水道用	水道用空気弁単孔(呼び径20mm)	6ヵ月	空気弁本体の内部には汚泥が充満しており、空気抜き孔は汚泥で閉塞していた。	×	
	水道用空気弁双孔(呼び径75mm)	6ヵ月	小空気孔は閉塞していた。大空気孔は機能したが、空気と同時に汚泥も噴出した。	×	
	水道用急速空気弁(呼び径75mm)	6ヵ月	6ヵ月時点では大空気孔は機能したが、1年後では空気弁本体の内部に汚泥が充満し、小空気孔・大空気孔とも機能しなかった。	×	
	水道用急速空気弁+ ストレーナ付き副弁	6ヵ月	ストレーナが閉塞したため、大空気孔が作動しなかった。小空気孔は閉塞。	×	
下水用	英国G社製	約2年	約2ヵ月ごとの点検で空気弁内に汚泥が充満しており、2ヵ月以内での洗浄等の作業が必要。	△	
	米国A社製	約2年	約3ヵ月ごとの点検で空気弁内に汚泥が充満しており、3ヵ月以内での洗浄などの作業が必要。	△	
	国内K社製	タイプI	6ヵ月	約6ヵ月後に汚泥の漏れが観察された。タイプIIの設置により撤去。	△
	"	タイプII	約1年	約9ヵ月後に汚泥の漏れが観測された。1年後では内部に汚泥が充満していた。	○
	"	タイプIII	9ヵ月	設置後9ヵ月で試験終了となり撤去。この間正常に作動した。	○
	国内M社製	タイプI	約1年	約3~4ヵ月で汚泥の漏れ、作動しない状況が観測された。	△
	"	タイプII	8ヵ月	設置後8ヵ月で試験終了となり撤去。この間正常に作動した。	○
"	タイプIII	8ヵ月	設置後8ヵ月で試験終了となり撤去。この間正常に作動した。	○	

下水用空気弁に求められる性能としては、①吸排気能力が安定して確保されること、②汚泥の噴出がないこと、③長期間、洗浄などのメンテナンス作業が不要であることが挙げられるが、本実験結果では国内の2社の製品がこれらの条件をほぼ満たしているといえる。

## 6. ピグ工法による洗管実験

前述の既設送泥管の調査、各処理場の運転管理職員に対する聴取調査から、D処理場の送泥管の一部に、特に著しいスケールの生成が見られることが明らかになった。

そこで、管路のスケール除去に広く用いられているピグ工法を適用して、その洗浄効果の確認、所要圧力などの種々のデータを得ることを目的として現地実験を実施した。

### 1. 実験管路

実験に供した送泥管路を図13に、諸元を表7に示す。

### 2. 洗管方法

実験に用いたピグは下記の4種類である。

- ① ベアーピグ：ウレタン樹脂のスポンジ状のもの。
- ② レッドピグ：硬質ウレタンを人工皮革で覆ったもの。
- ③ ブラシピグ：レッドピグの表面にワイヤブラシを付けたもの。
- ④ スパイクピグ：硬質ウレタンの表面に鋌を打ったもの。

ピグは図13に示すA部よりピットに向けて圧送し、ピット内で回収した。

ピグを圧送する際に、使用水量、圧送に必要な圧力、ピグの走行時間を測定した。

### 3. 実験結果と考察

ピット内から撤去した管を観察したところ内面にはスケールが付着しており、スケールが付着してない状態での内径98mmに対して内径は約85mmで、約7mmのスケールが付着していた。スケールの表面は柔らかいが、内部はモルタル程度の硬さで、皮革工場で使用した薬品に含まれるカルシウム分が固化したものと思われる。

ピグ工法による洗管実験結果の詳細を表8

図13 実験管路の概要

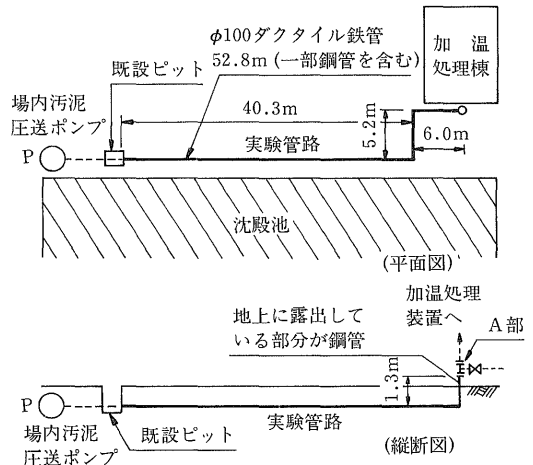


表7 D処理場汚泥管の供用履歴

管種	呼び径、延長	供用履歴と条件
ダクタイル鉄管 内面モルタルライニング	φ100 L=52.8m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・供用開始は昭和49年で、供用年数は約14年。</li> <li>・汚泥濃度は3～4%で、午後5時以降処理水に置換。</li> <li>・年4回ウォータージェットにより洗浄しているが、下流側(加湿装置側)は曲がりによりノズルが入らず水流による洗浄。</li> <li>・前回の洗浄は昭和63年5月で、その後5ヵ月経過。</li> </ul>

に示し、以下に結果の概要と考察を記す。

- ① ピグ工法によって、管内面に付着したスケールをある程度除去することができたことがわかった。
- ② 非常に硬くなってしまったスケールを除去するためには、ピグの種類および口径を変えてかなりの回数の洗管を行う必要があることがわかった。
- ③ ピグの圧送に必要な水圧は、2.0～8.4 kgf/cm<sup>2</sup>であったことから、揚程100m程度

のポンプが必要である。

- ④ ピグの走行速度は、0.6~1.1m/秒であった。
- ⑤ ピグの圧送に必要な水量は、対象管路の内容積の1.3倍程度を見込めばよい。
- ⑥ レッドピグの使用可能回数は1回、ブラシピグは3回程度が目安になるとと思われる。

表面の柔らかいスケールと、内部の硬いスケール（モルタル程度）の分析結果を表9に

写真4 管内TVカメラによる内面状況  
（ピットから約10m下流）

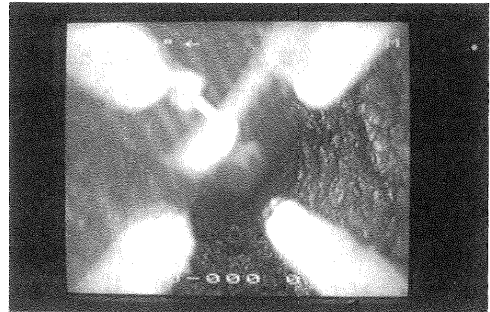


表8 ピグでの洗管実験結果の詳細

No.	ピグの呼び径(外径mm)	ピグの種類	結果の概要	ランチャー内の最大圧力(kgf/cm <sup>2</sup> )	ピグの走行時間(秒)	ピグの圧送に必要な水量(m <sup>3</sup> )
1	2.5" (71)	レッドピグ	ピグは順調に走行した。	2	70	
2	2.5" (76)	ブラシピグ	途中で閉塞した。	5		
3	3" (83)	ベアーピグ	これも途中で閉塞した。 (反対側から圧力をかけ逆送で回収した)	5		
4	2.5" (76)	ブラシピグ	ピグは順調に走行した。	5.2	90	0.5 (1.24)
5	3" (85)	レッドピグ	"	3.4	55	0.5 (1.24)
6	3" (88)	ブラシピグ	"	5	70	0.4 (0.99)
7	3.5" (100)	レッドピグ	"	8.4	65	0.4 (0.99)
8	3.5" (103)	ブラシピグ	"	7.8	70	0.4 (0.99)
9	3" (87)	スパイクピグ	途中で閉塞した。			
10	3" (83)	ベアーピグ	これも途中で閉塞した。 (反対側から圧力をかけ逆送で回収した)			
11	3.5" (103)	ブラシピグ	ピグは順調に走行した。	7	50	0.45 (1.11)
12	4" (108)	ベアーピグ	"	7.6	70	0.4 (0.99)
13	3.5" (103)	ブラシピグ	"	7.8	50	0.45 (1.11)

ベアーピグ………スポンジのようなもの。

レッドピグ………硬質ウレタンを人工皮革で覆ったもの。

ブラシピグ………レッドピグの表面にブラシを付けたもの。

スパイクピグ………硬質ウレタンの表面に鋸を打ったもの。

( )は管路内容積に対する倍数

実験管路の容量=0.785×0.1<sup>2</sup>×51.5m=0.404m<sup>3</sup>



示す。成分の大部分はCaCO<sub>3</sub>である。両者の間には成分上の大きな差異は見られず、硬いスケールに成層が観察されたことも考慮すれば、D処理場の定常的な管理業務であるウォータージェットによる洗浄（表7参照）で除去できなかった柔らかいスケールが、徐々に硬化したものと推測される。

表9 付着物の組成 単位 %

成分	軟いスケール	硬いスケール
CaCO <sub>3</sub>	76.86	83.45
CaO	0.56	4.43
CaSO <sub>4</sub>	0.05	0.02
SiO <sub>2</sub>	1.40	0.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.36	0.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.85	1.00
MgO	1.14	0.98
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.72	0.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.21
化合物	1.88	1.33
合計	86.05	92.56
灼熱減量	48.20	44.62
吸着水	1.08	0.72

したがって、D処理場から発生する汚泥を輸送する管路については、可能な限り頻繁により効果的な方法で洗浄をすることが必要と考えられる。

また、ピグによる洗浄作業から生じた廃水の水質であるが、SS濃度は約1,500mg/ℓと

かなり高いが、BOD、CODは約200mg/ℓ程度で公共下水道へ放流可能な水質であった。

## 7. おわりに

兵庫西エースプランでは皮革排水汚泥という特異な汚泥を取り扱うため、都市下水汚泥のポンプ圧送に関する設計、維持管理手法をそのまま適用するだけでは不十分であり、特別な配慮と対策の必要性が予想された。

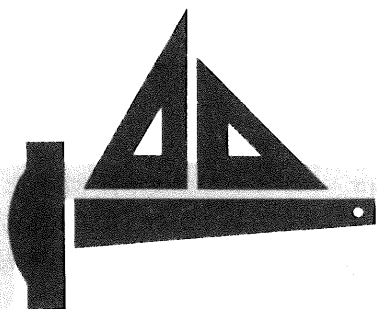
そこで、本地域における合理的な送泥システムの設計と維持管理を図るために、基礎的な調査を行った。

その結果、これまで知見の得られていなかった皮革排水汚泥の送泥システムについて、その設計と維持管理を行っていく上で有益な種々の資料を得ることができた。

最後に、本調査に尽力いただいた姫路市下水道局殿に厚くお礼申し上げます。

### <参考文献>

- (1) 遠藤、金成：下水汚泥の摩擦損失水頭の計算法および設計計算法に関する実験的研究、下水道協会誌 Vol.20、No.227 (1983)
- (2) 日本下水道事業団技術開発部調査 (昭和61年度)
- (3) 遠藤他：汚泥の管路輸送における摩擦損失水頭について、第7回下水道研究発表会講演集 (1970)
- (4) Chou, T. L.: Resistance of sewage sludge to flow in pipes, proc. ASCE, SA5 (1958)
- (5) 東京都下水道局：汚泥輸送に関する調査報告



# 技術レポート

# 2

## 河川横断部における 超大口径2900mm推進工法用 ダクトイル鉄管の施工について

愛知県半田土木事務所

工事課 石川 照雄

田中 龍次

### 1. はじめに

#### 1. 流域の概要

二級河川石ヶ瀬川は、愛知県知多半島の大府市と知多郡東浦町の境界を流れ、境川水系境川より衣浦湾に流入する都市河川で、全流域面積は約27.7km<sup>2</sup>である。この川は、上流部からの土砂の供給が多く、平野部へ入ってからは天井川となっている。上流部の丘陵地帯は畑が多く、下流部は市街地が多い。

石ヶ瀬川は、丘陵部の雨水を集めながら半月川、鞍流瀬川を合流し、大府市、東浦町の雨水を受けながら本川（境川）へ流入している。

その流路延長は、約5.8kmである（図1）。

#### 2. 現況

この川の上流域の丘陵部は急速な開発が進み、都市化により流出量が増大し、洪水時の

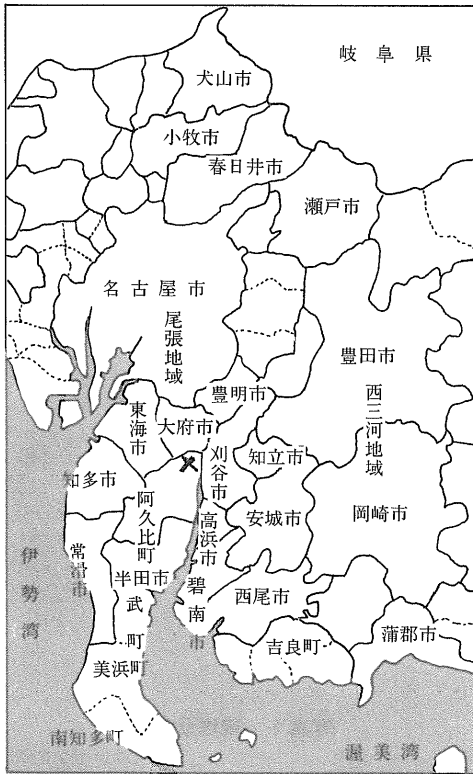
影響が広範囲に及ぶ可能性が非常に高くなっている。なお、3kmより上流部では、すでに災害復旧工事が行われ、昭和58年度末には完成している。故に、下流部の早急な河川改修が要望され、河川改修計画が樹立された。

しかし、河口付近には五ヶ村川、横根川および大府江川の伏せ越しが3ヵ所存在し、河川計画に基づき河床底下げを施工すると、これら3つの伏せ越しは河底に露出することになるため、付け替え工事が必要になり、大府江川は当事務所が担当し平成2年度工事として完成した。また、五ヶ村川・横根川の2ヵ所は本県河川工事事務所西三河出張所の担当により施工中である。

#### 3. 旧伏せ越し（<sup>い</sup>）の由来

大府市誌、東浦町誌によれば、次のように記録されている。

図1 位置図



『五ヶ村川の築造』では、境川（尾三御境川筋）の流下堆積土砂は衣ヶ浦湾を次第に陸地化した。17世紀の中葉には横根村（大府市）地先まで河口が伸び、横根村は承応2年（1652）沿岸低地を開墾して浜新田をつくった。このため川上の大脇・近崎・北尾の3村（大府市）では低地の排水に困り、延宝5年（1677）横根村浜新田を通る排水路を開設した。これが現在の五ヶ村川のはじめである。

正徳5年（1715）、さらに上流の東阿野村（豊明市）もこの排水路を使うようになり、横根村地先で境川に放流した。しかし、境川の堆積がさらに進み、寛政2年（1790）頃には村木村浜西新田地先に達したために、この五ヶ村川は寛政10年ごろ現大府市大府町内の砂川の下を通り、さらに村木村（現東浦町森岡）北東部で石ヶ瀬川の下を通して衣ヶ浦湾に排水するようになった。その後境川の堆積がさらに進むにつれて五ヶ村川も延長され、現在では東浦町石浜地先で衣ヶ浦湾に注いでいる。五ヶ村川の

五ヶ村とは北尾・近崎・大脇・東阿野・横根の排水路であったことを示すものである。

また、別項では、横根村はその排水の悪い実情を以て普請奉行に訴え、石ヶ瀬川伏せ越しについて、横根村の悪水は別込にするように検分と増込普請を天保7年（1836）に願いでし、3年後にも同じ願書が出された。嘉永5年増し込普請の許可が降りた、とある。これが今の横根川伏せ越しである。

大府江川の伏せ越しについての記述はほとんどなく、流域の一部にあたる廣惠新田の項で宝永4年（1707）尾張藩の直新田として検地が済み、通称濱田と呼ばれたが低地のため水害が多くいつしか蒲野原になった。その後の廣惠新田の村立は明らかでないが、文政9年ともいわれるからこの前後に堤が築造されたのではないかと思われる。

築造された3つの伏せ越しは、その後、たびたびの修復が重ねられ、ほぼ現在の形態になったのは五ヶ村川・横根川のそれは昭和9年3月であり、今回付け替えた大府江川は存置されていた石額に『明治40年3月竣工 長堤伏越樋門』とあった（図2）。

## 2. 施工概要

石ヶ瀬川の河川改修に伴い、大府江川の既設暗きよの真下に逆サイホン方式で呼び径2900mmの管路を新たに設置するものである。

工事名：平成2年度 緊急防災対策河川工事

河川名：二級河川 石ヶ瀬川

工事場所：知多郡東浦町大字森岡地内

工法：

立坑：鋼管矢板工法

発進立坑：1カ所（内寸法 6.884×長10.676×高13.750）

到達立坑：1カ所（内寸法 幅7.832×長6.884×高13.650）

サイホン管：推進工法（泥土加圧式セミシールド工法）

呼び径：φ2900×長4,000（推進工法用U形ダクタイル鉄管）

推進延長：L=100m

図2 五ヶ村川流域図(大府市誌より)

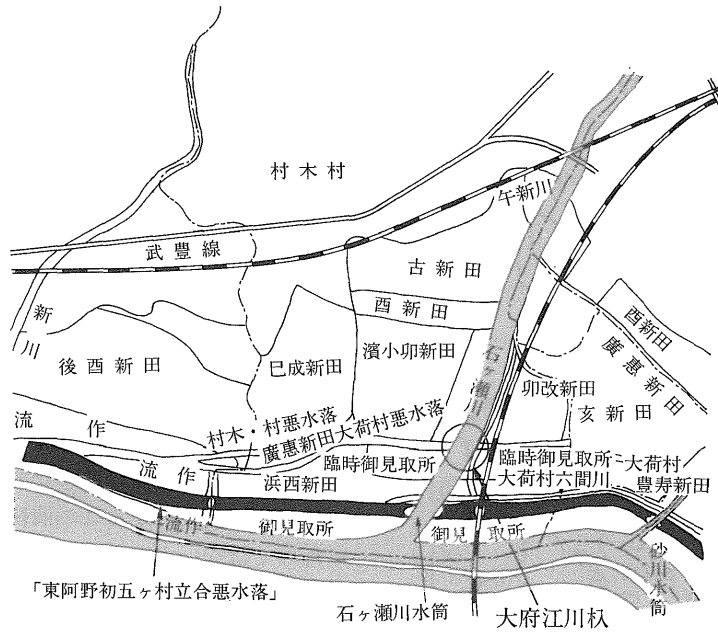


図3 現場位置図

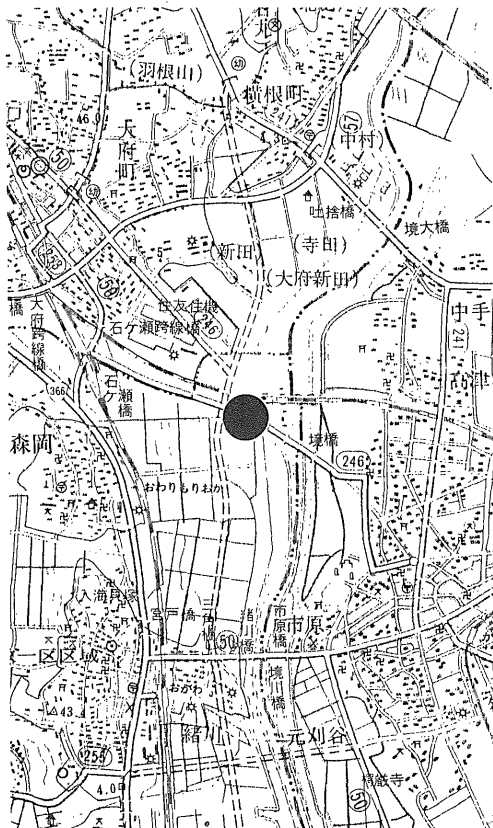


写真1 現場全景

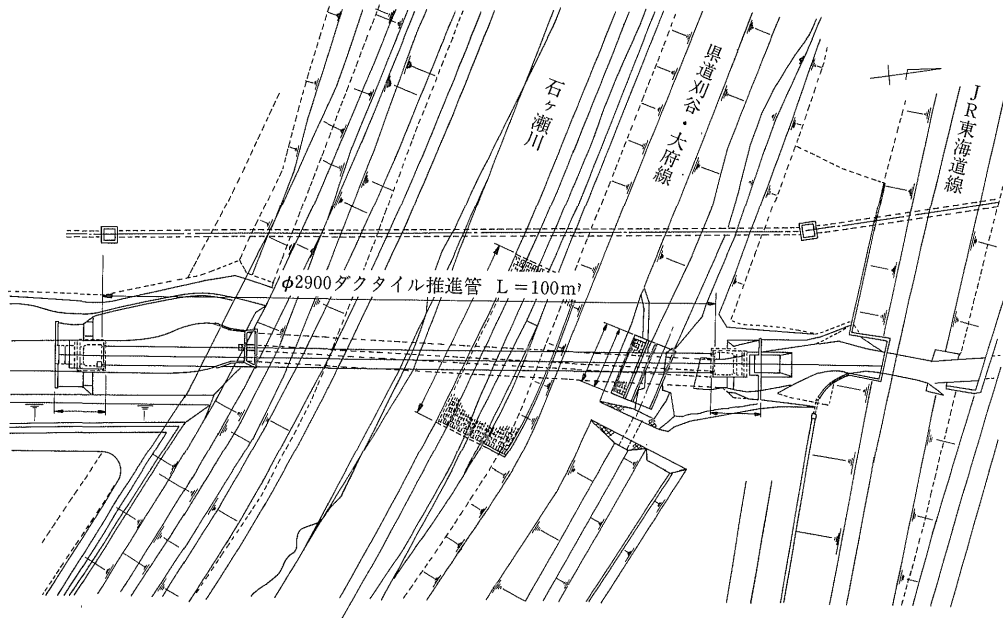


### 3. 推進工法用ダクトイル鉄管の採用

表1の検討結果として、コンクリートボックス工法(2.1m×1.8m×2)では、左岸堤は県道として利用され、北側にはJR東海道本線があり、河川半断面通水では降雨に対して通水断面不足となり安全性が確保されない出水時に対しても安全性の確保が可能な工法として推進工法を検討した。

推進の断面をチェックし、サイホン断面を1条と汎用性のある2条施工の検討結果、推進管による超大口径2900mm 1条の泥土加圧工

図4 平面図



法を安全性、経済性、工期的にもっとも有利な工法として決定した。

当工区の河川横断推進管に要求される条件は、

- (イ) 管体強度が高く、外圧に対して十分な強度を有していること。
- (ロ) 継手の水密性が優れていること。
- (ハ) 耐食性に優れていること。
- (ニ) 地盤変動（不等沈下）に対応できること。
- (ホ) 施工性に優れていること。

これらの条件をほぼ満足する管材としてダクタイル鉄管と鋼管の工事費を比較した結果鋼管の場合は可とう管2個(両側)、施工時のレントゲン、電気防食設備が必要である。ダクタイル鉄管の場合はシールドマシン改造費が必要であるが、鋼管より経済的である。

以上より施工性、経済性で有利な推進工法用ダクタイル鉄管を採用することとした。

## 4. 推進工法について

### 1. 地形地質

当施工位置は、JR東海道本線大府駅より東南約1.7kmにあり、沖積低地上に位置し標高は約1.0mである。当地域の地層は、第4紀層

(上部沖積層、下部洪積層) および基盤の第3紀層(瀬戸層群常滑累層) である。上層沖積層(N値=0~5)は低い強度を示し、下層洪積層(N値=18~51)は中位~密な地盤をなしている。推進管体の通過層は、沖積層下部の砂質土層と洪積層上部の砂れき層の境目であり、N値は5~20程度となっている。地下水位は地表下1.1mで高い位置にあり、地下水を豊富に含む滞水層である。

対応土質を検討の結果、泥土加圧式推進工法を選定した。

### 2. 泥土加圧式推進工法

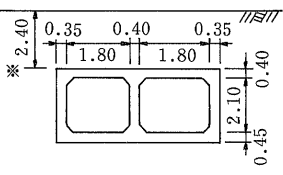
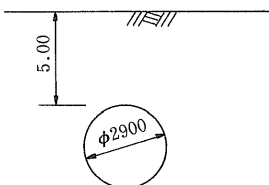
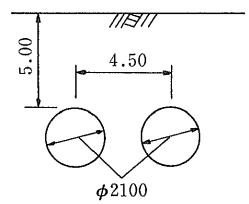
本工法は、カッターウイングの後部に隔壁を設けて作泥土室とし、カッターで掘削された土砂に作泥土材を注入して、練混ぜ翼で強力に練り混ぜて、掘削土砂を不透水性と塑性流動性を持つ泥土に変換し、これを作泥土室内とスクリュウコンペアー内に充填する。この状態を維持して推進ジャッキの推力により作泥土室内の泥土に泥土圧を発生させ、切羽の土圧と地下水圧に対抗し、掘進量と排土量のバランスを図りながら掘進するものである。

本工法の特徴は、

- (イ) 土質に対する広い適応性がある。



表1 大府江川サイホン比較

工法 項目	(1案)コンクリートボックスによる半川縮切	(2案)φ2900×1条による推進	(3案)φ2100×2条による推進
(1)断面形状	 <p>※2.40はカラー考慮</p>	 <p>φ2900</p>	 <p>φ2100</p>
(2)概算工事費 (一式当たり・ 単位千円)	274,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土加圧工法 290,000</li> <li>・フロンテジャッキング工法 301,000</li> <li>・普通推進(参考) 376,000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土加圧工法 421,000</li> <li>・フロンテジャッキング工法 436,000</li> <li>・普通推進(参考) 589,000</li> </ul>
(3)工法の長所・ 短所	<p>多 い</p> <p>1)施工実績 2)工期 3)経済性 4)施工時の河積 5)改修サイホンの位置 6)県道の仮返し 7)その他</p>	<p>少 い</p> <p>2年施工と短い</p> <p>第1案よりやや高価となる</p> <p>既設サイホンの取り壊し時のみ河積が問題となる(将来河川工滞時に取り壊す)</p> <p>既設サイホン下での施工も可能である。ただし基礎坑が短い場合</p> <p>仮返し期間としては1年程度に短縮できる</p>	<p>同 左</p> <p>2年施工であるが2案より長い</p> <p>もっとも高価である</p> <p>同 左</p> <p>同 左</p> <p>同 左</p> <p>マンホールの規模が非常に大きくなる</p>
		<p>1.推進工法としては</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土加圧工法</li> <li>・フロンテジャッキング工法</li> </ul> <p>が考えられる。</p> <p>2.普通推進は地盤が軟弱なため、薬注が必要となり水質汚染等の問題が起こるので除外する</p>	<p>1.推進工法としては</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土加圧工法</li> <li>・フロンテジャッキング工法</li> </ul> <p>が考えられる</p> <p>2.普通推進は左記の理由より除外する</p>

- (ロ) 残土処理に大規模処理設備を必要としない。
  - (ハ) 地山の沈下は最小限に抑えられる。
  - (ニ) 地盤改良区間を少なくできる。
  - (ホ) 立坑用地は従来の刃口推進工法と同程度でよい。
- である。

写真2 泥土加圧式セミシールド機

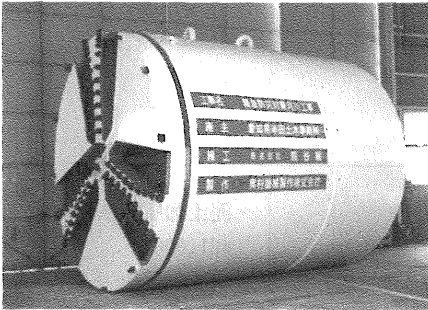
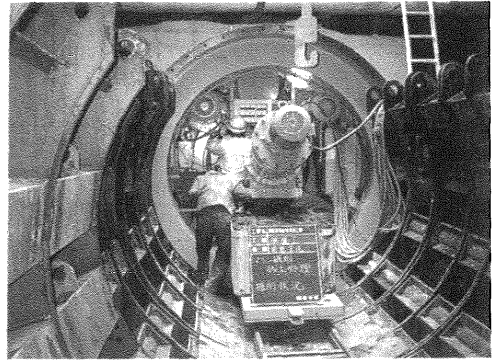


写真3 初期掘進状況



3. 推進力の算定

① 初期抵抗力 (F<sub>0</sub>)

$$F_0 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$$

f<sub>1</sub> : シールド機外周の法線圧による抵抗 (tf)

図6 呼び径2900mm 推進工法用ダクタイト鉄管

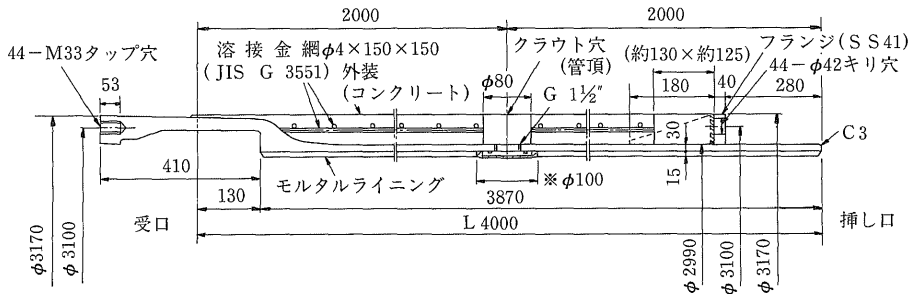
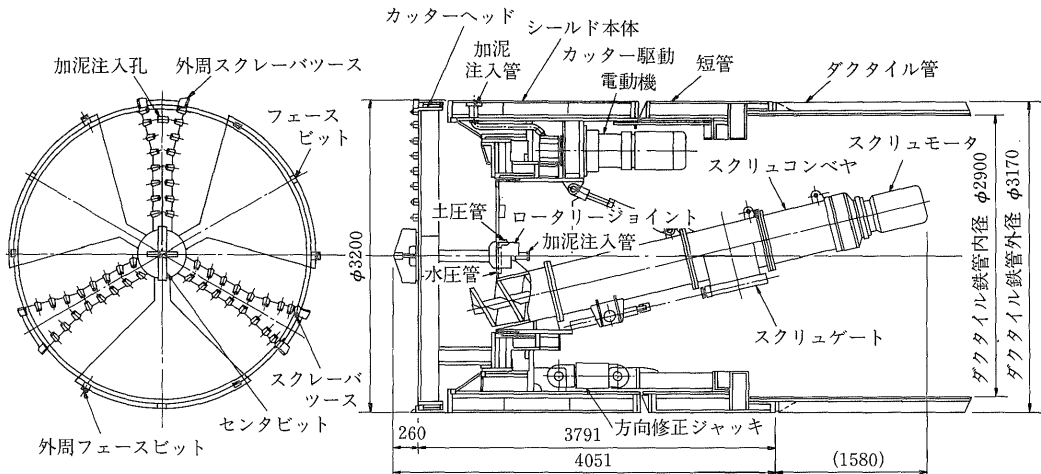


図7 呼び径2900mmダクタイト鉄管用泥土加圧式セミシールド機





- $f_2$  : シールド機自重による抵抗(tf)
- $f_3$  : カッターヘッド面の推力(tf)
- $f_4$  : スキンプレートの押込力(tf)
- $f_5$  : 切刃水圧による抵抗(tf)

② 推進管圧入抵抗 $(F_1)$

$$F_1 = F_2 L = (f_6 + f_7) L$$

$F_2$  : 推進距離により変化する抵抗 (tf/m)

$f_6$  : 管外周の法線圧による抵抗 (tf/m)

$f_7$  : 管の自重による抵抗(tf/m)

③ 総推進力 $(F)$

$$F = F_0 + F_1$$

以上により計算された総推進力は $F=2,226$  tfであり、管の許容抵抗力 $P_a=2,370$  tf以下となった。

4. 滑材・加泥材

本工区で使用した滑材、加泥材の標準配合(1㎡当たり)は以下の通り。

表2 滑材標準配合

オスモール30	75kg
水	0.96㎡

表3 加泥材標準配合

ワ ッ プ	5kg
水	1.0㎡

5. 施工結果

推進工事は、初期発進と到達を除いて昼夜連続しての施工とした。推進はじめにおけるスクリーコンベアの故障、シールドマシン方向修正ジャッキのストローク検出機構のトラブルによるだ行および元押しジャッキの交換などによる作業中断はあったが、計画工程に影響を及ぼすこともなく推進作業は進んだ。しかし、推力は滑材の効果もあって低い推力で急な上昇もなく、比較的安定した上昇値で到達立坑の鋼管矢板に近接したが、到達立坑での掘進機受架台設置、到達坑口リングの設

写真4 加泥材注入プラント

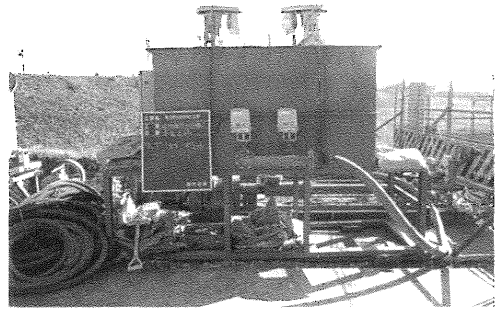
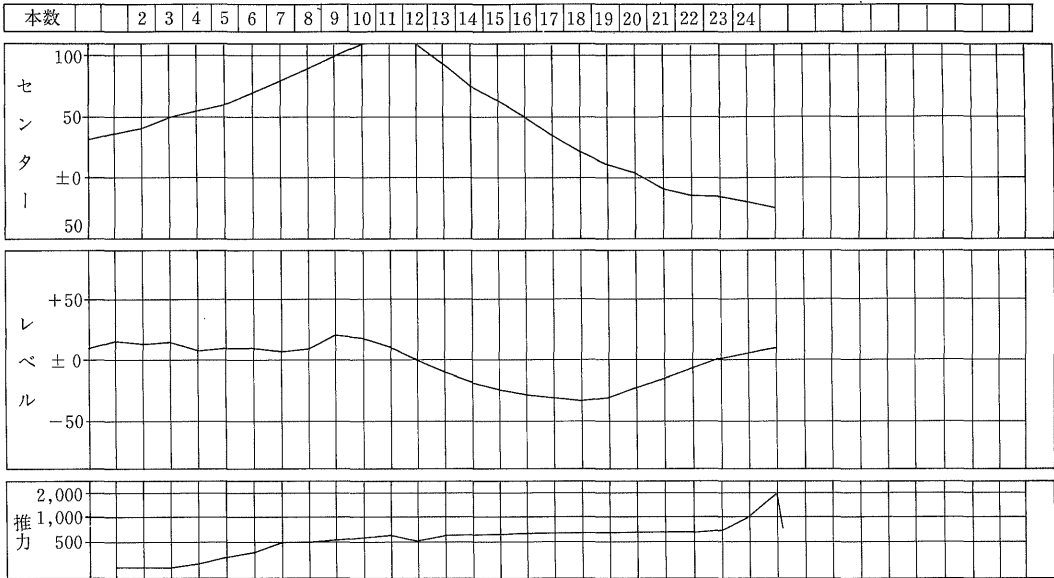


図8 出来形報告書

工事名：緊急防災対策河川工事 確認番号：二級河川石ヶ瀬川 管種×延長ダクタイル鉄管φ2900×100m  
 工事場所：知多郡東浦町大字森岡字栄北 こう配 LEVEL 0/00 土質 砂質土と砂れき層の境目 N値 5～20程度



置および鋼管矢板切断で、工事中断による地盤の拘束力の増大を抑えることができず、掘進機押出時の地切り推力は2,000トンにも上

昇した。ただし、地切り後の最終推力は800トンであった。地下水の高い滞水層ではあったが、加泥材注入効果もあり、逸水、逸泥、地山の崩壊もなく推進することができた。

写真5 先頭管吊り込み

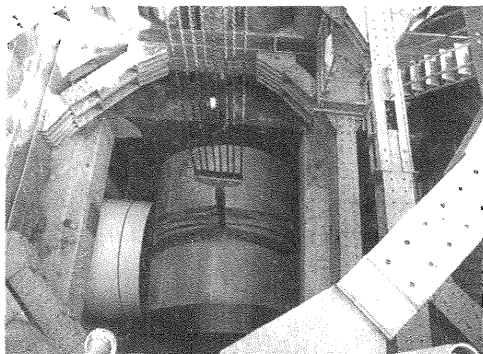
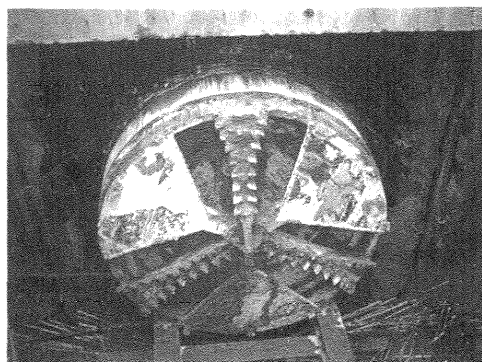


写真6 管内接合状況



写真7 セミシールド機到達



## 6. おわりに

以上、超大口径ダクタイトイル鉄管による逆サイホン方式の水路は完成し、旧伏せ越し撤去工事を平成3年度より実施予定である。地盤不良と高地下水位および渠道、JR本線接近と悪条件の中、無事完了した。

なお、施工者㈱熊谷組名古屋支店のご努力と関係各位のご協力に感謝する次第である。

# 尾道市における汚水の多重圧送に ダクタイトイル鉄管を使用した事例に ついて

尾道市都市部下水道課

課長補佐 迫田 国昭

## 1. まえがき

本市は広島県の東南部で山陽道のほぼ中央に位置し、東は福山市、西は三原市、北は御調郡御調町、南は瀬戸内海がある。市域は対岸向島にある向東町、東南に行政区域を隔てた浦崎町、さらに離島の百島町を含め東西14.6km、南北17.3kmで、総面積110.68km<sup>2</sup>を有している。

地形は北部に山地が多く、南部は海に面し山が海岸線までせまり、東西に帯状の市街地を形成し、山陽本線と国道2号線がその間を平行して走っている。

尾道は戦災を受けていないため古い町の面影をよく残し、狭い石畳の坂道、静かにたたずむ古寺、どこか哀愁の漂う町である。また、志賀直哉・林芙美子・徳富蘇峰など、多くの文人にゆかりの深い町でもある。由緒ある神

社・仏閣も多く、千光寺がある千光寺山公園は瀬戸内の景観を一望でき、夜景の美しさでも知られており、サクラの季節は特に賑わう(写真1. 参照)。



写真1 尾道市街

このほか多くの国宝・重要文化財を持つ浄土寺（聖徳太子創建）や西国寺、あるいは小林和作を始めとする尾道ゆかりの美術品を展示した市立美術館があり、寺と文学と美術の町である。尾道出身の大林宣彦監督による映画「転校生」、「時をかける少女」はノスタルジックな家並みが青春というモチーフの中に織り込まれ、尾道の不思議な魅力を表わしている。

尾道は、新大阪駅から「ひかり」で1時間36分、山陰地方へ向けての陰陽連絡道路の基点であり、天然の良港として内海交通の拠点であるとともに、本州・四国架橋、尾道・今治ルートの起点として、島しょ部四国への表玄関とし、その発展が期待される。

以下、本稿では尾道市の下水道のあゆみ、下水道計画のあらましおよび“汚水の多重圧送システム”を採用した久保圧送幹線の計画および設計についてご参考までに報告する。

## 2. 下水道のあゆみ

本市が下水道計画を始めたのは、古く昭和32年に立案され計画書が作成された。

昭和48年になって日本下水道事業団（当時日本下水道事業センター）に基本計画作成の業務を委託、昭和53年に浄化センターの位置を決定するとともに、昭和54～55年に下水道計画の見直しをし、事業認可（案）を作成した。

昭和57年度において都市計画法による、都市計画決定と事業認可および下水道法による事業認可などの法手続きを進めながら管工事に着手し、浄化センターの用地の取得を続けた。

昭和60年浄化センター建設工事を日本下水道事業団に委託し、平成元年4月1日一部供用開始した。

経緯

- ・昭和32年 下水道計画の立案
- ・昭和46年4月 機構改革で都市部下水道課設置
- ・昭和48年 下水道基本計画作成（日本下水道事業団に委託）

- ・昭和53年 浄化センターの位置を決定
- ・昭和54～55年 下水道計画の見直し、事業認可（案）の作成
- ・昭和57年12月 公共下水道都市計画決定
- ・昭和58年2月 下水道法、都市計画法、事業認可
- ・昭和58年 管きょ工事に着手
- ・昭和57～62年 尾道市浄化センター用地取得
- ・昭和60年7月 尾道市浄化センター建設工事を日本下水道事業団に委託
- ・昭和63年6月 尾道市公共下水道条例議会採択

## 3. 下水道計画のあらまし

本市の公共下水道全体計画は20年後の平成12年を目標とし、行政人口11万人、下水道計画人口を8万人、計画汚水量6万7,000m<sup>3</sup>/日最大と定めている。

計画区域は市街化区域と将来市街化が予想される区域を対象とし、そのうち向東町と尾道側の工業地域を除いた1,200 haを全体計画区域とした。すなわち、重化学工場などのない尾道市では、生活雑排水やし尿浄化槽からの排水が河川や海の水質汚濁の主原因であり住環境改善の本命であるとし、住居、商業、準工業の各地域を重点とし、早期に下水処理を行うため工業地域は処理区域から外した。

### 1. 汚水管きょおよびポンプ場の計画

市北部である美ノ郷町地区の二級河川藤井川沿いの汚水計画については、美ノ郷中継ポンプ場に汚水を集めて栗原幹線に圧送する計画としている。

栗原地区は、北部である松岡、向山、向ヶ峠の汚水を集めて栗原幹線で流下させ、門田、北久保、則末などを集めて西御所町まで南下させる。

吉和地区は古浜中継ポンプ場に集めた汚水を西御所まで圧送し、栗原幹線と合流、東御所、土堂、長江を集めて久保中継ポンプ場まで自然流下させる。

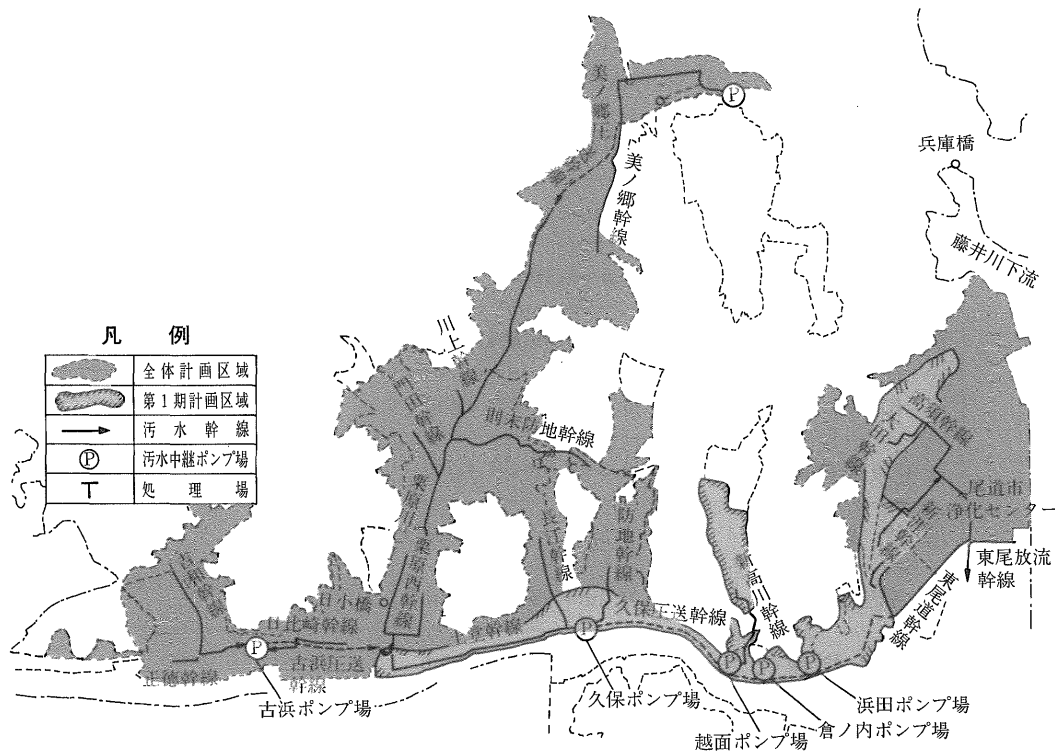
久保ポンプ場から東尾道までは国道に埋設

する久保圧送幹線で圧送し、途中新高山、山波町の越面、桑田、倉ノ内、浜田、浜の汚水をそれぞれの小規模ポンプで圧入させる。

東尾道から御団地の中央を通る東尾道幹線

で終末処理場まで自然流下させる。高須町地区は高須幹線と大田幹線で集水し、山波町の今免、本谷、東谷の汚水は新涯幹線で東尾道終末処理場に流入させる計画とした。

図1 尾道市公共下水道計画図(汚水)



公共下水道計画概要

項目	全体計画	第1期計画
処理区域	1,200ha	203ha
処理人口	80,000人	18,400人
汚水量	日平均 52,000m <sup>3</sup> /日	10,000m <sup>3</sup> /日
	日最大 67,000m <sup>3</sup> /日	13,000m <sup>3</sup> /日
事業費	500億円	143億円
幹線管きよ	汚水 29.6km	汚水 12.9km
	雨水 18.0km	雨水 2.9km
汚水中継ポンプ場	6カ所	4カ所
雨水ポンプ場	11カ所	7カ所

2. 雨水排水計画

公共下水道は、これまでの先進都市では、汚水と雨水を同じ管で流す合流式が多かったが、最近の計画では大雨時に汚水が未処理で放流となるため問題が生じており、本市では分流式で計画した。

雨水排水計画は、現在流出している地形に沿って河川や海に流す計画としており、排水系統は変えない。

分流式になるため、一般に汚水管は末端の最小口径が200mmと小さいが、雨水管きよは比

表1 汚水幹線内訳表

	幹線名	処理区域 面積 (ha)	管径・幅員 延長	汚水ポンプ場	
				名称	規模
全 体 計  画  認 可	吉和幹線		0.7~0.3m約1,380m		
	正徳幹線		0.3m 約 280m		
	日比崎幹線		0.5~0.4m約 860m		
	古浜圧送幹線	173.0	0.4m×2条約1,120m	古 浜 ポンプ場	φ150×3.5m <sup>3</sup> /分×1台 φ250×6.5m <sup>3</sup> /分×2台
	認可 西御所幹線	173.6	0.7m 約 170m		
	栗原西幹線		0.5~0.4m約 820m		
	栗原幹線	473.9	1.0~0.5m約4,320m		
	門田幹線		0.5m 約 510m		
	則末防地幹線		0.5~0.3m約1,420m		
	川上幹線		0.3m 約 260m		
	美ノ郷圧送幹線		0.3m×2条約2,260m	美ノ郷 ポンプ場	φ200×1.85m <sup>3</sup> /分×3台
	美ノ郷幹線		0.4~0.3m約2,680m		
	認可 土堂幹線	809.7	1.4~1.2m約1,950m		
	長江幹線	46.5	0.5m 約 820m		
	防地幹線	46.8	0.5m 約 650m		
	新高山幹線		0.3~0.2m約1,240m		(久保ポンプ場)
	認可 久保圧送幹線	875.0	0.8m×2条約3,160m		φ250×4m <sup>3</sup> /分×1台 φ500×24m <sup>3</sup> /分×3台
	東尾道幹線	906.8	1.4m 約1,430m		(越面ポンプ場) φ100×0.3m <sup>3</sup> /分×2台
	新涯幹線	84.0	0.4~0.3m約1,440m		(倉ノ内ポンプ場) φ100×0.4m <sup>3</sup> /分×2台
	大田幹線	41.8	0.4m 約 530m		(浜田ポンプ場) φ100×0.4m <sup>3</sup> /分×2台
高須幹線	287.3	0.7~0.3m約1,540m			
東尾道放流幹線		1.5m 約 730m			

較的大きなものとなる。

計画は、最近多い集中豪雨に耐えるため、最近40年間の降雨実績をもとに、トーマスプロット法で降雨確率を7年と決めた。

また、降雨継続時間と強度をタルボット型で60分強度42mm/時、10分間強度を100mm/時にとり、計画流出量を合理式で算定し、それぞれ排水区の管きよの大きさや排水ポンプの能力を計画した。

第1期計画（認可）では当面、山波町の浜、浜田、倉ノ内、桑田の各地区と、久保一、二丁目を計画し、それぞれの雨水管きよおよび排水ポンプ場を計画した。

#### 4. 久保圧送幹線の計画および設計について

##### 1. 圧送方式採用の経緯

図1の計画図の通り、第1期計画区域は東

西方向約5.5km、南北方向約300mと処理区が非常に細長く、また、処理場の位置が処理場として適する周辺の環境（地形、放流水域、臭気、騒音、大気汚染、美観など）を考慮して処理区東端の東尾道地区に選定された。そのため、久保幹線はきわめて流送距離が長くなった。したがって、幹線管路施設の計画に当たって、当初よりトンネル案（自然流下方式であると、管路長が長くなる場合、管の埋設が深くなるので）と汚水中継ポンプ場圧送管案との比較検討を行った。その結果経済性の面で圧送案が「第1期計画」および将来の「全体計画」ともに有利となり、また、圧送方式にすると段階施工が可能で当面の建設費が格段に安く、事業効果が早く現われるなどの理由により圧送方式を採用した。

次に、久保ポンプ場から浄化センターまでの系統図および送水量を示す。

図2 系統図

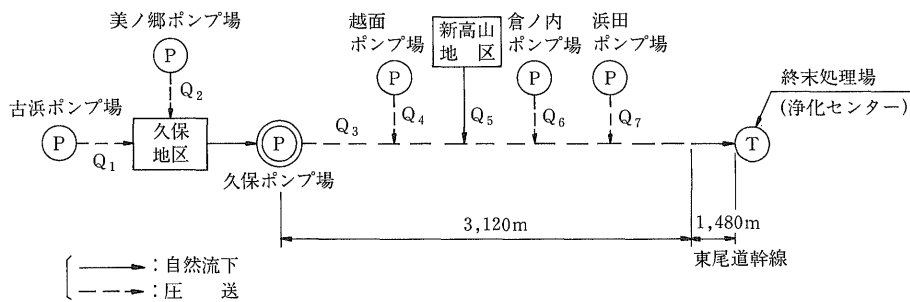


表2 久保ポンプ場の東尾道幹線への送水量

単位  $\text{m}^3/\text{日}$

記号	地区またはポンプ場名	全体計画水量			概要
		日平均	日最大	時間最大	
Q <sub>1</sub>	古 浜	7,230	9,142	13,899	
Q <sub>2</sub>	美 ノ 郷	2,821	3,713	5,335	
Q <sub>3</sub>	久 保	39,536	51,478	75,665	
Q <sub>4</sub>	越 面	291	340	565	
Q <sub>5</sub>	新 高 山	1,528	2,014	2,889	
Q <sub>6</sub>	倉 ノ 内	208	251	400	
Q <sub>7</sub>	浜 田	272	338	521	
Q <sub>8</sub>	東尾道幹線への送水量	41,835	54,421	80,040	Q <sub>3</sub> + Q <sub>4</sub> + Q <sub>5</sub> Q <sub>6</sub> + Q <sub>7</sub>

## 2. 圧送管の選定

全体計画水量を処理場まで効率よく輸送するためには、水理計算上800mm×2条とする必要性があったが、下記の理由より施工上の困難が予想された国道2号については当面800mm1本の布設を行うよう計画した(段階施工の実施)。

- ① 将来の流入水量については、排水量原単位の伸びの鈍化および面整備の遅れなどから計画値よりも少ないと予想されること。
- ② 全体計画水量が流入した場合においても、ポンプの性能アップを図ることにより800mm1本で圧送可能(ランニングコストは800mm2条より高価)であること。

## 3. 初期水量対策について

污水管きよでは、いかなる流量のときでも沈殿物が堆積しないような流速を定めなければならないが、本計画の供用開始直後(1年間程度)では、水量が非常に少ないケースが生じ、管内の浮遊物質沈積などによる閉塞が懸念されたので、その防止対策などについて以下の検討を行った。

### 1. 久保ポンプ場の雨水系統の利用

久保ポンプ場は、污水系統の中継および雨水系統の排水という2つの機能を有するポンプ場である。久保ポンプ場供用開始時の管内流速は、圧送管径を800mmとすると、

$$V = \frac{Q}{\pi/4 \times D^2} = \frac{900\text{m}^3/\text{日}}{\pi/4 \times 0.8^2} = 0.02\text{m}/\text{秒}$$

となり、管内最小流速(0.6m/秒)の確保は困難である。

管内最小流速0.6m/秒程度を確保するために必要な流量は、

$$Q = V \times \pi/4 \times D^2 = 0.6 \times \pi/4 \times 0.8^2 = 0.30\text{m}^3/\text{秒} = 18\text{m}^3/\text{分}$$

したがって、管内流速0.6m/秒を確保する方法として、

- ポンプ設備  $Q = 18\text{m}^3/\text{分}$  のポンプ設置
- 流入水量  $Q = 0.30\text{m}^3/\text{秒}$  の確保

上記2条件を満足する必要がある。

- ・ ポンプ設備  $Q = 18\text{m}^3/\text{分}$  のポンプ設置

について

久保ポンプ場内の污水系統用ポンプ設備として、初期対応用として当初から、( $\phi 400 \times 18\text{m}^3/\text{分}$ )を設置することで対応。流入水量  $Q = 0.30\text{m}^3/\text{秒}$  の確保について当ポンプ場は、雨水の排水ポンプが併設されており、雨天時において雨水を切り替えて污水ポンプ井に流入させることで、 $Q = 0.30\text{m}^3/\text{秒}$  の確保が可能。

以上の方法により、管内閉塞防止対策として雨天時に雨水を圧送管内に送り込み、フラッシュ効果により管内閉塞を防止するなどの対策案を考慮している。

### 2. 污水系統予備ポンプの同時駆動

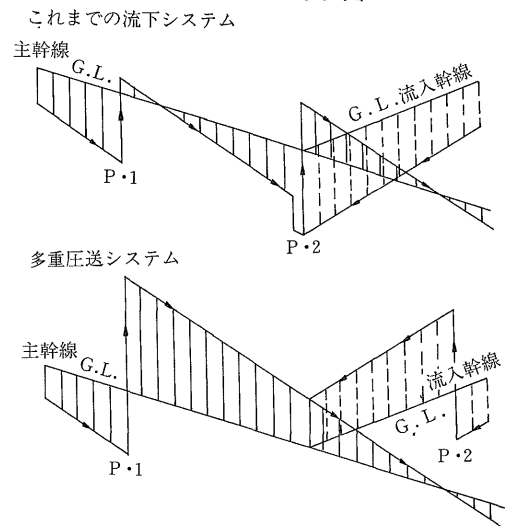
久保ポンプ場污水系統は、常用ポンプ以外に予備ポンプを設置する計画になっており、常時においては管内閉塞防止対策として、1日数回のタイマー設定により予備ポンプを同時駆動させ、そのフラッシュ効果により管内閉塞防止を行うよう計画した。

### 4. 多重圧送システムについて

従来、途中流入管がある場合、どうしてもその先が自然流下管になり、圧送方式が下水排除のシステムとして採用しづらい要因のひとつになっていたが、本市処理区の場合、効

(図は、「月刊下水道」Vo1.13No.9亀田泰武氏の論文より抜粋)

図3 管きよ水位図



※ P・1、P・2はポンプ場を示す。



率的に処理区内の下水を処理場まで輸送するためには、途中、自然流下で収集された流入管内の汚水を幹線に送り込むため、流入管に対してもポンプで圧入するシステム（多重圧送システム）を採用した。  
多重圧送の概念図（水位図）を図3に示す。

また、本市の多重圧送システムでは、図2の系統図に示す通り、流入管4カ所のうち、新高山幹線についてはその地形、水理条件より自然流下にて圧送本管に圧入が可能であったので、いわゆる自然圧送方式を採用したことが特徴である（図4、5参照）。

図4 新高山幹線の水位図

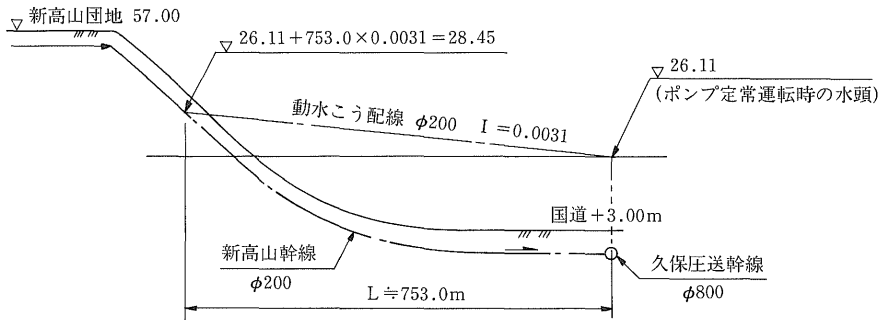
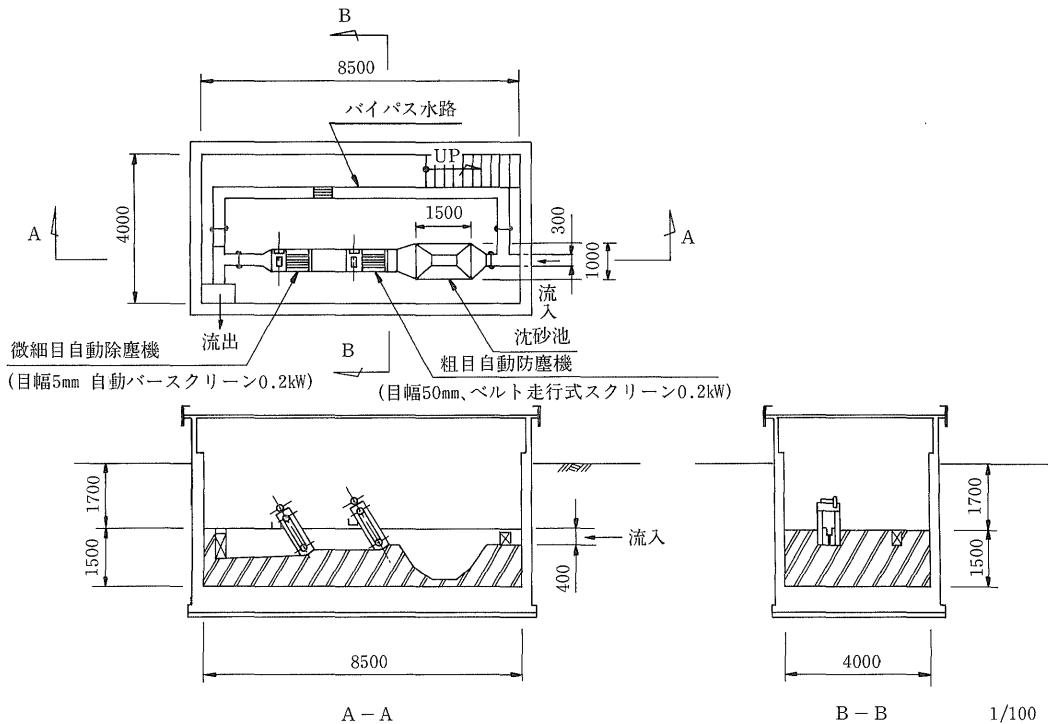


図5 前処理施設概略図



## 5. 新高山幹線について

本市で初めてし尿と家庭雑排水を処理する小規模下水道(処理人口5,000人)が、昭和49年に稼働し始めた(新高山団地内)。しかし、今回、維持管理上の効率化などの理由で本計画公共下水道に取り組み必要があり、当幹線はその団地内の汚水を久保圧送幹線に流入させるまでの幹線であり、そのシステムは前に述べた通りである。

ここでは、新高山幹線を計画するに当たって、特に留意すべき事項として検討を行った管内閉塞の防止策について紹介する。

### 1. 管内閉塞の要因

新高山幹線の管内閉塞を引き起こすと思われる要因として、次の点が考えられた。

- (1) 初期には十分な管内流速を得ることは難しく、土砂などが堆積し易い。
- (2) 幹線途中で久保圧送幹線の圧力とバランスしたT.P+28.45m地点では管内に自由水面ができ、水に浮く夾雑物が溜まり易い。

### 2. 管内閉塞の対策

管内閉塞の対策として、流入汚水になんらかの処理を施す必要があると考えられるが、その処理方法について以下の検討を行った。

#### (1) 選定条件

- ① 管内閉塞の要因となるし渣は除去する。
- ② 管内閉塞の要因となる沈砂を除去するため、沈砂池を設ける。
- ③ 無人の自動操作可能な設備とする。
- ④ 維持管理の容易な設備とする。
- ⑤ 周囲環境を考え、騒音、悪臭などがきわめて少ないようにする。

#### (2) 処理フローの検討

##### ① 除塵設備

除塵設備として、次の機種組み合わせが考えられる。

- ・粗目スクリーン+破碎機
- ・粗目スクリーン+微細目スクリーン
- ・細目スクリーン

各機種の組み合わせの比較を表3に示す。

除塵設備の組み合わせとして、

- ・汚水流入量の日変動が大きいため、流入量変動に対応可能であること。
- ・流出先の汚水幹線に夾雑物を極力流さないようにするため、除去効果が高いこと。

の2点に優れているB案を採用した。

決定除塵設備フロー

流入 → 粗目スクリーン → 微細目スクリーン → 流出

##### ② 除砂設備

除砂設備として沈砂池を設ける。

沈砂池として、平行流式の沈砂池とエアレーション沈砂池があるが、エアレーション沈砂池は、

- ・エアレーション用のブロワーが必要。
- ・ブロワーの維持管理費が必要。
- ・ブロワー用の騒音対策。
- ・消泡用の処理水または上水が必要。

といった周辺設備費および維持管理費が平行流式の沈砂池に比べ高くなる。したがって、本施設では平行流式の沈砂池形式を採用した。

##### ③ 処理フロー(前処理施設)の決定

「除塵設備」の検討および「除砂設備」の検討により、処理フローは次のように決定した(図6参照)。

流入 → 沈砂池 → 粗目スクリーン → 微細目スクリーン → 流出

- ・バイパス水路は、主水路の清掃および点検時のバイパスとして用いるが、主水路のスクリーンの目づまりによる水位上昇時には越流してバイパス水路に流入する構造とする。
- ・汚水中に含まれる夾雑物は、粗目スクリーンおよび微細目スクリーンにて除去する。
- ・粗目スクリーンおよび微細目スクリーンには自動除塵機を設置し、し渣を自動的にかき上げ、し渣カゴにて受ける。
- ・定期的な点検の際、し渣カゴのし渣をし渣コンテナに投入し、一時的にコンテナ

表 3

	A 案	B 案	C 案
機種 の 組 み 合 わ せ	粗目スクリーン+破砕機	粗目スクリーン+微細目スクリーン	細目スクリーン
概 要	汚水中の大きな夾雑物を粗目スクリーンで除去した後破砕機で水中の小さな夾雑物をさらに細かく裁断し、管内に詰まりにくくする。	汚水中の大きな夾雑物を粗目スクリーンで除去し、さらに微細目スクリーンにて汚水中の小さな夾雑物も取り除くことができる。	細目スクリーン1台にて汚水中の夾雑物を除去するため、経済的であるが、目巾が微細目スクリーンより大きいと、小さな夾雑物までは除去できない。
自動運転への対応	○	○	○
除塵機器の維持管理の容易さ	△	○	○
流入量変動への対応	△	○	○
夾雑物の除去効果	×	○	△
し渣の除去量の多少	○	△	△
機 種 の 目 幅	粗目 50~20mm	粗目 50~20mm 微細目 5~2mm	細目 30~10mm
機 器 費	粗目スクリーン 1,000(千円) 破砕機 3,000(千円) 4,000(千円)	粗目スクリーン 1,000(千円) 微細目スクリーン 1,700(千円) 2,700(千円)	細目スクリーン 1,500(千円) 1,500(千円)
評 価	×	○	△

にし渣を貯留する。

- ・コンテナが満杯になった状態で、コンテナごとし渣をトラックなどで場外搬出しし渣のみを処分したあと、コンテナを本施設へ戻す。

## 6. 管種の選定

下水圧送に用いる地下埋設管には、内圧、外圧が常に作用するのはもちろん、特に水撃圧（ウォーターハンマー）に対しても十分安全である必要があるため、管の選定は強度、水密性の点を重視し、圧力管としてもっとも信頼性のあるダクトイル鉄管を久保圧送幹線の800mmはもちろんのこと、新高山幹線の200mmについても水撃作用に対してもっとも強い

ダクトイル鉄管を採用した（800mm T形5種管 200mm T形3種管）。

写真2 ダクトイル鉄管埋設工事

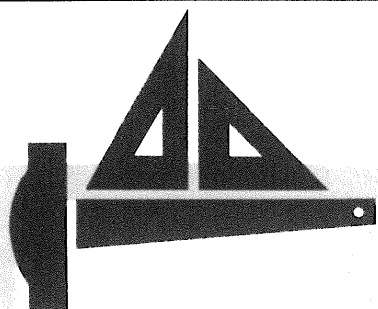


## 7. あとがき

本市ではその処理区の地形的要因（処理区形状がきわめて細長い。河川横断部が数多くある）および処理場の立地条件などより、総合的に優れる汚水の多重圧送システムを採用した。

多重圧送システムは、管路の土かぶりが浅くできることや、管路の複線化、ポンプ能力

の変更(up)、あるいは当面の間必要となるポンプ場を絞れるなどの段階施工がしやすいことによる先行投資の削減効果があり、今後下水道事業の中心が中小の市町村に移っていく過程の中、着手しやすい下水道システムとして、採用される際に多少なりとも本報告がご参考になれば幸いである。



# 技術レポート

4

## 呼び径900mmダクタイトイル鉄管を 下水圧送管の曲線推進工事に 使用した事例

宮崎市下水道部下水道建設課  
課長 篠原 淳輔

### 1. はじめに

本市は、古くて新しい町「宮崎」といわれている。それは民族発祥の神話伝説に採られて、その伝説が今なお色濃く残された古い町である（図1位置図参照）。

また、宮崎県の政治、経済、教育、文化の中枢拠点都市として発展し続けている新しい町である。

大正13年4月に宮崎市として発足して以来自然との調和のとれた都市を理念に「住みよい、住みたくなる町づくり」に努力を重ね、今や面積約286km<sup>2</sup>、人口約29万人を擁する県都として大きく発展しようとしている。

本市の下水道事業は、昭和8年に雨水排除浸水防止を目的に、大淀川兩岸の中心市街地560.5haについて事業認可を受け、管きょ整備事業を進めていたが、戦争により中断した。

そして戦後、急速な市街化の発展と拡大から昭和42年鶴島地区30ha、宮崎駅裏地区106haを追加し、696.5haを認可区域として整備することになった。

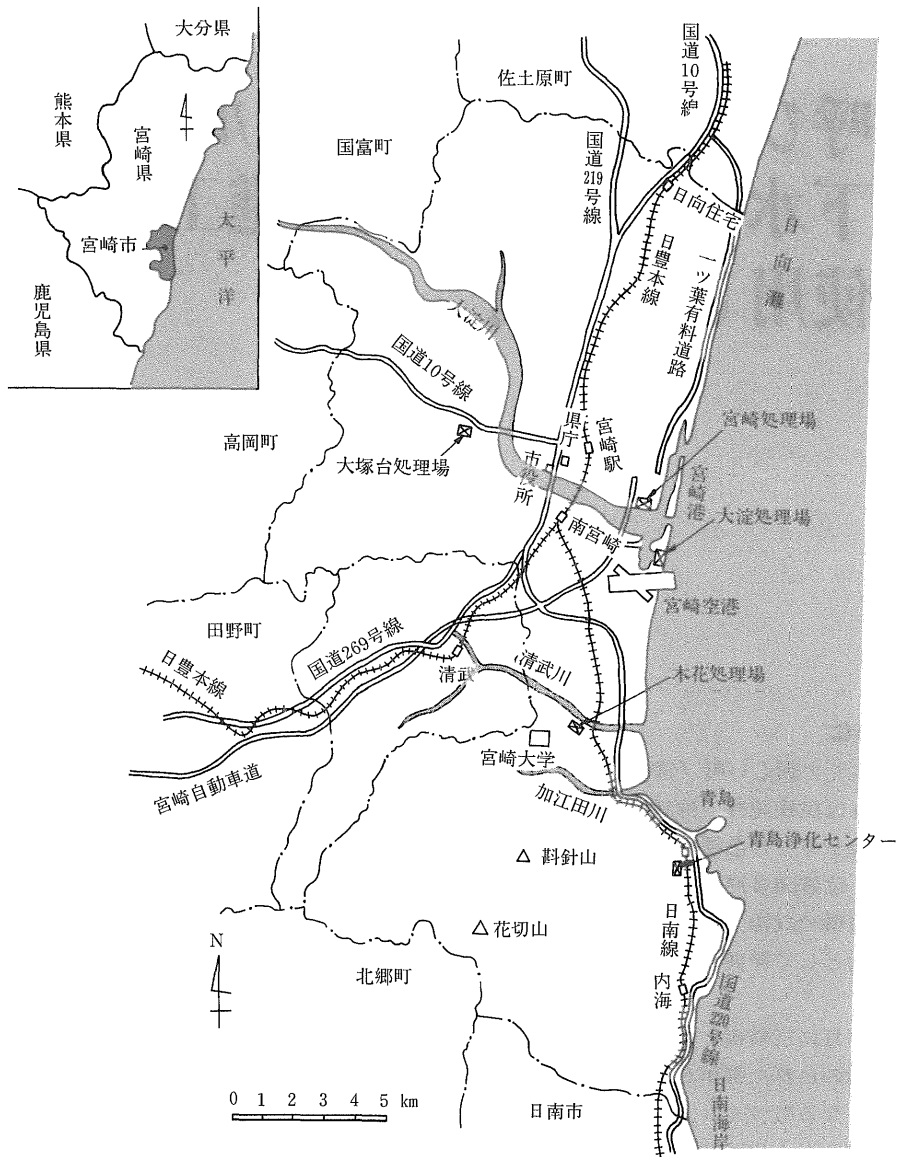
その後、大淀川左岸、木花学園都市、大淀川右岸沿いの一部、既成市街地、大塚台団地また、青島地区を認可区域として整備することになり、着手して以来半世紀を経た今日、宮崎市の下水道整備は着々と進み、今や下水道普及率46%までアップしている状況である。

ここで、本工事に関係のある宮崎処理区は区域計画面積1,620haを処理すべきもので、大淀川左岸全域である。そして今回の工事は大宮(1)、大宮(2)、新別府処理分区分区517.0haの汚水を橈中継ポンプ場から宮崎処理場まで圧送するものであり、宮崎主要汚水幹線の一部

約750mで、その圧送管に推進工法用ダクトイル鉄管呼び径900mmを使用し、その圧送管ルートにおいて曲率半径148m、弧長104mの曲線

推進工事を実施したので、その概要を報告したい。

図1 位置図



## 2. 曲線推進工法の採用

今回の施工場所は市街地で住宅、商店などが密集した場所である (図2 施工場所位置図

参照)。交通事情については市道一ツ葉通線、県道島ノ内一の宮線の交差点で交通量も多く

上水道本管呼び径450mm、枝管呼び径100mm、NTTケーブル2条と地下埋設物もふくそうしているため開削工法は不可能であった。また、直線推進工法を採用すれば立坑数の増加で経済性に劣る点も考慮に入れ、曲線推進工法を採用したものである。

しかし、当初、全国的にも呼び径900mmで曲率半径148m、弧長104mの曲線推進工事は、

管長2.43mのヒューム管を管材としてでもあまり例がなく、管長3mで、ましてダクタイル鉄管での推進は施工の難易性から疑問視する声が聞かれたのも事実であった。しかし、現在の推進技術の進歩を信頼し、鉄管メーカーのバックアップ（技術援助）により採用に踏み切ったものである。

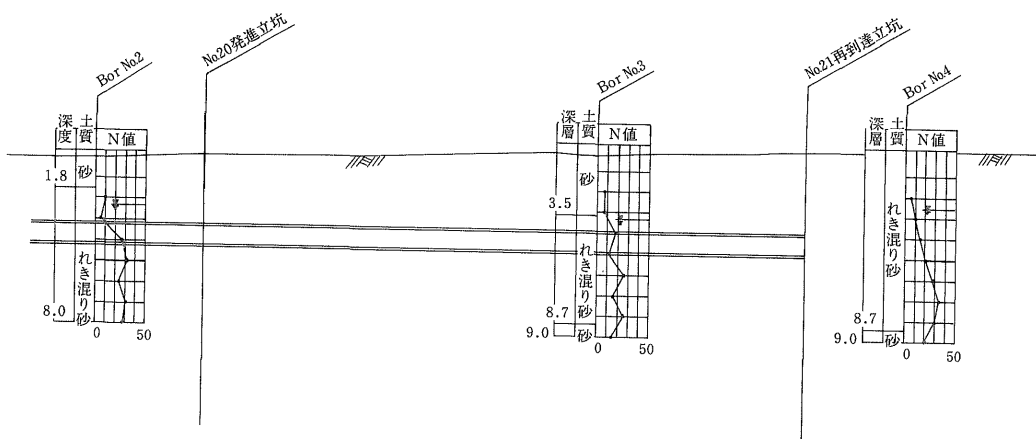
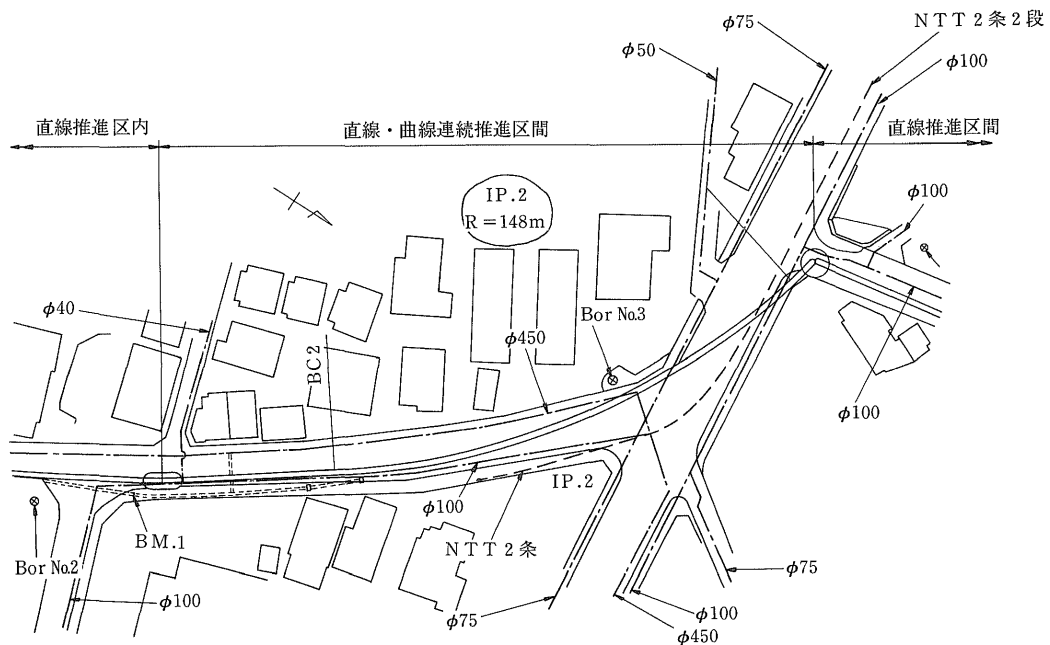
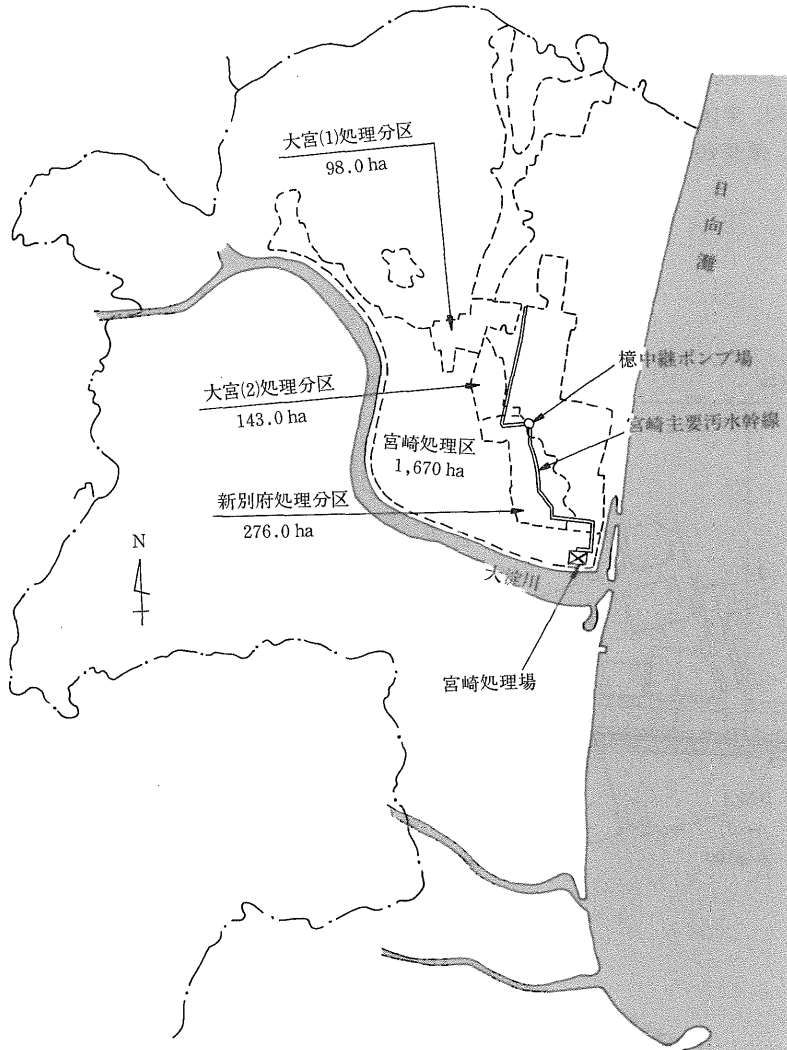


図2 施工場所位置図



### 3. 工事の概要

本工事は、平成元年度より整備を進める宮崎主要汚水幹線の一部であり、呼び径900mmダクトイル鉄管の布設延長は748.7mで、このうち曲線推進延長は103.8mである。

- (1)工事名：宮崎主要汚水幹線4工区
- (2)工事場所：宮崎市吉村町
- (3)施工期間：平成2年6月21日～平成3年3月25日

#### (4)工事内容

##### ①管種、規格、延長

管種	規格	呼び径	延長
下水道推進工法用ダクトイル鉄管	JSWAS G-2	900	748.7m

##### ②工法の内訳(泥水工法)

直線推進工法	603.5m
直線・曲線(曲率半径148m、弧長さ103.7m)連続推進工法	145.2m



(5)ダクタイル鉄管の内訳

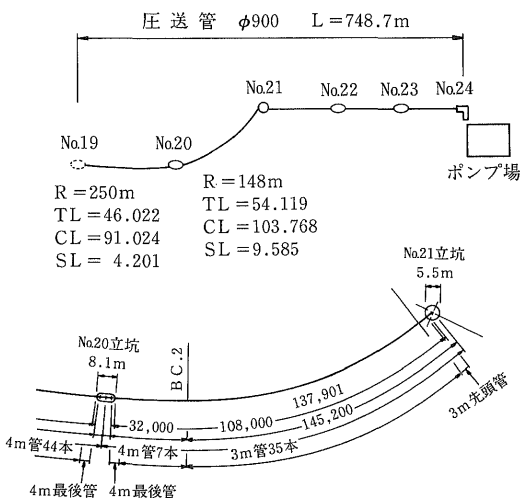
	品名	形状寸法	数量
直線部	下水道推進工法用 ダクタイル鉄管 U-D形5種管	φ900×4000	151本
	下水道推進工法用 ダクタイル鉄管 U-D形5種管	φ900×3000	36本
立坑内	下水道用ダクタイル鉄管 K形5種管	φ900×6000	4本
	下水道用ダクタイル鑄鉄異形管 K形曲管	φ900	6個

(6)立坑土留工

No.20	ライナプレート	小判型	3.3×8067×5.0
No.21	ライナプレート	円型	5.5×5.0
No.22	ライナプレート	小判型	3.2×7753×5.0
No.23	ライナプレート	小判型	3.2×7753×5.0
No.24	鋼矢板	Ⅲ型	8.5×65枚

(7)総事業費：256,200,000円(延長1m当たり  
34万2,000円)

(8)管路図



4. 設計について

今回の曲線推進は、管路図に示すようにNo.20発進立坑から32.1m直進したあと、曲線部が103.8mあり、そしてNo.21到達立坑側に直線部が9.5mある推進であり、曲率半径が148mの推進である。推進管はダクタイル鉄管でU-D形の5種管であるが、一般に直線推進の

写真1 泥水加圧ミールトマシン



場合は施工性の面から管長を4mとするが、曲線推進の場合、曲率半径R=148mなので、管長が4mでは施工性が難しくなる。曲線推進では次の事項が基本となり、検討を行った。

1. 曲線推進に伴う管路の線形

U形呼び径900mmダクタイル鉄管の許容曲げ角度は2°00'であり、曲率半径R=148mでの継手部の曲げ角度を2°00'と仮定すると、管の最小有効長さ(l)は次式で求められる。

$$l = R \times \sin \theta = 148 \times \sin 2^\circ 00' = 5.17 \text{ m}$$

しかし、これは許容曲げ角度による有効長さであり、開削工法であれば外部からの目視施工なのでl=4mの管長で理論的には可能であるが、ここでは推進工法のため施工誤差布設後の地盤変動(地盤沈下や地震などによる)を考慮してl=3mとする。

l=3mとした場合の設計曲げ角度(θ)は次式で求められる。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{l}{R} = \sin^{-1} \frac{3}{148} = 1^\circ 10'$$

農林水産省構造改善局の土地改良事業標準設計第4編パイプラインによれば、設計曲げ角度として許容曲げ角度の2分の1を採用しているので、θ=1°10'は妥当な数値であり、曲線推進部の管長をl=3mと決定した。

図3 曲線推進部管路線形図

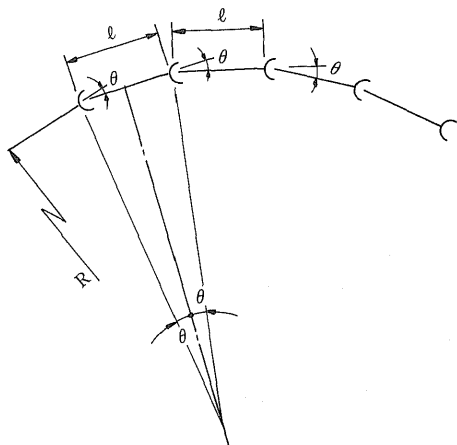
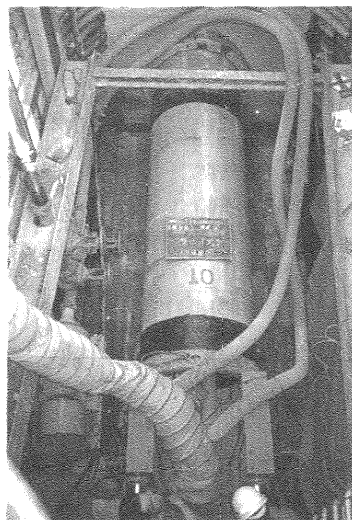


写真2 発進立坑内の推進用ダクトイル鉄管



## 2. 曲線推進に伴う継手部の開口

通常の曲線推進の場合、管体は曲がらないので継手部が扇形に開くが、開口寸法がU形

継手の許容開口寸法以内であれば安全である。

$$S = D_s \times \tan \theta$$

ここに、S : U形継手部の開口寸法 mm

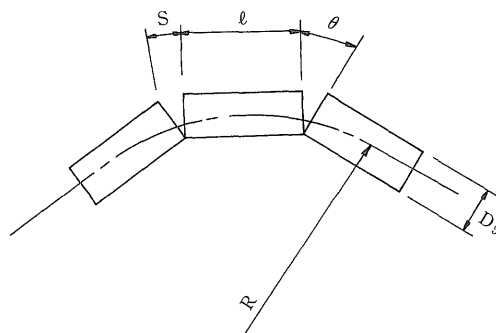
$D_s$  : U形継手部の外形寸法  $D_s = 1,043\text{mm}$

$\theta$  : U形継手部の設計曲げ角度  $\theta = 1^\circ 10'$

したがって、 $S = D_s \times \tan \theta = 1,043 \times \tan 1^\circ 10' = 21\text{mm}$

呼び径 900 mm の U形継手の許容開口寸法は 35mm であるから十分に安全である。

図4 曲線推進に伴う継手部の開口部図



## 3. 曲線推進に伴う拡幅掘削

通常の曲線推進の場合、管体は曲がらないので継手部と直管中央部(継手部から1.5mの位置)ではδだけ直管中央部の方が内側にな

る。しかし、セミシールド機の外径と推進管の外径との差がδ寸法以上であれば安全である。

$$\delta = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

ここに、 $\delta$  = 継手部と直管中央部との位置差 m

R = 曲線推進の曲率半径 R = 148m

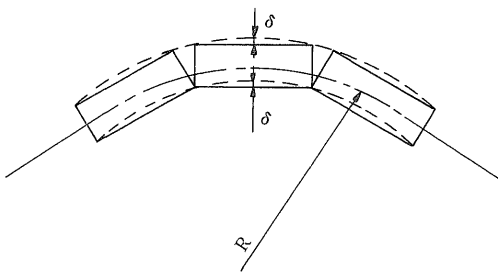
l = 直管1本の管長 l = 3 m

$$\text{したがって } \delta = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} = 148 - \sqrt{148^2 - \left(\frac{3}{2}\right)^2} = 0.008\text{m} = 8\text{ mm}$$

呼び径 900 mmのセミシールド機の外径1080 mmと推進管の外径1043mmとの差は 8 mm以上あるので安全である。

に推力を管に均等に作用させるかということがポイントとなる。

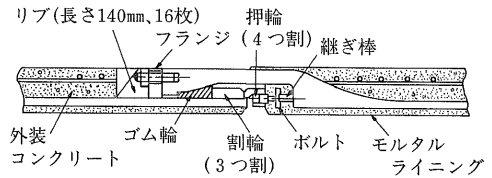
図5 曲線推進に伴う継手部と直管中央部との位置差検討図



#### 4. 推力の伝達方式

U形推進管は一般の直線推進の場合、フランジおよびリブによって推力を伝達する機構(図5 直線推進推力伝達機構図参照)になっている。したがって推進施工時には、いか

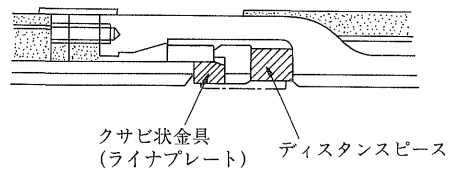
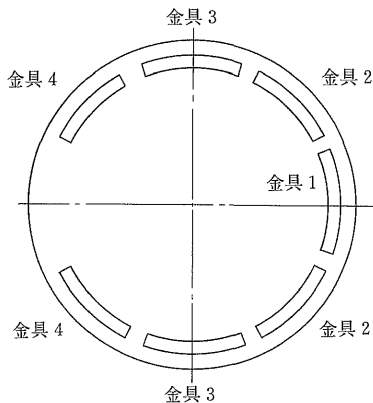
図6 直線推進推力伝達機構図



しかし、曲線推進の場合、そのままではフランジおよびリブの一部に推力が集中するので、継手部にディスタンスピースを挿入し、くさびを用いて推力を伝達する方策が必要である。(図6 曲線推進推力伝達機構図参照)。

継手1ヵ所に形状の異なるくさびを合計7個挿入し、所定の角度を得るようにセットした。

図7 曲線推進推力伝達機構図



※各金具の厚さは、計画屈曲角により異なる。

## 5. 直線推進の推力計算

直線推進の推力計算は日本下水道協会の式(1式)、日本ダクタイル鉄管協会の式(2式)

修正式I(3式)、修正式II(4式)、経験的簡便式(5式)があるが、いずれも300トン前後で大差はない。

$$F = F_0 + \{(\pi \cdot D_5 \cdot q + W)\mu' + \pi \cdot D_5 \cdot C\} L \text{ ————— (1式)}$$

$$F = F_0 + \pi \cdot \mu' \cdot L \{D_5(0.5q + 0.25q_1 + 0.25q_2) + 0.25W\} \text{ — (2式)}$$

$$F = F_0 + \alpha \cdot \pi \cdot D_5 \cdot \tau_5 \cdot L + W \cdot \mu' \cdot L \text{ ————— (3式)}$$

$$F = F_0 + \pi \cdot D_5 \cdot \tau_5 \cdot L \text{ ————— (4式)}$$

$$F = F_0 + R \cdot S \cdot L \text{ ————— (5式)}$$

ここに、F : 推進力 (tf)

F<sub>0</sub> : 初期抵抗 (tf)

D<sub>5</sub> : 外装部外径 (m)

W : 管の単位重量 (tf/m)

μ' : 管と土との摩擦係数

C : 管と土との付着力 (tf/m<sup>2</sup>)

L : 推進延長 (m)

q : 管にかかる等分布荷重 (tf/m<sup>2</sup>)

q<sub>1</sub> : 管頂の側土圧 (tf/m<sup>2</sup>)

q<sub>2</sub> : 管底の側土圧 (tf/m<sup>2</sup>)

α : 管と土との摩擦抵抗の生じる範囲にかかる係数 (=0.50~0.75)

τ<sub>5</sub> : 管と土とのせん断力 (tf/m<sup>2</sup>)

R : 外面抵抗 (tf/m<sup>2</sup>)

S : 管の外周長 (m)

## 6. 直線・曲線連続推進の推力計算

直線・曲線連続推進の推力計算は、管周囲の地山が自立しており、かつ、管が自由に曲

げられるだけの拡幅をされている本件の場合は、次式が一般によく用いられている。

$$F = F_0 + 0.8\pi \cdot D_5 \cdot \tau \cdot (\ell_1 \cdot K^n \cdot \lambda \cdot \ell + \ell_2) \text{ ————— (6式)}$$

$$K = (\cos \theta - \kappa \cdot \sin \theta)^{-1}$$

$$\lambda = (K + K^1 + K^2 + \dots + K^n) n^{-1}$$

ここに、F : 推進力 (tf)

F<sub>0</sub> : 初期抵抗 14,253 tf

D<sub>5</sub> : 外装部外径 1,041m

ℓ : 曲線推進延長 103.69m

ℓ<sub>1</sub> : 到達口側直線推進延長 3.97m

ℓ<sub>2</sub> : 発進口側直線推進延長 30.17m

n : 曲線推進管の本数 34本

κ : 法線力による管と地山との間のせん断抵抗率 0.5

τ : 管と土とのせん断力 0.790 tf/m<sup>2</sup>

θ : 曲線推進管の1本当たりの曲がり角度 1.16°

λ : 直線と曲線の推進抵抗比率

$$K = (\cos 1.16^\circ - 0.5 \cdot \sin 1.16^\circ)^{-1} = 1.010$$

$$\lambda = (K + K^1 + K^2 + \dots + K^n) n^{-1}$$

$$= (1.01 + 1.01^1 + 1.01^2 + \dots + 1.01^{34}) n^{-1} = 1.21$$

したがって、

$$\begin{aligned}
 F &= F_0 + 0.8\pi \cdot D_5 \cdot \tau_5 (\ell_1 \cdot K^n + \lambda \cdot \ell + \ell_2) \\
 &= 14,253 + 0.8\pi \cdot 1.043 \cdot 0.79 (3.97 \cdot 1.01^{34} + 1.21 \cdot 103.69 + 30.17) \\
 &= 354 \text{ tf}
 \end{aligned}$$

### 7. 推力に対する管体の安全性

推進用ダクタイル鉄管呼び径900mm U-D形5種管の許容推力は430 tfであるから推進力354 tfの1.2倍あり、十分に安全である。

### 5. 施工について

今回の推進工法は、セミシールド工法で行った。その中で土質、推進距離などを考慮して泥水式推進工法を採用した。

#### (1) 発進立坑

発進立坑は長さ8.1m、幅3.2m、深さ5mの小判形ライナプレートを設置し腹起こしは1段目高さ200×200、2段目高さ300×300を取り付け、切梁にはそれぞれ高さ100×100、高さ125×125を取り付け補強した。

#### (2) 到達立坑

到達立坑は直径5.5m、深さ5mの円形ライナプレートを設置し、高さ150×150の補強リングを取り付けた。また、地下水を止水するため補助工法として薬液注入工法を採用した。

#### (3) グラウト

推進管1本につき2カ所のグラウト

写真3 カーブ推進用ディスタンスピース取り付け

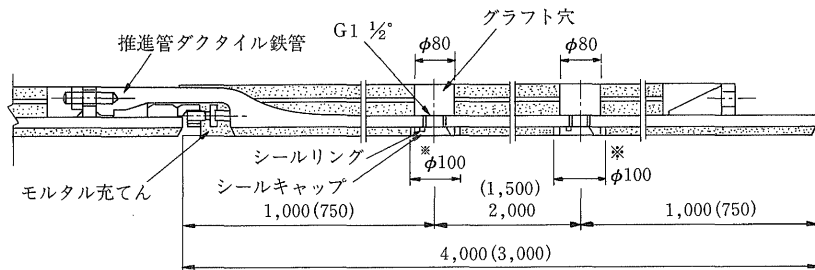


注入口を設け注入し、シールキャップで締め付けた(図7 推進管断面図参照)。

#### (4) 施工精度

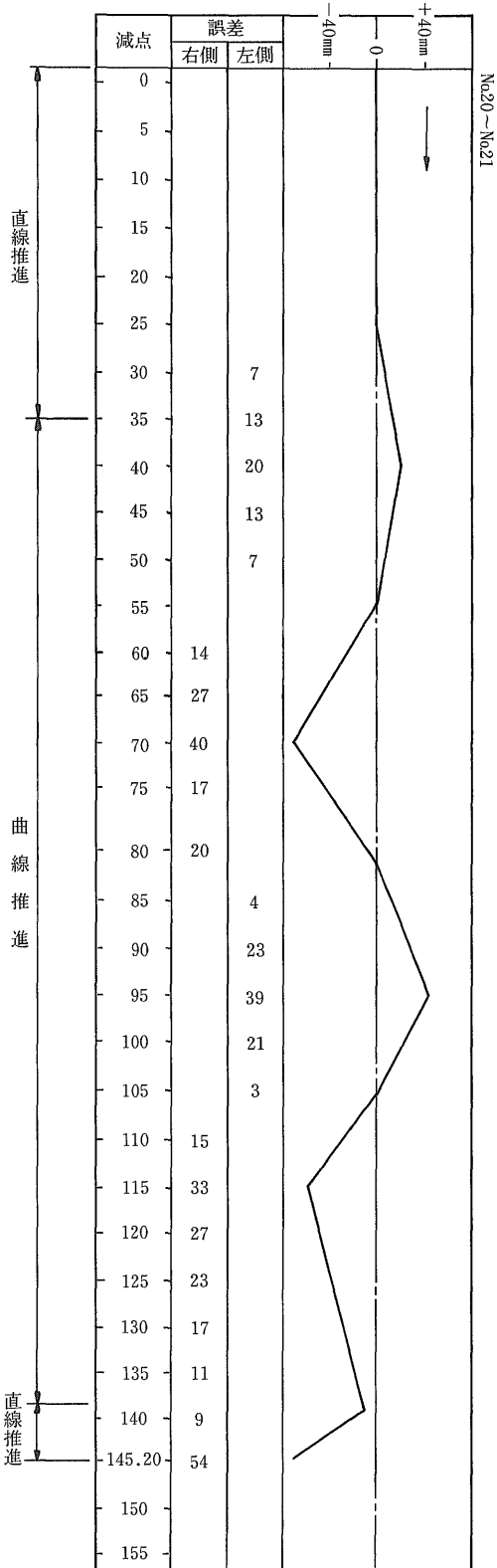
No.20発進、No.21到達の曲線推進において64mm右側35mm高で到達したが、これは許容誤差内と考えてよい。

図8 推進管断面図



( )内数値は有効長3.0m管を示す。

備考 1: ※印の範囲はシールキャップ締め付け後、エポキシ樹脂で充てんすること。  
2: G1 1/2は、JIS B 0202(管用平行ねじ)による。



### 6. おわりに

今回の工事、宮崎主要汚水幹線の一部約750mで、その圧送管に推進工法用ダクタイトイル鉄管呼び径900mmを使用し、その圧送管ルートにおいて曲率半径148m、弧長104mの曲線推進工事を実施した。

施工場所は市街地の交差点で交通量も多く地下埋設物もふくそうしているため開削工法は不可能であった。また、直線推進工法を採用すれば立坑数の増加で経済性に劣る点も考慮に入れ、曲線推進工法を採用したものである。

しかし、当初、全国的にも呼び径900mmで曲率半径148m、弧長104mの曲線推進工事はあまり例がなく、ましてダクタイトイル鉄管での推進は、施工の難易性から疑問視する声が聞かれたのも事実であったが、現在の推進技術の進歩により思ったほどの問題もなく、工事はスムーズに運んだ。総工事費が1m当たり約34万円となり経済性もまずまずといえる。

ダクタイトイル鉄管は引張り強さが42kgf/mm<sup>2</sup>あるので、ポンプ圧送による静水圧と水撃圧の合計が高水圧となっても安全である。また、深い土かぶりによる大きな土圧や、浅い土かぶりにおける輪荷重にも問題がない。継手のゴム輪と管体との間には高い水密性があるので、下水の漏水や地下水の流入の心配がない。接合はきわめて簡単で1継手が数分から数10分以内で行える。通常地盤なら接合後ただちに推進工ができる。铸铁は鋼より電気抵抗が約4倍あるので、ダクタイトイル鉄管は腐食しにくい。また、内面には耐酸セメントによるモルタルライニングが施してあるので、硫化水素による損傷の心配がない。過去の実績を調べても耐用年数が長く、事故発生率が低い。大地震や地盤の不等沈下に対してよく順応する。

施工が簡単なため工期短縮にもなり、本工事を支障なく実施できた。供用からまだ1年しか経過していないが、事故も皆無であり、将来にわたり維持管理が容易であることが予想される。これから計画される関係者に参考となればと報告する次第である。

# GS形ダクタイトイル推進管による 長距離推進と温泉排水対策について

秋田県中央流域下水道事務所

工務課調査設計係長 村木 幹夫

主任 宇佐美 義光

## 1. はじめに

最近、各地から硫化水素に起因する下水管きょや処理場の腐食の事例が多数報告されており、管きょにおいては特に圧送管の出口付近の損傷が著しい。当事務所で担当している秋田湾・雄物川流域下水道の臨海処理区では今回、この硫化水素の原因となる硫酸イオンを多量に含む温泉排水対策を兼ねて、管内面にポリエチレン樹脂ライニングを施したGS形ダクタイトイル推進管による長距離推進工事を行ったので、ここにその概要を紹介する。

## 2. 臨海処理区の事業概要

秋田湾・雄物川流域下水道の臨海処理区は県内一の人口集中地区である秋田臨海部の河川、海域と八郎潟残存湖の水質保全、生活環境の改善を目的として、2市12町1村にわ

たる4本の幹線管きょの整備と、これに流入する汚水の浄化を行っている。昭和50年度から事業に着手し、平成3年度末で幹線管きょは、全体の80%にあたる81kmが完成している。

また、終末処理場は昭和57年度から処理を開始しており、現在6万m<sup>3</sup>/日の汚水処理が可能となっている。

## 3. GS形ダクタイトイル推進管の採用理由

秋田県の流域下水道では圧送方式を積極的に採用しており、当処理区においても幹線管きょ延長の40%に当たる39.5kmが圧送区間となっている。今回紹介する工事区間は呼び径700mm、延長約320mの自然流下区間であるが、

- ① 当処理区で現在供用中の圧送管の出口部分において、圧送ポンプ運転直後に最高125ppmを超える硫化水素が検出されて

いること。

- ② 硫酸イオンを多量に含む温泉排水の流入が決定していること。
- ③ 本工事区間が圧送管の出口部分にあたること。

以上の理由により、腐食対策が必要であると判断された。

また、本工事区間の周辺環境、施工条件から、最長で約170mと150mのスパン割りの推進工事となることから、管種についてはGS形ダクトイル推進管（ポリエチレン樹脂ライニング）と鉄筋コンクリート推進管（ポリウレタン樹脂、セラミック樹脂ライニングなど）について検討したが、両管ともライニングにより粗度係数が改善されることから、最終的に呼び径600mmで比較を行い、GS形ダクトイル推進管を採用した。また、マンホール内面にはセラミック樹脂ライニング（現場塗布、厚さ5mm）を実施した。

今回採用したGS形ダクトイル推進管の特徴は次の通りである。

- ① 鉄筋コンクリート推進管と比較して耐荷力が大きい（700kgf/cm<sup>2</sup>管の強度の約1.5倍）。
- ② 管の有効長は、1口径小さい鉄筋コンクリート推進管の管長+5mm、また、外径は1口径小さい鉄筋コンクリート推進管にほぼ等しいので、推進時の摩擦抵抗が小さい。
- ③ 管内面には、耐酸性と耐摩耗性に優れたポリエチレン樹脂ライニングが施してある。
- ④ 継手の水密性がよい。
- ⑤ 施工性がよい。  
外径と有効長が1口径小さい鉄筋コンクリート推進管と等しいので、1口径小さい鉄筋コンクリート推進管用の推進設備を使用できる。
- ⑥ 管重量が鉄筋コンクリート推進管（呼び径600mm）の60%程度と軽量である。
- ⑦ ポリエチレン樹脂ライニングを2層施すことにより、粗度係数  $n = 0.010$  の管内面粗度が得られる。

#### 4. 使用管種について

規格：JCPA G 1036-1991

下水道推進工法用GS形ダクトイル  
鉄管

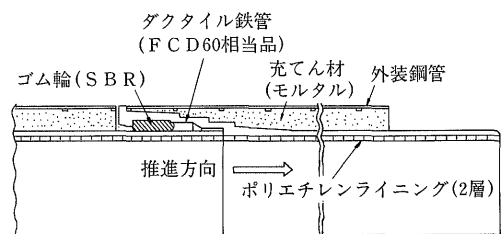
呼び径：600mm

管外径：670mm

管長：2.435m

許容耐荷力：360 tf

図1 GS形ダクトイル推進管



#### 5. 工事概要

本工事は、山本郡琴丘町鹿渡字東小瀬川地内の湖東幹線において、平成3年度事業として実施されたもので、その概要は次の通りである。

路線延長：169.02m + 149.58m = 318.60m

推進延長：163.57m + 141.69m = 305.26m

土質：細砂

立坑：No.14-1立坑……発進立坑

No.14、No.15立坑……到達立坑

マンホール：2号マンホール1ヵ所

3号マンホール2ヵ所

推進工法：泥水式推進工法（アンクルモー  
ル工法）

#### 6. 推進実績

(1) No.14-1 ~ No.14区間

推進長—————163.57m

最大推力(計画)—————248 tf

” (実施)—————65 tf

最大誤差(上)—————45mm

” (下)—————0 mm

” (右)—————0 mm

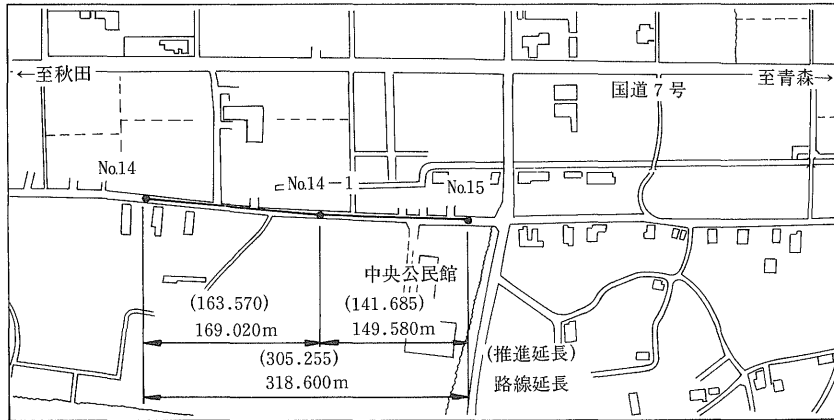
” (左)—————30mm

到達誤差(上)—————45mm

” (左)—————30mm



図2 施工位置図



(2) No.14-1 ~No.15区間

推進長	141.69m
最大推力(計画)	212 tf
"    (実施)	45 tf
最大誤差(上)	10mm
"    (下)	5 mm
"    (右)	5 mm
"    (左)	25mm
到達誤差(上)	10mm
"    (左)	10mm

推進力(計画)の計算には、下水道協会の修正式IIを用いた。

7. おわりに

1. 施工結果について

施工サイドの報告では、

- ① 推力については、計画より大幅に小さい値で推進できた。これは管の外装鋼管と土砂との間に減摩剤がうまく保持され管重量が軽いことと相乗効果で摩擦力を低減したものと考えられる。
- ② 管の接合は、鉄筋コンクリート推進管と同様なので、容易であった。
- ③ 実施推力が小さく、許容耐荷力に対して十分余裕があり、強度上安心して推進することができた。

以上のような結果であった。

図3 推進推力図 (No.14-1 ~No.14)

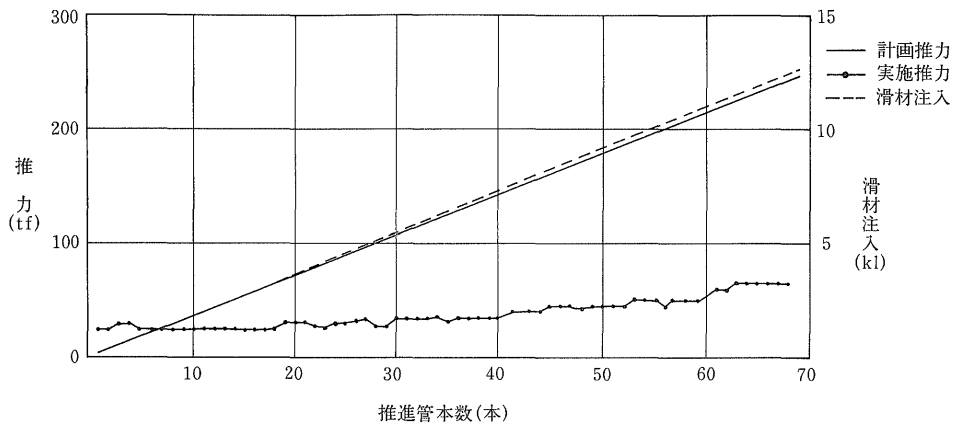
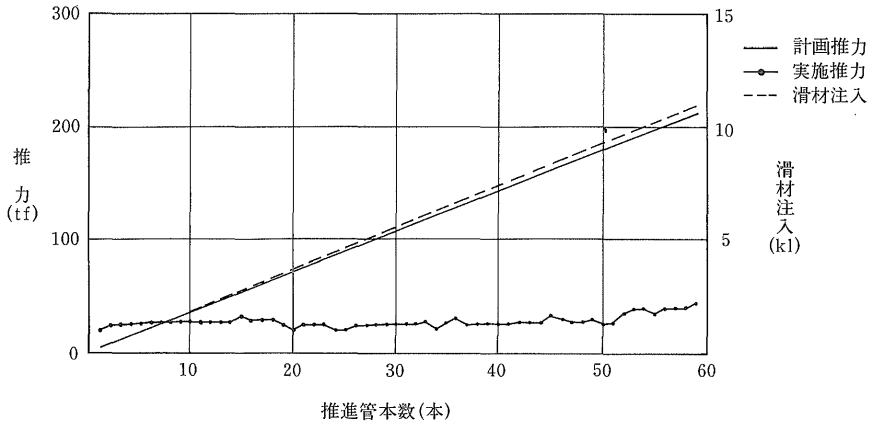


図4 推進推力図 (No.14-1～No.15)



## 2. 今後の課題

従来、小口径推進工法の推進長は、土質などにより異なるが、約100mくらいを標準としていた。今回の施工ではこれを約1.5倍伸ばすことができたが、今後はさらに長距離推進の

必要性が高まると考えられる。

また、曲線推進施工の要望もあるので、さらに研究開発を進め、推進実績を重ねて、G S形ダクタイトル推進管の性能が向上するよう望みたい。

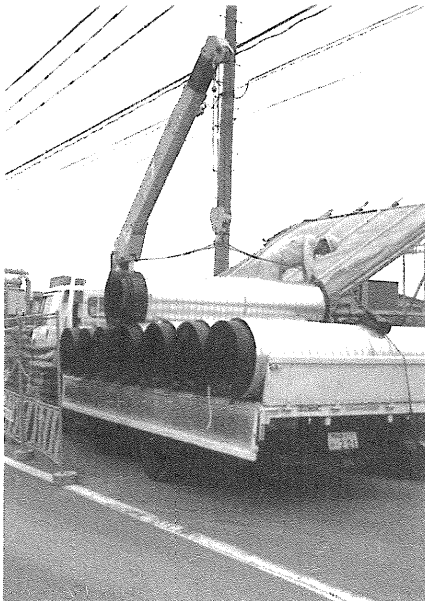


写真1 吊り下ろし

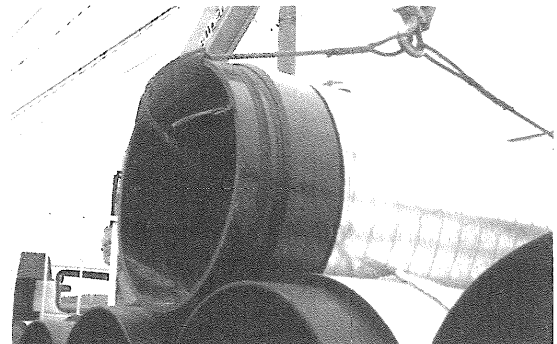


写真2 接合治具

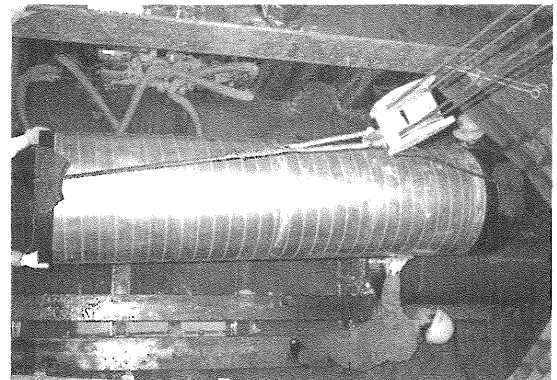


写真3 立坑への吊り下ろし



写真4 推進機とのジョイント



写真5 推進作業

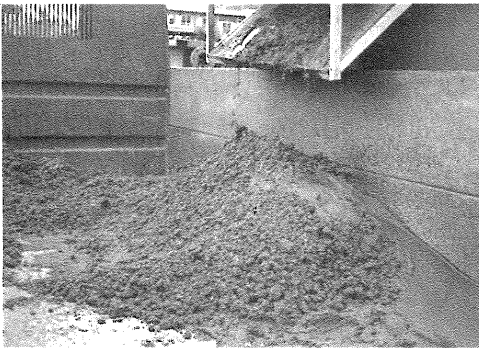


写真6 排土（細砂）

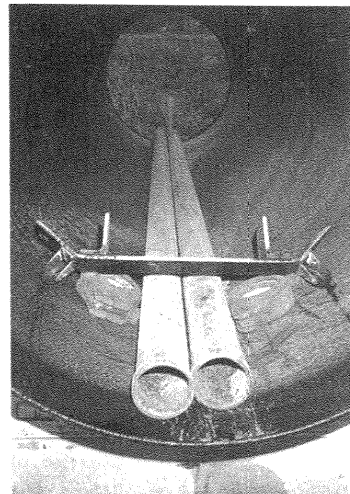
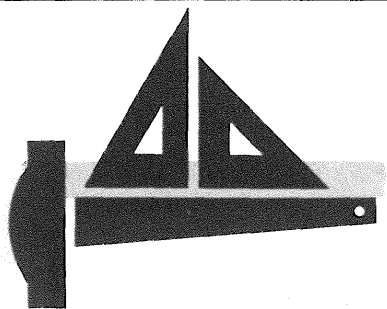


写真7 送排泥管用キャスター



# 技術レポート

6

## ダクタイル鉄管による 小口径長距離推進工事について

藤井寺市水道局工務課

課長代理 浅野 俊朗

大森 克人

### 1. はじめに

藤井寺市は、大阪平野の南東部に位置する東西4.2km、南北3.9km、市域面積8.89km<sup>2</sup>の大阪府の中でもっとも面積の小さな市である。(図1)

市の東には金剛、二上、生駒の山並みを望み、一級河川の大和川とその支流の石川の流域に沿った緩やかな地形と緑につつまれた風光明媚な土地柄である。

また、市内には仲哀天皇を初めとする歴代皇陵や古墳、遺跡、史跡が点在し、古代河内文化の中心として栄えたことを偲ばせる。昭和53年には古墳時代に巨石を運ぶために用いられたとされる修羅がほぼ完全な状態で発見され、各方面から注目されたことは記憶に新しい。

市域面積では、全国的にも小さな都市であるが、大阪市に隣接している地の利から、大

阪の住宅文化都市としての機能を備え南大阪の商業や文化の中心的な市として、著しい発展を続けている。昭和61年には市政施行20周年を迎え“緑とゆとり、健康で人間性あふれるまち”を基本とした全市公園化構想を策定し、住みよい町づくりを推進している。そうした藤井寺市第二次総合計画の一環として、水道事業においても第一次配水管整備事業に取り組むなど、事業の推進に努めてきた。年年多様化していくニーズに対応するべく、集中管理システム等を導入するなど、事業の推進を図り安定供給に努めている。また、配水管整備事業では既設石綿セメント管(約23km)の更新を主とした整備事業を行っている。昭和63年度より老朽管の更新を主目的に、第一次配水管整備事業に着手した(昭和63年4月1日～平成5年3月31日)。

本施工報告は、呼び径300mm石綿セメント管

の送配水管を呼び径350mmダクタイトイル鉄管に布設替えを行ったときのものである。近年市街地における水道管布設工事は、地下埋設物の輻輳化、交通規制、工事公害（騒音、振動など）と制約されることが多く、開削工法による布設工事が次第に困難な状況となっている。本報告は、その対策として推進工法用T形ダクタイトイル鉄管による小口径推進工法を採用し呼び径350mm、工事延長 $L=461.4\text{m}$ を施工したので、この中の最大延長スパン $L=107.2\text{m}$ （発進立坑No.3～到達立坑No.4の間）の工事の概略について報告するものである。

写真1 三ツ塚古墳出土の修羅  
（大阪市教育委員会保管資料より）

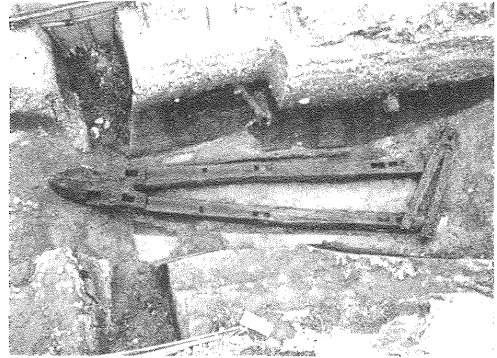
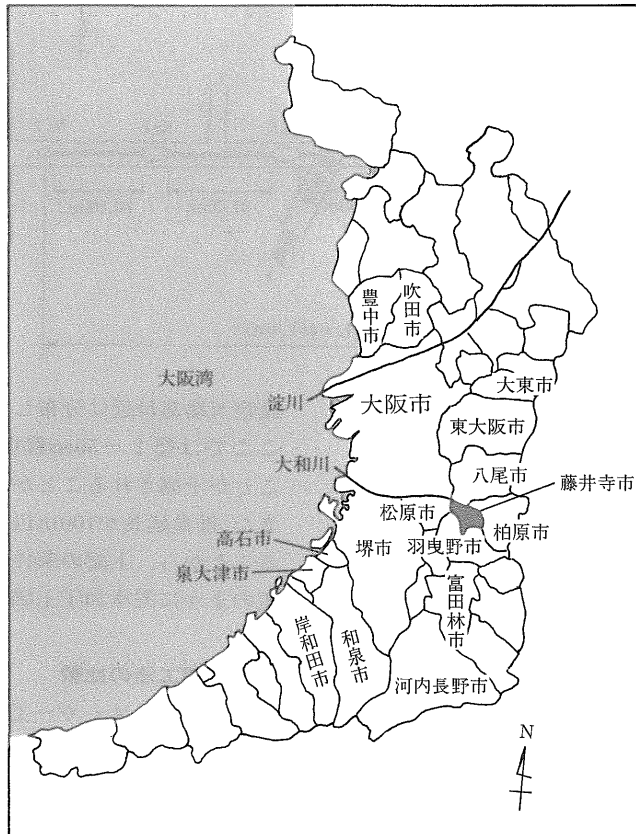


図1 位置図



## 2. 工事概略

工事名：第一次配水管整備事業 道明寺六丁目（第一工区）  
 工事場所：藤井寺市道明寺六丁目地内（市道道明寺仲哀御陵線）  
 工事期間：平成2年8月～平成2年11月

工事内容：推進延長 $L=461.4\text{m}$ （6区間に分割）土かぶり 2.3～4.5m  
 推進工法用T形ダクタイトイル鉄管（1種管）  
 呼び径350mm（外装外径450mm）  
 管外径374mm  $L=4.0\text{m}$

発進立坑 2.5m×7.210m 小判型 (ライナプレート)  
 到達立坑 2.0m×2.785m 小判型 (ライナプレート)

### 3. 使用管種について

本工事の場合は、ダクタイトイル鉄管により管路を構成しているので、推進部分もダクタイトイル鉄管によることを前提に管種を検討した結果、呼び径350mm、1種管のT形推進工法用ダ

クタイトイル鉄管を採用することとした。

T形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジを介して行う。推進完了後は可とう性の継手となり、不同沈下に順応する。水密性はT形と同じである。

呼び径：350mm  
 管種：1種管 (T=7.5mm)  
 管長：4m  
 許容抵抗力：250 tf

図2 立坑の位置  
 (発進No.1、3、5、6 到達No.2、4、7)

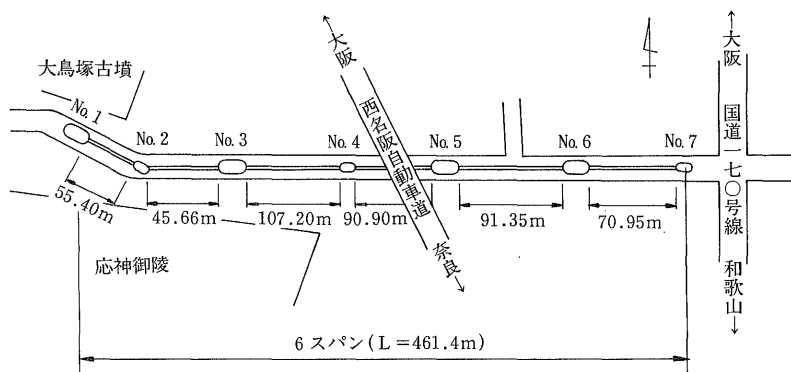
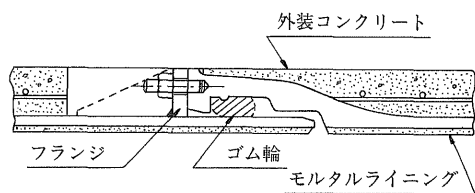


図3 T形推進工法用ダクタイトイル鉄管



### 4. 工法の検討について

小口径推進工法の選定にあたり、次のような検討を行った。

#### 1. 土質調査

施工箇所の地質は、上部にTg層(洪積砂れき層)、下部にOs層(大阪層群砂層)、Oc層(大阪層群粘性土)が互層をなしている所で、埋設深さにより多少の相違が見られるものの、切羽の地質は大部分がこのOs層、Oc層であり、非常に安定した地質である。しかし、Tg層が埋

設管天端部付近に分布している箇所もあり、ここでは径2~50mm程度のれきが混入することが予測されることかられき対策も要する。また、推進延長が100m以上の長距離区間もあることから、上記の条件を検討した結果、後述のように泥水加圧工法を採用することとした。

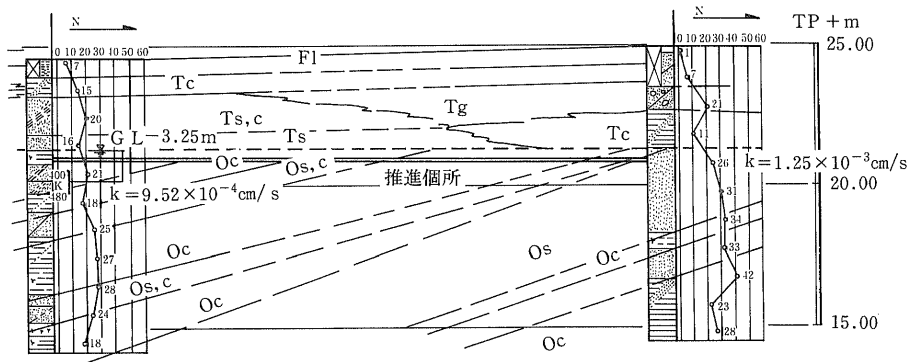
#### 2. 各種工法の比較

圧入工法、オーガー工法、水平ボーリング工法および泥水加圧工法のそれぞれについて表1のように比較、検討を行い、本工事には泥水加圧工法が適しているという結果を得た(表1)。

#### 3. 泥水加圧工法の比較

前項の検討で泥水加圧工法の選定をみたが、同工法にも種々な工法があるため、表2のように工法を2つに絞り検討を加えた結果、アンクルモール工法(偏圧破碎型環流式掘進工法)によることとした(表2)。

図4 地質図



凡例

地質系統	記号	土質名	N 値	記 事
人工地盤	F1	盛土、表土	1～8	道路用、宅地用、人工投入された土砂
上部洪積	Tc	粘性土	11～15	中段段丘堆積物相当量
	Ts,c	砂質土	20	
段丘層 (相当層)	Ts	砂	16～24	ほぼ水平分布 全体に強風化 粘土化進行している
	Ts,g	れき混り砂	12	
	Tg	砂	21	
洪積層 大阪層群	Oc	粘性土	16～28	粘性土、砂質土の互層状 北西へゆるやかに傾斜している
	Os,c	砂質土	20～28	
	Os	砂	31～38	
● 調査位置			k	現場透水試験

4. アンクルモール工法について

アンクルモール工法の機構と機能の概略を次に記す。

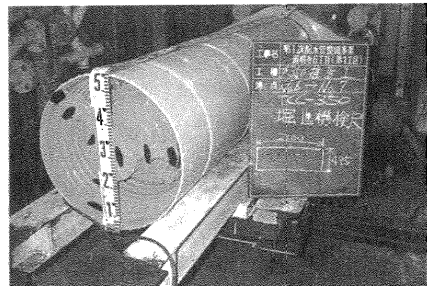
(1) 機構と工法

本システムは、シールド掘進機、元押装置、遠隔操作盤、流体輸送施設、泥水管理プラントからなっており、遠隔操作盤の所でワンマンコントロールする機構である。

(2) 掘削およびれき破碎

掘進機の先端にスポーク式カッターを備え、その直後にあるクラッシャーヘッドの偏心回転により切削とれき破碎を行う。今回N値が30以上の所で砂れき、土丹（よく締まった粘土）の土質状況から外周ビットの先端を外に出し、オーバーカットができる構造とした。

写真2 掘進機



(3) 切羽の保持

基本的には、切羽は元押推力により圧密され、主動土圧と受動土圧の範囲内で押し、地下水に対しては送泥水圧によりバランスをとって推進していく。

(4) 方向制御

操作は、機内の標示板に現れたレーザースポットと方向制御用のインジケータ

表1 各種工法の比較

項目	工法	圧入工法	オーガー工法	水平ボーリング工法	泥水加圧工法		
方式		1・2工程方式	1・2工程方式	1工程方式	1・2工程方式		
構造		掘削：圧密 排土：スクリュウコンベア 切羽の安定：圧密	掘削：カッターヘッド 排土：スクリュウコンベア 切羽の安定：補助工法 カッターヘッド	掘削：ケーシング回転 排土：注水自然流出 加圧水送り排土 切羽の安定：補助工法 カッターヘッド	掘削：カッタードラム回転 排土：流体輸送 切羽の安定：泥水圧 カッターヘッド		
概要		先導管の方向制御を行いながら仮管を貫通させ、仮管をガイドとして埋設管を推進する。	先導管としてオーガーヘッドおよびオーガースクリューを装着し、その回転によって掘進、排土を行いながら仮管、埋設管を推進する。	鋼管の先端に超硬ビットを装着した鋼管本体を回転させながら推進する方法。	先導管または誘導管の先端に泥水式先導体を設備し、カッターの回転により掘削する方式である。掘削した土砂は流体輸送により地上の泥水処理設備に送られる。		
特徴		2工程方式では高精度推進が可能である。特に軟弱地盤に適している。	比較的硬い地盤にも適した工法である。地下湧水の多い所では補助工法が必要となる。	鋼管を推進する工法であり、精度的には他工法に比べや、劣る。さや管、パイプルーフなどに採用されている。	滞水砂、砂れき層には最適な工法である。1スパン当たりの施工延長は長い。		
適応土質		粘性土 砂質土(N<10)	砂質および粘性土 れき径(φ30~φ50)	硬質土、岩盤	粘性土、砂、砂れき土 れき径<管径×40%		
適応呼び径および標準推進延長		φ250~φ700 L=40m~50m	φ250~φ700 L=40m~50m	φ350~φ1500 L=30m前後	φ250~ L=70m~80m		
修正方法		揺動ジャッキ ヘッドの回転	修正ジャッキ 先端斜切刃先をパワーレンチにより回転	偏芯方式	修正ジャッキ		
処理設備用地		不要である	不要である	不要である	必要である(50~100m <sup>2</sup> )		
工法の種類(代表的なもの)		・アイアンモール工法 ・アースアロー工法	・ホリゾンガー工法 ・オーケーモール工法 ・スモール工法 ・ホレット工法	・AH工法 ・SH工法	・アングルモール工法 ・スーパーミニ工法 ・テレマウス工法 ・PSD工法		
本工事に対する適応性	適応呼び径 推進工法用(T-D形) ダクトイル鉄管 φ350, L=4.0m	φ350ヒューム管用工法で対応可能 推進架台などの改良を要する。	○	仮管方式により施工可 ○	さや管方式または置換方式φ600 鋼管内の配管かφ450 鋼管との置換。 △	φ350 ヒューム管用掘進機で対応可能、推進架台などの改良を要する。 ○	
	砂れき層(Tg) れき径 5mm~50mm N=20~35	不可能 ×	×	れき径に対応可能な機種もある ○	可能 ○	可能 ○	
	砂質層(Os) N=20~30	不可能 ×	×	可能 ○	可能 ○	可能 ○	
	粘性土層(Oc) N=9~24	N値より不可能 ×	×	可能 ○	可能 ○	可能 ○	
施工延長107.2m (最長スパン)	不可能 ×	×	仮管式でも不可能 ×	不可能 ×	可能 ×	可能 ○	
評価		地質、推進延長に対応できない。 ×	×	仮管方式でも施工延長には対応不可能。 ×	延長から不可能。 ×	×	地質、推進延長に対応は可能。ダクトイル鉄管にも対応しやすい。 ○



表2 泥水加圧工法の比較(呼び径350mm、HP管とする)

事項	工法	アンクルモール工法	スーパーミニ工法
	方式	1工程方式	2工程方式
特徴		偏圧破碎型クラッシャーを内蔵した掘進機によりれきを破碎しながら推進する工法。	れきを破碎するためカッターーツスおよび破碎ブレードを内蔵した掘進機によりれきを破碎しながら推進する方法。 仮管推進のため長距離推進が可能。
施工呼び径		施工可能	施工可能
推進元押装置		3段モールマイスター	ダブルミニプレッシャー
れき破碎径		φ145 (許容個数 13個/m³)	φ120 (含有率容積 3%以内)
立坑の形状 (ライナプレートの場合)		発進立坑 2.5×7.21m 到達立坑 3.5m (円形)	発進立坑 2.0×2,785m 到達立坑 3.0m (円形)
日進量		7.3m (シルト、粘土を含む砂質土、N値15~30)	5.1m (N値50以下の粘性土、砂質土) 仮管 8.3m/日 HP 13.6m/日
総合比較		スーパーミニ工法は2工程方式であるため、長延長の推進が可能であるが、1工程方式に比べ日進量が少なく工費が高価となる。本工事の場合推進距離が長いスパンで約100m程度であることから1工程方式で十分施工は可能である。2工程方式を採用するメリットは少ない。したがって1工程方式であるアンクルモール工法の採用が妥当である。また、れきにも十分対応は可能である。	
評価		○	△

一、方向制御ジャッキ圧などの遠隔操作盤上に表示されるデータに基づき、機内の2組の方向制御ジャッキにより上下、左右方向に方向修正する。

本工事では、推進工法用ダクタイトル鉄管(L=4.0m)を使用するため、方向制御を容易にする目的で掘進機とダクタイトル鉄管との間にダミー管(L=2.0m)を使用した。

(5) 泥水管理

切羽の安定と掘削土の流体移動のため、通常、比重1.1~1.2の泥水を使用する。本工事では砂れきおよび土丹などの互層地盤であったため、特に泥水濃度の調整、送泥水圧の調整に十分な注意を払う必要があった。

なお、アンクルモール工法により、T形推進工法用ダクタイトル鉄管を推進する場合、次の対

策が必要となる。その点について以下に検討を行った。

写真3 ダミー管

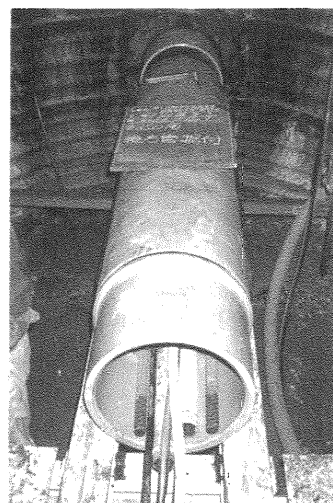
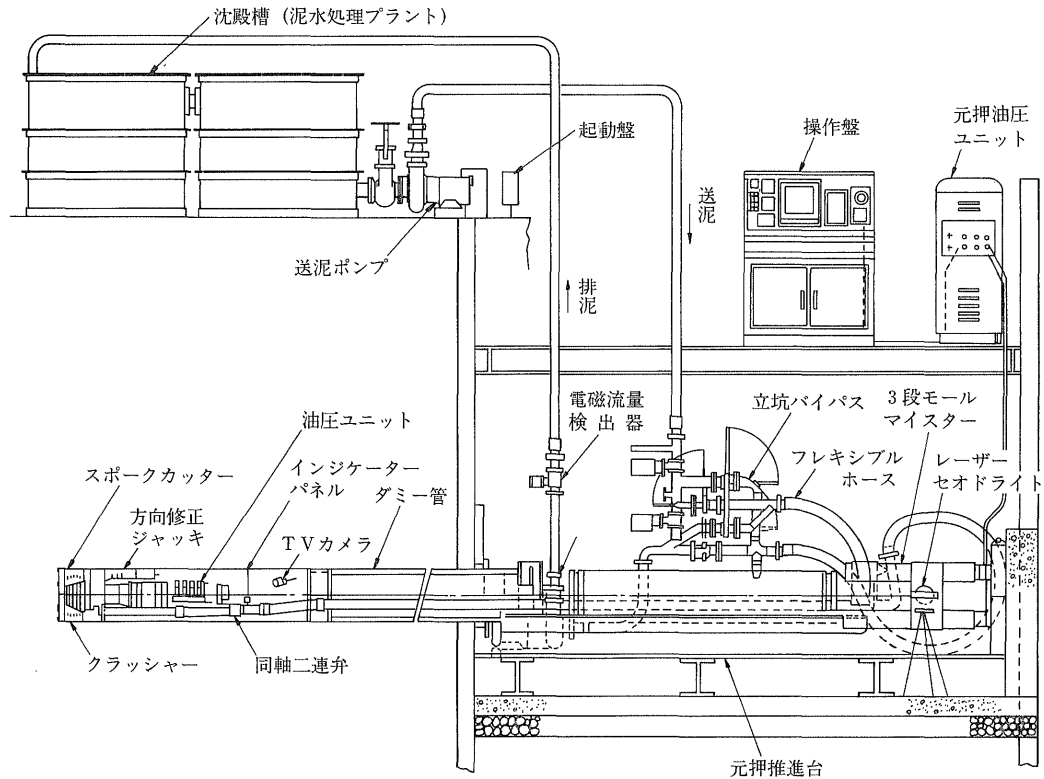


図5 アンクルモール工法系統図



仕様諸元表

クラッシャーヘッド関係		れき破碎関係		方向修正関係				
クラッシャートルク (kgf-m)	840	50Hz	破碎方式 偏心回転数 (r.p.m)	コーン式				
	700	60Hz		86	50Hz	ジャッキ推力数	11.6×2	
回転数 (r.p.m)	3.6	50Hz	最大処理粒径(mm)	103	60Hz	シールド修	上下	1
	4.3	60Hz		10~20	正角(度)	左右	1.8	
ビット	特殊型	最大処理粒径(mm)	φ180	油圧ユニット	動力	0.4kW×4P×1台		
動力	3.7kW×6P×1台	れき許容一軸圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	2,000		ポンプ	ギヤタイプ 140kgf/cm <sup>2</sup>		

## (1) 埋設管の管長の差異に対する対策

アンクルモール工法の場合、推進装置がHP管を対象としているため、管長の差約1.6mを余分に推進する必要がある。その対策としてL=2.0mのスペーサーを製作し使用する。

## (2) ダクタイル鉄管の内面の損傷について

アンクルモール工法の場合、管内に配管した送排泥管(50mm)の撤去を要する。撤去の際は発進立坑から引き抜きを行うが、引き抜きの際ダクタイル鉄管の内面の損傷をできるだけ防止するため慎重に行う。

必要がある。

(3) 管外径差約20mmについて

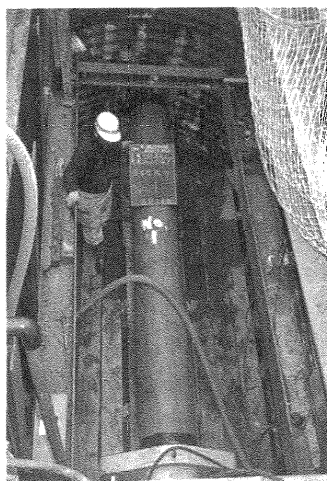
T形推進工法用ダクタイル鉄管の外径はHP管と比べ20mm小さい。その隙間としては僅かであるが、周辺地山の緩みを防止するため滑材注入を行う。

## 5. 施工

### 1. 施工状況

当初の地質調査で、施工箇所的大部分が安定した粘土質砂層と想定されたので、泥水濃度を下げて推進したが、予想以上に粘土化しており、発進後30m付近では余剰泥水処理が10m/回と多くなってきたため、泥水濃度調整用に塩化ビニル管による給水装置および余剰配水設備（ノッチタンク）を設けた。この結果、土丹部においては若干の効果を示した。また、砂層、砂れき層においては、本来の機能を十分発揮し延長107.2mを無事推進することができた。

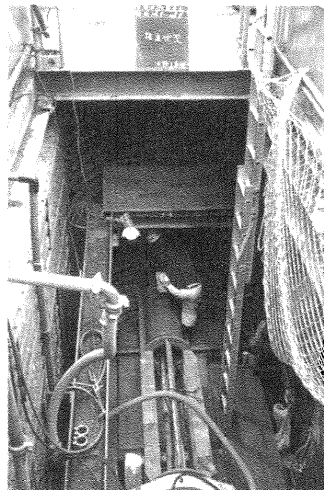
写真4 推進状況



### 2. 施工結果

施工精度は、常に視準できる範囲内±50mm以内で高精度で推進できた。工事完了後に水圧テストを行った結果、異常は認められなかった。なお、道路の表面観測の結果、路面沈下は認められなかった。また、ダクタイル鉄管の継手部の接合は、その都度薄板ゲージを

写真5 推進状況



用いてゴム輪が正しい位置にあることを確認した。

図6 ゴム輪の確認

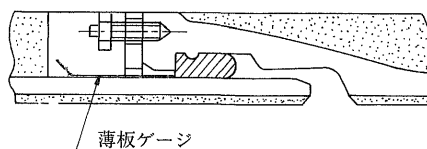


写真6 継手部チェック



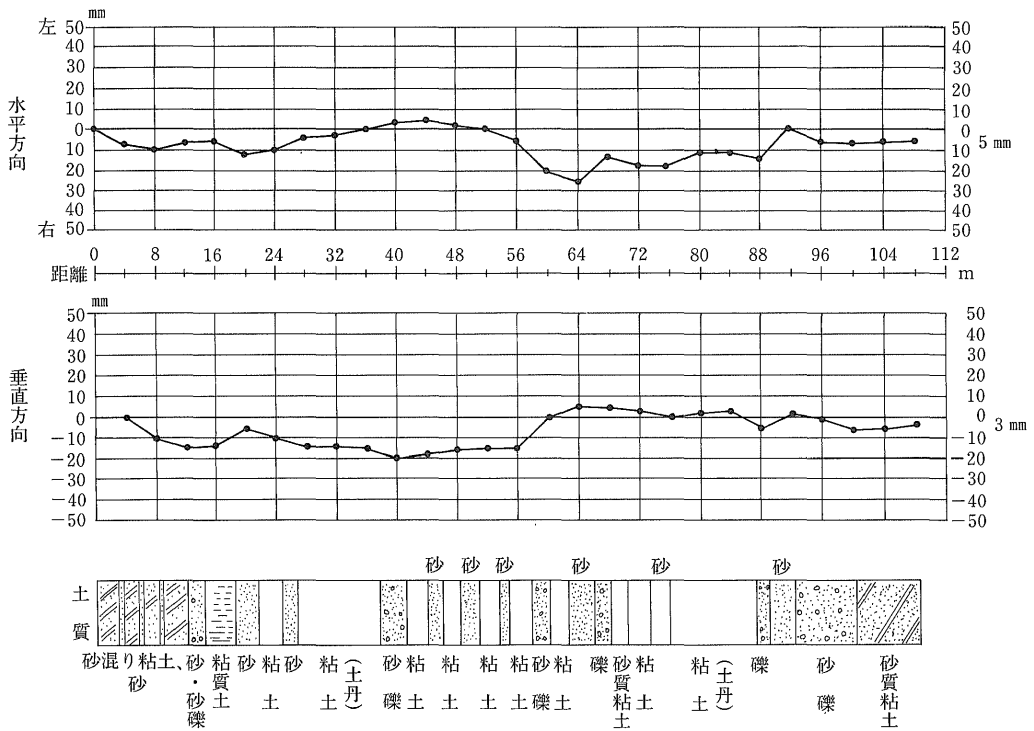
表3 施工結果

変位量(mm)		到達変位量(mm)		推力(tf)		平均日進量(m)
水平MAX	鉛直MAX	水平	鉛直	平均推力	最大推力	
25	20	5	3	16.8	36.0	9.74

## 6. 考察

砂層および砂れき層においては、機種本来の機能を発揮して安定した推進ができたが、粘性土においては泥水処理の問題などで推進

図7 No.3~No.4間施工データ



速度が極端に落ちたこと、また、さらに長距離の推進を行うためには、排泥水をいかに回収するかなどに問題を残した。これらの解決が今後の課題と思われた。

### 7. おわりに

交通における制約および経済性から、立坑を築造する数はできるだけ少ない方がよいが比較的浅い地盤において推進工事を施工する

には、多種の地質が互層構造を形成している場合が多いため、長距離の推進工事を行うためには、地質の調査と使用機種が重要なポイントと思われる。

最後になったが、本工事の施工にあたり、ご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げますとともに、本報告が同様な工法を計画されている事業担当者にいささかでもご参考になれば望外の喜びである。

## 技術レポート

7

# ダクタイル鉄管を用いた 既設管破碎工法による 呼び径150mm管路の更新工事について

久居市水道課

課長 行方勝治

主査 波多野隆生

技師 笠井広己

## 1. はじめに

久居市（ひさいし）は三重県のほぼ中央部に位置し、東西に20.8km、南北に5.5km、総面積68.59km<sup>2</sup>、人口約3万9,000人で東西に細長く、比較的平坦な丘陵地からなっており、農業および商業の中心として発達してきた。（久居の由来は、江戸時代に永久に鎮居する町として名付けられた由）。

北に県庁所在地の津市と接していることや、清浄な空気となだらかな丘陵に恵まれた地勢的環境、さらには近鉄名古屋線、伊勢自動車道、国道165号線が市内を走っていることから住宅団地の建設および工業団地の造成など社会的開発が進み、三重県の中核都市として急速に発展しつつある所である。

また、当市の西部はその昔、七栗郡と呼ばれ、平安の世に清少納言が「枕草子」の中で

「七栗の湯」として謳われた日本三大名泉のひとつ榊原温泉が布引連峰、青山高原の麓にいだかれ、地元はもとより関西地方をはじめ全国各地からの観光客で賑わっている。

当市の水道事業は、当時の久居町が昭和27年に津市より浄水の分水を受け、その後、市

写真1 湯元跡



写真2 榊原温泉



街地の中心へ水道を布設、昭和30年より給水人口1万2,000人、5,000 $\text{m}^3$ /日で給水を開始した。その後、昭和35年度より給水区域の拡張、給水人口、給水量の増加に対し幾多の拡張を重ね、現在は第5次拡張事業に至っている。

創設から今日に至るまで「清浄」、「豊富」、「低廉」を理念として、「安全で安心して利用できる水道づくり」に努力を重ね、現在では水道普及率が97%とほぼ全域に及び、拡張中心から維持管理の時代を迎えようとしている。

水源については現在、津市からの5,000 $\text{m}^3$ /日と県企業庁の中勢水道用事業からの1万6,000 $\text{m}^3$ /日を合わせて2万1,000 $\text{m}^3$ /日の給水能力を持った上水道で市内を網羅している。それに東部に40 $\text{m}^3$ /日、給水人口200人の小規模な木造(きづくり)簡易水道と西部に1,590 $\text{m}^3$ /日給水人口2,650人の榊原簡易水道がある。

今回の配水管布設替推進工事は、榊原簡易水道の配水管の一部を更新したものである。榊原簡易水道は、昭和37年より590.8 $\text{m}^3$ /日の給水を開始し、その後昭和47年度、昭和48年度の増補改良で1,590 $\text{m}^3$ /日として現在に至っている。

本市の水道の今後は、市第3次総合計画に基づき、市全体の将来展望に合わせ、水は限られた資源であることから水の有効利用を促進し、節水型都市づくりも考慮した水需要予測に基づき現状の水道施設を最大限に活用しつつ、必要不可欠である老朽配水管の更生、布設替えその他の水道施設の改良工事を新しい技術の導入も考慮しながら計画的、効率的

に実施しようとするものである。

次に本工事の状況を報告し参考に供したい。

図1 位置図



## 2. 既設管破碎推進工法の選定について

道路幅員の狭い県道下に埋設されている呼び径150mm石綿セメント管をダクタイル鉄管に更新するにあたり、交通への影響が少ない工法を調査した結果、ダクタイル鉄管による既設管破碎推進工法が適していることがわかり、以下のような理由でP・T・P工法を試用した。

- ・管が埋設されている県道は幅員が狭く(道路幅3.8~5.0m)、送迎用のマイクロバス(温泉利用客)、路線バスなどの大型車輛が通っており、昼間の通行止めができないため、開削工法を採るとすれば夜間工事となる。
- ・既設管の周辺に他企業の埋設物がない。
- ・夜間の開削工事と比較して約10%の工事費の削減が図れる。
- ・また、工期も同様に20%短縮される。
- ・同一口径に布設替えすることにより水量を確保できる。
- ・工事に伴う騒音、振動が少ないと考えられた。

## 3. P・T・P工法の概要について

### 1. P・T・P工法について

P・T・P工法は、発進立坑より推進ジャッキにより既設管路部に新管(P T形またはは

U T形ダクタイル鉄管)を推進(圧入)する非開削管路更新工法である。図2にその概要を示す。

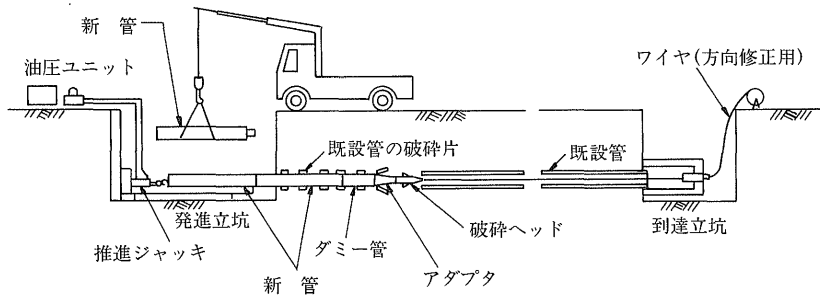
・対象管種(既設管)

鑄鉄管、塩化ビニル管、その他不とう性管。

対象呼び径

φ75～φ350

図2 P・T・P工法の概要図



2. 先導部について

先導部は破碎ヘッド・アダプタおよび伸縮ダミー管から構成されており(図3)、その機能は次のようなものである。

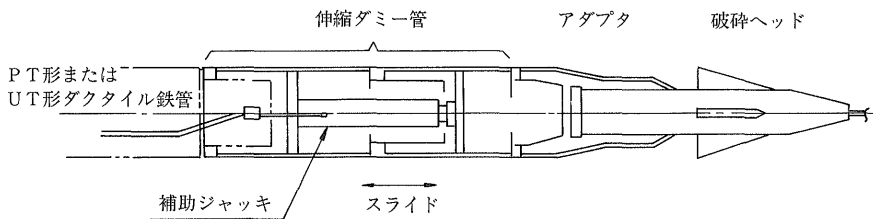
破碎ヘッド：既設管(直管部、継手部)の破碎。

アダプタ：破碎された既設管の拡径。

伸縮ダミー管：①推進方向の安定性を図る。

②内蔵された補助ジャッキは元押しジャッキの推力低減を図る。(破碎ヘッド、アダプタの推力を受け持つ)。

図3 先導部の各パーツ



3. P・T・P工法用ダクタイル鉄管の継手構造

P・T・P工法用ダクタイル鉄管にはPT形とUT形があり、その構造を図4、図5に示す。

1. PT形ダクタイル鉄管

通常の場合に使用される。

2. UT形ダクタイル鉄管

既設管周辺の埋設物への影響を最小限にすることができる。

図4 PT形ダクタイル鉄管

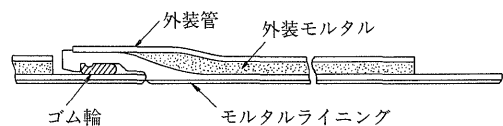
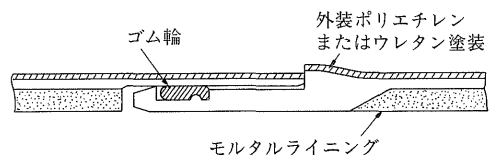


図5 UT形ダクタイル鉄管



#### 4. P・T・P工法用ダクタイル鉄管の特徴

- ・継手の構造はT形管と同様であり、水密性能が高く、接合時間も短く、P・T・P工法用として開発された管であるため、施工性がよい。
- ・継手部に可とう性があるので、既設管の曲がりにも順応することが可能である。
- ・継手部は伸縮性、可とう性を備えており、将来の地盤変動に対しても優れた性能を期待できる。
- ・同一口径にて布設することで水量の確保ができる。
- ・ダクタイル鉄管であるので維持管理が容易である。
- ・推力に耐える。
- ・分岐ができる。
- ・管体の外径が他のダクタイル鉄管と同じである。

#### 4. 事前の検討について

P・T・P工法の採用に当たって、事前に以下のようなことを検討した。

##### 1. 既設配管図に基づく検討

既設配管図をもとに現地を踏査し、曲管の位置、分岐の位置、立坑の位置、他企業埋設物などの確認を行った。

その結果

曲管：2カ所（いずれも $11\frac{1}{4}^\circ$ ）

分岐：5カ所

他企業の埋設物はなし

が確認され、本工事は立坑6カ所（発進立坑3カ所、到達立坑3カ所の5スパン）で施工可能と判断した。

##### 2. 所要推力および周辺埋設物への影響範囲についての検討

所要推力および周辺埋設物への影響範囲についての数値検討を以下のように行った。

###### 1. 所要推力について

###### ● 推力計算式

$$F = F_0 + F_1$$

ここに、F：総推力 (tf)

$F_0$ ：貫入抵抗力 (tf)

$$F_0 = P$$

P：既設管破砕力 (tf)

$F_1$ ：管周面摩擦抵抗力 (tf)

$$F_1 = R \cdot S \cdot L$$

R：管外面抵抗力 (tf)

S：管外周長 (m)

$$S = \pi \cdot D$$

D：管外径 (m)

L：推進長 (m)

表1 既設管破砕力

単位 tf

既設管種類	石綿管 直管部	石綿管の継手部	
		石綿カラー	铸铁継手
P	6～7	10～20	15～25

表2 管外面抵抗力

単位 tf/m<sup>2</sup>

土質	粘土、シルト	砂質土
R	0.4～0.7	2～3

###### ● 数値計算

No.4立坑→No.3立坑（推進長 L=90m）

$$F = F_0 + F_1$$

F：総推力

$F_0$ ：貫入抵抗力 20tf（石綿カラー）

$F_1$ ：管周面摩擦抵抗力

$$F_1 = R \cdot S \cdot L$$

$$R = 0.7 \text{ (シルト)}$$

$$S = 0.732 \text{ m (管外周長)}$$

$$L = 90 \text{ m (推進長)}$$

$$F_1 = 0.7 \times 0.732 \times 90$$

$$= 46.1 \text{ tf}$$

$$F = F_0 + F_1$$

$$20 + 46.1$$

$$= 66.1 \text{ tf} < \text{許容抵抗力 } 70 \text{ tf (呼び径 } 150 \text{ mm, 1種管)} >$$

###### 2. 周辺埋設物への影響範囲について

既設配管図および現場踏査による調査で、既設管の周辺に他企業の埋設物がないことを確認したが、念のため影響範囲について以下のような実験結果に基づき数値計算を行った。

###### ● 影響範囲の考え方

既設管破砕後へ新設管を推進すると、図6に示すような周辺地盤に圧密が生じる。このときの圧密量は、次式で計算される。



$$\text{圧密度} = \frac{D_6 \text{ (新設管最大外径)} - D_0 \text{ (既設管内径)}}{2}$$

実験では、圧密度と周辺地盤の移動量（影響量）とは比例的な関係があり、また、圧密度が同じでも土質によって差があることがわかっており、周辺地盤が平

均に5mm以上動く所までを影響範囲としたとき、圧密度との関係を示すと図6のようになる。

● 数値計算

$$\text{圧密度} = \frac{D_6 - D_0}{2}$$

$D_6$  : 233mm (新設管最大外径)

$D_0$  : 150mm (既設管内径)

$$\text{圧密度} = \frac{233 - 150}{2}$$

$$= 41.5\text{mm}$$

よって、影響範囲は図6から約45cmと考えられる。

以上の数値検討の結果より、使用管種は1種管（許容抵抗力70tf）とし、継手形式はPT形とした。

3. 立坑位置の検討

前述の検討結果をもとに曲管の位置、分岐の位置、管の許容抵抗力などを勘案の上、図7のように立坑の位置を決定した。

図6 土質別影響範囲

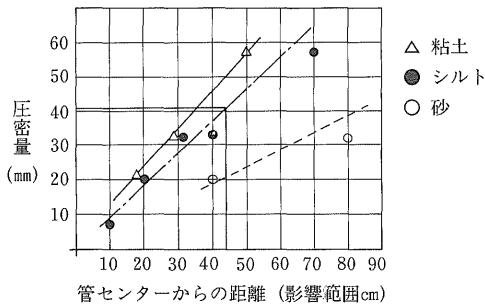
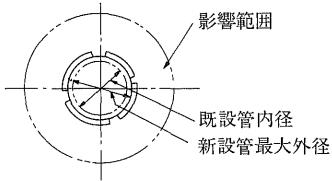
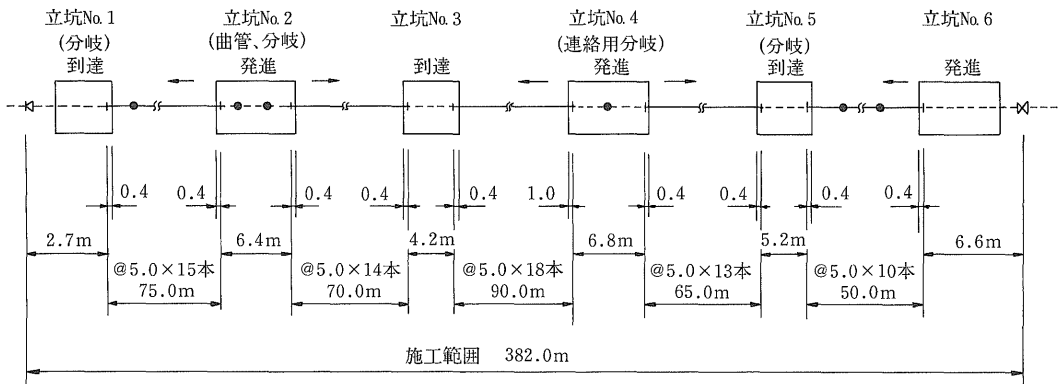


図7 立坑位置



5. 工事概要

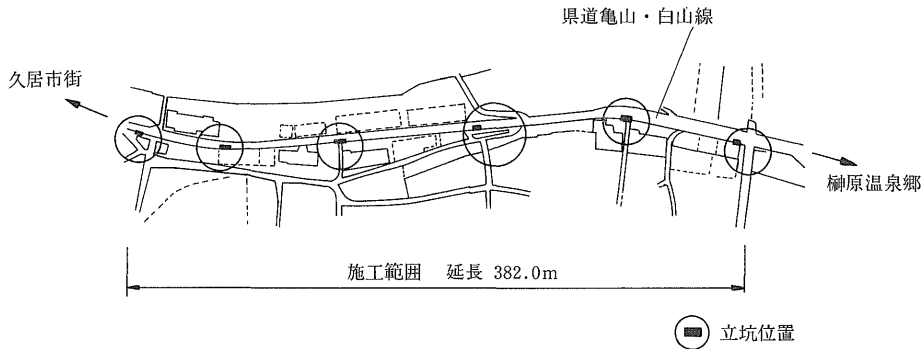
工事名：配水管布設替推進工事  
 工事場所：久居市榊原町字垣内地内  
 工期：自 平成3年6月29日  
 至 平成3年11月15日

使用管種：推進部呼び径150mm PT形ダクタイル鉄管 1種管 5m管  
 開削部呼び径150mm A形ダクタイル鉄管 3種管

施工延長：P・T・P工法 350m(5スパン)  
 立坑内 32m  
 仮配水管延長：150mm塩化ビニル管 400m

立坑数：発進立坑 3ヵ所  
 到達立坑 3ヵ所  
 給水管分岐：サドル分岐  $\phi 25$  1ヵ所  
 $\phi 13$  4ヵ所

図8 施工場所



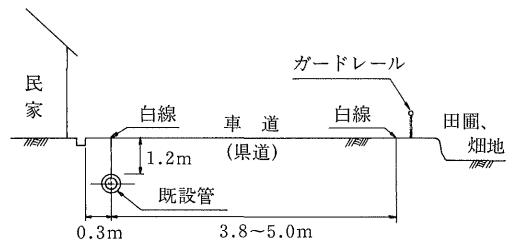
6. 施工

1. 既設管の布設状況

既設管の布設状況は次の通りである。

- 管種：石綿管(ACP) 1種管
- 呼び径：150mm
- 埋設年度：昭和36年度
- 継手の種類：石綿カラー継手
- 水圧：3.5kgf/cm<sup>2</sup>
- 土かぶり：1.2m
- 分水栓の種類：FC製サドル分水栓
- 既設管の位置：図9の通り

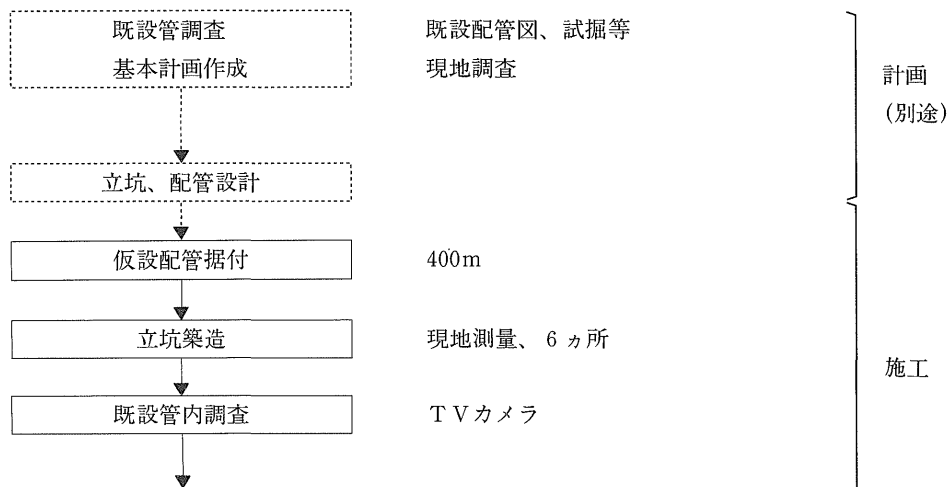
図9 既設管位置図

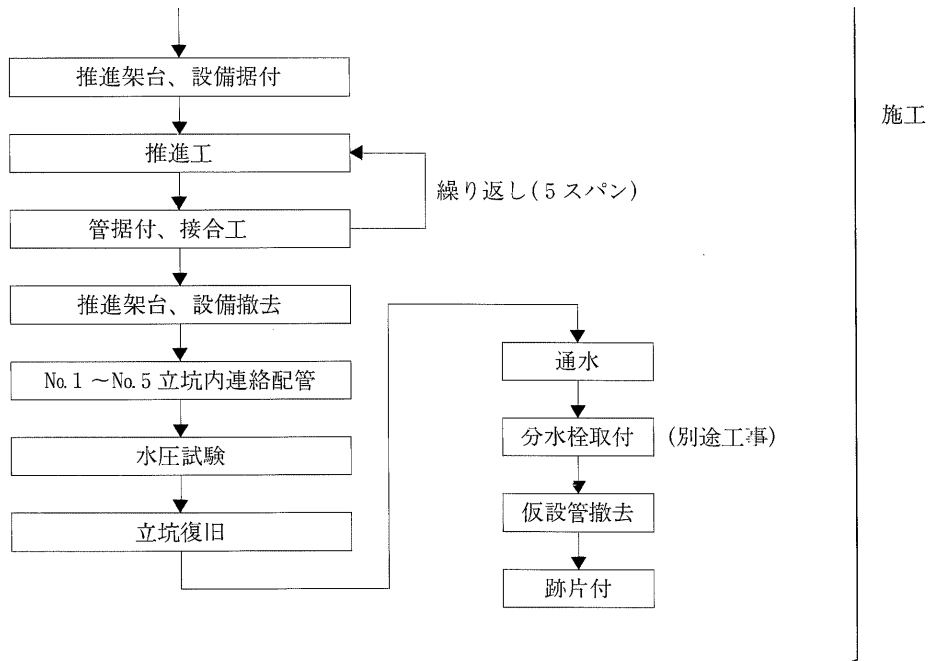


2. 施工手順

施工は次のような手順で実施した。

図10 施工フローシート





### 3. 仮設配管据え付け

呼び径150mm塩化ビニル管を用い露出配管とし、分岐の5ヵ所は分岐サドルとポリエチレン管で行った。

2 m)があればよいのであるが、分岐箇所となる所(1ヵ所)は、作業性を考慮して大きくした。

写真3 側溝内の仮設配管

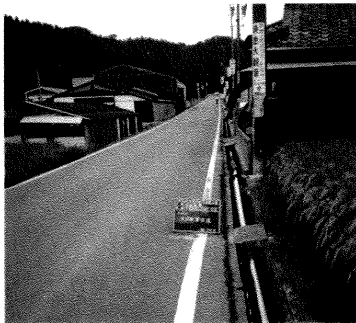
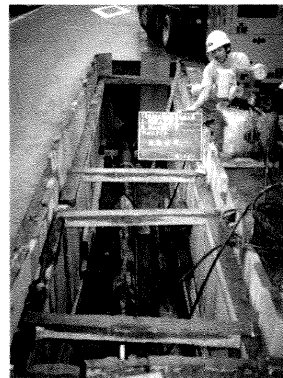


写真4 発進立坑



### 4. 立坑築造

#### 1. 発進立坑 3ヵ所(No. 2、No. 4、No. 6 立坑)

発進立坑の形状、寸法はP T形直管(L=5 m)と推進架台の寸法、推力反力板ならびに既設管の深さなどにより決定した。

No. 2、No. 4 立坑は両発進となる立坑で、No. 6 立坑は片側のみ発進である。片側のみ発進のときは図11の片側の反力板がない状態である。

#### 2. 到達立坑 3ヵ所(No. 1、No. 3、No. 5 立坑)

到達立坑は連絡配管が可能なスペース(約

写真5 到達立坑



図11 発進立坑

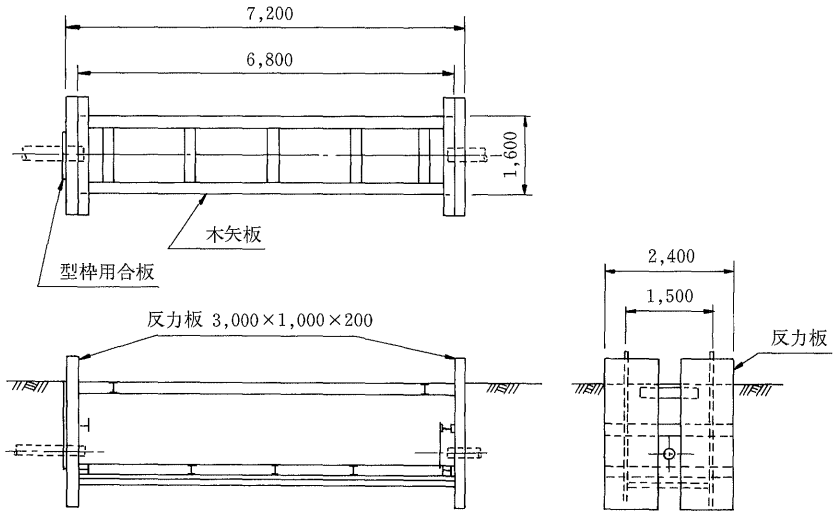
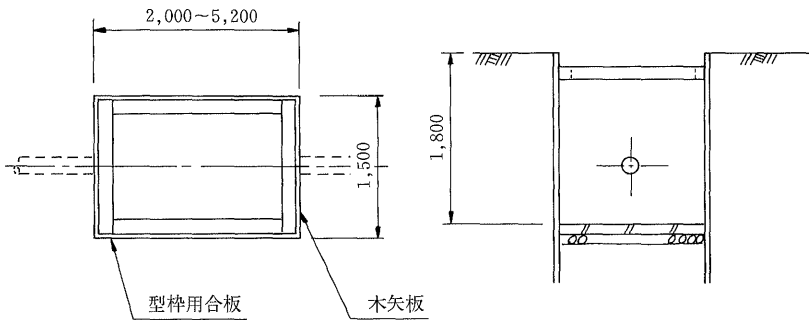


図12 到達立坑



5. 既設管内調査

TVカメラにより管内の状況を調査した。  
調査手順は、通線後、ロープによりTVカメラを移動し、既設管内を調査した。

その結果から、予定外の曲管などはなく、作業に支障を来すような異常は認められなかった。

図13 管内調査略図

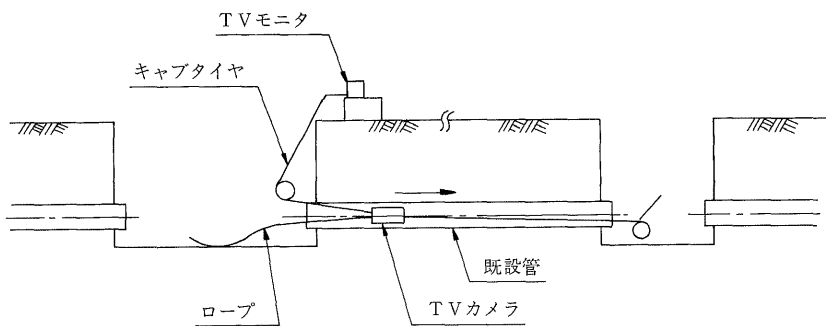


図14 発進立坑設備

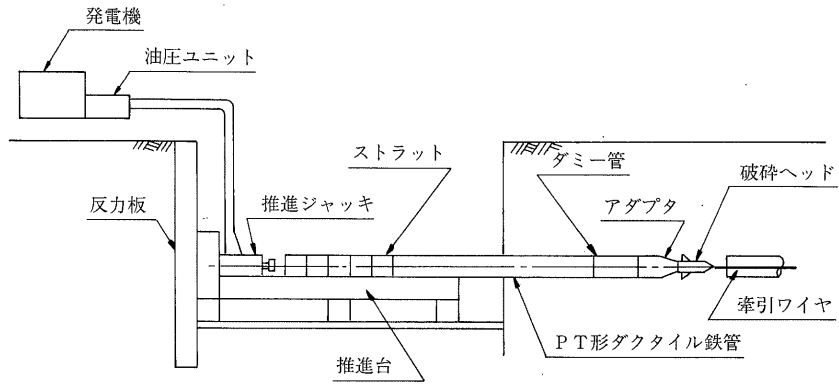
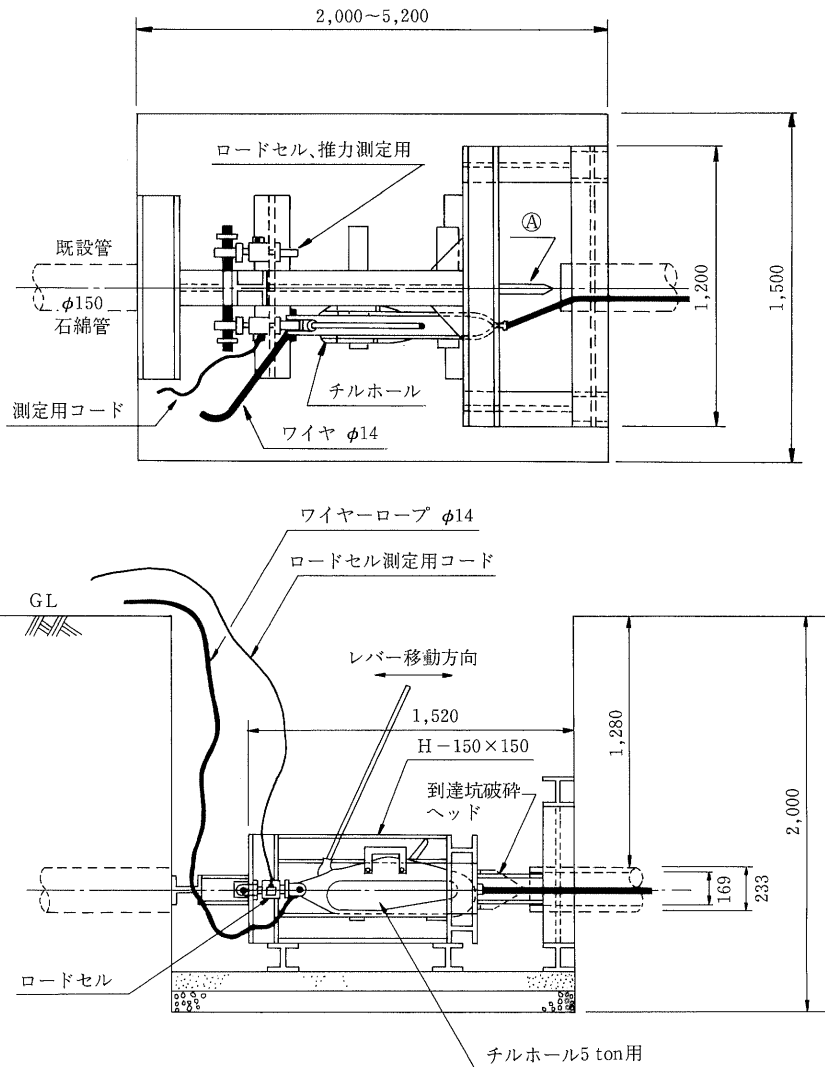


図15 到達立坑設備



## 6. 推進架台、設備据付

### 1. 発進立坑内

発進立坑の設備配置および装置は以下の通りとした(図14)。

### 2. 到達立坑側

破碎ヘッドをワイヤおよびロープで索引する索引装置を設置した(図15)。

写真6 推進設備



## 7. 管据付・接合工

呼び径150mmPT形管の寸法は表3に示す通りである。

PT形ダクタイトイル鉄管を推進架台に置き、推進用ジャッキにて接続する。このとき継手挿入は途中で一度停止して、ゴム輪の位置が

正規の場所にあるか確認したあと、最終位置まで挿入する。

図16 PT形ダクタイトイル鉄管

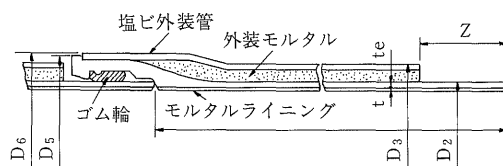
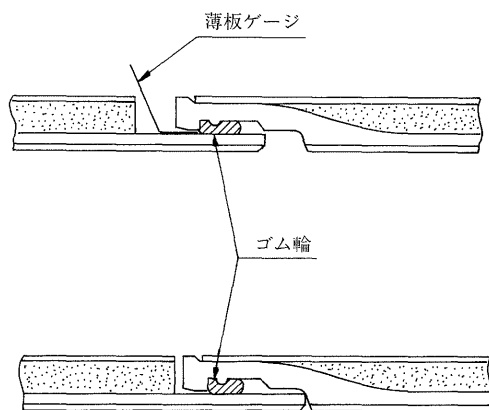


図17 ゴム輪の確認

- ① 途中で停止して、ゴム輪の位置を確認する



- ② 最終位置まで挿入する。

表3 主要寸法

単位 mm

呼び径	管厚 1種	ライニング厚 t	外装管厚 te	各部寸法					有効長 L
				D <sub>2</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>9</sub>	Z	
150	7.5	4.0	6.5	169	220	233	216	100	5,000

## 7. 施工結果

### 1. 全体工程

全体工程は表4に示す通りで、当初計画日数より早く完了した。

なお、路面、側溝への影響はなかった。

### 2. 各施工区間ごとのP・T・P推進施工日数

各施工区間ごとのP・T・P推進施工日数を表5に示す。(施工はいずれも昼間作業である)

### 3. 推力の実績

各施工区間ごとの推力は表6の通りであった。

推進は元押しジャッキのみ(100tf、500mmストローク)で行い、表6に示すように設計推力に対して実際の推力は小さい値となった。この推力は許容抵抗力(70tf1種管)より小さく、本工事では伸縮ダミー管内の補助ジャッキは使用しなかった。1m当たりの推力は0.25~0.82tf/mとなった。

※印の0.82tf/mは、既設管にサドル分岐(鑄鉄製)があったため推力が高くなったと思われる。

### 4. 推進サイクルタイム

PT形ダクタイトイル鉄管1本当たりのサイクルタイムは次の通りであった。なお、管長は

表4 配水管布設替推進工事工程表

工事番号	
------	--

施主

平成 年 月 日

担当				
----	--	--	--	--

施工場所 久居市榑原町字垣内地内

工期 着工 平成3年6月29日  
完成 平成3年11月15日

工種	月日	7月					8月					9月					10月					11月																
	6月29	05	10	15	20	25	31	05	10	15	20	25	31	05	10	15	20	25	30	05	10	15	20	25	30	05	10	15										
準備および推進管製作		—————																																				
試験掘および仮配管																																						
推進立坑築造																																						
既設管内調査																																						
推進工																																						
立坑連絡配管																																						
立坑埋戻工																																						
給配水管工事																																						
仮設配管撤去																																						
片付工																																						

表5 施工区間ごとの推進施工日数

施工区間	推進延長 (m)	推進日数 (日)	日進量 (m/日)
立坑No.2→No.1	70	2.0	35.0
立坑No.2→No.3	70	2.0	35.0
立坑No.4→No.3	90	2.5	35.6
立坑No.4→No.5	64	2.0	32.0
立坑No.6→No.5	49	1.5	32.6

表6 施工区間ごとの推力表

施工区間	推進距離 (m)	最大推力 (tf)	設計推力 (tf)	m当りの推力 (tf/m)
立坑No.2→1	70	33	55	0.47
立坑No.2→3	70	33	55	0.47
立坑No.4→3	90	22	66	0.25
立坑No.4→5	64	22	48	0.34
立坑No.6→5	49	40	37	*0.82
平均	68.4	30	52.2	0.44

L = 5 mで、管は発進立坑の横に小運搬されていた。

管1本ごとの推進作業フローシートを図18に示す。

推力が計画より下回る状態であったので、補助ジャッキは使用せずに施工できた。

サイクルタイムを図19に示す。

5. 立坑内連絡配管

P・T・P推進後、立坑内をA形管を用いて連絡配管を行った。連絡配管の中の空気弁仕切弁も同時に据え付けを行った。工程的には立坑No.2～No.5は両側のP・T・P推進が完了した時点で順次連絡配管、埋め戻しを行い、交通への影響を極力少なくするようにした。

立坑No.1、No.6では水圧試験を実施し、立

会検査合格後洗管を行い、連絡配管、埋め戻しを行った。

6. 分水栓取付工

仮設管は給水したままの状態でも本管を通水して、分水栓を取り付けた。施工手順を図20に示す。

1カ所当たりの作業時間を表7に示す。

図18 管1本ごとの推進作業フローシート

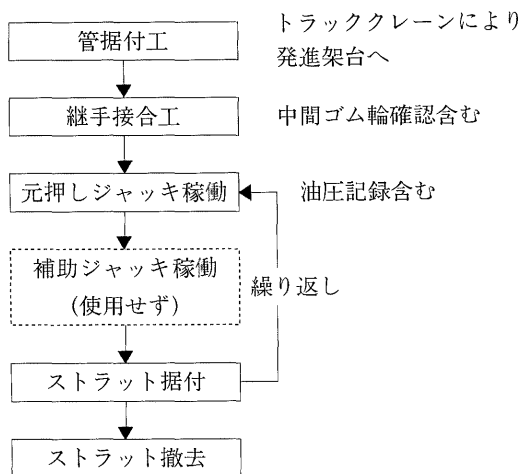


図19 管1本ごとのサイクルタイム

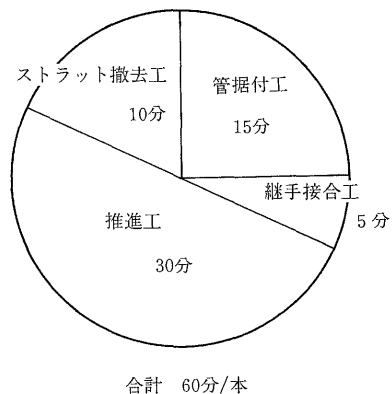


図20 分水栓取付工フローシート

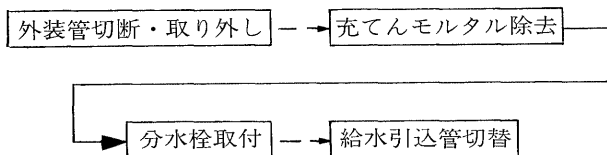




表7 分水栓取付工の作業時間

作業項目	所要時間 (分)	所要時間累計 (分)	使用工具他
外装管切断・取外	3		ベビーグラインダー
充てんモルタル除去	10	13	ハンマー、ヘラ
管外面塗装	1	14	補修用塗料
分水栓取付工	20	34	穿孔含む
計		34	

## 7. 水圧試験

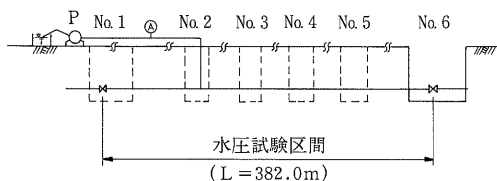
水圧試験は管路試験とし、施工区間全体を一度に行った。

①水 圧： $P = 6.5 \text{ kgf/cm}^2$

②保持時間： $T = 24 \text{ 時間}$

管路には漏水など異常はまったくなかった。

図21 水圧試験概要



## 8. おわりに

ダクタイル鉄管を用いた既設管破砕推進工法という、本市にとって初めての新工法の採

用であり、当初不測の事態を種々危惧したがなんらトラブルもなく無事工期内に工事が完了することができたことは、関係各位のご協力の賜物と深く感謝するものである。昼間開削工事による交通への影響、また、夜間工事による騒音公害、工事費のアップなどの難問題をP・T・P工法により一挙に解決が図れたこと、さらには同工法が特に高度な特殊作業を必要としないことなど、今後の本市の管路更新に同工法あるいは同様なP・A・P工法を十分に活用させていただく所存である。

近年、既設管の更新が埋設環境、交通事情の両面から制約を受けて、施工がますます困難になってきているのは、本市にとどまらず全国的な傾向である昨今、P・T・P工法あるいはP・A・P工法を用いたダクタイル鉄管による既設管の更新工法は注目に値するものといえる。

これからも、本市のような小規模の事業者においても新技術の研鑽に努め、常に新しい技術の吸収を図らなければならないと痛感した次第である。

最後に、本稿が同様な工事を計画されている事業担当者に対して、いささかなりともご参考になれば幸いである。