

垂直管渠（ドロップシャフト） 実用化研究

1. はじめに

長野県千曲川流域下水道の千曲川幹線は、千曲川の河床を自然流下で横断するため土被りが15～19mと深く、関連公共下水道管渠との接続において10m以上の高落差を有するマンホールが多数計画されている。このような高落差を有するマンホールは全国的に多数設置されているにもかかわらず、水理特性や理論に裏打ちされた設計手法が確立されておらず、構造面や維持管理面において多くの問題を抱えている。

本実用化研究は、このような問題を解決すべく本機構と長野県が共同で、高落差を有する従来の副管付マンホールの構造改善および維持管理の作業環境の改善を目指し、下水の全量を垂直に流下させる垂直管渠（ドロップシャフト）の技術開発を行うとともに、その設計手法の確立を図るものである。

平成7年度は、建設省より「新技術活用モデル事業」の認定を受け、平成6年度に実施した水理実験を基に、長野県千曲川幹線で計画中の11箇所への適用を目的に、水理実験および実用化のための検討を行った。

ここでは、研究の経緯、水理実験の結果および実施への適用について述べる。

2. 従来の高落差マンホールの問題点

「下水道施設計画・設計指針と解説」によると、

地表勾配が急な場合の管渠の接合方法として、図-1に示すように段差接合（1箇所当りの段差は1.5m以内程度）および階段接合（階段の高さは1段当り0.3m以内程度）の適用が示されている。

しかしながら、現実には①マンホールの数が多くなるため工事費がかさみ経済的でないこと、②工期が長くなり施工が繁雑になること、③路上作業になるため、きめの細かい周辺環境対策が必要となることなどの理由から、上記の方式によらず高落差マンホールを設置している事例が多い。この場合、次のような問題点がある。

(1) 設計手法

高落差接合の事例が多いにもかかわらず、高落差接合時の水理特性が把握されておらず、未だ理論に基づいた設計手法が確立されていない。

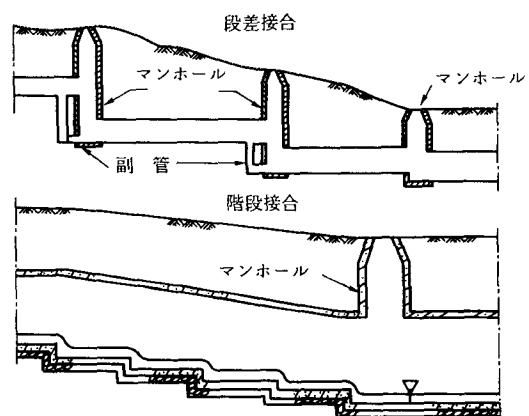


図-1 地表勾配が急な場合の接合方法

(2) 維持管理面と作業環境

マンホール内での作業中に一時的に下水の流量が増加して下水が飛散するなど、作業員が安心して作業できない状況にある。特に合流式下水道では雨天時に下水が飛散してマンホール内面に汚物が付着するなど、衛生的な作業環境が確保されているとはいえない。

(3) 構造

既設の高落差マンホールには、下水の落下による底部コンクリートの洗掘が多くみられる。また、維持管理作業がしにくい構造となっている。

(4) 環境保全

高落差マンホールの場合、通常のマンホールに比較して空気連行量が多く、落下した下水が攪拌されて騒音および臭気が発生し、地域住民から苦情がでる。

3. 垂直管渠（ドロップシャフト）の機能と構造

前述した諸問題を解決するため、東京大学工学部土木工学科の玉井信行教授の協力を得て、「らせん案内板付ドロップシャフト」の高落差マンホールへの適用について検討した。

本技術は、垂直管渠の一方式として、マンホール内にらせん案内板を有する管渠を設けることにより、シャフト壁面およびらせん案内板に沿って下水を流下させ、下水の落下エネルギーを減勢するとともに本管への空気連行量の減少を図り、安定した水流を確保しようとするものである。

らせん案内路は、図-2に示すように上部らせん

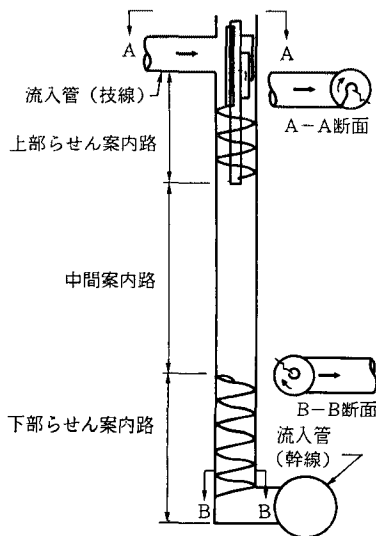


図-2 ドロップシャフト構造図

案内路、中間案内路、下部らせん案内路から構成される。流入下水は、A-A断面に示すように中央部から流入し、上部らせん案内路で渦流となり、中間案内路の壁面に沿って流下する。その後、下部らせん案内路でエネルギーが減少し、流出管に放出される。なお、本計画は従来の副管方式と違い、ドロップシャフトを通して、流入下水の全量を本管に流下させることを基本としている。

4. 研究目標

4.1 対象範囲

ドロップシャフトの開発の対象範囲は以下のとおりである。

- (1) 千曲川幹線：特殊マンホール 11箇所
- (2) シャフト径：φ 350～φ 1,000 mm
- (3) 落差高：5.6～12.2m

4.2 研究目標

ドロップシャフトの研究目標は以下のとおりである。

- ・下水全量の垂直流下
- ・安定した水流の保持
- ・落下エネルギーの減少
- ・工場製品化
- ・据付工法の確率
- ・維持管理環境の改善

図-3に実用化研究のフローを示す。

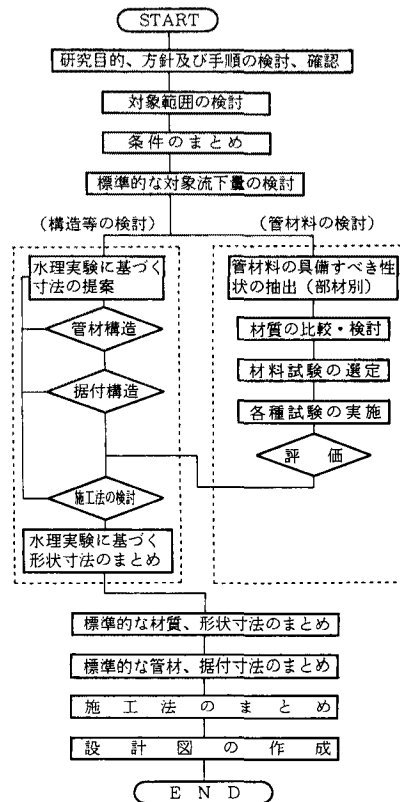


図-3 実用化研究フロー

5. 水理実験

5.1 水理実験装置

水理実験は、東京都下水道局の三河島処理場内に、実施設の1/3（設計流量：38ℓ/sec）を想定した水理実験装置を設置して行った。水理実験では循環水として三河島処理場の二次処理水を使用し、らせん案内板の設置位置、ピッチ、流入水量、流出管の流量をパラメータとして、流量、水深、空気連行量、騒音レベルなどを測定した。

図-4に実験装置の概要図を、写真-1に実験装置の全景を示す。

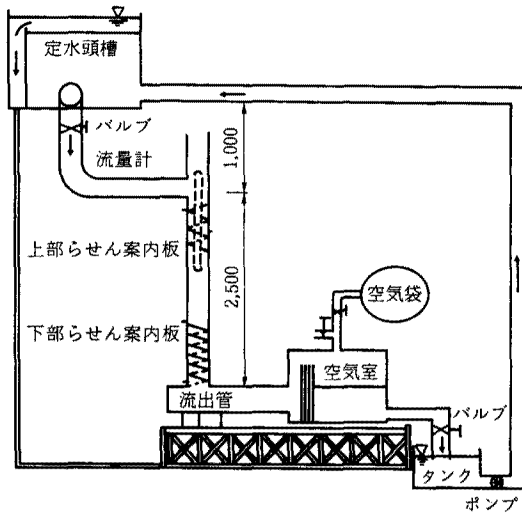


図-4 実験装置の概要図

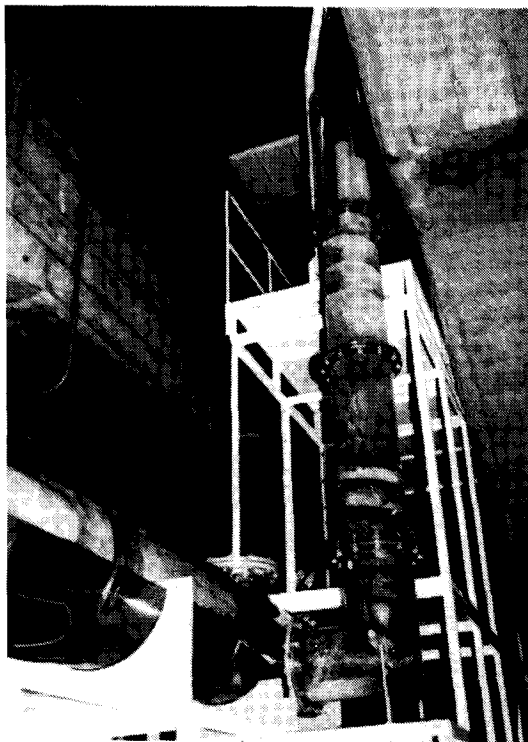


写真-1 実験装置の全景

5.2 水理実験

実験は、本管側方に流出口を設けた側方連結型3ケースと、本管直上に流出口を設けた直接連結型2ケースの計5ケースについて行った。

表-1に実験ケースの概要を示す。

表-1 実験ケースの概要

ケース	案内路ピッチ		落差高	オリフィス	適用
	上部	下部			
1	18cm	14cm	21cm	無	側方連結型
2	18cm	14cm	21cm	無	直接連結型
3	24cm	-	36cm	無	直接連結型
4	24cm	14cm	30cm	無	側方連結型
5	24cm	14cm	30cm	有	側方連結型

*案内路幅は全て10cm

ここでは、長野県千曲川幹線に採用が決定されたケース4、5について、主な実験結果を報告する。

図-5には、ケース4、5の概要図を示す。

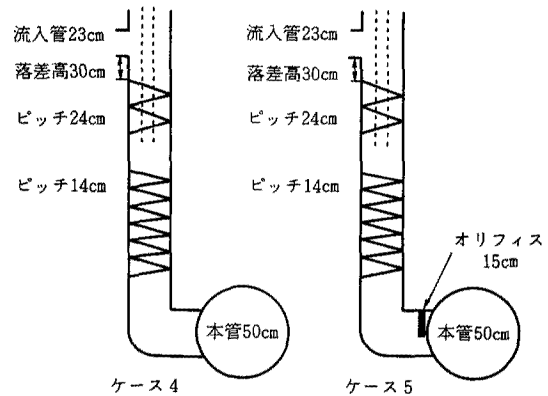


図-5 概要図

5.2.1 流入管への影響

流入管の水位影響を観測するため、マンメーターを3箇所に設置した。ケース4では設計流量38ℓ/sで流入管に若干の余裕があり、設計流量の流下に問題のないことが確認された。図-6にマンメーター計測地点、図-7にマンメーター値、写真-2に流入管部の流況を示す。

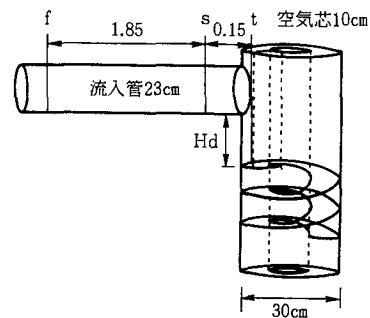


図-6 マンメーター計測地点

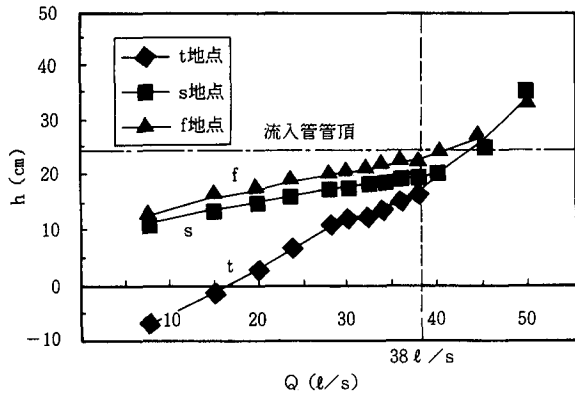
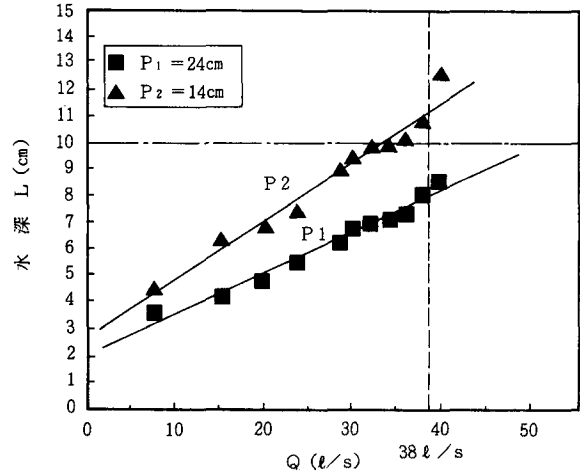


図-7 マノメータ値 (ケース4)



P1 上部らせん案内路ピッチ P2 下部らせん案内路ピッチ
 ■ 2段目の水深 (ケース4) ▲ 5段目の水深 (ケース4)

図-8 流量とらせん案内路の水深

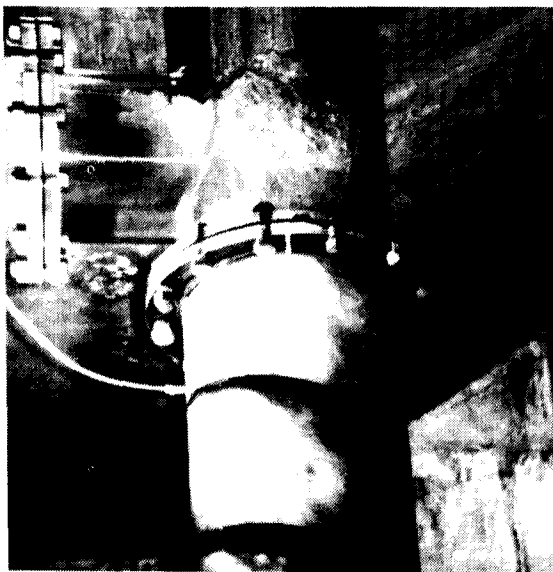


写真-2 流入管部の流況 (ケース5 38 l/s)

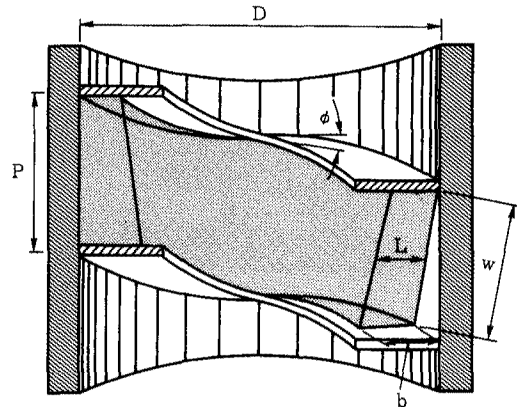


図-9 らせん案内路内の概念図

5. 2. 2 らせん案内路の流量と水深の関係

らせん案内板の水深とは、ドロップシャフトの壁面から水平方向に測った自由水面までの距離である。落水脈は、渦流の流れとなるため、らせん案内路の上面で水深が最大となり、鉛直上方向に行くにつれて水深は減少し、らせん案内板の下面で最小となる。図-8に流量とらせん案内路の水深の関係を示す。上部らせん案内路と下部らせん案内路では、流量が同じ場合、上部らせん案内路のピッチが大きいため、水深が小さくなる。設計流量38 l/sと比較すると上部らせん案内路では幅10cmに対し水深は6.4cm~8.0cmと水路幅10cm以内に入っているのに対し、下部らせん案内路では10.7cmと水路幅を上回るが、しっかりした渦流を形成している。

ケース4のらせん案内路では、設計流量38 l/sの流下に問題はないと判断される。

5. 2. 3 らせん案内路の流量と流速の関係

らせん案内路の流速は、水理実験結果より、流量に対するらせん案内路の平均水深を求め、これより流量公式により求める。

流量の増加に伴う流速の変化は、上部らせん案内路で(2.99m/s~3.62m/s)、下部らせん案内路では(2.33m/s~3.12m/s)で、流量の増加とは必ずしも比例していない。設計流量38 l/sにおける上部、下部らせん案内路の流速は3.6m/s、3.3m/sと下部の方が遅く、エネルギーの減勢が認められる。また、下部らせん案内路の最下部では、流れはほぼ等流状態となり、安定した水流を保持している。

図-10にらせん案内路の流量と流速の関係を、写真-3に下部らせん案内路の流況を示す。

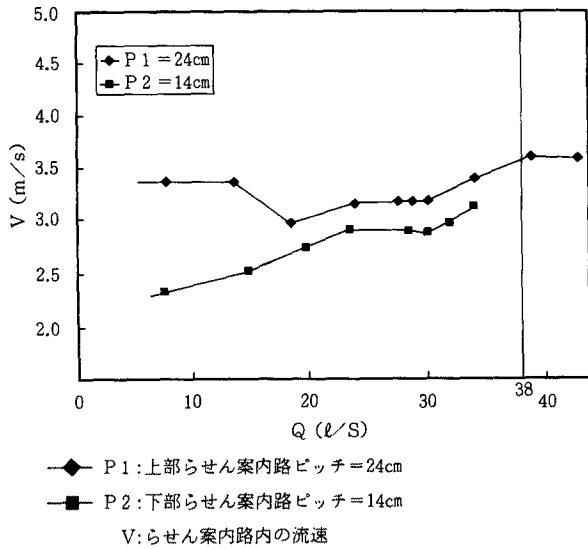


図-10 らせん案内路の流量と流速の関係



写真-3 下部らせん案内路の流況 (ケース5 36l/s)

5.2.4 本管への空気連行量

本管への空気連行量は、図-11に示すように、本管の水深が6~9割の場合、ケース4で約5%に対し、オリフィスを設置したケース5では1~2%と大幅に減少することが判明した。空気連行量はほぼ問題のない水準に達した。

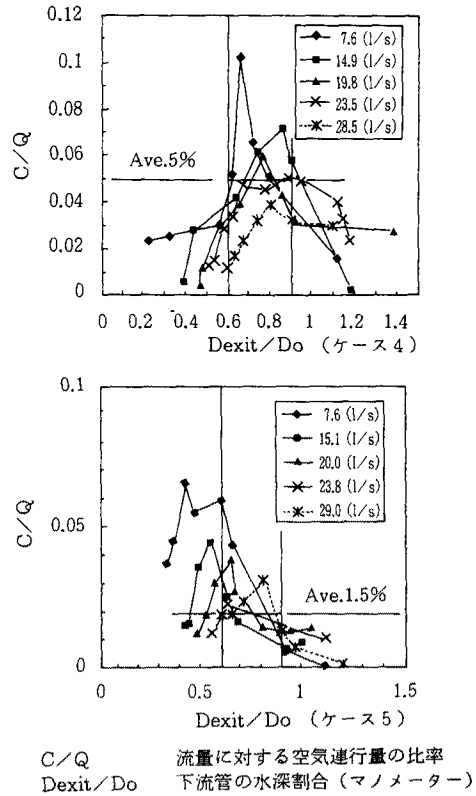


図-11 本管への空気連行量と流量の比

5.2.5 流下に伴う騒音

流下に伴う騒音を測定するため、ドロップシャフトから20cm離れた位置で騒音の測定を行った。測定点は、ドロップシャフトの上部、中間部および下部の3箇所である。

騒音レベルは、ドロップシャフト上部で最高85dBと暗騒音70dBに対し15dBの増加であった。中間部ならびに下部では最高75dBで暗騒音に対し5dBの増加であった。各測定点とも流量の増加に伴う騒音の増加は見られなかった。

ドロップシャフトによる騒音は実用上、ほぼ問題のないレベルと判断される。

5.2.6 維持管理面からの実験

平成7年度には、維持管理面を考慮し、夾雑物を流した場合と、らせん案内板を取り除いた場合の追加実験を行った。

夾雑物は、紙おむつ、割り箸、タオルを使用した。割り箸とタオルについては下部らせん案内路入口部の角部分に引っ掛かる場合があったが、角部分の改良程度で解消可能な範疇であった。

らせん案内板を取り除いた場合は、各ケースにおいて、空気連行量の増加、シャフト下部へのエネルギーの集中、流下量の減少が認められた。

6. 実施設への適用

実施設の設計は、模型実験の流量と実施設の流量の比から、フルード相似則により相似率を求め、模型寸法をそのまま相似率で拡大する方法で行った。長野県千曲川幹線で採用する、最大径1,000mmの設計流下量は0.77 m³/sとなった。

7. 管材料および構造

前述の結果より得られた、ドロップシャフト寸法と、水理実験から考察された想定荷重により、部材の設計を行った。

管材料は種々の検討から、下水道材料として具備すべき性状、実績を有し、加工の容易なFRP材料および塩化ビニル材料を採用するものとした。

長野県千曲川幹線での、らせん案内板の必要厚さ算出結果の一部を表-2に、ドロップシャフト据付構造図を図-12に示す。

表-2 らせん案内板の必要厚さ

(FRP材料)

	上部案内板		下部案内板		シャフト 径 mm
	荷重	板厚	荷重	板厚	
	kg/cm ²	mm	kg/cm ²	mm	
接 0	0.085	4.1	0.936	8.6	350
接 1	0.131	5.0	0.164	6.4	500
接 2	0.192	7.4	0.225	10.1	900
接 3	0.162	5.7	0.197	7.4	600
接 4	0.182	6.8	0.347	10.8	800
接 5	0.182	6.8	0.172	8.5	800
接 6	0.081	4.3	0.777	8.8	400
松 代	0.172	7.2	0.134	8.5	900

(必要板厚には、摩耗減量3mmを含む)

8. 施工、維持管理方法

8.1 施工方法

ドロップシャフトの据付施工は、工場において分割または一体で製造されたドロップシャフト本体を、完成後のマンホールに据付ける形式が基本となる。

長野県千曲川幹線では、ドロップシャフト径が多様で、数も少ないことから現地寸法に合わせて、工場製作したものを現地に据付ける形となる。

設置方法は、取換え等も考慮して検討する必要があるが、将来的には規格品を現地で切断・接続する設置方法を確立する必要がある。

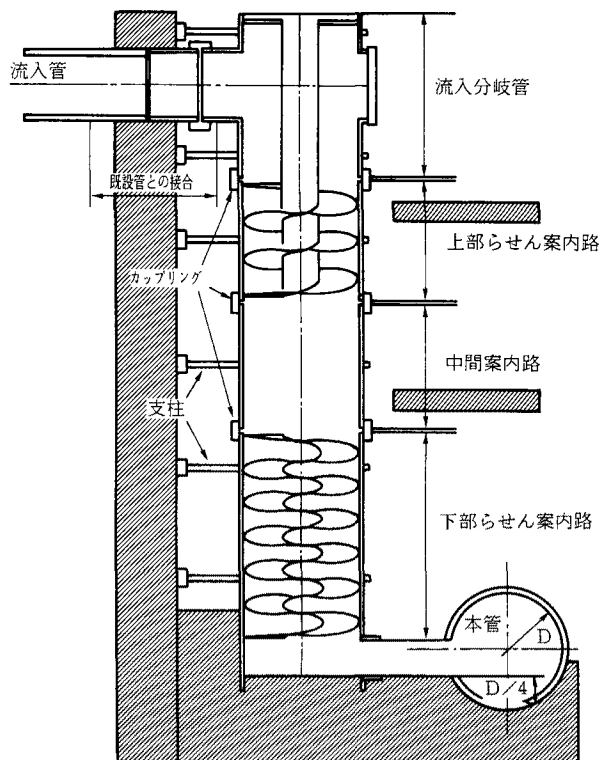


図-12 ドロップシャフト据付構造図

8.2 維持管理方法

ドロップシャフトを設置した場合、従来の副管方式のように、洗掘・汚水の飛散・臭気・騒音等の問題は解消されるが、従来の維持管理方法とは異なる視点の維持管理方法が必要となる。

下水はドロップシャフト内を、流速の速い渦流状態で流下することから、土砂類の堆積は考えにくいですが、木切れ等の浮遊物による閉塞が最も危惧される点である。この点を考慮し、以下に維持管理の主なポイントと維持管理方法を示すが、基本的には従来の維持管理体制の範囲で十分に対応可能と思われる。

(1) らせん案内路・流出端開口部の閉塞

管渠・マンホールの通常点検に合わせて点検を行い、閉塞時にはウォータージェット等により除去を行う。

(2) ガタツキ・揺れ

管渠・マンホールの通常点検に合わせて、ドロップシャフトの据付状態・ガタツキ・揺れを点検し、支持金具に緩みのある場合は、締め付けを行う。

(3) 破損状況の確認

管渠・マンホールの点検、清掃時に合わせて、ドロップシャフト内もファイバースコープ等により点検する。破損が著しく、取替えが必要な場合は、夜間等の下水量減少時に取替え作業を行う。

9. おわりに

以上、垂直管渠（ドロップシャフト）実用化研究の平成6～7年度の成果について述べた。

平成8年度には、長野県千曲川流域下水道の千曲川幹線において、垂直管渠（ドロップシャフト）がわが国ではじめて本施設に適用される。供用開始後の平成9年度には性能評価を行う予定である。

● この調査に関する問い合わせは

研究第二部長	藤田 昌一
技術部次長	鈴木 茂
研究第二部主任研究員	山下 順市
技術部研究員	関根 浩次