

千葉市中央雨水幹線 取水システムに関する調査研究

1. 研究の背景と目的

千葉市中央雨水幹線は、浸水被害の解消と合流式下水道の改善に向け計画され、第一期工事として一部の区間が建設中であり、区間内に8カ所の取水施設が計画されている。この貯留幹線は、市街地の都市化の進展および地下埋設物の錯綜等の理由から埋設深度が深くなり、流入管との落差が大きい。

このような高落差における接合においては、流入量、合流量、落差高、設置箇所の条件等により、接続方式や構造が異なってくる。しかし、供用中の施設での機能上の検証が不可能なことから、水理模型実験を実施することにより、最適な接続方式・構造・形状寸法等についての検証を行った上で定める必要がある。

本研究は、貯留幹線に計画している2カ所の取水人孔を対象とする。これらの取水人孔はそれぞれ約24mと約18mの高落差を処理するため、本機構がとりまとめた、「らせん案内路式ドロップシャフト設計資料(案)」(以下、設計資料(案)と略す)に基づいて、らせん案内路式ドロップシャフト(以下、ドロップシャフトと略す)が採用されている。ドロップシャフトと幹線との接続は、現地の施工条件から側部接続方式と頂部接続方式を計画している。

本研究は、ドロップシャフトの流入管、上部案内路、中間案内路、下部案内路について個々の機能と安定的な流況を確認し、ドロップシャフトの性能の

検証と幹線との接続方式の違いによる幹線の流下能力に及ぼす影響等を実験により検証し、最適な接続構造を提案することを目的とした。

2. 概要図

実験では実際の1/8スケールの模型を作成した。

2.1 側部接続方式

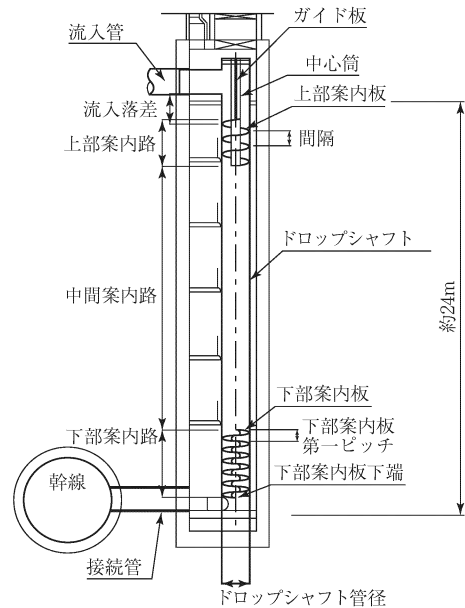


図-1 側部接続方式概要図

2.2 頂部接続方式

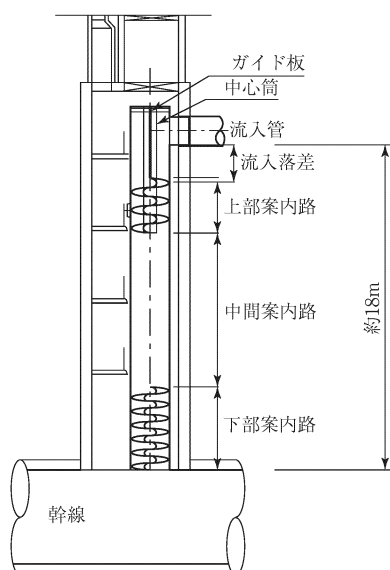


図-2 頂部接続方式概要図

流入管と貯留幹線の諸元を表-1に示す。

表-1 流入管と貯留幹線の諸元

	流入水量 (流入管)	落差 m	管径 mm	勾配
側部接続	2.313m ³ /s	24	φ1,350	—
頂部接続	3.161m ³ /s	18	φ1,500	—
貯留幹線	—	—	φ5,250	1‰

・幹線貯留量：120,000m³
 ・流末ポンプ場排除量：15m³/s

3. 水理的課題

3.1 側部接続方式と頂部接続方式の共通の課題

(1) らせん案内路のピッチ，流入落差，流況

ドロップシャフトへの流入部は，流入管径がドロップシャフト径より小さい。安定した流下形態を確保するためには，流入落差の変更および上部らせん案内路ピッチを大きくする等の対策が必要となる。

また，ドロップシャフトの適用範囲に設計資料(案)の知見を適用する場合，知見は限定された水理条件で確認されたものであるため，今回の条件に適用できるかは明らかではない。このため，ドロップシャフトの性能を実験により検証する必要がある。

(2) 動水位

ドロップシャフトは高落差接合箇所です定の流量を安定した水面形で流下させるために開発された構

造であることから，幹線動水位と人孔およびドロップシャフトの動水位の関係を明らかにし，ドロップシャフト採用の適否について検討する必要がある。

(3) 連行空気量

設計資料(案)に準拠した条件の場合は，連行空気量の低減効果が期待されるが，落差が大きく中間案内路高さが大きい場合には，連行空気量がどのようになるか実験的に確認されておらず不明である。

また，頂部接続方式では，側部接続方式と比べて定性的に連行空気量が多くなることが想定されるが，ドロップシャフトの設計流量に対して連行空気量がどのように変化するかは，実験的にも確認されておらず不明である。

よって，実験により連行空気量を明らかにする必要がある。

3.2 側部接続方式の課題

(1) 流出管の向き

ドロップシャフト底部の流出管からは流速が大きい状態で流出しており，流出管の向きを幹線に対してどのように向けるかについては，十分な知見は得られていない。流出管を人孔壁面に向けることにより一旦人孔内で減勢した後に幹線に流出させる方法，流出管を直接接続管に向けて幹線に流入させる方法について，人孔内の流況，接続管の流況と幹線突入地点付近の流況の安定度を比較することにより，適切な流出管の向きを定める必要がある。

(2) 幹線接続角

流出管の向きを変更しただけでは大幅な流速の低減は難しいと考えられ，接続管から幹線にかけては流出速度が速く，幹線の流下阻害が発生する。

一般的には，施工性を考慮し幹線と接続管は管中心接続とし，接続角90°で接続される例が多い。しかし，この接続の場合には，水理的に幹線の流下阻害が大きくなる(図-3参照)。

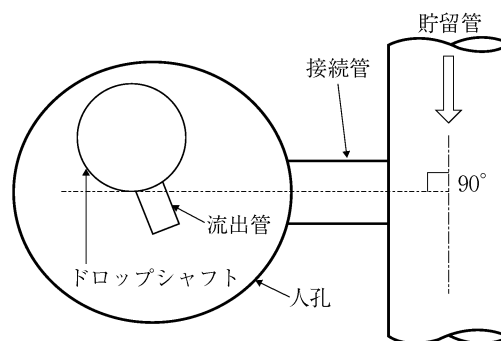


図-3 幹線接続角90°の側部接続方式

幹線の流下阻害を軽減するには、幹線に円滑に流入させる必要があり、側部接続の場合には、幹線への接続角度を60°程度にすると幹線の合流損失の軽減が期待される(図-4参照)。

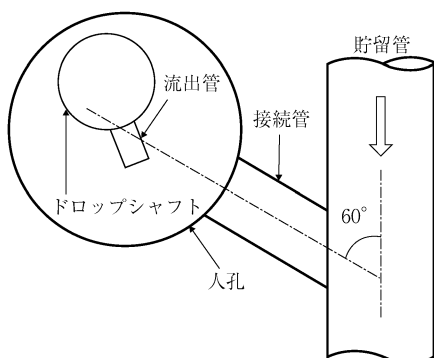


図-4 幹線接続角60°の側部接続方式

(3) シルの有無

ドロップシャフト底部の流出管からは流速が大きい状態で流出するため、人孔内、接続管と幹線突入地点付近では安定した流況を確認しなければならない。そのため、幹線への流出について、シルを設置して減勢する場合としない場合の比較を行う必要がある。

3.3 頂部接続方式の課題

(1) 下部らせん案内路終端位置

ドロップシャフトからの落下水脈が円錐状で幹線に流入するため、幹線の流下阻害を起こす(図-5参照)。

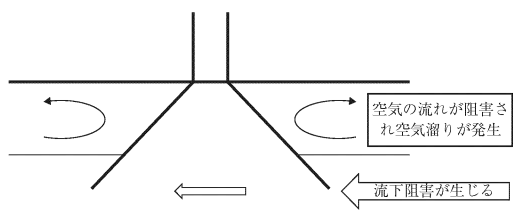


図-5 頂部接続の場合の流下阻害イメージ

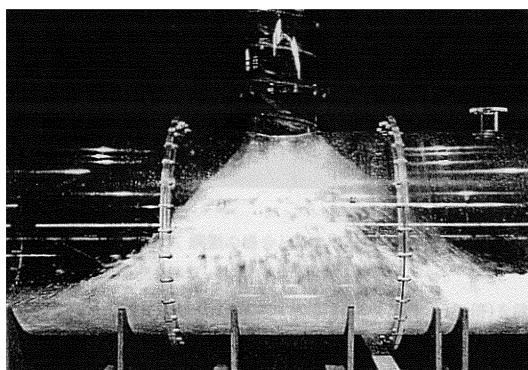


写真-1 頂部接続の場合の円錐状落下水脈の例

円錐状に落下する水脈が幹線に着水する位置および円錐状に広がる状況は、下部案内板の終端角度により異なることが他団体との共同研究で判明しているが、最適な設定位置が明確とはなっていない。

ここでは、案内板終端角度を0~90°の間で3種類設定し、幹線への落下水脈の主流の着床位置が流量にかかわらず、ほぼ一定でその位置が幹線の管底となる案内板終端角度を検討する必要がある。着床位置を幹線の管底とした理由は、管底の場合には初期に水深が確保され、落下水が水クッションによる減勢が期待されるためである(図-6参照)。

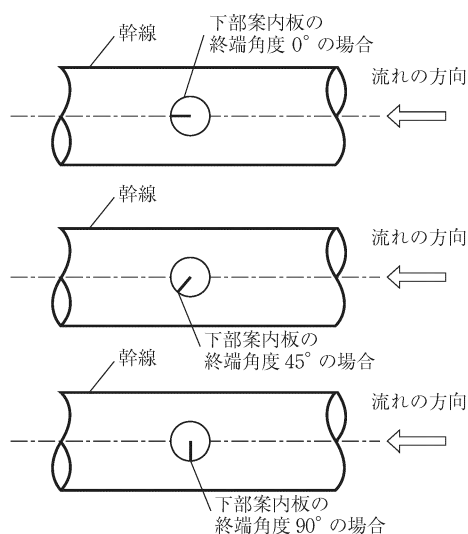


図-6 下部案内板の終端角度の設定範囲

(2) 幹線への作用圧力

流況を安定させるために下部案内板の終端位置を定めても、構造的に幹線が安全であるかを確認しておく必要がある。このため、最適な下部案内板終端位置における、幹線への作用圧力を把握する必要がある。

4. 実験項目

実験項目を表-2に示す。また、実験は流入量を1.0Q~1.2Q、幹線流量を0m³/s、暫定計画、将来計画と適宜変更し行った。

5. 側部・頂部接続方式の共通の実験結果

5.1 らせん案内路のピッチ、流入落差、流況の確認

らせん案内路のピッチと流入落差について、ドロップシャフト全体の流況を調査し、水理的に問題の

表-2 実験項目

実験項目	側部 接続	頂部 接続
らせん案内路のピッチ, 流入落差, 流況の確認	○	○
動水位	○	○
連行空気量	○	○
流出管の向き	○	
幹線接続角	○	
シルの有無	○	
下部らせん案内路終端位置		○
幹線への作用圧力		○

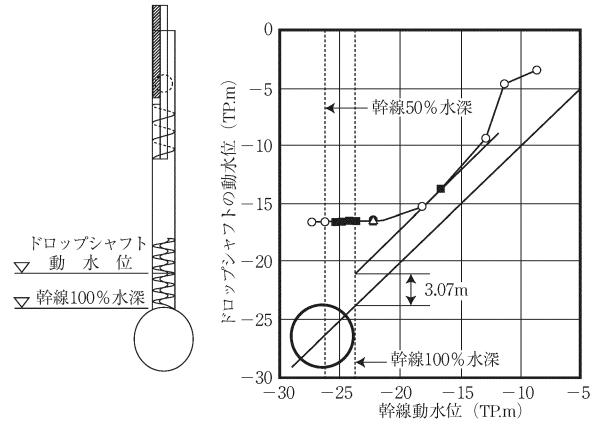


図-8 頂部接続の動水位の比較

無いことを以下のとおり確認した。

- ・上部らせん案内路は、安定した渦流が形成されている。
- ・中間案内路は、垂直落下が生じることなく、壁面沿いに旋回流が維持されて落下している。
- ・下部らせん案内路は、安定した渦流の再形成が行われ、減勢効果が実現されている。

5.2 幹線動水位と人孔およびドロップシャフトの動水位

側部接続方式の場合の人孔動水位は、幹線動水位とほぼ同程度であった。また、側部接続方式、頂部接続方式のどちらの場合においても、ドロップシャフト内の動水位は、幹線動水位より3m程度高いことが確認された(図-7, 8参照)。

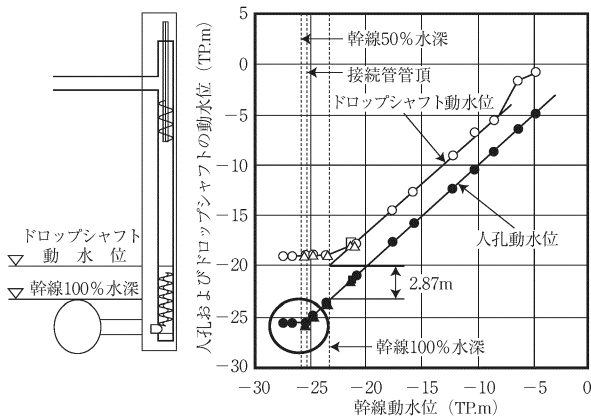


図-7 側部接続の動水位の比較

したがって、貯留幹線の計画流量を超える流入があった場合の安全対策として、流入管管頂からドロップシャフト天端までの余裕高を低くすることにより、超過流量分はドロップシャフト天端からのオーバーフローにより人孔内に落下させ、流入管渠への

影響を少なくすることとした。

5.3 連行空気量

側部接続方式の場合、上部案内路中心筒からは空気の排気が生じる。幹線には常時空気が連行され、幹線動水位が接続管頂付近の時最大で5%程度であることが確認された(図-9参照)。

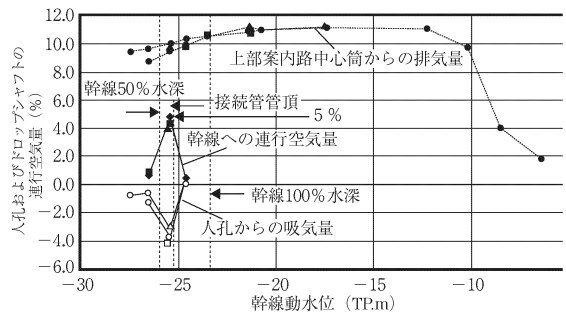


図-9 幹線動水位と連行空気量の関係(側部接続方式)

頂部接続方式の場合、上部案内路中心筒からは空気の吸気と排気が生じる。幹線には常時空気が連行され、幹線動水位が80%水深の時最大となり、25%程度であることが確認された(図-10参照)。

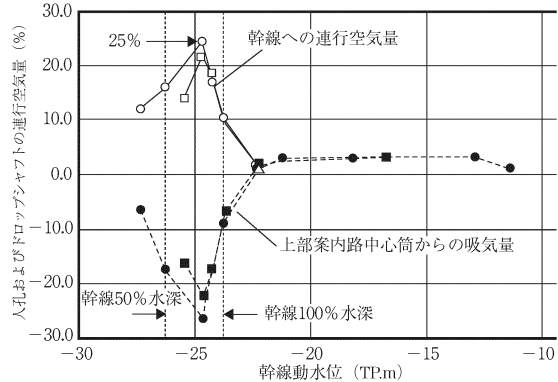


図-10 幹線動水位と連行空気量の関係(頂部接続方式)

気泡の混入は、ドロップシャフトの接続点を基準に上流と下流に生じるが、下流側が広範囲となる。下流側への気泡混入距離は、暫定計画流量より将来計画流量のほうが長くなる傾向を示す。連行空気量最大時の気泡混入範囲は、図-11のとおりである。

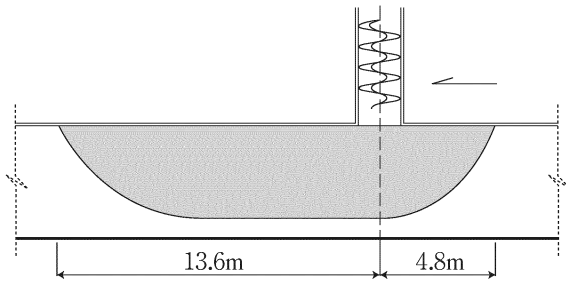


図-11 連行空気量最大時の気泡混入範囲

6. 側部接続方式の実験結果

6.1 流出管の向きと幹線接続部への影響

実験ケースを表-3、図-12示す。

ドロップシャフト底部に設ける流出管の向きは、実験の結果、流況が最も安定することを確認したケース3の接続管方向とする(図-13参照)。

表-3 流出管の向き変更の実験ケース

ケース	流出管の向き	流量 1.0Q (m ³ /s)	幹線流量 (m ³ /s)
1	接続管より遠い方向	2.313	1.800
2	流入管方向	2.313	1.800
3	接続管方向	2.313	1.800

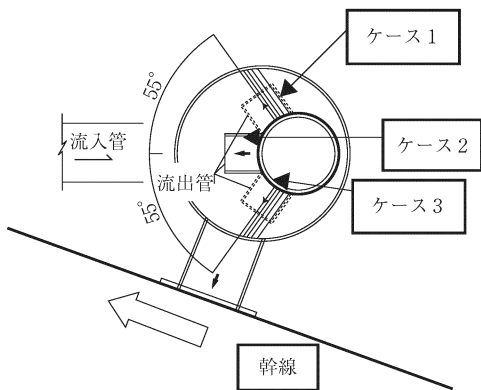


図-12 流出管向きの設定方向

6.2 接続管の向きと幹線接続部への影響

幹線との合流水脈の流況を安定させ、かつ幹線上流側の水位上昇を最小とするため、幹線への接続角は60°とする(図-13参照)。

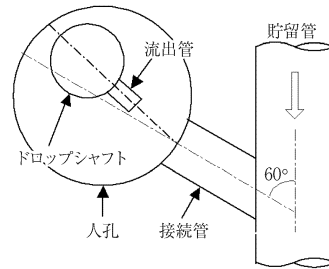


図-13 流出管向きと幹線接続角度

6.3 シルの有無と幹線接続部への影響

接続角度60°で接続管入口部に減勢のためのシルを設置する場合としない場合の比較を行った。シルに設けるスリット幅は、維持管理を考慮し0.6m、高さは、接続管管径の1/2 (0.65m)とした(図-14参照)。この結果、幹線合流部は比較的穏やかな流況が確保されるとともに、上流側の幹線動水位を低減させる効果が大きいことが確認された。

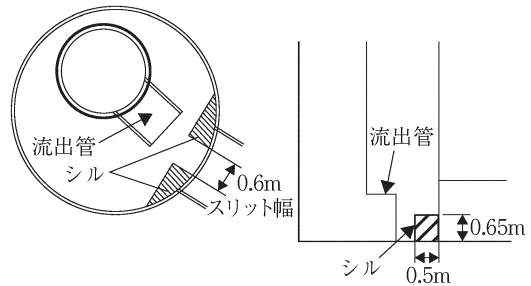


図-14 シルの概要

7. 頂部接続方式の実験結果

7.1 下部らせん案内路終端位置

下部らせん案内路終端位置の実験形状を図-15、実験結果を図-16に示す。

下部案内板の終端位置は、常に落下水脈の主流が幹線の管底に着水するように、幹線に対して90°となる配置を採用する。理由は、幹線の管底部は小流量時で初期に水深が確保され、落下水は水クッションにより減勢され、落下水が幹線に及ぼす作用圧力、磨耗等の影響が小さくなるためである。

7.2 幹線への作用圧力

幹線ドライで計画流量が落下する場合の管底に作

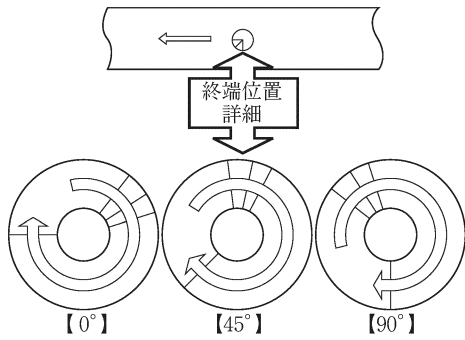


図-15 下部らせん案内路終端位置の実験形状

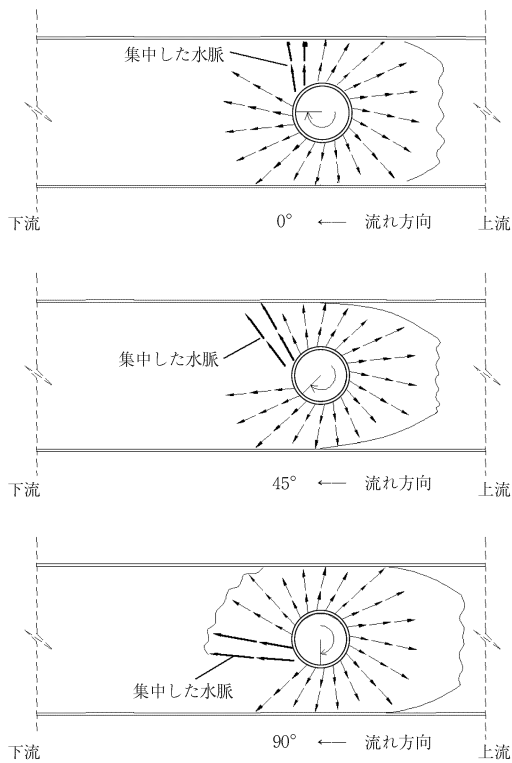


図-16 終端位置と落下流況

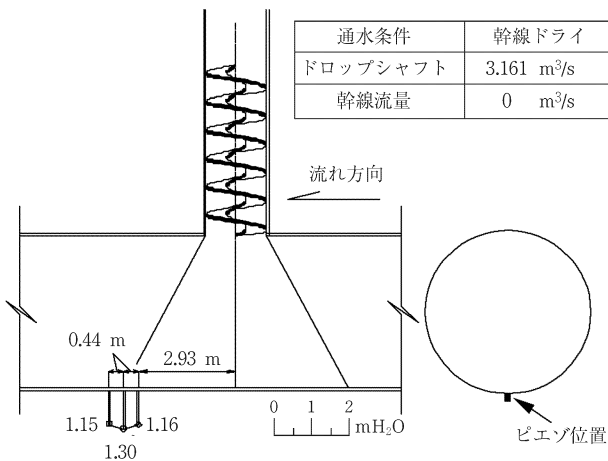


図-17 幹線への作用圧力

用する圧力水頭 (1.3m) は、幹線管径 (5.25m) より小さく圧力的な問題は無く、幹線の水脈落下部を補強する必要は無いと考えられる (図-17 参照)。

8. 実験結果のまとめ

8.1 側部接続と頂部接続方式の共通事項の結果

(1) 流況

側部接続および頂部接続方式とも、ドロップシャフトは安定した流況が得られ、水理的に問題ないことを確認した。

なお、流入部は、超過降雨時に幹線動水位が上昇した場合には、ドロップシャフトの頂部からオーバーフローが生じる。このため、ドロップシャフトの頂部と人孔頂版に十分な空間を確保しておく必要がある。

(2) 給排気施設

側部接続方式の場合、上部案内路中心筒からは空気の排気が生じる。幹線には常時空気が連行され、幹線動水位が接続管管頂付近の時、最大で5%程度であることが確認された。

頂部接続方式の場合、上部案内路中心筒からは空気の吸気と排気が生じる。幹線には常時空気が連行され、幹線動水位が80%水深の時、最大で25%程度であることが確認された。

8.2 側部接続方式の結果

(1) 流出管の向き

ドロップシャフト底部に設ける流出管の向きは、直接、接続管の方向に向けるものとする。

理由は、流出管を人孔壁面に向けると人孔内で水脈があばれるとともに、ドロップシャフト内の水位を上昇させる作用が発生してしまうためである。

(2) 幹線接続角

幹線への接続角は60°とする。

理由は、幹線動水位とドロップシャフト動水位の関係と連行空気量については、接続角が異なっても影響はほとんど無いといえるが、幹線の合流損失は、接続角60°の方が小さくなり有利となるためである。また、幹線水位が低水位になればなるほど合流損失が顕著である。

(3) シル設置の有無

接続管入口部にスリットを有するシルを設置する。

理由は、接続管入口部にシルを設置すると、幹線合流部は比較的穏やかな流況が確保されるとともに

に、上流側の幹線動水位を低減させる効果が大きい
ためである。

8.3 頂部接続方式の結果

(1) 下部案内板終端位置

下部案内板の終端位置は、常に落下水脈の主流が
幹線の管底に着床するように、幹線に対して90°と
なる配置を採用する。

理由は、幹線の管底部は小流量時で初期に水深が
確保され、落下水は水クッションにより減勢され、
落下水が幹線に及ぼす作用圧力、磨耗等の影響が小
さくなるためである。

らせん案内板の最下端は、幹線の流下阻害を防ぐ
ため幹線管頂と一致させ、幹線内に案内板が突出し
ないものとする。

(2) 幹線の補強の必要性

幹線ドライで計画流量が落下する場合の管底に作
用する圧力水頭(1.3m)は、幹線管径(5.25m)よ
り小さく圧力的な問題は無く、幹線の水脈落下部を
補強する必要は無いと考えられる。

おわりに

(財)下水道新技術推進機構がとりまとめた、らせん
案内路式ドロップシャフト設計資料(案)では、側
部接続方式を標準としている。今回の研究結果から
好ましい構造ではないが、施工条件上やむを得ない
場合に限り、頂部接続方式も適用可能であることが
確認された。

また、ドロップシャフトは、管内に圧力流が発生
した場合、損失水頭が発生すること、流向を鋭角に
することで、合流による貯留幹線の水位上昇を抑え
られることが、水理模型実験により検証できた。

いずれにしても、不都合が生じて地域の活動に大
きな支障が発生する恐れのある施設にあたっては、
これまでの安易な考えで対応せず、水理模型実験等
で検証し、的確な下水道施設を建設することが肝要
であることを提言したい。

●この研究を行ったのは

次長兼企画部長
研究第二部主任研究員
研究第二部研究員
研究第二部研究員

鈴木 茂
児玉 琢郎
岸田 裕
舩岡 秀一

●この研究に関するお問い合わせは

次長兼企画部長
研究第二部主任研究員
研究第二部研究員
研究第二部研究員

鈴木 茂
児玉 琢郎
鎌田 浩三
舩岡 秀一