

垂直管渠(ドロップシャフト)用 管材の開発に関する研究

1. はじめに

高落差を有するマンホールが全国に多数設置されている。しかし、高落差に対する水理特性や理論に裏付けされた設計手法は確立されておらず、構造面や維持管理面において多くの問題を抱えている。

「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、段差接合および階段接合の適用が示されている。しかしながら、現実には以下に示す理由等により、段差接合や階段接合を適用せず、高落差マンホールを設置している事例が多い。

- 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
- ② 工期が長くなり施工が煩雑になる。

下水が高落差を自由落下するようなマンホールを設置した場合には、以下に示すような問題が生ずる。

(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、いまだに理論に基づいた設計手法が確立されていない。

(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流の流量が増加して飛散するなど、安心して作業できない。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言

い難い。

(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見られる。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する。

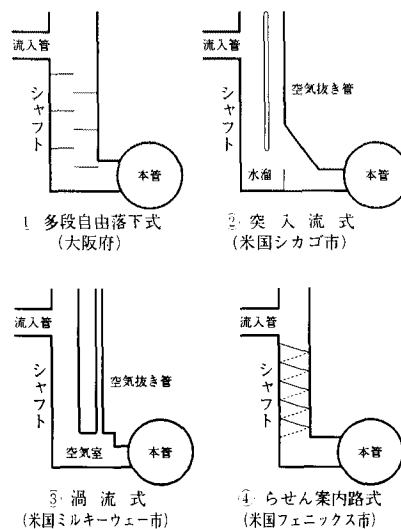


図-1 高落差工の概要図

これらの問題を解消するため、図-1の概要図に示す落差工が提案され、実用化されてきている。本

研究では、らせん案内路式垂直管渠（ドロップシャフト）を研究対象とし、検討を進めてきた。研究対象としたドロップシャフトの概略構造図を図-2に示す。このドロップシャフトは、中抜き式になっており、上部らせん案内路部、下部らせん案内路部、らせん案内路のない中間案内路部で構成されている。すなわち、上部らせん案内路部でらせん流れを強制的に作り、らせん流れを保ったまま中間案内路を流下し、下部らせん案内路部でさらに減勢させる構造になっている。

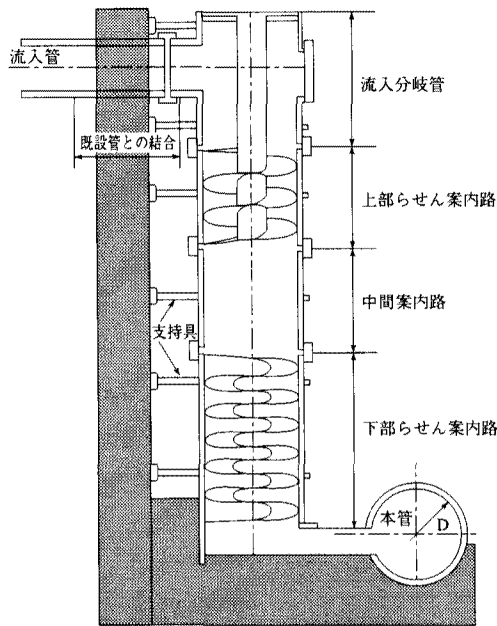


図-2 ドロップシャフト概略構造図

本報告では、ドロップシャフトに使用する材料に関する検討結果について報告する。

2. 検討対象とした材料

省スペース化を目指したドロップシャフト材料に要求される性能として、汚水から発生する硫化水素等に対する耐薬品性、流速に対する耐摩耗性および強度、下水をスムーズに流すため表面の平滑性を有することがあげられる。また、工業製品として、これらの性能が均一に生産できる素材が必要である。

農林水産省農業土木試験場水理部の強化プラスチック複合管および硬質塩化ビニル管に関する水理特性試験報告によれば、それぞれの粗度係数の実測値として下記の値が発表されている。

強化プラスチック複合管	$n=0.0075\sim0.0090$
硬質塩化ビニル管	$n=0.0077\sim0.0090$

また、アメリカ土木学会下水道部の機関誌に発表された下水道用塩化ビニル管の粗度係数の実験結果では、95%信頼値として $n=0.00817$ が示されている。

アメリカプラスチック工業協会プラスチック部会が発行している「塩化ビニル下水道パイプシステム」によれば、設計に用いる塩化ビニル管の粗度係数の値を $n=0.010$ としている。

強化プラスチック複合管および硬質塩化ビニル管であれば、ほぼ均一な粗度で生産できることから、これらの材料をドロップシャフトの材料として検討の対象とすることにした。

使用する材料は、耐薬品性を持つものとし、社団法人日本下水道協会の規格（JSWAS K-1, K-2, K-6）による耐薬品性能試験に合格したものとする。

3. 摩耗試験

3.1 摩耗量の比較実験

財団法人国土開発技術センターでは、耐摩耗性試験「FRPM管の道路埋設に関する調査報告書」を実施している。試験は、送水中に混入する固形物（砂）および化学薬品などを考慮して、管の摩耗に対する耐久性について検討している。検討対象とした管種は以下の5種となっている。

- ・強化プラスチック複合管（FRPM管）
- ・塩化ビニル管（PVC管）
- ・鉄筋コンクリート管
- ・陶管
- ・鋼管

強化プラスチック複合管および硬質塩化ビニル管は、他の材料に比べてすぐれた耐摩耗性を有していることが示されている。たとえば、水道水を使用した場合の結果を見ると、強化プラスチック複合管および塩化ビニル管は、ヒューム管の5倍以上、鋼管の2倍以上の耐摩耗性を有していることがわかる。

以上の結果を再確認するため、図-3に示すような回転ドラム式摩耗試験機を作成し、独自の試験を行った。使用した供試体材料は、表-1に示す6種類である。

図-3に示した回転ドラム式摩耗試験機を回転させることによって摩耗試験を行った。供試体の重量をあらかじめ測定しておき、5時間後、10時間後に重量を測定する。試験結果を図-4に示す。摩耗量の表示は、供試体の単位表面積（液体に接する部分）あたりの量で表示している。

図-4を見ると、どの材料も時間に比例して摩耗

していることがわかる。また、摩耗量はコンクリートが最も多く、ついで鋳物、強化プラスチック複合材、硬質塩化ビニル、ステンレス、ウレタン、下水道用ポリエチレン管の順となっている。財団法人日本国

土開発技術センターで行われた実験でも、鉄筋コンクリート管、強化プラスチック複合管、塩化ビニル管の順になっており、本実験でも同様の傾向が得られた。

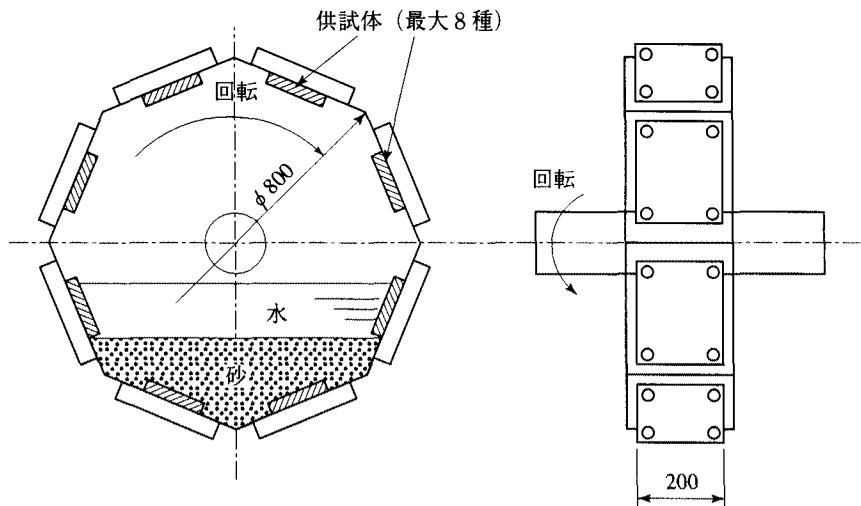


図-3 回転ドラム式摩耗試験機概要図

表-1 摩耗試験に使用した供試体

供試体の種類	供試体の仕様
PVC	硬質塩化ビニル板
PE	下水道用ポリエチレン管の切り出しプレス板
コンクリート	ヒューム管と同配合のコンクリート平板
FRP	FRPM管からの切り出し
PU	ウレタン製品の切り出し
FCD	鋳物フランジを切削加工

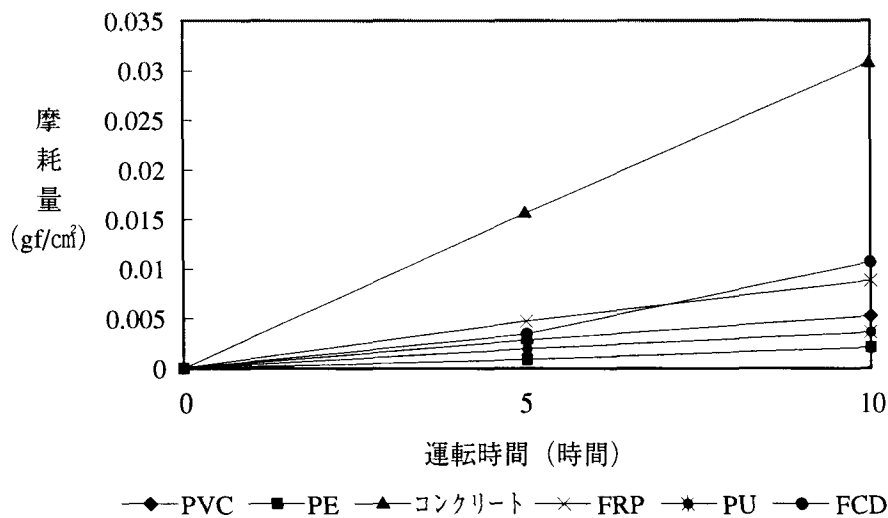


図-4 摩耗試験結果

3.2 耐久性の検討

ドロップシャフトを流れる下水の流速は、6m/s程度となる場合がある。一般に摩耗量と速度との関係は、流体の成分、流体中に含まれる砂の量や砂の粒径・形状によって左右される。「配管技術1973.4」によると、攪拌式摩耗試験機を用いた場合、摩耗量は流速の1.9～2.6乗に比例するとしている。ここでは、摩耗量が流速の2乗に比例するものとして検討を進める。

一方、「下水道維持管理指針」によると、流入下水に含まれる砂の量は1000m³あたり0.02m³程度としている。摩耗量と砂量との関係は、砂量が増大すればそれに比例して摩耗量も増大するものとする。

以上の仮定のもとに、常時通水しているものとして50年後の強化プラスチック複合管と塩化ビニル管の摩耗量を推定すると以下の通りとなる。

強化プラスチック複合管：0.7mm

塩化ビニル管：0.5mm

この結果から、ドロップシャフト作成時には材料の肉厚を3mm程度増肉しておけば、摩耗に対しては十分耐えるものと考えられる。

4. らせん案内板の設計手法

4.1 らせん案内板に載荷される荷重

らせん案内板に載荷されると考えられる荷重を表-2に示す。また、その説明図を図-5に示す。これらの荷重がらせん案内路に作用するものとして以下の2項目について検討し、許容応力内となるようにらせん案内板を設計する。

- ① 案内路端（管と案内路との接着部）でのせん断応力
- ② 案内路の曲げ応力

表-2 らせん案内板に作用する荷重

らせん案内路の部位		作用する荷重
上部らせん案内板	最上部1ピッチ	流入分岐管部+流入管口径の水荷重 作業員（70kgf）が中心円筒上に足をかけた時の集中荷重
	それ以外	らせん案内路ピッチ分の水荷重
下部らせん案内板	最上部1ピッチ	中間案内路分の水荷重
	それ以外	らせん案内路ピッチ分の水荷重

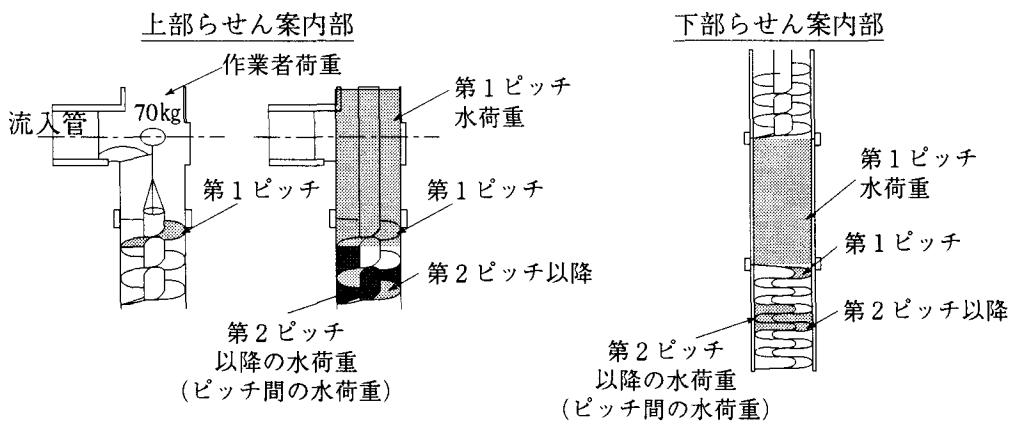


図-5 らせん案内板に作用する荷重

4.2 案内路端でのせん断応力の算定

らせん案内路と管との接続部でのせん断応力を求めるには、表-2に示した荷重を使用し、それぞれのらせん案内板の周面でその荷重を受けるものとしてせん断応力を算定する。このとき、らせん案内路と管との接続長さは、らせん状になっている分だけ長くなるが、安全側の設計となるよう管の内周とする。すなわち、らせん状の板ではなく、平面的な円盤状の板として解析する。このようにして得られた計算結果を考慮して、十分なせん断強度を有するよう管とらせん案内板との接続・接着方法を定める。

4.3 らせん案内路の曲げ強度

らせん案内路の曲げ強度の算定は、せん断応力の算定と同様に円盤状のモデルとして考える。

円盤状の板に荷重が載荷された場合の最大曲げ応力の算定方法は、「日本機械学会編：機械工学便覧材料力学」に示されている。

らせん案内路に生ずる曲げ応力を求めるには、表-2に示した荷重を使用し、それぞれの荷重条件に対して曲げ応力を算定する。このようにして得られた計算結果を考慮して、十分な曲げ強度を有するようらせん案内板の厚さを定める。

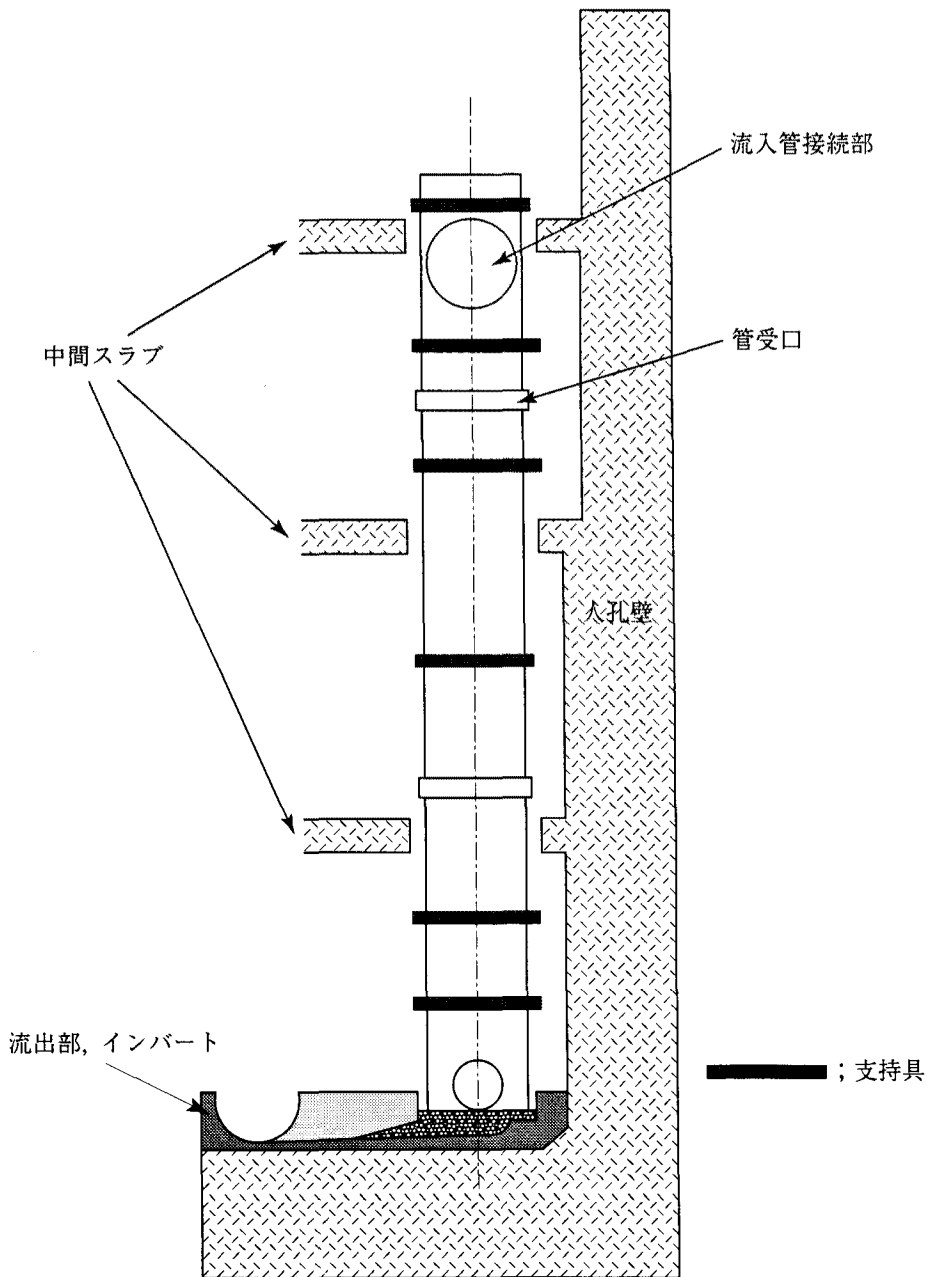


図-6 支持具取付け例

5. ドロップシャフトの設置

前述したように、ドロップシャフトは流入分岐管、上部らせん案内路、中間案内路、下部らせん案内路で構成されており、縦に細長い形状となっている。したがって、下水流入時の抜け出し防止や振れ止めのため支持具を取り付ける必要がある。支持具の配置・取付け位置の例を図-6に示す。

支持具は、マンホール壁にアンカーを用いて固定する。

6. マンホールの構造

6.1 搬入口

ドロップシャフトを構成している流入分岐管、上部らせん案内路、中間案内路、下部らせん案内路のうち最も平面形状が大きくなるのは流入部である。したがって、流入部が搬入できるだけの開口を持つ搬入口が必要となる。

6.2 中間スラブの開口

中間スラブの開口に関しては、ドロップシャフトの外径分だけの開口があればよいが、施工精度や管の厚さ等を考慮して、ドロップシャフト呼び径+200mm程度の余裕をみるものとする。基本的には円形の開口とするが、径が小さい場合や開口部養生を施す場合には矩形の開口でも差し支えない。

6.3 内空高さ

ドロップシャフトが搬入口の真下に設置される場合には問題はないが、搬入口とドロップシャフト設置位置がずれる場合には内空高さについて検討しておく必要がある。この場合には、いくつかの部品に分けたドロップシャフトをマンホール内で組み立てることになる。これらの部品の内、上部らせん案内路、下部らせん案内路はそれ以上分割できず一体化したものとなるため、これらのらせん案内路の高さ分だけの内空高さを確保しておく必要がある。

7. おわりに

ドロップシャフトに使用する材料に関する検討結果について示した。平成8年9月に長野県千曲川流域下水道の幹線管渠に最初のドロップシャフトを設置した。実施設に適用することによって、実験や机上の検討では気付かなかった問題点や維持管理上の問題点の抽出を試みている。また、ドロップシャフトの標準設計法の確立に向けて水理実験を続けている。これらの結果を踏まえて、ドロップシャフトの標準設計マニュアルを作成する。

●この研究に関する問い合わせは 事務局次長
技術部事業課長
技術部研究員

鈴木 茂
宮沢 達雄
中西 祐啓