

合流式下水道に導入する高落差工 に関する共同研究

1. はじめに

東京都区部の東品川幹線では、特殊人孔において落差16.75mの高落差工が計画されている。このような高落差を有する人孔に対し、従来の多段自由落下方式では次のような問題点がある。

① 環境保全

高落差人孔の場合、通常の人孔よりも落差が大きく、空気連行量が多いことから、騒音が発生し、周辺地域への影響が懸念される。

② 構造

既存の高落差人孔では、長期間にわたる下水の落下により、底部コンクリートが洗掘されており、人孔構造として欠損状況が見られる。また、これらの維持補修工事等の作業もしにくい構造になっている。

③ 維持管理

多段自由落下方式の人孔では、各ステージでの点検作業が必要である。しかし、圧縮空気の影響や下流側からのふかし上げ等が考えられるため、高落差のステージ作業は安全であるとは言い難い。

以上のような問題点を解決することなく、多段自由落下方式の人孔は多く採用されてきた。多段自由落下方式の人孔が抱える問題点を解決し、維持管理作業環境の改善を目指し、下水の全量を安全に垂直に流下させる垂直管渠（以下「ドロップシャフト」

と呼ぶ）の研究および設計を、東京都下水道局と財団法人下水道新技術推進機構との共同研究として行った。

2. ドロップシャフトの検討

2.1 計画流量および流入管径

対象となる人孔の流入側管渠および流量諸元を表-1に示す。

通常の管渠設計では、計画下水量に対して、地域の実情や管渠の大きさにより余裕率を見込んで決められている。ドロップシャフトの大きさを決定する場合にも、上流管渠と下流管渠と同一の余裕率を使用する。本計画では、分水後の下水を対象としているため、計画量は対象下水量とした。

表-1 対象人孔における下水量

下水量 (m^3/s)	上流管の計画管きよ諸元					対象下水量 (m^3/s)
	管径 (mm)	勾配 (%)	流速 (m/s)	流量 (m^3/s)	落差高 (m)	
1.326	1,100	2.20	1.56	1.482	16.75	1.326

2.2 ドロップシャフトの設置位置

ドロップシャフト設置位置は、特殊人孔の構造から決定される。設置位置の条件を以下に示す。

- ① スラブ上部および下部には再生水配管計画が

あり、設置が可能な位置は円形人孔のスラブ開口部内となる。

- ② 流入管（ $\phi 1,100$ ）の管底高は決定されているが、平面位置は図-1に示した範囲内で施工されるものとする。

以上の条件より、ドロップシャフトが設置できる位置は、図-1に示したハッチ部となる。

ドロップシャフトを設置可能範囲内に設置する場合、流入管との接続方法として、ドロップシャフトと流入管とを直接接続する方法と、ドロップシャフトと流入管との間に流入井を設ける方法とが考えられる。この二つの方法について比較検討した結果、流入井を設けてドロップシャフトと流入管を接続することとした。

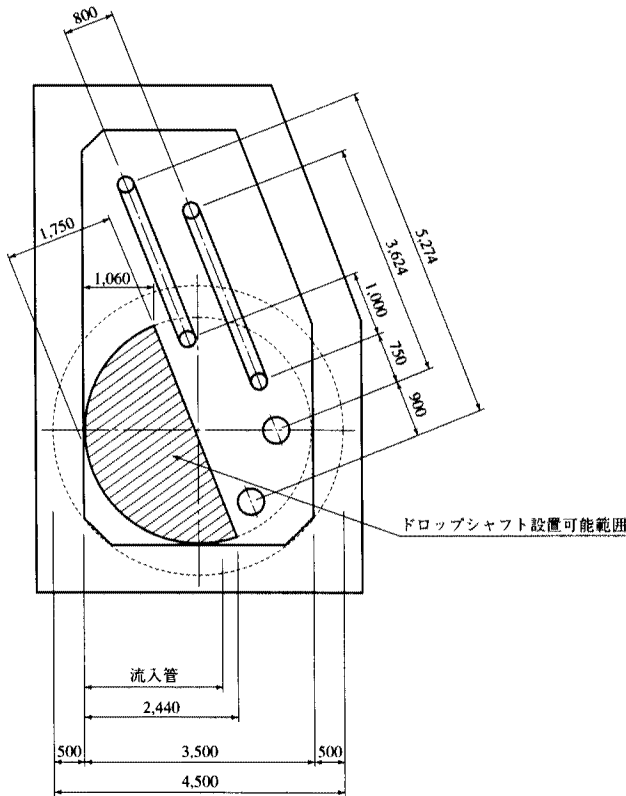


図-1 ドロップシャフト設置可能範囲（平面図）

2.3 ドロップシャフトの構造

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させ、下部らせん案内路でさらに減勢させる構造になっ

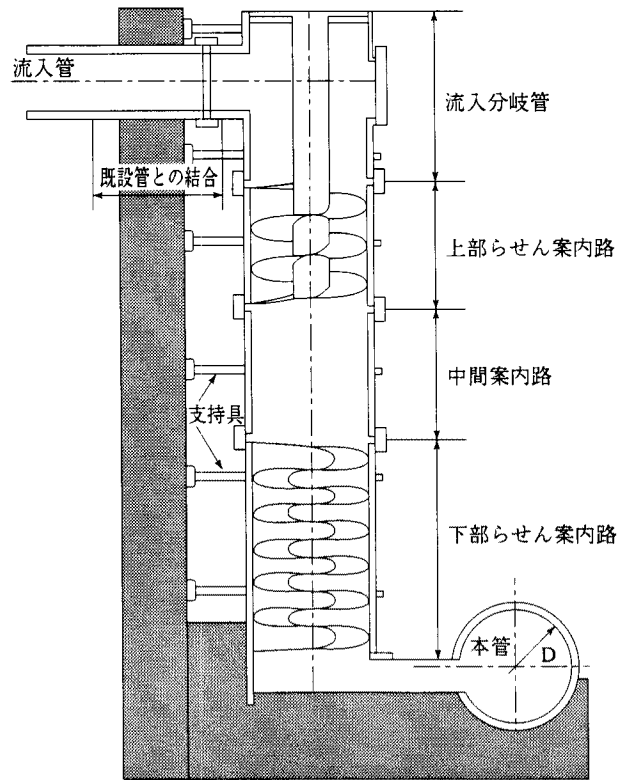


図-2 ドロップシャフト概略構造図

- (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-3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な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
- (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。
- (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。

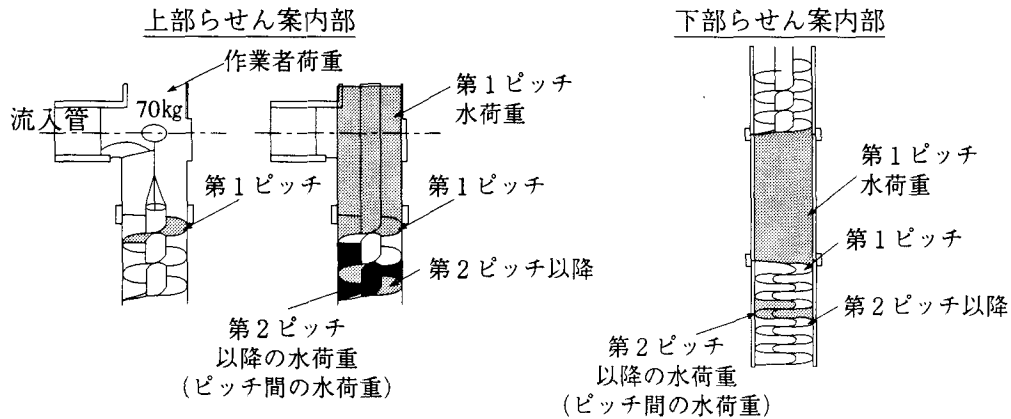


図-3 らせん案内板に作用する荷重

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	最上部第1ピッチ	流入分岐管部の水荷重 作業員 (70kgf) が中心円筒上に足をかけた時の集中荷重
	第2ピッチ以降	らせん案内路ピッチ分の水荷重
下部らせん案内板	最上部第1ピッチ	中間案内路分の水荷重
	第2ピッチ以降	らせん案内路ピッチ分の水荷重

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。

3. 管材の検討

3.1 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の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。

3.2 摩耗試験

(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）
 - ・鉄筋コンクリート管（ヒューム管）
 - ・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-4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-3に示す6種類である。

図-4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-5に示す。

表-3 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

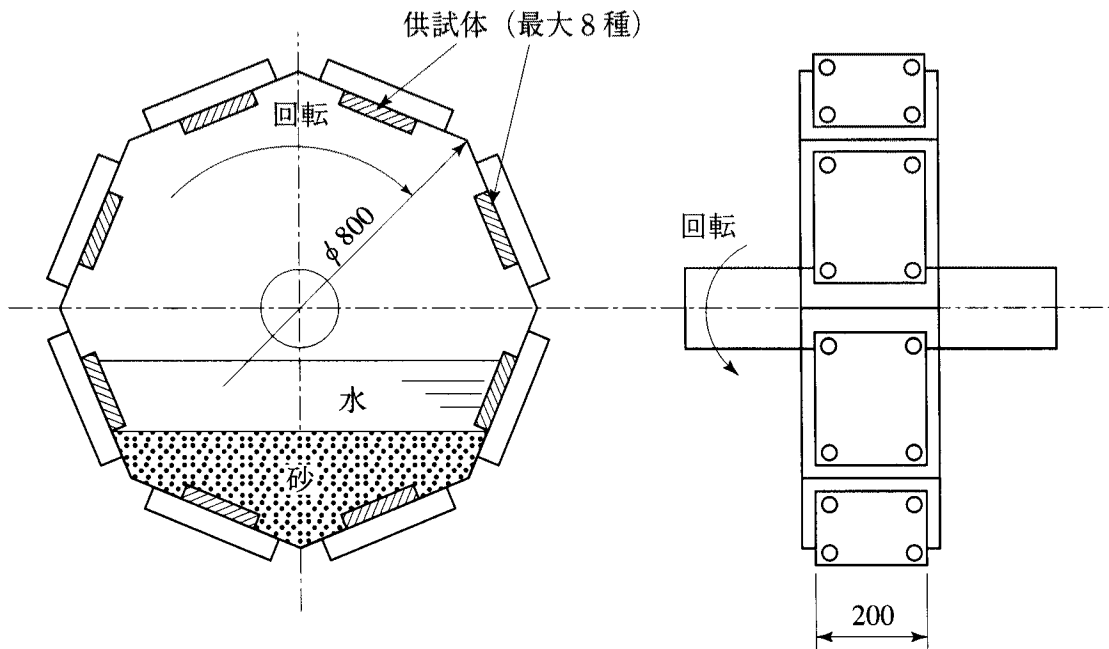


図-4 回転ドラム式摩耗試験機概要図

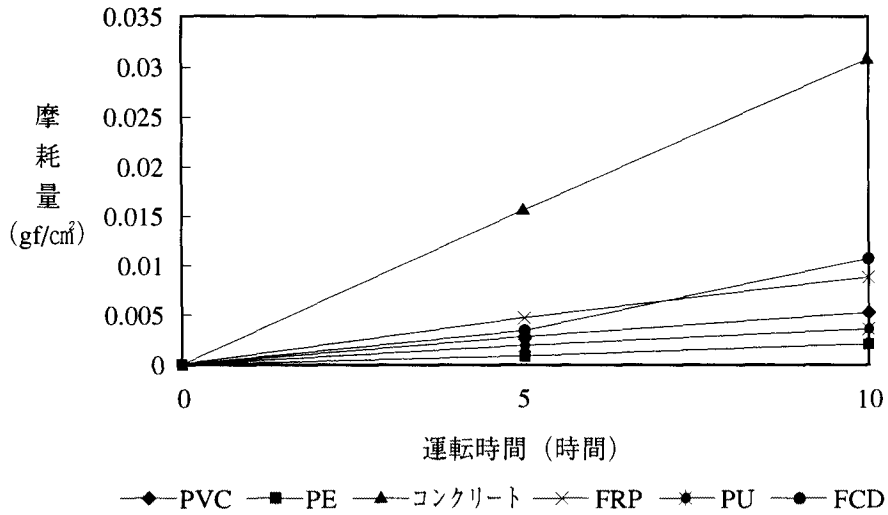


図-5 摩耗試験結果

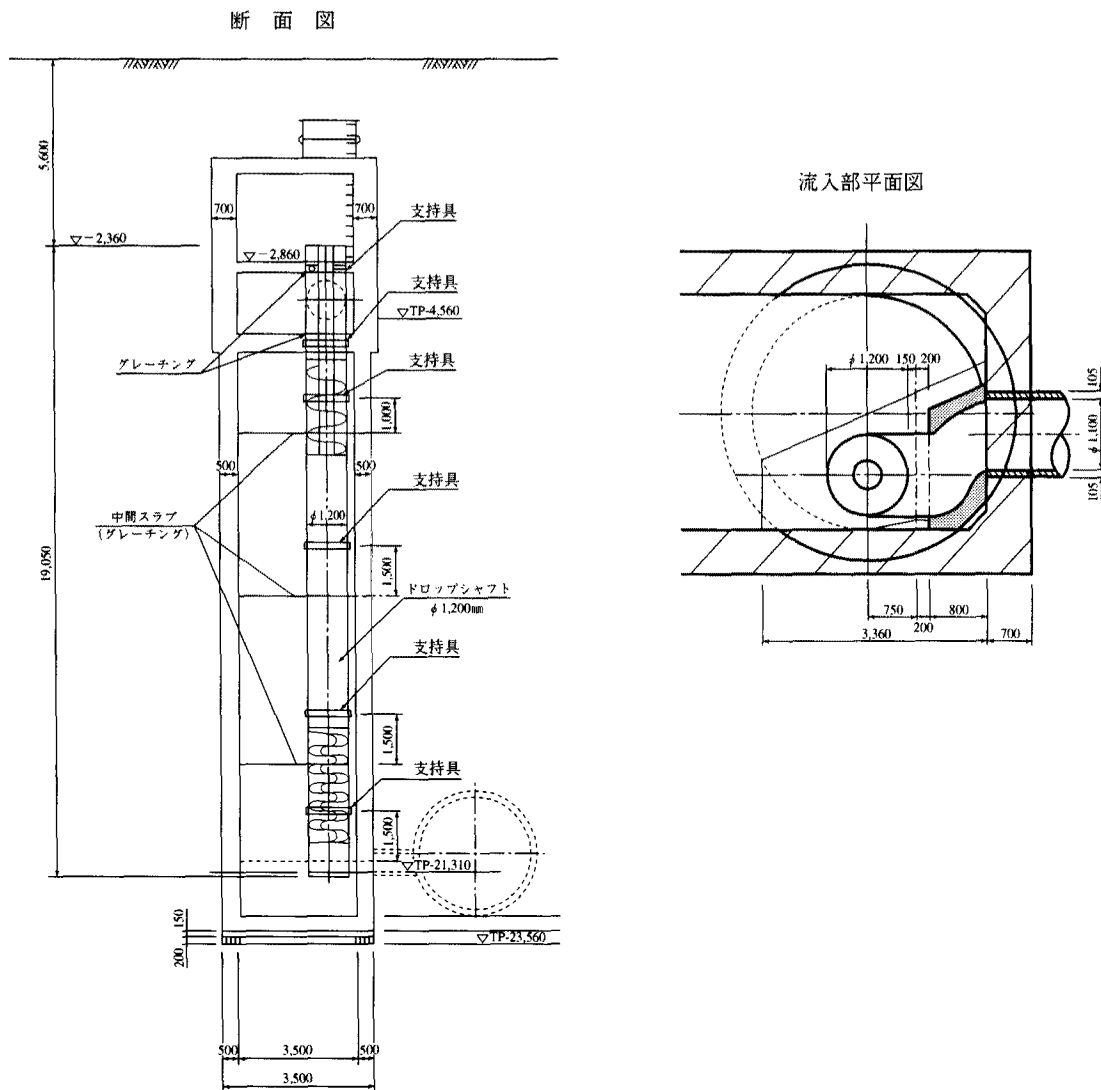


図-6 ドロップシャフト一般図

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-5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、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、本実験も同様の傾向となった。

(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、6 m/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、下水汚泥中に含まれる砂の量は1,000 m³あたり0.02 m³程度とされている。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。

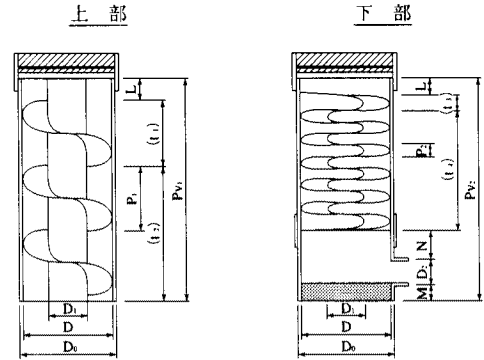
以上の仮定のもとに、常時通水しているものとして50年後の強化プラスチック複合管と塩化ビニル管の摩耗量を推定すると以下の通りとなる。

- 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3 mm程度増肉しておけば、摩耗に対しては十分耐えうるものと考えられる。

4. ドロップシャフトの設計

ドロップシャフトの取付け位置、構造、材料を考慮して、設計を行った。ドロップシャフトの一般図を図-6に、らせん案内路の詳細寸法を図-7に示す。



D	D ₁	D ₂	L	M	N	P ₁	P ₂	P _{v1}	P _{v2}	案内路肉厚			
										t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
1,200	1,246	427	600	100	100	380	580	3,040	4,580	16.5	16.5	9.5	8.0

図-7 らせん案内路詳細寸法

5. おわりに

東品川幹線に計画されている特殊人孔は、既にドロップシャフトの設置が完了し大幅な工期短縮・コスト削減がはかられた。また環境保全、構造、維持管理面から見た問題点をかなり解決することができるものと思われる。

これからも研究を進め、高落差工施設の設計手法を確立していく。

●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