

溜池幹線における超高落差 ドロップシャフトに関する 調査研究

1. 背景および目的

1.1 背景

東京都は溜池幹線における2本の人孔（清水谷人孔・119人孔）にドロップシャフトを計画している。これらのドロップシャフトは、一つは高落差約46mと、もう一つは計画水量 $6.6\text{m}^3/\text{s}$ であるが、このような超高落差・大容量のものは過去の事例がなく、現在の設計手法を用いることが困難である。

1.2 目的

（財）下水道新技術推進機構では、らせん案内路式ドロップシャフト（以下の文中ではドロップシャフトと略する）の設計資料(案)をまとめているが、溜池幹線に計画中の2本のドロップシャフトにおいて、流量と落下距離が資料の範囲を超える。このため本研究では、以下の諸元を水理模型実験により定めることを目的とする。

(1) 上部案内路

- ① 流入管が管路流とならない上部案内板の位置を定める。

(2) 中間案内路

渦流の形成を確保する。

(3) 下部案内路

- ① 下部案内板第1ピッチに作用する圧力を把握し、案内板の肉厚や材質を定める。
② 落下水が立坑底部に作用する圧力を把握し、

構造物の安全性を検証する。

- ③ 貯留管への空気連行量を把握する。

2. 諸言

ドロップシャフトの諸言を以下に示す。

	清水谷人孔	119人孔
計画流量	$3.0\text{m}^3/\text{s}$	$6.6\text{m}^3/\text{s}$
落差高	約46m	約32m
内径	1,650mm	2,400mm
流入管	1,000mm	1,800mm
流出管	900mm	1,200mm

3. 水理模型実験概要

3.1 模型概要

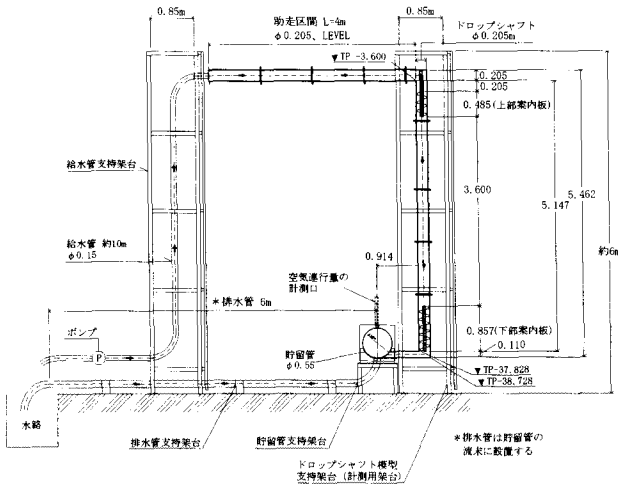
次頁に模型概要図を示す。

3.2 実験条件

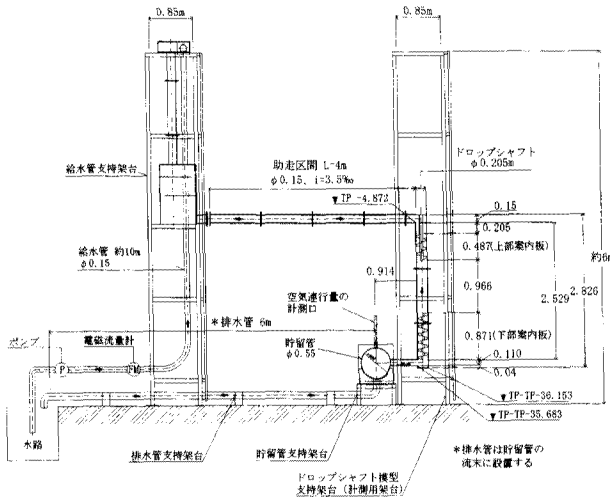
(1) 流量

流量は以下の4条件で検討を行う。

流 量	
計画流量以下	0.2Q, 0.5Q
計 画 流 量	1.0Q
計 画 流 量	1.2Q



清水谷人孔模型概要図



119人孔模型概要図

(2) 流入落差

流入管からの流れを阻害して圧力管にならないよう、流入部落差は、ドロップシャフトの内径 (D) を基準に次の3つの落差高さを検討の基本条件とする。

1D・1.5D・2Dについて行う。

(3) 中間案内路

1) 渦流の形成

落下水脈の流況を把握して、渦流の形成について検討を行う。

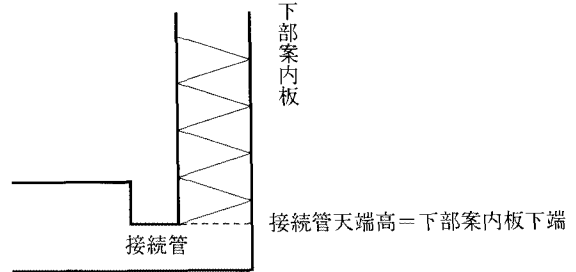
2) 壁面への作用圧および流速

中間案内路を流下する流速および壁面への作用圧を計測し、キャビテーションの発生について検討する。

(4) 下部案内路

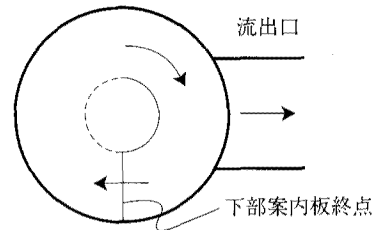
1) 下部案内板設置位置

下部案内板の設置位置は、既往実験より接続管天端位置と案内板下端位置が合致する位置にする。



2) 案内板の間隔、回転数等

下部案内板の間隔、回転数は、平成10年度合流式下水道に導入する高落差工の標準化に係る共同研究その4報告書平成11年3月」に準じて初期条件とする。また、下部案内板終点は、流出口と逆向きになる点とする。



4. 検討項目および水理模型実験結果

清水谷人孔・119人孔の検討項目および実験結果について述べる。

4.1 清水谷人孔について

清水谷のドロップシャフトの概略図を次頁に示す。

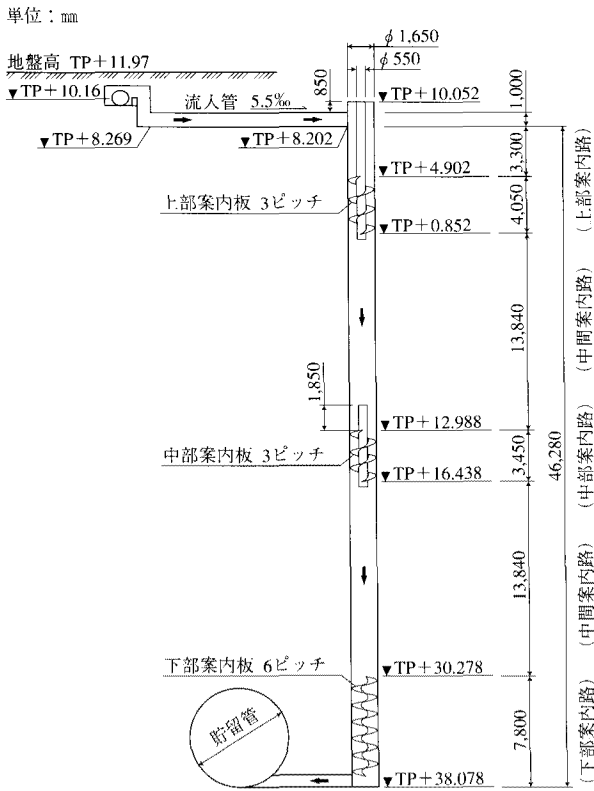
(1) 流入部落差

流入部落差を決めるにあたって、以下の項目に留意した。

- ① ドロップシャフトへの流入水は圧力水頭が加わった状態になると、水位が急速に上昇するため、流入管内への背水の影響を最小限に抑制する。
- ② 計画流量、超過流量時に上部案内路で渦流が形成できる。

流入管への背水の影響について

流入管への背水の影響について



清水谷人孔 ドロップシャフト概略図

案内板を設置することによる流入管への背水の影響を軽減するため、流入落差を1D, 2Dについて圧力水頭を計測した。

図-1の動水位比較表をみると、計画流量 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ において1Dのときは、ドロップシャフト接合部からの距離が1.8mを越えたところから、圧力水頭は全て管頂高を越え始めている。これに対して2Dのときは、圧力水頭は全て管頂高以内に収まっている。

よって、流入管の動水位比較結果より、流入落差は2Dとした。

(2) 中間案内路

中部案内板を設置するか否かについては、以下の項目に留意し検討を行った。

- ① 渦流の形成
- ② 壁面への作用圧
- ③ 流速

1) 渦流の形成について

上部案内路から放出された落下水脈の流況を把握して、渦流の形成について検討を行う。その流況の写真を写真-1に示す。

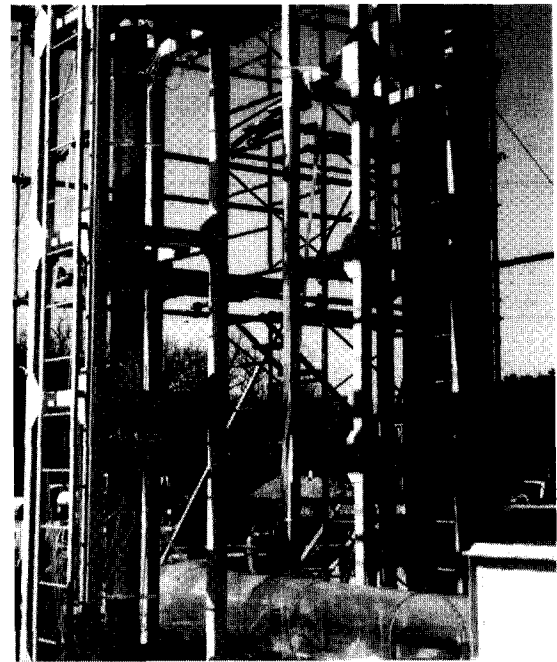


写真-1 中間案内路の流況

・中部案内板を設置しないとき

中間案内路途中から渦流が消滅して壁面に沿った落下流となった。

・中部案内板を設置したとき

渦流が消滅した原因は、中間案内路の距離が標準値の2倍以上となる約31mと、長いことが原因していることから中間案内路の距離を短くすべく、中部案内板を設置した。

その結果、上部案内路から放出された落下水脈は、中部案内板により渦流が再形成され、

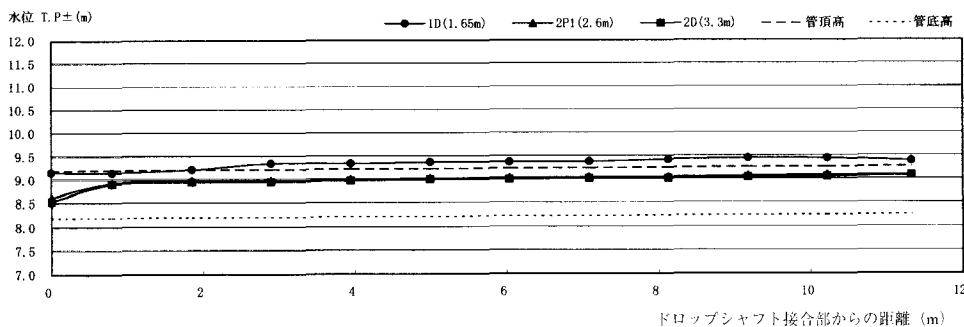


図-1 動水位比較表

らせん形状で下部案内路へ流入した。

2) 壁面への作用圧及び流速

中部案内板を設置しない場合には、落下流の流速は約13m/sであった。また、壁面への作用圧は遠心力による管渠外側への作用圧が減少して負圧を発生した。一般に、高速水流が壁面に接する流れでは、管渠壁面への作用圧は正圧であることが望ましいことから中部案内板を設置し壁面への作用圧を計測した。

中部案内板より下の断面 (TP-26.838m) での壁面作用圧を計測した結果は次のとおりである。

	中部案内板を設置する	中部案内板を設置しない
計画流量	0.032~0.161	-0.056~-0.169
超過流量	0.056~0.205	-0.016~-0.137

比較表より中部案内板を設置することにより負圧の発生の抑制ができていていることが分かる。

(3) 中部案内板設置効果

中間案内路に中部案内板を設置した効果について以下にまとめる。

1) 空気連行量について

中部案内板の設置効果を把握するため、上部案内板の流入落差2Dにおいて、中部案内板を設置した場合と設置しない場合の貯留管 (貯留管水深がドライ・5割・8割水深の3パターン) への空気連行量を以下に示す。(空気連行量=流入量に対する空気量の比率%)

中部案内板を設置することで、貯留管への空気連行量は1/4~1/20に低減できた。

上部案内板の 流入落差 2D (9.6m)	流 入 量	
	計画流量	超過流量
中部案内板を 設置しない	3.5~15%	10.1~17.9%
中部案内板を 設置する	0.4~4.3%	0.4~4.2%

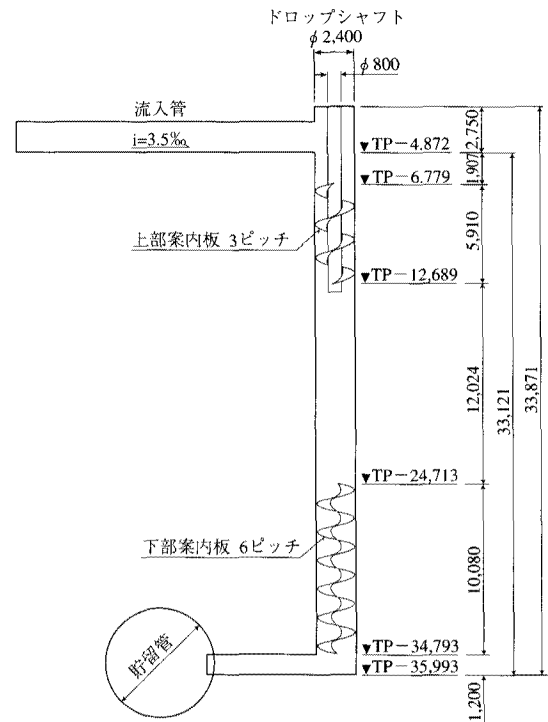
(4) 人孔底板への作用圧

上部、中部、下部の案内板を設置した場合と設置しない場合での底板への作用圧を計測した。

作用圧の最高値は、計画流量の3m³/sでは4.9m、超過流量の3.6m³/sでは6.6mであり、案内板を設置した場合と大差はなかった。

4.2 119人孔について

119人孔ドロップシャフトの概略図を以下に示す。



(1) ガイド板の影響

ガイド板の設置による流入管への影響を把握するため、流入落差1Dにおいてガイド板を設置しない場合と設置する場合について、流入管の動水位を計測して比較した。(図-2)

接続部では動水位の変動が大きくガイド板を設置しない状態の変動値は0.6m程度となるが、設置した

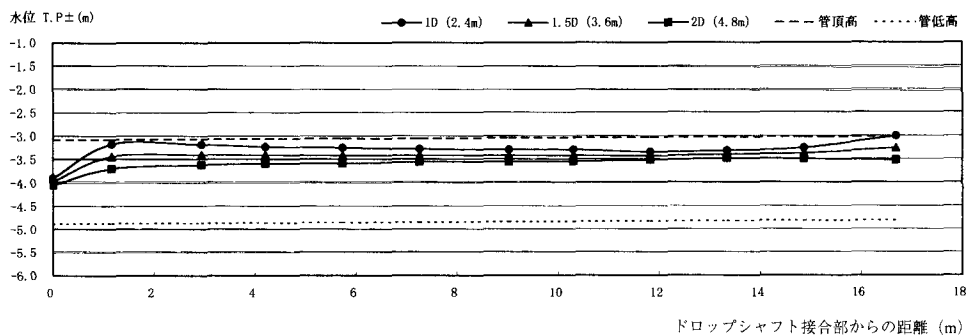


図-2 動水位比較表

状態では0.2m程度となる。よって、上部案内板にガイド板を設置し、流入落差について検討する。

(2) 流入落差

流入落差高の決定にあたって、以下の点について検討を行った。

① 動水位より

計画流量 $6.6\text{m}^3/\text{s}$ では流入管は開水路流が確保でき問題はなかったが、超過流量 $7.9\text{m}^3/\text{s}$ では接続部の流況が不安定であるため、流入落差を1D, 1.5D, 2Dに変化させて、流入管の動水位を比較した。その結果、超過流量1.2Qでは動水位比較表から分かるように、1Dは一部管頂近くまで動水位が上がっていることが分かる。(図-2 動水位比較表)

また、流入落差1.5Dと2Dのいずれの場合も、安定した流況が得られた。よって、流入管の動水位からは流入落差は1.5D以上必要であることが分かった。

② 壁面の作用圧より

中間案内路の位置において、壁面の作用圧の計測を行った。

上部案内板の 流入落差	計画流量 $3.0\text{m}^3/\text{s}$	超過流量 $3.6\text{m}^3/\text{s}$
1D (2.4m)	0.184~0.394	0.313~0.535
1.5D (3.6m)	0.281~0.456	0.374~0.588
2D (4.8m)	0.360~0.549	0.436~0.642

上記の比較表から分かるように、全て正圧となっていることが確認できた。

③ 人孔底板への作用圧より

流入落差ごとに底板への作用圧を計測して比較を行った。作用圧の最高値は、上部案内板の流入落差1D, 1.5D, 2Dに関係なく、計画流量の $6.6\text{m}^3/\text{s}$ では約6m, 超過流量の $7.9\text{m}^3/\text{s}$ では約8mである。

上部案内板の 流入落差	流 入 量	
	計画流量 $6.6\text{m}^3/\text{s}$	超過流量 $7.9\text{m}^3/\text{s}$
1D (9.6m)	0.880~6.488	1.184~8.361
1.5D (9.6m)	0.879~6.468	1.183~8.379
2DD (9.6m)	0.882~6.468	1.183~8.380

底板への作用圧の比較表

よって、①から③までの検討より、上部案内路の落差高は1.5D, そして、中間案内板は必要でないことが分かった。

5. まとめ

溜池幹線におけるドロップシャフトの諸元を定める水理模型実験では、従来の落下距離の2倍を超える清水谷人孔と、流量が3倍を越える119人孔について実験を行った。その結果、今回清水谷人孔では上部下部の案内板に加え、中部案内板を設置することでドロップシャフトを安定した流況で流下させることが分かった。しかし、どれくらいの落差高において中部案内板を必要とするのかは、現段階のところでは把握できなかった。よって今後は、このような高落差のドロップシャフトの実験データを収集し、設計範囲が広がるよう取りまとめていきたい。

●この研究に関するお問い合わせは 事務局次長 鈴木 茂
技術部事業課長 松本 征
技術部主任研究員 打田 健二
技術部研究員 折田 一智