

熱海市における急勾配管渠および らせん案内路式ドロップシャフト の構造に関する調査研究

1. はじめに

熱海市では、汚水幹線下流部から中継ポンプ場に接続をするための管渠（計画流量 $0.143\text{m}^3/\text{s}$ ）を計画している。この区間は、総延長 140m 、高低差約 44m であり勾配が非常に大きな地形となっている。

また、中継ポンプ場に接続する手前部分の汚水幹線は、勾配が約 1700% ・流速が $10\text{mm}/\text{s}$ 以上の急勾配管渠となっており、従来の設計手法を用いると、工事費がかさむばかりでなく長期に亘る工事期間を要する。

よってこれらの問題を解決すべく、最適な急勾配下水道施設対策について検討を行った。

2. 地形概要

国道135号線からポンプ場までの管渠の特徴は、道路幅員は約 3.0m と狭く大型重機による施工は困難である。また、ポンプ場西側の地形は急傾斜（約 10m ・落差 20m 法勾配 $1:0.5$ 程の崖）となっている。このため可能な限り掘削深さを浅くする手法を選択する必要がある。

3. 目的

前述のとおり管渠計画となっているため、本研究は急勾配管渠とらせん案内路式ドロップシャフト

を組み合わせた手法を採用することとした。

しかし、既往の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）の事例では、ドロップシャフトに接続する管路の流れは、常流で流入させるのが基本的な考え方となっているが、本計画では高速流の射流をドロップシャフトに流入させるため、高速流の流入に対するドロップシャフトの呑み口形状および流入管との接続位置の検討が必要となる。

よって、本研究は水理模型実験よりこのような高速流の流入に対応する最適な形状・構造の決定を行うことを目的とする。

4. ルート検討

本検討では、国道135号線からポンプ場へ流入させるまでのルートの検討を行った。図-1にルート平面図を示す。

管渠の最小曲線半径は、今までの知見から $R=15*D$ （ R ：曲線半径， D ：管径）とした。

- ① ケース1
 - ・最短ルートでポンプ場に流入させる。ポンプ場内に1箇所ドロップシャフトを設置し1回で高落差処理を行う。
- ② ケース2
 - ・ポンプ場北西の崖部をさげ多段式にドロップシャフトを用いるルートである。
- ③ ケース3

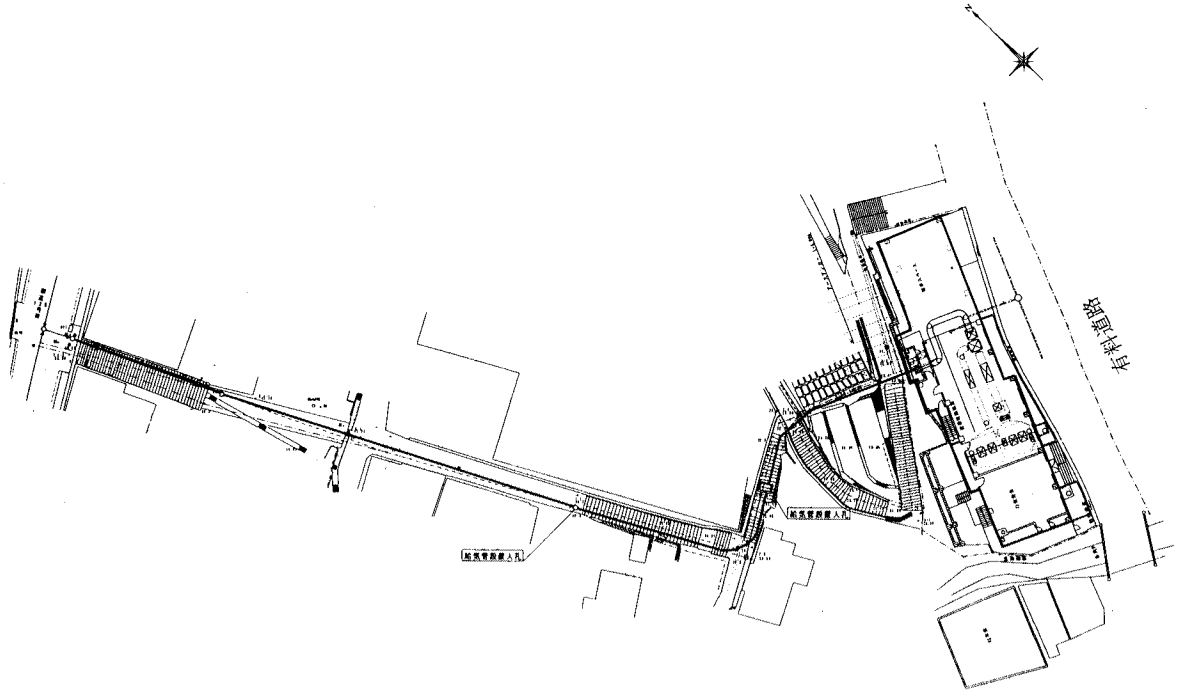


図-1 ルート平面図

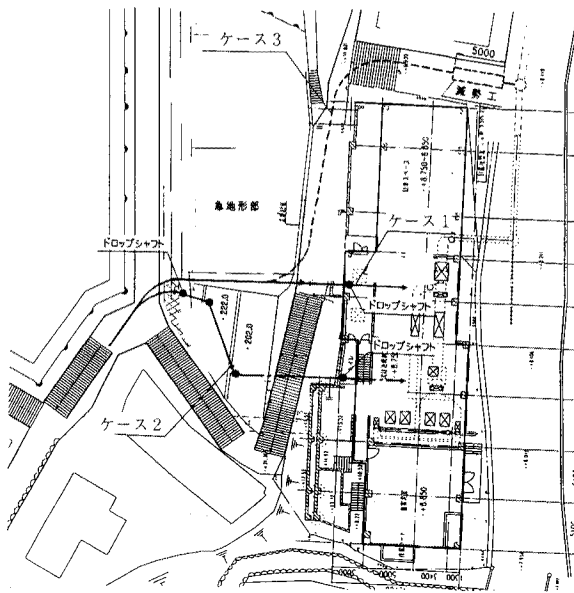


図-2 ルート拡大平面図

・施行実績の多い跳水型減勢工を設けることによって急勾配管渠対応を行う。

以下の3項目について各ケースの検討を行った。

(1) 維持管理

ケース1および2は、ドロップシャフトを使用した計画であり、維持管理上特に留意事項はない。また、ケース3は減勢工施設前の管渠の曲線部に、水理特性の問題が懸念される。

(2) 周辺環境への配慮

ケース1は、ポンプ場内にドロップシャフトを設置するため景観上・臭気・騒音等が一番問題が少ない。

(3) 施工性

ケース1は3案中一番施工が容易である。ケース2は多段式にドロップシャフトを設置するため最下流では土被りが深くなり、推進工法の施工が必要となる。

ケース3はアースアンカー等の埋設物の制約があり、施工が困難である。

以上より、施工性、維持管理、水理特性等を考慮し、ケース1を採用した。

5. 管渠施設の検討

5.1 管種

管種の選定に当たって、次の点に注意して決定した。

- ・施工が容易なこと
- ・高流速での流下となるので、摩耗に強いものとする
- ・耐薬品性、耐腐食性の管渠が望ましい
- ・曲線の布設となるヶ所があるので、可とう性の高い管が望ましい

以上の4点を考えると次の4種類の管が考えられる。

強化プラスチック複合管、硬質塩化ビニール管、高

耐圧ポリエチレン管、高密度ポリエチレン管。

可とう性に優れているのは高密度ポリエチレン管である。

5.2 管径の設定

計画している管渠は、延長約140m、高低差約44mの急傾斜地に布設するため、高速射流となり水脈の乱れや空気の混入が考えられる。よって空気混入と小口径管渠の余裕を考慮して $4*Q$ (計画流量)の流下能力をもつ管径300と決定した。以下に余裕率についての考え方を記述する。

(1) 空気混入より

高速射流による空気の気泡への取り込みが生じ、水脈断面が増加される。この空気混入による水脈断面の増加量については「キャンベルガイドン式」、「ガメンスキーの式」、「ダム放流設備の主ゲート下流の整流管の水理特性」等のように数々の実験式があるが、ここでは建設省土木研究所の実験結果に準拠して「ダム放流設備の主ゲート下流の整流管の水理特性」の式を採用した。本件の条件より算出し空気混入率を対象流量の100%とした。

(2) 余裕率より

管渠断面は、下水道施設計画・設計指針と解説に計画時間最大汚水量に対して、小口径管渠 ($\phi 200 \sim 600$) は約100%の余裕を見込むとあるので、100%の余裕を見ることとする。

6. 水理模型の実験

ドロップシャフトへの流入が高流速のため、ドロップシャフトの壁面に当たる作用圧が高く、跳ね上がり水脈等が発生すると考えられる。よって、これらを緩和させるために、水理模型実験を行い流況を把握し、実施設の建設に最適な諸元を求めることを目的とする。

6.1 相似則と模型縮尺

本実験での水理現象は、重力の影響が大きいのでフルード相似則に基づいた縮尺模型を用いる。模型縮尺は、基本設備、模型規模、測定精度、実験のし易さ等を勘案して、長さ縮尺 $L=1/2.966$ とした。

6.2 模型の再現範囲および構造

- ①流入管：流況の安定化を図るため、管径の20倍となるように設定した。実物長にて約6m
- ②ドロップシャフト：全体の流況を把握のため全体の再現

- ③構造：流況観察の便宜を図りドロップシャフト、上下流管渠の模型構造は透明アクリル製、開水路は木製とする。

6.3 測定方法

- ①水位：1/10mm読みポイントゲージ、1mm読みスケール
- ②圧力：静水圧(ピエゾメータ、水柱マノメータ)、動水圧(圧力ゲージ)
- ③流量：電磁流量計
- ④流速：電磁流速計、プロペラ式流速計
- ④流況：水流に色素を投入し35mmカラー写真、ビデオに記録

7. 実験結果

7.1 上部案内路ガイド板の設置位置

当財団の設計資料(案)では、ガイド板の設置位置は基本的には上流管の管軸方向に垂直に設置することとなっている。標準仕様でガイド板を設置し、流況を確認したところ、ドロップシャフトへ流入する水脈は、高流速のためドロップシャフトの内壁に衝突し、ガイド板にあたり上下方向に拡散・飛散した。

また、ガイド板を管軸方向に平行に設置し、流況を確認したところ、前者に比べこの飛散した跳ね上がり水脈の値は、約20cm低くなった。よって、ガイド板の設置位置は管軸方向に平行に(図-3参照)設置することとした。

7.2 ドロップシャフト流入部の検討

流入管の設置位置は、設計資料(案)によると流入管の管軸とドロップシャフトの中心軸は同一線上に設置することとなっている。しかし、設計資料(案)どおりに設置したところ、前述のガイド板設置位置の検討と同じ流況がみられた。

よって、このような流況を改善すべくドロップシャフト流入部の改良の検討を行った。
(改良その1)

設計資料(案)に準じた流入管の設置位置においては、ドロップシャフト壁面や中心筒に衝突した水脈は、高流速のためらせんに沿って流入できず、跳ね上がりを生じた。

よって、流入管の設置位置をドロップシャフト接線方向に接続し、流況の確認を行ったところ水脈はドロップシャフトに沿って流入することができた。しかし、跳ね上がりの現象は改善されたが、解消さ

れなかった。よって、改良その2に示すように流入口にデフレクターを設置し、流況を検討した。
(改良その2)

水脈は外壁に沿って流入させることができたが、依然跳ね上がりが生じていた。流況から判断して、流入水脈をよりドロップシャフトの壁面に沿って流入させることが望ましいと考え、デフレクターを図-3に示すとおり設置し、流入管の集中水脈を強制的にドロップシャフトの壁面に沿えるように設置した。

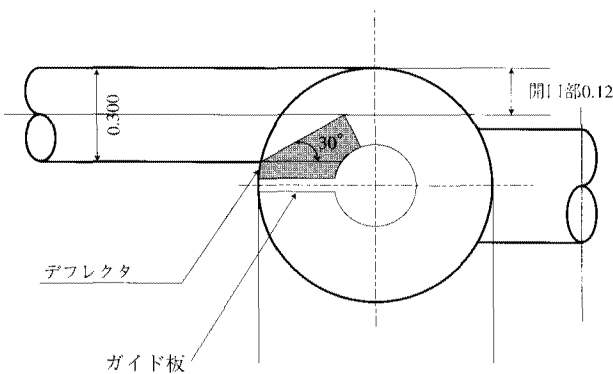


図-3 デフレクター模型平面図

流況をみると、上流管より流入した水脈はデフレクターにより外側に沿うように流向を変え、回転しながら流下する。デフレクターなしと比較して下向きに主流が向くため、跳ね上がりが少なくなった。また、計画流量0.143m³/sのときの跳ね上がり最高水位は11.0mであった。

デフレクター有無のときについて、ドロップシャフト壁面の作用圧の比較表を表-1に示す。

表-1 作用圧比較表

	作用圧 (m)		低減率 (%)
	デフレクター付き	デフレクターなし	
計画流量1 Q (0.143m³/s)	3.203	4.894	62
計画流量2 Q (0.286m³/s)	3.871	6.199	62

比較表より、ドロップシャフトに作用する圧力はデフレクターを設置しない状況に比べて約60.%削減できた。

そのときの流況の写真を写真-1に示す。

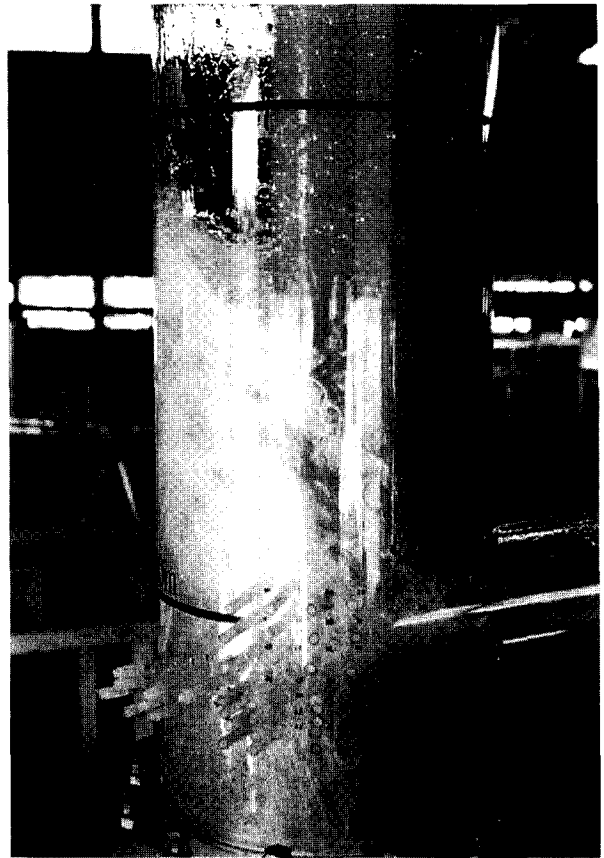


写真-1 跳ね上がり部

(改良その3)

流入管をドロップシャフト接続方向で接続し、渦流を強制的に発生させることにより跳ね上がりを抑制できることが分かったが、維持管理・施工性を考えて更に改良を検討した。

図-4, 5, に模型図を示すように改良点は、水脈を渦流形状にするために、流入管の下流端を矩形として漸縮させながらドロップシャフトに接続方向に流入させることとした。また、夾雑物によるドロップシャフト流入部の閉塞が考えられるので、矩形部の最終部を二段式とし、維持管理を考慮し、水路高さを垂直に上げた。

(2) 流入部形状の検討結果

- ① 急勾配管路から矩形渠に至る高速流の流れは、管路および矩形渠の底面に沿って安定した状態で流下している。(写真-2) また、管路と矩形渠の接続は矩形渠の水路幅0.3mにしたことにより、(写真-3) 矩形渠の側壁が管渠の外接となるため、写真-4に示されるように流

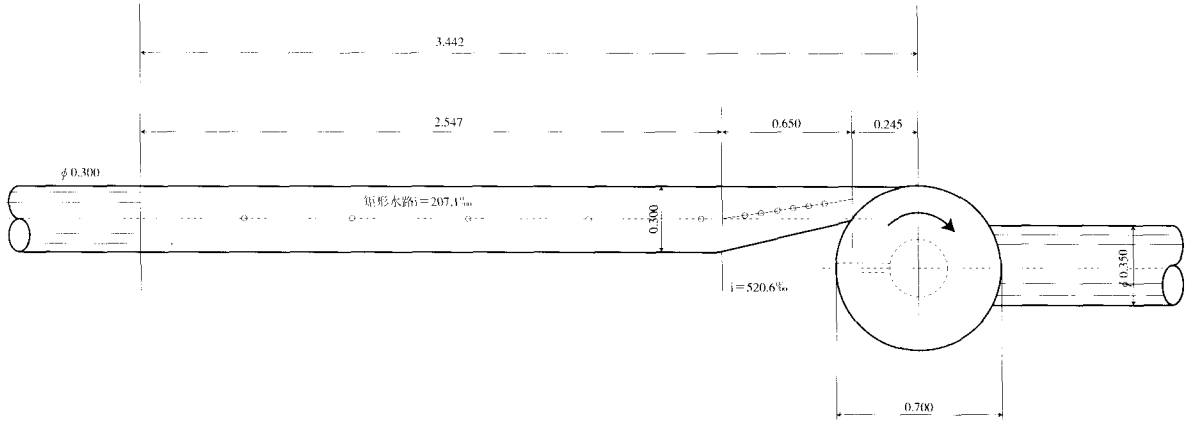


図-4 漸縮平面図

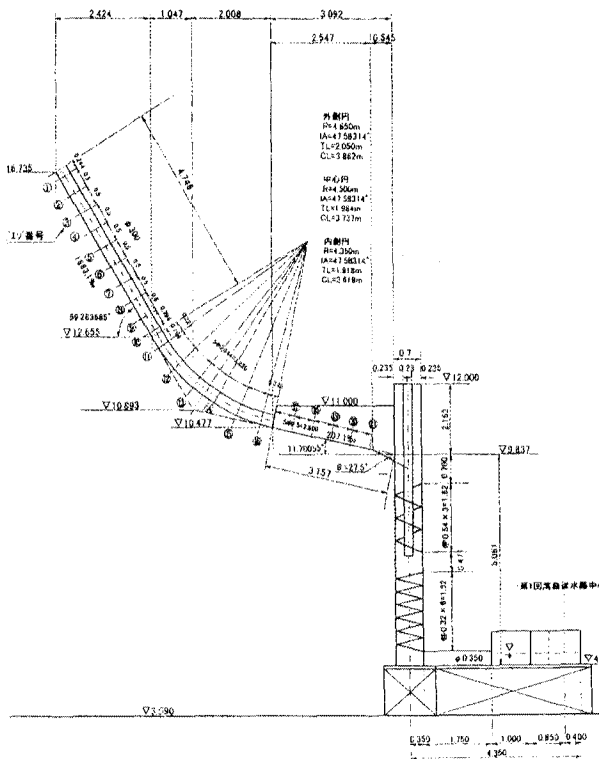


図-5 漸縮断面図

況的には問題なくスムーズな拡散が行われる。

また、計画流量 $0.143\text{m}^3/\text{s}$ のときの跳ね上がり最高水位は 10.4m で、渦流最高水位は 10.37m 。超過流量 $0.286\text{m}^3/\text{s}$ のときは、跳ね上がり最高水位は 10.86m 、渦流最高水位は 10.45m と計測された。

デフレクターを設置しているときに較べると、水位が低くなっていることが分かる。

- ② また、漸縮水路底部の縦断形状（ 27.5 度）と自由落下を比較した場合、縦断形状は自由落下

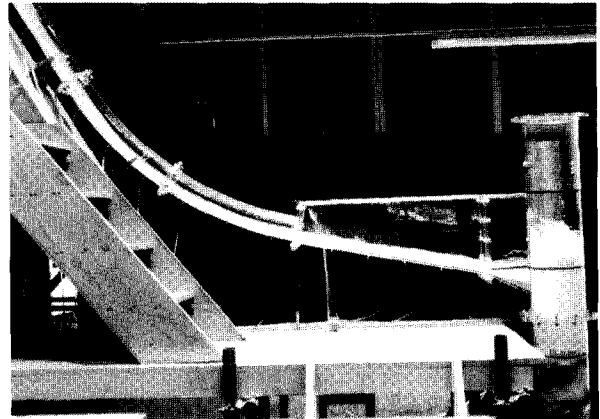


写真-2

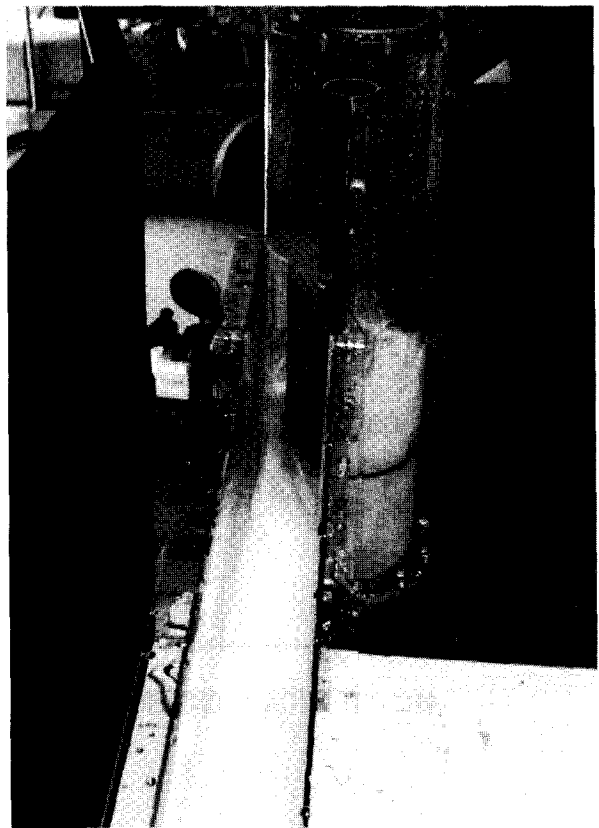


写真-3

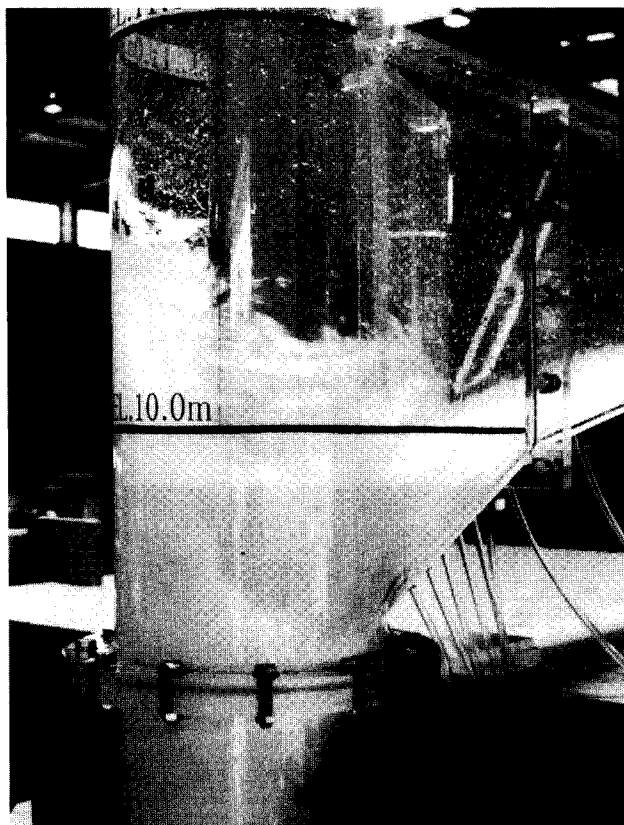


写真-4 流況写真

表-2 作用圧

	作用圧 (m)
計画流量 1 Q (0.143m ³ /s)	-0.08
計画流量 2 Q (0.286m ³ /s)	-0.19

曲線より下方に位置するため、高流速の水脈は水路底面からはく離れた。確認のため水路底面の作用圧を測定した。作用圧の測定結果を表-2に示す。

測定結果より負圧の発生が見られたので、漸縮部水路の勾配を水脈がはく離しないよう漸縮部水路の角度を調整した結果、水脈は漸縮部水路底面に沿った流況となり、かつ負圧は見られなくなった。しか

し、水脈の跳ね上がり削減効果が最初の27.5度のときと較べるとなくなった。

よって、負圧は小さいため、跳ね上がり削減効果を優先させ漸縮水路部の角度を27.5度と決めた。

7.3 ドロップシャフト壁面の作用圧

ドロップシャフト壁面の最大作用圧力 (m) の比較と作用圧の低減率を表-3に示す。かっこ内は低減効果を示す。

表-3 最大作用圧力 (m)

	その1	その2	その3
計画流量 1 Q (0.143m ³ /s)	4.894 (1)	3.203 (0.65)	1.679 (0.34)
計画流量 2 Q (0.286m ³ /s)	6.199 (1)	3.871 (0.62)	2.273 (0.37)

最大作用圧の比較表を見ると、計画流量・超過流量ともに一番低減効果が大きかったのは、その3の水路を漸縮させたときだった。以上の結果より壁面への作用圧が低減するとともに、跳ね上がり抑制効果が得られたことが確認できた。

8. まとめ

本研究は過去に事例のない流入速度が10m/sを越える射流でドロップシャフトに流入させる設計資料(案)と違ったケースの研究であったが、ドロップシャフトの流入部の形状を改良し、ドロップシャフトの壁面に沿わせて流入させることで、水流が安定して流下できることが、本実験より確認することができた。

今後、このような特殊事例に対しても実験を行い、さらにドロップシャフトの適用範囲を拡大するような研究を進めていきたい。

●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