

(39) 2方向接合円形落差マンホール部の構造改善に関する実験的研究

IMPROUVEMENT OF TWO-WAY CIRCULAR DROP MANHOLES

荒尾 慎司*, 楠田 哲也**

Shinji Arai*, Tetsuya Kusuda**

ABSTRACT ; The energy loss at manholes is often compared with the friction loss of pipes under surcharge flow. One of the methods to avoid inundation is the reduction in energy loss at storm sewer manholes. The purpose of this study is to develop new types of manhole structure for energy loss reduction. Experiments were carried out by using five types of manhole ; Type A with straight-through pipes as used currently in Japan, Type B with a guide-cover on the invert of Type A, Type C with 90° -bending pipes as also used currently in Japan, Type D with an improved invert profile of Type C, and Type E with full-benching of Type D. The experimental results showed that the energy losses for Types B, D and E considerably decreased than the other Types.

KEYWORDS; Urban storm drainage , manhole , energy loss reduction, invert

1. はじめに

近年、地球環境の急速な変化に伴い世界各地で局地的な集中豪雨が頻繁に発生しており、特に都市部では大きな洪水被害を受けている。我が国では都市部を中心に浸水防除を目的とした下水道施設が整備されており、政令指定都市等の大都市ではその普及率も100%に近い状況にある。しかし、全国平均で見るとやっと56%を超える程度であり、今後は中小都市を中心に整備が進むものと予想される。このように大都市では整備が進んでいるにもかかわらず、資産や人口が集中しているため一度浸水が発生すると都市機能がマヒし甚大な被害が生じており、既設管路だけでは予測される地球環境の変化には今後対応できないような状況になりつつある。したがって、今後既設管路の補修や新規に管路を敷設する際には現行の設計手法に新しい考え方を導入する必要がある。下水道施設の中でマンホールは管路の接合点や口径が変わる地点におかれるものであり、その役割は維持管理を行う場所を与え、上流側から下流側へ流れを円滑に引き継ぐことにある¹⁾。しかし、雨水管路の設計流量を超える降水が発生した場合や放流先河川、海等の影響で雨水管路の水位がせき上げられるような場合には、雨水管路は圧力管路流れとなるため、マンホールで発生するエネルギー損失がマンホール水位の上昇をもたらし、いわゆる都市型浸水の発生原因のひとつになっていると考えられる^{2), 3), 4), 5), 6), 7)}。この浸水被害を軽減する手法のひとつとして資産の少ない上流域で意図的に滞水させ、流域全体の総被害額を軽減させるような手法も考えられるが、望ましくないエネルギー損失は極力小さくすることにしたい。そのためには、マンホール部のエネルギー損失を極力軽減させ、管路の上流側から下流側へ雨水をスムーズに流下させる必要がある。近年、社会基盤施設の建設コストや維持管理コスト削減のための取組みが多方面でなされている。雨水管路に関しても、維持管理用のロボットシステムが開発され、人間が直接マンホールや管路内に入る必要が

*九州共立大学工学部土木工学科 (Department of Civil Engineering, Kyushu Kyoritsu University)

**九州大学大学院工学研究科都市環境システム工学専攻 (Department of Urban & Environmental Engineering, Kyushu University)

なくなっているため、マンホール数を減らし従来のものよりも管長を長くできるようになっている。しかし、管長を長くするためには既設マンホールを取り除きマンホールの上流管と下流管を接続しなければならず、これには莫大な費用が必要である。マンホールは管路の維持管理や排気等の目的の他に雨水の貯留効果も有していることから必ずしもマンホールを取り除くことが最良の案とは言い難い。そこで、著者らは既設マンホールをそのまま利用することに着目し、上・下流管の水平面接合角度を180度とした2方向接合円形落差マンホールにおいてマンホールでのエネルギー損失を軽減するために、マンホール出口上半分の形状をベルマウス型に改善したり、マンホール底面のインパートの深さを下流管頂付近まで深くする等の工夫を加えてきた。この改善によりマンホール部のエネルギー損失をかなり軽減しえることが明らかになっている⁸⁾。しかし、この改善案においてもマンホール内の水深によっては損失係数が局所的に増大するところも見られたため、検討の余地が残されている。そこで、本論文では180度接合円形落差マンホールにおいて、従来の改善案とは異なり、マンホール底面のインパートの足のせ部に排気用の穴を設けたガイドカバーを取り付けることによりマンホール部のエネルギー損失の軽減効果について検討を加える。これにより、マンホール水深によらず損失係数は一定となり、しかも従来の改善案よりもさらに損失係数は減少すると予想される。ガイドカバーを取り付けた研究についてはすでに村上が行っているが、これは上・下流管の水平面接合角度を180度（上・下流管径は同一、管底接合）とし、マンホール径よりも短いガイドカバーを取り付けた場合であり、上・下流管の接合に段差を考慮した検討はなされていない⁹⁾。マンホール内にガイドカバーを取り付けると大型ごみの流下疎外や水の逆流によるガイドカバーの吹き上げ等の障害が起こる可能性もあるが、ここではこのことを無視して取り組むことにする。また、著者らは昨年度、180度接合マンホールよりも大きな損失を生ずる90度接合マンホールにおいてもエネルギー損失の軽減を目的としてインパートをマンホール側壁に沿って配置した新しいマンホール構造を提案し、損失係数がかなり減少することを明らかにしている⁷⁾。しかし、このマンホール形状においてもマンホール内の水深によっては局所的に損失係数が増加するところも見られたため、本論文ではインパートの足のせ部をさらに高くしたマンホール構造についても検討を加える。なお、本論文中には既に報告済みのもの（参考文献7）と8）も一部含まれているが、これは従来の実験結果と比較するためである。

2. 実験装置と方法

2.1 実験装置

マンホール部のエネルギー損失を解明する際にマンホール径比（マンホール内径 b ／管内径 D ）は構造上の重要な要素となっている。現場で用いられている円形マンホールのマンホール径比は一般的に1.25から4.8の範囲にあり、雨水管路網の枝線における $b/D=3.6$ が最も多く利用されている¹⁰⁾。マンホール径比が大きくなるにつれて、マンホール部のエネルギー損失が増加することはよく知られており、増大したエネルギー損失を軽減させることが本研究の目的なので、ここではマンホール径比が比較的大きなものを検討対象としている（後述の表－1参照）。もちろん雨水管路網全体を考えれば、この条件だけでは不十分であり検討の余地は残されている。本研究で用いた実験装置の全体図を図－1（上・下流管の水平面接合角度180度）と図－2（上・下流管の水平面接合角度90度）に示す。実験装置として、上流管長 $L_u=210\text{cm}$ 、 $L_d=105\text{cm}$ 、上流管内径 D_u 、下流管内径 D_d はともに5 cm、マンホール内径 b は180度では9 cm、90度では18cmとする。また、管勾配は水平とする。本実験で用いた5種類のマンホール形状を図－3に示す。図－3のType A（参考文献8）にて報告済み）とType C（参考文献7）にて報告済み）はそれぞれ上・下流管の水平面接合角度を180度、90度として一般的に現場で用いられている2方向接合円形落差マンホール部のマンホール構造を簡単にモデル化したものである。Type B（新型モデル）は180度接合マンホール部のエネルギー損失を軽減するためにType Aのインパートの上にガイドカバーを取り付けたものである。Type D（参考文献7）にて実験結果の一部を報告済み）はType Cのインパートをマンホール側壁に沿って配置したものである。この改善により、上流管からの流入水をType Cよりもかなりスムーズにマンホール出口から流出させることができる。Type E（新型モデル）

マンメータ

上流水槽

上流管 $D_u=5$

マンホール $L_u=210$, $b=9$

下流管 $D_d=3$

インバート

越流水槽

堰

バケツ

流量調節用バルブ

ポンプ

底水槽

(単位: cm)

マンホール

送水用管路

上流水槽

整流板

$L_u = 210$

(単位: cm)

越流水槽

堰

流量調節バルブ

ポンプ

低水槽

$L_d = 105$

$L = 18$

Figure 1 illustrates five types of manhole structures (Type A to Type E) showing plan and cross-sectional views. The structures are designed for different flow conditions and manhole configurations.

- Type A (180度):** Shows a 180-degree manhole structure. The plan view indicates a 9cm horizontal distance from the manhole to the inlet/outlet, a 5cm vertical distance from the bottom of the manhole to the inlet/outlet, and a 0.5cm gap between the manhole and the inlet/outlet. The cross-sectional view shows the water level (h) and the manhole cover (マンホール) with a 9cm diameter. The inlet/outlet pipes have a diameter of 18cm. The manhole cover is labeled 'マンホール' and the inlet/outlet pipes are labeled '上流管' (upstream pipe) and '下流管' (downstream pipe).
- Type B (180度):** Similar to Type A, but with a different internal structure. The cross-sectional view shows the water level (h) and the manhole cover (マンホール) with a 9cm diameter. The inlet/outlet pipes have a diameter of 18cm. The manhole cover is labeled 'マンホール' and the inlet/outlet pipes are labeled '上流管' (upstream pipe) and '下流管' (downstream pipe).
- Type C (90度):** Shows a 90-degree manhole structure. The plan view indicates a 18cm horizontal distance from the manhole to the inlet/outlet, a 5cm vertical distance from the bottom of the manhole to the inlet/outlet, and a 0.5cm gap between the manhole and the inlet/outlet. The cross-sectional view shows the water level (h) and the manhole cover (マンホール) with a 9cm diameter. The inlet/outlet pipes have a diameter of 18cm. The manhole cover is labeled 'マンホール' and the inlet/outlet pipes are labeled '上流管' (upstream pipe) and '下流管' (downstream pipe).
- Type D (90度):** Similar to Type C, but with a different internal structure. The cross-sectional view shows the water level (h) and the manhole cover (マンホール) with a 9cm diameter. The inlet/outlet pipes have a diameter of 18cm. The manhole cover is labeled 'マンホール' and the inlet/outlet pipes are labeled '上流管' (upstream pipe) and '下流管' (downstream pipe).
- Type E (90度):** Similar to Type C, but with a different internal structure. The cross-sectional view shows the water level (h) and the manhole cover (マンホール) with a 9cm diameter. The inlet/outlet pipes have a diameter of 18cm. The manhole cover is labeled 'マンホール' and the inlet/outlet pipes are labeled '上流管' (upstream pipe) and '下流管' (downstream pipe).

The diagrams also include a detailed view of the 'ガイドカバー' (guide cover) and the '排水用の穴' (drainage hole) for the 180-degree structures.

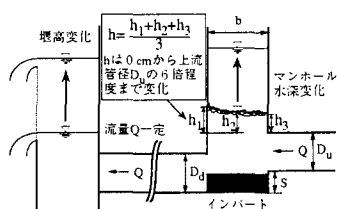
図-3 管路の接合状況とマンホール底面形状

実験方法は以下の通りである。低水槽に貯留した水をポンプにより管路内を循環させた後、流量調節バルブにより所定の流量に設定する。流況安定後、越流水槽からの流出水をバケツで受け、流量を算出する。この際、流量規模に応じて一流量当たり流量測定を4回から10回程度繰り返し、それらの平均値を流量測定値とする。上流管頂（内壁頂部）から水面までの距離をマンホール水深 h （図-4参照）とし、それが所定の水深比 h/D_u （ $0 \leq h/D_u \leq 6$ ）になるように下流管末端部の越流水槽内の堰高を調節する。マンホール水深 h は、180度接合マンホールにおいてはマンホール外壁に取り付けた3箇所の物差しで、90度接合マンホールにおいては4箇所の物差しで測定し、それらの平均値を測定値としている（図-4参照）。マンホール部のエネルギー損失の計測手法は以下の通りである。図-5に示すように上・下流管にそれぞれ3箇所ずつ取り付けたマノメーターによって管内のピエゾ水頭を測定し、その測定値に速度水頭を加えたものからエネルギー線を計算することによりマンホール部のエネルギー損失水頭 ΔE を求める。なお、本研究では上・下流管径を同一としているためエネルギー損失水頭と圧力損失水頭は同じである。また、(1)式によりエネルギー損失係数 K を算定し、それぞれのマンホール形状において得られたものを比較検討する。

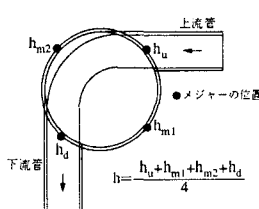
$$K = \Delta E / (V_d^2 / 2g) \quad (1)$$

ここに、 V_d は下流管の断面平均流速、 g は重力加速度である。

以上のように、流量を一定にしながら20種程度のマンホール水深について上記の手順を繰り返す。なお、1つの段差につき流量 Q を0.5、1.0、2.0l/sの3種程度変化させることを基本とし、必要に応じて追加している。



180度（側面図）



90度（平面図）

図4 マンホール水深の測定

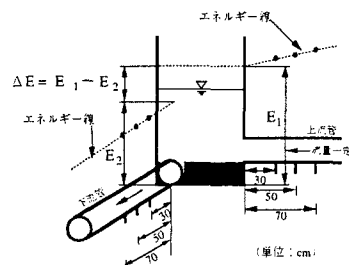


図5 マンホール部のエネルギー損失

本実験では最小流速 V を25cm/s ($Q=0.50$ l/s)、管径 $D_u (=D_d)$ を5cmとしているので、最小流速でのレイノルズ数は約 1.3×10^4 となり、レイノルズ数は十分大きくこの影響をほとんど無視できる。ただし、後述するようにマンホール内の水表面付近にスケールの大きな渦が発生し、マンホール損失がかなり増大することもあるので、この渦の発生に関しては、渦の発生を規定するレイノルズ数の影響は無視できないと思われる。これについては、目視によりマンホール内の流況を観察しているが、流れの様子を詳細に把握することは困難であるため、今後流れを可視化し検討する必要がある。以上のことから、模型で設定した流量は実物と模型の間にフルードの相似則が成り立つと仮定しており、雨水管路の設計基準で定められている流速の範囲0.8～3.0m/sをほぼ満足している（表－1、2参照、表中のpは原型、mは模型を表わしている）。なお、表－1の1号～3号はそれぞれ設計基準で定められている1号マンホール（内径90cm）、2号マンホール（内径120cm）、3号マンホール（内径150cm）を表わしており、原型のマンホール径比 b_p / D_p の値はそれぞれのマンホール号数に接合する管路の中で模型の比率 b_m / D_m に最も近い値を示している。

表－1 模型の縮尺

模型 $\frac{b_m}{D_m}$	原型 $\frac{b_p}{D_p}$			縮尺 λ $\lambda = \frac{D_m}{D_p}$			流速の比率 $\frac{v_m}{v_p} = \sqrt{\lambda}$		
	1号	2号	3号	1号	2号	3号	1号	2号	3号
$\frac{9}{5}=1.8$	$\frac{90}{50}=1.8$	$\frac{120}{70}=1.71$	$\frac{150}{80}=1.88$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{16}$	0.32	0.27	0.25
$\frac{18}{5}=3.6$	$\frac{90}{25}=3.6$	$\frac{120}{35}=3.43$	—	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	—	0.45	0.38	—

表－2 フルードの相似則による流速の範囲

流量 Q_m (l/s)	流速 v_m (m/s)	$v_m = v_p \times \sqrt{\lambda}$ (m/s)	
		$\sqrt{\lambda}=0.25$	$\sqrt{\lambda}=0.45$
0.5	0.26	最小流速 $v_m = 0.8 \times 0.25 = 0.20$	最小流速 $v_m = 0.8 \times 0.45 = 0.36$
1.0	0.51	最大流速 $v_m = 3.0 \times 0.25 = 0.75$	最大流速 $v_m = 3.0 \times 0.45 = 1.35$
1.5	0.76		
2.0	1.02		

3. 実験結果と考察

3.1 Type AとType Bの比較（180度）

ここでは示していないが、段差比 S / D_d が0の場合にインバートの上にガイドカバーを取り付けると、マンホール内で発生する損失はマンホール内径に相当する長さの管路の壁面摩擦損失と同じになるので損失係数は0.1以下になる。したがって、この損失は上・下流管の壁面摩擦損失に比べて無視できるほど小さい。図－6は段差比が0.5のときのType Bでの損失係数の軽減効果を示している。 $Q=0.50$ l/sのとき他の流量に比べて

実験データのばらつきが大きくなっているのは、流量が小さいため他の流量に比べてマノメーターの測定誤差がエネルギー線の勾配算定に大きな影響を及ぼすためである。Q=1.00l/sと2.00l/sでは、ガイドカバーを取り付けたType Bの方がType Aよりも0.6～0.8程度損失係数は減少している。また、Type Bではガイドカバーの効果で、マンホール水深が変化しても損失係数はほとんど変化しない。段差比を1にすると段差が大きくなった分だけいずれのマンホール構造でも損失係数は増加する。段差比0.5に比べて、水深が低いところで損失係数の軽減効果も大きく、Type Aよりも損失係数は0.6～1.3程度減少することがわかる。

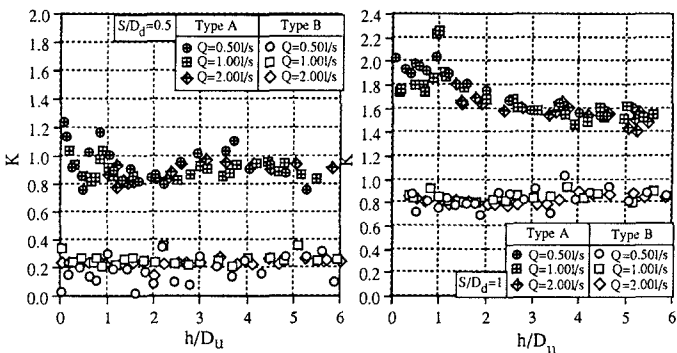


図-6 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 0.5$)

図-7 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 1$)

3.2 Type CとType Dの比較 (90度)

段差比 S/D_d を0、0.5および1としたときのType CとType Dの実験結果の比較をそれぞれ図-9～11 (図-9と10は参考文献7) にて報告済み) に示す。段差比0と0.5では、Type Dの方がType Cよりもエネルギー損失係数 K は0.1～0.8程度小さくなっており、明らかにインパートの改善効果が認められる。Type Dでは、 $Q = 0.50$ l/sと1.00 l/sのとき渦の大きさはロート状の吸い込み渦までには発達していないが常に反時計周りの水表面渦が発生する。 $Q = 2.00$ l/sではいずれの水深でもロート状あるいはそれに近いスケールの大きな渦が発生する (図-8右図参照)。これは、上流管からの流入水がインパート及びマンホール壁に沿ってマンホール内を流下するためである。ロート状の吸い込み渦のスケールは段差、流量及び水深により様々であり、特に段差比が0 (インパートの影響大) で流量が多いほ

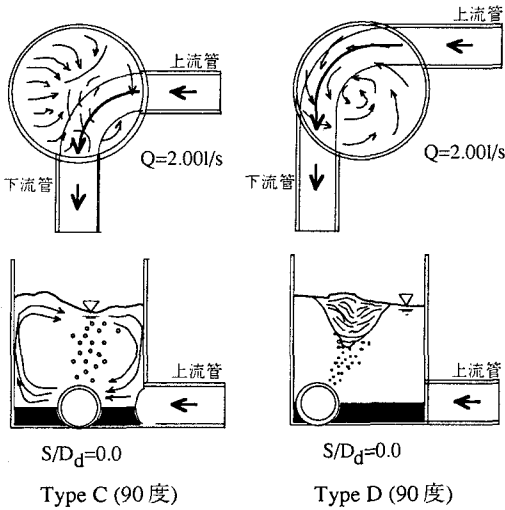


図-8 マンホール内の流況

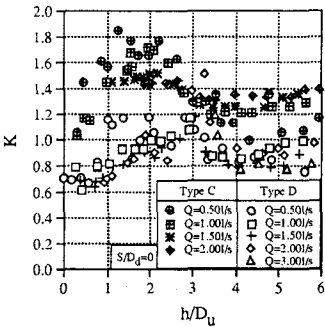


図-9 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 0$)

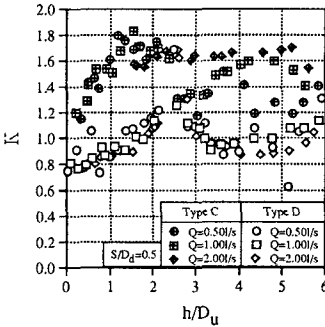


図-10 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 0.5$)

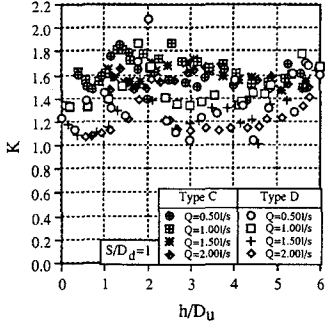


図-11 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 1$)

ど渦のスケールは大きくなる。従来の研究より、マンホール水深によってはスケールの大きな渦の影響でマンホール部のエネルギー損失が増加することが明らかにされているが、Type Cでは段差比0のとき上流管からの流入水の中で上半分の流れはマンホール下流壁へ直接衝突し、流れの持つ運動エネルギーをほとんど失うため、全損失に占めるこの損失の割合はかなり大きいと考えられる。また、マンホール下流壁へ衝突した流れは上昇流となり、水面付近をマンホール上流壁へ移動した後、下降流となってマンホール出口から流出するため、鉛直方向にもスケールの大きな渦を形成していると思われる（図-8左図参照）。一方Type Dでは、上流管からの流入水のほとんどがインバートあるいはマンホール側壁に沿って流下した後、マンホール出口から流出するため、Type Cに比べマンホール出口に到達するまでの平均的な流下距離は短くなっていると推測される（図-8参照）。また、スケールの大きなロート状の渦は傾斜することが多いのでマンホール壁面全体の水位が一律に高くなることなく、図-4のマンホール水深の測定箇所 h_{m1} や h_{m2} の水位が最も高くなるが多かった。段差比を1にすると、Type Cでは上流管からの流入水のほとんどが直接マンホール下流壁へ衝突し運動エネルギーを失うのに対して、Type DではType Cと同様にインバートの効果はほとんどなくなるが、マンホール側壁がガイドウォールの役目を果たしているためType Cよりも損失係数は減少する傾向にある。

3.3 Type C、Type DおよびType Eの比較（90度）

段差比 S/D_d を0、0.5および1としたときのType CとType Eの実験結果の比較をそれぞれ図-12～14に示す。段差比0でType CとType Eを比較すると、Type Cではマンホール水深比 h/D_u の変化に伴って損失係数が1.0から1.8の間で大きく変化するのに対して、Type Eでは流量が多くなると損失係数が水深の変化の影響をほとんど受けないことがわかる。

このことは、足のせ部を高くすることによりインバートの深さを深くしたことが、流況の安定につながっていると考えられ、非常にすぐれた構造であることを示している。また、この段差比ではType Eの方がType Dよりもさらに損失係数を0.1～0.7程度減少させることができる（図-9と12参照）。段差比が0.5の場合でも、段差比0と類似した傾向が見られる（図-10と13参照）。ただし、図-12と13からもわかるように、Type Eでは $Q=0.50\text{ l/s}$ のとき損失係数には多少ばらつきはあるものの段差比0と0.5では水深の変化に伴う損失係数の変化状況は異なっている。段差比0.5では段差比0とは異なり、マンホール下流壁へ衝突した流れが水平方向の渦の影響で螺旋状の渦となって水面まで上昇し、降下するような複雑な流れになっていると推察される（図-15参照）。これについても今後、流れの可視化により流れの構造を解明する必要がある。さらに段差比を1にするとType

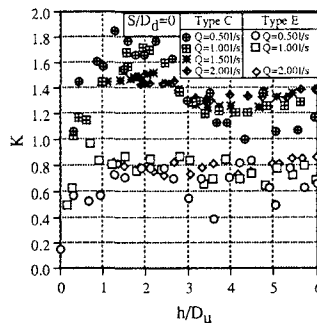


図-12 Kと h/D_u の関係
($S/D_d=0$)

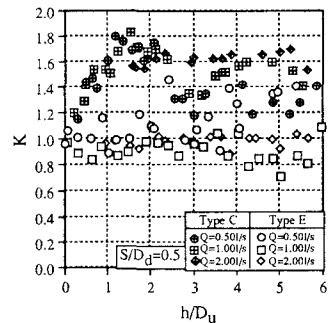


図-13 Kと h/D_u の関係
($S/D_d=0.5$)

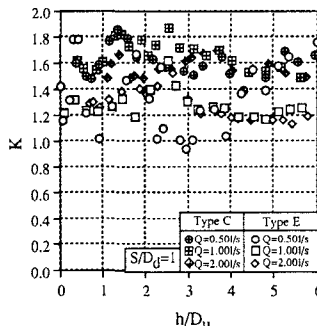


図-14 Kと h/D_u の関係
($S/D_d=1$)

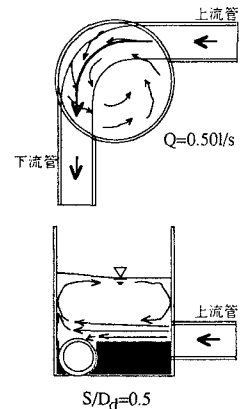


図-15 マンホール内の流況
(Type E)

Eでも $Q=1.00\text{l/s}$ と 2.00l/s のとき h/D_u が 2 ～ 3 付近で損失係数が増加しており、段差比 0 や 0.5 の場合とは違った結果となっている。 h/D_u が 2 ～ 3 付近や $Q=0.50\text{l/s}$ のときこれ以外の水深で損失係数が増加しているのは、インバートの深さを深くしたにもかかわらず、段差が大きいために上流管からの流入水が直接マンホール出口から流出せず、鉛直方向のスケールの大きな渦が影響していると考えられる。

3.4 ロート状の渦がマンホール水位に及ぼす影響

これまで述べたように本研究で提案したTypeEのマンホール構造は浸水防除に有用であることがわかった。しかし、TypeDあるいはTypeEはTypeCよりもマンホール内でスケールの大きなロート状の渦が発生しやすい形状を有している。前述したようにロート状の渦が発生するとマンホール壁に沿った水位が最も高くなるので上流管の動水勾配線との関係を把握しておくことは重要である。図-16～図-18は $Q=2.00\text{l/s}$ で段差比 S/D_d を3種変化させたときのTypeEに関する動水勾配線の比較を示したものである。ただし、これらの図に示すマンホール水深は図-4でも示したようにマンホール側壁に沿った4箇所の物差しで測定した水深の平均値をプロットしているので、最大水深について議論することはできないが、平均的なマンホール水位と管路の動水勾配線との関係については把握することができる。段差比が0のときは、マンホール底面を基準とする水深は他の段差比に比べて小さくなり、インバートの影響で吸い込み深さとスケールの大きなロート状の渦が発生しやすくなる。その結果、段差比0では上流管の動水勾配線を下流側へ延長したものがマンホール上流壁に交差するところの高さよりもマンホール水位は高くなっており、明らかに渦の影響であることを確認できる（図-16参照）。以上のように、マンホール形状を改善したことによりロート状の渦は発生しやすくなる。特に段差比0ではこの渦の影響でマンホール水位の上昇は見られるものの、図-12からもわかるように、損失係数が局所的に増大するところは見られず、損失係数の減少効果は大きい。

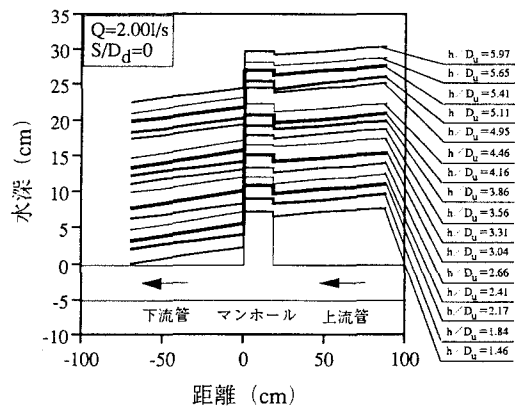


図-16 動水勾配線
(Type E, $S/D_d = 0$)

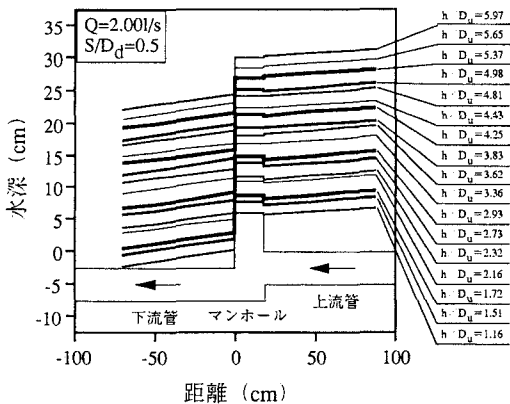


図-17 動水勾配線
(Type E, $S/D_d = 0.5$)

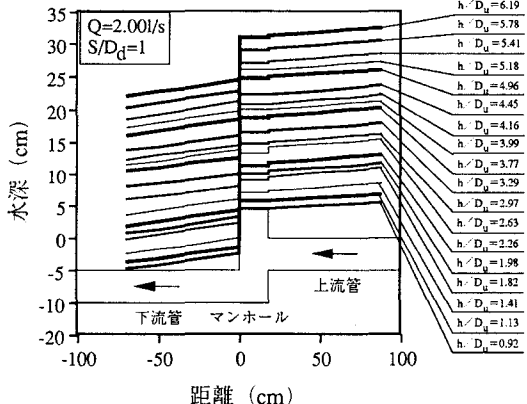


図-18 動水勾配線
(Type E, $S/D_d = 1$)

本研究での結論を簡単にまとめると以下の通りである。

(1) 上・下流管の水平面接合角度を180度とした2方向接合円形落差マンホール部のインバートの上にガイドカバーを設置した結果、従来のものより段差比0.5では0.6～0.8程度、段差比1では0.6～1.3程度マンホール部のエネルギー損失係数を減少させることができた。

(2) 上・下流管の水平面接合角度を90度とした2方向接合円形落差マンホール部において、従来用いられているマンホール底面のインバートの位置をマンホール側壁に沿って配置し、さらに足のせ部の高さを下流管頂付近まで高くすると、従来のものに比べて段差比0や0.5ではマンホール部のエネルギー損失係数を0.1～0.9程度減少させることができるだけでなく、流量が多くなるとマンホール水深の変化が損失係数にはほとんど影響を及ぼさないことがわかった。

(3) 上記(2)のモデルはエネルギー損失軽減には非常にメリットはあるが、現場で施工する際にマンホール壁面に対する管路の流入・流出角度が直角とはならないため、施工時のマンホールに対する掘削ロスは大きくなる。また、従来のものよりも上・下流管を含めたマンホール部の掘削費用がやや増加する等の問題点も残されている。

マンホール底面のインバートの位置をマンホール側壁に沿って配置したTypeDやTypeEには(3)に示すような施工上の問題があるため、今後は現在用いられているTypeCについて改善方法を検討する予定である。

<参考文献>

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説―前編―，第2章管路施設，第7節マンホール，日本下水道協会，pp.164-176，1994.
- 2) 渡辺政広：都市下水道流域の浸水はらん解析法に関する研究，平成5年度科学研究費補助金・一般研究(C) 報告書，1994.
- 3) 荒尾慎司，楠田哲也：2方向接合マンホール部のエネルギー損失特性―レビューと課題―，下水道協会誌，Vol.33，No.396，pp.75-86，1996.
- 4) 榊原 隆，今井田敏宏：マンホールにおけるエネルギー損失，土木技術資料，38-6，pp.62-67，1996.
- 5) 荒尾慎司，楠田哲也：2方向接合円形落差マンホール部のエネルギー損失特性，下水道協会誌論文集，No. 18，Vol.34/No.419，pp.14-28，1997.
- 6) 荒尾慎司，楠田哲也：マンホール部のエネルギー損失が雨水管路網の計算水位に及ぼす影響，九州共立大学工学部研究報告，第22号，pp.89-94，1998.
- 7) 荒尾慎司，楠田哲也：上・下流管の水平面接合角度の違いが2方向接合円形落差マンホール部のエネルギー損失に及ぼす影響，環境工学研究論文集，Vol.35，pp.467-475，1998.
- 8) 荒尾慎司，楠田哲也：エネルギー損失の軽減を目的としたマンホール構造の改善に関する実験的研究，環境工学研究論文集，Vol.34，pp.259-266，1997.
- 9) 村上孝雄，櫻井真一：下水道マンホールの水理に関する検討，重点領域研究「自然災害」研究報告書01601011，都市域における異常出水の予測とその流出抑制工法に関する研究，1990.
- 10) 荒尾 慎司：マンホールでの損失を考える，月刊下水道3月号，Vol.20，No.3，pp.60-64，1997.