

(50) 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

EFFECTS OF HORIZONTAL PIPE ANGLES ON ENERGY LOSS
AT TWO-WAY CIRCULAR DROP MANHOLES

荒尾 慎司*, 楠田 哲也**
Shinji Arai*, Tetsuya Kusuda**

ABSTRACT ; The energy loss at manholes is not negligible for designing a storm sewer network. Some researchers have investigated energy losses at manholes experimentally. Storm sewers have been constructed along roads under the ground surface. Therefore, there are various kinds of horizontal pipe angles between upstream and downstream pipes at two-way manholes. However, in previous research, only a few researchers examined effects of horizontal pipe angles on energy loss at two-way manholes. The purposes of this study are (1) to investigate effects of horizontal pipe angles on energy loss at two-way circular drop manholes and (2) to develop a new type of manhole structure with an improved invert profile to reduce the energy loss at the manholes with 90° bending pipes (Type D). Experiments were carried out by using three types of horizontal pipe angles, that is, 180° (Type A), 135° (Type B) and 90° (Type C and Type D) between upstream and downstream pipes. Major experimental results are as follows: (1) when the ratio of S/D_d (S is the distance between upstream and downstream pipe bottoms and D_d is the downstream pipe diameter) is equal to 0, the energy loss coefficient K of Type C is by 0.2 to 1.8 larger than that of Type A and is by 0.1 to 0.4 larger than that of Type B, (2) when the ratio of S/D_d is larger than 1, K of Type C is a little smaller than that of Type A and is nearly the same as that of Type B and (3) K of Type D reduces 0.1 to 0.8 than that of Type C due to the improvement of the invert profile.

KEYWORDS ; Urban storm drainage, Drop manhole, Energy loss, Horizontal pipe angle, Energy loss reduction

1. はじめに

浸水防除を目的とした雨水管路の設計や浸水予測計算においては、雨水管路の流下能力を適正に評価する必要がある。現行の雨水管路の設計基準¹⁾では、マンホール部のエネルギー損失に関する記述は全く見られず、もしマンホール損失を無視した設計を行うと雨水管路網の流下能力を過大評価することになり、危険側の計画となる。雨水管路網は道路に沿って敷設されるため、雨水管路の接合部であるマンホールの上流側管路と下流側管路の水平面接合角度には種々のものが現われる。上・下流管がそれぞれ1本ずつ接合する2方向接合マンホールにおいては、上・下流管の水平面接合角度は一般的に $180^\circ \sim 90^\circ$ の範囲にある。また、日本では、地形勾配の急な丘陵部や山地近郊でも都市化が進展しており、このような地区では、管路内の流速が設計基準内に収まるよう管路勾配を緩くし、上・下流管の鉛直方向の接合には段差を設けている。本研究では、2方向接合円形落差マンホールにおいて、上・下流管の水平面接合角度を 180° 、 135° 、 90° の3種設定し、上・下流管の水平面接合角度の違いがマンホール水深とエネルギー損失との関係に及ぼす影響を実験的に明らかにする。また、著者らは、昨年度浸水防除の一手法として、上・下流管の水平面接合角度を 180° としたマンホール部においてマンホール部のエネルギー損失を軽減させるための構造改

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

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

善案を提案している²⁾。本研究では、90度接合マンホール部においてマンホール底面のインバ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、マンホール部でのエネルギー損失軽減効果について検討を加える。

2. 従来の研究

管水路流れにおいて2方向接合マンホール部のエネルギー損失に関する従来の研究^{3), 4), 5), 6)}を表-1に示す。従来の研究では、上・下流管の水平面接合角度を180度かあるいは90度とした例がほとんどである。その他の接合角度についてはAckers、Archerら、松本が検討している程度で、上・下流管の鉛直方向の接合については、そのほとんどが管底接合である。また、マンホール水深と損失係数との関係を検討しているのは、Archerら、Lindvall、Johnstonらだけである。したがって、上・下流管の水平面接合角度が変化したときの2方向接合落差マンホール部でのエネルギー損失とマンホール水深との関係は現在でもほとんど解明されていない。

表-1 2方向接合マンホール部のエネルギー損失に関する従来の研究（管水路流れ）

研究者	上・下流管の 水平面接合角度	上・下流管の 鉛直方向の接合状況	マンホール水深yの 記述の有（範囲）無	研究者	上・下流管の 水平面接合角度	上・下流管の 鉛直方向の接合状況	マンホール水深yの 記述の有（範囲）無
Snagsterら (1958,1961)	180度,90度	管底接合	記述なし	松本 (1984)	180度,120度, 90度	段差接合(段差小)	y/D=1
Ackers (1959)	180度,135度, 128度	管底接合	——	宇井ら (1987)	180度	管底接合,段差接合	記述なし
Archerら (1978)	180度,150度, 120度	管底接合	$1 < y/D < 8.5$ 損失係数と水深との 関係有り	Johnstonら (1990)	180度	管底接合	$1 < y/D < 3$ 損失係数と水深との 関係有り
Hare (1983)	90度	管底接合	——	Bo Pedersenら (1990)	180度	管中心接合	$1 < y/D < 6$ 損失係数と水深との 関係なし
Howarthら (1984)	180度	管底接合	記述なし	村上ら (1990)	180度	管底接合	$2 < y/D$ 損失係数と水深との 関係なし
Lindvall (1984)	180度	管底接合	$1 < y/D < 6$ 損失係数と水深との 関係有り	著者ら (1993)	180度,90度	管底接合,段差接合	$3 < y/D < 7$ 損失係数と水深との 関係なし
Marsalek (1984,1985)	180度,90度	管底接合	記述なし	榊原ら (1996)	180度	管底接合	$1 < y/D < 6$ 損失係数と水深との 関係なし

注) yはマンホール水深でインバート底面から水面までの距離、Dは管径である。—— は不明

3. 実験装置と方法

3.1 実験装置

雨水管路では種々の内径を有する管路やマンホールが用いられているが、ここでは「下水道施設設計指針と解説-前編-」¹⁾で定められている内径90cmの1号マンホール（円形）と内径25cmの接合管路（円形）と検討対象とする。なお、内径120cmの2号マンホールと内径35cmの接合管路においても、マンホール径比（マンホール径／管径）がやや異なるだけなので、後述する実験結果を利用することができる。実験装置の概要を図-1（180度）と図-2（90度）に示す。実験装置として、管勾配を水平、上流管長 $L_u=210$ cm、下流管長 $L_d=105$ cm、上流管内径 D_u 、下流管内径 D_d はともに5cm、マンホール内径 $b=18$ cmとしたものを用

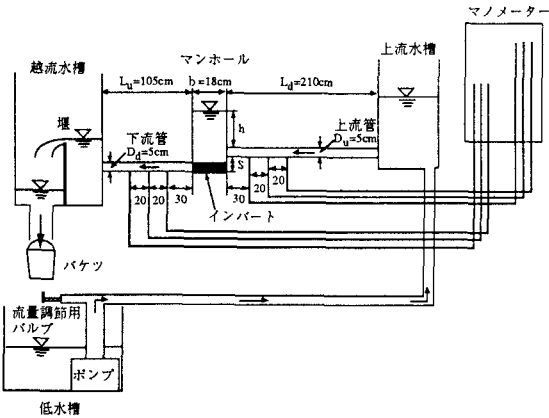
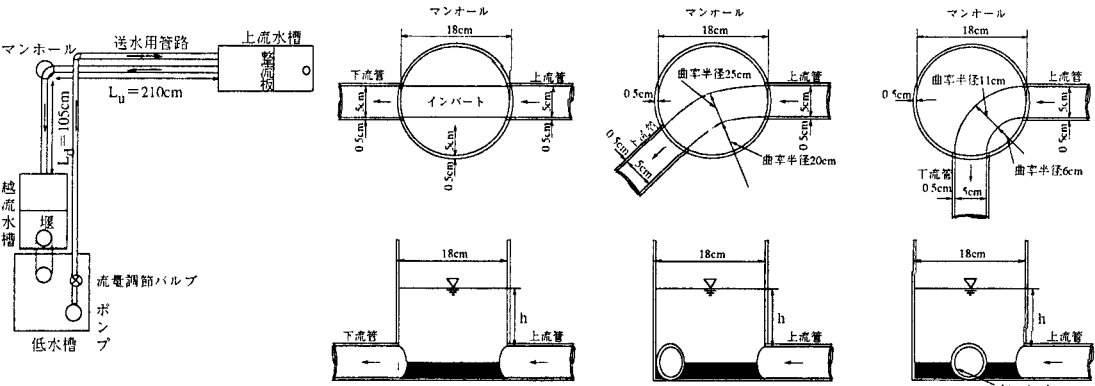


図-1 実験装置（180度、側面図）

いており、実物（1号マンホール）の1／5の模型である。図－3は、それぞれの接合角度における管路の接合状況とマンホール底面形状（平面図（上）、側面図（下））を示している。



図－2 実験装置
(90度、平面図)

180度(Type A) 135度(Type B) 90度(Type C)

図－3 管路の接合状況とマンホール底面形状

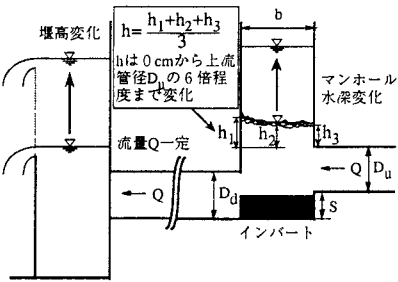
3.2 実験方法

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上流水槽、上流管、マンホール、下流管、越流水槽の順で循環させた後、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、流量を算出し、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、図－4（180度）に示すようにマンホール外壁に取り付けた3箇所の物差しにより測定し、それらの平均値を測定値とする。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ン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。また、データ整理の都合上（1）式によりエネルギー損失係数 K を算定する。

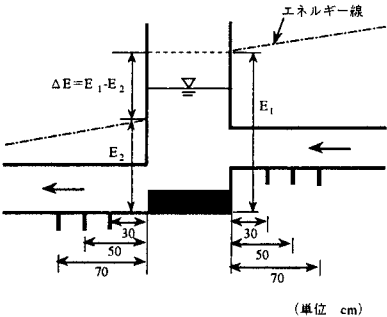
$$K = \Delta E / (V_d^2 / 2g) \tag{1}$$

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し行う。なお、1つの段差につき流量 Q を0.5、1.0、1.5、2.0 l/sの4種程度変化させている。現行の雨水管路の設計では、満管流れでの最小流速は0.8 m/s、最大流速は3.0 m/sと設計基準により定められている。現場で用いられている管路の最小径は25 cmなので、最小流速でのレイノルズ数は 2×10^5 となり、レイ



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

ノルズ数は十分大きく管路の壁面摩擦抵抗の影響をほぼ無視できる。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。このときのレイノルズ数(代表長さや流速)をどう評価するかという点が問題になるが、この点については、今後の検討課題としたい。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 $0.8 \sim 3.0 \text{ m/s}$ をほぼ満足している(表-2、3参照、なお、表中のpは原型、mは模型を表わしている)。また、いずれの接合角度においても段差比 S/D_d (S : 上・下流管の段差、 D_d : 下流管内径) を0、0.5、1、2の4段階変化させている。

表-2 模型と原型の縮尺

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	1号	2号	1号	2号
$\frac{18}{5} = 3.6$	$\frac{90}{25} = 3.6$	$\frac{120}{35} = 3.43$	$\frac{5}{25} = \frac{1}{5}$	$\frac{5}{35} = \frac{1}{7}$	0.45	0.38

表-3 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)	
		$\sqrt{\lambda} = 0.38$	$\sqrt{\lambda} = 0.45$
0.5	0.26	最小流速 $V_m = 0.8 \times 0.38$ $= 0.30$	最小流速 $V_m = 0.8 \times 0.45$ $= 0.36$
1.0	0.51	最大流速 $V_m = 3.0 \times 0.38$ $= 1.14$	最大流速 $V_m = 3.0 \times 0.45$ $= 1.35$
1.5	0.76		
2.0	1.02		

4. 実験結果と考察

4.1 180度(Type A)と90度(Type C)の比較

以下では上・下流管の水平接合角度を180度(Type A)と90度(Type C)とした場合について、マンホール水深比 h/D_u とエネルギー損失係数 K との関係について考察する。段差比 $S/D_d = 0$ (図-6 参照) では、90度の方が180度よりも損失係数は0.2～1.8程度大きくなっている。90度の場合、マンホール底面に本研究と同様のインバートを考慮した従来の研究³⁾ ではマンホール径比 b/D_u ($= 1.20、1.33、2.26、4.59$) は本実験条件と異なるが、損失係数は1.4～1.7程度になっており、本実験結果とはほぼ同程度の値である。図-6に示すように180度と90度では損失係数が最大となるときの h/D_u は1程度異なるので、 h/D_u が1.3～3.0付近の間で両接合角度の損失係数の差が特に大きくなっている。90度では、上流管からの流入水はマンホール出口へ到達するまでにインバートの間を流下する部分とインバートの影響を受けずに直接マンホール下流壁へ衝突し運動エネルギーをほとんど失う流れに大別される。これに対して180度では、上流管からの流入水の中で下半分の流れは、90度と同様そのまま下流管へ直接流出するので、インバート底面の壁面摩擦による若干の損失がある。上半分の流れは、マンホール下流壁へ向かって拡大しながら流下するので、運動エネルギーの小さい一部の

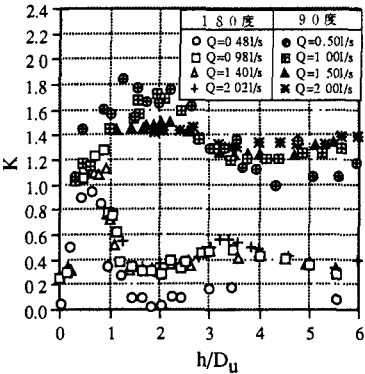


図-6 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 0$)

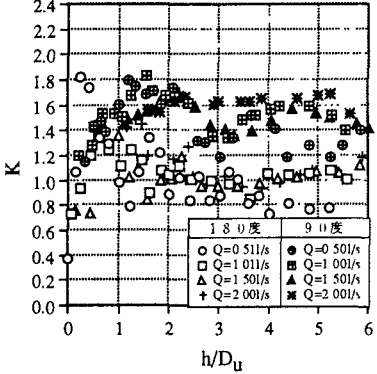


図-7 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 0.5$)

流れがマンホール下流壁へ衝突し、エネルギー損失を生じると考えられる。また、180度で損失係数が極大となる水深付近 ($h/D_u = 0.5 \sim 0.9$) では、流量が多いとマンホール内の水表面付近にスケールの大きな水平方向の回転渦が発生しており、明らかに渦の影響であることがわかる。しかし、流量が少ないときには、このような渦の発生は見られず、マンホール内部の複雑な流れ（例えば、上流管からの流入水の一部がマンホール下流壁へ衝突し、上昇流となって水面へ移動した後マンホール内を降下するような鉛直方向の流れ）が損失係数の増大に関与していると推察される。段差比が0.5（図-7参照）のとき90度での損失係数は段差比0に比べて0.2程度大きくなるのに対して、180度では特に h/D_u が1.3付近より大きいところで損失係数がより増加するため、接合角度の違いによる損失係数の差は段差比0に比べてかなり小さくなる。段差比が1（図-8参照）や2（図-9参照）では、段差比0や0.5の場合と異なり、90度の方が180度よりも損失係数はやや小さくなっている。これは、上流管からの流入水が下流管へ流出するまでの平均的な流下距離が90度の方がやや短くなるため、いかえれば、単純な渦の流れとなっているためではないかと考えられる。このことはマンホール径比 b/D_u が本実験条件とは異なる著者の実験結果（ $b/D_u = 1.8, 2.4$ ）でも指摘されている⁵⁾。また、段差比0に比べて h/D_u の変化に伴う損失係数の変化幅はかなり小さくなる。

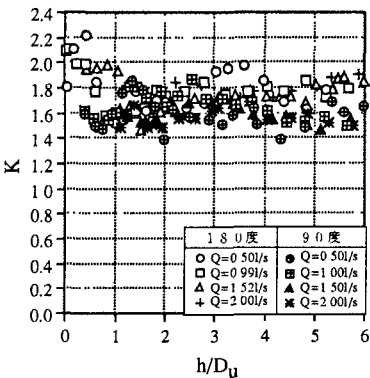


図-8 Kと h/D_u の関係
($S/D_d = 1$)

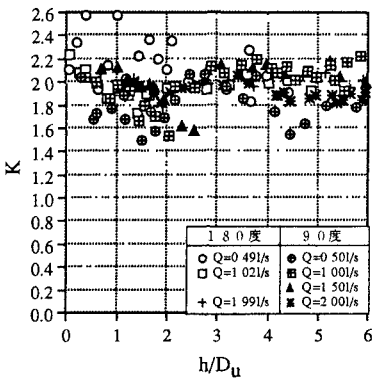


図-9 Kと h/D_u の関係
($S/D_d = 2$)

4.2 135度(Type B)と90度(Type C)の比較

以下では上・下流管の水平面接合角度を135度(Type B)と90度(Type C)とした場合について、マンホール水深比 h/D_u とエネルギー損失係数 K との関係について考察する。段差比 S/D_d が0（図-10参照）では、上・下流管の水平面接合角度を90度とした方が135度よりも損失係数 K は0.1～0.4程度大きくなっている。いずれの接合角度でも、上流管からの流入水の下半分の流れのほとんどはインバートに沿って流下すると考えられるが、90度では曲率半径が小さいため曲がりの影響が135度に比べて大きく、損失係数が大きくなる要因のひとつになっている。一方、流入水の上半分の流れは90度の場合には、流れのほとんどがマンホール下流壁へ一度衝突し、運動エネルギーを失うと考えられる。一方135度では接合角度が90度よりも緩やかなことから、流入水の上半分の流れの中でインバートに近い一部の流れはインバートに沿ってそのまま下流管へ流出するため、運動エネルギーの損失が90度に比べて小さくと思われる。損失係数の極大値はいずれの接合角度で

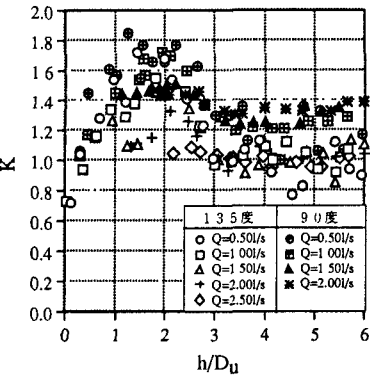


図-10 Kと h/D_u の関係
($S/D_d = 0$)

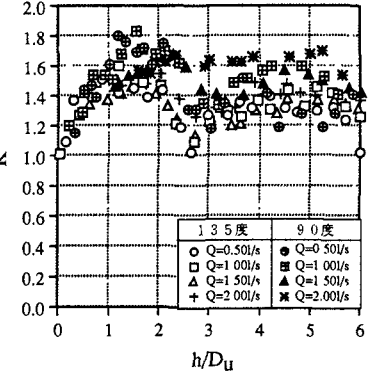


図-11 Kと h/D_u の関係
($S/D_d = 0.5$)

も h/D_u が 1 付近から 2 付近の間にあり、接合角度の違いによる差は見られない。段差比 0.5 (図-11 参照) では、90 度の方が 135 度よりも損失係数は 0.1 ~ 0.4 程度大きくなる程度であり、両接合角度の損失係数の差は段差比 0 とほとんど変わらない。段差比 1 (図-12 参照) と 2 (図-13 参照) の実験結果が示すように、段差比 0 や 0.5 よりも接合角度の違いによる損失係数の差はやや小さくなっており、これは、段差比が大きくなるにつれて、インパルトの効果がほとんどなくなるためと思われる。

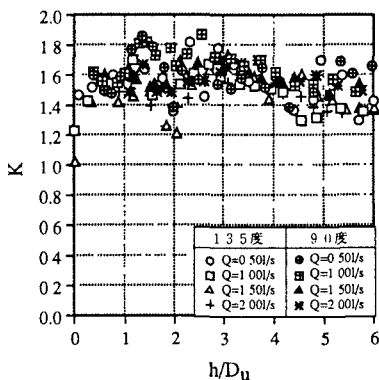


図-12 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 1$)

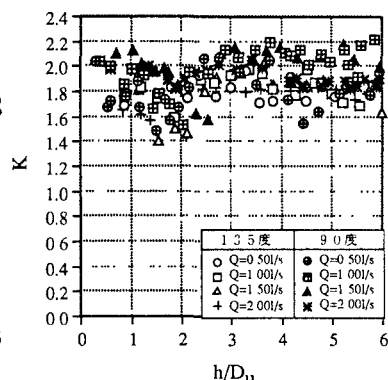


図-13 K と h/D_u の関係
($S/D_d = 2$)

4.3 エネルギー損失係数 K の等値線

以上の実験結果をもとに 3 種類の水平面接合角度それぞれについて、流量 1.00 l/s のときのエネルギー損失係数 K の等値線を図-14 ~ 16 に示す。接合角度が 180 度の場合 (図-14 参照)、マンホール水深比 h/D_u によって損失係数が大きく変化する領域は段差比 S/D_d が 0.7 付近より小さいところにある。この領域で水深によって損失係数が大きく変化する主な原因は、マンホール内でスケールの大きな渦 (流下方向に左右に分離する渦や単一方向回転渦) が発生するためである。この接合角度でのもう一つ特徴は、 h/D_u が 2 付近よりも大きくなるといずれの段差比においても損失係数が水深の影響をほとんど受けないことである。135 度の場合 (図-15 参照)、180 度とはかなり様子が異なり、いずれの段差比においても損失係数はマンホール水深によって変化している。この接合角度では、損失係数の値は 1.0 ~ 1.8 の間で変化しており、180 度よりも損失係数の変化幅はかなり小さくなっている。また、損失係数が 1.5 ~ 1.8 と大きくなるひとつの領域が h/D_u が 0 ~ 2 付近に形成されていることもこの接合角度の特徴である。90 度 (図-16 参照) では、135 度よりも全体的に損失係数がやや大きくなることは、前にも述べた通りであるが、段差比が 0.9 付近より大きく、しかも h/D_u が 1 付近より小さいときの等値線の変化状況は 135 度とはかなり異なっている。その理由は、この領域では 90 度の方が安定した渦が発生するために水深が変化しても損失係数にそれほど差が生じないことによると思われる。

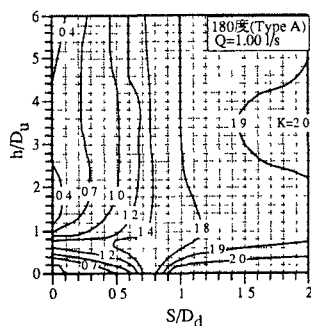


図-14 K の等値線 (180 度)

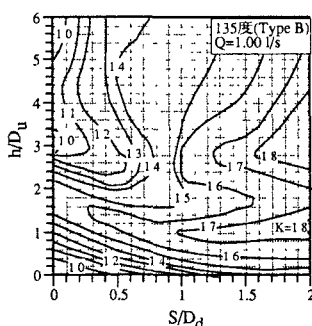


図-15 K の等値線 (135 度)

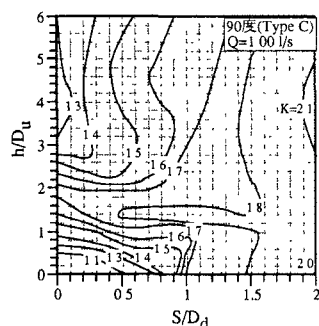


図-16 K の等値線 (90 度)

5. エネルギー損失の軽減を目的とした新型90度マンホールの提案

図-17は、従来より用いられている90度接合マンホール底面(図-3参照、以下では従来型90度と呼ぶ)のインバートをマンホール壁に沿って配置したものである(以下では新型90度と呼ぶ)。この改善により、上流管からの流入水は、従来型90度よりもかなりスムーズにマンホール出口から流出すると考えられる。新型90度(Type D)と従来型90度(Type C)の実験結果の比較を図-18と19に示す。いずれの段差比でも、新型90度の方が従来型90度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、明らかにインバートの改善効果が認められる。従来型90度では、新型90度ほど水表面付近に発生する渦の大きさは大きくなく、ロート状のスケールの大きな渦はほとんど確認されなかった。従来型90度では、水表面付近に発生するスケールの大きな渦の回転方向は一定ではなく、予想に反して時計回りの渦が多く発生した。図-3に示すように、紙面右側からマンホール内へ流入した流れは、紙面下側の出口から流出するので、反時計回りの渦が常に発生すると考がえていた。そうならない理由は明らかではないが、上流管からの流入水の上半分の流れは直接マンホール下流壁へ衝突してから、流向が左右へ分散する場合も少なくなく、また、マンホール下流壁へ衝突する流れが下流壁中央に衝突しない場合は、時計回りの渦が発生する可能性もまったくないとは言えない。一方、新型90度では、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反時計回りの渦が発生するが、流量が多いほど渦のスケールは大きくなる傾向にある。これは、上流管からの流入水がインバートあるいは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。また、この渦は単一方向に回転する単純な渦であるため、マンホール出口まで到達する平均的な流下距離はより複雑な流れを呈する従来型90度よりも短くなっているのではないかと推測される。したがって、この渦は損失係数を大きくするのではなく、逆に上流管からの流入水を下流管へ流出しやすくしているものと思われる。本モデルよりもさらにマンホール部のエネルギー損失を小さくするためには、インバートの足のせ部の高さを管径程度にまで高くしたり、マンホール出口の上半分の形状をベルマウス型にすること等が考えられる。これらの改善を行えば、従来型90度よりも損失係数を半分以下にすることも可能であろう。

6. 損失係数の設計値の提案

以上に示した実験結果をもとに、損失係数の設計値を図-20に提案する。ただし、図-20はマンホール径比 $b/D_u = 3.6$ の実験結果によるので、マンホール径比が異なると若干この値も変わるため注意する必要がある。マンホール径比が異なる研究(上・下流

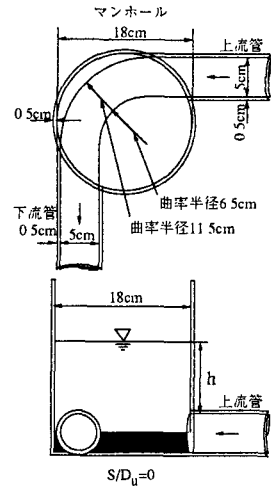


図-17 新型90度マンホール (Type D)

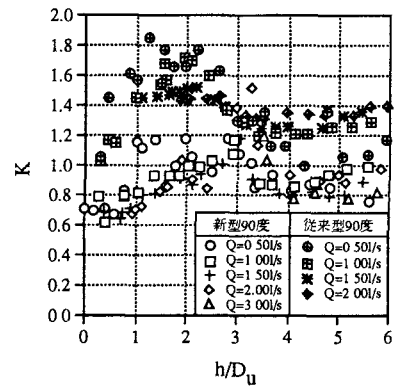


図-18 K と h/D_u の関係 ($S/D_d = 0$)

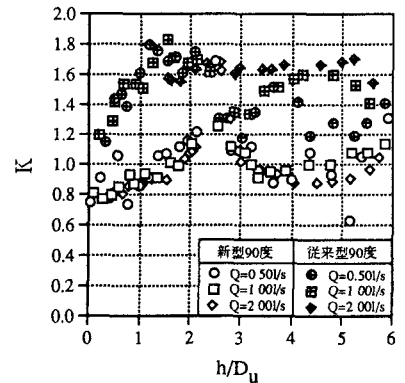


図-19 K と h/D_u の関係 ($S/D_d = 0.5$)

管の水平面接合角度が180度と90度)については、著者らの研究³⁾を参照されたい。なお、これらの設計値は、本実験での最大値を示しているのではなく、マンホール水位が比較的高い場合($2 \leq h/D_u \leq 6$)の平均的な値を挙げている。これは、以下の理由による。雨水管路の設計では、マンホールから雨水が溢水する否かの議論が重要であるため、マンホール水位が地表面に近いときの損失係数の値を設計値とした方が良いと思われるからである。

7. まとめ

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構造を簡単にモデル化したものについて、上・下流管の水平面接合角度(3種)、上・下流管の段差(4種)、流量(4段階)、マンホール水深(20種程度)を種々に変化させることにより、マンホール部のエネルギー損失特性を詳細に検討した結果、以下のことが明らかとなった。

1) 上・下流管の水平面接合角度を180度と90度で比較すると、段差比 S/D_d (S :上・下流管の段差、 D_d :下流管内径)が0では、90度の方が180度よりも損失係数は0.2~1.8程度大きくなった。この差の主な原因は、90度では上流管からの流入水の上半分の流れのほとんどがそのままマンホール下流壁へ衝突し、流れのもつ運動エネルギーを失うためであるが、損失係数の差に幅があるのは、マンホール内の水表面に発生するスケールの大きな渦等の影響で損失係数が極大となるときのマンホール水深比 h/D_u (h :上流管頂(内壁頂部)から水面までの距離、 D_u :上流管内径)の値が接合角度により1程度異なるためである。また、段差比が大きくなるにつれて、接合角度の違いによる損失係数の差は小さくなり、段差比が1を超えると、逆に90度の方が損失係数はやや小さくなった。これは、上流管からの流入水がマンホール内を流下する際に90度の方が180度よりも単純な渦の流れとなり、平均的な流下距離が短くなるためと考えられる。

2) 上・下流管の水平面接合角度を135度と90度で比較すると、段差比が0と0.5では、90度の方が135度よりも損失係数は0.1~0.4大きくなる程度であった。それほど損失係数に差が生じないのは、上流管からの流入水の中でインバートに沿って流下せずにマンホール下流壁に直接衝突する流れの割合が接合角度によってそれほど大きくは変わらないためと思われる。

また、マンホール部のエネルギー損失を軽減させる目的で、従来より用いられている90度接合マンホール底面(従来型90度マンホール)のインバートをマンホール壁に沿って配置したもの(新型90度マンホール)を作成した。これを用いると段差比0と0.5では、いずれの段差比でも新型90度の方が従来型90度よりも損失係数は0.1~0.8程度小さくなり、明らかにインバートの改善効果が認められる。新型90度では反時計周りのロート状のスケールの大きな渦が常に発生するが、この渦は損失係数を大きくするのではなく、逆に上流管からの流入水を下流管へ流出しやすくしているものと思われる。

<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) 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.
- 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.

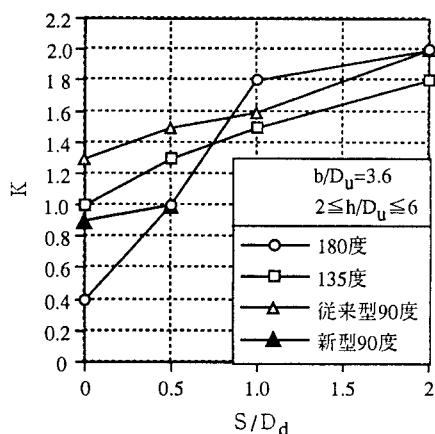


図-20 損失係数の設計値

- 4) 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.
- 5) T. Kusuda and S. Arai: Energy Losses at Junctions and Transient Flow in Sewer Networks, Proceedings of the 6th International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Ontario, Canada, Vol.1, pp.122-127, 1993.
- 6) 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.
- 7) 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.