

(29) 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

A STUDY OF MANHOLE STRUCTURES FOR ENERGY LOSS REDUCTION

荒尾 慎司\*, 楠田 哲也\*\*

Shinji Arai\*, Tetsuya Kusuda\*\*

ABSTRACT ; For designing a system of urban storm drainage, one of the methods to avoid inundation is the reduction in energy losses at storm sewer manholes. Some researchers investigated the energy loss reduction by the improvement of invert at manholes. The purpose of this study is to develop a new type of storm sewer manhole for energy loss reduction. Experiments were carried out by using three types of manhole shape, that is, (1) square-edged in exit profile (A type) as a model of manhole used in storm sewer, (2) bell-mouth in exit profile (B type), and (3) bell-mouth in exit profile with the improvement of invert profile (C type) for energy loss reduction. The experimental results lead to that (1) when the value of  $S/D_d$  ( $S$  is the distance between upstream and downstream pipe bottoms and  $D_d$  is the downstream pipe diameter) is less than 1, the C type manhole is more effective for energy loss reduction than both of the A and B types, and (2) when the value of  $S/D_d$  is larger than 1, the B type manhole is more effective than both of the A and C types.

KEYWORDS ; Urban storm drainage, Manhole, Energy loss reduction, Invert

1. はじめに

我が国では急速な都市化の進展のため雨水の地下浸透面積が減少し、以前では浸水しなかったような降雨規模でも浸水するところが増加している。都市型浸水の大半は平地部で生じ、その原因のほとんどは内水排除ができないためである。下水道施設における雨水管路は浸水防除施設のひとつとして位置づけられているが、雨水管路の接合部であるマンホール部の構造や水理学的条件によってはマンホール部のエネルギー損失が管路の摩擦損失に比べて無視しえないほど大きくなることもあり<sup>1), 2), 3), 4)</sup>、主に維持管理を目的として設置されているマンホールが都市型浸水の一因になっている可能性もあると考えられる。勿論、平地部より上流側で少し滞留させた方が平地部で浸水防除に役立つこともありうるが、上流部でマンホール等からの溢水のため雨水が地表面を流下し平地部が浸水するようなこともあるので、望ましくないエネルギー損失は極力少なくすることにこしたことはない。エネルギー損失の軽減を目的としたマンホール構造に関する研究は従来数多くなされている<sup>5), 6), 7), 8), 9)</sup>。我が国では平地部が狭いことから山地近郊や丘陵部等の地形勾配の急なところでも市街化が進展しており、下水道も普及しつつある。このような地区で雨水管路を設計する際にはマンホールの上・下流管に段差を設けることが多い。しかし、現在まで段差を考慮したマンホール部でのエネルギー損失の軽減効果に関する研究例はほとんど見られない。本論文の目的は、上・下流管がそれぞれ1本ずつ接合する2方向接

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

\*\*九州大学工学部建設都市工学科 (Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University)

合円形落差マンホールを対象としてエネルギー損失を軽減できるマンホール構造について実験的に検討し、新しいマンホール構造を提案することにある。

## 2. 2方向接合マンホール部のエネルギー損失に影響を及ぼす因子

2方向接合マンホール部のエネルギー損失に影響を及ぼす因子は、以下の2種類に分類される。

### (1)マンホール部を構成している構造上の要素

管路を含めたマンホール部の構造上の要素には、管路及びマンホール形状（円形、矩形）、管径比 $D_u/D_d$ （ $D_u$ ：上流管内径、 $D_d$ ：下流管内径）、マンホール径比 $b/D_u$ （ $b$ ：マンホール内径）、マンホール底面形状、管路の水平面接合角度、上・下流管の段差比 $S/D_d$ （ $S$ ：上・下流管の段差）、管路勾配等がある。

### (2)管路及びマンホール内の流況に関わる要素

管路及びマンホール内の流況として、開水路流れ、管水路流れ（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））、定流、不定流、常流、射流、および管路端部での水理学上の境界条件等について区分けする必要がある。

本研究では、マンホール部のエネルギー損失の軽減効果の検討に際し、構造要素としてマンホール底面形状とマンホールから下流管への出口形状に着目する。また、管路内の流れは定流で管水路流れとし、管路端部の堰上げによるマンホール水位の変化がエネルギー損失に及ぼす影響を検討する。

## 3. 従来の研究

管水路流れにおいてエネルギー損失の軽減を目的したマンホール構造に関する従来の研究例を表-1に示す。従来の研究においては、マンホール形状は正方形か円形であり、管路の接合はすべて管底接合である。我が国で用いられているマンホールでは、管路の断面形状が円形の場合、上流管からの流入水がマンホール内をスムーズに流下できるようにマンホール底面に管径の $1/2$ 程度のインバートを設け、マンホール部のエネルギー損失を軽減する工夫がなされている。Howarth<sup>5)</sup>は、マンホール径比 $b/D$ （ $b$ ：マンホール内径、 $D$ ：管内径）が3.98の円形マンホールにおいてインバートの足のせ部を高くすることによりインバートの深さを管径よりもやや深くし、さらに流下方向に見たときのインバートの位置をマンホール側壁へ管径の $1/2$ 程度ずらした構造（North West Water Authority manhole）を提案している。非定常流下でこのモデルを用いた実験結果によれば、流量が小さいところではインバートを改良しない場合（インバートは管径の $1/2$ の深さでマンホール底面中央に位置している）にスケールの大きな渦の発生により増大した0.9～1.3程度の損失係数（マンホールでの圧力損失水頭を下流管の速度水頭で割った値）を0.3以下にすることが可能であることを示している。流量が大きくなるとインバートを改良しない場合でも損失係数は0.3以下となり、インバートを改良することによるメリットはほとんど見られない。Lindvall<sup>6)</sup>は、インバートの位置はそのままインバートの深さを管径程度深くした場合について検討している。この論文にはインバート改良前後の実験結果の比較は示されていないが、インバート改良前後におけるマンホール水深比 $y/D$ （ $y$ ：インバート底面から水面までの距離）と損失係数との関係は定式化されている。本式によれば、 $b/D=4.1$ 、 $y/D=1.5$ では、インバートの深さを管径の $1/2$ としたときの損失係数は0.88であるが、インバートを改良することにより0.28まで減少させることができる。 $y/D \geq 2.5$ では、インバートの深さを管径の $1/2$ としたときの損失係数は0.3未満となるが、インバートを改良すると0.1以下になることも示されている。Marsalek<sup>7)</sup>は、正方形と円形マンホールにおいてインバートの深さを管径程度にした場合、損失係数を20～30%減少させることができることを示している。Johnston<sup>8)</sup>らは、Lindvall<sup>6)</sup>やMarsalek<sup>7)</sup>と同様にインバートの位置はそのままインバートの深さを管径程度深くすることにより、定常流下でフルード数やマンホール水深比を変化させて損失係数を検討している。その結果によれば、 $y/D=1.3 \sim 1.9$ 付近では、インバートの深さを管径の $1/2$ としたときよりも損失係数を30～60%減少させることができる。 $y/D=5.0$ 付近では、インバー

トを改良した効果はなく逆に損失係数がやや大きくなる例も見られる。村上ら<sup>9)</sup>は、円形マンホール（内径5種類）内にマンホール径よりも4 cm短い半円形のガイドカバーをインバート中央部に設置することにより、損失係数の減少効果を調べている。その結果によると $b/D=1.2$ ではガイドカバーを付けた方が逆に流下を阻害するため損失係数はやや増加している。また、 $b/D=1.5\sim 2.4$ では、 $b/D$ の増加に伴って損失係数の減少効果も増加する傾向にあり、ガイドカバーがない場合の損失係数が $1.3\sim 2.1$ であるのに対して、ガイドカバーを付けると $1.0\sim 1.4$ 程度に減少することが明らかにされている。

表－1 エネルギー損失の軽減を目的としたマンホール構造に関する従来の研究（管水路流れ）

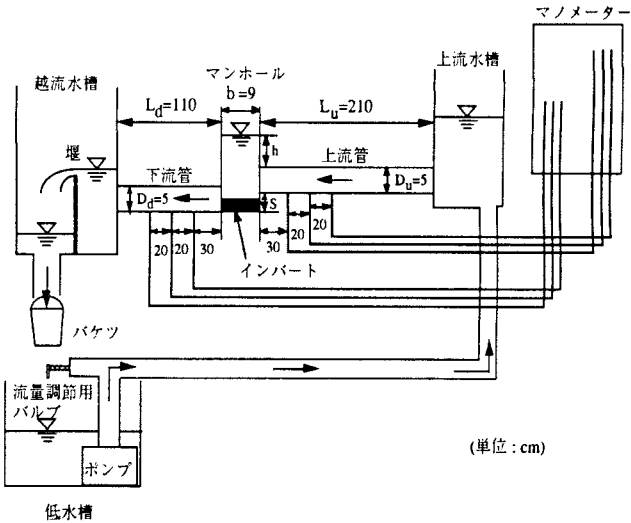
| 研究者                | マンホール内径 $b$ と管<br>内径 $D$ の比 ( $b/D$ )                            | マンホール水深 $y$ の<br>記述の有（範囲）無         | 定常・非定常流<br>の区別 | エネルギー損失を軽減する<br>ための工夫                                                 | インバートの深さを管径の $1/2$ にしたも<br>のと比較したときのエネルギー損失係<br>数の減少効果                                             |
|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Howarthら<br>(1984) | 正方形マンホール<br>$b/D=3.98$<br>円形マンホール<br>$b/D=1.67, 2.61, 3.98$      | 記述なし                               | 非定常流           | インバートの深さを管径より<br>やや深くし、インバートの<br>位置を管径の $1/2$ 程度<br>マンホール側壁へ寄せてい<br>る | 円形マンホールで $b/D=3.98$ のとき流量に<br>よって損失係数の減少効果にかなり差が<br>ある<br>スケールの大きな渦の発生がなくなる場<br>合、最大90%程度損失係数は減少する |
| Lindvall<br>(1984) | 円形マンホール<br>$b/D=1.7, 2.1, 2.6, 3.1,$<br>$3.6, 4.1$               | $1 < y/D < 6$<br>損失係数と水深と<br>の関係有り | 定常流            | インバートの深さを管径<br>程度にしている                                                | 実験結果では損失係数の減少効果の比較<br>はされていないが、30～70%程度損失係<br>数は減少する                                               |
| Marsalek<br>(1984) | 正方形マンホール<br>$b/D=1.0, 1.58, 2.26$<br>円形マンホール<br>$b/D=1.33, 1.92$ | 記述なし                               | 定常流            | インバートの深さを管径<br>程度にしている                                                | 20～30%程度損失係数は減少する                                                                                  |
| Johnstoら<br>(1990) | 正方形マンホール<br>$b/D=3.98$                                           | $1 < y/D < 5$<br>損失係数と水深<br>との関係有り | 定常流            | インバートの深さを管径<br>程度にしている                                                | $y/D=1.3\sim 1.9$ 付近では30～60%程度損失<br>係数は減少する                                                        |
| 村上ら<br>(1990)      | 円形マンホール<br>$b/D=1.2, 1.5, 1.8,$<br>$2.0, 2.4$                    | $2 < y/D$<br>損失係数と水深<br>との関係なし     | 定常流            | インバートの上にマンホ<br>ール径より短いガイドカ<br>バーを付けている                                | マンホール径比 $b/D$ によって損失係数の減<br>少効果は異なるが、 $b/D=2.4$ のとき60%<br>程度損失係数は減少する                              |

注) 上記に示す従来の研究では、いずれも上・下流管は同一径で、鉛直方向の管路の接合は管底接合である。  
マンホール水深 $y$ はインバート底面から水面までの距離である。

4. 実験装置と方法

4.1 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－」<sup>10)</sup>で定められている内径90 cmの1号マンホール（円形）と内径50 cmの接合管路（円形）を検討対象とした。実験装置の概要を図－1に示す。実験装置として、上・下流管の水平面接合角度を180度、管勾配を水平、上流管長 $L_u=2.1$  m、下流管長 $L_d=1.1$  m、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 $b=9$  cmとしたものを用いており、実物の1/10のモデルである。著者らは、これまでにマンホール水深比 $h/D_u$ （ $h$ ：上流管頂（内壁頂部）から水面までの距離）や上・下流管の段差比 $S/D_d$ （ $S$ ：上・下流管の段差）とエネルギー損失



図－1 実験装置の概要

係数 $K$  ( $K$ :マンホール部のエネルギー損失水頭を下流管の速度水頭で割った値)との関係を明らかにしてきた<sup>2),3),4)</sup>。図-2は図-3に示すような一般的に現場で利用されているマンホール形状を簡単にモデル化したもの(以下では角端型と呼ぶ)を用いた場合の研究成果の概要である。本実験では、マンホール部におけるエネルギー損失の軽減効果を検討するために角端型を含めて3種類の形状のマンホールを作成した。図-4は角端型におけるマンホール出口上半分をベルマウス形状(以下ではベルマウス型と呼ぶ)としたものである。図-4のベルマウス型に加えてインバートの足のせ部を下流管の管頂付近まで高くしたもの(以下では併用型と呼ぶ)を図-5に示す。

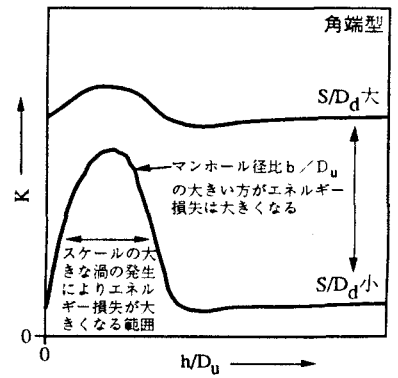


図-2  $K$  と  $h/D_u$ 、 $S/D_d$  の関係

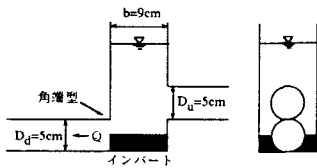


図-3 角端型

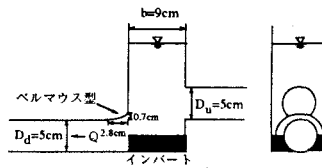


図-4 ベルマウス型

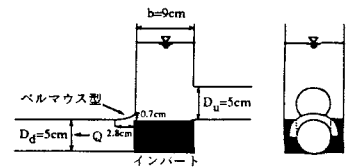


図-5 併用型

## 4.2 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回程度繰り返す。それらの平均値を流量測定値とする。

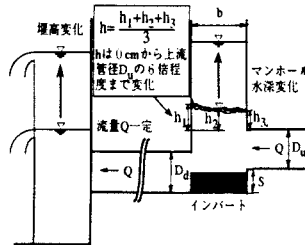


図-6 マンホール水深の算定

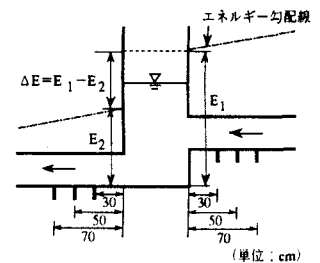


図-7 エネルギー損失の定義

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-6参照)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 $h$ はマンホールの上・下流壁及び中央部側壁に取り付けた物差しにより測定し、それらの平均値をマンホール水深 $h$ の測定値とする。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-7に示すように上・下流管にそれぞれ3ヶ所ずつ取り付けたマン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勾配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 $\Delta E$ を求めた。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 $K$ を算定した。

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

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し行った。なお、1つの段差につき流量を0.5、1.0、1.5、2.0 l/sの4種程度変化させている。これらの流量は実物と模型の間にフルードの相似則

表-2 実験条件

| ケース | $S/D_d$ | マンホール出口形状                     |
|-----|---------|-------------------------------|
| 1   | 0       | 角端型                           |
| 2   | 0.5     |                               |
| 3   | 1       |                               |
| 4   | 2       |                               |
| 5   | 4       | ベルマウス型                        |
| 6   | 0       |                               |
| 7   | 0.5     |                               |
| 8   | 1       |                               |
| 9   | 2       |                               |
| 10  | 4       |                               |
| 11  | 0       | 併用型<br>ベルマウス型<br>+<br>インバート改良 |
| 12  | 0.5     |                               |
| 13  | 1       |                               |
| 14  | 2       |                               |
| 15  | 4       |                               |

が成り立つとして設定しており、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。本実験では表-2 に示すように実験を 15 ケース行い、3 種類のマンホール構造のそれぞれについて段差比  $S/D_d$  ( $S$ : 上・下流管の段差、 $D_d$ : 下流管内径) を 0、0.5、1、2、4 と 5 段階変化させた。

## 5. 実験結果と考察

### 5.1 角端型と併用型の比較 (実験 1~5 と 11~15)

マンホール構造を角端型と併用型としたものについて (1) 式で算定したマンホール部のエネルギー損失係数  $K$  とマンホール水深比  $h/D_u$  との関係を図-8~12 に示す。段差比 ( $S/D_d$ ) が 0 では、 $h/D_u$  が 0.3 付近で併用型の方が損失係数がやや大きくなるところがある。Lindvall はインバートの深さを管径程度にするとスケールの大きな単一方向回転渦の発生を抑制することができ、損失係数をかなり小さくしえると報告しているが、本実験では損失係数の極大値を示す  $h/D_u$  が多少ずれる程度であり Lindvall が指摘したような結果は得られなかった。 $h/D_u$  が 0.5 以上になるとマンホール出口上半分をベルマウス形状にした併用型の方がマンホール出口付近の下流管における流れの急縮・急拡による損失を小さくすることができるため、損失係数は角端型に比べて 0.02~0.14 程度小さくなっている。段差比が 0.5 になると、併用型ではマンホール出口上半分をベルマウス形状にしたことに加えてインバートの足のせ部を管径の 1/2 程度高くしていることから上流管からの流入水の下半分の流れはインバートの間を流下しそのまま下流管へ流出することになる。したがって、この段差比ではインバートの改善効果も現われ角端型よりも損失係数は 0.4~1 程度小さくなる。

また、併用型では  $h/D_u$  が 1 より小さいところでスケールの大きな単一方向回転渦の発生が抑制されており、角端型のような損失係数の増大は見られない。段差比が 1 では、いずれのマンホール構造でも  $h/D_u = 1$  付近でスケールの大きな単一方向回転渦が発生し、他の水深よりも損失係数は大きくなっている。 $h/D_u$  が 2 以上になると、段差比 0.5 の場合とほぼ同程度の損失係数の減少効果があり、併用型の方が損失係数は 0.3~1 程度小さくなる。この段差比では併用型の場合、上流管からの流入水がマンホール内を流下する際インバートに近い一部の流れを除いて流入水のはほとんどがマンホール下流壁へ衝突するため段差比 0.5 よりも損失係数の減少効果は小さくなくと考えがちである。そうならないのは、上流管からの流入水がマンホール内を流下する際に流線が鉛直下向き

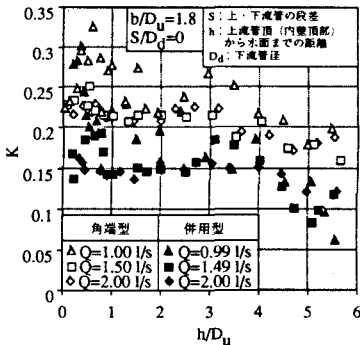


図-8  $K$  と  $h/D_u$  の関係  
( $S/D_d = 0$ )

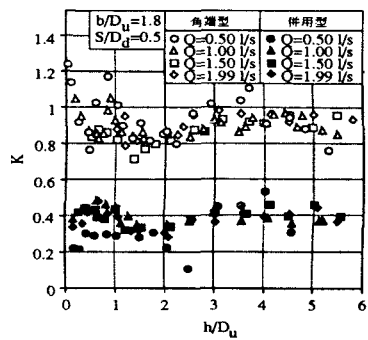


図-9  $K$  と  $h/D_u$  の関係  
( $S/D_d = 0.5$ )

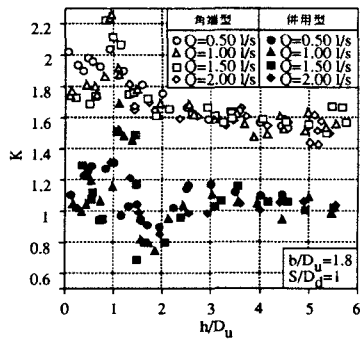


図-10  $K$  と  $h/D_u$  の関係  
( $S/D_d = 1$ )

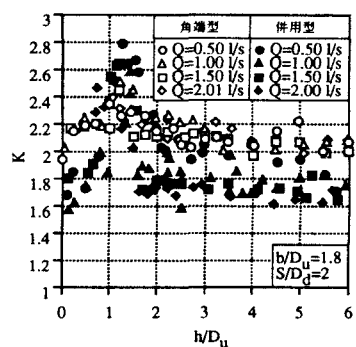


図-11  $K$  と  $h/D_u$  の関係  
( $S/D_d = 2$ )

にやや変化し、下流管へ直接流出する流水の割合が増加するためである。段差比が2と4では、 $h/D_u$ が2以上で段差比0.5や1よりも損失係数の減少効果はやや小さく、損失係数は角端型よりも0.1～0.6程度しか小さくなっていない。段差比が2以上になると上流管からの流入水はすべてインバートの間を通過することなくマンホール下流壁へ衝突するため、上流管からの流入水のもつ運動エネルギーをほとんど失うことになる。したがって、インバートを改良したことによるメリットはなく、逆にインバートの足のせ部を高くしたことでマンホール内を鉛直下向きに降下する流れのほとんどがマンホール出口に到達するまでに急縮の影響を受けるので段差比0.5や1よりも損失係数の減少効果はやや小さくなると考えられる。

## 5.2 ベルマウス型と併用型の比較 (実験6～10と11～15)

マンホール構造をベルマウス型と併用型としたものについて(1)式で算定したマンホール部のエネルギー損失係数 $K$ とマンホール水深比 $h/D_u$ との関係を図-13～17に示す。段差比が0では、いずれのマンホール構造でもエネルギー損失係数はほぼ同じである。併用型ではインバートの足のせ部を管径の1/2程度高くしているの、上流管からの流入水がマンホール側壁へ広がるのを抑制でき、結果として損失係数はやや小さくなると考えがちであるが、そうならないのは、上流管からの流入水が壁面噴流となっているからである。壁面噴流のポテンシャルコアはインバートの壁面付近に寄っているため、併用型ではインバートを改良しない場合の足のせ部よりも高いところの

運動エネルギーの小さい流れを主に制御することになり、噴流全体の運動エネルギーの損失にはほとんど影響しないからである。段差比が0.5では、併用型の方がいずれの $h/D_u$ でも損失係数は小さくなっている。これは、併用型ではインバートを管径の1/2程度高くしているの上流管からの流入水がそのまま運動エネルギーを失うことなく下流管へ流出する流れの割合がベルマウス型に比べて増加するためと考えられる。ベルマウス型では流量0.50 l/sのとき損失係数がかなり大きくなることもあるが、併用型では前述したようにスケールの大きな単一方向回転渦の発生を抑制するため損失係数が急激に大きくなるようなところは見られない。インバートを改良することによる損失係数の減少効果は0.05～0.8程度である。段差比が1では、 $h/D_u$ の増加に

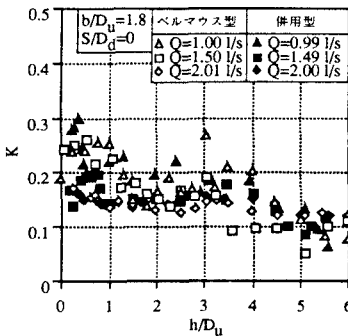


図-13  $K$ と $h/D_u$ の関係  
( $S/D_d = 0$ )

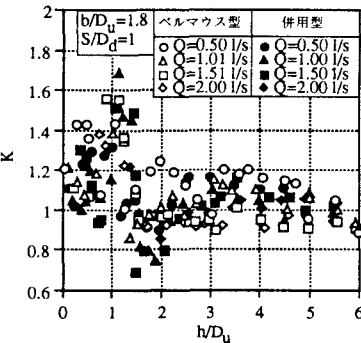


図-15  $K$ と $h/D_u$ の関係  
( $S/D_d = 1$ )

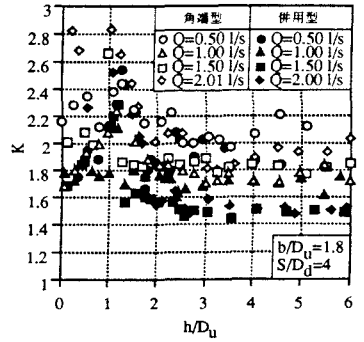


図-12  $K$ と $h/D_u$ の関係  
( $S/D_d = 4$ )

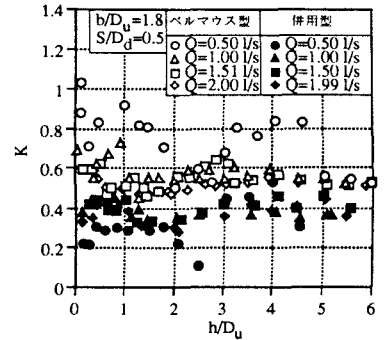


図-14  $K$ と $h/D_u$ の関係  
( $S/D_d = 0.5$ )

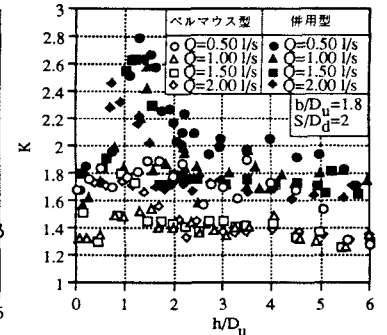


図-16  $K$ と $h/D_u$ の関係  
( $S/D_d = 2$ )

に伴う損失係数の変化状況はいずれのマンホール構造においても類似している。 $h/D_u$ が1.5～2付近で併用型の方が損失係数はやや小さくなるところも見られるが、 $h/D_u$ が2.5以上では流量が大きくなると逆にベルマウス型の方が損失係数はやや小さくなる傾向にある。併用型では上流管からの流入水がマンホール下流壁へ衝突した流れの一部は上昇流となって水面まで移動し、その後下降流となってインバートの間を通過してから下流管へ流出する。流量が大きいとマンホール水面から鉛直下向きに降下する流れの流速が大きくなり、下降流がインバートを通過するときの急縮の影響が大きくなるためベルマウス型よりもエネルギー損失がやや増加するのではないかと考えられる。段差比が2と4では、段差比0～1とは異なり併用型の方がいずれの $h/D_u$ でも損失係数は大きくなっている。

前にも述べた通り、併用型では段差比が2より大きくなると上流管から

の流入水が下流管へ流出する際に流入水のほとんどがインバートを通過することになるので、インバートを改良しないものよりも急縮の影響が大きくなりベルマウス型よりも損失係数が増加するものと考えられる。

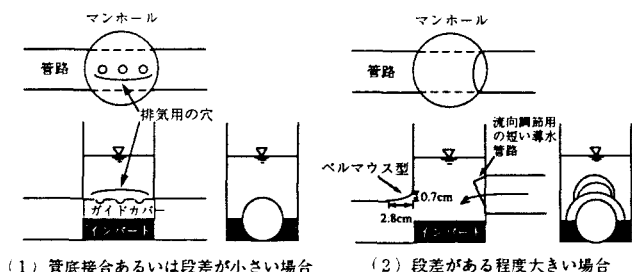
### 5.3 考察

以上の実験結果より、段差比が1のときベルマウス型と併用型ではマンホール部でのエネルギー損失軽減効果はほとんど同じであるので、段差比が1以下では併用型、段差比が1を超えるとベルマウス型を用いた方が有効であることが明らかとなった。いずれのマンホール構造でもマンホール部でのエネルギー損失が極端に増大しないマンホール水深比 $h/D_u$ はほぼ2以上であり、本実験で用いた模型を実物(1号マンホール)にscale upして考えるとマンホール部でのエネルギー損失が極端に増大しないマンホール水深 $h$ は管径50 cmの2倍の1 m以上ということになる。著者ら<sup>4)</sup>は、本実験条件とは異なるマンホール径比( $b/D_u = 3.6$ 、角端型)でマンホール水深比 $h/D_u$ とマンホール部のエネルギー損失係数 $K$ との関係を検討しているが、マンホール径比が異なっても $h/D_u$ がほぼ2以上であればマンホール部のエネルギー損失係数 $K$ はほぼ一定となることが明らかにされている。「下水道施設設計指針と解説—前編—」<sup>10)</sup>では管路の最小土かぶり $h$ は1 mと定められている。設計対象とする雨水管路網の上流端管路の管径が25 cmで管路の土かぶりを1 mとすれば、マンホール水位が地表面付近にある場合には( $h/D_u = 4$ )、マンホール部のエネルギー損失係数は増大することはない、問題ないと思われる。しかし、実験結果でも示しているように、マンホール水位が地表面よりも低く上流管頂付近にある場合にはマンホール内の単一方向回転渦の発生でエネルギー損失がかなり増大するため、これよりも上流側のマンホール水位はかなり上昇し、思わぬところで浸水する可能性もある。最近では、建設コスト削減のために管路の土かぶりを1 m以下にするような試みも見られるが、以上に述べたことを考慮して管路の土かぶりを決定する必要がある。

さらにマンホール部のエネルギー損失を軽減させるためには、以下のような工夫が考えられる(図-18参照)。

1) 管底接合あるいは段差が小さい場合には、インバートをすべて覆うような上面に排気用の穴があいたガイドカバーを取り付ければマンホールでの損失をほとんど0にすることが可能である。

2) 段差がある程度大きい場合には、上流管出口に下流管入口に向けて流向調節用の短い導水管路を取り付ければマンホールでの損失をかなり減らすことが期待できる。



(1) 管底接合あるいは段差が小さい場合

(2) 段差がある程度大きい場合

図-18 エネルギー損失をより減らすための工夫

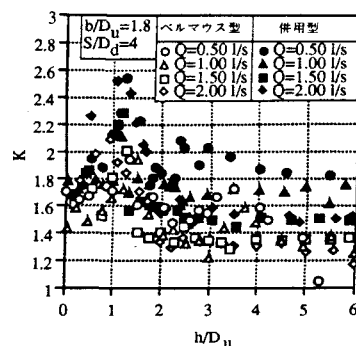


図-17  $K$  と  $h/D_u$  の関係  
( $S/D_u = 4$ )

## 6. 結語

本論文の結論は以下の通りである。

- 1) 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(角端型)について、上・下流管の段差、流量、マンホール水深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明らかにした。
- 2) 従来の研究では、上・下流管の接合が管底接合でしかもインバートの深さが管径程度である場合には、マンホール内でのスケールの大きな単一方向回転渦の発生を抑制することができ、マンホール部のエネルギー損失をかなり軽減することが可能であると報告されているが、本実験ではこのような結果は得られなかった。この理由は明らかではなく、今後マンホール内の流況を詳細に検討する必要がある。
- 3) マンホール出口形状の上半分をベルマウス型にし、さらにインバートの深さを管径程度にすると(併用型)角端型に比べて損失係数を最大1程度減少させることが可能である。
- 4) 段差比  $S/D_u$  ( $S$ : 上・下流管の段差、 $D_u$ : 下流管内径) が1より小さい場合にはマンホール出口形状だけを改良したもの(ベルマウス型)よりも併用型の方がマンホール部のエネルギー損失係数をより小さくすることが可能であるが、段差比が1を超えると併用型ではインバートの足のせ部を高くしていることが損失係数を増加させる要因となるため逆にベルマウス型の方が有利である。
- 5) 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) が2～6では、いずれの実験条件でもエネルギー損失係数は極端に増加することはない傾向にあるので、管路の埋設深さを決定するにはこのことを十分考慮する必要がある。

## <参考文献>

- 1) 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.
- 2) 荒尾慎司, 楠田哲也ら: 円形マンホール部のエネルギー損失特性(圧力流れ), 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第2部(A), pp.310-311, 1995.
- 3) 荒尾慎司, 楠田哲也ら: 2方向接合落差マンホール部のエネルギー損失特性—上・下流管径が異なる場合—, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, pp.286-287, 1996.
- 4) Kusuda, T. and Arao, S.: Energy Losses at Circular Drop Manholes, Proc. 7th Int. Conf. Urban Storm Drainage, Institute Wasserwirtschaft Universitaet, Hannover, Germany, vol.1, pp.85-90, 1996.
- 5) Howarth, D.A. and Saul, A.J.: Enrgy Loss Coefficients at Manholes, Proc. 3rd Int. Conf. Urban Storm Drainage, Chalmers Univ. of Technology, Goteborg, Sweden, pp.127-136, 1984.
- 6) Lindvall, G.: Head Losses at Surcharged Manholes with a Main Pipe and a 90° Lateral, Proc. 3rd Int. Conf. Storm Drainage, Chalmers Univ. of Technology, Goteborg, Sweden, pp.137-146, 1984.
- 7) Marsalek, J.: Head Losses at Sewer Junction Manholes, J. Hydraul. Eng. Am. Soc. Civ. Eng. Vol.110(8), pp.1150-1154, 1984.
- 8) Johnston, A.J. and Volker, R.E.: Head Losses at Junction Boxes, J. Hydraul. Eng. Am. Soc. Civ. Eng. Vol.116, No.3, pp.326-341, 1990.
- 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) 下水道施設設計指針と解説—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.