

(43) 浸水被害軽減のための2方向接合円形落差マンホール部の構造改善に関する研究

IMPROVEMENT OF TWO-WAY CIRCULAR DROP MANHOLES FOR REDUCTION OF FLOOD DAMAGE

荒尾 慎司*, 瀧田 康雄*, 楠田 哲也**
Shinji Arai*, Yasuo Takita*, Tetsuya Kusuda**

ABSTRACT :The authors previously proposed a new model for manhole base shape with the invert located on the side wall of a manhole with right-angle pipes to reduce energy losses (1999). However, the alignment of connecting pipes in this model is different from the conventional position. For a new manhole model with a flat guide cover on the invert for a conventional manhole with right-angle pipes, the energy loss coefficient K (the total head loss/velocity head) is by about 0.6 to 1.3 smaller than the values of the conventional manhole type used in Japan. However, when rainfall in an urban area significantly exceeds the design value for rainfall on the storm sewer network, flood damage is unavoidable even if the energy losses at manholes in the area have been reduced. Recent changes in local rainfall patterns in Japan have caused frequent deluges that saturate the ground surface resulting in severe flood damage in low-lying areas. It might be possible to reduce flood damage in these areas by increasing energy losses at manholes upstream, and the intentional overflow from these manholes may delay the spread of flow over the ground surface downstream. When four kinds of baffle plate are installed in manhole outlets in straight pipes in order to reduce the cross-sectional area of flow to the downstream pipe, the energy loss coefficient K is by about 0.1 to 4.4 larger than the values of a conventional manhole type.

KEYWORDS; Energy loss, bottom profile in manhole, drop manhole, urban storm drainage

1. はじめに

著者らは、浸水防除を目的として建設されている雨水管路網の流下能力をより正確に評価するために、雨水管路の接合部である2方向接合円形落差マンホール（流入・流出管がそれぞれ1本ずつ接合）のエネルギー損失特性に関する実験的検討を行ってきた^{1),2)}。その結果、管路内の流れを管水路流れとした場合、マンホール出口付近の流出管も考慮したマンホール部でのエネルギー損失係数（損失水頭／管路の速度水頭）は0.1から2.0程度まで大きく変化することがわかった。しかし、マンホール部のエネルギー損失は、流入・流出管の水平面接合角度・段差、マンホール径比（マンホール内径／管内径）、管径比（流出管内径／流入管内径）やマンホールおよび管路内の流況（開水路流れ、管水路流れ、水深、流速）等の数多くの要素に支配されているため、未だ検討の余地も残されている。流入・流出管の水平面接合角度を90度としたマンホール部（以下では90度接合マンホール部と呼ぶ）において、管水路流れでマンホール内の水深の変化に伴う損失係数の変化状況を詳細に検討した研究例は著者らのもの以外見られない²⁾。しかし、この研究でもマンホール径比を3.6と固定しており、マンホール径比の違いによる影響は検討されていない。そこで、本論文では、まず、90度接合マンホールにおいてマンホール径比をこれまでの半分の1.8としたときのエ

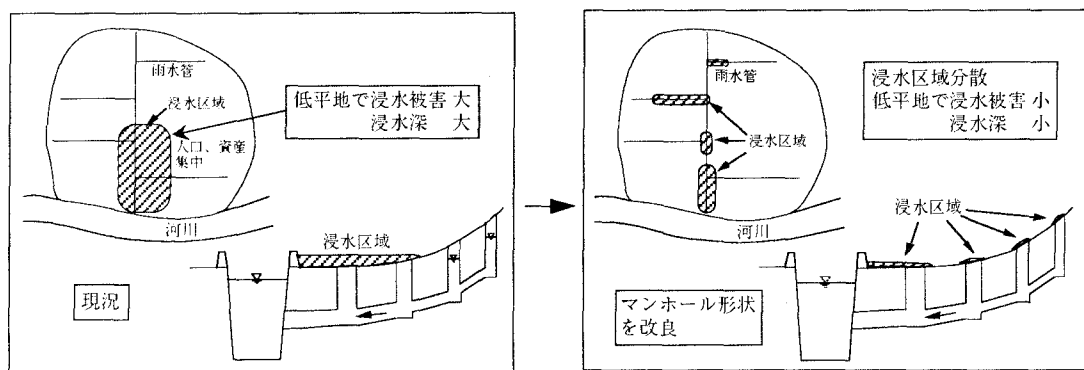
*九州共立大学工学部土木工学科 (Department of Civil Engineering, Kyushu Kyoritsu University)

**九州大学大学院工学研究院環境都市部門 (Department of Urban & Environmental Engineering, Kyushu University)

エネルギー損失特性を明らかにする。

マンホール部でのエネルギー損失が大きくなると、マンホールの上・下流間で大きな水位差を生じるため、動水勾配線を上方へ押し上げることになる。この損失を小さくし、動水勾配線を低下させることができれば、浸水に対してより安全な対策となる。特に、90度接合マンホール部での損失は大きいので、マンホール構造を改善することのメリットは非常に大きい。著者らは、昨年度90度接合マンホール底面のインパートの位置をマンホール側壁へ配置したマンホール形状を提案し、損失係数の減少効果を実験的に確認したが、この形状では既設マンホールをそのまま利用できないというデメリットがある³⁾。そこで、本論文では、次に既設マンホールの底面形状に簡単な工夫を加えたマンホール形状を提案し、損失係数のさらなる減少効果について考察する。

しかし、マンホール構造を損失が小さなものに改良したとしても、雨水管路の設計降雨強度をはるかに超えるような降雨がひとたび発生すれば、浸水被害は免れない。この浸水被害を軽減するために、近年、流出抑制型下水道、バイパス管、大規模な雨水貯留管等が建設されているが、地球温暖化の影響とみられる集中豪雨の発生頻度が増加傾向にあり、数十年かけてこれらの構造物が完成した時に、計画当初見込んでいた投資効果が本当に発揮されるのか疑問に思われる。もちろん、流出抑制型下水道は今後より一層進展させるべき施設であることは論を待たない。しかし、これまでのようにある生起確率年の降雨強度に対して浸水しないような設計をするにはどうすればよいかという考え方を続けていくと、降雨強度の生起確率を見直すたびに、多額の建設費用を投入しなければならないという悪循環に陥ると考えられる。そこで、これまでの考え方を転換し、浸水のある程度許容した上で、浸水被害を面的に極力小さくするようなシステムを構築する方がよいと思われる。つまり、地表面の浸水深を極力浅くし、被害が局地的に集中しないような分散型システムの検討が必要である（図－1 参照）。そのひとつの方法が、マンホール損失を軽減させる区域と増加させる区域を組み合わせるという考え方である。そこで、本論文では、最後にマンホール出口に簡単な工夫を加えたマンホール形状を提案し、損失係数の増大効果についても検討を加えることにする。



図－1 浸水被害軽減のイメージ

2. 実験装置と実験方法

2.1 下水道設計基準によるマンホール径比の範囲

図－2は「下水道施設計画・設計指針と解説－前編－」⁴⁾に示されている標準マンホールの形状別用途と川崎市荻宿地区における実態調査⁵⁾を基に中間点マンホール（1号～3号マンホール）に接合する管内径 D とマンホール径比（マンホール内径 b /管内径 D ）を示したものである。これらのマンホール号数では、マンホール径比は1.25～4.8の範囲にある。荻宿地区の実態調査によれば、2号マンホールでは400mm

以下、3号マンホールでは900mm以下の管も用いられているがこのケースは非常に少なく、検討対象とするマンホール径比の範囲を1.25～3.6とすれば現場のほとんどのケースを網羅することができる。本研究では、水理実験室のスペースの制約上、原型のマンホール径比と同じ比率のマンホール模型を用いた実験を行う。

2.2 模型の縮尺

本実験では最小流速 V を 25cm/s ($Q=0.50\text{l/s}$)、管内径 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、従来の研究からもこの影響をほとんど無視しえる。このことから、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-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の原型のマンホール径比 b_p/D_p は模型の比率 b_m/D_m に最も近い値を示している。

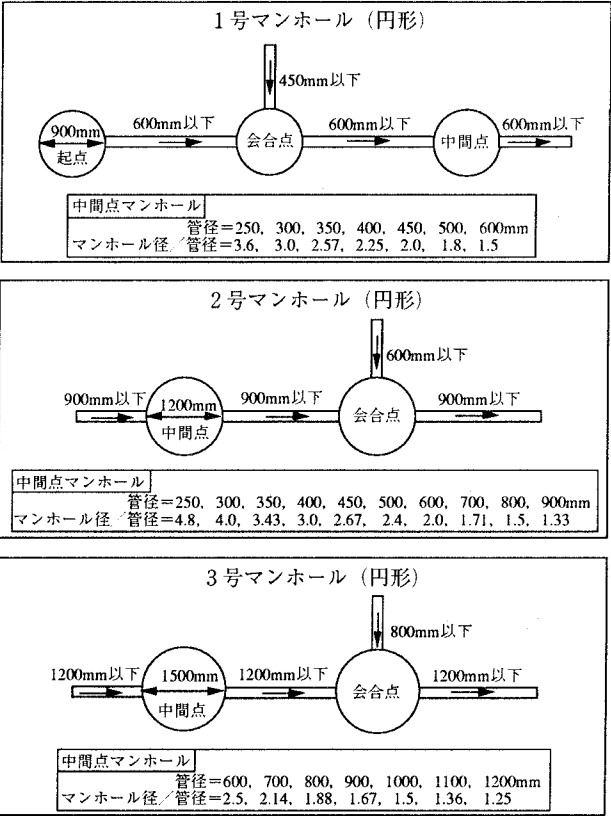


図-2 円形マンホールにおけるマンホール径比

表-1 模型の縮尺

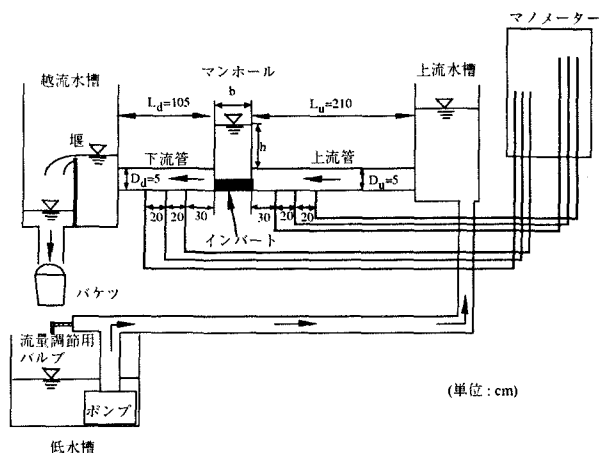
模型 $\frac{b_m}{D_m}$	原型 $\frac{b_p}{D_p}$			縮尺 $\lambda = \frac{D_m}{D_p}$			流速の比率 $\frac{v_m}{v_p} = \sqrt{\lambda}$		
	1号	2号	3号	1号	2号	3号	1号	2号	3号
$\frac{9}{5}=1.8$	$\frac{90}{50}=1.8$	$\frac{120}{70}=1.71$	$\frac{150}{80}=1.88$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{16}$	0.32	0.27	0.25
$\frac{18}{5}=3.6$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

表-2 フルードの相似則による流速の範囲

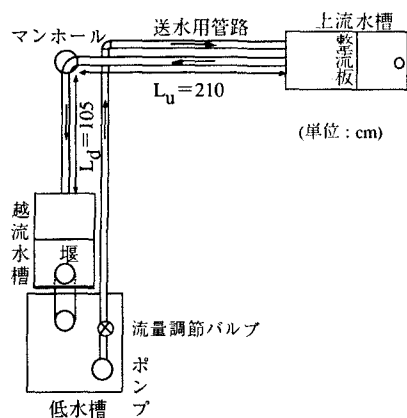
流量 Q_m (l/s)	流速 V_m (m/s)	$V_m = V_p \times \sqrt{\lambda}$ (m/s)	
		$\sqrt{\lambda}=0.25$	$\sqrt{\lambda}=0.45$
0.5	0.25	最小流速 $V_m=0.8 \times 0.25=0.20$	最小流速 $V_m=0.8 \times 0.45=0.36$
1.0	0.51		
1.5	0.76	最大流速 $V_m=3.0 \times 0.25=0.75$	最大流速 $V_m=3.0 \times 0.45=1.35$
2.0	1.02		

2.3 実験装置

上・下流管の水平面接合角度を180度(側面図)、90度(平面図)とした実験装置(模型)の概要をそれぞれ図-3と4に示す。管路とマンホールの構造寸法は、上流管長 $L_u=210\text{cm}$ 、下流管長 $L_d=105\text{cm}$ 、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 は180度接合マンホールでは 18cm のみ、90度接合マンホールでは 18cm と 9cm である。従って、模型でのマンホール径比は 3.6 ($18\text{cm}/5\text{cm}$) と 1.8 ($9\text{cm}/5\text{cm}$) の2種となる。(表-1参照)。1号マンホール以外のマンホール号数(図-2、表-1参照)でもマンホール径比が模型の比率に近いものであれば、後述する実験結果を利用できる。



図－3 実験装置の概要 (180度、側面図)



図－4 実験装置の概要 (90度、平面図)

2. 4 実験方法

実験方法は以下の通りである。

(1) 流量調節バルブにより所定の流量 $Q (=Q_m=0.50, 1.00, 1.50, 2.00 \text{ l/s})$ の4種) に設定する。

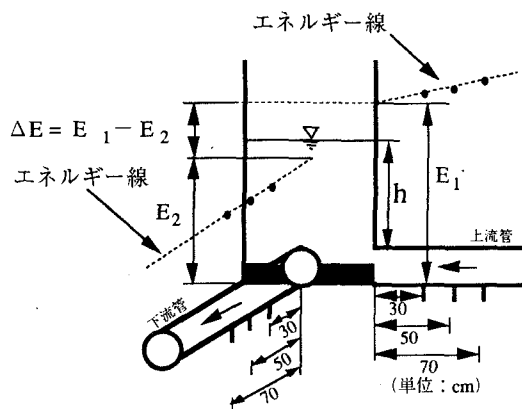
(2) 上流管内壁頂部から水面までの距離をマンホール水深 h とし、それが所定の水深 ($0 \leq h/D_u < 7$) になるように下流管末端部の越流水槽内の堰高を調節する。マンホール水深 h はマンホール外壁に取り付けた3個のメジャー(マンホール入口中央と出口中央の2箇所、入口と出口の間の1箇所の計3箇所)により測定し、それらの平均値を測定値とする。

(3) 上・下流管にそれぞれ3箇所ずつ取り付けしたマンノメーターによって測定されたピエゾ水頭を基にエネルギー線を計算し、マンホール部のエネルギー損失水頭 ΔE を求める (図－5 参照)。そして、(1) 式によりエネルギー損失係数 K を算定する。

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

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。

(4) (1)～(3)の手順を20種類程度のマンホール水深について行う。



図－5 マンホールのエネルギー損失水頭

3. マンホール径比の違いがマンホール部のエネルギー損失に及ぼす影響

3. 1 マンホール形状

図－6 に示す4種のマンホール形状は我が国で一般的に用いられている管内径の1/2の深さのインバートを有する90度接合マンホール部を簡単にモデル化したものである。Type B と Type BB はそれぞれ、Type A および Type AA (これらの損失特性は文献2) と3) で報告済み) のマンホール内径18cmを半分の9 cmにしたものである。

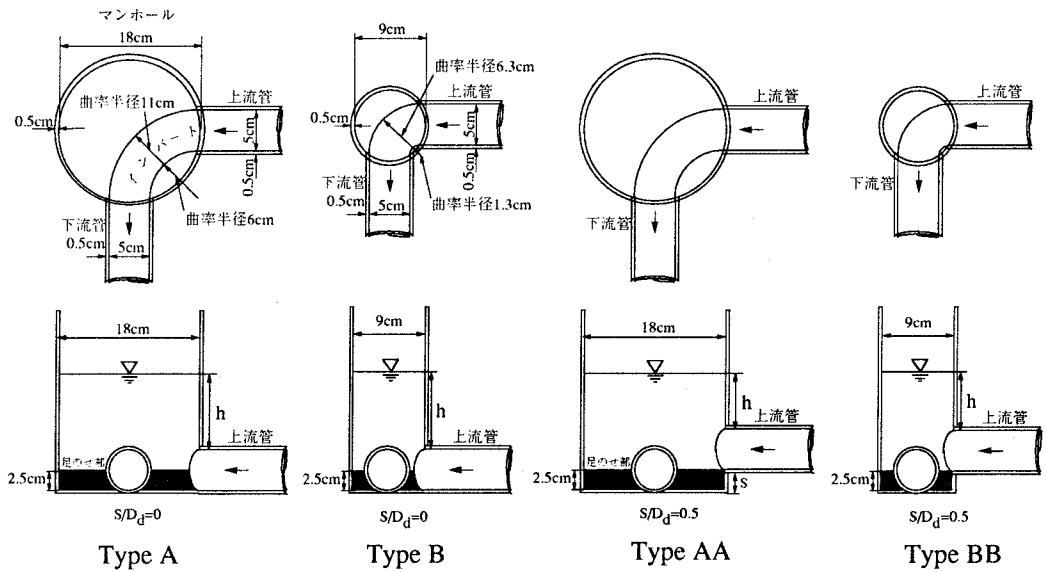


図-6 管路の接合状況とマンホール底面形状（90度接合）

3.2 実験結果と考察

90度接合マンホールにおいて上・下流管の段差比 S/D_d （ S : 上・下流管の段差）を0としたときのType AとType Bでの損失係数の比較を図-7に示す。Type Bでは、Type Aと異なりマンホール水深比 h/D_u が1付近で損失係数はかなり増大する。これは、図-8にも示すようにマンホール径の小さいType Bの方がマンホール内でロート状のスケールの大きな渦が発生しやすくなるためである。流量 Q が1.0l/s以上になると、大気中の空気を巻き込みながら水が下流管へ流出する様子が観察される。 h/D_u が1.5付近を超えると、Type BはType Aよりも損失係数はやや小さくなる傾向にある。これは、以下の理由によると考えられる。Type Bでは h/D_u が1.5付近より増加するとロート状の渦のスケールはしだいに小さくなるため、損失係数が増大することはない。また、Type Bではマンホール径比がType Aの半分になっているので、マンホール出口より下流側での流れの急縮・急拡による損失がType Aよりも小さくなる。段差比 S/D_d を0.5としたときの損失係数の比較を図-9に示す。Type BBでは、流量 Q が0.5l/sのとき水深によっては他の流量よりも損失係数はかなり大きく増加している。実際のところ目視観察だけではこの原因はよくわからない。流れの可視化により、流れの構造を明らかにする必要がある。他の流量では、いずれのマンホール形状でもマンホール水深の変化に伴う損失係数の変化状況は実験誤差の範囲内でほぼ同じであり、マンホール径の違いによる差はほとんど認められない。

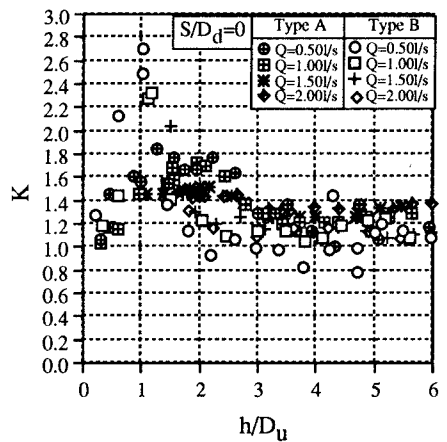


図-7 K と h/D_u の関係（ $S/D_d=0$ ）

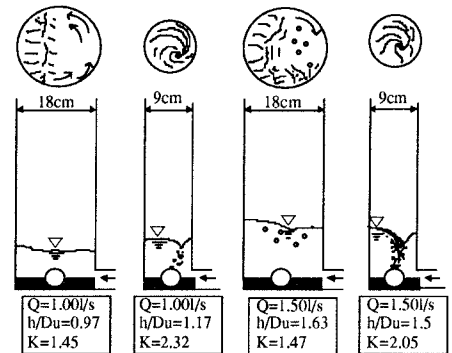


図-8 マンホール内の流況
（マンホール径の違いの影響）

4. マンホール損失軽減のための90度接合マンホール構造の改善案

4.1 マンホール形状

図-10のType CとType CCは前述したように90度接合マンホール部での損失を軽減するために昨年度提案したものであるが、既設マンホールのType AやType AA（図-6参照）をそのまま利用できない。そこで、図-10に示すようにType DとType DDを新規に作成した。これらのマンホール形状はType AやType AAよりもインバートの深さを深くし、さらに、上流管からの流入水の大部分がインバートに沿ってマンホールから流出するように足のせ部に平たいカバーを設置したものである。このカバーには、管路内の空気の排気とマンホール内での雨水貯留のために直径7mmの孔を設けている。実際の管路内の流れが非定常流れであることを考慮すると、管路内に閉じ込められた空気を排除するにはこの孔の大きさでは十分でないと思われ、今後の検討課題である⁶⁾。

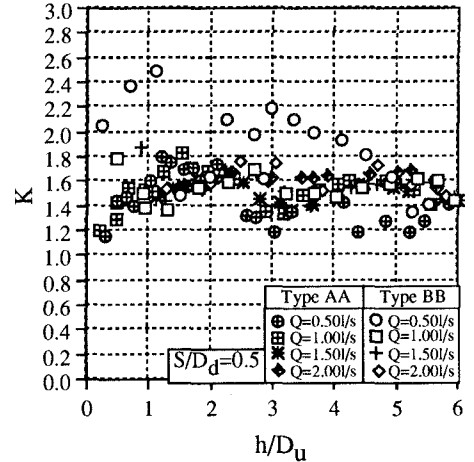


図-9 K と h/D_u の関係 ($S/D_d=0.5$)

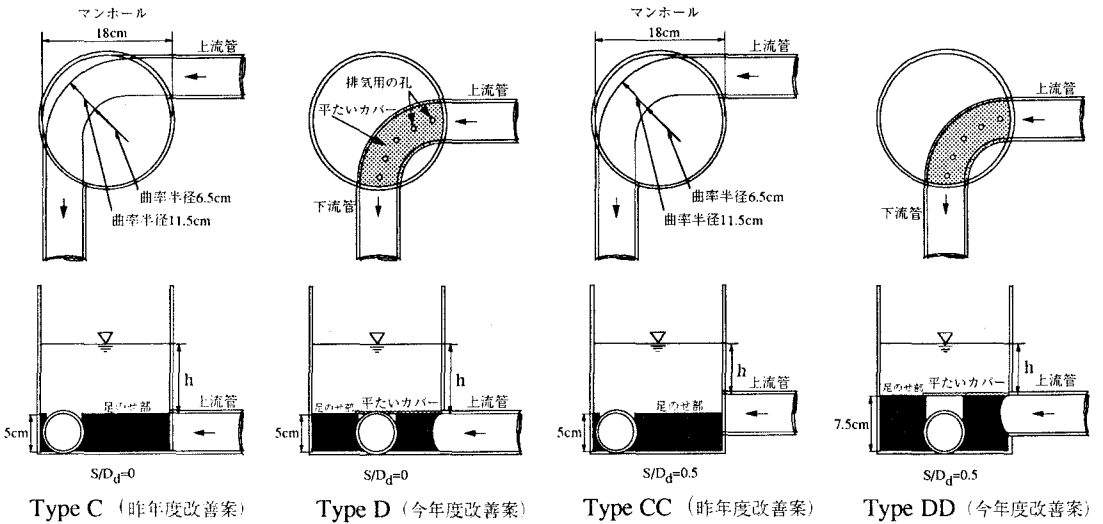


図-10 管路の接合状況とマンホール底面形状 (90度接合)

4.2 実験結果と考察

今回提案したType DとType DDでのマンホール損失の軽減効果をそれぞれ図-11、13に示す。段差比 S/D_d を0としたType Dでは、 $Q=0.5$ l/sを除く他の流量では損失係数はマンホール水深によらずほぼ一定で、その値は0.4～0.5程度となり、Type Aに比べて損失係数は0.6～1.3程度減少する（図-11参照）。実際には豪雨時にマンホールから溢水するか否かという地表面付近の水位が非常に重要である。マンホール水深比 h/D_u が3から6付近でも損失係数はType Aに比べて0.7～0.9程度減少しており、Type Dでの損失係数の減少効果は非常に大きいことがわかる。マンホール水位が比較的高いときを想定して、Type Dでの損失係数がType Aよりも0.8減少すると仮定した場合の管内流速とマンホールでの損失水頭の減少量を図-12

に示す。例えば、豪雨時に管路内の平均流速が3 m/s になったとすると、TypeDではType Aよりもマンホールでの損失水頭は約37cm減少する。マンホール5個でこの改善を実施すると約185cmも損失水頭が減少することになり、これは管路の埋設深さに相当する効果である。 S/D_d を0.5にしたType DDでは、 $Q=0.5l/s$ を除けばType AAよりも損失係数は0.2～0.8程度減少する（図-13参照）。この段差比では、管底接合のとき（図-11参照）よりも損失係数の減少効果はかなり小さくなっている。この原因は、Type DDでは段差を有するため、Type CCと同様上流管からの流入水の一部がマンホール壁面へ衝突し、そのときの損失が大きくなるからである。これを改善するには、足のせ部に勾配をつける等の工夫も考えられる。マンホールType Dを採用する際の今後の課題として、インバート上のカバーに設けた排気用の孔の大きさや位置、カバーの開閉の検討、カバーが水圧や圧縮された空気圧で飛ばないように工夫等が挙げられる。

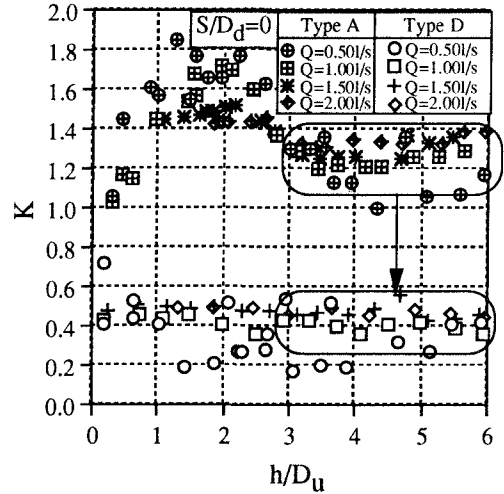


図-11 K と h/D_u の関係 ($S/D_d=0$)

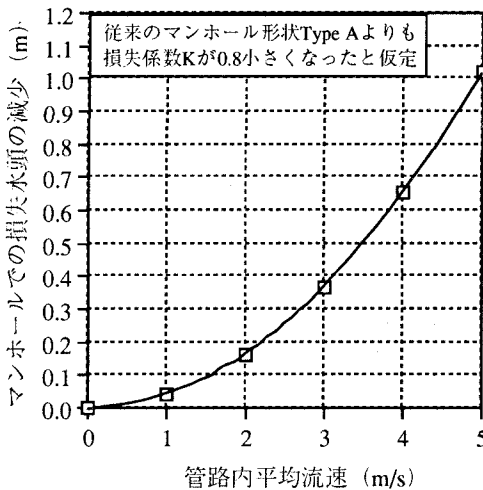


図-12 Type Dにおける損失水頭の減少

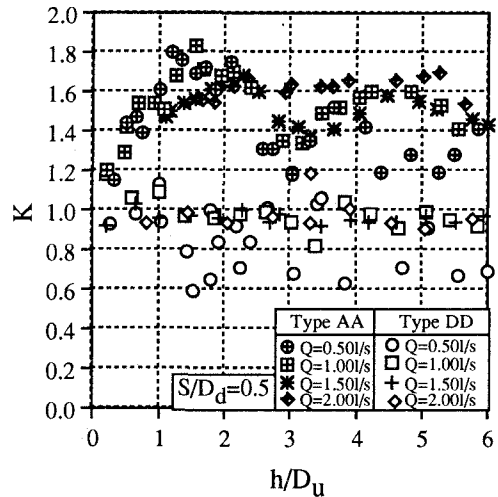
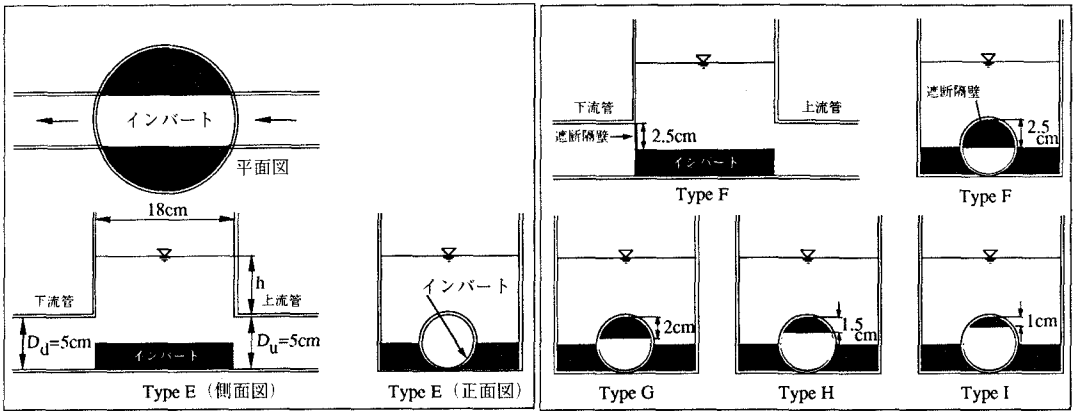


図-13 K と h/D_u の関係 ($S/D_d=0.5$)

5. マンホール損失増加のための180度接合マンホール構造の改善案

5.1 マンホール形状

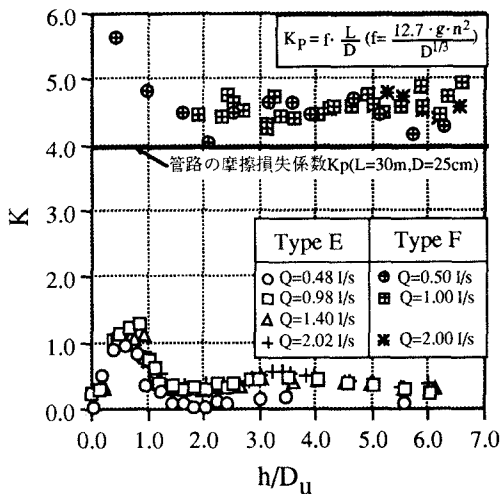
図-14のType Eは我が国で一般的に用いられている管内径の1/2の深さのインバートを有する180度接合マンホール（管底接合）を簡単にモデル化したものである。マンホール部のエネルギー損失を増加させるための4種類のマンホール形状（Type F～Type I）を図-14の右側に示す。Type F～Type Iはマンホール出口に遮断隔壁を設置してマンホール出口での水流の流出面積を縮小したものである。



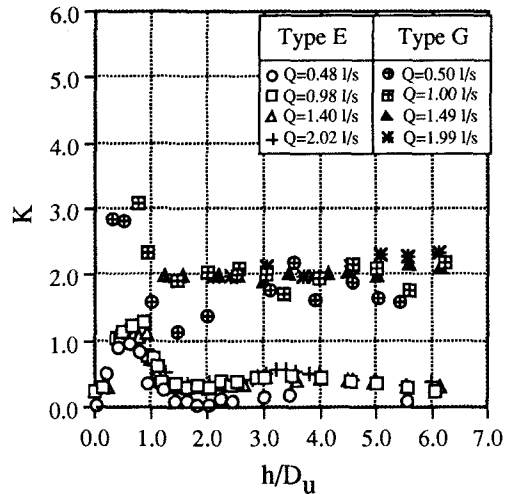
図－14 管路の接合状況とマンホール底面形状（180度接合）

5.2 実験結果と考察

Type EとType F～Iでの損失係数 K を比較したものをそれぞれ図－15～18に示す。図－15中の損失係数 K_p は管長30m（全国平均の長さ）、管内径25cm、粗度係数 $n = 0.013$ としたときの管路の摩擦損失係数を表わしている。Type F（図－14参照）では遮断隔壁によってマンホール出口における水流の流出面積 A' が管断面積 A （ $=19.63\text{cm}^2$ ）の半分（ $A'/A = 0.5$ ）になっているので、下流管での流れの急縮後の急膨の影響で損失は非常に大きくなる。図－15に示すように、Type Eと同様マンホール水深比 h/D_u が小さいところでは損失係数の変化は大きい。Type Fでの損失係数は4.0～5.7の範囲にあり、管路の摩擦損失係数 K_p より大きな損失であることがわかる。Type Fよりもマンホール出口の流出面積をやや広くしたType G（ $A'/A = 0.626$ ）では、流出面積はType Fの1.25倍であるが、損失係数はType Fよりも約50～60%小さくなっている（図－16参照）。それでもType Eより損失係数はかなり大きい。Type Gよりも流出面積をさらに広くしたType H（ $A'/A = 0.748$ ）では、損失係数はType Eより1.5～5倍程度大きくなっている（図－17参照）。図－17で注目すべき点は、マンホール水深比 h/D_u が3.5付近より小さいところでは、Type E、Type Hいずれにおいても、水深の変化に伴う損失係数の変化状況は似ているが、 h/D_u が4を超えると水深の変化に伴う損失係数の変化状況は互いに逆の傾向を示している。図－17ほど顕著ではないが、図－15と16で



図－15 K と h/D_u の関係（Type E と Type F）



図－16 K と h/D_u の関係（Type E と Type G）

も同じような傾向が見られる。この原因については、現時点では明らかではない。マンホール出口の流出面積をType Eよりもやや小さくしたType I ($A'/A = 0.858$) では、Type Eよりも損失係数はやや大きくなる程度である(図-18参照)。図-19は各流量における損失係数 K の平均値(ただし、マンホール水深比 $h/D_u \geq 2$)と流出面積比 A'/A との関係を表わしている。 A'/A が0.5~0.7付近では、流出面積比の増加に伴い損失係数は大きく減少するが、これよりも流出面積比が増加すると損失係数は緩やかに減少する。図-20は管路内の平均流速 (m/s) が変化したときのマンホールType F~Iでの損失水頭 (m) を表わしている。ちなみに、管内流速が2 m/sを超えるとType Fでは管路の埋設深さ(一般的に1 m以上)に相当する非常に大きな損失水頭が生じることがわかる。

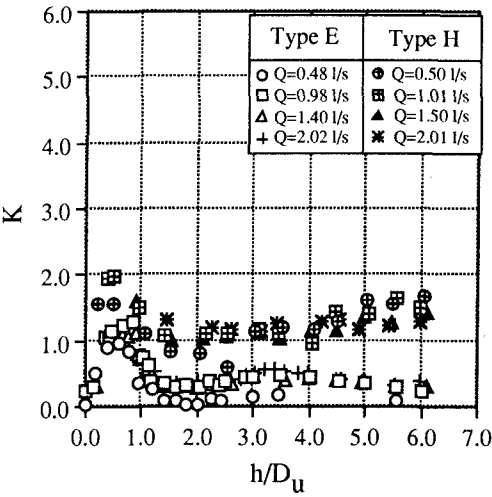


図-17 K と h/D_u の関係 (Type EとType H)

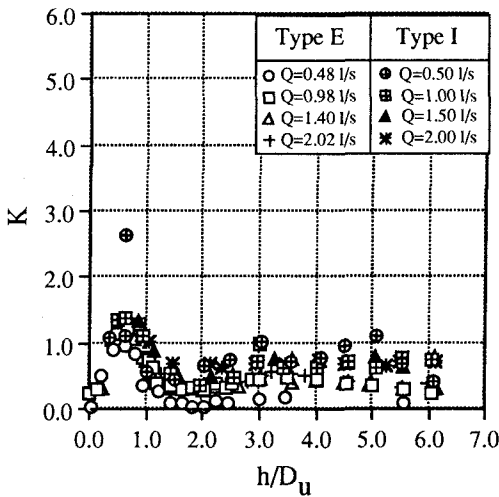


図-18 K と h/D_u の関係 (Type EとType I)

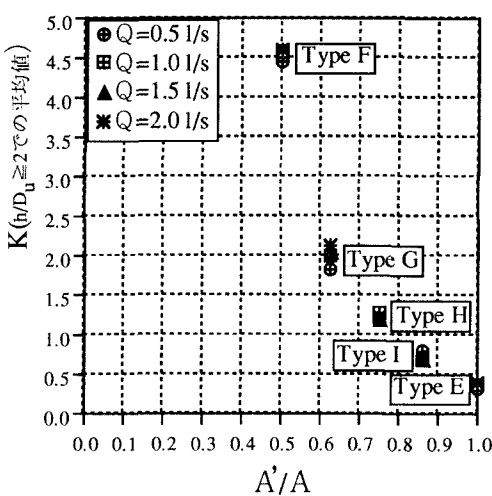


図-19 K と A'/A の関係

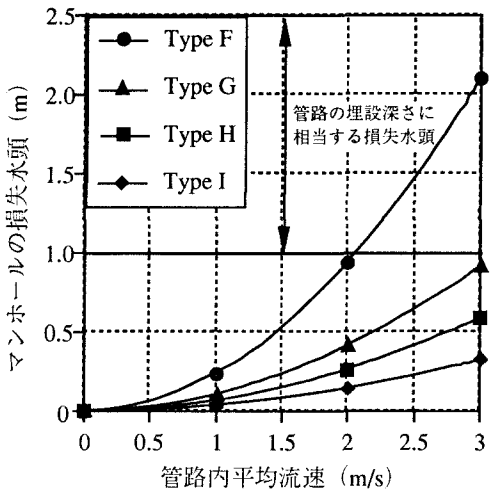


図-20 管内流速とマンホールでの損失水頭

6. まとめ

流入・流出管がそれぞれ1本ずつ接合する2方向接合円形落差マンホールを対象とした検討結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 我が国で用いられている90度接合マンホールを対象とした模型実験で、マンホール径比（マンホール内径／管内径）を3.6から1.8に小さくすると、管底接合ではマンホール水深によってはスケールの大きなロート状の渦が発生するためマンホールでのエネルギー損失はかなり増大する。上・下流管の段差を管径の1/2にした場合、流量がある程度大きくなるとマンホール径比の影響はほとんど認められない。
- 2) マンホール径比を3.6とした90度接合マンホールにおいて、インバートの深さを管内径と同じにし、さらに、足のせ部に平たいカバーを設置すると、管底接合では従来のマンホール形状よりもマンホール部のエネルギー損失係数は0.6～1.3程度減少する。マンホール水位が比較的高い場合でも損失係数は0.7～0.9程度減少するため、損失係数の減少効果は非常に大きい。段差を管径の1/2にした場合、従来のものよりも損失係数は0.2～0.8程度減少する。管底接合よりも損失係数の減少効果が小さいのは、上流管からの流入水の一部がマンホール下流壁に衝突するため、これによる損失が大きいからである。
- 3) マンホール出口に4種類の遮断隔壁を設置し、マンホール出口から下流管への流出面積を小さくすると、従来のものよりも損失係数は数10%から～最大15倍程度大きくなる。マンホール出口の流出面積を管断面積の1/2にしたものでは管路の摩擦損失水頭に相当する損失の増大効果がある。

今後の検討課題として、以下のものが挙げられる。

- 1) インバート上のカバーに設けた排気用の孔の大きさや位置の検討、カバーの開閉やカバーが水压や圧縮された空気圧で飛ばないように工夫
- 2) 今回提案したマンホール形状を都市域に配置したときの浸水被害軽減効果の検討

記号表

A ：管断面積（19.63cm ² ）	A' ：マンホール出口での水の流出面積
b ：マンホール内径	b_p ：原型でのマンホール内径
b_m ：模型でのマンホール内径	D ：管内径
D_u ：上流管内径	D_d ：下流管内径
D_p ：原型での管内径	D_m ：模型での管内径
ΔE ：マンホール部のエネルギー損失水頭	g ：重力加速度
h ：上流管内壁頂部から水面までの距離	h/D_d ：マンホール水深比
K ：マンホール部のエネルギー損失係数	K_p ：管路の壁面摩擦損失係数
L_u ：上流管長	L_d ：下流管長
n ：管路の粗度係数	V ：管路の断面平均流速
V_p ：原型での管路の断面平均流速	V_m ：模型での管路の断面平均流速
V_d ：下流管の断面平均流速	Q ：管路の流量（管水路流れ）
Q_m ：模型での管路の流量	S ：上・下流管の段差
S/D_d ：段差比	

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.

- 3) 荒尾慎司, 楠田哲也: 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, 環境工学研究論文集, Vol.36, pp.353-360, 1999.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 誰でもわかる下水道マンホール安全対策, 下水道マンホール安全対策研究会, pp.29-38, 2000.