

(19) 遮断隔壁を伴う2方向接合円形落差マンホールの損失特性

Energy Loss at Two-way Circular Drop Manholes with a Baffle Plate

荒尾 慎司*, 楠田 哲也**

Shinji Arao *, Tetsuya Kusuda **

ABSTRACT, The authors previously proposed a new type of manhole for energy loss reduction with a flat guide cover on the invert of a conventional manhole with right-angle pipes (2000). 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. 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. The authors also previously proposed a new type of manhole with a baffle plate at the manhole outlet in straight pipes in order to reduce the cross-sectional area of flow to the downstream pipe. Under steep slope ground surface, “drop” is often set between upstream and downstream pipes. In this study, the energy loss coefficient, K is estimated by experimental data in manholes considering four kinds of baffle plates and three kinds of drops. The energy loss coefficient, K ranges from 0.8 to 8.9 due to the experimental results.

KEYWORDS: storm sewer, energy loss, drop manhole, reduction of flooding, baffle plate

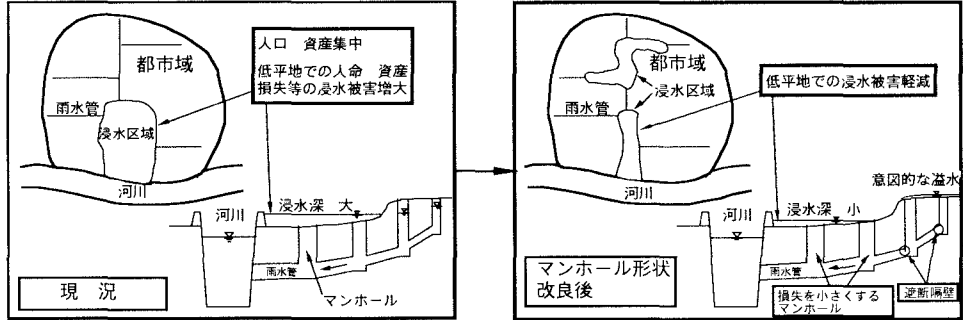
1. はじめに

主に大都市で整備が進んでいる下水道施設の中で、雨水排除を目的とした雨水管路は生起確率5年あるいは10年の計画降雨に対して浸水させないという基準で整備されている。しかし、近年、地球温暖化の影響と見られる局地的集中豪雨が世界各地で頻発しており、特に大都市での浸水被害は甚大である。我が国では平成14年度の公共事業費が昨年度より約10%削減された。今後、さらなる予算削減が予想されるため、限られた予算の中で、現在利用されている都市基盤施設に工夫を凝らし、施設の機能をより充実させる必要がある。このような背景から、欧米を中心に雨水管路の接合部であるマンホールの形状損失を従来のものより小さくし、動水勾配線を低下させることにより地表面での浸水深を低下させる試みがなされている^{1)~8)}。しかし、これが効果を発揮するのは、設計降雨よりやや大きい降雨強度に対してであり、地下施設が浸水する時間雨量70mmを越える降雨に対しては、やはり大きな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、排水ポンプ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、数年から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。そこで、これまでの考え方を転換し、浸水は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

*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)

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。マンホール損失を増加させる区域では道路を透水性舗装することで浸水被害をより小さくすることも可能である。著者らは、局地的集中豪雨による都市低平地の浸水被害（人命・資産損失等）を軽減するために、浸水面積は多少増加するものの、10cm～20cm程度の道路湛水を許容するものとして、都市低平地の周辺上流域で意図的に溢水させるマンホール形状を提案している（図－1～3参照、平成12年度^{8), 9)}）。本マンホールはマンホール出口に遮断隔壁を取り付けており（図－3の Type B 参照）、上流管からマンホールへ流入する雨水が遮断隔壁に衝突する際の運動エネルギーの損失やマンホール出口付近における下流管での流れの急縮・急拡によりマンホールの形状損失は増大する。少降雨時には、この遮断隔壁は雨水流下の疎外要因にはなっておらず、従来のマンホール形状と同じ機能を果たす。平成12年度の報告⁹⁾では、マンホールの上・下流管の間に段差がない場合のみを取り扱っていた。しかし、地形勾配が急なところでは段差を設けることがあるため、これを考慮した検討が必要である。本論文では、段差を3種変化させた場合の損失増大効果について実験的に検討した。

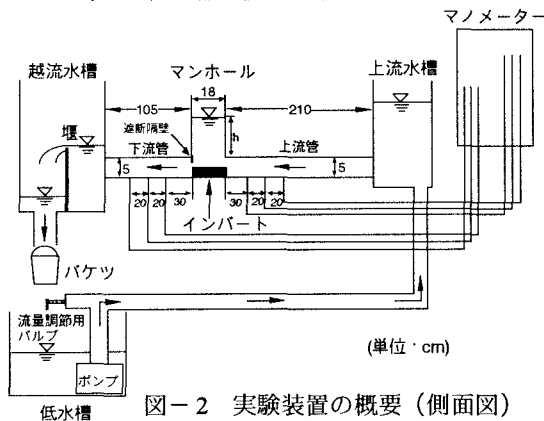


図－1 マンホール形状改良による低平地での浸水被害軽減

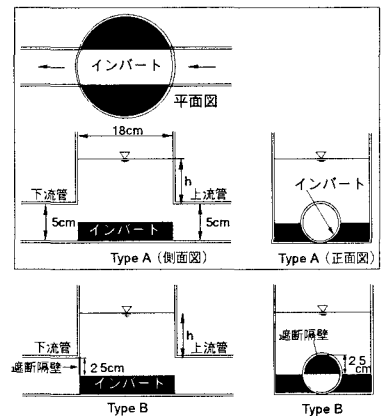
2. 実験装置およびマンホール形状

2.1 実験装置

実験装置（模型）の概要を図－2に示す。実験装置として上流管長 $L_u=2.10\text{m}$ 、下流管長 $L_d=1.05\text{m}$ 、上流管と下流管の水平面接合角度を180度、管勾配を水平としたものを用いた。また、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18cmである。本研究で用いたマンホールと管路は、実物（1号マンホール）の1/5の縮小模型である。



図－2 実験装置の概要（側面図）



図－3 平成12年度検討モデル

2.2 マンホール形状

図-3のType Aは日本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マンホール形状を簡単にモデル化したものである。Type BはType Aの出口に遮断隔壁を取り付けたものである（平成12年度検討）。Type Aにおいて上・下流管の段差を3種変化させ、それぞれの段差においてマンホール出口に遮断隔壁を4種設置したものを図-4.1、4.2に示す。

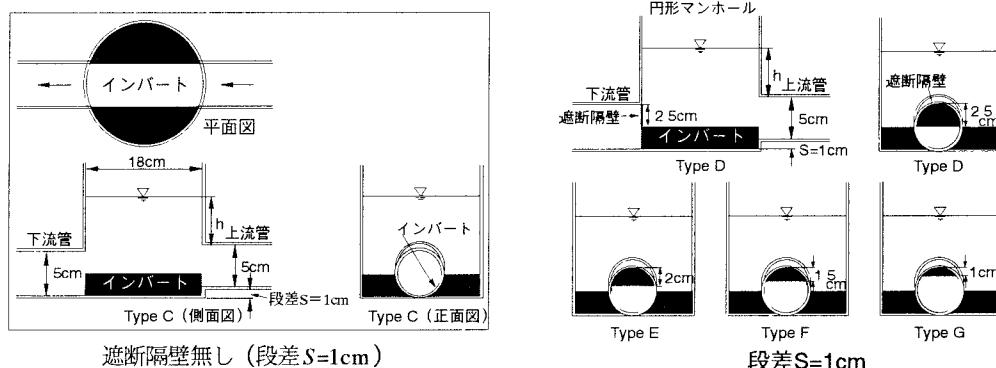


図-4.1 マンホール出口に遮断隔壁を設置したモデル（段差 $S=1\text{cm}$ ）

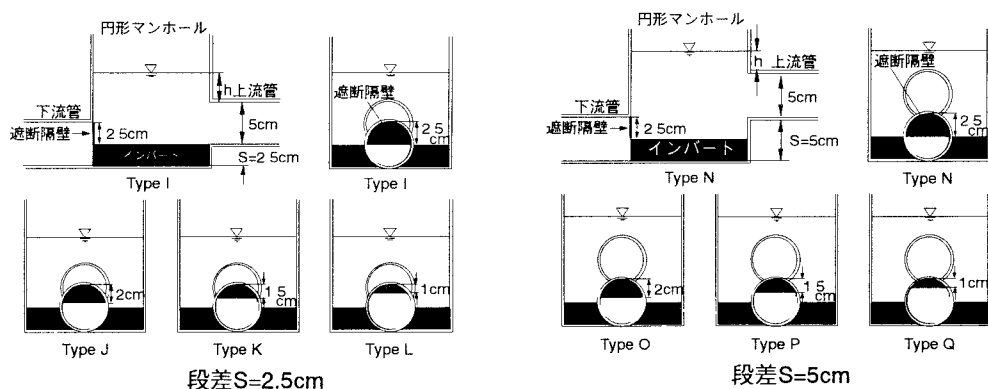


図-4.2 マンホール出口に遮断隔壁を設置したモデル（段差 $S=2.5\text{cm}$ 、 5cm ）

3. 実験方法とマンホールのエネルギー損失の算定

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、それが所定的水深（ $0 < h/D_u < 7$ ）になるように下流管末端部の越流水槽内の堰高を設定する。③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メジャーにより測定し、それらの平均値を測定値とする。④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圧力水頭を測定し、その測定値に速度水頭（ $V_d^2/2g$ ）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、(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。

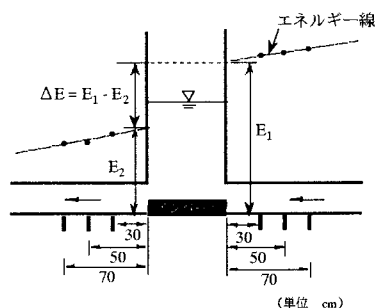


図-5 マンホールのエネルギー損失水頭 ΔE

以上、②～④の手順で10～15種類程度のマンホール水深について検討する。

4. 実験条件

本研究では表－1に示すように実験ケースを39種設定した。図－4.1、4.2に示した新しい12種類の各マンホール形状において流量 Q を0.50l/s、1.00l/s、2.00l/sの3種類変化させた。なお、マンホール形状によっては $Q=1.50$ l/sや2.00l/sにするとマンホール損失が非常に大きくなる。これらの流量では下流管出口を自由放流とした場合、マンホール水深 h が20cm～30cmであっても、管路の動水勾配線はかなり急な勾配となるため、上流側のマノメーターや上流水槽から水が溢れ計測不能となる。そのため、これよりもやや少ない流量で実験を行ったものもある。

表－1 実験ケース

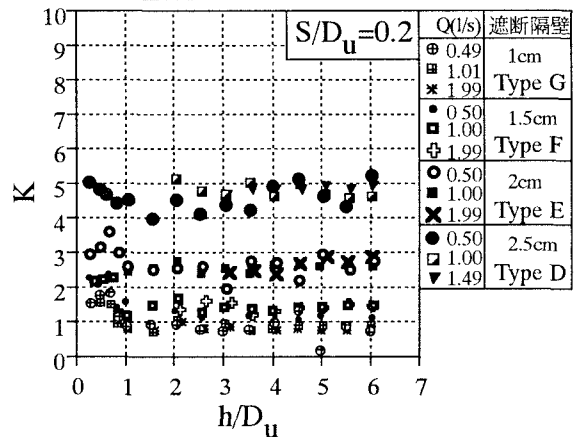
実験番号	マンホール形状 (段差1cm)	流量 Q (l/s)	実験番号	マンホール形状 (段差2.5cm)	流量 Q (l/s)	実験番号	マンホール形状 (段差5cm)	流量 Q (l/s)
1	Type D	0.50	13	Type I	0.50	26	Type N	0.50
2		1.00	14		1.00	27		0.75
3		1.49	15		1.23	28		1.00
4	Type E	0.50	16	Type J	0.50	29	Type O	1.50
5		1.00	17		1.00	30		0.50
6		1.99	18		1.25	31		1.00
7	Type F	0.50	19	Type K	1.48	32	Type P	1.51
8		1.00	20		0.50	33		1.93
9		1.99	21		1.00	34		0.50
10	Type G	0.49	22	Type L	2.00	35	Type Q	0.99
11		1.01	23		0.50	36		2.02
12		1.99	24		1.00	37		0.50
			25		1.99	38		1.00
						39		1.97

5. 実験結果と考察

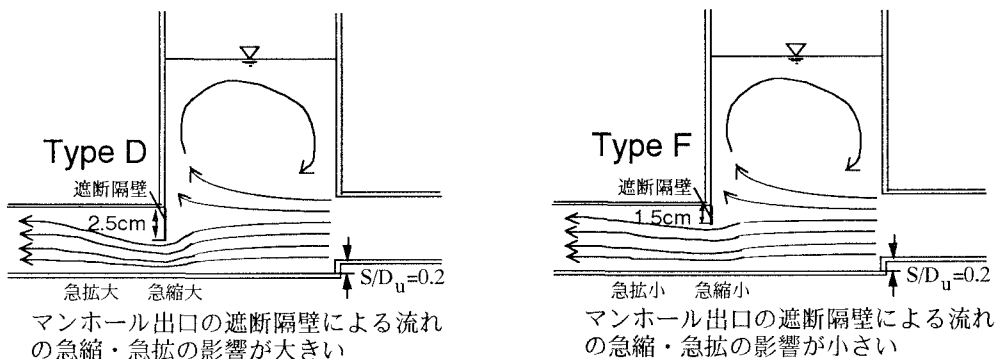
上・下流管の段差 S を一定として、遮断隔壁の変化に伴う損失係数 K とマンホール水深比 h/D_u (D_u は上流管内径)との関係を表したものを図－6、8、9に示す。

1) 段差比 $S/D_u=0.2$ (Type D-G)

段差比 $S/D_u=0.2$ (図－6参照) では、Type D (遮断隔壁2.5cm) のとき、図－7に示すように上流管からの流入水が下流管へ流出する際に、流線の一部が鉛直下向きに大きく曲がるため、マンホール出口から下流側で流れの急縮・急膨の影響が大きくなる。そのため、面積の小さい他の遮断隔壁より損失係数は非常に大きく、その値は4～5.1となる。遮断隔壁の面積が最も小さいType Gでは、水深の浅いところで、渦の影響により損失係数はやや増加するものの h/D_u が1を超えると損失係数は1程度となる。



図－6 K と h/D_u の関係 ($S/D_u=0.2$)



図－7 マンホール内の流況 ($S/D_u=0.2$)

2) 段差比 $S/D_u=0.5$ (Type I-L)

段差比 $S/D_u=0.5$ (図-8参照) では、 $S/D_u=0.2$ に比べて段差が大きくなった分だけ、マンホール出口から流出する流線の一部が遮断隔壁によって、さらに鉛直下向きに大きく曲げられるため、損失係数はより増加する。Type I (遮断隔壁 2.5cm) のとき、損失係数は6.3～7.8、Type L (遮断隔壁 1cm) では損失係数は1.2～1.9となる。

3) 段差比 $S/D_u=1$ (Type N-Q)

段差比 $S/D_u=1$ (図-9参照) では、 $S/D_u=0.5$ に比べてさらに段差が大きいため、損失係数はかなり増大する (図-10参照)。Type N (遮断隔壁 2.5cm) のとき、損失係数は7.5～8.9、Type Q (遮断隔壁 1cm) では損失係数は2～2.7となる。

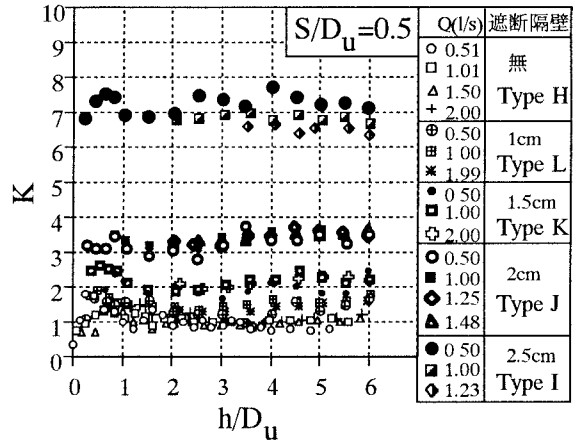


図-8 K と h/D_u の関係 ($S/D_u=0.5$)

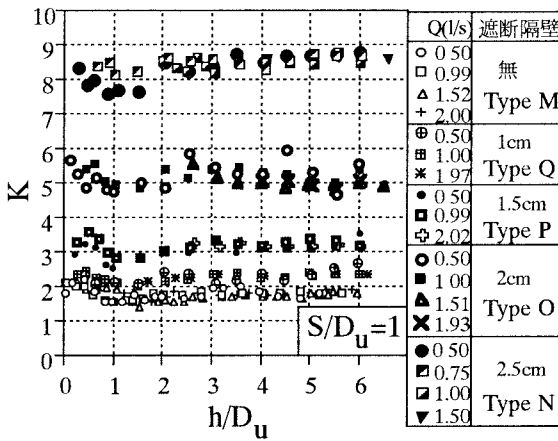


図-9 K と h/D_u の関係 ($S/D_u=1$)

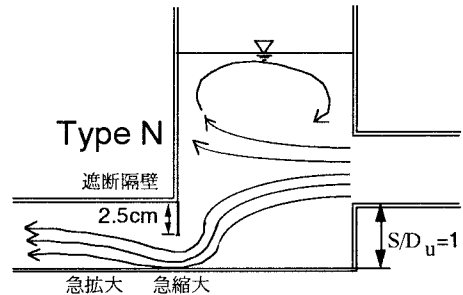
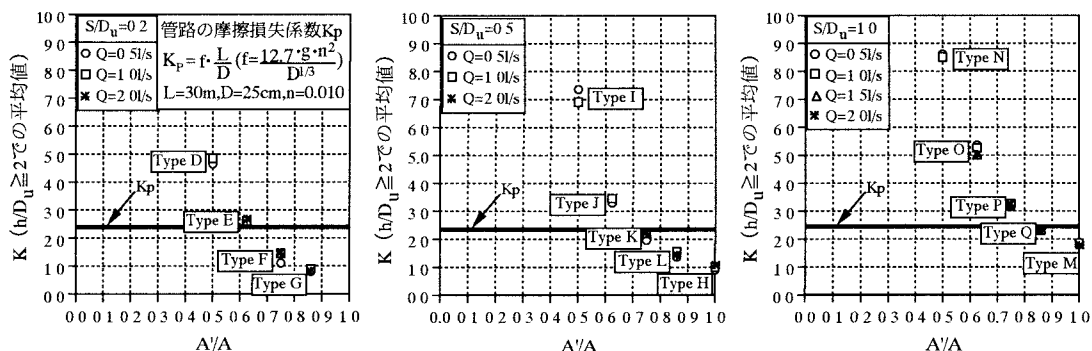


図-10 マンホール内の流況 ($S/D_u=1$)

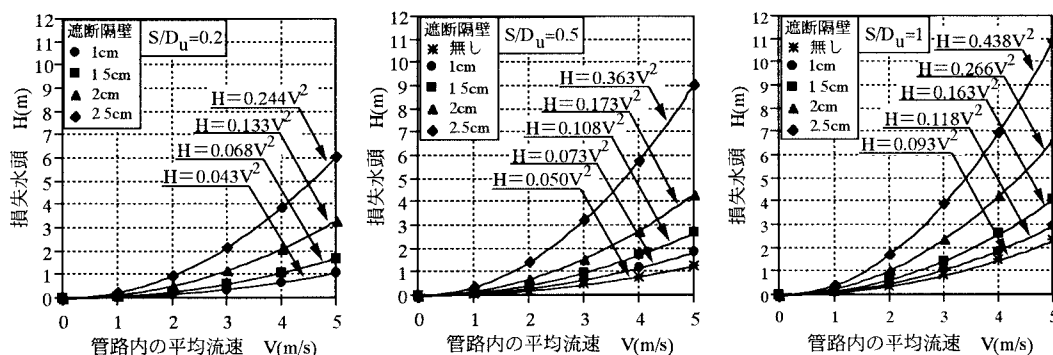
以上のことをより理解しやすくするために、 h/D_u を2以上としたときの損失係数の平均値とマンホール出口の流出面積比 A'/A (A' は水の流出面積、 A は管断面積 ($=19.63\text{cm}^2$)) との関係を図-11に示す。前述したように、本研究で用いた模型は原型を1/5に縮小したモデルである。図-11中には参考のため、管長30m (雨水管路長の全国調査による平均的な長さ)、管内径25cm (1/5の縮小模型を原型にスケールアップ)、粗度係数 $n=0.010$ (管内径25cmで多用されている塩化ビニル管) としたときの管路の摩擦損失係数 K_p を示している。 $A'/A=0.5$ の場合、マンホール出口の流出面積が最も小さいので損失係数は非常に大きくなる。この面積比において、段差比 $S/D_u=0.2$ のとき、マンホール損失 (Type D) は管路の摩擦損失係数 K_p の約2倍となる。また、段差比 $S/D_u=1$ (Type N) では、管路の摩擦損失係数 K_p の約3.5倍となる。これは、前述したように上流管からの流入水のほとんどがマンホール下流側壁面へ衝突するためと遮断隔壁による下流管での流れの急縮後の急膨の影響が非常に大きくなるためである。以上のことより、マンホール損失は段差、遮断隔壁の種類によって大きく変化することが解った。



図－11 K と A'/A の関係

6. 新型モデルを現場に適用したときの損失水頭について

これまで述べてきたように、マンホール出口に設置した遮断隔壁の面積と上・下流管の段差を増大させた場合のマンホール部のエネルギー損失の増加効果が明らかとなった。ここでは、実際にこれらのマンホール形状を現場に適用した場合のマンホール内での水位上昇程度を確認するために、管路内流速が変化したときの損失水頭を算定した。図－12に実際の損失水頭 H (m)と管路内の断面平均流速 V (m/s)との関係を示す。損失水頭が最も大きくなるマンホール形状はType N (段差比 $S/D_u=1$ 、遮断隔壁2.5cm)で、管路の設計許容最大流速である $V=3.0$ m/sでは、損失水頭(水位の上昇分)は3.94mとなる。次に大きくなるType I (段差比 $S/D_u=0.5$ 、遮断隔壁2.5cm)では、損失水頭は3.27mとなる。また、Type D (段差比 $S/D_u=0.2$ 、遮断隔壁2.5cm)でも、損失水頭は2.20mとなる。マンホールの掘削深は一般的に1～3m程度であり、これらのマンホールモデルを現場へ適用すると流速が2m/s～3m/sの場合1個のマンホールからでも水が噴出すると考えられ、低平地周辺上流域でも局所的な浸水深の増大をまねくため好ましくない。したがって、どのTypeのマンホールモデルを適用するかは、現地の地形状況、交通量、人口・資産の分布状況などを十分勘案し、これらのマンホールモデルを用いた浸水予測計算の結果に基づき決定する必要がある。



図－12 損失水頭と流速の関係

7. 流出面積比 A'/A と段差比 S/D_u を考慮した損失係数の定式化

マンホール出口に遮断隔壁取り付け場合のマンホール部の損失係数 K は次式に示すように3種の無次元数の関数と考えられる。

$$K = f\left(\frac{h}{D_u}, \frac{S}{D_u}, \frac{A'}{A}\right) \quad (2)$$

マンホール水深比 h/D_u が2以上のとき、いずれの実験条件においても水深の変化に伴う損失係数の変化は小さくほぼ一定とみなしてよい(図-6、8、9参照)。そこで、ここでは、(2)式の h/D_u を無視し、 S/D_u と A'/A を考慮した次式を提案する(図-13の実線参照)。

$$K = a \left(\frac{A'}{A}\right)^{1.4} \frac{S}{D_u}^{-3.6} \quad (3)$$

(3) 式の係数 a はマンホール出口に遮断隔壁がない場合の各段差毎の損失係数(実測値、図-14参照¹⁰⁾)で、本式の適用範囲は $0 \leq S/D_u \leq 1.0$ 、 $0.5 \leq A'/A \leq 1.0$ である。図-13からわかるように、 $0 \leq S/D_u \leq 1.0$ では(3)式(実線)は実測値をほぼ表現している。著者らは図-14に示すように遮断隔壁がない場合の損失係数が $S/D_u=2$ 付近で極大値となることを実験的に確認している。マンホールでの損失が大きくなる主な原因は、下流管での急縮後の急膨による損失と上流管からの流入水がマンホール下流壁へ衝突する際の運動エネルギーの損失である。図-15に示すように、遮断隔壁を取り付けたものでも段差比 S/D_u が大きくなるにつれて損失係数に及ぼす A'/A の影響は小さくなると考えられ、(3)式の指数部分はこの影響を表している。また、 S/D_u が1を越えてある程度大きくなると(3)式の指数部分はある一定値に近づくものと推察される。参考までに、実測値は得られていないが、 $S/D_u=1.5$ と 2.0 の場合の損失係数の推定値(指数部分の値は-2.2)を図-13中に示す。

8. まとめ

低平地部の浸水被害を軽減する

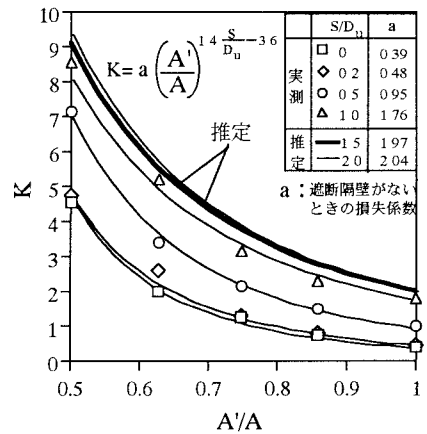


図-13 (3)式と実測値の比較

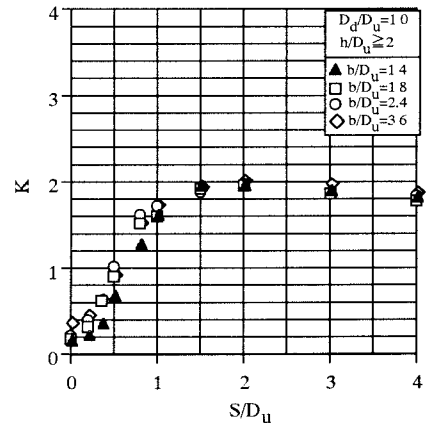


図-14 遮断隔壁がない場合の損失係数の実測値

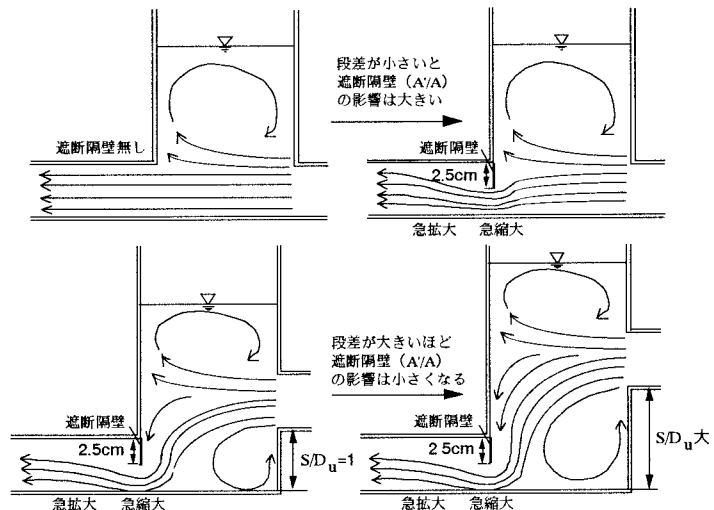


図-15 A'/A の影響

ことを目的として、低平地部の周辺上流域で意図的に溢水させる2方向接合円形落差マンホールモデルの損失特性に関する実験的検討を行った結果、以下の結論が得られた。

- 1) 上・下流管の段差を5cmとした場合、遮断隔壁によってマンホール出口の流出面積を半分にすると(Type N)、段差が大きいため下流管での流れの急縮後の急拡の影響でマンホール損失は非常に大きくなる。
- 2) 現場でマンホール1個をType D、Type I、Type Nに改良した場合、管路内の平均流速が2 m/s以上になると、マンホールからかなりの勢いで雨水が溢水し、局所的な浸水深の増大をまねくと考えられる。したがって、これを採用することは好ましくない。
- 3) Type F、K、P(遮断隔壁1.5cm)やType G、L、Q(遮断隔壁1cm)では、マンホール出口の流出面積が他のタイプよりも大きいため損失は小さくなる。現場では複数のマンホールをこれらのタイプに改良した方が、1箇所でも多量に溢水することがなく、局所的な浸水深の増大を避ける。
- 4) 遮断隔壁を伴うマンホール部の損失係数を段差比 S/D_u とマンホール出口での流出面積比 A'/A により定式化した。
- 5) 遮断隔壁を伴うマンホール形状を都市低平地部の周辺上流域に適当に配置すれば、人命や資産の損失などを伴う低平地部の甚大な浸水被害を軽減できる可能性がある。

本マンホールモデルを現場に適用する際には、あらかじめコンピュータによるシミュレーションを実施し、浸水被害軽減効果を確認する必要がある。また、本マンホールモデルでは、意図的に低平地周辺上流域で溢水させるため、住民からの苦情が寄せれることが予想される。したがって、前もって住民の理解を得るような施策も必要である。

参考文献

- 1) Howarth, D.A. and Saul, A. J. : Energy Loss Coefficients at Manholes, Proc. 3rd Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Chalmers Univ. of Technology, Goteborg, Sweden, pp.127-136, 1984.
- 2) Lindvall, G. : Head Losses at Surcharged Manholes with a Main Pipe and a 90° Lateral, Proc. 3rd Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Chalmers Univ. of Technology, Goteborg, Sweden, pp.137-146, 1984.
- 3) Marsalek, J. : Head Losses at Sewer Junction Manholes, J. Hydraul. Eng. Am. Soc. Civ. Eng. Vol.110, No.8, pp.1150-1154, 1984
- 4) 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.
- 5) Kusuda T. and Arai S. : Energy Losses at Circular Drop Manholes, Proc. 7th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Univ. of Hannover, Hannover, Germany, Vol.1, pp.85-90, 1996
- 6) 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.
- 7) Merleir J and Valentin F : Hydraulic Conditions and Energy Loss in Submerged Manholes, Proc. 8th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia, Vol.4, pp.2155-2162, 1999
- 8) 荒尾慎司, 瀧田康雄, 楠田哲也 : 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, 環境工学研究論文集, Vol.37, pp.411-421, 2000.
- 9) Arai S. and Kusuda T. : Energy loss at two-way circular drop manhole and improvement of manhole profile for reduction of flood damage, Innovative technologies in urban drainage, Novatech 2001, Lyon, France, Vol.2, pp.999-1002, 2001.
- 10) 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, Vol.34, No.419, pp.14-28, 1997.