

(25) 90度接合マンホールおよび接続管路における水理特性

FLOW CHARACTERISTICS IN MANHOLE WITH RIGHT-ANGLE PIPES

荒尾 慎司*, 楠田 哲也**

Shinji Arao *, Tetsuya Kusuda **

ABSTRACT ;The authors proposed a new manhole model for preventing urban flooding by installing a flat guide-cover with holes onto the invert of a conventional manhole with right-angle pipes. In this study, under the condition of sudden blocking of water flow at a downstream pipe end, flow characteristics on the propagation of interfaces between free surface and pressurized flow in the downstream pipe and on the height of water body spouted through 5 holes at the flat guide-cover in the manhole were examined. The propagation speed of the interfaces in the downstream pipe with the new manhole model was smaller than that of the conventional manhole model. The water body spouted through the flat guide-cover did not reach a manhole cover.

KEYWORDS; storm sewer, manhole, reduction of flooding, model test, free surface and pressurized flows

1. はじめに

1999年6月29日の福岡水害、2000年9月11日～12日の名古屋水害等、近年、地球温暖化の影響と見られる局地的な集中豪雨が頻発している。これらに見られる最近の都市型水害は、下水道と排水先河川が総合的な評価のもとに整備されていないことによる内水排除の不良、中・小河川での溢水・破堤による外水氾濫等に起因している。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、ある都市では最近20年間と1945年から1999年の55年間の生起確率5年に相当する降雨強度を比較した場合、最近20年間でのこの降雨強度は明らかに大きくなっており、地球温暖化の影響が顕在化している¹⁾。雨水管路の設計降雨強度を超えるような豪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は、限られた予算の中でできるだけ建設コストの縮減を図った施設計画・改修計画が必要である。従来の研究において、雨水管路の接合部であるマンホールの底面形状を改良し、形状損失を小さくすることにより、都市型水害を軽減させる試みがなされている^{2)～8)}。著者らも、昨年度、上流管と下流管の水平面接合角度を90度としたマンホール構造改善案を提示している⁹⁾(図-1参照)。本案は日本で一般的に利用されているマンホール形状のものよりも管路内の空気がマンホールから排出しにくい上に、マンホール底面のインバートを覆う平らなカバーに設けられた5つの孔を通して空気や雨水がマンホール内を鉛直上向きに噴出するような構造となっている。そこで、本論文では、下流管出口を急遮断し水の流出を止めた条件下で、下流管出口からマンホールへ向かって移動する水・空気界面の移動速度、空気塊の形状およびマンホール底面から鉛直上向きに噴出する水の高さ等の水理特性を実

*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)

験的に把握し、本モデルが水理学的に問題ないか考察する。

2. 実験装置

本研究では、水理学実験室の空間的制約条件から内径90cmの1号マンホールおよび内径25cmの接合管路の1/5の縮小模型を用いることにした。図-1のマンホール形状TypeBは上流管から流入する雨水が下流管へスムーズに流出するようにTypeA（日本で一般的に用いられている1号マンホールを単純化しモデル化）のマンホール底面形状を改良したもので、インバートは直径7mmの排気用の孔を5つ設けた平らなカバーで覆われている。このカバーは、下流管での水・空気界面の移動に伴う空気圧や水圧によって飛ばないように足のせ部に接着している。TypeBでは管路内の水がスムーズに流下するため損失はかなり軽減されるものの、TypeAよりも管路内の空気がマンホールから排出しにくい構造となっている。図-2は円形管路（管内径5cm）を伴う実験装置の一部（下流管とマンホール）を側面から見たものである。

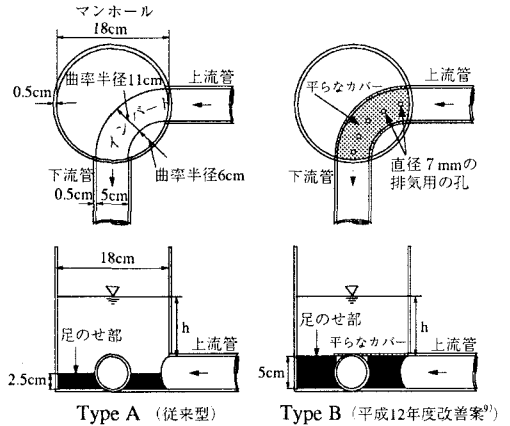


図-1 マンホール形状

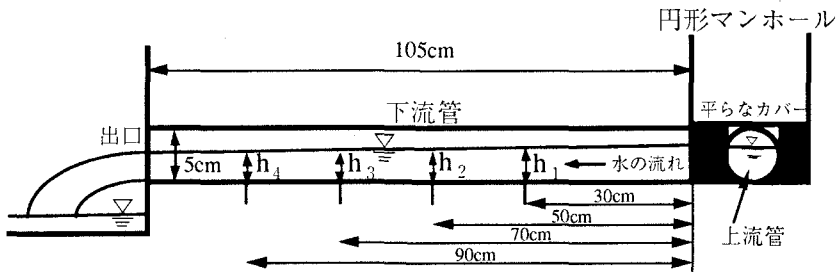


図-2 実験装置の概要（下流管とマンホール）

3. 実験方法

実験方法は以下の通りである。

- ①ビデオカメラで水・空気界面の移動の様子を撮影する際に、界面が鮮明になるように、貯水槽に溜めた水の中にあらかじめ青インク（INK-350-BB）を注入し着色する。
- ②貯水槽内のポンプにて水を循環させ、流量調整バルブにより所定の流量に設定する。
- ③下流管の流れを開水路流れ（定常流）とし、流量とマンホール出口から下流側へ30、50、70、90cmの4地点（ $h_1 \sim h_4$ ）で下流管の水深を測定する（図-2参照）。
- ④管路に接続する排水用ポンプの停止を想定し、ゴム栓にて下流管出口からの水の流出を瞬時に遮断する。これにより、下流管内の水・空気の界面が上流へ向かって移動する（図-3参照）。
- ⑤1台のビデオカメラで水・空気の挙動を下流管側面とマンホール側面からそれぞれ個別に撮影した後、収録した画像からひまわり画像解析システムを用い1/30秒間隔の連続静止画像を作成する。
- ⑥作成した1/30秒間隔の静止画像を連続再生させながら、水・空気界面の移動速度を算定する。界面

なお、水・空気界面の移動速度の算定には、管路内のある2点間で水・空気界面の輝度変化をもとに移動速度を解析できるソフトGray-val32を用いている。また、今回はマンホールから排出される空気量については測定していない。

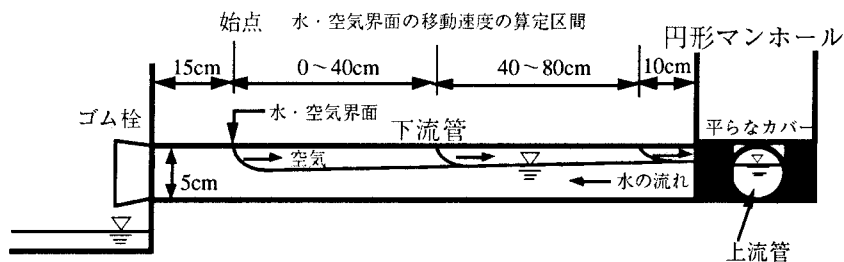


図-3 円形管路内の水・空気界面の移動

4. 実験条件

今回設定した実験条件を表-1に示す。上流管の勾配は水平（固定）とし、マンホール形状TypeBでは下流管の勾配を3種（水平、1/100、1/50）変化させている。マンホール形状TypeAでは下流管の勾配が水平のもののみ検討した。下水道の計画では、一般的に下流管の勾配を緩やかにするが、敷設対象地区の地形状況によっては止むを得ず下流管の勾配を上流管よりも急な勾配にすることもあるため、ここでは、これを検討対象とした。流量は勾配によって3種あるいは4種、設定流量一種につき下流管出口の水深を4～6段階変化させている。下流管出口の最大水深は、これ以上水深を増加させると下流管が瞬時に満管となる4.5cmとした。

表-1 実験条件

マンホール形状	実験 No.	下流管 の勾配	流量 (l/s)	下流管出口 の水深(cm)	上流管 の流れ
TypeA (従来型)	1	水平	0.39	2.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	2		0.50	2.6.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	3		0.60	2.8.3.0.3.5.4.0	満管
TypeB (平成12年度提案)	4	水平	0.39	2.3.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	5		0.50	2.6.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	6		0.60	2.8.3.0.3.5.4.0	満管
	7	1/100	0.41	2.2.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	8		0.49	2.4.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	9		0.61	2.7.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	10		0.81	3.1.3.5.4.0.4.5	満管
	11	1/50	0.41	1.8.2.5.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	12		0.51	2.1.2.5.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	13		0.60	2.3.3.0.3.5.4.0.4.5	開水路
	14		0.81	2.8.3.0.3.5.4.0.4.5	満管

管内径は5cm、上流管は全て水平としている

5. 実験結果と考察

5.1 水・空気界面の移動速度と空気塊の形状

(1) 下流管勾配を水平としたTypeA（実験番号1～3）とTypeB（実験番号4～6）の比較

図-4（0～40cm区間）と図-5（40～80cm区間）はマンホール底面形状がTypeA（マンホール底面に平らなカバー無）で、下流管勾配を水平（実験番号1～3）としたときの平均水深比 h_m/D （ h_m ：下流管出口自由放流時の区間毎の平均値）と水・空気界面の移動速度比 $V_b/\sqrt{g h_m}$ （ V_b ：区間毎の移動速度、 g ：重力加速度）の算定結果である。また、図-6（0～40cm区間）と図-7（40～80cm区間）はTypeB（平成12年度提案⁹⁾）で、下流管勾配を同一条件（実験番号4～6）としたときの結果である。図-4と6あるいは図-5と7では、マンホール底面形状の違いによる管路の水理特性を比較するために3種の流量を設定しているが、平均水深比 h_m/D は同じ値にはなっていない。この理由は、目視による水深の読み取り誤差の影響と円形管では水面の位置が管頂に近づくとなぜか流量変化でも水深がかなり変化するという水理特性があるためである。したがって、今回は両モデルの間で完全には同一条件下で実験することはできなかったが、それでも以下に述べるように、両モデルの水理特性に明らかな違いが見られる。図-4と5に示すように $Q=0.39\text{l/s}$ および 0.50l/s では、水深の増加に伴って界面の移動速度は大きくなり、 $V_b/\sqrt{g h_m}$ の値は1.1～4.7（実速度75～300cm/s）の範囲にある。この結果をTypeBのもの（図-6と7参照）と比較すると、いずれの区間でも同一水深では、TypeAの方が界面の移動速度は大きくなっている。この理由は、TypeBにはマンホール底面に平らなカバーが設置され

ているため、それだけ管路内の空気がマンホールから排出しにくくなっているからである。また、 $Q=0.60\text{l/s}$ では上流管が満管となるため、下流管出口の水深比 h_d/D （ h_d ：下流管出口水深）を0.8（実水深4.0cm）にした場合、いずれのマンホール形状でも水・空気界面がマンホールに近づくにつれて空気が圧縮されながらその厚みも増しており（写真-1と2参照）、界面の移動速度は小さくなる（図-5と7中の h_m/D が最も大きい値）。この条件ではカバーを取り付けたTypeBでの界面の移動速度はTypeAの約1/2となっており、カバーの有無の影響が特に大きいことがわかる。

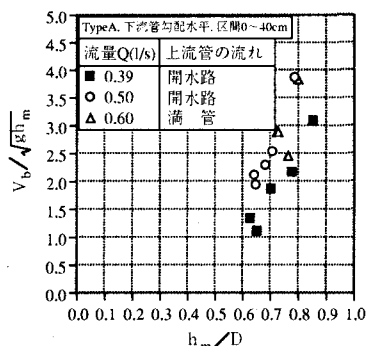


図-4 界面の移動速度 (Type A)
(管勾配水平、区間0～40cm)

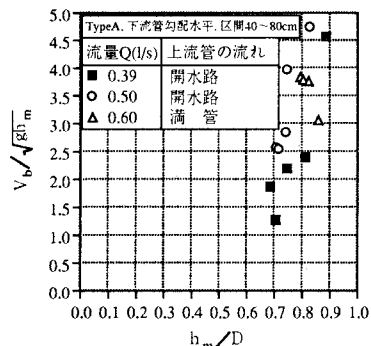


図-5 界面の移動速度 (Type A)
(管勾配水平、区間40～80cm)

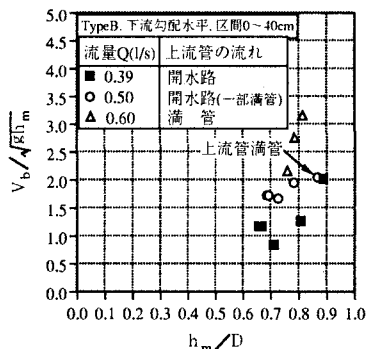


図-6 界面の移動速度 (Type B)
(管勾配水平、区間0～40cm)

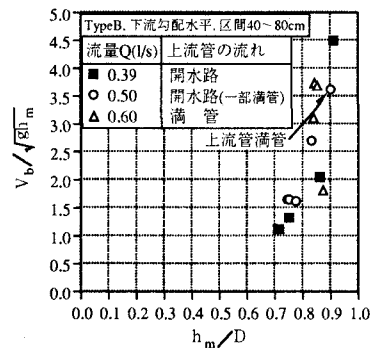


図-7 界面の移動速度 (Type B)
(管勾配水平、区間40～80cm)

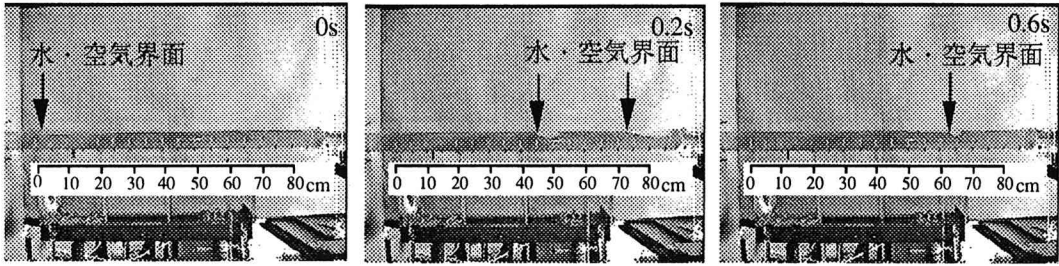


写真-1 水・空気界面の移動の様子 (Type A、下流管勾配水平、 $Q=0.60\text{l/s}$ 、下流管出口水深 4.0cm)

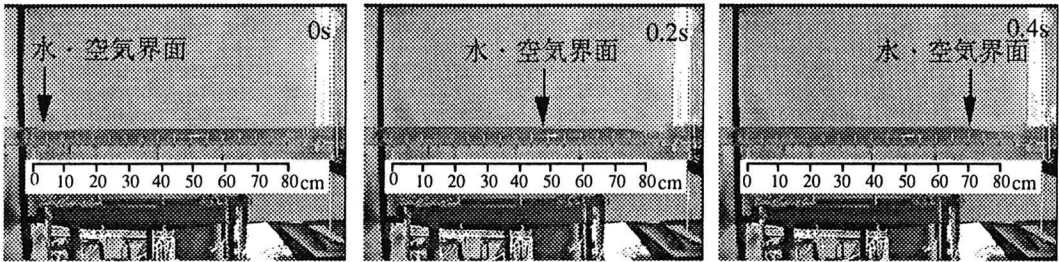


写真-2 水・空気界面の移動の様子 (Type B、下流管勾配水平、 $Q=0.60\text{l/s}$ 、下流管出口水深 4.0cm)

(2) 下流管勾配を 1/100 および 1/50 とした TypeB (実験番号 7～14) について

1) 下流管勾配 1/100

図-8 (0～40cm 区間) と図-9 (40～80cm 区間) は下流管勾配を 1/100 とした条件 (実験番号 7～10) での平均水深比 h_m/D と水・空気界面の移動速度比 $V_b/\sqrt{g h_m}$ の算定結果である。いずれの区間でも水深が大きくなるにつれて界面の移動速度が大きくなる傾向は下流管勾配が水平の場合と同じである。下流管勾配を水平としたときは、下流管出口の水深や流量を種々に変化させたいずれの実験条件でも水面は下流側へ低下する (M_2 曲線)。これに対して、下流管勾配を 1/100 にし、下流管出口の水深を最小に設定した場合 (2.2、2.4、2.7、3.1cm、表-1 参照)、4 地点の水深の差は最大 3mm 程度となる。水深 h_j 、 h_d が下流管出口での境界条件の影響を受け、下流管勾配が限界勾配よりもやや緩やかなため水深 h_j が最も小さくなる傾向にある (管路出口～ h_j 付近: M_1 曲線)。このように 4 地点の水深の中で水深 h_j が最小となる傾向は、下流管出口の水深比 h_d/D を 0.9 (実水深 4.5cm) としたものを除いて、いずれの流量でも見られる (写真-3 参照)。 h_d/D を 0.9 としたときは、この影響が下流管の上流までおよぼ

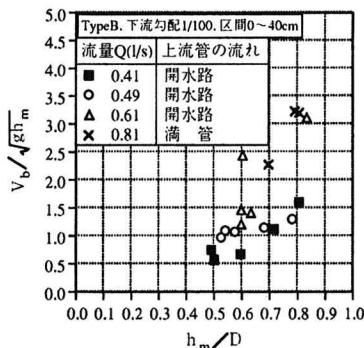


図-8 界面の移動速度 (TypeB) (下流管勾配 1/100、区間 0～40cm)

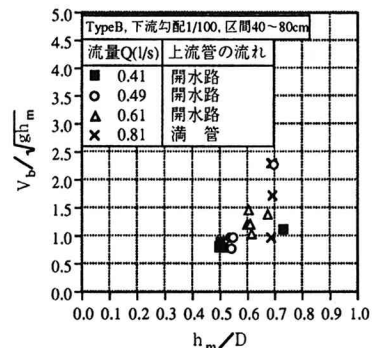


図-9 界面の移動速度 (TypeB) (下流管勾配 1/100、区間 40～80cm)

ため、水面は流下方向に上昇する (M_1 曲線)。写真-3 からも明らかなように、下流管出口の水深を大きくすると h_2 と h_4 との差は大きくなる。以上の理由で、40～80cm 区間での平均水深は 0～40cm 区間に比べて大きくはならず、図-9 のような結果となる。0～40cm 区間で、下流管勾配水平 ($Q=0.50\text{l/s}$ 、図-6 参照) と 1/100 ($Q=0.49\text{l/s}$ 、図-8 参照) を比較すると、同一水深では勾配 1/100 の方が界面の移動速度は小さくなっているが、これは流量がやや少ないことに起因していると思われる。また、勾配 1/100、区間 40～80cm (図-9 参照) では、前述した理由で勾配水平のときよりも水深が小さいため、界面の移動速度比 $V_b/\sqrt{g h_m}$ は 2.3 (実速度 133cm/s) 以下となる。

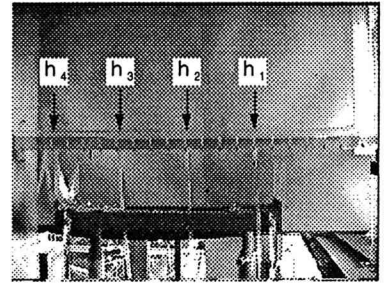


写真-3 自由放流下での管路内の流況
下流管勾配 1/100, $Q=0.41\text{l/s}$,
下流管出口水深 3.5cm

2) 下流管勾配 1/50

図-10 (0～40cm 区間) と図-11 (40～80cm 区間) は下流管勾配を 1/50 とした条件 (実験番号 11～14) での平均水深比 h_m/D と水・空気界面の移動速度比 $V_b/\sqrt{g h_m}$ の算定結果である。下流管勾配を 1/50 にすると $Q=0.41\text{l/s}$ で下流管出口の水深比 h_d/D を 0.8 (実水深 4cm) と 0.9 (実水深 4.5cm) としたものを除くと、いずれの実験条件でも h_d は h_1 に比べて 2 mm～3 mm 程度小さくなる (限界勾配よりも急勾配のため S_2 曲線)。管勾配 1/50 では、界面の移動速度比 $V_b/\sqrt{g h_m}$ は 1.9 (実速度 100cm/s) を超えることはない。

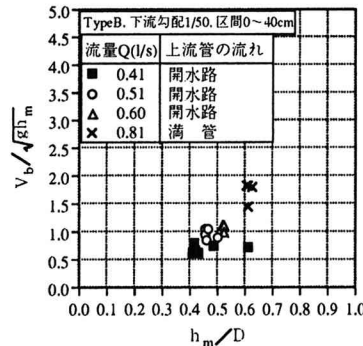


図-10 界面の移動速度(TypeB)
(下流管勾配 1/50、区間 0～40cm)

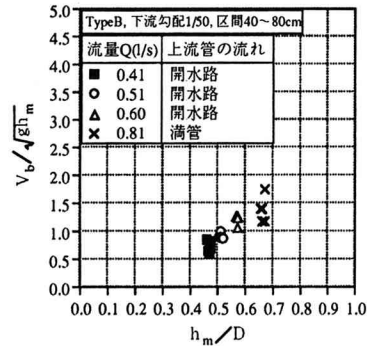


図-11 界面の移動速度(TypeB)
(下流管勾配 1/50、区間 40～80cm)

5.2 Type B におけるマンホール底面からの水の噴出高さ

TypeB において、下流管内の水・空気界面の移動に伴ってマンホール底面の平らなカバーに設けた 5 つの孔から噴出する水の最大高さ H を管径 D で無次元化した H/D と平均水深比 h_m/D (h_m の算定区間 0～80cm) を図-12～14 に示す。前述したように、ほとんどの実験条件において下流管の水深が大きくなるほど界面の移動速度は大きくなるので水の噴出高さも高くなる。噴出する水の最大高さは実験条件によってかなり異なる。 $Q=0.4\text{l/s}$ 程度では水が孔から噴き出すことはほとんどない。 $Q=0.6\text{l/s}$ 程度では下流管が水平の場合、 H/D の最大値は 1.91 (実噴出高さ 9.5cm)、下流管勾配が 1/100 と 1/50 では $Q=0.81\text{l/s}$ のとき、 H/D の最大値はそれぞれ 2.49 (実噴出高さ 12.5cm)、1.91 (実噴出高さ 9.5cm) となる。本研究では、1/5 の縮小模型を用いているので、実物のマンホールの埋設深さが最も浅い 1 m のときを考えると、これに相当する深さは模型では 20cm となる。前述したように、模型での水の噴出高さの最大値が 12.5cm なので、マンホール蓋に水が到達することはない、この水がマ

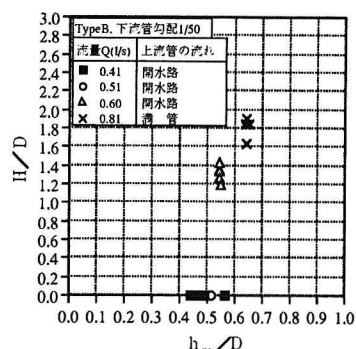
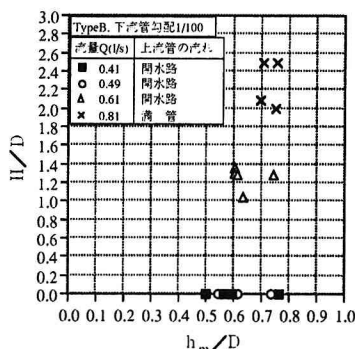
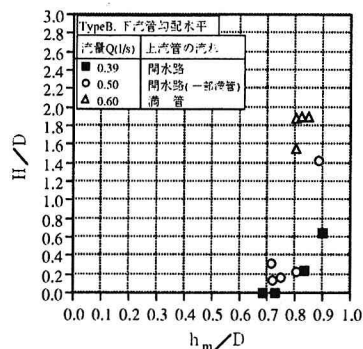


図-12 水の噴出高さ(実験4～6) 図-13 水の噴出高さ(実験7～10) 図-14 水の噴出高さ(実験11～14)

ンホールから溢れることはない。したがって、本実験の範囲内では、損失を軽減することを目的として提案したマンホール形状TypeBをそのまま用いても空気のパ排の問題は別として、水理学的にみて大きな問題になることはないと考えられる。

6. まとめ

本研究で得られた成果をまとめると以下の通りである。

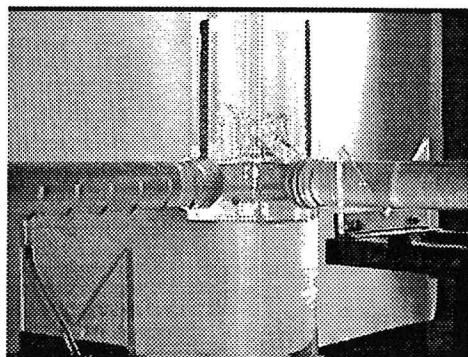


写真-4 水の噴出する様子(TypeB、勾配水平、 $Q=0.60\text{l/s}$ 、下流管出口水深4.0cm)

- 1) 浸水被害を軽減するために平成12年度に提案した90度接合マンホール(TypeB)において、下流管末端部を急遮断した条件下で、管路内の水・空気界面の移動速度を明らかにした。
- 2) TypeBではマンホール底面のインバート上に5つの孔を有する平らなカバーを設置したため、従来のマンホール形状(TypeA)よりも空気が排出しにくく、水・空気界面の移動速度はやや小さくなる。
- 3) TypeBにおいてマンホール内での水の噴出高さを確認した。その結果、本実験の範囲内では噴出する水がマンホール蓋にまで到達することはないと、水理学的には問題ないと思われる。
- 4) しかし、本研究ではマンホールや上流管への空気のパ排出量までは明らかにすることはできなかった。これについては今後の検討課題としたい。

《参考文献》

- 1) 田中 清, 阿比留健司, 太田俊一郎, 岩元 賢: 都市中小河川の治水と危機管理に関する一考察, 平成11年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 第2分冊, pp.252-253, 2000.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) Marsalek, J.: Head Losses at Sewer Junction Manholes, J. Hydraul. Eng. Am. Soc. Civ. Eng. Vol.110, No.8, pp.1150-1154, 1984.

- 5) 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.
- 6) Kusuda, T. and Arao 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.
- 7) Merlein, 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, 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.
- 9) 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.