

雨水管路における空気の挙動に関する一考察

九州共立大学工学部 正会員 荒尾 慎司 九州共立大学工学部 非会員 長友 一浩
 同上 非会員 吉田 和弘 同上 非会員 後藤 俊平
 建設技術研究所 非会員 石本 俊亮 九州大学工学研究院 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

著者らは、昨年度、都市型浸水防除のための1手法として、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の改善案を提案した。本改善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たい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。本研究では、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についていくつかの知見を得たので報告する。

2. 実験装置

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ものを簡単にモデル化)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つ設けた平たいカバーで覆われている。したがって、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。

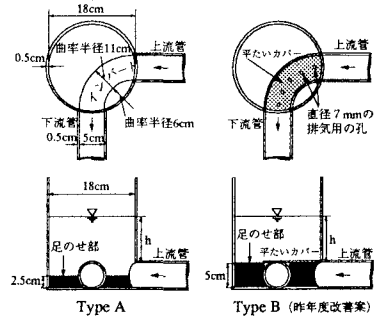


図-1 マンホール形状

3. 実験方法と実験条件

実験方法は以下の通りである。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地点で下流管の水深を測定する(図-2参照)。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)。この様子をビデオカメラで撮影した後、再生させながら、1/30秒間隔の画像データをもとに水・空気界面の移動速度を算定するとともに、界面付近の形状の変化やマンホール底面に設置された平たいカバーの5つの孔から吹き上げる水の高さを観察する。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・空気界面の濃度(密度)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。

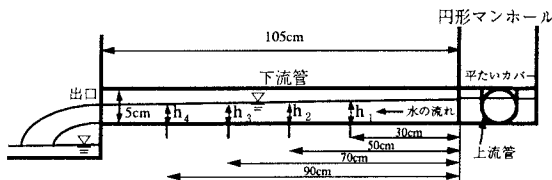


図-2 実験装置の概要(下流管とマンホール)

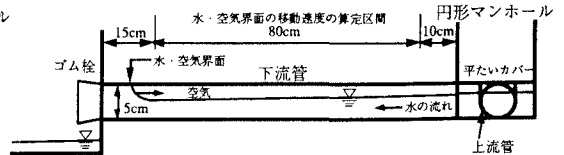


図-3 円形管路内の水・空気界面の移動

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とし、下流管の勾配を3種(水平、1/100、1/50)変化させている。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、ひとつの流量につき下流管出口の水深を4~6段階変化させ

ている。下流管出口の水深の最大値を4.5cmとしたのは、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ためである。

4. 実験結果と考察

1) 水・空気界面の移動速度と空気塊の形状

図-4は上・下流管の勾配を水平とした条件下で(実験番号1~3)、マンホールより下流側90cmの地点を始点0cmとして上流側へ0~40cm区間の定常状態での平均水深と水・空気界面の移動速度の算定結果である。また、図-5は40~80cm区間での平均水深と水・空気界面の移動速度との関係を表わしている。図-4と5を比較すると、 $Q=0.39\text{l/s}$ (上流管は開水路流れ)の場合、当然のことながら下流管路内の水深の増加に伴って水・空気界面の移動速度は大きくなり、その最大値は300cm/s程度にまで達する。 $Q=0.60\text{l/s}$ の場合も、水深が4.3cm付近のものを除いて、水深の増加に伴って界面の移動速度は大きくなる。しかも、流量が他の条件よりも多いため、同一水深での移動速度は最も大きい。ただし、水深が4.3cm付近のものだけ、移動速度はかなり小さくなっている。これは、下流管が満管流れに近づくとき上流管からの水流の影響とインバート上にカバーを設置しているため上流側へ空気が移動しにくくなるからである。このときの様子を写真-1に示す。界面がマンホールに近づくにつれて空気塊が圧縮されながら水深方向にその厚みを増していることがわかる。本報告では、紙面の都合上、マンホール形状Type Aでの検討結果は省略しているが、このタイプにはインバート上を覆うカバーがないので、Type Bと比較してマンホールから空気が排出しやすくなり、 $Q=0.39\text{l/s}$ では水・空気界面の移動速度はやや大きくなる。

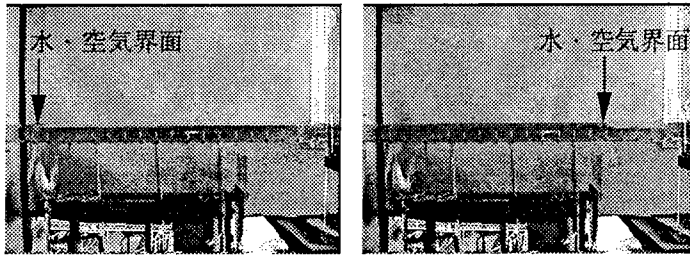


写真-1 水・空気界面の移動状況

2) マンホール底面の平たいカバーからの水の噴出高さ

図-6は下流管内の水・空気界面の移動に伴って、マンホール底面の平たいカバーに設けた5つの孔から噴出する水が最大の高さになるときを抽出したものである。前述したように、水深が深いほど界面の移動速度は速くなるので水の噴出高さも高くなる。噴出する水の最大の高さは10cm弱程度であり、実物のマンホールの埋設深さが最も浅い場合(1m)でもマンホール蓋に水が到達することはなく、この水がマ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Type Bをそのまま用いても空気の排出の問題は別として、水理学的に大きな問題になることはないと考えられる。

表-1 実験条件

実験No.	下流管の勾配	流量(l/s)	下流管の水流の平均流速(cm/s)	下流管出口の水深(cm)	上流管の流れ
1	水平	0.39	21.1~28.0	2.3,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
2		0.50	27.5~34.0	2.6,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
3		0.60	34.5~36.6	2.8,3.0,3.5,4.0	満管
4	1/100	0.41	24.9~42.6	2.2,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
5		0.49	30.9~46.6	2.4,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
6		0.61	37.0~48.8	2.7,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
7		0.81	51.3~55.0	3.1,3.5,4.0,4.5	満管
8	1/50	0.41	38.3~51.7	1.8,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
9		0.51	52.3~56.5	2.1,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
10		0.60	56.3~56.9	2.3,3.0,3.5,4.0,4.5	開水路
11		0.81	61.6~63.5	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

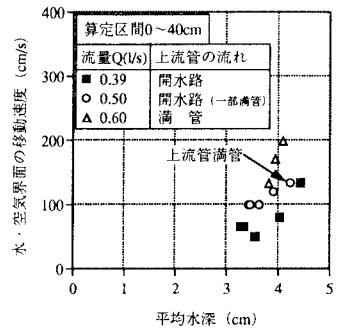


図-4 水・空気界面の移動速度(算定区間0~40cm)

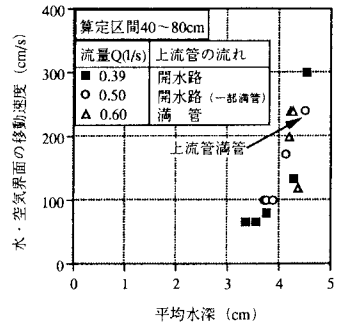


図-5 水・空気界面の移動速度(算定区間40~80cm)

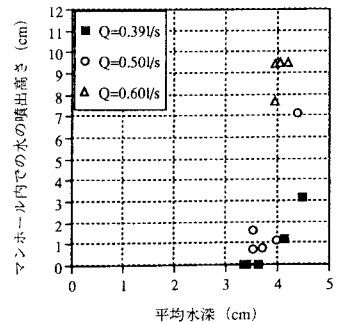


図-6 マンホール内での水の噴出高さ(最大値)