

マンホール蓋飛散の水理解析モデル

愛媛大学大学院 学生員 ○田中祐大
愛媛大学工学部 正 員 渡辺政広
愛媛大学大学院 学生員 圓尾大輔

1. はじめに

豪雨時，都市域の下水道管渠システムでは，マンホール蓋の飛散現象が多発している．こうした蓋飛散現象を精度高くシミュレートし得る水理解析モデルの開発を目指して検討を進めてきているが，本文では，既に提示している水理解析モデルにおいて考慮されていないマンホール内水塊の加速度運動の取扱いが，マンホール内空気圧変動の解析精度に及ぼす影響について検討した結果を示す．

2. 蓋飛散の水理解析モデル

(a) 下水道管渠における流れの基礎式： 下水道管渠における圧力流れの基礎式は，取付管における流出雨水の貯留を考慮し，水は非圧縮性，管壁は剛であるとする，文献1) のように表される．

(b) マンホールにおける流れの基礎式： マンホール内水塊の加速度運動を考慮し，雨水に対して運動量保存則および質量保存則を，空気の圧縮性を考慮し，空気に対して質量保存則を適用すると，以下の基礎式を得る（図-1）．

$$\text{流出水の連続式： } F_M \frac{dh_M}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{流出水の運動方程式： } & \frac{1}{g} \frac{d}{dt} \left\{ (h_M - D)v \right\} \\ & = (H - h_M - Z_M) - \frac{p - p_0}{r_w g} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{空気の圧縮性の式： } \frac{p}{r^g} = \frac{p_0}{r_0^g} \quad (3)$$

$$\text{空気の質量保存則： } r F_M \frac{dh_M}{dt} - F_M (h_G - h_M) \frac{dr}{dt} = m ; \quad (4)$$

$$m = C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{g-1}} \cdot r_0 \sqrt{g \frac{p_0}{r_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{g-1}{g}} - 1} \quad (\text{流出時})$$

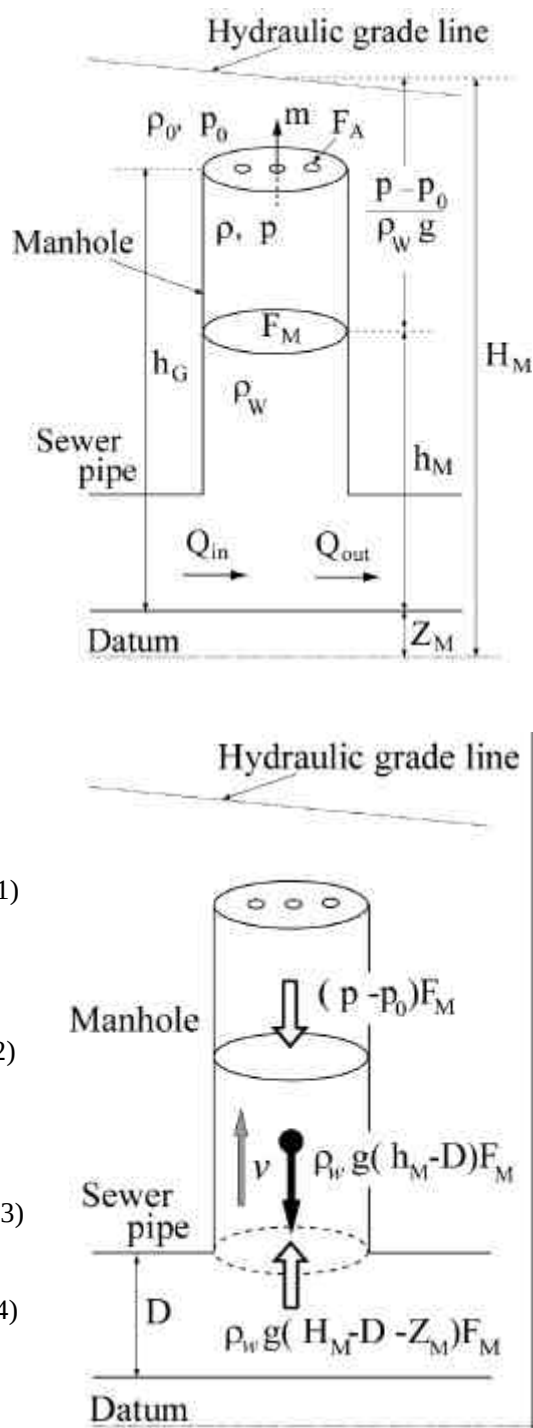


図-1 運動量および質量保存則

圧縮性，空気圧，マンホール蓋飛散，圧力流れ，都市流出

渡辺政広（〒790-8577 松山市文京町 3，Tel. 089-927-9828，Fax 089-927-9831）

$$m = -C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{g-1}} \cdot r_0 \sqrt{g \frac{p_0}{r_0}} \cdot \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{g}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{g-1}{g}}}$$

(流入時)

ここに、 ρ 、 ρ_0 、 ρ_w ：マンホール内空気密度、大気密度、水の密度、 p 、 p_0 ：マンホール内空気圧、大気圧、 F_A ：空気が流入出する空気孔および吸排気管の断面積の総和、 γ ：空気の比熱比 (=1.4)、 m ：空気孔および吸排気管を通じて流入出する空気の質量 flux、 v ：マンホール内水塊の流速、 D ：管渠断面の高さ、 C_m ：縮流係数、 F_M ：水面積、 H_M ：全水頭、 h_M ：水深、 h_G ：マンホール深、 z_M ：底高、 Q_{in} 、 Q_{out} ：流入流量、流出流量、である。なお、下添字 M はマンホール地点の諸量であることを示す。

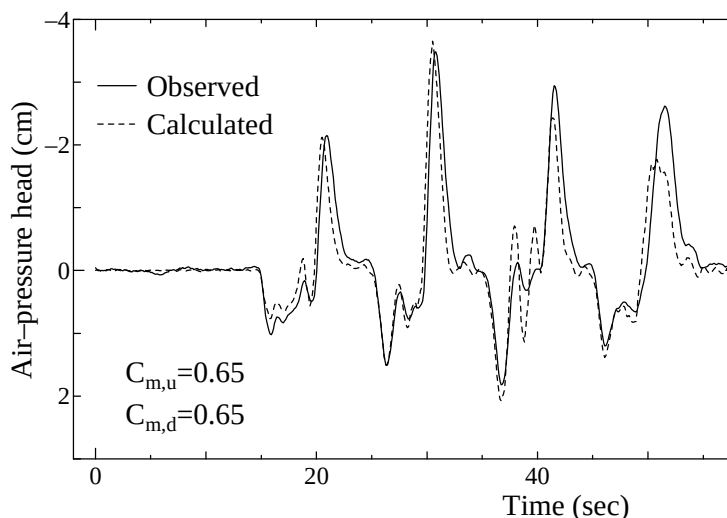
3. 流出実験と水理解析モデルの適用性

(a) 下水道管渠の水理模型： 流出実験に使用した下水道管渠模型（長さ：約 11 m、管渠断面：高さ 12 cm×幅 10 cm、マンホール：2 カ所）の詳細は、文献 2) に示す。

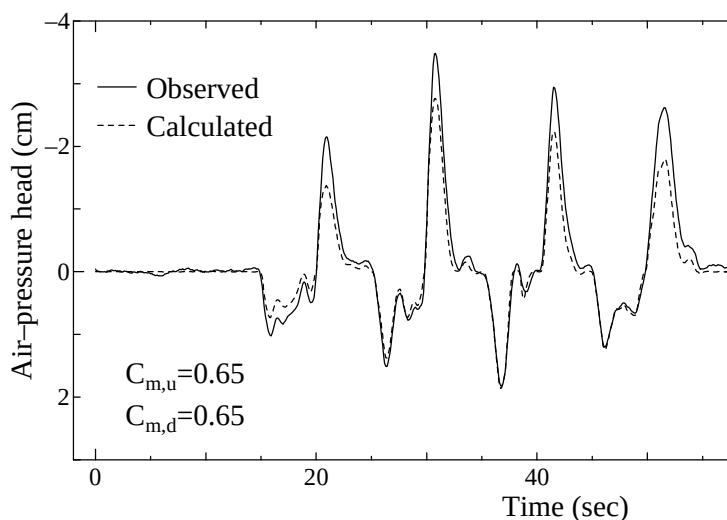
(b) 水理解析モデルの適用性： 上の水理模型を用い、周期が約 10 秒の sine 型の流出（圧力流れ）を発生させたときの、下流マンホールにおいて測定された空気圧ハイドログラフと、先述した水理解析モデルにより計算されたそれとを対比して、図-2 に示す（ここに、マンホール蓋は飛散しないよう、マンホールに固定してある）。これらより、マンホールにおける水塊の加速度を考慮しない場合でも、十分な精度の空気圧ハイドログラフが得られるが、加速度を考慮して解析を行えば、一層精度高い計算結果の得られることが分かる。

なお、本解析に先立ち、マンホール蓋の空気孔を通じて空気が流入出するときの縮流係数 C_m の適値を検討し、図-2 にも示すように、0.65 (0.6～0.7) が適当である結果を得ている。

参考文献： 1) 渡辺政広：都市下水道管渠システムの雨水流出口モデル，技術資料，Vol. 31，pp. 37～42，1998 年。 2) 渡辺政広・神田 徹・田中祐大・神吉和夫：マンホール蓋飛散の水理解析モデルと水理模型実験，水工学論文集，第 45 巻，pp. 907～912，2001 年。



(a) 水塊の加速度を考慮する場合



(b) 水塊の加速度を考慮しない場合

図-2 空気圧ハイドログラフの計算値と実測値の比較
($C_{m,u}$ 、 $C_{m,d}$ ：上流、下流マンホールでの縮流係数)