

マンホール蓋浮上・飛散防止対策に関する数値実験的検討

日本興業（株） 正会員 ○右近雄大 愛媛大学大学院 学生会員 重田尚秀
 （株）ゼロ 正会員 魚谷牧夫 愛媛大学大学院 正会員 渡辺政広

１．はじめに

都市下水道流域では、近年、豪雨時にマンホール蓋の浮上・飛散現象が多発している．マンホール蓋の浮上・飛散現象は人命を失う事故の発生に繋がる現象であり、防止対策を早期に確立する必要がある．

本文では、マンホール地点におけるマンホール蓋浮上・飛散シミュレーションモデルを構築するとともに、このシミュレーションモデルを用いて、マンホール蓋排気孔に着目し、マンホール蓋浮上・飛散防止対策シミュレーションを行った結果について報告する．

２．マンホール蓋浮上・飛散シミュレーションモデル¹⁾

マンホール内に封入された空気が図-1 に示す全水頭 H_M の上昇に伴って圧縮され、この空気圧上昇に伴ってマンホール蓋が浮上・飛散する現象を記述する基礎式は以下のように表される．

$$\text{空気の質量保存則：} \quad \frac{d(\rho V)}{dt} = -m \quad (1)$$

$$\text{空気の圧縮性：} \quad \frac{p}{\rho^\gamma} = \frac{p_0}{\rho_0^\gamma} \quad (2)$$

$$\text{全水頭の式：} \quad H_M = h_a + h_M + z_M \quad (3)$$

$$\text{空気の運動方程式：} \quad \begin{cases} m = C_m F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} & \text{(排気)} \\ m = -C_m F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} & \text{(吸気)} \end{cases} \quad (4) \quad (5)$$

ここに、 V ：マンホール内空気容量、 ρ ：マンホール内空気密度、 ρ_0 ：大気密度、 p ：マンホール内空気圧、 p_0 ：大気圧、 F_A ：空気が流出入する排気孔断面積の総和、 γ ：空気の比熱比（ $=1.4$ ）、 H_M ：全水頭、 h_a ：圧力（空気圧）水頭、 h_M ：水深、 z_M ：底高、 m ：排気孔より流出入する空気の質量 flux、 C_m ：縮流係数、 t ：時間である．

３．シミュレーションモデルの模型実験による適合性の検討

本モデルの適合性について、 h_M が既知である場合の空気圧縮実験を行い、実験結果と計算結果の比較を行った．実験装置は、図-2 に示すように、直径 0.03 m、長さ 2.0 m、の塩ビパイプである．実験はパイプの先端に直径 0.003 m の排気孔を開けたキャップを取り付け、反対側からピストンを $h_M = 0.5$ m を初期状態として 1 秒間に $h_M = 1.0$ m まで押し、このときの管内の圧力をキャップに取り付けた圧力センサーで測定した．

実験結果と上述した式(1)～(5)による計算結果の比較を図-3 に示す．縮流係数 C_m を 0.6 にすると実測値を精度よく表すことができ、計算結果と実験結果がほぼ一致した．これより、解析モデルの基本的な考え方や計算方法は妥当であると言える．

４．マンホール蓋浮上・飛散防止対策シミュレーション

図-4 に示すマンホールを対象に、マンホール蓋浮上・

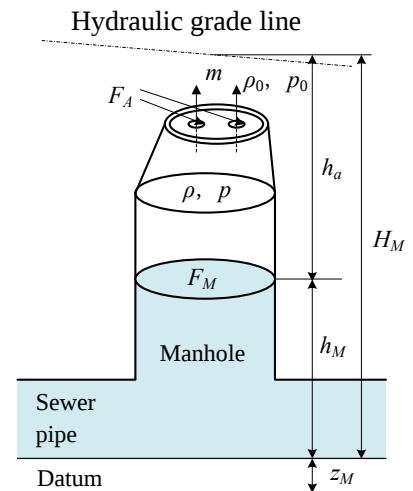


図-1 マンホール

(排気)

(4)

(吸気)

(5)

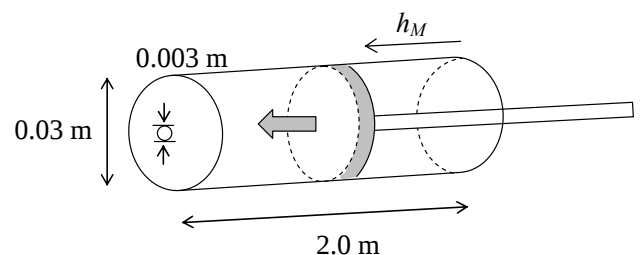


図-2 実験装置

飛散とマンホール蓋の排気孔面積およびマンホール蓋食込み力との関係を、上述した浮上・飛散シミュレーションモデルを用いて検討した。

図-5 には、全水頭 H_M の上昇速度が、3、6 および 18 m/min の場合のシミュレーション結果を示している。また、図-5 (a) には H_M が 3 m まで上昇する場合、図-5 (b) には H_M が 5 m まで上昇する場合のシミュレーション結果を示している。

図-5 (a) より、 H_M が 3 m まで上昇する場合では、①食込み力が 500 kgf 程度以上であればマンホール蓋は浮上・飛散しないこととなる。また、例えば、② H_M の上昇速度が 18 m/min の場合で蓋の排気面積が 1.2 % のとき、食込み力が 300 kgf 程度以下であればマンホール蓋は浮上・飛散することとなるが、300 kgf 程度以上であれば浮上・飛散することはないことを示している。別の見方をすると、③ H_M の上昇速度が 18 m/min の場合で蓋の食込み力が 200 kgf のとき、蓋の排気孔面積が 2.2 % 程度以下であれば、マンホール蓋は浮上・飛散することとなるが、2.2 % 程度以上であれば浮上・飛散することはないことを示している。

図-5 (b) より、 H_M が 5 m まで上昇する場合では、①食込み力が 1000 kgf 程度以上であればマンホール蓋は浮上・飛散しないこととなる。また、例えば、② H_M の上昇速度が 18 m/min の場合で蓋の排気面積が 3 % のとき、食込み力が 200 kgf 程度以下であればマンホール蓋は空気圧で浮上・飛散することとなるが、200 kgf 程度以上かつ 300 kgf 程度以下であれば水圧で浮上・飛散し、300 kgf 程度以上あれば浮上・飛散することはないことを示している。

参考文献

1) 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。

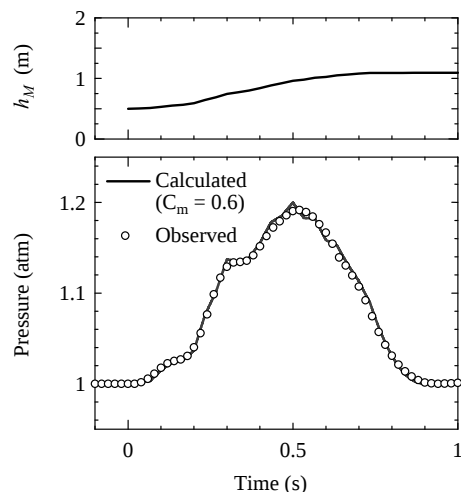


図-3 実験結果と計算結果の比較

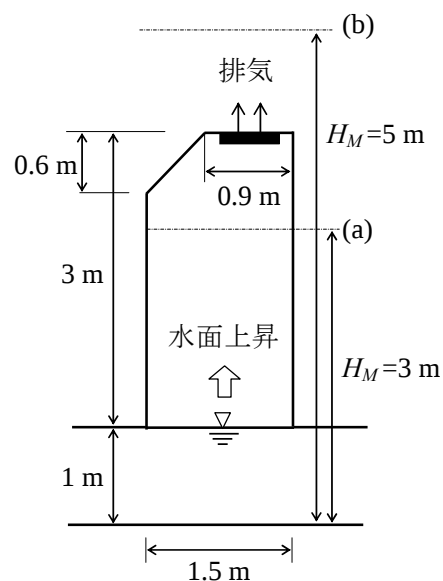
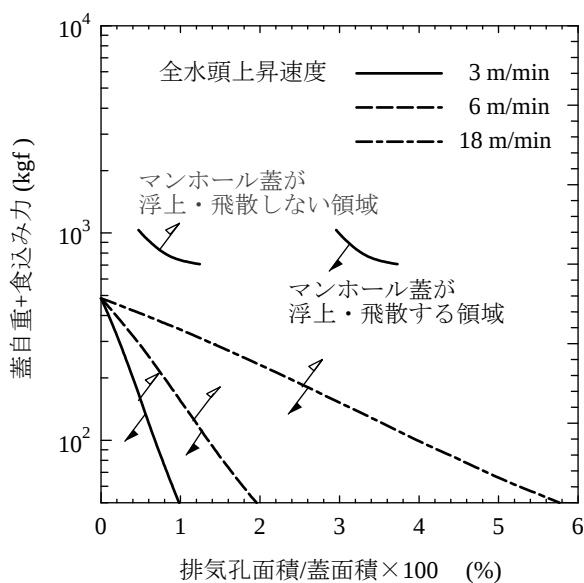
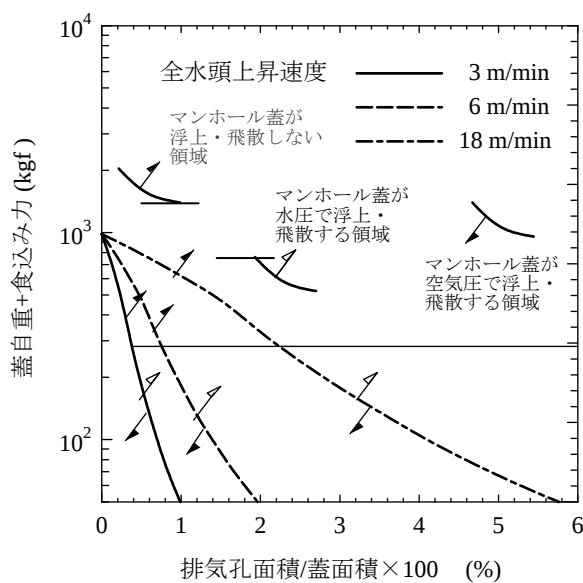


図-4 マンホール諸元



(a) H_M が 3 m まで上昇する場合



(b) H_M が 5 m まで上昇する場合

図-5 蓋浮上・飛散と排気孔面積および食込み力との関係