

II-32 下水道マンホールにおける空気圧変動解析

愛媛大学大学院 学生会員 ○重本 直人
愛媛大学工学部 正会員 渡辺 政広, 西村 文武
愛媛大学大学院 学生会員 藤森 祥文

1. はじめに 近年、都市域の下水道流域では、急速な都市化現象により不透透域が増大し、豪雨時には大量の雨水が下水道管渠網へ流れ込み、下水道管渠システム内で空気塊を封入する圧力流れが発生して、マンホール蓋の浮上・飛散現象が多発するようになっている。しかし、こうしたマンホール蓋浮上・飛散現象の発生メカニズムは未だ解明されておらず、根本的な解決策が見出されていないのが現状であり、早急にこうした方面の研究の進展が望まれている。本研究では、図-1 に示すようなマンホール部を取り上げ、水面の上昇速度 (dh/dt)、蓋の食い込み力、蓋の総排気断面積とマンホール蓋飛散の関係を調べ、マンホール蓋飛散防止対策について検討した。

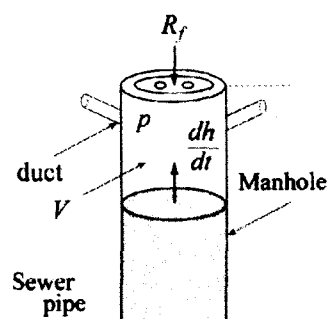


図-1 マンホール部

2. マンホール蓋浮上・飛散モデル 圓尾ら¹⁾が提案したマンホール蓋浮上・飛散モデルを用いた。マンホール部における諸量を図-2に、流れの基礎式を以下に示す。

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

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

$$\text{空気の質量保存則: } \rho F_M \frac{dh_M}{dt} - F_M (h_G - h_M) \frac{d\rho}{dt} = m \quad (3)$$

$$; \left\{ \begin{array}{ll} m = C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} & (\text{排气}) \\ m = -C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} & (\text{吸气}) \end{array} \right.$$

$$\text{空気の圧縮性: } \frac{p}{\rho^\gamma} = \frac{p_0}{\rho_0^\gamma} \quad (4)$$

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, C_m :縮流係数, F_M :マンホールの水面積, 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. また, 下添字 M はマンホール地点の諸量であることを示す.

また、マンホール蓋が飛散したか否かは、次式により判断される。

$$(p-p_0)(F_c-F_a) \leq R_f \Rightarrow \text{浮上・飛散しない} \quad (5)$$

$$(p - p_0)(F_c - F_a) > R_f \Rightarrow \text{浮上・飛散する} \quad (6)$$

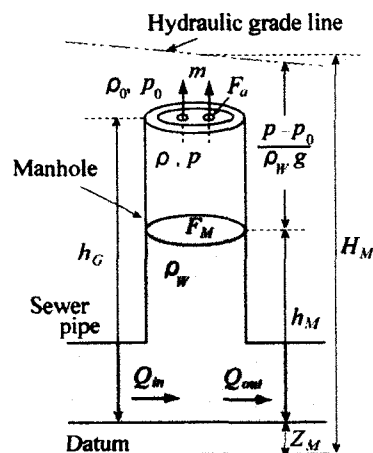


図-2 マンホール部の諸量

ここに、 F_c ：マンホール蓋の底面積、 F_a ：マンホール蓋の空気孔断面積の総和、 R_f ： Mg （蓋の自重） $+M'g$ （食い込み力）で表されるマンホール蓋に働く抗力，である。

3. マンホール蓋の浮上・飛散シミュレーション 本研究では、通常使用されている勾配受け型マンホールを対象とし、直径 0.6 m、重量 50 kgf、勾配受けの角度 10° とし、食い込み力 R_f 、マンホール内の水面上昇速度 v 、マンホール内に封入された空気層厚（水面上昇前の水面とマンホール蓋までの距離）、および総排気断面積の値を種々に変えて、マンホール内空気圧の変動およびマンホール蓋の浮上・飛散について計算を行った。ここで、 R_f は 100～10000 kgf、 v は 0.1～1.0 m/s、空気層は 1～10 m、総排気断面積は蓋面積の 2～7%とした。これらのシミュレーション結果より、マンホール蓋の浮上・飛散に関して次のような知見が得られた。

- マンホール内に封入されている空気層は、マンホール蓋が飛散するか否かにはあまり影響しない（図-3）。
- マンホール部の総排気断面積を増やすと、マンホール蓋は浮上・飛散しにくくなる（図-3、図-4）。
- 総排気断面積が同じとき、水面上昇速度 v の値が大きくなると、マンホール蓋が飛散しない最小食い込み力 R_f の値も大きくなる（図-4）。
- 水面上昇速度 v が大きくなると、蓋が飛散しない最小総排気断面積は v に比例して大きくなる（図-5）。

4. 結語 本研究では、マンホール蓋の浮上・飛散モデルを用い、水面上昇速度、空気層（厚）、食い込み力、総排気断面積の値を種々に変えて、マンホール内空気圧変動のシミュレーションを行い、マンホール蓋の浮上・飛散との関係を明らかにした。マンホール蓋の浮上・飛散には、食い込み力、水面上昇速度、総排気断面積が関係しているが、空気層はあまり関係しないことが分かった。また、総排気断面積を増やすことにより、マンホール内における空気圧の減圧効果が非常に大きいことが明らかになった。

今後の課題は、マンホール内における水面上昇は実際には一定でなく非定常であるので、これを考慮した検討を進めるとともに、下水道管渠網でのマンホール蓋の浮上・飛散についての研究を行っていくことである。

参考文献 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。

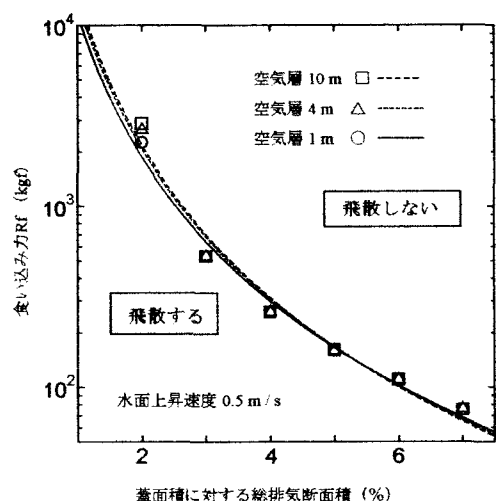


図-3 蓋が飛散しない最小食い込み力 R_f と総排気断面積および空気層の関係 ($v = 0.5 \text{ m/s}$)

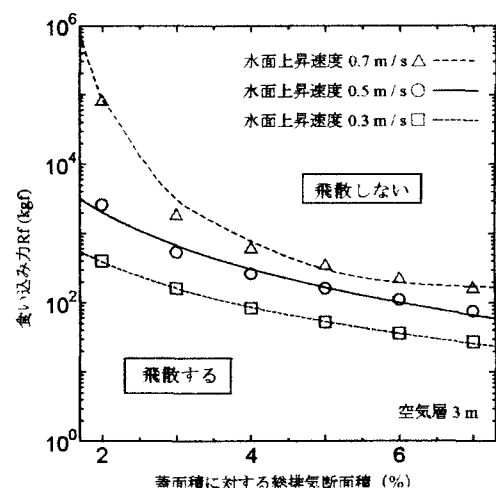


図-4 蓋が飛散しない最小食い込み力 R_f と総排気断面積および水面上昇速度の関係（空気層 = 3 m）

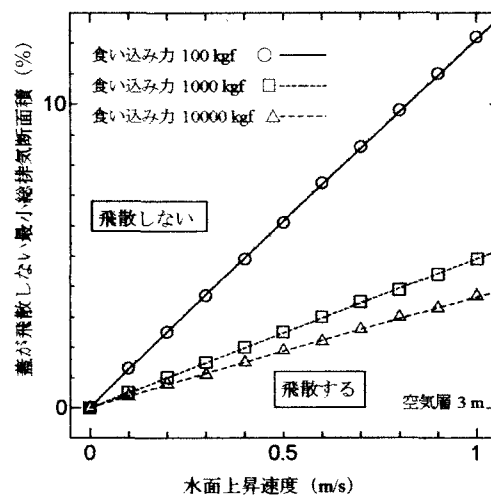


図-5 蓋が飛散しない最小排気断面積と水面上昇速度および食い込み力 R_f の関係（空気層 = 3 m）