マンホール蓋浮上・飛散シミュレーション・モデル

愛媛大学大学院　学生員　○圓尾大輔
愛媛大学工学部　正　員　渡辺政広
愛媛大学大学院　学生員　黒瀬元気

1．はじめに

都市域の下水道流域では，豪雨時，マンホール蓋の浮上・飛散現象が多発するようになってきている．

こうした蓋浮上・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いるが，本文では，勾配受け型マンホール蓋を対象に，マンホール内に封入された空気塊が水面上昇に伴って圧縮され，この圧縮された空気がマンホール蓋を浮上・飛散させる現象を記述する基礎式（モデル）を提案するとともに，本モデルを用いて数値シミュレーションを行い，マンホール蓋の食い込み力，水面上昇速度，排気孔面積がマンホール蓋浮上・飛散速度に及ぼす影響を調べた．

2．蓋浮上・飛散のシミュレーション・モデル[1)]

(a)マンホール蓋が浮上していない場合：はじめに，マンホール蓋が浮上・飛散していない場合の水面上昇に伴うマンホール内空気圧の変化は，次式のように表される．

$$rF_M \frac{dh_M}{dt} - F_M\left(h_G - h_M\right)\frac{dr}{dt} = m \qquad (1)$$

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

ここに，ρ，ρ_0：マンホール内空気密度，大気密度，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：水面積，h_M：水深，h_G：マンホール深，z_M：底高，である．

次に，次式が満足されるとき，マンホール蓋は浮上・飛散することとなる．

$$\left(p - p_0\right)\left(F_C - F_a\right) \geq R_f \Rightarrow \text{浮上・飛散する} \qquad (3)$$

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．

(b)マンホール蓋が浮上している場合：マンホール蓋が浮上している場合，封入されている空気塊は蓋と受け枠の隙間からも流出するようになり，空気塊が圧縮（膨張）される過程は，次のように表される．

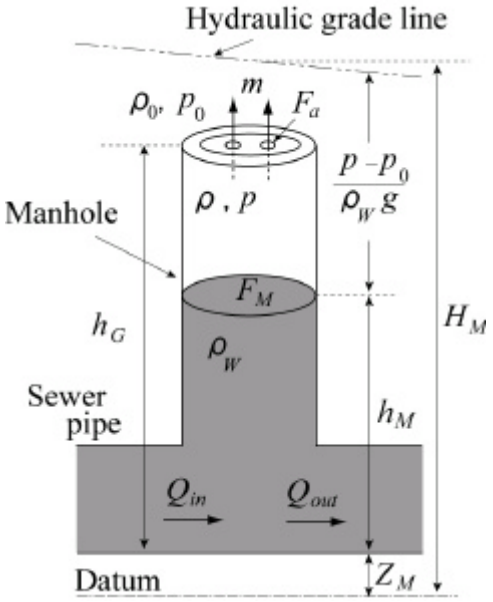

図-1　運動量および質量保存則

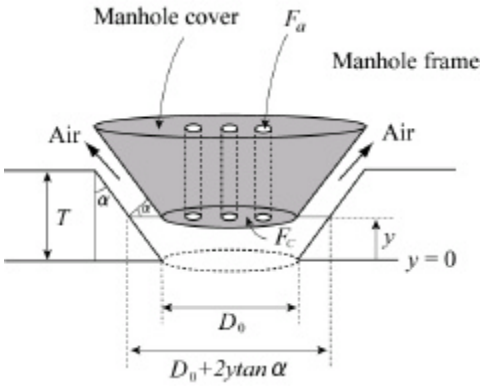

図-2　浮上時の通気断面積

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. /Fax 089-927-9828）

$$rF_M\frac{dh_M}{dt}-F_M\left(h_G-h_M\right)\frac{dr}{dt}-F_C r\frac{dy}{dt}-F_C y\frac{dr}{dt}=m \quad (4)$$

$$;\ m=C_m\cdot\left(F_A+F_a'\right)\sqrt{\frac{2}{g-1}}r_0\sqrt{g\frac{p_0}{r_0}}\sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{g-1}{g}}-1} \quad (5)$$

$$;\ F_a'=p\,y\sin a\left(D_0+y\tan a\right) \quad (6)$$

ここに，F_a'：蓋と受け枠の隙間の通気断面積（図-2），y：蓋の浮上高さ，T：蓋あるいは受け枠の厚さ，a：受け枠の勾配，である．

また，マンホール蓋が浮上する過程は，次のように表される．

$$\left(p-p_0\right)\left(F_C-F_a\right)-Mg=M\frac{dv}{dt},\qquad v=\frac{dy}{dt} \quad (7)$$

ここに，M：マンホール蓋の質量，v：蓋の浮上速度，g：重力加速度，である．

3．マンホール蓋の浮上・飛散シミュレーション

マンホール蓋飛散事故原因のなかで比較的発生頻度の高い「マンホール内に空気塊が封入された圧力流れ」を対象に，先述したマンホール蓋の浮上･飛散モデルを用い，直径 0.6 m，重量 50 kgf，勾配受けの角度 10 °，蓋の空気孔面積を蓋底面積の 1%とし，図-3 に示すように，食い込み力 R_f，マンホール内の水面上昇速度 dh_M/dt，マンホール内に封入された空気層の厚さ V，排気断面積 F_A を種々に変化させ，これらパラメータの違いがマンホール蓋浮上・飛散速度に及ぼす影響を調べた．なお，R_f は 100～10 000 kgf，dh_M/dt は 0.1～0.5 m/s，V は 2 ～4 m とした．

これらのシミュレーション結果より，蓋浮上・飛散に関して次のような知見が得られた．

①マンホール蓋が浮上し始めてから 1.5 cm と 5 cm の地点での蓋の浮上速度は，マンホール内に封入されていた初期の空気塊の量および水面上昇速度には無関係で，食い込み力にのみ依存する (図-4).

②マンホールに取付管を設置して排気断面積が増大すると，図-5 に見られるように，蓋が飛散しない最小食い込み力は著しく減少し，マンホール蓋は急激に浮上し難くくなってゆくことが分かる．

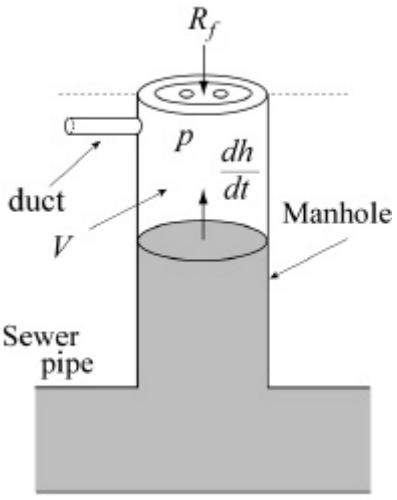

図-3　パラメータの諸量

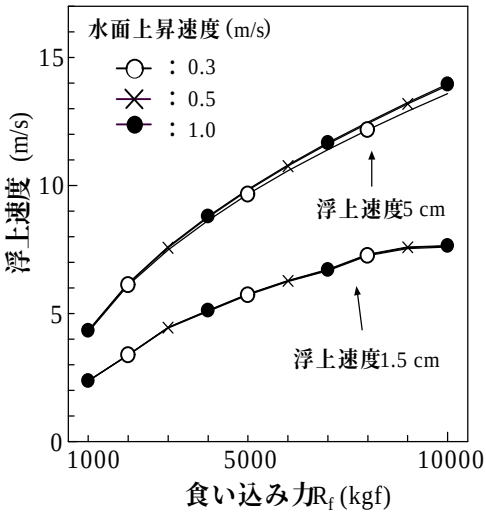

図-4　食い込み力と浮上速度との関係

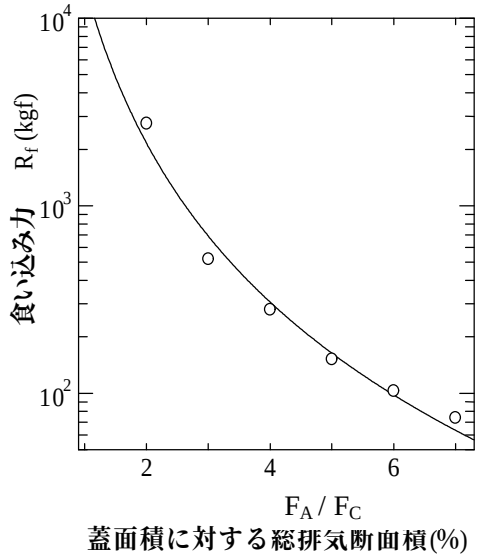

図-5　蓋が飛散しない最小食い込み力と総排気断面積との関係

参考文献：

1) 圓尾大輔・渡辺政広・田中祐大：下水道マンホール蓋飛散の水理解析モデルと水理模型実験，第 56 回年次学術講演会講演概要集，2001 年．