

都市下水道管渠網のマンホール蓋浮上・飛散シミュレーション

愛媛大学大学院 学生会員 ○福田貴志 日本上下水道設計 正会員 東 正史
愛媛大学大学院 正会員 渡辺政広

1. はじめに

近年，各地の都市下水道管渠網において，ゲリラ豪雨などの豪雨時，計画以上の大量の雨水が下水道管渠網に流入して管渠網内の空気が圧縮され，これによるマンホール蓋の浮上・飛散を伴う雨水流出現象が多発している．本報告では，これまで著者らが検討¹⁾してきているサブ・シミュレーションモデルで，既に提案されている下水道管渠の雨水流出シミュレーションモデルに本サブモデルを組み入れることにより，それら雨水流出シミュレーションモデルが下水道管渠網のマンホール蓋浮上・飛散を伴う豪雨時の雨水流出現象を精度高くシミュレートできるようになるであろうところの，マンホール蓋浮上・飛散のシミュレーションモデルについて述べる．

2. マンホール蓋浮上・飛散シミュレーションモデル

本サブ・モデルは，下水道管渠網のマンホール地点における，水深（あるいは水位）上昇に伴う空気圧の増大によって生じるマンホール蓋の浮上・飛散をシミュレートしようとするところの，シミュレーションモデルである．本モデルにおける空気圧変動・空気流動の基礎式およびマンホール蓋浮上・飛散の基礎式（運動方程式）を以下に示す．

a) マンホール内空気の質量保存則および圧縮性の式：

$$\rho F_M \frac{dh_M}{dt} - F_M (h_G - h_M) \frac{d\rho}{dt} = m \quad (1), \quad \frac{p}{\rho^\gamma} = \frac{p_0}{\rho_0^\gamma} \quad (2)$$

b) 吸・排気の質量流量（マンホール内空気の運動量保存則）：

$$m = \rho_0 C_m (F_A + F_a') \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} \quad (\text{排気}) \quad (3)$$

$$m = -\rho_0 C_m (F_A + F_a') \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (\text{吸気}) \quad (4)$$

$$\text{c) 下水道管渠流れの全水頭：} h_T = h_M + h_a \quad ; \quad h_a = \frac{p - p_0}{\rho_w g} \quad (5)$$

$$\text{d) マンホール蓋浮上判定：} (p - p_0)(F_c - F_a) \geq R_f \quad (6)$$

$$\text{e) マンホール蓋浮上の運動方程式：} (p - p_0)(F_c - F_a) - Mg = M \frac{dv_M}{dt} \quad ; \quad v_M = \frac{dy_M}{dt} \quad (7)$$

$$\text{f) マンホール蓋飛散判定：} y_M \geq y_{\text{Blow}} \Rightarrow \text{飛散 (自由投上げ)} \quad (8)$$

ここに， ρ ：マンホール内空気の密度， p ：マンホール内空気の圧力， ρ_0 ：大気密度， p_0 ：大気圧， ρ_w ：水の密度， γ ：空気の比熱比（=1.4）， F_A ：マンホール内空気が流出する空気孔，吸排気管などの断面積総和， F_a ：マンホール蓋の空気孔断面積の総和， F_a' ：マンホール蓋の浮上によって新たに生ずる通気断面積， F_c ：蓋の底面積， F_M ：マンホールの水平面積， m ：空気孔，吸排気管などを通じて流出する空気の質量流量， C_m ：縮流係数， h_M ：マンホール内水深， h_a ：空気の圧力水頭， h_G ：マンホール深， h_T ：全水頭， R_f ：蓋の自重と食込み力の和（一度浮上した後の R_f は蓋の自重に等しくなる）， M ：マンホール蓋の自重， v_M ：マンホール蓋の浮上速度， y_M ：マンホール蓋の浮上高さ， y_{Blow} ：浮上高さの限界値， g ：重力加速度， t ：時間．

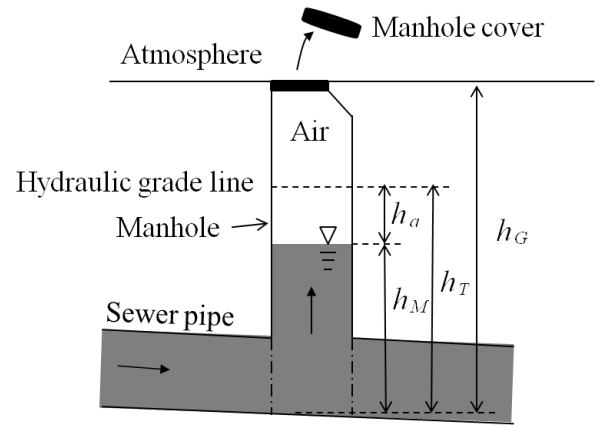


図1 マンホール内空気圧変動

なお、本シミュレーションモデルには、上述した以外の次の浮上・飛散関連現象もシミュレートできるようになっている。

- 浮上途中でのロックによるマンホール蓋の浮上停止制御、
- 取付管（道路面上の雨水を下水道管渠へ排水するため、雨水マスからマンホールへ向けて出されている管渠）の設置、
- 蝶番付マンホール蓋の浮上・開放。

3. 浮上・飛散特性図

図 1 に示すタイプのマンホール（3 号マンホール）を対象に、上述したマンホール蓋浮上・飛散シミュレーションモデルのモデル・パラメータを、表 1 に示すように、種々に変化させ、マンホール蓋の浮上・飛散特性図（どのような水理状況のもとで蓋が浮上・飛散するか・しないかを表す図）を作成したので、その 1 例を以下に示す。なお、この例では、取付管は設置されておらず、蓋には蝶番はなく、ロックも装備されていない。

表 1 シミュレーションの概要

食込み力+マンホール蓋の自重	70~1000 kgf	マンホール蓋の自重	70 kgf
マンホール深	5 m	マンホール直壁の直径	1.5 m
マンホール斜壁部の高さ	0.6 m	マンホール斜壁部の直径	0.9 m
マンホール蓋の底の直径	0.6 m	縮流係数	0.7
蓋面積に対する総空気孔断面積の割合	0~5 %	空気層の厚さ	3 m
全水頭の上昇速度	0.3 m/s	最大全水頭	6 m

図 2 に浮上・飛散特性図の 1 例を示す。図中の A 点は、3 号マンホールにおいて、空気層初期厚が 3m、マンホール地点全水頭の上昇速度が 0.3m/s であるとき、マンホール蓋の開孔面積が 1% であるならば、食込み力が 80kgf 程度であれば、蓋はカタカタと浮上はするが（図 3・図 4、80kgf）飛散はしないことを表している。B 点は、食込み力が 500kgf 程度であれば、蓋は浮上してそのまま飛散してしまう（図 3・図 4、500kgf）ことを表している。また、C 点は、食込み力が 900kgf 程度であれば、蓋は、食込み力が相当に大きいため、マンホール内の空気圧がかなり上昇しても、かつマンホール内の空気が全て排除されても（図 3・図 4、900kgf）、決して浮上すらしないことを表している。

4. おわりに

本報告では、下水道管渠網の雨水流出シ

ミュレーションモデルに組み入れることのできる、マンホール蓋浮上・飛散のサブ・シミュレーションモデルを提示するとともに、本モデルによってマンホール蓋浮上・飛散特性図を作成して 1 例を示した。

参考文献：1) 松原次郎・重田尚秀・藤井和樹・渡辺政広：マンホール蓋浮上・飛散防止対策シミュレーション・モデル，平成 23 年度土木学会四国支部第 17 回技術研究発表会講演概要集，pp. 103~104，2011 年。

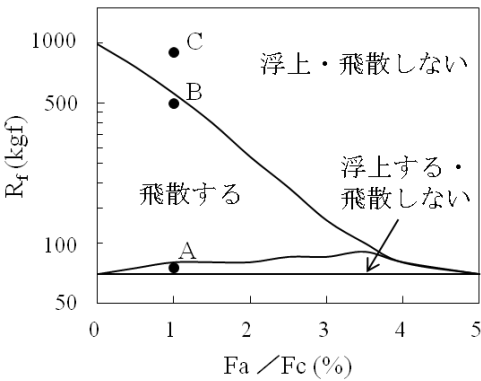


図 2 マンホール蓋の浮上・飛散特性図

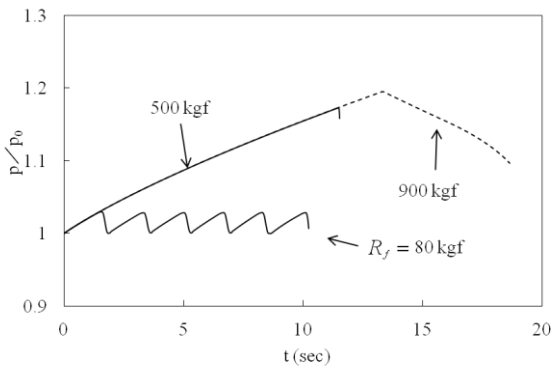


図 3 マンホール内空気圧の時間的变化

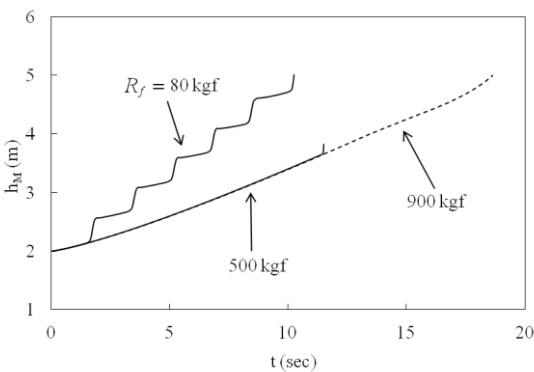


図 4 マンホール内の水深の時間的变化