

下水道マンホール蓋の浮上・飛散防止対策シミュレーション・モデル

愛媛大学大学院 学生員○松原次郎
 (株)荒谷建設コンサルタント 正会員 重田尚秀
 南海測量設計(株) 学生員 友近榮治
 愛媛大学大学院 正会員 渡辺政広

1. はじめに

近年、各地の都市下水道流域で、豪雨時、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。マンホール蓋浮上・飛散現象は、人命を失いかねない事故に繋がる非常に危険な現象であり、これを防止する対策を早期に立案することが喫緊の課題となっている。

本報告では、マンホールに取付管を設置する飛散防止対策の効果について、既に提案しているマンホール蓋浮上・飛散シミュレーション・モデル¹⁾を用いて数値実験的に検討した結果を述べる。

2. マンホール蓋浮上・飛散シミュレーション・モデル

本モデルは、下水道管渠システムのマンホール部において、マンホール内水位（下水道管渠流れの動水勾配線）の上昇に伴うマンホール内空気圧の上昇が、マンホール蓋空気孔や取付管からの空気流出（排気）がありながらも、マンホール蓋を浮上・飛散させるとするシミュレーション・モデルである。本シミュレーション・モデルにおける空気圧変動・空気流動の基礎式を以下に示す。

マンホール蓋浮上・飛散シミュレーション・モデルの基礎式

a) マンホール内空気の質量保存則：

$$\rho F_M \frac{dh_M}{dt} - F_M (h_G - h_M) \frac{d\rho}{dt} = m \tag{1}$$

b) 吸排気空気の質量流量：

$$m = \rho_0 C_m F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}} \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} \tag{排気} \tag{2}$$

$$m = -\rho_0 C_m F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}} \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \tag{吸気} \tag{3}$$

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

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

e) マンホール蓋飛散判定： $(p - p_0)(F_c - F_a) \geq R_f \Rightarrow$ 浮上・飛散する $\tag{6}$

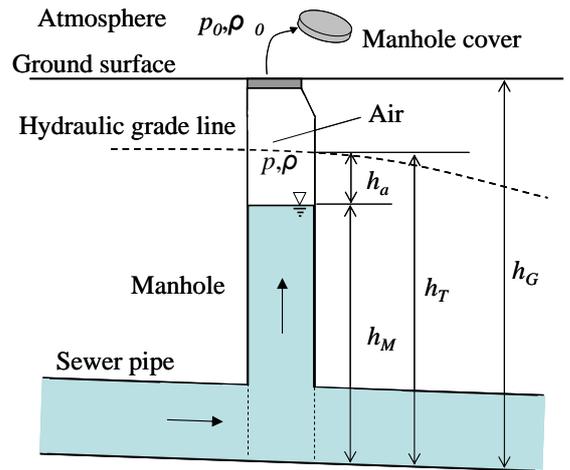


図-1 マンホールにおける空気圧変動・空気流動

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 ：空気が流出入する空気孔および吸排気管の断面積の総和、 F_a ：マンホール蓋の空気孔断面積の総和、 F_c ：蓋の底面積、 F_M ：マンホールの底面積、 F_c ：マンホール蓋の底面積、 m ：空気孔および吸排気管を通じて流出入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（浮上・飛散に対する抵抗力）、 g ：重力加速度、 t ：時間、である。

キーワード：空気圧、空気孔、取付管、マンホール蓋飛散、下水道管渠流出、集中豪雨

連絡先：〒790-8577 松山市文京町3番 愛媛大学工学部環境建設工学科水環境工学研究室 TEL089-927-9828

3. 飛散防止対策シミュレーション

マンホールに取付管（通常は、道路面雨水を下水道へ排水するために設置される）を設置することとし、これによる蓋飛散防止対策の効果を、上述したシミュレーション・モデルを用いて数値実験的に検討した。

数値実験条件

数値実験の概要を表-1に示す。マンホール直径は1.5 mで、取付管の設置位置（高さ）は地表面下90 cmと

表-1 数値実験の概要

食込力+マンホール蓋自重	10~10000 kgf	マンホール深	5.0 m
マンホール直壁部の直径	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	取付管の直径	0.2 m
マンホール蓋の底の直径	0.6 m	地盤高から取付管底高までの深さ	0.9 m
縮流係数	0.7	蓋面積に対する総空気孔断面積の割合	0~6 %
空気層の厚さ	2 m	全水頭の上昇速度	0.1~0.3 m/s

した。また、全水頭 h_T の上昇速度として、直径1 mの下水道管渠に満管状態で流出があるときに、下流ゲートを一時的に急閉塞した場合に出現する圧力水頭（動水勾配線）の上昇速度0.1 m/s ~0.3 m/sを与えた。

取付管設置の効果

表-1と上述した条件のもとで、マンホール蓋飛散シミュレーションを行った結果を図-2~図-4に示す。

はじめに、図-2より、マンホール蓋空気孔断面積の増大、（食込力+自重）の増大とともにマンホール蓋はより飛散し難くなること、全水頭（動水勾配線）上昇速度の増大に伴って飛散し易くなること分かる。また、蓋空気孔面積が4~5%程度あれば、通常の食込力（500~600 kgf）のもとでは、全水頭がたとえ0.3 m/sの速い上昇速度であっても、蓋が飛散することはないであろうことが分かる。

次に、取付管設置（1本および2本）の効果について、全水頭の上昇速度が0.3 m/sのもとで、数値実験により検討した結果（図-3）を見ると、取付管が1本設置されることにより、食込力が（取付管が無い場合に比べ）50%程度低下しても蓋飛散を防止できることが分かる。その理由は、図-4から明らかなように、取付管設置により排気が著しく促進され、マンホール内空気圧の上昇が極度に抑制されることによる。

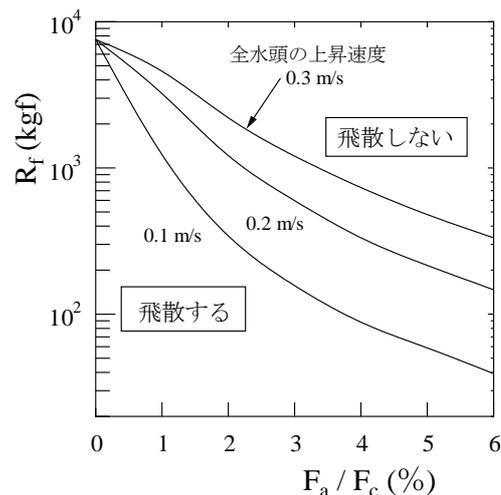


図-2 マンホール蓋飛散判定図 (取付管なし)

4. おわりに

本報告では、取付管設置による蓋飛散防止対策の効果がかなり高いものになることを明らかにした。

参考文献：1) 重田尚秀・渡辺政広：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，平成22年度土木学会四国支部第16回技術研究発表会講演概要集，pp.113~114，2010年。

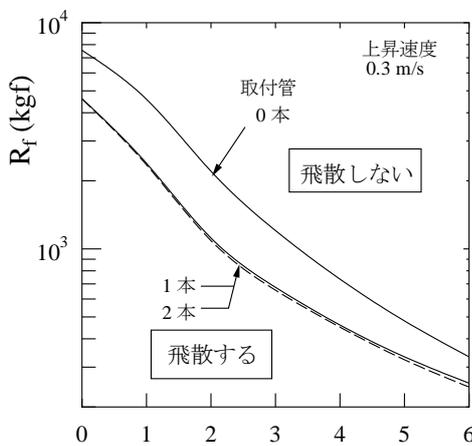


図-3 取付管設置による飛散防止効果

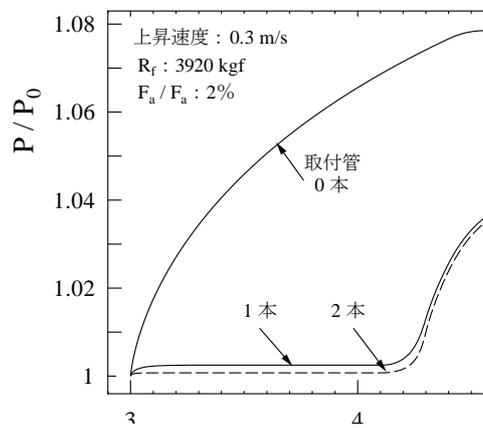


図-4 マンホール内水位（水深）と空気圧力との関係