

愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広
 (株) 奥村組 正 員 岡田 将人
 愛媛大学大学院 学生員 ○田中 祐大

1. はじめに

近年、都市域の下水道管渠システムでは、豪雨時、マンホール蓋の飛散現象が多発するようになってきている。このような現象を防止、軽減するため、マンホール蓋飛散現象の原因とメカニズムを早急に解明することが望まれている。

本研究は、空気塊を封入する下水道管渠システムの圧力流れの水理解析モデルを開発しようとする研究の一環で、ここでは、既に提案しているマンホール部に空気塊を封入する圧力流れの水理解析モデルの適用性を検討すると共に、マンホール蓋の飛散のメカニズムについて実験的な検討を行った。

2. 水理解析モデル

(a) 下水道管渠における流れの基礎式：下水道管渠における圧力流れの基礎式は、取付管における流出雨水の貯留を考慮し、水は非圧縮性、管壁は剛であるとする、文献1) のように表される。

(b) マンホールにおける流れの基礎式：マンホール部分における流れの基礎式は、流入出する雨水および空気に対して質量保存則を適用すると、以下のようにならされる。

$$F_M \frac{dh_M}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1),$$

$$\rho F_M \frac{dh_M}{dt} - F_M (h_G - h_M) \frac{d\rho}{dt} = m \quad (2),$$

$$\frac{p}{\rho^\gamma} = \frac{p_0}{\rho_0^\gamma} \quad (3), \quad H_M = \frac{(p - p_0)}{\rho_w g} + h_M + z_M$$

$$; \begin{cases} m = C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} & (\text{流出}) \\ m = -C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} & (\text{流入}) \end{cases} \quad (4)$$

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 ：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、である。なお、下添字 M はマンホール地点の諸量であることを示す。

3. 流出実験

(a) 下水道管渠の水理模型：流出実験に使用した下水道管渠模型は、図-2 に示すようである。

(b) 水理解析モデルの適用性：上、下流マンホールにおける蓋の空気孔および壁の吸排気管の設置個数（空気が流入出する断面積の総和）を種々に変化させ、コントロール・ゲート操作により、周期が約

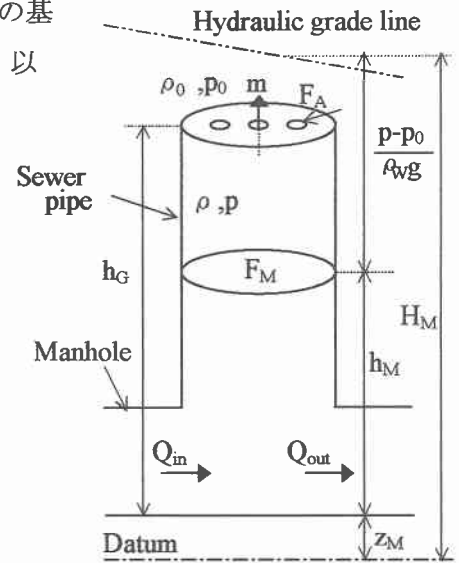


図-1 マンホール地点の質量保存則

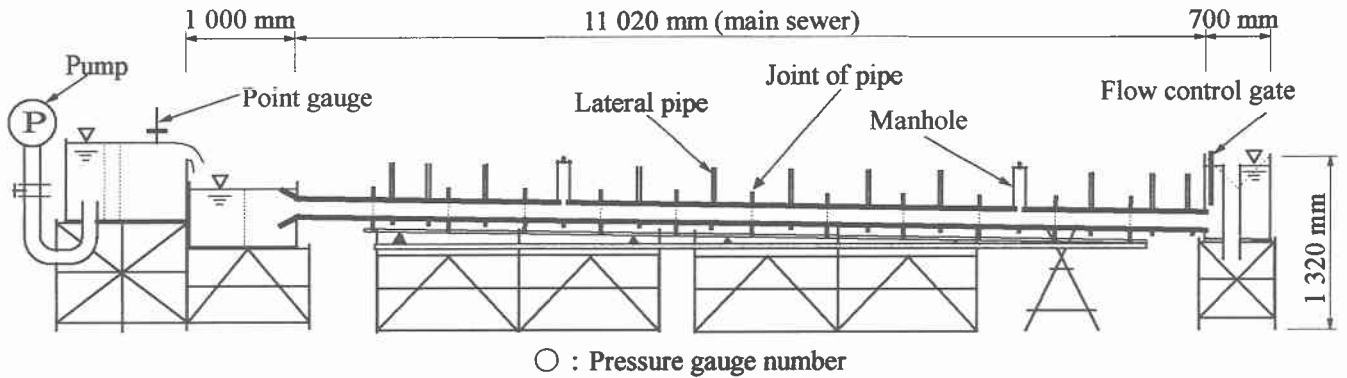


図-2 下水道管渠の水理模型

10 秒と 5 秒の sine 型の流出 (圧力流れ) を発生させ、③、⑥地点ではマンホール蓋に作用する空気圧、他地点では全水頭の時間的変化を測定した (図-3)。これより、本解析モデルによれば、マンホール蓋に作用する空気圧および下水道管渠における圧力水頭の時間的変動状況を精度高く再現し得るであろうことが分かる。

4. マンホール蓋飛散のメカニズム

下流のゲート操作を行い、周期が約 10 秒の sine 型の圧力流れを発生させ、マンホール蓋飛散 (図-4) を伴う流出実験を行った。ここで、本実験に用いたマンホール蓋の単位面積当りの重量は、実物のそれと同じである。下流側マンホール地点 (③地点) における圧力変動の測定結果 (図-5) および水面変動のビデオ撮影結果 (図-6) をもとに、マンホール蓋飛散のメカニズムについて検討した。

蓋飛散のメカニズムの概要は、次のようである (図-6)。①→②：流れの抑制に伴って水面が上昇し、マンホール内の空気が圧縮される。②：空気圧で蓋が少し押し上げられ、マンホール内の空気が排除され始めると共に、水面は急激に上昇し始める。③：空気圧の低下に伴って蓋が再び閉まるが、水面は上昇を続けている。③→④、④：水面の上昇に伴って空気圧が増大し、再び空気が排除され、やがて水面がマンホール蓋にまで達し、蓋に大きい水圧が作用して、蓋が持ち上がり飛散しようとする。④→⑤→⑥、⑥：マンホール蓋が飛散し始めるため、蓋に作用する水圧は急激に低下する。この直後、マンホール内から大量の水が急激に噴出し、蓋に激突して、蓋は完全に飛散する。

参考文献： 1) 渡辺政広：都市下水道管渠システムの雨水流出モデル，技術資料，Vol. 31，pp. 37～42，1998 年。

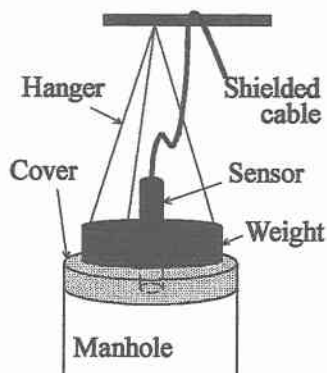


図-4 マンホール蓋

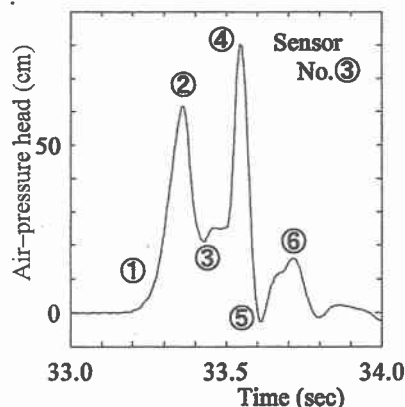


図-5 空気圧の時間的変動

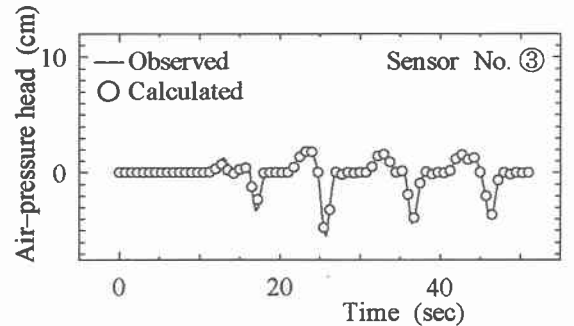


図-3 マンホール内空気圧の計算値と実測値の比較

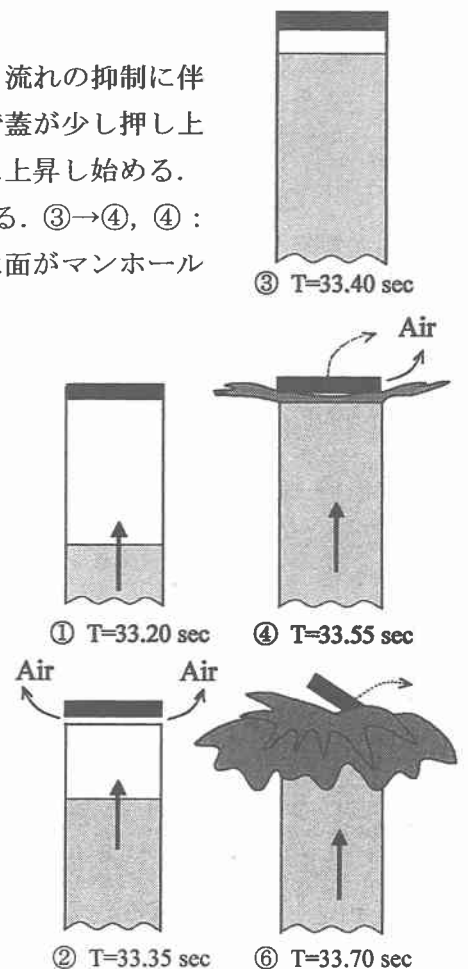


図-6 マンホール蓋飛散のメカニズム