

豪雨時の下水管渠・マンホール内空気流動に関する実験的検討

愛媛大学大学院 学生員 ○重田 尚秀
 日本興業(株) 正会員 右近 雄大
 愛媛大学大学院 正会員 渡辺 政広

1. はじめに

都市下水道流域において、集中豪雨等に起因するマンホール蓋の浮上・飛散が問題となっている。マンホール蓋の浮上・飛散を防止・軽減するための対策を立案するには、豪雨時の下水管渠内およびマンホール内における空気流動を精度高く、詳細にシミュレートし得る解析手法が必要である。このような解析手法として、下水道管渠網の管渠内およびマンホール内の空気圧が均一であるとし、管渠内水位の計算結果より管渠内空気圧を算定する手法が既に提案されている。本研究では、これまで一般的に用いられてきた管渠・マンホール内空気圧の算定法について、流出実験を行い、その妥当性について検討を行った。

2. 管渠・マンホール内空気圧の算定法¹⁾

これまで、マンホールの浮上・飛散現象を検討する際に用いられてきた管渠・マンホール内空気圧の算定法は、空気と水の流れを別々に計算する水理解析モデルを用いた手法が一般的であった。その計算手順は、まず、下水管渠内の水の流れを計算し、次に、(空気断面積) = (管渠断面積) - (流水断面積) として空気容量を算出し、管渠・マンホール内空気圧を計算するものである。

管渠・マンホール内空気圧算定のための基礎式を以下に示す。

$$\text{連続式} : \frac{d\rho}{dt} = \frac{\rho Q - m}{V} \quad (1)$$

$$(\text{排気}) \quad m = C_m F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{P_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} \quad (2)$$

$$(\text{吸気}) \quad m = -C_m F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{P_0}{\rho_0}} \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (3)$$

$$\text{空気の圧縮性} : P = \frac{P_0}{\rho_0^{\frac{1}{\gamma}}} \rho^{\gamma} \quad (4)$$

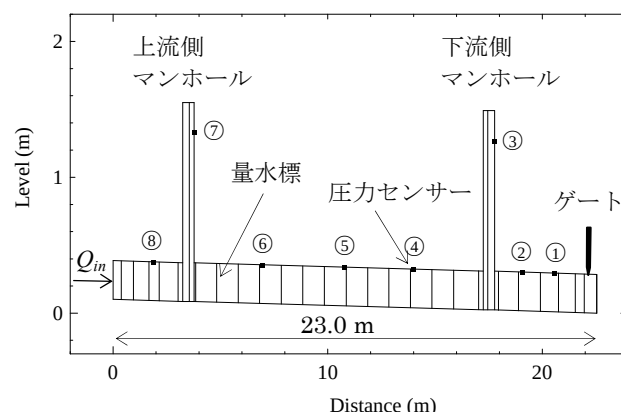


図-2 下水道管渠模型の概念図

ここに、 ρ : 管路内空気密度、 Q : 空気排除量、 m : 空気孔から流入出する質量流量、 V : 管路内空気容量、 C_m : 空気の流れに対する縮流係数、 F_A : 空気孔断面積の総和、 γ : 空気の比熱比 (=1.4)、 ρ_0 : 大気密度、 P_0 : 大気圧、 P : 管路内空気圧、 t : 時間である。

本計算手法では、空気流動・空気圧変動を検討する区間の管内空間を一つの(一体の)空気塊として取り扱い、同時刻において下水道管渠システム内の管渠およびマンホール内の空気圧は均一であるとして計算が行われる。

3. 下水管渠内空気流動実験

都市下水道管渠網のポンプ場で豪雨時に行われるゲート閉操作に起因して発生するマンホール蓋の浮上・飛散現象を想定した空気流動実験を行った。

(1) 下水道管渠網の水理模型

実験に使用した下水道管渠模型の概念図を図-2に示す。

キーワード 下水道管渠網、マンホール蓋飛散、管渠内空気圧、空気流動解析

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科水環境工学研究室 TEL 089-927-9828

(2) 実験条件

上流端より定常流を与え、下流端ゲートを閉じることによって起こる管渠内空気圧縮について管渠内空気圧および水深の時間的・場所的变化を圧力センサーおよび量水標で測定した。

(3) 実験結果

実験結果を図-3に示す。これより、ゲート遮断後、空気圧の変動が下流から上流（①→⑧）へ伝播していることがわかる。また、サージがマンホールを通過すると、マンホール蓋空気孔からの排気によって空気圧縮が緩和され、空気圧の変動が弱まっていることがわかる。

(4) 実験結果と計算結果の比較

実測水深から算出した管路内空気容量を用いて管渠・マンホール内空気圧の算定を行い、計算結果と実測結果を比較した。（図-4）

図-4より、本手法による計算結果は、各地点の圧力変動の平均的な値となっており、本手法による計算結果を基に対策を実施すると、上流側マンホールでは過大設計となり、下流側マンホールでは十分な対策とならない可能性がある。

以上より、管渠システム内の空気圧が均一であるとして管渠内空気圧の計算を行う本手法は対策を検討する上で適当ではないことがわかった。

4. まとめ

本研究によって、これまで一般的に用いられてきた計算法（同時刻において下水道管渠システム内の管渠およびマンホール内の空気圧は均一であるとして空気圧を計算する方法）では、実現象を精度良く再現できないことが明らかとなった。したがって、空気塊を封入する下水道管渠網の管渠・マンホール内空気圧の計算では、図-5に示すように、下水道管渠システム内を破線で示すように短い区間で区切り、その区間ごとに水位変動および圧力変動の時間的変化を計算する必要がある。

謝辞

本実験は（株）G&U技術研究センター（埼玉県比企郡川島町）の水理模型を用いて行った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) （社）日本下水道協会：下水道マンホール安全対策の手引き（案），pp.36-54，（社）日本下水道協会，1999。

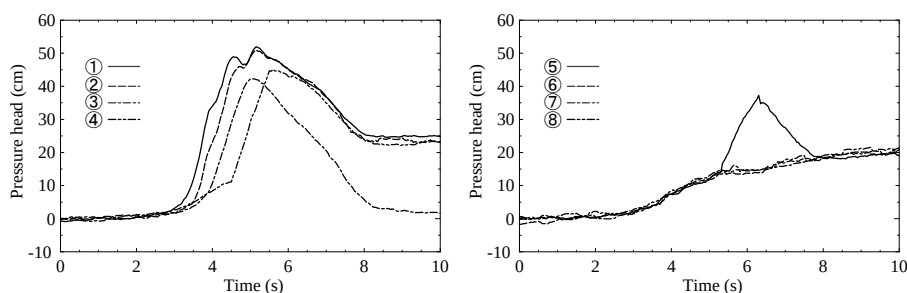


図-3 管渠内空気圧の時間的・場所的変動

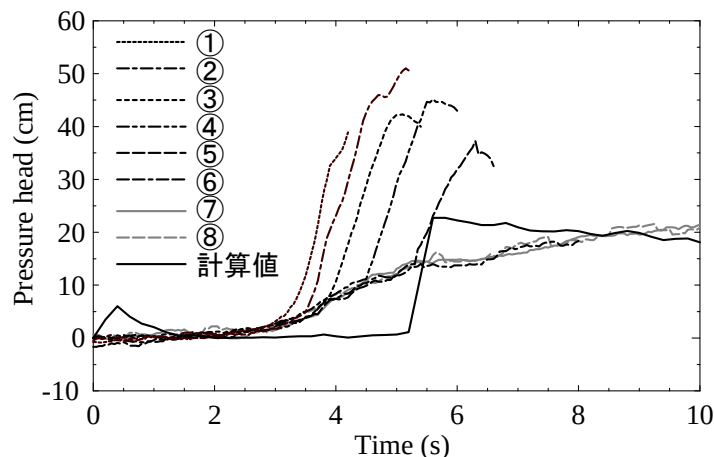


図-4 実験結果と計算結果の比較

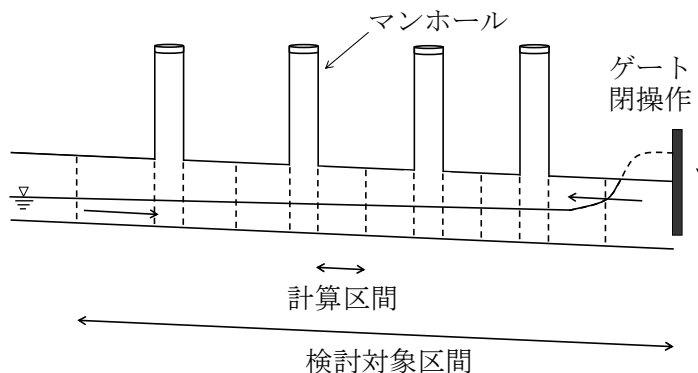


図-5 計算区間間隔