

II-82

下水道マンホール蓋飛散現象の解析モデルに関する検討

愛媛大学大学院 学生員 岡田 将人

愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広

愛媛大学大学院 学生員 小林 康司

1. はじめに

都市域の下水道管渠システムでは、豪雨時、空気塊を封入する圧力流れが現れ、これに起因してマンホール蓋が飛散する現象がしばしば発生しており、こうした流出現象を精度高く再現し得る解析モデルの開発が緊急の課題となっている。

本研究は、そうした解析モデルの開発を目指した研究の一環で、下水道マンホール内に空気塊を封入する圧力流れの解析モデルについて検討を行ったものである。

2. 下水道管渠模型(ボックス・カルバート模型)

本模型は、図-1 に示すように、流入流量を調節するための上流部の水槽、ボックス・カルバート(縦×横=10 cm×12.5 cm)型の下水道管渠部、流出流量あるいは下流端水位を調節するための下流部の水槽からなる。下水道管渠は透明アクリル製で、全長は約 11 m、11 カ所に取付管(内径 1 cm、直立)が、2 カ所にマンホール(内径 6 cm、高さ 70 cm)が設置されている。また、①～⑧ の管渠底部あるいはマンホール蓋部には、圧力水頭を測定するためのセンサーが取付られている。

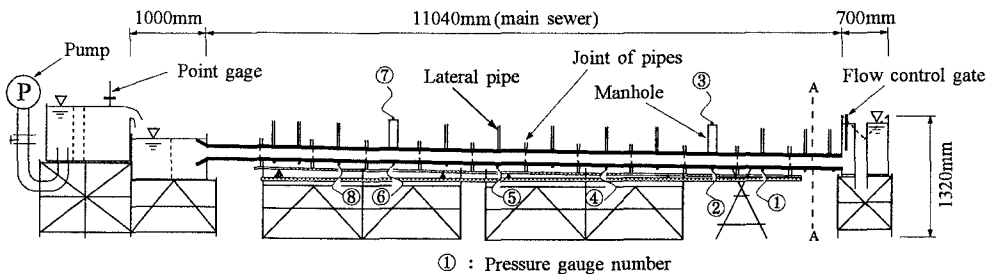


図-1 下水道管渠(ボックス・カルバート)模型

3. 流れの基礎式(解析モデル)

(a) 下水道管渠における流れの基礎式: 実流域の下水道管渠で発生する圧力流れは、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、次式のように表される。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \quad \cdots (1), \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad ; \quad c' = \sqrt{g \frac{L}{N} (\sin \theta) \frac{A_p}{A_i}} \quad \cdots (2)$$

ここに、 V : 断面平均流速, H : 水位(基準面から測った圧力水頭), R : 径深, c' : 圧力波伝播速度, L , n , A_p : 下水道管渠の長さ(上下流マンホール間の距離), Manning の粗度係数, 断面積, A_i , N , θ : 取付管の断面積, 接続本数(L 間), 取付角度(水平面とのなす角), g : 重力加速度, t : 時間, x : 距離, である。

キーワード: 空気圧, マンホール蓋飛散, 圧力流れ, 下水道管渠システム, 解析モデル

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, Tel. (089) 927-9828, Fax 927-9831

(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、以下のように与えられる。

$$F_M \frac{dh_M}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \cdots (3), \quad \frac{p}{\rho^\gamma} = \frac{p_0}{\rho_0^\gamma} \cdots (4), \quad H_M =$$

$$\frac{(p - p_0)}{\rho_w g} + h_M + z_M \cdots (5), \quad \rho F_M \frac{dh_M}{dt} - F_M (h_G - h_M) \frac{d\rho}{dt} = m ;$$

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

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 ：空気孔面積， γ ：空気の比熱比（ ≈ 1.4 ）， m ：マンホール蓋の空気孔を通じて流入する空気の質量 flux， C_m ：縮流係数， F_M ：水面積， H_M ：水位， 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，下添字 M はマンホール地点の諸量であることを示す。

4. 解析モデルの適用性に関する流出実験による検討

前述した下水道管渠模型による流出実験に上の解析モデルを適用し、モデルの適用性を検討した。水路勾配が 2.4 ‰のもとで、周期がおおよそ 10 秒（定常流量 7.6 l/sec）の sine 型の洪水流出を発生させ、①～⑧地点（図-1）で圧力水頭の時間的変動を測定した。2 カ所のマンホール蓋（ $F_A=28.3 \text{ cm}^2$ ）には、それぞれ、12 個の空気孔（総面積：27.5 mm²）が開けられている。なお、下水道管渠模型における摩擦損失の評価（式(1)）には、流出実験を行って、ブラシウス型の評価式（滑面乱流に対する理論式に良く近似している）を採用することとした。

はじめに、①，⑧地点の実測圧力水頭を上下流域境界条件として与え、上述の解析モデルによる流出シミュレーションを行った。⑤地点における圧力水頭の計算結果を実測結果と対比して図-3 に示す（ここに、縮流係数 C_m は、後述するように、最適値である 0.72 を採用している）。これより、本解析モデルにより、マンホール内に空気塊が封入される下水道管渠システムの圧力流れを精度高くシミュレートし得るであろうことが分かる。

次に、式(6)における縮流係数 C_m の最適値を検討した。検討結果の一例を図-4 および 5 に示す。これより、縮流係数は、0.7 程度が適当であることが分かる。

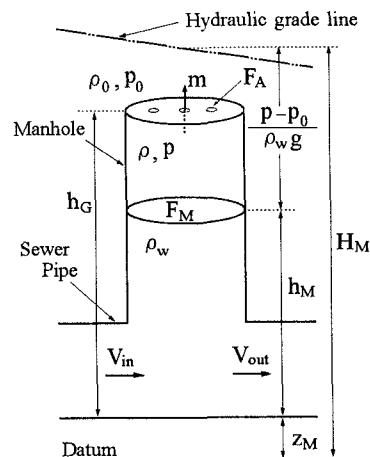


図-2 マンホール地点における質量保存則

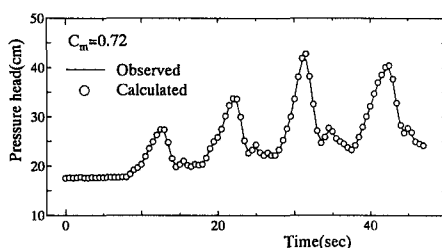


図-3 圧力水頭の計算値と観測値の比較（⑤地点）

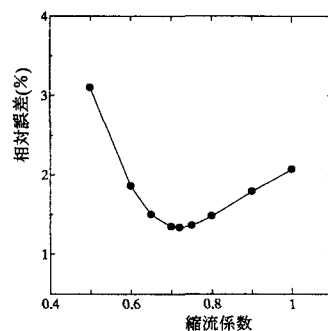


図-4 縮流係数の最適値

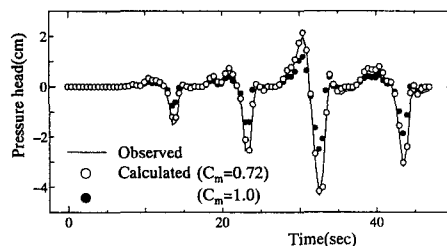


図-5 マンホール内空気圧の計算値と実測値の比較（③地点）