

栃木県土木部 正員○赤上 尚
 東京都立大学 正員 安川 浩
 東京都立大学 正員 宇井正和

1. 緒 言

豪雨時の下水管渠内で生じる過渡現象に際して水平断面が急変するマンホールのスラブに水面が激突する現象が生じる。この場合にスラブに及ぼす衝撃圧及び近傍のマンホールの水面振動を解析する目的で、マンホール基部における動水勾配線の値を、ライザー内水流の加速度を考慮に入れて表現し、運動方程式と連続式により、従属変数である流量とライザー内水位の導関数を陰的に求め、連立常微分方程式を数値的に解き、実験結果と比較し、その適用性を明らかにしようとするものである。

2. 理論的考察

図-1に示されるN本のライザーと、それらを結ぶ(N-1)本の管路及び下流端のゲートより成る管路系において、下流端よりi番目の管路及びi番目のライザーにおける運動方程式及び連続式はそれぞれ式(1)及び式(2)により表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ_i}{dt} &= \frac{g A_i}{\ell_i} (h_{i-1} - h_i) - \frac{g n_i^2}{A_i R_i^{4/3}} |Q_i| \cdot Q_i \\ (i &= 1 \sim (N-1)) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\eta_i}{dt} &= \frac{Q_i - Q_{i-1}}{S_i} \\ (i &= 1 \sim N) \end{aligned} \right\} (2)$$

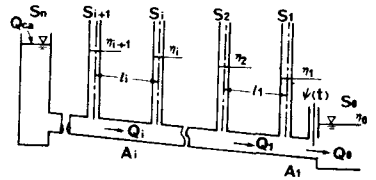


図-1 管路系の概念図

式(1)におけるライザー基部の動水勾配線高度 h_i は、ライザー基部と水面の間に運動量方程式を適用することにより、水位上昇時及び下降時に対してそれぞれ式(3)及び式(4)により表わされる。但し流路の急拡部において圧力の均一性を仮定する。

上昇時(但し $\eta_i > (B_2)_i$, $Q_i > Q_{i-1}$)

$$\begin{aligned} h_i &= \eta_i + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{1}{g S_2^2} \left(\frac{S_2^2}{S_0^2} - \frac{S_2^2}{S_0 S_1} + \frac{S_2^2}{S_1^2} - \frac{S_2^2}{S_1} + 1 \right) (Q_i - Q_{i-1})^2 \\ &+ \frac{1}{g S_2} \{ (\eta_i - B_2) + \frac{S_2^2}{S_0} (B_2 - B_1) + \frac{S_2^2}{S_0} (B_1 - B_0) \} \\ &\cdot \left(\frac{dQ_i}{dt} - \frac{dQ_{i-1}}{dt} \right) \dots\dots (3) \end{aligned}$$

下降時($\eta_i > (B_2)_i$, $Q_i < Q_{i-1}$)

$$\begin{aligned} h_i &= \eta_i + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{1}{g S_2^2} \left(\frac{S_2^2}{S_0^2} - \frac{S_2^2}{S_0 S_1} + \frac{S_2^2}{S_1^2} \right) \cdot (Q_i - Q_{i-1}) \\ &+ \frac{1}{g S_2} \left\{ (\eta_i - B_2) + \frac{S_2^2}{S_1} (B_2 - B_1) + \frac{S_1}{S_0} (B_1 - B_0) \right\} \cdot \left(\frac{dQ_i}{dt} - \frac{dQ_{i-1}}{dt} \right) \dots\dots (4) \end{aligned}$$

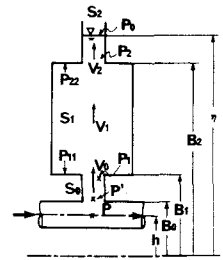


図-2 不連続断面を有するライザー

式(3), 及び式(4)における p_0 はマンホール内水面の空気圧で、人孔蓋の存在下ではnon zeroであり、また流量 Q 以外の諸量はi番目のライザーに関するものとする。

境界条件

ゲートからの非定常流量 Q_0 はオリフィスの流量公式を用いて、オリフィス開口面積 A_0 、及び流量係数 C_v により次式で表わされる。

$$Q_0 = C_v A_0 \sqrt{2 g (h_1 - \eta_0)} \dots\dots (5)$$

スラブ面に及ぼす衝撃圧

図-2における断面積 S_1 から S_2 へ急変するスラブ面に及ぼす水圧 p_{22} は水面との間に運動量方程式を適用することにより、式(3)及び式(4)と類似の次式で表現される。

$$\frac{P_{22}}{\rho g} = \eta - B_2 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{1}{g S_2^2} (1 - \frac{S_2}{S_1}) (Q_1 - Q_{1-1})^2 + (\frac{\eta - B_2}{g S_2^2}) (\frac{dQ_1}{dt} - \frac{dQ_{1-1}}{dt}) \dots\dots (6)$$

尚上式において水面が不連続部分を通過する際断面積 S は長さ δ の微小遷移区間を経て連続的に S_1 から S_2 へ変化するものとして計算する。

3. 解析方法

式(1)、式(2)及び式(5)は未知数 $2N$ 個の連立常微分方程式を構成するが、そのうち $\frac{dQ_i}{dt}$ の関数値は式(3)、式(4)を式(1)及び式(5)に代入した $\{(N-1)+1\}$ 個の連立一次方程式により陰的に求めることができ、これより次の時間ステップにおける Q_i 、 η_i が数値的に計算される。筆者等はRunge-Kutta-Gill 法を用いた。

4. 実験方法並びに結果

実験装置は図-3に示す下流端のライザーのみが不連続断面を有する管路とし、下流端のゲートは逆三角形オリフィスの上流面を遮水板がラック・アンド・ピニオン方式で上下する形式⁽¹⁾で、ピニオンの回転角度よりゲート開度が電氣的に取り出される。水位は抵抗線水位計により、またスラブ面には図-3に示す2個の圧力計を取り付け衝撃圧の測定を試みた。

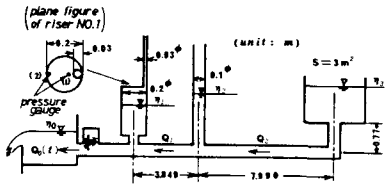


図-3 実験装置

図-4はゲート全開から所要時間 $T_0 = 3.8$ 秒で、直線的に全閉した場合の下流端ライザーの水位並びにスラブ面圧力のオシロ波形を計算結果とともにXYプロッターで出力させたものの一例で、時間軸はゲート開閉時間 T_0 により、また水位及び圧力水頭は特性長 X_0 (管径)により無次元化してある。

WATER LEVEL AND PRESSURE

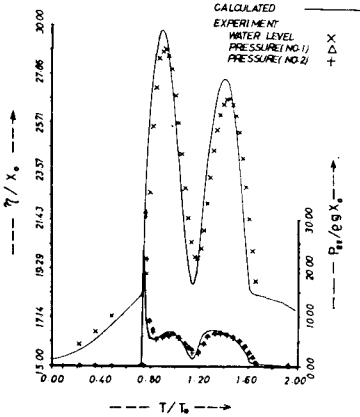


図-4 計算結果と実験値の比較

5. 結 論

2自由度の本例における筆者等の解析法は満足すべき適用性を示すものと結論できるが、より高度の自由度をもつ振動系に対する検討を今後の課題としたい。

謝 辞

本研究は東京都下水道局による委託研究「下水管渠内水流の管理システムに関する研究」の一部として行なわれたもので、種々お骨折り下さった都下水道局の方々、並びに温かい御配慮と助言を頂戴した東京都立大学工学部、川口土郎教授に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 安川 川口 山岡「豪雨時のマンホール蓋飛散現象に関する基礎的研究」第24回水講論文集 1980年2月