

下水道管渠網における空気封入を伴う豪雨時の雨水流出に関する検討(2)

愛媛大学工学部 正員 ○渡辺政広・栗原 崇
愛媛大学大学院 学生員 時尾嘉弘・藤田和博

都市域の下水道管渠網においてしばしば発生する豪雨時の空気封入を伴う雨水流出を実用的にシミュレートし得る流出解析モデルの開発を目指して検討を進めてきている¹⁾。

本報では、上述した検討の一貫として、密封型のマンホール内の空気が封入される非定常圧力流れの流出特性について、プリズマチックな下水管渠システムを対象に、流出シミュレーションを行って検討した結果を述べる。

1. マンホールでの空気封入を伴う圧力流れの基礎式

1.1 管渠における運動方程式および連続式²⁾

下水管渠の頂部には、通常のように、取付管が接続しているとする。これら取付管における流出水の貯留を考慮すると、管渠における運動方程式および連続式は、それぞれ次式のように表される。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c'^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (2) ; \quad c' = \sqrt{g \cdot \frac{L}{N} (\sin \theta) \frac{A_p}{A_L}} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、V:断面平均流速, H:水位, R:径深, L, A_p, n:管渠の長さ(マンホール間の距離), 断面積, Manning の粗度係数, c':圧力波伝播速度, N, A_L, θ:取付管の接続本数(L 当り), 断面積, 接続角度, g:重力加速度, x:距離, t:時間。

1.2 マンホールにおける連続式および空気圧の式(図1)¹⁾

まず、マンホールにおける入口・出口損失が管渠の粗度係数の中に入れて取り扱えるとする、マンホールにおける連続式は式(4)のように表される。次に、マンホールは完全な密封型であり、圧力と空气体積の間にポリトロープ変化³⁾を仮定すると、式(5)~(7)が成立する(ここでは、簡単のため、マンホールの水面積は水深に係わらず一定(=F_M)としている)。

$$F_M \cdot (dh_M / dt) = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} \dots (4)$$

$$H_M = p / (\rho g) + h_M + z_M \dots\dots (5)$$

$$p = (V_o / V)^m \cdot (p_o + p_a) - p_a \dots (6)$$

$$dV / dt = -F_M \cdot (dh_M / dt) \dots (7)$$

ここに、H_M:圧力水頭(水位), h_M:水深, V, p:封入空気の体積, 圧力(絶対圧力で、大気圧を上回る成分), V_o, p_o:初期状態(t=0 のとき)の V, p 値, p_a:大気圧(絶対圧力), F_M, z_M, h_G:マンホールの断面積, 底高, 深さ, ΣQ_{in}, ΣQ_{out}:流入流量, 流出流量の合計, m:ポリトロープ指数(図2参照, m=1.0~1.4 であるが, 実用上は, m=1.2 とする), ρ:水の密度, D:管渠径。

なお、上述した流れの基礎式(1)~(7)の数値計算法として、ここでは、特性曲線法を用いている。

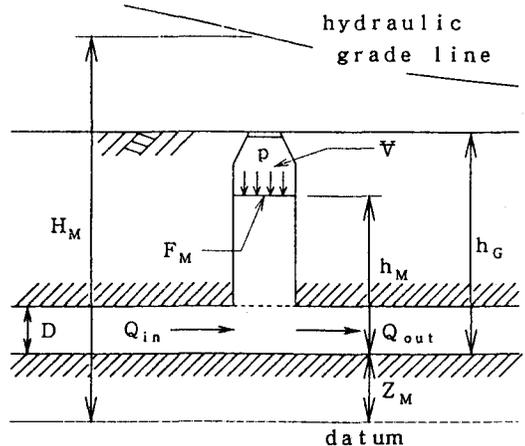


図1 マンホールにおける各種水理量

2. 流出シミュレーション

管渠システムと上下流端・初期境界条件：図3に示すような、 $D=1\text{ m}$ 、 $L=60\text{ m}$ 、 $S_o=0.0038$ 、 $n=0.015$ の円形管渠（5本）と、 $F_M=2.5\text{ m}^2$ 、 $h_G=3.5\text{ m}$ ($T_G=2.5\text{ m}$) のマンホール（4個）とからなるブリズマチックな管渠システムを用いた。満管等流流量 $Q_{full}=1.281\text{ m}^3/\text{s}$ 、初期水深（圧力水頭） 1.5 m の定常流れに対し、上流端から sine 型の洪水（ピーク流量 $=1.2 \times Q_{full}=1.536\text{ m}^3/\text{s}$ 、周期 $T=60\text{ sec}$ ）が流入し、下流端水位が一定（初期状態）に保たれるときのシミュレーション結果を図4、5に示す。なお、マンホールは、密封型（chamber）と空気が自由に出入りする開放型（manhole）の2種を取り扱った。

シミュレーション結果と考察：これらより、密封型マンホールを有する管渠システムの非定常圧力流れの流出特性について、以下の諸点が指摘された。① 流量ハイドロおよび圧力水頭 (H , H_M) ハイドロには、いずれも、chamber と manhole の違いによる影響はほとんど表れない。② chamber の水位 ($h_M + z_M$) ハイドロは、封入空気の圧力上昇により、圧力水頭ハイドロに比べてかなり低く抑えられている。③ マンホールにかかる力は、僅かな水位上昇によっても、マンホール重量を大きく上回る値に達する。

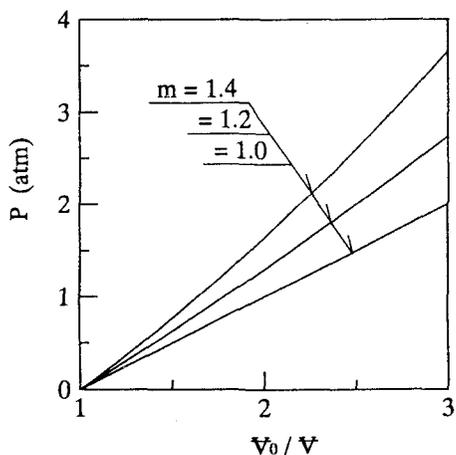


図2 $p \sim V_0/V$ ($p_0=0, p_a=1\text{atm}$)

参考文献：1) 渡辺・栗原・小田：下水道管渠における空気封入を伴う豪雨時の雨水流出に関する検討，平成5年度土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集，pp. 178-179, 1993年。2) 渡辺・江藤・室田：取付管の調圧効果を考慮した下水管渠内の遷移流計算法，土木学会論文集，第411号/II-12, pp. 81-90, 1989年。3) Chaudhry, M. H.: Applied Hydraulic Transients, VNR Company, pp. 309-336, 1987.

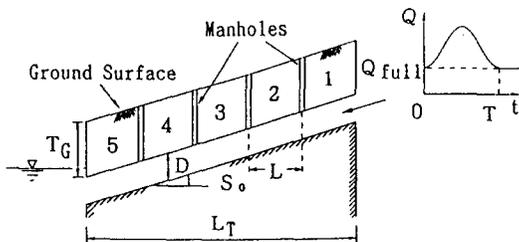


図3 管渠システム

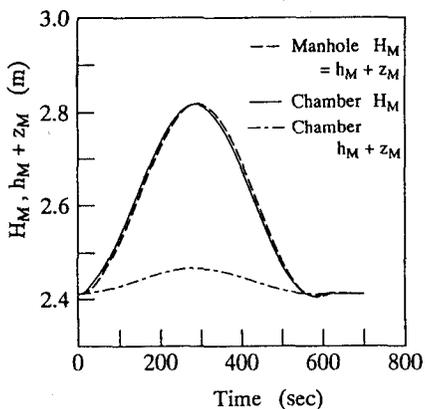


図4 圧力水頭・水位ハイドロ（管渠1の下流端マンホール）

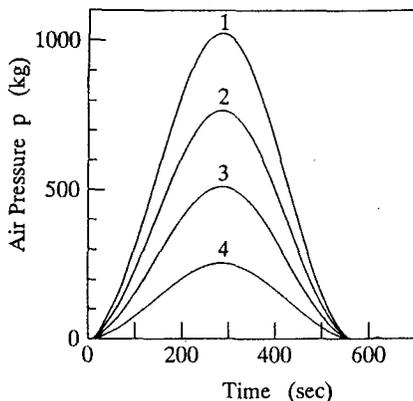


図5 各管渠下流端のマンホール蓋 ($\phi=600$) にかかる力