

都市下水道流域の浸水はらんと 都市河川の洪水について

愛媛大学工学部
渡辺 政広

1. 都市河川の洪水による下水道流域の浸水はらんと

低平地の下水道管渠システムの下流端に位置するポンプ場（下水処理場）からは、雨天時、河川への放流が行われている。豪雨時には、河川水位も急激に上昇し、河川下流域での堤防溢水が懸念される場合には、ポンプ場からの放流は停止されざるを得なくなる。この時、ポンプ場の浸水を回避するため、ポンプ場の流入ゲートは閉じられることとなるが、これに伴って、ポンプ場付近の下水管渠の流れは、これまでの開水路流れから圧力流れ（サーチャージ流れ）へと遷移し、図-1 に示すように、これが上流域へと伝播するにつれてサーチャージ流れ区間が拡大し、やがて動水こう配線が地表面上に達して浸水はらんが発生する。

ここでは、こうした浸水はらんを解析する方法と、解析に際して留意すべきマンホー

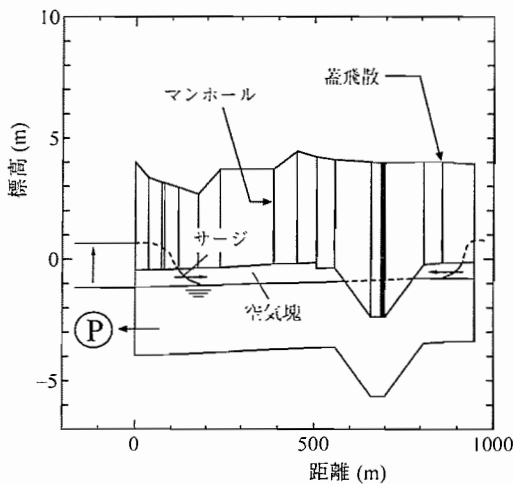


図-1 開水路流れから圧力流れへの遷移と伝播
(平成 10 年 9 月秋雨前線豪雨、高知市)

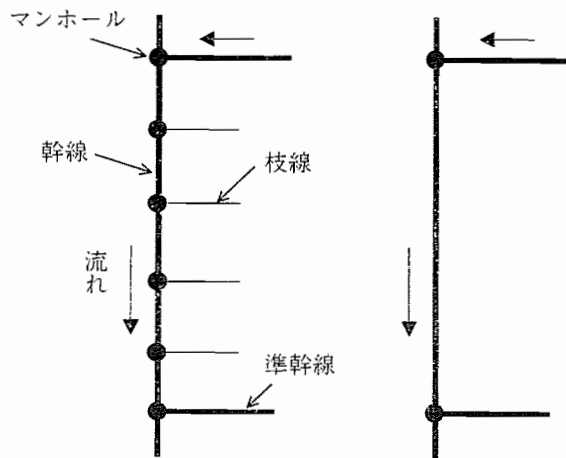
ルの取扱いについて述べる。

2. 下水道管渠システムにおける浸水はらんと解析

(1) 浸水はらんと解析と下水道管渠システムのモデリング (簡易化)

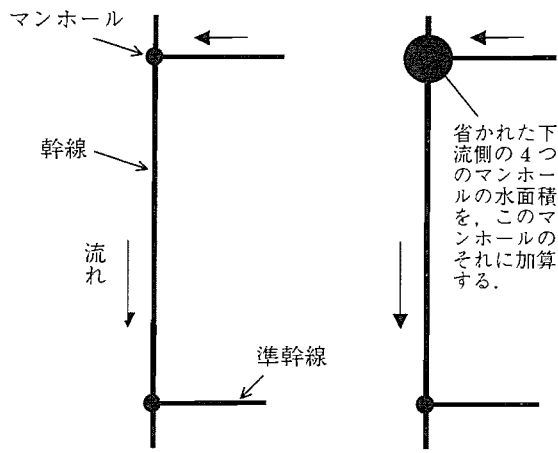
下水道管渠システムにおける浸水はらんと解析では、一般に、 ϕ が 500 ~ 1000 mm 程度以上の管渠が対象とされる。すなわち、それら以下の ϕ をもつ管渠は省いて解析が行われる。この理由として、①全ての管渠を考慮すると、下水道管渠システムの管渠総数が膨大となり、一般には、解析計算を進めることが物理的に不可能となる事態が生ずること、②主要な浸水はらんとは、通常、下水道管渠システムの中でも規模の大きい管渠（幹線および準幹線管渠）が敷設されている区間で発生していること、などが挙げられる。

著者らは、既に、下水道管渠システムにおける豪雨時の圧力流れ（サーチャージ流れ、満管流れ）の伝播特性を決定づける主要な要素は、マンホールの水面積（水平面積、横断面積）であることを指摘している¹⁾。したがって、下水道管渠システムのモデリング（簡易化）にあたり、図-2 に示すように、枝線管渠が接続する幹線管渠システムのマンホー



(a) 現状 (b) モデリング後

図-2 下水道管渠システムのモデリング



(a) 従来の方法 (b) 提案している方法
図-3 マンホールのランピング法

ルを単に省く(間引く)ことは、解析結果、特に水位ハイドログラフ、すなわち浸水はんらんの時空間的拡がりを示す結果に致命的な誤差を伴う可能性が高くなることを指摘している。

一方、こうした解析誤差をほとんど生じさせないための下水道管渠システムのモデリングの方法として、図-3 に示すように、省いたマンホールの総水面積を近傍のいずれかのマンホールのそれに加算する「マンホールのランピング法」を採用すればよいことを提案すると共に、本ランピング法の有用性も明らかにしている¹⁾。

(2) マンホール蓋飛散を伴う浸水はんらん解析

各地の下水道管渠システムで、豪雨時、空気塊を封入する圧力流れが発生し、これが流れに圧縮されて、マンホール蓋が飛散する現象がしばしば発生している。平成10年9月、秋雨前線豪雨に見舞われた高知市の下水道管渠システムでは、11箇所のマンホール蓋が飛散し、この内の2箇所(図-1)で、マンホール内への転落事故が発生し、2名の人命が失われることとなった。

著者らは、こうした空気塊を封入する圧力流れを精度高くかつ実用的にシミュレートし

える雨水流出解析モデルの開発に関する研究を進めており、本研究の一環として、マンホール内に空気が封入される圧力流れ(図-4)をシミュレートしえるモデルについて検討している²⁾。本モデルの概要を以下に示す。

a) 下水道管渠における流れの基礎式

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

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

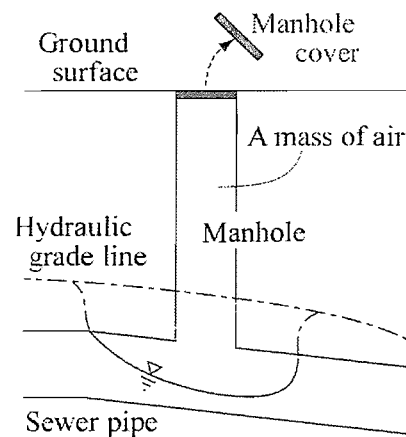


図-4 マンホール内に空気塊を封入する圧力流れ

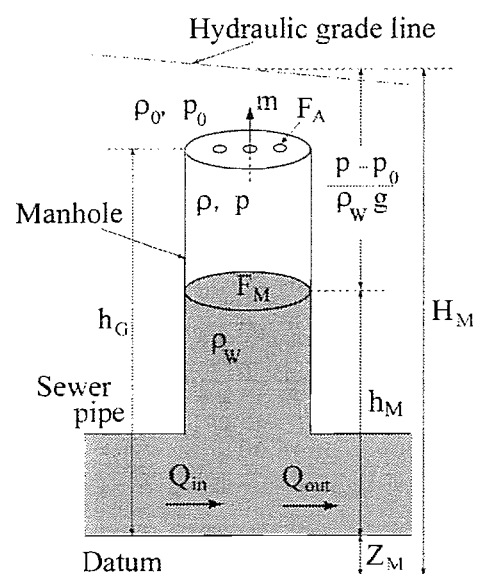


図-5 マンホール地点における質量保存則

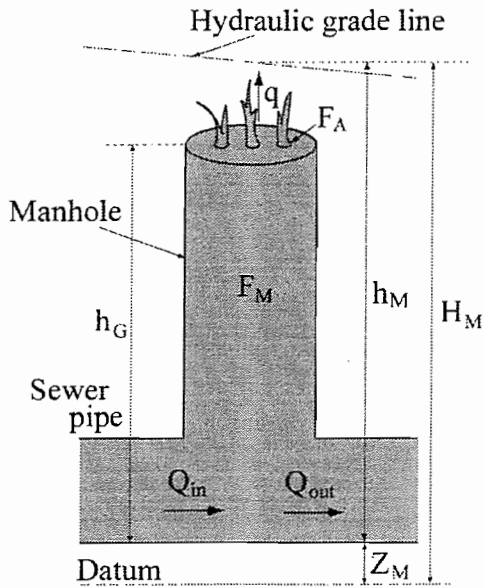


図-6 マンホール地点における連続式

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、Manning の粗度係数、断面積、 A_j 、 N 、 θ ：取付管の断面積、接続本数（ L 間）、取付角度（水平となす角）、 g ：重力加速度、 t ：時間、 x ：距離である。

b) マンホール地点における質量保存則

○ 空気が封入されている場合（図-5）

流出水の連続式：

$$F_M (dh_M / dt) = Q_{in} - Q_{out} \quad (3)$$

空気の質量保存則：

$$\rho F_M (dh_M / dt) - F_M (h_G - h_M) (d\rho / dt) = m \quad (4)$$

$$;(\text{排気})m = C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \sqrt{\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}$$

$$;(\text{吸気})m = -C_m \cdot F_A \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} \rho_0 \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

空気の圧縮性：

$$p / \rho^\gamma = p_0 / \rho_0^\gamma \quad (5)$$

全水頭：

$$H_M = (p - p_0) / (\rho_w g) + h_M + z_M \quad (6)$$

○ 空気が完全に排除されている場合（図-6）

流出水の連続式：

$$q = Q_{in} - Q_{out} ; q = C_q \cdot F_A \sqrt{2g(h_M - h_G)}$$

全水頭：

$$H_M = h_M + z_M \quad (7)$$

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 、 q ：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、水の流量 flux、 C_m 、 C_q ：空気、水の流れに関する縮流係数、 F_M ：マンホール断面積、 H_M ：全水頭、 h_M ：水深あるいは圧力水頭、 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。また、下添字 M はマンホール地点の諸量であることを示す。

本モデルを下水道管渠模型（透明アクリル製、長さ 11 m、10×12 cm のボックスカルバート型管渠、）に適用し、計算結果を流出実験結果と対比して、その適用性を検討し、本モデルにより、マンホール蓋に作用する空気圧の時間的変動を精度高くシミュレートできることを確かめている。

参考文献

- 1) 渡辺政広・栗原 崇・右近雄大・恩地研輔：都市下水道管渠システムの浸水はらん解析におけるマンホールの水理学的役割とそのランピング手法、水工学論文集、第 40 巻、pp. 661～668、1996 年。
- 2) 渡辺政広・神田 徹・田中祐大・神吉和夫：マンホール蓋飛散の水理解析モデルと水理模型実験、水工学論文集、第 45 巻、pp. 907～912、2001 年。