

下水道管渠網における空気圧縮・マンホール蓋飛散を伴う豪雨流出解析モデル

(株)荒谷建設コンサルタント

○堀江 展弘

(株)荒谷建設コンサルタント 正会員

白石 央

愛媛大学名誉教授

フェロー

渡辺 政広

1. はじめに

各地の都市下水道流域で、近年、豪雨時、計画を遥かに上回る、大量の雨水が流入することに起因して、下水道管渠網内の空気が圧縮され、この圧縮された空気がマンホール蓋を飛散させたり、マンホール躯体を大きく損傷させたりする事故・災害がしばしば発生してきている。

本報告では、そうした空気圧縮を伴う下水道管渠網の雨水流出の流れの基礎式を導出するとともに、本流れの基礎式を基に、空気圧縮を伴う下水道管渠網の雨水流出の流出特性について検討した結果を述べる。

2. 下水道管渠網における空気圧縮を伴う雨水流出の流れの基礎式

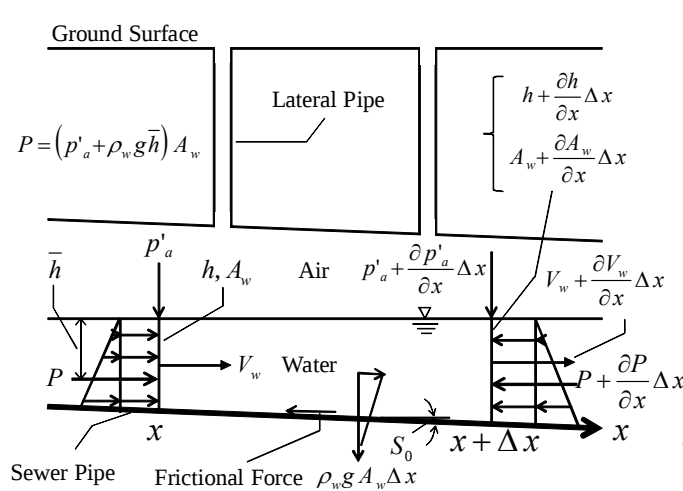


図-1 下水道管渠における雨水流出

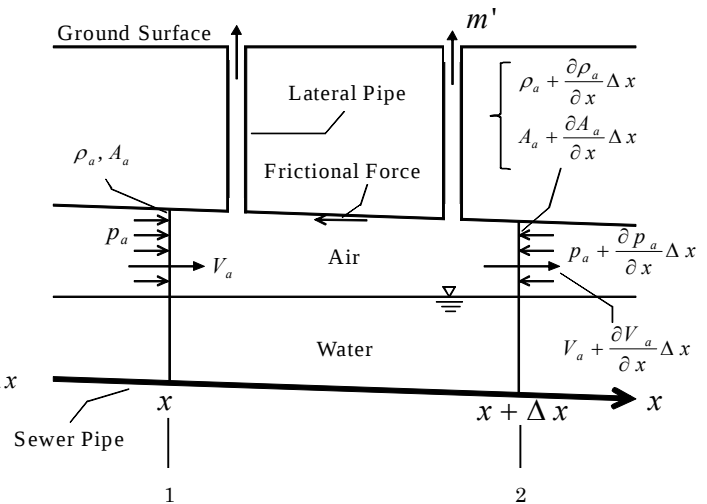


図-2 下水道管渠における空気流動

はじめに、図-1 に示す、下水道管渠の微小区間の流れに、空気圧を考慮して、運動量保存則を適用すると、下水道管渠における雨水の流れの運動方程式(1)が得られる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{V_w}{g} \frac{\partial V_w}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w g} \frac{\partial p'_a}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 |V_w| V_w}{R_w^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

また、質量保存則を適用すると、連続の式(2)が得られる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + V_w \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{c_w^2}{g} \frac{\partial V_w}{\partial x} = 0 \quad ; \quad c_w = \sqrt{g \frac{A_w}{B}} \quad (2)$$

次に、図-2 に示す、下水道管渠の微小区間の空気の流れに、等エントロピー流れ ((4)式) として、運動量保存則を

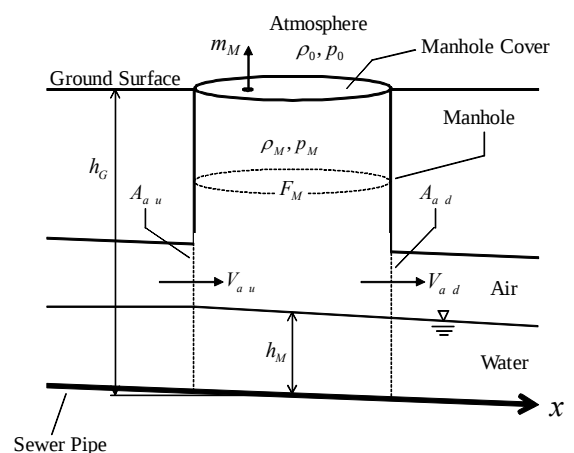


図-3 マンホール地点における連続の式

キーワード 空気圧縮, 下水道管渠網, 雨水流出, マンホール蓋飛散, 豪雨, 都市流出

連絡先 〒730-0847 広島市中区舟入南4丁目14番15号 (株)荒谷建設コンサルタント 水工部 堀江展弘,

Tel.: 082-234-5663, Fax: 082-234-4961, E-mail: nobuhiro.horie@aratani.co.jp

適用すると、下水道管渠における空気流動の運動方程式(3)が得られる。また、取付管からの空気の流入出を考慮して、質量保存則を適用すると、空気流動の連続の式(5)～(8)が得られる。

$$\frac{\partial V_a}{\partial t} + V_a \frac{\partial V_a}{\partial x} + \frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p_a}{\partial x} + f_D \frac{1}{4R_a} \frac{1}{2} |V_a| V_a - \frac{m' V_a}{\rho_a A_a} = 0 \quad (3) \quad \left(\frac{p_1}{p_2} \right) = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^\gamma \quad (4)$$

$$A_a \frac{\partial \rho_a}{\partial t} + \rho_a \frac{\partial A_a}{\partial t} + \rho_a A_a \frac{\partial V_a}{\partial x} + \rho_a V_a \frac{\partial A_a}{\partial x} + A_a V_a \frac{\partial \rho_a}{\partial x} + m' = 0 \quad (5) \quad m' = \frac{m}{\Delta x} \quad (6)$$

$$m = -\rho_0 C_m F_l \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p_0}{\rho_0} \left\{ 1 - \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}} \quad (7) \quad m = \rho_a C_m F_l \left(\frac{p_0}{p_a} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p_a}{\rho_a} \left\{ 1 - \left(\frac{p_0}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}} \quad (8)$$

一方、図-3に示す、マンホール地点における水および空気の流れに、質量保存則を適用すると、マンホール地点における連続の式(9)～(13)（参考文献1）参照）が得られるが、ここでは、紙数の関係で割愛する。

式(1)～(8)において、雨水流については、 V_w ：流速、 h ：水深（圧力水頭）、 p'_a ：空気圧（ゲージ圧）、 R_w ：径深、 ρ_w ：密度、 S_0 ：管渠勾配、 n ：マンニングの粗度係数、 c_w ：微小擾乱（圧力波）伝播速度、 B ：水面幅（スロット幅）、 A_w ：流水断面積、空気流については、 V_a ：流速、 p_a ：空気圧（絶対圧）、 p_0 ：大気圧、 ρ_0 ：大気密度、 A_a ：空気流断面積、 R_a ：径深、 ρ_a ：密度、 f_D ：摩擦損失係数、 γ ：比熱比(=1.4)、 m ：排気（吸気）質量流量、 F_l ：取付管断面積、 C_m ：流量係数、また、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間、である。なお、 $p'_a / (\rho_w g) = h_a$ ：空気圧（ゲージ圧）水頭、である。

3. 空気圧縮を伴う下水道管渠の雨水流出の流出特性

図-4に示すような初期の流水状態から、下水道管渠下流端水位が上昇（1.00m→2.59m）してバックウォーター（サーチャージ流れ）が上流へと伝播してゆく過渡流れの最終の流水状態を、上述した雨水・空気の流れの基礎式を用いてシミュレートした結果を図-5に示す。これより、流れの様相および管渠内空気圧（ h_a ）上昇量²⁾が、空気圧縮を考慮しない従来の雨水流出シミュレーションモデルによる計算結果（図-6）と比べ、大きく異なっていることがよく分かる。

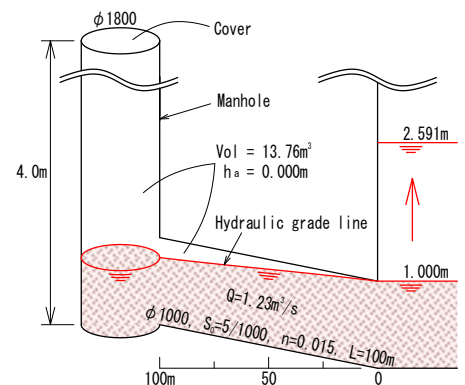


図-4 初期の流水状態

4. まとめ

本報告では、下水道管渠網における空気圧縮を考慮した雨水流出の流れの基礎式を提示した。今後、本雨水流出モデルの適用性・実用性について、検討を進めてゆきたい。

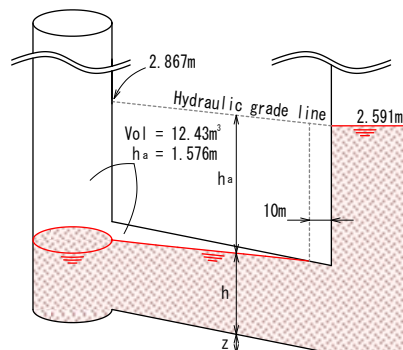


図-5 最終の流水状態

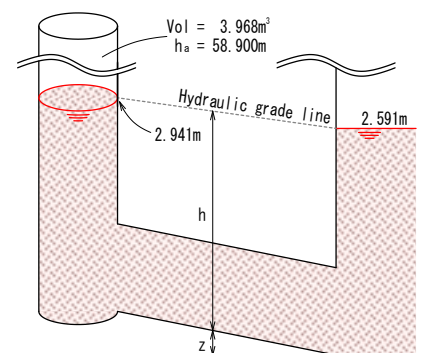


図-6 最終の流水状態（空気圧縮を考慮しない場合）

参考文献：1) 東正史・渡辺政広・

佐々木悠平・友近榮治：都市下水道管網の

空気圧縮を伴う雨水流出モデル，水工学論文集，第58巻，pp.1775-1780，1914.

2) 建設省下水道マンホール緊急対策検討委員会（委員長・楠田哲也）：下水道マンホールの安全対策の手引き(案)，(社)日本下水道協会，平成11年3月。