

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

愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広

愛媛大学工学部 正 員 栗原 崇

愛 媛 県 正 員 ○小田 浩二

都市域の下水道管渠網において、豪雨時、マンホール蓋の飛散現象がしばしば発生している。こうした現象は、重大な事故を引き起こす危険性があり、したがって、その発生メカニズムを解明するための調査・研究¹⁾は、早い時期から行われてきた。ところで、マンホール蓋の飛散現象は、基本的には、管渠システム内に空気が封入され、圧縮されて生ずる現象である。したがって、これと同種の現象が発生する可能性のある、たとえば、地下トンネル河川などにおける非定常圧力流れの解析に対し、上述した下水道管渠網での研究成果は、実用上、大いに役立つものと考えられる。

本報告では、はじめに、マンホールおよび管渠における空気封入のパターンについて考察し、次いで、マンホールにおいて空気が封入されるとき非定常圧力流れの基礎式について検討した。

1. マンホール蓋の飛散と空気封入について

(1) 管渠での空気封入について

都市域の下水道管渠システムでは、図1に示すように、路面の雨水や家庭の汚水などを下水管渠に導くための取付管 (laterals, 直径: 15~20 cm) が、およそ 15~20 m の間隔で設置されている。したがって、何らかの原因により管渠上部に閉じ込められた空気 (塊) も、やがてはこれらの取付管を通じて、管渠システム外に排除されると考えられる。このことは、図2に示すような、取付管が接続する下水管渠模型を用いた空気を混入する流出の実験・観察結果からも明らかである。

しかしながら、取付管が全く接続していない密封型の管渠システム (遮集管の管渠システムなど) では、たとえば、図3に示すように、管渠内に大量の空気が封入されることもしばしば観察されている。

(2) マンホールでの空気封入について

マンホール地点では、通常、1~4本の取付管が接続している。また、管底・管頂高が互いに異なる3本あるは4本の管渠が合流している地点も多い。したがって、マンホール内に封入された空気は、通常は、これら取付管あるいは管渠を通じてマンホール外に排除されると考えられる。

しかし、図3に示すような密封型のマンホールの場合には、流れが圧力流れ (サーチャージ流れ) 状態になるたびに、マンホール内の空気は封入・圧縮されることになる。

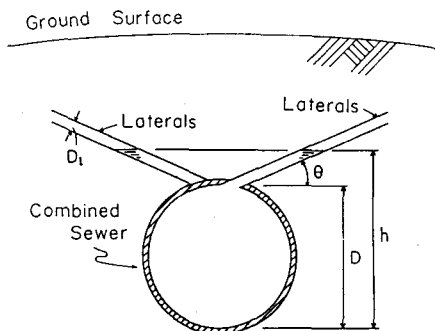


図1 下水管渠と取付管

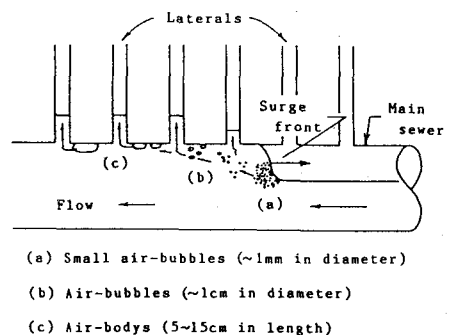


図2 取付管による封入空気の排除 (水理実験)

2. マンホールでの空気封入を伴う圧力流れの基礎式

(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。

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

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

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_g 、 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。

(2) マンホールにおける連続式および空気圧の式（図4）

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含めて取り扱えるとなると、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、圧力と空気体積の間にポリトロップ変化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）。

$$F_M \cdot (dh_M / dt) = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} \quad \dots\dots (4), \quad H_M = p / (\rho g) + h_M + z_M \quad \dots\dots (5)$$

$$p = (V_0 / V)^m \cdot (p_0 + p_a) - p_a \quad \dots\dots (6), \quad dV / dt = - F_M \cdot (dh_M / dt) \quad \dots (7)$$

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_0 、 p_0 ：初期（ここでは、 $h_M=0$ 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 ：ポリトロップ指数（ $m=1.0 \sim 1.4$ であるが、実用上は、 $m=1.2$ とする）、 ρ ：水の密度、 D ：管渠径。

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回水理講演会論文集，pp. 465～474，1980。2) 渡辺・江藤・室田：取付管の調圧効果を考慮した下水管網内の遷移流計算法，土木学会論文集，第411号／II-12，pp. 81～90，1989。3) Chaudhry, M. H. : Applied Hydraulic Transients, pp. 309～336, VNR Company, 1987.

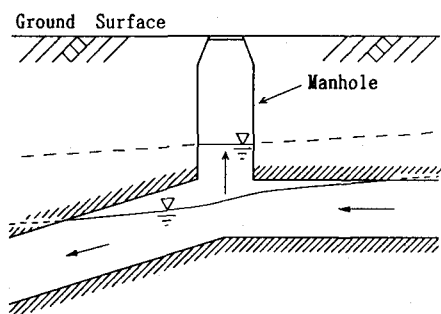


図3 管渠内およびマンホールにおける空気封入

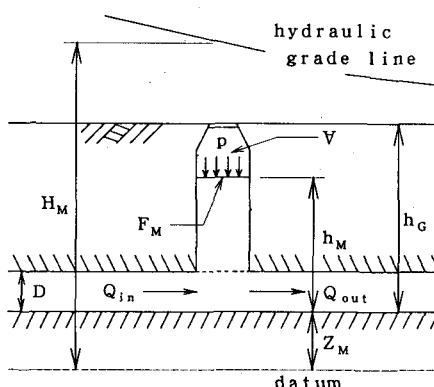


図4 マンホールにおける各種水理量