取付管を組み入れたスロット・モデルの流れの基礎式

- (株)荒谷建設コンサルタント 正会員 〇堀江 展弘
 - 日之出水道機器(株) 正会員 田中 祐大
- 特定非営利活動法人愛媛県建設技術支援センター フェロー会員 渡辺 政広

1. はじめに

都市域の下水道管渠網には、雨水や家庭汚水を下水道管渠に流入させるための取付管(直径 15~20cm の 円形管渠)が、多数、接続されており、下水道管渠網を流下する洪水の流出特性(伝播特性・圧力波伝播速 度)に相当程度の影響を及ぼしていると考えられる.しかしながら、都市下水道流域の雨水流出を精度高く シミュレートすると言われている海外モデル(MOUSE, InfoWorks, XP-SWMM など)において、主用され ているスロット・モデルには、取付管は全く考慮されていない(組み入れられていない).

本文では、従来より考慮されてきている、「水の圧縮性」と「管壁の弾性変形」のみならず、取付管におけ る流出水の貯留(出入り)を考慮し、「取付管を組み入れたスロット・モデル」の流れの基礎式を導出した. 2.取付管を組み入れた下水道管渠の管水路非定常流の流れの基礎式

従来より考慮されてきている、「水の圧縮性」と「管壁の弾性変形」のみならず、取付管における流出水の 貯留(出入り)を考慮する.

a) 水の圧縮性 図-1の座標軸を用いると, 流出雨水の密度 ρ は, 次式のように表される (図-1). $\rho = \rho_0 + \rho_0 \frac{\rho_0 g}{K} \cdot (y - D_0)$ $= \rho_0 \left\{ 1 + \frac{B_0 (y - D_0)}{A_0} \right\}$ (1) ; $B_0 = g(\rho_0/K) A_0$

図-1 下水道管渠における流水の圧縮性

ここに, p:水圧, $p_0:$ 大気圧 (=0), $\rho_0:$

大気圧下での水の密度,K:水の体積弾性係数,z:水深,y:圧力水頭(下水道管渠底から測った), D_0 : 変形前の(大気圧下での)管渠径, B_0 :水の圧縮性に起因するスロット幅(後に議論する), A_0 : D_0 に対応する(大気圧下での)流水断面積,g:重力加速度.

b) 管壁(流水断面積)の弾性変形

圧力水頭の増大に伴う流水断面積Aおよび潤辺Sの増大は、次式のように求められる.

$$A = A_{0} + A_{0} \cdot \frac{D_{0}}{E\delta} \rho_{0} g (y - D_{0}) ; B_{r} = A_{0} \frac{D_{0}}{E\delta} \rho_{0} g , A_{0} = \frac{\pi}{4} D_{0}^{2}$$
(2)
$$S = S_{0} + 2 \frac{B_{r}}{D_{0}} (y - D_{0}) ; S_{0} = \pi D_{0}$$
(3)

ここに、 δ :管壁の厚さ、E:管壁材のヤング率. B_r :管壁の弾性変形に起因するスロット幅(後に議論 する)、 S_0 : D_0 に対応する(大気圧下での)潤辺.

c) 管水路非定常流の流れの基礎式

図-2に示す微小流体部分の流れに、水の圧縮性、管壁の弾性変形、および取付管における流出水の貯留を

Lateral pipe, surcharged flow, sewer pipe system, urban stormwater runoff

連絡先:(株)荒谷建設コンサルタント・堀江展弘(〒730-0831 広島市中区江波西1-25-5, Tel 082-234-5663, Fax 082-234-4961)

考慮し、質量保存則と運動量保存則を適用す ると,次の運動方程式および連続の式を得る. 取付管が存在する管渠区間(図-3のΔx,区間)

運動 eq: $\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - i_0 + \frac{n^2|V|V}{R^{4/3}}$ $-\frac{1}{g}\frac{A_L}{A}V\frac{\partial y}{\partial t}\frac{N}{\sin\theta} = 0$ (4)

$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \cdot a^2 \left(\frac{1}{a_r^2} + \frac{1}{a_0^2} \right) \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

連続 式:

;
$$a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \frac{a_0^2}{a_r^2} + \frac{a_0^2}{a_L^2}}}$$
, $a_0 = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}$,

<u>取付管が存在しない管渠区間</u>(図-3のΔx_i区間)

運動 $\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - i_0 + \frac{n^2|V|V}{R^{4/3}} = 0$ (6)

連続
式:
$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$
; $a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \frac{a_0^2}{a_r^2}}}$ (7)

ここに、V:流速、y:管渠底から測った水深(圧力 水頭)、R:径深(=A/Sであり、Aは(2)式で、Sは(3) 式で表される)、 i_0 :管渠こう配、n:マニングの粗度係 数、 A_L :取付管の断面積、N:取付管の存在する管渠区 間(たとえば図-3のある1つの Δx_L 区間)における管渠 1m 当たりの取付管の接続本数、 θ :取付管の水平面とな す接続角度、x:距離、t:時間.

d) 点在する取付管の連続するスロットへの置換

取付管は点在しているが、これらを貯留量を同じくする 連続する微小幅のスロットに置き換え得るかについて、数 値流出実験により検討した.

その結果,取付管の本数の多寡,点在位置の偏り,下水 道管渠の規模(直径)に関係なく,流出特性が変化するこ とは全く見られず,点在する取付管を連続するスロットへ 置き換えて良いことが明らかとなった.

3. おわりに

管水路非定常流の流れの基礎式は,取付管を連続する スロットに置き換えるもとで,上述の運動方程式(4)と連 続の式(5)で表されることを明らかにした.







(5)

図-3 取付管を有する下水道管渠における (4)~(7)式の特性曲線法による数値流出解析



図-4 取付管がスロットに置き換えられた 下水道管渠における (4), (5)式の特性曲線法 による数値流出解析