

不圧・被圧管路流れの遷移解析

長崎大学 工学部 学生員 ○金子 周平

長崎大学 大学院 学生員 寺尾 光之

長崎大学 工学部 正 員 野口 正人

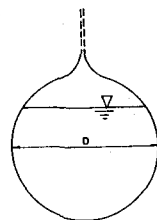
長崎大学 工学部 正 員 西田 渉

1. まえがき

近年、都市化の進展は目ざましく、それにともない下水道が急速に整備されてきた。しかし、豪雨時においては疎通能力が不足し、下水道整備区域内でも浸水問題が起こったりしている。都市域での耐水性を向上させるためには、豪雨時における都市域での雨水の挙動について詳しく知る必要がある。このようなことから、閉管路の下水道では、不圧時の開水路流れと被圧時の管路流れとを一体的に解析することが望まれる。本論では、これらの管路流れの遷移解析を行い、検討した。

2. 遷移解析の概要

上述された不圧・被圧管路流れを遷移状態のものと共に一体的に解析することは、これまでは困難なことと見なされ、簡便な解析手法として、例えば、スロットモデル等が提案されてきた。¹⁾ 本モデルでは、図-1に示されたように、管路の天端に仮想的なスロットを考え、被圧状態の流れをも開水路流として解こうとしている。勿論、実際の管路にこのようなスロットは付いていないため、厳密な意味で遷移解析がされた訳ではない。



以上のことから、本論では、開水路流・管路流の基礎方程式を陰形式差分【図-1】スロットモデル法により数値解析することとした。すなわち、基礎方程式としての連続方程式、運動方程式は次のように表される。

(連続方程式)

$$\lambda \frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial v}{\partial x} + \lambda v \frac{\partial A}{\partial x} - \int_{\sigma} q_1 d\sigma = 0 \quad (1)$$

(運動方程式)

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} \\ = g (S_x - S_f) - \frac{1}{A} \int_{\sigma} (V_x - v) q_1 d\sigma \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 v ：断面平均流速、 h ：水深、 A ：流水断面積、 S_x ：管路勾配、 S_f ：摩擦勾配、 σ ：潤辺、 q_1 ：横流入量、 V_x ：横流入量の速度の流軸方向成分、 g ：重力加速度であり、係数の λ は、開水路流れの時に $\lambda=1$ 、満管流れの時に $\lambda=0$ である。

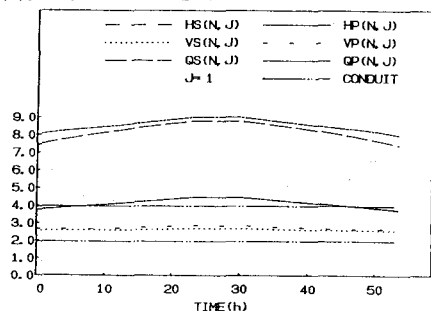
実際の数値計算は、プリースマンの4点法を用いて行うこととし、独立変数には水深と流速を取っている。ここで、計算結果について検討するため、同じ条件下でスロットモデルによる計算をも実行した。なお、スロットモデルにおいて重要とされるスロット幅は、渡辺らの研究結果²⁾を参考にして決定した。

3. 数値解析結果と考察

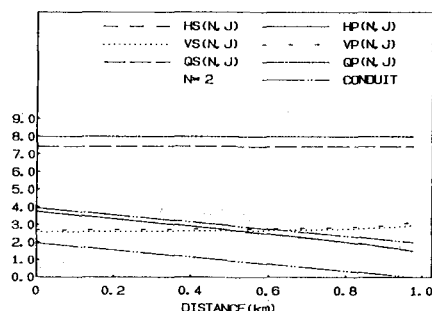
浸水時における下水道流れについて解析するため、管路長：1km、管径：2m、管路勾配：1/500のモデル管路を取り上げた。なお、管路の粗度係数は、 $0.012s/m^{1/3}$ とした。この管路を対象にして、下流端水位が一定の境界条件のもとで上流端水位を変化させ、上述の2種類のモデルを使って数値計算を行った。計算方式としてはプリースマンの4点法を採用した。本方法は陰形式差分法であるために、時間差分間隔： Δt を大きく選べる長所がある。それゆえ、 $\Delta t=120sec$ とした。

図-2に、上流端での境界条件が与えられている。この図より明らかなように、上流端での流れは、不圧→被圧→不圧と変化させられた。なお、下流端での水位は1.5mに固定されている。図-3(a),(b)は、

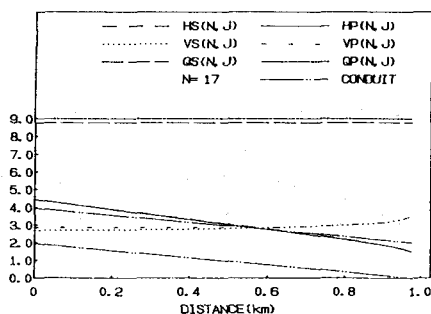
それぞれ、管路全域にわたって不圧状態であるとき、ならびに、不圧・被圧状態が共存するときの結果を示している。計算の収束精度が良いことは、流量の結果からも理解される。一方、管路のほぼ中央で、水位、流速、流量のハイドログラフを表示すれば、図-4 のようである。これは設定された境界条件から予想される結果であり、被圧状態においては管路断面が一定であるために、流量の増加に対応して流速も大きくなっている。図-3, 4には厳密モデル、スロットモデルの両モデルによる計算結果が併記されているが、これらを比較すれば、両結果に大差が無いことが分かる。これは、スロットモデルで想定した仮想部分の面積が小さかったためで、“1次元解析においては管路・開水路流れが統一的に理解される”という「水理学」で良く知られた原理が間接的に証明されている。これらの事は、実用モデルとしてスロットモデルの妥当性を示すと共に、わざわざ‘virtual slot’を取り上げるまでもなく厳密モデルで計算すれば十分であることを意味している。



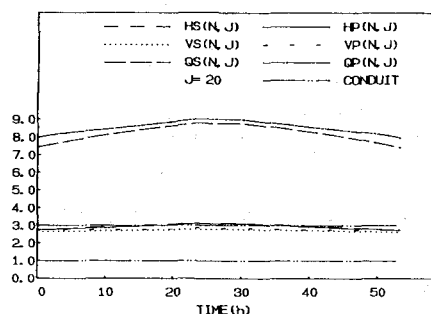
【図-2】 上流端境界条件



【図-3(a)】 不圧図



【図-3(b)】 不圧・被圧変化図



【図-4】 ハイドログラフ

※HS,VS,QSはスロットモデルでの、またHP,VP,QPは厳密モデルでの計算結果である。

4. あとがき

不圧・被圧管路流れの遷移解析を行うために、モデル下水道に対してスロットモデルとプリースマンの4点法による厳密モデルを用いた数値計算を実施した。今後は、実際の下水道流れに対しても計算を行い、都市域雨水排除解析の精度向上に役立てたい。

(参考文献)

- 1) A.B.Almeida and E.Koelle (1992) :Fluid Transients in Pipe Networks,Computational Mechanics Publ.& Elsevier,pp.446-448.
- 2) 渡辺政弘、江藤剛治、室田明 (1989) :“取付管の調圧効果を考慮した下水管路網内の遷移流計算”, 土木学会論文集, 第411号/II-12, pp.81-90.