

II-74 サーチージを考慮した修正RRL法による流量、水位解析手法 (MATRO)の提案

(株) 日水コン 正員 森野 彰夫
 (株) 日水コン 正員 蔵重 俊夫
 (株) 日水コン 正員 大森 啓敬

1. はじめに

現在、下水道による内水排除計画の立案に際し、①公共投資の逼迫による経済的設計、及び②大規模かつ複雑な下水道網を前提とした施設の更新計画が重要な課題となってきた。こうした計画においては、下水道管渠のネットワークを対象とし、かつサーチージ現象をも表現しうる流出解析手法の開発が望まれ、WASSP¹⁾, SURKNET²⁾ 等が提案されてきた。ところが我が国の下水道の整備実態を考えると、合流式下水道が広く採用されてきたため分合流や雨水吐き等が数多く存在し、これら特性を考慮した上で水位と流量が同時に解析できるモデルの開発が望まれている。

以上の観点から、本稿では、都市域での下水道ネットワークを対象としてサーチージ現象を表現し、かつ現在広く用いられている修正RRL法と斉合したモデル (MATRO)を開発したのでここに報告する。

2. モデルの概要

本モデルは、地表面流出モデル、非満管モデル、サーチージモデルの3つのサブモデルからなる流出プロセスモデルと、ネットワークを対象とし、流出プロセスモデルをシステムティックに運用するネットワーク解析モデルから構成される。ここで流出プロセスモデル中の地表面流出モデルと非満管モデルは、それぞれ修正RRL法のインフローハイドログラフの考え方と、SQ曲線法に従う。またサーチージモデルは、WASSPと同様に、上下流の水位差すなわち動水勾配によりマニング則に従って流出するモデルである。一方ネットワーク解析モデルは、管渠ネットワークを有向グラフとして行列表示することによりシステムティックな取扱いを可能としている。

〈管渠ネットワークモデル〉

管渠ネットワークモデルは、図-1に示すようにマンホールとそれらを結ぶ管渠によって構成し、次に示すような変数によって表現する。

E: 管渠構造行列 (e_{ij} : 管iの上流に管jがあれば1それ以外ならば0)

D: マンホール行列 (d_{ij} : マンホールiの下流に管jがあれば1それ以外ならば0)

U: 雨水吐行列 (u_{ij} : 雨水吐管iがマンホールjの直下のとき1それ以外ならば0)

M: サーチージ管行列 (m_{ij} : サーチージ管iが管番jの直下のとき1それ以外ならば0)

N: サーチージマンホール行列 (n_{ij} : サーチージ管iがマンホールjの直下のとき1それ以外ならば0)

〈地表面流出モデル〉

地表面流出モデルは、修正RRL法に従い、流域を浸透域と不浸透域に分け、それぞれの凹地貯留量と浸透能を設定し、これと等到達時間域面積より管渠ネットワークへの流入量を推定するものである。

〈非満管モデル〉

非満管モデルは、SQ曲線法に従い、次式によって各管渠からそれぞれの下流側のマンホールへの流入量 Q_2 を推定するものである。

$$F \cdot S_p = F \cdot Q_{1, tr} - F \cdot Q_2 \quad (1)$$

$$F \cdot S_p = F \cdot K \cdot Q_2^P \quad (K, P \text{ は定数}) \quad (2)$$

$$\text{ただし、} F = I - M_t \cdot M \quad (I \text{ は単位行列}) \quad (3)$$

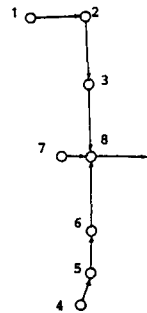


図-1 ネットワーク模式図

ここで S_p は管渠内貯留量であり、 $Q_{1, tr}$ は降雨量と上流管からの流入量（到達時間 tr だけ前の時点）の和で表わせる非満管流入量である。

〈サーチャージモデル〉

サーチャージモデルは、各マンホールにおける水量の連続条件と水位から次式によってマンホールから管渠への流入量を推定するものである。

$$N \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{N \cdot P + N \cdot P \cdot E (I_n - M^t \cdot M)}{N \cdot P \cdot E \cdot M^t \cdot M} Q_2 + \frac{N \cdot P \cdot E \cdot M^t \cdot M \cdot Q_3}{- \frac{N \cdot D \cdot M^t \cdot M \cdot Q_3}{\text{サーチャージ管流出量}} - \frac{N \cdot D (I_n - M^t \cdot M) Q_4}{\text{分水非満管流入量}} - \frac{N \cdot U^t \cdot O}{\text{越流量}}} \quad (4)$$

マンホール貯留量変化 雨水流出量 非満管部からの流入量 サーチージ部からの流入量

ここでもは転置を表わす。同式において Q_2 は（1）～（3）式より既知であり、 Q_3 は上下流マンホールの水位差で定まる。また Q_4 および O は当該マンホールの水位より与えられるものとする。したがって（4）式は、マンホール貯留量 S に関する常微分方程式として認識され、ルンゲクッタ法等の採用により求解しうる。この結果各サーチャージ管の流量が定まることになる。

3. 数値事例

図-1に示した管渠ネットワークに対し、設定した計算諸元の一覧を表-1、表-2に示す。対象とした排水区は総集水面積が1.2ha、最長流達時間が2分であり、8本の管渠から構成されている。図-2にサーチャージを考慮した本解析モデルの運用結果を示す。同図には、修正RRL法による解析結果も併記しているが、管渠内にサーチャージ現象が発生する時刻から両者の差は大きくなり、サーチャージ現象による管渠内雨水流下量の貯留現象が効果的に表現されていることがわかる。紙面の都合上割愛しているが、本管渠網におけるサーチャージ現象は、まずNO.6の管渠内において発生し、この影響が図-2に示すNO.5の管渠に波及している。

本稿で提案したモデルは、このように個別管渠に対する雨水流下量をサーチャージ現象を反映することにより現実に近い形で解析でき、管渠構造諸元の設計に実用上有効である。またバイパス管等による改善計画の策定に際してネットワークを更新することで容易に分析が可能である。

表-1 地表面流出条件

区分	直接流出係数	凹地貯留量	浸透係
浸透域	0.2	6 mm/hr	-
不透透域	0.4	2 mm/hr	10 mm/hr

表-2 管渠条件

管番	集水面積 (ha)	到達時間 (min)	不浸透比 (-)	管径 (mm)
1	0.2	0.5	0.6	300
2	0.2	0.5	0.6	380
3	0.2	0.6	0.6	380
4	0.1	0.3	0.6	300
5	0.1	0.3	0.6	300
6	0.2	0.5	0.6	300
7	0.1	0.3	0.6	230
8	0.1	0.4	0.6	530

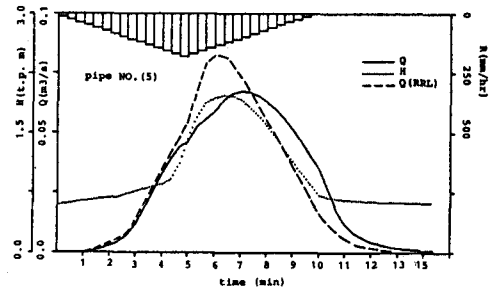


図-2 シミュレーション結果

4. おわりに

MATROの有効性としては、事例で述べたことその他、放流先河川の水位が高い場合等の逆流現象を表現することも可能である。また、紙面の関係上十分な検討結果を示せなかったが、例えば非満管状態からサーチャージへ、あるいはその逆の遷移条件は結果に大きく影響するなどいくつかの実用上の問題がある。これらについては講演時に紹介することとしたい。最後に本研究の遂行にあたり（株）日水コン堤武氏には数多くの御教示を戴き、また同社野村喜一、中間幸生、平井真砂郎の各氏には熱心な議論を頂戴した。ここに謝意を表します。

〔参考文献〕1) Bettés et.al.: A Surcharging Model For Storm Sewer Systems, Proc. of 1st International Conf. on Urban Storm Drainage, 1978 2) Pansic et.al.: Kinematic-Wave Modeling of Storm Swers with Surcharging, Pro. of 2nd International Conf. on Urban Storm Drainage, 1981