

都市下水路システムの流出特性

愛媛大学工学部 正員 豊國永次
同 正員 渡辺政広

近年、都市域では、豪雨時、マンホールからの吹き上げ、地表面湛水などが発生し、下水路システムでいわゆるサーカージを伴う流出がよく現われるようになってきた。本報告ではこうした流出について、はじめに調査流域における現地流出観測の結果を述べ、次にこれをシミュレートするモデルについて数値実験的に検討した結果を述べる。

1. 豪雨時の流出観測結果

昭和58年6月下旬の梅雨前線豪雨時、松山市街地域では下水路システムの各所で、マンホールより水溢れとこれに伴う泥濁水による被害が発生した。これらサーカージを伴う流出の観測記録の1例(3号幹線排水区下流端、 $A = 0.219 \text{ km}^2$)を図1に示す。13時30分過ぎの 70 mm/hr (5分間強度)前後の強雨に伴ってサーカージが発生し、14時45分まで継続している。この期間の流量 $hydro.$ をみると、貯留効果を受けた流出特性が見受けられる。また水位 $hydro.$ の変化は急激で、サーカージ領域の時間的、場所的変動が速いことが伺える。

2. サークージを伴う流出モデル

簡易モデル；サーカージを伴う複雑な雨水流出を実用的にシミュレートするため、雨水路流れとパイプ流れを組合せて取扱う。雨水路流れに対しては実用上 $kinematic\ wave$ 近似と適用する。サーカージの状態では、管路流定常流に対する通常の運動方程式に連続方程式と、マンホールにおける連続方程式を組合せて用いる。本モデルを用いた都市流出シミュレーション手法の概要を図2に示す。

$Dynamic\ wave$ モデル；上述の実用的な簡易モデルに対し、詳細な立場からシミュレートするため、雨水路流れ、パイプ流れ共 $dynamic\ wave$ として取扱う。流速と水深を変量とする雨水路流れの基礎式は(1)式の関係を用いることにより、パイプ流れへも適用でき、これより雨水路流れとパイプ流れを統一して取扱うことができる。

$$C = \sqrt{gA/B} = \alpha \quad (1)$$
 ここで C は雨水路流れの伝播速度、 α はパイプ流れにおける圧力波の速度、 A 、 B は雨水路流れでは矢状流水断面積、水面幅、パイプ流れでは管路断面積、仮想的スロット幅。

基礎式の数値計算には特性曲線による方法を用いる。ここで特性曲線および特性方程式の積分には、遷移区間を除き2次のスキーム、すなわち、例えば正の特性曲線(図3)上の英字から戸に至る積分は、

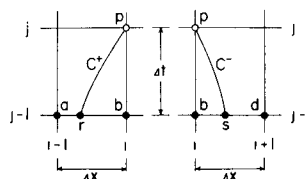


図3 特性曲線

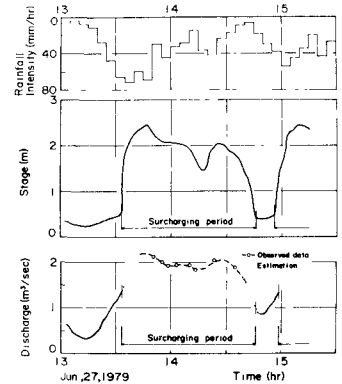


図1 サークージを伴う流出の観測記録

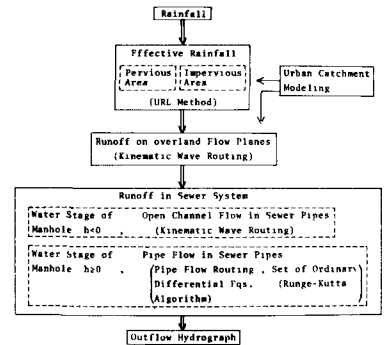


図2 簡易モデルを用いた都市流出シミュレーション

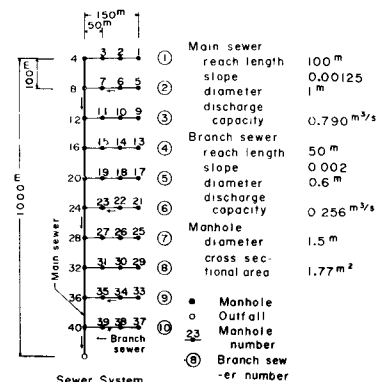


図4 数値実験に用いる下水路システム

$$\int_{y_r}^{y_p} \frac{1}{C} dy = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_r} + \frac{1}{C_p} \right) \cdot (y_p - y_r) \quad (2)$$

を用いる。ところが、開水路流れからパイプ流れに遷移する区間では、上述の \$C\$ 値は不連続的で、数 \$m/sec\$ (開水路流れ) \$\sim\$ 数 \$100 m/sec\$ (パイプ流れ) と急激に変化する。このため 2 次のスキームでは精度が低下すると共に \$C\$ 値が大きくなると、計算不能の状態も起るので、遷移区間に対しては重み係数と組み入れた次のスキームを用いることとした。

$$\left. \begin{aligned} \int_{y_r}^{y_p} \frac{1}{C} dy &= \left(\frac{\theta_c}{C_r} + \frac{1-\theta_c}{C_p} \right) \cdot (y_p - y_r) \\ \text{ここに } \theta_c &\text{は重み係数で、} \\ \theta_c &= \left(\frac{1}{C_p} - \frac{\int_{y_r}^{y_p} \frac{1}{C} dy}{y_p - y_r} \right) \bigg/ \left(\frac{1}{C_p} - \frac{1}{C_r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3. 流出モデルの検討

上述の流出モデルを、実流域における標準的諸元をもつ下水路システム (図4) を対象に、数値実験的に検討した。はじめに簡易モデルについて検討した。図5は図中の流入 hydro. が交差の各マンホールに流入するとき幹線各マンホール地先の流量 hydro. を示す。サーチャージ期間の流出応答は比較的鋭敏で、システム全体が一体となって変動する特性が見られる。次に開水路流れの領域について、両モデルによる流出シミュレーション結果を対比、検討した。図6は図中の流入 hydro. が交差の各マンホールに流入するとき、幹線各マンホール地先の流量 hydro. を示す。交差下水路への背水の及ばない \$t = 20 \text{ min}\$ までは殆んど一致した結果となるが、これを過ぎると、背水効果の入らない簡易モデルによる結果は、ピーク付近で過大に、下降期では過小となる傾向を示す。レカレピーク流量の相対誤差は幹線下流端においても \$10\%\$ 程度に抑える。次いで図5に示す流入 hydro. と交互、dynamic wave モデルによる流出シミュレーション結果について検討した。図7は幹線各マンホール地先における流量 hydro. を示す。サーチャージ期間について見ると、現地観測結果に見られる背水ならびに貯留の効果を受けた流出特性がよく再現されている。

次に dynamic wave モデルの適用に際し重要となる圧力波の速度 \$a\$ (パイプ流れ) について、これが流出 hydro. に及ぼす効果を数値実験的に検討した (図4の幹線水路)。サーチャージ期間の下流端流量 hydro. (図8) を見ると、一般に \$a\$ 値の増大と共に流出応答は鋭敏となり、流量ピークは大きく、かつ早くなる傾向が現われるが、\$a\$ 値が \$50 m/sec\$ 程度以上になると、このような傾向は僅かとなり、流量 hydro. は殆んど一定のものに近づく特性が見られる。

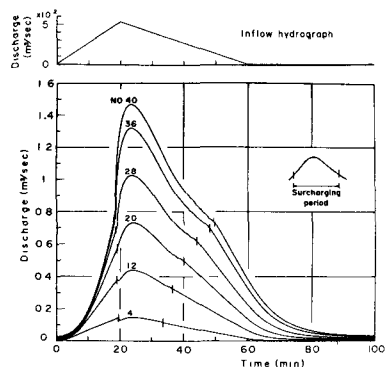


図5 流出シミュレーション結果 (簡易モデル)

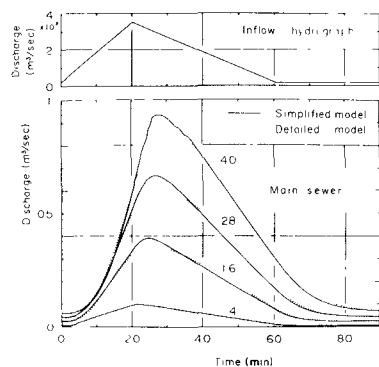


図6 流出シミュレーション結果の比較検討 (開水路流れ)

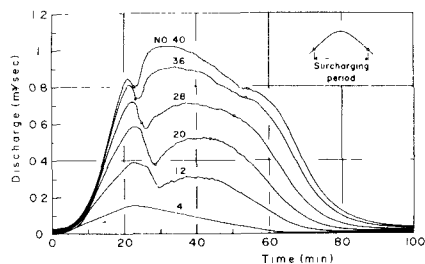


図7 流出シミュレーション結果 (dynamic wave モデル)

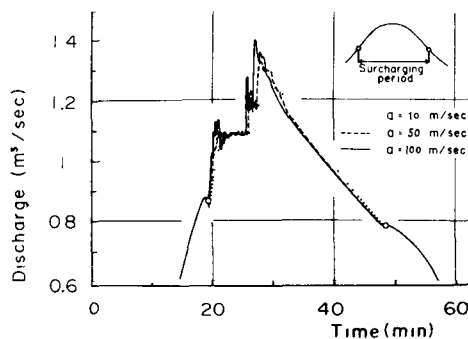


図8 圧力波の速度と流出シミュレーション結果