

愛媛大学工学部 正員 渡辺政広, 豊田永次

近年、都市域の急激な拡大、市街地の再開発に伴い、豪雨時、都市下水路システムで、満管流、マンホールからの吹き上げ、地表面湛水等が多発するようになり、いわゆるサーチャージを伴う下水路システムの流出が重要な問題となつてきている。本報告では、はじめにこのような流出の現地観測結果を述べ、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. サーチャージを伴う流出の現地観測結果

調査流域の松山市街地域 ($A = 6.46 \text{ km}^2$) では、昭和54年6月下旬の梅雨前線豪雨時、下水路システムの各所で、マンホールよりの溢水とこれらによる浸水被害が発生した。この時のサーチャージを伴う流出の水位、流量観測記録 (3号幹線区域下流端, $A = 0.219 \text{ km}^2$) を Fig. 1 に示す。サーチャージ期間 (13時05~14時45分) の流量 hydro. を見ると、貯留効果の卓越する流出特性が見受けられる。またこの期間の水位 hydro. の変化は急激で、サーチャージ領域の時間的、場所的変動の速いことが伺える。

2. サーチャージを伴う流出モデル

簡易モデル (Simplified model) ; 上述のサーチャ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、開水路流れとパイプ流れと組合せて取扱う。開水路流れに対しては実用上 Kinematic wave 近似を適用する。サーチャージの状態では管水路定常流の式とマンホールでの連続式と組合せて用いる。Fig. 2 に本シミュレーション法の概要を示す。

Dynamic wave モデル (Detailed model) ; 上述の簡易モデルに対し、詳細な立場からシミュレートするため、開水路流れ、パイプ流れ共 dynamic wave として取扱う。開水路流れの基礎式 (水深と流速を变量とする) は (1) 式の関係を用いるとパイプ流れへも適用でき、これより開水路流れとパイプ流れを統一して取扱うことができる。

$C = \sqrt{gA/B} = a \dots (1)$ ここに C は開水路流れの伝播速度、 a はパイプ流れにおける圧力波の速度、 A 、 B は流水断面積、水面幅 (パイプ流れでは仮想的スロット幅) である。

基礎式の数値計算には特性曲線法を用いる。ここで特性曲線ならびに特性方程式の積分には、遷移区間 (開水路流れ ↔ パイプ流れ) と除き、Implicit の2次スキーム、例えば、正の特性曲線上の内をうまいから未知変 P に至る積分では

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

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) ~ 数 100 m/sec (パイプ流れ) と急激に変化する。このため2次スキームでも精度が低下す

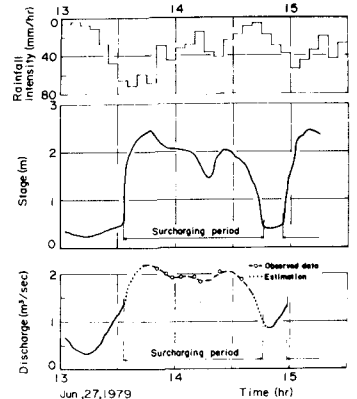


Fig. 1 サーチャージを伴う流出の観測記録

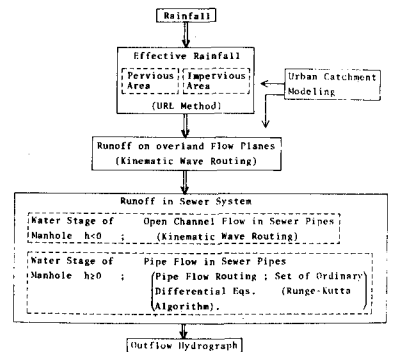


Fig. 2 簡易モデルを用いた流出シミュレーション

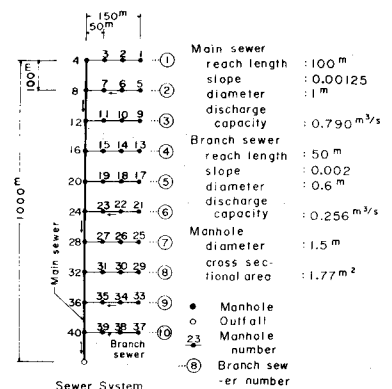


Fig. 3 下水路システムの諸元

ると共に、 α 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 θ_c を組み入れた次のスキームを用いることとした。

$$\int_{y_r}^{y_p} \frac{1}{C} dy = \left(\frac{\theta_c}{C_r} + \frac{1-\theta_c}{C_p} \right) \cdot (y_p - y_r) \quad \text{----- (3)}$$

3. 流出モデルの検討

実流域における標準的諸元をもつ下水路システム (Fig. 3) を対象に、上述の流出モデルを数値実験的に検討した。始めに雨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調べた。Fig. 4は、支線の各マンホールに因る流入hydro.を与えたとき、幹線各マンホール地底での流量hydro.を示す。支線下水路への背水の及ばない期間 ($t = 20 \text{ min}$ まで) 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。しかしピーク流量の相対誤差は幹線下流端においても10%程度に納まる。次に、サーチャージの発生する流出について検討した。Fig. 5はdynamic waveモデルによる流出シミュレーション結果 (下流端がoutfallの場合)を示す。サーチャージ期間 ($t = 23 \text{ min} \sim 54 \text{ min}$) について見ると、現地観測結果にみられる背水並びに貯留効果の卓越した流出特性がよく再現されている。一方、簡易モデルによるこの期間の流量hydro.は、サーチャージの進行が急速で、流出応答も速くなり、流量ピークが過大に現われる特性が見られる。

次に下流端水位がサーチャージ期間に変動する (三角形の水位hydro.) 場合の流出シミュレーションをdynamic waveモデルにより行い、下流端水位が変化しない場合のそれ (Fig. 5) と対比してFig. 6に示す。下流端水位の上昇によりサーチャージ領域がさらに上流の幹、支線下水路へと拡大し、これに伴って貯留特性が一層顕著となり、流出の抑制された流出hydro.を示す。

またdynamic waveモデルの適用に際し重要となる圧力波の速度 α (パイプ流れ) について、これが流出hydro.に及ぼす効果を検討した。Fig. 7は、幹線下水路 (Fig. 3) を対象としたサーチャージ期間の下流端流量hydro.を示す。一般に α 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見られるが、 α 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.が殆んど一定の波形に近づく特性が見られる。さらに、幹線下水路に支線の接続したシステムについて検討したところ、一般に流出波形が扁平化し、流出応答は緩慢なものとなる。また α 値の増大につれて流量ピークの近くでは、流量hydro.が僅かに増加する傾向が現われている。しかしそれらは僅小なもので、検討した $\alpha = 10 \sim 100 \text{ m/sec}$ の範囲では実用上殆んど差異がないとして取扱える結果を得ている。

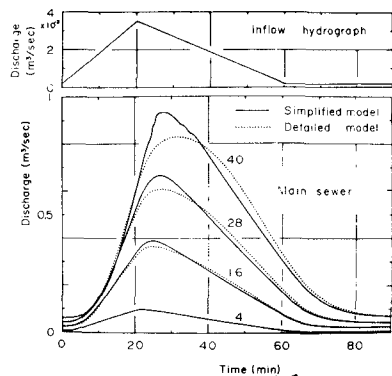


Fig. 4 流出シミュレーション結果 (雨水路流れ)

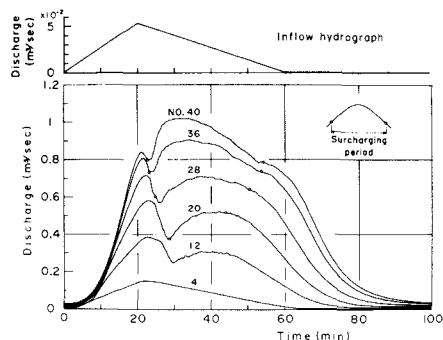


Fig. 5 流出シミュレーション結果 (D.W.モデル, 下流端outfall)

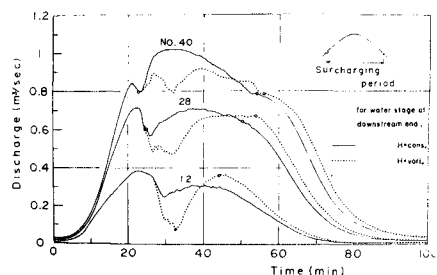


Fig. 6 流出シミュレーション結果の比較 (下流端水位条件が異なる場合)

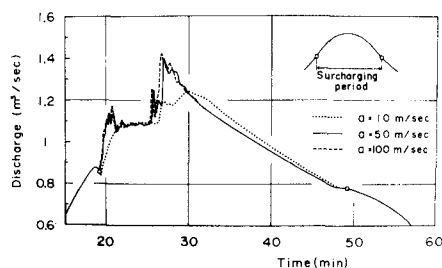


Fig. 7 圧力波の速度と流出hydro.