

愛媛大学工学部 正員。渡辺政広, 豊田永次

都市域は不均一な流出面からなり、暴雨時排水管路システムでサーチャージ現象が発生するなど、複雑なものとなっている。こうした都市域の流域モデリングとその流出シミュレーションについて検討を進めているが、本報告では、それらの流出シミュレーションモデルを松山市街地域に適用し、実測結果と対比してその適用性を検討した結果である。

1. 都市流出モデル(図1)

流域モデリング：現地調査結果を基に、まず、規格化された各流出面(和風屋根、洋風ビル、道路・駐車場、草地・裸地(1), (2))と管渠システム(小支線、支線、幹線)とからなる基準流域モデル(図2)を構成する。次に各流出面ならびに小支線、支線管渠を順次、等価斜面へとランピングし、各種等価流域モデル(Model III, II, I)を構成する(図3)。一方ランピング方式を変え、流出面および管路の構成を順次、支線、幹線区域内で平均化して取扱ひ、Simplified Modular Model(S.M. Model II, I)を構成する。これら流域モデルは解析目的に応じて選択される。

雨水損失モデル：各流出面は不浸透域と浸透域に大別され、不浸透域では凹地貯留 D_t と、浸透域では凹地貯留 D_p と浸透損失 f (補給能モデル)を考慮して雨水損失と算定する(URL法)。雨水損失の各パラメータを降雨流出資料を用いて算定し、 $D_{tmax}=2.5\text{ mm}$, $D_{pmax}=6\text{ mm}$, $f_u=20\text{ mm/hr}$, $f_c=5\text{ mm/hr}$, $f_e=1.5\text{ hr}^{-1}$ なる諸値を得た。

表面流モデル：各流出面(基準流域モデル、各S.M. Model)および等価斜面(各等価流域モデル)上の雨水流はいずれもkinematic wave流として取扱ひ。なり、等価流域モデルの粗度は、実流域の構成諸量より算定した(図3)。

管渠システムの流出モデル：管渠システムで発生する開水路流れとパイプ流れを詳細に追跡するにはDynamic Waveモデルと、また実用上からはSimplified Model(Kinematic Waveモデル, SURKNETモデル)を用いる。i) DWモデル：開水路流れとパイプ流れを共にdynamic waveとして取扱ひ。Preissmannスロットのキ法を用いて計算するとき、パイプ流れにおける圧り波の速度は数10 m/sec程度の値としてよい結果を得ている。ii) 簡易モデル：開水路流れに対し実用上kinematic wave近似と、サーチャージ状態では管路定流の式とマンホールでの連続式と組合せて用いる。SURKNETモデルでは開水路流れの基礎式と貯留関数表示し、またパイプ流れの計算ならびに遷移(開水路流れとパイプ流れ)の取扱ひに単純化の工夫がはかられている。

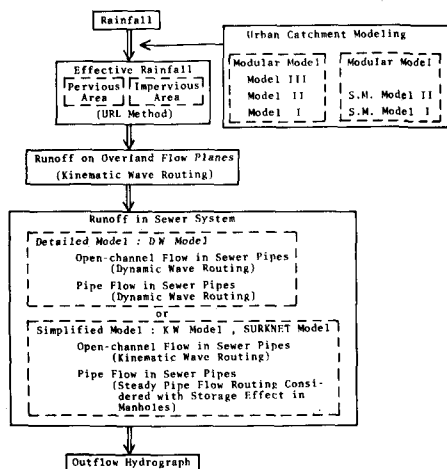


図1 都市流出シミュレーションモデル

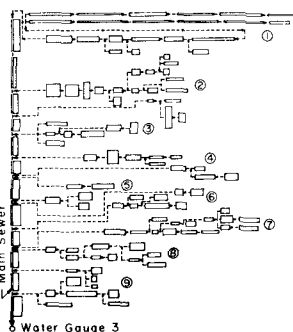


図2 基準流域モデル(Modular Model)

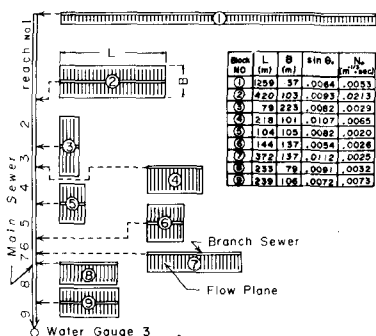


図3 流域Model II(等価流域モデル)

2. 流出モデルの適用に関する検討

上述の都市流出モデルを松山市街地の1幹線区域($A = 0.234 \text{ km}^2$, 不透透域率84.5%, 幹線管渠延長1,250m)に適用し、実測結果と対比してその適用性を検討した。検討に用いた流域モデルについて、図2に示す基準流域モデルは実状に近い流出システムをもち、117個の単位流出区画からなる。図3の等価流域Model IIは各流出面を支線区域単位に等価斜面(9個)とし、支線、幹線管渠からなる実用的な流域モデルである。またS.M. Model IIは流出面および流路構成を支線区域単位にランプレ、支、幹線管渠システムを実状に近くした流域モデルで、高精度の解析結果と実用性が期待される。

流域モデリングと流出シミュレーション結果：流域モデルの精粗が流出シミュレーション結果に及ぼす影響について、基準流域モデル、S.M. Model IIおよび等価流域Model IIによる結果を実測結果と対比して検討した(図4)。ここで管渠システムにはKW追跡を用いている。等価流域Model IIによる結果は、一般に流量ピークが若干小さく、遅れて現われる傾向がみられ、全般的にやや扁平化した流出hydro.となる。一方基準流域モデルならびにS.M. Model IIでは出水の全体を通じて実測結果とよく再現する流出hydro.となる。これは等価流域Model IIにおいて、各流出面の雨水損失ならびに表面流出をランプレして取扱うことによると考えられる。ただ実用上からは等価流域Model IIを用いてもかなりのシミュレーション結果が得られることが分る。

雨水路流れの流出に対する検討：管渠システムの流出が雨水路状態の出水を対象に、前述した管渠システムの各流出モデルを用いて流出シミュレーションを行い、実測結果と対比して検討した。ここでは等価流域Model IIを用いている。まずDWモデルによる結果は実測結果とよく適合している。次に簡易モデルによる結果は出水の全体を通じ、DWモデルのそれと殆んど一致した結果となる。これは管渠システムの管路こう配が $1/1000 \sim 8/1000$ と全体に急で、背水・貯留効果が小さいためと考えられ、このような管渠システムでは簡易モデルの適用が有効なことが分る。なおKWモデルとSURKNETモデルによる結果は、ほぼ同一とみなしうる結果を得ている。

サーチャージを伴う流出に対する検討：管渠システムで最雨時に発生する満管流、マンホールからの吹き上げなど、サーチャージ現象を伴う出水(昭和59年梅雨前線最雨時)を対象に、管渠システムにDWモデルを適用し、実測結果(流域下流域の水位・流量記録)と対比して検討した(図5, 6)。

13時20分過ぎの強雨に伴い、管渠システムの各所でサーチャージ現象が現われ(図6)、13時45分にはサーチャージが最大状態に達している。この期間のシミュレーション結果(流量hydro.)は、実測結果に見られる貯留効果の大きい抑制された流出の特性と再現しており(図5)、本シミュレーション法の有用性が明らかとなる。今後シミュレーションモデルの簡易化について、さらに検討を進める必要がある。

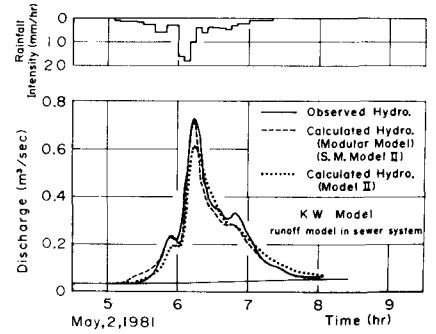


図4 流域モデリングと流出シミュレーション結果

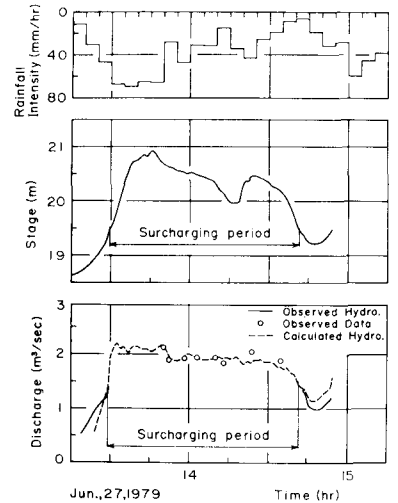


図5 サーチャージを伴う流出のシミュレーション結果

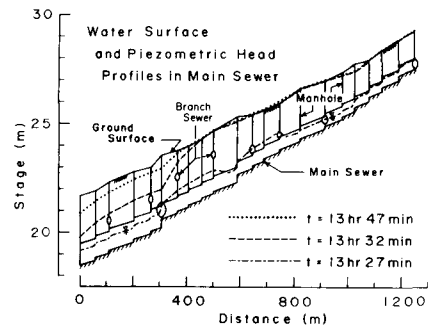


図6 幹線管渠における水面形の変動(サーチャージ期間)