

都市下水路システムの流出モデリング

愛媛大学工学部
愛媛大学大学院

正員 豊國永沢, 〇渡辺政広
学生員 永井康生

都市下水路システムにおける豪雨時の雨水流出は、開水路流れとパイプ流れが発生し、しかもそれらの領域が時間的、場所的に変動する複雑な現象である。これまで、こうした流出をシミュレートするモデルについて検討を進めているが、本報告では、はじめにこうした流出に対する *dynamic wave* (D.W.) モデルの適用に際し、重要となるモデル・パラメータ (α 値) と流出 $hydro.$ との関係について検討し、次にこのような流出モデルの簡易化について、実用性を主に提案された *SURKNET* モデルを取り上げて検討した結果を述べる。

1. モデル・パラメータ (α 値) と流出 $hydro.$ との関係に関する検討

D.W.モデルの概要；上述の雨水流出と詳細にシミュレートするために、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。 $C = \sqrt{gA/B} = \alpha \cdots (1)$ ここに C は開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 は流水断面積、水面幅(パイプ流れでは仮想のスロット幅)。

空気混入とパイプ内圧力波の速度；圧力波の速度 α 値は、円形の鋼管や鉄筋コンクリート管などの管路において一般に $1,000 \sim 1,400 \text{ m/sec}$ 程度となるが、空気混入の増加と共に急激に低下する。多数の分合流系をもつ都市下水路システムでは、空気混入率が数%程度までとすると、モデル・パラメータ α 値は凡そ数 $10 \sim$ 数 100 m/sec 程度となろう。

モデル・パラメータ (α 値) と流出 $hydro.$ との関係；上述した α 値の大きさ ($10, 50, 100 \text{ m/sec}$) が流出 $hydro.$ に及ぼす効果について、システム構成の異なる各下水路システムを対象に数値実験により検討した。まず、実流域の幹線排水区にみられる規模の下水路システム(図1)について、支線の各マンホールに流入 $hydro.$ (図8)を与え、流出シミュレーションを行った。サーキマージ期間における幹線下流端の流量 $hydro.$ を図2に示す。全般的に流出波は扁平化し、流出応答の緩慢な流量 $hydro.$ となる。 α 値が $10, 50, 100 \text{ m/sec}$ と増大するにつれ、流出応答は上昇期に僅かに変動する特性が見られ、流量ピークの近くで流量 $hydro.$ が僅かに増加する傾向が見られる。しかしそれらは僅かなもので、検討した α 値の範囲では実用上差異がないとして取扱えよう。

次に図3に示すように、図1の下水路システムにおける支線数を順次減じ、システム構成を変えて検討した。支線数が5および0本の下水路システムにおける幹線下流端の流量 $hydro.$ (サーキマ

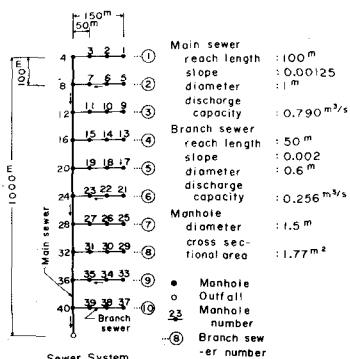


図1 実流域規模の下水路システム(支線数:10)

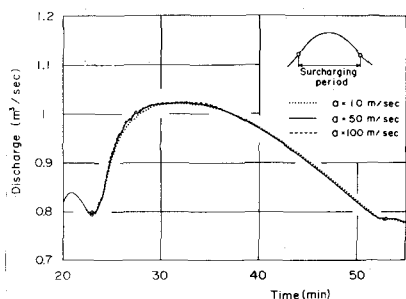


図2 圧力波の速度と流出 $hydro.$ (支線数:10)

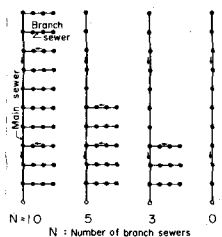


図3 構成(支線数)の異なる下水路システム

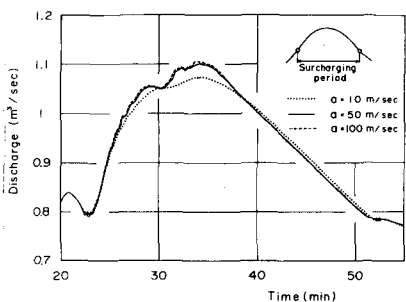


図4 圧力波の速度と流出 $hydro.$ (支線数:5)

シ期間)を国4および5に示す。国2, 4, 5より一般に α 値が10, 50, 100 m/secと増大するにつれ、流出波形状は鋭敏となり、流量ピークは大きく、かつ早くなる傾向が見られる。しかし支線のある下水路システムではそれらは僅かなものとなる。次に α 値が50 m/sec程度以上の結果についてみると、各下水路システムの場合共、流量hydro. が殆んど一定の波形状に近づく特性が見られ、特に集流域規模の下水路システム(国1, 2)では、モデル・パラメータ α 値と計算に便利な数10 m/sec程度の値にとつてよいことが示唆される。

2. 流出モデルの簡易化(SURKNETモデル)に関する検討

D.W.モデルの簡易化について、ここでは実用性を主として提案されたYenらのSURKNETモデルと取上げ、数値実験により検討した。

モデルの概要(国6)；下水路システムの雨水流出と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を組合せて取扱う。開水路流れに対してはkinematic wave近似を適用し、マンホールとパイプ内各reachに分けて追跡計算を行う。マンホールでは連続の式とマンシングタイプの流出量の式と、また各reachでは連続の式と等流流れを仮定した野留方程式とそれぞれを用いる。サーチャージ状態では管水路定常流の式とマンホールにおける連続の式とを組合せ、サーチャージした各elementに適用する。ここで下流マンホール水位 H_d は一つ前の時間ステップの値により近似し得ると仮定する。これにより追跡計算は簡便となり、開水路流れと同様に上流から下流へ向けて進めることができる。また開水路流れとパイプ流れの間の遷移については、マンホールあるいは各reachにおける水深 h が管径 D に対して次の不等式、 $h \geq 0.91D$ を満たす状態となる時、開水路流れとパイプ流れへの遷移が起こるものとしている。

モデルの検討；国1の下水路システムを対象に、SURKNETモデルによるシミュレーション結果とD.W.モデルによるそれと対比して検討した。まず、開水路流れの領域について、流入hydro.と支線の各マンホールに与え、幹線各マンホール地長の流量hydro. (国7)を求めた。支線下水路への背水とこれによる野留の効果が現われる $t = 20 \text{ min}$ と過ぎると、こうした効果の入らないSURKNET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%程度以内に抑える。次に、サーチャージを伴う流出について、幹線下流端の流量hydro.を国8に示す。サーチャージ期間についてみると、D.W.モデルでは背水ならびに野留の効果により、全般的に扁平化して流量hydro.となるが、こうした効果の十分に入らないSURKNETモデルでは流出応答の鋭敏な流量hydro.となり、ピーク流量は大きくかつ早く現われる特性が見られる。一方、幹線下水路(国3, 支線数0)のみにD.W.モデルを適用した結果を示すと国8のようで、SURKNETモデルの結果に近しい流出特性が見られる。

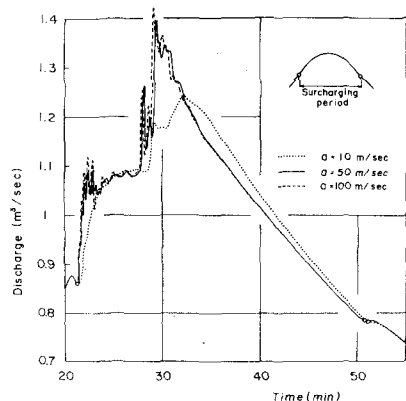


図5 圧力波の速度と流出hydro. (支線数: 0)

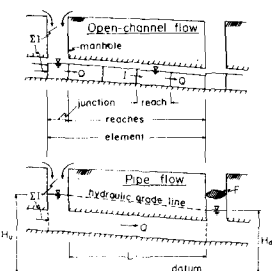


図6 SURKNETモデルの構成

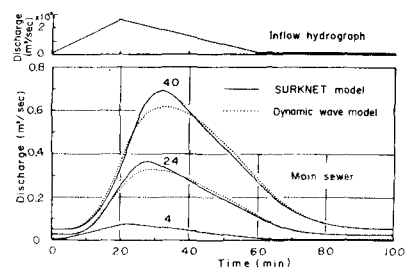


図7 SURKNETモデルの検討(開水路流れ領域)

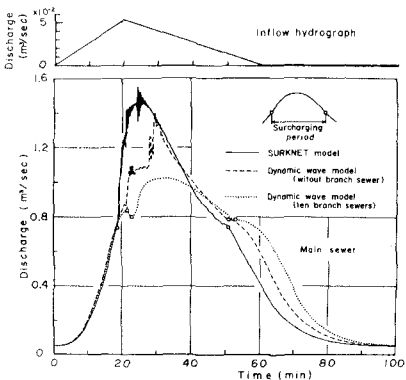


図8 SURKNETモデルの検討(サーチャージ時流出)