

勾配急変点法による 合流式下水道の流量から求めた流出係数

中日本建設コンサルタント (株) ○ 寛 優祐

中日本建設コンサルタント (株) 中根 進

1. はじめに

下水の排除方式には、雨水と汚水を同一管きよで排除する合流式下水道と雨水と汚水をそれぞれの管きよを使って排除する分流式下水道がある。分流式下水道の雨水管きよは家屋の屋根や道路など地表面の雨水を遮集して河川など公共水域に放流している。

本稿では合流式下水道の流量を使い分流式下水道の雨水管きよで遮集する水量や雨水管きよの諸元(断面の大きさ、勾配)を決定する際に使用する流出係数を勾配急変点法という手法で推定する。ここに下水道計画で利用する一般的な流出係数を表 1.1¹⁾ に示す。

表 1.1 用途別総括流出係数の標準値

用 途	総括流出係数の標準値
敷地内に開地が非常に少ない商業地域及び類似の住宅地域	0.80
浸透面の屋外作業場等の開地を若干もつ工場地域及び若干庭がある住宅地域	0.65
住宅公園団地等の中層住宅団地及び1戸建て住宅の多い地域	0.50
庭園を多くもつ住宅地域及び畑地等が割合残っている郊外地域	0.35

2. 河川洪水流量

河川流量は、図 2.1 のように降雨による流量であり、図 2.2 では地表に沿って流れ河川に流入する「表面流出」、地中浅く浸透した雨水が河川に流入する「速い中間流出」、地中深く浸透した雨水が河川に流入する「遅い中間流出」と地下水水面下の地下水となって河川に流入する「地下水流出」に分けている。図 2.2 の表面流出、中間流出、地下水流出の3成分を流出成分と呼ぶ。

この流出成分の成分分離には単位図法、タンクモデル、貯留関数法などの方法があるが、それぞれのモデルにある多くのパラメータを同定する必要がある。成分分離法の1つである勾配急変点法についてはモデル化する必要がない手法で利用しやすいため本稿で使用する。勾配急変点法の成分分離は、図 2.3 の洪水流量の減衰側の曲線の変曲点を見つけて成分分離する。

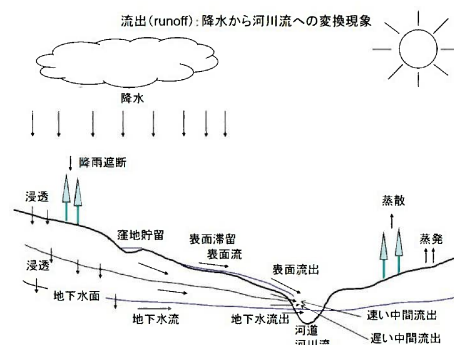


図 2.1 降水から河川流量への変換²⁾

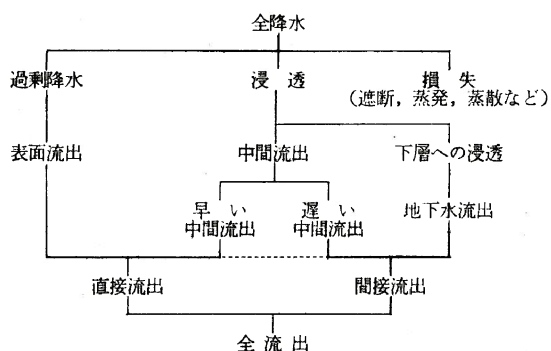


図 2.2 河川の流出過程と流出成分³⁾

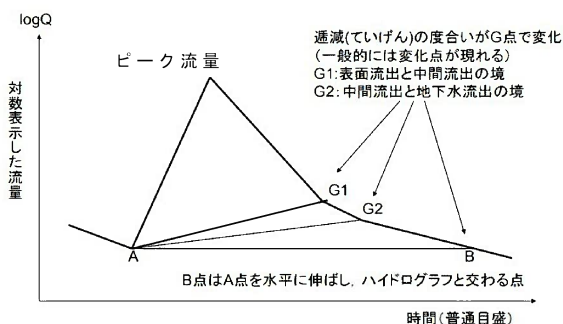


図 2.3 対数表示した河川流量の流出曲線⁴⁾

図 2.3 に示す河川流出曲線⁴⁾のように第1変曲点より上側を「表面流出」、第1変曲点と第2変曲点の間

を「中間流出」、第2変曲点より下側を「地下水流出」として分離し、分離線と河川洪水流量線に囲まれる面積から流出成分割合を算出する。筆者の一人は分流式下水道の雨天時浸入水量に対して正規分布を使って3成分に分離する方法⁵⁾を示した。

3. 合流式下水道の雨天時増水量

合流式下水道では河川と同様に降雨による流量と汚水が流入するが、本稿ではこの降雨による流量を雨天時増水量と呼ぶ。雨天時増水量を次式で表わす。ここで、雨水遮集量は河川という表面流出成分で、雨天時浸入水量は中間流出、下層への浸透を示している。

$$\text{雨天時増水量} = \text{雨水遮集量} + \text{雨天時浸入水量}$$

雨天時増水量は、計測した合流管きよの流量を AI 学習(ニューラルネットワーク法)⁶⁾により降雨時における汚水量を推定し、計測した流量との差を持って推定する。

ニューラルネットワーク法では、右に示す説明変数(質的データ+量的データ)を使って計測流量によく一致する説明変数の重みを設定する。

教師データ□：目的変数(計測流量)⁺

入力層データ：説明変数⁺

質的データ□：時刻カテゴリ 24 個+曜日カテゴリ 7 個⁺
+月別カテゴリ 12 個=43 個⁺

時刻カテゴリ：1 日の水温の周期性を表す。⁺

曜日カテゴリ：1 週間の生活活動の変動を表す。⁺

量的データ□：降雨量データ(1 時間降雨量)48 個⁺

対象とする計測流量の時刻(1hr 単位)の降雨を 0 時間として影響のある時刻(48 時間分)までさかのぼる 48 個のデータ。⁺

4. 合流式下水道K市の合流流量

合流式下水道のK市の流量を例に降雨時の増加流量を勾配急変点法で成分分離をおこない増加流量のうち表面流出分の割合が雨水管路の流量計算に使用する流出係数となる。

ここでは降雨時の流量を図 3.1 に示すように降雨日の前後 2 日間晴天日であることを確認し、抽出する。

抽出した降雨日の合流流量の一例を図 3.2 に示す。この図に示す晴天時流量は AI (ニューラルネットワーク法)により推定した。降雨時流量から晴天時推定流量を差し引いて降雨時増水量とする。

降雨時増水量を確率分布の形に変換し、減衰側の勾配変化点をプログラム R のライブラリ strucchange を使って特定する。

降雨時増水量の流出成分を表面、中間、地下水成分と仮定し、初期値として変曲点を 2 箇所と設定、入力し、library(segmented)を実行すると図 3.3 を得る。

strucchange 関数による変曲点の数と BIC(ベイズアン情報量規準)を使って最適な変曲点の数を見つける。

図 3.3 では変曲点が 2 点、3 点位置の BIC 値が小さい。その結果、図 3.4 となり図中の表面流出成分 0.718 が流出係数となる。同様の方法で算定した表面流出成分 0.492 の例を図 3.5 に示す。

K 市だけでは図 3.1 に示す独立した降雨を抽出できなかったため、K 市のほかに合流式の I 市を含めて表面流出成分の割合(流出係数)を求めて 1 降雨の雨量との関係を図 3.6 に示す。流出係数は多くは 0.6 を使っ

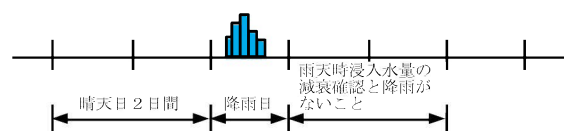


図 3.1 降雨日の抽出

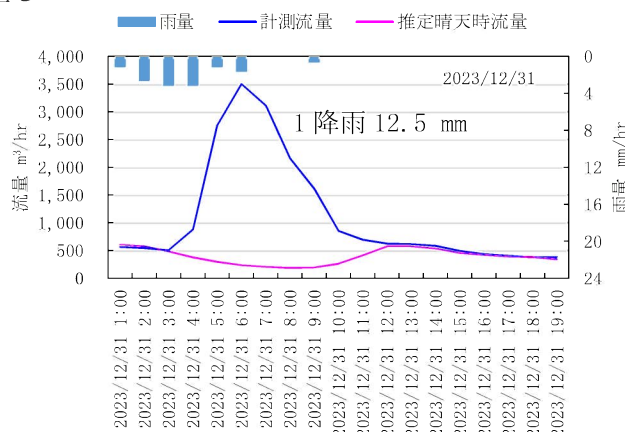


図 3.2 雨天時流量と推定晴天時流量の経時推移の一例 (K 市)

ているが、1 降雨の雨量が大になると表面流出係数が大きく、表面流出量が大きくなることを示している。

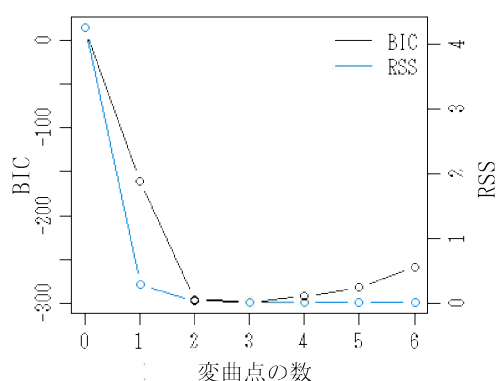


図 3.3 strucchange 関数による変曲点の数と BIC 値

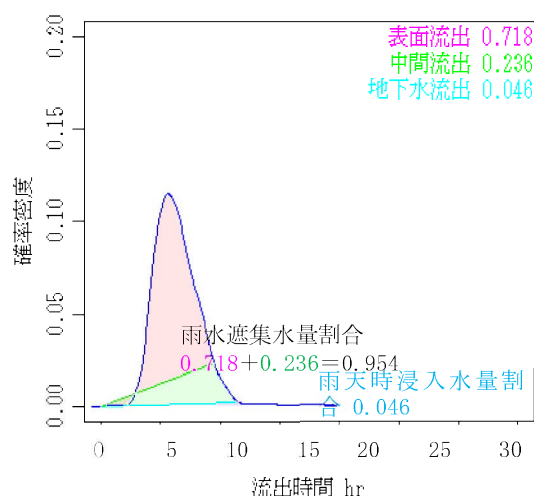


図 3.4 雨天時増水量の流出成分割合 (K 市)

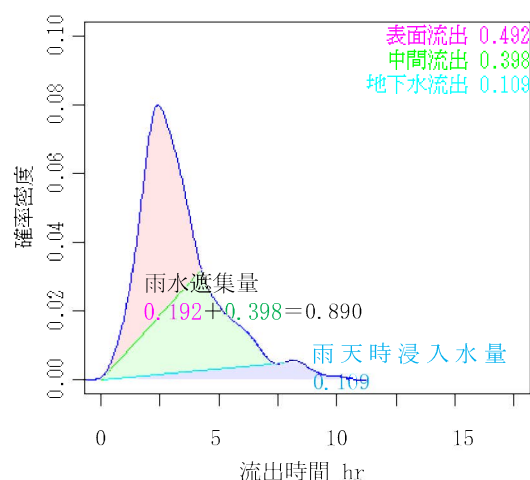


図 3.5 雨天時増水量と流出成分割合 (K 市)

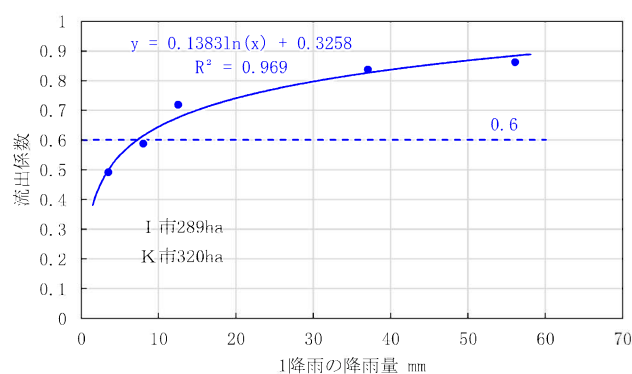


図 3.6 1 降雨の降雨量と流出係数の関係 (I 市、K 市)

5. まとめ

各自治体では流出解析モデルを使って管きよの流れと地表面の氾濫水を連動して解析することにより浸水を再現し、内水浸水想定区域図を作成して公表している。これらの解析にも流出係数が使われている。その際、流出係数を変化させて実際の浸水情報と解析結果比較して解析モデル(浸水シミュレーション)の妥当性を検証することがある。

合流式下水道を持つ自治体においては、合流流量を測定し、降雨時の増加流量を AI (ニューラルネットワーク法) などで推定し、本報告で紹介した勾配急変点法による成分分解法で流出係数を推定すれば分流式雨水管きよの遮水量の計算や浸水シミュレーションに利用できると考える。

<参考文献>

- 1) 公益社団法人日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 前編 2019 年版 p. 218
- 2) 山口大学「河川工学講義」(www.suiri.civil.yamaguchi-u.ac.jp/lecture/kasen/river5.ppt) p. 4
- 3) 土木工学ハンドブック 上巻 p. 61 土木学会昭和 41 年 1 版 p. 491
- 4) 山口大学「河川工学講義」(www.suiri.civil.yamaguchi-u.ac.jp/lecture/kasen/river5.ppt) p. 19
- 5) 混合分布による雨天時浸入水量の流出割合の推定 第 60 回下水道研究発表会 N-7-1-8
- 6) 合流式下水道の雨天時浸入水量の推定 第 62 回下水道研究発表会 N-2-1-7

問い合わせ先：中日本建設コンサルタント(株) 水環境技術本部 中根 進

T E L 052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp