

合流式下水道の雨天時浸入水量の推定

中日本建設コンサルタント(株) ○山田 功 雅・中 根 進

1. はじめに

分流式の污水管きよでは、降雨時の雨水に起因する不明水が多量に流入し、マンホール蓋からの溢水や処理施設での負荷増大に悩まされている。合流式管きよでは汚水とともに降雨時に多量の雨水を集めているので雨天時浸入水の問題はあまり表面化していない。しかし、合流式管きよにあっても管きよの劣化・損傷は報告¹⁾されており、雨天時浸入水は存在すると考えられる。そこで、合流管きよでの流量を AI 学習により晴天時流量を推定し、計測流量との差を雨天時増水量とし、河川洪水流量の成分分離法の 1 つである勾配急変点法という手法を使ってこの雨天時増水量から雨天時浸入水量を分離することを試みる。

2. 雨天時増水量

合流式下水道においては雨天時に汚水と雨水が流入するが、本稿ではこの雨水分を雨天時増水量と呼ぶ。雨天時増水量を次式で表わす。

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

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)²⁾ 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。

3. 雨天時浸入水量

3.1 河川洪水流量および雨天時増水量の流出成分

河川流量は、図-1 のように降雨による流量であり、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。本報告では図-1 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。

合流式下水道の流量は、河川流量と同様な挙動を示すと考えられる。河川流量では晴天時の流量を基底流量と呼んで時間変動はあまり考えていないと思われるが、合流式下水道の雨天時流量の汚水量には時間変動を伴っている。河川の基底流量を差し引いた洪水流量が合流式下水道の雨天時増水量に相当とし、合流式下水道の流出成分も河川の流出成分と同様に分離できるものとする。

3.2 勾配急変点法による成分分離法

河川洪水流量の流出成分の成分分離にはいろいろな方法があるが、その 1 つである勾配急変点法について示す。勾配急変点法の成分分離は、図-2 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-3 に示す河川流量のように第 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「表面流出」、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

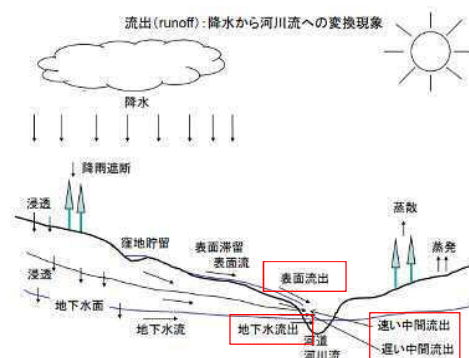


図-1 降水から河川流量への変換

出成分割合を算出する。

R (アール) という統計用語⁸⁾ のライブラリーに `strucchange` 関数などがあり、これを使い減衰側の変曲点を統計的に見つける。

雨天時増水量の減衰側の水量データを使い、`library(strucchange)` を実行すると図-4を得る。変曲点の数と BIC (ベイズ情報量規準) を使って最適な変曲点の数を見つけることができ、図-4では変曲点が2点、3点の BIC 値が小さい。減衰側の 12hr と 34hr に変曲点があり、この変曲点2つで雨天時増水量を分離し、表面流出、中間流出、地下水流出の3成分にする。表面流出と中間流出を雨水遮集量、地下水流出分を雨天時浸水量とし、それぞれの割合を計算する。

4. 合流式下水道 2023 年度 I 市の事例

I 市合流式下水道(集水面積 289 ha)の 2023 年度の流量実績から降雨日を抽出し、雨天時浸水量割合を推定した3事例(図-5～図-10)を示す。

(1) 1 降雨の降雨量 8mm

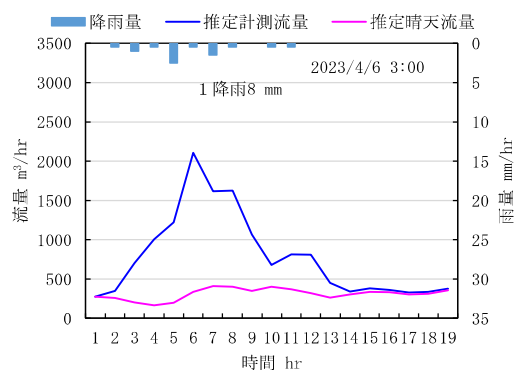


図-5 雨天時水量と推定晴天時水量の経時推移

(2) 1 降雨の降雨量 37mm

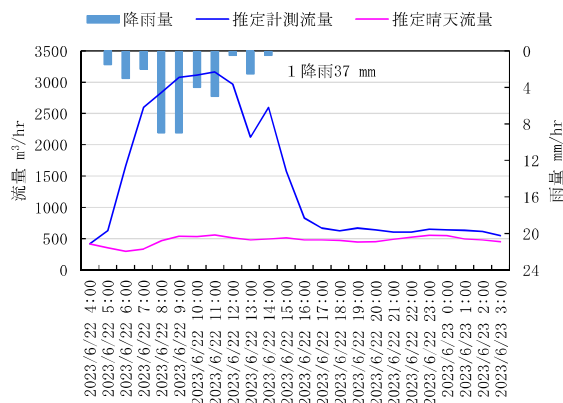


図-7 雨天時水量と推定晴天時水量の経時推移

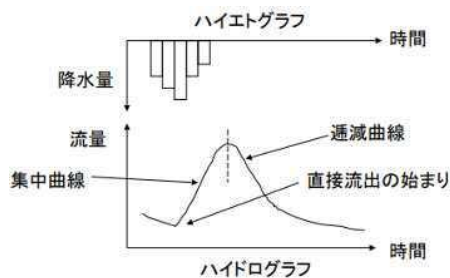


図-2 河川流の流出曲線

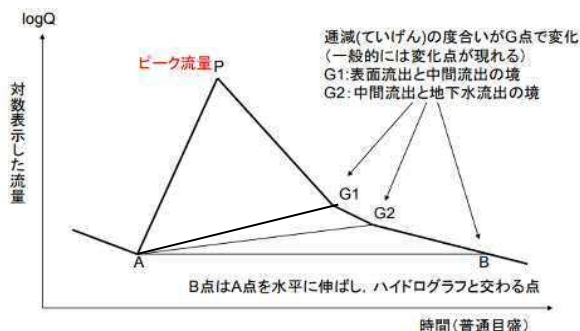


図-3 対数表示した河川流の流出曲線

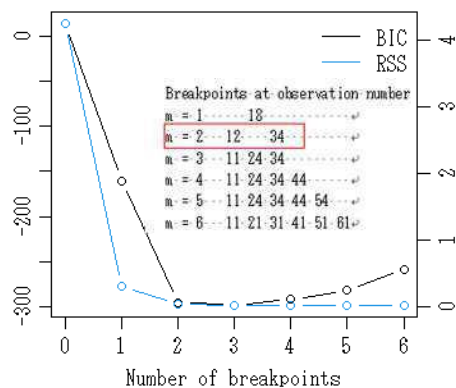


図-4 strucchange 関数による変曲点の数と BIC 値

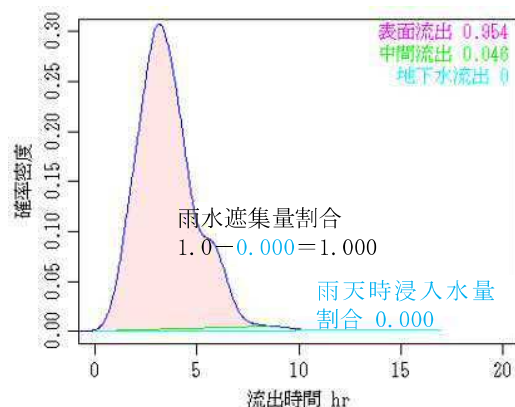


図-6 雨天時増水量の流出成分割合

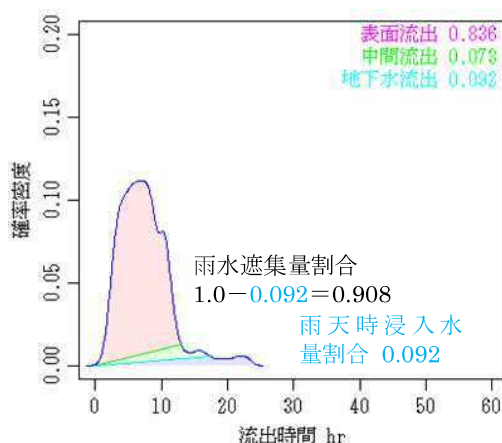


図-8 雨天時増水量の流出成分割合

(3) 1 降雨の降雨量 56mm

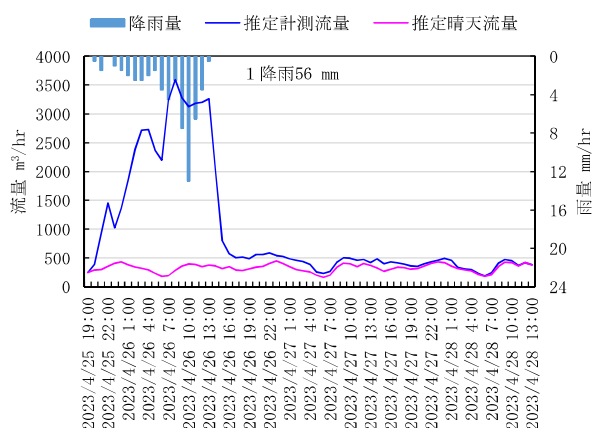


図-9 雨天時水量と推定晴天時水量の経時推移

1 降雨の雨量に対する雨天時浸入水量割合を図-11 に示す。1 降雨の雨量に対する雨天時浸入水量割合はバラツキが大きく、雨天時浸入水量割合は降雨量に寄らないように見えるため、図-12 に雨天時浸入水量割合を分布にして示す。

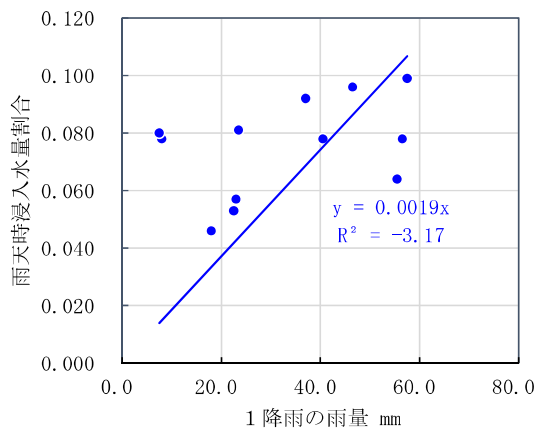


図-11 1 降雨の雨量と雨天時浸入水量割合の関係

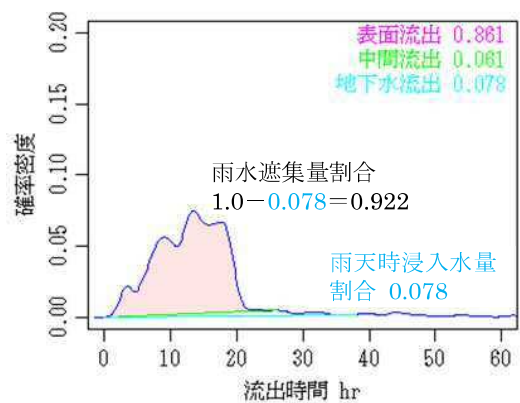


図-10 雨天時増水量の流出成分割合

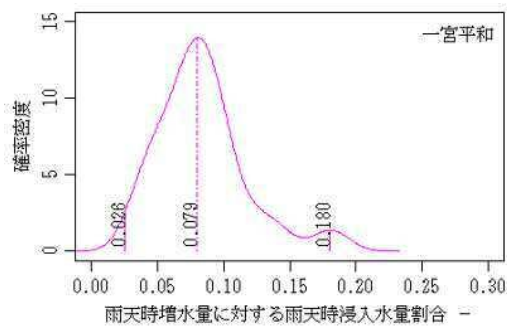


図-12 雨天時増水量に対する雨天時浸入水量割合

表-1 I 市の 2023 年度雨天時浸入水量割合など

流入区域面積 ha	289
観測総流量 m³	5, 110, 165
観測降雨量 mm	1, 753
推定総流量 m³ ①	5, 110, 155
推定雨天時増水量 m³ ②	1, 415, 683
晴天時総流量 m³ (①-②)	3, 694, 472
雨天時増水量割合 r' ②/(①-②)	0.383
雨天時増水量割合 r②/①	0.277
晴天時流量に対する倍率	27.725
雨天時増水量に対する雨天時浸入水量割合③	雨天時浸入水量④=②×③
95% 下限	0.026
平均	0.079
95% 上限	0.180
	36,808
	111,839
	254,823

5. まとめ

I 市の合流式下水道における 2023 年度の降雨日の流量実績から雨天時増水量をニューラルネットワーク法で推定し、その雨天時増水量から勾配急変点法を使って、雨天時浸入水量を推定し、雨天時浸入水量割合を算定した。

ニューラルネットワーク法による I 市の雨天時浸入水量割合を表-1 に示し、勾配急変点法を使って推定した図-12 の雨天時増水量に対する雨天時浸入水量割合の平均値と 95% 上下限値から合流式下水道の雨天時浸入水量を明らかにした。

参考文献

- 1) 保坂成司, Simon Tait : ランダムサンプリングによる管渠の劣化予測に関する研究 下水道協会誌論文集 Vol.54(661) 84-94 2017 年
- 2) 中根 進 他: 流量・水温データの AI 機械学習による雨天時浸入水量解析の研究 下水道協会誌論文 2021.10 月号 VOL.58 No.708

問合わせ先: 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