

タンクモデルを用いた雨天時浸入水の 定量化と対策検討

日本水工設計（株） 新川 勝樹
○ 清水 浩二

1. はじめに

全国的に下水道整備が進むに伴い分流式下水道の処理区では、雨天時に、本来処理の対象としていない雨水由来と推測される大量の下水が污水管渠や処理場に流入する事例が増えており、処理能力を圧迫している。本稿では、流出解析モデルとして活用事例が多いタンクモデルを用いた雨天時浸入水の定量化手法と施設対策の検討事例について報告する。図-1 に検討フローを示す。

2. 解析手法

一般的に、雨天時浸入水の発生メカニズムや流入経路を特定することは困難であり、これを解析により再現・予測することは非常に難しい。このため、個々の検討目的に見合った労力と解析精度のバランスに応じた解析手法を選定することが望ましい。

本検討では、主目的が処理場等の主要施設における点的な対策検討であることを勘案し、分布型モデルではなくタンクモデルを採用した。タンクモデルは、流出機構をいくつかの貯留型タンクの組合せによってモデル化するもので、水収支や水循環を容易に説明でき、また流出計算の再現性も高いことで知られている。本検討のように点的な流入水量を算出する際に効率的で効果的な手法といえる。表-1 に解析手法の概要を示す。

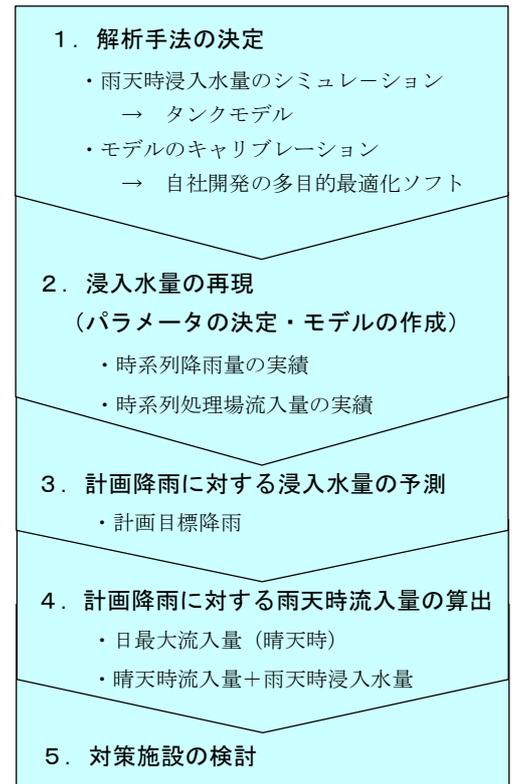


図-1 検討フロー

表-1 雨天時浸入水量の解析手法

名称	概要	本検討への適合度
タンクモデル	タンクモデルを用いて流域からの流出量を計算する。パラメータが多くなるが、多目的最適化ソフトを用いることで効率的に設定可能。“点”的な流出量を捉えたい場合に有効な手法である。	◎ 原因と結果の相関性が高い雨天時浸入水の再現・予測には非常に扱いやすく、有効な手法である
浸入水率	降雨強度や降雨量と雨天時増水の実績データから、浸入水率を設定し、任意の降雨時の浸入水量を予測する。精度に限界があり、簡易な能力チェックなどにしか使えない。	△ 精度に限界があるため本検討には適さない
分布型モデル	降雨と流入量の実績データを基にしたキャリブレーション作業を詳細に行うことで、精度の高い予測が任意時間、任意地点で“面”的に得られるが、信頼できるモデルの構築に時間と労力を要する。	△ 本検討では面的な解析結果を求めないため、必要な労力を考慮すると適さない

3. 浸入水量の再現 (キャリブレーション)

過去の降雨から 11 降雨を抽出し、降雨量と処理場流入量の時系列データを整理し、キャリブレーションにより必要パラメータを設定し、時系列降雨量に対応した雨天時浸入水量 (1式参照) を再現した。図-2 にタンクモデルの概念を示す。

キャリブレーションに際しては設定パラメータが合計 42 (=11×3+3+5+1) に及ぶものの、多目的最適化ソフトを用いて効率的に設定した。表-2 にパラメータ・決定係数・相関係数の一覧を示す。結果として、11 降雨平均の決定係数 (DC (2式参照)) は 0.74、相関係数 (R) は 0.89 と高い再現性を得られた。図-3 にキャリブレーション結果 (降雨 No.4, No.5) を示す。

$$Q = Q_1 + Q_3 + Q_5 \quad \dots(1)$$

$$DC = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (Q_i - q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad \dots(2)$$

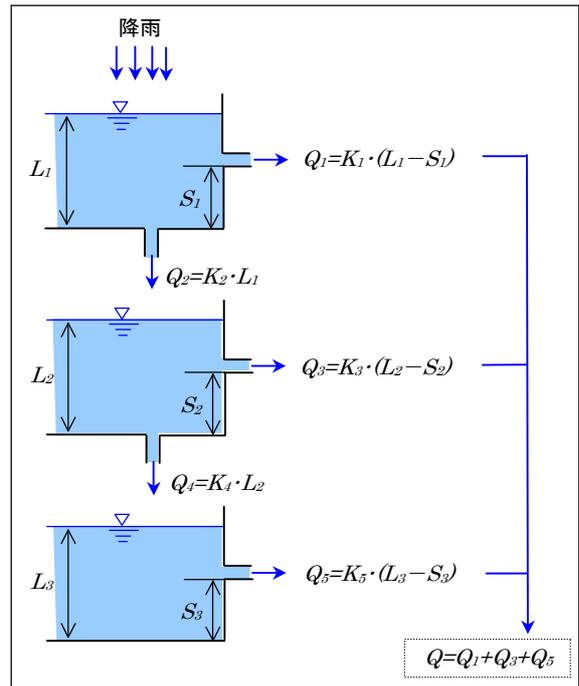


図-2 タンクモデル (3 段) の概念図

〈パラメータ〉

- ・ 初期貯留 : L_1, L_2, L_3 , ×11 降雨, 単位 : mm,
- ・ 貯留能力 : S_1, S_2, S_3 , 単位 : mm
- ・ 流量係数 : K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 ,
- ・ モデル上の面積

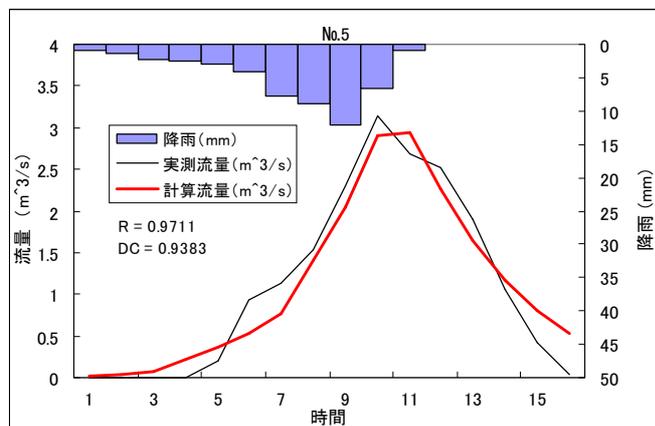
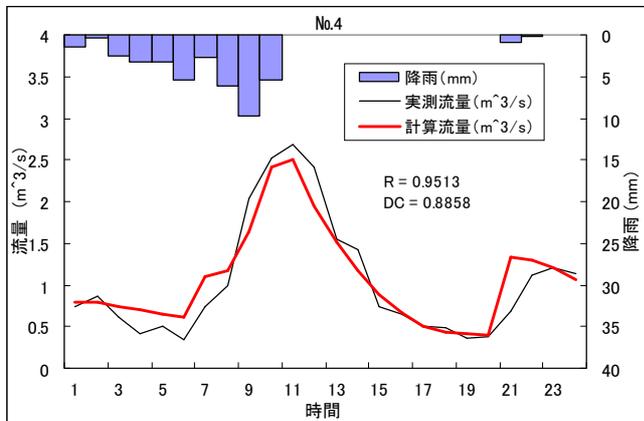


図-3 キャリブレーション結果

表-2 パラメータ, 決定係数, 相関係数

共通パラメータ					
流量係数	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
	0.1803	0.045	0.0481	0.05486	0.9999
貯留能力 (mm)	S_1	S_2	S_3		
	20.495	14.718	45.5		
モデル面積 (km ²)	0.0006546				
降雨No.	パラメータ			決定係数 DC	相関係数 R
	初期貯留 (mm)				
	L_1	L_2	L_3		
1	35.21	40.00	24.25	0.28	0.83
2	1.85	32.86	26.42	0.74	0.87
3	26.11	7.34	31.62	0.66	0.86
4	12.79	40.00	11.23	0.89	0.95
5	20.71	0.00	36.24	0.94	0.97
6	20.50	23.13	26.77	0.78	0.90
7	0.00	5.47	37.75	0.91	0.96
8	19.33	10.03	31.22	0.73	0.85
9	26.40	19.83	24.21	0.75	0.88
10	21.42	29.31	0.22	0.66	0.83
11	24.26	25.85	4.20	0.83	0.92
平均				0.74	0.89

4. 計画目標降雨に対する浸入水量の算出

計画目標降雨（50mm/hr）による中央集中型ハイエトグラフを入力条件として、キャリブレーションにより再現した式を用いて雨天時浸入水量を算出した。

結果として、雨天時浸入水量の時間最大値は晴天時汚水量の 1.6 倍となり、雨天時の総流入量は晴天時の 2.6 倍となった。計画目標降雨に対する流出ハイドログラフを図-4 に示す。

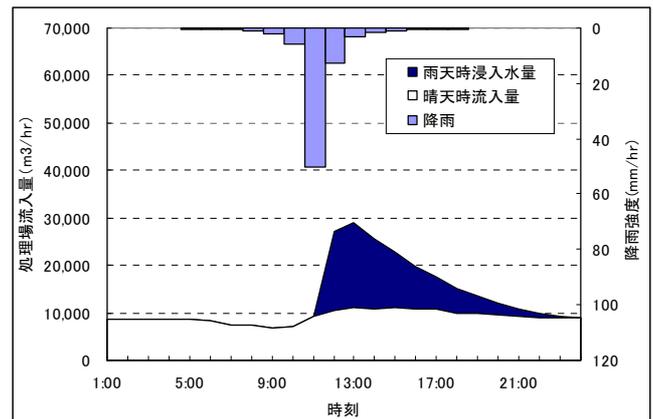


図-4 計画目標降雨に対する雨天時処理場流入量

5. 対策施設の検討

計画目標降雨に対する雨天時浸入水量を処理できるように、処理場・管渠における対策検討を行った。

(1) 処理場

処理場における対策検討においては次の二つを主目的とし、処理場内貯留案（調整池）、能力増強案（既存施設活用）について検討し、必要貯留規模やポンプ予備機活用の効果を算出した。

- ① 非常時の流入ゲート操作等の意思決定に余裕を持ちたい【管理の安全化】
- ② 流入ゲートの遮断頻度を少なくし、上流路線のマンホール蓋飛散や溢水のリスクを低減させる【リスクの低減化】

(2) 管渠

過去に管渠内増水に伴うマンホール蓋の飛散事故が発生しているため、被害実績等を分析した上で対策施設の検討を行った。

1) 動水位の追跡

計画目標降雨時には晴天時の 2.6 倍の流入が見込まれるものの、不等流計算による動水位計算の結果、現況の管渠整備状況下においては管渠の余裕率の中に収まり、開水路で流下可能という結果となった。ただし、伏せ越し部や逆段差部など限られた区間で被圧状態となる。

2) 被害原因の推定

動水位追跡結果や過去の被害実績を分析し、マンホール蓋飛散の被害原因を推定した。これらの結果より、マンホール蓋飛散は、溢水ではなく圧搾空気の遡上が主原因と推定した。

3) 空気抜き施設の検討

雨天時浸入水流入時のピーク流量から必要排気量を算定し、それに見合う空気抜き施設の規模、配置を検討した。空気抜き施設は、周辺環境や排気規模を勘案し、圧力開放型マンホール蓋を採用した。

6. おわりに

雨天時浸入水の定量化手法としては、他に分布型モデルによる事例も増えている。分布型モデルによる手法は、面的な管路ネットワーク上の任意の地点・時間において流量を把握できるというメリットはあるもののモデル構築に相応の労力を要する。本稿で示した手法の場合、得られる流量データは点的なものではあるが、分布型モデルによる手法と比較して大幅に省力化を図れた。雨天時浸入水を含めた流出解析に際しては、検討の目的を吟味し、必要な精度と労力を勘案した上で最適な手法を選択する必要がある。

[問合せ先] 日本水工設計株式会社 東京支社 第1技術部

〒104-0054 東京都中央区勝どき 3-12-1 フォアフロントタワー

tel: 03-3534-5535 fax: 03-3534-5520 mail: k-shimizu2@n-suiko.co.jp