

事例ベースモデリングを用いた下水処理場向け 下水流入量予測システム

岡 利明・筒井宏明・近田智洋・山縣謙一

株式会社 山武

概要:合流式下水道のCSO改善や浸水対策では、貯留施設の強化と共に既存施設の有効活用が重要である。このような設備を最大限に活用する為の下水流入量の予測技術には多くの開発努力がなされてきた。これまで開発された下水流入量の予測技術として流出解析モデルがあるが、基礎資料の準備と解析に多くの工数が必要であるため、日常運営で使用する事は容易ではないという問題があった。

そこで下水処理場で、日常で蓄積している実績データ(雨量、下水量など)を、事例という経験に相当する情報で扱う方式(TCBM: Topological Case-Based Modeling)が有効であると考え、下水処理場のデータを元に予測モデルを作成し、数時間後の流入量を晴天・雨天時共高精度で予測できる事を検証した。検証後この成果をもとに、扱いが容易で短期間に導入が可能な予測装置を開発し運用を行っている。

キーワード:下水流入量、予測、下水処理場、リアルタイムシステム、TCBM

1 はじめに

大都市における合流式下水道では、少量の降雨でも大量の雨が、下水処理場に流れ込み、下水場の処理能力を容易に超えてしまうことから、やむを得ず河川や湾に下水を放流している。公共水域の汚濁負荷(BOD)の70%はこのような降雨時の放流によると言われている。

この問題への対応の一つとしては、数時間前に下水処理場に流れ込む流入量が、予測できていれば、降雨初期に下水場に流れ込む高汚濁物を下水場が既に持っている調整池や雨水貯留池を用いて、最適に処理することで汚濁負荷を最小限にすることができる。

この予測問題は、自然現象、地域性および人の生活が複雑に絡み合った問題であるため、実用に耐えうる予測モデルを作成するためには、膨大な基礎データを準備し、大きな工数をかけての解析と検証が必要となっている。加えて都市は常に人口の増減や舗装率の増加等があり、予測モデルを最新のものにするには、基礎データの更新とモデル見直しを常に行う必要がある。

この問題に対し、ある地点とある地点に雨が降り、土壌に雨が浸透し、幹線に流れ込み、合流して数時間後に下水処理場に水が流れ込んだといった実績データ(ある地点とある地点の雨量、そして数時間後の流入量)を事例という経験に相当する情報で扱う方式(TCBM: Topological Case-Based Modeling)が有効であると考えた。本方式を使用し、下水処理場で日々蓄積している日報データと気象データを利用する事で、数時間後の流入量を高精度で予測できる事を検証した。この検証結果をもとに、扱いが容易で短期間に導入が可能で、晴天・雨天時共(全天時)に下水処理場へ流入量が実用レベルの精度で行える予測装置の開発をおこない運用を行っているので報告する。

2 下水流入量予測モデルの概要

合流式の管渠をもつ下水処理場へ流入する下水流入量は、式(1)で表される。

$$\text{下水流入量} = \text{生活排水量} + \text{雨水流入量} \quad (1)$$

ここで、生活排水量とは、人間の活動によって排水される下水量で、雨水流入量とは降雨時に下水管渠に流入する雨量を表している。

下水流入量は、晴天時には生活排水量となるため

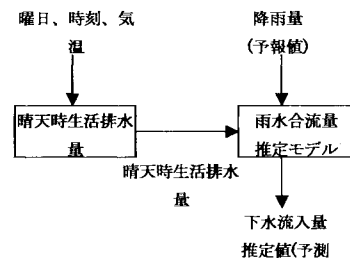


図1 下水流入量予測モデル

変動レンジが小さく、雨天時には雨水流入量の大幅な増加により、変動レンジが晴天時に比べ非常に大きくなる。このことから晴天、雨天を同時に扱えるような統一モデルを作成するために「下水流入量予測モデル」を晴天情報と雨天情報を段階的に扱う構成(晴天時生活排水量推定モデル、雨水合流量推定モデル)を採った(図1)。

晴天時生活排水量推定モデルは、時刻、曜日、気温などの値から生活排水量を推定するモデルであり、雨水合流量推定モデルは、晴天時生活排水量推定モデルの出力と降雨量から、生活排水量に雨水流入量の影響を加えた全下水流入量を推定するモデルである。

各推定モデル(晴天時生活排水量推定モデル、雨水合流量推定モデル)は、入力変数に対して出力を関係付ける因果関係モデルであり、下水流入量予測モデルは、これらモデルの入力変数(気温、降雨量)に予報値を用いることで、未来の下水流入量を予測することを可能としている。

3. 事例ベース型予測方式(TCBM)の概要

下水推定モデルは入力変数に対して出力を関係付ける因果関係モデルである。この因果関係モデルを実行する TCBM は、要求する出力の精度に応じて、履歴データを圧縮した事例として扱い、以下の事例ベース推論の仕組みにより推定・予測を行う。

- (1) 過去に経験した事例(入力/出力)を事例ベースに蓄積する。(下水推定モデルの実装)
- (2) 新入力に類似した入力を持つ既存事例を事例ベースから検索する。
- (3) 検索した類似事例を出力とする。事例がない場合は類似度の近い事例を検索し類似度を含め出力とする。
- (4) 新入力に対する正しい出力が判明した後、その新事例を事例ベースに追加する。(学習機能)

通常の事例ベース推論では、事例間の類似性を判定する類似度(誤差値に換算出来る)を定める方法は対象への依存性があり一般性を欠くとされているが、TCBM では入出力関係の連続性という前提条件があてはまる広い対象について、数学的位相論(トポロジー)における連続写像の概念から類似度を定めることを可能としている。

また、本方式の特徴は、蓄積された過去の計測データから、データ中に含まれる現象を事例化し、特別な原理や仕組みを追求しなくとも、現在起こっている現象と最も近い過去の事例を検索して、現在または未来の状態を推定・予測できることである。

4 推定モデルの作成・検証

4.1 晴天時生活排水量推定モデルの作成

晴天時には、式(1)の雨水流入量は0であり、生活排水量=下水流入量とみなせ、生活排水量を知ることができる。

生活配水量すなわち、人間の活動に大きな影響を及ぼす要因としては、時刻、曜日、季節(気温)などが考えられる。晴天時の生活排水量の変動は、時刻や曜日といった周期性を持つ要因と、季節変動の代表変数と考えられる気温が複合的に影響する非線系現象であると考えられることから、TCBM を用いて、これらを入力とした推定モデルを作成し評価した。各モデルの作成・検証には、処理場で1時間おきに計測された約1年間(8760データ)の晴天時の下水流入量と気温データを使用した。モデルの作成には前半6000データを、検証には後半2760データを使用した。

検証した結果、図2に示すように絶対誤差平均値 874.1 [m³/h] と実用上満足できるレベルでの推定が行えることを確認した。

4.2 雨水合流量推定モデルの作成

雨天時の下水流入量は、式(1)で示したように、雨天時の生活排水量と雨水流入量の和となる。処理場への雨水流入量は、処理場の上流で降った雨が、下水管渠に進入し、管渠の距離や勾配、蓄積された汚水量などの多様な要因に影響されながら、移動、蓄積された結果生じる現象である。この降雨の蓄積的効果を考慮するために、降雨量の積算値を入力変数の候補とし、さらに、選択した降雨量積算値の時定数解析を行って、雨水流入

量を説明するための変数を決定した。

下水流入量を推定するために必要となる降雨量の積算時間は、各々の処理場毎によって異なるが、対象とした処理場への下水流入量の時定数を分析した結果から、短期間の降雨に対応するために1時間積算雨量と2時間積算雨量を、中期間の降雨に対応するために6時間積算雨量を、長期間の降雨に対応するために12時間積算雨量を、それぞれモデルの入力変数として採用した。

雨水合流量推定モデルの作成・検証には、処理場で1時間おきに計測された約1年間(8760データ)のデータ

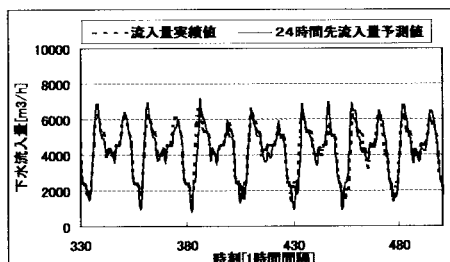


図2 生活排水量実測値と24時間先予測値

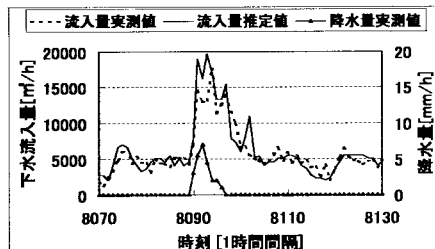


図3 下水流入量(実測値、推定値)、降水量実測値

を使用し、前半の6000データをモデル作成に、後半の2760データを検証に使用した。

検証した結果、図3に示すように絶対誤差平均値 978.2 [m³/h] と実用上満足できるレベルで、晴天時も、雨天時も、下水の流入量が推定できることを確認した。

5 気象予報値を利用した下水流入量予測

5.1 晴天時生活排水量の予測

晴天時生活排水量推定モデルを用いて、予測を行うためには、予測を行う時点の曜日、時刻、気温の値が必要となる。曜日と時刻については、予測を行う時点の値は明らかである。気温については、アメダスによる予報値が存在し、この予報値を利用することにより、未来の晴天時生活排水量の予測を行うことができる。

気温の予報値の予測精度の検証結果としては予測時間が長くなるにつれ、気温の予報精度は低下する傾向も見られるが、12時間先でも実測値と予報値の相関値が0.9程度と予報精度が高く、晴天時生活排水量については、長時間の予測ができる。

5.2 下水流入量の予測

数時間先の下水流入量の予測を行うためには、予測を行う時刻に応じた晴天時生活排水量予測値と降雨量積算値が必要となる。ここで、晴天時生活排水量については、前節で示したようにアメダスの予報値を使用して、予測値を計算できる。降雨量積算値の算出については、処理場の降雨量実測値とアメダスの予報値を利用して予測値を計算することにより、長時間の下水流入量の予測を行うことができる。

6. 下水流入量予測システム

6.1 システム構成

検証で良好な結果が得られたので、リアルタイムシステムを開発し、運用を行っている。

システム構成はインターネットを利用したクライアント・サーバ構成とした(図4)。長時間予測に必要な気象予報情報をNet-TCBMセンター内の気象サーバ経由で受信し、クライアントに送信する。インターネットを利用したクライアント・サーバ構成により、下水処理場の中央操作室でしか知ることのできなかった下水流入量予測/実績値や予報降水量の分布図や周辺

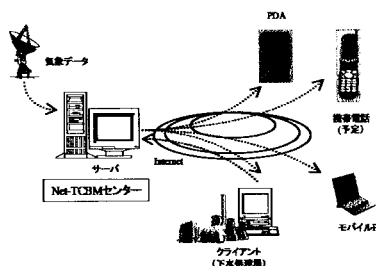


図4 システム構成図

地域のアメダスデータ情報をインターネットで閲覧できる構成とした。(図5)

6. 2クライアント

クライアントには、汎用パソコンを使用した。クライアント側に、予測に必要な信号を下水処理場の既存の信号を分岐し、小型コントローラを入力装置として取り込む構成をとった。このような構成であるため、簡単に予測システムを設置し運用する事ができる。(図6)

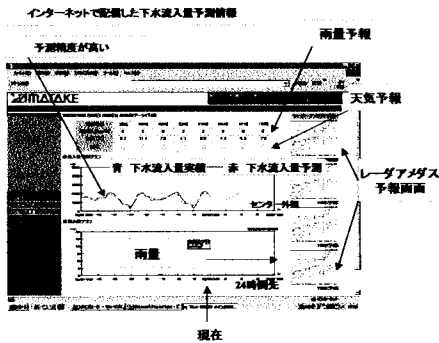


図5 インターネット画面



図6 下水流入量予測システム
(クライアント)

7. まとめ

本稿では、現在、社会問題として取り上げられている合流式下水道における放流問題に対して、新たな設備投資を行わなくとも、アメダスの情報と下水処理場の記録データから、実用上、効果的なレベルでの下水流入量予測が行えることを示した。

本稿で提案した下水流入量予測モデルを組み込んだリアルタイム下水流入量予測システムは、実際の処理場で運用し、本稿の結果と同程度の結果が得られていることもあわせて報告しておく。

今後は、本稿で提案した下水流入量予測モデルが適用できる降雨範囲の判断基準を確立することや、10年に1度しか発生しないような大雨など、事例が存在しないような降雨に対して、物理モデルを併用してより広い範囲の降雨に対する予測を行っていくなどの課題に対応していくことを考えている。

参考文献

- 1) 筒井, 他: 履歴データを事例として使用する非線形モデリング技術 TCEM, 計測自動制御学会論文集, Vol. 33 No. 9 PP947-954, 1997
- 2) 筒井: 「データマイニングにおける非線形システムのモデリングとその応用」(解説文), システム/制御/情報, Vol. 40 No. 12 552/530, 1996
- 3) 岡, 筒井: TCEM/事例ベースモデリング手法による浄水場水需要予測と運転制御, 計測自動制御学会制御部門大会論文集, Vol1 PP471-476, 2001