

22. 事例を用いた下水流入量予測とその運用効果

THE INFLOW PREDICTION TO SEWAGE PROCESS USING CASE-BASED TECHNOLOGY AND ITS EFFECTIVENESS IN PROCESS OPERATION

岡 利明*・筒井宏明*・近田智洋*・山縣謙一*

Toshiaki OKA*, Hiroaki TSUTSUI*, Tomohiro KONDA*, Kenichi YAMAGATA*

ABSTRACT; In a combined sewer system, rainfall causes sudden increase of sewage water. Its amount often reaches more than disposal capacity of a sewage plant, so the sewage water is poured into rivers and the sea without sewage purification. That causes a problem of an environmental pollution.

The prediction of inflow into a sewage plant can provide an optimal operation plan for the sewage plant. So the prediction is useful for preventing from the emission of sewage water with heavy pollution load in the beginning of rainfall.

However, there are many difficulties to predict the sewage inflow using traditional modeling method because of its complex relationships between process and environment.

To overcome the difficulties in this inflow prediction problem, we applied a case-based technology named Topological Case-Based Modeling (TCBM). TCBM has a capable of making a causal model easily from sampled data that include inherent characteristics of the object.

In this paper, we introduce the results of inflow predictions by the model using TCBM in a sewage plant and show the examples of effective applications of this model.

KEYWORDS; inflow prediction, sewage process, flooding injury, TCBM

1 はじめに

大都市における合流式下水道では、少量の降雨でも急激な下水量の増加を引き起こし下水処理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。

この問題は、昨年NHK報道番組「クローズアップ現代」でも取り上げられ大きな社会問題となり、国土交通省は、国土交通省平成 14 年度予算申請 新規事項①合流式下水道緊急改善事業の創設を行い自治体とともに対策に取り組み始めている。

この問題への対応策の一つとして、数時間先の下水処理場に流れ込む流入量を予測し、その予測情報を元に処理場の既設設備(調整池、雨水貯留池など)を最適に運用して、降雨初期に処理場に流れ込む高汚濁物を貯留・処理することで、汚濁負荷を最小限にすることが考えられる。

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

*(株)山武 Yamatake Corporation, 1-12-2, Kawana, Fujisawa-shi, Kanagawa, 251-8522 Japan.

データの更新とモデルの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)^{1)～5)}が有効であると、筆者らは考えた。そして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ので報告する。

また、本稿では、下水処理場において数時間先の予測情報が得られた場合の、想定される運用上の効果についても述べる。

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。

$$\text{下水流入量} \div \text{生活排水量} + \text{雨水流入量} \tag{1}$$

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(図1)。

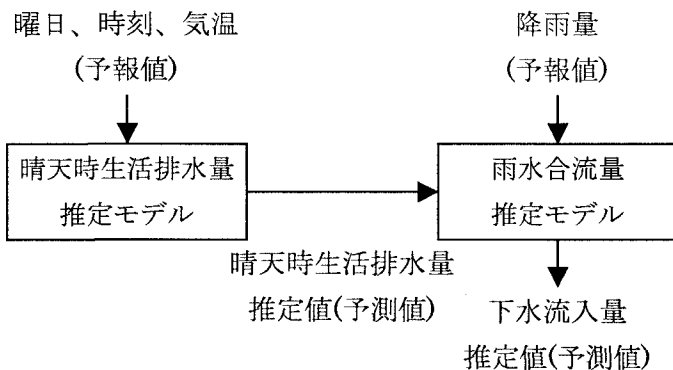


図1 下水流入量予測モデル

3 TCBM(Topological Case-Based Modeling)の概要

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・予測を行うものである。

- (1) 過去に経験した事例(問題/解答)を事例ベースに蓄積する。
- (2) 新問題に類似した問題を持つ既存事例を事例ベースから検索する。
- (3) 検索した類似事例の解答を修正し、新問題に対する解答を得る。
- (4) 新問題に対する正しい解答が判明した後、その新事例を事例ベースに追加する。

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、

数学の位相論(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。

下水処理場への下水流入量予測問題においては、現象の連続性から本方式の適用が可能と考え、また、事例に地域固有の特性や人口の増減や舗装率の増加等を内包させることで、迅速なモデル開発が可能であると想定されたことから本方式の適用を試みた。

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。生活排水量の変動は人間の活動により発生するが、これに対して大きな影響を及ぼす要因として、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形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・評価には、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のデータを使用した。モデルの作成には前半6000データを、評価には後半2760データを使用した。

モデルの評価を行った結果、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。この降雨の蓄積的效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・評価には、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データを評価に使用した。

モデルの評価を行った結果、図3に示すように絶対誤差平均値654.5[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。

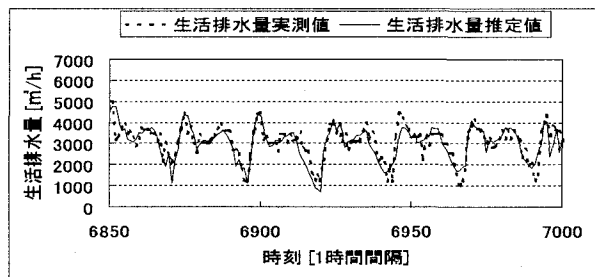


図2 生活排水量実測値と推定値の例

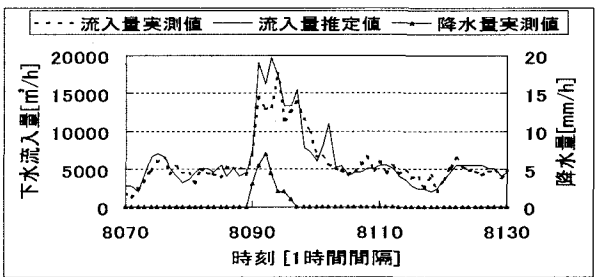


図3 下水流入量(実測値、推定値)、降水量実測値

5 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、長時間先予測の可能性があると考えられる。

気温の予報値を用いて、2時間先と12時間先の晴天時生活排水量を推定した結果、晴天時生活排水量については、4.1節と同程度の精度で、数時間先の予測が可能であることが確認できた。

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、未来の下水流入量の予測を行うことができる。

降雨量の予報値の予測精度を検証するために、約3ヶ月間のデータを元に、処理場での降水量の実測値とアメダスの降水量の予報値(1～12時間先予報)を比較した。降雨部分のデータは非常に少なく、統計的处理は難しかったため、目視で時系列データのトレンドのパターンを確認した。予測時間が長時間になるにつれ、パターン予測精度が下がる傾向が見られた。また、短時間先の降雨量パターンについては、降雨の開始時期や終了時期などが予測できており、雨水合流量推定モデルの入力として利用できる情報量を持つと考え、予報値を用いて下水流入量の予測を行うことにした。

降雨時の雨水合流量推定モデルの予測精度を調べるために、処理場の降雨実測値、降雨量アメダス予報値と晴天時生活排水量推定モデルの出力結果を使用して、2、12時間先の下水流入量の予測を行った。

図4、5にそれぞれ、降雨時の2、12時間先下水流入量予測値、下水流入量実測値を示す。

短時間(2時間)先の予測(図4)では、降雨流入量の立ち上がりや、その絶対量の推定が、精度よく行われている事がわかる。一方、長時間(12時間)先の予測(図5)においては、下水流入量の予測値と実測値がずれている部分があり、短時間先の予測に比べて精度が落ちることが確認できる。長時間先の予測では、モデルへの入力のほとんどが降雨量予報値で構成されるので、長時間先の予測精度低下の原因となっていることが考えられる。しかしながら、本稿で提案する方式を用いれば、降水量の予報精度と同程度に長時間先の流入量予測を行えることが確認できた。

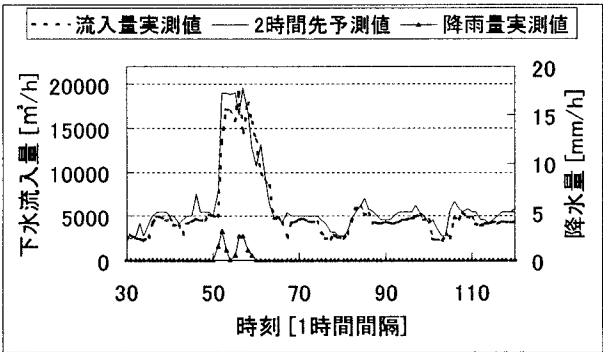


図4 下水流入量(実測値、2時間先予測値)と降雨量実測値

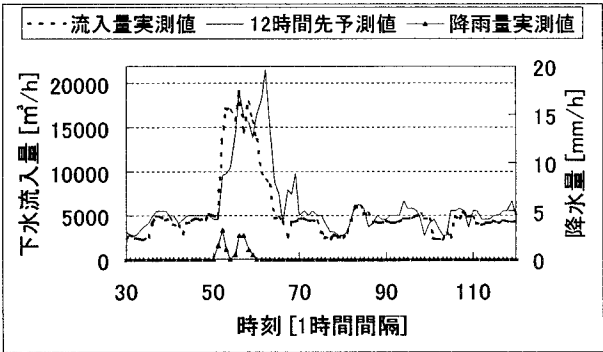


図5 下水流入量(実測値、12時間先予測値)と降雨量実測値

6 下水流入量予測値を用いた場合の運用上の効果

6.1 雨天時における高汚濁下水の貯留と放流回数の低減

下水流入量が数時間前に予測できていれば、調整池や雨水貯留池を最適に運用して、降雨初期段階に下水処理場に流れ込む環境負荷の高い高汚濁物を貯留し、放流回数を低減することができる。本件は、本稿の冒頭で述べたように、社会問題への対応といった重要な意味を持つと考えられる。

6.2 雨水排水ポンプ運転計画

ポンプステーションに設置された雨水排水ポンプは、急に起動停止できないために、下水処理場への流入量の予測情報が得られていれば、下流側での下水処理施設が汚水を処理できないように、管渠の雨水を、何時から川に排水すべきかを正確に決定できる。このことは経済的な先行待機にも関連している。

また、雨が、ある一定期間降り続き、止んだとしても、再度、降り出す場合がある。このような場合、雨水排水ポンプの起動停止時期の正確な決定が必要となる。

このことに対しては数時間先の下水処理場への流入量のトレンド予測情報が重要な情報となり、配水すべきであったのに配水できなかったというような過ちを犯さずに済む（図6）。

6.3 下水の平滑化処理運転計画

長時間先の下水処理場への流入量の予測情報が得られれば、調整池を最適に運用して、昼間時の下水処理量のピークをシフトすることにより、

契約電力の最大値を低くでき、電力量の最大値で契約を行っている場合には、経済的効果が期待できる。また、貯留池に蓄積された昼間時の下水は、夜間時に安価な夜間電力を用いて処理できるという経済効果も期待できる。そして、これらの結果、下水処理の負荷の平滑化がなされ、より安定した下水処理が行える。（図7）。

これらの運用上の効果は、合流式下水処理場に限らず、分流式下水処理場での効果も期待できる。

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、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。また、下水処理場への流入量予測情報を用いることで、放

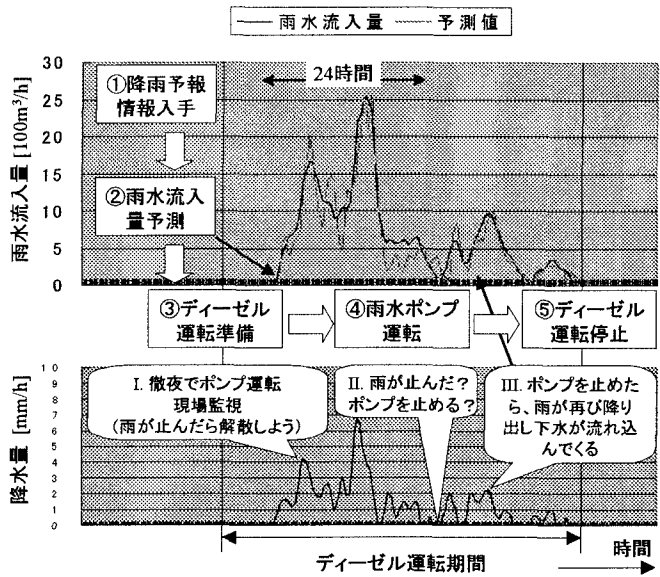


図6 雨水排水ポンプ最適運転計画

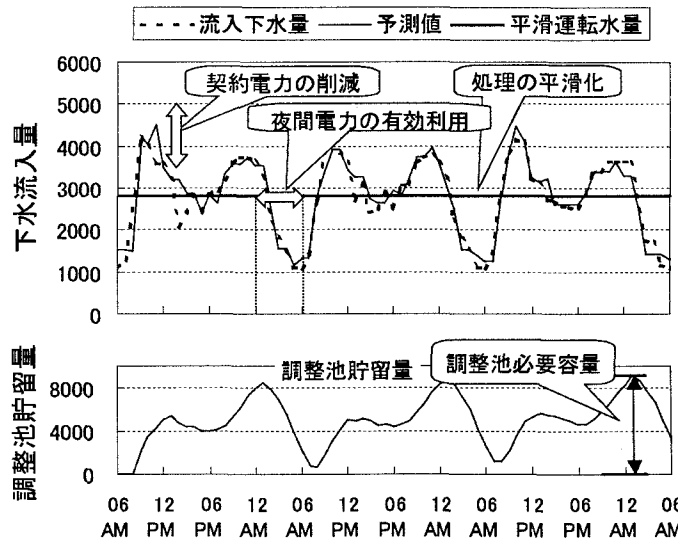


図7 下水の平滑化処理運転計画

流問題に対応できると共に、雨水排水ポンプの経済的運転と防災効果、および夜間電力を用いた下水処理場の経済的かつ安定運転への効果も得られることを述べた。

筆者らは、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を開発し、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 TCBM, 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: TCBM/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
- 4) 筒井, 他: 位相事例ベースモデリングとその応用, 9th ファジイシステムシンポジウム, PP249-252, 1993.
- 5) H.Tsutsui, 「Fault Detection using Modeling Techniques by Sensing Data」, Proceeding(AN25/Jp/270993/1.0) of IEA-ANNEX25 Zurich meeting, 1993.