＜特集＞

合流改善を考慮した雨水ポンプ制御システム

Stormwater Pump Control System for Reducing Combined Sewer Overflow

君島和彦*，片山恭介，小野洋一，梅田賢治，近藤真哉

株式会社　東芝

Kazuhiko Kimijima*, Kyousuke Katayama, Youichi Ono, Kenji Umeda, and Shinya Kondou

Toshiba Corporation

Abstract

This paper proposes a new stormwater pump control scheme for combined sewer overflow (CSO) control. Start-up/stop timing of stormwater pumps is usually determined by a preset water level set point of a pumping basin in many conventional stormwater pump control schemes. To reduce the CSO, the proposed control scheme incorporates a new algorithm to raise the set point to utilize sewer pipes connected to a pumping basin as a retention tank when small rainfall and/or predicted inflow are observed. In the algorithm, the set point is changed based on pre-specified thresholds for observed rainfall and predicted inflow. Moreover, the set point can be reset/lowered by a similar algorithm to avoid flooding when huge rainfall and/or predicted inflow are observed. Numerical simulations illustrate that the proposed scheme can reduce the CSO during a small rain event and can suppress drastic rise of water level when a strong rain event suddenly occurs.

Key Words：Sewerage , Urban Drainage , Combined Sewer Overflow ,Inflow Prediction

1. はじめに

平成 16 年の下水道法施行令改正によって、生活排水と雨水が同一下水道管渠を流れる合流式下水道の放流水を分流式下水道の雨水水質と同程度の水質にすることが定められた。これを受けて、合流式下水道の放流水質を改善する（以下、合流改善と称する。）必要性が生じている。その一方で、台風や局所豪雨による浸水対策も不可欠である。これらの課題に対して、合流改善では河川への放流水である越流水の低減、簡易処理技術などの開発が行われており、浸水対策では貯留管など施設面での整備やポンプの運用による浸水回避が進められている。これらの課題のうち、合流改善および浸水対策の施策として下水道施設の貯留能力を最大限利用し、越流水量の最小化を狙った下水道施設におけるリアルタイムコントロール（Real Time Control：以下、RTC）手法の確立が必要とされている。

本報告では、RTC 手法の一つとして雨水ポンプ自動制御手法を提案する。提案手法は、降雨量と現在および過去の流入量を用いた流入量予測、および運転モード判定によって、ポンプの運転・停止に関わる水位の設定値を補正することを特徴としている。提案手法により、①小雨時の越流水量の低減による合流改善効果、②小雨から大雨へ降雨量が変化する時の合流改善および浸水対策の双方に対応した効果をシミュレーションにより検証する。

2. 雨水ポンプ自動運転制御手法

Fig.1 は、対象となるポンプ場の概要図である。また、提案手法のブロック図を Fig.2 に示す。

Fig.1 に示すようなポンプ場では、ポンプの起動・停止に関わる水位を設定し、これに基づいてポンプを制御する形の水位設定制御を行っている。提案手法はこれに、①流入量予測機能、②運転モード判定機能、③起動・停止水位補正機能を付加している。

＊〒183-8511　東京都府中市東芝町 1 府中事業所
TEL：042-333-2563　　FAX：042-340-8060
E-mail：kazuhiko.kimijima@toshiba.co.jp

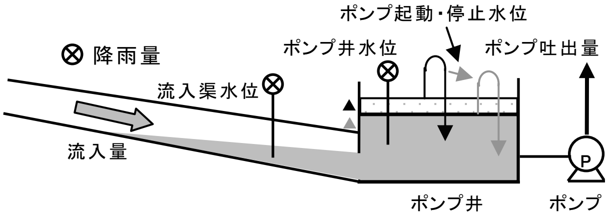

Fig.1 Schematic Pumping Station

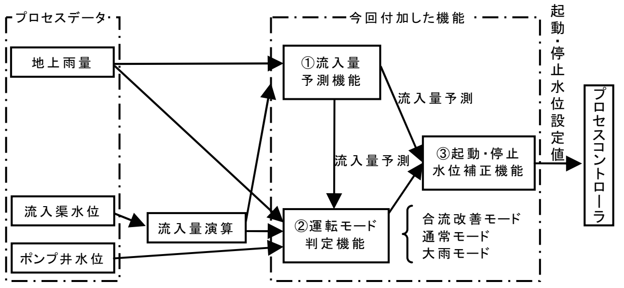

Fig.2 Block Diagram of Storm-water Pump Control

2.1 流入量予測機能

流入量予測機能は､地上雨量計などで観測した降雨量、流入渠水位、雨水ポンプ井水位、流入量の各プロセスデータを入力としてポンプ場への 10 分先の流入量予測を出力する。流入量予測モデルとしては、システム同定手法により構築したHammerstein型流入量予測モデルを用いる[1]。Fig.3 は同モデルを用いた流入量予測のモデル構成である。

2.2 運転モード判定機能

運転モード判定機能では、降雨量、水位などのプロセスデータとポンプ場への流入量予測に応じて、合流改善モード、通常モード、大雨モードの 3 種類のモードから運転モードを選択する。各モードの説明を Table 1 に示す。

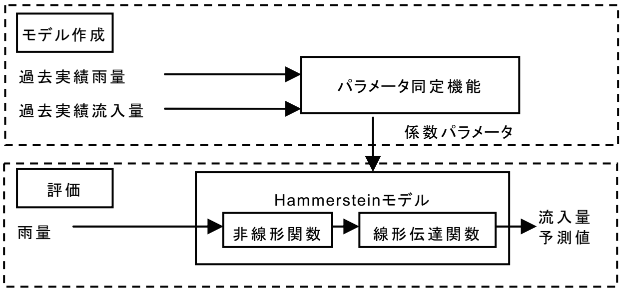

Fig.3 Storm-water Inflow Prediction Model

Table 1 Rule Table for Operational Mode Decision

入力	出力
雨量が一定時間T_1分継続して雨量閾値R_1mm/h下回る場合	通常モード→合流改善モード
雨量が一定時間T_2分継続して雨量閾値R_2mm/h上回る場合	合流改善モード→通常モード
流入量が一定時間T_3分継続して流入量予測Q_1m^3/min上回る場合	通常モード→大雨モード
流入量が一定時間T_4分継続して流入量予測Q_1m^3/min下回る場合	大雨モード→通常モード

Table 1 の合流改善モードは、雨量が設定値を超えない場合に切り替わるモードで、ポンプ場の貯留効果を最大限に生かした運転を行う。

2.3 起動･停止水位補正機能

起動・停止水位補正機能は流入量予測と運転モードに応じて、ポンプの起動・停止水位の設定値を Table 2 に示す方法で補正し、プロセスコントローラに出力する。

3. シミュレーション

3.1 対象機場

某ポンプ場とその流域データを用いて、提案手法のシミュレーションを行った。対象としたのは、合流式の下水道幹線を持つポンプ場であり、大雨時の河川への雨水排水および下水処理場への汚水中継を目的とするポンプ場である。Table 3 に流域概要を、Table 4 にポンプ場の土木構造、Table 5 に雨水ポンプ諸元を示す。

3.2 対象降雨

対象流域で過去に観測された Table 6 に示す降雨を対象としてシミュレーションを行った。合流改善モードの日（降雨 A)、前半は合流改善モード、後半は通常、大雨モードの日（降雨 B）の 2 降雨日を評価対象として選定した。

Table 2 Rule Table for Water Level Set Point

入力	出力
合流改善モード	通常モードより起動・停止水位設定値H_gを上げる。
通常モード	水位補正は行わない。
大雨モード	設定された流入量予測Q_1～Q_5を上回る場合、通常モードより起動・停止水位設定値H_1～H_5を下げる。

Table 3　Drainage Basin Outline

項　目		諸　元
幹線延長		約 12km
計画面積	汚水	2097ha
	雨水	2108ha
計画排水量		$88.1m^3/s$
晴天時雨水量		$6.0m^3/s$

Table 4　Specification of Pumping Basin

敷高[TPm]	貯留面積[m^2]
-23.0	971.3
-21.9	1066.8
-20.3	2859.0

Table 5　Specification of　Storm-water Pump

NO.	排水量 [m^3/min]	起動水位[TPm]		停止水位[TPm]	
		通常	合流	通常	合流
1	340	-17.5	-15.8	-18.2	-19.9
2	340	-16.8	-15.1	-17.5	-19.2
3	340	-16.3	-14.6	-17.3	-19.0
4	340	-15.8	-14.1	-17.0	-18.7
5	340	-15.3	-13.6	-16.7	-18.4
6	340	-15.0	-13.3	-16.5	-18.2
7	700	-16.3	-14.6	-17.3	-19.0
8	700	-15.8	-14.1	-17.0	-18.7
9	700	-15.3	-13.6	-16.4	-18.1
10	700	-15.0	-13.3	-16.5	-18.3
11	700	-14.5	-12.8	-16.0	-17.7
12	700	-14.2	-12.5	-15.7	-17.4

3.3 シミュレータ構成

Fig.4 は構築したシミュレータの構成図である。入力は地上雨量、流入渠水位、ポンプ井水位、流入量のプロセスデータであり、出力はポンプ井水位、雨水ポンプ吐出量と汚水ポンプ送水量である。流入量は流量計が設置されてないので流入渠水位などから求めた演算値を用いる。

シミュレータは、①流入量予測機能、②運転モード判定機能、③起動･停止水位補正機能、④ポンプ制御モデル、⑤ポンプ場モデルで構成される。①～③に関しては、2 節で述べた機能を用いている。また、ポンプ制御モデル④はポンプ井水位と起動・停止水位補正機能③の出力である起動・停止水位設定値を入力として、雨水ポンプ吐出量および汚水送水量を出力する。ポンプ場モデル⑤は管渠、流入渠, 沈砂池およびポンプ井から成り、流入量と雨水ポンプ吐出量および汚水送水量を入力してポンプ井水位を出力する。

3.4 シミュレーションによる提案手法の検証

提案手法と従来手法のポンプの起動・停止水位設定値を固定した水位設定制御の 2 通りのシミュレーションを行い、ポンプ井水位と雨水ポンプ吐出量のシミュレーション結果を比較する。

Table 6　Rainfall Data Used for Simulation

	継続時間 [h]	総降雨量 [mm]	最大降雨量 [mm/h]
降雨 A	28	17	3
降雨 B	24	62	24

Table 7　Rule Table for Simulation Parameter

記号	設定値	記号	設定値
継続時間T_1	120 分	流入量予測Q_1	$2215m^3/min$
雨量閾値R_1	0mm	補正水位H_1	0.1m
継続時間T_2	0 分	流入量予測Q_2	$4431m^3/min$
雨量閾値R_2	12mm/h	補正水位H_2	0.2m
継続時間T_3	0 分	流入量予測Q_3	$6646m^3/min$
継続時間T_4	0 分	補正水位H_3	0.3m
補正水位H_g	1.7m	流入量予測Q_4	$8862m^3/min$
		補正水位H_4	0.4m

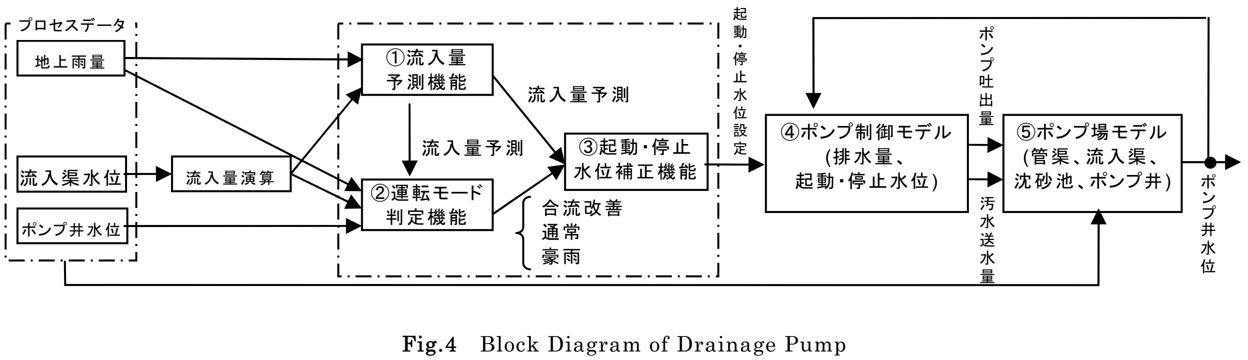

Fig.4　Block Diagram of Drainage Pump

4. シミュレーション結果と考察

従来手法の場合は Fig.4 のシミュレータの④と⑤のモデルのみを使用してシミュレーションを行う。この際、シミュレーションに用いるパラメータは Table 7 に示す値を用いる。

4.1 運転モード判定機能、起動・停止水位補正機能

Fig.4 の運転モード判定機能②は、降雨量などのプロセス情報と Fig.4 の①で出力される流入量予測から運転モードを判定する機能である。また、起動・停止水位補正機能は、運転モード判定機能②で決定した運転モードに対応する水位補正値を演算する機能である。

Fig.5 は降雨 A におけるポンプ井水位である。Fig.5 において、従来の水位設定制御では 22:32 から 0:30 まで雨水ポンプ 1 台の排水を行ったが、提案手法は合流改善モードにより起動水位設定値を上げる方向に補正され、排水を行わず管内貯留を行った。したがって、提案手法は小雨時において雨水排水量の抑制効果、すなわち越流水量の低減効果が得られることが分かった。

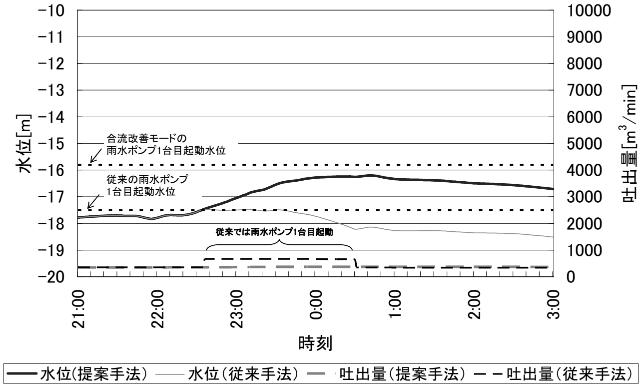

Fig.5 Result of Pumping Level (Rainfall A)

Fig.6 は降雨 B おけるポンプ井水位である。提案手法では、降り始めは合流改善モードにより起動水位設定値を上げる方向に補正されていたが、13:52 以降は通常モード、17:08 以降は大雨モードに切り替わり、起動水位設定値を下げる方向に補正した。この結果、従来の水位設定制御と比較して、ポンプ井ピーク水位は 0.23m 低下した。また、提案手法と提案手法を合流改善モードのみで運転し続けた場合とを比較すると、ポンプ井ピーク水位が 1.61m 低下した。したがって、提案手法は、降雨状況が小雨から大雨に変わる場合には、運転モードが切り替わり、浸水を回避する安全な雨水排水ができることが分かった。

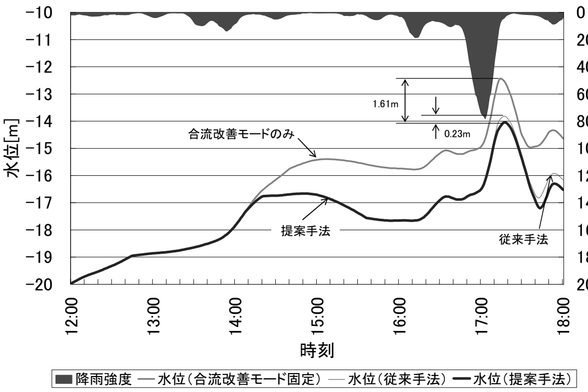

Fig.6 Result of Pumping Level (Rainfall B)

5. おわりに

本報告では、地上雨量を用いた流入量予測と、運転モード判定によってポンプ起動・停止水位の設定値を補正する制御手法を提案した。その結果、小雨時には越流水量が低減する合流改善の効果を得るとともに、小雨から大雨に変わる降雨を対象とした場合、ポンプ井水位上昇の抑制により浸水を回避する安全な雨水排水が可能となる効果を得ることをシミュレーションにより検証した。

[参考文献]

1)山中・長岩・仲田・松原：「システム同定手法による下水道雨水流入量予測方法の開発」、第 37 回下水道研究会、pp191-193、2000.
2)片山・君島・小野・松井：「合流改善・浸水対策を実現するための雨水ポンプ自動制御システム」、第 41 回下水道研究会、pp390-392、2004.
3)君島・片山・長岩・小野・松井：「降雨情報を用いた雨水排水ポンプ制御」、電気学会公共施設研究会資料、pp7-11、2004.
4)社本・寺尾・長岩・平岡・名里・初鹿：「ファジイ制御を応用した雨水ポンプ制御システムの実用化」、電気学会論文誌 D、pp468-475、2001.