

＜研究発表＞

合流式下水道改善のためのリアルタイムコントロールシステムに関する研究

田村 邦夫¹, 梅田 賢治², 信友 義弘³, 岡坂 謹吾⁴, 大島 信夫⁵, 時盛 孝一⁶

(財)下水道新技術推進機構 研究第二部(〒171-0021 東京都豊島区西池袋1丁目22番8号 E-mail:k-tamura@jiwet.or.jp)

(株)東芝 北海道制御システム技術課(〒060-0003 札幌市中央区北3条西1丁目10番地 E-mail:kenji.umeda@toshiba.co.jp)

(株)日立製作所 社会制御システム設計部(〒319-1293 茨城県日立市大みか町5-2-1 E-mail:yoshihiro.nobutomo.yz@hitachi.com)

富士電機システムズ(株) 首都圏技術部 第三グループ(〒330-0802 さいたま市大宮区宮町1-38-1 E-mail:okasaka-kingo@fesys.co.jp)

(株)明電舎 環境・社会事業部 企画開発課(〒103-8515 東京都中央区日本橋箱崎町36-2 E-mail:l.ooshima-n@mb.meidensha.co.jp)

三菱電機(株) 社会環境システムエンジニアリング部(〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3 Tokimori.Koichi@eb.MitsubishiElectric.co.jp)

概要

合流式下水道の雨天時越流水による公共用水域への影響が問題視されており、その対策の早期実施が望まれている。本研究は既設管きょにゲートを設置して、雨天時に地上に設置した雨量計や管きょ内の水位計の情報をもとに、ゲートをリアルタイムにコントロール(RTC)することにより、越流回数を低減させる技術に関する研究を行った。RTCシステムは合流改善対策の一つの施策として合流改善効果および経済性に優れることが解った。

キーワード: 合流式下水道, 合流改善, リアルタイムコントロール

1. 研究の背景と目的

早くから下水道整備に着手した都市部においては地域特性や合理性、経済性等の理由から、合流式下水道で整備が進められてきた。近年、合流式下水道の雨天時越流水による公共用水域への影響が問題視されており、その対策の早期実施が望まれている。合流式下水道からの未処理下水放流量削減に有効な手法として、下水の「貯留」が挙げられるが、滞水池、遊水池、貯留管などの貯留施設は、設置場所の確保や建設費等の問題がある。

本機構では平成13～14年度にかけて効率的な合流改善のための技術として、既設管きょを貯留管として活用する「管きょ内貯留ゲートに関する研究」²⁾を行い、貯留管等の新設に比べて経済的・効率的であることを確認している。

しかし、管きょ内貯留ゲートを設置するためにはシステムとしての安全性、信頼性が明確であることが大前提となる。このことから、流域に設置した水位計等を利用して、リアルタイムに管きょ内貯留ゲートを制御(コントロール)する(RTCシステム)ことで、安全性かつ信頼性をより向上させ、併せて合流改善効果を確保する必要がある。

本研究は管きょ内貯留ゲートによるRTCシステム導入のための計画手法、設計要領等について検討し、実流域をモデルケースとして本システムを適用した場合の合流改善効果と浸水危険度の関係を検証することを目的とした。

2. 研究体制

本研究は(財)下水道新技術推進機構と(株)東芝、(株)日立製作所、富士電機システムズ(株)、三菱電機(株)、(株)明電舎との共同研究により実施した³⁾。

3. 技術概要

本技術の概要をFig-1に示す。

本研究におけるRTCシステムとは管きょ内の水位をリア

ルタイムに観測し、水位情報に基づき管きょ内貯留ゲートの開放を制御することで管きょ内貯留を最大限に行い、未処理下水の放流量を削減することと定義した。

4. 研究結果

4.1 RTCシステム構築の基本方針

RTCシステムは以下の基本方針に基づいて構築する。

- (1) 水位情報、降雨情報等のリアルタイムな情報により、合流改善効果を発揮する。
- (2) 合流改善の対象としない降雨時は、降雨情報や注意報・警報などに基づいて管きょ内貯留ゲートを無条件に開放する。
- (3) いかなる場合でも確実に管きょ内貯留ゲートを開放させるため、機械的なフェイルセーフ機能をもたせると共に、制御設備の信頼性を向上させる。

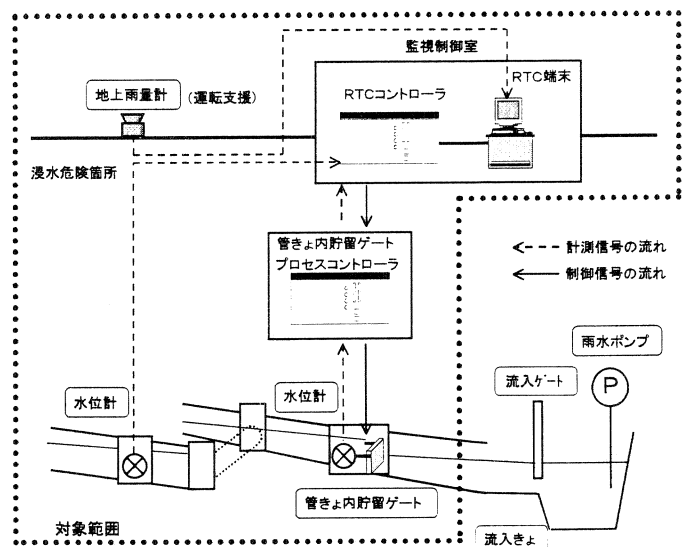


Fig-1 RTCシステムの概要

4.2 RTCシステムの適用

RTCシステムは原則として浸水常襲区域が存在する区域には適用しないものとし、以下の条件の合流式下水道区域において適用を検討する。

- (1) ポンプ排水区
- (2) 自然排水区(ただし、貯留ゲートにより上流側雨水吐きからの越流に影響しない場合)

4.3 計画手順

RTCシステムの導入計画を進めるための計画手順をFig-2に示す。

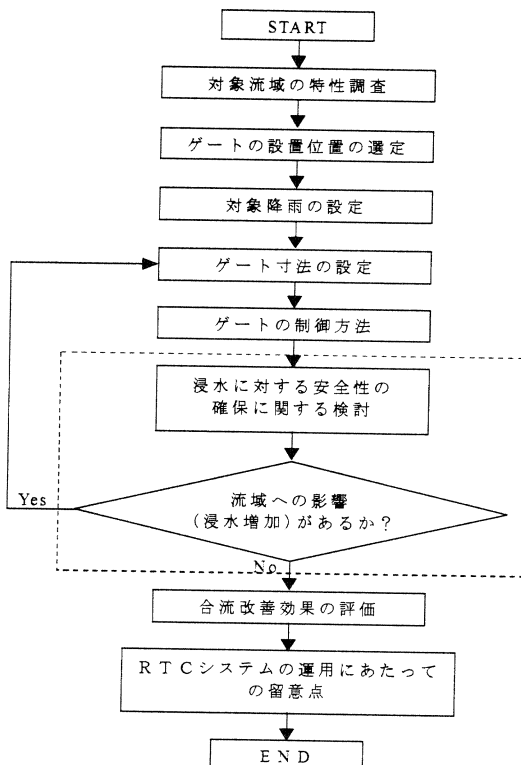


Fig-2 RTCシステムの計画手順

4.3.1 ゲートの設置位置の選定

ゲート設置位置は以下の項目を考慮して選定する。

- (1)合流改善としての貯留効果が見込める大口径管きよの幹線であること
- (2)ゲート設置可能な特殊人孔を有すること
- (3)合流(流入管がある等)や大きな段差がある人孔は、出来るだけ避けること

4.3.2 対象降雨の設定

対象降雨は過去の実績降雨の中から代表降雨年を選定し、年間の降雨強度の降雨回数等を考慮して設定する。

4.3.3 ゲート寸法の設定

ゲート幅は基本的に人孔の内幅とし、ゲート高は小降雨時に対象流域にゲート設置による浸水が発生することなく、かつ、管内貯留による合流改善効果が期待できる高さに設定する。また、ゲート下部の開口寸法は、晴天時に速集水量 $1Q$ (Q : 時間最大汚水量), 雨天時にゲート天端高の水で $3Q$ を流下可能な大きさに設定する(Fig-3 参照)。

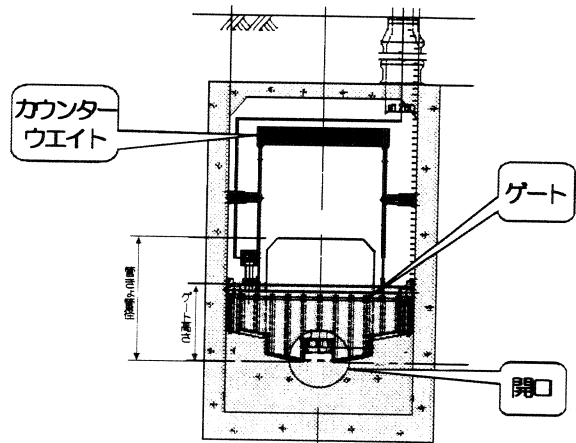


Fig-3 ゲート設置断面図

4.3.4 ゲートの制御方法

ゲートの制御方法は以下の各項を考慮して検討する。制御方法をTable-1, Fig-4~6に示す。

- (1)水位制御を基本とする。降雨情報は、運転支援のための情報とし、自動制御の対象とはしない。
- (2)水位計の設置場所は浸水危険人孔(事前にシミュレーション解析により、過去最大降雨において最も浸水の危険性が高い人孔を選定しておく)およびゲート設置人孔とする。
- (3)ゲートの制御は、浸水に対する安全度および合流改善効果等を考慮して選定する。

Table-1 ゲート制御方法の概要

	制御A	制御B	制御C
ゲート開放の判断箇所	ゲート天端または浸水危険箇所	浸水危険箇所	浸水危険箇所
判断要素	水位	・水位 ・水位上昇速度 (対象箇所の既往最大降雨により浸水危険箇所における水位上昇速度(V_1)を事前に算定)	・水位 ・水位上昇速度 (リアルタイム(1分毎)に浸水危険箇所における水位上昇速度(V_2)を算定)
ゲート開放の判断条件	水位がゲート天端または浸水危険箇所管頂に達した時にゲートを開放	管頂に到達する1分前(ゲート開放所要時間)の水位(=管頂- $V(t) \times 1$)でゲートを開放	管頂に到達する1分前(ゲート開放所要時間)の水位(=管頂- $V(t) \times 1$)でゲートを開放

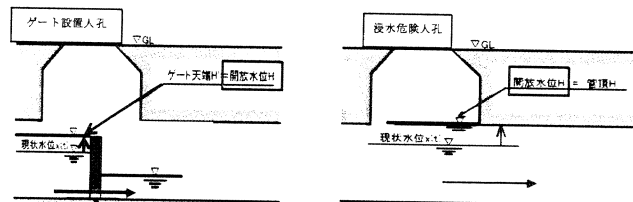


Fig-5 制御Bの概念図

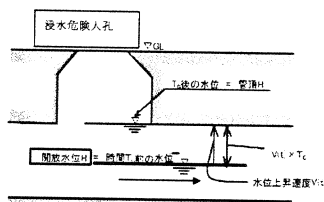


Fig-4 制御Aの概念図

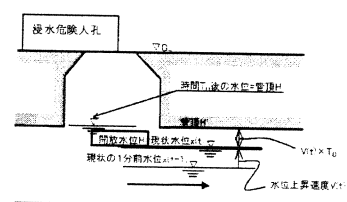


Fig-6 制御Cの概念図

4.3.5 浸水に対する安全性の確保に関する検討

本ゲートは設定水位によりゲート開放操作を行うが、ゲートが開放しない場合には、上流側に浸水の影響が出るおそれがある。このため、確実にゲートが開放するようにゲート自体にフェイルセーフ機構を設ける。また、安全性の確保に関して、緊急対応施設との併用やバックアップ機能の検討が必要である。

(1) ゲート本体のフェイルセーフ機構

①油圧操作によるゲート開放(自動・手動)

停電時および水位信号が遮断した時の対応として、ゲートを閉じている油圧シリンダの油圧回路の電磁弁を開放し、カウンターウエイトのモーメントによりゲートを自動開放する。

②フロートによるゲート開放(自動)

ゲート設置部の水位が異常高となった場合の対応として、人孔内に設けたフロートの浮力により機械的に油圧回路の切替弁を開放し、ゲートを自動的に開放する。

(2) 非常時に浸水を発生させないための緊急対応施設との併用

ゲートが何らかの理由で開放しない異常時に対応するため、雨水滞水池やバイパス管等の緊急施設の設置も事前に考慮する。なお、緊急対応施設の必要規模は異常時にゲートが原因となる浸水を発生させない程度とする。

(3) バックアップ機能による安全性の向上

①雨量計を利用したバックアップ機能

ある一定の降雨強度や降雨量を超えた場合や超える恐れがある場合にはゲートを人為的に強制開放する等、早めにゲートを開放して安全性の向上を図る。

②ゲート開放指令の回線および水位計の多重化

回線切断等の緊急事態に対応するために、ゲート開放指令の回線系統を複数とする。また、バックアップ用の水位計を追加する。これらにより制御の信頼性向上を図ることも検討する。

③カメラによる監視

カメラによるゲートの監視は、異常時の早急な対応支援にも有効である。

4.3.6 ゲート設置による合流改善効果の評価

ゲート設置による合流改善効果は、合流改善効果に対する評価と他の合流改善対策との費用比較による経済性評価を行う。

4.4 RTCシステムの導入計画のケーススタディ

4.4.1 解析の概要

計画手順に従い、A市の流域において、管きよ内貯留ゲートを制御対象としたRTCシステムの適用検討と、流出解析による合流改善効果の評価した。

4.4.2 対象流域

対象流域は合流式で、雨水排水面積は約100haについて評価を行った。

4.4.3 解析条件

(1) 雨水流出係数

雨水流出係数は処理区一律で85%とした。ただし、浸透域が多い公園、跡史跡公園、公園、墓地、処理場(敷地)は20%に設定した。

(2) 汚水量原単位

日平均汚水量原単位は処理場の流入水量の実績から536ℓ/(人・日)に設定した。

4.4.4 ゲート設置地点の選定

Fig-7に示す地点に管きよ内貯留ゲートを設置する。また、当該流域内の浸水危険人孔(最も浸水が発生しやすいと思われる人孔)を計画降雨に対する解析結果をもとに設定する。

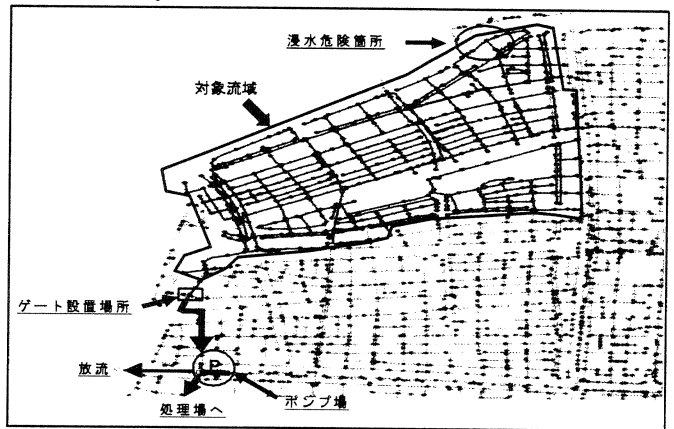


Fig-7 ゲート設置人孔及び浸水危険人孔

4.4.5 対象降雨の選定

対象流域において、代表年度における年間降雨の強度別の頻度と比率を整理し、合流改善の対象とする降雨を選定する。A市の代表降雨年における降雨分布をTable-2に示す。

合流改善を目的とするため、年間の大部分を占める小降雨だけを対象とし、全体の80%を占める降雨強度8mm/hr未滿を対象降雨に設定した。

Table-2 代表降雨年における年間降雨の分布例

降雨強度	降雨回数	累計比率
8~9 mm/hr 未滿	2回	82%
9~10 mm/hr 未滿	3回	86%
10~15 mm/hr 未滿	6回	93%
15~30 mm/hr 未滿	5回	99%
30 mm/hr 以上	1回	100%

4.4.6 ゲート寸法の設定

(1) ゲート開口寸法

開口寸法は3Q相当量を流下可能な口径を設定した。設定手順は以下のとおり。

- ①汚水量のみの解析を行い1Q量を把握する。(Q=0.244m³/s)

②ゲートの高さを仮設定する。(後述)

③仮設定したゲートの高さまで水位が上昇した場合の開口からの流出量が $3Q$ 以下になるようにオリフィス断面計算を行う。

(2) ゲート高さ

ゲート高さは対象年間降雨の累積降雨回数が 80%程度(時間最大 7mm/hr)相当までゲートが開放せずに合流改善効果が期待できる高さとした。設定手順は以下のとおりとした。

①次に選定するゲート開放条件(制御方法)において、高さを仮設定したゲートを設置した場合の水位と浸水の有無を流出解析シミュレーションにより確認する。

②浸水発生の有無を確認し、浸水が発生する場合はゲート高を修正して解析を繰り返し、ゲート高とオリフィス寸法を最終決定する。

上記手順で解析の結果、ゲート高さは管径 W2000×H2000 の 3/4:H=1500mm, ゲート開口寸法は $0.3m^2$ (高 300mm×幅 1000mm) とした。

4.4.7 ゲートの制御方法

Table-1 の 3 通りの制御(制御A~C)で解析を行った。設定条件は Table-3 に示すとおりとした。

Table-3 各制御における設定条件

	制御 A	制御 B	制御 C
ゲート開放水位の判断箇所	ゲート天端または浸水危険箇所の管頂高	浸水危険箇所	浸水危険箇所
水位上昇速度	—	既往最大降雨(83mm/hr)の水位上昇速度(固定値)	降雨強度 8mm/hr 未満の各降雨における水位上昇速度

4.4.8 解析結果(合流改善効果の評価)

実流域をモデルケースとして RTCシステムを適用した場合の合流改善効果, 浸水危険度の関係, 経済性等を検証した。なお, 本システムが原因での浸水発生はなかった。

(1) ケース毎のゲート開放状況

制御A~Cによるゲート開放状況を Table-4 に示す。

Table-4 ゲート開放回数(年間降雨での評価)

	制御 A	制御 B	制御 C
ゲート天端水位でのゲート開放	13 回	—	—
浸水危険人孔管頂水位でのゲート開放	4 回	13 回	11 回
計	17 回	13 回	11 回

(2) 年間放流負荷量の比較

制御A~Cによる合流改善効果を Table-5 に示す。

放流負荷量と現況と RTCシステムを導入した場合の放流負荷量の集計結果を Table-6 に示す。

なお, 本システムによる貯留水処理の負荷削減効果も加えた処理区全体に寄与する効果についても算定した。

Table-5 合流改善効果

		制御 A	制御 B	制御 C
対象流域における放流負荷量削減効果	現況(t/BOD)	140		
	対策後(t/BOD)	121	115	112
	削減量(t/BOD)	19	25	28
	削減率(%)	13.6	17.9	20.0

Table-6 放流負荷量解析結果

		現況	制御 A	制御 B	制御 C	分流並
対象流域	放流(t/BOD)	140	121	115	112	—
	未処理(t/BOD)	711 (A)	675 (B)	667 (C)	664 (D)	397 (E)
処理区全体	処理(t/BOD)	1,593	1,600	1,600	1,600	1,278
	計(t/BOD)	2,304 (F)	2,275 (G)	2,268 (H)	2,264 (I)	1,675 (J)
放流負荷量の現況との比率(%)		100	99 (B/A)	98 (C/A)	98 (D/A)	73 (E/A)
未処理放流負荷の削減量(t/BOD)		—	36 (A-B)	44 (A-C)	47 (A-D)	314 (A-E)
全体での放流負荷の削減量(t/BOD)		—	29 (F-G)	36 (F-H)	40 (F-I)	629 (F-J)

①ゲート天端を水位が超えていても, 浸水危険人孔の水位上昇速度でゲート開閉の判断を行うことで, 管きよ内貯留ゲートの貯留効果を高めることができる。

②既往最大降雨の水位上昇速度(固定値)でゲートの開閉を判断するよりも, 各降雨の水位上昇速度でゲート開閉を判断する方が管内貯留ゲートの貯留効果を高めることができる。

(3) 経済性に対する評価

概算の建設費と維持管理費から土木, 機械・電気の耐用年数を考慮して, 年間費用を概算で算出した。比較を行った結果, 本システムは他の雨水滞水池などの合流改善対策施設よりも経済性(費用対効果)が優れていることが確認された。(単位汚濁負荷量を削減するために要する費用で 1/2 程度)

5. まとめ

RTCシステムは合流改善対策の一つの施策として合流改善効果および経済性に優れると言える。

ただし, 一箇所あたりの負荷削減量は他の合流改善対策施設と比較して少ないため, 他施設との併用もしくは複数箇所設置するなどの検討が必要である。

[参考文献]

- 1) "合流式下水道改善対策指針と解説", (社)日本下水道協会, (2002 年)
- 2) "合流式下水道改善のための管きよ内貯留ゲート技術資料", (財)下水道新技術推進機構, (2003 年)
- 3) "合流式下水道改善のためのリアルタイムコントロールシステムに関する研究技術資料", (財)下水道新技術推進機構, (2005 年)