

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

全体期間

2003. 6～2005. 3

本文105 P～111 P

(目 的)

本機構では平成13～14年度にかけて効率的な合流改善の技術として、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」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する(RTC)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し、研究成果を技術資料としてとりまとめることを目的としている。

(技術の概要)

本研究において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、合流改善のために管きょ内貯留を最大限に行うことで、未処理下水の放流量を削減することと定義した。

本技術の概要を図-1に示す。

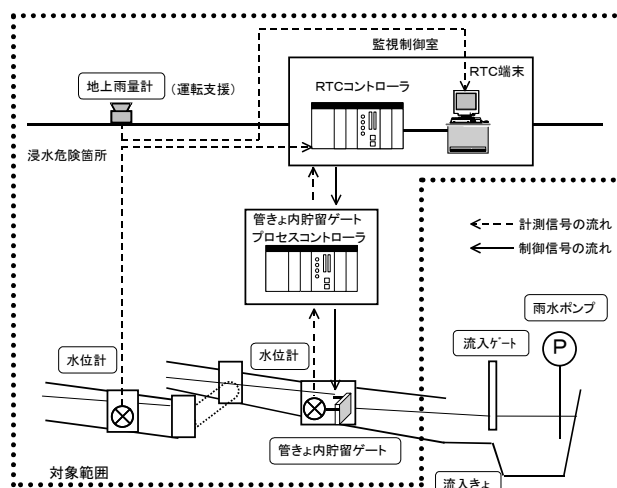


図-1 RTCシステムの概要

(結 果)

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、浸水危険度の関係、経済性等を検証した。

1. ゲート制御方法

ゲートの制御方法は表-1に示す3通りの方法で行った。

2. 解析結果

放流負荷量(BOD)は現況に比べ、制御Aで29 t (13.6%)、制御Bで36 t (17.9%)、制御Cで40 t (20.0%)の合流改善効果が得られた。また、本システムを導入することにより、新たな浸水が発生することはなかった。

合流改善対策施設について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、年間費用を算出したところ、本システムは他の合流改善対策施設を建設するよりも経済性(費用対効果)が優れていることが確認された。

(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。
- ・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。

共同研究者：財団法人下水道新技術推進機構

株式会社東芝、株式会社日立製作所、富士電気システムズ株式会社、

三菱電機株式会社、株式会社明電舎

研究担当者：高橋 隆一、桐原 隆、土屋 玄、鎌田 浩三、中村 浩

表-1 ゲート制御方法

	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 (既往最大降雨より最大 水位上昇速度を考慮)	・水位 ・水位上昇速度 (リアルタイムに演算し た水位上昇速度を考慮)
判断条件	水位がゲート天端または 浸水危険箇所で管頂に達 した時にゲートを開放	ゲート開放所要時間と過 去最大水位上昇速度を考 慮し、ゲート全開時に浸水 危険水位(管頂)に到達す る水位を求めてゲートを 開放	ゲート開放所要時間とリ アルタイムの水位上昇速 度を考慮し、ゲート全開 時に浸水危険水位(管頂) に到達する水位を求めて ゲートを開放

キーワード

RTCシステム, 合流改善, 管きょ内貯留ゲート

Study on real time control system for improvement of CSOs

Whole term

2003. 6~2005. 3

(Purpose)

From 2001 to 2002, JIWET developed “the Storage Gate in Sewer main” which is able to install in existing sewer pipes and to utilize as a storage facilities., The point about which this technology is excellent to the conventional technology (e.g. storm-water reservoir) is as follows.

- To use an existing pipe, the fee of the construction is inexpensive.
- At the urban area which can't secure necessary space, it can be applied.

However, it is required that the safety and reliability in the system should be secured in order to install this system in sewer main.

Therefore it is necessary to realize safe and reliable system. In this study, we defined that RTC is the system that control the Storage Gate by water level information of target points.

The purpose of this study are as follows.

- The rational way of selecting in the installation site at the Storage Gate in Sewer main
- The rational way of selecting in the set points at the level sensors
- The RTC methods which will be applied

Then the results of this study will be compiled to the technical report.

(Technical outline)

In this technology, reduction of the amount of discharge of raw sewer is obtained by controlling the storage gate in pipe which stores mass to the maximum. The gate control is based on the water level at set points which will be observed in real-time.

The outline of this technology is shown in Fig.-1.

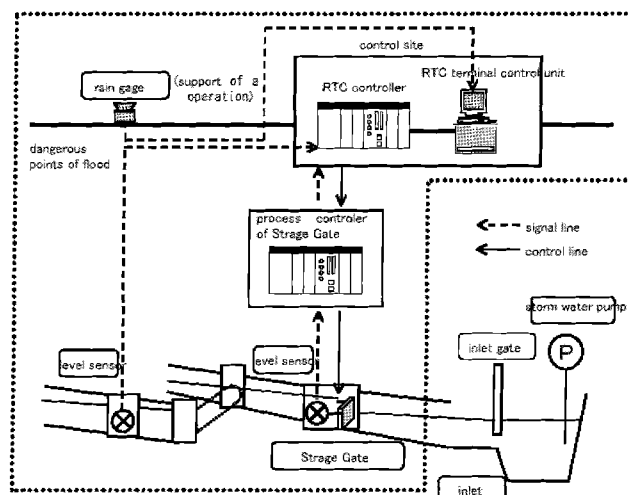


Fig.1 Outline of RTC technology in this study
Table-1 Overview of control strategy

	Control strategy		
	Type A	Type B	Type C
water level information for gate operation judge elements	top edge of the Gate and/or dangerous point of flood - water levels	dangerous point of flood - water level - rising velocity of water level (It computes from the maximum rainfall in the past.)	dangerous point of flood - water level - rising velocity of water level (It computes from the maximum rainfall in the past.) : It calculates realtime.
requirements	Gate will be operate (It opens) when water level reaches at upper edge of gate.	Gate is opened when water level reaches at upper level of sewer pipe.	Gate is opened when water level reaches at upper level of sewer pipe.

(Result)

The results are obtained such as relation between improvement of combined sewer system and risk of flooding, and economical efficiency, etc. by applying this system to a watershed area as a model case.

1. Gate Control Method

The control method of the gate was performed in three methods shown in Table -1.

2. Analysis Result

Compared with present condition, the amount of discharge loads (BOD) were reduced by 29t (13.6%) in control method Type A, and 36t (17.9%) in Type B and 40t (20.0%) in Type C, respectively. Moreover, according to simulation result, new flood area did not exist so far by installing this system.

Annual operation and maintenance cost was calculated for improved combined sewer facilities in consideration of economic life of civil, mechanical and electrical facilities.

It is confirmed this system should be economical compared with other methods for improvement.

(Conclusion)

- A RTC system, as one of the measures for combined sewer improvement, is excellence in economical efficiency and combined sewer improvement.
- Since the amount of load reduction per gate is fewer than that of other methods in combined sewer system, it is necessary to study RTC system should be combined with other methods or installed in two or more gates.

Collaborators : Japan Institute of Wastewater Engineering Technology

Toshiba Corp., Hitach, Ltd., FUJI ELECTRIC SYSTEMS Co.,Ltd.,

Mitsubishi Electric Corp., MEIDENSHA Corp.

Members of JIWET : Ryuichi Takahashi, Takashi Kiriara, Gen Tsuchiya, Kozo Kamata, Hiroshi Nakamura

key words

RTC system, improvement of combined sewer system, the storage gate in pipe

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

1. 研究目的

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、既設管きよを貯留管として活用する「管きよ内貯留ゲートに関する研究」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。

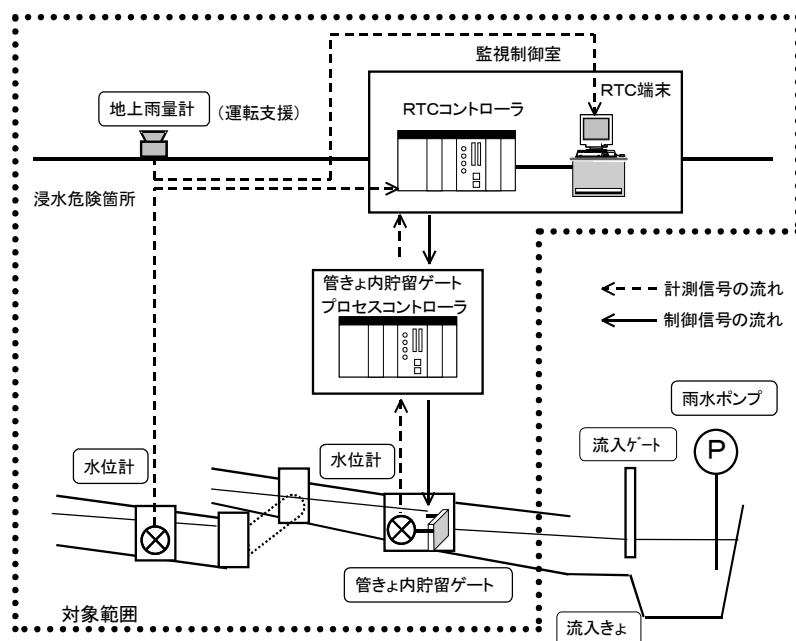
しかし、管きよ内貯留ゲートを設置するためにはシステムとしての安全性、信頼性が明確であることが大前提となる。このことから、流域に設置した水位計等を利用して、リアルタイムに管きよ内貯留ゲートを制御する（RTC）ことで、安全性かつ信頼性をより向上させ、併せて合流改善効果を確保する必要がある。

本研究は管きよ内貯留ゲートによるRTCシステムの計画手法、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し、成果を技術資料としてとりまとめることを目的とする。

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。



図－1 RTCシステムの概要

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。制御方法を表-1、図-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。

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。

表-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 (既往最大降雨より最大水位上昇速度を考慮)	・ 水位 ・ 水位上昇速度 (リアルタイムに演算した水位上昇速度を考慮)
判断条件	水位がゲート天端または浸水危険箇所まで管頂に達した時にゲートを開放	ゲート開放所要時間と過去最大水位上昇速度を考慮し、ゲート全開時に浸水危険水位(管頂)に到達する水位を求めてゲートを開放	ゲート開放所要時間とリアルタイムの水位上昇速度を考慮し、ゲート全開時に浸水危険水位(管頂)に到達する水位を求めてゲートを開放

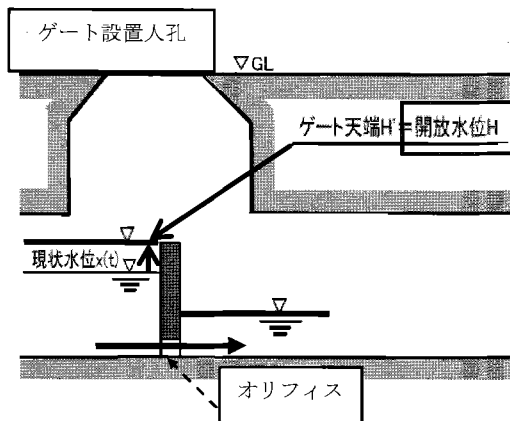


図-4 制御Aの概念図

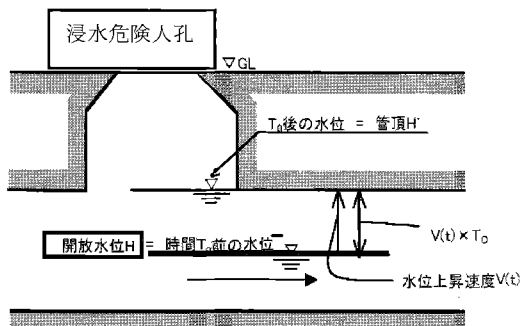


図-5 制御Bの概念図

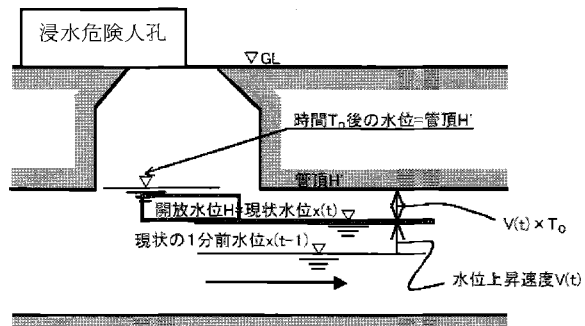


図-6 制御Cの概念図

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、カウンターウェイトのモーメント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等の異常時に対応するため、雨水滞水池やバイパス管との併用も考慮する。

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にはゲートを強制開放する等の機能を追加し、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) 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、管きょ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を評価した。

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

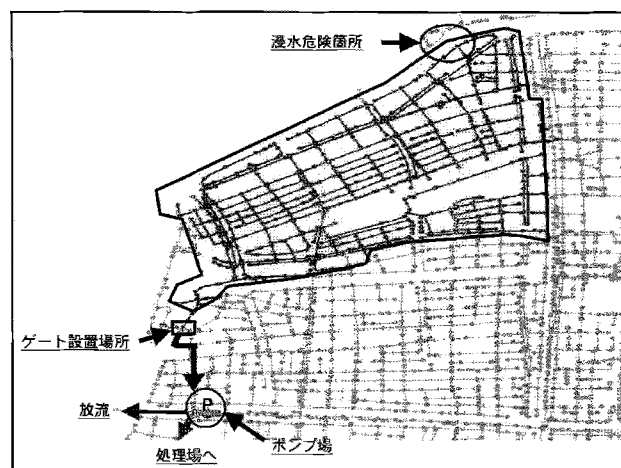
雨水流出係数は処理区一律で85%とした。ただし、浸透域が多い公園、跡地公園、公園、墓地、処理場（敷地）は20%に設定した。

(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

図－7 に示す地点に管きょ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。



図－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表－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する。ここでは全体の80%を占める降雨強度8mm／hr 未満を対象降雨に設定した。

表－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
2 mm/hr 未満	33回	38%
2～ 5 mm/hr 未満	27回	71%
5～ 6 mm/hr 未満	5回	77%
6～ 7 mm/hr 未満	1回	78%
7～ 8 mm/hr 未満	2回	80%
8～ 9 mm/hr 未満	2回	82%
9～10 mm/hr 未満	3回	86%
10～15 mm/hr 未満	6回	93%
15～30 mm/hr 未満	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。
($Q=0.244\text{m}^3/\text{s}$)
- 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。

上記手順で解析の結果、ゲート開口寸法は
開口寸法: 0.3m^2 (高300mm×幅1000mm) とした。

(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。

- ① ゲート設置地点において、現況管渠網における時間最大7mm/hr 相当降雨時の水位を把握する。(ゲート高さの仮設定)
- ② オリフィス開口を設置し、ゲートを設置した場合の水位を確認する。

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 とした。

4.4.7 ゲートの制御方法

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

表－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 の管頂高	浸水危険箇所 の管頂高
水位上昇 速度	—	既往最大降雨 (83mm/hr) の水位上昇速 度(固定値)	各降雨の水位 上昇速度 (可変値)

4.4.8 解析結果

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表－４に示す。

表－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表－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表－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。

表－５ 合流改善効果

		制御A	制御B	制御C
集水域に おける 削減効果	現況 (BOD-t)	140		
	対策後 (BOD-t)	121	115	112
	削減量 (BOD-t)	19	25	28
	削減率 (%)	13.6	17.9	20.0
処理区 全体 への寄与	削減量 (BOD-t)	29	36	40

表－6 汚濁負荷量解析結果

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

4.4.9 合流改善効果の評価

- ・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出来る
- ・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出来る。

したがって、管きよ内ゲートを用いた RTC システムの適用により、管きよ内に下水を貯留することで、公共用水域に放流する汚泥負荷量の削減につながる事が確認された。

4.4.10 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、比較を行った結果、本システムは他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（表－7 参照）。

表－7 他施設との概算費用の比較

	RTC システム ＋ 管きよ内貯留 ゲート (1ヶ所)	雨水滞水池 (20,000m ³)
概算工事費(千円／年)	18,000	174,000
維持管理費(千円／年)	20,000	3,000
年間費用合計(千円／年)	38,000	177,000
削減負荷量(t／年)	40	92
負荷量を1t削減するために要する費用 (千円／t)	950	1,900
比 率	1	2

5. 技術資料の構成

第1章 概 論

第1節 目 的

第2節 適用範囲

第3節 用語の定義

第4節 リアルタイムコントロール (RTC)

第2章 リアルタイムコントロールシステムの導入計画

第1節 適用条件

第2節 計画手順

第3節 RTC システムの導入計画

第3章 システム設計要領

第1節 設計方針

第2節 設計手順

第3節 システム設計

第4節 制御機能

第5節 基本システムの構成

第4章 RTC システム仕様

第1節 RTC 制御設備

第2節 ゲート制御設備

第3節 計測設備

第5章 施設の施工

第1節 施工計画

第2節 安全管理計画

第3節 施工手順

第4節 施工方法

第5節 試 運 転

第6章 維持管理

第1節 概 要

第2節 システムの点検整備

資料編

資料1 ケーススタディ

資料2 要素技術

資料3 RTC システム盤概略外形図例

資料4 オリフィスの流量計算

資料5 RTC 制御の流れ

資料6 RTC 監視装置の画面例

資料7 問い合わせ先

6. 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。

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。

●この研究を行ったのは

研究第二部長

研究第二部総括主任研究員

研究第二部主任研究員

研究第二部研究員

研究第二部研究員

高橋 隆一

桐原 隆

土屋 玄

鎌田 浩三

中村 浩

●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長

研究第二部総括主任研究員

研究第二部主任研究員

研究第二部研究員

研究第二部研究員

高橋 隆一

桐原 隆

土屋 玄

鎌田 浩三

中村 浩