

合流式下水道改善対応用ゲート に関する研究

1. 研究の目的

汚水および雨水を同一の管きよで排除する合流式下水道は、早期の整備が可能であり経済的に有利であることから、古くから下水道の普及に取り組んできた多くの都市（全国192都市）で採用されている。この早期の整備が公衆衛生の向上、浸水防除等、生活文化の向上に寄与してきた。

しかし、合流式下水道は雨天時に未処理下水が自然吐き口や排水ポンプ場から公共用水域に排出されるという問題のため、公共用水域の水質悪化に影響を与えていると指摘されるようになった。

平成13年度、国、地方自治体および学識経験者からなる合流式下水道改善対策検討委員会で検討を行った結果、合流式下水道を採用している都市は早急に合流式下水道改善計画を策定し、排出されるBOD汚濁負荷量を分流式下水道と同程度以下にすること等の目標が示された。

未処理下水放流量削減に有効な手法として下水の「貯留」がある。しかし、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が高い等の問題がある。これらの問題を解決するためには既存設備を有効利用するということが重要である。下水管きよの流下能力は、計画降雨規模を下回る降雨に対しては余裕がある。この余裕を貯留分として利用することにより建設費等の問題を解決できる。

そこで本研究では既設管きよ内にゲートの設置に

ついて検討を行い、その効果を確認するとともに管きよ内貯留ゲートの概要・計画・設計・施工・維持管理する際の検討手順を示した技術資料を作成することを目的としている。

2. 研究体制

本研究は(財)下水道新技術推進機構、(株)クボタ、前澤工業(株)、丸島アクアシステム(株)の共同研究として行われた。

3. 研究内容

3.1 管きよ内貯留ゲート施設

管きよ内貯留ゲート施設は、原則として合流式下水道のポンプ排水区人孔に設置し、常時閉状態で遮集水量（1Q～3Q）のみ下部のオリフィス部より流下させ、管きよを貯留管のように利用するものである（図-1参照）。

人孔内に水位計を設置し水位が高いあるいは水位上昇速度が速い場合はゲート開け、貯留していた水を下流に流す。停電等の非常時にはカウンターウェイトでゲートを開ける装置を装備する。本ゲート施設は機側制御盤のみでなく、処理場・ポンプ場等の監視員が常駐している場所で監視ができるように電話回線を利用した遠方監視機能を装備する。また、必要であれば監視カメラなどを設置すると維持管理が容易となる。

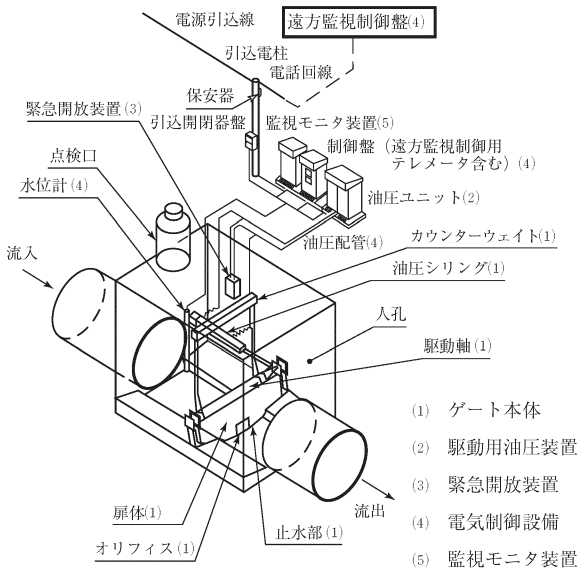


図-1 管きよ内貯留ゲート施設概念図

これら機能により、河川等の公共用水域への未処理下水の放流回数を削減することを目的とする施設である。本施設は、ゲート本体、駆動用油圧装置、緊急開放装置、電気制御設備、監視モニタ装置から構成されている。

3.2 施設の計画

3.2.1 計画の方針

計画の策定にあたっては、以下の点を考慮する。

- (1) 原則として合流式下水道のポンプ排水区を対象とする。
- (2) 未処理下水の放流回数の削減効果について検討する。
- (3) ゲート設置による浸水等の影響が出ないように検討を行う。
- (4) 雨水滞水池等との併用の可能性についても検討を行う

自然排水区での使用は特定の吐き口からの放流を助長する恐れがあるため、原則としてポンプ排水区での使用とし、削減効果のみでなく浸水等の影響を検討し、必要な場合は滞水池等との併用を検討し安全な使用法を検討する。

3.2.2 計画の手順

図-2 に計画の手順を示す。

- (1) 対象流域の特性の把握
対象流域の特性として、流域規模、浸水被害の発生状況、汚水量等について把握する。
- (2) 設置管きよおよび人孔の仮選定
設置対象管きよの仮選定にあたっては、管きよ口径、延長、土被り、管きよの勾配等を考慮する。

また、ゲートの設置人孔は、仮選定した接続している人孔の中から、図面上で構造、形状寸法等を確認する。

(3) 設置効果の確認

流出解析により、選定した人孔にゲートを設置した場合の、ゲート扉高による流域への浸水等の影響を検証し、ゲート高さを決定する。このゲート高さによる貯留量から、各候補地にゲートを設置した場合の汚濁負荷削減効果を確認し、効果が十分得られないと判断された場合、雨水滞水池等の併用についても検討する。

(4) 設置人孔の現地調査

雨水流出解析により設置人孔が決定したら、ゲート設計に必要な現地調査を行い、実際に設置可能かを調査する。なお、現地調査の結果、ゲート設置が困難な要件が発生した場合は、再度ゲート設置人孔の選定を行う。

(5) ゲート設置条件の決定

ゲート設計条件としては、計画貯留水位（ゲート扉高）、最大流量時でゲート閉時のゲート上下流水位およびゲート開時のゲート設置人孔内水位、ゲート下部オリフィス寸法、ゲート開放所要時間、ゲート開放条件としての水位上昇速度を考慮する。

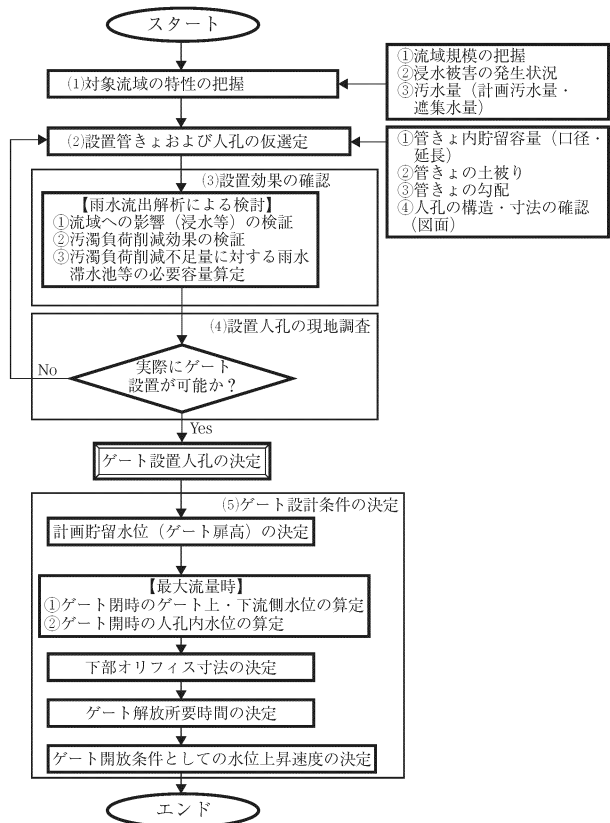


図-2 計画手順

3.3 施設の設計

3.3.1 機械設備の設計

本ゲート施設は、以下の各項を考慮して設計する。

- (1) 確実に開閉操作が行えて、全開および全閉の保持ができる構造とする。
- (2) 安全に対する信頼性が確保できるようにフェイルセーフ機構を装備する。
- (3) 予想される荷重に対して安全な構造とする。
- (4) 操作および維持管理が安全に行えるようにする。
- (5) 既設点検口より搬入可能な構造（分割等）とする。
- (6) 管きよ内は、強い腐食環境が予想されることから、全て耐食性の高い材料（SUS等）を使用する。

3.3.2 電気制御設備の設計

図-3に運転ブロックを示す。

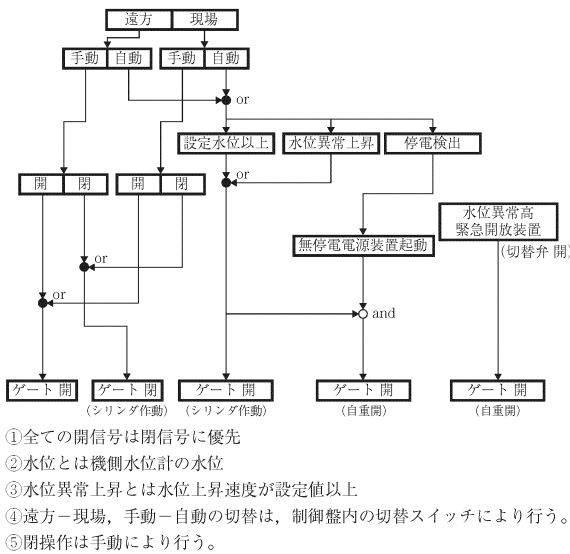


図-3 運転ブロック

運転操作は現場と遠方（処理場等）の両方で行えるものとする。制御盤に操作場所切替スイッチ（現場-遠方）および運転モード切替スイッチ（手動-自動）を設ける。

通常は、水位計による自動運転を行う。管きよ内の水位が設定水位以上になれば、ゲートを油圧シリンダにより開操作する。また、水位の上昇速度が設定値以上でも開操作する。停電時等の非常時には、カウンターウェイトにて開放する。

ゲートの閉操作は、水位回復等による自動操作は

行わず、人が状況を確認して閉操作を行う。

交通の激しい公道下の人孔内に容易に入れないこともあり、ゲートの運転状況や雨天時下水の流出状況を把握するために、モニタおよび監視カメラなどの監視装置を設置すると維持管理が容易となる。

3.4 施設の施工と維持管理

本施設は管きよ内に設置されるため、作業前に必ず酸素濃度および硫化水素濃度の測定を行い、危険状態でないことを確認する。また、人孔内に換気装置を設置し、十分な換気を行った後に、安全を確認してから作業を行う。

また、維持管理においては日常、月および年点検を行う。特に月1回は動作確認を行い、併せてきよう雑物を除去する。

3.5 管きよ内貯留ゲート設置効果の検証

流出解析により本施設の設置効果を検証する場合は、汚濁負荷削減効果だけでなく流域への影響（浸水等）が出ないゲート高さ（開放水深）を検討することが重要である。本研究では、実際の流域において流域への影響と設置効果の検証を市販の負荷流出解析ソフトウェア（InfoWorks（HydroWorks））を用いて行ったので以下に述べる。

3.5.1 対象流域への影響の検討

(1) 対象流域の選定

- ① 合流ポンプ排水区域であること。
- ② ゲートによる影響を把握しやすいように、流域面積が大きくなく、他の流域とのやりとりができるだけ少ない流域であること。
- ③ ゲートの設置可能な大きさを有する人孔が流域内にあること。
- ④ 水質解析を行うため、水質測定地点（処理場）が近傍にあること。

これらを条件に流域面積約300ha、管渠延長約89,000mのA流域を選定した。

(2) 対象管渠網データ

本検討では、枝線まで組み込んだモデルを用いた。主要なデータは、以下に示すとおりである。

- ① 人孔に関するデータ：人孔番号、座標（X, Y）、地盤高等
- ② 管渠に関するデータ：人孔番号（上流側、下流側）、延長、管形状、管径、粗度係数、管底高（上流側、下流側）等
- ③ 土地利用に関するデータ：人孔番号、集水面

積, 人口密度, 流出係数等

④ ポンプ場に関するデータ: ポンプ能力, ポンプ台数, on-off水位等

(3) 対象降雨

対象降雨は, 対象流域の計画降雨である50mm/hr相当とし, 前方集中型, 中央集中型, 後方集中型の3種類のハイトグラフを作成した。

(4) 流出係数

流出係数は, 対象流域で算出された現況における流出係数(最大値)を使用した(C=70~75%)。

(5) 汚水量

汚水量は, 当該流域の単位汚水量(時間最大)を流入変動なしで与えた(0.0020~0.0024m³/s/ha)。

(6) ゲート条件

設置位置はポンプ場流入直前の特殊人孔とし, ゲート幅は管径と同じ4m, 開閉速度は, 2m/分(=0.033m/s)とする(図-4参照)。

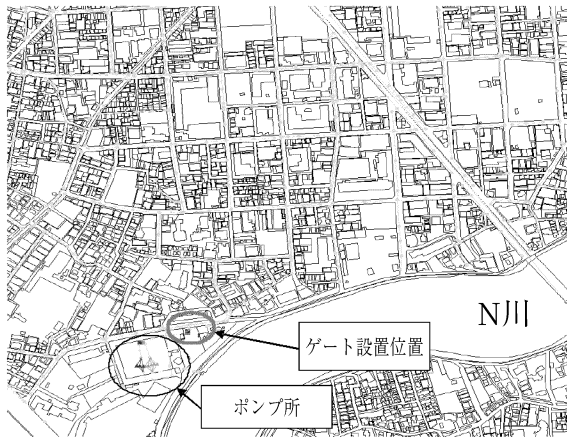


図-4 ゲート設置位置

(7) 解析結果

対象流域での危険水位(GL-80cm)を超える箇所がゲートを設置しない場合から増加しないことを判断条件に開放水深を検討した。解析結果を表-1に示す。

本流域では降雨強度50mm/hrにおいて最も危険と考えられる中央集中型においても, 「ゲートなし」に対してGL-80cmを超える人孔数が増加しない開放水深である2.5mを設計に用いるのが妥当である。

図-5にゲート開放水深を2.5mとした場合のゲート開放直前・直後の管きよ内水位状況を示す(中央集中型)。

また, 設定した開放水深とできるだけ近いゲート高さを決め, ゲートが開放しなかった場合の流域への影響についても検討しておく必要がある。

表-1 ゲート設置による流域への影響

降雨波形	初期開度	開放水位(m)	「ゲートなし」に対する上昇水位(m)	GL-80cm以上の箇所数(ヶ所)	GL-80cm以上の増加箇所数(ヶ所)	総人孔数(ヶ所)
前方集中	10cm	ゲートなし	-	186	-	3,239
		5.0m	3.84	186	0	
		4.0m	0.92	186	0	
		3.0m	0.29	186	0	
		2.5m	0.16	186	0	
		2.0m	0.14	186	0	
中央集中	10cm	ゲートなし	-	257	-	3,239
		5.0m	2.84	344	87	
		4.0m	2.32	275	18	
		3.0m	0.96	258	1	
		2.5m	0.48	257	0	
		2.0m	0.21	257	0	
後方集中	10cm	ゲートなし	-	261	-	3,239
		5.0m	2.40	363	102	
		4.0m	1.27	265	4	
		3.0m	0.50	261	0	
		2.5m	0.36	261	0	
		2.0m	0.48	261	0	

対象降雨 中央集中型
 降雨強度 50mm/hr
 ゲート開放推進 2.5m
 上段 ゲート開放直前(降り始めから63分後)
 下段 ゲート開放直後(降り始めから64分後)

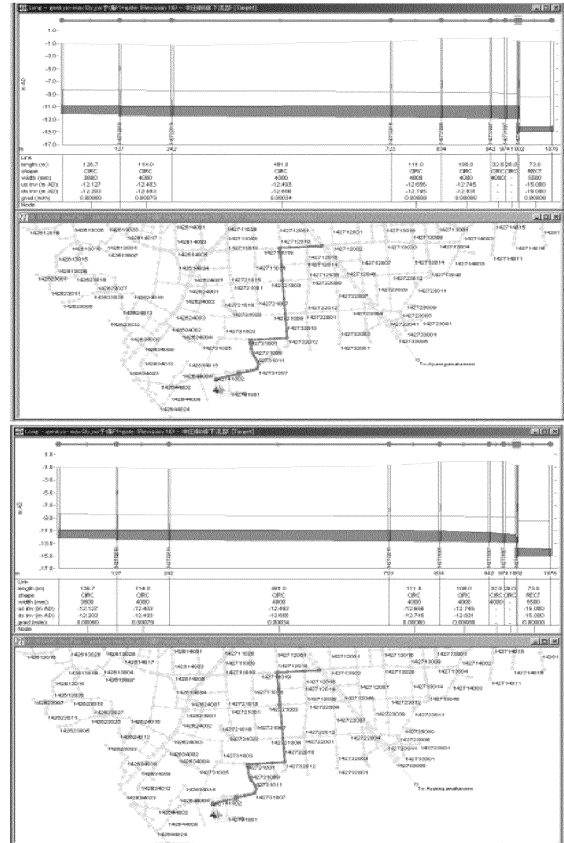


図-5 管きよ内水位状況

3.5.2 管きよ内貯留ゲート施設導入効果

本設備は, 下水を貯留して公共用水域への未処理放流量を減らすことにより汚濁負荷削減を図ることが目的である。そこで地表面汚濁物質掃流モデル, 雨水ますフラッシングモデル, 管渠内水質計算モデルの3つのモデルから成り立っている汚濁解析モデルにより, その導入効果を検証した。汚濁負荷流出の概念を図-6に示す。

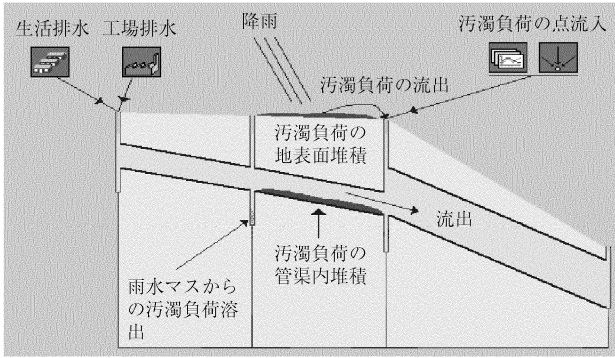


図-6 汚濁負荷流出概念図

表-2 検討対象降雨

降雨強度 (mm/hr)	平均 降雨強度 (mm/hr)	代表降雨			
		降雨強度	降雨波形	降雨時間	降雨ピッチ
~1.9	0.34	1mm/hr	中央集中	3時間	5分
2.0~4.9	3.05	3mm/hr	中央集中	3時間	5分
5.0~9.9	6.85	7mm/hr	中央集中	3時間	5分
10.0~14.9	12.11	12mm/hr	中央集中	3時間	5分
15.0~19.9	17.69	18mm/hr	中央集中	3時間	5分
20.0~24.9	22.86	23mm/hr	中央集中	3時間	5分
25.0~	36.52	37mm/hr	中央集中	3時間	5分

(1) 対象降雨の設定

対象流域での発生降雨のほとんどが10mm/hr未満の降雨で占められている。検討対象降雨を表-2に示す。

降雨規模は、降雨強度別の実績平均降雨強度より、7段階で定める。なお、最小降雨規模は1mm/hrとし、降雨波形は、一般的に用いられる中央集中型とした。

(2) 単一降雨での汚濁負荷量削減効果予測

モデルの同定を行い、解析を行った。

単一降雨での負荷削減効果を表-3に示す。

7mm/hr以下では、各項目ともに90%以上汚濁負荷を削減できることがわかった。

(3) 年間での汚濁負荷量削減効果予測

まず、対象流域の規模別降雨発生頻度を設定し、単一降雨での放流負荷量に乗じて年間における放流汚濁負荷量を検証する。

今回の対象流域では7mm/h未満の雨はほとんど汚濁負荷が流出せず、年間での汚濁負荷量削減率は各項目とも50%を超える値を得られた。これにより、この管きよ内貯留ゲートシステムは放流汚濁負荷量の削減に大きな効果があることがわかった(表-4)。

(4) 費用対効果の検証

本施設は放流負荷量の削減に大きな効果があるこ

表-3 単一降雨での負荷削減効果

項目	単位	ゲート	降雨規模 (mm/h)						
			1	3	7	12	18	23	37
BOD	kg/日	有	0	0	1.6	97	132	153	201
		無	0	28	35	94	124	146	192
	削減率 (%)	-	100	95	-	-	-	-	-
COD	kg/日	有	0	0	1.9	79	110	120	151
		無	0	28	37	79	96	108	136
	削減率 (%)	-	100	95	0	-	-	-	-
SS	kg/日	有	0	0	0.4	86	117	137	181
		無	0	24	31	84	111	132	176
	削減率 (%)	-	100	99	-	-	-	-	-
T-N	kg/日	有	0	0	0.3	17	23	27	35
		無	0	4.8	6	16	22	26	34
	削減率 (%)	-	100	95	-	-	-	-	-
T-P	kg/日	有	0	0	0.1	3	4.7	5.4	7.1
		無	0	1	1.3	3	4.4	5.1	6.7
	削減率 (%)	-	100	92	0	-	-	-	-

表-4 年間での負荷削減効果

項目	単位	ゲート 有無	合計	負荷削減効果	
				削減量	削減率
BOD	kg/年	有	1,273.7	1,477.2	54%
		無	2,750.9		
COD	kg/年	有	1,029.2	1,491.0	59%
		無	2,520.2		
SS	kg/年	有	1,117.5	1,309.8	54%
		無	2,427.3		
T-N	kg/年	有	223.8	252.0	53%
		無	475.8		
T-P	kg/年	有	45.8	52.5	53%
		無	98.3		
降雨回数	回/年	-	199.8		

とがわかったが、目的で述べたように、貯留管等の貯留設備に比べて設置費用が安価である必要がある。そこで、本施設と同等の効果を得るために必要な貯留管の費用の削減効果をもっとも大きかった7mm/h降雨で算出し、本施設の設置費用と比較した。

① 貯留管必要容量

図-7より、ゲートなしの場合に、公共用水域に排出される水量は、約1,800m³である。一方、ゲート有りの場合には、約370 m³が排出される。この差分である1,430 m³が必要貯留量となる。

② 費用算出と比較

貯留管の管径を、2,000mmと想定した場合、必要管渠延長は、以下のとおりとなる。

$$\text{必要管渠延長} = 1430 \div (\pi \times 12) = 455\text{m}$$

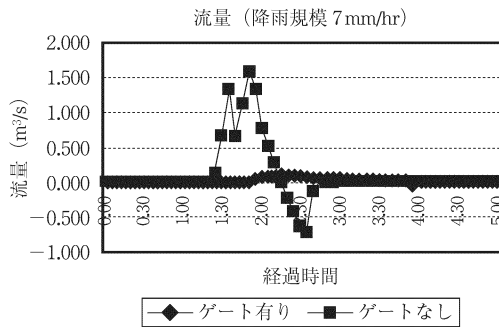


図-7 公共用水域への流出量

この必要管渠延長に施工単価（対象流域での実績）を乗じて貯留管の費用を算出すると、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \text{貯留管建設費用} &= 164.1 \text{ (万円/m)} \times 455 \text{ (m)} \\ &\approx 7.5 \text{ 億円} \end{aligned}$$

本施設については1~2億円程度見込めば設置できるため、費用対効果も高いといえる。

(5) 分流式並への対応

現在、長期的な合流式下水道の改善目標として「分流式並」が挙げられている。

「合流式下水道改善対策指針と解説-2002-年版」【社日本下水道協会】P66に分流式下水道並みの汚濁負荷量削減とは、雨天時BOD負荷量削減率がおおむね65%程度以上に相当すると記述されている。分流式並はそれぞれの流域において違うが、ここではこの値を用い、分流式並にするためには本施設にどの程度の補完設備を設置すれば良いか検討する。

1回で雨水滞水池に流入させる最大量は、7mm/hr降雨と想定した場合、先の検討によりゲート設置により1,430 m³の貯留施設に相当し、BODが54%程度削減されると試算されていることから、残り11%分は、 $1,430 \times (11/54) = 291 \approx 300 \text{ m}^3$ となる。

よって、本施設と300 m³の雨水滞水池設置により、分流式並に対応することが可能であることが明らかとなった。

3.6 管きょ内貯留ゲート施設の応用例

全国の大都市に本施設のプレゼンテーションおよ

びヒアリングした結果、本施設の効果を認識していただけた。しかしながら管きょ内に流下阻害になる施設を入れることに関しては浸水という面から抵抗が大きかった。

そこで、費用対効果は落ちるが、安全性を高めた応用例を検討した。

・雨水滞水池との併用

ゲートが万が一開放しなくても併設した滞水池に汚水を流入させることにより安全性を確保する。

この併用により滞水池容量を減らし、コストダウンを図ることができる。

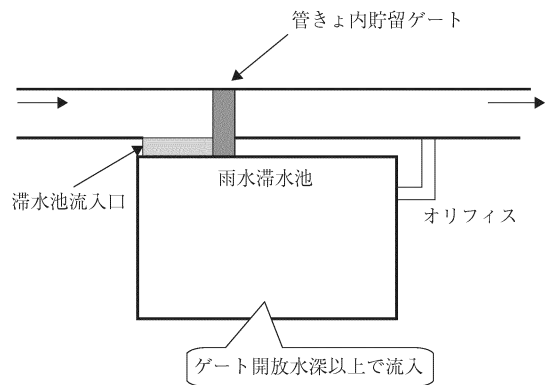


図-8 雨水滞水池との併用

このほかにもバイパス管の設置も考えられる。また、二条化されている管きょに設置することも安全な適用方法である。

4. まとめ

本研究は緊急を要する合流式下水道改善対策に対し、早急かつ経済的に対応できる技術開発として取り組んだものである。

今回の研究により、管きょ内貯留ゲート施設は費用対効果が非常に高い合流改善対策技術であることがわかった。

今後は流域に設置された水位計、レーダー雨量計、地上雨量計を利用し本ゲート制御するリアルタイムコントロールシステムを確立し、本施設の効果、安全性をより高めていく必要があると考える。

●この研究を行ったのは

- | | |
|------------|--------|
| 研究第二部長 | 高相 恒人 |
| 研究第二部主任研究員 | 大久保 榮一 |
| 研究第二部研究員 | 岸田 裕 |
| 研究第二部研究員 | 城田 猛 |

●この研究に関するお問い合わせは

- | | |
|------------|-------|
| 研究第二部長 | 高相 恒人 |
| 研究第二部主任研究員 | 小枝 正人 |
| 研究第二部研究員 | 鎌田 浩三 |
| 研究第二部研究員 | 城田 猛 |