

超過降雨を対象とした浸水対策計画

日本水工設計株式会社 東京支社 ○山賀 秀昭
一松 雄太

1. はじめに

近年のゲリラ的大規模降雨により、多くの都市において浸水被害が発生している。これらの降雨の中には従来下水道が対象としてきた計画降雨を上回るものも多くあり、これらの大規模降雨（超過降雨）に対する浸水対策が求められている。

本検討の対象であるA市B排水区（計画面積 657ha，うち合流約 290ha）においても下水道計画の整備水準を超える規模の降雨が年々増加傾向にあり、平成 16 年 10 月の台風 22 号では、市内の広範囲で時間降雨量約 60mm を越える降雨により浸水家屋 1,000 棟を超える甚大な都市型水害が発生し、市民生活に大きな影響をもたらした。

このような状況から、超過降雨時の都市機能の安全確保や浸水被害の再発防止を目的として下水道総合浸水対策緊急事業計画の立案を行った。

計画策定にあたっては、対象とする超過降雨を設定し、既存施設の排水能力の把握、超過降雨時の浸水要因の分析および有効な浸水対策について検討した。

具体的な浸水対策としては、事業主体が行う公助対策（貯留管や雨水調整池、校庭・公園貯留等のハード対策およびハザードマップや情報公開等のソフト対策）と住民協力のもと行う自助対策（土のう、止水板および各戸貯留浸透等）を併用した総合的な対策メニューについて検討した。

また、浸水の傾向として、地形的な要因による浸水（低地区への流れ込みなど）も想定されることや、ある程度の浸水を許容した上で、浸水被害の最小化を図るために、従来の 1 次元不定流解析（管渠のみの流出解析モデル）ではなく、溢水後の挙動を含めたシミュレーションが可能である 2 次元不定流解析（地表面氾濫解析モデル）を用いて浸水範囲の移動や浸水深の変動を考慮した検討を行った。

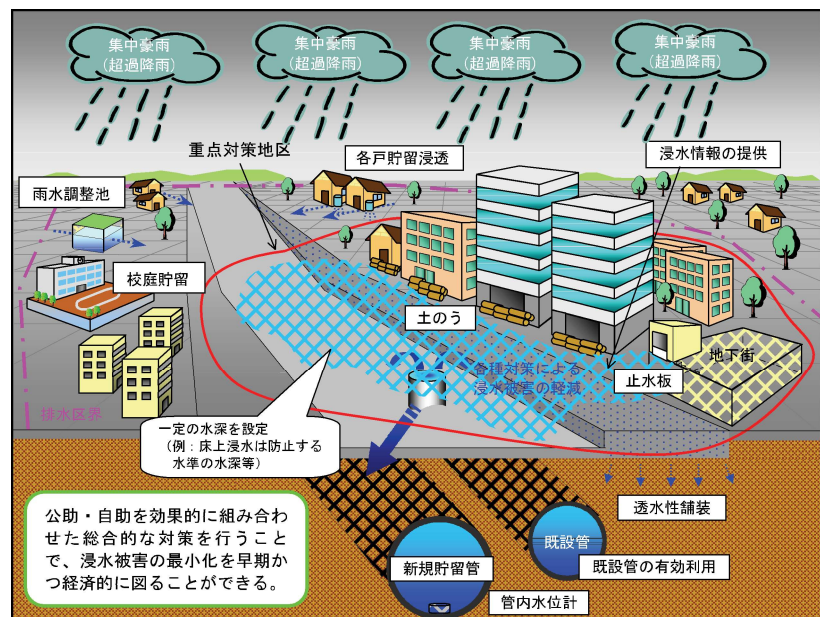


図-1 下水道総合浸水対策緊急計画イメージ(公助・自助の総合対策)

2. 調査地区の概要

(1) 地形および下水道施設

検討対象区域の地形状況を図－2 に示す。

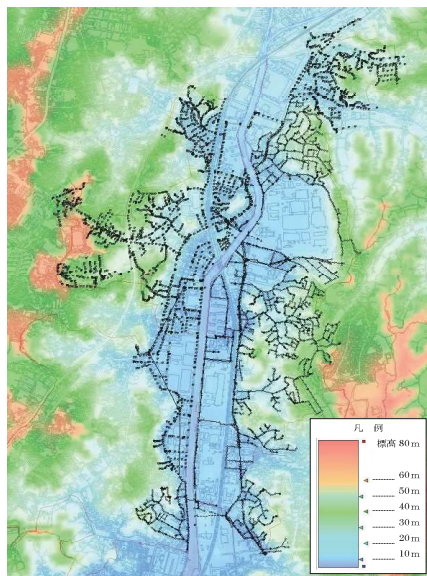
流域の地形的特徴としては、区域の中央を流れる河川に向かって傾斜し、各所に低地区が点在している。また、主な土地利用用途は、河川沿いに商業・工業地帯が形成されており、周囲に住居が立地して複合的な都市形態を形成している。

(2) 既存排水施設の状況

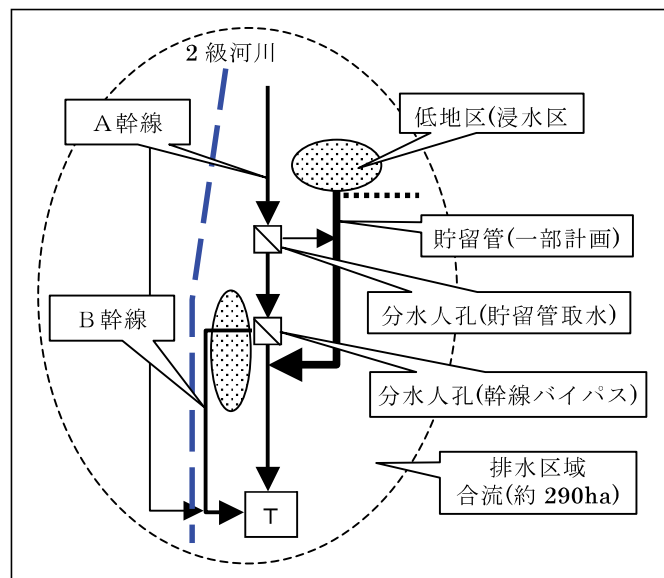
検討対象区域の既存排水施設状況を図－3 に示す。

下水道施設は河川に沿う形で流下管渠があり、幹線管渠能力を補完する形で貯留管や幹線バイパス管（B 幹線）などが布設されている。

また、雨水の流達時間としては、貯留管への取水地点までの流達時間が約 30 分、流末部までの流達時間が約 60 分となっている。



図－2 検討区域の地形状況



図－3 検討区域の既存排水施設の状況

(3) 下水道整備水準

調査対象区域は、昭和 44 年より下水道整備に着手し、当初の下水道施設の整備（設計）水準は、流下管渠にて 1/5 確率年降雨（約 50 mm/hr）に対応するものであった。しかし、近年の浸水被害の発生を受け、幹線能力は貯留施設にて 1/10 確率年降雨（約 60 mm/hr）への機能アップを計画しており、1/10 確率年降雨を対象とした貯留施設の整備は現在施工中である。

(4) 浸水被害実績

本地区は、近年 10 年間に於いて 4 回（降雨回数）の浸水実績があり、延べ浸水被害戸数が 169 戸、延べ浸水面積は約 3.4ha である。なお、これは下水道総合浸水対策緊急事業採択要件の(2)・イ（都市機能集積地区、過去 10 年で 3 回以上の浸水実績、延べ浸水面積 1.5ha 以上）に該当する。

浸水が発生した4降雨はいずれも総降雨量が100mm程度以上であり、その内、60分間最大降雨量が50mm程度超のものが3降雨を占めていた。

3. 計画目標の設定

(1) 超過降雨

浸水対策の対象とする超過降雨は、近年最も大きな浸水被害を引き起こした実績降雨を用いるものとし、この降雨の最も大きなピーク部分（2時間分を抽出）をシミュレーションの対象とした。

この降雨の特徴としては総降雨量が多だけでなく、最下流の下水到達時間相当の60分間最大降雨量も75.5mmと非常に大きな降雨であった。

(2) 下水道計画降雨と超過降雨

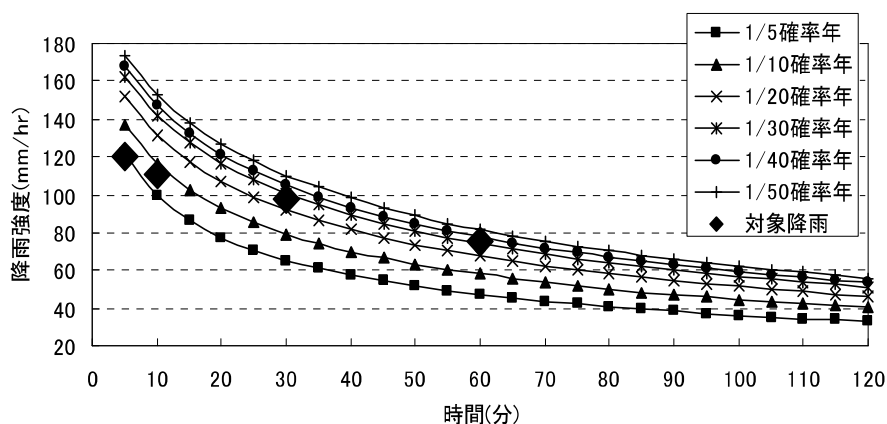
下水道計画降雨と超過降雨の規模を比較した場合、超過降雨の60分ピッチ降雨強度は1/31確率年降雨に相当する。（表－1、図－4参照）

そのため、超過降雨時において、幹線系統での到達時間を概ね60分と考えると、1/5確率年や1/10確率年を整備水準とする下水道施設のみでは流下能力不足となることが容易に推察される。

また、枝線管渠においては、到達時間を5分～10分と考えると、対象降雨の5分ピッチ降雨強度は1/5確率年降雨程度、10分ピッチ降雨強度が1/10確率年降雨程度にあたるため、1/5確率年降雨の整備が完了していない路線では流下能力不足となることが推察される。

表－1 下水道計画降雨と今回対象降雨の比較

降雨	確率年	5分ピッチ 降雨強度 (mm/hr)	10分ピッチ 降雨強度 (mm/hr)	30分ピッチ 降雨強度 (mm/hr)	60分ピッチ 降雨強度 (mm/hr)
下水道計画降雨	1/5確率年	122	100	65	47
	1/10確率年	137	116	79	58
	1/20確率年	152	131	92	67
	1/30確率年	162	142	101	74
	1/40確率年	168	147	105	78
	1/50確率年	173	153	110	81
対象降雨	1/31確率年相当	120	111	98	75.5



図－4 下水道計画降雨と今回対象降雨の比較

(3) 浸水被害軽減目標の設定と対策の役割

本検討では、整備水準降雨に対する計画的対応（ハード対策）と超過降雨に対する緊急的対応（ソフト対策）の目標を①～③のように設定した。

①生命の保護の観点に基づく施設

- ・地下街、地下室への浸水防止

②都市機能の確保の観点に基づく施設

- ・主要幹線地区にあっては交通の支障となる道路冠水の防止（機能保全水深 15cm）
- ・防災関連施設にあっては床上浸水の防止（機能保全水深 45cm）

③個人財産の保護の観点に基づく施設

- ・家屋の床上浸水の防止（機能保全水深 45cm）

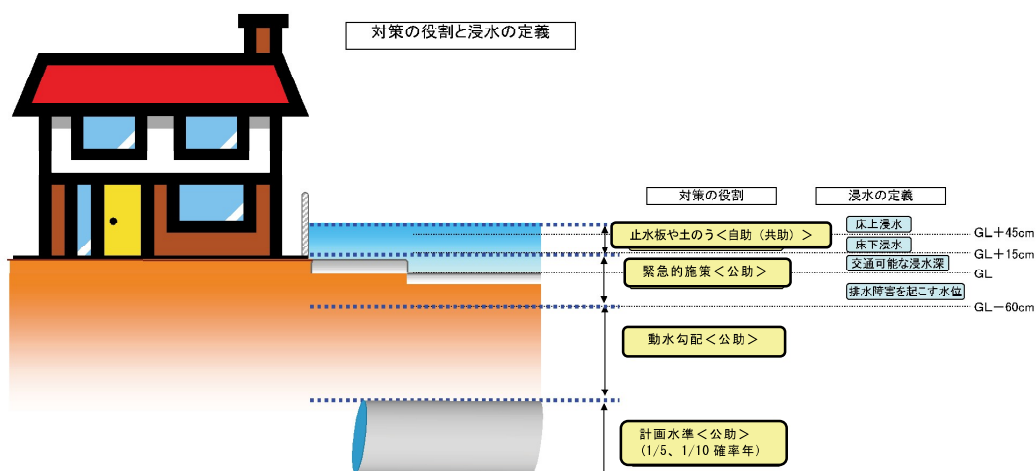
さらに、各目標を達成するための機能保全水深と、公助・自助（共助）それぞれの対策の役割及び浸水の定義を④のように設定した

④対策の役割と浸水の定義

- ・ハード対策による公助の役割：流下管渠 1/5 確率年降雨対応
貯留施設 1/10 確率年降雨対応
- ・ハード対策による自助（共助）の役割：超過降雨時の止水板による床上浸水の防止
- ・ソフト対策による役割：超過降雨時の自助（共助）促進
- ・浸水の定義：

浸水のレベル	浸水深
床上浸水	$GL+45\text{cm} \leq \text{浸水深}$
床下浸水	$GL+15\text{cm} \leq \text{浸水深} < GL+45\text{cm}$
交通可能な浸水※	$GL \leq \text{浸水深} < GL+15\text{cm}$
排水障害を起こす水位	$GL-60\text{cm} \leq \text{浸水深}$

※「下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）」によれば、「乗物の移動限界はおおよそ 20cm である。」とされているが、ここでは、道路構造令による歩車道境界ブロックの高さ 15cm 未満を交通可能な浸水深とした。



図－5 対策の役割と浸水の定義

4. 対策検討

(1) 浸水要因の分析

現況管網モデルに超過降雨を降らせてシミュレーションを行った結果、A幹線上流部およびB幹線において動水位の上昇が顕著であった。この時、A幹線下流部とB幹線の動水位に大きな差があり、既設の幹線バイパス分水人孔は構造上からもB幹線へ多くの水量が流れやすい状況であった。

時系列的に分析すると、まず最初に幹線部の能力不足からの背水影響によって周辺管渠より溢水が起こり、地表面流れにより低地区に水が流れ込むことにより大きな浸水が発生していた。また、貯留管取水地点では流量ピーク時に、すでに貯留管が満水になっており、その貯留効果が十分に発揮できていないことが浸水発生の大きな要因と考えられる。

(2) 対策検討

浸水対策としては、下水道の整備水準である 1/10 確率年降雨を対象としたハード整備を進めるとともに、超過降雨時においても極力浸水被害が軽減できるように対応を図ることとし、対策必要箇所や施設規模の設定にあたっては、シミュレーションモデルを活用して既存施設の最大能力を把握し、浸水対策に効果的な対策地点、効率的な施設規模となるよう留意した。

なお、超過降雨を対象とした浸水対策を検討する場合、整備水準に対する超過降雨の発生頻度を考慮すると、新規の対策施設を設置することは下水道事業として過大投資となる恐れがあることから、整備水準施設の効率的な利用を検討の主目的とした。

主な対策を以下に示す。

➤ 1/10 確率年降雨を対象としたハード整備

段階的機能アップ・・・第1段階：1/5 確率年降雨を対象とした増補管、バイパス管計画

→シミュレーションによる溢水地点・溢水量を基に計画立案

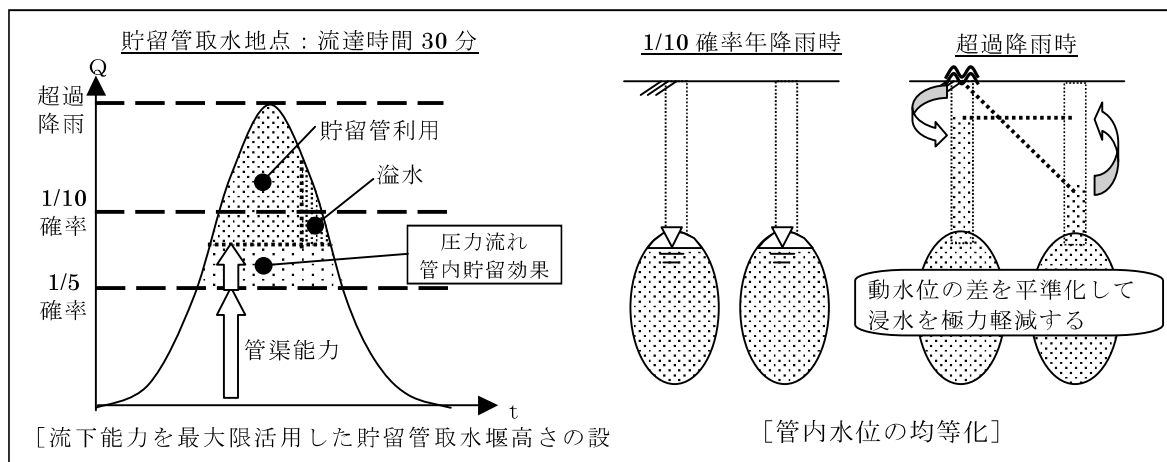
第2段階：1/10 確率年降雨を対象とした貯留管、雨水調整池、枝線機能アップ（インラインタンク）

→合理式およびシミュレーションによる能力不足や溢水状況・溢水量を基に計画立案

→枝線機能アップは、1/5 確率年流量のみ流下させるインラインタンクを設置

➤ 流下能力を最大限活用した貯留管取水堰高さの設定：流下管渠の圧力状態における圧力流れや管内貯留効果を利用し、貯留開始水位を引き上げ、溢水量の削減を図る。（図-6 左参照）

➤ 管内水位の均等化：既設の幹線バイパス分水人孔を改良し、分水後の幹線水位が均等となるようにして水位上昇を緩和する。（図-6 右参照）

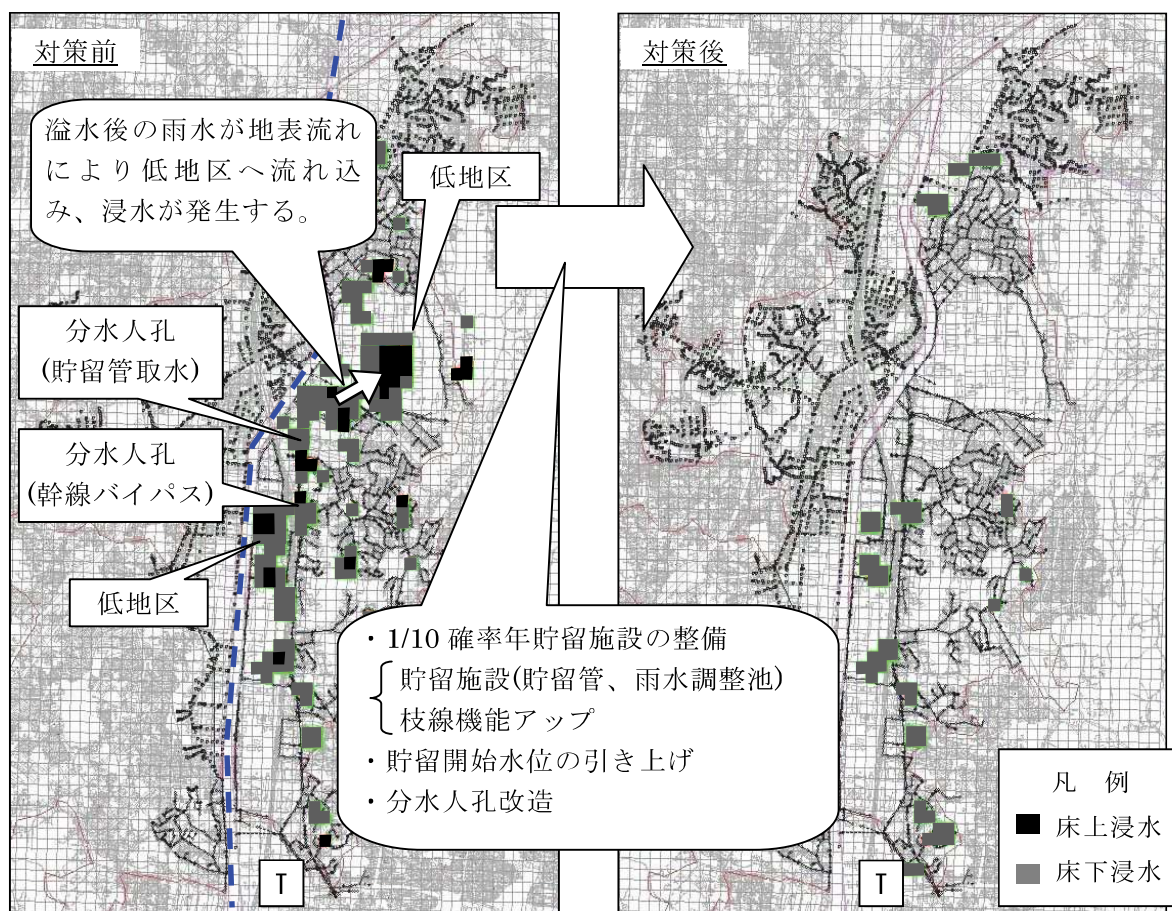


図－6 超過降雨対策施設の概要

(3) 対策効果の検証

上記対策について実施後のシミュレーションを行った結果、低地区浸水を引き起こす溢水を防止し、対策前と比較して浸水範囲を大幅に削減することが分かった。(図－7 参照)

特に貯留施設の集水エリア及び幹線バイパス管の周辺において浸水解消・軽減が顕著であり、対策実施効果が十分に発揮されていることが伺える。



図－7 本検討対策実施後のシミュレーション結果

6. まとめ

本検討では、2次元不定流解析を行うことにより、従来の1次元不定流解析では詳細な把握が不十分であった浸水要因（地表面流れによる低地区浸水など）についての的確な再現が図れ、浸水リスクを勘案した効率的な対策を検討することができた。

また、多くの既存の下水道施設は、計画以上の降雨に対するポテンシャルを有しているものと考えられることから、より経済的・効率的な超過降雨対策の一手法として今回の検討が活かされるものとする。

超過降雨対策で使用した2次元不定流解析では、効率的なハード対策の策定だけでなく、シミュレーション結果を内水浸水想定区域図や内水ハザードマップの基礎資料として浸水情報の提供や対策支援等のソフト対策の充実を図ることに適用が可能である。

今後の課題としては、対象とする降雨が下水道計画降雨を超えるものであることから、従来の下水道整備の考え方だけで対応することが困難であり、下水道視点の対策（下水道施設としてのハード対策、止水板等のソフト対策）のみならず、河川や道路、民間施設との一体的な整備が重要であると考えられる。

今後は次に示すような下水道と他事業が総合的に連携した雨水対策も視野に入れ、具体化していくことが効果的な総合浸水対策となるものと考えられる。

- ・ 公園貯留や学校貯留、浸透性舗装
- ・ 民間施設での雨水流出抑制施設の設置
- ・ 緑地保全や屋上緑化、田んぼ貯留
- ・ 河川の洪水調節施設と下水道の雨水貯留施設のネットワーク化

浸水対策と合流改善を併用した雨水調整池の設計

中日本建設コンサルタント（株） 中島 丈晴

1. はじめに

近年、計画規模を上回る豪雨や局所的集中豪雨に伴う浸水被害が発生していることから、雨水排水施設の整備・見直しによる浸水対策が緊急課題となっている。一方、合流式下水道で整備している地域では、初期降雨時に地表面や管渠内に堆積した汚濁物質が未処理で公共用水域に放流される越流水（CSO）問題が発生しており、汚濁負荷や夾雑物の削減による合流改善が急務である。

A市においては、50mm/hr降雨（確率年：W=1/5）に対応した雨水排水施設の整備を進めていたが、広い範囲で浸水被害が発生していることから、現在では60mm/hr降雨（確率年：W=1/10）を対象とした施設整備への変更を図っている。また、合流改善としては遮集量の増加や表1に示すモデル地区で検証したように、汚濁負荷量の削減効果が分流式並みに期待できる2mm/hr相当の雨水調整池を優先的に整備している。今回、コスト縮減と効率的な運用を目的とした雨水調整池の詳細設計について報告するものである。

表1 A市のモデル地区におけるBOD総放流負荷量

単位: kg/ha・年

		晴天時	雨天時			合計	削減率※ (%)
			雨水吐	処理場	計		
合流式	現状（貯留なし）	260	299	57	356	616 (－)	86.7
	2mm/hr降雨を貯留	261	135	57	192	453 (-27%)	90.2
分 流 式		292（污水管）＋128（雨水管）				420 (-32%)	91.0

※ 削減率は、BOD総発生負荷量（4,643kg/ha・年）に対する除去率の割合である。

2. 施設概要

合流式下水道区域であるB排水区は、60mm/hr（排水量：33.445m³/sec）対応の整備を目指している。

今回、図1に示すとおり、50mm/hrまでの雨水は既設Bポンプ所で排水可能なため、50mm/hrを超えた雨水（以下、浸水対策水と呼ぶ）を貯留させることを目的とし、Bポンプ所に隣接してB雨水調整池（有効容量：8,000m³）を建設する。

また、調整池の貯留量に余裕がある時には合流改善として初期降雨（2mm/hr：4,800m³以下、合流改善水と呼ぶ）を滞水する。

降雨終了後は、B雨水調整池内に設置した排水ポンプによりB川（浸水対策時）とC処理場（合流改善時）へ排水する。

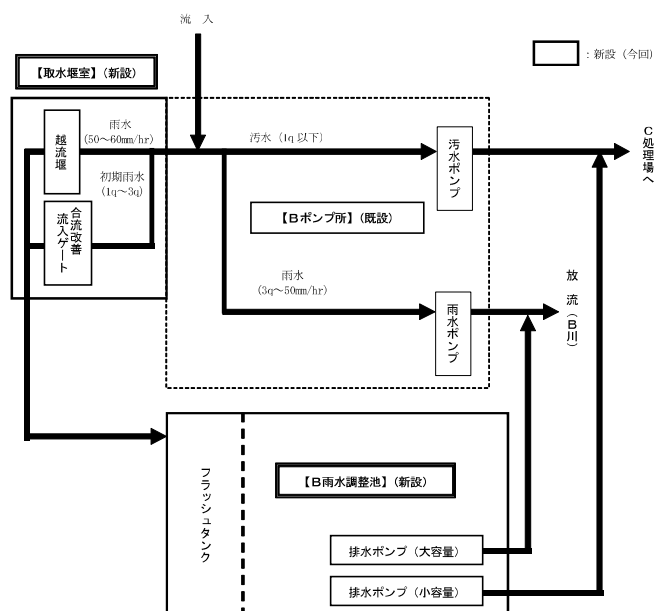


図1 概略フロー

取水堰室の構造は、図2に示すとおりであり、浸水対策水は50mm/hr以上の降雨を流入させることから、越流堰は50mm/hrの流入水位に相当する高さに設けた。また、合流改善水は流入水位が低いことから底部に流入用の開口を設け、かつ、調整池の滞水量を制御できるように合流改善流入ゲートを設置した。

B雨水調整池の構造は、図3に示すように、水位関係から地下構造物とし、調整池内はフラッシュタンクと貯留タンクに分かれている。フラッシュタンクは、調整池への流入位置に設けて、貯留タンク池底のフラッシングを流入水で行うようにした。また、フラッシングの必要水量が貯留した後に貯留タンクに流入するように調整池内に越流堰を設けるようにした。貯留タンクの排水ポンプ設置部は集水が容易となるようにピット構造とし、排水ポンプ底部は予旋回槽として排水後は極力ドライ状態にして腐水による臭気及びユスリカ等の発生を抑制するようにした。

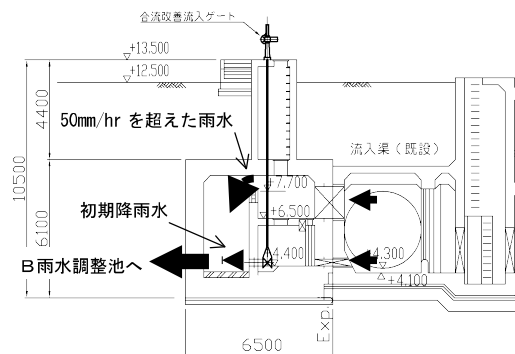


図2 取水堰室断面図

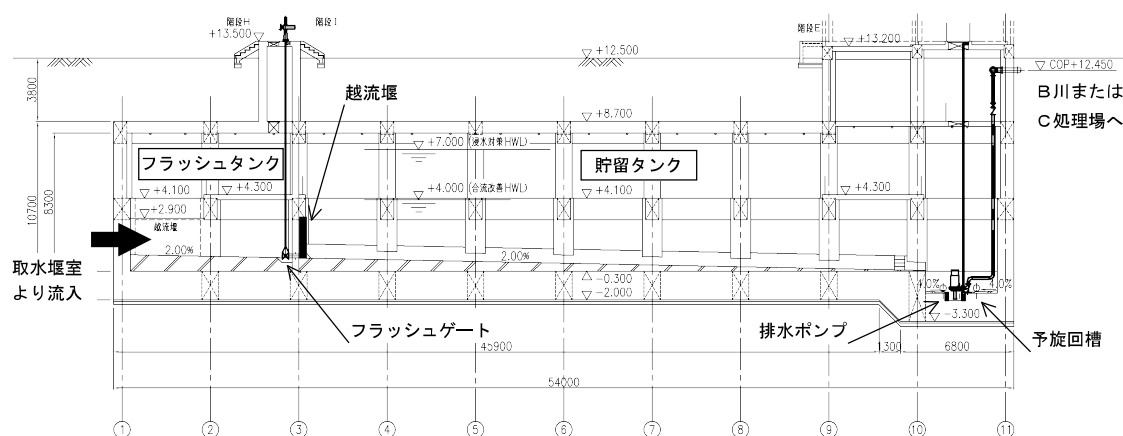


図3 B雨水調整池断面図

3. 設計課題

本設計における課題は、以下のとおりである。

- (1) 雨水調整池は浸水対策と合流改善を目的としており、年間を通じて効率的な運用を図る必要がある。
- (2) 雨水調整池に貯留した浸水対策水は、排水ポンプによりB川へ未処理放流するため汚濁負荷量の低減を図る必要がある。
- (3) 降雨終了後の池底フラッシュは池底面積が広いため、効率的かつ、低コストで行う必要がある。

4. 運用方法

合流改善は年間を通じて積極的に行うことから頻度は高いが、浸水対策は既設Bポンプ所で50mm/hr降雨までは排水可能であることから、浸水対策としてB雨水調整池を利用する頻度は少ないと想定される。本来、併用する施設の場合には、浸水対策(8,000m³)と合流改善(4,800m³)を合わせた容量(12,800m³)の調整池となる。B雨水調整池は施工ヤードの制約及び建設費の増大を考慮して、浸水対策の必要貯留量で浸水対策と合流改善を併用して運用することにした。

B雨水調整池の運用方法は、出水期(4月～10月の7ヶ月間)と渇水期(11月～3月の5ヶ月間)で運転を使い分けるようにし、浸水対策と合流改善の機能をシンプルかつ最大限に利用できるものとした。具体的には、表2の運転フローに示すとおりであり、調整池水位による合流改善用流入ゲートの開閉操作により出水期と渇水期で調整池の滞水量(合流改善)を制御した方法であり、出水期は調整池最大貯留量(施設構造容量)と浸水対策水必要貯留量の差分量、渇水期は50mm/hr以上の降雨は想定しないことから高汚濁負荷の初期降雨について滞水する。

表2 B雨水調整池の運転フロー

	運転フロー	【晴天時】	Bポンプ所污水ポンプによりC処理場へ送水する。
		【初期降雨時】	残貯留量8,000m ³ まで雨水調整池に滞水し、合流改善用流入ゲートを閉じる。
		【降雨時】	合流改善用流入ゲートを閉のままBポンプ所の雨水ポンプによりB川へ排水する。
		【洪水時】	越流堰を越流した浸水対策水を雨水調整池に貯留する。
		【降雨終了後】	排水ポンプによりB川へ排水及びC処理場へ送水する。
出水期	概略図		
渇水期	運転フロー	【晴天時】	Bポンプ所污水ポンプによりC処理場へ送水する。
		【初期降雨時】	合流改善水4,800m ³ を雨水調整池に滞水し、合流改善用流入ゲートを閉じる。
		【降雨時】	合流改善用流入ゲートを閉のままBポンプ所の雨水ポンプによりB川へ排水する。
		【降雨終了後】	排水ポンプによりC処理場へ送水する。

5. 未処理放流量の低減

降雨終了後、B雨水調整池に貯留した雨水は、調整池内に設置した大・小2種類の排水ポンプで排水する。

出水期は浸水対策として利用することから次の洪水に備えるため、排水ポンプ（大容量）能力は浸水対策水（8,000m³）を12時間で排水できるように6m³/min×2台とした。

また、渇水期は合流改善として利用しており、翌日までに再び滞水できるようにするため、排水ポンプ（小容量）能力は合流改善水（4,800m³）を24時間でC処理場へ送水できるように2m³/min×2台とした。

浸水対策と合流改善を併用する出水期は、12時間の排水を遵守しつつ、公共用水域であるB川への未処理放流量を少なくする必要がある。一方、短時間でC処理場へ送水することは送水先の管渠及びC処理場の処理能力を超えてしまう。

今回、B調整池においては滞水した合流改善水及び浸水対策水は降雨終了時まで貯留状態が続くため、夾雑物等は沈降し、上下部で水質の濃度差があると想定される。従って、図4のように本来、調整池底部に設置する排水ポンプ（大容量）の設置位置を高くして、上部に貯留している雨水をB川へ排水、下部は排水ポンプ（小容量）によりC処理場へ送水することにした。ここで、計画性能曲線（図5）から全揚程が下がることにより吐出量が増量する特徴を考慮して、排水ポンプ（大容量）の設置位置を2m高くしても、12時間（大容量ポンプ：約7時間、小容量ポンプ：約5時間）で排水することが可能となった。これにより、下部をC処理場へ送水することにより、未処理放流量は15%（8,000m³の内1,200m³）の削減効果が期待できる。

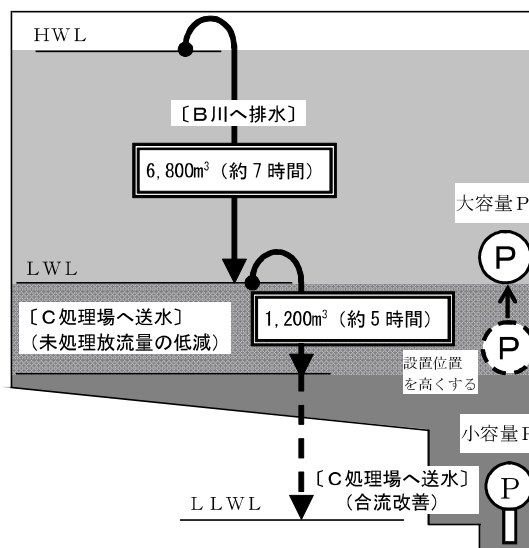


図4 排水ポンプ設置高

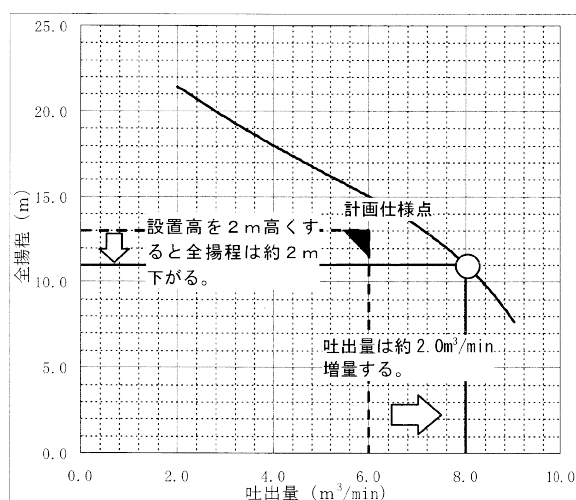


図5 排水ポンプ（大容量）の計画性能曲線

6. 池底フラッシュ方法

調整池に貯留した雨水は、降雨終了後に排水ポンプで排水し、その後、フラッシュタンクに貯まった雨水で池底部を清掃し、排水ポンプによりC処理場へ排除する。

池底フラッシュは、調整池で貯留している間に沈殿した夾雑物等を自己掃流速 1.7 m/sec 以上で5分以上洗い流す必要があるが、B雨水調整池は池底面積が広いため容易に自己掃流速を確保することが困難となった。このため、フラッシュタンク及び池底を分割する必要がある、上記条件を満足するため図6に示すようにフラッシュタンクを6分割、池底（フラッシュ水路）を 6×2 列に分けて順次フラッシングする構造とした。

また、池底フラッシュは、自己掃流速と掃流時間を確保するには大量に流下する必要があり、通常はフラッシュ用排水ポンプを設置する必要があるが、B雨水調整池に設置している排水ポンプ（小容量）は送水先がフラッシュ用排水ポンプと同じ（C処理場）であることから、フラッシュ用排水ポンプと兼用することによりコスト低減を図ることとした。

また、本設計では、排水ポンプ（小容量）能力がフラッシュ排水として満足しているか検証するため掃流量と排水ポンプ（小容量）能力の水収支計算を行い、6列のフラッシュ水路を連続で清掃した場合においても排水ピットからフラッシュ水が溢水しないことを確認した。

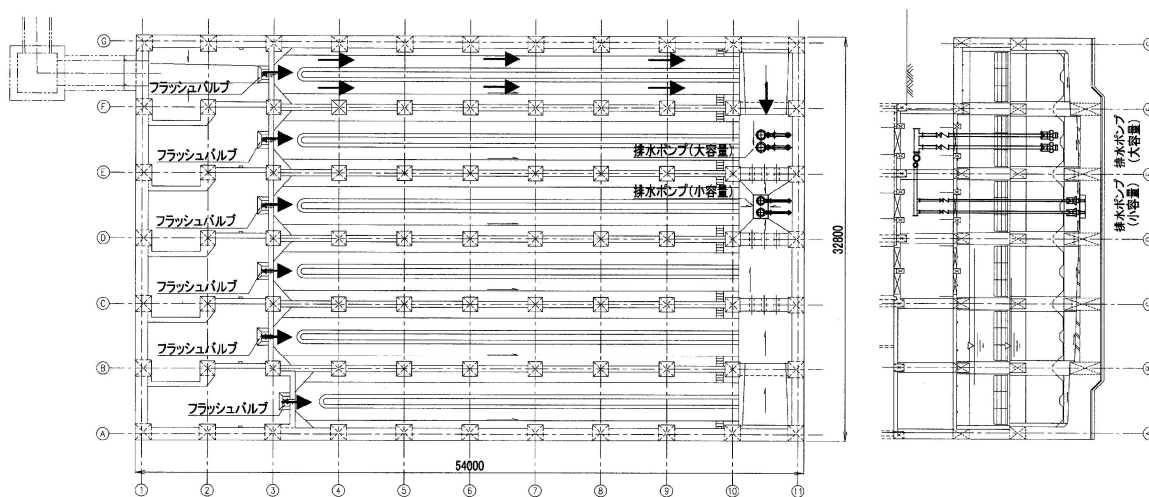


図6 B調整池平断面図

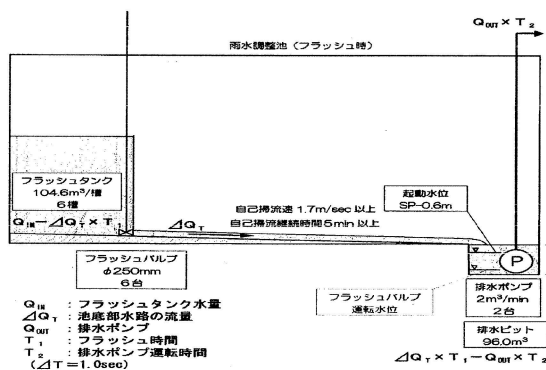


図7 池底フラッシュの概要

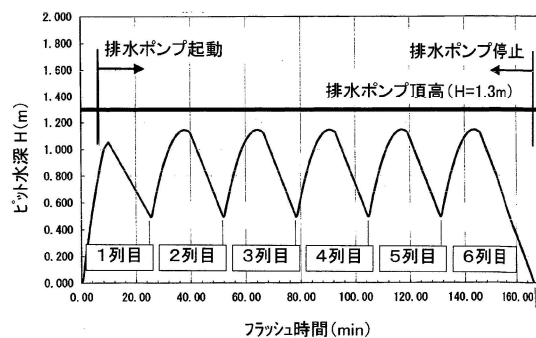


図8 排水ポンプ運転とピット水深

7. まとめ

今回、雨水調整池の設計課題に対して以下の提案を行った。

- (1) 浸水対策と合流改善を併用した雨水調整池において、年間を通じて効率的な運用を図るため、出水期（４月～１０月の７ヶ月間）と渇水期（１１月～３月の５ヶ月間）で運転を使い分けるようにし、浸水対策と合流改善の機能をシンプルかつ最大限に利用できるものとした。
- (2) B雨水調整池に設置する排水ポンプの計画性能曲線をもとに１２時間排水を遵守しつつ、排水ポンプ（大容量）の設置高を高くすることにより、公共用水域（B川）への未処理放流水量の低減を図るものとした。
- (3) 降雨終了後の池底フラッシュは、池底面積が広いことからフラッシュタンク及び池底（フラッシュ水路）を分割して順次フラッシングする構造とし、また、排水ポンプ（小容量）とフラッシュ用排水ポンプを兼用することによりコスト低減を図ることとした。

B雨水調整池は、平成１９年度から供用開始する予定であり、今後、モニタリング等による事後評価が必要であると考えられる。

また、今回の運用方法では出水期と渇水期を使い分けることを提案したが、雨量計や洪水流入センサー（流入幹線内の水位上昇を検知）または水防情報システム（降雨や河川状況のオンライン情報）等による洪水予測を利用した自動運転方案について今後、導入の検討をしていきたいと考えている。