

1-1-2 雨水貯留池を併設した雨水調整池における流体解析を用いた流入量適正化検討

東部第一下水道事務所 建設課 安永 浩祐

1. はじめに

砂町処理区三之橋処理分区の流域は、両国ポンプ所の整備及び旧三之橋ポンプ所の再構築により雨水排水する計画であった（図 1）。しかし、放流先変更に伴う計画の見直しにより、旧三之橋ポンプ所を廃止した跡地に新たに三之橋雨水調整池（以後「雨水調整池」とする）を設置する計画となった。また旧三之橋ポンプ所は、合流改善を目的とする雨水貯留池建設の計画もあり、現計画においては雨水調整池と雨水貯留池を併設することとなった。

計画降雨 50 mm/hr、流出係数 80% 相当の排水能力確保を目的とする雨水調整池と合流改善を目的とする雨水貯留池を併設し、各施設に適切に流量配分する（図 2）、という複雑な流況を評価するため、過去に水理模型実験が実施されている。実験の結果、ピーク流量時において雨水調整池への流入量が不足することが判明したが、雨水調整池への流入を阻害する水路設置型のスクリーン付き破砕機（以後「破砕機」とする）については、形状が複雑であるためモデル化できなかつた。

こうした状況から、複雑な施設のモデル化が可能であり、水理模型実験に対して経済性に優位であるコンピュータモデルによる流体解析（CFD：Computational Fluid Dynamics）を用いて、雨水調整池における流入量適正化について検討を行った。

2. 流体解析の概要

2.1 手法

流体解析とは、流体の運動に関する方程式（オイラー方程式(Euler Equation)、ナビエ-ストークス方程式(Navier-Stokes Equations)、またはその派生式）をコンピュータで解

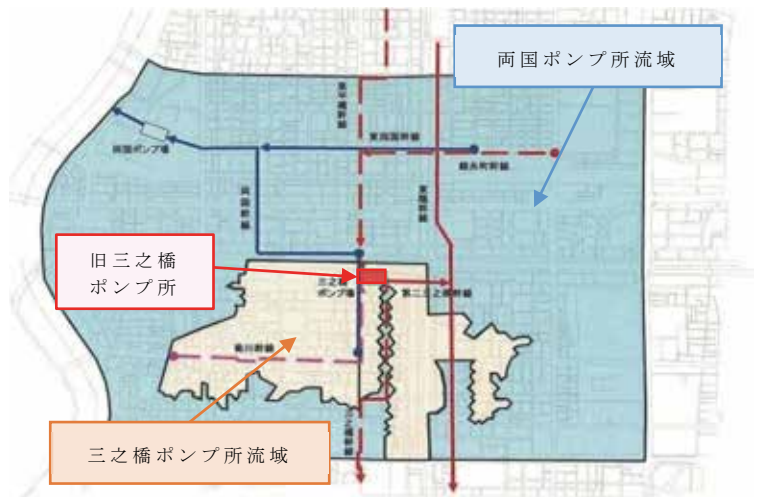


図 1 旧三之橋処理分区流域図

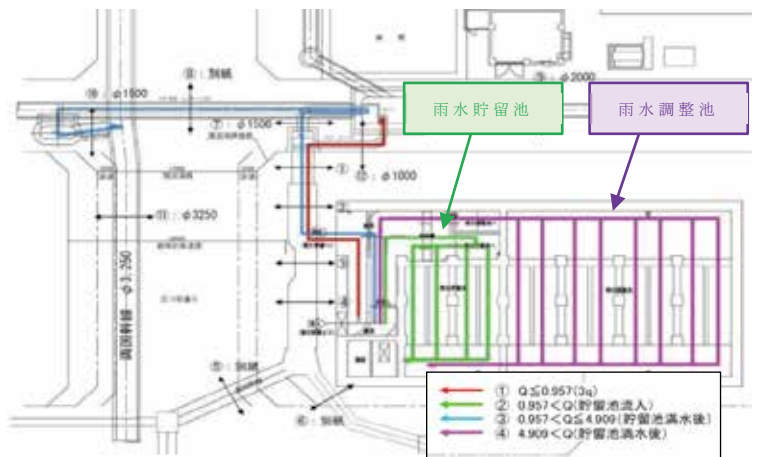


図 2 三之橋雨水調整池流入フロー（全体）

くことにより、流況を確認する数値解析シミュレーション手法である。本検討では、熱流体解析プログラム（STAR-CCM+）を用いて、現状の分水人孔流入部に計画流量を与え、VOF（Volume of fluid）による定常及び非定常の流体解析を実施した。

2.2 解析手順

一般的な流体解析の解析手順を表1に示す。今回は、過去の水理模型実験にて使用した模型をモデル化し、当該実験結果を用いてキャリブレーションを行った。また、過去の水理模型実験においてモデル化できなかった破砕機についてもモデル化を行った。

表1 流体解析 解析手順

No	項目	検討内容
1	モデルデータの作成	検討対象とする施設の構造を再現した3Dのモデルを作成する。
2	基礎方程式の選定	検討対象とする施設がどのような環境にあり、どのような物理現象に支配されているかを検討し、対象とする物理現象を表している方程式を選定する。
3	解析手法の選定	着目している現象や得たい物理量に対して、効率的で正しく情報が得られる基礎方程式、適正な境界条件の選択をする。また解析領域が、どの程度の格子幅（メッシュサイズ）があれば正確に得たい情報が得られるかを検討する。
4	プログラムの作成と解析	上記までに検討した条件・設定を解析用ソフトウェアに入力し、解析を実施する。
5	シミュレーション結果の表示	解析結果で得られた情報を画像やグラフなどとして可視化する。

2.3 モデル条件

過去の水理模型実験における縮尺の設定は、模型管路と現地管路の粗度係数の違いを考慮し、水深方向は1/15.0、流下方向は1/17.7～1/30.0としたが、今回の検討においても同一の縮尺にてモデル化した。境界条件について、流入水が対象施設内の水理状況に影響を与えないようにするため、各流入部上流に仮想の直方体空間（プール）を設置し、計画流量を与えることとした（図3）。破砕機のモデル化については、スクリーンに抵抗を与える方法にてモデル化（図4）を行い、抵抗値はメーカーカタログにおける水位上昇量より、トライアルにて設定した。

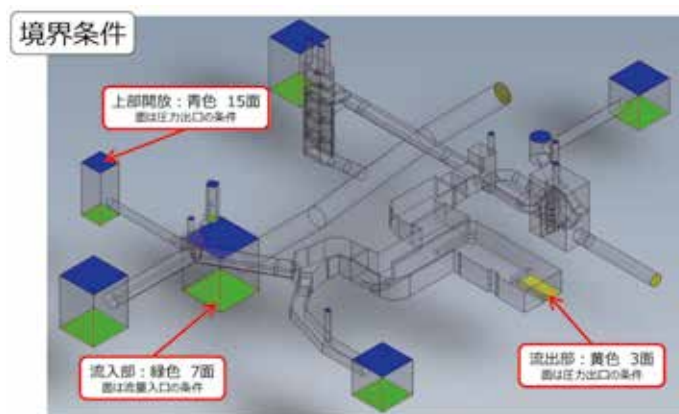


図3 流体解析モデル及び境界条件

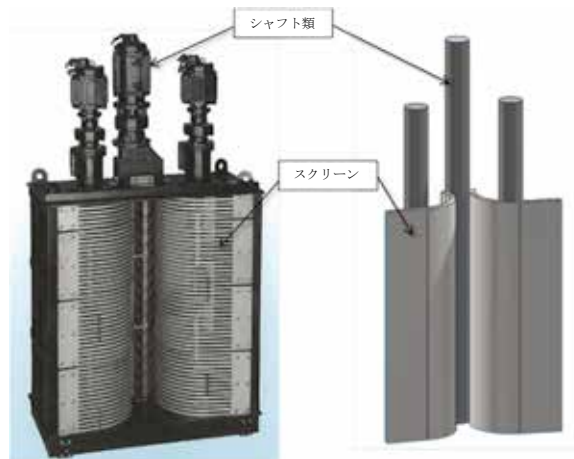


図4 破砕機モデル

2.4 キャリブレーション

作成したモデルの再現性を確認するため、シミュレーションより得られる結果と実現象の整合性の確認を行った。キャリブレーションの作業フローを図5に示す。

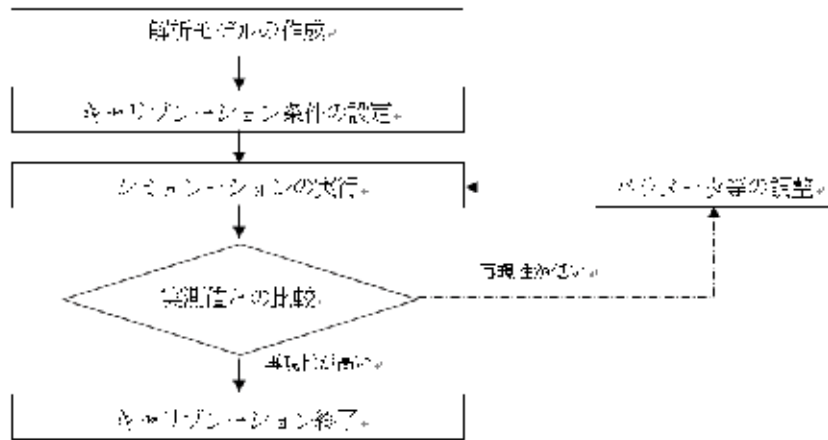


図5 キャリブレーション作業フロー図

今回作成したモデルでは、過去の水理模型実験と概ね近似した結果になるようにキャリブレーション条件を設定することで、整合性をとることが出来た。そのため本検討では、作成したモデルを基に流体解析を実施し、課題の整理や対策案の検討を行った。

3. 流体解析の結果

3.1 三之橋雨水調整池流入フロー

雨水調整池への流入フロー（流量別）を図6に示す。

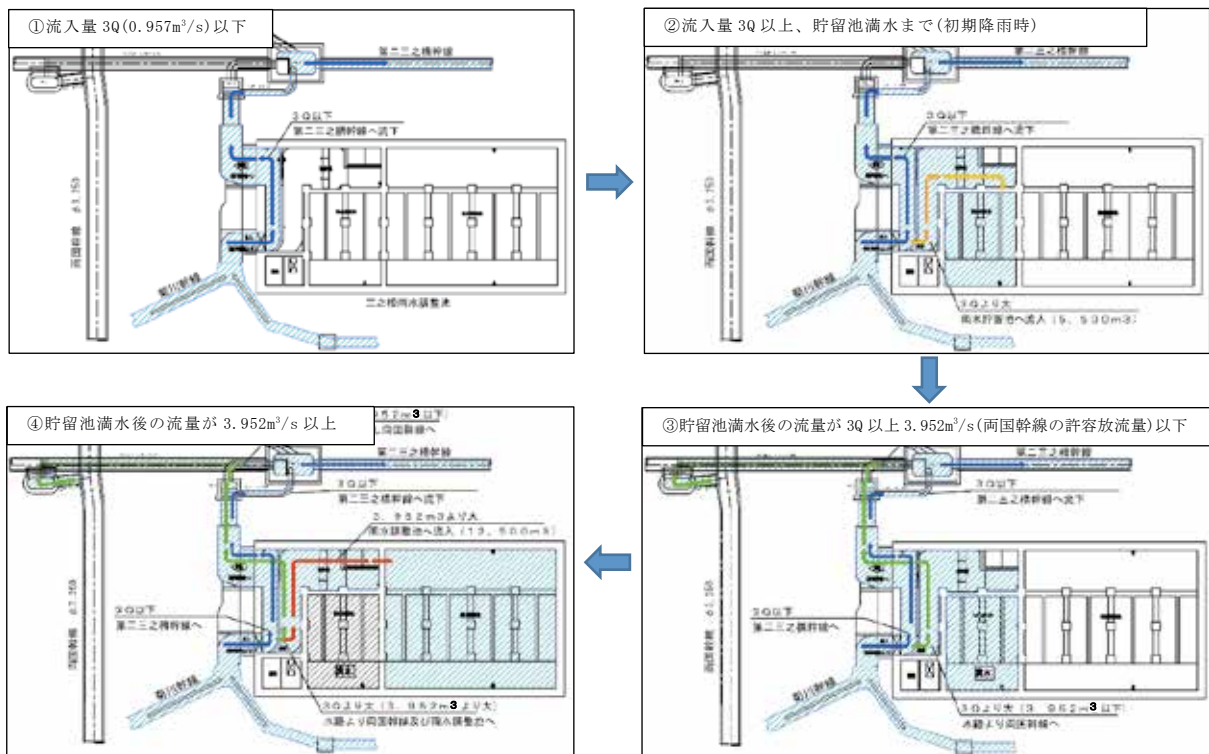


図6 三之橋雨水調整池流入フロー（流量別）

- ① 流入量が 3Q (0.957 m³/s) 以下の場合
雨水貯留池、雨水調整池には流入せず、第二三之橋幹線へ流下
- ② 流入量が 3Q 以上、貯留池満水までの場合
3Q 以下は第二三之橋幹線へ流下するが、3Q 以上は堰を超えて雨水貯留池へ流入
- ③ 雨水貯留池満水後の流量が 3Q 以上 3.952 m³/s (両国幹線の許容放流量) 以下の場合
雨水貯留池満水後は第二三之橋幹線の分水人孔まで流下し、分水後に両国幹線へ流下
- ④ 雨水貯留池満水後の流量が 3.952 m³/s 以上
堰を超えて雨水調整池へ流入

3.2 定常流解析結果 (対策前)

破碎機による雨水調整池への流入量の影響を確認するため、以下の2ケースにおいて流体解析を実施した。結果を表2に示す。

- ・ ケース1：現計画、破碎機なし
- ・ ケース2：現計画、破碎機あり

表2 定常流解析結果 (対策前)

	流入量 [m ³ /s]	計画比 [%]
計画	8.984	—
ケース1 (破碎機なし)	8.307	92.5
ケース2 (破碎機あり)	6.920	77.0

なお、与える流量条件については、水理模型実験と同様にピーク流量時 (13.893m³/s) が定常流にて流入する場合を検討した。

ケース1については破碎機の影響を受けないため、概ね計画量どおりの流入量確保が確認された。ケース2については、破碎機の設置で雨水調整池への越流に抵抗が生じ、雨水調整池への流入量が計画量の77.0%となった。流体解析により、破碎機を設置することで破碎機通過後 (越流堰手前) の水位が25 cm程度下がり、雨水調整池への越流量が大きく低減したことが分かった (図7)。

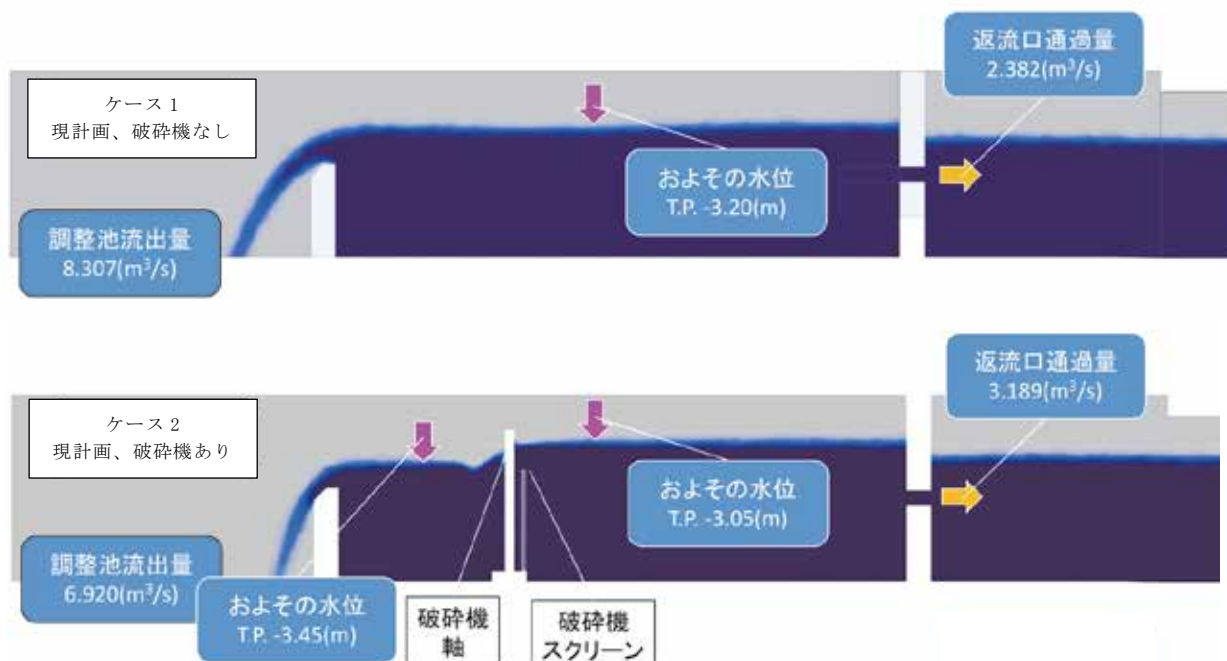


図7 定常流解析結果 (対策前調整池水位横断面図)

3.3 課題整理

解析結果より、流入量の変化には破砕機が大きく影響していることが分かったため、改善が必要である。しかし、破砕機の仕様、設置位置等の変更や雨水調整池流入部の堰形状変更は施設構造や計画に大きく関わるため難しく、下流部の分水人孔での遮集量を絞ると両国幹線への越流が早まる可能性があり困難である。そのため、改善の余地がある下流への返流量調整について対応策の検討を行った。

4. 対策案の検討

4.1 定常流解析結果（対策後）

上記課題整理結果を踏まえ、下流部に支障なく流下可能である垂れ壁を設置するケースを2通り検討した。結果を表3に示す。

- ・ケース3：垂れ壁開口部 150cm、破砕機あり
- ・ケース4：垂れ壁開口部 81cm、破砕機あり

表3 定常流解析結果（対策後）

	流入量 [m ³ /s]	計画比 [%]
計画	8.984	—
ケース3 (開口150cm)	7.053	78.5
ケース4 (開口81cm)	7.421	82.6

なお、与える流量条件については対策前の解析と同様にピーク流量 (13.893m³/s) とした。垂れ壁の開口部の高さの設定根拠は、「許容放流量 3.952m³/s に支障なく通過可能である水位 150 cm」と「3Q 流量時に支障なく通過可能である水位 81 cm」である。

ケース3、4とも、対策前であるケース2の77.0%と比較すると若干ではあるものの数値は良くなっており、特にケース4は82.6%と、より計画値に近づいている。また越流堰手前の水位については大きな変化は見られなかったが、破砕機の抵抗自体は変更していないことで雨水調整池内の水位状況に大きな変化は生じていないためと推定される (図8)。

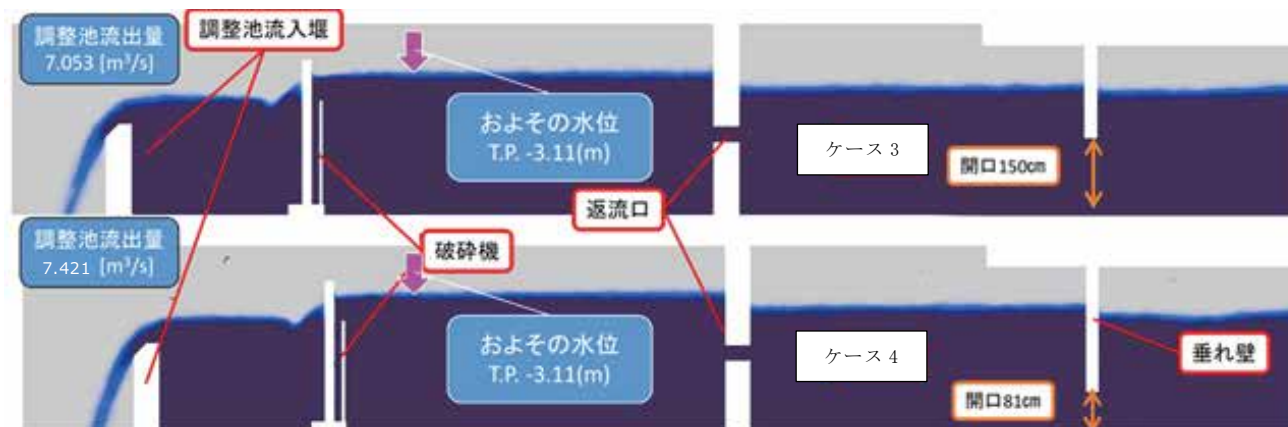


図8 定常流解析結果（対策後調整池水位横断面図）

4.2 非定常流解析結果

定常流解析では、モデルに与える流量は変動させず一定の流量を与え続け、水位等が安定した状況における流量にて評価を行っていた。一方非定常流では、ケース2、3、4に対して、計画ハイドログラフと同様の流量変動を与え、雨水調整池への貯留量にて評価を行った。結果を表4に示す。

表 4 非定常流解析結果

	雨水調整池越流時刻 [分]		貯留量累計 [m ³]	計画比 [%]
	開始	終了		
計画	162	～ 210	12,535	—
ケース2 (垂れ壁なし)	161.1	～ 217.1	8,335	66.5
ケース3 (開口150cm)	161.1	～ 217.2	8,465	67.5
ケース4 (開口81cm)	160.5	～ 217.4	8,863	70.7

※越流開始及び終了は、越流量0.01m³/sを基準とする

なお、解析時間はピーク 80 分間とし、雨水貯留池は仮想的に満水状態として解析した。

非定常流量を与えた場合、越流開始時間はいずれも計画と同程度になることが確認されたが、越流終了時間は計画に対し遅延が生じた。これは、破砕機設置により雨水調整池流入部において水が滞留し、流入量が減少した際にも水位の低下に時間を要することに起因するものと推定される。

また、雨水調整池の貯留率については、定常状態と同様に破砕機設置に伴う抵抗により、雨水調整池への流入量が抑制され、ケース 2 において計画量の 66.5% となった。ケース 3、4 については、垂れ壁設置により雨水調整池の貯留率がそれぞれ 67.5%、70.7% となり、ケース 2 と比較し改善が確認された。

4.3 検討まとめ及び考察

定常流解析及び非定常流解析の解析結果を整理すると表 5 のとおりとなる。

表 5 解析結果まとめ

	解析条件	定常流解析		非定常流解析	
		流入量 [m ³ /s]	計画比 [%]	貯留量累計 [m ³]	計画比 [%]
計画	—	8.984	—	12,535	—
ケース2	破砕機あり 垂れ壁なし	6.920	77.0	8,335	66.5
ケース3	破砕機あり 垂れ壁開口部150cm	7.053	78.5	8,465	67.5
ケース4	破砕機あり 垂れ壁開口部81cm	7.421	82.6	8,863	70.7

以上の解析結果を踏まえ、本検討では雨水調整池の流入量を適正化するための対策手法として、次の理由からケース 4 の「垂れ壁開口部 81 cm」案を最適案とする。

- ・対策案として既設水路に垂れ壁を設置することで、雨水調整池の越流量や貯留量を増加させ計画値に近づけることができしており、垂れ壁の対策効果は得られている。
- ・垂れ壁開口高さについて、開口高さを小さくすることで雨水調整池への越流量や貯留量を増やすことはできる。ただし 3Q 流量時の水位 81 cm より開口高さを小さくした場合には、雨水貯留池への流入タイミングが早まってしまい、合流改善の貯留容量が不足してしまう。そのため、開口高さは 3Q 流量時に阻害とされない高さのうち最小値である 81 cm とする。

過去の水理模型実験及び本検討を踏まえ、雨水調整池の流入量を適正化するために必要な対策を図9に示す。

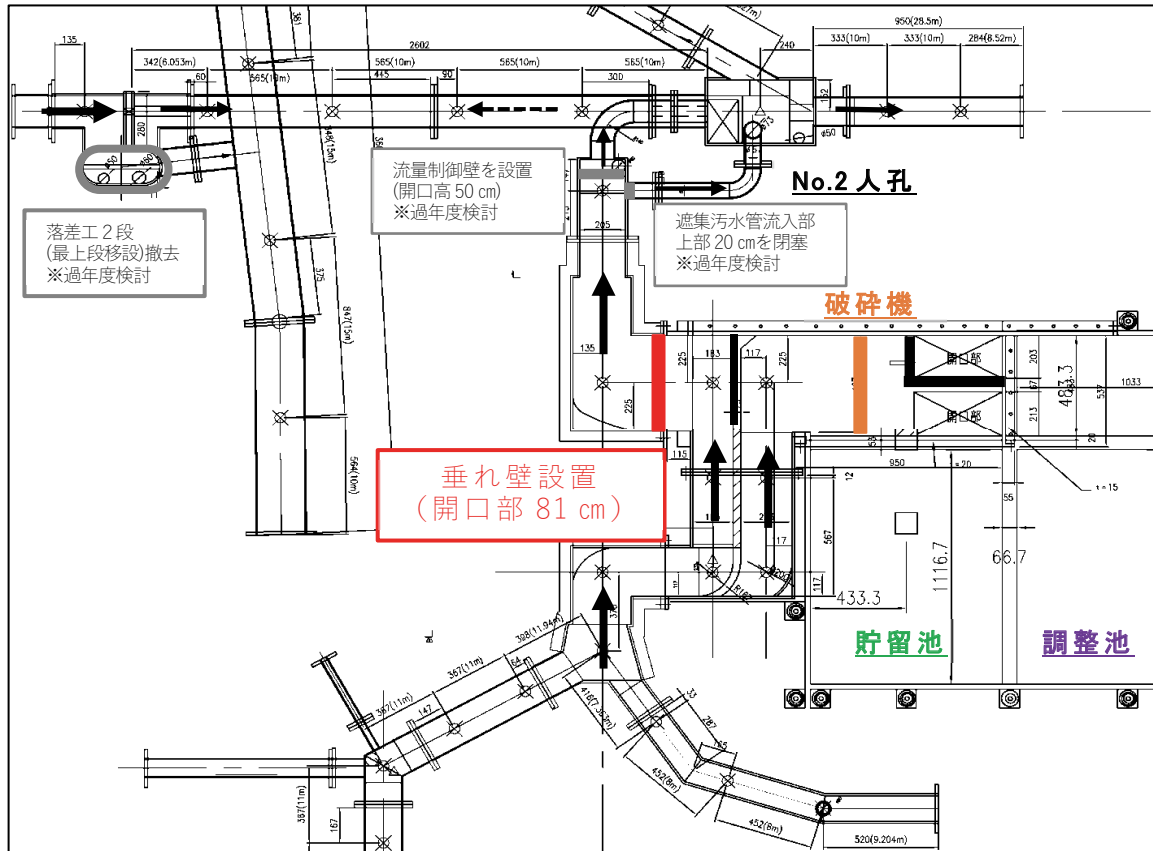


図9 雨水調整池 必要対策まとめ

5. おわりに

今回の検討結果から、「垂れ壁開口部 81 cm」案を採用することで計画値に近づけることはできるが、計画値を 100% 満足することはできないと分かった。

大きな要因として、破碎机による流量阻害が挙げられる。今回検討では、過去の調査設計における機種選定を基にモデル化や解析を行っているが、今後はより抵抗の少ない機種を選定するなどの検討を行う必要がある。維持管理性や構造上の影響は大きいですが、破碎机の設置位置を堰越流後にし、雨水貯留池に別途除塵設備等を設けるといった案も考えられる。また、第二三之橋幹線に計画流量以上の水が流れていることも原因の一つである。これは、計画降雨時は人孔内の水位、水圧が上昇しているためであり、解消のためには人孔内にインバートを設ける等の検討が必要である。

これらの検討を行い再度解析を実施することで、計画値を満足できる対応策案をまとめていく必要がある。