

三次元流況解析による雨水滞水池の検討事例

(株)東京設計事務所 関西支社 太田尚輝

近年頻発する局地的豪雨によって、合流式下水道では道路上の夾雑物を含む初期降雨が公共用水域へ排出されることが問題となっている。地方公共団体ではこの問題を解決すべく、平成 14 年度に創設された「合流式下水道緊急改善事業」を活用し、雨水滞水池を設置する等の合流式下水道の改善対策を進めている。

A 市の下水処理場では、合流式下水道の改善対策として雨水滞水池を建設する予定であるが、雨水滞水池供用後の運用方法や運用に伴う問題点を抽出するため、三次元流況解析を用いた事前検討を行った。また、浮遊物質の沈降状況についても検証を行った。

Key Words : 雨水滞水池、合流式下水道の改善、3D モデル、三次元流況解析

1. はじめに

本稿で検討対象とする雨水滞水池は、設計対象水量約 200,000m³/日の下水処理場に隣接して建設予定である。

雨水滞水池は、短辺約 40m×長辺約 300m×高さ約 25m、約 60,000m³の貯留容量で、独立した 2 つの池を中央部の 2 水路で接続する構造となっている (図-1)。

流入水の流れは、以下の①、②のとおりである (図-2)。

① 雨水滞水池貯留時

雨水滞水池の南側の 3 箇所からの流入口から雨水滞水池へ流入する。

② 雨水滞水池満水後

雨水滞水池満水後はゲートを用いて、流入を停止する。もしくはそのまま流入させ、北側の流出堰から放流する。

雨水滞水池の建設にあたって、「本施設特有の運用条件や施設形状に伴う運用時の問題点についての検証」及び「雨水滞水池による浮遊物質 (以下「SS」と略す) 沈降の可能性検討」を目的として、三次元流況解析を実施した。

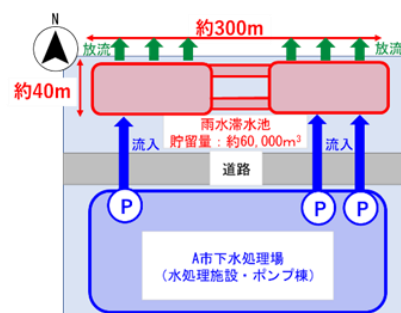


図-1 位置図

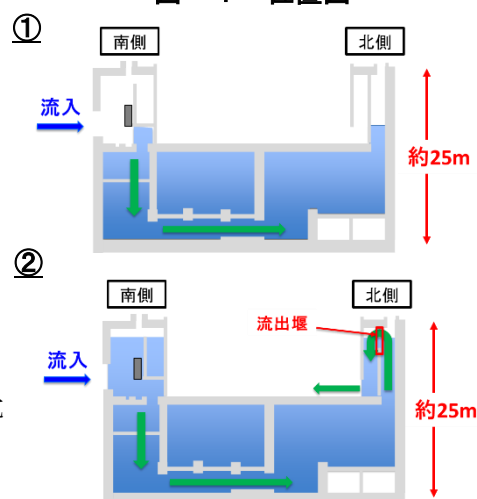


図-2 雨水滞水池断面図

2. 解析方法

2.1 解析目的

雨水滞水池の運用及び施設形状には、以下の特徴・懸念点が存在する。

- ・雨水滞水池へは、3 箇所のポンプ施設から異なる量で送水されている。そのため雨水滞水池内で流速分布に偏りが生じることで、以下の事項について懸念される。
 - 局所的に流速が大きくなることで、雨水滞水池底部の SS 分が巻き上げられ、放流の際に汚濁物も同時に流出する可能性がある。
 - 局所的に流速が速くなる箇所については、水撃圧により躯体へ悪影響を及ぼす可能性がある。
- ・独立した 2 つの雨水滞水池が 2 水路（1 水路の断面は滞水池断面の約 10%）によって接続され、流入水が 2 つの滞水池間を往来可能な構造であるため、接続部付近の流況が予測困難である。
- ・本滞水池は水平方向に細長い形状をしているが、水の流れは図-2 に示すとおり鉛直・短辺方向が主となるため、流入部から放流部へのショートパスが生じ、短時間で流出堰から放流されることによる滞留時間の短縮が懸念される。

これらの懸念点を検証するため、複雑な流況を把握することができる三次元流況解析を実施する。さらに、ある程度の滞留時間が確保できるのであれば SS の沈降効果も期待できると考え、SS の沈降状況についても同時に検証するものとした。

雨水滞水池の 3D モデルを図-3 に示す。

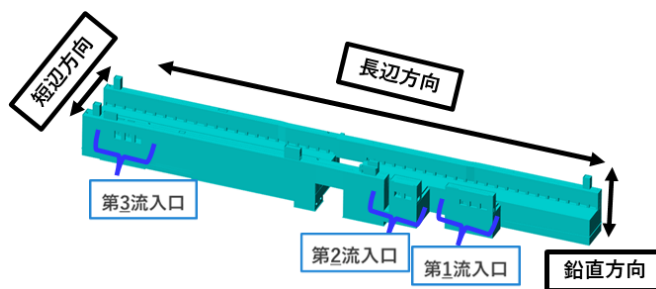


図-3 雨水滞水池 3D モデル

2.2 解析条件

流入水の詳細な流れを検討できるように、以下のとおりメッシュサイズを設定した。

水平方向のメッシュサイズについては、短辺方向に外壁・内壁やポンプ施設からの流入部があり、それらを正確に表現するため、分割点を長辺方向に比べて小さく設定した。

(1) 計算メッシュ

【水平方向のメッシュ分割】

- ・長辺方向の計算メッシュサイズ：1.5m
- ・短辺方向の計算メッシュサイズ：0.2m

【鉛直方向のメッシュ分割】

- ・計算メッシュサイズ：0.5m

【総メッシュ数】

- ・長辺方向 450×短辺方向 100×鉛直方向 40=1,800,000 メッシュ

(2) 雨水滞水池への流入量

雨水滞水池への流入量については、維持管理実績及びポンプ能力を考慮し、表-1 に示す条件で解析を行った。

表-1 各流入口における流入量

流入口	流入量 (m ³ /s)	流入割合 (%)
第1流入口	9.0	19.6
第2流入口	8.0	17.4
第3流入口	29.0	63.0
合計	46.0	100.0

2.3 解析ケース

三次元流況解析は、以下の3ケースで行った。

【パターンA 流入水の挙動の把握】

現況の構造に流入水を流した場合の流況を確認し、問題点の抽出を行う。

【パターンB 雨水滞水池内の滞留時間の確認】

解析で求めた三次元流速を用いて、流入地点からの流入水の滞留時間を確認する。滞留時間は、流入するSSを想定した複数の粒子（トレーサー粒子）を各ポンプ施設の流入地点へ投入した時点から、粒子が北側流出堰の天端付近に到達するまでの時間とし、各経路の平均値を算出した。

粒子の移動量は次式により計算される。

$$dx = udt, \quad dy = vdt, \quad dz = wdt$$

ここに、 dt : 時間間隔、 dx, dy, dz : 粒子移動量、 $\vec{V} = (u, v, w)$: 粒子地点の流速ベクトル

【パターンC SSの沈降状況の確認】

雨水滞水池内におけるSSの捕捉・移動可能性について、以下の手順で検討する。

① 雨水滞水池内における堆積土砂の粒径を設定

類似する雨水滞水池の粒度分布を参考に、平均粒径 d を次のように設定した。

$$\cdot \text{平均粒径 } d : 0.6\text{mm} (=0.0006\text{m})$$

② 雨水滞水池内の各地点における移動限界粒径の算出

解析結果をもとに雨水滞水池内の各地点における移動限界粒径（当該地点の流況のもとで動きうる最大の粒径）を算出する（次式の移動限界摩擦速度に解析で得られた摩擦速度を代入し、移動限界粒径を逆算する）。

移動限界粒径は、SS粒子の移動・静止（沈降）の判断基準となるものであり、流況より算出された移動限界粒径が雨水滞水池内の平均粒径 d (0.6mm) を下回っている領域については、SS粒子の沈降が進行すると判断する。

また、 u_{*cm} は平均粒径 d_m に対する移動限界摩擦速度であり、以下に示す岩垣の式より求められる。

$$\begin{cases} d_m \geq 0.3030\text{cm} & u_{*cm}^2 = 80.9d_m \\ 0.1180 \leq d_m \leq 0.3030\text{cm} & u_{*cm}^2 = 134.6d_m^{\frac{31}{22}} \\ 0.0565 \leq d_m \leq 0.1180\text{cm} & u_{*cm}^2 = 55.0d_m \\ 0.0065 \leq d_m \leq 0.0565\text{cm} & u_{*cm}^2 = 8.41d_m^{\frac{11}{32}} \\ d_m \leq 0.0065\text{cm} & u_{*cm}^2 = 226d_m \end{cases}$$

ここに、 d_m ：平均粒径（cm）、 u_{*cm} ：移動限界摩擦速度（cm/s）である。

③ 土砂の移動及び沈降の可能性検討

②で算出した移動限界粒径の分布と①の雨水滞水池内の主な堆積土砂の平均粒径を比較し、土砂移動及び沈降の可能性について以下の基準に基づき判定する。

- 平均粒径 > 移動限界粒径 = 沈降の可能性が高い
- 平均粒径 < 移動限界粒径 = 沈降の可能性が低い

2.3 表示断面の選定

解析結果は 2 次元で表示し、雨水滞水池内の流況を確認した。表示断面は施設形状などを考慮し、**図-4**に示す 13 断面を選定した。

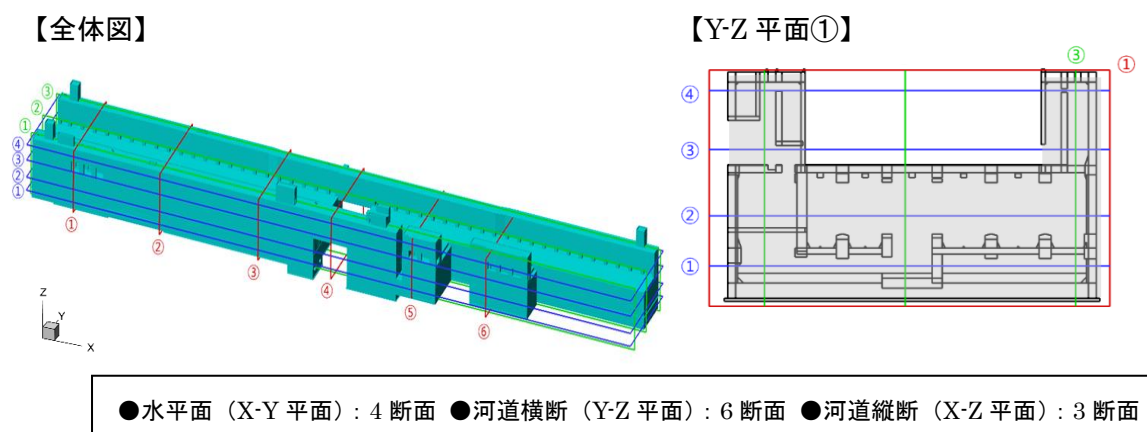


図-4 表示断面

3. 解析結果

3.1 パターン A 流入水の挙動の把握

雨水滞水池内の流速分布を**図-5**に示す。

解析の結果、雨水滞水池内で以下の現象を確認することができた。

- ・図内の矢印は流向を示し、雨水滞水池内で循環流が発生していることが確認できた。
- ・雨水滞水池全体としては、流出堰、バイパス堰及び流入口付近等を除き、概ね流速分布 (0.0~0.4m/s) に偏りは確認されなかった。

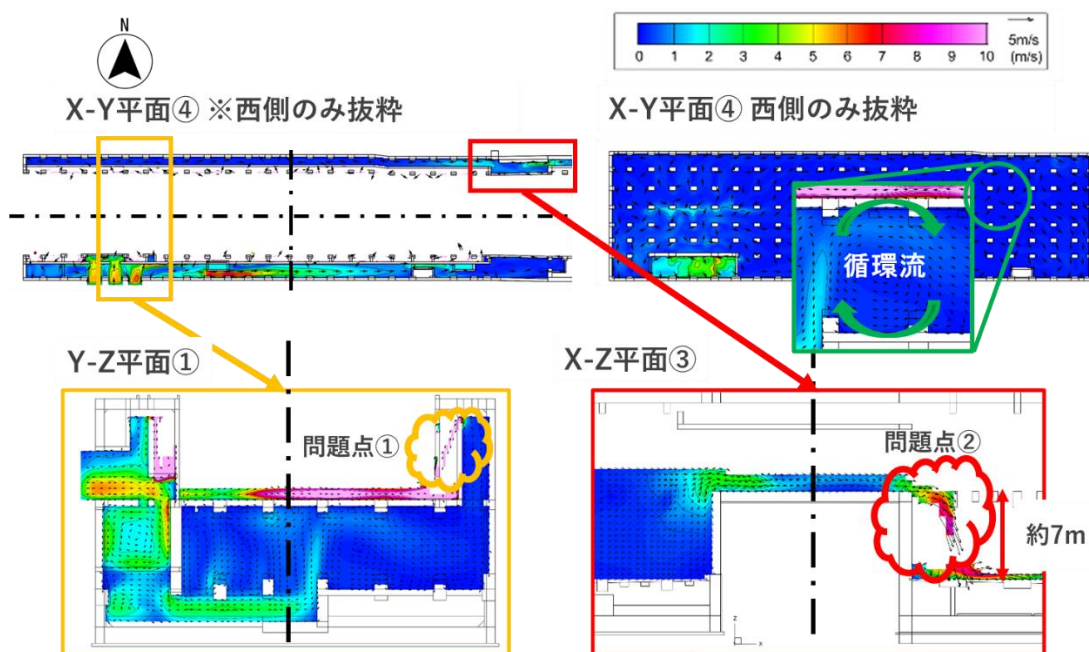
解析結果から明らかとなった問題とそれらに対する対応策は次のとおりである。

問題点①：北側の流出堰では、流入水が 10m/s 以上の流速で流出しており、設計水量に対して流出堰開口の大きさが不足している可能性がある。

➡対応策：流出堰開口の大きさを適正な大きさに変更する。

問題点②：接続部から雨水滞水池内に着水する際、落水の影響により流速が速くなる。さらに落水箇所の高低差が約 7m と大きいことから、雨水滞水池底板部が水撃圧により損傷することが危惧される。

➡対応策：解析で確認した落水の影響を受ける箇所で減勢対策を実施する。



図－5 雨水滞水池内の流速分布

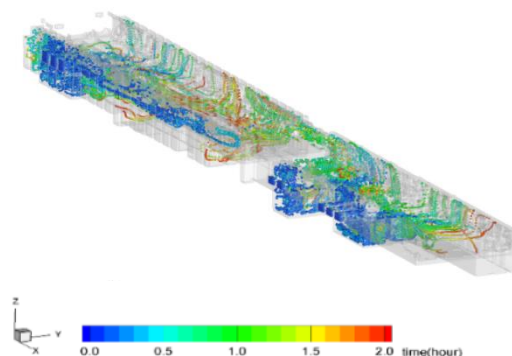
3.2 パターン B 雨水滞水池内の滞留時間の確認

雨水滞水池内をトレーサー粒子がたどった軌跡を図－6 に示す。

滞留時間に関する解析結果は、以下のとおりとなった。

- ・約 4,400 個の粒子を追跡検討した結果、平均的な滞留時間は 0.20～0.50 時間となった。
- ・総流入量は $46.0\text{m}^3/\text{s}$ であり、滞水池容量約 $60,000\text{m}^3$ に対する滞留時間を簡易に算出すると $60,000/46.0 \div 1,300\text{s} \div 0.36$ 時間であった。

➡解析結果の中央値付近のため、解析結果の滞留時間は妥当な結果であると推察される。



図－6 トレーサー流跡分布図

3.3 パターン C 浮遊物質 (SS) の沈降状況の確認

水平面 (X-Y 平面) 及び河道断面 (Y-Z 平面) における移動限界粒径のコンターに係る代表断面を **図-7** に示す。

SS の沈降状況は以下のとおりとなった。

- ・ 各地点の移動限界粒径の分布より、バイパス堰、流出堰及び放流部を除き、雨水滞水池内の移動限界粒径は、設定した雨水滞水池内の平均粒子径 $d=0.6\text{mm}$ ($=0.0006\text{m}$) 以下となっており、概ね雨水滞水池の全域で SS の沈降が進行すると考えられる。
- ・ 流入地点から雨水滞水池下層への流れが比較的強いものの、平均粒径 0.6mm よりも移動限界粒径の方が小さいため、流入口付近でも SS は沈降する可能性が高い。

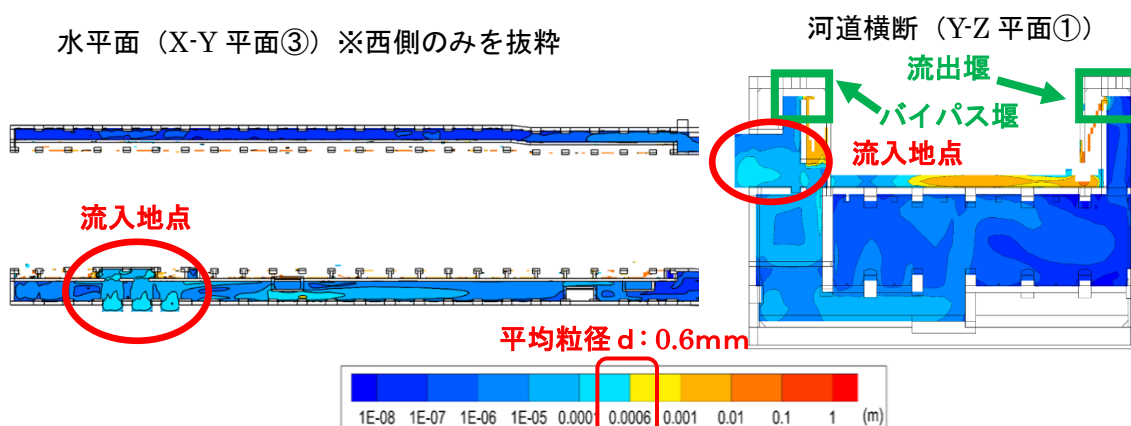


図-7 移動限界粒径のコンター図

4. まとめ

本稿におけるまとめ及び今後の方針を以下に示す。

【まとめ】

- 三次元流況解析を行うことで、現況の施設形状に対する問題点の洗い出しができた。また、雨水滞水池の形状に起因して、雨水滞水池内では循環流が発生していることが確認できたことから、SS の沈降が促進されることが期待される (パターン A)。
- 平均的な滞留時間に比べ、早期に流出するトレーサー粒子があった。これについては、雨水滞水池への流入制限を行い、穏やかな循環流とすることにより、沈降機能としての滞留時間を期待することができる (パターン B)。
- パターン B より、滞留時間が短くなるルートも危惧されたが、本滞水池の構造及び対象水量であれば、SS の沈降が期待できる結果が得られた (パターン C)。

【今後の方針】

今回の解析は、3 箇所のポンプ施設から同時に流入する条件で実施した。

今後、より実態に近い運転状況を考慮するため、実降雨時のデータを基に流入状況とポンプ運転状況の検証を目的とした流出解析を行い、「時系列を踏まえた雨水滞水池内の流況」を把握する予定である。以上の解析結果に基づき、ポンプやゲート等の運転方法を検討することで、より適切な雨水滞水池の運用が可能になると考える。