

# 排水機場更新工事における流れ解析の適用 (糠田排水機場ポンプ設備改修工事におけるポンプ吸水槽渦対策)

江 藤 文 宣\* 趙 令 家\*\* 大和田 典 彦\*\*

## Applying of CFD Analysis to Countermeasures against Undesirable Vortices in a Pump Sump at the Reconstruction of Nukata Drainage Pump Station

by Fuminori ETO, Lingjia ZHAO, & Norihiko OWADA

An increase in the total capacity of the drainage pump station associated with its reconstruction may lead to formation of undesirable vortices in the pump sump. Thus, computational fluid dynamics (CFD) analysis has been conducted to examine countermeasures against such vortices. CFD analysis covering the balancing reservoir has found an optimal setup of vortex suppression devices, and its effectiveness has been determined through model testing. Since the setup of vortex suppression devices proposed in this study places a minimum burden on the existing underground structure and shortens the construction period, the study of vortices associated with the reconstruction has yielded breakthrough results. In the future, CFD analysis is expected to cover the entire portion of the study of vortices in the pump sump. This study provides a benchmark for advancement in the study of vortices.

**Keywords:** Reconstruction, Drainage pump station, Pump sump, Balancing reservoir, CFD analysis, Vortex, Countermeasures against vortices, Model testing

### 1. はじめに

地域を洪水被害から守るため数多くの排水機場が活躍している。こうした排水機場の中で1970年代に建設されたものは現在更新の時期を迎つつあるが、計画降水量の見直しや周辺環境の変化に伴い、機場総排水量の増量が求められるケースが多い。排水機場の更新では一般に既設土木構造を継続使用する場合が多いが、ポンプ設備の更新によって排水量が増量されると、ポンプ吸水槽における流速は既設と比較して大きくなることは避けられない。このようにポンプ吸水槽が高流速化すると、空気吸込渦や水中渦といったポンプに有害な渦が発生する危険性が大きくなるため、十分に渦対策を検討する必要がある。

ポンプ吸水槽に発生する渦の検討を行う場合、事前に模型水槽試験を実施することで渦発生危険性評価や渦対策形状の検討を行うことが従来から行われてきたが、

近年CFD (Computational Fluid Dynamics) 技術の発展に伴い、流体解析ソフトウェアを適用した流れ解析によって渦の検討を行うことが十分に可能になってきた。

今回、(独)水資源機構 糠田排水機場ポンプ設備改修工事においてポンプ排水量の見直しに当たり、上流側に位置する遊水池まで含めたポンプ吸水槽の流れ解析を行い、渦対策形状の最適化検討を行った。さらに模型水槽試験によって流れ解析の妥当性を実証したので、概要を報告する。

### 2. ポンプ設備改修工事に伴う渦の問題

#### 2-1 糠田排水機場の概要

糠田排水機場は埼玉県行田市、鴻巣市をまたぐ全長約14.5 kmの武蔵水路の末端に位置しており、洪水発生の恐れが生じた場合の流域内水排除を目的とした設備である。図1に糠田排水機場の概要図を示す。

本設備について内水排除機能の強化を含めた更新が計画され、2011年に(独)水資源機構から当社がポンプ設備更新工事を受注した。今回の更新工事は既設の口径1500 mm 3台、口径1800 mm 2台、口径2100 mm 1台の横軸斜流ポンプを、口径1800 mm 4台、口径2000 mm

\* 風水力機械カンパニー 国内事業統括 社会システム計画・開発統括部 技術計画室 流体解析技術グループ

\*\* 同 技術生産統括 開発統括部 技術開発室 流体設計グループ



図1 糠田排水機場及び遊水池

Fig. 1 Schematic drawing of the Nukata drainage pump station and balancing reservoir



図2 水路形状（ポンプ設備改修工事終了後）

Fig. 2 Schematic drawing of the balancing reservoir and pump sump (after reconstruction)

2台の立軸斜流ポンプに更新するもので、機場総排水量は40 m<sup>3</sup>/sから50 m<sup>3</sup>/sに増強される。

### 2-2 機場流入側水路形状の特徴

図2に糠田排水機場の流入側水路形状を示す。本機場は次に示す要因からポンプ設備更新後の渦対策が必要と考えられた（図3）。

#### ①ポンプ排水量の増量

3号ポンプ、4号ポンプについてはポンプ口径変更によ

る排水量の増量（それぞれ5.0 m<sup>3</sup>/s→7.5 m<sup>3</sup>/s）が計画されており、ポンプ吸水槽における平均流速が大きくなることで渦が発生しやすくなる。

#### ②ポンプ吸水槽に上流側からの流れが直角に流入

図1、2に示すように、糠田排水機場は武蔵水路末端の

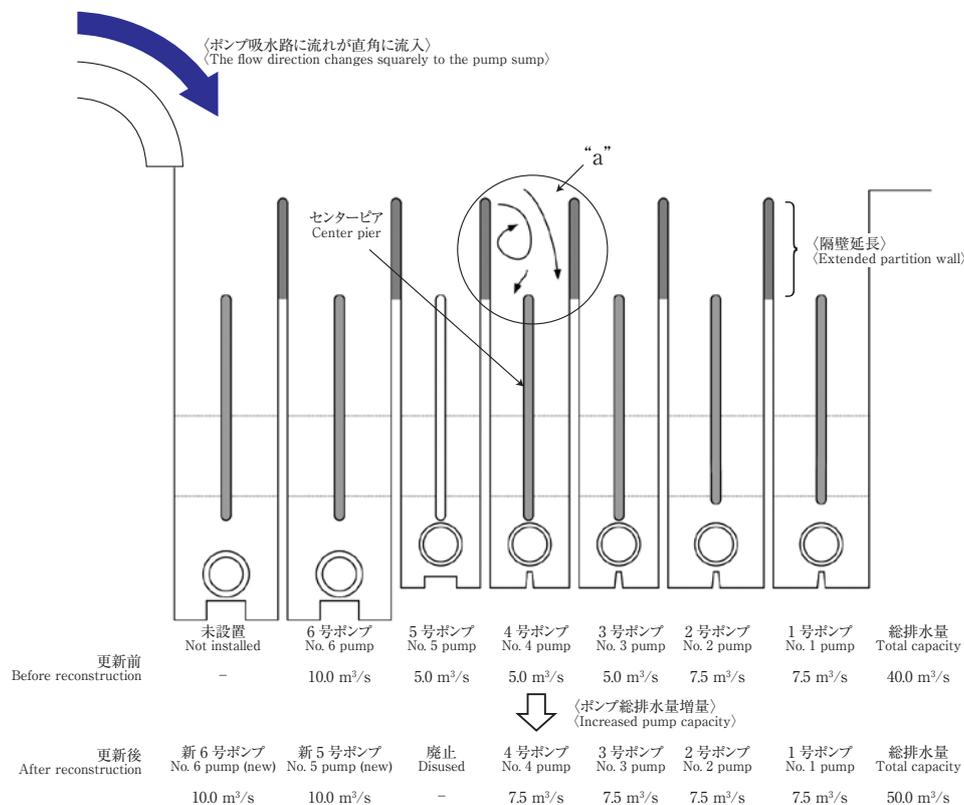


図3 吸水槽条件と主な特徴

Fig. 3 Specific characteristics of the pump sump and balancing reservoir

荒川との合流部に設けられた遊水池の右岸に配置されている。ポンプ吸水路に流入する際、遊水池に流入した流れがほぼ直角に曲げられるため、偏流が発生しやすい。

③ポンプ吸水槽間の隔壁が遊水池側に延長

更新後自動除塵機設置のため隔壁が遊水池側に延長されることから、隔壁先端部で流れがはく離して渦領域を形成し（図3“a”参照）、センターピアで分けられた片側水路に流れが集中することで、②によって生じた偏流が更に増大する恐れがある。

一方、本更新工事では機場を運用しながら1台ずつポンプの更新を行うという極めて工程の厳しい工事であることから、渦対策を実施する場合には構造が簡素で施工期間の短縮が図れる形状が求められた。

3. 流れ解析による検討

3-1 流れ解析の概要

ポンプ吸水槽の渦検討を流れ解析で行う場合、一般に吸水槽入口部若しくはスクリーン設置部から下流側をモデル化して解析を行うことが多い。しかし、糠田排水機場のように吸水槽に流入する際に大きく流れ方向が変えられる場合、上流側遊水池からの流れが渦発生に大きく影響するものと考えられる。そこで遊水池を含めたポンプ吸水槽流れ解析を行いポンプ吸水槽入口部における流入条件を求めた。さらにこの結果からポンプ吸水槽の詳細な渦流れ解析を実施することにした。

3-2 遊水池を含めたポンプ吸水槽流れ解析

図4にポンプ吸水槽に生じる偏り流れが最も大きくなるポンプ6台全運転〔水位条件：LWL（Low Water Level）〕の遊水池速度ベクトル図を、図5にポンプ吸水槽の流入状況拡大図を示す。武蔵水路から流入した流れは遊水池右岸（機場側）に沿った流れを形成し、各ポン

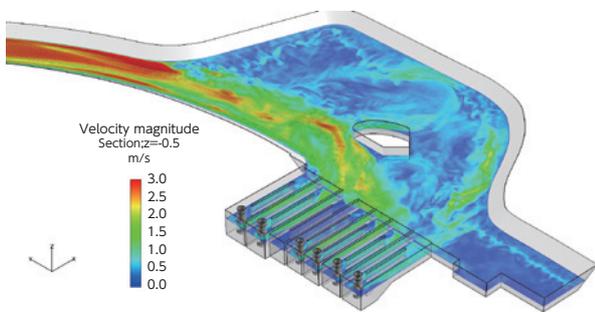


図4 遊水池を含めたポンプ吸水槽流れ解析結果（ポンプ6台全運転）

Fig. 4 Calculated flow pattern of the pump sump including the balancing reservoir (6 pump operation)

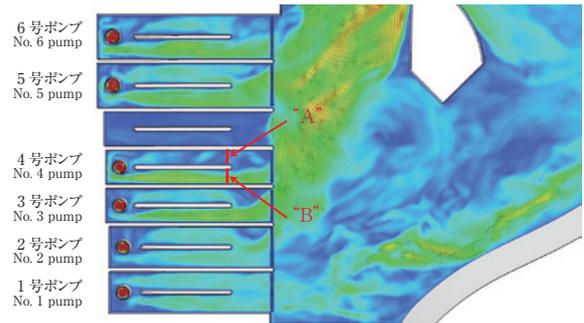


図5 各ポンプ吸水槽への流入状況（ポンプ6台全運転）  
Fig. 5 Inflow condition of the inlet pump sump (6 pump operation)

プ吸水槽に流入する際に大きく流れ方向が変えられ、偏った流れが流入する。ポンプ吸水槽における偏り流れが最も大きくなるのは4号機で、吸水槽入口部における流量割合は上流からポンプに向かって右水路（図5“A”断面）が20%、左水路（図5“B”断面）が80%となった。

3-3 ポンプ吸水槽渦流れ解析

遊水池の流れ解析結果を流入条件として、ポンプ吸水槽の渦流れ解析を行った。

図6にポンプ設備更新後も無対策とした場合の4号ポン

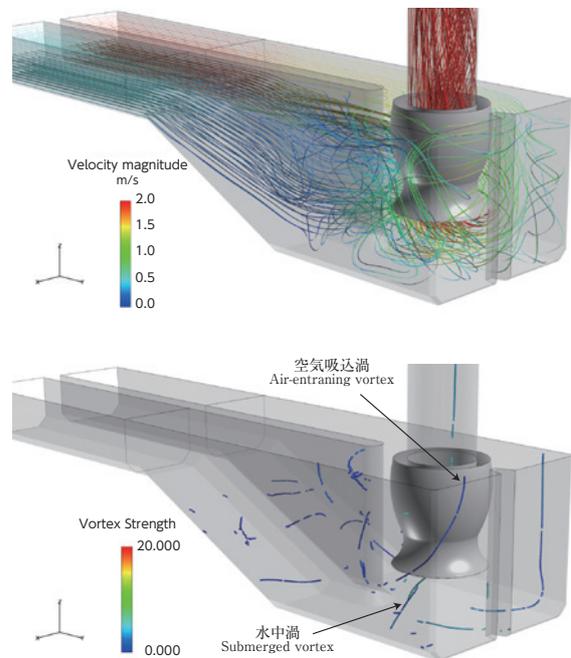


図6 無対策時の吸水槽流れ解析結果（フローパターン、渦芯分布図）

Fig. 6 Numerical results for the pump sump before modification (flow pattern, vortex cores)

プ吸水槽フローパターン及び渦中心線の分布図を示す。左右水路からの流入量アンバランスによってポンプ後流に水面から空気吸込渦、底面から水中渦が発生している様子が分かる。無対策のままでは有害な渦発生が予想され、適切な渦対策を施す必要があると判断できる。

図7は本機場用に考案した渦対策形状で、空気吸込渦対策としてカーテンウォール、水中渦対策としてL字スプリッタを配置した。これによって吸水槽水面近傍の速

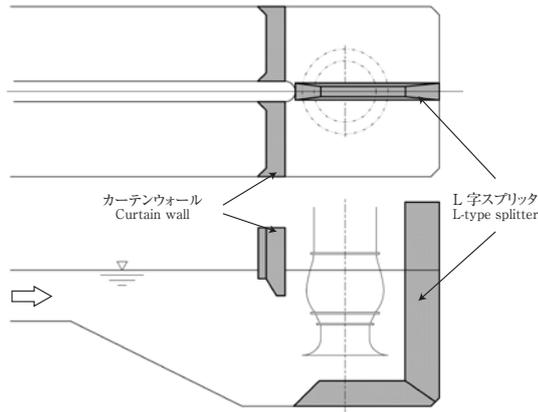


図7 渦対策形状  
Fig. 7 Vortex suppression devices

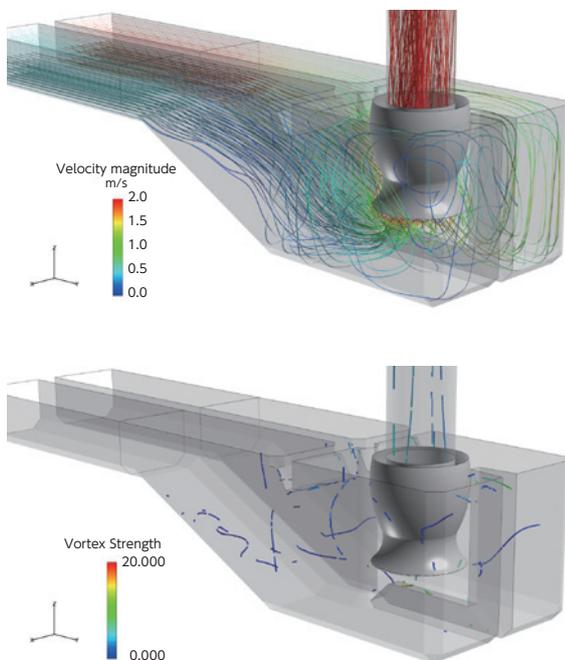


図8 渦対策後の吸水槽流れ解析結果  
(フローパターン、渦芯分布図)

Fig. 8 Numerical results for the pump sump after modification  
(flow pattern, vortex cores)

い流れがポンプベルマウスまで向かう流れに整流され、水面とポンプベルマウスをつなぐ渦は見られなくなる(図8)。また底面からの水中渦発生も十分抑制されていることが流れ解析で確認できた。

これらから、十分な渦対策性能を有しかつ施工性に優れる本形状をポンプ吸水槽に施すものとした。

#### 4. 模型水槽試験による実証

##### 4-1 模型水槽試験の概要

流れ解析で検討した渦対策形状の効果を実証するため、遊水池からポンプ吸水槽まで一体化した模型水槽(モデル縮尺比1/25)を製作し水槽試験を行った。写真1に模型水槽を示す。試験はターボ機械協会基準“ポンプ吸込水槽の模型試験方法 TSJ S 002:2005”に準拠するものとし、試験項目によって次式に示す3種の流速条件で渦試験を実施した。

$$V_m = V_p (L_m/L_p)^n$$

- (1) 水槽内部流れ観察 : n=0.5 (フルード数一致)
- (2) 空気吸込渦試験 : n=0.2 (中間流速)
- (3) 水中渦試験 : n=0 (流速一致)

ここで

$V_m$  : モデルの流速

$V_p$  : 実機の流速

$L_m$  : モデルの代表寸法

$L_p$  : 実機の代表寸法

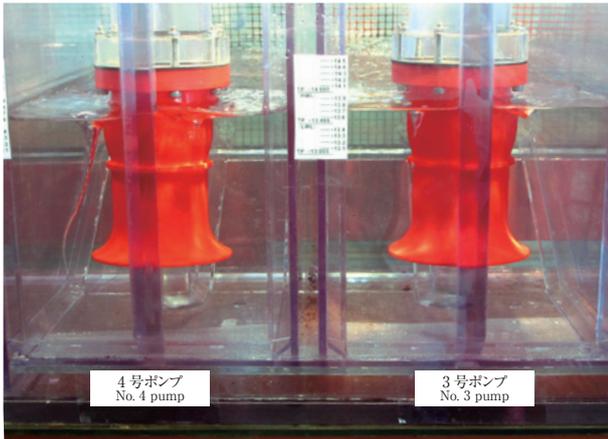
模型水槽試験においても武蔵水路からの流入流れは遊水池右岸に沿った流れを示すことがポンプ6台運転の試験条件(フルード数一致)で確認され、遊水池を含めたポンプ吸水槽流れ解析結果とフローパターンは極めてよ



写真1 模型水槽

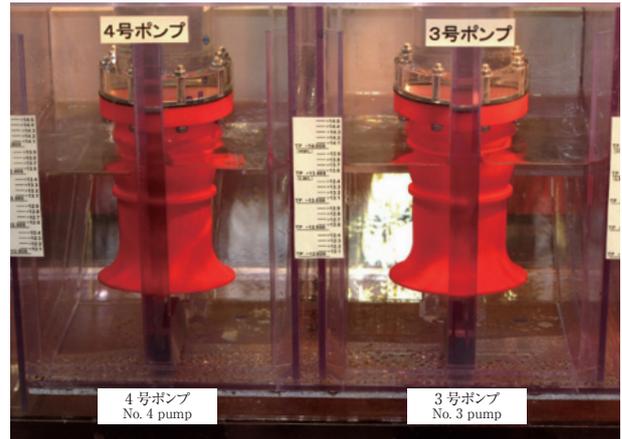
Photo 1 Test apparatus / Panoramic view of model testing

13-52 01/240



13-52 02/240

**写真2** 無対策時の渦試験状況（ポンプ6台全台運転）  
**Photo 2** Air-entraining vortex before modification  
 (6 pump operation)



13-52 03/240

**写真3** 渦対策後の渦試験状況（ポンプ6台全台運転）  
**Photo 3** No vortex after modification (6 pump operation)

く一致した。また、この条件で各ポンプ左右吸水路における流速を測定したところ、左右の流速比が最も大きくなるのは4号ポンプで、左水路71%、右水路29%となり、これも流れ解析結果とほぼ一致することが分かった。

#### 4-2 空気吸込渦試験

まず無対策時におけるポンプ6台全台運転時の空気吸込渦試験を実施したところ、写真2に示すように水面からの空気吸込渦が確認された。ここで観察された空気吸込渦は流れ解析で発生が予想された渦と水面における発生位置、渦芯の形状ともよく一致した。

流れ解析で検討した渦対策を適用した水槽での試験状況を写真3に示す。水面近くの偏り流れはカーテンウォールによって整流され、全てのポンプにおいて有害な空気吸込渦は観察されなくなった。また、水中渦についても流速一致の条件で発生が確認されなかった。

## 5. おわりに

遊水池を含めたポンプ吸水槽の流れ解析によって渦対策形状の検討を行い、模型水槽試験で効果の検証を行った。この結果、流れ解析と模型水槽試験はよく一致しており、本検討を通して渦対策形状の最適化を実現することができた。本検討で考案した渦対策形状は既設土木形状への負担も小さく、施工期間も短縮できることから、ポンプ設備更新工事における渦対策として画期的な成果を得ることができた。

今後の更新案件では設備条件の見直しなどによってポンプ排水量増量のニーズが多くなると予想され、流れ解析を用いて渦対策形状の最適化を検討するケースも更に増加すると考えられる。将来的には模型水槽試験を省略し流れ解析だけで渦検討を行うことも期待されており、本検討はベンチマークとして位置づけられる。