

〈特集〉

流体解析シミュレーションによる水処理装置設計の実際： CFD解析による凝集加圧浮上装置の性能向上

寺嶋 光 春

栗田工業株式会社 プラント事業本部

(〒 329-0105 栃木県下都賀郡野木町川田五丁山 1-1 E-mail: mitsuharu.terashima@kurita.co.jp)

要 旨

水処理装置の中で加圧浮上装置の構造の検討に CFD 解析を使用した例を紹介する。

CFD 解析結果は実際の加圧浮上装置の流動状態を良く再現した。バップルを設置した浮上槽は、固液分離性能が良くなることトレーサー応答曲線の CFD 解析によって予想され、実際の処理試験において、SS の除去率をさらに高めるために有効であることが確認された。

キーワード：CFD, 流体シミュレーション, 加圧浮上, DAF, SS 除去

原稿受付 2008.5.19

EICA: 13(1) 15-18

1. はじめに

用排水処理は攪拌混合や固液分離等のプロセスを含む。その処理性能は短絡流を初めとする流体の流れに大きく影響を受ける。このため様々な用排水処理装置の構造検討に CFD 解析が応用されている¹⁻⁹⁾。

ここでは、水処理装置のなかで特に水の流れが処理性能に大きく影響する凝集加圧浮上装置について、CFD 解析を使用して構造を改善し処理性能を飛躍的に向上させた例を紹介する。

凝集加圧浮上法は工場用水や排水に含まれる懸濁物質を固液分離除去する方法である。原水に凝集剤を添加することで懸濁物質を凝集フロックとして粗大化させ、さらに微細気泡を付着させて気泡付着フロックとし見かけの比重を小さくして浮上分離する。微細気泡は加圧溶解した空気を減圧することにより発生させる。凝集加圧浮上装置は、凝集反応槽、浮上槽及び加圧水製造装置で構成される¹⁰⁾ (Fig. 1)。

浮上槽では、気泡付着フロックを浮上分離し、浮上スカムと清澄水(処理水)に分ける。浮上スカムは浮上槽の上部で濃縮し、スカムスキマーによって系外に排出される。清澄水は浮上槽の下部に設けられた取水口から処理水として取り出される。

浮上槽の水理的な改良課題としては、短絡流や混合流の影響により気泡付着フロックが浮上分離できずに流出し、処理水水質が悪化するということが挙げられる。CFD を使うと浮上槽の流れ状態を机上で短時間に計算することができる¹¹⁻¹⁴⁾。浮上槽の処理性能向上のために浮上槽を CFD 解析で流動計算した事例

を述べる。

2. 解析方法

CFD 解析には汎用熱流体解析ソフト CFX5.7 (ANSYS 社) を用いた¹⁵⁾。気泡と水の 2 相流の計算を行い、それぞれの相に対してボリウムフラクション(容積比)を変数とした連続の式と運動量輸送方程式を解いている。運動量輸送方程式には重力の影響と相間の運動量の移動を含んでいる。気泡付着フロックは気泡に比べ存在量が少なく流れに影響を及ぼさないものとみなし、計算モデルに加えていない。乱流モデルは標準 $k-\varepsilon$ モデルを使用した。解析構造は 3 次元構造とし、テトラメッシュを採用した。

浮上槽における気泡付着フロックの除去率は、沈殿地におけるフロックの沈降除去率¹⁶⁾と同様、滞留時間に大きく影響を受けるため、短い滞留時間で流出する

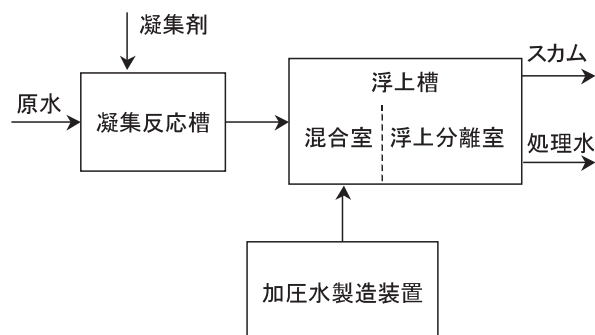


Fig. 1 凝集加圧浮上処理

流れが少ない方が良好な固液分離が行われると考えられる。パルスレーザー応答曲線を使うと、原水の滞留時間分布がわかり、短い滞留時間で流出する流れの割合を推定することができる¹⁷⁾。CFD解析によりトレーサー応答曲線を得ることができる。まず、非定常のCFD解析を行い、流れの変化がなくなった時点で、流速分布を固定し、その流速分布を使用して入口から1秒間トレーサーを投入し、出口におけるトレーサー濃度の経時変化を得た。

3. 解析結果

3.1 加圧浮上槽のCFD解析

検討対象とした加圧浮上槽の構造を Fig. 2 に示す。矩形槽の一部を仕切り板で仕切り、混合室と浮上分離室に分けている。混合室で生成した気泡付着フロックと残りの微細気泡は仕切り板の上側を乗り越え、浮上分離室に入ります。浮上分離室では、下部の取水口から処理水が取り出される。

加圧浮上槽のガスホールドアップ（気泡の存在比）分布のCFD解析結果を Fig. 3（上）に示す。浮上槽の表面付近に気泡が多く存在し、底に近づくにつれて気泡の存在量が減少している。また、流速ベクトル分布のCFD解析結果を Fig. 3（下）に示す。表層では混合室から吐出する向きに流れがあり、その下側ではこれとは逆向きの混合室に向かう流れがあり、循環流を形成している。また、この循環流の下側には、流速の小さい、穏やかな下向きの流れとなっている領域が存在する。

次に、解析を行った構造と同じ加圧浮上装置を運転し、水中ビデオカメラを使い浮上槽内部を観察した結果を Fig. 4 に図示する。槽内の流れの傾向はCFD解析結果と同じく、槽の上層部では循環流が存在したが、その下側では流れがほとんど観察されなかった。水面近くの循環流領域では、フロックと気泡が多く存在し、その下側では、フロックのみが観察された。底に

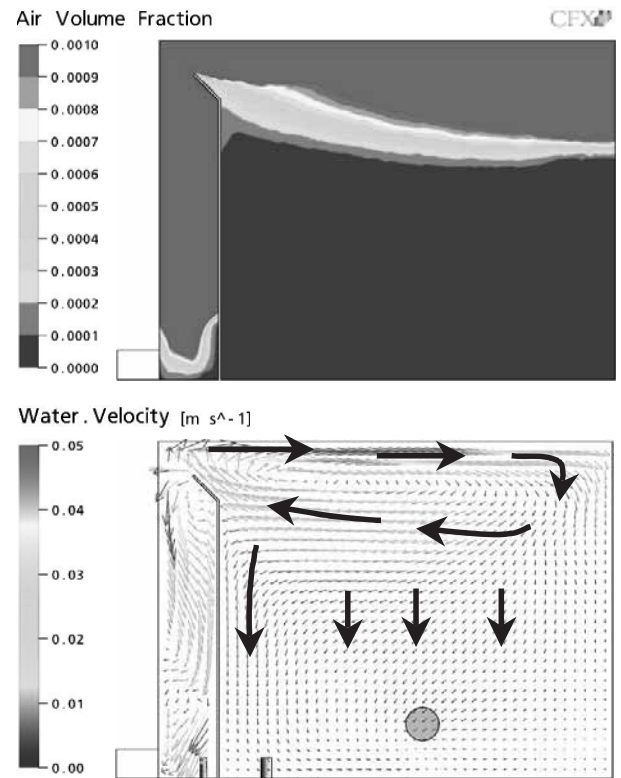


Fig. 3 浮上槽のCFD解析結果（上：ガスホールドアップ分布，下：流速ベクトル分布）

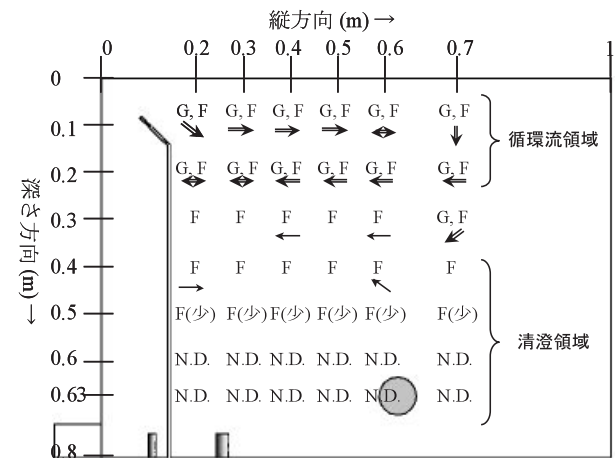


Fig. 4 浮上槽のビデオカメラ観察結果

- ・二重線矢印は速い流れ（0.03m/sec程度以上）を示す。
- ・実線矢印は緩やかな流れ（0.005m/sec程度）を示す。矢印の向きは流れの向きを表す。
- ・両矢印は頻繁に流れの向きが変化することを表す。
- ・矢印がないのは顕著な流れが観察されなかったことを表す。
- ・Gは気泡が観察されたことを表す。
- ・Fはフロックが観察されたことを表す。
- ・N.D.は気泡及びフロックがほとんど観察されなかったことを表す。

近づくに従いフロック存在量は減少し、処理水取水口がある底付近ではほとんどフロックは観察されなかった。浮上槽下部の穏やかな領域（清澄領域）において最終的に処理水水質が決定する。本装置ではこの清澄領域を安定的に形成しており良好な処理水質を得ることができている。

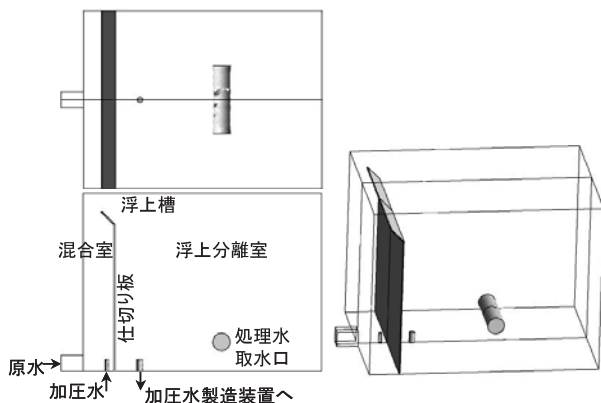


Fig. 2 浮上槽構造

3.2 バッフルによる処理性能の向上

Fig. 2の加圧浮上槽は良好な処理性能を有するもののさらに性能を向上させるためには、槽上部の流速を抑えることによって循環流領域の深さを減らし、その下側の清澄領域の深さを十分に確保することによって浮上分離室における流動挙動を改善することが重要である。このための方法として、浮上分離室の入口に棒状のバッフルを設置した構造 (Fig. 5) のCFD解析を行った。

浮上槽の側断面における流速分布を Fig. 6 に示す。バッフルのない構造では、循環流を形成する領域が大きく、清澄領域は槽の中層以下となっているのに対し、バッフル付きの構造では、上層に近い領域から流速が低い清澄領域となっている。このため、バッフル付き構造ではフロクの分離に広い領域を使用すること

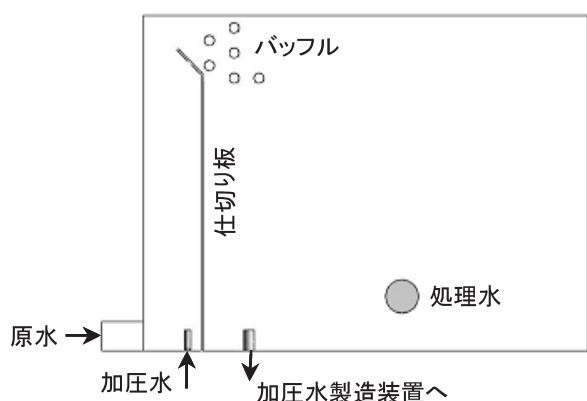


Fig. 5 バッフル付き浮上槽

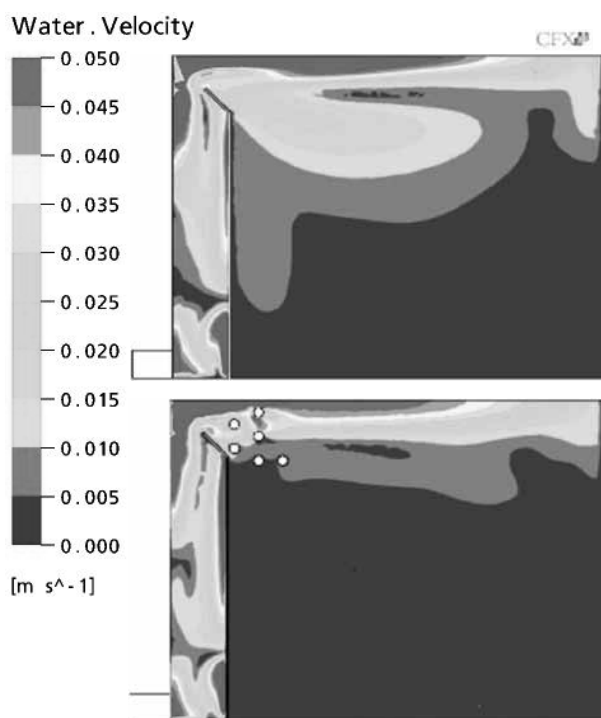


Fig. 6 浮上槽側断面の流速分布 (上: バッフル無し, 下: バッフル有り)

が可能になり、処理性能が向上すると考えられる。

バッフル有無の浮上槽構造におけるトレーサー応答曲線のCFD解析結果を Fig. 7 に示す。バッフル設置後は、トレーサーの出現開始が遅くなっており、トレーサー応答曲線からもバッフル設置構造の固液分離性能が改善することが示唆される。

実際に、バッフル構造を採用した浮上分離槽において、模擬SS成分としてカオリンを120mg/L含む模擬排水を凝集加圧浮上処理した結果を Table 1 に示す。SSの除去率は、バッフル無し構造では96%であり十分に高いものの、バッフル有り構造では99%となり処理性能が大幅に向上することが確認された。

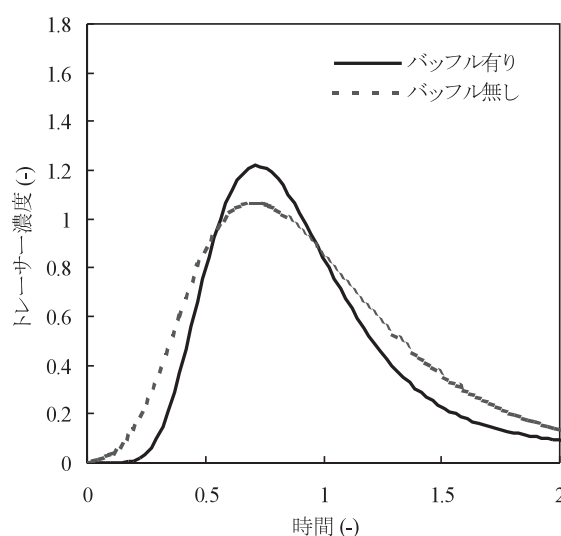


Fig. 7 加圧浮上装置のトレーサー応答曲線解析結果

Table 1 SS除去試験結果*

	バッフル無し	バッフル有り
原水SS** (mg/L)	120	120
処理水SS (mg/L)	5	1.7
除去率 (%)	96	99

* 処理条件: PAC 34mg/L as Al₂O₃, 陰イオン性ポリマー 3mg/L, 加圧水圧力 0.35MPaG, 加圧水比 20%

** 合成排水 (カオリンクレイ)

4. ま と め

水処理装置の中で、特に、加圧浮上処理の装置構造の検討にCFD解析を使用し、構造を改善した例を紹介した。

浮上槽内の流れの状態について、CFD解析結果と実際の観察結果は良く一致することを確認した。

CFD解析によって固液分離性能が良くなると予想されたバッフル構造は、実際の処理試験においてSSの除去率も高いことが確認された。

参考文献

- 1) Mehul S. V., Al-Dahhan M.: Flow Pattern Visualization in a Mimic Anaerobic Digester Using CFD, *Biotech. Bioeng.*, **89** (6), 719-732 (2005)
- 2) Shilton A. N., Mara D. D.: CFD (computational fluid dynamics) modelling of baffles for optimizing tropical waste stabilization pond systems, *Wat. Sci. Tech.*, **51** (12), 103-106 (2005)
- 3) Taghipour F., Sozzi A.: Modeling and design of ultraviolet reactors for disinfection by-product precursor removal, *Desalination*, **176** (1-3), 71-80 (2005)
- 4) He C., Marsalek J., Rochfort Q.: Numerical Modelling of Enhancing Suspended Solids Removal in a CSO Facility, *Water QualRes J Can.*, **39** (4), 457-465 (2004)
- 5) Vega G. P., Pena M. R., Ramirez C., Mara D. D.: Application of CFD modelling to study the hydrodynamics of various anaerobic pond configurations, *Wat. Sci. Tech.*, **48** (2), 163-171 (2003)
- 6) Nisipeanu E., Harwood R.: Computational Fluid Dynamics. Streamlining equipment design in water industry, *Chem. Eng. World*, **37** (8), 16-22 (2002)
- 7) Kamimura, M., Furukawa, S., and Hirotsuji, J.: Development of a simulator for ozone/UV reactor based on CFD analysis, *Wat. Sci. Tech.*, **46** (11-12), 13-19, (2002)
- 8) Anastasios, I., Stamou: Verification and application of mathematical model for the assessment of the effect of guiding walls on the hydraulic efficiency of chlorination tanks, *Journal of Hydroinformatics*, **4**, 245-254, (2002)
- 9) Craig, K., De Traversay, C., Browen, B., Essemiani, K., Levecq, C., and Naylor, R.: Hydraulic study and optimization of water treatment processes using numerical simulation, *Wat. Sci. Tech. Wat. Sup.*, **2**(5-6), 135-142, (2000)
- 10) James K. Edzwald: Principles and application of dissolved air flotation, *Wat. Sci. Tech.*, **31** (3-4), 1-23, (1995)
- 11) Kwon S. B., Park N. S., Lee S. J., Ahn H. W.: Examining the effect of length/width ratio on the hydro-dynamic behaviour in a DAF system using CFD and ADV techniques, *Wat. Sci. Tech.*, **53** (7), 141-149 (2006)
- 12) Hague J., Ta C. T., Biggs M. J., Sattary J. A.: Small scale model for CFD validation in DAF application, *Wat. Sci. Tech.*, **43** (8), 167-173 (2001)
- 13) Ta C. T., Beckley J., Eades A.: A multiphase CFD model of DAF process *Wat. Sci. Tech* **43**(8), 153-157 (2001)
- 14) Park K., Cho J-M., Oh J., Chung K.: Experimental and modeling evaluation of upward and downward velocities in coaxial flotation column, *Wat. Sci. Tech.*, **43** (8), 195-201 (2001)
- 15) ANSYS: *CFX5.7-Flow solver manual* (2004)
- 16) Fair, G. M. and George, J. C.: *Water Supply and Waste Water Disposal*, John-Wiley, New York (1954)
- 17) Levenspiel, O.: *Chemical Reaction Engineering*, 2nd Ed., Wiley International Edition, John Wiley & Sons Inc, New York (1972)