

N-3 シミュレーションによる噴流攪拌固液分離槽の効率化

北海道大学大学院 ○高木亮太 井上一成 正員 渡辺義公
川崎重工業(株) 佐野 淳 平田茂英

1. はじめに

現在、日本で広く用いられている急速ろ過法では溶解性物質の除去を期待できないために、高度浄水処理施設の増設等の必要性が増してきている。しかし、既存の浄水場に新たに処理施設を増設するためには、敷地面積の拡大やエネルギーコストの増大などが問題となる。そこで著者ら¹⁾²⁾は、従来のフロック形成・沈殿プロセスと比べて、省スペース化・省エネルギー化が図られている噴流攪拌固液分離槽 (Jet Mixed Separator: 以下 JMS) の開発を行っており、処理水量約 150t/d 規模の JMS を組み込んだ高度浄水処理実験プラントをおよそ 3 年に渡って運転している。本研究では、JMS の効率化のために、孔の形状と配置が固液分離に及ぼす影響についての数値シミュレーションを行い、得られた解析結果についてプラント実験で検証した。

2. シミュレーション

JMS の固液分離能は、JMS の多孔板の孔の形状、配置に大きく影響を受けると考えられる。そこで、数値シミュレーションにより、孔の形状、配置の違いによる水理特性の差異を検討した。なお、シミュレーションには汎用流動計算コード FLOW3D を用いた。

2.1 シミュレーション方法 流体は、非圧縮性の流体として、連続の式、運動量の式、流体率輸送式を基礎式とする。シミュレーション領域の個々のメッシュについて、差分近似された連続の式、運動量の式、流体率輸送式を構成し、離散点の状態量

を解いた。シミュレーションは、SOLA

$$\nabla \cdot Au = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} Au \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u + G, \quad \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V} \nabla \cdot AFu = 0$$

法を基礎とする方法を用い、次の 3 ステ

$\left[\begin{array}{l} u : \text{流速}, P : \text{圧力}, \rho : \text{密度}, \mu : \text{粘性係数}, G : \text{重力加速度} \\ F : \text{流体率}, V : \text{体積率}, A : \text{開口率} \end{array} \right]$

ップで行われる。① 運動量式を Explicit に解き、流速の推定値を求める。② 連続式を満たすように、反復計算で流速と圧力を求める。③ 上記②で得られた流速を用いて流体率輸送式を解く。この 3 ステップで新しい時刻の状態量が得られる。時刻を δ_t だけ進めて、この 3 ステップを繰り返し行うことにより、必要な時刻までの過渡計算を実施した。

本研究にあたって、固液分離能の評価のために渦度パラメータ f_h, f_v を提案した。垂直方向に軸を持つ渦度 (w_z) の総和 f_h と、水平方向に軸を持つ渦度 (w_x, w_y) の総和 f_v である。水平方向の乱れ (f_h) が大きく、かつ垂直方向の乱れ (f_v) が小さいものが、多孔板の孔の形状、配置が優れているという仮定のもとに固液分離能の評価を行った。これは、水平方向の乱れが大きければフロックの成長が早まり、垂直方向の乱れが小さければ沈殿効率が高まるとの推測に基づく。そこで、各要素の流速から右式を用いて渦度を計算し、多孔板間の要素の値を足しあわせることにより、固液分離能を定量的に評価することとした。

・水平方向の定量化(渦度パラメータ f_h)

$$w_z = \left| \frac{\Delta V_y}{\Delta x} - \frac{\Delta V_x}{\Delta y} \right| = \left| \frac{V_{y_{k+1}} - V_{y_k}}{\Delta x} - \frac{V_{x_{k+1}} - V_{x_k}}{\Delta y} \right| \quad \therefore f_h = \sum_x \sum_y \sum_z w_z$$

・垂直方向の定量化(渦度パラメータ f_v)

$$w_y = \left| \frac{\Delta V_x}{\Delta z} - \frac{\Delta V_z}{\Delta x} \right| = \left| \frac{V_{x_{k+1}} - V_{x_k}}{\Delta z} - \frac{V_{z_{k+1}} - V_{z_k}}{\Delta x} \right| \quad \therefore f_{v1} = \sum_y \sum_z \sum_x w_y$$
$$w_x = \left| \frac{\Delta V_z}{\Delta y} - \frac{\Delta V_y}{\Delta z} \right| = \left| \frac{V_{z_{k+1}} - V_{z_k}}{\Delta y} - \frac{V_{y_{k+1}} - V_{y_k}}{\Delta z} \right| \quad \therefore f_{v2} = \sum_x \sum_z \sum_y w_x$$

$\therefore f_v = f_{v1} + f_{v2}$

表-1 シミュレーション条件

	シミュレーション領域	メッシュサイズ	多孔板位置	シミュレーション条件
case(A)	L×B×H 0.45×1.0 ×1.0 (m)	L×B×Hに 15×65×65 分割 63,375要素	上流側から 0.125m, 0.325m の位置に2枚	流入側・流出側は無限境界 条件。流入側は一定速度 Vs=0.0914m/sで流出側は 水位一定(0.854m)。初期条 件、流入側水位0.854m
case(B)				
case(C)	0.50×0.712 ×1.2	60×65×65 分割 253,500要素	上流側から 0.125m, 0.375m の位置に2枚	流入側・流出側は無限境界 条件。流入側は一定速度 Vs=10m/sで水路内は水密

きいほど大きくなっている。よって、 h/b 比が大きい縦スリット孔ほどフロック形成能が優れていると推定された。

図-3 case(C)に、JMS に適用するために行った、渦度パラメータの計算結果を示す。得られた計算結果は、Run11($h/b=122$)の値で除して無次元化してある。これによると f_v は、 h/b 比が大きくなるにつれて小さくなっている一方、 f_h は、 $h/b=28, 122$ ではほぼ同等であるが、 $h/b=60$ では最も大きかった。 $h/b=28$ は、 $h/b=60$ より f_h が小さく、 f_v が大きい。また、 $h/b=122$ とは f_h はほぼ同等だが、 f_v が大きい。よって、 $h/b=28$ は他の case より固液分離能が劣っていると推定される。しかし、 $h/b=60$ は、 $h/b=122$ と比較して f_h, f_v ともに大きいため、どちらが優れているかは判断できないが、フロック形成能を重視すると水平方向の渦度が支配的である $h/b=60$ が最も優れていると判断した。今回は h/b 比がこの付近($h/b=70$)である多孔板を実験プラントに採用した。

4.2 プラント実験

2枚の多孔板に囲まれた領域について、上流側(噴流吹き込み側)と下流側(噴流吸い出し側)についてそれぞれ実験結果をまとめた。

図-4 に、プラント実験による丸孔と縦スリット孔との濁度除去性の比較についての結果を示す。これらによると、JMS を流下するにしたがい、孔の種類にかかわらず全ての水深で濁度除去率(以下、除去率)が徐々に増しており、最終的には 30~60%の除去率になった。このことから JMS(多孔板部)は、後段の傾斜管沈殿池への懸濁質負荷を軽減し、特に高濁時には著しい固液分離効果がある。ここで上流側について注目すると、同じ地点では全ての水深でほぼ同等の濁度除去率であり、2種類の孔の間に大きな差異は見られられないが、縦スリット孔は、多孔板部最後部(地点 D)における除去率が約 20%良かった。しかし、下流側では水深 10cm において大きな差異が見られた。地点 F,H,J の水深 10cm における除去率は、どちらの多孔板でも良好だが、縦スリット孔の方ははるかに優れていた。例えば、丸孔の場合はもっとも良かった地点 H で 26.8 度であり、縦スリット孔は地点 F で 1.8 度であった。このことより、多孔板 2 枚目通過後の段階で、縦スリット孔はフロック形成に充分な乱れとフロックが沈降し易い水流条件を実現しているといえる。また、多孔板部最後部(地点 J)における除去率についても、縦スリット孔の方が各水深で 10~20%良かった。以上より、固液分離能は縦スリット孔が丸孔よりも優れていることが検証された。

5. おわりに

JMS の効率化のために、多孔板の孔の形状の比較、孔の形状の最適化について数値シミュレーションを行い、プラント実験により検証した。

<参考文献>

- 1) Y.Watanabe, M.Fukui and T.Miyanosita : *J Water SRT—Aqua* Vol.39, No.6, pp.387-395, 1990
- 2) 笠原, 渡辺, 小澤, 丹保 : 噴流攪拌固液分離装置による固液分離の簡素化, 水道協会雑誌 第 65 巻第 5 号 (第 740 号) PP.22~31, 平成 8.5

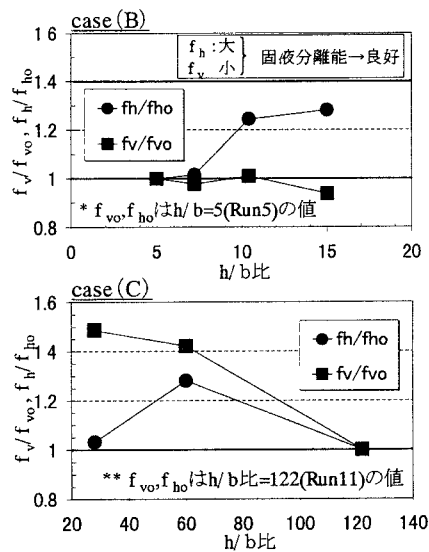


図-3 渦度パラメータの計算結果

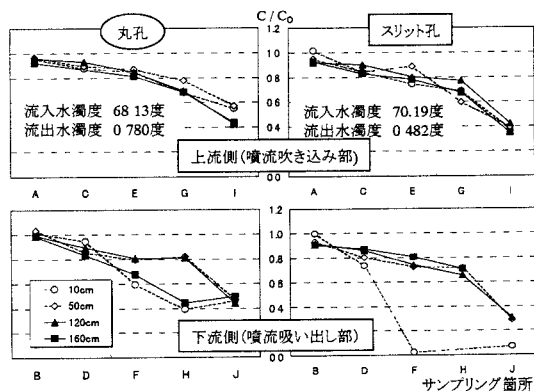


図-4 プラント実験