

# 流動解析をもちいた圧力式ろ過器の改良

## Improvement of pressure type filter through flow analysis



(環)生産本部設計部官需第1グループ  
正 木 洋 一  
Yoichi Masaki  
(環)生産本部設計部機器グループ  
室 井 治  
Osamu Muroi  
(環)生産本部工務部官需第1グループ  
松 本 好 一  
Koichi Matsumoto

圧力式ろ過器において、槽内の流路長さが短くろ過速度が大きい場合、ろ材の流動、盛上がりが発生し、処理性能が低下する。この問題解決のために、当社では流動解析をもちいて、原水流入管形状の最適化をおこなった。流動解析は、ろ過器槽内解析と原水流入管の均等分散解析の2段階でおこなった。その結果、多孔式流入管をもちいることによりろ材の流動、盛上がりが抑制された。これは、実装置におけるろ過速度30 m/hでの運転で証明された。

Filter media migrate and build-up in a pressure type filter with short flow length and high filtration velocity, causing low treatability. To solve this problem, numerical flow analysis was conducted for improvement of inlet pipes. The analysis included two stages; for flow inside the tank and flow distribution of inlet pipe. Porous pipes could inhibit migration and build-up of media. This was proved with the full-scale filter unit at filtration velocity of 30 m/h.

### Key Words :

ろ 過 器  
ろ 材 流 動  
数 値 解 析  
多 孔 流 入 管

Filter  
Migration of filter media  
Numerical analysis  
Porous inlet pipe

### まえがき

水処理設備において原水中の浮遊物、懸濁粒子の除去のためにろ過操作がもちいられるが、その中でも100 m/日以上ろ過速度で砂などの粒状ろ材層を通過させる急速ろ過法が最も多用されている。急速ろ過装置には、池内に自由水面を持ち流入側と流出側との水頭差を利用する重力式ろ過器、密閉構造であり外殻に内圧がかかる圧力式ろ過器がある。圧力式ろ過器には、たて型と横型がある。たて型ろ過器には、ろ材厚さを厚くできること、設置面積が小さ

いなどの利点があり、横型ろ過器にはたて型ろ過器に比べて装置高さが低くなること、ろ過面積が大きくとれるといった利点がある。一般的にたて型ろ過器が多くもちいられるが、装置の高さ制限がある場合や処理量を多くしたい場合には横型ろ過器がもちいられている。

圧力式ろ過器において原水流量が増加すると、ろ過器内壁から中央部分にかけて大きな循環流が生じろ材表面速度が大きくなるため、ろ材が流動し、中央に盛り上がる現象が発生する。ろ材の盛り上が

が起これると、原水はろ材厚さの薄い部分を集中的に流れるため、全体として処理性能の低下を招く。この問題を解決するには、槽内ろ材の流動をおこす流れを抑制して、槽内により均一な下向流を形成する原水流入管形状にする必要がある。今回、原水流入管の形状決定のため流動解析を実施し、実機テストと合わせて良好な結果を得ることができたので報告する。

### 1. 砂ろ過器ろ材流動と流動解析

これまで当社は、たて型と横型を合わせて数多くの圧力式ろ過器を納入してきた。しかし、横型ろ過器においてろ過速度が大きい場合、ろ材の流動が起これり、中央部に山脈状に盛り上がる現象が発生した。この解決には原水流入管形状を改良し、槽内での循環流を抑制し、均一下向流を形成する必要がある。

ここで実機テストでは、装置規模が大きいこと、既に装置が稼動中であること、高額な費用を要することなどの理由で試行回数が限られてくる。これに対して流動解析では、モデル形状変化や条件設定をコンピュータ上で比較的容易におこなうことができるので、製品の構造設計には非常に有効である。そこで今回、原水流入管改良の方向付け、形状決定に際して流動解析を実施した。

本報では、例としてφ3 200<sup>mm</sup>横型ろ過器について報告するが、この他にφ2 400<sup>mm</sup>横型ろ過器についても同様の方法で解析をおこなった。φ3 200<sup>mm</sup>横型ろ過器の概略図を第1図に示す。原水は上部原水流入管より流入、各噴孔から吐出し、ろ材を上から下へ通過してえられた処理水は下部集水管より流出する。ろ材はアンスラサイト、ろ砂の2層式である。

### 2. 流動解析手法

今回、流れ場は3次元非圧縮性乱流として定常解析をおこなった。解析手法として、流動解析で最も多くもちいられている有限差分法をもちいた。乱流モデルにはk-εモデルをもちいた。使用した数式は以下のとおりである。

質量保存式

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

運動量保存式

$$\frac{\partial p U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_j p U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_i} - p u_i u_j \right] \quad (2)$$

乱流エネルギーと粘性消散率の輸送方程式

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_s + G_r - \rho \epsilon \quad (3)$$

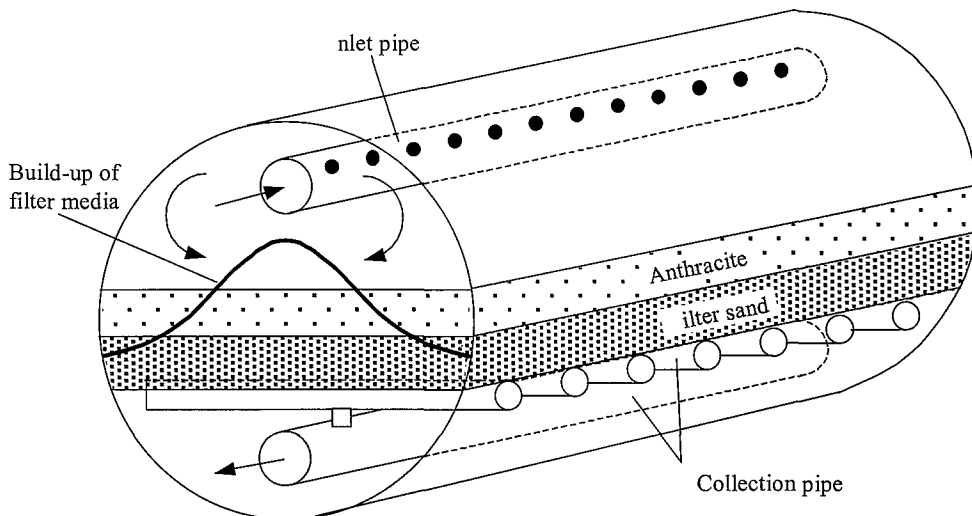
$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right]$$

$$+ C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_s + G_r) (1 + C_3 R_f) \quad (4)$$

$$- C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k}$$

レイノルズ応力項は次式(5)、(6)のとおりである。

$$u_i u_j = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - \mu_t \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \quad (5)$$



第1図 φ3 200<sup>mm</sup>横型ろ過器概略図  
Fig. 1 Model of the φ3 200<sup>mm</sup> horizontal filter equipment

$$\mu_t = C_t \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

ただし各記号の意味は次式(7)~(10)のとおりである。

$$G_s = \mu_t \left[ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

$$G_r = g_i \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$R_f = \frac{G_r}{G_s + G_r} \quad (9)$$

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.0, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \\ C_3 = 0, \sigma_t = 0.9, C_t = 0.09 \quad (10)$$

式中の大文字は時間平均項を示す。ただし、各記号の意味は以下のとおりである。

- $\rho$  : 流体密度 [kg/m<sup>3</sup>]
- $\mu$  : 粘性係数 [Pa·s]
- $\beta$  : 体積膨張率 [1/°C]
- $g_i$  : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]
- $k$  : 乱流エネルギー [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]
- P : 圧力 [Pa]
- T : 流体温度 [°C]
- $U_i$  : 時間平均流速 [m/s]
- $u_i$  : 瞬間流速 [m/s]
- $x_i$  : 座標位置 [m]
- $\sigma_{ij}$  : 応力テンソル [-]
- $\varepsilon$  : 粘性消散率 [m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]
- $\mu_t$  : 渦粘性係数 [Pa·s]

以上の方程式を汎用熱流体解析コードをもちいて連立させて解き、流速分布をもとめた。解析は、槽内断面流れ把握のための槽内解析と、流入管長手方向の噴出吐出量均等性把握のための均等分散解析の2段階でおこなった。

### 3. 槽内解析

#### 3.1 槽内解析モデル

槽内解析モデル(改良前)を第2図に示す。解析領域はろ過器断面の1/4、奥行き方向は噴孔間隔の2倍(P90×2=180mm)とした。槽内壁は壁面粘性条件、中央断面は対称条件とし、奥行き両端面はすべり条件とした。流入条件として原水流入管噴孔に速度を与え、ろ材下側を自由流出条件とした。

ろ材について、ろ過抵抗としてアンスラサイト、ろ砂それぞれのろ材抵抗と等しい圧力損失効果のあるパネルを設けた。流入管モデルの概略図を第3図

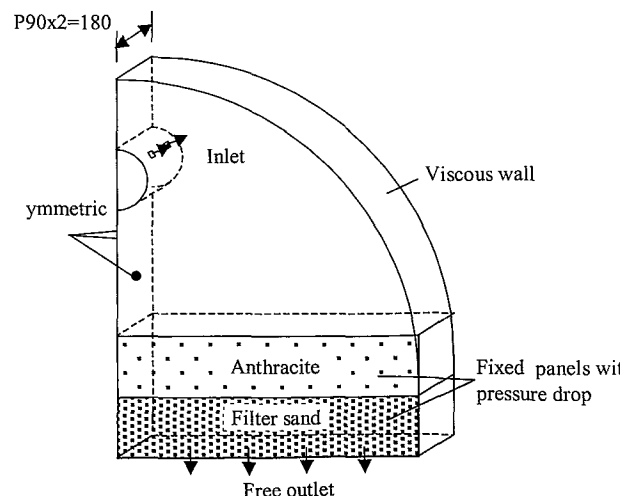
に示す。①改良前モデルでは、φ30穴の吐出角度が120°で配置されている。流入管改良案のうち代表的な2例を次の②③に示す。②多孔式モデルは、真下を除いた周方向11穴である。噴孔径は後述の均等分散解析により決定した。③は改良前モデルの流入管まわりを整流板で囲ったもので、開口率は横と下でことなる。長手方向の噴孔ピッチ、噴孔数は等しい、すべて原水流量は等しく、LV=30m/hである。

#### 3.2 槽内解析結果

①改良前および②多孔式の場合の流速ベクトル、流速分布図をそれぞれ第4図(a),(b)に示す。①改良前では、噴流が内壁に衝突し、沿う流れが強くなり、槽内に大きな循環流が発生していることがわかる。この循環流がろ材流動をおこしていると思われる。これに対し②多孔式の場合には、槽内壁に沿う流れは弱く循環流もほとんど発生しておらず、槽内には均一な下向流が形成されている。また槽内全体の流速も改良前と比べて大きく低下している。

ろ材流動有無の可能性は、ろ材表面流れのせん断方向(半径方向)速度で評価できる。第5図に、ろ材表面におけるせん断方向速度の最大値を示す。①改良前と比較して②多孔式、③整流板式ではろ材表面速度が1/5程度に抑制されている。

実機を用いた予備実験によると、①改良前モデルでLV=10m/hのときにはろ材流動がおこらなかった。この結果より、流入管改良案の解析結果が①改良前モデルでLV=10m/hの解析結果よりもろ材表面速度が小さければろ材流動がおこらないといえる。ここで示した②、③のすべての改良案では、LV=10m/hよりも小さい値が得られており、こ



第2図 槽内解析モデル  
Fig. 2 Analysis model of inside of tank

らの流入管改良案によりろ材流動，盛り上がり抑制が可能であると考えられる。

#### 4. 均等分散解析

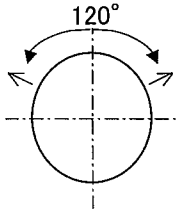
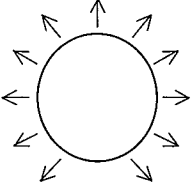
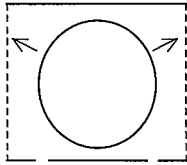
##### 4.1 均等分散解析モデル

前述の多孔式流入管では，噴孔数が多く総噴孔面積が大きくなるので吐出量の長手方向における均等性が失われる。噴孔数は，周方向11穴で統一し，噴孔径を長手方向に段階的に変化させた。均等分散解析モデルを第6図に示す。原水が流入管周方向に均

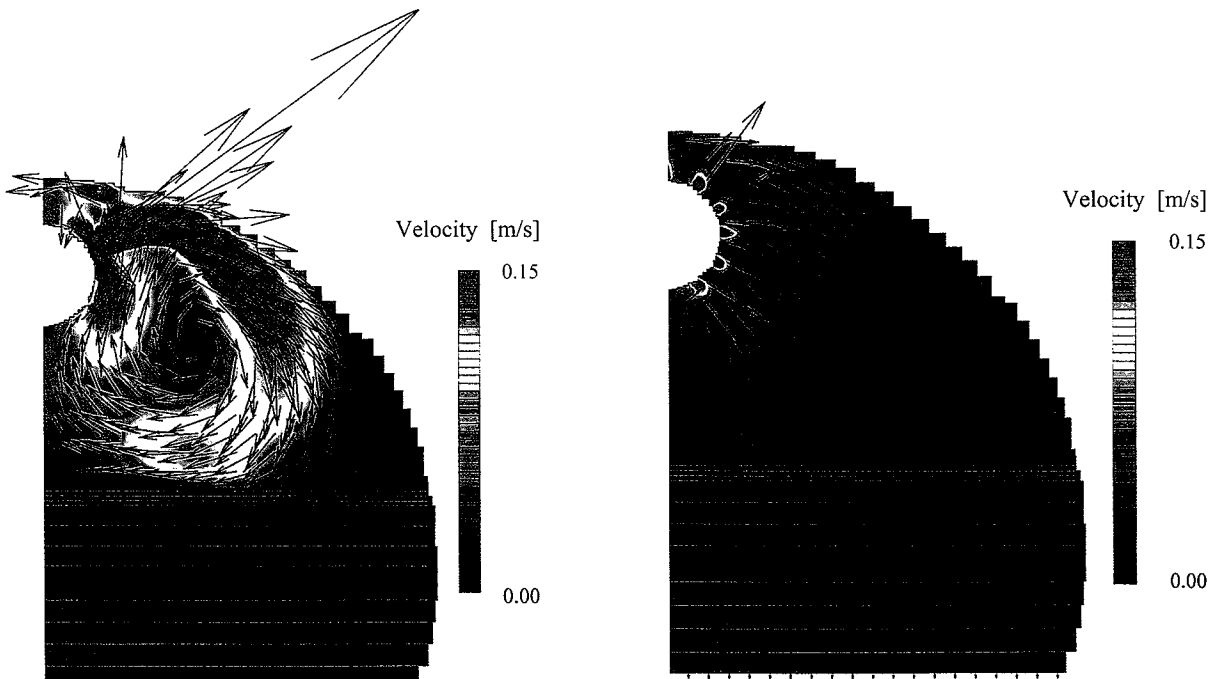
等に吐出しているとし，長手方向に対して1列の噴孔のみ計算対象とした。つまり，吐出量は全流入量の1/11となる。

##### 4.2 均等分散解析結果

噴孔径を長手方向に変化させて最適な流入管形状を決定した。解析結果のうち最も均等性が得られたものを第7図に示す。図は長手断面の流速分布を示している。またこのときの噴孔断面平均速度，噴孔吐出流量を第8図に示す。この流入管では，流入側

①	②	③
		
Conventional pipe	Porous pipe	Conventional pipe in baffle
Orifice diameter = 30mm	Analysis of flow distribution in inlet pipe	Open area ratio (side) = 10~20% (bottom) = 1~10%
LV=30 m/h	LV=30 m/h	LV=30 m/h

第3図 流入管モデル  
Fig. 3 Models of Inlet pipe



第4図 (a) 解析結果 (①改良前モデル)  
Fig. 4 (a) Flow analysis- ①Conventional pipe

第4図 (b) 解析結果 (②多孔モデル)  
Fig. 4 (b) Flow analysis- ②Porous pipe

から管先側に行くにしたがって、噴孔径を4段階で小さくなるように変化させた。第8図において流速を見ると、管先側に行くにつれて噴出速度が大きくなっており、流速についての均等性はえられていない。一方流量を見ると、流入側端を除いてほぼ均等性がえられている。均一な下向流を形成し、ろ材盛り上がり抑制するには、流量の均等性がより重要と考えられるため、流量が最も均等であったこの形状を最適と判断した。

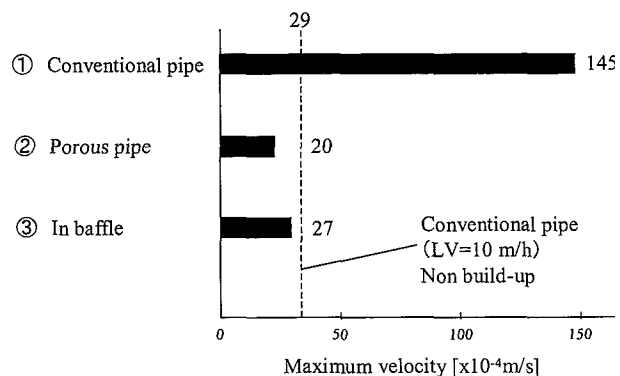
### 5. 実機通水テスト結果

φ3 200mm 横型ろ過器について、本報で示した2つの原水流入管改良案を実機で通水テストをおこなった。その結果、多孔式ではろ材流動はほとんどなく、ろ材面は平坦であった。整流板式では、ろ材面はほぼ平坦ではあったが、部分的な凹凸が見られた。以上より、最もろ材流動の抑制効果が見られた多孔式を最終改良案とした。

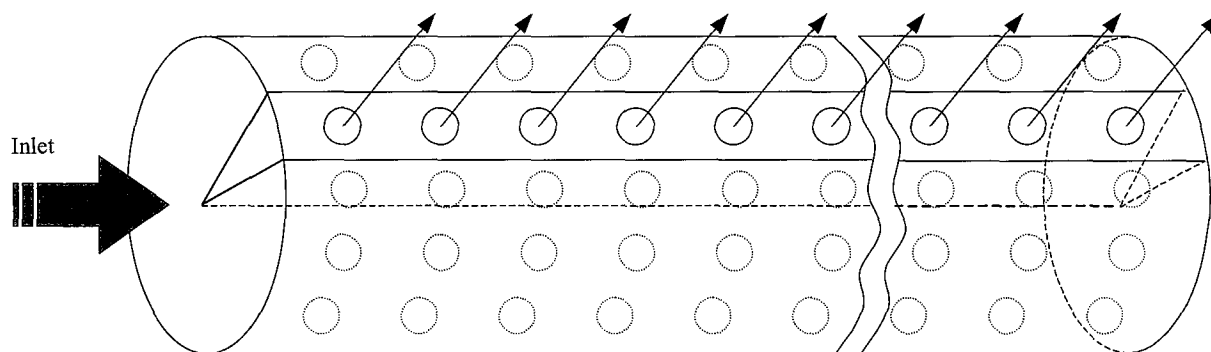
なお本報では記述しなかったが、φ2 400mm 横型ろ過器についても本報と同様の解析をおこない、多

孔式流入管を採用した。

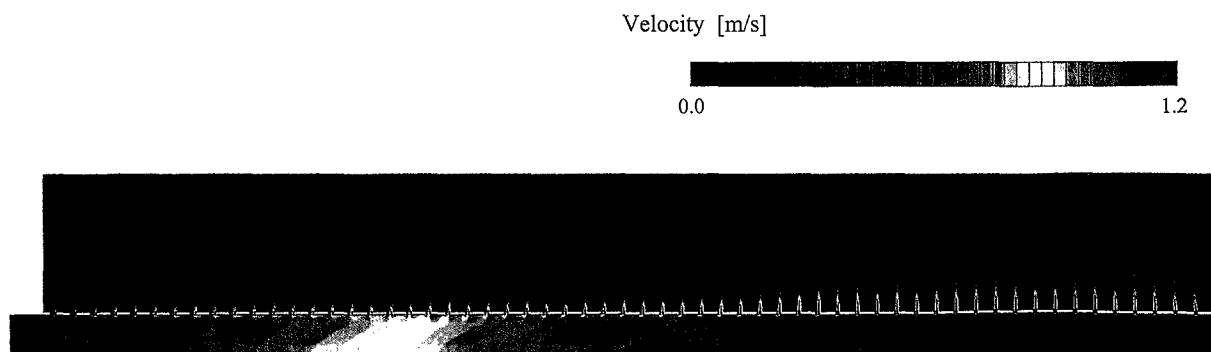
現在、問題は解決されLV=30 m/h という高いろ過速度においても順調に稼働している。またろ過器の差圧の上昇がゆるやかになり、それにともない、逆洗間隔も長くなった。



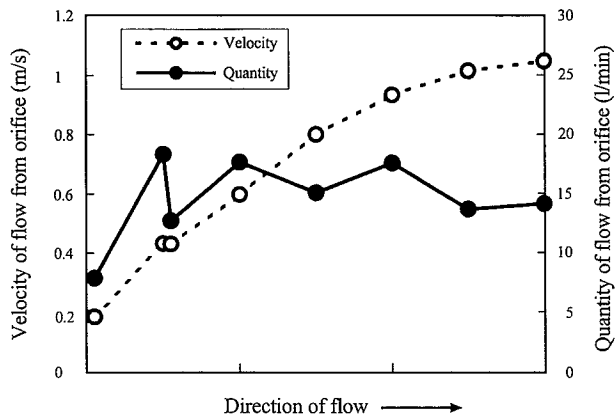
第5図 ろ材表面速度最大値  
Fig. 5 Maximum velocity of flow on surface of filter media.



第6図 均等分散解析モデル  
Fig. 6 Analysis model of dispersibility



第7図 長手方向流速分布  
Fig. 7 Flow distribution in axial direction



第8図 長手方向均等分散性  
Fig. 8 Dispersibility in axial direction

## むすび

圧力式砂ろ過器のろ材流動抑制を目的とし、流動解析をもちいて原水流入管形状の最適化をおこなった。流動解析では、ろ過器内の流れを把握するための槽内解析と原水流入管形状の最適化を目的とした均等分散解析をおこなった。その結果、噴孔数を増やして噴出速度を抑え、噴孔径を長手方向に変化させて流量の均等性をえた多孔式流入管をもちいることによつてろ材流動、盛上がりが抑制された。

圧力式ろ過器のろ材流動抑制技術を開発し、流動解析を用いた圧力式ろ過器の設計手法を確立した。今回考案した多孔式流入管をもちいることによつて、LV=30 m/h という高負荷における安定した処理が可能となった。

## 連絡先

正 木 洋 一      環境装置事業部  
                          生産本部  
                          設計部  
                          官需第1グループ  
                          T E L 078 - 232 - 8118  
                          F A X 078 - 232 - 8508  
                          E-mail y.masaki@pantec.co.jp