

# 配水管内における濁質の沈降シミュレーションに関する研究

武蔵工業大学 学生会員 近藤秀樹

武蔵工業大学 正会員 長岡裕

## 1. 研究背景

浄水場では、オゾン、活性炭、膜ろ過設備など高い技術力を駆使して浄水場で安全かつ良質な水を作り出している。しかし、配水管などの水道施設は、高度成長期に建設されたものが多く、設置後既に30年以上経過している。そのため、管路の老朽化等の原因による濁質生成等により、各家庭に届くまでにその品質が損なわれてしまっている。

現在、各事業者はこれらの濁質の除去方法として消火栓等からの計画的な排水作業等で対処しているが、この作業では、全国で年間5億 $m^3$ の水がユーザーに給水されることなく廃棄されている。また、管路の腐食等による漏水量は全国で年間14億 $m^3$ に達している。このため、配水管における水質と水量の両面からの水利用の合理化を検討することが課題になっている。

## 2. 研究目的

現在、配水管において鏽等の濁質が沈降しており、流れが急変した際（非定常の場合）に巻き上げ浮上が発生し、濁り水等の水質劣化が問題となっている。

本研究では、配水管の水質改善を目的として管内の濁質の挙動を解析ソフトCFD2000を用いて、濁質径や管内流速、管径等の各条件を変化させたとき濁質の挙動をシミュレートする。

## 3. 支配方程式

本研究は、運動量や質量の保存に重点をおいた有限体積法を用いて流体解析を行う。有限体積法は、計算領域を六面体(2次元は四辺形)に分割し、各セルに対し積分形で書かれた基礎方程式を差分法で解くものである。境界に合わせて比較的自由にセル分割でき、境界条件が扱いやすいこと、保存性が得られることがこの方法の特徴である。

解析には、次式を用いた。(1)

[質量保存則]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

[運動量保存則]

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \mu \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - (\rho + aC)g$$

[濁質の輸送方程式]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (v + v_s) \frac{\partial C}{\partial y} = 0$$

ここで、 $x$ :水平(流下)方向の位置座標、 $y$ :鉛直(水深)方向の位置座標、 $u$ :水平(流下)方向の流速、 $v$ :鉛直(水深)方向の流速、 $t$ :時間、 $p$ :圧力、 $\rho$ :流体密度、 $g$ :重力加速度、 $C$ :懸濁物質の濃度、 $v_s$ :懸濁物質の沈降速度、 $a$ :密度係数、 $\mu$ :粘性率、とする。

濁質の平均密度は以下の式で表す。(2)

$$\rho' = \rho + \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right) C$$

$\rho_s$ : 濁質密度

$$a = 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \quad \text{と置く}$$

## 4. 解析条件

本研究では、配水管内の濁質の挙動を調べることから円管モデルを用いるべきだが円筒座標では計算を行うセルの分割を均等にするのが困難で、精度のよい結果を出すのが難しい。そこで、均一なセルを作りやすく、計算が簡単に行える直方体モデルを管に見たて、2次元解析を行い、濁質の挙動を調べた。

解析モデルは流入断面0.1(m)×0.1(m)奥行き1mの直方体とする。計算を行うセル分割は、流入断面は、管壁面で、摩擦により流速が小さくなり濁質が大きく変化すると考え、壁面で最小のセルが分布するように壁面近傍では、0.0209(cm)、流入断面中心では、0.1394(cm)とし100分割した。

また、管長方向を200分割(0.5(cm)等間隔)にした。水だけが流れていた管に水とともに濁質が流れ込んでくることを想定した。

管内はFig.1に示すように、層流とした。

解析条件を，Table1 に示す．



Fig1 Analytic model.

Table 1 Analytical conditions.

Flow velocity (m/s)	0.00104
Total time (s)	1000
Time interval	0.05
Fluid density (kg/m <sup>3</sup> )	996.56
Particle density (kg/m <sup>3</sup> )	3200
Coefficient a	0.6875
Coefficient of viscosity	0.00087
Flow density (kg/m <sup>3</sup> )	0.1
Particle diameter (cm)	0.1
settling velocity (m/s)	0.1255

## 5. 解析の結果

Fig2 ,Fig3 は ,上から ,5[s] ,50[s] ,100[s] ,200[s] ,400[s] ,800[s]のときの濃度分布 ,流速分布を表している .流れは左から右へと流れている .色が濃いほど数値が高いことを示している .

濁質分布を見ると ,管下部に高い数値を示している .濁質は ,流入と同時に沈降し ,底面に溜まる .そして ,管内流速の影響を受け渦を巻くようにして押し流されているのがわかる .

解析では ,水と濁質を 1000 秒間流したときの挙動を計算したが ,流入部付近では ,何度か渦を巻いたような分布が見られた .流速をみると ,濁質が流入するのと同時に ,管鉛直方向下部では流速が速くなり ,管上部では ,流入方向とは逆の流速が働いた .この現象が流入部で起きていることから ,濁質の流入により ,管鉛直方向下部で流速が大きくなることわかった .また ,濁質は流入部では ,密度流により渦を巻いたり ,不安定な動きをするが ,流出部では安定したものになる .

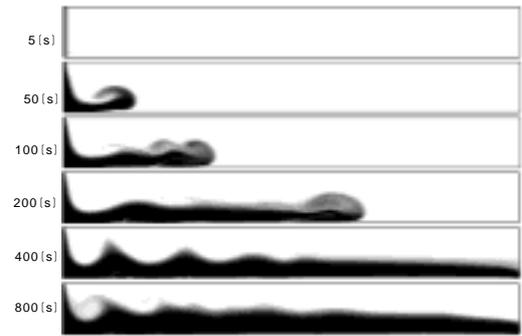


Fig.2 Concentration distribution.  
max0.1 (kg/m<sup>3</sup>), min0 (kg/m<sup>3</sup>)

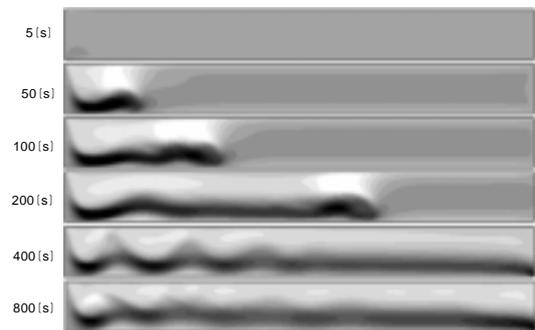


Fig.3 Distribution of velocity. max0.005(m/s) ,  
min-0.002 (m/s)

## 参考文献

- 1) Adapted Research :  
STORM/CFD2000 user' manual B CFD2000 マニュアル
- 2) 内村 伸久 : 横流式沈殿池の数値シミュレーション 武蔵工業大学 卒業論文 (平成 14 年度)