

数値モデルによる管内混相流の研究

八戸工業大学 学生員○山田 美喜 平田 幸彦
学生員 鈴木 善仁
正会員 川島 俊夫 佐々木幹夫

1. 研究の目的

流雪溝による除排雪システムに関する研究の一環として、数値モデルによる管内混相流の流動解析を行った。本研究では過去8年間の観測を参考に管径50.0mm、動粘性係数 $1.01 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ を用いて速度分布、乱流エネルギー、乱流散逸分布を明らかにする。管径50.0mmを用いているのは、過去の実験データにより管径が異なる場合でも違いはあまり見られないことから管径50.0mmにした。また動粘性係数は水20°C前後で実験を行っていたので 1.01×10^{-6} を用いた。昨年までは水平管または鉛直管などを用いて実験を行っていたが、本研究では、過去8年間の固体粒子速度分布を整理し、数値モデルを確立し混相乱流の数値シミュレーションによって管内の混相流特性を解明することを目的としているが、今回は清水流の数値シミュレーションを行う。

2. 解析方法

過去8年間の観測を参考にし、 $k-\epsilon$ モデルを用いた数値シミュレーションを行い、管径50.0mm、動粘性係数 $1.01 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ を用いてレイノルズ数 $Re=10000, 20000, 40000$ の速度・乱流エネルギー・乱流散逸分布の解析を行った。境界条件はFig.1に示すように、 $x=0$ にて速度が一樣な分布形で与えた。 k, ϵ の方程式は、

$$U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right\} + P_k - \epsilon + C_{fk} (F_x U + F_y V) \quad \dots (1)$$

$$U \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} + \nu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} + \nu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right\} + \frac{\epsilon}{k} \left[C_{1\epsilon} \left\{ P_k + C_{f\epsilon} (F_x U + F_y V) \right\} - C_{2\epsilon} \right] \quad \dots (2)$$

を用いた。

3. 結果

Fig.1に、円管モデルの断面図を表した。半径 r_0 に対し、管壁から中心までを y で示し、管内入口部から管内出口部までを x で表した。

Fig.2, 3, 4, 5, 6は、清水乱流の場合の計算結果である。横軸に管壁からの半径 y を無次元化した y/r_0 、縦軸に無次元化した速度・乱流エネルギー・乱流散逸をそれぞれ $u/u_{max}, k/k_{max}, \epsilon/\epsilon_{max}$ で表した。またFig.2, 3, 4は $Re=20000$ 、Fig.5, 6は、 $Re=40000$ の速度・乱流

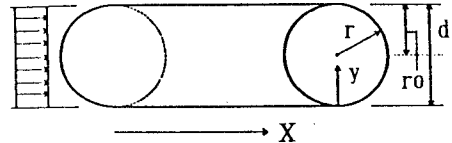


Fig.1 円管モデル断面図

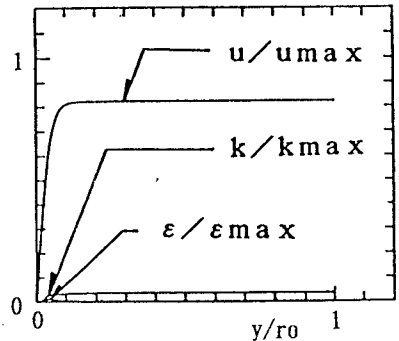


Fig.2 u k ε 分布入口部 (Re=20000)

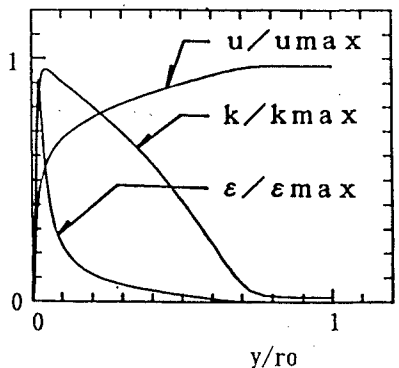


Fig.3 u k ε 分布中心部 (Re=20000)

エネルギー・乱流散逸分布をそれぞれ表した。また、 $Re=10000$ は、 $Re=20000$ の分布形と変わらないので省略した。

Fig. 2 は、管内入口部を示したもので、速度分布は、管壁の摩擦によりあまり変化は見られなく、乱流エネルギー・乱流散逸分布も変化は見られない。これらの傾向は管内入口部なので速度がまだ発達しきれていないためと考えられる。

Fig. 3 は、管内中心部を示したものである。距離が増すにつれて速度分布も増加する。これは、管壁の摩擦が小さくなったためと考えられる。また、速度が増すにつれて乱流エネルギー・乱流散逸分布に管壁付近で大きな乱れが見られる。

Fig. 4 は、管内出口部を示したもので、中心部同様、摩擦が小さくなり速度分布が1付近まで上昇し、乱流エネルギー分布も円管内中心部まで乱流が発達してきている。乱流散逸分布は管内中心部とあまり変化は見られないが、乱流エネルギーの影響もあり1付近まで上昇してきていることがわかる。

Fig. 5 は、 $Re=40000$ の管内入口部を示したもので、まだ入口部なこともあり管壁の摩擦によりあまり大きな変化は見られない。しかし、乱流エネルギー・乱流散逸分布は急激な乱れが見られる。 Re 数が大きいことにより、入口部の管壁付近では渦が生じて乱流エネルギー・乱流散逸分布は極めて高い値を示した。

Fig. 6 は、管内中心部を示したもので、 $Re=20000$ 同様、距離が増すにつれて速度分布も増すことから管壁摩擦が小さくなったと考えられる。乱流エネルギー分布は、速度が増すにつれて円管内中心部近くまで発達してきていることがわかる。乱流散逸分布は、入口部とあまり変化はみられない。 $Re=40000$ の管内出口部を掲載していないが、管内中心部と比べ速度・乱流散逸分布はあまり変化は見られなかったが、乱流エネルギー分布は円管内中心部まで発達してきている。

4. 結論

u , k , ε の解析を行った結果、(1) $Re=20000$ の場合、速度が遅いため管壁摩擦が生じ、乱流エネルギーが発達するには少々距離が必要になる。(2) $Re=40000$ の場合は速度が速いため入口部付近で乱流エネルギーが発生するが、非常に大きいエネルギーが発生したのが見られた。

参考文献 小竹 進・土方 邦夫：パソコンで解く熱と流れ 丸善，1993

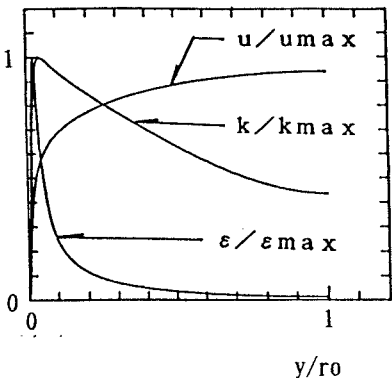


Fig. 4 $u k \varepsilon$ 分布出口部 ($Re=20000$)

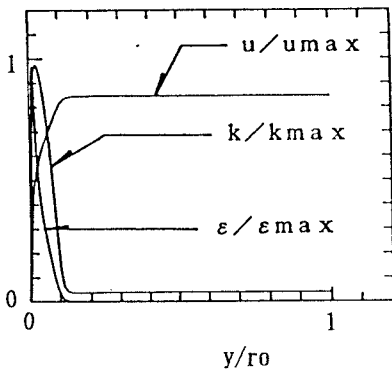


Fig. 5 $u k \varepsilon$ 分布入口部 ($Re=40000$)

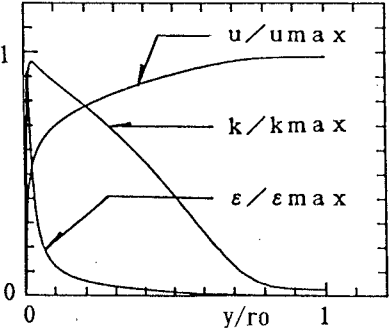


Fig. 6 $u k \varepsilon$ 分布中心部 ($Re=40000$)