

旋回流れ対応型 $k-\omega$ SST モデルの OpenFOAM への実装 -第 2 報-

中山 勝之^{1†} 中川 慎二²

¹ オープン CAE 勉強会@富山 ² 富山県立大学

Implementation of the $k-\omega$ SST model to rotation and curvature on OpenFOAM -2nd Report-

Katsuyuki NAKAYAMA*[†] Shinji NAKAGAWA**

*Open CAE Study Group @ Toyama **Toyama Prefectural Univ.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Rotation and curvature flow, Turbulence Model, Wall function, Boundary condition, OpenFOAM

1. はじめに

OpenFOAM はソースコードが公開されており、ユーザーは自由にコードのカスタマイズを行うことが可能である。OpenFOAM では既に多くの乱流モデルが実装されているが、実装されていない、または新たに提案されたモデルに関してはユーザーがコードを作成する必要がある。第 1 報⁽¹⁾ で我々は Hellsten⁽²⁾ により提案された旋回流れに対応した $k-\omega$ SST モデルの OpenFOAM への実装を行い、本モデルの概要と OpenFOAM への実装について述べた。また計算結果については、検証のために行われた計算条件での計算結果⁽²⁾ と一致しなかった。その理由として境界条件は OpenFOAM に既存の条件 (高レイノルズ数壁関数) を選択しており、その影響の議論が不十分であった。質疑でも低レイノルズ数型壁関数への対応が必要との指摘を受けた。本報では、前回の課題であった低レイノルズ数型への対応に対して、v1712 から新しく利用可能になったブレンド型壁関数の活用で対処可能かを調べた。

2. シミュレーション手法と結果

2 次元定常非圧縮性流れを対象とする。ソルバーは simpleFoam (OpenFOAM v1712) を使用する。乱流モデルは OpenFOAM に実装してある kOmegaSST モデルをベースに、Hellsten⁽²⁾ により提案された方法を用いる (実装方法は文献⁽¹⁾ 参照)。乱流エネルギー比散逸率 ω と渦動粘性係数 ν_t の境界条件は、壁関数を使用する。Menter の文献⁽³⁾ による ω の壁関数を以下に示す。

$$\omega = (\omega_{\text{vis}}^2 + \omega_{\text{log}}^2)^{0.5} \quad (1)$$

$$\omega_{\text{vis}} = \frac{6\nu}{0.075y^{+2}} \quad (2)$$

$$\omega_{\text{log}} = \frac{1}{0.3k} \frac{u_\tau}{y^+} \quad (3)$$

添字の vis は粘性底層領域、log は対数領域を表す。ここで壁面摩擦速度を u_τ 、壁面からの距離を y 、動粘性係数を ν とすると、壁面からの無次元距離 y^+ は以下の式となる。

$$y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu} \quad (4)$$

このように ω の壁関数は、粘性底層と対数領域での壁関数をブレンドして評価される。また、 ν_t についても同様の方法で評価される。

以上で述べた壁関数の評価について、OpenFOAM はバージョン v1712 から実装されている。Code 1 に該当部分のソースコードを示す。261 行目は式 (1) に相当する。また 263-274 行目は既存の境界条件が記述されている。

Code 1 omegaWallFunctionFvPatchScalarField.C.

[†] E-mail address of corresponding author: nak954@gmail.com

```

236 // Set omega and G
    forAll(nutw, facei)
238 {
        const label celli = patch.faceCells()[facei];
240
        const scalar yPlus = Cmu25*y[facei]*sqrt(k[celli])/nuw[facei];
242
        const scalar w = cornerWeights[facei];
244
        const scalar omegaVis = 6*nuw[facei]/(beta1_*sqrt(y[facei]));
246 const scalar omegaLog = sqrt(k[celli])/(Cmu25*kappa_*y[facei]);

248 // Switching between the laminar sub-layer and the log-region rather
        // than blending has been found to provide more accurate results over a
250 // range of near-wall y+.
        //
252 // For backward-compatibility the blending method is provided as an
        // option
254
        // Generation contribution is included using the blended option, or
256 // when using the switching option if operating in the laminar
        // sub-layer
258 bool includeG = true;
        if (blended_)
260 {
            omega0[celli] += w*sqrt(sqrt(omegaVis) + sqrt(omegaLog));
262 }
        else
264 {
            if (yPlus > yPlusLam_)
266 {
                omega0[celli] += w*omegaLog;
268 }
            else
270 {
                omega0[celli] += w*omegaVis;
272 includeG = false;
            }
274 }

276 if (includeG)
278 {
        G0[celli] +=
            w
280 *(nutw[facei] + nuw[facei])
            *magGradUw[facei]
282 *Cmu25*sqrt(k[celli])
            /(kappa_*y[facei]);
284 }
    }
286 }

```

図 1 に回転流れのシミュレーションを行うためのモデル (U-turn ダクト) を示す。レイノルズ数は 3.28×10^6 , 289×161 グリッドで計算を行う。

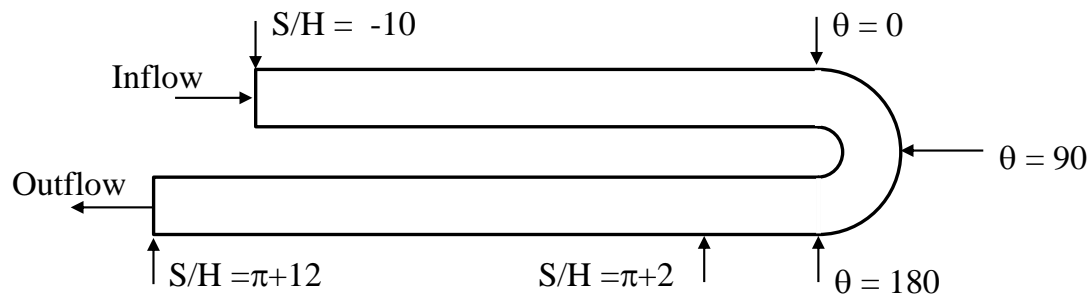


Fig. 1 Schematic of the flow geometry for U-turn flow.

計算結果や実験結果との比較, また境界条件が計算結果に与える影響などについては本講演で詳細を述べる。

参考文献

- [1] 中山勝之, 中川慎二. 旋回流れ対応型 $k-\omega$ SST モデルの OpenFOAM への実装. オープン CAE シンポジウム 2017, A16, 2017.
- [2] Hellsten, A.. "Some Improvements in Menter's $k-\omega$ SST turbulence model". *AIAA Paper*, **98-2554**, 1998.
- [3] Menter, F. R., Esch, T.. "Elements of Industrial Heat Transfer Prediction". *16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*, 2001.