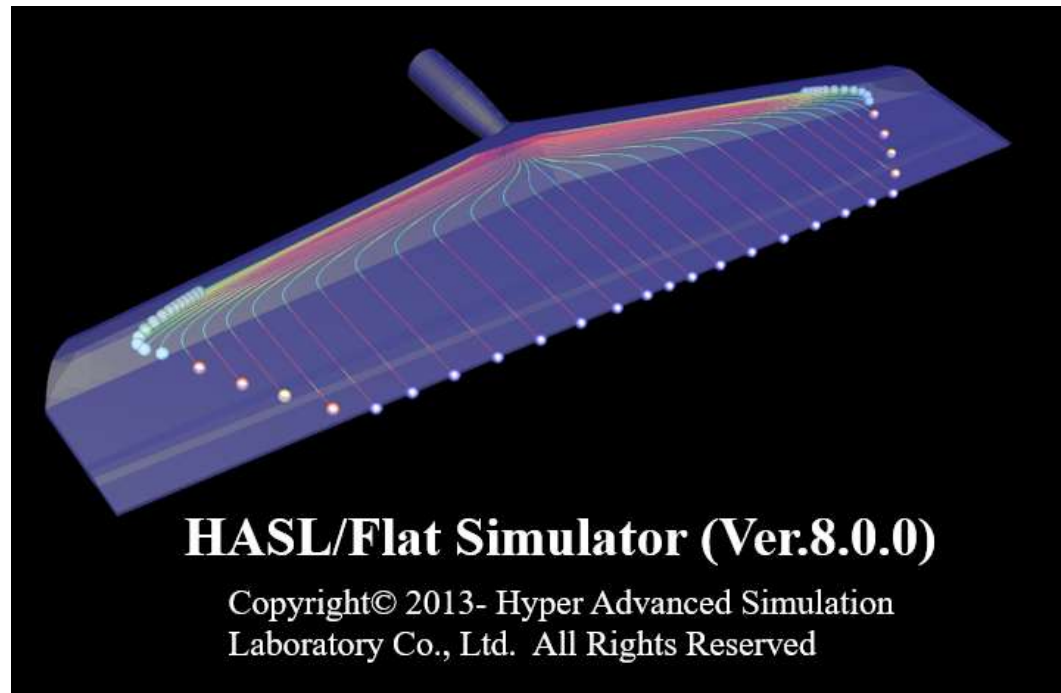


Flat Simulator (Ver.8.0.0)

改良成果資料



2021/6

株式会社HASL

はじめに

Flat Simulator(Ver.8.0.0) では, マニフォールド流路の近似的な取り扱いについて, 従来の等価水力半径近似に加えて矩形断面近似のオプションが追加されました. また, Flat Simulator Multi の理論検証を目的として, 平板間流路内で完全発達状態にある多層流動を簡易的に予測可能な付属ソフトMulti Flow Simulator を開発しました. 以下にこれらの計算モデルの理論背景とテスト解析結果, 及び運用方法について解説します.

マニフォールド流路の取り扱い

1) スリット近似

2.5D FEMでは、以下に示すように側壁の影響を無視し、流路を肉厚 H の平板に近似して取り扱います。

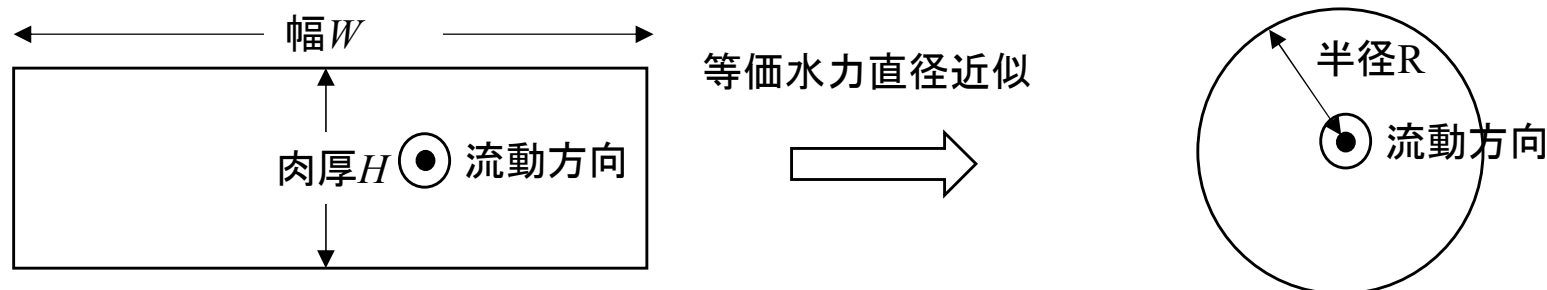


幅 W 、肉厚 H の平行平板間の粘度 η の定常流動に対し、流量 Q と圧力勾配 ΔP の間に以下に示す関係が成立します。

$$Q = -\frac{H^3 W}{12\eta} \Delta P \quad (1)$$

2) 等価水力直径近似

左右の側壁の影響を無視すると、これらの壁面による減速効果が無視され、スリット近似と同様の流量条件において、圧力勾配の絶対値が過小評価されます。一般的にこの誤差を低減するために、任意断面の流路に対して、等価水力直径(半径=直径/2)の近似が採用されています。



流路断面積 S 、周長 L の流路内の粘度 η の定常流動に対し、流量 Q と圧力勾配 ΔP の間に以下に示す関係が成立します。

$$Q = -\frac{1}{2\eta} \frac{S^3}{L^2} \Delta P \quad (2)$$

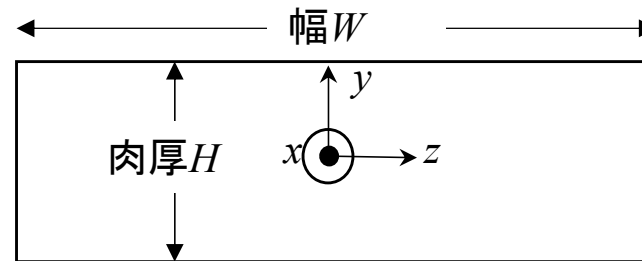
また、幅 W 、肉厚 H の矩形断面流路の面積 S と周長は、次式で表されます。

$$S = WH, \quad L = 2(W + H) \quad (3)$$

3) 矩形断面近似

下図に示すような幅 W , 肉厚 H の平行平板間の粘度 η の定常流動に対し, 断面を垂直に通過する流速ベクトル成分 u は, 次式で表されます.

$$u(y, z) = \frac{1}{\eta} \Delta p \left(\frac{1}{2} \left(y^2 - \left(\frac{H}{2} \right)^2 \right) - \frac{4H^2}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n-1)^3} \frac{\cosh\left(\frac{(2n-1)\pi z}{H}\right)}{\cosh\left(\frac{(2n-1)\pi W}{2H}\right)} \cos\left(\frac{(2n-1)\pi y}{H}\right) \right) \quad (4)$$



(4)式より, 流量 Q は, 以下に示すように評価されます.

$$Q = \int_{-W/2}^{W/2} \int_{-H/2}^{H/2} u dy dz = -\frac{WH^3}{12\eta} \Delta P g_f \quad (5)$$

ここで, 形状因子 g_f は, 次式で与えられます.

$$g_f = 1 - \frac{192}{\pi^5} \left(\frac{H}{W} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^5} \tanh \left(\frac{(2n-1)\pi W}{2H} \right) \quad (6)$$

各近似における流量 Q と圧力勾配 ΔP の関係は、下表に示す形状因子の差で表されます。

$$Q = -Sg_f\Delta P \quad (7)$$

$$S = \frac{WH^3}{12\eta} \quad (9)$$

表1 各近似における形状関数

スリット近似

$$g_{fs} = 1$$

等価水力直径近似

$$g_{fh} = \frac{3}{2} \frac{1}{\left(1 + \frac{H}{W}\right)^2}$$

矩形断面近似

$$g_{fr} = 1 - \frac{192}{\pi^5} \left(\frac{H}{W}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^5} \tanh\left(\frac{(2n-1)\pi W}{2H}\right)$$

形状因子 g_f のアスペクト比 H/W 依存性は、図1に示す様に表されます。矩形断面近似の形状関数は、1未満に評価され、2.5D FEM(スリット近似)で無視される側壁の影響を反映し、見かけ上、流動コンダクタンスが低下する取り扱いになります。流動コンダクタンスの低下は、流動抵抗の増加を表し、同一流量条件下において、圧力勾配の絶対値を増加させます。等価水力直径近似は、アスペクト比0.2未満の領域では1より大きくなり、スリット近似よりも流動性が高まる矛盾した結果を導きますが、実用マニフォールドのアスペクト比は、一般的に0.3以上となり、スリット近似よりもマニフォールド流路を通過する流動抵抗は大きく評価されます。矩形断面近似を採用すると全てのアスペクト比に対して矛盾すること無く、スリット近似と比較して流動抵抗は大きくなります。

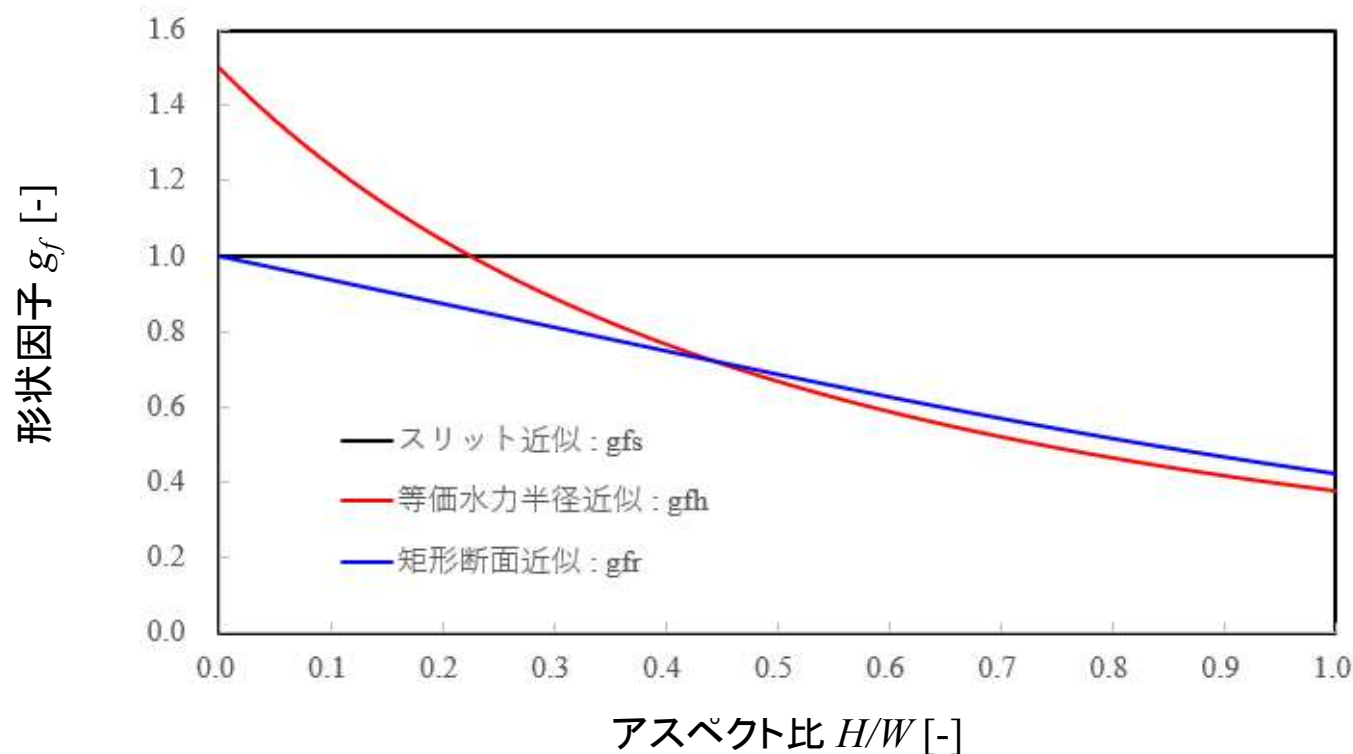


図1 形状因子 g_f のアスペクト比 H/W 依存性

各近似法が流出流速分布に与える影響について、図2に示す解析モデルと計算条件を採用したテスト解析を実施しました。

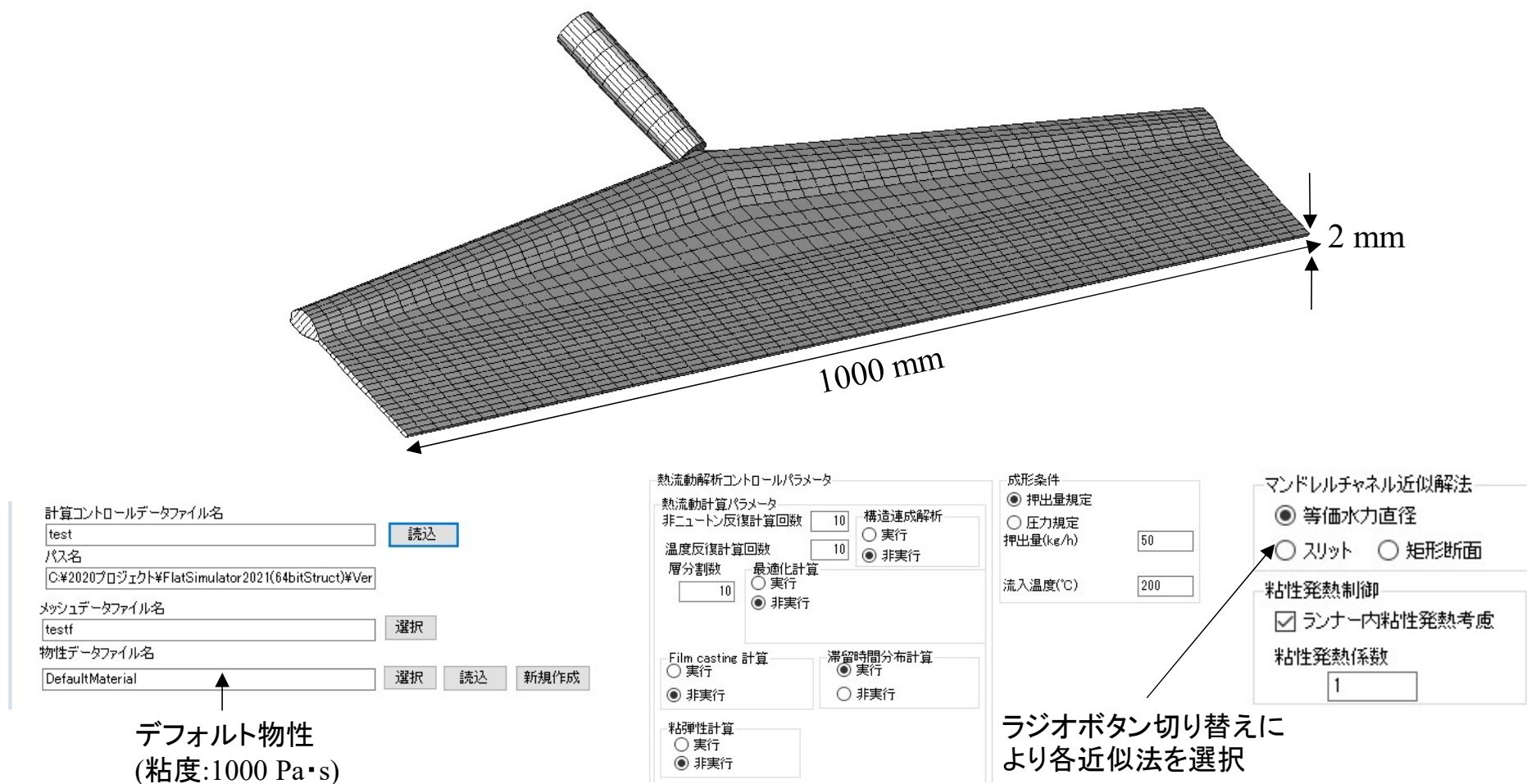


図2 テスト解析で利用した解析モデルと計算条件

図3に各近似法を採用して評価されるダイ流出口における流出流速分布の比較を示します。スリット近似を採用するとマニフォールド流路を通過して幅方向に流動する流量配分が過剰になり、ダイ流出口においては、中央部の流量配分が端部と比較して低く評価されます。一方、等価水力直径と矩形断面近似を採用するとマニフォールド流路の側壁の影響が近似的に考慮され、幅方向に流動する流量配分が、スリット近似と比較して相対的に低下します。結果として、スリット近似とは逆に中央部の流量配分が端部と比較して高く評価されます。また、等価水力直径と矩形断面近似を採用すると、マニフォールド流路の流動抵抗が大きくなり、図4に示す様に、スリット近似と比較して圧力最大値が増加します。近似解法選択のデフォルトは、等価水力直径近似です。矩形断面近似を採用するには、マンドレルチェネル近似解法パネルにおいて矩形断面近似のラジオボタンをONとして下さい。等価水力直径近似は、従来、良く利用されていますが、矩形断面近似は、矩形断面流路内の定常粘性流動の理論解から導かれる形状因子を利用しており、等価水力直径近似よりも、理論的な妥当性が高い近似解法と言えます。

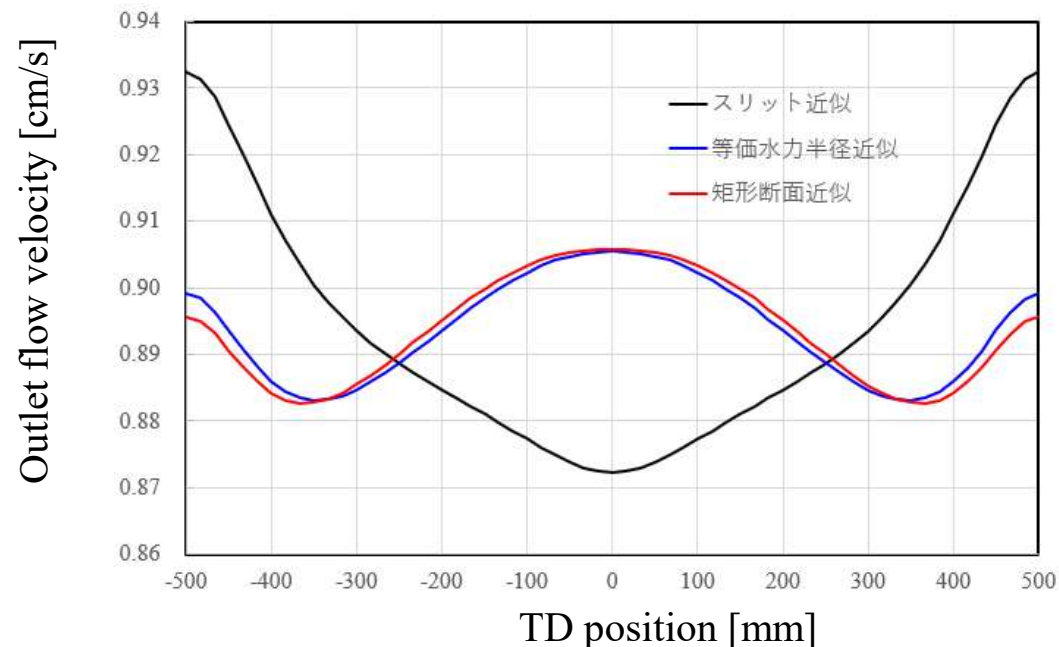


図3 形状因子 g_f のアスペクト比 H/W 依存性

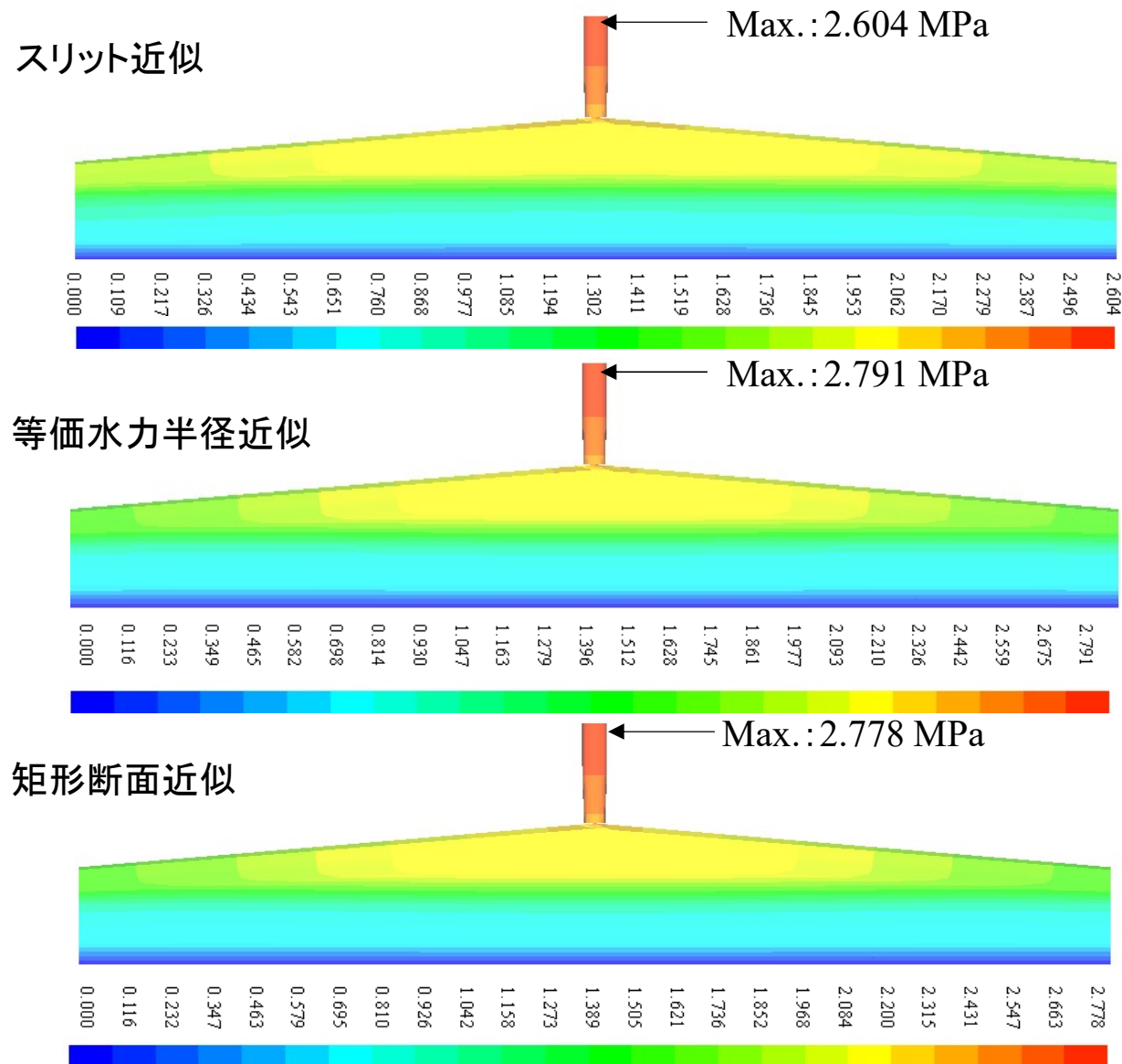


図4 圧力分布の比較

Multi Flow Simulator (2D Fully Developed Multi Layer Flow Simulator)

Multi Flow Simulator(MFS)は、潤滑近似理論に基づき、平板間流路内で完全発達状態にある多層流体の流動状態を簡易的に予測する解析ソフトです。材料プリプロセッサ Materialfitで作成した粘度物性ファイルを利用し、全流量及び流量比あるいは肉厚比、熔融樹脂温度などの成形条件を指定し、多層流体の層厚や流速分布などを容易且つ短時間で予測可能です。

MFSを起動するには、当該ソフトのアイコンをマウスダブルクリックします。



図 MFSアイコン

MFSを起動すると下図に示す起動画面(メインフォーム)が表示されます。以下に当ソフトの運用方法について解説します。

MFS (Fully Developed Multi Layer Flow Simulator)

☒ Tickness ratio ☐ Flux ratio

Layer number :

Thickness ratio

Ratio

Add Up Delete

Modify Down All delete

Viscosity

☒ Newtonian ☐ Non-Newtonian

Viscosity Pa·s

Add Up Delete

Modify Down All delete

Total thickness 10.0 mm

Total flux 100.0 mm²/s

Layer division number 10

Non-Newtonian Iteration 1

Export Import Compute

Result information

Pressure gradient : Pa/mm

List name

Graph information

Thickness (mm)

Velocity (mm/s)

Xmin Xmax

Ymin Ymax

Plot File output

図 MFS起動画面

平板流路の肉厚1)と全流束2)(単位幅当たりの流量)を,それぞれ, mm と mm^2/s 単位で指定します. Layer division number 3)には, 各層の肉厚方向の計算メッシュの分割数, Non-Newtonian Iteration 4) には, 非ニュートン反復計算回数を指定します. 非ニュートン反復計算回数は, ニュートン粘度の場合は1, 非ニュートン粘度の場合は, 1より大きい値(10~)を設定します.

Total thickness	10.0	mm	← 1)
Total flux	100.0	mm^2/s	← 2)
Layer division number	10		← 3)
Non-Newtonian Iteration	1		← 4)

解析種別5)として、多層流体の流量比指定(Flux ratio) あるいは 層厚比指定 (Thickness ratio) をラジオボタンで選択します。前者の場合は、全流束2)を指定した流量比で配分します。後者の場合は、平板流路の肉厚を層厚比で配分します。Ratioのテキストボックス6)に各層の比率(流量比あるいは層厚比)を入力し、Addボタンを押すとリストボックスに登録されます。リストボックスの登録情報は、編集ボタン7)を押すことで、修正/上下置換/削除/全削除などの編集が可能です。

The screenshot shows a software window for specifying layer ratios. At the top, there are two radio buttons: "Flux ratio" (selected) and "Thickness ratio". An arrow labeled "5)" points to the "Thickness ratio" button. Below the radio buttons, it says "Layer number : 5". Underneath, there is a section titled "Flux ratio" containing a list box with five entries: "1 : 1", "2 : 2", "3 : 4", "4 : 2", and "5 : 1". An arrow labeled "リストボックス" points to this list box. Below the list box is a "Ratio" label followed by a text input field containing the number "1". An arrow labeled "6)" points to this input field. At the bottom, there are six buttons: "Add", "Up", "Delete", "Modify", "Down", and "All delete". An arrow labeled "7)" points to the "Add" button.

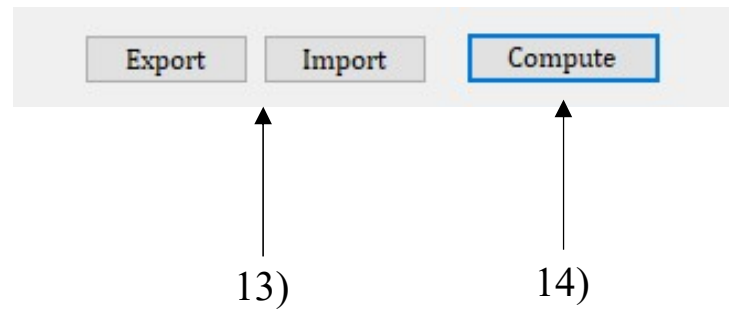
粘度モデル8)としてニュートン (Newtonian) あるいは非ニュートン(Non-Newtonian) をラジオボタンで選択します. ニュートン粘度の場合は, Viscosity のテキストボックス11) にせん断粘度をPa・sで指定し, Add ボタンを押すことで各層の粘度がリストボックスに登録されます. 非ニュートンの場合は, Select ボタン 9) を押して表示されるファイルオープンダイアログボックスにおいて Materialfit の物性データファイル (拡張子pro)を開くことで各層の粘度がリストボックスに登録されます. また, 非ニュートンの場合には, 粘度の温度依存性が考慮されるため, 計算対象とする温度情報をTemperature のテキストボックス10) に °C 単位で指定する必要があります. リストボックスの登録情報は, 編集ボタン12)を押すことで, 上下置換/削除/全削除などの編集が可能です.

The screenshot shows a 'Viscosity' dialog box with the following components and callouts:

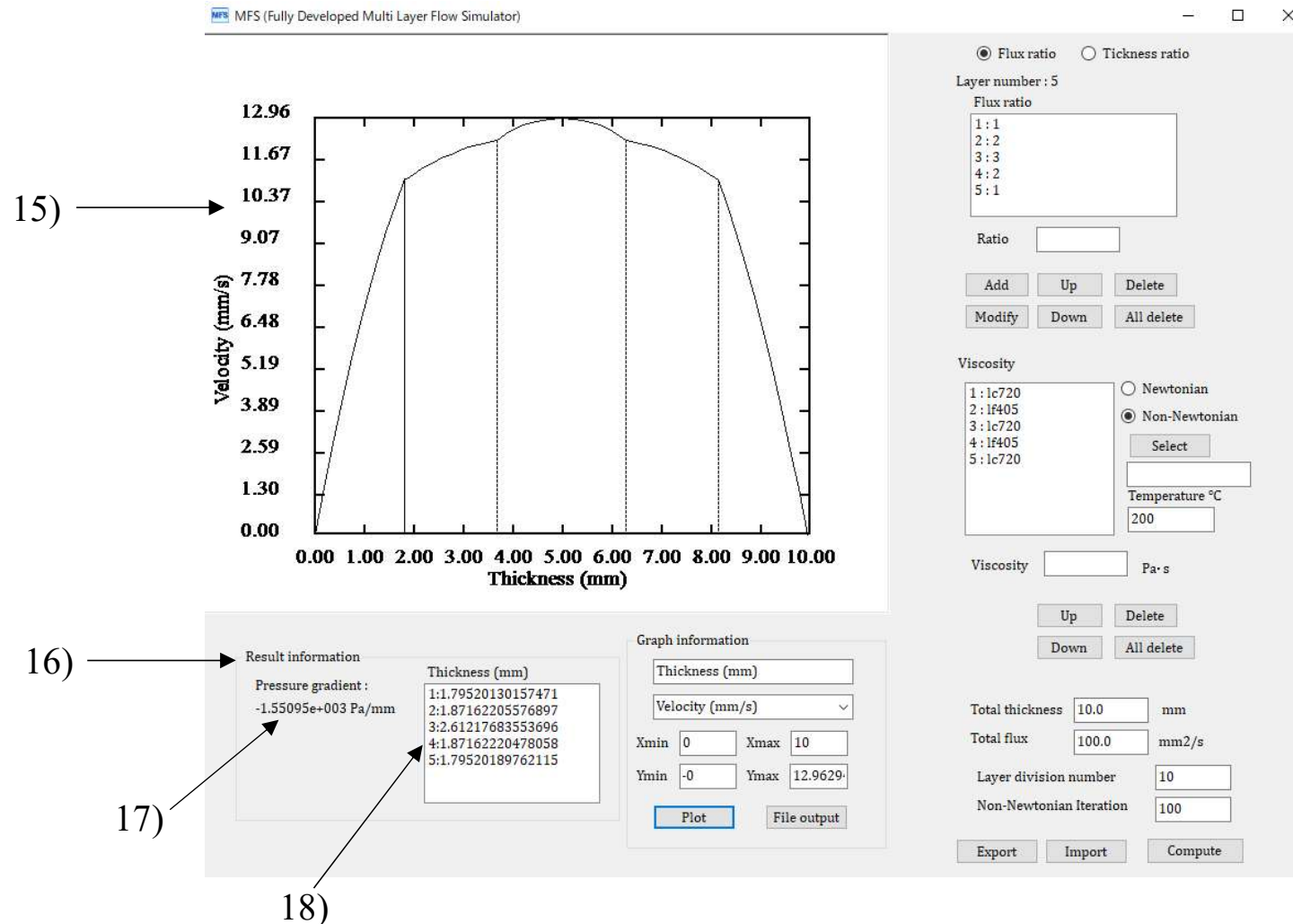
- 8)** Points to the radio button for 'Newtonian'.
- 9)** Points to the 'Select' button.
- 10)** Points to the 'Temperature °C' text box, which contains the value '200'.
- 11)** Points to the 'Viscosity' text box, which is empty, with the unit 'Pa·s' indicated to its right.
- 12)** Points to the 'Up', 'Delete', 'Down', and 'All delete' buttons.

The 'Viscosity' title is at the top left. Below it is a list box containing five entries: '1 : 1c720', '2 : 1f405', '3 : 1c720', '4 : 1f405', and '5 : 1c720'. To the right of the list box are the radio buttons for 'Newtonian' and 'Non-Newtonian' (which is selected). Below the radio buttons is the 'Select' button. Below the 'Select' button is a text box containing '1c720'. Below that is the 'Temperature °C' label and a text box containing '200'. Below the temperature text box is the 'Viscosity' label and an empty text box, with 'Pa·s' to its right. At the bottom are four buttons: 'Up', 'Delete', 'Down', and 'All delete'.

Export / Import ボタン13) を押すことで、設定情報の保存/読込が可能です。Compute ボタン 14)を押すと多層流動解析が実行されます。



解析実行後、グラフィックウインドウに解析結果がグラフプロット15) されます。また、Result information パネル 16) には、圧力勾配17) が Pa/mm 単位で出力されます。また、Flux ratio あるいは Thickness ratio の選択に応じて、各層の肉厚あるいは流束が mm あるいは mm²/s 単位でリストボックス18) に出力されます。



グラフプロットの作画内容(流速, せん断ひずみ速度, 粘度, 応力)は, コンボボックス19)で選択します. 選択後, Plot ボタン20)を押すことで選択された内容がグラフプロットされます. グラフプロット内容は, File output ボタン21)を押すことでテキストファイルに保存されます. このテキストファイルには, グラフプロットの横軸と縦軸の内容がカンマ区切りで出力されます. このテキストファイルをエクセルへインポートすることで様々なグラフ図表示が可能です.

