simpleFoamによる矩形管内流の圧力損失解析

TM

第25回OpenCAE初心者勉強会（岐阜）

2013/9/14

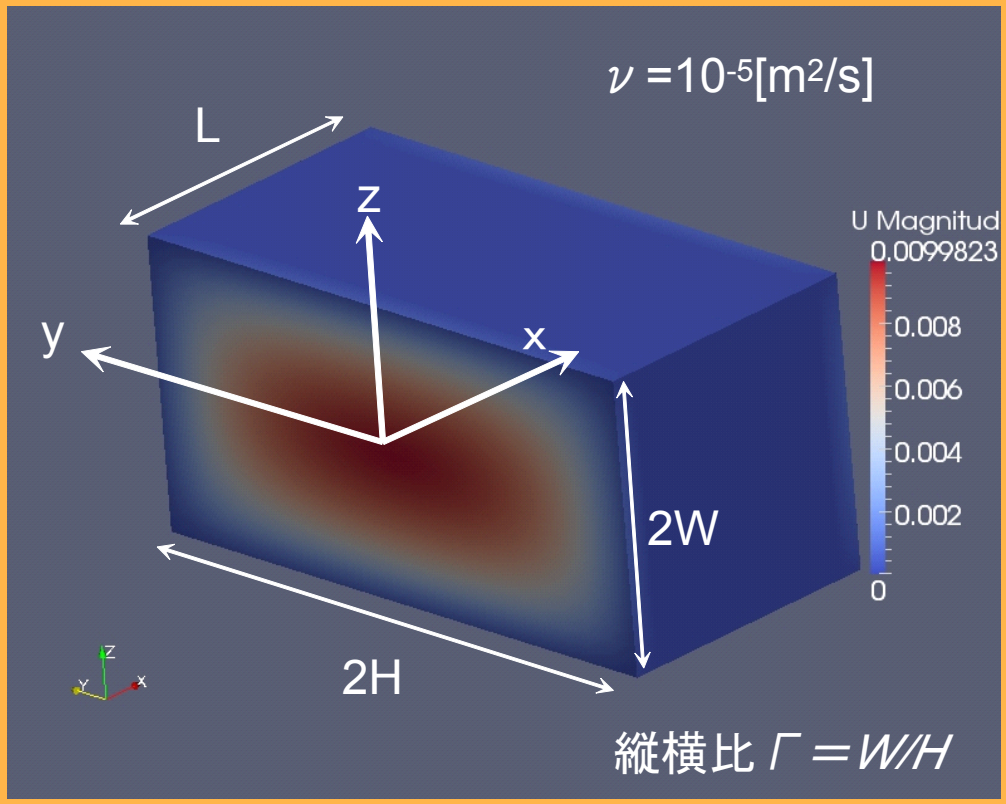
はじめに

円管内流れの圧力損失を求めるには、以下の式で求める。
矩形管内では、円管の直径に相当する水力直径を求めて円管内流れで使用した式で求めればよい。

⇒SimpleFoamを使って層流および乱流の場合の矩形管流れを解析して、上記の内容を検討する。

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \lambda \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{U^2}{2} \right)$$

計算モデル



無限にx方向に伸びる矩形管内の流れ。(物質は水)
圧力差 Δpを与えて中心速度U_0(層流の場合)あるいは平均速度U(乱流の場合)を求める。

層流の理論解析解

＜円管内流れ（ポアズイユ流れ）の圧力損失＞

$$\frac{\Delta p}{\rho}=\frac{32}{\mathrm{Re}'}\left(\frac{L}{d}\right)\left(\frac{U_0^2}{2}\right)$$

＜矩形管内流れの圧力損失＞

$$\frac{\Delta p}{\rho}=\frac{32}{\mathrm{Re}'}\left(\frac{\Gamma}{1+\Gamma}\right)^2 f(\Gamma)\left(\frac{L}{d}\right)\left(\frac{U_0^2}{2}\right)$$

$$f(\Gamma)=\frac{2}{1-4\sum_{n=0}^{\infty}(-1)\frac{(-1)^n}{m^3\cosh m\Gamma}}$$

$$m=\frac{2n+1}{2}\pi$$

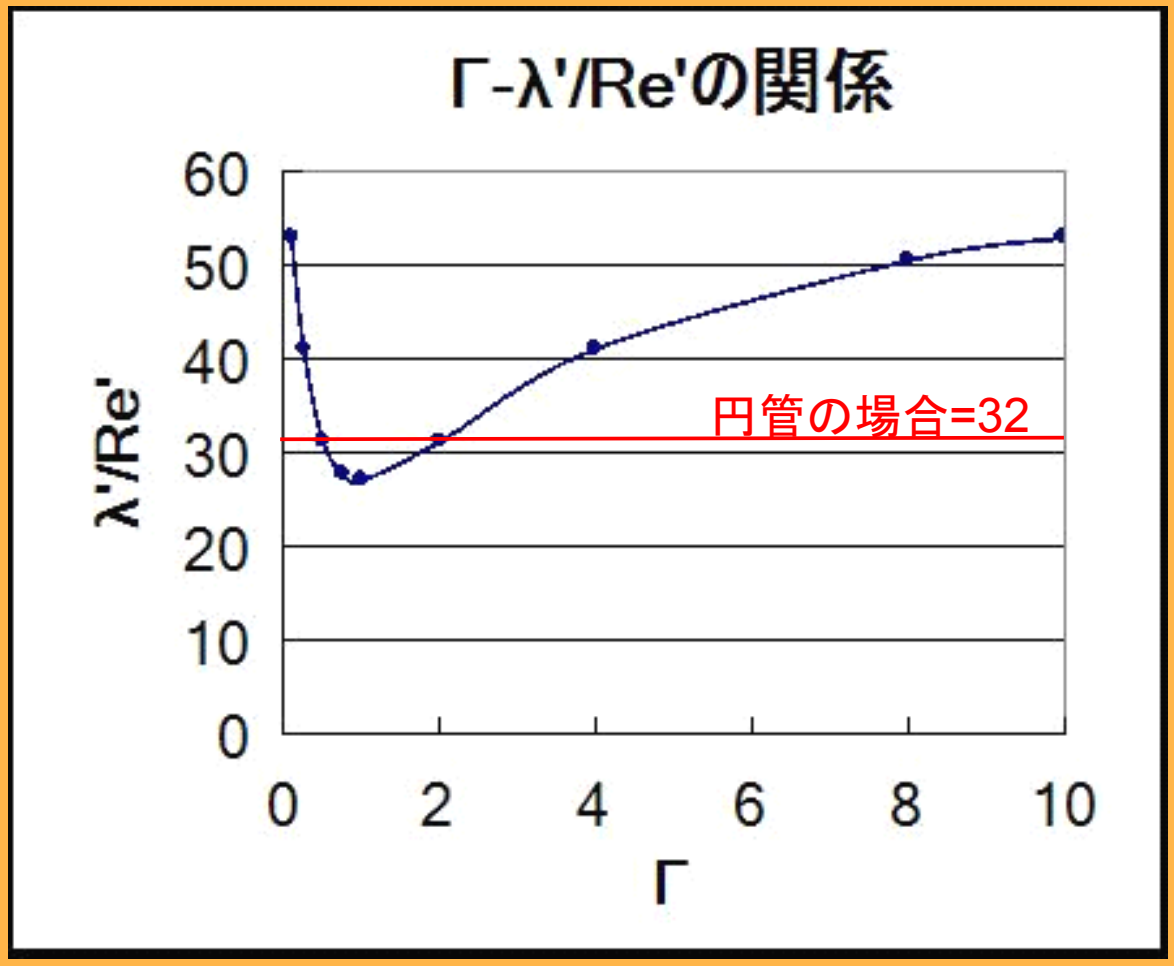
レイノルズ数：

$$\mathrm{Re}'=\frac{U_0 d}{\nu}$$

水力直径：

$$d=4m=4\frac{4HW}{4H+4W}=4H\frac{\Gamma}{1+\Gamma}$$

縦横比Γと損失係数λの関係



層流の場合は、円管の圧力損失係数とは異なる。

simpleFoam

OpenFOAM　ver.2.1.x tutorials

incompressible/simpleFoam

＜前提＞

・定常問題

・非圧縮性

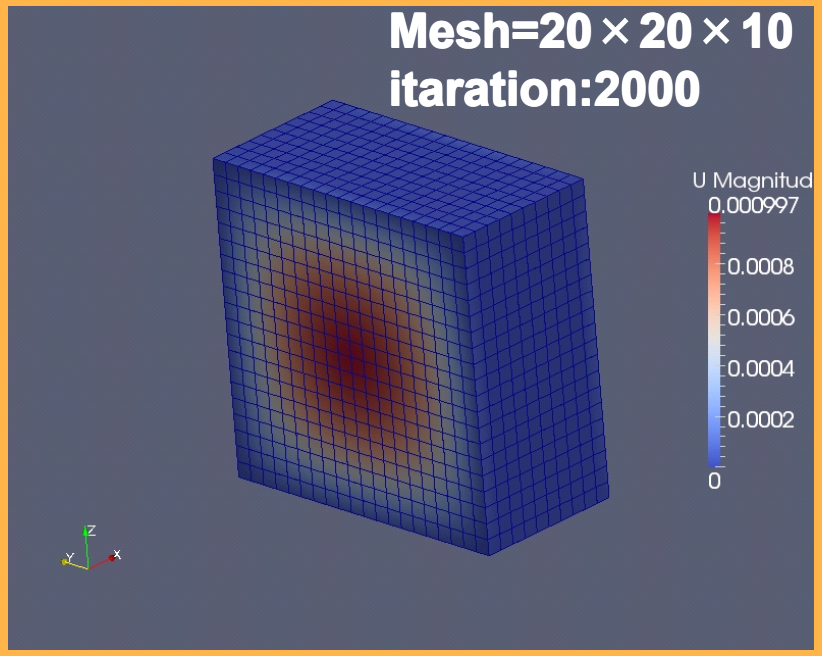
・非圧縮性乱流モデル

計算条件(層流)

Γ	0.1	0.2	0.5	1
W [mm]	1	2	5	10
H [mm]	10	←	←	←
L [mm]	10	←	←	←
U_0 [mm/s]	1	←	←	←
κ	200	50.0	8.78	3.39
$\Delta p/\rho$ [m²/s²]	2.00×10^{-4}	5.00×10^{-5}	8.78×10^{-5}	3.39×10^{-6}

- 流体:空気、$\nu=1.0\times10^{-5}$(m²/s)
- 縦横比Γの4つの条件について解析
- この解析では$\Delta p/\rho$を与えて中心流速U_0を求める

計算条件



＜流体モデル＞
層流：lamnar

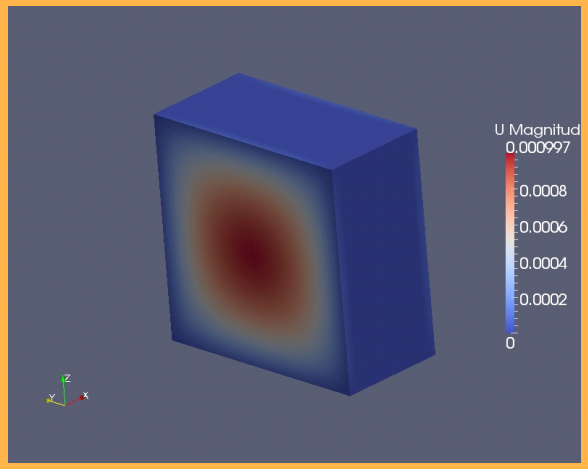
＜境界条件＞
inlet,outlet
P: fixedValue *
U:zeroGradient

wall
P:zeroGradient
U:fixedValue 0,0,0

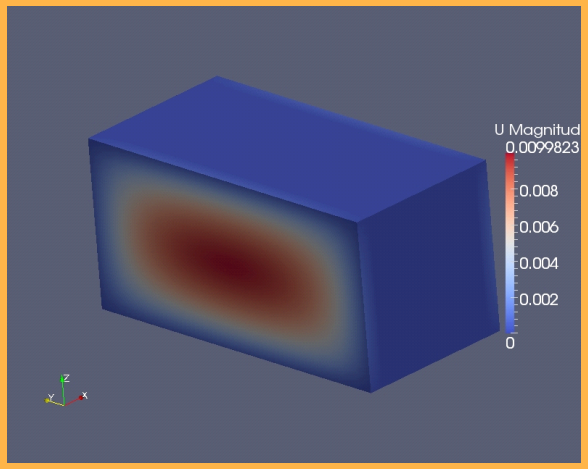
＜計算＞
steadyState

解析結果

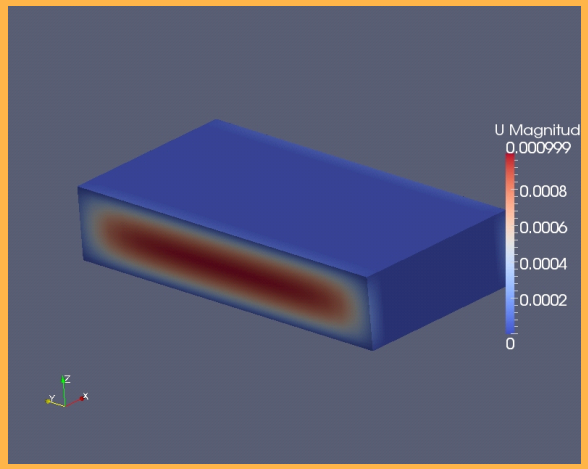
Γ=1.0



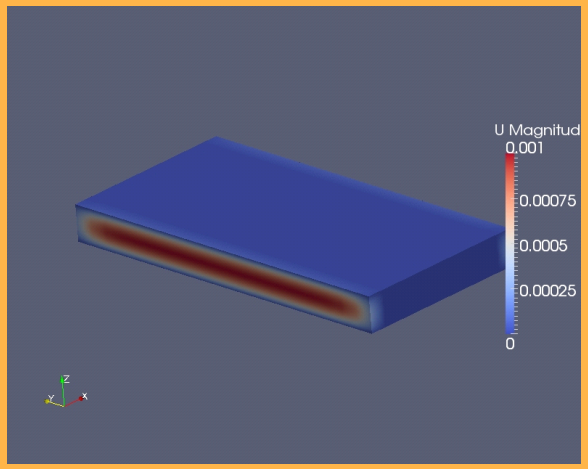
Γ=0.5



Γ=0.2

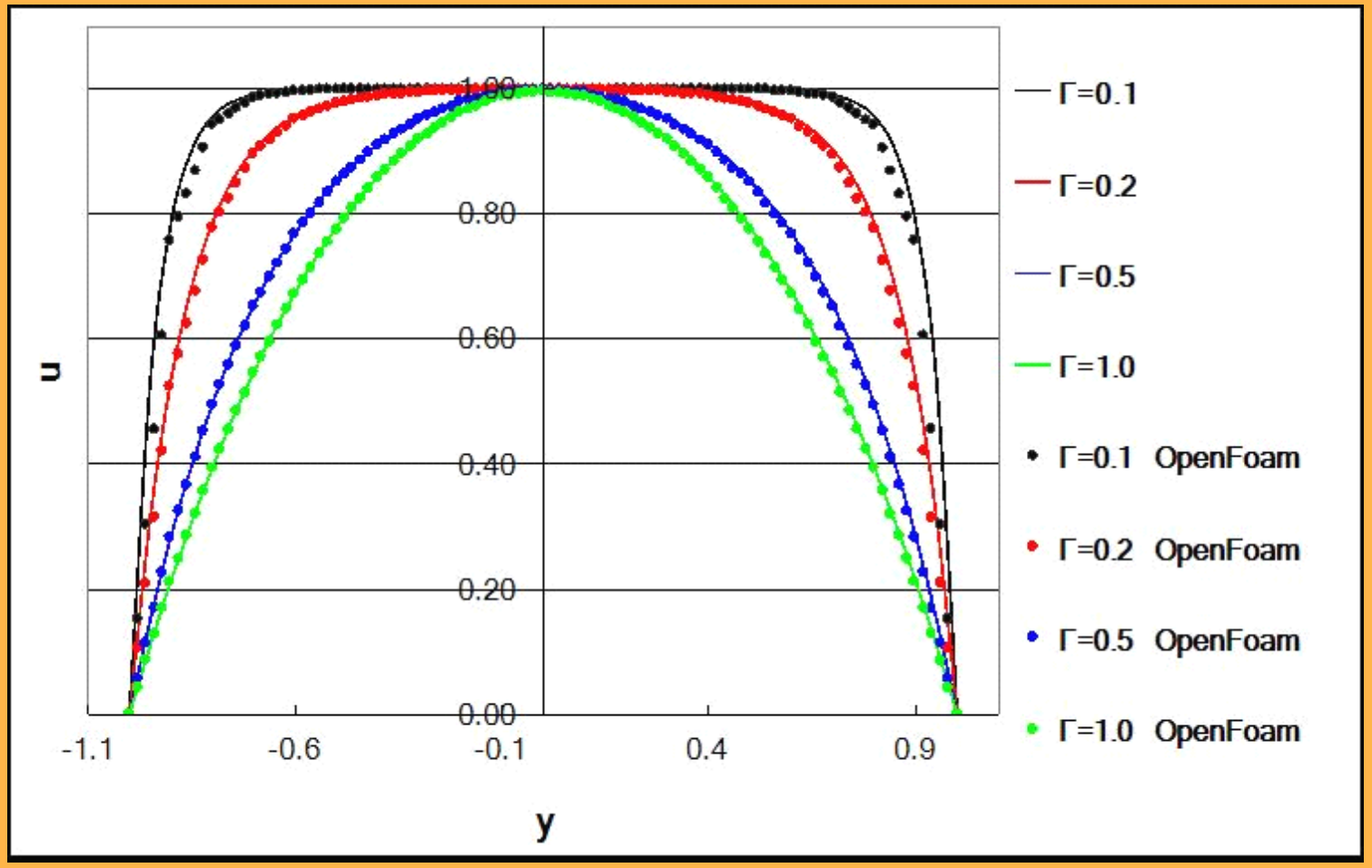


Γ=0.1



どのケースも中心速度U_0はほぼ1mm/sとなっており、
解析解と同様の結果

速度分布（Z=0面）

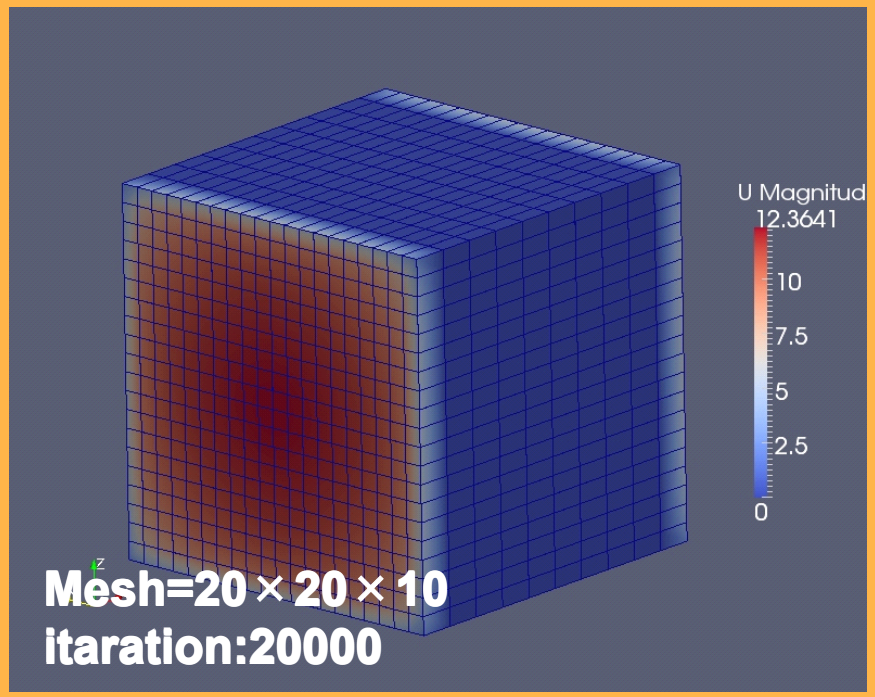

1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
u
-1.1
-0.6
-0.1
0.4
0.9
y
Γ=0.1
Γ=0.2
Γ=0.5
Γ=1.0
Γ=0.1 OpenFoam
Γ=0.2 OpenFoam
Γ=0.5 OpenFoam
Γ=1.0 OpenFoam

計算条件(乱流の場合)

Γ	0.1	0.2	0.5	1
W [m]	0.0275	0.03	0.0375	0.05
H [m]	0.275	0.15	0.075	0.05
L [m]	0.1	←	←	←
U [m/s]	10	←	←	←
$d=H\Gamma/(\Gamma+1)$	0.1	←	←	←
$Re=Ud/\nu$	100,000	←	←	←
$\Delta p/\rho$ [m²/s²]	0.8896	←	←	←

- 流体:空気、$\nu=1.0\times10^{-5}$(m²/s)
- 縦横比Γの4つの条件について解析
- この解析では$\Delta p/\rho$を与えて平均流速Uを求める
- 圧力損失はブラジウスの式を利用

計算条件

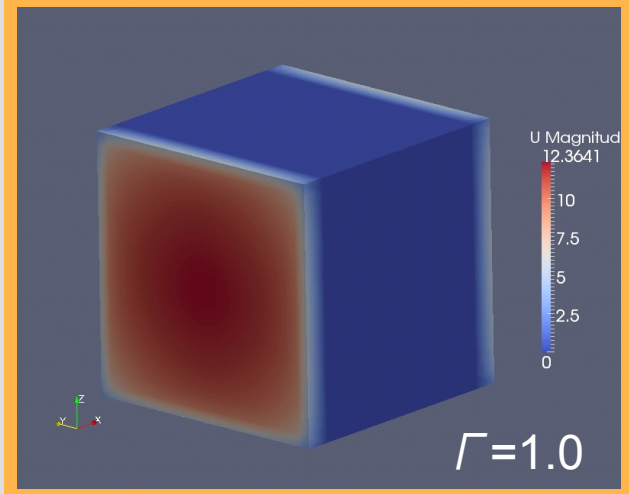


＜計算手法＞
steadyState

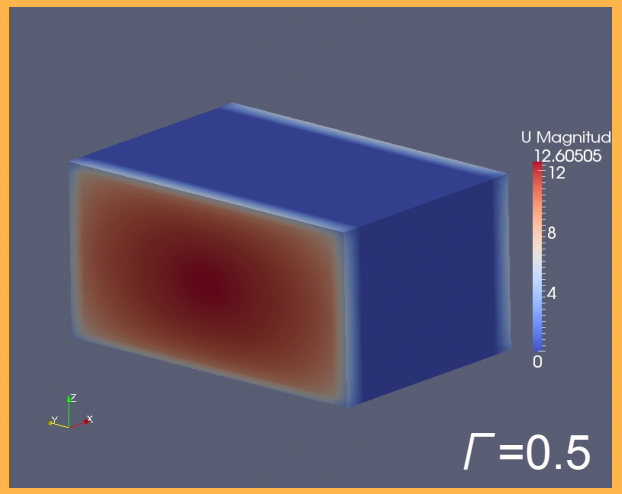
＜流体モデル＞
乱流：**kEpsilon**

＜境界条件＞
inlet,outlet
P: fixedValue *
U,k,epsilon:zeroGradient
nut:calculated 0
wall
P:zeroGradient
U:fixedValue 0,0,0
k:kqRWallFunction 0
epsilon: epsilonWallFunction 0
nut:nutkwallfunction 0

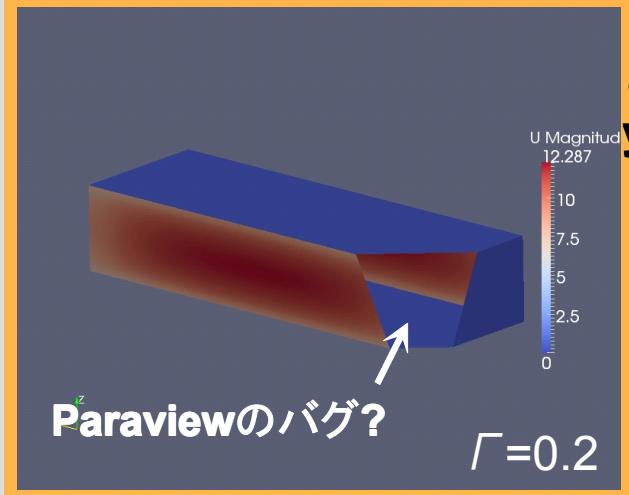
解析結果



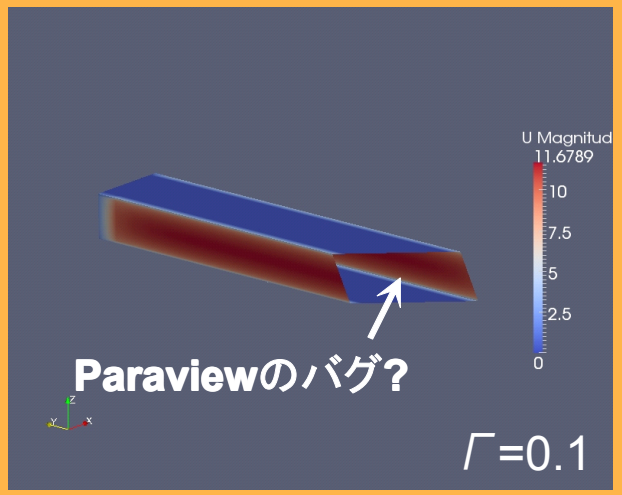
U=10.5m/s
y+=117



U=10.5m/s
y+=124



U=10.4m/s
y+=174



U=10.3m/s
y+=264

平均流速はほぼ10m/sとなった。円管内流れの圧力損失式を使ったものでOK

まとめ

- 矩形管内流れの圧力損失を知るため、水力直径を求め円管内流れの圧力損失式に基づき計算されている。simpleFoamで矩形管内流れを求めこの手法の有効性を検討した。
- 層流流れでは、本手法は有効でない矩形管流れの理論解析式を用いるべき。理論解析式とsimpleFoam解析結果はほぼ一致
- 乱流流れでは本手法は有効であった。

参考文献

- 足立高弘、水島二郎、矩形管内流れの安定性と乱流遷移、数理解析研究所考究録、1051巻(1998)202-214
- 中山泰喜、流体の力学、養賢堂(1998)