

CFD による水平配置円筒槽内の整流板選定法*

鈴 川 一 己*
 真 子 翠**
 田 上 華 恵***
 永 島 徹*

The Selection Method of Internal Plates to Generate Uniform Flow in a Horizontal Cylindrical Vessel by Use of CFD

Kazumi SUZUKAWA*, Midori MANAGO**, Hanae TANOUE*** and Tohru NAGASHIMA*

Shapes of internal plates to generate uniform flow in a horizontal cylindrical vessel were investigated. These internal plates were installed near the entrance nozzle. We examined 69 shapes of internal plates with three velocity conditions by use of computational fluid dynamics (CFD). Their flow patterns were estimated from calculated results and the best shape of internal plates was selected.

Key Words : horizontal cylindrical vessel, internal plate, uniform flow, CFD

1. 緒言

水平に設置した円筒槽は化学工業において多用されている（以下、水平配置円筒槽）。この装置では円筒の中心軸に平行に液を流入させる場合が多く、小径のノズルから急に大きな径の槽へ流体が流入するため、噴流により槽内に大小の渦が生じる。この渦により槽内に逆混合が生じ、粒子沈降や逐次化学反応等において好ましくない影響を及ぼすことが考えられる。このため槽入口付近に整流板を設置し、槽内を一様流にすることを考える。しかし、整流板の形状は千差万別で、最適な整流板形状を見出すためには多くの実験を行う必要がある。

本研究では数値流体解析（以下、CFD）の手法を用い、コンピュータ上で水平配置円筒槽及び整流板を作成・解析し、槽内の流動状態から最適な整流板を選定した。

2. 解析モデル及び解析手法

計算に用いた水平配置円筒槽のモデルを図1に示す。図は流体領域のみを表している。流体は20℃の水で、入口より流入し整流板に衝突したのち槽本体部分の流れ、出口より流出する。入口径(d)は13mm、出口径は13mmで、槽本体部分は長さ1000mm、径(D)が290mmの円筒を液面高さ(H)が203mm(H/D=0.7)になるように切り取ったものである。

流れの支配方程式は連続の式および3次元非圧縮性定常Navier-Stokes 方程式 (N.S.方程式) を用い、乱流モデ

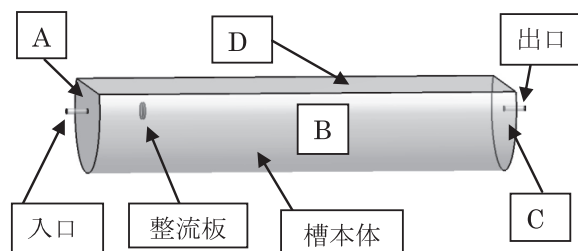


図1 水平配置円筒槽モデル

* 平成 25 年 5 月 31 日受付

* 化学システム工学科

** 九州大学大学院総合理工学府

*** イオンリテール (株)

ルは標準k- ϵ 方程式を使用した。図中の入口に流速、出口に圧力、面A、面B、面Cに対数則、自由表面部の面Dはスリップ境界を指定した。本計算には汎用流体解析ソフトANSYS Fluent(ver.14.0)を用い、定常計算により平均流れ場を求めた。

解析に使用した計算格子はテトラメッシュで、自動格子生成により作成した。生成したメッシュ数は約37万から39万であった。また、計算精度を高めるため、面A、面B、面Cには面に平行な層状のメッシュを配置した。

支配方程式の数値解法アルゴリズムとしてSIMPLE法を採用した。圧力緩和係数は0.3、運動量の緩和係数は0.7、乱流エネルギー緩和係数は0.8、乱流消散速度の緩和係数は0.8とし、収束判定は質量、運動量、k、 ϵ の残差がともに 1×10^{-6} 以下になるようにした。整流板形状によっては渦の発生により非定常性が強い場合があり、流れ場は反復計算の過程で周期的に変動する場合がある。この場合十分な計算ステップをとり、残差の変動が小さくなるまで計算を続けた。また定期的に速度場を観察し速度場の変化が小さいことを確認した。

3. 整流板の形状

検討した整流板の形状を図2 A, 図2 Bに示す。整流板形状は、圧力損失を小さくするため、できるだけ簡単な構造とした。

図中のA型は円板で、外径は入口ノズル径13mm(以後dと記述)を基礎に、その倍数を用いて示す。設置位置はノズル中心における槽入口よりの距離を同様に示す。以後整流板の厚みはすべて5mmとしている。

B型はA型の外部にリングを1枚設置したもので、C型はリングを2枚設置したものである。リング間の隙間はすべて1dとした。また、C型は整流板の傾き角度も変えて計算した。

D型はA型の中央に1dの孔を設けたもので、E型はD型の外部にリングを1枚設けたものである。

F型は矩形の板を並べた構造である。

G型、H型は槽全面を遮断する構造で、矩形板を横または縦方向に平行に並べたものである。

I型はC型と同様の構造で、円板1枚とリング3枚により槽全面を遮断する構造である。

J型はD型(D1:3d)とI型を組み合わせたものである。設置位置はそれぞれ8dと10dである。

検討した整流板形状は合計69種類である。また、槽断面平均速度は0.50mm/s、1.01mm/s、1.52mm/sの3条件でCFD計算を行った。これら全てを実験することは、コストおよび時間の面から合理的ではない。

3. 解析結果

3. 1 軸断面における速度分布

図3 A、図3 Bはそれぞれ槽断面流速が1.01mm/sのと

きの図2 A、図2 Bに示した各整流板に対する速度場の様子を示したものである。槽の中心軸を通る断面を側面(鉛直断面)および上面(水平断面)から見たもので、流速の大きさを色、方向を矢線で表している。また、図中の黒線は流線を表す。流線は整流板後方の断面(図中の黄色線上)から発生させている。

図3 AのNoneは整流板が無い場合の結果である。各整流板の効果の有無を判断するための基準となる。側面図を見ると入口の噴流が液面に向かって流れる様子が観察できる。流線を見ると槽長の3分の2に達する大きな循環渦が観察できる。一様な領域は槽長の3分の1程度である。次に上面図を見ると、噴流の両側に槽長の半分程度の大きな渦対が発生している。以下、これらの循環渦が各整流板によりどのように変化しているかの比較を行う。

A型の側面図を見ると、整流板により噴流がさえぎられ噴流下部に強い循環渦が見られる。しかし、Noneと比べ循環渦は弱められ槽の下流側半分は一樣流になっている。上面図を見ると整流板下流側に槽の長さ半分に達する渦対を生成しているが、これもNoneと比べ弱められている。

B、C型は、Noneに比べ、上面図から見た渦対は小さくなっているものの、循環渦は同程度か若干長くなっている。ただし、B型に比べC型の循環渦は短くなっている。

D型は上面図の渦対が非対称になりNoneよりも弱まっているが、Noneと比べ同程度の速度分布になっている。

E型は上面図から見た渦対が大変小さくなっているが、側面図を見ると循環渦はNoneと同程度である。

F型では整流板を避けるように液面付近に強い流れが集中し、上面から見ると非対称で複雑な流れを生じさせている。

流路全体に整流板を配置するG、H、I型を見ると、G、H型は整流板を通過しても流速の大きな部分が残っており、このため水平断面内で非対称性の強い流れとなっている。これに対しI型は槽下流側半分の流れが一樣流になっており、3つの型の中で最も良いと判断できる。

以上のことから、単純な構造の整流板で均一な流れを得ることは難しいと判断し、2種類の整流板を組み合わせることとした。ここでは効果のあったI型と噴流を弱めるD型を組合せて新たにJ型としCFD解析を行った。解析の結果、J型はI型整流板の直後に小さな渦対を発生させるものの、槽下流側3分の2で一樣流になっており、全ての解析結果の中で最も整流効果があったものと判断した。

3. 2 槽断面における速度分布

図4は整流板が無い場合 (None) とD、I、J型整流板におけるノズル入口からの距離(L)が300mm(23d)、500mm(38d)、700mm(54d)、900mm(69d)における槽鉛直断面の速度分布図である。中央付近の円はノズル位置を表している。

整流板が無い場合はL=300mmで中央付近に速度の大きい領域(赤)が見られ、500mm、700mmになるに従い小さくなる。槽のL=300、500mm断面下部に見える弓型の分布は逆流領域である。D型においてもほぼ同様である。I型ではL=300mmにおいて速度分布は見られるものの整流効果が見られる。J型ではL=300mmにおいても速度差が小さくなっており、L=500、700、900mmにおいて速度分布は均一化していることが分かる。

4. 結言

水平配置円筒槽において流れの均一化を実現するため、CFDを用いて入口ノズル付近に設置する最適な整流板形状を探索し、次の結果を得た。

1. 噴流正面に小さい整流板を置く場合、流路全体に配置する場合、ともに単独では一様流の生成は困難であった。
2. 大小の整流板を組み合わせた場合、一様流生成の効果がみられた。
3. 整流板形状は矩形板を用いるよりも同心円状の板を用いる方が流れの対称性を保つ効果がある。

参考文献

1. H.K Versteeg, W.Malalasekera, 「数値流体力学 第2版」森北出版 (2007)。

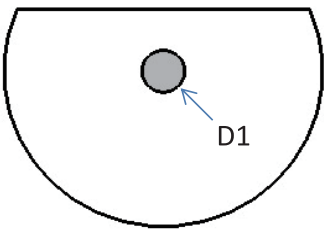
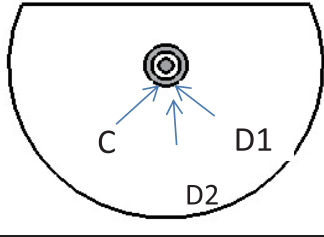
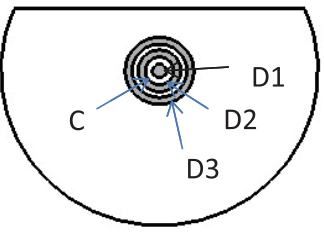
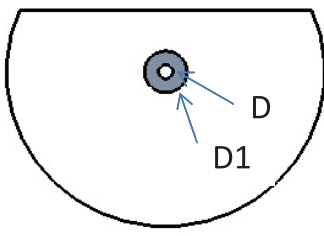
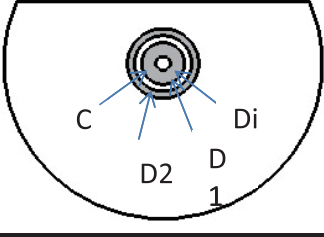
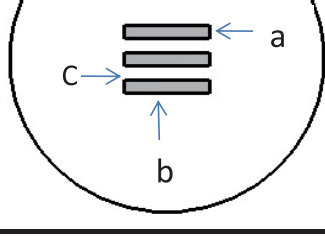
	整流板形状	D1					設置位置
A		3d 5d 10d					3d 5d 10d
	整流板形状	D1	D2		隙間C		設置位置
B		1d	2d 3d		1d		3d 5d 10d
	整流板形状	D1	D2	D3	隙間C	角度	設置位置
C		1d	3d	5d	1d	0° ±15° ±30° ±45°	3d 5d
	整流板形状	Di	D1				設置位置
D		1d	3d 5d				3d 5d 10d
	整流形状	Di	D1	D2		角度	設置位置
E		1d	3d	5d	1d	0° ±30°	3d 5d 10d
	整流形状	a	b		隙間C	±15°	設置位置
F		1d	6d 7d		1d		3d 5d

図2 A 整流板形状

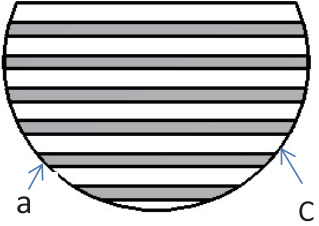
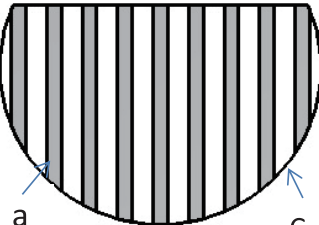
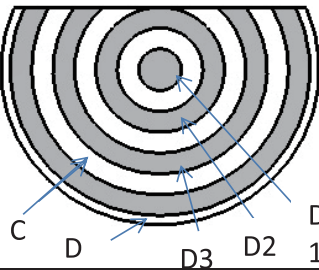
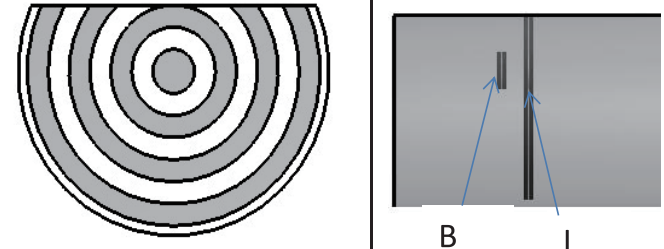
	整流板形状	a			隙間C		設置位置	
G		10mm 13mm 24mm 29mm			1d		3d 5d 10d	
	整流形状				隙間C		設置位置	
H		10mm 13mm			1.5d		3d 5d 10d	
	整流板形状	D1	D2	D3	D4	隙間C	設置位置	
I		3d	9d	15d	21d	1.5d	5d 10d	
	整流板形状							設置位置
J						上流側 整流板 形状:B 形 D1=3d	下流側 整流板 形状:I 形	10d

図 2 B 整流板形状

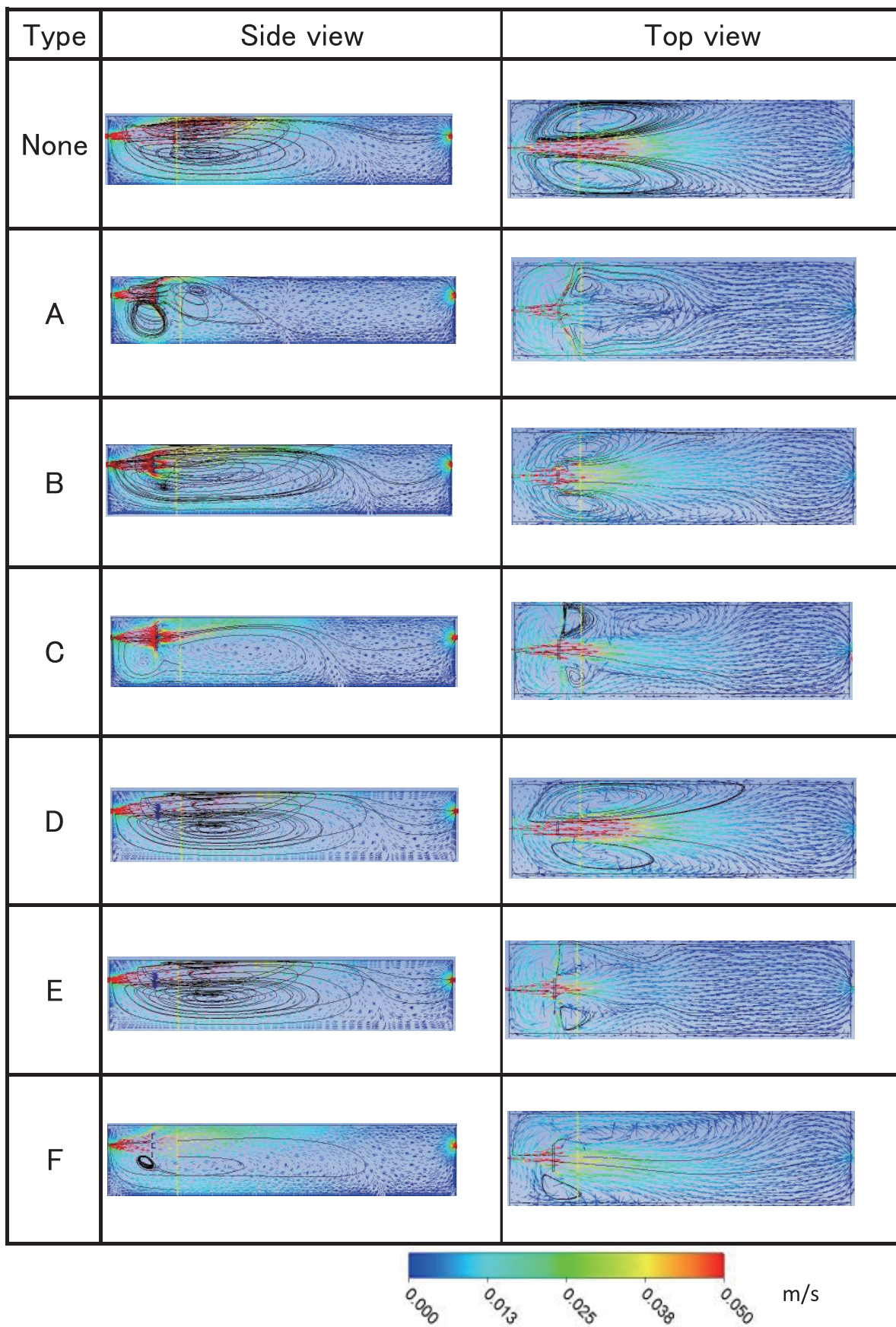
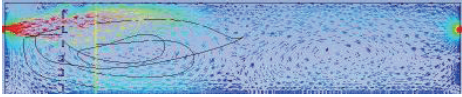
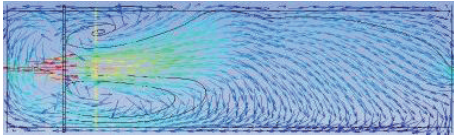
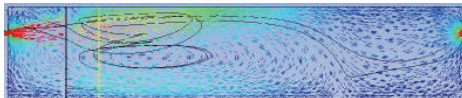
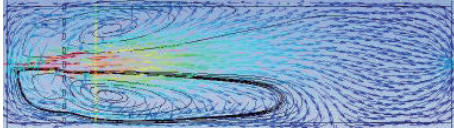
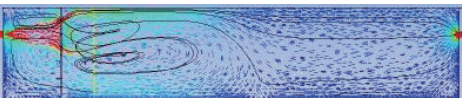
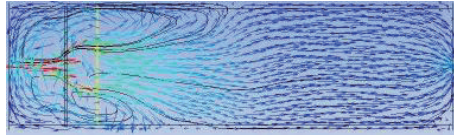
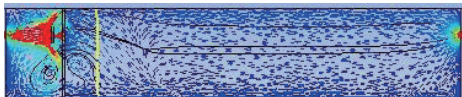
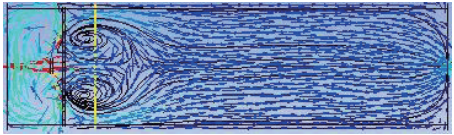


図3 A 軸断面速度分布 (流線上に設置する場合)

Type	Side view	Top view
G		
H		
I		
J		

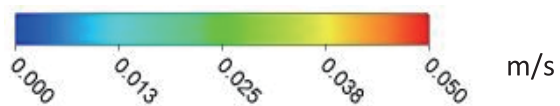


図 3 B 軸断面速度分布 (槽全面に設置する場合)

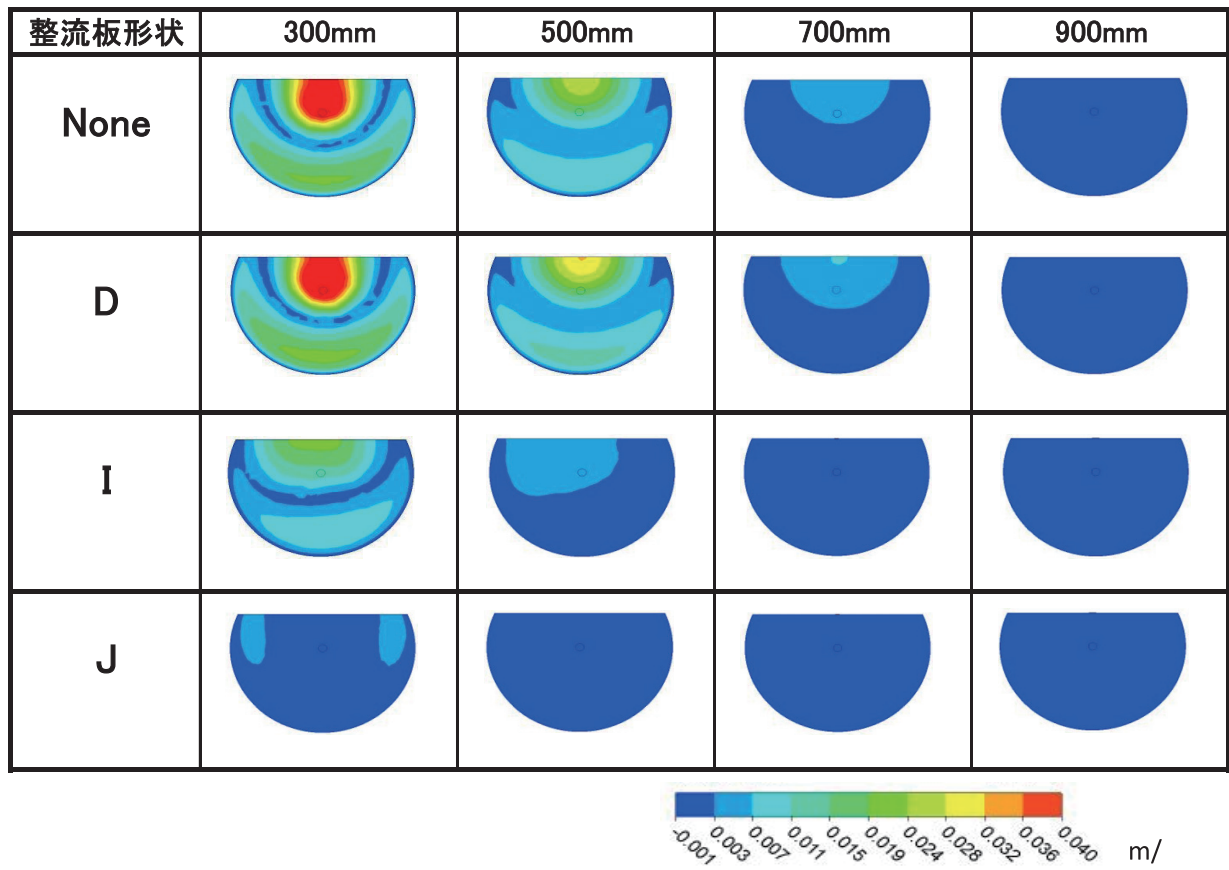


图4 槽断面速度分布图