

流量制御バルブの圧力降下

ここでは、バルブ本体の圧力降下のシミュレーションを実施して実験データと比較しました。シミュレーションでは、調査した非定常状態のケースに適した 2 種類の乱流モデルを使用します。結果は、この特定の適用事例に関して、2 種類のモデルのうち SST k- ω モデルが優れていることを示すものでした。

バルブ内における乱流の統計データを得る実験を CFD シミュレーションによって補足すれば、バルブの特性についての理解を深め、さまざまなデザインや流れのシナリオを検証できます。一般的に、あらゆる種類の問題に一律に適用できるような単独の乱流モデルはありません。乱流モデルの選択は、流れの中の物理的現象、特定の種類の問題のための確立した手法、要求される精度、利用できる計算リソース、シミュレーションに割ける時間などによって決まります。さらに他の変更を加え、モデルが壁近傍ゾーンと遠方場ゾーンの両方で適切に振舞うよう保証します。この例では、2 種類の乱流モデルおよび 3 種類のメッシュをシミュレーションで使用して実験と比較します。その目的は、ソフトウェアを検証し、今後のデザインの最適化を検討するのに最もふさわしいモデルパラメータを明らかにすることでした。

乱流内の圧力降下の解明は、これまでにも常に重要な研究テーマでした。流れが本質的に非定常である場合は、低レイノルズ数によって

生じる影響を乱流モデルで考慮する必要があるため、そのような予測は特に複雑なものとなります。数種類の乱流モデルがこの数年間利用されてきましたが、その大半は完全な乱流にしか適用できないものです。非定常の流れに関しては、モデルに変更を加える必要があります。この研究(2 つの低レイノルズ数モデル条件)では、2 つの方程式モデルをレイノルズ数が 2800 のバルブ内の流れに適用します。2 つのモデルとは RNG k- ω モデルと FLUENT 6 で新たに備わった SST k- ω モデルです。RNG k- ω モデルは、「くろみ群 (RNG)」理論という数学的

手法を用いて瞬間のナビエ・ストークスの式から導出されます。せん断応力輸送(SST) k- ω モデルは、主要な乱流せん断応力の輸送を考慮するために乱流粘度の定義を変更していることから、このように呼ばれます。この特徴のために、SST k- ω モデルは、幅広い分野で標準 k- ω モデルまたは RNG による k- ω モデルよりも大きな強みを持っています。

図 1 は、バルブの形状とモデルを通る流れのパスラインです。バルブと流れ場の両方に対称性があるので、フルモデルの 8 分の 1 のみで

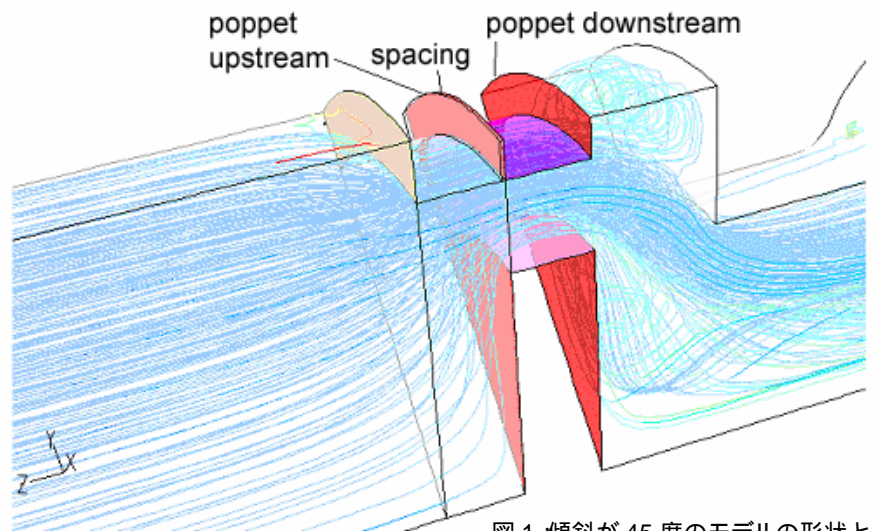
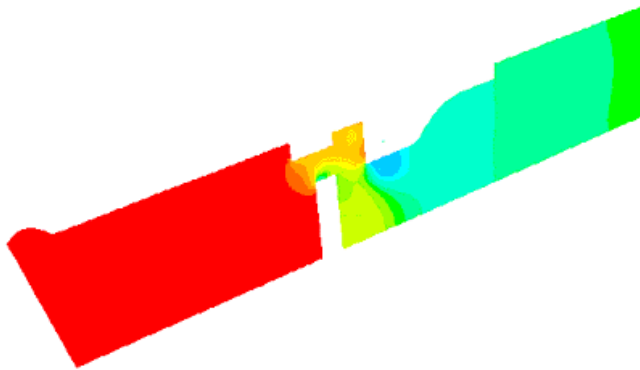


図 1 傾斜が 45 度のモデルの形状とバルブを通るパスライン

図 2：対称平面の圧力コンター図



シミュレーションを実施しました。実験で使用した設定の形状を含んだ CAD ファイルを利用しました。この CAD ファイルは、プリプロセッサの GAMBIT に簡単にインポートして、大部分がヘキサ(6 面体)エレメントからなるメッシュをすぐに生成できました。パスラインをみると、流れが環状部分に向かって収束し、バルブの下流にある拡散部分に向かって出て行くようすが分かります。ポペット領域のすぐ上に大きな循環ゾーンがみられます。図 2 は、対称平面の圧力コンター図です。バルブのすぐ下流に低圧部分がみられます。圧力が回復するのは、出口に向かってさらに下流の拡散部分となります。

FLUENT によるバルブ内の圧力降下予測を表 1 の実験データと比較しました。異なる条件で数回実行した結果から、調査したすべてのケースで SST k- モデルの予測が優れていることが明らかになりました。空気流速が 100 ft³/hr (CFH)、メッシュサイズが約 77,000 セルの場合、

RNG k- モデルの誤差は 24%、SST k- モデルの誤差は 0.4% 以内でした。したがって、このように衝突、循環、非定常の流れの特徴を含む問題を扱う場合に、SST k- モデルがより適したツールであることが明らかです。

を扱う場合に、SST k- モデルがより適したツールであることが明らかです。

以上述べたように、FLUENT を使用して流量制御バルブの圧力降下を予測するのに成功しました。予測値の誤差は実測値から 1%以内でした。この問題に関しては、SST k- モデルは RNG k- モデルよりはるかに優れていました。さらに、粗いメッシュよりも細かいメッシュを使用した方が望ましい結果が得られることが分かります。

資料提供：
Precision Safety Valves

流速 (CFH)	メッシュサイズ	乱流モデル	解析 ?p (in H ₂ O)	計測 ?p (in H ₂ O)	% 誤差
100	77,320	RNG k-	0.1521	0.200	-24
100	77,320	SST k-	0.2006	0.200	0.3
112	29,983	SST k-	0.2581	0.250	3.2
112	50,327	SST k-	0.2560	0.250	2.4
112	77,320	SST k-	0.2518	0.250	0.7

表 1 FLUENT による結果と実測値の比較

以上のような最初の発見にもとづき、実際の流速 112 CFH について 2 回目以降のシミュレーションを実施しました。メッシュサイズを粗大、中間、精細の 3 種類に設定して、すべて SST k- モデルを使用して検証しました。予想されたことですが、精細なメッシュで実測値に最も近い結果を得ました。図 3 は実際の圧力降下をこのバルブ内の流速の関数として表しています。この実験データは PSV のスタッフから提供を受けたものです。

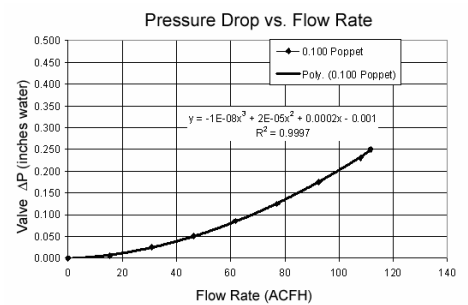


図 3：バルブ内の流速の関数としての圧力降下の実測値