

発電プラント配管系統における流量計精度評価のための 渦心位置算出技術の開発

中原 崇† 矢敷 達朗† 佐野 理志† 保坂 知幸† 北村 純一‡ 鈴木 啓嗣‡ 和田 将平‡ 三浦 隆嗣‡
株式会社日立製作所† 日立GEニュークリア・エナジー株式会社‡

1. はじめに

原子力や火力など発電プラントの水冷用に使用する配管系統の流量制御において流量計が使用されており、誤差が発生すると運用に支障をきたす可能性があるため流量計の精度確保が必要である。流量計として比較的安価かつ構成の単純なオリフィス流量計を使用する場合、精度確保の必要条件の一つとして、流量計に流入する速度分布が直管内の十分に発達した乱流速度分布に従うという条件が存在する。この条件を満たすには流量計上流側に十分な長さの直管部を確保することが JIS 等の規格で定められている。一方、配管ルーティングの制約から、JIS 等の規格を満足する位置に流量計を設置できない場合、原則として実流試験を実施する。しかし、設計の上流段階で実流試験の実施は困難であるため、実流試験の代替として三次元流体解析を活用し配管系統内の流れ場が流量計測精度に与える影響を設計の上流段階で評価可能にした。具体的には、管軸座標に沿った旋回流れの強さの指標、スワール数の算出により、流量計位置や配管ルーティングの妥当性を確認可能にした^{[1][2]}。スワール数計算の前提条件は管軸中央に渦心が存在することに対して、実際には渦心が管軸中央から逸脱することが多い。そのため、渦心位置を算出しスワール数計算の際に補正することが必要である。管中心からの渦心位置の逸脱によるスワールへの影響を検討するため、渦心位置算出技術を開発した。

2. 渦心位置計算方法

三次元流体解析結果から渦心位置を計算する

Development of Vortex Position Calculation Technology for Flow Meter Precision Evaluation in Power Plant Piping System

† Takashi Nakahara, Hitachi, Ltd.

† Tatsuro Yashiki, Hitachi, Ltd.

† Tadashi Sano, Hitachi, Ltd.

† Tomoyuki Hosaka, Hitachi, Ltd.

‡ Junichi Kitamura, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

‡ Hirotsugu Suzuki, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

‡ Shohei Wada, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

‡ Takatsugu Miura, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

方法は以下 4 ステップから成り立つ。

- 〈1〉 渦心位置の計算：三次元流体解析結果の圧力と流速から、渦点と呼ばれる圧力が極小値を持つ場所の位置と、渦中心軸ベクトルと呼ばれる渦の進行方向と大きさを、圧力断面極小法^[3]により算出する。
- 〈2〉 渦線の計算：渦中心軸ベクトルに従って渦点同士を接続^[4]することにより渦線を算出する。渦点同士の接続基準は、渦点同士の距離①、及び渦点同士を結ぶベクトルと渦中心軸ベクトルのなす角度②が両方ともそれぞれの閾値以内とする。
- 〈3〉 不要な渦線の削除：渦点周りの流速ベクトルが渦点を回転する条件^[3]を満たさないような渦線を削除する。
- 〈4〉 渦心位置の計算：渦線を配管断面で切断し、断面における渦心位置を算出する。

3. 実配管への適用

3.1 適用方法

先述の渦心位置計算方法を二つの配管系統に適用した。本稿ではそのうち片方の配管系統のみ報告し、もう片方は発表時に報告する。三次元流体解析の計算時間は 30 秒間、計算間隔は 0.1 秒毎とした。渦心位置の評価方法として、渦心の配管中心からの逸脱量である渦心偏心量の時間平均を使用した。渦心が複数ある場合は、渦速度^[5]を算出して渦速度で渦心偏心量を重み付けした。

3.2 適用結果

三次元流体解析結果から渦心偏心量を計算した結果を Fig. 3-1 に示す。左上段が配管系統の三次元形状を、右上段が管軸座標(横軸)に沿った渦心偏心量(縦軸)を、左下段が直管⑨の特定管軸座標における管断面の圧力分布(赤：高一青：低)と渦線(赤線)を、右下段が先述の特定管軸座標における渦心偏心量の時系列グラフを、それぞれ示す。

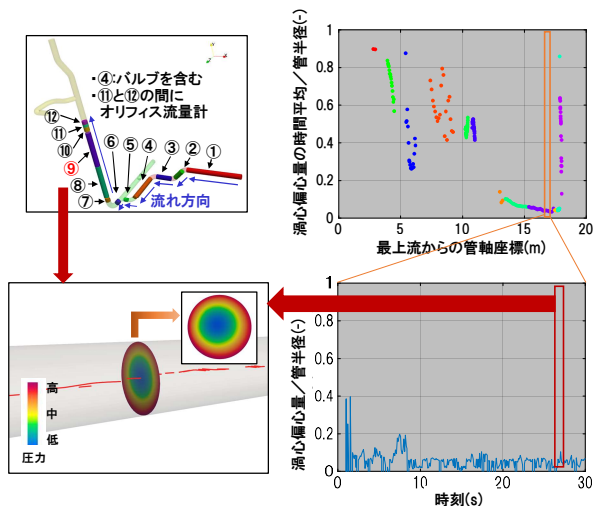


Fig. 3-1 渦心位置の算出結果

管軸座標の圧力分布で、渦線が圧力の極小部分 1 箇所を捕捉していることを確認した。また渦心偏心量も管断面中央からの逸脱量と目測量でほぼ一致しており、渦心偏心量が適切に計算されている事を確認した。

3.3 渦点接続のチューニング

前章の<2>渦線の計算において、渦点同士を接続する条件として距離①と角度②の閾値をチューニングした結果を Fig. 3-2 に示す。

チューニング方法は第一直管にて単一渦の渦心数が 1 に近づくよう調整し、最適値である距離①=メッシュ格子幅 ΔL の 2 倍、角度②=15 度を求めた。

上段が管軸座標に対する渦心数の時間平均を、下段が管軸座標に対する渦心偏心量の時間平均を、それぞれ示す。最適値である渦点接続条件①において、渦心数が第一直管で 1 付近になっている。また全渦点接続条件において、渦心偏心量の標準偏差は全管軸座標の約 87%において 0.1 以下であることを確認した。

4. まとめ

発電プラント配管システムの流量計精度評価にスワール数を使用する際に、管断面中央からの渦心の逸脱への影響を確認するため渦心算出技術を開発した。実配管システムに適用した結果、渦心が算出できていることを確認した。また渦点同士を接続する際の角度と距離をチューニングした結果、距離の閾値は格子幅の 2 倍、角度の閾値は 15 度が最適であるという知見を得た。

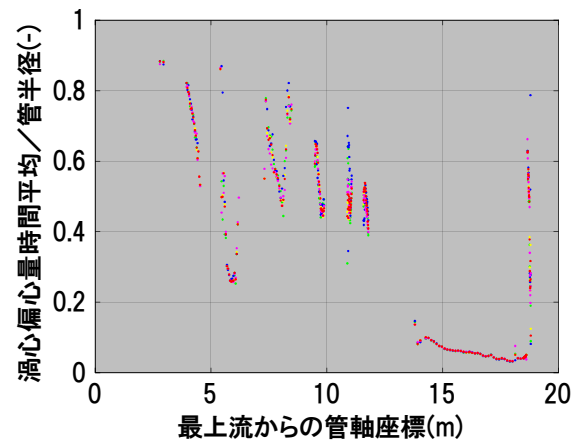
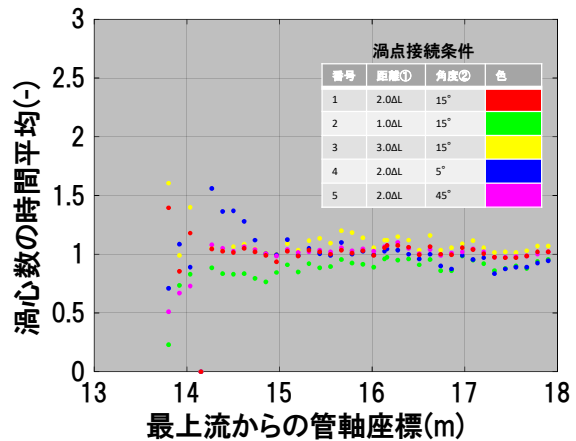


Fig. 3-2 渦点接続のチューニング結果

参考文献

- [1] 中原崇他「原子力発電プラントの配管システムにおける流量計誤差評価技術の開発」2019年原子力学会秋の大会予稿集, 3K04, 2019
- [2] T.Miura, et al. "Development of the Design Support System for Piping Passage and Differential Pressure Flowmeter by Three-Dimensional Fluid Analysis" Nuclear 2020 ASME's Nuclear Engineering Conference powered by ICONE
- [3] 三浦英昭他「乱流中の管状渦のダイナミクス」数理解析研究所講究録, 1998
- [4] 齋藤雄太他「一様等方乱流における渦軸の階層構造の同定」日本流体学会誌, 2014
- [5] 中山雄行他「旋回関数の定義と渦流の同定法への応用」総合技術研究所研究報告, 2007