

第Ⅱ部門

水力発電取水施設流路内渦流の数値シミュレーション

神戸大学工学部建設学科

学生員 ○竹内 健造

神戸大学大学院自然科学研究科

正会員 中山 昭彦

関西電力株式会社 研究開発室 電力技術研究所 構築研究室

正会員 久末 信幸

1. はじめに

水力発電取水施設では、取水渦による空気混入によって発電機に悪影響が及び発電効率に影響を与えることが問題の一つとなっている。この取水渦については水理模型実験により、その発生条件や特性など定性的には概ねつかめているが、実験設備や条件の面で制約があり、水理模型実験だけで定量的な把握や現象の解明を行うことには限界がある。そのため、数値シミュレーションによって、そのような流れを解析し、水理現象を解明することが期待されている。その一手法として、LES による乱流のシミュレーションが様々な分野で研究されている。例えば中山¹⁾は、非定常 3 次元自由水面流の計算に LES を適用し、非定常剥離渦を捉えることに成功している。本研究ではこの LES による水力発電取水施設流路における開水路乱流計算によって、水路内の流れ、とりわけ渦流の解析を行い、水路内渦流への LES の適用の可能性、および、流れの再現性を検討した。

2. 解析方法の概要

本研究では、乱流シミュレーション法として LES を用い、その SGS モデルとして標準 Smagorinsky モデルを用いた。数値計算は Staggered 格子で行い、Navier-Stokes 方程式の空間差分に関しては、移流項には 3 次精度風上差分を、その他の空間項には 2 次精度中心差分を用いた。時間進行は 2 次精度の Adams-Bashforth 法により行い、圧力解法に HSMAC 法を用いている。また、中山により提案された修正 HSMAC 法¹⁾により、水面の変動を考慮した。

3. 計算条件の概要

本研究における計算領域を図-1 に示す。計算領域は、取水管半径を D とすると、 $11D \times 3D \times 6D$ である。計算格子は、 $87 \times 34 \times 94$ の直角直交不等間隔格子である。取水路壁面および底面の境界条件はすべりなしとしている。流入条件は、取水渦の発生要因の一つである流入面での流速分布による水路内での偏流を考慮するため、流入面での流速を取水路主流方向 x 方向から 30° 取水路横断方向 y 方向に傾け、流速の x 方向成分また y 方向成分のそれぞれを対数則により与える。流出条件は、流速の x 方向成分と y 方向成分を自由流出、 z 方向成分は計算領域内の流体体積が一定に保たれる値に設定した。また、平均水深 H と断面平均流速 U_{ref} で定義される Reynolds 数および Froude 数は、それぞれ 5000, 0.1 である。

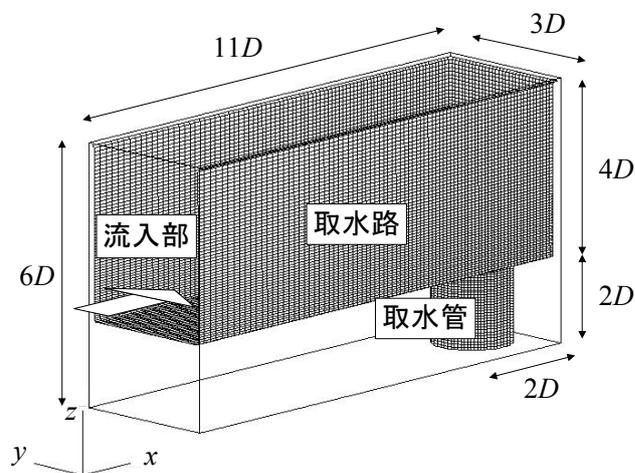


図-1 取水路流れ領域と計算格子

また、平均水深 H と断面平均流速 U_{ref} で定義される Reynolds 数および Froude 数は、それぞれ 5000, 0.1 である。

4. 計算結果

本研究のような取水路から鉛直下向きに取水する流れ場の研究は、実験および数値計算例ともに少ないため、現段階で定量的な評価はできないが、今回は久末らによる画像計測を用いた実験結果²⁾により定性的な比較を行った。久末らの実験条件は、本数値計算における水路形状とやや異なっているが、取水路から鉛直下向きに取水する流れ場の基本的形状と流入条件は類似しており、取水渦形成時における流れ場の定性的な

Kenzo TAKEUCHI, Akihiko NAKAYAMA, Nobuyuki HISASUE

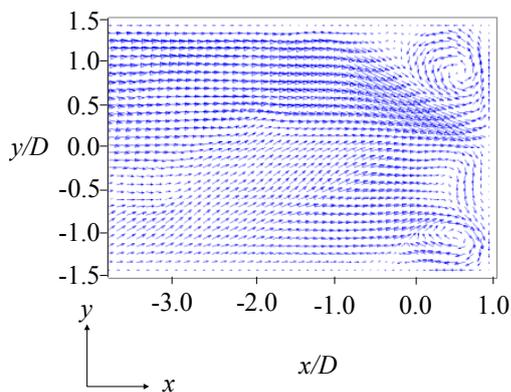


図-2 瞬時流速ベクトル(取水渦なし $z=0.8D$)

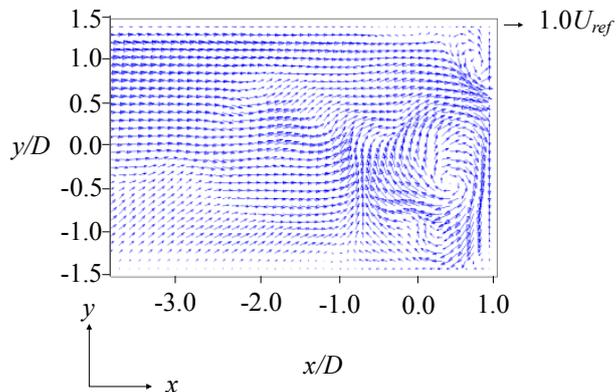


図-3 瞬時流速ベクトル(取水渦あり $z=0.8D$)

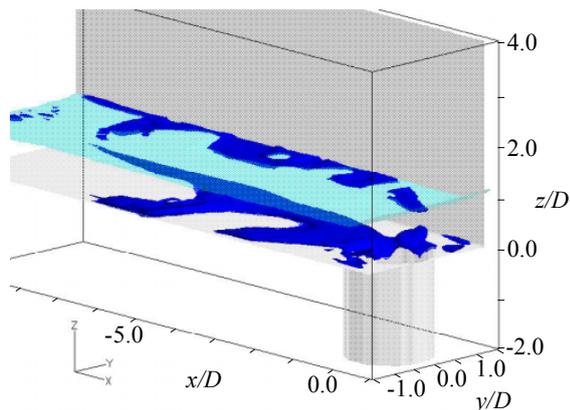


図-4 瞬時渦度等値面(取水渦なし 渦度= $7.5U_{ref}/D$)

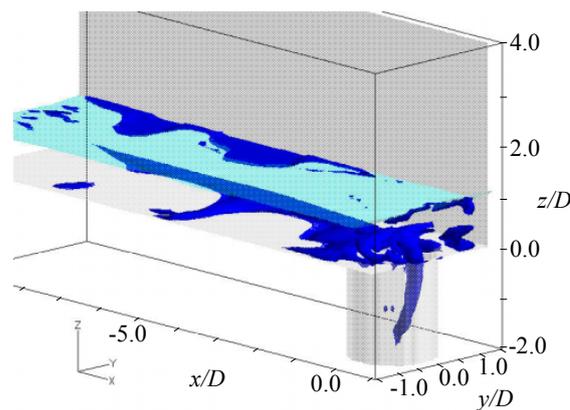


図-5 瞬時渦度等値面(取水渦あり 渦度= $7.5U_{ref}/D$)

比較は行うことができると考えられる。その実験では、取水路終端に衝突した流れが左右に分かれ旋回流が発生する様子が確認され、流速ベクトルとして捉えられている。そして、取水路流入面において流速分布が一様でないため、片方に大きな旋回流が形成され、複数の旋回流がひとつに集まったときに取水渦が形成されることがわかっている。本数値解析の計算結果を図-2 から図-5 に示す。図-2 が取水渦なし、図-3 が取水渦発生時と考えられるときの水平断面の瞬時流速ベクトル図である。また、図-4 が取水渦なし、図-5 が取水渦発生時と考えられるときの瞬時渦度等値面図である。図-2 のように瞬時速度ベクトルがいくつかの小さな旋回流を示すとき、渦度等値面は図-4 のようになった。しかし、図-5 のように渦度等値面が鉛直管内に下向きに細長く分布した場合、図-3 の瞬時速度ベクトルが図-2 とは異なりひとつに集まっているのがわかる。この結果から、水路形状が一致していないため定量的には比較できないが、実験と同様の流れの傾向を数値計算によって得ることができたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、LES による一般的な形状の水力発電取水施設流路流れの数値解析を行うことによって、LES によって水路内渦流をどの程度再現できるのか検討した。その結果、実スケールや実験で見られる流れの傾向は十分再現できた。また、取水渦は、非定常な3次元流れであるということが現象の把握を困難にしているが、今回の数値解析では時間的、空間的に複雑に変化する流れを捉えることができた。

参考文献

- 1) 中山昭彦, 江田智行, 松村友宏: 修正 HSMAC 法による開水路乱流の LES, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.661-666, 2005.
- 2) 久末信幸, 竹原幸生: 画像計測を用いた取水渦の発生要因に関する実験的検討, 水工学論文集, 第 50 巻, 2006.