

第II部門

OpenFOAMを用いた取水路模型実験の流れ場再現性の検証

近畿大学大学院総合理工学研究科 学生員 ○菅木 渉馬

近畿大学教授社会環境工学科 正会員 竹原 幸生

関西電力株式会社技術研究所 正会員 久末 信幸

1. 背景と目的

水力発電はクリーンエネルギーとして近年注目されている．中でも，低落差を利用した小水力発電施設は，既存設備を利用するなど，工費も削減できることから，その有用が見直されている．しかしながら，小水力発電施設の取水設備では，空気吸込渦の発生によって，圧力管内に空気を取り込まれることがある．取り込まれた空気は，エアハンマーやキャビテーションといった現象を生じさせ，発電設備に悪影響を与え，さらには発電効率の低下を招く．著者らはこれまで，水力発電施設における空気吸込渦の発生機構の解明および対策を実験的に行ってきた¹⁾²⁾．

本研究では，これまでの実験的手法と数値シミュレーションを組み合わせ，三次元的な空気吸込渦の発生機構の解明やその渦の発生を抑制する方法の開発を目的とする．今回，OpenFOAMを用いた場合の再現性をPTV計測の実験結果との比較を通して，検証を行った．

2. 計算領域，境界条件

計算領域を図-1に示す．PTV計測を行った取水路の実験装置を参考にした．水路部分は長さ5m，幅0.3m，取水管は鉛直に設置された長さ1mの円管である．この管径を変えることで，吸い込み流速のみを変化させている．また，取水管下部には計算を安定させるための1m×1mの水槽を設けた．流入口は水路上流端にある0.4m×0.3mの矩形断面，流出口は水槽底面とし，流量が34.8L/sになるように一様流速を与えた．壁面はノンスリップ条件を適用し，水路上面は大気解放面としている．計算格子の一部を図-2に示す．水路部の格子幅は2cmであり，取水管を含めた実験区間（水路終端から0.6mまでの区間）と，水面が位置する水路水深40cm付近を1cmの格子幅とした．

3. 計算条件

本研究では数値解析にOpenFOAMの標準ソルバーであるinterFoamを用いた．interFoamは，自由表面の解析手法にVOF法を用いた2相流解析ソルバーである．本研究では，LESによる計算を安定させるためにRANSで予備計算を行い，その結果を初期条件とし，LESの計算を行った．乱流モデルは，RANS法は $k-\omega$ モデル，LES法はWALEモデルを用いた．計算条件を表-1に示す．比較は管径202mmと107mmの2ケースで行った．流量は34.8L/s，水路水深は0.4mである．また，RANSでの予備計算はどちらも，水面が安定した350s時点までとし，その結果を初期条件としてLESの解析を行った．比較の際はPTVの平均時間に合わせ，数値解析も69.6s間の平均値で比較を行った．

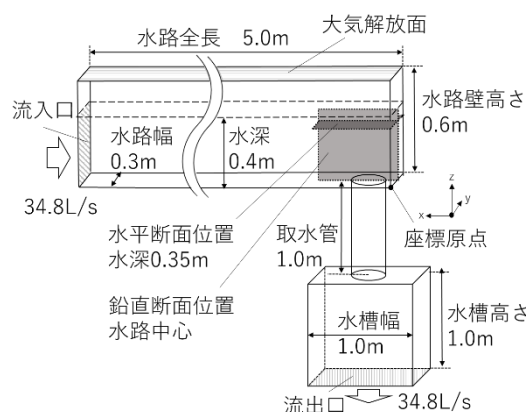


図-1 計算領域

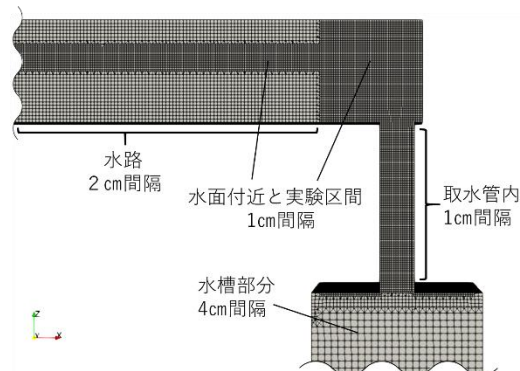


図-2 計算格子（一部）

表-1 計算条件

ケース	1	2
管径	202 [mm]	107 [mm]
流量	34.8 [L/s]	
水路水深	0.4 [m]	
格子点数	51.5 [万点]	49.0 [万点]
RANS 計算時間	350 [s]	
LES 計算時間	69.6 [s]	

Shoma SUGAKI, Kohsei TAKEHARA and Nobuyuki HISASUE

2033350503w@kindai.ac.jp

4. 結果

ケース 1, 2 において, 図-1 中の水平断面位置 ($z=0.35\text{m}$) における PTV 計測により得られた平均流速分布を図-4, 6 に, 数値解析による平均流速分布を図-3, 5 に示す. 赤破線は取水管の位置を示す. 数値解析結果と PTV 計測結果において, 水路中心の流れが水路終端付近で側壁方向へ分かれ旋回流が生じている. 旋回流によって水路終端付近で左岸側に反時計回り, 右岸側に時計回りの渦が生じていることが確認できる. また, 側壁付近で上流側へ逆流した流れは, 数値解析では水路終端壁から 30 cm あたりまで到達しているが, PTV では 16 cm 付近までと違いがみられる.

図-7, 図-8 に PTV 計測の水平断面位置の測線 $x=15\text{cm}$, $x=40\text{cm}$ における平均流速分布を示す. $x=15\text{cm}$ において, 側壁から 5cm 付近では流速の値がよく一致しているが, 水路中心 (右岸側壁から 15cm) では, PTV 計測と数値解析との間に, 管径 107mm では $5.42[\text{cm/s}]$, 管径 202mm では $5.80[\text{cm/s}]$ の流速差が見られた. $x=40\text{cm}$ では, 側壁付近の流速以外は比較的よく一致している. 水路中心における流速は, 管径 107mm では $0.47[\text{cm/s}]$, 管径 202mm では $0.4[\text{cm/s}]$ の流速差が見られた. 壁面近傍で流速が一致しないのは, PTV 解析では格子点状に流速を変換するときに, 半径 1cm 程度の領域で平均化しているためと思われる.

5. おわりに

PTV 計測結果と数値解析結果において, 2 ケースとも, 旋回流や旋回渦等の流れのパターンはよく一致していた. しかしながら, 側壁付近の流速分布や水路中心での流速値には違いが見られた結果となった. 特に取水管の管中心の位置にあたる水路中心の流速には大きな差がある. 今後の課題としては, 計算格子幅をより細かくし, どのくらいの精度まで解析が可能か検討を行い, また, 空気吸込渦の評価において重要である水面形状による評価も行う.

参考文献

- 1) 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, pp.883-888, 2006.
- 2) 久末信幸, 竹原幸生: 傾斜壁を用いた鉛直取水設備の渦対策工の渦抑制効果に関する実験的検討, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.74, No.4, pp.I_691-pp.I_696, 2018.

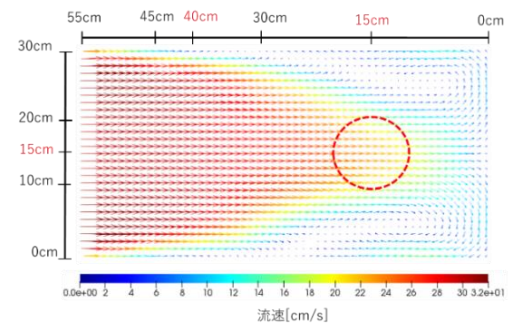


図-3 数値解析結果(管径 107mm)

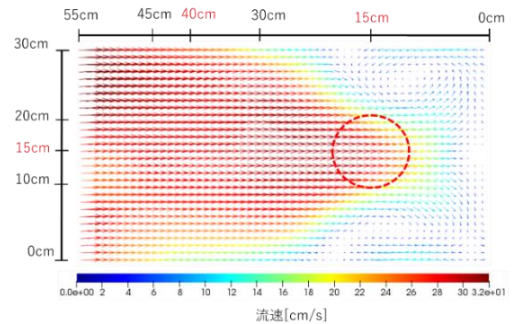


図-4 PTV 計測結果 (管径 107mm)

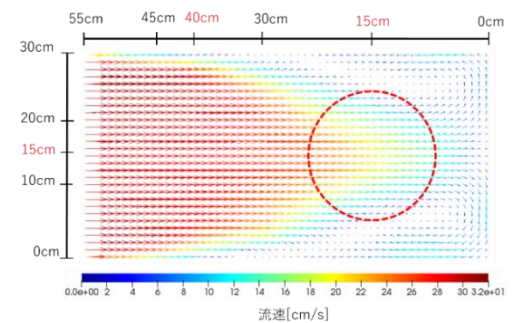


図-5 数値解析結果 (管径 202mm)

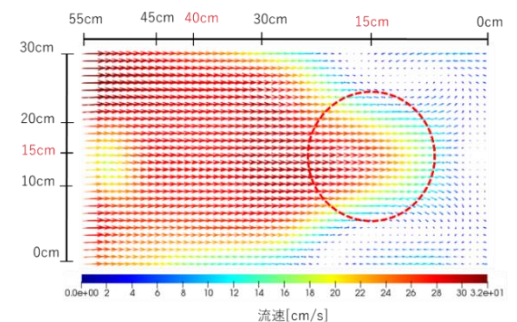


図-6 PTV 計測結果 (管径 202mm)

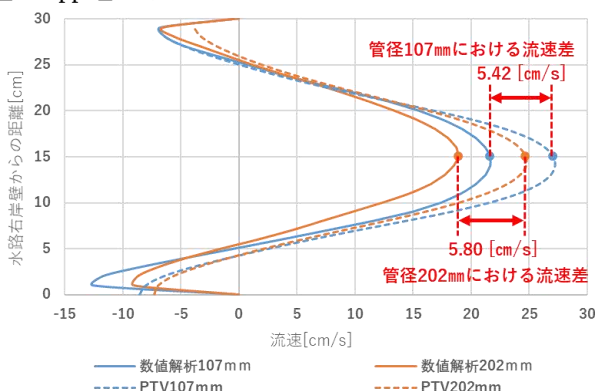


図-7 PTV 計測結果と数値解析結果の比較
(水平断面位置, 測線 $x=15\text{cm}$)

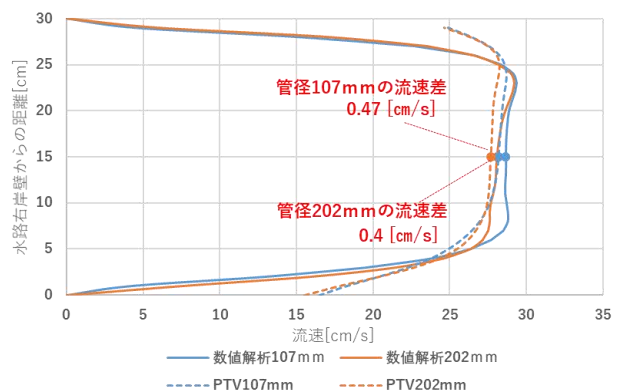


図-8 PTV 計測結果と数値解析結果の比較
(水平断面位置, 測線 $x=40\text{cm}$)