

令和元年6月14日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06072

研究課題名(和文) 水流の表面波動抑制による水車性能向上に関する試み

研究課題名(英文) Suppression of standing waves generated on the water flow surface for turbine performance improvement

研究代表者

飯尾 昭一郎 (Iio, Shouichiro)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：80377647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、凸面上を流下する自由表面流れに発生する定在波を対象に、その発生形態の整理と発生機構の解明、および波状変形の抑制方法に関する知見の獲得を目指した。水流表面の観察と速度測定結果から次のことがわかった。水流厚みと曲面流路流れ方向の速度には相関があり、水流の曲率半径とレイノルズ数で整理される無次元数であるゲルトラー数によりその傾向を捉えられる。また、表面張力に関する無次元数であるウェーバ数と水流厚みには正の相関が見られる。流路表面と水流との相対速度を変化させても定在波の発生状況には明確な違いが観察されなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーの中でもエネルギー密度と安定性に優れる水力発電に関して、水車への導水路である凸面を有する導水路において発生する定在波が水車効率を低下させる。本研究はその定在波の発生機構の解明とその抑制方法に関する知見を獲得することを目的としている。実験において水流表面の定在波の、水流速度、水流厚み、凸面部の曲率半径等への依存性を明らかにし、抑制方法につながる知見を獲得することができた。

研究成果の概要(英文)：This study was focused on the generating mechanism and suppression method of standing waves along the streamwise direction on water free surface through a convex open channel. The surface deformation pattern was captured, and the flow velocity was measured. From these experimental results, the following remarks can be drawn: The water thickness on the convex part is correlated with the streamwise velocity, especially for that the relationship shows good agreement with the distribution of Gertler number. Positive correlation can be recognized between the water thickness and Weber number. When the relative velocity between the water flow and the channel surface was changed by using moving belt, there was no clear difference in the occurrence of the standing waves.

研究分野：流体工学

キーワード：液膜流 遠心力不安定 定在波 ゲルトラー数 水車

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

開放型貫流水車のランナの導水路に、ランナへの水流の落下位置を制御するために凸面状流路で水流を鉛直下方へと偏向させる方法がとられている。実用的な観点から、簡易な構造にも関わらず幅広い流量範囲において落差工から滝状に落下する水流の位置を固定できること、および開水路であるため塵芥の閉塞が発生せず除塵が不要であることなどその利点は大きい。その一方で、凸面に沿って水流が流下する場合にその自由表面には水路幅方向に波状変形し、かつ流れ方向に筋をなす定在波が発生することが知られている。この定在波は凸面の曲率開始部から発生し、水流の偏向にともなって成長する現象である。従来研究において、この定在波の発生様相と水車性能との関係が調べられ、定在波が水車性能を低減させることが示されているが、発生機構については未解明である。したがって、導水路曲面流路に沿う水流に生じる定在波についてその発生機構及び抑制方法を獲得することは、学術的、実用的に大きな意義がある。

2. 研究の目的

開放型貫流水車の導水路に適用する曲面流路を対象として、そこを流下する水流の自由表面に発生する定在波の発生機構の詳細についての深耕と抑制方法に関する検討を本研究の目的とした。

3. 研究の方法

測定部の概略を図1に示す。曲面流路は室内に水平に設置した開水路の出口端から始まり、四分円とそれに正接した鉛直下向きの平板から成る。四分円の曲率半径は $R_c=60\text{mm}$ 、平板部の長さは $H_{pl}=300\text{mm}$ 、流路幅は 250mm である。四分円開始部の流路幅方向中央かつ流路表面上を座標原点とし、図のとおり座標軸を設定した。本実験では、開水路底面と曲面流路表面に厚さ 0.5mm 程度の不織布を水路幅全体にわたり流れ方向に移動できるようにロール状の不織布を巻取る機構を設置した。不織布は固定壁面に沿って移動可能であり、水流は不織布表面を流下する。水流自由表面形状は $z=-355\text{mm}$ の位置で観察した。観察ではレーザシート光を同位置に自由表面側から照射し、鉛直上方からカメラで撮影した。撮影された画像の例を図2に示す。図中の黒い部分は空気であり、水流は画像の下方から流入し、その後画像奥行き方向に偏向して流下する。水流の自由表面が波立っている様子がわかる。この波の位置は時間的に変化せず、常に同じ位置に発生する定在波である。流量は $Q=1.0 \times 10^{-3} \sim 9.0 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ で変化させ、不織布の移動速度を $v_s=0.0, 0.1, 0.2\text{m/s}$ とした。定在波の抑制や発達については可視化画像を元に評価した。撮影した画像を二値化により自由表面形状を抽出し、水路壁面から定在波山頂までの距離を算出し、その平均値で定在波の大きさを評価した。

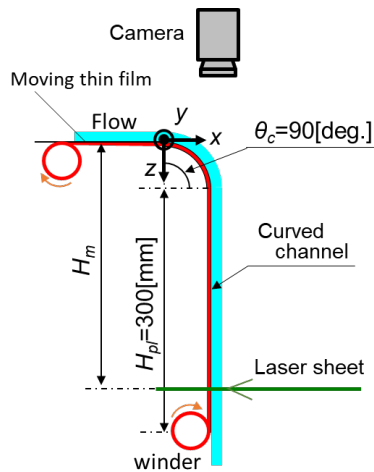


図1 測定部概略

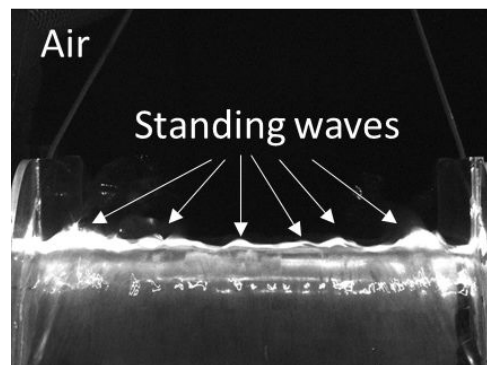


図2 自由表面の可視化画像

$Q=2 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$, $v_s=0\text{m/s}$

4. 研究成果

図3に曲率部における水流厚みの変化を流量毎に測定した結果を示す。測定角度 $\theta_m=50^\circ$ を基準にした定在波の山部と谷部の水流厚さの成長率を示している。山部では成長率が周方向に増加と減少を繰り返すのに対して、谷部については概ね減少傾向を示す。このように山部と谷部において成長様相が異なることがわかる。

図4に水流厚みとゲルトラー数との関係を示す。ゲルトラー数は式(1)で定義した。

$$G = U_{m_ave} \times t_m / \nu \times \sqrt{t_m / R_c} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $U_{m,ave}$ はレーザドップラ流速計 (LDV) で測定した水流厚み方向の速度分布から算出した流れ方向の平均流速、 t_m は水流の平均厚み、 ν は水の動粘度である。山部と谷部ともにゲルトラー数と水流厚みには正の相関があることがわかる。

図5に壁面表面の壁面 (不織布) の移動速度と定在波の平均高さとの関係を示す。流量が大きい条件では移動速度が大きい場合に水流厚みが減少する傾向が見られる。一方で流量が小さい条件では移動速度の増加とともに水流厚みが増加している。速度測定結果によれば、いずれの流量条件においても壁面静止時の水流の平均流速は0.9~1.3m/sの範囲にあり、壁面移動速度は水流の流速よりも小さい。各々の流量条件における結果が逆の傾向を示した原因は現時点では不明であり、移動速度の範囲を拡大した実験を継続して実施している。

以上の結果から、水車性能向上の観点から定在波の発生を抑制するにはゲルトラー数の低減、つまり流速の抑制と曲率半径の増大が有効であることが明らかとなった。

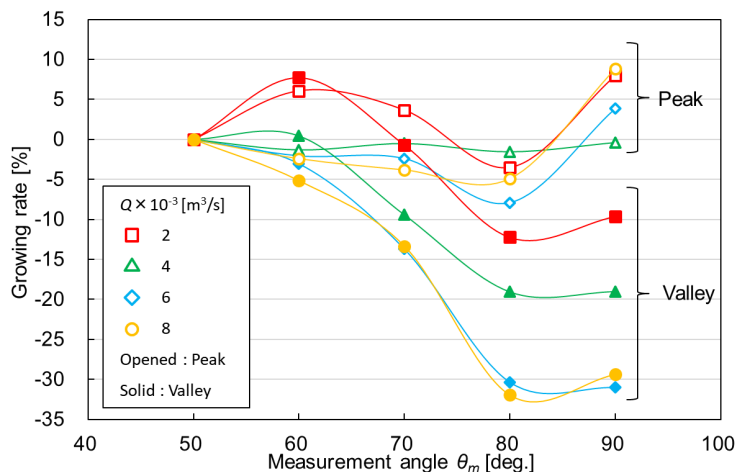


図3 定在波の山部と谷部の流れ方向の成長率

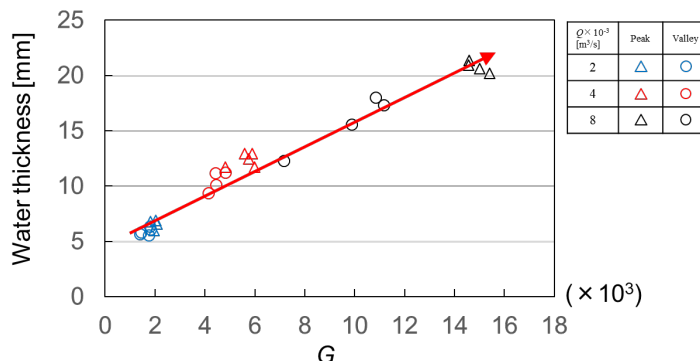


図4 ゲルトラー数と水流厚みとの関係

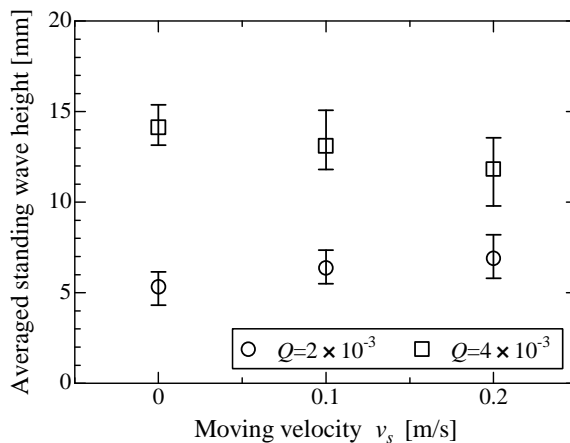


図5 壁面移動速度と水流厚みとの関係

5. 主な発表論文等

壁面移動速度の範囲を拡大した試験後に雑誌論文を投稿する予定である。

[雑誌論文](計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

研究代表者研究室情報

<http://www.kankyo.shinshu-u.ac.jp/~iiolab/>

研究代表者情報

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.HecNbpkh.html>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。