円形管水路用下掛け水車の出力特性

八戸工業高等専門学校　学生会員　○小野　光太郎
八戸工業高等専門学校　正会員　小屋畑　勝太
八戸工業高等専門学校　正会員　南　将人

1. はじめに

東日本大震災により多くの企業が操業停止・廃業に追い込まれ，非常時の被害を最小限に抑えるための事業継続計画の見直しが必要とされている[1)]．また，近年の地球温暖化問題やエネルギー枯渇問題への対応に向けて，再生可能エネルギーの普及が必要である．このような背景のもと，工場排水を利用した水力発電装置の設置が検討されている．今回の設置対象である水路は自由水面を有する円形断面水路であり，比較的流量は多いが落差が小さいという特徴がある．

本研究ではこのような特徴を有する水路へ適用する水車の開発に向け，水理模型実験の手法を用いて試作した数種類の水車モデルの性能を評価し，各水車モデルの出力特性を分析した．

2. 模型実験用水力発電装置

実際に水力発電装置を設置する現地放水管の流れを再現するために，縮尺 λ=1/6 とし 1/6 放水管モデルを作製した．そして，フルード相似則に基づき現地放水管の流れを実験室内に再現した(**表 1**)．また，水車出力を評価するための模型実験用水力発電装置を作製した(**図 1**)．この装置に取付けた回転計とトルク計の測定値から，水車性能を評価することが可能である．

3. 水車モデルの性能評価方法

3. 1 水車効率の算定と性能曲線の作成

理論水力 P_{th} [W]は水理条件から，式(1)により算出される．

$$P_{th} = \rho g Q H_e \qquad (1)$$

ここで，ρ:水の密度[kg/m^3]，g:重力加速度[m/s^2]，Q:流量[m^3/s]，H_e:有効落差[m]である．

また，水車出力 P_t [W]は回転数 N [rpm]とトルク T [N]を用いて式(2)により算出される．

$$P_t = \frac{2\pi T N}{60} \qquad (2)$$

これら理論水力 P_{th} と水車出力 P_t の比から，水車効率 η ($=P_t/P_{th}$)を算出し，水車の性能評価の指標に用いた．水車モデルの性能評価では発電機にかかる負荷を段階的に変化させ，各負荷における水車効率を算出した．そして，回転数と水車効率の関係から性能曲線を作成し，各水車モデルの出力特性を分析した．

3. 2 性能評価における実験条件

実験条件は“水車位置”と“水車形状”に着目して各水車モデルの性能評価を行った．水車位置については，水路と水車の接触点からの移動距離を水平位置 H，水車軸中心と水面との距離を垂直位置 V とした（**図 2**）．

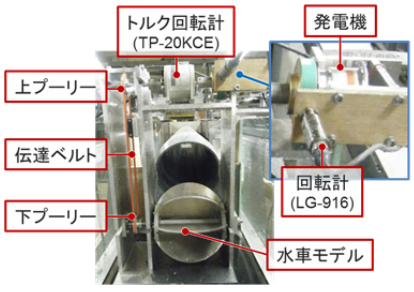

図 1 模型実験用水力発電装置

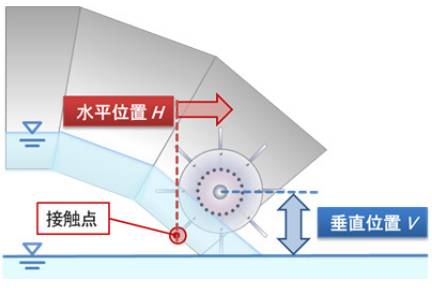

図 2 水平位置 Hと垂直位置 V

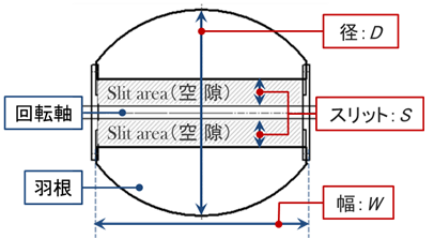

図 3 水車モデルの幅 W, 径 D, スリット S

表 1 現地放水管と 1/6 放水管モデルの各水理条件

	管径 φ[m]	水深 h [m]	有効落差 He [m]	流量 Q [m^3/s]	理論水力 P_{th} [W]
現地放水管	1.20	0.350	0.583	0.583	3975
1/6 放水管モデル	0.20	0.0453	0.116	0.00664	7.52

キーワード：小水力発電，工場排水，円形管水路，下掛け水車
連絡先：〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1　八戸工業高等専門学校　産業システム工学科　南　将人

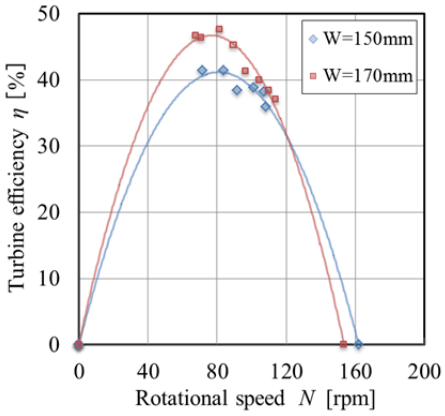

図 4 幅 *W* による出力特性の変化

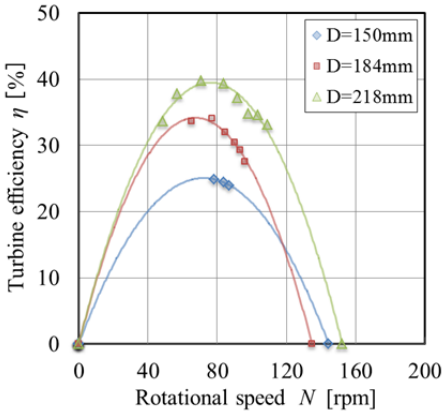

図 5 径 *D* による出力特性の変化

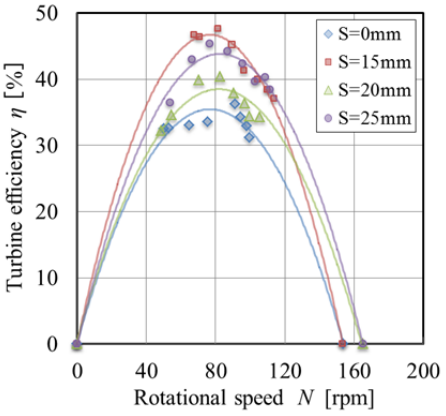

図 6 スリット *S* による出力特性の変化

水車形状ついては，幅 *W*，径 *D*，スリット *S* の各部の大きさが異なる水車モデルを試作した(**図 3**)．

同一の水車位置（*H*=0mm，*V*=69mm）において，各水車モデルの出力特性を分析した結果を以下に述べる．

4. 水車モデルの出力特性

4. 1 幅 *W* による出力特性の変化

幅 *W*=150mm，170mm を有する水車モデル(*D*=218mm，*S*=15mm）の性能曲線を比較したグラフを**図 4** に示す．大きい幅（*W*=170mm）を有する水車モデルがより高い水車効率を得られた．幅が大きい場合，羽根面積が広いため水流を無駄なく水車の回転エネルギーに変換させることができるが，“堰き上げ”を引き起こしやすくなる．この堰き上げは水流の流速を低下させ，それにより水車の回転数が低下し，さらに大きな堰き上げを引き起こす．このような悪循環が水車効率を低下させる大きな要因になっていると考えられる．実際に水車位置が高い場合ではこの堰き上げにより，水車効率の優劣が逆転する結果が確認された．この結果から幅を大きく設けることにより水車効率の向上が期待されるが，水車位置によって堰き上げを引き起こすことから，この点を十分考慮した設計が必要である．

4. 2 径 *D* による出力特性の変化

径 *D*=150mm，184mm，218mm を有する水車モデル(*W*=150mm，*S*=20mm)の性能曲線を比較したグラフを**図 5** に示す．大きい径（*D*=218mm）を有する水車モデルがより高い水車効率を得られた．径が小さい場合，負荷を増加させた際にトルク不足により回転数が減少し，水車が水流を堰き止める壁のように作用する．このような作用により前述した“堰き上げ”による水車効率を低下させる悪循環を引き起したと考えられる．この結果から，径を大きく設けることによりトルク不足を改善し，水車効率を向上させる効果が示唆される．

4. 3 スリット *S* による出力特性の変化

スリット *S*=0mm，15mm，20mm，25mm を有する水車モデル(*W*=170mm，*D*=218mm）の性能曲線を比較したグラフを**図 6** に示す．これらの水車モデルにおいてスリット *S*=15mm を有する水車モデルが最も高い水車効率が得られた．スリットの効果として，水車に作用した後の無効な水流を下流側へ排水する効果が期待される．スリットなし（*S*=0mm）の場合，水車羽根に作用した水流の多くが上流側へ押し戻され，前述した“堰き上げ”を引き起こす．また，スリットが無いことにより，水流を掻き揚げる“ポンプ作用”が強く働き，水車効率を大きく低下させる要因になったと考えられる．一方で，スリットが大きい（*S*=20mm、*S*=25mm）場合，水流が水車の羽根に十分に作用することなく流下するため，水車効率が低下したと考えられる．この結果から，適当な大きさのスリットを設けることにより，水車効率を向上させる効果が示唆される．

5. まとめ

本研究では，自由水面を有する円形管水路に適用する水車の開発に向け，試作した水車モデルの性能評価を行い，その出力特性について分析した．

本研究によって，得られた成果を以下にまとめる．

(1) 水車の幅 *W*を大きく設けることにより水車効率が向上するが，堰き上げの影響を考慮する必要がある．

(2) 水車の径 *D* を大きく設けることによりトルク不足を改善し，水車効率を向上させる効果が示唆される．

(3) スリット *S* については適度な大きさを設けることにより，水車効率を向上させる効果が示唆される．

参考文献

1) 丸谷浩明：東日本大震災の教訓を踏まえた事業継続計画(BCP)改善への提言，土木学会論文集 F6(安全問題)，Vol.67，No.2，pp1-10，2011.