

流力振動を用いた水力発電システムの提案及び振動解析

秋田大学大学院 学生員 ○青柳一輝

秋田大学 正会員 高橋智幸

1. はじめに

京都議定書の締結にからも分かる通り近年の地球規模での環境への関心の高まりには目を見張るものがある。枯渇性資源を用いない事業の需要が今後大きく伸びるのは明白であり、RPS 法等を考慮すれば発電もその例に漏れる事は無いだろう。そんな中で我が国の水力発電に目を向けてみると現在は大型ダムを用いない中小規模の発電が主流となっている。しかしながらこれらの施設の建設も水理条件、騒音の問題等から困難となってきている現状がある。

このことを背景として、著者らは歪みエネルギーを電気エネルギーへと変換する圧電素子の圧電効果に着目し、新しいタイプの水力発電システムについての研究を行った。

本研究では、新たな発電の可能性を探ることを目的として、カルマン渦列に伴う揚力方向の流動誘起振動を利用し、圧電素子の歪みを誘起することで、電気エネルギーを取り出す水力発電装置を作成した。また、振動からより大きなエネルギーを得るという目的から、カルマン渦列により得られる振動数、振幅、加速度を振動学の観点から考察した。

2. 研究方法

発電装置は円柱形の振動柱上端に圧電素子を接続する形状とした。円柱部材には2種類のウレタンゴムを用い円柱上端面中央部分に長さ30mm、外形6mmの長ナットを埋め込み、圧電素子部にはボルトを取り付け円柱との接続を行った。

振動数及び振幅はビデオカメラを用いて撮影した画像から読み取る手法をとり、同時に電圧の測定も行った。また振動解析の際に共振を考慮する事を目的として発電装置の固有振動数をモーダル解析によって測定を行ない、ビデオ映像から得られた振動数との比較を行なった。

2.1 実験条件

実験は幅0.3m、高さ0.5m、長さ10mの矩形循環水路を使用し、測定位置は上流端から4m地点とした。振動柱の部材にはヤング率の異なる2種類のウレタンゴムを用いた。振動柱諸元を表-1に示す。ここでDは円柱直径、Lは円柱長、Mは円柱質量、Eは円柱部材ヤング率である。一つの流速につき4分間ずつ3回、計12分間ビデオカメラで振動の撮影を行なった。各撮影の間には幅広い範囲測定を行うという目的から、5分ずつのインターバルを挟み、合計22分間の範囲か

表-1 振動柱諸元

Label	Material	D(cm)	L(cm)	M(g)	E(MPa)
H- α	H-Rubber	3.5	26.0	292.1	50
H- β	H-Rubber	3.0	26.0	217.3	50
H- γ	H-Rubber	2.5	26.0	153.2	50
S- α	S-Rubber	3.5	26.0	317.7	3
S- β	S-Rubber	3.0	26.0	235.0	3
S- γ	S-Rubber	2.5	26.0	165.6	3

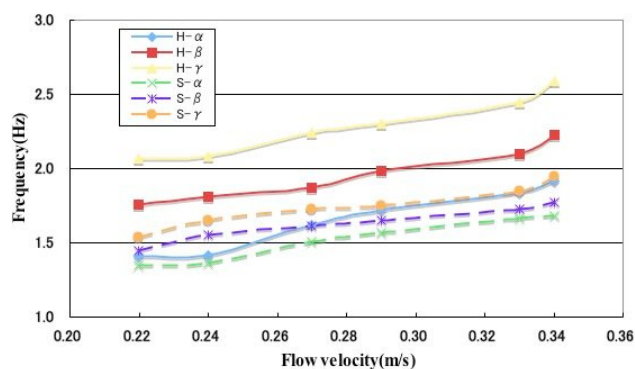


図-1 実験結果-振動数

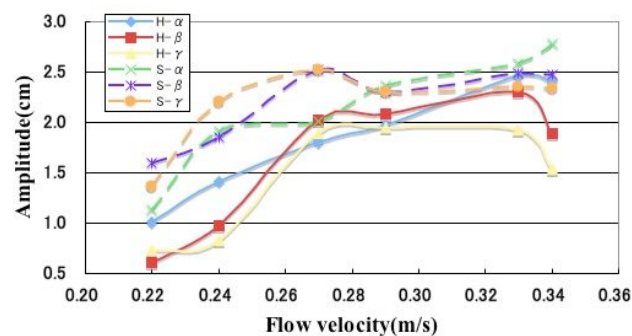


図-2 実験結果-振幅

ら測定値を取った。浸水深は全てのケースで10cmに統一している。

流速 U は $0.22\text{m/s} \leq U \leq 0.34\text{m/s}$ 、流れの性質は Reynolds 数 Re が $5500 \leq Re \leq 11900$ より乱流、Froud 数 Fr が $0.22 \leq Fr \leq 0.34$ より常流となっている。

3. 実験結果

振動数の実験結果を図-1に示す。流速と振動数の相関係数を算出したところ、 $0.977 \leq R \leq 0.988$ と強い相関があることが分かった。この結果は実験時の Re 数において Strouhal 数 $St=0.21$ となる事により裏付けられる。

次に振幅の実験結果を図-2に示す。これより振幅は流速に

表-2 固有振動数 付加質量考察

Label	測定結果(Hz)	修正結果(Hz)	実験結果[相対誤差(%)]
H-α	2.12	1.84	1.84[0]
H-β	2.34	2.03	2.10[3]
H-γ	2.62	2.28	2.31[1]
S-α	1.94	1.70	1.67[2]
S-β	2.04	1.79	1.73[3]
S-γ	2.16	1.90	1.85[2]

比例して線形増加しているわけではない事が分かる。この原因は共振のためであると考え、モーダル解析により振動柱の固有振動数を測定したところ、共振時の振動数が過小に評価されている事が分かった。この原因としてモーダル解析は空気中で行なったのに対し、実験では振動柱の浸水深が 10cm 存在したために水の付加質量が加わり、モーダル解析の結果よりも小さな値になったと考えられる。そこで以下の式を用いて付加質量を加味した固有振動数の計算を行った。

$$f_r = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{(m + m_a)l^4}} \quad (1)$$

ここで f_r は付加質量を考慮した固有振動数、 λ は振動数方程式の解、 E はヤング率、 I は断面二次モーメント、 m は単位質量、 m_a は付加質量、 l は円柱長さである。

m_a は以下の式で示される。

$$m_a = \frac{m_{a0} \times l_0}{l} \quad (2)$$

ここで m_{a0} は単位付加質量、 l_0 は浸水深である。

モーダル解析により測定した振動装置の固有振動数の値を測定結果、計算結果を修正結果、実験映像より得られた実際に共振時に振動柱が振動した振動数を実験結果として表-2 に示す。括弧内の値は修正結果を真値として計算した場合の実験結果との相対誤差である。これより相対誤差が小さくなったことが分かる。

続いて発生電圧の結果を図-3 に示す。これよりヤング率の高いゴムの方が発生電圧が高い事が分かる。また、これを考察するために実験より得られた振動数及び振幅を用いて単振動の式より加速度の計算を行った。計算結果を図-4 に示す。これより発生電圧は加速度と同様の傾向にある事が分かる。

最後に共振点を越えた後に加速度はどのような傾向を示すのかを知るために既往のデータ¹⁾を用いて計算を行った。結果を図-5 に示す。これより実験円柱は、須く円柱の振動数が固有振動数に達するまで加速度は増加してからある程度の流速範囲で同程度の加速度を保ち、その後減少に転じる傾向がある事が分かる。さらに円柱の径が大きなものの方が加速度が保たれる流速の範囲が広がった。

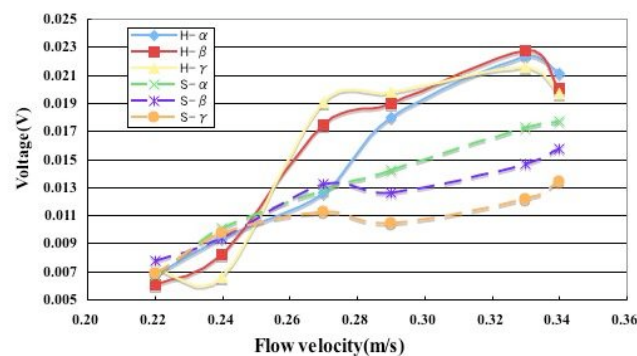


図-3 実験結果-発生電圧

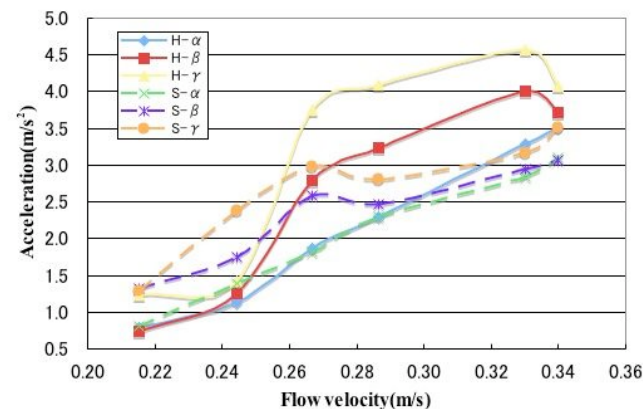


図-4 計算結果-加速度

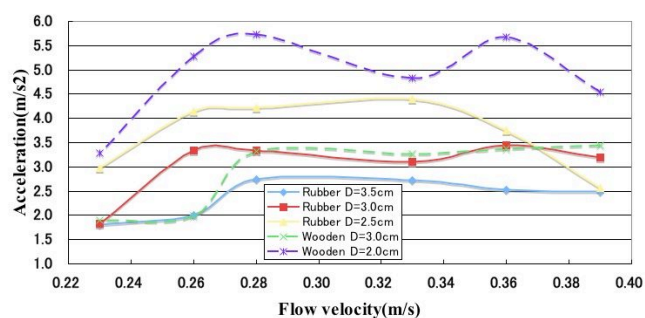


図-5 共振後の加速度

4. 結論

本研究の成果としては振動数が流速に比例する事及び共振時に振幅が最大となる事が確認でき、さらに発生電圧が振動数と振幅より計算する事のできる加速度とほぼ同傾向となる事が分かった。また共振点を越えた加速度は一定の振動数に達するまで値を維持する事が分かった。一つの装置より得られる電力は 1W に届かず大きなものではないが、この発電装置の利点であるあらゆる水路に適用可能な点を生かして水量計のメーターの様な自律型の発電システムとして使用する等、今後装置の利用法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 青柳一輝, 高橋智幸: 流力振動を用いた水力発電における振動解析, 平成 17 年度東北支部技術研究発表会講演概要, pp392,393, 2005.