

流力振動を用いた小型水力発電に関するスペクトル解析

秋田大学 学生員 ○朝倉 壘
秋田大学 正会員 高橋智幸

1. はじめに

運動エネルギーを電気エネルギーに変換する圧電セラミックを利用することで、流れによって生じる動的現象(=流力振動)によって負荷を与え、発電を行う小型水力発電が実現できる(青柳ら, 2006). 本研究では、圧電セラミックを取り付けた物体を流体中に置き、その運動を解析することで最適な発電方法を検討する.

2. 実験方法

図-1 のように一様流速中に物体(振動柱)を入れて振動させ、物体上端に接続した圧電セラミックによって電圧を計測する. また、圧電セラミック部には動歪みゲージを取り付け、歪みを測定する. 振動柱は断面形状を変え、その形状がどう影響するのかを調べる.

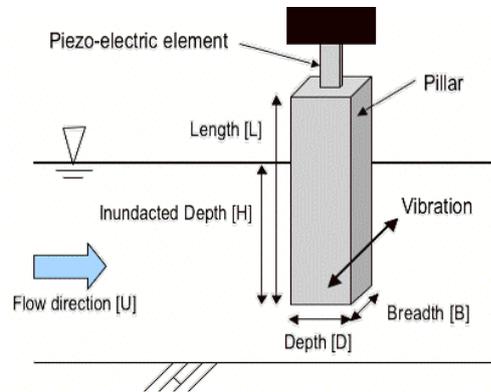


図-1 実験装置側面図

流速 U は $0.17\text{m/s} \leq U \leq 0.32\text{m/s}$, Re 数は $17000 \leq Re \leq 32000$, Fr 数は $0.17 \leq Fr \leq 0.32$ の範囲となっている. 振動柱は杉材 ($E=1000\text{MPa}$) を利用し、形状は、幅 $B=3.0\text{cm}$, 長さ $L=25\text{cm}$, 浸水深さ $H=10\text{cm}$ を共通として、奥行きを $D=3.0, 6.0, 9.0\text{cm}$, 振動柱の断面形状を、角柱, 円柱, 三角柱(流れ方向に対し頂点が反対方向)とした(表-1).

表-1 振動柱諸元

Label	B[cm]	D[cm]	M[g]	Form
No. 1	3.050	3.045	87.8	Rectangle
No. 2	2.940	2.900	75.0	Circle
No. 3	3.015	3.055	51.4	Reverse Triangle
No. 4	3.070	6.100	169.1	Rectangle
No. 5	3.025	5.955	122.8	Circle
No. 6	3.065	5.955	105.7	Reverse Triangle
No. 7	3.075	8.965	308.4	Rectangle
No. 8	2.990	8.940	198.5	Circle
No. 9	2.960	9.075	124.9	Reverse Triangle

3. 実験結果

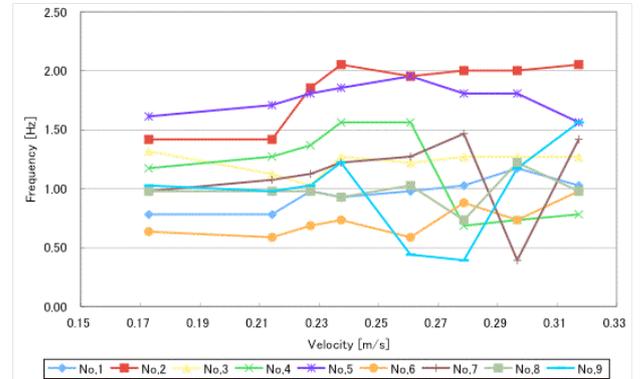


図-2 振動解析実験: 実験結果[振動数(電圧)]

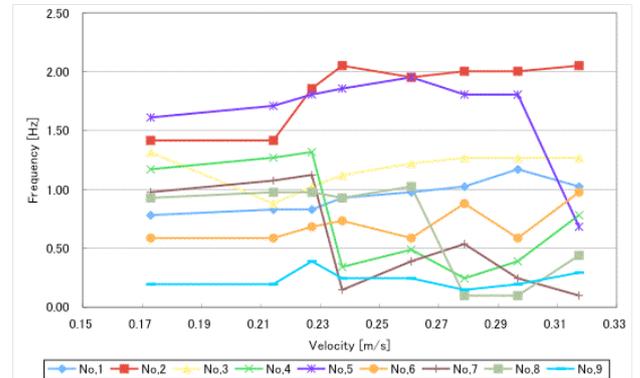


図-3 振動解析実験: 実験結果[振動数(歪み)]

計測した歪みと電圧をスペクトル解析して振動数を算定した. 図-2, 3 のそれぞれのデータから, (a)流速に合わせて増加するもの[No. 1, 6], (b)振動数が相対的に一定のもの[No. 2, 3], (c)ある流速から急激に減少するもの[No. 4, 5, 7, 8, 9], というパターンに分類できる.

(a)はカルマン渦による励振であり、カルマン渦の渦周波数 f_v は以下の式で示される.

$$f_v = S_t \frac{U}{B} \quad \dots(1)$$

St (Strouhal 数)は物体形状と Re 数の関数として実験的に求められる数値であるが、本実験中の Re 数範囲で変動することはないと考え、これを一定とし、渦周波数 f_v は流速に比例すると考える.

(b)は渦周波数が物体の固有振動数に同期するロックイン現象であり、渦周波数が物体の固有振動数に近い際に発生する. No. 2 の振動柱は同期が急激に起きたものと考えられる.

(c)について、歪みと電圧の振動数が一致しないケースが存在した。図-4, 5 のNo. 4の振動柱を例に見てみると、電圧の振動数は $u=0.17\text{m/s}\sim 0.24\text{m/s}$ の範囲で、式(1)に則した変化をしている。しかし、歪みの振動数では、 0.24m/s で突出した 0.34Hz の値の他に、同流速時の電圧の振動数 1.54Hz 付近にも振動が確認できる。このため、(c)は(a)の振動の減少過程と考えることができる。(c)はDが大きいほど発生しやすく、これは、D/Bが大きくなると、物体の上流側で剥離した流れが物体に再付着する影響だと考えられる。なお、歪みと電圧で差が生じるのは、圧電セラミックによる発電は加速度によるものであり、加速度は振幅と振動数の2乗に比例するため、高い振動数でより発電されるためである。

表-2 振動柱の各 St 数, V_{max} , ϵ_{max}

Label	St 数	V_{max} [V]	ϵ_{max} [$\mu\epsilon$]
No. 1	0.11	0.80	16.82
No. 2	0.22	2.60	61.54
No. 3	0.14	1.58	38.75
No. 4	0.19	0.48	9.18
No. 5	0.22	0.27	5.69
No. 6	0.09	0.35	11.74
No. 7	0.15	0.43	7.75
No. 8	0.11	0.37	9.10
No. 9	0.14	0.28	14.00

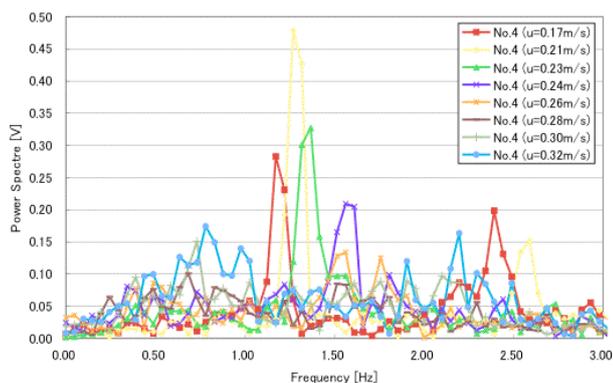


図-4 実験結果[スペクトル解析 No. 4 (電圧)]

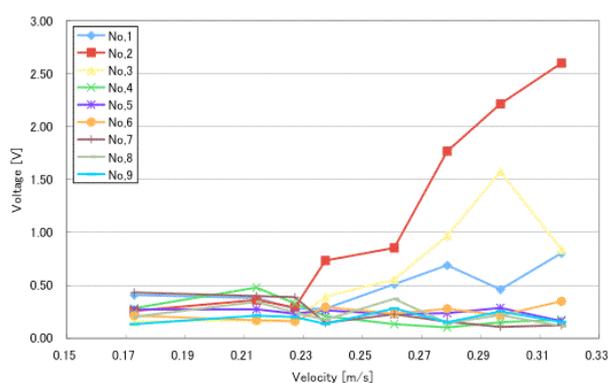


図-6 振動解析実験：実験結果[電圧]

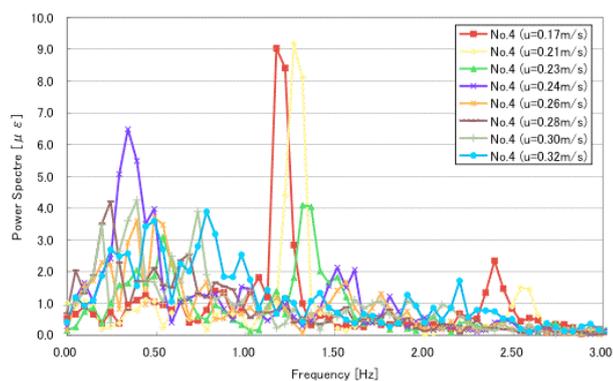


図-5 実験結果[スペクトル解析 No.4(歪み)]

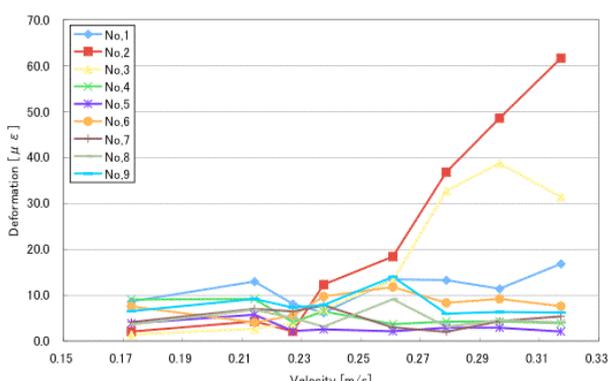


図-7 振動解析実験：実験結果[歪み]

4. 実験考察

図-6, 7を見ると、電圧、歪みともロックイン現象が発生している No. 2 の振動柱で最も高い値を示している。しかし、ロックイン現象は物体の固有振動数に関連した現象であり、本実験で用いた振動柱の特徴である「振動柱の断面形状」として評価するのは難しい。そこで、各データから式(1)の線形部分を取り出し、 St 数の算定を行った(表-2)。D の値が大きい程 St 数は小さくなる傾向にあったが、それと比較すると、四角、円、三角形の形状との相関は見られなかった。

そのため、振動柱の断面形状を考えた際、円形といった形状より、D による影響の方が現れやすいと考えられる。算定の精度としては、No. 2 の正円形の振動柱の場合、既存の研究(日本機械学会, 1998)では $10^2 < Re < 10^7$ の範囲で $St \approx 0.21$ となっている。

参考文献

- 1) 青柳一輝・高橋智幸：流体力学を用いた水力発電における振動解析、土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp392-pp393, 2006
- 2) 日本機械学会編：配管内円柱構造物の流体力学評価指針, ppB2-ppB4, 1998