

水平水路床の上に設置された鉛直水門に作用する変動外力について

京都大学工学部 正 員 工博 岩佐 義朗
 京都大学工学部 正 員 工 修 名合 宏之
 京都大学大学院 学生員 堀江 毅

1. は い が き

本研究は、水理構造物の流体力による振動とその水理学的解析を行なうため、まず、水平床の上に設置された鉛直水門に作用する変動外力に関する実験結果をもとにして若干の考察をおこなったものである。

流水中におかれた構造物の振動の原因となる変動外力に関する研究のうち、古典的な Kármán 渦列による周期的外力の研究が有名であり、近年においても、煙突の振動現象の解析などに用いられている¹⁾。ところが、開水路や高圧放水管などに設置された水門に作用する変動外力については、その発生機構が複雑なため、まだ解明されるに至っていない。しかし、いずれにしても、他の実験結果²⁾や著者らが予備的におこなった実験結果によれば、変動外力は周期的なものではなく、非常にランダムであるようである。したがって、水門に作用する変動外力を解明するには、ランダム現象として流体力の特性を知り、また、その発生原因を考える必要がある。

2. ランダム外力に対するスペクトラム解析の有用性

不規則変動の特性を知るためには一般に統計的な手法が用いられるが、構造物に作用するランダム外力の特性を知るためには、構造物の振動とも関連して、スペクトラム解析の方法を用いるのが便利である。というのは、卓越周波数より、共振現象との関連性をつかむことができ、また、外力のパワースペクトラムより構造物の応答特性を知ることができるからである³⁾。いま、振動系が線型振動系であり、また、ランダム外力 F が正規分布をもった定常ランダム過程で、フーリエ積分

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

によってあらわされると仮定すると、変位 y および その平均自乗根は、それぞれ

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A(\omega) Z(\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega,$$

$$\sqrt{y^2} = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} S_F(\omega) |Z(\omega)|^2 d\omega \right\}^{1/2}$$

ここに、 $Z(\omega) = m(i\omega)^2 + c(i\omega) + k$ 、また、 $S_F(\omega)$ は $F(t)$ のパワースペクトラムである。

したがって、外力のパワースペクトラムを求めると、構造物の応答特性を知ることができる。

3. 実験方法、実験結果および考察

実験装置、記録方法などについては以前の報告⁴⁾で述べたので、ここでは省略する。実験は表-1に示す水理条件で行なわれ、また、電磁オシログラフの記録紙送り速度は 1 cm/sec とし 0.1 秒ごとに刻時をおこなった。

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
流量 (L/sec)	3.72	4.60	5.15	3.70	4.77	5.40	6.00	3.60	4.50	5.05	5.58	6.05	6.60	7.20	3.50	4.35	4.95	5.30	5.80	6.40
上流水深 h_1 (cm)	11.62	14.02	15.94	13.74	16.28	18.10	20.01	15.96	18.09	20.01	21.71	23.99	25.71	28.22	18.25	20.24	22.52	23.94	25.95	28.16
下流水深 h_2 (cm)	8.00	7.98	8.32	9.97	10.00	10.00	10.00	12.12	12.00	12.00	12.00	12.00	11.95	12.00	14.00	14.01	13.99	14.00	14.00	14.00

表-1 実験に用いた水理条件

いずれの条件に対しても 0.1秒間隔で100秒間、すなわち、1000個のデータを読みとり、このスペクトラムを京都大学電子計算機 KDC-II によって求めた。この場合、プログラムは Tukey の方法 (1949 年) による。

計算結果の二つの例を示すと図のようになる。この図には全部の計算が間に合わなかったため、下流水深を一定にした 4 つの場合しか示されないため、その特性は容易に判断されない。また、読みとり時間が短かったため、図に示す $f=0.1$ 以下の部分の信頼性はかなり悪く、この部分の議論は危険であるが、卓越周波数は $0.2 (1/sec)$ 以下の部分に存在するようである。とくに、 q/h_1 が小さくなるほど、すなわち、ゲート開度 (この実験では $a=20\text{ cm}$) に対する上流水深 h_1 の比が大きくなるほど卓越周波数は小さくなる傾向がみられる。

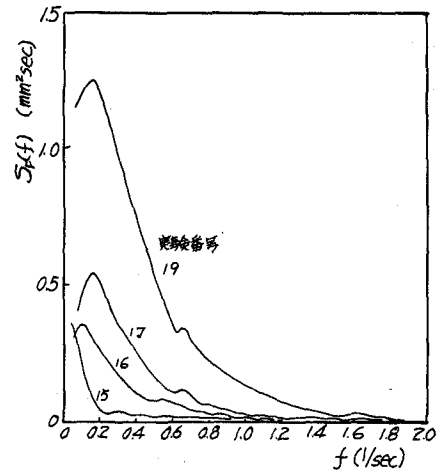
卓越周波数と水理条件との関係を知るために、長さとして (h_1-a) を、速度として上流側平均流速を用いて、Strouhal 数 $S=f(h_1-a)/v$ を計算すれば $S=0.25\sim0.65$ となった。この場合上下流水位差が大きいほど大きな値をとる。円柱の場合、Re 数の大きな領域ではランダム変動の場合でも S の値が 0.2 近傍でエネルギー集中があるといわれているが、⁵⁾ ここで得られた結果はこれよりかなり大きい。これは水門からの流出が、形状の違いによる差は当然として、上下流で水位差を生ずること、円柱のまわりの流れと異なり片側から流出し、下流側後流域に自由水面が形成されることなどがこのような結果に影響しているのではないかと考えられる。

現在までのところ、変動外力の特性について一般的な結論を見い出すことができなかったが、今後、変動外力の検出・記録・データの処理法などについて、さらに研究、改良するとともに、変動外力の発生原因を力学的に解明していく必要があると考えられる。

なお、ここに示されなかった他の 16 ケの条件に対する計算結果とその考察については講演時に述べる予定である。

参考文献

- 1) たとえば 石崎 凝雄, 川村 純夫; 振動測定からみた 鋼製煙突設計上の諸問題, 京都大学防災研究所年報 第5号 A 昭和37年3月。
- 2) たとえば Naudascher, E., etc; Hydrodynamics analysis for high-head leaf gates, proc. of ASCE Hy3 May 1964.
- 3) 建築学系編集委員会; 建築学大系 11 地震・振動学, 彰国社 昭和40年
- 4) 岩佐義胡, 石合宏之; 水平床上に設置された鉛直水門の流出機構について (もみり流出に関する二つの考察), 第21回年次学術講演会講演概要, 昭和41年5月
- 5) Gerrard, J.H.; An experimental investigation of the oscillating lift and drag of a circular cylinder shedding turbulent vortices, Jour. of Fluid Mech. vol. 11. Part 2, 1961



変動外力のスペクトラム