

風による観覧車ゴンドラの回転現象の発生メカニズムに関する実験

岡山大学 学生会員 ○出石 悠人
 岡山大学 正会員 比江島 慎二

1. はじめに

強風時に観覧車のゴンドラが回転する現象がある。ゴンドラ側面に風が吹き付け、その抗力によってゴンドラが持ち上げられて回転している可能性があるが、ゴンドラの重量は一般に 500kg~1000kg 程度あり、抗力で持ち上げるのは不可能と考えられる。われわれは、風はゴンドラの側面ではなく正面に吹き付け、風と直角方向に自励流体力が発生することでゴンドラが回転しているのではないかと推測している。すなわち、ギャロッピング振動が回転を引き起こす原因ではないかと考えた。そこで本研究では、風によりゴンドラが回転する原理を解明するため、実規模の 1/20~1/30 の模型を用いて回流水槽実験を行い、ゴンドラに作用する自励流体力について検討した。

2. 回流水槽による実験方法

実験に用いた回流水槽（図 1）は計測部の長さ 1250mm、幅 500mm、水深 350mm で、流速 $U=0.0\text{m/s}$ ~ 1.0m/s の範囲で設定できる。回転軸から下端までの高さ $L=80\text{mm}$ 、幅 75mm、奥行き 51mm の PC 樹脂製のゴンドラの模型を用いた（図 2）。この模型をスピードコントロールモーターによって回転数を制御しながら一定角速度 ω で回転させ、トルクセンサーによりトルク Q を測定するとともに、それらの積を取ることで流体力がゴンドラに成す仕事率 P を求めた。

3. 振動時のパワー係数の予測式の導出

並進振動のギャロッピングに対する準定常理論では、振動時のある瞬間に物体に作用する流体力は、その瞬間の物体周辺流れと等価な定常流れにおいて静止物体に作用する流体力と等しいと見なす¹⁾。回転振動のギャロッピングの場合も同様に準定常理論を適用するとすれば、ゴンドラを一方向に定常回転させたときに作用する流体力が、その定常流れと等価

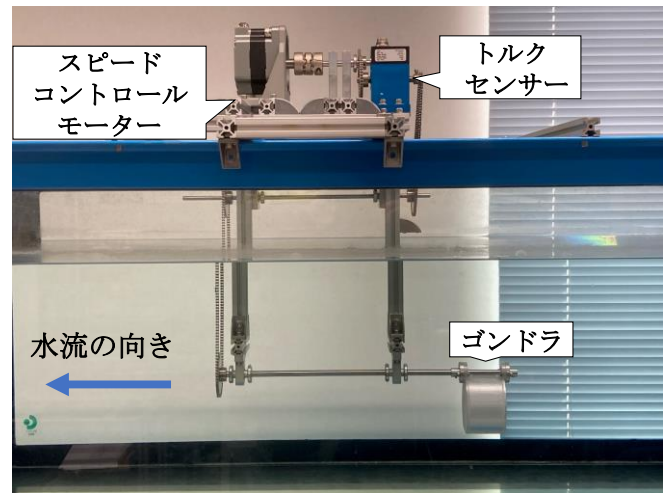


図 1 水槽実験装置の全体図

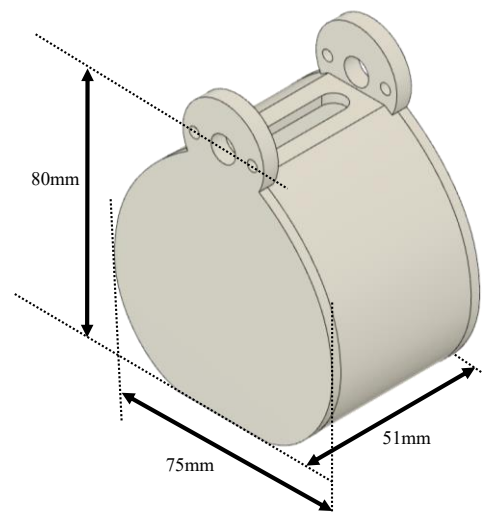


図 2 ゴンドラの水槽実験模型

な周辺流れを生じる瞬間のゴンドラ振動時の流体力と等しいと見なせばよい²⁾。

そこで、周速比 $\lambda (= \omega L / U)$ の 9 次項まで考慮した多項式により、ゴンドラの定常回転時のトルク係数 C_Q を近似する。このとき $C_1 \sim C_9$ は各項の係数、 ρ は

流体密度である.

$$C_Q = \frac{Q}{\frac{1}{2}\pi\rho U^2 L^3} = C_1\lambda + C_3\lambda^3 + C_5\lambda^5 + C_7\lambda^7 + C_9\lambda^9 \quad (1)$$

一方, 準定常理論の下でのギャロッピング振動時の周速比 λ は正弦的に変化すると仮定して,

$$\lambda = \lambda_0 \cos pt \quad (2)$$

とする. ここで, λ_0 は周速比振幅, p は角振動数である. 周速比 λ とトルク係数 C_Q の積の1周期の時間平均を取ることで, 振動時の平均パワー係数 C_P が周速比振幅 λ_0 の多項式として以下のように表される.

$$C_P = \frac{p}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{p}} \lambda C_Q dt = \frac{p}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{p}} (C_1\lambda^2 + C_3\lambda^4 + C_5\lambda^6 + C_7\lambda^8 + C_9\lambda^{10}) dt = \frac{1}{2}\lambda_0^2 \left(C_1 + \frac{3}{4}C_3\lambda_0^2 + \frac{5}{8}C_5\lambda_0^4 + \frac{35}{64}C_7\lambda_0^6 + \frac{63}{128}C_9\lambda_0^8 \right) \quad (3)$$

パワー係数 C_P が正であれば, 1周期の間に流体力が Gondola になす仕事のトータルが正となり, ギャロッピングが発生すると見なせる.

4. 回転時の Gondola に作用するトルクの測定結果と振動時パワー係数の予測

Gondola を定常回転させたときの周速比 λ に対するトルク係数 C_Q の測定結果を図3に示す. 流速 U が大きいほどトルク係数 C_Q が大きくなっている. また, 流速 $U=0.8\text{m/s}\sim 1.0\text{m/s}$ では, トルク係数 C_Q が正となる周速比 λ の領域が存在し, Gondola に自己励起的なトルクが働くのが分かる. 一方, トルク係数 C_Q が負のときは, トルクが回転方向とは逆方向に作用して回転を抑制する.

図3には, 各流速のトルク係数 C_Q の測定値について, 式(1)の周速比 λ の多項式として求めた近似曲線も示している. さらに, その多項式の係数 $C_1 \sim C_9$ を式(3)に適用することで, 振動時のパワー係数 C_P を予測した結果が図4である. Gondola の振動時のパワー係数 C_P は流速 U とともに増加し, 流速 0.9m/s と 1.0m/s ではパワー係数 C_P が正となる周速比振幅 λ_0 の領域が存在する. このことは, この周速比振幅 λ_0 の領域において Gondola にギャロッピングが発生し得ることを示している.

5. まとめ

本研究は, 強風時に Gondola が回転する現象を解

明するために, Gondola に作用するトルクについて水槽実験を行った. 水槽実験から得られたトルクを元に振動時の平均パワー係数を算定したところ, ある条件下において平均パワー係数が正となることが明らかとなった. このことは, Gondola にギャロッピングが発生し得ることを示している. よって, 強風時の Gondola の回転は, このようなギャロッピングの振幅が増大し, Gondola の振幅が 180° を超えた結果, 一方向の回転に転じたものと推測される.

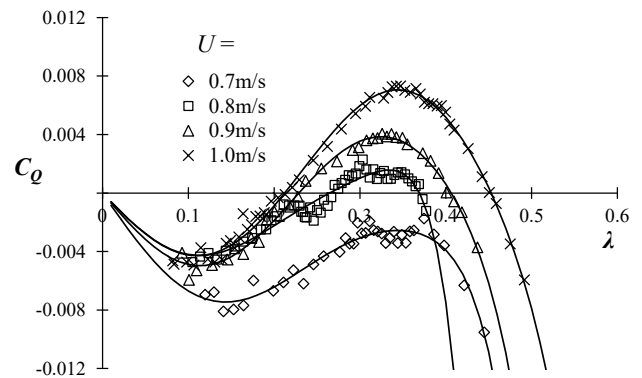


図3 定常回転時のトルク係数の実験値と近似曲線

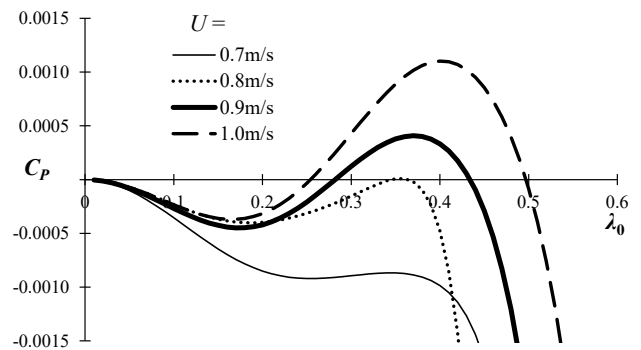


図4 振動時のパワー係数の予測値

参考文献

- 1) Parkinson, G. V. and Smith, J. D.: The square prism as an aeroelastic non-linear oscillator, *Quarterly J. Mech. and Applied Mathematics*, Vol.17, Issue 2, pp.225-239, 1964
- 2) 比江島慎二, 泉一希: 回転振動翼を用いたギャロッピング発電のエネルギー取得性能に関する実験的及び理論的研究, 日本風工学会論文集, Vol.46, No.1, pp.1-11, 2021