

自由落下タンブリング平板の実験的研究

An Experimental Study on a Tumbling Plate under Free Flight

○ 早川 昌志, 同志社, 流体力学研究室, 京田辺市
 舟木 治郎, 同志社, 流体力学研究室, 京田辺市
 平田 勝哉, 同志社, 流体力学研究室, 京田辺市, E-mail: khirata@mail.doshisha.ac.jp
 Masashi Hayakawa, Fluid Mech. Lab., Doshisha University, Kyoto 610-0321
 Jiro Funaki, Fluid Mech. Lab., Doshisha University, Kyoto 610-0321
 Katsuya Hirata, Fluid Mech. Lab., Doshisha University Kyoto 610-0321

We experimentally study the tumbling, which is a rotating motion of a plate with its axis perpendicular to the falling direction. As the plate, we consider a rectangular-cross-section prism with a depth-to-width ratio $\lambda = 0.3$, an aspect ratio $AR = 10$, and inertia moment ratios $I^* = 0.75 - 43$, together with a wide range of a non-dimensional parameter $C = 7.2 \times 10^1 - 1.6 \times 10^3$. As a result, we specify various aerodynamic characteristics like the reduced rotating rate Ω^* , C_L , C_D and C_L/C_D as functions of both C and I^* . Moreover, the relation between the actual Reynolds number Re and the Reynolds number $Re(V_d)$ based on V_d can be approximately determined, being independent of C and I^* . Eventually, we successfully propose a series of empirical formulae to predict Ω^* , C_L , C_D and C_L/C_D as functions of $Re(V_d)$ alone.

1. はじめに

我々は、日常、木の葉や薄い紙片が空中を回転しながら落下するのを、よく目にする。物体が流体中を落下する際に様々な運動をするが、この例のように、内部動力源を持たない物体が流体力の作用により持続回転することを、オートローテーションと呼ぶ。

オートローテーションにはタンブリングやフラットスピン、コーニングなどが知られているが、本研究では、落下方向と回転軸が垂直であるタンブリングを取り扱う。

2. 実験装置

図1に空中の実験装置の概略図を示す。図において、自由落下させた平板はタンブリングを始める。同期された2台のハイスピードビデオカメラ(500frames/s)によって撮影を行い、平板の滑空角と位置を得る。

3. Ω_{AOR}^*

図2に C と I^* のそれぞれの組み合わせにおける Ω_{AOR}^* への Re の影響を示す。また平田ら(2009)の低レイノルズ数範囲のデータも共に示す。ここで Ω_{AOR}^* は終端には至っていないが平板1回転当たりの回転速度比を示す。

定性的な観点からすると、本研究の結果は平田ら(2009)の結果と似ている。厳密に言う、 Re が0から増加すると、 Ω_{AOR}^* は0.6付近の一定値に漸近するように単調増加する。

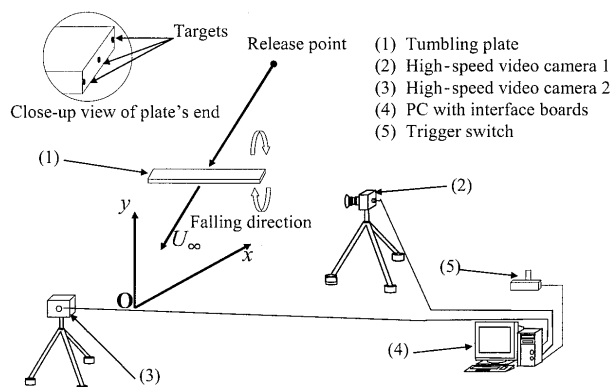


Fig. 1 Experimental apparatus in air.

同じ C , 同じ I^* のデータを注意深く見たとき、太い実線付近にデータがばらついているのがわかる。それらのデータは任意にばらついているのではなく、 Re が上昇すれば Ω_{AOR}^* が減少するようないくつかの曲線上にのり、一貫性があることがわかる。

平田ら(2009)の研究において、その一貫性のある法則は以下の式で表されることを発見している。

$$\Omega^* = \sqrt{10^{10} \frac{I^*}{Re} + 0.04}. \quad (1)$$

この式は C_L と Ω^* の間の関係により導き出されており、揚力 L が主に Magnus 効果によるものと仮定した自由落下平板の動的平衡を基にしている。

しかしながら、式(1)は $C = 3.9 \times 10^2$ のみの式にすぎない。そこで、 I^* と C の影響を考えて以下のように式を発展させる。

$$\Omega^* = \sqrt{9 \times 10^{-2} C^{4.3} \frac{I^*}{Re} + 0.04}. \quad (2)$$

式(2)における $C = 3.9 \times 10^2$ の曲線は式(1)のものと一致する。図2において、式(2)を表す細い実線は、 $C = 7.2 \times 10^1 - 4.7 \times 10^2$ の広い範囲において本研究のデータと平田ら(2009)のデータ共に良い一致を示している。

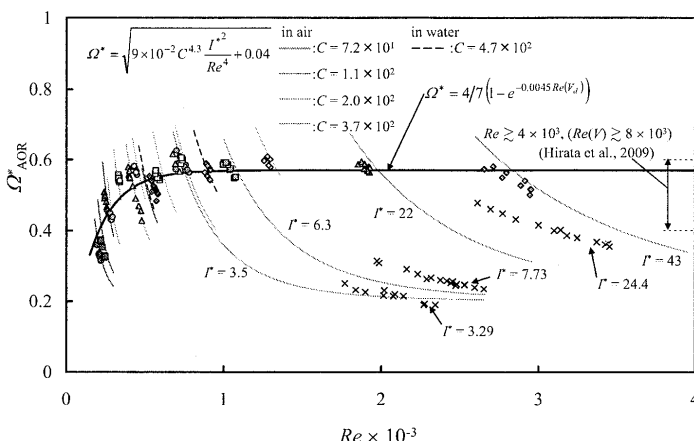


Fig. 2 Reduced rotating rate Ω_{AOR}^* averaged over one rotation versus Reynolds number Re , for $\lambda = 0.3$, $AR = 10$, $C = 7.2 \times 10^1 - 4.7 \times 10^2$ and $I^* = 0.75 - 43$.