

東工大 正会員 日野 幹雄  
 ○ 東工大 学生員 白砂 健  
 東京電力 高辻 哲

# 1 まえがき

耐風設計における動的安定性の問題は、近年構造物の長大化とそれに共う可撓性の視察からその重要性が認められている。ところが、空気が作用して発生するこうした角形ないしは鈍形の構造物の振動現象に対して理論的解析は一般に困難であるといつて良い。唯平板にそれと平行で一樣な風が作用した場合に生ずる微小振動についての自由度2の flutter (Theodorsen) や、角柱の galloping (Parkinson) が解かれている。実際の構造物は流体力学的にみてその形状が致命的なまでに複雑であることが解析に困難を与えている。Theodorsen の空気が理論にもとずくいわゆる classical flutter の理論を応用する際に、決定的なまでに障壁となっている流線剥離の問題がある。この剥離領域を持つような負減衰領域での振動現象すなわち stall flutter については、現状のところ解析的手法は確立されていない。これは剥離領域の非定常な挙動が構造物の機械振動系に対して相互干渉を起すため、複雑な振動系となつたためである。本研究では potential flow モデルを用いて、classical flutter および stall flutter 時における空気に力についての新しい解析方法を提案しようとするものである。

# 2 平板に作用する空気が

剥離のない流れ： 平板が微小振動を行ない剥離が存在しない場合であり、classical flutter の理論で扱われている。Laplace の方程式を満す速度 potential  $\phi$  と、調和振動を行なう境界条件と後縁で Kutta-Joukowski の条件を満足するように求めたものである。kinematic な条件を満すような流れを求めたものであるから、同様の条件を与えた potential flow モデルを等角写像によって変換したものは classical flutter の振動翼理論と同一の結果を与える。円柱のまわりの流れを複素 potential で表わす、

$$W(\zeta) = V(\zeta e^{i\alpha} + \frac{R^2}{\zeta}) + \frac{i\Gamma}{2\pi} \log \zeta + \frac{i\alpha}{2\pi} \quad (1)$$

円柱と平板に写像するには

$$z = \zeta + \frac{R^2}{\zeta} \quad (2)$$

の変換を行なう。α: 迎え角, Γ: 円柱周りの循環。後縁において Kutta-Joukowski の条件を要求すると、

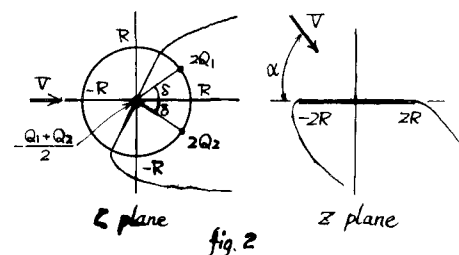
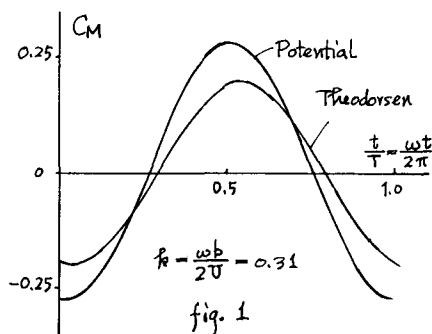
$$\Gamma = 4\pi R V \sin \alpha \quad (3)$$

(3)式を考慮して非定常の項は、

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial W}{\partial \zeta} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (4)$$

平板上の各点の圧力と Bernoulli 式から求めて積分すれば、抗力、揚力、モーメントを得る。

$$\begin{aligned} D &= 0 & L &= 8\pi\rho V R^2 \cos \alpha \cdot \dot{\alpha} + 4\pi\rho V^2 R \sin \alpha \\ M &= 4\pi\rho V R^3 \cos \alpha \cdot \ddot{\alpha} - 2\pi\rho V^2 R^2 \sin \alpha \end{aligned} \quad (5)$$



1自由度の pitching 振動を行なう平板について Theodorsen の空気力と比較したものが fig. 1 である。

剥離のある流れ : stall flutter の剥離領域を導入するため、平板後流側に source を置き、平板を横切る流れのないように  $\zeta$  plane 円柱中心に sink をおく。(fig. 2)

$$W(\zeta) = V(\zeta + \frac{R^2}{\zeta}) + \frac{i\Gamma}{2\pi} \log \zeta + \left\{ \frac{Q_1}{\pi} \log(\zeta - Re^{i\alpha}) + \frac{Q_2}{\pi} \log(\zeta - Re^{-i\alpha}) - \frac{Q_1 + Q_2}{2\pi} \log \zeta \right\} \quad (6)$$

$$z = \zeta e^{-i\alpha} + \frac{R^2 e^{i\alpha}}{\zeta} \quad (7)$$

平板の前縁、後縁で Kutta-Joukowski の条件を求め、さらに  $a = Q_2/Q_1$  と、source の場所を定めれば複素 potential  $W$  が求まる。このモデルでは死水理論と異なり剥離領域においても流れが存在し、剥離流線は自由流線ではない。従って剥離流線と平板によって囲まれたいわゆる

後流中での圧力は平板に作用しないと見て上流側圧力を考える。(fig. 3) 板端の圧力を base pressure とすれば実験的にこれを求めて複素 potential が決まることになる。pitching と translation の平板振動を (8) 式で表わし非定常の項を含めて Bernoulli 式から圧力を求める。

$$\ddot{z} = \dot{h}(t) e^{i\alpha} + (z - z_0) e^{i\alpha(t)} + z_0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial W}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial \alpha} + \frac{\partial W}{\partial Q_1} \frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial W}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial \alpha} \right\} \frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial W}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \frac{\partial z}{\partial t} \quad (9)$$

$$\therefore \alpha = \alpha_0 + \alpha(t) \quad i = 1, 2$$

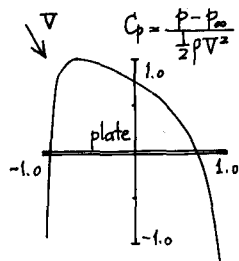


fig. 3.  $\alpha = 60^\circ$   $a = Q_2/Q_1 = 5.0$

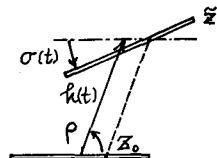


fig. 4

### 3 実験と考察

一辺 25 cm 正方形断面をもつ風洞内に平板をとりつけ、その pitching 振動について観察した。ある迎角  $\theta_i$  を持つ平板は、風速と共に空気力との釣り合いを維持しつつ  $\bar{\theta}$  をもつ。 $\bar{\theta}$  から任意の角度を強制的に与えたのを解放し、平板の振動性状を観察した。その結果、平板が失速角より大きいか小さいかによって剥離領域を持った状態であるかそうでないかによって発振の様子に大きな違いがあることが判明した。(fig. 5, 6)  $\bar{\theta}$  が失速角以下の小さい場合、いわゆる発振風速が存在している。しかし小振幅の持続的振動が存在するのは実にせまい風速領域であって、すぐに発散した振動に励起してしまう。

一方  $\bar{\theta}$  が大きい場合には発振風速が認めがたく、負減衰領域の判定に難がある。この発振性状からは、実験装置の構造減衰の大きいことも作用しているが、剥離領域を持つことによる空気力負減衰の特性が示されていると考えることができる。(この点 classical flutter と stall flutter の違いであり、visualization によって後流の剥離領域の観察を行、てみる必要がある。)

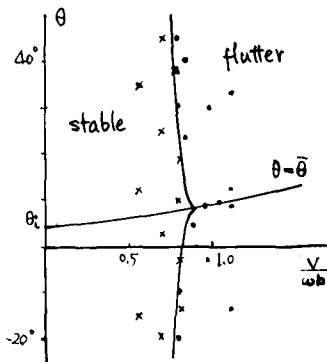


fig. 5  $\theta_i = 4^\circ$  x damp o excite

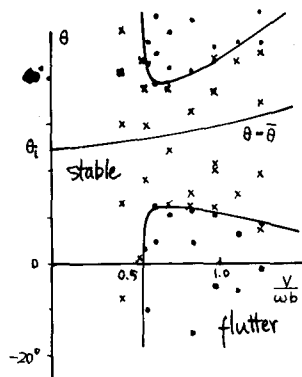


fig. 6  $\theta_i = 24.5^\circ$