

1. まえがき

長大吊橋の耐風性状を検討する際に、作用する空気力といかに決定するかは今なお研究段階の問題である。純理論的に空気力学の解析を進めることが困難なため、実験的な研究にその大部分を費しており、耐風設計を行うにも多大の費用を要している現状である。従って、実験的な研究から経験式と導く試みと同時に、理論的な考察からのアプローチも重要であると思われる。

ここでは補剛桁の振動状態から、そこに作用する空気力を薄翼理論による結果と、不連続流場の理論によって導かれる結果を重ね合わせ、静的な空気力を求め、これを迎角と鉛直振動の速さの関数で表わし、これらを外力として基本的な振動系の挙動を観察しようとしている。補剛桁の断面形としては平板、箱型(Severn-Type)を考えているが、ここでは平板についての結果を報告する。

2. 静的空気力の計算

迎角の小さい平板に作用する静的な空気力は、剥離の起らない状態ではその揚力が $2\pi \sin \alpha$ で与えられている。吊橋補剛桁を対象として考察するとき、自然風の迎角は $\pm 10^\circ$ とすれば十分であろうと考えられるが、これに桁自身の振動速度を重ね合わせれば相対迎角は、これよりさらに大きくなるはずである。三合力試験の結果を見ると迎角 10° 前後で一般に剥離現象が生じており、空気力係数曲線は、連続流理論から導かれた曲線とは異った勾配を持っていることが観察される。この剥離現象が生じた後の空気力を不連続流理論によって求め、両者を重ね合わせると現実の空気力係数曲線に近いものが得られると考えられる。

図-1に示す z -平面 に流れの状態を示している。座標原点は、Stagnation Point にとることにする。後流領域では、Cavitation number の問題となるが、ここでは正確な値を知り得ないので未知パラメータとし、2, 3の値を仮定して解析を進めることにする。

複素速度ポテンシャル W は

$$W = \varphi + i\psi \quad (1)$$

で定義され、 z -平面における速度 v は

$$v = \frac{dW}{dz} = u - iv = g e^{-i\theta} \quad (2)$$

と与えられる。(1), (2)より

$$z = \int \frac{1}{v} dW \quad (3)$$

W -平面に示されたポテンシャルを z -平面に写像するには次の変換を用いる。

$$w = -b \left[\cos \beta + \frac{1}{2}(\zeta + \zeta^{-1}) \right] \quad (4)$$

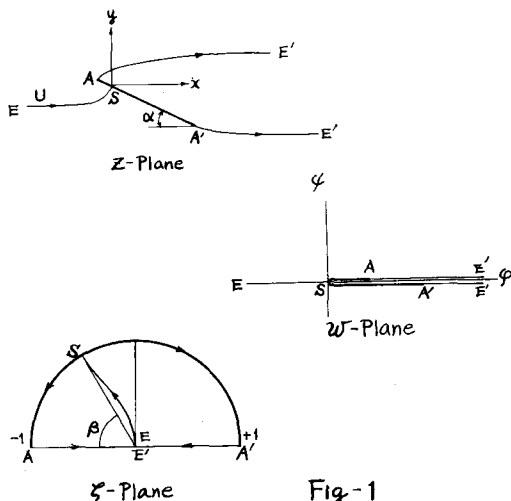


Fig-1

ここで b, β は変換の際に定義される値であり、迎角 α , Cavitation number σ 等の関数である。境界条件に対しては ω -平面上を定義する。自由流線上の速度に対して

$$\omega = i \log \psi = \theta + i\gamma \quad \gamma = \log g. \quad (5)$$

z -平面上 S 点で ω はジャンプするが、これは新たに Ω -平面上 $\Omega = -[\omega^2 + \log(1+\sigma)]$ によって定義し、然る後に z -平面上に写像すれば解決する。これらの関係から $z \rightarrow \Omega$ の変換は

$$dz = \frac{b^2}{2} e^{-i(\Omega^2 - \log(1+\sigma))} (5 + \frac{1}{5} + 2 \cos \beta) (5 - \frac{1}{5}) \frac{d\Omega}{5} \quad (6)$$

で与えられ最終的に流体力が定められる。すなわち揚力と抗力については

$$X + iY = -\frac{i\rho b^2}{4} \oint \Omega e^{-(\Omega^2 - \log(1+\sigma))} (5 + 5^{-1} + 2 \cos \beta) (5 - 5^{-1}) 5^{-1} d\Omega \quad (7)$$

Stagnation Point まわりのモーメント(反時計方向)は

$$M = \frac{\rho}{2} R \left[\int [e^{-i\omega} - e^{-i\bar{\omega}}] z \frac{d\omega}{d\Omega} d\Omega \right] \quad (8)$$

Stagnation Point の位置は近似計算によれば leading edge から $\sigma = 0.35\beta^2$ である。これらの結果から空気力係数 C_L, C_D, C_M (回転中心まわり) を求めると次のようになる。

$$C_L = \frac{2\pi}{A} \{1 + \sigma + \frac{1}{4} \log(1+\sigma)\} [\beta + B + \log(1+\sigma)] \{8\beta(\beta + B^2) + B^2(B - \beta)\} / (\beta + \frac{1}{2}B)^4$$

$$C_D = \frac{2\pi}{A} \{1 + \sigma + \frac{1}{4} \log(1+\sigma)\} [\beta + \frac{1}{2}B]^2$$

$$C_M = \frac{4\pi}{A} (1+\sigma)(\beta + B) \left[\frac{8}{3}\beta + \beta^2 + B(\frac{7}{3}\beta - 0.23) + \frac{1}{2}(\beta + B)(\frac{7}{3}\beta) + \frac{B}{4}(1+B)(1+0.9/B) \right. \\ \left. - (\frac{1}{2} - S)[C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha] \right]$$

$$\text{ここで: } A = 4 + \pi\beta + B(\pi + 2.72\beta) \quad B = (\frac{\pi}{6})[(\alpha^2 + \log(1+\sigma))^{\frac{1}{2}} \alpha]$$

$\sigma = 0.4, 0.8$ に対する計算結果を図-2に示す。迎角 α の小さい範囲については連続流理論から求められた結果を示している。

3. アナログシミュレーション

2自由度振動系に対して上述の空気力を用いてその挙動を調べる。振動方程式は

$$\ddot{x} + \frac{C_m}{m} \dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{1}{2} \rho b L C_L(\theta, \dot{x})$$

$$\ddot{\theta} + \frac{C_m}{I} \dot{\theta} + \omega_0^2 \theta = \frac{1}{2} \rho b L C_M(\theta, \dot{x})$$

これを MELCOM-EA 7420 (三菱電機製) によってシミュレートした。

右側の空気力項は2台の関数発生器に C_L, C_M を記憶させる方法をとった。アナログ回路は図-3に示している。詳細なデータについては発表当日に補足したいと思うが、

$m = 0.3 \text{ kg}, \text{sec}^2/\text{m}, I = 1 \text{ kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$

$\omega_0 = 1 \sim 2$ 程度の模型を対象とすると限界風速は

$5 \sim 8 \text{ m/sec}$ となり実験結果に近い値が得られる。

4. おわりに

本研究はまだ十分の成果を見ておらず従来の研究成果の域を出ていないが、このような方法を進めれば

セバン型のモデルに対する解析も可能であり、抗力を考慮して振動の安定性を検討することが理論的に可能になるわけであるが、これらについても詳しければ講演当日に補足したいと考えている。

参考文献 1. Wu, T. Y. "A wake model for free streamline flow theory Pt. 1" J. Fluid Mech. 1962

2. " " " Pt. 2 " " " 1963

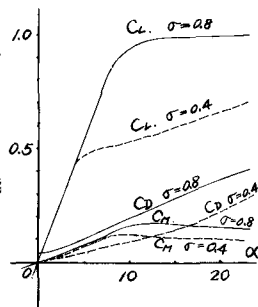


Fig-2

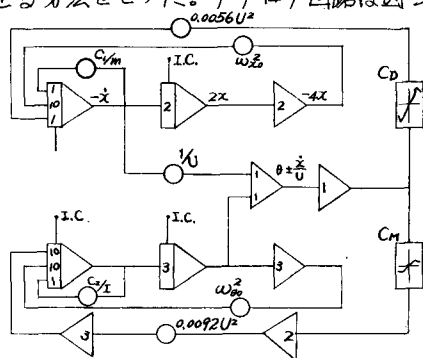


Fig-3