

I-105 定常風中における正方形断面に作用する動的空気力に関する

基礎的考察

京都大学工学部 正員 工博 小西一郎
 京都大学工学部 正員 工博 白石成人
 京都大学大学院 学生員 工修 ○松本 勝

I. まえかき

従来より、正方形断面に作用する動的空気力についての研究は数多く発表されており、その動的現象としては、大別して Aeolian 現象と Galloping 現象に分けることができる。今回我々が正方形断面について行なった実験の結果、Aeolian 現象が生じる風速以下の範囲では振動系の減衰は風速増加と共に大きくなり、系も安定化する空気力が作用していると考えられる。そこで我々は、Karman の薄い平板についての解析⁽¹⁾を正方形断面に適用し、正方形断面に作用する動的空気力を求め、実験値との比較を行なった。またその応用例として、安治川円弧型防潮水門カイドー・4 構造物の模型を対象として若干の考察を加えた。

II. 正方形断面に作用する動的揚力

Karman の平板についての理論を適用するに当り、正方形を数多くの薄板に分割し、また正方形背後の渦を適当に単純化する。(図1)

このとき、正方形回りの渦度としては分割された板上の bound vortex, 物体背後の wake 中の wake vortex および Karman vortex を考える。さらに bound vortex は、正方形の運動により生ずる渦度、wake により誘発される渦度およびカルマン渦により誘発される渦度の3種類より形成されているものとする。次に、これらの渦度による循環を求め、正方形回りの総循環 Γ を求めると最終的に次のように表わせる。

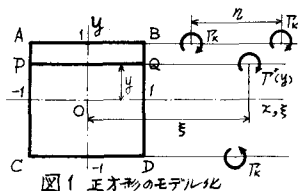


図1 正方形のモデル化

$$\Gamma = \Gamma_0 + \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \gamma(\xi, y) \left\{ \frac{\xi+1}{\xi-1} - 1 \right\} d\xi dy + \Gamma_k \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \sqrt{\frac{n\eta+2}{n\eta}} - 1 \right\} - \Gamma_k \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{(n-\frac{1}{2})\eta+2}{(n-\frac{1}{2})\eta} - 1 \right\} \quad (1)$$

但し上式において、 Γ_0 , $\gamma(\xi, y)$, Γ_k および η はそれぞれ、正方形の運動により誘発される渦度による循環、wake 中の wake vortex, 物体背後の周期渦(カルマン渦)の循環および周期渦間の風向角の距離を表わすものとする。次に周期渦の循環 Γ_k を次のように表わす。

$$\Gamma_k = 2\pi\lambda U^2 e^{i\omega_k t} / \omega_k \quad (2)$$

更に、正方形回りのそれぞれの渦度の持つ運動量の時間変化を求め、その後、(2b×2b)なる正方形断面に作用する動的揚力を求めると、最終的に次のように表わせる。

$$L = 2\pi\rho b^2 \ddot{x} - 2\pi\rho b^2 \omega \nabla C(\nabla) \dot{x} + 2\pi\rho\lambda b^3 \omega^3 \nabla^2 \left[f(\eta/\omega_k) - \{1 - C(\nabla)\} g(\eta/\omega) \right] e^{i\omega_k t} / \pi S^* \quad (3)$$

上式において各記号は次の事を表わす。 x ; 風方向と直角方向(揚力方向)の正方形の変位, ρ ; 空気密度, ω ; 振動系の円振動数, ∇ ; 換算風速(= $U/b\omega$), U ; 風速, b ; 正方形一辺の半長, $C(\nabla)$; Theodorsen 関数, ω_k ; 周期渦の円振動数, S^* ; ユニバーサルストロハル数, λ ; Γ_k の強さを示すパラメータ,

$$f(\eta) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{n\eta(n\eta+2)}} - \frac{1}{\sqrt{(n-\frac{1}{2})(n-\frac{1}{2})\eta+2}} \right], \quad g(\eta) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\sqrt{1 + \frac{2}{n\eta}} - \sqrt{1 + \frac{2}{(n-\frac{1}{2})\eta}} \right]$$

Ⅲ. 正方形断面の応答解析

一般には、振動物体背後に生ずる周期渦の振動数は風速と共に増大し、ついには振動物体の振動数に一致する。(lock-in) その後は風速の増加にかかわらず lock-in の状態が継続することが知られている。従って式(3)で表わされる空気力の右辺第3項は lock-in 前後でその振動系におよぼす効果は異なり、それぞれに応じて異なる応答が生ずるものと考えられる。以上のことを考慮して、式(3)で表わされる空気力を外力として、振動系の減衰の変化を計算した。図2および図3に、その結果と、実験値を示す。なおこの計算において、新しいパラメータ $K(V)$ を用いたが、この値として、C. Scruton のギャロップング⁽²⁾ 図より逆算した値を用いた。(但し $\pi \times 0. K(V) = b \lambda$)

図2、図3に示されるように、lock-in 前では、計算値と実験値は比較的良好に一致している。また計算より求められるギャロップング風速も計算で得られた結果と実験値とほぼ一致していると思われる。

Ⅳ. ガイドアーチ構造物への適用

写真1に示すような模型に式(3)で表わされる空気力を適用した。この模型は全体としてかなり複雑であるために、 λ をパラメータとしてその応答を求め、実験値とよく一致する値を調べた。その結果 $\lambda = 0.01$ のとき比較的良好な実験値と合いく(図4)。この値を用いて回転振動系の減衰を計算した。その結果と実験値も図5に示す。なお、計算に用いた式は紙面の都合で省略したが発表当日に説明致します。

Ⅴ. 今後の課題

今後は、周期渦についての研究を進めると共に、長方形や円柱断面についても同様の解析を行なうことも興味ある課題と思われる。

参考文献

- (1) von Karman and Sears, W. R., "Airfoil Theory for Non-Uniform Motion," J. A. S. 5, No. 10, August, 1938.
- (2) Scruton, C., "On the Wind-excited Oscillation of Stacks, Towers and Masts," National Phy. Lab., June, 1963.

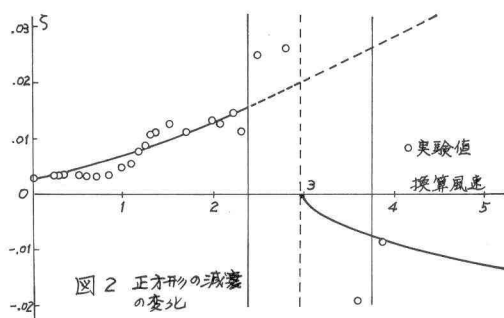


図2 正方形の減衰の変化

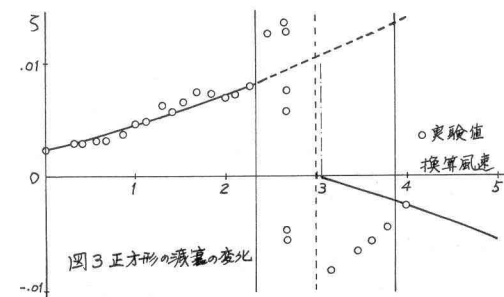


図3 正方形の減衰の変化

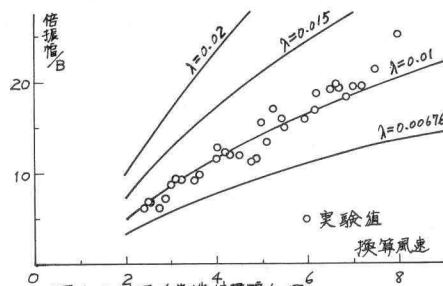
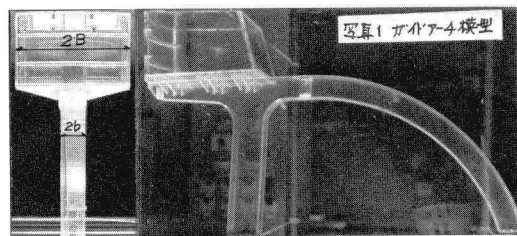


図4 ガイドアーチ先端減振値/B 図

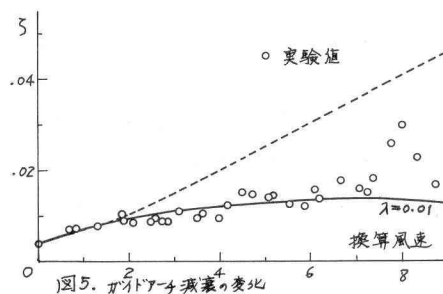


図5 ガイドアーチ減衰の変化