

I-445

斜張橋ケーブルの渦励振時の
空力減衰の定式化について

九州旅客鉄道(株) 正 員 金尾 稔
 （研究当時、九州工業大学大学院生）
 九州工業大学 正 員 久保喜延
 九州工業大学 学生員 中原智法

1. はじめに 斜張橋ケーブルの風による振動に対し、その対策として隣接するケーブルどうしをワイヤー等で連結したり、オイルダンパーを付設したりする方法が取られている。これらの設計に際して、制振に必要とされる減衰力をどの程度にすれば良いかという問題に対して、経験的な値に頼っているのが現状である。しかし、円柱に作用する動的空気力を変位の関数として得ることができれば、構造物の振動モード形状から振動系全体に作用する空気力をあらかじめ推定することができ、これによりどの程度の減衰力を付加すれば振動を抑制できるかの検討ができる。そこで本研究では、単独円柱の渦励振に着目し、自由振動実験から空力弾性振動時の空気力を各振幅での空力減衰の形で求め、これをもとにケーブル振動時の各振動モードでの換算空気力を求めて空力弾性振動を抑制するのに必要な減衰力の推定を試みた。

2. 空気力係数の測定 使用した風洞は、九州工業大学建設工学教室付属の測定断面1070x1070mmの空力弾性試験用風洞を用いた。この風洞内に、 $\phi 50\text{mm}$ のアルミパイプ製模型を鉛直曲げ1自由度振動系にバネで支持して、自由減衰実験を行なった。ケーブルの耐風設計で問題となるのは、最大振幅がどの程度になるかであることを考慮して、渦励振域で最大振幅となる共振風速において空力減衰と振幅の関係を求めた。なお、空力減衰率を δa とすると、各振幅における空力減衰率から求められる動的空気力の速度比例項に対応する空気力係数 C_{fi} への変換は式(1)で行なわれる。

$$C_{fi} = \frac{2 \delta a M \omega^2 Y}{\pi \rho V^2 D} \quad \text{----- (1)}$$

但し、 M ：質量， ω ：円振動数， Y ：振動片振幅
 ρ ：空気密度， V ：風速， D ：円柱直径， $：$ ：円柱長さ
 こうして求められた無次元振幅（ $A = Y/D$ ）に対する空気力係数は図1の Δ で示されるものである。これを最小自乗法で三次曲線による回帰を行なって得られた関数は以下のとおりである。なお測定は、この系において共振風速となった $V_r = 6.18$ で行った。

$$C_{fi} = 3.10A^3 - 4.64A^2 + 2.25A \quad \text{----- (2)}$$

ただし $A = Y/D$

ところが、渦励振域における最大振幅は、質量減衰パラメータであるスクルートン数 $(2m\delta)/(\rho D^2)$ の影響が大きく、またこのことにより最大振幅を与える共振風速も変動する。これらのことは、岡島により種々のスクルートン数についての応答特性が図2のように求められている¹⁾。この図から、スクルートン数の変動による最大振幅 $\eta_{\max}$ とそのときの空気力係数 $C_{f-\max}$ との関係を求めると、

$$C_{f-\max} = \frac{9.88}{(2.25\eta_{\max} + 5.37)^2} \quad \text{----- (3)}$$

であり、図1の $\blacktriangle$ で示している。また、発振して最大振幅に至る

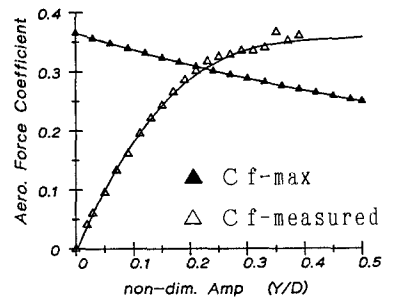


図1 渦励振域の空気力係数

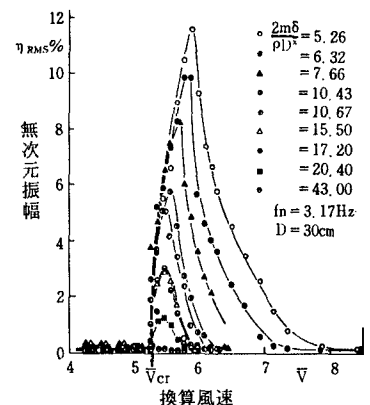


図2 円柱の渦励振応答

までの各振幅における空気力係数は、式(2)の形を用いて補間できるものとした。以上のことを考慮して、あらゆる共振風速に対応した空気力係数の振幅に対する関数を作ると次式ようになる。

$$CfI = \frac{Cf_{\max}}{0.306} \{3.10A^3 - 4.64A^2 + 2.25A\} \quad \text{---- (4)}$$

$$\text{ただし } A = \frac{0.22 \cdot Y}{\eta_{\max} \cdot D}$$

3. ケーブル構造系モデルによる減衰力の評価 図3に示すような、架設系の斜張橋に擬した簡単なモデルで種々の振動モードに対する空気力の大きさを検討する。モード解析により図4に示すようにケーブルが対称モードで振動する場合、逆対称モードで振動する場合等の振動モード形状が得られ、以下ケーブルが主に振動するモード系のみに着目して1次モード、2次モード、…と呼ぶことにする。これらの形状により各振動モードでの励振空気力の大きさを算出し、空気力による励振を抑制するのに必要な付加減衰力の推定を行なってみた。解析にあたっては、桁部およびケーブル部の両者を共に10要素とし、空気力はケーブル部のみに作用させた。空気力の導入に際しては、ケーブルは固有振動モードで振動するとして、まず各節点で図1に示している空気力をその振動モードでの応答変位に対応する空気力として算出し、空気力は節点間で線形に変化としている。こうして計算されたケーブル全長にわたって作用する空気力をモーダルマトリクスで対角化して、各振動モードにおける空気力の励振力 F_a とする。この結果を図5に示す。振動モードの次数が上がるにつれて励振力が大きくなっているのは、振動数の上昇にともない共振風速も上昇しているためと考えられる。しかし、この励振力も各振動モードに対応する空力減衰の形で表示すると、図6のように1本の曲線で表され、複素固有値解析によりダンパーを挿入した場合の換算構造減衰率をあらかじめ算出しておけば、この系の振幅がダンパーによりどの程度低減できるかを図6より推定できることになる。

4. まとめ これまでの研究では、このように動的空気力から所要とされる減衰力についての定式化はされてなかったが、本研究により渦励振のようにその動的挙動がある程度定性的に明らかにされている場合、その空気力係数の定式化が式(4)の形でできることになった。現在問題となっているウェークギャロッピングやレインバイブレーションについても、このような観点からその動的挙動を明らかにして、空気力係数の定式化ができれば、それぞれの設計ごとに最適な減衰力を定めることができ、制振法に関しより経済的な設計が可能になると考えられる。

〔参考文献〕 1)岡島 厚；振動する円柱まわりの流れ，構造物の耐風性に関する第4回シンポジウム論文集，pp.147-154，1976。

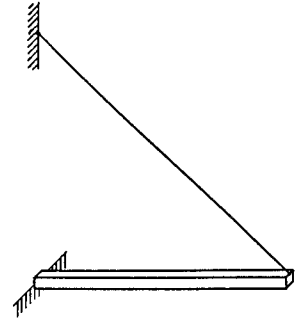


図3 解析モデル

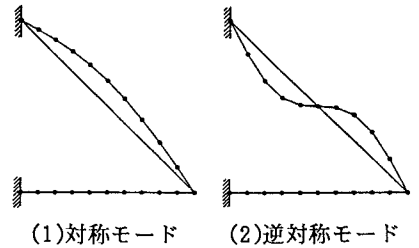


図4 振動モード

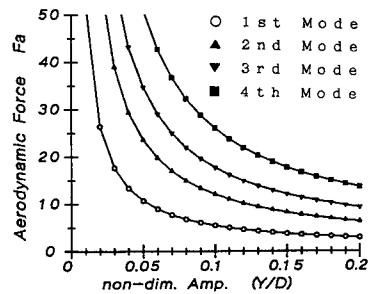


図5 モデルに作用する空気力

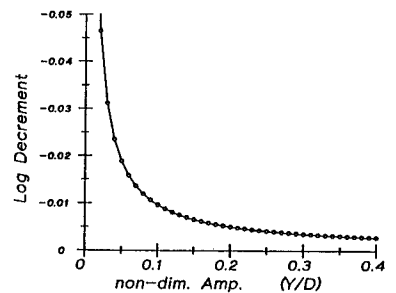


図6 振動系の最大振幅と空力減衰