

並列円柱の制振法に関する一試案

九州工業大学 正員 ○ 久保喜延

学生員 三代利光

まえがき

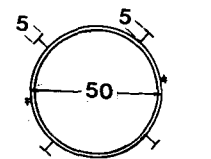
斜張橋の大規模化にともない、斜張橋のケーブルにおける風による振動が問題となって来ている。ケーブルの振動は、ケーブルの定着部における疲労をもたらし、ケーブルの寿命を縮めると同時に、ケーブルの架け替えを必要とすることになるが、長大斜張橋になればなる程、ケーブルの架け替えは困難となる。その結果、ケーブルの架け替えが不可能となれば、斜張橋そのものの寿命を縮めることになる。このような観点に立てば、斜張橋のケーブルにおける耐風制振策について検討を行なうことは重要なことである。また、斜張橋のケーブルは吊橋のケーブルとは架設方法の違いから、ある太さのストランドとして工場生産されるため、運搬上の問題を考えれば、適当な太さと適当な長さという制約を受けることになり、従来1定着点に1本のケーブルが使用されていた形式の場合も長大橋梁になればなる程、1定着点において多数のケーブルを配置せざるをえない傾向にある。ここで取り上げるのは、そのうちの1定着点に2本のケーブルを取り付ける場合を対象としており、その制振法について考えたものである。

制振法に対する考え方

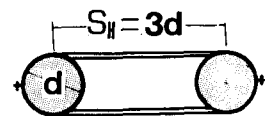
振動方程式は、 $m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = Fa(t)$; 但し m : 質量, y : 変位, c : 減衰定数, k : バネ定数, Fa : 空気力であるから、応答は m, c, k, Fa に依存することになる。一方、風による応答のうち主たる要因は、 Fa と y との間の位相差であり、また Fa の中に物体からの剥離渦の振動数成分が存在しているかどうかなどの問題がある。制振法としては、①構造減衰率を増す ②構造剛性の増加 ③質量の増加 ④断面形状の変化による空気力の減少などが考えられるが、ここでは、④の断面形状の変化による流体力の減少という分類に入る方法を用いる。円柱という断面については過去に多くの実験がなされており、その特性としては、接近流が物体表面上で剥れ、物体背後に後流域が存在するというものである。ここで考えたのは、円柱表面の境界層の制御および後流の制御の二つである。すなわち、境界層制御は、円柱表面での剥離点に影響を与えようとするものであり、後流制御は、後流の発生、および広がり抑制しようとするものである。単独円柱の場合の耐風制振策としては、スパイラルワイヤー方式とか、円柱を網状ケースで囲む方式とかがあり、その他にも種々の方法が考案されて来た。ここでは図に示すような比較的小さいサイドプレートを用いて円柱表面の境界層制御を行なおうとするものであるが美観および施工性が良くケーブル設置後の着脱が可能なことが重要な要素である。そこで考案されたのが、Fig.1 の(a),(b)である。(a)の方は境界層制御を目的とし、(b)の方は後流制御を目的としている。さて、これら二種類の制振法の検討に入る前に、並列円柱の応答特性、および表面圧力特性について述べておく。

単独および並列円柱の応答特性と表面圧力特性

Fig.2(a)は 単独円柱のFig.2(b)は 並列円柱の円柱間水平距離 $S_H = 3d$ の応答を示している。これによると、単独円柱の場合は、 $Vr = 5$ で渦励振が始まり $Vr = 6.6$ あたりにピーク値を持ち、 $Vr = 10$ あたりに応答は小さくなり、これより大きい風速域では、渦励振もフラッターも生じない。それに比べ、後流側の円柱を弾性支持し、上流側円柱を固定した場合の並列円柱では、単独円柱の場合と同様の領域で渦励振が生じ、 $Vr = 15$ あたりから wake flutter が生じ、その振幅は円柱直径の3倍から3.5倍程度、渦励振の最大振幅の2倍以上にもなる。すなわち、



(a) サイドプレート



(b) 後流制御用カバー

Fig.1 制振対策用モデル

並列円柱の空力弾性振動は渦励振とwake flutterの二種類の振動となる。一方、今迄に測定されてきた表面上の静的圧力の測定結果からすると、並列円柱の水平間距離が $SH=4d$ 以下の場合、上流側円柱の後流面上と下流側円柱の上流面上との圧力はほぼ一致し、円柱間に流れが生じないことを示唆している。しかしながら、後流側円柱の非定常表面圧力は円柱の上下端付近で正の仕事をする挙動を示しており、この部分の圧力変動を制御する事が制振法の鍵であると思われる。

サイドプレートによる制振法

Fig.1(a)のような小さい板を円柱外に取り付けることにより、円柱表面からの剝離バブルの形成を制御するのがこの制振法の目的であるが、今回はこのサイドプレートをどのように配置すれば、制振法としての効果が生ずるかを見るために、単独円柱に1個のサイドプレートを付けることにより、その効果を見ることにした。なお、この場合のサイドプレートの幅 b は円柱の長径の $1/10$ とし、円柱からの距離を b および $3b$ とした場合について、円柱を回転して接近流との角度を変化させることによって、その応答を観察した。その結果がFig.4である。これによると サイドプレートの端の高さと円柱表面での剝離点の位置が一致するように配置した場合、Fig.3 では $\theta=55^\circ$ で最も制振効果が高くなっている。これは、円柱の一つの剝離点のうち、一方を制御したものであるが、両方の剝離点を制御すれば、より高い制振効果を期待できるものと考えている。一方、並列円柱の場合、上流側円柱にこのサイドプレートを取り付けたが、後流側円柱の振動を抑制する程上流側wakeを制御することはできていなかった。

wake制御のためのカバーを取り付ける方法

そこで wakeの制御を行なうために、スプリッタープレートにヒントを得て、Fig.1(b)のようなカバーを円柱間に設けることにした。この実験の場合、カバーは上流側固定円柱に取り付け、下流側円柱とは接触させず振動可能にしている。円柱間の水平距離を変化させることによって、Fig.2 の並列円柱の応答と比較している。Fig.4 がその結果である。これによれば、渦励振は、 $Vr=5$ あたりで発生しはじめるが、渦励振終端風速は水平間隔 SH によって変化する。特に、 $SH=3.5d$ では単独円柱の場合と同一の風速範囲で渦励振が発生するものの、 $SH=3d, 4d$ では渦励振域は $1/5$ 程度に減少している。またいずれの場合もwake flutterの発生は見られず、フラッターに対しては非常に有効であることが判明した。また、渦励振に対しては、更に検討を加え、渦励振およびフラッターの双方に効果の出る制振法の開発を進める。

まとめ

以上のことにより次のようなことが言える。

- ① サイドプレートによる剝離点の制御は渦励振の抑制にかなりの効果を有する。
- ② wake 制御のためのカバー取付け方は、wake flutterを完全に抑制することができるものの、渦励振の抑制は、サイドプレートによるもの程の効果は期待できない。

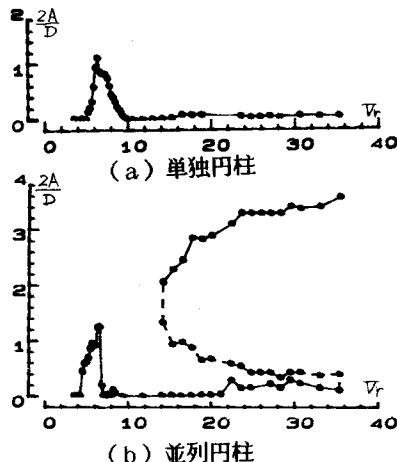


Fig.2 単独円柱と並列円柱($SH=3d$)の応答

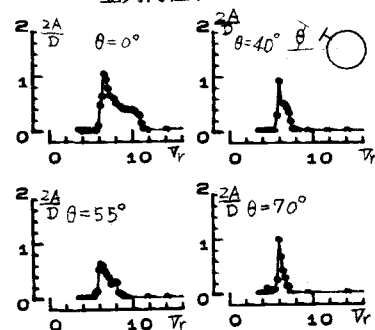


Fig.3 サイドプレートの制振対策を施した単独円柱の応答

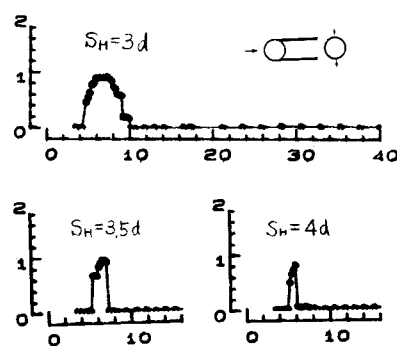


Fig.4 後流制御用カバーを取り付けた並列円柱の応答