

關石川島播磨重工研究所 正員 島田 忠 幸
同 樋 上 瑋 一

1. 緒 言

最近、釜山（大韓民国）の西方200 kmの閑麗国立公園の中に架設された「南海大橋」は、スパン125 m + 400 m + 125 mの3径間吊橋は、第1図に示されるような流線形の箱けた吊橋で、その設計には従来のアメリカ式のトラス形吊橋と比較して異なった考え方がなされている。もっとも顕著な点は、風による抗力係数がトラス形断面と比べて非常に小さくなり、それに応じて塔、ケーブルおよびアンカブロックなどの設計が小規模になっていることであろう。他方、箱けたの断面形状は、風によるけたの振動にいちじるしい影響をもつといわれている。とくに、本橋は、同じ箱けた吊橋であるSevern橋（英国）とちがって断面形状が流線形であることから、その風洞実験結果は設計的にもまた研究的にも大きな関心が寄せられてきた。

本論文はとくに空力弾性の面からみた箱けた吊橋の振動特性を風洞実験および現地観測結果を中心にして検討した結果である。今後、この種の箱けた吊橋の設計に、本稿がいささかの参考となれば幸いである。

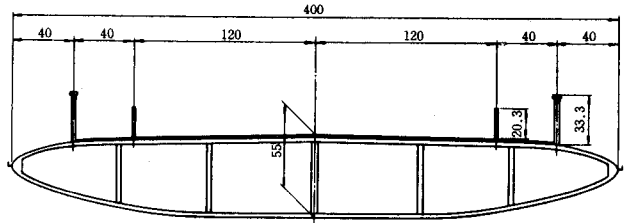
2. 実 験

本橋の風による振動状況を求めるため、風洞内に2次元模型（第1図）をバネ支持し、風洞試験基準⁽¹⁾に基づいて、実験を行なった。

2.1 実験諸元および方法

実験の諸元はつぎのとおりである。

- 縮 尺 比 : 1/30
- 模型曲げ振動数 : 1.36 %s (実橋: 0.25 %s)
- " ねじれ振動数: 5.32 " (実橋: 0.99 %s)
- 風速換算比 : 5.60

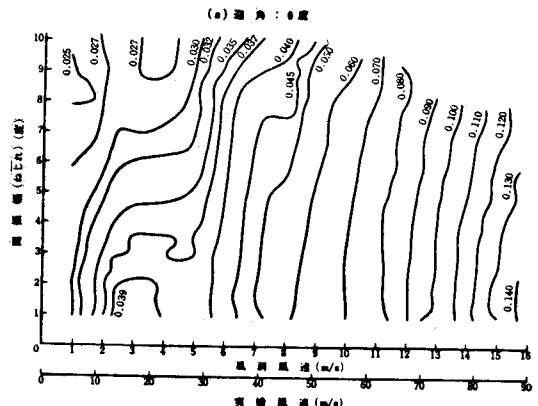


第1図 模型断面図

実験は、模型をねじれ方向に±5度、または曲げ方向に±20mmの初期加振を与え、気流中での対数減衰率を求めて、コンタを作成した。なお、無風時の構造減衰は0.01前後であるが⁽¹⁾0.03と仮定してデータを整理した。ここで、 δ の負の符号は振動が発散し、正のそれは減衰することを示している。

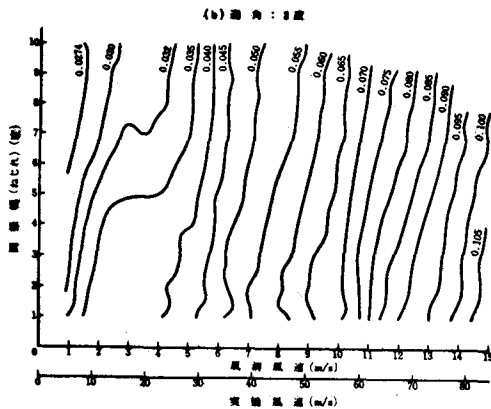
2.2 実験結果

ねじれ方向に初期加振を与えたときの振動状況（ $V - a - \delta$ 曲線）を第2図および第3図に示した。模型の迎角は、頭上げを正とし、0度、+3度を代表例として示した。同図からあきらかなように、減衰が負となる「不安定領域」はまったく存在せず、かつ高風速になるほど減衰は大きくなっている。コンタは、一部の低風速を除いて、横軸に垂直になっているのが特徴である。実験は、迎角を+5度から-5度の間で行なったが、特に迎角による大きな変化は見られなかった。

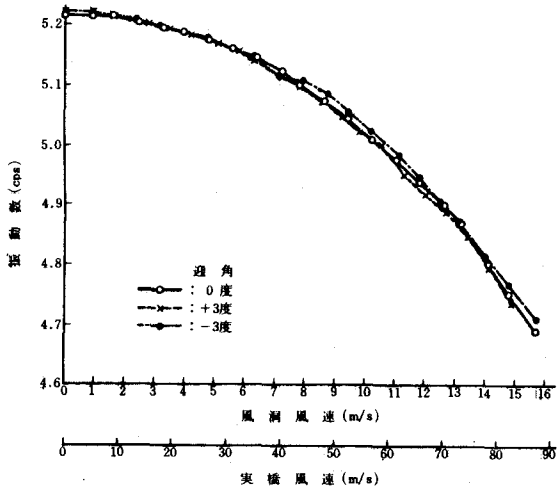


以上は、文献(1)に準じて行なった実験結果である。この面から見た場合、とくに顕著な不安定領域は見当らない。元来、トラス形断面の自励振動では、固有振動に近いねじれ1自由度振動が発生し、振動発生後、定常状態を形成するといわれている⁽²⁾。しかし、本橋のような箱けた断面では、このような振動は生じていない。これは、本橋のような流線型断面では、流れがポテンシャルフローと仮定でき、空気力の減衰に關係する項が正となるためと考えられる⁽³⁾。

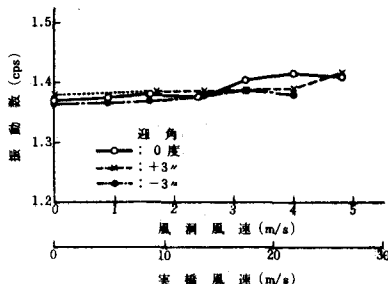
実験結果から風速-振動数の関係を整理したものを第4図および第5図に示した。風速の増加とともにねじれ振動数は固有振動数から減少し、逆に曲げ振動数は増加している。このことから、本橋のような断面ではトラス断面のような1自由度のフラッタは起らず曲げとねじれ振動が連成された2自由度のフラッタを生じることが考えられる。



第3図 ねじれ加振のときの $V-a-\delta$ 曲線 (迎角 3°)



第5図 ねじれ加振を与えたときの振動数と風速の変化



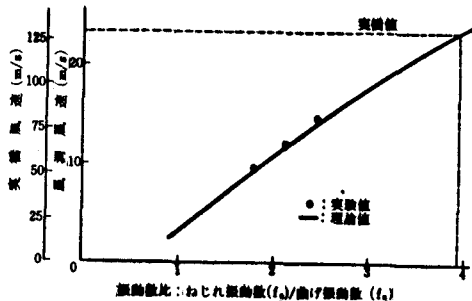
第4図 曲げ加振を与えたときの振動数と風速の変化

3. 曲げねじれフラッターに対する検討

曲げねじれフラッターは曲げおよびねじれが連成する2自由度振動で、振動を発生したのち急激に発達し、橋の破壊にも至るので、

安全率には十分な余裕をもたせておく必要がある。

本橋の模型諸元から曲げとねじれの振動数比とフラッター速度の関係を求めて第6図に示した。実線は Theodorsen⁽⁴⁾の理論から求めた計算値を、また、 \bullet 印は風洞実験において模型迎角:0度で行なった実験結果を示す。振動数比は実験できる適当な値を選定した。ここで、本橋の曲げとねじれの振動数比は3.93であり、第6図から実橋の限界風速は 129 m/s となる。実験値と計算値がよく一致していることから、設計風速 45 m/s に対しては十分安全であると考えてよい。



第6図 フラッター風速-振動数比の関係

迎角がついてくると、フラッタ風速は、迎角のないときと比べて低くなるとも言われている。しかし、迎

角+5°から-5°の間で、2.で示した実験結果からは、この種のフラッターは生じていない。

以上、曲げねじれフラッターも本橋においては大きな問題はないといってよい。これは、箱けた断面がトラス断面とちがって大きなねじり剛性を期待できるためであるということができよう。

4. 風琴振動に対する検討

風琴振動は、橋けた後流の渦による周期力と自励振動の要素が相乗されて生じる不安定振動であるといわれている。とくに、低風速におけるこの種の振動は自動車の走行にも障害となり、設計者の頭を痛める問題の一つにもなっている。われわれは、風洞実験において後流渦による模型の振動状態を調べ、さらに実橋観測データと対比して振動発生の有無を検討したので以下に報告する。

第7図は、模型を加振せず静止した状態で気流を流し、そのときの曲げ振動を光学式振動計で計測して、風速と最大振幅の関係を求めた結果である。もし渦による周期力と模型の微振動によって生じる自励振動が相乗されれば、振幅はかなり大きくなるはずである。結果は、大きな振動振幅には至っていない。

第8図は、模型の後流渦を熱線風速計により測定したときの渦振動数と風速の関係を示した。模型の曲げ振動数は1.36 cpsであるので、すくなくとも風洞内で風琴振動を生じることはないと考えてよい。第9図は、架設された橋けたに加速度計を取り付け、風速20m/sまでの自然風下で振動測定を行なった結果である。40gal程度の加速度は振動振幅に換算して両振幅10cm程度で、人体にはまったく振動を感じない。

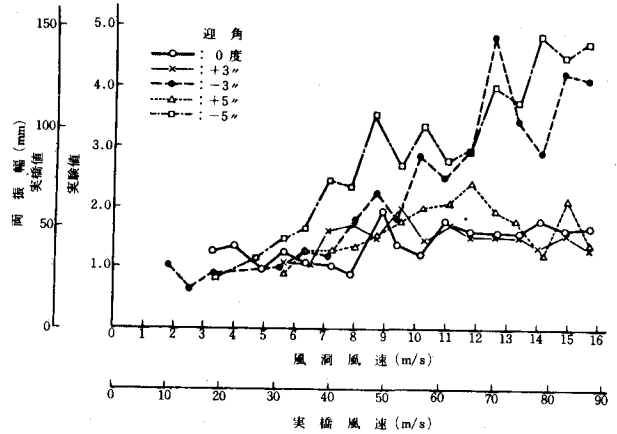
以上の結果から風洞実験においても顕著な振動は出ておらず、また、現地観測においても、とくに振動は生じていない。その理由としては、すくなくとも渦振動数が曲げ振動数よりかなり高いことに起因しているといえよう。

5. 結論

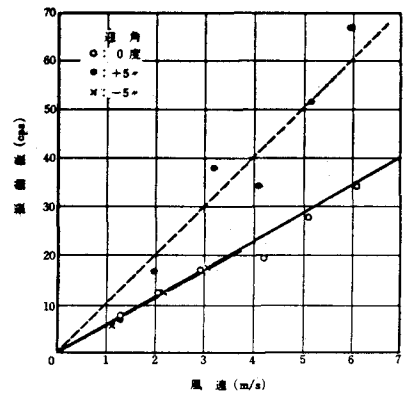
1. 本橋の断面には、曲げとねじりの連成された2自由度振動が一般に問題となるが、箱けた断面のねじり剛性がかなり大きいので、限界風速はかなり高くなり、計算値とよく一致する。
2. 風琴振動は、風洞実験においても、また、実橋においてもほとんど生じていない。これは渦振動数が曲げ振動数よりかなり高いためと考えられよう。

参考文献

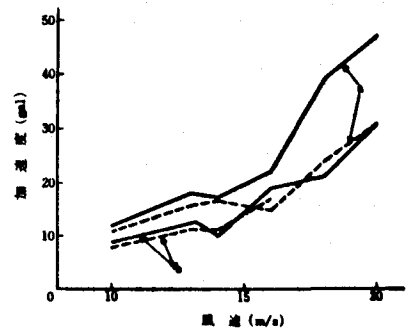
- (1) 土木学会本州四国連絡橋耐風小委員会編：本州四国連絡橋耐風に関する調査研究報告書 1973年3月
- (2) 宮田利雄、岡内功：吊橋の風による自励振動に関する一考察、土木学会論文集第73号 1970年1月
- (3) 田中 宏、伊藤学：充腹構造物の自励振動における空気力の特性、土木学会論文集第168号 1959年8月
- (4) T.Theodorsen General Theory of Aerodynamic Instability and the Mechanism of Flutter NACA 496 (1935)



第7図 静止模型の風速—振幅の関係



第8図 風速—渦振動数の関係



第9図 風速に対する加速度の実橋測定結果