

(株)大林組

正員 野村敏雄

(研究当時, 建設省土木研究所)

建設省土木研究所

正員 横山功一

建設省土木研究所

正員 日下部毅明

北海道開発局開発土木研究所

正員 金子学

1. まえがき

斜張橋は力学的に合理的であり, 経済性や美観にも優れているので, 近年, 建設事例が増加するとともに長大化の傾向にある。また, その優れた美観を生かすために周囲の景観に配慮した断面形状が選択される場合が多くなってきている。このような中で, 渦励振や自励振動に対する様々な耐風安定対策が考案されてきているが, 本報告では曲面を有するような主塔断面を取り上げ, 風洞実験により, 耐風性の評価における問題点や風工学的に興味深い現象について考察を加え, 今後の耐風設計の資料とする事にした。

2. 調査方法

実験は縮尺1/50の3次元弾性模型を用いて行った。実験パラメータは構造減衰, 断面形状, 気流性状, 水平偏角などである。図-1に主塔の断面形状を示し, 表-1に気流の特性を示す。

また, 曲面が対風応答特性に及ぼす影響や主塔振動の発現原因となる空気力は弾性模型実験では直接把握することが難しいので, それを補うために縮尺1/35の2次元模型を用いて三分力試験及びバネ支持実験, 煙風洞実験を実施した。

3. 調査結果

図-2に空気力係数とレイノルズ(Re)数の関係を示し, 図-3, 4に気流及び断面形状を変化させた時のV-A関係を示す。また, 写真-1に断面回りの気流性状を示す。

図-2を見ると, Re数が 10^4 以下では, 低風速のために測定誤差が大きい¹⁾が, 10^4 以上ではほぼ一定値を示し, 風速依存性はほとんど見られないことが分かる。ただし, 最大のRe数にでも, 実橋のRe数より小さいので, その影響が全くないと断定出来ない。しかし, 写真-1から分かるように基本断面は曲面を有するのにも関わらず, 矩形断面と同様に剝離点は固定されており, Re数の影響は小さいと考えられる。

図-3を見ると, 一様流中では渦励振が発現し, 高風速域でも限定的な振動が生じている。乱流Iでは渦励振の発現はなく, ハフエーティング振動が成長していった。乱流IIでは途中までは乱流Iと同様の性状を示したが, 次第にキャロピングに変化していった。

一般に, 乱れは気流の剝離の程度を減少させる効果や剝離した気流の再付着を促進させる効果があるために, 乱れが大きいほどキャロピングの振幅が減少したり発現風速が高くなる。実験結果はこの傾向に反するものであるが, 断面形状によっては乱れの強さや乱れのスケールの影響によって揚力係数勾配が一様流中より大きくなり²⁾, キャロピングが発現し易くなると考えられる。ただし, 文献2では乱れのスケールが比較的小さく, また, 本調査で用いた境界層乱流の乱れのスケールも小さいので実橋における乱れのスケールに対応するものではない。

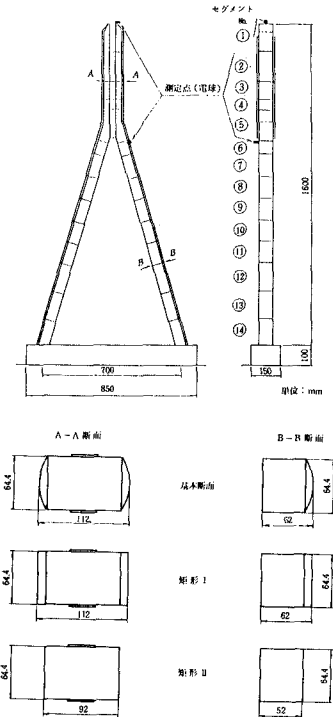


図-1 主塔の断面形状

表-1 気流の特性

乱流の種類	へき指数 α	乱れ強さ(倍)		乱れのスケール(m)	
		L_1	L_2	L_1^*	L_2^*
I	0.22	9.8	8.3	9	3
II	0.11	5.2	4.9	7	3

図-4を見ると各断面とも実橋風速 10m/s付近で振動が発現し始めるが、矩形Ⅱの振幅の発達が一番早く、基本断面では遅くなっている。また、矩形Ⅰ及び矩形Ⅱは渦励振発現の後、'ギャロピング'と考えられるような現象が発現するが、基本断面では発現しなかった。

このように、基本断面では渦励振が発現するものの、矩形断面と比較して、振動性状は比較的良好である。これは、曲面を有していることによるRe数の影響と言うよりも、写真-1から分かるように、矩形Ⅱを基準として考えると円弧部分が'フェアリング'と同様の整流効果を発揮して、断面回りの流れが矩形断面と比較して非常にスムーズになっていることによると考えられる。なお、構造減衰を $\delta = 0.02$ 以上にするると渦励振、'ギャロピング'ともに、いずれの断面でも発現しなくなった。

また、バネ支持実験では各断面とも渦励振発現領域で'ギャロピング'が発現しているが、弾性模型実験では塔頂部の気流の回り込みや脚部の影響など3次元効果により振動が限定的になったと考えられる。

4. あとがき

曲面を有する断面は対風応答が必ずしも不利とはならず、むしろ良好な挙動が期待できることが確認された。しかし、この性状が断面形状の微妙な変化にも安定して期待できるかどうかは現時点では不明である。また、気流特性によっては一様流中よりも乱流中の方が挙動が悪くなる可能性があることも確認された。したがって、今回実施した断面以外でも挙動の安定性を確認することや乱れのカールや乱れ強の異なる乱流に対する挙動を把握する必要があるものの、断面に曲面を有する部材は景観に配慮するためだけではなく、耐風設計上も有効な断面となる可能性がある。

参考文献

- (1) 岡島 厚；種々な断面辺長比の矩形断面回りの流れ、日本風工学会誌第17号、昭和58年 9月
- (2) 松本、白石、他；各種空力振動現象に及ぼす乱れの影響、第10回風工学シンポジウム、1988年12月

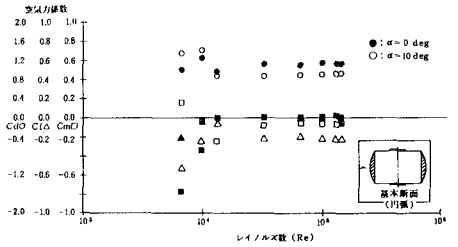


図-2 空気力係数とレイノルズ数の関係

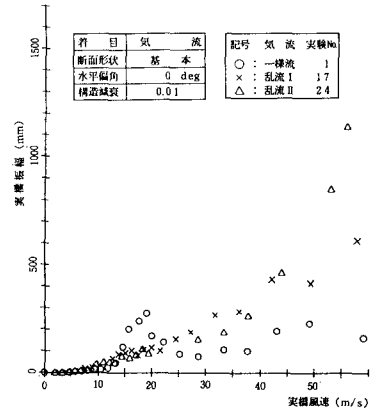


図-3 気流の影響

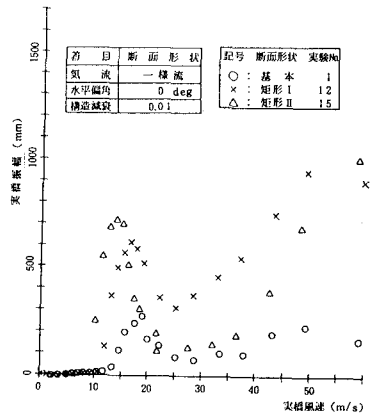
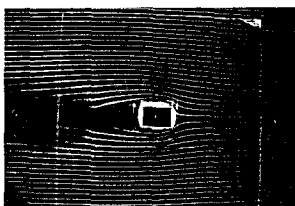
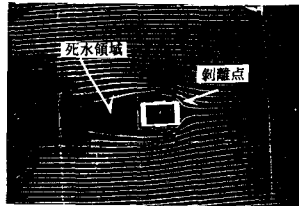


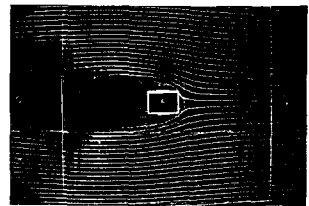
図-4 断面形状の影響



基本断面： 0度 (S=1/35)



矩形Ⅰ断面： 0度 (S=1/35)



矩形Ⅱ断面： 0度 (S=1/35)

写真-1 断面回りの気流性状