

住友重機械 正員 北原俊男

住友重機械 正員 宮崎正男

横浜国立大 正員 宮田利雄

1 まえがき 近年数多くの長支間の吊橋や斜張橋が計画され、或いは架設されているが、これら橋梁を特徴づけている主塔は、季節風や、台風・低気圧の通過に伴う比較的低い風速で橋軸方向に大きな曲げ振動を生ずることが知られており、施工に際しては十分な制振対策を検討しておくことが要請されている。独立主塔の制振法は大別すれば、空気力学的制振法と構造力学的制振法とに2分される。前者は、作用空気力の形成過程を考え、前縁剝離を押えるとともに後流変動を小さくすることで制振効果を発揮させようとする方法であり、後者は、ロープのヒステリシスやブロックのクーロン減衰力、ダンパの粘性減衰力などを利用して振動系の減衰力を向上させたり、スティを張ることで系の剛性を高めたり、或いは、付加質量を用いて本体系の振動エネルギーを付加系へ逸散させるなどして、振動振幅を抑制させようとする方法である。

半質量ダンパ法は、分類すれば、構造力学的制振法の範ちゅうに属する制振方法で、その作動原理については既に報告している。¹⁾ 本研究は、主塔制振法としての本方法の有効性を風洞実験により検証した結果を報告するものである。

2 実験概要 実験に使用した主塔模型は、図1に示す1000m級スパンの吊橋主塔を対象にした $1/100$ 縮尺のモデルAと、斜張橋主塔を対象にした縮尺 $1/81$ のモデルBの2体である。どちらも三次元空力弾性模型として、構造諸元は相似させてあるが、モデルAについては、塔頂水平材及び中間トラスの斜材を実験の都合上省略している。また、対数構造減衰率 δ_s については、今回の実験の目的が半質量ダンパによる減衰効果を確認するためであり、この減衰効果がクーロン減衰と同様、振幅に依存する非線形性を有することもあって、出来る限り小さくするように努めた。この結果、モデルAでは、 $\delta_s=0.003\sim 0.006$ となったが、モデルBでは $\delta_s=0.01$ とやや大きな値であった。実験は横浜国立大学土木工学科所有のエッフェル風洞（高さ18m×幅13m）を使用し、一様気流中で主塔の応答特性を観測するとともに、半質量ダンパによる制振効果を応答特性の変化から検討した。

3 実験結果と考察 モデルAの応答特性を図3に示す。曲げ振動に着目すれば、換算風速 $U_r = \frac{U}{f_B} \cdot B = 5$ (U : 風速、 f_B : 曲げ固有振動数、 B : 代表見付幅) 付近に第1の、 $U_r = 9$ 付近に第2のピークが認められるが、応答振幅はともに一次の固有振動数に一致している。応答振幅は $U_r=9$ 付近でピークを迎えた後、急激に振幅を減じ、その後は風速の増加とともに振れ振動が発生している。

これら応答挙動は、その特性から判断して、いずれもいわゆる渦励振振動と考えられ、矩型断面等に見られる渦励振とよく似た特性を有している。

ところで、不安定振動の発生を回避しようとする場合には発振風速が重要であるが、何らかの手段を用いて振動を制振させようとするときには、共振風速と最大振幅が意味をもつことになる。制振対

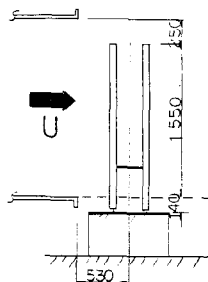


図1 主塔モデルA

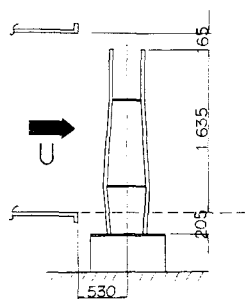


図2 主塔モデルB

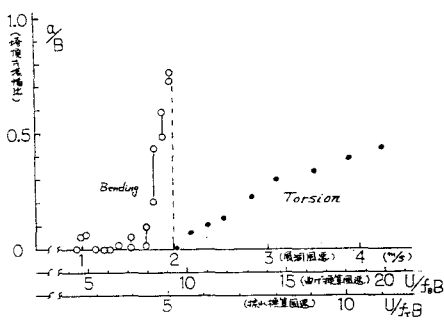


図3 主塔モデルAの応答特性

策として δ_s を増加させる手段を用いるとき、設計風速に比べ低風速で発現する曲げの渦励振が工学的には問題となるが、第1のピークは δ_s の増加で急激に振幅を減ずることを考え併せれば、注目すべきは第2のピークということになる。そこで、これまで実施された多くの風洞実験結果から、完成時独立主塔の風向0°における第2のピークの最大応答振幅とScruton数 $(2m/\rho B^2 H) \cdot \delta_s$ (m : 主塔全質量、 ρ : 空気密度、 H : 塔高) との関係を図4に示した。図中1、2はそれぞれ因島大橋、大鳴門橋の主塔の観測値を示している。最大振幅とSc数の関係は、図中に示した式でおおよそ近似できよう。また、今回の実験結果も近似式に近い結果となっている。

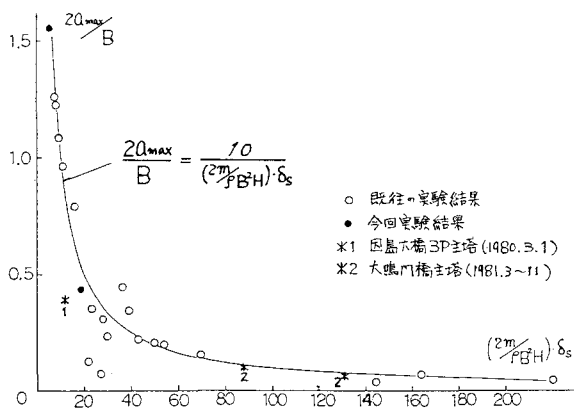


図4 渦励振の最大振幅とScruton数の関係(第2ピーク)

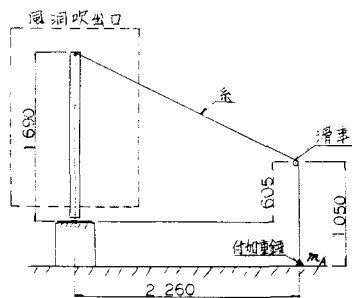


図5 半質量ダンパモデル

図5の半質量ダンパモデルでは、塔頂から糸を介して付加質量 m_A が取付けられている。平衡位置で糸に m_A による張力がちょうど零になるよう調整しておけば、主塔が平衡位置から左方へ変位すれば m_A は振動系に関与し、右方へ変位した時は無関係となるという非線形効果が生ずる。本方法をモデルA、Bの曲げの渦励振に適用した結果が図6、7である。モデルAは δ_s の極めて小さな場合であって、大振幅の応答を生じていたが、質量比 m_A/m が僅か0.25%程度で最大振幅は $1/4$ に減少しており、1%では実に $1/15$ 以下となって極めて大きな減衰効果を生じている。一方、モデルBにおいては、 $m_A/m=0.25\%$ とすることで振動はほぼ完全に制振されているといえよう。

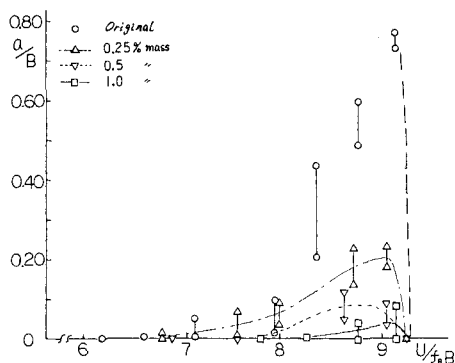


図6 モデルAにおける半質量ダンパ効果

このように、応答振幅について大きな減衰効果を発揮した半質量ダンパ効果をモデルAにおける減衰率の変化から評価したものが図8である。対策なしの主塔は低振幅で対数減衰率 $\delta = -0.10$ という負減衰を示しているが、 m_A/m の増加に伴って正減衰へ転じていく様子が読みとれよう。図より $m_A/m=0.25\%$ の場合、振幅の大きいところで $\delta = 0.04 \sim 0.05$, 0.5%では、0.08, 1%では、実に0.15程度にも及ぶ減衰増が得られたことになり、本方法が実用化されれば極めて有効な制振法となろう。また

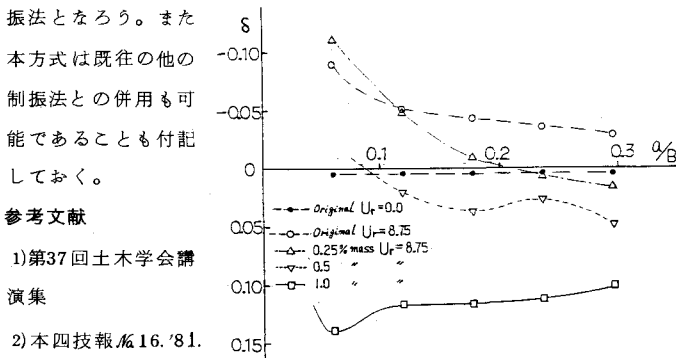


図8 半質量ダンパによる減衰率の変化(モデルA)

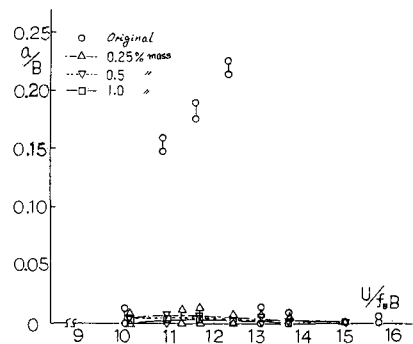


図7 モデルBにおける半質量ダンパ効果

参考文献

- 1) 第37回土木学会講演集
- 2) 本四技報 第16巻 '81.
4. , その他