

I-315 榎石島橋主塔の耐風制振装置

日本鋼管(株)	正員	津村 直宜
本 四 公 団		金澤 克義
日本鋼管(株)	正員	加納 勇
同 上	正員	中村 公信

1. まえがき 本州四国連絡橋Dルートの榎石島橋(三径間連続鋼斜張橋、橋長: $185+420+185=790\text{m}$)の主塔は、図1に示す通り斜張橋の主塔としては極めて規模が大きく、ハッチ付ラーメン斜塔という独特な構造形式を有することから、架設時の耐風安定性が問題視され、風洞実験を含む種々の検討が行なわれてきた。その結果、橋軸直角方向の塔面内曲げ1次振動(面内振動)については、主塔の架設時並びに架設完了後の独立状態のみならず、全橋の完成以後においても渦励振による有害な振動が発生すると予測されたため、主塔の上部水平材内に耐風制振装置を設置した。

本報告は、この制振装置の概要を紹介するとともに、装置設置に対応して行なった主塔の振動実験についてに述べるものである。実験の目的は、制振装置の効果確認、及び架設途上で変化する塔の振動特性を把握するところにある。

2. 制振装置 設置した塔面内制振装置は、図2に示すような回転軸部をねじりバネで支持した3連振り子型の動吸振器である。重錘の総重量は約5tであり、これは完成時における主塔の有効質量の0.18%にあたる。装置の振動数は、重錘の位置を上下することによって、架設中の主塔の固有振動数にチューニングできるように設計されており、約0.6~1.1 Hzの間で調整が可能である。

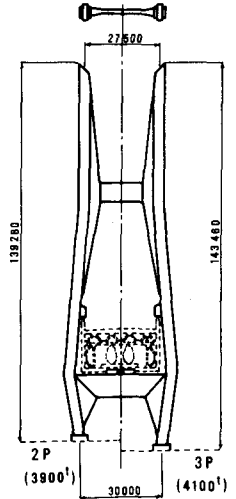


図1 主塔一般図

3. 振動実験 実験では、制振装置を作動させた状態(作動)と作動させない状態(固定)における自由減衰波形を測定して、塔の固有振動数と対数減衰率を求めた。自由減衰波形の対数減衰率は元来、1自由度の振動系において定義されるものであり、2自由度系を構成する装置の作動状態では、一般に物理的意味を持たないが、装置のチューニングが比較的良好に為されていて、減衰波形に顕著なうなりを生じない場合には、この値によって近似的に制振時の減衰特性を表現できると考えた。

実験は、2Pと3Pの13段以後の架設ステップで各5回ずつ計10回行なった。実験時の架設状況はおおよそ図3に示す通りであり、側径間は既に架設され主塔部において仮支ないしはタワーリンクで支持されている。計測項目は塔の振動加速度と制振装置の変位であり、それぞれサーボ型加速度計と歪ゲージ式変位計によって検出して、ペン書きオシログラフに出力した。

塔の加振方法は、初回の実験で、(a)人力加振、(b)制振装置人力加振、(c)トラベラークレーン旋回、(d)トラベラークレーン横移動の4つの方法を比較検討した。ここで、(b)は制振装置の振り子を5~6名で揺らして塔を起振するものである。検討の結果、架設工程の合間で簡便に実施できかつ比較的雑音の少ない減衰波形が得やすいという点から制振装置人力加振が適当と判断して、2回目以後からはこの方法のみを採用した。

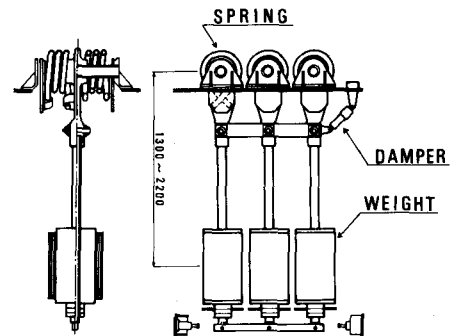


図2 制振装置

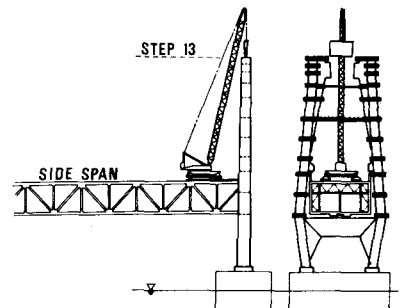


図3 架設状況

4. 実験結果 本実験で測定された波形の一例を図4に示す。ここで上段が制振装置を固定した場合、下段が作動させた場合の塔の加速度波形である。装置を作動させると塔の振動がすみやかに減衰することがわかる。実験で得られた減衰波形の振幅は、塔頂の初期振幅で約2mm程度であった。

図5は、実験で得られた塔の固有振動数を、架設ステップに対応させてプロットした結果である。ここで、架設ステップ24段が塔架設完了時であり、図中の実線と破線は塔の固有値解析結果を表わす。実験結果では、主桁側径間を仮査で支持するか、タワーリンクで支持するかによって明らかに振動数の特性が異なり、主桁の支持条件の違いによって別の振動系が構成されていることがわかる。

図6は、制振装置を作動させない状態で得られた塔固有の減衰特性である。振動数特性と同様に、減衰特性も主桁の支持条件によって著しく異なり、タワーリンクで支持した場合には、仮査で支持した場合に比べて減衰がかなり大きくなっている。これは、塔の構造減衰に対して、タワーリンク部の摩擦損失が大きく影響した結果と考えられる。タワーリンク支持のケースに限定して、対数減衰率の変化をみると2Pと3Pとで全く逆の傾向を示し、塔高が高くなるに従って、2Pでは増加するのに対して3Pでは減少する。このように、主塔架設時の減衰特性の変化については一般的な性状を見出すことはできないが、対数減衰率の値そのものは耐風設計基準に定められた0.01よりも全般的に大きい傾向が認められ、側径間主桁をタワーリンクで吊った状態で架設される塔は、一般に独立状態で架設される塔よりも減衰が大きいのではないかと推定される。なお3P17段では、タワーリンク支持にかかわらず減衰の値が小さいが、これは減衰の小さなねじれ振動と連成したことによる例外的なデータと考えられる。

表1に、本実験において確認された制振装置の効果を示す。本主塔では2P17段において、塔の対数減衰率が耐風安定上必要とされる下限値0.02を下回ったが、制振装置を設置することによりこれが見掛け上0.069にまで高められている。さらに、その他のケースにおいても、対数減衰率で0.02以上の制振装置による減衰の付与効果があった。

5. まとめ 本実験により、動吸振器方式の耐風制振装置が主塔への減衰付与にとって有効であり、耐風安定性を向上させるための効果的な手段であることが確認された。また、架設途上で変化する塔の固有振動数と減衰特性のデータを、実橋において得ることができた。今後、これらの結果が、長大橋の主塔を架設する際の一助となれば幸いである。

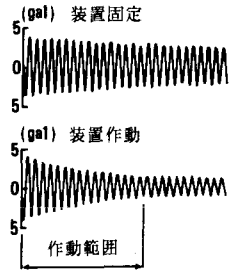


図4 塔の加速度波形

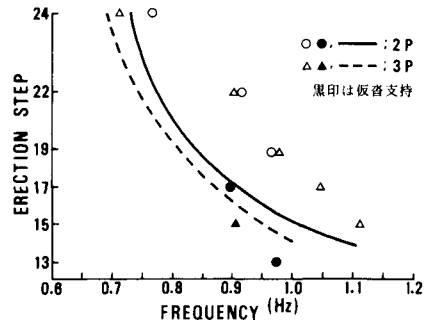


図5 塔の固有振動数

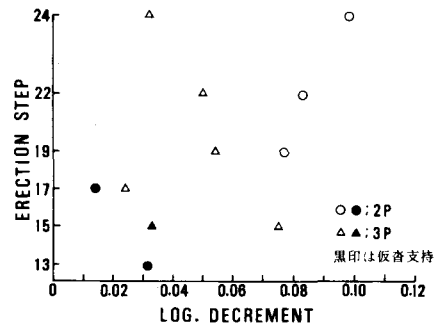


図6 塔の対数減衰率

表1 制振装置の効果

塔	架設ステップ	対数減衰率	
		装置固定	装置作動
2P	13段完、仮査100%支持	0.032	0.076
	17段完、T.L.80%支持	0.014	0.069
	19段完、T.L.100%支持	0.077	0.114
	22段完	0.083	0.236
	24段完、塔頂クレーン有り	0.098	0.134
3P	15段完、T.L.100%支持	0.075	
	15段完、T.L.20%支持	0.033	0.106
	17段完、T.L.100%支持	0.024	
	19段完	0.054	0.075
	22段完	0.050	0.088
	24段完、塔頂クレーン無し	0.032	0.063

注) T.L.はタワーリンクの略