

鶴見つばさ橋の減衰特性に関するエネルギー的考察

埼玉大学	正会員 山口宏樹	NKK 正会員 加藤真志
首都高速道路公団	正会員 伊東 昇	同上 正会員 加藤久人
同上	正会員 黒川誠司	

1. まえがき 大型起振機による長大橋の振動実験はこれまでいくつか行われてきた。振動数、振動モードについては、設計時振動諸元の妥当性が確認されている。一方、減衰値については、耐風設計時の仮定値を上回った報告はされているものの、その具体的考察は非常に難しいのが現状である。そこで、本研究では、実験時に得られた情報¹⁾を基に、振動減衰についていくつかの定量的評価を試みたのでその結果を報告する。

2. 解析手法 一般に、橋体が定常振動状態にあれば、起振機から橋体へ供給されるエネルギー W_{ext} と、振動減衰により構造系で散逸されるエネルギー W_{int} は等しい。また、散逸エネルギーは、①鉛直支承で損失されるエネルギー W_{fric} 、②高減衰ゴム、オイルダンパー等のケーブル制振装置で散逸されるエネルギー(各々 W_{gum} 、 W_{damp})、③空力減衰が構造系外部へする仕事 W_{aero} 、④桁、塔、ケーブルのひずみに起因する内部減衰エネルギー、⑤その他から構成される。本研究では、対象とした5モードのピーク振動数における定常振動時の、 W_{ext} 、 W_{int} のエネルギー収支を確認する。次に、 W_{fric} 、 W_{gum} 、 W_{damp} 、 W_{aero} の定量的評価を行い、それらの全散逸エネルギーに対する寄与率から、鶴見つばさ橋の振動実験で得られた減衰特性について検討する。なお、今回は、④、⑤については考慮していない。以下に各エネルギー項の計算手法について示す。

(1) W_{ext} 、 W_{int} 実験では起振機重錘、同位置の桁に加速度計を取り付け、抽出した有効起振力に、振幅を乗じて1周期の積分を行い、 W_{ext} を求めた。 W_{int} は、減衰実験値から求めた粘性減衰力に、振幅を乗じた1周期の積分値である。この時、自由減衰実験で得られた比較的大振幅時の減衰(表1)を用いた。

(2) W_{fric} 鉛直支承は、2P、3P各々2箇所設置されており、桁と支承の相対変位(ずれ量)を4箇所全てで測定した。支承に作用する鉛直荷重は、設計値736tfで一定とし、これに支承のずれ量を乗じて仕事を求めた。動摩擦係数としては、鋼～テフロン間の0.04を用いた。

(3) W_{gum} 、 W_{damp} 共振ケーブルについては、高減衰ゴムのせん断変位、オイルダンパー取付点の変位を現場で寸法尺計測した。非共振ケーブルについては、ケーブルの振動を、両定着点の移動による弛み、張りに伴うサグ変化として捉えた²⁾。具体的には、設計無応力長を条件とし、ケーブル両定着点に固有値解析から得られる変位を与え、1周期中の最大サグと最小サグの差を倍振幅とした。高減衰ゴム、オイルダンパー変位への換算は、制振装置による角折れ効果を含んだケーブルの複素固有値解析モードを用いて行った。各々の散逸エネルギー計算は、設計時の性能試験結果から求めた。つまり、高減衰ゴムのせん断変位と損失エネルギーは実験的に求められており、振動実験の周波数域に最も近い0.5Hzにおける結果を用いた。オイルダンパーは、ピストン速度に対する最大抵抗力の実験値から粘性減衰力の1周期の仕事として計算した。

(4) W_{aero} 揚力勾配により準定常理論に基づくモーダル減衰を求め、粘性減衰力として積分した。

3. 散逸エネルギーに基づく減衰特性の考察 表1にエネルギー計算値を、図1に W_{fric} 、 W_{gum} 、 W_{damp} 、 W_{aero} 、およびその合計の全体に対するエネルギー比率を示した。全体的に、エネルギー収支の釣合は取れているが、鉛直曲げ対称1次のみ散逸側が小さく、この理由は明らかでない。鉛直曲げ対称2次では、4つのエネルギー値の合計が100%を上回っており、この種の評価が難しいことを示している。空力減衰は、実験時の橋軸直角方向風速成分の最大値、最小値から計算し、表に示した。図中に示したのはその中央値であるが、全体的に空力減衰は必ずしも無視できない。共振ケーブルが観測された鉛直曲げ対称2次、逆対称2次では、ケーブル制振装置から散逸されるエネルギーの比率は高く、制振装置が全体の減衰に及ぼす影響が大きいことが解る。ねじれ対称1次では、全体の約50%に相当するエネルギーが、ケーブル制振装置により消散された。これは、桁の回転中心と、1面吊りのケーブルに設置された制振装置が距離 x で離れており、桁

のねじれ角 θ による $x \tan \theta$ の変形が制振装置に生ずるためであると考えられる。

4. 結論 鶴見つばさ橋の減衰特性を、エネルギー的見地から検討した。その結果以下の結論を得た。

- (1) ケーブルが共振した場合、ケーブル制振装置の散逸エネルギーが、橋体の減衰特性に及ぼす影響は大きい。鉛直支承、空力減衰による損失エネルギーも、必ずしもその影響は小さくはない。
- (2) ねじれ振動において、高減衰ゴム、オイルダンパー等のケーブル制振装置からの散逸エネルギーは、全体の損失エネルギーに対して有意な寄与率を占めた。これは、桁中央の1面吊りケーブルに設置された制振装置に、ねじれ角正接成分の変形が生じたためであると考えられる。

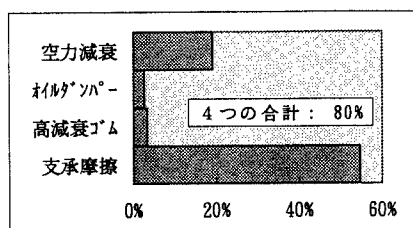
今後は、エネルギーの定量化手法の検討を重ねるとともに、ひずみに起因した内部減衰エネルギーを考慮に入れた解析を行っていく予定である。

参考文献 1) 下里哲弘ほか, "鶴見つばさ橋実橋振動実験", 第50回年講, 1995年9月

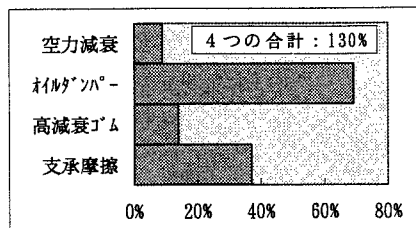
2) 後藤茂夫, "柔ケーブル部材を有する構造物の解析", 橋梁, 1977年2月

表1 定常加振実験ピーク振幅時のエネルギー収支 (単位は tfm)

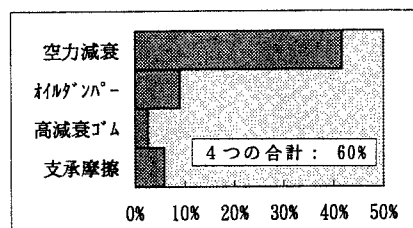
振動モード	起振機供給エネルギー	モーダル減衰散逸エネルギー	鉛直摩擦支承損失エネルギー	高減衰ゴム損失エネルギー	オイルダンパー損失エネルギー	空力減衰損失エネルギー	対数減衰率実験値
鉛直曲げ対称1次	1.46	1.05	0.80	0.05	0.04	0.04~0.52	0.07
鉛直曲げ逆対称1次	4.84	4.80	0.29	0.13	0.44	0.24~3.79	0.04
ねじれ対称1次	2.93	3.14	0.15	0.28	1.32	—	0.07
鉛直曲げ対称2次	0.75	0.78	0.29	0.11	0.54	0~0.13	0.10
鉛直曲げ逆対称2次	1.59	1.43	0.18	0.10	0.51	0~0.63	0.04



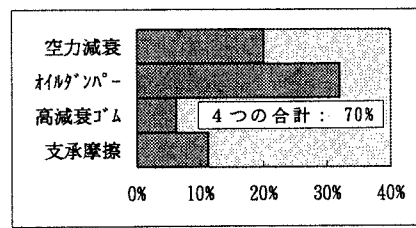
(a) 鉛直曲げ対称1次



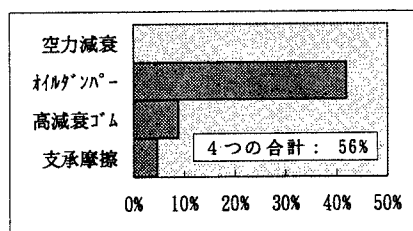
(d) 鉛直曲げ対称2次



(b) 鉛直曲げ逆対称1次



(e) 鉛直曲げ逆対称2次



(c) ねじれ対称1次

図1 各振動モードの全エネルギーに対する各部のエネルギー寄与率
注) 起振機供給エネルギーと散逸エネルギーの大きい方を100%とした