

近畿大学工学部 正会員 前田 幸雄
川田工業(株) 正会員 ○ 前田 研一
川田工業(株) 正会員 米田 昌弘

1. まえがき F. Leonhardt¹⁾が最初に指摘して以来、斜張橋のシステムダンピングは多くの研究者達の注目の的であったが、その要因については未だ完全に解明されているとはいえない。その情勢の下で、著者ら^{2)~4)}は、走行荷重振動および風琴振動におけるシステムダンピングについて、部分構造としての主桁とケーブルの振動の内部共振に起因するケーブルの減衰吸振器としての作用およびbeating現象が支配的な要因であることを明確に示してきた。また、ケーブルの疲労などに有害とはいはならない範囲で積極的に内部共振の条件を満足させる、静的設計にはほとんど影響なく高い動的安定性を付与できることを指摘してきた。この考え方は、さらに一歩進めて、対応するケーブルを取替し可能として設計(完全にDummy部材とすることも考えられる)すればより柔軟な対応ができる一方、他型式橋梁の制振に適用することも可能である。そこで、このような観点から、本研究では、実際問題への応用例として、最近注目されている流線形箱桁吊橋の耐風安定性について、塔頂から斜張されるタワースティの設置によるシステムダンピング効果の付与を考慮、ねじれ風琴振動の時系列応答解析により考察する。

2. 斜張橋のシステムダンピングの条件式

斜張橋のねじれ風琴振動におけるシステムダンピング効果の条件式は、図-1に示す簡単な斜張構造において、ケーブルの横振動を無視したモデルの固有円振動数 ω_0 と横振動のみのモデルのそれである ω_c が $\bar{\omega} = \omega_0 = \omega_c$ とすれば、極端な場合にはあるが、複素固有値問題の解析解により次式で与えられる⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned} 2\left(\frac{h_0+h_c}{2}\right)\omega_1 - \frac{h_0^*}{2} &> 2h_0\omega_0 - h_0^*, \quad \omega_1 = \sqrt{\bar{\omega}^2 - d} \\ 2\left(\frac{h_0+h_c}{2}\right)\omega_2 - \frac{h_0^*}{2} &> 2h_0\omega_0 - h_0^*, \quad \omega_2 = \sqrt{\bar{\omega}^2 + d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h_0, h_c は構造減衰定数であり、 h_0^* は横振動を無視して通常の唯一種の固有振動モードを適用する際の空力減衰項に対応する一種の減衰定数である。

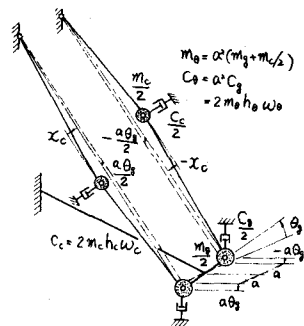


図-1 2自由度の斜張構造

3. 時系列応答解析法 多自由度の2種の相似連成固有振動モードに対する、部分模型風洞実験から得られる空気力を用いた風琴振動の時系列応答解析については、前回までに報告済みであるのでここでは省略する^{3), 4)}。

4. タワースティを有する吊橋のねじれ風琴振動の制振への応用

(1) 流線形箱桁吊橋 対象とした吊橋は中央径間長1000mの3径間単純支持のものであり、本研究を含む一連の研究のために新たに設計されたものである。スカルトンおよび主要な諸元を図-2、表-1に示す。また、視度理論による固有振動数の概算結果を表-2に示すが、ねじれ振動では対称モードが最低次である。

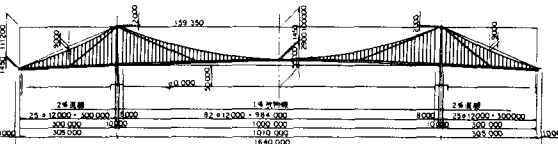


図-2 流線形箱桁吊橋の設計例(タワースティ)

表-2 固有振動数の概算結果

	鉛直方向の振動						ねじれ振動						水平方向の振動	
	対称振動			反対称振動			対称振動			反対称振動			振動	
	$f_{1,0}$	$f_{2,0}$	$f_{11,0}$ 側径間	$f_{2,1}$	$f_{4,0}$	$f_{1,1}$	$f_{1,0}$	$f_{3,0}$	$f_{11,0}$ 側径間	$f_{2,1}$	$f_{4,0}$	$f_{11,0}$	$f_{11,0}$	$f_{12,0}$
ゴックス第3形式 (Bタイプ)	0.1370	0.1780	0.3078	0.1131	0.2402	0.3662	0.7323	0.8455	0.4847	0.9700	0.0665	0.2614		

表-1 主要諸元

単位重量	メインケーブル部 w_c	t/m	5.300
	吊橋造部 w_f	t/m	10.083
	鋼索 w	t/m	3.117
	計 w	t/m	18.500
物理特性	慣性モーメント I_0	t・m ²	127.0
	メインケーブル b	m	23.0
	メインケーブル断面 A_c	m ²	0.564
	メインケーブル f	m	1.00
	メインケーブル水浮力 B_w	t	23125
	水中重量 2	m ⁴	1.239
	2次元モーメント I_y	m ⁴	5.8119
	断面慣性 2 次元モーメント EC_w	t・m ⁴	3.13×10^9
	ねじり剛性 GJ	t・m ⁴	2.68×10^7

(2)固有振動解析結果と構造減衰定数の算定

解析モデルとしては、タワースティ未設置の MODEL-1、タワースティの横振動を無視した MODEL-2、張力を 97ton とし横振動と補剛桁のねじれ対称一次振動の内部共振の条件を満足させた MODEL-3L の 3 種を考えた。断面積は主ケーブルの 1/100 であり、センタースティの影響⁵⁾などの静的設計への障害はほとんどないと思われる。各モデルの計算結果の一部を表-3、図-3 に示すが、MODEL-3L では 2 種の相

似運動モードが生じている。さらに、3 種のケース ($\delta_c = 0.0 \sim 0.02$)

の仮定対称減衰率を考えて各モードに対応する構造減衰定数を算定した結果を表-4 に示す。

表-3 ねじれ対称一次振動の周期と振動数

モデル	固有周期 (sec)				固有振動数 (Hz)			
	1次	2次	3次	4次	1次	2次	3次	4次
MODEL-1	21	2.7134	—	—	21	0.36854	—	—
MODEL-2	21	2.7053	—	—	21	0.36760	—	—
MODEL-3L	21	2.7293	29	2.6804	21	0.36639	29	0.37308

表-4 各モードの構造減衰定数

ケース	仮定対称減衰率		モデル	各モードの減衰定数と合計			
	$\delta_c = 2kh_g$	$\delta_c = 2kh_v$		1次	2次	3次	Total
CASE-1	0.02	0.0	MODEL-1	21	0.00918	—	0.00918
			MODEL-2	21	0.00918	—	0.00918
			MODEL-3L	21	0.00918	29	0.00918
CASE-2	0.02	0.01	MODEL-1	21	0.00242	—	0.00242
			MODEL-2	21	0.00242	—	0.00242
			MODEL-3L	21	0.00242	29	0.00242
CASE-3	0.02	0.02	MODEL-1	21	0.00320	—	0.00320
			MODEL-2	21	0.00320	—	0.00320
			MODEL-3L	21	0.00320	29	0.00320

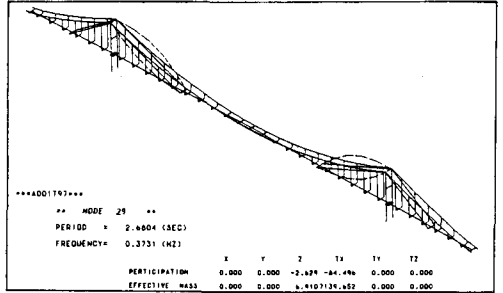
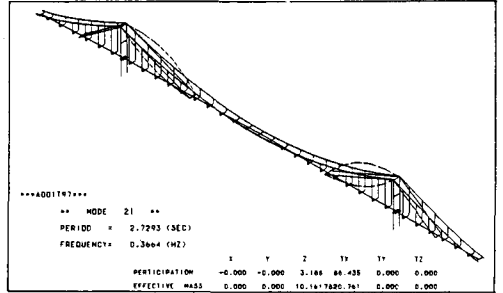


図-3 固有振動モード (MODEL-3L)

(3)時系列応答解析結果とその考察 図-4 に示す流線形箱桁断面の部分模型風洞実験結果に基づく空気力を補剛桁に作用させ、各ケースについて、ねじれ風琴振動の時系列応答解析を行なった結果を図-5、6 に示す。

これらの解析結果からは次のようなことがいえた。すなわち、まず、内部共振の条件を満足させたタワースティの配置によって、斜張橋のケーブルによる場合と同様にシステムダンピング効果が得られ、補剛桁のねじれ風琴振動が制振することも不可能ではないといえた。また、タワースティの横振動もそれ程に大きくはなく、しかも張力の変動も 1~2ton 程であったことから、主ケーブルの 1/100 位の断面で十分な効果を静的設計への障害なくに期待できるといえた。

ただし、タワースティの断面が小さくなるに従って内部共振の条件はより鋭敏になる傾向があることから、何らかのセンサー、アクチュエータによる横振動数(張力)の管理制御が治癒重変動に対して必要であると思われる。

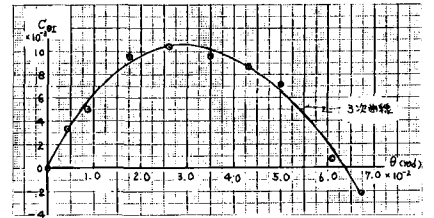


図-4 非定常空気力係数

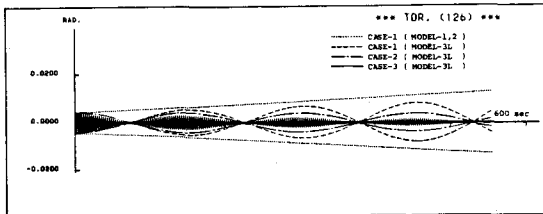


図-5 補剛桁中央部のねじれ角の振動の総観

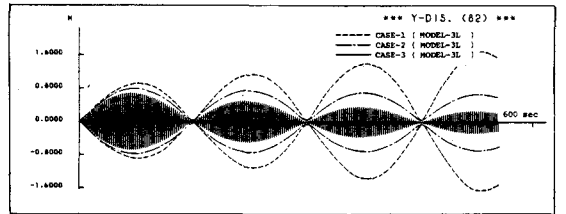


図-6 タワースティ中央部の鉛直変位の振動の総観

5. あとがき 本文は、斜張橋特有のシステムダンピング効果について、タワースティを有する吊橋のねじれ風琴振動の制振への応用を試みただけである。解析結果とその考察からは、応用は十分に可能であり、例えば桁構造部と下部構造基礎部と結ぶ斜張ケーブルに配置すれば、吊橋以外の一般的な型式の橋梁の制振にも応用できることが容易に予測された。最後に、特に本研究が対象とした流線形箱桁吊橋の設計に際する川田工業㈱技術本部設計部長・野村国勝氏、設計一課長・岡清志氏の両氏の多大の労苦に対し、心より謝意を表す。

〔参考文献〕 1) Lemkau, F. et al.: Cable-Stayed Bridges, IABSE SYMPOSIUM, 5-13/80, 1980. 2) 前田・前田・森田: 斜張橋のシステムダンピング効果に関する研究, 土木学会論文報告集, No. 333, 1983. 3) 前田・前田・森田: 斜張橋のシステムダンピング効果に関する研究, 土木学会論文報告集, No. 344/1-1, 1984. 4) 前田・前田・森田: 斜張橋のねじれ風琴振動に対するシステムダンピング効果について, 第19回年報発表会, 1984. 5) 岩屋: 佐々木大橋の橋梁形式選定, 河川技術 Vol. 6, No. 20, 1982.