

大阪大学工学部 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 斜張橋の動的特性に関し、F. Leonhardt¹⁾は、斜張橋が特有のシステムダンピングによって、鉛直たわみ振動に対する高い動的安定性を有することと報告し、種々の要因を挙げているが、著者らも前回に、このシステムダンピングの支配的な要因を定義し、その妥当性を検証するとともに走行荷重による振動における効果についての検討を行っている^{2), 3)}。本文は、今回、別に改めて定義した要因⁴⁾によるシステムダンピングがマルチケーブル型式斜張橋のたわみ風琴振動に及ぼす効果について、解析法を説明した後、実橋設計例を対象とした応答解析例の結果およびその考察から、若干の設計資料を得ることと試みるものである。

2. 要因の定義 別に詳細に報告したように⁴⁾、著者らは既に定義したものをさらに追究し、つぎのような要因を改めて定義した。すなわち、部分構造としてのケーブルと主桁の内部共振によって生じる2種の相似連成振動モードに対応する自由振動項のbeating現象のみならず、ケーブルの減衰吸振器としての作用を併せて、斜張橋のシステムダンピングの支配的な要因として定義した。

3. 内部共振を考慮したたわみ風琴振動の解析法 解析上の仮定および風洞実験によるV-A-S曲線からの非定常空気力係数の算定法は通常のものと同様である。いま、内部共振によって生じる2種の相似形の連成固有振動モードを $\{\Phi_i\}$, $\{\Phi_j\}$ および近接する固有円振動数 ω_i , ω_j とすれば、一般化座標 ξ_i , ξ_j に関して、

$$\ddot{\xi}_i + 2(h_{ii} - h_{ij})\omega_i \dot{\xi}_i + \omega_i^2 \xi_i = 0, \quad h_{ij} = (1/2\omega_i)\{\Phi_i\}^T [F_i] \{\Phi_j\} \quad (i, j) \quad (1)$$

なる基礎微分方程式が与えられる。ここに、 h_{ij} は別に報告した算定法⁴⁾による構造減衰に対応する減衰定数であり、 h_{ij} が速度に比例する非定常空気力に対応し、空気力マトリックス $[F_i]$ によって具体的に得られるものである。そして、 $[F_i]$ は、迎角、無次元風速を既定すれば、風洞実験結果から最小自乗法により簡略して定式化された無次元振幅 Z_0/B と非定常空気力係数 C_{LUL} との関係を用いて具体的に表わされるものである。

したがって、無次元振幅 Z_0/B が与えられるれば時系列応答解析が可能となるが、内部共振を考慮する場合には、次のように、微小時間間隔 Δt で逐次積分して、各時間ステップで、2種のモードに関するものを重ね合わせた、

$$\{Z_p\} = \sqrt{\{\xi_i\}^2 + \{\xi_j\}^2} + \{\{\xi_i\} + \{\xi_j\}\} / (\omega_i + \omega_j)^{1/2} \quad (2)$$

なる等価振幅ベクトル $\{Z_p\}$ に対応させて与え、モード重畳法を適用する必要がある。

4. 応答解析例

図-1に示す実橋

設計例を対象とし、

表-1の全体構造の

固有周期、表-2の

ケーブルの最低次横

振動性状を参照して、

図-2に示すような

固有振動モードを有する4種の

解析モデルを考えた。ここに、

MODEL-1, -1Lは諸元をその

まま用い、全段のケーブルを引

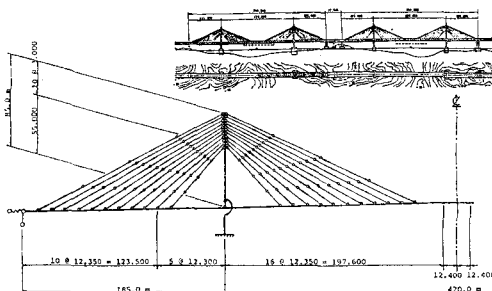


図-1 実橋設計例

表-1 全体構造の固有周期

ORDER	PERIOD (sec)	MODE
1st	2.437	Center Span - Symmetric 1st (vertical)
2nd	2.406	Center Span - Asymmetric 1st (vertical)
3rd	1.375	Center Span - Symmetric 1st (longitudinal)
4th	0.930	Side Span - Symmetric 1st (vertical)
5th	0.738	Side Span - Asymmetric 1st (vertical)

表-2 ケーブルの最低次横振動特性

		AREA (m ²)	DENSITY (t/m ³)	TENSION (t)	PERIOD (sec)
CENTER SPAN	11 段目	0.03586	11.0	1507.	1.953
	10 Upper	0.03586	11.0	1490.	1.966
	9	0.03186	11.0	1188.	1.655
	8	0.03186	11.0	981.	1.536
	7	0.02848	11.0	977.	1.481
	6	0.02248	11.0	774.	1.355
	5	0.02248	11.0	770.	1.228
	4	0.02248	11.0	760.	1.106
	3	0.02248	11.0	754.	0.984
	2 Lower	0.02848	11.0	1124.	0.887
	1 段目	0.02848	11.0	1243.	0.763
SIDE SPAN	11 段目	0.04186	11.0	1544.	2.132
	10 Upper	0.04186	11.0	1531.	2.003
	9	0.03972	11.0	1120.	1.846
	8	0.03186	11.0	1112.	1.590
	7	0.02248	11.0	807.	1.431
	6	0.02248	11.0	800.	1.312
	5	0.02248	11.0	795.	1.192
	4	0.02248	11.0	784.	1.076
	3	0.02248	11.0	775.	0.691
	2 Lower	0.02848	11.0	1152.	0.881
	1 段目	0.02848	11.0	1267.	0.762

張材として横振動を無視した場合、リンク構造として考慮した場合に対応している。また、MODEL-2L、-3Lは最上段の11段目、10段目のケーブルの質量を付加し、内部共振の所要の条件を満足させたものである。

適用したV-A-S曲線は図-3に示すもの⁵⁾であり、図-4に示すような風洞風速2.816m/sec(無次元風速1.992)での非定常空気をを用いた。

解析結果の一部として、図-5に示した鉛直変位応答の発達状況の一例からは、次のようなことなどが考察される。すなわち、まず、MODEL-1Lと異って、MODEL-3Lの場合には内部共振に起因するbeating現象により、振幅が周期的に緩やかに増減していることがわかる。さらに、ケーブルのみのモデルの横振動に対応する対数減衰率を0.0、0.0075、0.0150および0.0300と変化させたCASE-2A、-2B、-2C、-2Dにおいて、MODEL-3Lは、ケーブルの減衰吸振器としての減衰効果が零としたCASE-2Aの場合には定常状態での振幅がMODEL-1Lよりも大きくなるが、CASE-2B、-2Cの場合にははかり小さくなることわかる。そして、MODEL-3Lは、CASE-2Dの場合に風琴振動が初期状態として与えた振幅から発達しなくなり、次第に減衰していくことがわかる。

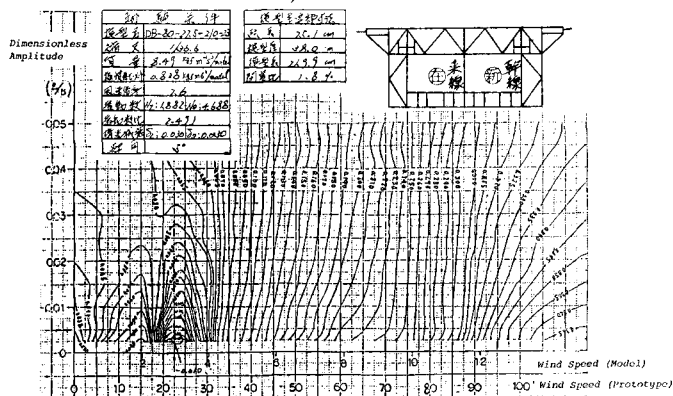
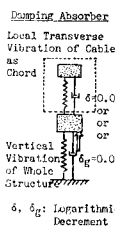


図-3 V-A-S曲線(支線5)

5. あとがき 本文の解析結果からは、対象とした実橋設計例の耐風安定性より確実にするために、特定のケーブルの質量を付加し、所要の条件を満足させることによって定義した要因によるシステムダンピング効果と与えることは非常に有効であるといえる。

最後に、常に適切な御助言を頂いた榊原孝彦 学教授、坪山口宏樹講師および榊原保田雅彦氏、成井 信氏に對して心より御礼を申し上げます。



L. Decrement of Each Mode			
CASE	MODEL-3L	-1L	
1st	0.011	0.019	0.030
2nd	0.015	0.022	0.030
3rd	0.020	0.025	0.030
4th	0.025	0.031	0.030

図-5 中央部には、最上段ケーブル1/2点の鉛直変位応答の発達状況の一例

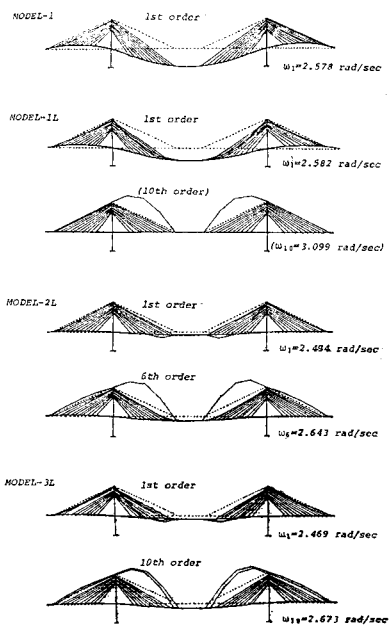


図-2 固有振動モード

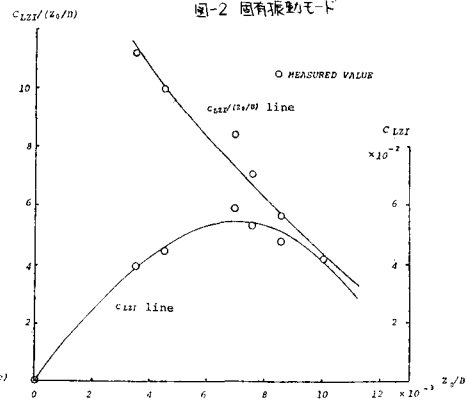
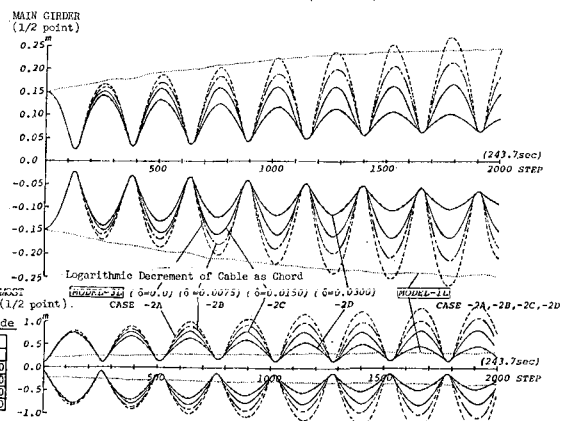


図-4 非定常空気の算定



<参考文献> 1) Leonhardt, F. et al.: Cable-Stayed Bridges, IABSE SURVEYS, S13/80, 1980. 2) 前田・前田・越後: 斜張橋のシステムダンピングの要因の定義と実橋試験工学会第37回年度学術講演会講演概要集, 1982. 3) 前田・前田・藤原: マルチケーブル型斜張橋におけるシステムダンピング効果, 工学会第37回年度学術講演会講演概要集, 1982. 4) 前田・前田・西土: 斜張橋のシステムダンピングの要因に関する2, 3の考察, 工学会第38回年度学術講演会講演概要集, 1983. 5) 本論文の第二建設局編: 若狭湾橋(斜張橋)主橋トラス大型風洞実験(202), 1980.