

大阪大学大学院 学生員 藤原 要
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

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を報告し、種々の要因を挙げているが、著者²⁾も、このシステムダンピングの支配的な一要因を新たに定義し、種々の数値計算および実験試験によってその妥当性を検証している。本研究は、マルチケーブル型式斜張橋の場合、定義した要因の条件を満足する可能性がより高いと考え、その経済的設計を行う立場からのシステムダンピング効果に関する若干の設計資料を得ることを試みたものである。なお、対象とした現象が動的問題に特有の非線形問題となることが予測されたことから、動的応答解析においては線形化解析のみならず、非線形解析^{3),4)}も行っており、解析結果を比較、考察した。

2. システムダンピングの要因の定義とその妥当性 著者は、部分構造系としての主桁とケーブルの振動の内部共振によって生じる、各々の相似な振動成分が異なる比率で運成し、固有円振動数が近接した、2種の固有振動モードに対応する自由振動項のbeating現象を、斜張橋のシステムダンピングの支配的な一要因として新たに定義した。さらに、種々の数値計算によりその妥当性を検証し、実験試験によりそのような現象が実際に実橋においても生じることを確認した。定義した要因を模式図で表したものが図-1～3である。図-1は、固有円振動数 ω_1, ω_2 が近接する2種のモードについて、主桁上に周期外力 $P \sin \omega_p t$ が作用した場合の注目する主桁およびケーブルの動的応答変位 $Y_{g,i}(t), Y_{g,j}(t)$ および $Y_{c,i}(t), Y_{c,j}(t)$ を示したものである。次に、2種のモードについての主桁の動的応答変位を合成し、強制振動項に関する $Y_{g,i}^*(t) + Y_{g,j}^*(t)$ および自由振動項に関する $\bar{Y}_{g,i}(t) + \bar{Y}_{g,j}(t)$ を図示したものが図-2である。また、図-3はケーブルの動的応答変位の場合の同様の図である。ここに、主桁変位については、自由振動項の最大振幅 $\bar{A}_{g,max}$ および強制振動項の振幅が内部共振をほとんど起こさない場合と差異がなく、動的応答値がかなり低減されることになる。一方、ケーブルの変位については、2種のモードに対応する振動成分が逆位相で運成することから、逆に、自由振動項の最小振幅 $\bar{A}_{c,min}$ および強制振動項の振幅が内部共振をほとんど起こさない場合と差異がなく、動的応答値は増大することになる。

図-1 2種のモードに対応する主桁およびケーブルの動的応答変位

図-2 主桁の動的応答変位の強制、自由振動項

図-3 ケーブルの動的応答変位の強制、自由振動項

3. L-20相当設計荷重列による動的応答解析 システムダンピング効果に関する若干の設計資料を得るために、図-4に示す実橋設計例を用い、固有振動解析、および、図-4に同時に示した共振率頭間隔のL-20相当設計荷重列による動的応答解析を行った。解析結果の一部を図-5～7、表

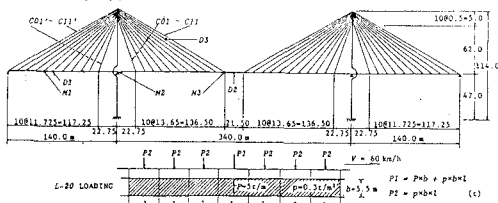


図-4 実橋設計例とL-20相当設計荷重列

-1に示す。ここで、MODEL-1は全ケーブルを引張材、MODEL-1Lは10段目のケーブルのみを鎖状ケーブルとしたもの、さらに、MODEL-2Lは10段目のケーブルの横振動が主桁の対称一次モードと内側共振を起こすように、張力を調整したものである。図-5は、MODEL-2Lの固有振動モードのうち、主桁の振動成分が卓越するモードを示すものである。また、表-1は、図-4に示した着目点D1、D2、D3の鉛直方向変位の静的な場合の応答値および動的増幅率(DAF)を示すものであり、MODEL-2Lについては、線形化解析および非線形解析による両者の値を与えている。さらに、図-6は、着目点D2、D3の荷重走行時の鉛直方向変位の応答-時間曲線であり、図-7は、残留自由振動時の鉛直方向変位の両振幅の時間曲線である。

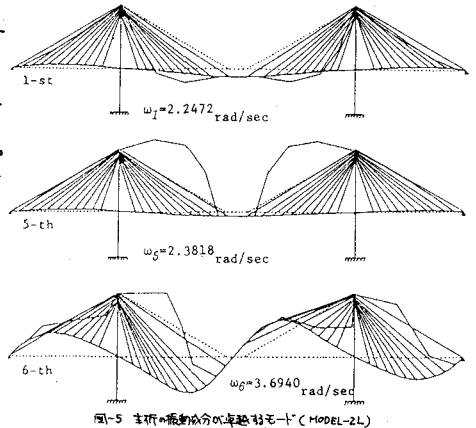


図-5 主桁の振動成分が卓越するモード(MODEL-2L)

表-1 鉛直方向変位の動的増幅率

			MODEL-1	MODEL-1L	MODEL-2L	
			Linearized Analysis			Non-Li.
Displ. (m)	D1	Static	-0.0611			-0.0614
		(DAF)	1.121	1.132	1.091	1.106
	D2	Static	0.1874			0.1879
		(DAF)	1.081	1.084	1.049	1.065
	D3	Static	0.0904			0.0907
		(DAF)	—	1.204	2.562	2.192

4. 解析結果の考察 図-5から、MODEL-2Lでは、固有円振動数が近接し、ケーブルの位相は逆であるが、主桁とケーブルの相似な振動成分が連成し合う2種の固有振動モードの存在を確認できる。表-1、図-6からは、この2種のモードに対応する自由振動項のbeating現象により、マルチケーブル型式斜張橋の特定のケーブルのみの完成時張力を調整した場合にも、主桁の鉛直方向変位の動的増幅率がかなり低減されることがわかる。特に、着目点D2では、動的最大応答値がbeating現象の1/2周期の時刻付近で生じたことから、衝撃係数に換算して約60%に低減されている。また、図-7からは、MODEL-2Lの場合、beating現象の1/2周期の時刻までに主桁変位の振幅の急激な低減がみられ、充分な構造減衰が作用すれば、残留自由振動時においても、システムダンピングによって高い減衰性が得られることがわかる。さらに、表-1からは、非線形解析によって得られた値は、線形化解析によるものと比較して、静的な値にはほとんど差異がないにもかかわらず、システムダンピングの効果は減じる傾向にあり、このような現象をより正確に把握するためには、動的な場合に特有の非線形問題を考慮した解析も必要であることがわかる。

5. あとがき 以上より、マルチケーブル型式の長大斜張橋の動的応答特性を検討する立場、および、その経済的な設計を行う立場から、定義した要因によるシステムダンピングの効果は考慮に値するものであると思われる。なお、本研究では、動的外力として走行荷重のみを取り扱ったが、完成時および架設途中における限定振動(風琴振動)に対する効果については、今後の研究課題であると思われる。

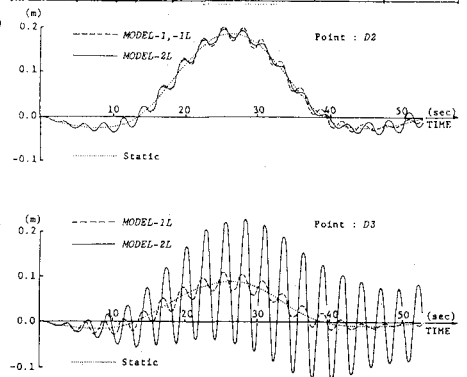


図-6 荷重走行時の鉛直方向変位の応答-時間曲線

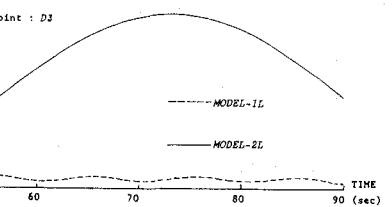
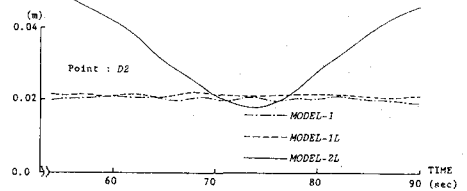


図-7 走行時の残留自由振動時の鉛直方向変位の両振幅の時間曲線

(参考文献) 1) Leonhardt, F. et al.: Cable-Stayed Bridges, IABSE SURVEYS, S-13/80, 1980. 2) 前田・前田・前田: 斜張橋のシステムダンピングの要因の定義と実験試験, 土木学会第37回年次学術講演会講演要録, 1982. 3) 前田・前田・前田: 斜張橋の非線形特性を考慮した平面骨組構造物の動的応答解析法, 土木学会論文報告集, No. 249, 1976. 4) 前田・前田: 斜張橋の設計における非線形問題, 第24回構造工学シンポジウム論文集, 1978.