

(12) 甌大明神橋の車両走行実験

鹿児島県伊集院土木事務所	上木原 松郎
オリエンタル建設(株)福岡支店	正会員 小深田 信昭
同上	田中 正裕
オリエンタル建設(株)技術部	正会員 ○角本 周

1. はじめに

一般に、橋梁の振動問題としては、耐震性、耐風安定性および車両交通による振動問題がある。PC斜張橋においても、振動問題の基礎となる固有振動特性、耐震性および耐風安定性に関しては多くの実験・研究が行われている^{1)~3)}。しかしながら、例えば以下に挙げるような問題に関しては未だ不明な点が多く、今後より多くの実験・研究が必要であると考えられる。

1) 設計における衝撃係数設定の基礎データとなる車両走行による振動性状に関しては、鋼斜張橋において系統的な実験・研究⁴⁾が成されているものの、PC斜張橋では数例実測値があるのみ⁵⁾である。PC斜張橋は、一般のコンクリート橋に比べて活荷重強度に対する死荷重重量が小さいことから、動的増幅率が大きくなることが考えられる。また、全体剛性において主桁剛性とケーブル剛性と比率を自由に設定できることから、衝撃係数と支間長の関係にも不明な点が多く、道路橋示方書においても衝撃係数算定に用いる支間長の取り方を明確に規定していない。

2) 斜張橋では、ケーブルが一種のTMDとして作用するシステムダンピングの効果が指摘されている。この効果については主に鋼斜張橋において実験・研究が成されており⁶⁾、ケーブル系の減衰定数が主桁・主塔系の減衰定数より大きい場合有効であるとされている。しかしながら、PC斜張橋の場合では、主桁・主塔系の重量に比べてケーブル系の重量が小さいため、TMDとしての質量比が小さく有効性に疑問点が残る。

甌大明神橋は、鹿児島県甌島列島の上甌島と中島間のヘタノ串海峡に架設された橋梁で、PC斜張橋を主橋梁部に用いている(図-1)。このPC斜張橋において、車両走行による振動性状の把握を主目的として静的および動的載荷実験を行った。また、本橋ではケーブルのレインバイブレーション対策として粘性せん断型ダンパーを上5段のケーブルに設置しているが(実験時4段)、システムダンピングの効果を検討するために、ダンパー設置前後において実験を実施した。本報告は、これら一連の実験に関するものである。

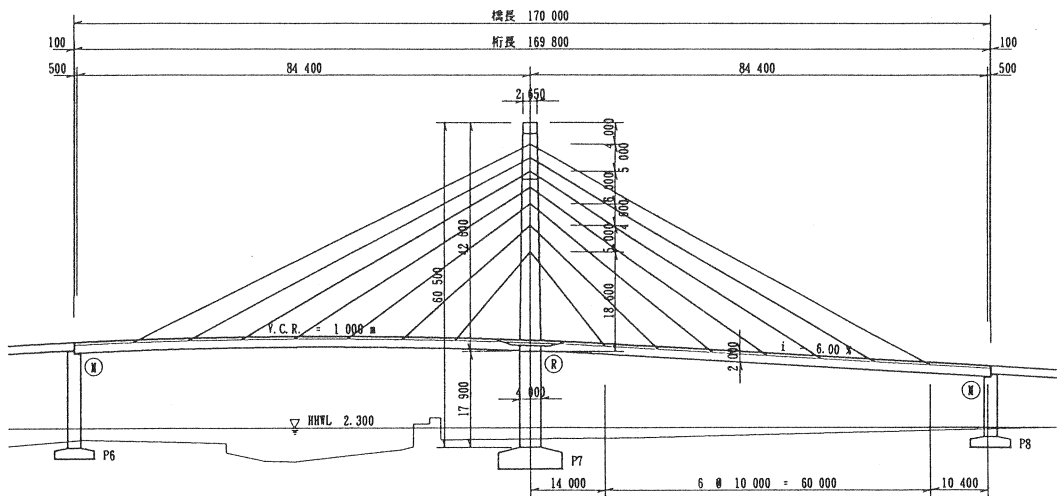


図-1 甌大明神橋斜張橋部

⑤ 車両振動実験

試験車両の固有振動特性を把握するために、車輪を段差より落下させ、車体の自由振動を測定した。計測器配置を図-3に示す。

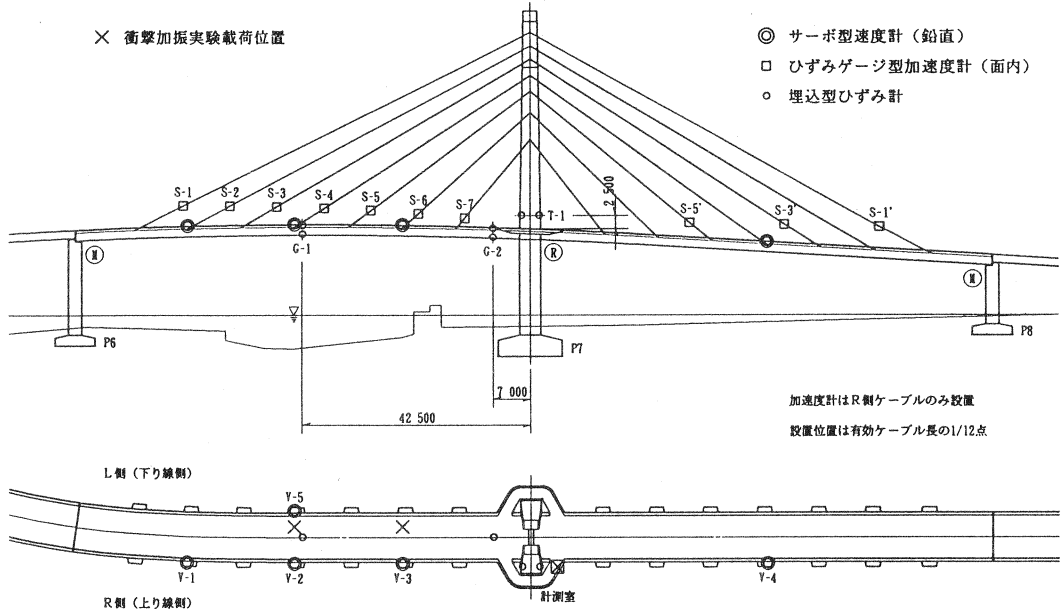


図-3 計測器配置

3. シミュレーション解析

実験結果の評価のため、シミュレーション解析を行った。モデルは3次元骨組構造とし、主桁の面内およびねじれ変形が主体のものを解析対象としたことから、端橋脚の影響を無視した(図-4)。

シミュレーション解析における解析パラメータとしては、実験結果の評価に影響を与えると考えられる、

- ①端支点条件、②地覆剛性、
- ③S-1、S-2 ケーブル構成および④縦断線形を選定した。各解析ケースにおけるパラメータの選定を表-3に示す。なお、これらのうち、②は地覆を主桁の有効断面(弾性係数は同一と仮定)として考慮するか否かの場合であり、③はプレハブケーブルの円形状を保つために配置されたスペーサー鋼線をケーブルの有効断面として考慮するか否かの場合である。

節点	標準拘束条件					
	X	Y	Z	RX	RY	RZ
(1)(35)	自由	固定	固定	固定	自由	自由
(24)	固定	固定	固定	固定	固定	固定

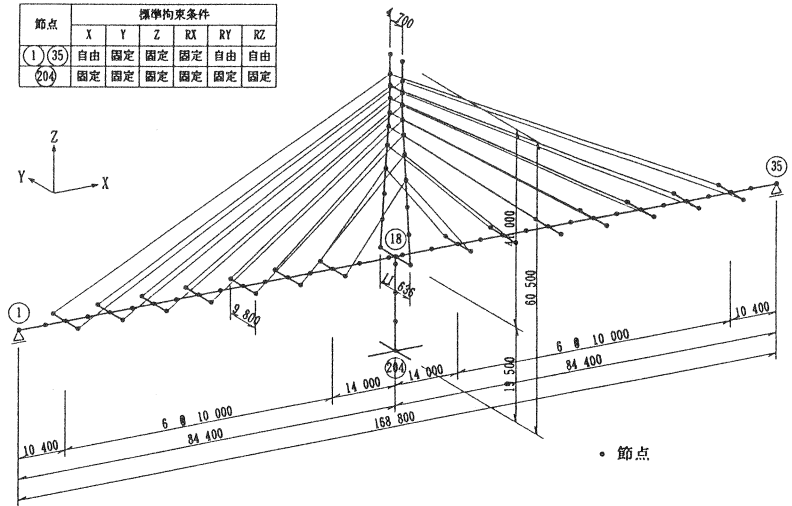


図-4 解析モデル

4. 実験結果および考察

静的載荷実験結果として、各載荷位置における支間中央部での主桁上下床版のひずみを図-5 に示す。また、図中にシミュレーション解析結果を付記する。実験値は、地覆およびケーブルのスペーサ鋼線を剛性として考慮した解析値 (3S) とほぼ一致した結果となった。また、端支点の橋軸方向移動を固定と仮定した解析値 (3P) は実験値との差異が大きいことから、静的載荷に対しては、端支点は可動状態にあると考えられる。

表-3 解析ケース

解析パラメータ		解析ケース					
		1S	1P	2S	2P	3S	3P
端支点条件	スライド	○		○		○	
	ピン		○		○		○
地覆剛性	非考慮	○	○				
	考慮			○	○	○	○
S-1、S-2 ケーブル構成	22 T 15.2	○	○				
	31 T 15.2			○	○	○	○
縦断線形	非考慮	○	○	○	○		
	考慮						○

表-4 に、車両走行実験、衝撃加振実験および常時微動実験から求められた固有振動数を、図-6 に対応する固有振動モードの一例を示す。なお、各実験とも、ダンパー設置後に行った実験の結果を用いて算出している。たわみ逆対称 1次振動モードの固有振動数は、端支点の橋軸方向移動を可動状態とした解析値 (3S) と固定状態と

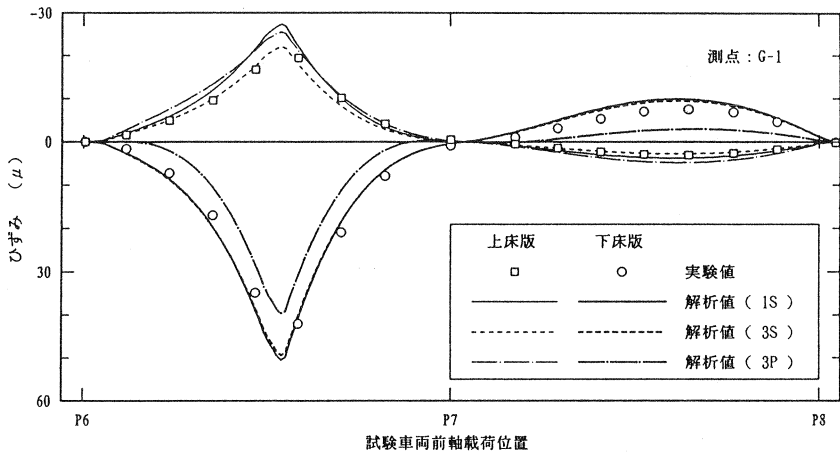


図-5 静的載荷実験結果

した解析値 (3P) の中間領域に位置している。また、橋軸方向 1次振動モードが、主桁の鉛直たわみ振動波形より 1.8 Hz 付近に検出できなかったことから、車両走行による振動レベルでは、端支点は固定に近い状態にあると考えられる。

表-4 固有振動数

次数	固有振動モード	固有振動数 (Hz)						
		解析値				実験値		
		1S	2S	3S	3P	車両走行実験	衝撃加振実験	常時微動実験
1	たわみ逆対称 1次	0.767	0.802	0.797	0.935	0.862~0.925	0.908	0.938
2	たわみ対称 1次	1.153	1.203	1.192	1.206	1.213~1.252	1.260	1.270
3	橋軸方向 1次	1.735	1.782	1.761	3.062	—	—	—
4	たわみ対称 2次	2.640	2.779	2.754	2.765	2.627~2.891	2.715~2.891	2.593~2.944
5	たわみ逆対称 2次	2.657	2.777	2.788	2.668			
6	橋軸方向 2次	3.513	3.737	3.708	6.031	—	—	—
7	ねじれ逆対称 1次	4.553	4.563	4.568	4.570	—	—	4.519
8	ねじれ対称 1次	4.668	4.682	4.680	4.689	4.785	4.717	4.785

車両走行実験は、試験車両 2台走行時の結果より求めたもの

車両走行実験結果の一例として、試験車両 2台走行時の主桁ひずみ波形およびそのフーリエスペクトルを図-7に示す。両走行ケースは、速度、車頭間隔を同一とし、路面整状を変化させたものである。動的増幅率DIF^{*)}は、舗装直後の路面整状において、測点側径間で約 1.06、非測点側径間で約 1.08 (設計衝撃係数 0.09) であった。一方、路面整状を悪くした状態においては、測点側径間で約 1.19、非測点側径間で約 1.33 となり、測点側径間での動的増幅率が 10% 程度増加したのに対して、非測点側径間での動的増幅率は 25% 程度増加している。車両走行時のフーリエスペクトルを比較すると、路面整状が悪いケースにおいては、3 Hz 付近において振動が大きく増幅されている。これは、試験車両のバネ上振動数 (実験値: 3.3 Hz) 付近の固有振動モードが励振されたためと考えられる。

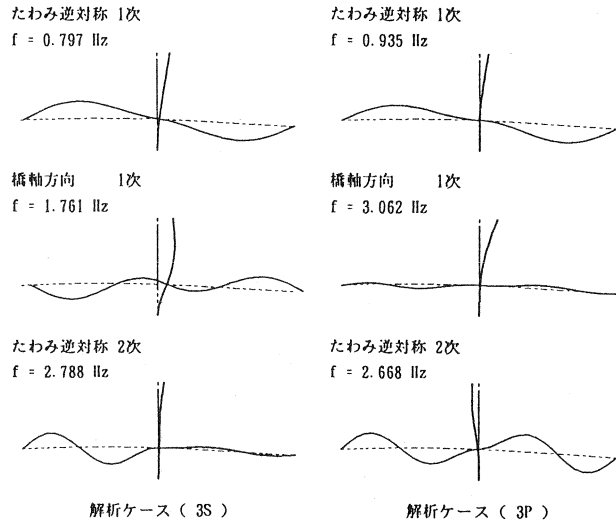


図-6 固有振動モード

図-8に、車両の走行速度と動的増幅率の関係を示す。なお、動的増幅率は、支間中央部における主桁下床版のひずみ波形より求めたものである。実験を実施した走行速度の範囲においては、動的増幅率は、走行速度の増加に伴って増加する傾向にある。また、試験車両が非測点側径間を走行する際の動的増幅率は、測点側径間を走行する際の動的増幅率に比べて大きく、走行速度が 40 km/h を越えると、設計衝撃係数 (支間長より算出) の 1.5~2.0 倍程度となっている。

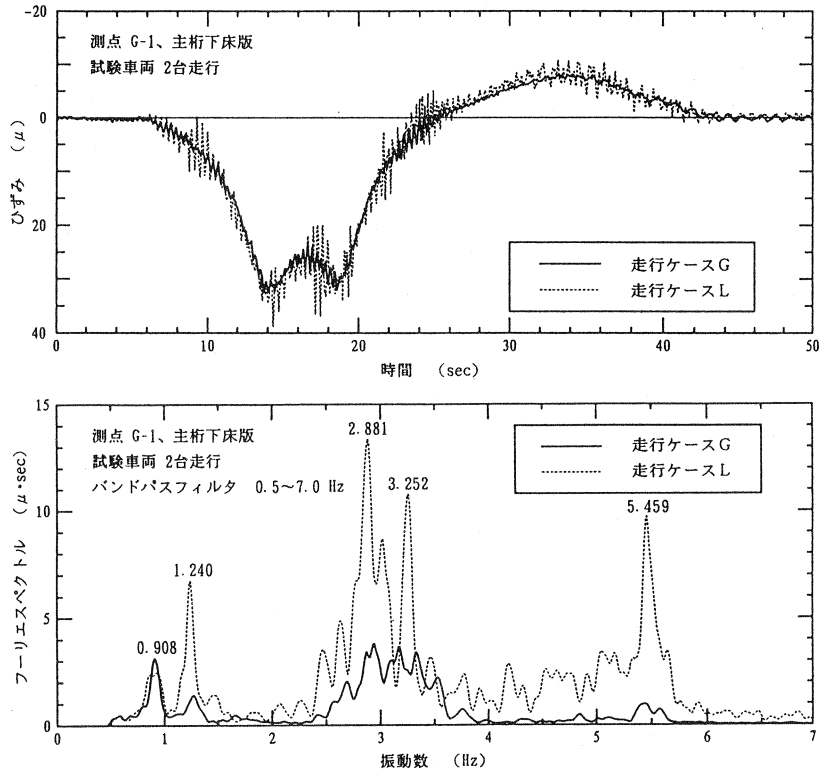


図-7 車両走行時の応答波形およびフーリエスペクトル

図-9に、ダンパー設置前後における衝撃加振後の自由振動波形を示す。波形は測点V-3の速度波

形より、たわみ逆対称 1次振動モードを抽出したものである。減衰定数は、ダンパー設置前において 0.013、ダンパー設置後において 0.019となった。ケーブル制振用ダンパーを設置することで全体系での減衰定数の増加が認められたことから、P C斜張橋においても、ある程度システムダンピングの効果があると考えられる。

5. まとめ

今回の実験により、P C斜張橋の車両走行による振動特性について、いくつかの基礎データを得ることができた。しかしながら、P C斜張橋全般に対する車両走行による振動特性は、橋梁規模、主桁剛性とケーブル剛性との比率、橋体重量のみならず、走行車両特性、路面整状等、多くのパラメータが関与してくる。よって、シミュレーション解析により、今後、パラメトリックな検討を行っていく必要がある。

最後に、本実験および解析において御指導、御協力いただきました金沢大学工学部の梶川康男教授、深田宰史氏、九州東海大学工学部の加藤雅史教授ならびに五色産業(有)の皆様に感謝いたします。

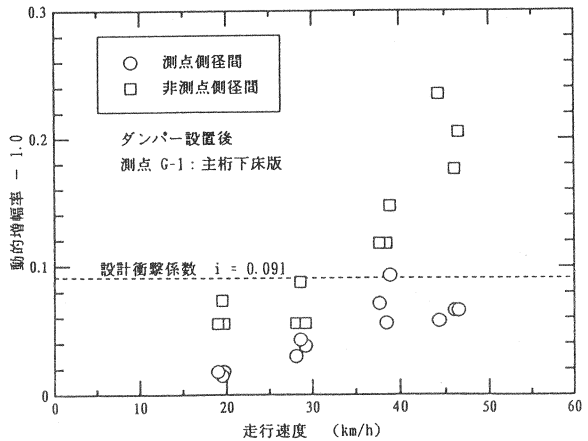


図-8 車両走行速度と動的増幅率

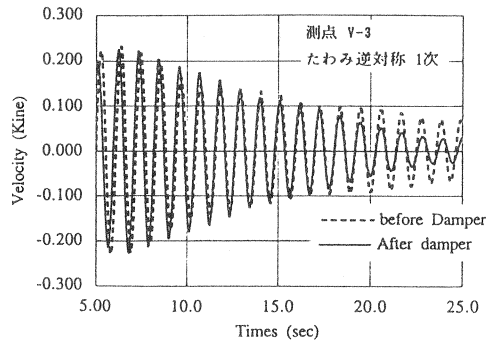


図-9 ダンパー設置前後における自由振動波形

参考文献

- 1) Kawashima, K., Unjoh, S. and Tsunomoto, M. : Damping Characteristics of Cable Stayed Bridges for Seismic Design, Journal of Research Public Works Research Institute、Vol. 27、Dec. 1991.
- 2) 稲富隆昌・竹田哲夫・大保直人・山野辺真一：地震観測に基づくP C斜張橋「青森ベイブリッジ」の地震応答特性について、構造工学論文集、Vol. 40A、pp. 967~978、1994年 3月
- 3) 白石成人：P C斜張橋（新丹波大橋）の風洞実験、プレストレストコンクリート、Vol. 27、No. 1、pp. 29~38、1985年 1月
- 4) 川谷充郎・難波宗行・大松正成・亀井正博・中出收：斜張橋の走行荷重による動的応答実験と理論解析、構造工学論文集、Vol. 37A、pp. 937~944、1991年 3月
- 5) 富田彦彦・石原重孝・竹田哲夫：三保ダム松ヶ山橋の設計・施工および諸実験について、橋梁、Vol. 17、No. 12、pp. 20~26、1981年12月
- 6) 前田幸雄・前田研一・越後滋：斜張橋のシステムダンピングに関する2、3の考察、土木学会論文報告集、第 333号、pp. 35~45、1983年 5月
- 7) 加藤雅史・島田静雄：橋梁の現地振動実験法、土木学会誌、Vol. 66、No. 2、pp. 38~42、1981年 2月
- 8) 橋梁振動研究会：橋梁振動の計測と解析、技報堂出版、1993年10月