

大阪大学工学部 正員 前田幸雄
 大阪大学工学部 正員 林 正
 大阪大学大学院 学生員 ○前田 研一

1. まえがき 本研究では、幾何学的非線形性を考慮した大径間斜張橋の動的挙動を明らかにするために、固有振動性状とともに走行車輛の平滑高速走行による振動特性(速度効果)について調べ、その設計衝撃係数値の算定のための若干の資料を得ることを目的とした。¹⁾

2. 理論解析 マトリクス構造解析の変形法により、非減衰の線形化振動の運動方程式は次式で与えられる。

$$M\ddot{U}_b(t) + K(U_b)U_b(t) = f_b(t)$$

ここに、 K は大変形に対する接線剛性マトリクスであり、通常の橋脚部材に対する非線形要素のほかに、サグによる非線形要素とローラーで支持されたケーブル部材に対する要素を含んでいる。²⁾ 添字 b , D はそれぞれ、静的荷重、動的荷重に対する値を表わしている。動的解析においては Modal Analysis を適用し、固有値問題、数値積分の解法として、Sturm Sequence Method と Newmark's β -method を用いた。

3. 数値計算例 数値計算に用いた8形式の3径間連続斜張橋を図-1に、断面諸量を表-1に示す。

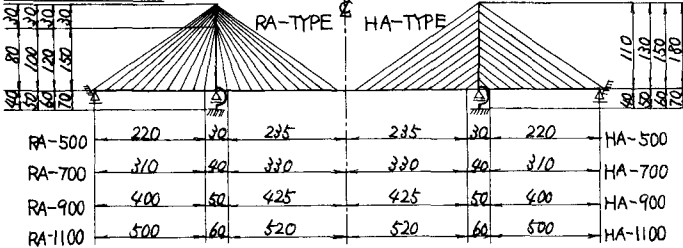


図-1 構造形式(単位:m)

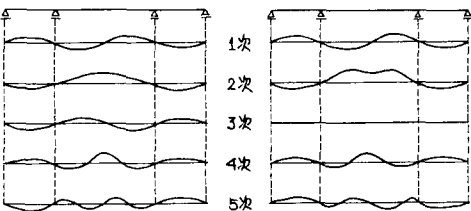
表-1 断面諸量

形式	RA-500	RA-700	RA-900	RA-1100		
Cable	A m ²	0.35	0.50	0.70	1.00	
	I m ²	7.0	10.0	14.0	20.0	
	E %	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷	
Tower	A m ²	0.7	0.9	1.2	1.5	2.0
	I m ²	2.5	3.5	5.0	7.0	2.0
	E %	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷	2.1x10 ⁷
Cable	A m ²	0.05	0.07	0.10	0.13	0.02
	E %	2.0x10 ⁷	2.0x10 ⁷	2.0x10 ⁷	2.0x10 ⁷	2.0x10 ⁷

計算に用いた荷重は、静的荷重(先荷重)として鋼床版を含む鋼材の実重量と、舗装、軌道等による荷重を併せて4.55t/mとした。また、動的荷重(走行活荷重)としては新幹線荷重を想定し、荷重強度3.80t/m、載荷長400mの等分布荷重を100~225%の6種の走行速度で載荷した。

計算手法については、各形式ともサグの影響を無視した場合と考慮した場合の線形化計算を行なったが、中央径間長1100mの2形式については、比較のために、線形の値も算出した。なお、数値積分における β 値、時間間隔 Δt は固有振動解析の結果から、それぞれ、1/6, および、0.14 sec(中央径間長500m, 同700m), 0.18 sec(同900m), 0.22 sec(同1100m)の値を採用した。

4. 固有振動性状 固有振動波形、固有振動周期の計算結果の一部を図-2, 表-2に示す。



RA-TYPE HA-TYPE
 図-2 固有振動波形

表-2 固有振動周期(単位:sec)

形式	次数					形式	次数				
	1次	2次	3次	4次	5次		1次	2次	3次	4次	5次
RA-500	2.73	2.29	1.68	1.07	0.82	HA-500	2.78	2.72	2.23	1.31	0.797
RA-700	3.91	3.42	2.46	1.58	1.20	HA-700	4.55	4.44	3.19	2.04	1.40
RA-900	4.92	4.57	3.16	2.12	1.61	HA-900	6.89	6.58	3.94	2.89	1.94
(サグ)	7.14	6.46	4.12	2.74	2.21	(サグ)	7.66	7.35	5.16	3.58	2.36
RA-1100	6.23	5.77	3.90	2.64	2.05	HA-1100	9.71	9.07	4.95	3.80	2.56
(サグ)	8.43	7.70	4.86	3.27	2.61	(サグ)	10.1	10.0	6.29	4.60	2.90
(線形)	6.20	5.73	3.79	2.57	2.04	(線形)	8.90	8.45	4.79	3.68	2.51

5. 動的応答性状 応答計算の結果の一部を図-5, 6, および、表-3に示す。なお、参考として、図-3, 4に時間関数 $\alpha(t)$, 着目点の変位, 応力値の時間変動の一例も示す。図-5の速度パラメーター $\alpha_n = \frac{v \sqrt{l}}{2T_n}$ で、 v, l, T_n はそれぞれ、荷重走行速度, 中央径間長, n 次の固有振動周期を表わしている。

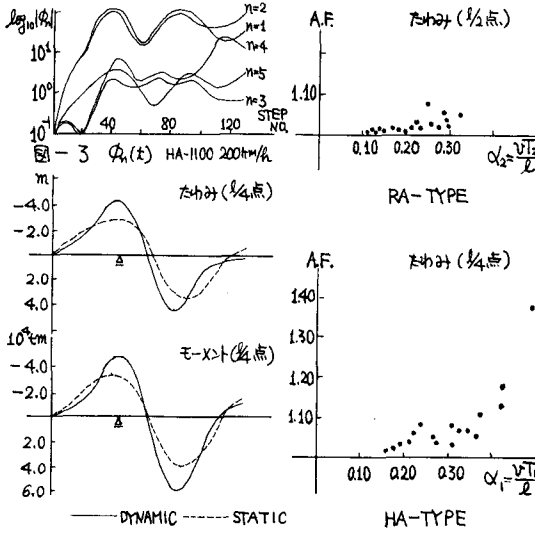


表-3 動的増巾率 (RA-TYPE: 中央径1/2点, HA-TYPE: 同1/4点)

形式 計算法	RA				HA						
	RA-500	RA-700	RA-900	RA-1100	HA-500	HA-700	HA-900	HA-1100			
死荷重値	0.782	1.609	2.778	4.381	0.545	1.060	1.811	2.780	1.533	2.826	
静的最大値	0.519	0.826	1.059	1.254	0.578	1.321	2.305	3.353	3.815	2.875	
たわみ 動的増巾率	100	1.005	1.012	1.012	1.020	1.019	1.020	1.037	1.092	1.124	0.990
	125	1.008	—	—	1.012	1.023	—	—	1.091	—	—
	150	1.009	1.005	1.017	1.028	1.064	1.034	1.070	1.110	1.101	1.051
	175	1.010	—	—	1.096	1.045	—	—	1.125	—	—
	200	1.022	1.016	1.067	1.025	1.038	1.053	1.189	1.381	1.506	1.118
	A.F.	225	1.039	—	—	1.051	1.072	—	—	1.778	—
モーメント 動的増巾率	死荷重値	9193	17028	27664	43093	2201	1546	1805	1519	5613	959
	静的最大値	4833	6563	8874	12161	6904	4782	2692	40372	43229	33254
	100	1.022	1.060	1.139	1.183	1.097	1.092	1.113	1.176	1.125	1.108
	125	1.028	—	—	1.192	1.117	—	—	1.108	—	—
	150	1.008	1.061	1.137	1.181	1.154	1.107	1.063	1.179	1.111	1.137
	A.F.	225	1.031	—	—	1.196	1.179	—	—	1.878	—

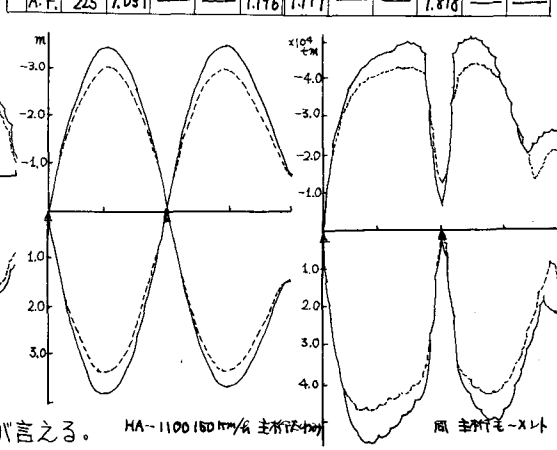
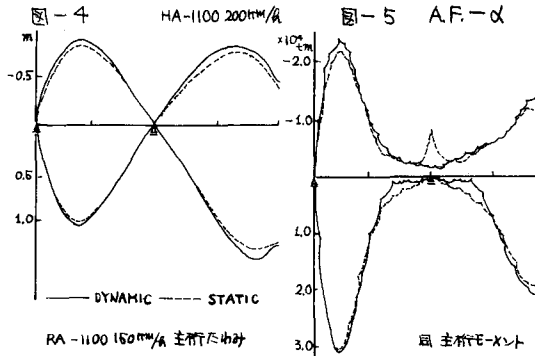


図-6 変位応力の静的動的最大最小値

6. 結論 以上の計算結果から、次のようなことが言える。 HA-1100 150mm/rev 主桁たわみ 風主桁モーメント

- ①固有振動性状について、①対称一次モードが最低次の固有振動数を与えている。②固有振動波形は相当量、縦振動と連成しているが、特に、Harp typeの場合、3次モードにおいて、縦振動が支配的になる。
- ③Radial typeに比して、Harp typeの固有振動周期は長く、静的性状と同様に、活荷重に対する剛性が極めて低く、非常に振動しやすい構造であると思われる。
- ④ケーブル部材のサグの影響を考慮すると、固有振動周期が著しく増加し、剛性の非常に低下が予測される。しかも、その傾向はRadial typeによくあらわれている。
- ⑤複形解は 複形化解に比較して、固有振動周期の値を小さく与えるようである。

動的応答性状について、①動的増巾率として、走行速度150%以下では、Radial type, Harp type に対して、それぞれ、1.10, 1.20程度の値とせば 充分安全であると考えられる。②Radial type, Harp typeの両形式に異なる設計衝撃係数を設定する必要があると思われる。③たわみ、モーメントに対する動的増巾率を比較すると、一般の橋梁形式と異なり吊橋と同様、後者の場合の値が大き。④サグの影響を考慮すると、動的増巾率の値はやはり、増加するようである。⑤複形化解と比べて、複形解の動的増巾率は 幾分、小さな値を与えるようである。

7. 結語 計算時間は 1形式、6種の速度で固有振動に関する計算を含めて、最大約15分であった。なお、総結点数、部材数はそれぞれ、115, 154であり、計算には、NEAC-2200-700(阪大大型計算機センター)を用いた。

参考文献 1)前田・林前田：走行荷重による斜張橋の動的応答について。関西工科大学工学講演会要 昭和48年6月
2)前田・林前田：大径層降橋の非線形性状について。第27回年次学術講演会講演要録 昭和47年10月