

走行荷重による斜張橋の動的応答について

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 近年，脚光を浴びつつある大径間斜張橋は，吊橋と同様，他の橋梁形式に比較して，剛性が低く，活荷重に対する変形が大である様な極めて振動しやすい構造であり，その振動性状も特異な様相を呈すると思われる。

本研究では，特に，走行車両の平滑高速走行による振動（速度効果）に対する動的応答に注目し，大径間斜張橋の設計衝撃係数の数値を検討するための若干の資料を得ることをその目的とした。

2. 理論解析 解析法として，マトリクス解析による変形法を用いた。非線形応答振動の運動方程式は，減衰項を無視すると，

$$M\ddot{U}(t) + K(U(t))U(t) = f(t) \quad (1)$$

なる式で与えられるが，ここに 剛性マトリクス K は 大変形問題に対応するものである。式(1)から，次式の様な線形化振動の運動方程式が考えられる。

$$M\ddot{U}_s(t) + \tilde{K}(U_s)U_s(t) = f_s(t) \quad (2)$$

式(2)において，マトリクス $\tilde{K}$ は接線剛性マトリクスであり，添字 S ， D は それぞれ，静的荷重，動的荷重に対する値を表わす。

3. 数値解析 静的荷重に対する大変形問題の解法としては「荷重増分法の加速計算法」¹⁾を，そして，固有値問題，数値積分の解法としてはそれぞれ，「STURM SEQUENCE METHOD」²⁾，「NEWMARK'S β -METHOD」を用いた。

4. 大径間斜張橋

4.1 計算例

(1)構造形式 対称径間連続斜張橋について，図-1に示す8形式を考えた。

(2)断面諸量 各形式において，表-1に示す部材断面諸量を用いた。

図-1 構造形式

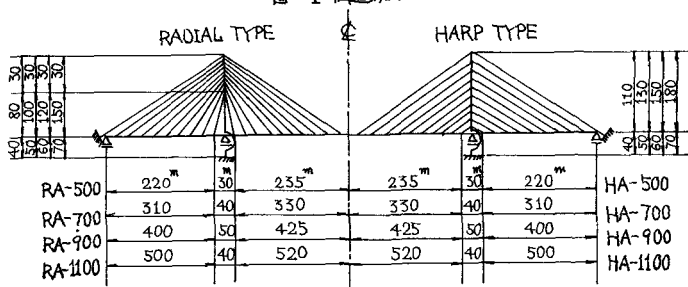


表-1 断面諸量

形式		RA HA-500	RA HA-700	RA HA-900	RA HA-1100	
Girder	A m^2	0.35	0.50	0.70	1.00	
	I m^3	7.0	10.0	14.0	20.0	
	E $\frac{cm^2}{m}$	2.1×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3	
Tower	A m^2	0.7	0.9	1.2	1.5	2.0
	I m^3	2.5	3.5	5.0	7.0	10.0
	E $\frac{cm^2}{m}$	2.1×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3	2.1×10^3
Cable	A m^2	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15
	E $\frac{cm^2}{m}$	2.0×10^3	2.0×10^3	2.0×10^3	2.0×10^3	2.0×10^3

(3)荷 重 計算に用いた荷重は 参考文献³⁾によった。静的荷重としての死荷重は鋼床版を含む鋼材の自重と 舗装、軌道等による荷重4.55 t/mを併せた値を用いた。動的外荷重としての走行活荷重は 新幹線荷重を想定し、荷重強度3.80 t/m、載荷長400 mの等分布荷重を載荷する。そして、走行速度として、中央径間長500 m、1100 mのものについては 100, 125, 150, 175, 200, 225 km/hの6種、700 m, 900 mのものについては このうち、100, 150, 200 km/hの3種のみを採用した。

4・2 計算手法 線形化解析に「MODAL ANALYSIS」を適用した。質量マトリクスには *lumped mass matrix*を用いた。なお、各形式とも線形化解析を行なうが、中央径間長1100 mの2形式に対しては、比較のために、線形解析も行なった。

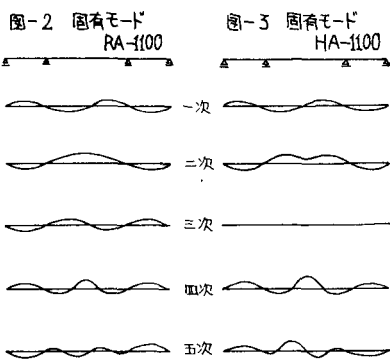
数値積分における β 値、時間間隔 h は 固有振動解析の結果から、次の値を採用した。

$$\beta = 1/6 \quad \begin{array}{ll} h = 0.14 \text{ sec} & \text{— 中央径間長 } 500 \text{ m, } 700 \text{ m} \\ h = 0.18 \text{ sec} & \text{— 中央径間長 } 900 \text{ m, } 1100 \text{ m} \end{array}$$

4・3 計算結果

計算結果の一部を 図-2～5、表-2、3に示す。

表-2 固有振動周期



形式	一次	二次	三次	四次	五次	形式	一次	二次	三次	四次	五次
RA-500	2.93	2.29	1.68	1.07	0.826	HA-500	2.78	2.72	2.23	1.31	0.947
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	6.56	3.94	2.89	1.94
RA-1100	6.23	5.77	3.90	2.64	2.05	HA-1100	9.71	9.07	4.95	3.80	2.56
(線形)	6.20	5.73	3.79	2.57	2.04	(線形)	8.90	8.45	4.79	3.68	2.51

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

形式	RA-500	RA-700	RA-900	RA-1100	RA-1100	HA-500	HA-700	HA-900	HA-1100	HA-1100
解析法	線形化					線形				
静的最大値	0.519	0.826	1.089	1.294	1.294	0.598	1.321	2.305	3.353	2.895
動的増巾率 (A.F.)	100	1.005	1.012	1.012	1.020	1.003	1.019	1.020	1.037	1.092
125	1.008	—	—	1.012	—	1.023	—	—	1.091	—
150	1.009	1.005	1.017	1.028	1.012	1.064	1.034	1.070	1.110	1.051
175	1.010	—	—	1.096	—	1.045	—	—	1.125	—
200	1.022	1.016	1.067	1.025	1.010	1.038	1.053	1.189	1.181	1.118
225	1.039	—	—	1.051	—	1.072	—	—	1.178	—
静的最大値	4583	6563	8874	12161	13228	6904	14782	25921	40372	35254
動的増巾率 (A.F.)	100	1.022	1.060	1.139	1.183	1.146	1.097	1.092	1.113	1.176
125	1.028	—	—	1.192	—	1.117	—	—	1.108	—
150	1.008	1.061	1.137	1.181	1.102	1.154	1.107	1.063	1.179	1.137
175	1.003	—	—	1.231	—	1.140	—	—	1.207	—
200	1.003	1.038	1.144	1.149	1.118	1.087	1.234	1.280	1.479	1.247
225	1.031	—	—	1.196	—	1.179	—	—	1.878	—

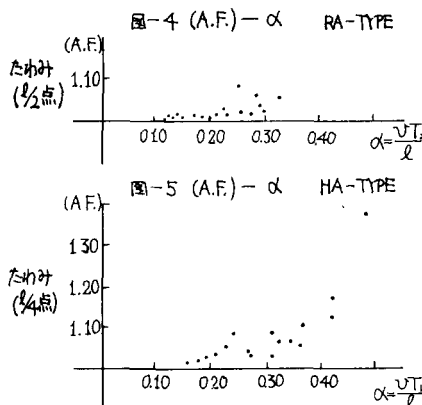
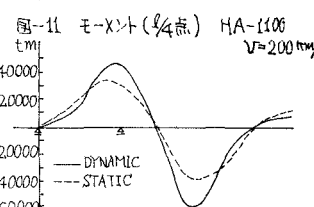
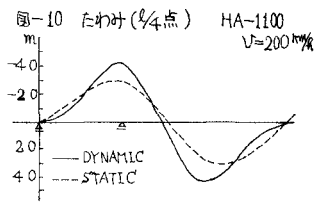
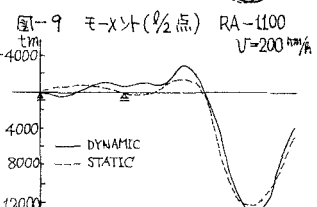
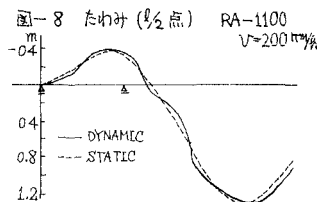
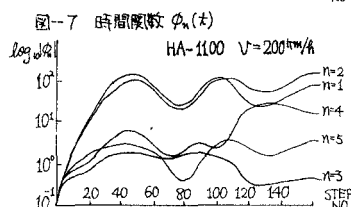
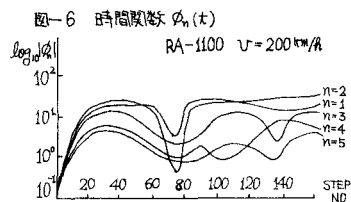


表-3における動的増巾率は 走行活荷重に対する静的最大値と動的最大値との比の値を示している。図-4, 5において、無次元パラメーター α に用いた固有振動周期 T_n は時間関数 $\mu(t)$ の計算結果(一部を、図-6, 7に示す。)から支配的であると思われる振

動次数のものを採用した。なお、参考のために 中央径間長 1100 m の 2 形式について、走行速度 200 mm/s の場合のたわみ、および、モーメントの動的、静的計算値の時間的変動を図-8~11に示す。



4.4 結論 以上の結果から、次の様なことが言える。

固有振動性状については

① 逆対称一次モードが 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、三次モードにおいて、縦振動が支配的になる。

③ RADIAL TYPE に比べて、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 線形解は 線形化解に比較して、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は

① たわみに対する動的増巾率は荷重走行速度が 150 mm/s を越えないう範囲では、1.10 程度の値で充分である。

② 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い。

③ RADIAL, HARP の両TYPEに異なった設計衝撃係数を設定する必要があると思われる。

④ 線形化解と比べて、線形解の動的増巾率は 幾分、小さい値を与えるようである。

5. 結言 本研究では、線形化解析を行なったが、現在、非線形振動について検討中である。

なお、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。本研究の一部は科学研究費によるものであり、計算には、NEAC-2200-700 (阪大大型計算機センター)、FACOM 230-60 (京大大型計算機センター) を使用した。

[参考文献]

- 1) 前田・林・中村：非線形解析における荷重増分法の加速計算法 第27回年次学術講演会講演集
- 2) K. K. Gupta : Solution of Eigenvalue Problems by Sturm Sequence Method Int. J. num. Math. Engng vol. 5 (1972)
- 3) 本間小委員会：本州四国連絡橋設計基準(吊橋)案 昭46.12