

主桁支持方式の異なる長大斜張橋の走行荷重応答解析

鹿児島高専 正○内容 保

九大工学部 正 彦坂 照

九大工学部 正 大塚久哲

1. まえがき 斜張橋の主桁支持方式としては一般に自己定着式(自定式)、完全定着式(完定式)および部分定着式(部定式)の3方式が考えられるが、現在架設されている斜張橋は自定式がほとんどである。しかし、今後益々長大化の傾向を示す斜張橋において、最も経済的な主桁の支持方式は部定式であることが指摘されている¹⁾。本報告は上記主桁支持方式の異なる長大斜張橋を対象として連行車両による走行荷重応答解析を行い、その動的特性について述べたものである。解析に際して、斜張橋は平面骨組構造系の離散質量系とし、橋梁路面上は平均値零の定常ランダム過程と見なされる不規則凹凸があるものとした。

2. 走行荷重応答解析 図-1に示すように、1自由度系のsprung-mass列にモデル化された連行車両が2次元の離散質量系にモデル化された斜張橋上を一定速度 v で走行する場合を考える。このとき、連行車両-橋梁系の運動方程式は次式で与えられる。

$$[M]\{\ddot{D}(t)\} + [C]\{\dot{D}(t)\} + [K]\{D(t)\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

$$\ddot{z}_j(t) + 2h_j\omega_j\{\dot{z}_j(t) - \dot{w}_{0j}(t) - \dot{\Delta}[v(t-t_j)]\}$$

$$+ \omega_j^2\{z_j(t) - w_{0j}(t) - \Delta[v(t-t_j)]\} = 0 \quad (1)$$

$$(j=1, 2, \dots, N)$$

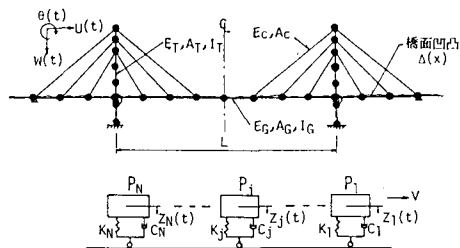


図-1 斜張橋および連行車両の構造解析モデル

ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ は橋梁の質量、減衰、剛性マトリックスであり、 $\{D(t)\}$ 、 $\{f(t)\}$ は各質点の変位および連行車両による外力ベクトルである。また、 $z_j(t)$ 、 ω_j 、 h_j 、 $w_{0j}(t)$ 、 $\Delta[v(t-t_j)]$ は車両 j の鉛直変位、固有円振動数、減衰定数および作用位置における主桁の鉛直変位、橋面凹凸であり、 t_j は車両 j が橋梁に進入する時刻($t=0$)である。式(1)を連立させて解くことにより各質点の変位 $\{D(t)\}$ が求められるが、ここではモード法を用いるため各質点の変位 $\{D(t)\}$ を次式のように展開して用いる。

$$\{D(t)\} = [\Phi]\{Q(t)\} \quad (2)$$

ここに、 $[\Phi]$ は固有振動モード、 $\{Q(t)\}$ は基準座標である。また、式(1)において時間微分の項を省略すれば連行車両による静的応答値が求められる。

3. 数値計算例 本数値計算では、中央径間が $L=240\text{m}$ と 1100m の斜張橋を対象とした。図-2は $L=1100\text{m}$ に対する一般図を示す。部定式の伸縮継手は側径間の5本目と6本目のケーブル間に挿入し、モーメントを全く伝達しない場合($K=0$)と完全に伝達する場合($K=\infty$)の2種類を考慮した。表-1は、固有値解析において質点の回転慣性までを考慮した場合と回転慣性を無視した場合との固有振動数を比較したものである。 $L=240\text{m}$ では、一次で10%以上、2次でも数%の差異が生じ、特に部定式($K=0$)ではそれが顕著である。これに対して、 $L=1100\text{m}$ では支持方式にかかわらずほとんど差異は生じないようである。以下の数値計算では回転慣性まで考慮した固有値解析結果を用いる。走行荷重応答解析における連行車両は $L/20$ 荷重相当の

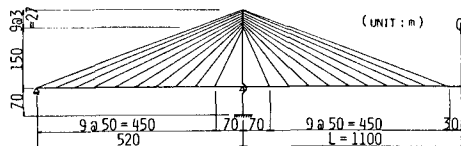


図-2 解析モデルの一般図

表-1 固有振動数に及ぼす回転慣性の影響

(Hz)

支間	次数	自定式			完定式			部定式 (K=0)			部定式 (K=∞)		
		回転慣性			回転慣性			回転慣性			回転慣性		
		考慮	無視	比	考慮	無視	比	考慮	無視	比	考慮	無視	比
240m	1	0.389	0.449	1.154	0.402	0.461	1.147	0.207	0.337	1.628	0.388	0.461	1.188
	2	0.812	0.859	1.058	0.819	0.862	1.053	0.633	0.697	1.101	0.807	0.860	1.066
	3	1.339	1.349	1.007	1.335	1.344	1.007	1.161	1.167	1.005	1.341	1.353	1.009
	4	1.589	1.590	1.001	1.513	1.515	1.001	1.446	1.447	1.001	1.587	1.589	1.001
	5	2.110	2.116	1.003	2.023	2.029	1.003	2.064	2.073	1.004	2.113	2.120	1.003
1100m	1	0.141	0.141	1.000	0.148	0.148	1.000	0.142	0.142	1.000	0.147	0.147	1.000
	2	0.192	0.192	1.000	0.193	0.193	1.000	0.186	0.186	1.000	0.191	0.191	1.000
	3	0.313	0.313	1.000	0.334	0.334	1.000	0.331	0.331	1.000	0.334	0.334	1.000
	4	0.414	0.414	1.000	0.378	0.378	1.000	0.400	0.400	1.000	0.403	0.403	1.000
	5	0.461	0.461	1.000	0.474	0.475	1.002	0.481	0.482	1.002	0.483	0.483	1.000

特に部定式($K=0$)ではそれが顕著である。これに対して、 $L=1100\text{m}$ では支持方式にかかわらずほとんど差異は生じないようである。以下の数値計算では回転慣性まで考慮した固有値解析結果を用いる。走行荷重応答解析における連行車両は $L/20$ 荷重相当の

大型自動車荷重列を用い、その標準諸元値を表-2に示す。表中の走行速度の値は60km/hに相当するもので、車両間隔は橋梁の1次固有周期とこの走行速度との積で表わされる共振車頭間隔²⁾である。橋面凹凸はISO基準で良好な状態を考慮し、解析結果は動的応答の最大値を静的応答の最大値で除した値(動的増幅率)で整理した。

モード法における使用モード次数の決定は重要でありその収束性を検討した。図-3に40次まで用いた場合の値で基準化した結果の一部を示すが、30次まで用いれば十分であると思われる。

図-4は車両間隔 λ を変化させて各形式ごとに求めた中央径間中点曲げモーメントおよび中央径間中段ケーブル張力の動的増幅率を示す。中央径間中点曲げモーメントは $l=240\text{m}$ の完定式および $l=1100\text{m}$ の自定式、部定式では車両間隔が大きくなる程大きな値を一般にとるようであるが、他の形式および中央径間中段ケーブル張力では共振車頭間隔の場合が他の場合よりも大きな値となる。他の着目点およびケーブルでも共振車頭間隔の場合が他の場合よりも大きな値となった。

図-5は中央径間中点曲げモーメントおよび中央径間中段ケーブル張力の動的増幅率を走行速度 v を変化させて求めたものである。各形式共 $l=240\text{m}$ では $v=16.5\text{m/s}$ で最大となり $l=1100\text{m}$ では v の増加とともに増大する傾向をもつ。動的増幅率の値は中央径間中点曲げモーメントが1.2~1.4、中央径間中段ケーブル張力が1.03~1.1程度となるが、 $l=240\text{m}$ の部定式($k=0$)では1.64~1.76と他の形式に比して極端に大きくなるようである。また、自定式と部定式($k=\infty$)とでは定性的にも定量的にもほとんど同一の傾向を示すようである。

- 〔参考文献〕 1) 大塚 他：土木学会論文集、No.350/1-2、1984.10
2) 小松 他：土木学会論文報告集、No.275、1978.7

表-2 連行車両諸元の標準値

	$l=240\text{ m}$				$l=1100\text{ m}$			
	自定式	完定式	部定式	部定式	自定式	完定式	部定式	部定式
			($k=0$)	($k=\infty$)			($k=0$)	($k=\infty$)
車両間隔 $\lambda=vT_1$	42.9m	40.9m	79.2m	42.9m	115.5m	112.2m	115.5m	112.2m
軌台数 N	5台	5台	3台	5台	9台	9台	9台	9台
走行速度 v	16.5 m/s							
固有振動数 f	3.0 Hz							
減衰定数 h	0.03							

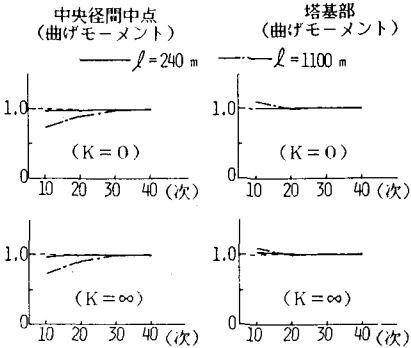


図-3 使用モード次数の検討 (部分定着式)

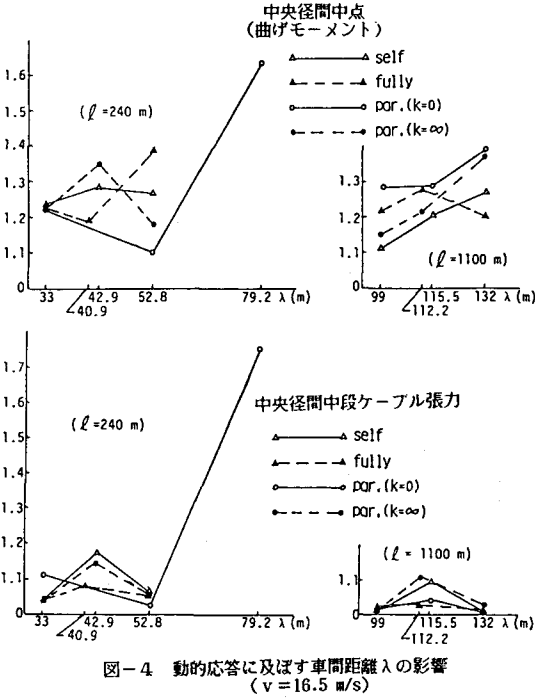


図-4 動的応答に及ぼす車両間距離 λ の影響 ($v=16.5\text{ m/s}$)

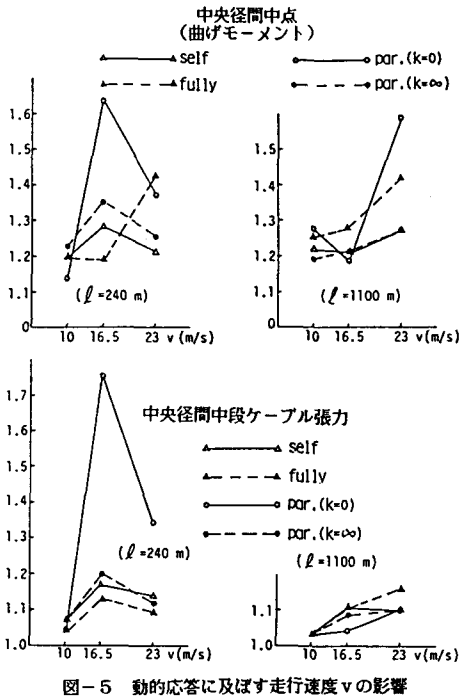


図-5 動的応答に及ぼす走行速度 v の影響