

大阪大学工学部 正 員 川 谷 充 郎
大 分 県 本 田 義 人

1. まえがき 筆者らは、斜張橋の走行荷重下の動的応答と衝撃係数に関して、理論的および実験的研究を行った¹⁾。そこでは、路面を平滑と仮定し、車両を1自由度振動系にモデル化し、それらが共振車頭間隔で連行する場合について解析して、衝撃係数について考察した。一方、これまでの桁橋の走行荷重による動的応答に関して、路面凹凸および車両のモデル化が動的応答に及ぼす影響の大きいことが報告されている²⁾。内谷・彦坂・大塚³⁾は、路面凹凸を考慮した斜張橋の動的応答について、走行車両を固定し、定常ランダム振動の問題として取り扱った。本研究では、路面凹凸および車両のモデル化が斜張橋の動的応答にどのような影響を及ぼすのか、シミュレーション解析により明らかにする。その上で、路面凹凸を考慮した2乗平均値応答に基づく衝撃係数と、共振車頭間隔を有する連行荷重下の動的応答解析に基づく動的増幅率DIFを比較し、斜張橋の衝撃係数の評価について考察するものである。

2. 解析手法 斜張橋を平面構造系の離散質量系に理想化し、マトリックス変形法により、微小変形理論に基づく橋の線形たわみ振動に関する強制振動方程式を導く。また、1台の自動車を1自由度系あるいは前・後輪を考慮した2自由度振動系と仮定し、さらに路面凹凸を考慮して、モード法により橋と車の連成振動方程式を求める。これをNewmark- β 法を用いて逐次積分して斜張橋の動的応答を求める¹⁾。Newmark- β 法における積分時間間隔 Δt は、考慮した最高次振動モードに対応する固有周期の $1/5 \sim 1/6$ とし、 $\beta=1/4$ として、収束精度 $1/1000$ 以内で解を得た。路面凹凸は、モンテカルロシミュレーションに基づき、パワースペクトルから乱数により路面凹凸波形を合成する。

3. 解析モデル (1) 橋梁 図-1に示すように節点数65の離散質量系に理想化したモデルを用いる。橋の構造諸元を表-1に掲げる。

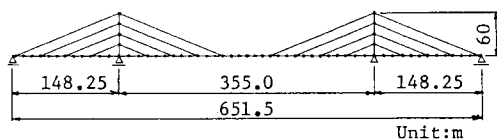


図-1 斜張橋解析モデル

(2) 走行荷重 ばね下質量を無視した1自由度系モデルと、前輪1軸および後輪2軸を考慮した2自由度系モデルを用いる²⁾。連行荷重列として、共振車頭間隔（車頭間隔時間が橋の対称1次固有周期に等しい）を有する荷重列¹⁾および道路橋示方書のL荷重に相当するようなL-20相当荷重列を用いる。それらの走行荷重の諸元を表-2に掲げる。

(3) 路面凹凸スペクトル 路面凹凸スペクトルは、次式により表している。

$$S_r(\Omega) = \frac{\alpha}{\Omega^n + \beta^n} \quad (1)$$

ここに、 Ω は路面周波数を表す。この式において、パラメータ値を $\alpha=0.003\text{cm}^2/(\text{m}/\text{c})$ 、 $\beta=0.02\text{c}/\text{m}$ 、 $n=2.5$ とする⁴⁾。乱数により、そのようなスペクトルを有する路面凹凸波形を30ケース作成する。

4. 解析結果 (1) 動的増幅率 たわみ、曲げモーメントおよびケーブル軸力の代表的な動的増幅率DIFを表-3に掲げる。

a) 車両モデル化の影響 表-3より、路面平滑走行の

表-1 斜張橋構造諸元

主 桁	断面2次モーメント (m^4)	2.1021~2.9197
	単位重量 (t/m)	18.18
	ヤング係数 (t/m^2)	2.1×10^7
塔	断面2次モーメント (m^4)	0.6709~1.7036
	単位重量 (t/m)	3.00 ~6.09
	ヤング係数 (t/m^2)	2.1×10^7
ケーブル	断面積 (m^2)	0.0597~0.0767
	ヤング係数 (t/m^2)	2.0×10^7
対数減衰率		0.02

表-2 車両諸元

荷重列	共振車頭間隔を有する荷重列	L-20相当荷重列
総重量 (t)	50.0, 39.3	20.0, 15.0
自由度	1or2	1or2
固有振動数 (Hz)	3.0	3.0
慣性モーメント (tm^2)	135.0, 100.11	50.94, 36.21
減衰定数	0.03	0.03
走行速度 (m/s)	16.7	11.1
車頭間隔 (m)	47.628	14.0
連行台数	3	7

場合は、共振車頭間

隔を有する荷重列によるDIF およびL-20相当荷重列による

DIF 共に、車両モデル化の相違の影響は非常に小さい。一方、

路面凹凸を考慮した

場合は、2種類の荷重列によるDIF 共に車両のモデル化の相違の影響を受ける。すなわち、走行車両を前後輪を考慮した2自由度振動系にモデル化した場合は、1自由度振動系にモデル化した場合に比べて、応答振幅が小さくなり、DIF が小さくなる。

b) 路面凹凸の影響 路面凹凸の動的応答に及ぼす影響について、動的増分に着目すると表-3に掲げるように、

路面凹凸の影響は共振車頭間隔の場合よりもL-20相当荷重列の場合に大きい。この原因は、共振車頭間隔の場合には、荷重の橋への進入時間間隔に基づく共振現象により動的応答が大きくなっているの、さらに路面凹凸が加わってもその影響がL-20相当荷重列の場合ほどに顕著に現れないためと考えられる。

c) 車頭間隔の影響 連行荷重列の車頭間隔が動的応答に及ぼす影響について、表-3より、共振車頭間隔を有する荷重列の場合は、L-20相当荷重列の場合に比べてDIF は格段に大きくなっている。

(2) 衝撃係数の評価 路面凹凸の影響を考慮して衝撃係数の評価を行うために、30ケースの路面凹凸波形を発生させ、それぞれについて2自由度系にモデル化したL-20相当荷重列による動的応答解析を行い、各着目点ごとに2乗平均値応答を求めた。路面凹凸波形が30ケースであるため2乗平均値応答の変動が激しい。そこで、移動平均をとり、静的応答値が最大となる荷重位置における2乗平均値を求めて、表-4のr.m.s.の欄に掲げる。2乗平均値および路面平滑とした場合の動的増幅率 DIF_{rat} を用いて衝撃係数を次式により定義する。

$$i_{rms} = DIF_{rat} + 2 * r.m.s. \quad (2)$$

各着目断面ごとの i_{rms} と、平滑な路面上を1自由度系車両が共振車頭間隔で連行する場合の動的増幅率 DIF_r と比較して、表-4に掲げる。 i_{rms} と DIF_r の差異は高々±7%である。 i_{rms} を求めるためには路面凹凸波形のサンプル関数による動的応答解析を繰り返す必要があり、ただ1回の動的応答解析による DIF_r を用いて衝撃係数の評価ができるなら、計算効率の面からは効果的である。この場合の i_{rms} は、路面凹凸スペクトル密度が3.(3)項に示すような条件のもとでの結果である。ここで用いた路面凹凸スペクトル密度は、阪神高速道路における実測スペクトルに基づいて安全側に決められたものである⁵⁾。このことを考慮すれば、 DIF_r により斜張橋の衝撃係数を評価することが可能であると判断できる。

参考文献 1) 小松定夫・川谷充郎：土木学会論文報告集，No.275，1978.7.

2) 川谷充郎・小松定夫・佐々木 孝：土木学会論文集，No.392/I-9，1988.4.

3) 内谷 保・彦坂 熙・大塚久哲：構造工学論文集，Vol.33A，1987.3.

4) 嶋田玲志・川谷充郎：本講演概要集，1988.10.

5) 川谷充郎・小菅 朗・嶋田玲志・小松定夫：構造工学論文集，Vol.33A，1987.3.

表-3 動的増幅率の比較

荷重列		共振車頭間隔を有する荷重列				L-20 相当荷重列			
路面凹凸		平滑		凹凸有り		平滑		凹凸有り*	
荷重モデルの自由度		1	2	1	2	1	2	1	2
た わ み	中央径間中央部	1.0964	1.0949	1.1190	1.1051	1.0034	1.0032	1.0197	1.0129
曲げモーメント	中央径間中央部	1.0550	1.0484	1.4167	1.2345	1.0080	1.0064	1.1584	1.0782
ケーブル軸力	中央径間最下段	1.0680	1.0586	2.0137	1.6022	1.0076	1.0063	1.1419	1.0719
ケーブル軸力	中央径間最上段	1.0822	1.0829	1.1258	1.1017	1.0049	1.0042	1.0200	1.0128

*L-20相当荷重列の凹凸有りのDIFは、30ケースの平均値

表-4 衝撃係数

		DIF_{rat}	r.m.s.	i_{rms}	DIF_r
緑 応 力 度	中央径間中央部	1.0082	0.0401	1.0884	1.0646
	最上段ケーブル定着部	1.0064	0.0578	1.1220	1.0550
	第2段ケーブル定着部	1.0118	0.0547	1.1212	1.0697
	中間支点	1.0091	0.0240	1.0571	1.0705
	側径間中央部	1.0127	0.0292	1.0711	1.1360
	塔 基 部	1.0069	0.0675	1.1419	1.1040
ケーブル軸力	最下段ケーブル(中央)	1.0063	0.0318	1.0699	1.0680
	最下段ケーブル(側)	1.0070	0.0308	1.0686	1.0792
	最上段ケーブル(中央)	1.0042	0.0052	1.0146	1.0822
	最上段ケーブル(側)	1.0045	0.0047	1.0139	1.0612

* DIF_r は 路面平滑，1自由度系車両が共振車頭間隔で連行する場合のDIF