

金沢大学大学院 学生員・大嶋信太郎
金沢大学工学部 正会員 梶川康男

1. ま え が き

橋梁構造物は移動荷重の通過に伴って振動する。この問題に対して橋梁の設計としてはたわみや応力の静的成分に対する動的成分の比率をとり、衝撃係数として処理している。また歩行者の振動感覚を対象とする場合には振動速度や振動加速度を対象にしてきた。したがって、従来応力や振動が問題となり、防振あるいは補強を考えるときにはたわみを小さくすること、すなわち剛性を上げることに主眼を置いてきたように思われる。^{1),5)}ところが、近年橋梁特に都市内高架橋が地盤振動や低周波空気を振動などという環境問題に直面させられている。このような問題を考えるとき、はたして剛性を上げることで地盤振動や空気振動は減少するであろうか、という疑問が生じてくる。また、その効果を評価するとき、上部構造のたわみや速度にのみ着目しているのは効果判定を誤ることにならないだろうか。まだまだ、模索中であるが、本文では低周波空気を振動の要因として、上部構造の振動速度をとり、²⁾地盤振動への伝播要因として橋脚への支点反力を取り、剛性を上げることによって、これらをどの程度減少させることができるかを検討した。

2. 防振・制振対策

表-1に、いろいろな防振対策を示した。これらがすべて実現可能であるとは限らないが、近年いろいろな試みが行われている。振動問題を扱う際、一般に次式が用いられる。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \quad (1)$$

振動を小さくしようすると結局、上式の左辺の係数 M , C , K を大きくするか、右辺の外力 F を小さくして応答 $\dot{X}$, X を小さくすることとなる。そこで、表-1に各対策によってどの係数の変化が主に期待できるかを示した。

3. モデル橋と自動車-橋梁系の運動方程式

図-1に示した支間長30mの橋梁(単線桁3連と等3径間連続桁)を対象とし、防振対策は表-1にあるようにいろいろ考えられるが、その基本的対策である剛性増加をした桁(それぞれの桁の剛性を21%増加し、振動数を10%高めた桁)を考えることにした。このような4つのモデル橋を図-2に示すように2自由度モデルの自動車が走行したときの動的応答量を求めた。ある振動モードに対する桁の運動方程式は次式で表わされる。

$$\ddot{y}_m(t) + 2\zeta_m \omega_m \dot{y}_m(t) + \omega_m^2 y_m(t) = \{G(\ddot{z}_r - \ddot{y}_v) + k_r(\ddot{z}_r - \ddot{y}_v) - (m_r + m_r)\ddot{y}_v\} \cdot \phi_m(vt) \quad (2)$$

一方、自動車の運動方程式は次式となる。

$$m\ddot{z} + (c_s(\ddot{z} - \ddot{z}_r) + k_s(z - z_r)) = 0 \quad (3)$$

$$m_r\ddot{z}_r + (c_s(\ddot{z}_r - \ddot{z}) + k(z - z_r) + G(\ddot{z}_r - \ddot{y}_v) + k_r(\ddot{z}_r - \ddot{y}_v)) = 0 \quad (4)$$

そして、桁の変位は $y(t, x) = \sum y_m(t) \phi_m(x)$ で表わされ、車両載荷位置での路面は $y_v = y(t, x_v) + z_r(x_v)$ である。なお、振動モード $\phi_m(x)$ は次式で表わされるものとする。

$$\phi_m(x) = A \cos \beta x + B \sin \beta x + C \cosh \beta x + D \sinh \beta x \quad (5)$$

表-1 防振・制振対策と主目的

(○印は変化が期待できることに対する)

番号	防振・制振対策	質量	減衰	剛性	外力
1	質量の増加	○			
2	主げた・主構の補強			○	
3	ポスト・テンションによる補強			○	
4	支間途中をケーブルで吊る			○	
5	支間途中に支点を設ける			○	
6	動吸振器を取付ける		○	○	
7	粘性ダンパーを取付ける		○		
8	主げた端部の弾性拘束	○		○	
9	隣接径間げたとの連結(連続げた化)	○		○	
10	上下部剛性結	○	○	○	
11	主水部・改良			○	○
12	伸縮継ぎ手の改良				○
13	舗装路面の凹凸を改善				○
14	予想される外力と反対方向に力を加える				○
15	交通量・通行車両・走行速度の制限				○

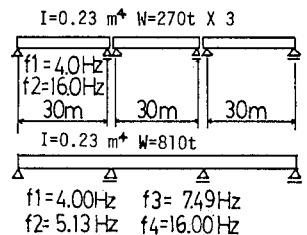


図-1 対象としたモデル橋

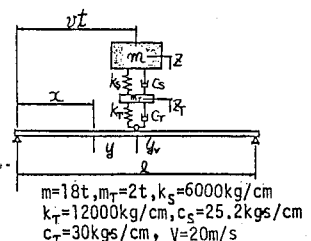


図-2 用いた2自由度自動車モデル

4. 動的応答の数値計算

橋梁上の路面凹凸については文献3)に基づいてシミュレーションした路面を用い、さらに伸縮継手部の凹凸については文献4)を参考にして1cmの段差(路面凹凸の一部)を考えた。このような路面上を20m/sの速度で自動車が行ったときの、たわみ・振動速度・反力の計算例を図-3に示した。図-3では、すべて左側に単続桁、右側に3径間連続桁の結果を示した。まず、(1-a, b)は支間中央点のたわみの応答である。単続桁に比較して連続桁のたわみが小さくなっていることがわかる。(2-a, b)は橋脚への鉛直反力(単続桁では2つの支点反力の合計)であり、単続桁では直上の伸縮継手部の段差のために衝撃的な反力が加わり最大31.3tに達しているが、連続桁ではそのような衝撃はなく、桁の慣性力が卓越した形となっており最大27.4tである。しかし、この反力には自動車の静荷重分が含まれており、下部構造への動的な入力が増したか否かの判断は難しい。そこで、実効値(RMS)の方が望ましいと考え、反力の動的成分のみの、しかも1秒間の実効値を示したのが(3-a, b)である。そして、剛性を高めた橋梁の反力の実効値を(4-a, b)に示した。実効値から判断すると剛性を高めてもあまり反力を減少させることは期待できないようである。

つぎに、振動速度についても(5-a, b)に実効値で示した。さらに、剛性を高めた場合が(6-a, b)である。位相波空振動の要因として考えた振動速度であるが、これは剛性を高めることによって、ある程度効果があるように思われる。

5. あとがき 本文では、地盤への伝播源として橋脚への鉛直反力をとったが、橋脚ではロッキングやスウェイの振動が生成して生ずるとされており、鉛直反力の偏心や橋脚先端での水平力などを考えねばならないとともに、地盤をも含めた総合的な解析の必要性を痛感している。今後の課題としたい。

<参考文献>

- 1) 草川大島根川: ランガー桁橋の防振対策とその制御効果について, 土木学会第36回年次学術講演会 I-174, 1981.
- 2) 今市辻本高島根川: 道路橋の振動に伴う音響放射の理解, 土木学会論文報告集46巻108号, 1980.
- 3) 本城戸部小堀: 道路橋の路面凹凸パワースペクトル密度に関する調査, 土木学会論文報告集315号, 1981.
- 4) 本城戸部小堀: 道路橋の伸縮継手部の凹凸特性, 土木学会論文報告集第324号, 1982.

5) M. Abdel-Rohman & H.H. Leipholz: Active control of flexible structures,

Proc. of ASCE, Vol. 104, No. ST8, 1978.

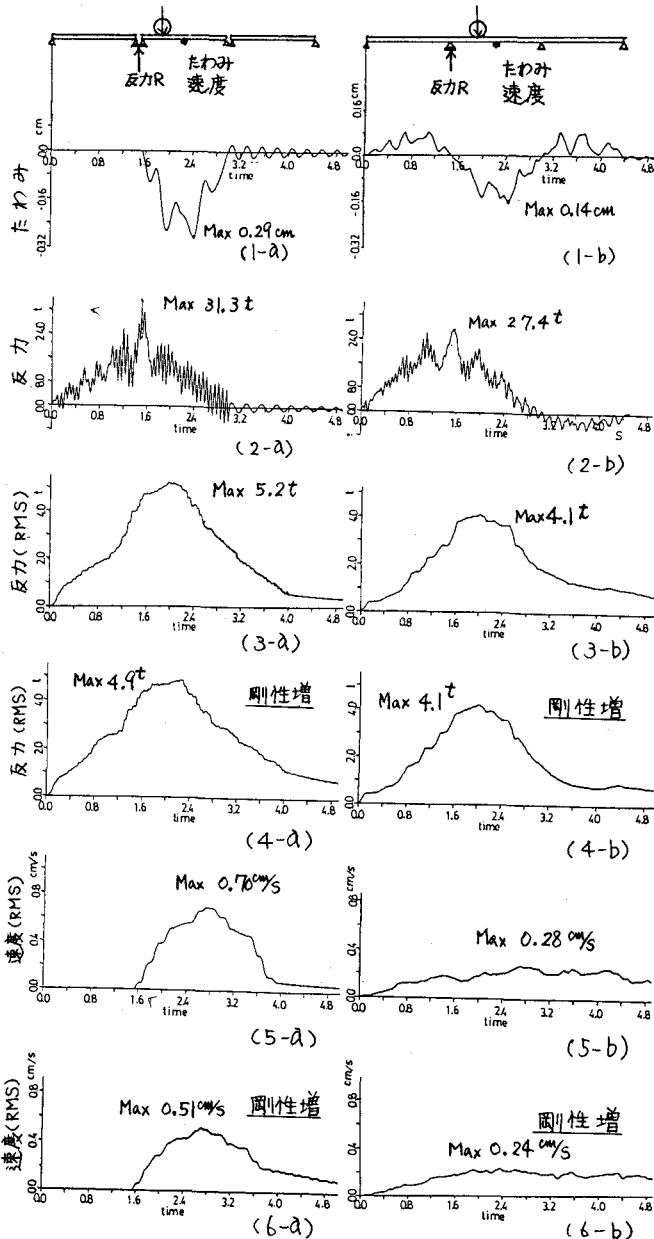


図-3 単続桁と連続桁の動的応答