

曲げとねじりを同時に受ける桁橋の振動特性について

大阪市立大学工学部 正員 橋 善雄

〃 中井 博

阪神道路公团 〃 橋本良之

今、山度鋼板や鋼床版などの新しい材料や工法の普及に伴って、長大でしかも幅員の広い桁橋が建設されているが、この種の橋梁は他の型式のものと比較するとスレンダーであるのでたやすく、従って振動しやすいものである。従来、桁橋の振動は曲げ振動を対象として研究されてきているが、2車線以上の幅員を有する桁橋の場合、移動荷重は偏心載荷するので、主桁は曲げ振動とねじり振動を同時に受けることになる。そこで、本文は偏心載荷する場合の桁の動的レスポンスを調べようとするものである。数値計算は図-1に示す3径間連続直線桁橋について行ったものと示す。なお、本橋は実験を行ったので、その結果を合せて報告する。

まず、振動解析を行うとき、曲げ振動およびねじり振動の固有振動数やモードを明確にする必要がある。ところで、図-1に示す左右対称断面の桁橋では鉛直曲げ振動(固有振動数 $p_{i,v}$)は独立であるが、ねじり振動(固有振動数 $p_{i,\theta}$)は水平曲げ振動(固有振動数 $p_{i,h}$)と自由振動するとき連成し、その時の固有振動数 $p_{i,p}$ で与えられるようになります。

$$p_i^2 = \frac{(p_{i,h}^2 + p_{i,v}^2) \pm \sqrt{(p_{i,h}^2 + p_{i,v}^2)^2 \pm 4(I_g/I_s)p_{i,h}^2 p_{i,v}^2}}{2 \cdot (I_g/I_s)} \quad \dots (1)$$

この式より $p_{i,p}$ のずれは圆心とせん断中心に因する極断面2次モーメントとの比 I_g/I_s に左右されることがわかる。図-2は I_g/I_s 値と $p_i/p_{i,v}$ と $p_i/p_{i,h}$ の相関を示す。しかし、実験値($I_g/I_s = 0.95$)に対するものを図中に印でプロットしてあるよう、桁橋の場合一般に I_g/I_s 値はほとんど1と差してもよく、ねじり振動の $p_{i,p}$ 値のずれは無視してよいことがわかる。実験桁についての固有振動数(c/s)の計算結果を表-1に示す。

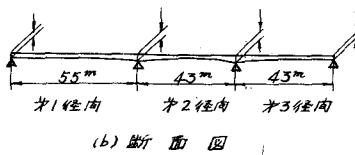
表-1. 固有振動数(c/s).

振動次数	1	2	3	4
鉛直曲げ振動	1.65	2.42	3.73	6.33
ねじり振動	9.70	14.3	22.1	37.4

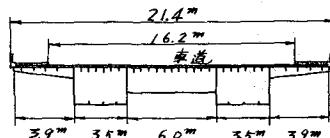
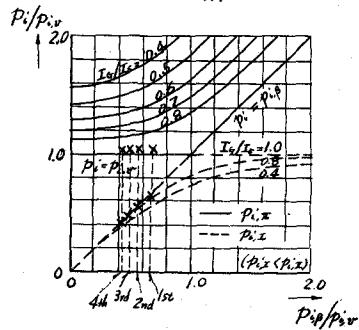
実験結果、鉛直曲げ1次は1.74c/s(95%), 鉛直曲げ2次は3.12c/s(78%)であった。なお対数減衰率は曲げ1次振動に対して0.087であった。

図-1 実験桁一般図

(a) 側面図



(b) 断面図

図-2 $p_i/p_{i,v}$ と $p_i/p_{i,h}$ の相関の係

次に強制振動の簡単な場合として、起振機で鉛直周期力 $F \sin \omega t$ を橋中心線から距離 e の点に偏心載荷したとき、その断面内で距離 e' だけ偏心した点の強制振巾の定常解は、

$$W_d = F \left[\sum_{i=1,3} \frac{1}{K_{wi} \sqrt{(1-d^2/p_{i,w})^2 + (C_{iw}/p_{i,w})^2}} \sin(\omega t - \theta_{iw}) + e e' \sum_{i=1,3} \frac{1}{K_{pi} \sqrt{(1-d^2/p_{i,p})^2 + (C_{ip}/p_{i,p})^2}} \sin(\omega t - \theta_{ip}) \right] \quad (2)$$

である。ここで K はバネ常数、 C は減衰係数を意味し、 θ は位相角である。

$$\begin{aligned} \theta_{iw} &= \tan^{-1}(C_{iw}/p_{i,w})(d/p_{i,w})/(1-d^2/p_{i,w}^2), \\ \theta_{ip} &= \tan^{-1}(C_{ip}/p_{i,p})(d/p_{i,p})/(1-d^2/p_{i,p}^2) \end{aligned} \quad (3)$$

計算例として実験結果の一径向中央断面についての強振曲線を図-3に示す。この図で α が 1.65% ~ 9.70% の範囲では起振側の橋の強制振巾が小さく、逆に起振していない側の強制振巾が大きい現象が現われ、静的載荷 ($d=0$) 時と著しく相違する。これは曲げ振動とねじり振動との位相差のためである。図-4は α/p 値と位相角 θ の関係を示したものであるが、例へば $\alpha = 4\%$ として各振動についての位相角を X 軸でプロットしてみれば、曲げ振動とねじり振動には 180° の位相差があり、式(2)より明らかなる上述の現象が起るものである。

ところで、自動車が橋上を偏心して走行する場合の橋のレスポンスは、橋の曲げ振動、ねじり振動と自動車の振動が連成する過度的な振動で、しかも橋と自動車の固有振動数、減衰係数や自動車の起振力、走行速度が関係するので複雑であるが、アナログ計算機を用いて容易に計算することができた。図-5は自動車1台(固有振動数 2.61/s, 初期値は実験データを使用)を偏心して走行させたときと、橋中心線上を走行させたときの各径向中央断面のレスポンスを計算し、そのときの動たわみ(片振巾) W_d と静的たわみ W_s とから衝撃係数を

$$Impact = W_d/W_s \quad (4)$$

として求めたものを示す。いずれの径向でも、自動車を偏心して走行したときには、橋中心線上を走行させた場合より主橋の衝撃係数の値がかなり小さくなることを示している。これは自動車を偏心して走行させた場合、主橋の静的たわみ W_s は橋中心線上を走行させた場合大きくなるのに反し、動的たわみ W_d は本橋の場合、上述のような曲げ振動とねじり振動の位相差の関係で小さくなり、従って偏心して走行したとき衝撃係数が小さくなるものと思われる。なお、図中には実測値もプロットしてあるが、本橋の衝撃係数はやや大きな値であった。これは鋼床版の舗装の凹凸が原因したものと思われる。

図-3 共振曲線

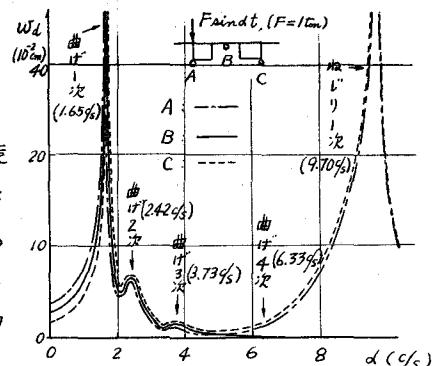


図-4 α/p と θ の関係

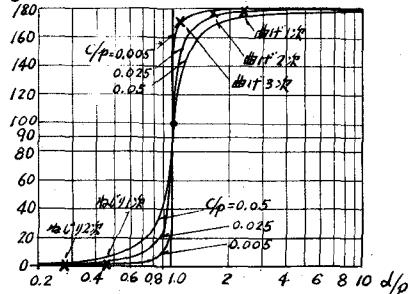


図-5 衝撃係数の計算値と実測値

