

IV-25 長大橋における軌道設計上の問題点

東京大学工学部 正員 八十島義之助

正員 伊藤 孝

学生員 西岡 隆

吊橋は他の橋梁形式と比較して、長大スパンをとることが出来るにもかかわらず、従来単に道路橋として利用されて来たにすぎない。これまで吊橋が、鉄道橋として殆んど用いられて来なかった大きな理由は、吊橋構造の特性として、その剛性が比較的小さく、そのため局部的に大きな活荷重である列車荷重によって、かなりの変形が生ずる事、又槌打作用による影響が他の橋梁形式よりも大きいと考えられる点である。したがってこれらの点が解決されれば、吊橋によって長大スパンの鉄道橋をかなり経済的に作ることも可能となる。ここでは鉄道吊橋上を走行する車輛の安全性を考察すると共に、列車の走行速度に応じて変化する振動の問題点を、種々のスパンをもつ三径間吊橋について、電子計算機をもちいて解析を試みた。

一般に吊橋の振みを求める方法は色々あるが、列車の走行速度と関連づけて考えた場合には、エネルギー的に求めるのが有効である。吊橋の振み $\eta(x, t)$ は位置と時間の関数で表わすことが出来るから

$$\eta(x, t) = \sum_r g_r(t) \cdot \Phi_r(x) \quad (1)$$

とおくことが出来る。ここで $\Phi_r(x)$ は三径間吊橋の r 次の固有振動数、 ω_r に対応する基本振動波形で、フーリエ級数に展開して

$$\begin{aligned} \Phi_r(x) &= \sum_n A_{rn} \sin \frac{n\pi x}{L} & (\text{主径間}) \\ \Phi_r(x) &= \sum_n \bar{A}_{rn} \sin \frac{n\pi x}{L} & (\text{側径間}) \end{aligned} \quad (2)$$

一方減衰性を無視した場合 Lagrange の運動方程式は

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{g}_r} \right) + \frac{\partial V}{\partial g_r} - \frac{\partial T}{\partial g_r} = Q_r \quad (3)$$

で表わされ、吊橋では③式の各値は

$$\begin{aligned} T &= \frac{w}{2g} \sum_r \dot{g}_r^2 \int_L \Phi_r^2 dx \\ V &= \frac{EI}{2} \sum_r g_r^2 \int_L \Phi_r''^2 dx + \frac{Hw}{2} \sum_r g_r^2 \int_L \Phi_r' \Phi_r'' dx + \frac{K}{2} \sum_r g_r^2 \left(\int_L \Phi_r dx \right)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

(ただし $K = \gamma^2 \frac{E_c A_c}{L_c}$)

以上から③式の一般解は

$$(\ddot{g}_r + \omega_r^2 g_r) \int_L \Phi_r dx = \frac{Q_r}{w/g} \quad (5)$$

をとけばよい。ここで w は吊橋の単位長さ当りの死荷重であり、 Q_r は一般座標で表わした外力で、集中荷重 P が定速度、 v で走行する時は、

$$Q_r = P \Phi_r(vt) \quad (6)$$

で表わされる。以上から⑤式を解くと、

$$g_r(t) = A_r \cos \omega_r t + B_r \sin \omega_r t + \frac{P \int_0^t \Phi_r(vt) \sin \omega_r(t-t) dt}{\omega_r \cdot w/g \int_L \Phi_r^2 dx} \quad (7)$$

を得る。

以上求めた吊橋の撓み式を基に、適当な三径間吊橋を例にとって、鉄道橋として吊橋をもちいた時に生ずるいくつかの問題点を数値的に考察した。これらの問題点を列举すれば、

(1) 列車荷重直下の撓み

走行速度の変化に応じてどの程度撓みが増加するかを考察した。特に静的撓み(走行速度=0)と比較してみた。

(2) 列車の走行勾配(列車の進行していく方向)と、列車直下の撓み勾配(車輛の傾き)即ち

$$\text{走行勾配} = \frac{d\eta(x,t)}{dx}$$

$$\text{列車直下撓み勾配} = \left\{ \frac{\partial \eta(x,t)}{\partial x} \right\}_{t=\text{const.}}$$

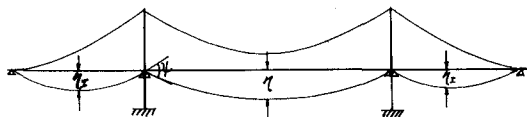
で表わされる。これらが安全な範囲にあるかを調べる必要がある。

(3) 中間支点での桁の折れ角(図参照)

中間支点での桁の折れ角を表わす式は以下の如くである。

$$\psi(t) = \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)_{x=l} - \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)_{x=l}$$

かなりの量になることが予想され、そのために特殊な軌道構造にしなくてはならないと考えられる。



(4) 桁の伸縮量

三径間吊橋では中間支点で活荷重、温度変化によって、大きな伸縮量が桁に生じ、伸縮継手としての特別な軌道構造を考えなければならない。桁の伸縮量を Δl で表わすと、

$$\Delta l = \frac{\pi}{2} \left\{ d \sum_{r=1}^{\infty} r^2 g_r(t) - \frac{\pi}{4} \sum_{r=1}^{\infty} r^2 \{ g_r(t) \}^2 \right\}$$

(ただし $r=2, 4, 6, \dots$ の時 $\eta-r$ 項=0)

ここで d は補剛桁の桁高である。

(5) 桁が車輛におよぼす上下方向の加速度

桁の振動によって生ずる上下方向の加速度が、列車の走行上どの程度の影響をおよぼすかについて調べた。

以上の問題点について検討した。結果については講演にゆずる。実際の計算にあたっては基本振動波は近似的に三次までのフーリエ級数に展開し、吊橋の固有振動数の計算は、Bleich の理論を用いた。