I-67　定常ランダム走行応答に基づくゲルバー桁橋の衝撃係数について

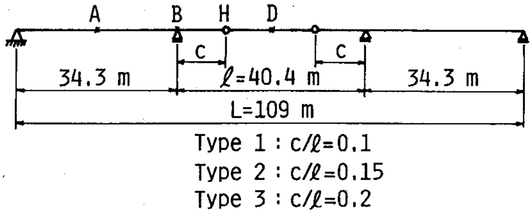
鹿児島工業高等専門学校　正員　内谷　保
九州大学工学部　正員　彦坂　熙

1．まえがき

現行の道路橋示方書に規定されている鋼橋の設計衝撃係数 $i=20/(50+L)$（L：支間）において，鋼ゲルバー桁橋では荷重の載荷位置によって異った支間Lの値を用いるようになっている。しかし，この規定の根拠は必ずしも明確であるとは思えない。本研究は，ゲルバー桁橋の橋面の不規則凹凸を考慮して連行自動車荷重に対する定常ランダム走行応答解析を行い，たわみおよび曲げモーメント応答に基づいた衝撃係数の各種パラメータの変化による影響を調べたものである。なお，連行自動車荷重としては現行道路橋示方書に規定されているL－20荷重相当の大型自動車荷重列[1]を用いる。

2．3径間ゲルバー桁橋の自由振動性状

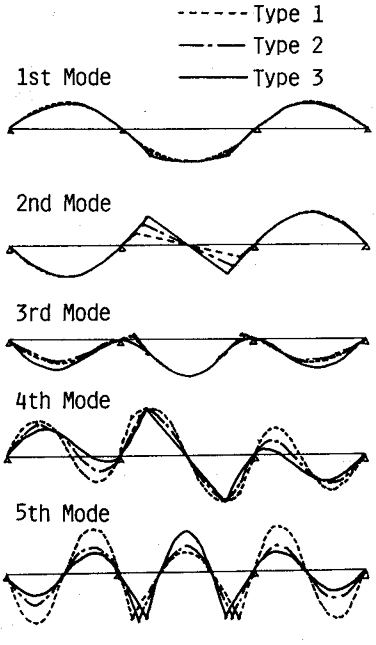
本論では，図－1に示すような3径間ゲルバー桁橋（曲げ剛性 $EI=15.8\times10^5\ t\cdot m^2$，単位重量 $w=5.96\ t/m$）を対象とし，片持ち径間と中央径間との比を $c/\ell=0.1$（Type 1），$c/\ell=0.15$（Type 2）および $c/\ell=0.2$（Type 3）と変えた3つのタイプを考える。本橋の自由振動解析には集中質量法を用い，各々のタイプの1～5次までの固有振動数と固有振動モードを表－1および図－2に示す。なお，以下の応答解析に用いる減衰定数は次数に関係なく $h_n=0.01$ とする。



図－1．3径間ゲルバー桁橋

表－1．ゲルバー桁橋の固有振動数

タイプ＼次数	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次
Type 1	1.85 Hz	2.09 Hz	2.62 Hz	6.93 Hz	8.03 Hz
Type 2	1.76 Hz	2.02 Hz	3.12 Hz	5.85 Hz	7.55 Hz
Type 3	1.62 Hz	1.91 Hz	3.40 Hz	4.84 Hz	7.83 Hz



図－2．固有振動モード

3．定常ランダム応答の分散と衝撃係数の算定

図－3に示すように，橋面の不規則凹凸 $\Delta(x)$（平均値零の定常ランダム過程）を有するゲルバー桁橋にN台の連行車両（重量 P_j，固有円振動数 ω_j，減衰定数 h_j，$j=1,2,\cdots,N$）がある固定された位置で走行中の不規則振動を及ぼしているものとするとき，橋梁のたわみ応答 $Y(x,t)$ は定常ランダム過程となり，その平均値からの偏差（動的増加たわみ）を $y(x,t)$，各車両の鉛直変位を $z_j(t)$（$j=1,2,\cdots,N$）とする。ゲルバー桁橋の m 次の固有振動モードを $\phi_m(x)$，基準座標を $q_m(t)$ とすれば $y(x,t)$ は次式で表わされる。

$$y(x,t)=\sum_m \phi_m(x)\,q_m(t) \qquad (1)$$

ここに，$q_m(t)$ は平均値零の定常ランダム過程であり，連行車両－橋梁系の運動方程式は次式で与えられる。

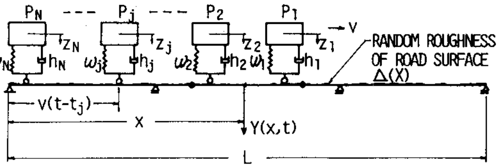
$$\ddot{q}_m(t)+2h_m\omega_m\dot{q}_m(t)+\omega_m^2 q_m(t)=-\frac{1}{M_m g}\sum_{j=1}^{N}P_j\,\phi_m[v(t-t_j)]\,\ddot{z}_j(t) \qquad (2)_a$$

$$\ddot{z}_j(t)+2h_j\omega_j\dot{z}_j(t)+\omega_j^2 z_j(t)-\omega_j^2\sum_m \phi_m[v(t-t_j)]\,q_m(t)=\omega_j^2\Delta[v(t-t_j)] \qquad (2)_b$$

ここに，ω_m，h_m，M_m はゲルバー桁橋の m 次の固有円振動数，減衰定数および換算質量であり，v は連行車両の

走行速度，t_jはj台目の車両が橋梁に進入する時刻を示し，$t_1=0$である。いま，橋梁の動的増加たわみ$y(x,t)$は式(1)で与えられるので，$y(x,t)$の2乗平均値すなわちたわみ応答$Y(x,t)$の分散$\sigma_Y^2(x)$は次式で与えられる。

$$\sigma_Y^2(x)=E[y^2(x,t)]=\sum_m\sum_n\phi_m(x)\phi_n(x)E[g_m(t)g_n(t)] \qquad (3)$$



図－3 連行車両－橋梁系の解析モデル

また，曲げモーメント応答の分散$\sigma_M^2(x)$は式(1)を用いて次式で与えられる。

$$\sigma_M^2(x)=E[\{-EI\,\partial^2y(x,t)/\partial x^2\}^2]=(EI)^2\sum_m\sum_n\phi_m''(x)\phi_n''(x)E[g_m(t)g_n(t)] \qquad (4)$$

ただし，$\phi_m''(x)=d^2\phi_m(x)/dx^2$を示し，ここでは支間を適当に分割して各分割点を差分点とする差分式により算出する。また，式(3),(4)の$E[g_m(t)g_n(t)]$は橋面の不規則凹凸$\Delta(vt)$（パワースペクトル密度$S_\Delta(\omega)=2\alpha va/(\omega^2+\alpha^2)$，$a$は凹凸の良否を示す定数）を定常ランダム入力として定常不規則振動論により式(2)a,bを解いて求められる。[1]

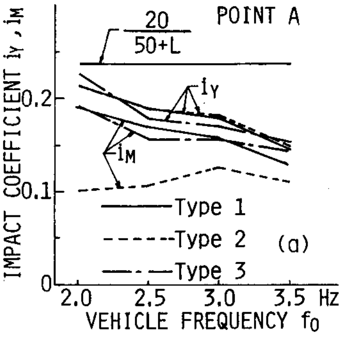
つぎに，ゲルバー桁橋の衝撃係数はある着目点xにおける静的たわみまたは静的曲げモーメントが最大となる連行自動車荷重の載荷状態に対して上述の式(3),(4)より応答の標準偏差$\sigma_Y(x)$,$\sigma_M(x)$を求め，次式で評価する。

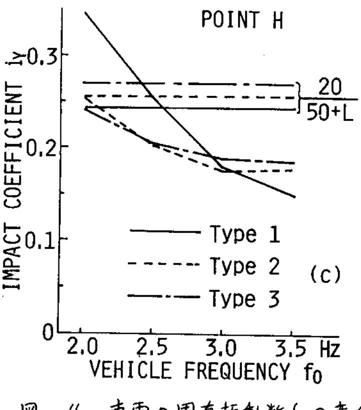
$$i_Y=2\sigma_Y(x)/Y_{st.max.}(x) \qquad (5)_a \quad , \quad i_M=2\sigma_M(x)/M_{st.max.}(x) \qquad (5)_b$$

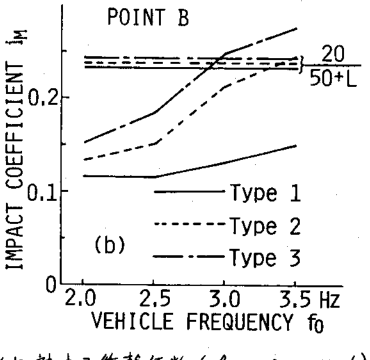
ここに，i_Y,i_Mはたわみ応答および曲げモーメント応答に基づく衝撃係数を示し，$Y_{st.max}(x)$,$M_{st.max}(x)$は着目点xにおけるたわみおよび曲げモーメント影響線より求めた静的最大たわみおよび静的最大曲げモーメントを示す。

4. 数値計算例

図－1に示すA点（定着スパン中点），B点（中間支点），H点（ヒンジ点）およびD点（吊りスパン中点）の4点を着目点として式(5)a,(5)bより衝撃係数を計算する。L－20荷重相当の連行自動車荷重の固有振動数，減衰定数および走行速度は各車両ともすべて等しいものとする。パラメータとしては車両の固有振動数f_0，走行速度vおよび減衰定数h_0などを考え，橋面凹凸の良否を示す定数aは10^{-3}cm²/mとした。図－4(a),(b),(c)は車両の走行速度を$v=10$m/s，減衰定数を$h_0=0.03$と固定して固有振動数f_0のみを変化させた場合の着目点A,B,Hにおける衝撃係数i_Y,i_Mの値を各タイプに対して現行道路橋示方書の規定値と併に示したものである。なお，示方書の規定値$i=20/(50+L)$を求めるための支間Lは着目点Aでは定着スパン長を，着目点B，Hでは吊りスパン長を用いた。これは，それぞれのスパンに連行車両が載ったときそれぞれの着目点の静的応答が最大となるからである。







図－4 車両の固有振動数f_0の変化に対する衝撃係数（$h_0=0.03$, $v=10$m/s）

図－4(a)の着目点Aに対してはi_Yとi_Mの両方を示しているが一般にi_Yの方がi_Mより大きいようである。また，f_0が大きくなればi_Y,i_Mとも小さくなる傾向を示している。この傾向は図－4(c)のH点においても同様で，特に片持ち径間の短いタイプ1ではその傾向が顕著である。これに対して，図－4(b)のB点では逆にf_0の増大につれてi_Mの値も大きくなる傾向を示している。そして，各タイプによるi_Mの値にもかなりの差が見られ，片持ち径間が長くなる程衝撃係数の値も大きくなっている。この場合，示方書の規定値も同様の傾向を示している。他のパラメータに対する結果については講演当日発表する。

[参考文献] 1). 内谷・彦坂：昭和54年度土木学会西部支部研究発表会講演集，p5～6.