

東洋大学 学生員 村沼康浩

東洋大学 正員 小泉 淳

東洋大学 正員 新延泰生

I. まえかき

車両などの走行荷重によって橋梁には有害な振動が発生する。この原因としては、(1)車両などが橋面上を発進または停止する際の動的影響、(2)橋面上の不陸による車両の振動、(3)橋梁端部やヒンジ点の伸縮装置などを車両が通過する際の衝撃作用などと考えられる。これらのうち(1)、(2)については既に多くの研究がなされ、その成果が実際の設計に反映されているが、(3)については、未だ充分な研究がなされていないように思われる。とくに移動荷重がヒンジ点を通過する際の衝撃作用については数例の報告を見るにすぎない^{1)~3)}。

一般に、ヒンジ点を有しない連続桁橋に比較して、ヒンジ点を有する桁橋は振動が大きくなること知られている。これは、ヒンジを有する桁橋では、ヒンジを通過する車両が、ヒンジ点のたわみ角の不連続性から桁に大きな衝撃作用を与えるためと考えられる。本研究はこの点に着目し、中央径間にヒンジを有する三径間連続桁橋を対象として模型実験および理論解析により、ヒンジ点を移動荷重が通過する際に生じる衝撃作用が移動荷重の速度、重量および桁の径間割によってどのように変動するかを検討したもので、昨年度の模型実験の報告の続きとして今回は理論解析を中心として述べる。

II. 解析モデルと基礎方程式

解析モデルをFig. 1に示す。図示の桁上を移動荷重が一定速度で走行するときの、桁の動的たわみに関する履歴を求める。解析を行うに際して次のような仮定を設けた。

(1) 桁は三径間連続桁で、中央径間にヒンジを有する、左右対称な形式とする。

(2) ヒンジはせん断力だけを伝達し、曲げモーメントは伝達しないものとする。

(3) 移動荷重は桁のたわみ曲線に沿って、水平方向に一定速度で走行する。

(4) 移動荷重の回転慣性力は無視する。

桁の任意の位置における動的たわみ $y(t, x)$ は、モデル解析から一般座標 $\beta_i(t)$ 、基準関数 $\phi_i(x)$ を用いて次のように示される。

$$y(t, x) = \sum_i \beta_i(t) \cdot \phi_i(x) \quad (1)$$

上式中の $\phi_i(x)$ は i 次振動の固有振動モードを表わしている。桁の運動方程式は、以下の式で示される。

$$\ddot{\beta}_i(t) + \frac{m \phi_i(x=vt)}{\int_0^L \rho A \phi_i^2 dx} \cdot \sum_j \ddot{\beta}_j(t) \cdot \phi_j(x=vt) + 2h \dot{\beta}_i(t) + \omega_i^2 \beta_i(t) = \frac{mg \phi_i(x=vt)}{\int_0^L \rho A \phi_i^2 dx} \quad (2)$$

式(2)で、 m 、 ρA 、 h および ω_i はそれぞれ移動荷重の質量、桁の単位長さ当たりの質量、桁の減衰定数および i 次の固有円振動数を表わしている。また g は重力の加速度を示している。本解析では4次までの振動モードを考慮し、ニューマー7の β 法($\beta=1/6$)により式(2)を解いた。

III. ヒンジ点における衝撃作用

式(2)の解にはヒンジ点における衝撃作用の影響は含まれていない。本解析では衝撃力によって生じる桁の振動を独立に求め、これをIIで求めた解にたし合えることによって衝撃作用の影響を考慮した。

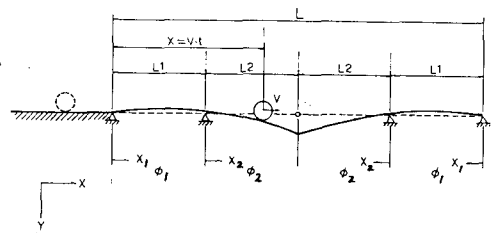


Fig. 1 解析モデル

衝撃力による桁の二次振動の運動エネルギーを T_i 、衝撃を受けた作用点から衝撃の方向に有する初速度を V_i 、衝撃を力積 P で表わすと、これらの間には次のような関係が成立する⁴⁾。

$$2T_i/V_i = P \quad (3)$$

衝撃 P は次のように求められる。移動荷重がヒンジ点に到達する直前の y 方向の速度 v_y を求めれば、力積 P は $P = m v_y$ で表わされる。すなわち、

$$v_y = v(dy/dx) + (dy/dt) \quad (4), \quad P = m v_y = m \{ v(dy/dx) + (dy/dt) \} \quad (5)$$

式(4)の v_y の第一項は移動荷重の y 方向速度を、第二項は桁の y 方向速度を示している。衝撃による動たわみ y_i を式(1)で表わし、運動エネルギー T_i 、速度 V_i を求め、これらと式(5)の P を式(3)へ代入すれば動たわみ y_i の未定係数が決定される。動たわみ y_i は次式で表わされる。

$$y_i = \sum_i \frac{m \{ v(dy/dx) + (dy/dt) \} \cdot \phi_i^2}{\omega_i \int \rho A \phi_i^2 dx} \sin \omega_i t \quad (6) \quad \left(\begin{array}{l} \text{この } y_i \text{ は、移動荷重がヒンジ点に到達} \\ \text{した直後に II. で求めた解に加えられる} \end{array} \right)$$

IV. 数値計算例とまとめ

昨年度に報告した模型実験の桁(断面積 $A = 12.267 \text{ cm}^2$, 断面二次モーメント $I = 15.25 \text{ cm}^4$, ヤング率 $E = 6.81 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, 単位長さ当りの重量 $\rho A = 0.03312 \text{ kgf/cm}$)を例にとって数値計算を行った。Fig. 3は $l_1 = 300 \text{ cm}$, $l_2 = 100 \text{ cm}$ (Fig. 1参照)のスパン割で、移動荷重の大きさおよび速度がそれぞれ 3.1123 kgf , 175.2 cm/sec の場合のヒンジにおける鉛直たわみの履歴曲線である。Fig. 4, 5は同じスパン割に対する、移動荷重の大きさと衝撃係数、速度と衝撃係数との関係を表わし、本解析方法は実験値を良く説明していることがわかる。なお衝撃係数はヒンジ点のたわみより求めたもので、(動たわみの最大値)/(静たわみの最大値)で定義されるものである。Fig. 6, 7はスパン割により前述の関係がどのように変化するかを示したものである。最後に数値計算、データ整理などを手伝ってくれた東洋大学、東京電機大学の卒業生諸氏に感謝いたします。

参考文献

1) 山田善一・小坂為雄：桁橋ヒンジにおける衝撃とその影響に関する研究，土木学会論文集第105号，2) Nagaraju, Nand K.S. Jagadish: Dynamic behavior of cantilever bridges under moving loads, IABSE 33-II, 1973, 3) 柿沼・小泉・新延：ヒンジを有する連続桁の移動荷重による衝撃に関する実験，土木学会，1983.10., 4) 小野一良：運動エネルギーの分配に関する法則，土木学会論文集第33号

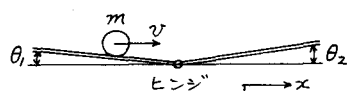


Fig. 2 ヒンジ点

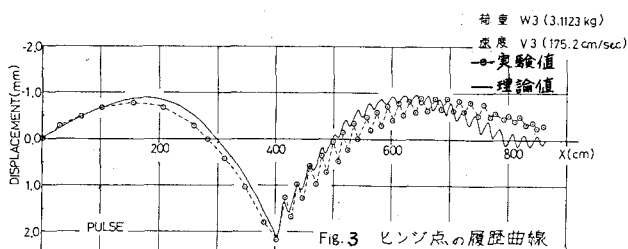


Fig. 3 ヒンジ点の履歴曲線

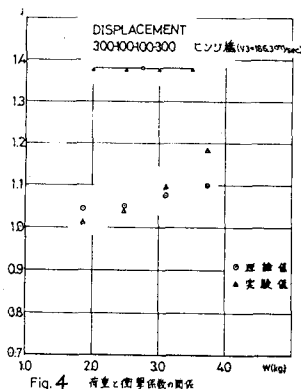


Fig. 4 荷重と衝撃係数の関係

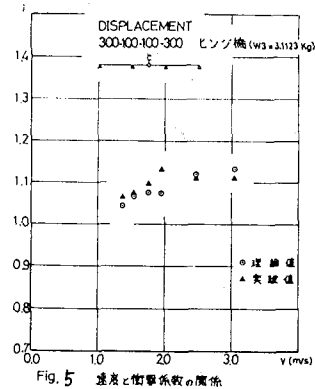


Fig. 5 速度と衝撃係数の関係

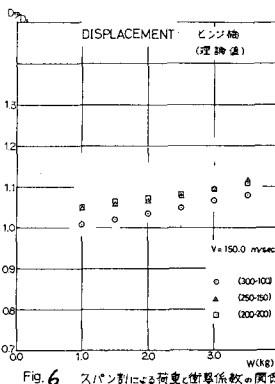


Fig. 6 スパン割による荷重と衝撃係数の関係

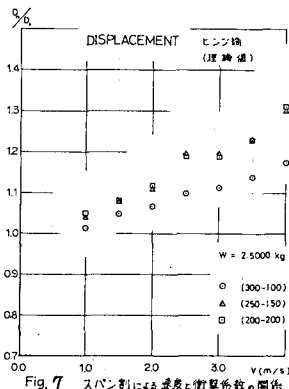


Fig. 7 スパン割による速度と衝撃係数の関係