

熊本大学 正員 吉村虎蔵

同 同 田久英明

道路橋の場合、吉村・平井のこれまでのいくつかの理論的研究⁽¹⁾によれば、単一走行力による応答には1次あるいは2次などの低次振動が動的増幅に支配的に現われる。しかしながら夕葉橋⁽²⁾（5スパンビビダーク方式PC連続ラーメン橋 43+3@55+43m, 国道3号線）および美々津大橋⁽³⁾（4スパン連続PC箱桁橋 50.8+2@63.5+50.8m, 国道10号線）における走行試験では、3次あるいは4次などの高次の固有振動による増幅が支配的に現われることが知られた。これらの実験的に得られた応答は、どのようなモデルの荷重の走行によって理論的に得られるかをしらべた結果について報告する。

ここでは美々津大橋を数値計算の対象に取上げ、次の3種の荷重（それぞれ1軸、2軸荷重の場合）の走行による応答の解析結果と実測値を比較検討した。解析の方法は集中Mass法とModal Analysisで、応答の数値計算はRunge-Kutta-Gill法によった。

1. 荷重モデルと運動方程式

走行自動車モデルとして、次の3つのモデルを取上げた。(1)走行一定力（単一力と連行2力）、(2)単一走行周期力、(3)Sprung Massの走行（単一荷重と2軸連行）。それぞれの場合の運動方程式は次のようになる。

(1)走行一定力： 一つの一一定力 P_0 を一定速度 V_0 でなめらかな橋面上を走行させるときの基礎式は次の通り（図-1）。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{W}_m + C'_m \dot{W}_m + W W_m &= \Phi_m(x_i) \Phi_m(x_j = x_i + V_0 t) \cdot P_0 \\ W &= \sum_m W_m \end{aligned} \right\} (1)$$

こゝに W_m は m 次の固有振動によるたわみ、 $\cdot$ は時間 t についての微分、 $C'_m = C_m \frac{g}{W_i}$ （ただし C_m は m 次の減衰係数、 $\frac{W_i}{g}$ は i 点集中質量、各点で C'_m は等しいと仮定する）、 Φ_m は m 次の正規モード、 x_i, x_j はそれぞれ測定点と荷重点の座標。

(2)走行周期力： 図-2に示すような周期的に加振しながら走行する力による応答の基礎式は式(1)の右辺 P_0 を $P(t)$ とあければよりから、

$$\begin{aligned} P(t) &= P_0 + \Delta P(t) = P_0 (1 + A_0 \sin \omega_0 t) \\ &= P_0 \left(1 + \frac{a_0 \omega_0^2}{g} \sin \omega_0 t \right) \end{aligned} \quad \dots (2)$$

こゝに ω_0 は加振力の円振動数、 a_0 は(3)のバネ上質量のモデルに対応させるとバネ上質量の振動振幅と考えられよう。

(3)走行Sprung Mass： 単一荷重の場合図-3のような荷重モデルを考えた。今の場合バネ下質量をバネ上質量の大きさに対して省略した。このときの基礎式は

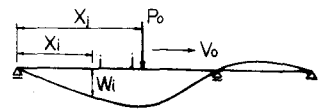


Fig.1 Running Force

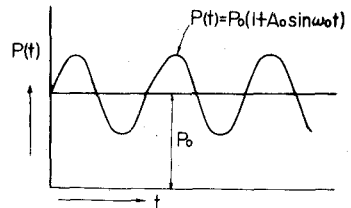


Fig.2 Exciting Force

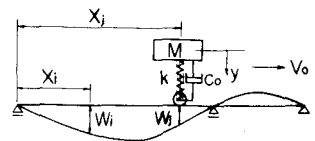


Fig.3 Sprung Mass

$$\ddot{y} + C_0 \dot{y} + \omega_0^2 (y - w_f) = 0$$

$$\ddot{w}_m + C'_m \dot{w}_m + \omega_m^2 w_m = \Phi_m(x_i) \Phi_m(x_j = w_0 t) P_0 \left\{ 1 + \frac{\omega_0^2}{\omega_m^2} (y - w_f) \right\} \quad \text{--- (3)}$$

$$W(x_i) = \sum_m W_m(x_i)$$

$$W(x_j) = \sum_m W_m(x_i) \cdot \frac{\Phi_m(x_j)}{\Phi_m(x_i)}$$

2. 美々津大橋

美々津大橋は昭和42年2月竣工，デビダーク工法で架設された本邦はじめての4スパン変断面連続箱桁であって，もちろん径間中央にヒンジがなく，架設後は橋脚上でローラー支えをもち従来の連続桁と全く同様の挙動をする。本橋については静的載荷試験・起振機による振動試験・走行試験が筆者等によって行われ，振動試験によって得られた固有周期 T と対数減衰率 δ は表-1の通りであった。

応答解析にあたっては表-1の実験値をそのまま用い，またモード Φ_m の値としては理論値を用いた。固有値の解析では本橋を3点支持系に置換し，1~4次のモードは図-4の通りである。

Fig. 4

表-1 美々津大橋の T と δ

次数		T (sec)	δ
対称	1	0.461	0.044
	3	0.285	0.030
反対称	2	0.641	0.050
	4	0.341	0.050

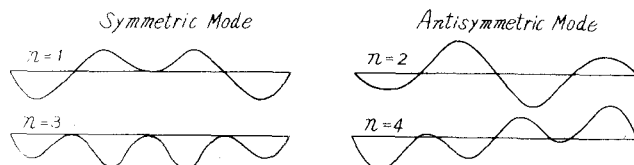


Fig. 5

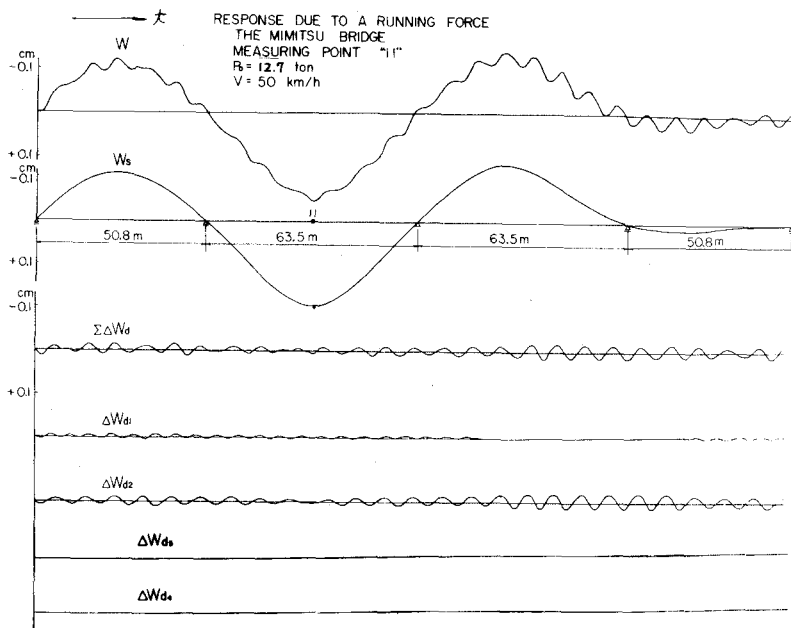


Fig. 6

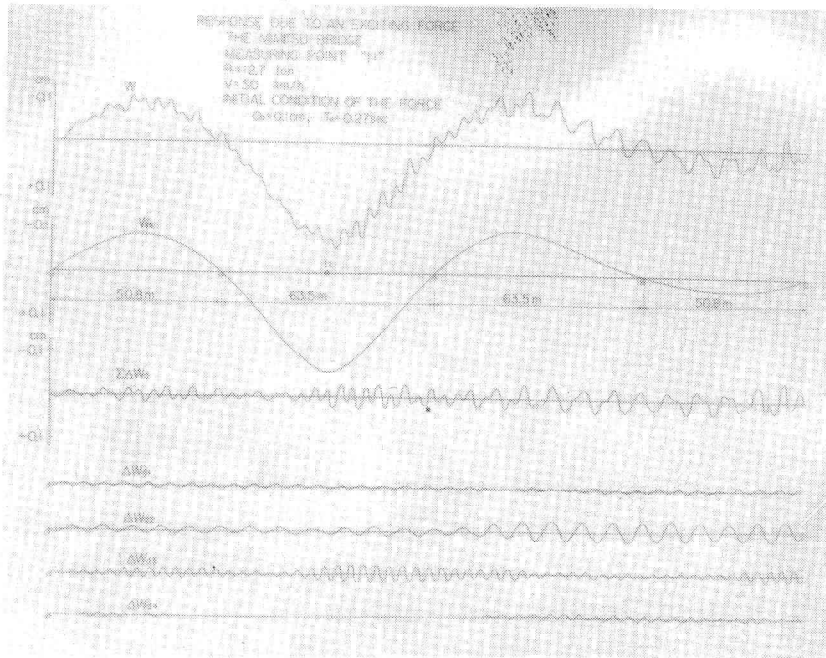


Fig. 7

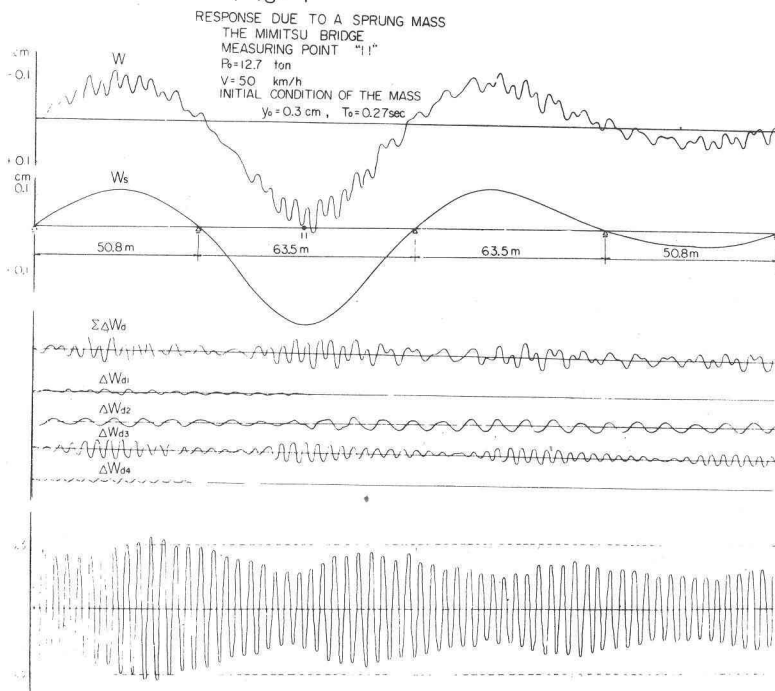
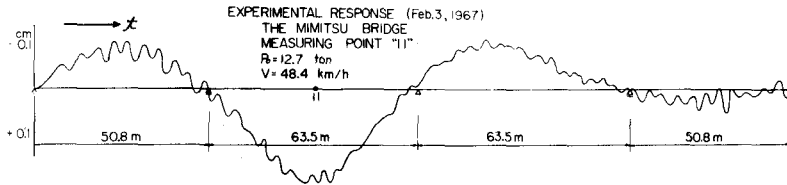


Fig.8



走行試験において得られた応答曲線の実験値は本橋の場合同一測点同一速度の場合にどのケースでも細かい波形までよく一致している。また荷重車の振動特性の概要については、その後輪を角材により落下させたときの自由振動を荷台上の加速度計によって記録したところ、0.4 secの波形が2つ出たあと0.27 secの波形が残って減衰する。そこで減衰の小さい0.27 secを Sprung Mass のばねの固有周期とし、また走行周期力の加振周期として応答解析をし、Sprung Mass 走行のときはばねの初期変位 y_0 を与えて $C_0 = 0$ として解析した。

3. 応答の比較

実験応答の一つを示せば図-8の通りである。荷重車は $2.84T + 9.72T = 12.70T$ 、車軸間距離4.1 m のダンパーカー1台を用いた。図に見るように $T \approx 0.34$ sec の波形が顕著に現われている。

図-5, 6, 7 はそれぞれ単一走行一定力、単一走行周期力、単一 Sprung Mass による応答解析値であって、いずれも図-8の実験値に対応するものである。図中、最上欄の図は動的応答そのものを、次の W_0 は静的応答(たわみの影響線)を、次の $\sum \Delta W_d$ は動的増加たわみを、その下の $\Delta W_{d1}, \Delta W_{d2}, \Delta W_{d3}$ ---等は、それぞれ1次、2次、3次 --- の固有振動による増加たわみ量であって、 $\sum \Delta W_d = \Delta W_{d1} + \Delta W_{d2} + \Delta W_{d3} + \dots$ である。したがって各次数の ΔW をみるとそれらが応答の中にどのような大きさで入っているかが知られよう。単一走行力と連行2力走行および単一 Sprung Mass と連行2軸 Sprung Mass 走行時の応答はこの場合(測点11, 速度50 km/h)ほとんど変わらない。

4. 結び

3種の荷重モデルについて応答解析の基礎式を示した。4スパン連続変断面の美々津大橋において、荷重車1台、速度30, 50 km/hのときの側径間と中間径間の応答について、実験値と理論値を比較したところ、いずれの場合も単一力走行の場合の応答は ΔW に低次のもののみが現われ実験応答と一致しないが、走行時の荷重の微小な上下動を取り入れた場合の応答では、 ΔW に高次のものも現われ、また ΔW_d の唸り状の性状も実験応答によく似た現象が得られた。

- (1) 吉村他 土木学会誌 44-12 (S.34.12);
 吉村平井 土木技術 (S.38.7);
 吉村平井 第7回道路学会議 (S.38.10);
 吉村平井 土木学会論文集 101 (S.39.1) など
- (2) 吉村平井他 道路 (S.39.11);
- (3) 吉村 美々津大橋の走行試験報告書 (S.42.4);