

九州大学工学部 学生員 肥後野孝倫

" " 正 員 吉村 虎蔵

" " 学生員 池田 延良

本研究は、補剛アーチ道路橋上を単一車両が走行する場合について、路面が定常ランダムな凹凸をもつものと仮定し、車両-橋梁系の連成非定常ランダム応答を扱ったものである。本報では図-1および表-1の諸元をもつ下路ランガー桁橋についての解析結果を示すが、結合法によれば、逆ランガー桁橋、ローゼ桁橋、逆ローゼ桁橋、2ヒンジアーチ橋、タイドアーチ橋などはすべて下路ランガー桁橋の解析に置き換えることができる。

支間 l の橋梁上を1自由度のsprung-massにモデル化された車両が一定速度 v で走行する場合の、橋梁およびsprung-massの鉛直変位をそれぞれ $Y(x, t)$ 、 $Z(t)$ とする。

$$Y(x, t) = \sum_n \varphi_n(x) Q_n(t) \quad (1)$$

ここに、下路ランガー桁橋の $\varphi_n(x)$ は一般に次のようになる。¹⁾

$$\text{対称振動 } (n=1, 3, 5, \dots) \quad \varphi_n(x) = \sum_{m=1, 3, 5}^{\infty} A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{l}$$

$$\text{逆対称振動 } (n=2, 4, 6, \dots) \quad \varphi_n(x) = B_n \sin \frac{n\pi x}{l}$$

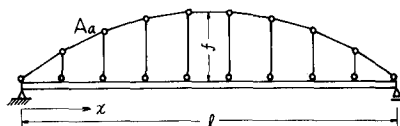


図-1

任意時刻 t における $Q_n(t)$ と $Z(t)$ の平均値を $\bar{Q}_n(t)$ 、 $\bar{Z}(t)$ 、平均値からの偏差を $\delta_n(t)$ 、 $z(t)$ とすれば

$$Q_n(t) = \bar{Q}_n(t) + \delta_n(t), \quad Z(t) = \bar{Z}(t) + z(t) \quad (2)$$

ここに、 $\delta_n(t)$ 、 $z(t)$ は平均値0の非定常ランダム過程であり、次の運動方程式を満足しなければならない。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Z} + 2\zeta_0\omega_0\dot{Z} + \omega_0^2 Z &= 2\zeta_0\omega_0(\dot{y}_v + \Delta v) + \omega_0^2(y_v + \Delta v) \\ \ddot{\delta}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{\delta}_n + \omega_n^2 \delta_n &= -\frac{P_0}{Mng} \varphi_n(vt) \ddot{Z} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 ω_0 、 ζ_0 、 P_0 は車両の固有円振動数、減衰定数、重量。 ω_n 、 ζ_n 、 M_n は橋梁の n 次の固有円振動数、減衰定数、換算質量。 y_v 、 Δv は橋梁の動たわみの偏差 $y(x, t) = \sum_n \varphi_n(x) \delta_n(t)$ および路面凹凸 $\Delta(x)$ の $x=vt$ における値を表わす。

非定常ランダム応答 $Y(x, t)$ 、 $\dot{Y}(x, t)$ の2乗平均値は次のように表わされる。

$$\overline{Y^2}(x, t) = \overline{\bar{y}^2}(x, t) + \overline{\delta_y^2}(x, t), \quad \overline{\dot{Y}^2}(x, t) = \overline{\dot{\bar{y}}^2}(x, t) + \overline{\dot{\delta}_y^2}(x, t) \quad (4)$$

ここに、 $\bar{y}(x, t)$ 、 $\dot{\bar{y}}(x, t)$ はそれぞれ路面が完全に滑らかな場合の橋梁のたわみ応答および速度応答。 $\delta_y^2(x, t)$ 、 $\dot{\delta}_y^2(x, t)$ は $Y(x, t)$ 、 $\dot{Y}(x, t)$ の分散である。式(3)の連立微分方程式を解いて $\delta_y^2(x, t)$ 、 $\dot{\delta}_y^2(x, t)$ を求める手順については文献3)を参照されたい。

実橋の応答解析

表-1のような諸元および固有振動数をもつ支間のK橋、G橋と長大支間のT橋(いずれも2車線の下路ランガー桁橋)を対象とし、4次までの固有振動モードを用いて応答解析を行った。表中の W 、 I 、 A_n は1主構当りの値である。固有振動数は実測値を解析に用いるが、米印のものは実測値が得られていないので、結合法による理論値を採用する。減衰定数はK橋、G橋については振動次数に無関係に $\zeta_n=0.01$ とし、T橋については振動次数ごとに異なる実測値($\zeta_n=0.0013 \sim 0.002$)を用いる。路面凹凸 $\Delta(x)$ は、凹凸周波数を Ω cycle/m としてパワースペクトル密度 $S_a(\Omega) = \Omega^{-2} \times 10^{-3} \text{ cm}^2/(\text{cycle/m})$ をもつものと、波長1 m以下($\Omega > 1$)の凹凸を無視し、 $\Omega < 0.005$ では一定とする。走行車両のパラメーターは表-2の値を標準とする。

表-1 ランガー桁橋の諸元と固有振動数

		K 橋	G 橋	T 橋
支 間	l (m)	57.2	62.0	139.2
ラ イ ズ	f (m)	9.0	10.0	19.2
総 重 量	W (ton)	182.4	276.1	433.3
補剛断面二次モーメント	I (cm ⁴)	1.680×10^6	2.427×10^6	6.232×10^6
アーチ前面積	A_a (cm ²)	233.7	275.0	345.4
1/4点の静的たわみ	(cm)	0.86	0.62	3.17
固有振動数 ($\frac{\omega_n}{2\pi}$)	対称 1次 (Hz)	2.91	2.88	1.27
	逆対称 1次 (〃)	2.31	2.25	0.73
	対称 2次 (〃)	4.66 *	4.46 *	1.96
	逆対称 2次 (〃)	8.00 *	7.65 *	2.75

表-2 標準車両パラメーター

総重量 P_0	12.7 ton
固有振動数 $\omega_0/2\pi$	2.22 Hz
減衰定数 h_0	0.03
走行速度 v	8.33 m/sec

図-2 は、車両の初期条件を $Z(0) = -0.3$ cm, $\dot{Z}(0) = 0$ とし、K 橋の 1/4 点の速度応答 $\dot{Y}(l/4, t)$ の r.s.m 値 $\bar{y}_y$ および標準偏差 σ_y の時間的変化を無次元時間 t/t_0 (t_0 は車両が橋梁を通過するに要する時間) に対してプロットしたものである。 $t > 0.2t_0$ では初期条件の影響がほとんど消えて $\sigma_y \sim \bar{y}_y$ の関係が成立し、路面凹凸の影響が顕著に現れている。また 1/4 点の速度応答のピークは、車両が 0.7 l 付近を通過する時に生じている。

図-3 は、1/4 点と 1/2 点のたわみ応答と速度応答の標準偏差の時間的変化を K 橋と G 橋についてそれぞれプロットして比べたものである。K 橋と G 橋の支間、ライズ、固有振動数および固有振動モードは、ほとんど違わないが、たわみおよび速度ともに K 橋の応答の標準偏差は G 橋のそれより大きくなり、このことは両橋の振動感覚の差につながるものと思われる。

次に T 橋について、表-2 の車両パラメーターのうち走行速度のみを $v = 13.9$ m/sec に変えて計算を行った。図-4 は 1/4 点のたわみ応答と速度応答の標準偏差の時間的変化を示したものである。T 橋は K 橋、G 橋に比べて静的たわみが非常に大きく (表-1 参照)。また、減衰定数は非常に小さいが、ここに用いたパラメーターの組み合わせでは G 橋と同程度の応答の標準偏差を示している。ただし車両の固有振動数 $\omega_0/2\pi = 2.22$ Hz は、K 橋、G 橋では最低次 (逆対称 1 次) の固有振動数にほぼ一致しているのに対し、T 橋では 3 次と 4 次の固有振動数の中間にある。

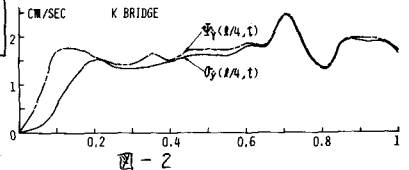


図-2

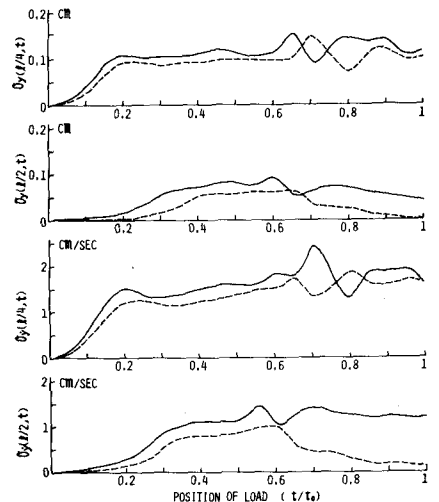


図-3

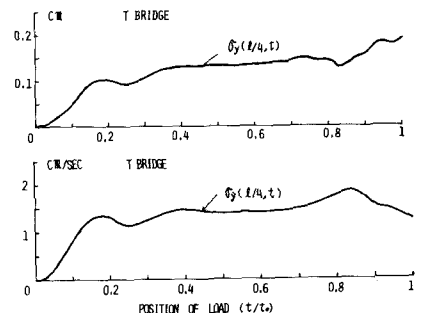


図-4

[参考文献]

- 1) 吉村・平井: ランガー桁の動的解析, 土木学会論文集 No.101, 1964-1.
- 2) 吉村・平井: 補剛アーチ橋およびつり橋の動的共通解析, 土木学会論文集 No.115, 1965-3.
- 3) 吉村・彦坂・内谷: 単一走行車両による道路橋の非定常ランダム応答の解析, 土木学会論文報告集 No.258, 1977-2.
- 4) 小堀・梶川: 単一動荷重に対する道路橋の振動感覚, 土木学会論文報告集 No.248, 1976-4.