

九州大学工学部 学生員 ○肥後野孝倫

" " 正 員 吉村 虎蔵

" " 正 員 考坂 熙

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。本報では下路ランガー桁橋についての解析結果のみを示すが、結合法によれば、アーチとそれに協力して働く補剛桁とが軸力部材で結合された各種の補剛アーチ橋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。

図-1のように、支間 l の橋梁上を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、橋梁および車両（ばね上質量）の鉛直変位をそれぞれ $Y(x, t)$ 、 $Z(t)$ とする。橋梁の n 次の固有振動モードを $\varphi_n(x)$ 、基準座標を $Q_n(t)$ とすれば、 $Y(x, t)$ は次式で表わされる。

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

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 $\delta_n(t)$ 、 $\delta(t)$ とすれば

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

となる。ただし、 $t=0$ において $Q_n(0) = \dot{Q}_n(0) = 0$ 、また $Z(0)$ 、 $\dot{Z}(0)$ は確定量として与えられるものとする。 $\delta_n(t)$ 、 $\delta(t)$ 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。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Z} + 2h_0\omega_0\dot{Z} + \omega_0^2 Z &= 2h_0\omega_0(\dot{y}_v + \dot{\Delta}_v) + \omega_0^2(y_v + \Delta_v) \\ \ddot{\delta}_n + 2h_n\omega_n\dot{\delta}_n + \omega_n^2 \delta_n &= -\frac{P_0}{M_n g} \varphi_n(vt) \ddot{Z} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 ω_0 、 h_0 、 P_0 は車両の固有円振動数、減衰定数、重量、 ω_n 、 h_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 、 Δ_v 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 $Y(x, t)$ の平均値 $\bar{y}(x, t)$ および偏差 $y(x, t)$ の間にも式(2)と同様に

$$Y(x, t) = \bar{y}(x, t) + y(x, t), \quad \dot{Y}(x, t) = \dot{\bar{y}}(x, t) + \dot{y}(x, t) \quad (4)$$

の関係が成立し、上式の両辺の2乗平均値を求めることにより次式がえられる。

$$\overline{Y^2}(x, t) = \overline{\bar{y}^2}(x, t) + \overline{y^2}(x, t), \quad \overline{\dot{Y}^2}(x, t) = \overline{\dot{\bar{y}}^2}(x, t) + \overline{\dot{y}^2}(x, t) \quad (5)$$

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、 $\overline{y^2}(x, t)$ 、 $\overline{\dot{y}^2}(x, t)$ は偏差 $y(x, t)$ 、 $\dot{y}(x, t)$ の2乗平均値(分散)であり、したがって $\overline{Y^2}(x, t)$ 、 $\overline{\dot{Y}^2}(x, t)$ が $Y(x, t)$ 、 $\dot{Y}(x, t)$ の真の2乗平均値を表わすことになる。 $\overline{y^2}(x, t)$ 、 $\overline{\dot{y}^2}(x, t)$ の時間的変化の様子は、車両が橋梁を通過するのに要する時間 $t_0 = l/v$ を用いて、時間領域 $0 \leq t \leq t_0$ における各応答量の正弦フーリエ級数展開を行うことにより、式(3)の連立微分方程式を解いて求めることができる。その詳細については文献3), 4)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実在のK橋およびG橋(ともに2車線の下路ランガー桁橋)を対象として、 $l/4$ 点および $l/2$ 点の応答解析を行った。表中の W 、 I_g 、 h_a は1主構当りの値である。固有振動数は実測値を用いることとしたが、*印のものは実測値がえられていないので、結合法による理論値を示した。K橋とG橋の支間、ライズ、固有振動数および振動モードはほとんど変わらないが、K橋はG橋よりもよく揺れるといわれている。減衰定数は2橋とも振動次数に無関係に $h_n = 0.02$ とした。路面の凹凸 $\Delta(x)$ は図-2の直線で示

すパワースペクトル密度 $S_d(\omega)$ をもつものと仮定し、波長 1 m 以下の凹凸を無視した。同図中の RUN 30 は、建設省土木研究所が一般国道において実測により求めた凹凸のパワースペクトル密度の中で、目視により平坦で良好とされている路面に対するもの、また RUN 50 は、目視により段差・オーバーレイありとされている路面に対するものである。走行車両は、その固有振動数を橋梁の 2 次(逆対称 1 次)固有振動数にはば一致させ、表-2 のパラメーターを与えて計算した。

表-1 ランガー桁橋の諸元と固有振動数

項目	単位	K 橋	G 橋
支間	l (m)	57.2	62.0
ライズ	f (m)	9.0	10.0
総重量	W (ton)	182.4	276.1
補剛断面二次モーメント	I_g (cm ⁴)	1.680×10^6	2.427×10^6
アーク断面積	A_2 (cm ²)	233.7	275.0
固有振動数	$n=1$ (Hz)	2.91	2.88
	$n=2$ (〃)	2.31	2.25
	$n=3$ (〃)	4.66 *	4.46 *
	$n=4$ (〃)	8.00 *	7.65 *

表-2 走行車両のパラメーター

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
車体ばねの初期変位	$Z(0)$	-0.3 cm

図-3 は、K 橋と G 橋の $l/4$ 点の速度応答 $\dot{Y}(l/4, t)$ の root mean square 値 $\bar{Y}$ および標準偏差 σ_y の時間的変化をプロットしたものである。車両が橋梁に進入した当初に見られる $\bar{Y}$ と σ_y の大きな差は、確定量として与えた車体ばねの初期変位 $Z(0)$ が $\bar{Y}$ のみに影響を及ぼしているためである。車両が橋梁の中間点を過ぎた後は、 $Z(0)$ の影響が消えて $\sigma_y \approx \bar{Y}$ の関係が成立し、路面凹凸の影響が顕著に表われてくることわかる。また $l/4$ 点の速度応答のピークは、車両が $0.7l$ 付近を通過する時に生じている。

図-4 は、 $l/4$ 点および $l/2$ 点のたわみ応答と速度応答の標準偏差を、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。同図より、たわみ、速度ともに K 橋の応答は G 橋より大きいこと、および $l/4$ 点の応答が $l/2$ 点の応答より大きいことが明らかである。しかし、 $P_0 = 12.7\text{ ton}$ に対する $l/4$ 点の静的最大たわみ $Y_{\max}$ は、K 橋が 8.6 mm 、G 橋が 6.2 mm であるので、たわみ応答の倍率 $\sigma_y/Y_{\max}$ を比べれば 2 橋の間に差は無いことになり、結局、K 橋と G 橋の振動感覚の差は、速度応答もしくは加速度応答の差に起因するものと思われる。

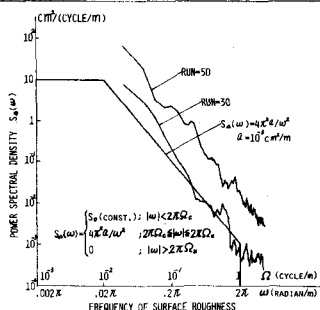


図-2 パワースペクトル密度

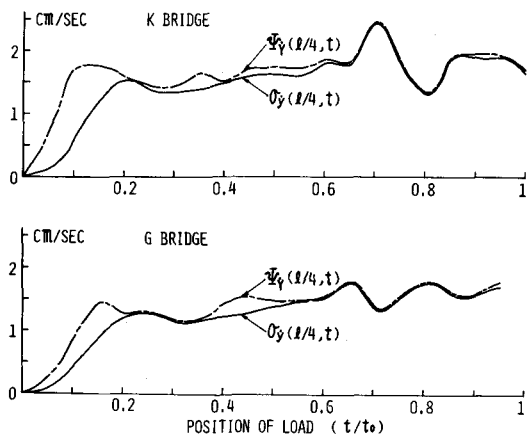


図-3

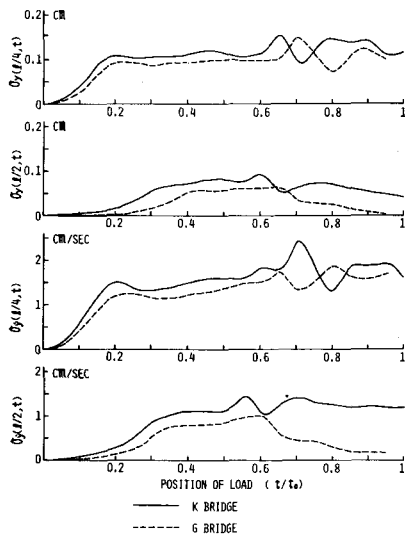


図-4

【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：補剛アーク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・芳坂・神島：走行荷重による道路橋の非定常不規則振動について，土木学会第31回年次学術講演会講演概要集，1976-10.
- 4) 吉村・芳坂・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（投稿中）
- 5) 成田・桂樹：路面の凹凸と自動車荷重 (IV)，土木研究所資料第1130号，1976-3.