

I-428

鋼床版曲線桁の振動解析と実験

労働省	正員	丹羽 啓達
北海道大学工学部	正員	渡辺 昇
北海道開発局	正員	新山 惇
北海道開発局	正員	竹田 俊明
北海道開発局	正員	三木 雅之

1. はじめに

最近、橋梁技術の進歩に伴い、道路線形に合わせた曲線桁が数多く用いられるようになってきた。また、薄肉断面を有する曲線桁においては、曲げ剛性の他に、ねじり剛性、そりねじり剛性を考慮しなくてはならない。そこで、本研究では、そりねじりを考慮した振動微分方程式より、曲線半径、支間の異なるケースについて固有振動周期を求め、それぞれのケースについて振動実験を行い、超高感度地震計により記録した波形をフーリエ級数に展開し、パワースペクトル解析したものと比較検討するものである。

2. そりねじりを考慮した曲線桁の振動微分方程式

図-1は曲線桁の断面を示している。曲線桁の x , y , z 方向の変位と、せん断中心に対するねじり角に関する振動微分方程式は以下ようになる。記号の詳細は文献¹⁾を参照。

$$(EI_y/R^3) u'' + (EI_y/R) u''' - (EI_y/R^3) (y_0 + r_y) \phi' = \rho A \ddot{w} \quad (1a)$$

$$(GK_t/R^2) v'' - (EI_x + EI_w/R^2) v''' + \{ (EI_x + GK_t)/R \} \phi'' - (EI_w/R) \phi''' = \rho A \ddot{v} - \rho A (y_0/R) (\ddot{u} - y_0 \ddot{\phi}) \quad (1b)$$

$$- (EI_y/R^2) u'' - EI_y u''' + (EI_y/R^2) (y_0 + r_y) \phi'' = \rho A (\ddot{u} - y_0 \ddot{\phi}) \quad (1c)$$

$$\{ (EI_x + GK_t)/R \} v'' - (EI_w/R) v''' - (EI_x/R^2) \phi + GK_t \phi'' - EI_w \phi''' = \rho A y_0 (\ddot{u} - y_0 \ddot{\phi}) + \rho I_p \ddot{\phi} \quad (1d)$$

ここで、 z 方向の変位 w は式(1a)のみに存在し、他の u , v , ϕ に比べ微小である。よって式(1b), (1c), (1d)について考える。

両端Gabel支持の場合について、(1b), (1c), (1d)より以下の振動数方程式を得る。誘導の詳細は文献¹⁾を参照。

$$\alpha^3 + \Lambda_{11} \alpha^2 + \Lambda_{21} \alpha + \Lambda_{31} = 0$$

$$\Lambda_{11} = - \{ (1/\theta_i^4 R^4) (AR^2/I_p) + 1 \} + [(1/\theta_i^2 R^2) \{ 1 - (y_0 r_y/R^2) (AR^2/I_p) \} - I_0/I_p] \beta - (I_0/I_p) \{ 1 + (I_p/AR^2) \} \gamma \quad \text{図-1 座標関係}$$

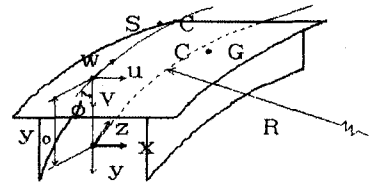
$$\Lambda_{21} = - \{ (1/\theta_i^2 R^2) - 1 \} \{ (I_0/I_p) + (AR^2/I_p) (1 + y_0 r_y \theta_i^2) / \theta_i^4 R^4 \} \beta + (I_0/I_p) \{ (1/\theta_i^2 R^2) - 1 \}^2 \gamma - (I_0/I_p) \{ (1/\theta_i^2 R^2) - 1 \} (1 + I_p/AR^2) \beta \gamma$$

$$\Lambda_{31} = (I_0/I_p) \{ (1/\theta_i^2 R^2) - 1 \}^3 \beta \gamma$$

$$\alpha = (\omega_{11}/\omega_{v1})^2, \beta = (\omega_{u1}/\omega_{v1})^2, \gamma = (\omega_{\phi 1}/\omega_{v1})^2$$

$$\omega_{u1}^2 = \theta_i^4 EI_y / \rho A, \omega_{v1}^2 = \theta_i^4 EI_x / \rho A, \omega_{\phi 1}^2 = \theta_i^2 (GK_t + EI_w \theta_i^2) / \rho I_0$$

ここで、 ω_{v1} , ω_{u1} , $\omega_{\phi 1}$ は支間 l 、二軸対称薄肉開断面の直線桁における連成しない鉛直曲げ振動、水平曲げ振動、ねじり振動の各固有円振動数の1次モードをそれぞれ表す。また3次の振動数方程式より求められる3つの正の解 ω_{11} , ω_{21} , ω_{31} は鉛直軸対称断面をもつ曲線桁の、曲げとねじりの相互作用により連成した固有円振動数を表す。



3. 実験供試体および実験方法

実験供試体は図-2に示すU形鋼を用いた。

また実験方法は次の方法とした。(図-3)

- ①加振方法: U形鋼の中央付近に鉛袋を吊し、鉛袋を落下させ、加振する。
- ②測定方法: 応答振動をU形鋼の中央付近に設置した超高感度地震計により記録する。

4. 解析値および実測値

各ケースの1次モードの解析値は、 ω を固有円振動数(rad/sec)、Tを振動周期(sec)として次のようになる。

- ① $H=240 \text{ mm}$, $R=100 \text{ m}$, $l=9 \text{ m}$
 $\omega_{11}=20.19$, $\omega_{21}=57.92$, $\omega_{31}=135.16$, $T_{11}=0.311$, $T_{21}=0.109$, $T_{31}=0.047$
 - ② $H=240 \text{ mm}$, $R=150 \text{ m}$, $l=9 \text{ m}$
 $\omega_{11}=20.76$, $\omega_{21}=57.08$, $\omega_{31}=133.49$, $T_{11}=0.303$, $T_{21}=0.110$, $T_{31}=0.047$
 - ③ $H=240 \text{ mm}$, $R=200 \text{ m}$, $l=9 \text{ m}$
 $\omega_{11}=20.97$, $\omega_{21}=56.77$, $\omega_{31}=132.91$, $T_{11}=0.300$, $T_{21}=0.111$, $T_{31}=0.047$
 - ④ $H=240 \text{ mm}$, $R=100 \text{ m}$, $l=10 \text{ m}$
 $\omega_{11}=16.76$, $\omega_{21}=47.51$, $\omega_{31}=111.08$, $T_{11}=0.375$, $T_{21}=0.132$, $T_{31}=0.057$
 - ⑤ $H=260 \text{ mm}$, $R=100 \text{ m}$, $l=9 \text{ m}$
 $\omega_{11}=19.26$, $\omega_{21}=61.54$, $\omega_{31}=139.47$, $T_{11}=0.326$, $T_{21}=0.102$, $T_{31}=0.045$
- ω_{11} , ω_{21} , ω_{31} は、直線桁における ω_{p1} , ω_{v1} , ω_{u1} とそれぞれ対応している。

フーリエ係数を a_j , b_j としたとき、j次のパワーを $(a_j^2 + b_j^2) / 2$ として、実測波形のパワースペクトルを求めると図-4のようになる。

実測波形は図-5に①の場合のみ示す。

5. 実験結果の考察

- 1) $H=240 \text{ mm}$ に関しては、曲線半径Rが 150 mおよび 200 mの場合において曲げ振動が卓越している。Rが 100 mの場合には、曲げ振動の他にねじり振動も強くなる。
- 2) $H=260 \text{ mm}$ に関しては、曲線半径Rが 100 mの場合においても、曲げ振動が卓越している。
- 3) 曲線桁においては、曲げ振動およびねじり振動が同時に発生するが、曲線半径および断面値が異なる場合には、その発生の割合は異なる。

6. おわりに

解析値と測定値とはよく一致しており、解析値の妥当性が確認された。また、応答振動波の振動特性の解析にはフーリエ解析によるパワースペクトル解析が有効である。

(参考文献) 1) Paul P. Christiano, Charles G. Culver:
 Horizontally curved bridges subject to moving load
 Jour. of Structural Div. Proc. of A.S.C.E., ST.8,
 pp.1615-1643, 1969

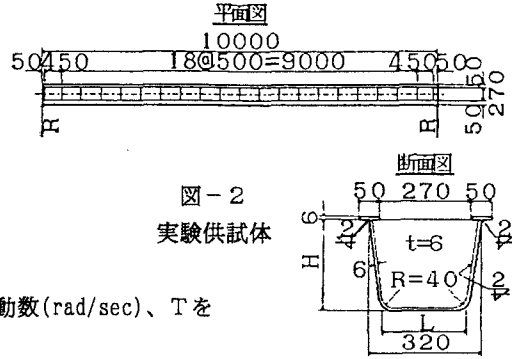


図-2 実験供試体

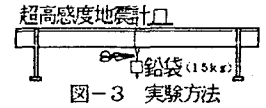


図-3 実験方法

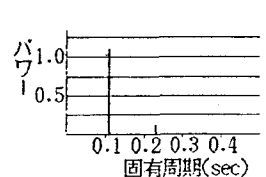
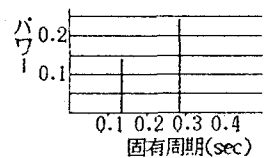
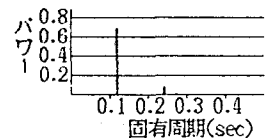
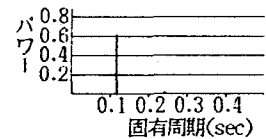
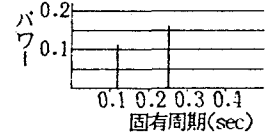


図-4 パワースペクトル (①~⑤)

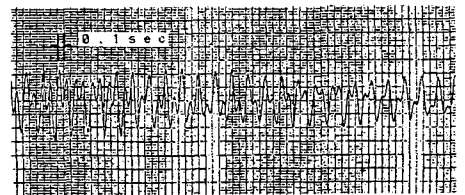


図-5 応答振動波形 (①)