

1974年エンジニアリング 正員 中田恒和 京都大学工学部 正員 後藤尚男  
京都大学工学部 正員 家村岩和

1. はじめに 本研究では、多スパン単純支持桁高架橋の耐震性判定のための基礎的資料を得るため、橋脚のロッキング振動および桁の並進振動を仮定したモデルの地震応答計算を実施した。計算にあたっては、各橋脚における入力加速度の位相遅れ、滑り支承部における摩擦係数、上下部構造の質量比などが、固定支承部に働く最大水平力および可動支承部における桁と橋脚の相対変位の最大値に与える影響について検討した。さらに支持地盤が降伏した場合を対象として、桁重量が橋脚の非線形ロッキング振動に及ぼす効果についても言及した。

2. 多スパン橋のモデル化と運動方程式 多スパン単純支持桁高架橋をFig.1に示すような振動系でモデル化した。同図中の記号は次のとおりである。Jr:回転中心Rrまわりの慣性モーメント,  $\phi_r$ :橋脚 $G_r$ の回転角,  $C_r$ :橋脚 $G_r$ の減衰係数,  $k_r(\phi_r)$ : $G_r$ の地盤復元力,  $M_r$ : $G_r$ の質量,  $m_r$ :桁 $O_r$ の質量,  $h_r$ : $G_r$ の高さ,  $h_{gr}$ : $G_r$ の重心高さ,  $F_r$ : $G_r$ の固定支承に働く水平力,  $F'_r$ : $G_r$ の可動支承に働く摩擦係数,  $\ddot{u}_r$ : $G_r$ が受ける入力加速度。

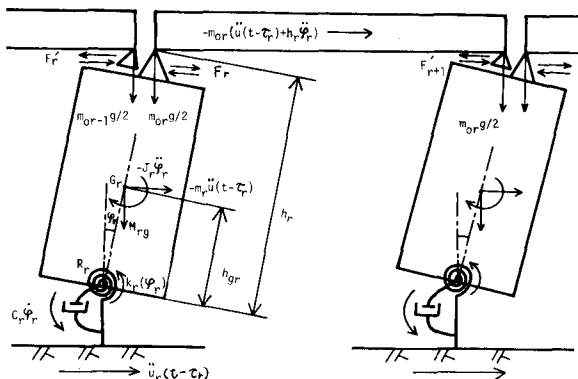


Fig.1 A Model of Multi-Span Simply Supported Girder Bridges

さて橋脚 $G_r$ の回転中心 $R_r$ まわりのロッキング振動の運動方程式は、

$$\begin{aligned} J_r \ddot{\phi}_r + C_r \dot{\phi}_r + k_r(\phi_r) - M_r g h_{gr} - m_r g h_{gr} \phi_r / z \\ - m_r g h_{gr} \phi_{r-1} / z - F_r h_r + F'_r h_r \\ = m_r g (\ddot{u}_{r-1} - \ddot{u}_r) / z - M_r h_{gr} \ddot{u}_r \quad \dots(1) \end{aligned}$$

一才桁 $O_r$ の並進の運動方程式は次式となる。

$$m_r h_r \ddot{\phi}_r + F_{r+1} - F_r = -m_r \ddot{u}_r \quad (2)$$

ここで式(1),(2)より $F_r$ を消去し、回転角 $\phi_r$ と支承部の水平変位 $y_r$ に変換する。 $(y_r = \phi_r h_r)$  さらに次のパラメーターを導入する。

$$z s_r \omega_r = C_r / (J_r + m_r h_r^2)$$

$$\omega_r^2(y_r) = \{k_r(\phi_r) - M_r g h_{gr} \phi_r\} / (J_r + m_r h_r^2)$$

$$a_r = (M_r h_{gr} + m_r h_r) h_r / (J_r + m_r h_r^2)$$

$$b_r = h_r (J_r + m_r h_r^2) m_r g / z \quad \dots(3)$$

$$b'_r = h_r (J_r + m_r h_r^2) m_r g / z$$

$$f'_r = h_r^2 / (J_r + m_r h_r^2) m_r g / z, \quad f_r = h_r^2 / (J_r + m_r h_r^2) m_r g / z, \quad \alpha_r = m_r / M_r$$

結局 $(n-1)$ スパン橋の運動方程式は次式のようにマトリックス表示できる。

$$\begin{aligned} \{\ddot{y}_r\} + \begin{bmatrix} z s_1 \omega_1 & & \\ & z s_2 \omega_2 & \\ & & z s_n \omega_n \end{bmatrix} \{\dot{y}_r\} + \begin{bmatrix} \omega_1^2 & & \\ & \omega_2^2 & \\ & & \omega_n^2 \end{bmatrix} \{f(y_r)\} - \begin{bmatrix} b_1 & & & \\ b_{21} & b_{22} & & \\ & b_{r1} & b_{r2} & \\ 0 & & & b_{n1} & b_{n2} \end{bmatrix} \{y_r\} + \begin{bmatrix} f_1 & f_1 & & \\ & f_2 & f_2 & \\ & & f_r & f_r \\ 0 & & & f_{n-1} & f_n \end{bmatrix} \{\text{sign}(y_{r-1} - y_r)\} = \begin{bmatrix} b'_1 & & & \\ b'_{21} & b'_{22} & & \\ & b'_{r1} & b'_{r2} & \\ 0 & & & b'_{n1} & b'_{n2} \end{bmatrix} \{u_r\} \\ - \begin{bmatrix} a_r \end{bmatrix} \{\ddot{u}_r\} \quad \dots(4) \end{aligned}$$

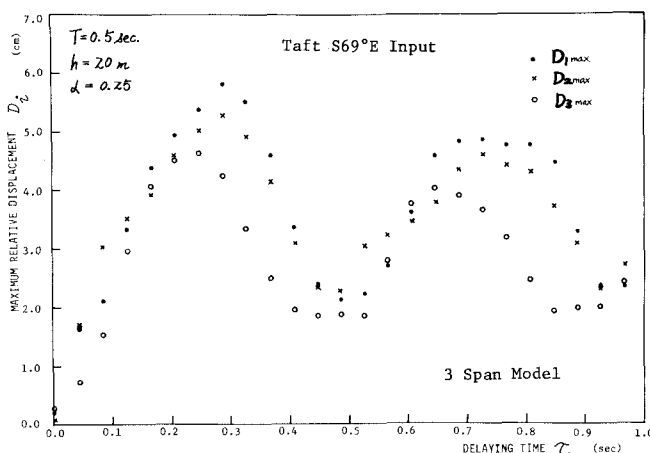


Fig.2 Effects of Delaying Time of Excitation at each Pier

### 3. 入力の位相遅れ時間で桁・橋脚の最大相対変位Dに与える影響

成分を入力した時の3スパンモデル $[T_r=0.5\text{sec}, h_r=20\text{m}, \gamma_r=0.02, \alpha_r=0.25 (r=1, \dots, 4)]$ の最大相対変位 $D_i$  ( $i=1, 3$ )をプロットしたのがFig.2である。横軸には各橋脚に入射する地震波の位相遅れ時間を取った。各スパンの $D_i$ に差が見られるが、3者ともてが各橋脚の固有周期(0.5sec.)の0.5, 1.5倍の所で極値を示している。すなわちこれらの付近では、隣接する橋脚が逆位相で振動していることがわかる。

### 4. 上下部質量比および動摩擦係数 $\mu_d$ がDに与える影響

前節と同様の3スパンモデルの $\alpha$ および $\mu_d$ を変化させた時の最大相対変位

$D_i$ をFig.3にプロットした。同図より $\alpha$ および $\mu_d$ が大きくなると、 $D_i$ が減少することがわかる。つまり $\alpha$ や $\mu_d$ が大きくなると、可動支承部での滑り摩擦が増大し、エネルギー消費量が増加するためであろうと考えられる。 $\alpha$ が増大すると式(4)の左辺第4項の転倒モーメントは増大するが、後述する範囲での影響はさほど大きくないものと考えられる。

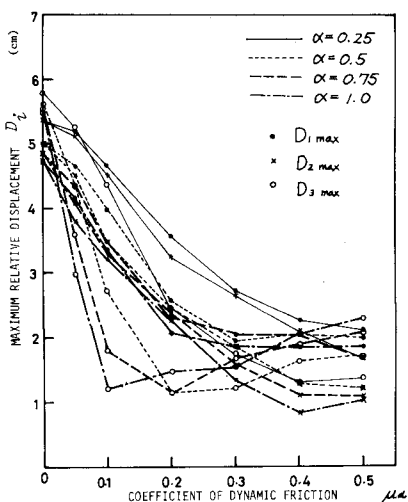


Fig.3 Effects of Mass Ratio  $\alpha$  and Coef. of Dynamic Friction  $\mu_d$  to  $D_i$

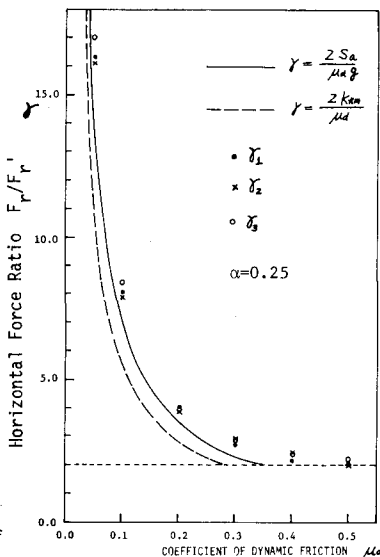


Fig.4 Effects of Coef. of Dynamic Friction to  $\gamma_i$

### 5. 固定支承部に働く水平力と

可動支承部での動摩擦力との比

と 鋼道路設計示書に示された設計手法に基づき、設計震度 $K_n$ およびTaht記録の応答スペクトル( $\text{Sa/g}$ )より算出した 水平力比をFig.4に示した。同図には応答計算より算出した $\gamma$ をも同時に示した。示書による値が計算値よりもかなり低い、示書では桁の慣性力のみが固定支承に働くとして仮定しているためである。実際には、摩擦を通して隣接橋脚の慣性力の影響があるものと考えられる。

### 6. 桁重量が非線形ロッキング振動に及ぼす影響

地盤復元力 $k_r(y)$ の非線形性が大きいと、桁重量による転倒モーメントの影響が相対的に大きくなって来る<sup>2)</sup>。Fig.5 (a), (b), (c)には、1スパン橋を対象とした相対変位(a)、第1橋の変位(b)、全復元力特性(c)の計算結果を示した。

$k_r(y)$ としては完全弾塑性型に近いBilinearモデルを採用した。(a)図の桁・橋脚間の相対変位は、さほど増大しているが、第1橋の応答変位は、転倒モーメントが復元力モーメントに等しくなる臨界変位 $y_{1,cr}$ を越えて橋梁全体が崩壊に至っている。(c)図には全復元力(地盤復元力と転倒モーメントの和)を示したが、応答変位が $y_{1,cr}$ 以上となると、負の復元力となることがわかる。

参考文献 1)後藤(198), 第4回地震工学研究発表会, 1976.

2)後藤(198), 第29回工学年次学術講演会, I-276, 1974.

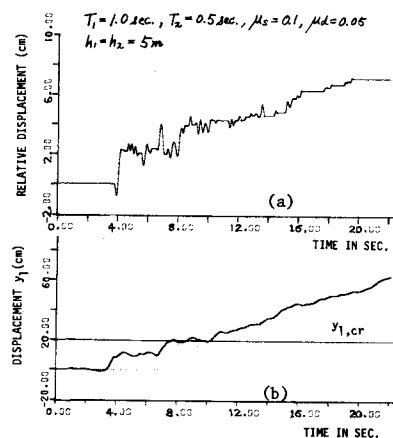


Fig.5 Collapse of a Bilinear Model with Gravity Effects