

動的相互作用を考慮した連続高架橋の地震応答解析に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 山田善一  
 鹿児島大学工学部 正員 河野健二  
 神戸市 正員 長光弘司

1. まえがき

本研究では、連続高架橋を対象とし、各入力点によって異なる地震動を簡単な7ロススペクトル密度マトリックスを設定することにより評価し、動的相互作用を考慮した連続高架橋の応答に及ぼす影響を検討しようとするものである。地震動の伝播特性のうち、入力強度の比、波動伝播に伴う減衰性、および位相遅れに注目し、それぞれ不規則振動論の定常応答から求まる共分散値で評価した。

2. 解析モデル

本研究では、Fig. 1に示す3径間連続橋を解析対象とした。基礎は剛体フーチングとし、地盤は弾性地盤とし、2層地盤モデルを設定した。 $V_s$ は地盤のせん断波速度を示し、添字1は表層地盤を、添字2は基盤を表わしている。

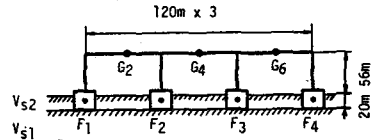


Fig. 1 3-span continuous bridge model

3. 7ロススペクトル密度を用いた不規則応答解析

全体系の運動方程式は、複素固有値解析から  $\{r(t)\} + [\lambda] \{r(t)\} = [W] \{\ddot{z}_g(t)\}$  (1) となる。 $\lambda$ は複素固有値、 $\{\ddot{z}_g(t)\}$ は地震加速度である。応答  $\{r(t)\}$ 、および  $\{\ddot{z}_g(t)\}$ の7ロススペクトル密度マトリックスを  $[S_{rw}]$ ,  $[S_{zg}(w)]$ とすれば、不規則定常応答では  $[S_{rw}]_{jk} = [\lambda_j + i\omega]^{-1} [W] [S_{zg}(w)] [W]^* T [\lambda_k^* - i\omega]^{-1}$  (2) となる。これから応答  $\{r(t)\}$ の共分散マトリックス  $[R_{rr}]$ は、  $[R_{rr}] = \int_{-\infty}^{\infty} [S_{rw}] d\omega$  (3) と求められる。

いま、各入力点の地震動の差異を  $\{\Delta\}$ で表わし、  $\{\ddot{z}_g(t)\} = \{\Delta\} \ddot{z}_g(t)$ とし、さらに  $\ddot{z}_g(t)$ を強度  $S_0$ のホワイトノイズと設定すれば、

$$[S_{zg}(w)] = S_0 \{\Delta\} \{\Delta\}^* T \quad (4)$$

(3)から  $[R_{rr}]$ が求められる。本解析モデルでは、4つの入力点があるので、 $\{\Delta\}$ として

(i)  $\{\Delta\} = \{1, \gamma, \gamma, 1\}^T$ , ここに  $\gamma$ は両端の入力点に対する中間入力点の入力地震強度比。

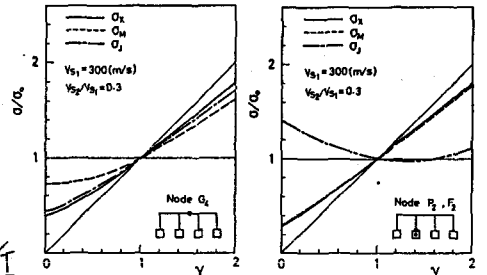


Fig. 2 rms response in relation to  $\gamma$

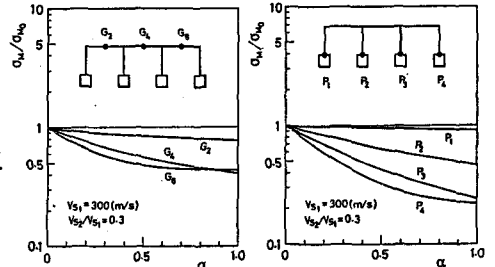


Fig. 3 rms response in relation to  $\alpha$

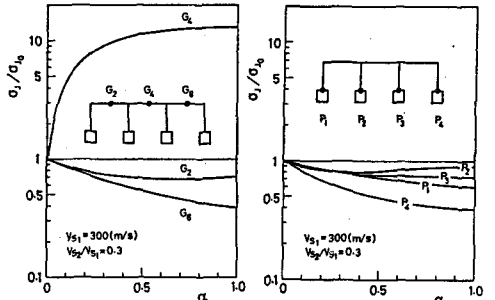


Fig. 4 rms response in relation to  $\alpha$

(ii)  $\{\Delta t\} = \{1, e^{\zeta}, e^{2\zeta}, e^{3\zeta}\}^T$ , ここに  $\zeta = -\alpha - i\omega\beta$

$\alpha = \kappa\alpha L$ : 距離減衰,  $\beta = \Delta t/c$ : 位相遅れ

( $\alpha L$ : 空間長 (120m),  $c$ : 位相速度)

を考れば、 $\beta$ によって入力強度比,  $\alpha$ によって伝播に伴う減衰性,  $\beta$ によって位相遅れをそれぞれ評価できる。このとき、(ii)の場合の共分散マトリックスは、

$$[R_{rr}]_{j,k} = \frac{2\pi S_0}{\lambda_j + \lambda_k^*} [W][S_{\alpha\beta}]_{j,k}^* [W]^* \quad (5)$$

$$\text{ここに、} [S_{\alpha\beta}]_{j,k}^* = \frac{1}{2} \exp[-(l+m-2)\alpha] \times [\exp\{Im(\lambda_j)(l-m)\beta i\} + \exp\{-Im(\lambda_k^*)(l-m)\beta i\}]$$

となる。

#### 4. 解析結果および考察

伝播特性の応答に及ぼす影響を Fig. 2 ~ Fig. 5 に示す。注目応答量は、 $\sigma_x$ : 面外変位,  $\sigma_M$ : 面外曲げモーメント,  $\sigma_T$ : ねじりモーメントである。これらは、伝播特性を考慮しない場合の応答値で、それぞれ正規化してある。

$\beta$ は、両端入力点に対する中間入力点の入力地震強度の比であるから、 $\beta < 1$ では構造物がうける地震力は減少する。しかし、Fig. 2 に示すように、基礎天端の $\sigma_T$ は逆に増加している。また、 $\alpha$ は地震力の減衰の度合いを示し、 $\alpha$ が大きいほど構造物のうける地震力は小さくなる。そのため、Fig. 3 に示すように、地震進行方向から遠地点ほど $\sigma_M$ の減少率が大きくなる。しかし、Fig. 4 に示す $\sigma_T$ では、中間入力点での応答の減少率が小さく、特に $G_4$ では逆に応答の増加がみられる。このように、構造物がうける地震力が減少しても、応答量は減少するとは限らず、 $\sigma_T$ については逆に増加している。

一方、位相遅れ $\beta$ については、Fig. 5 に示すように $\beta = 1.7 \text{ sec}$ 付近で応答にピークを示している。この $\beta$ の値は構造物の1次固有周期にあたり、一種の共振現象とみることが出来る。また、 $\beta = 0.2 \text{ sec}$ 付近では、基礎の応答のうち $\sigma_x$ ,  $\sigma_M$ について、地震進行方向から遠地点にある $F_3$ ,  $F_4$ ほど応答の増加がみられ、位相速度の大きい地震波を想定する場合には、注意が必要が生じる。さらに $\sigma_T$ については、中央径間の $G_4$ で著しい増加を示している。

5. 結論 1) 入力強度の減少率が一律であれば、応答もそれに比例して減少する。しかし、減少率が各入力点で異なれば、構造物のうける地震力が減少しても応答は増加を示すことがある。本研究では、ねじりモーメントに増加の傾向が強くみられた。  
2) 位相遅れが構造物の卓越固有周期に近づくと、応答値がピークを示すという一種の共振現象が生じるため注意が必要となる。また、ねじりモーメントに及ぼす影響が著しい。

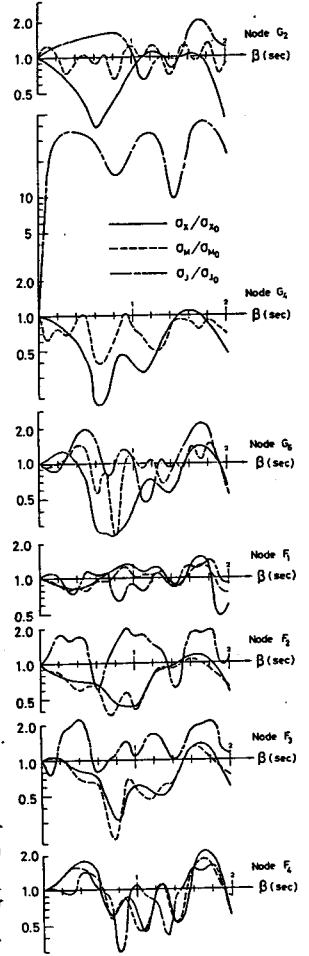


Fig. 5 rms response in relation to  $\beta$

参考文献 松島 豊: 空間的に変化する地震動のスペクトルと対応する地盤-基礎系の伝達関数,