

隣接橋梁間に生じる地震時相対変位の推定に関する研究

鳥取大学工学部 フェロー会員

上田 茂

鳥取大学工学部 正会員

池内智行

鳥取大学工学部

正会員

盛川 仁

鳥取大学大学院 学生員

○竹下 満

1. はじめに

橋梁の地震被害例として、隣接する橋梁との衝突および落橋が挙げられる。これらの被害を避けるためには、隣接する橋梁間に生じる相対変位をあらかじめ求めておく必要がある。現在、相対変位は入力地震動が決定すれば時刻歴応答解析を実行することで、容易に求めることが可能である。しかし、入力地震動を確定値として取り扱うのは困難なため確率論的なアプローチが必要になってくると思われる。本研究では、1自由度系のランダム応答をもとにして、隣接する2つの1自由度系のランダム応答を考え地震時最大相対変位の推定式を求めた。また、実地震波を入力とした時刻歴応答解析を行った結果との比較を行いその精度についても検討を行った。

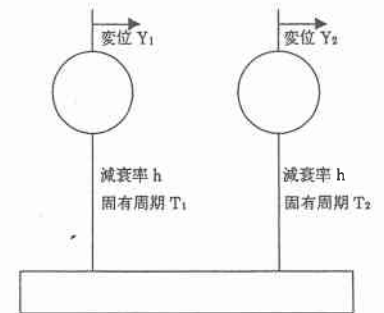


図-1 橋梁モデル

2. 最大相対変位の推定式

本研究では、1自由度系の定常ランダム応答に関する考察をもとにして、隣接する2つの1自由度系の間に生じる最大相対変位の推定式を提案する。まず、パワースペクトル密度 $S_z(\omega)$ 、平均値0のランダムな地震動を受ける1自由度系の変位応答分散は変位伝達関数 $H_r(\omega)$ を用いて以下のように求めることができる。

$$\sigma_y^2 = E(y^2) = \int_{-\infty}^{\infty} S_y(\omega) d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} |H_r(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega \quad (1)$$

さらに、入力がパワースペクトル密度 S_0 をもつホワイトノイズであると仮定し留数積分を実施すると変位応答分散は以下のように求まる。

$$\sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |H_r(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega_0^2\omega^2} d\omega = \frac{\pi S_0}{2h\omega_0^3} \quad (2)$$

構造物を対象とする場合、固有振動数近傍のパワースペクトル成分の寄与が大きくなることが予想されるため近似的に式(2)が成り立つことが明らかにされている¹⁾。

ここで、隣接する2つの1自由度系の相対変位についてまず考察を行う。以下の式が成り立つことから相対変位の伝達関数は $H_{r_1}(\omega) - H_{r_2}(\omega)$ と考えることができる。

$$y_1(t) - y_2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Z(\omega) H_{r_1}(\omega) e^{i\omega t} d\omega - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Z(\omega) H_{r_2}(\omega) e^{i\omega t} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Z(\omega) (H_{r_1}(\omega) - H_{r_2}(\omega)) e^{i\omega t} d\omega \quad (3)$$

これより、式(2)と同様に考えると相対変位の分散は以下のように表せる。

$$\sigma_{y_1 - y_2}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |H_{r_1}(\omega) - H_{r_2}(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega \quad (4)$$

次に、最大応答変位について考察を行う。分散と最大応答変位は何らかの因果関係を持つため換算係数 ρ で変換できると仮定すれば以下の式が成り立つ。

$$|Y|_{\max} = \rho \sigma_y^2 = \rho \int_{-\infty}^{\infty} |H_r(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega \quad (5), \quad |Y_1 - Y_2|_{\max} = \rho \sigma_{y_1 - y_2}^2 = \rho \int_{-\infty}^{\infty} |H_{r_1}(\omega) - H_{r_2}(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega \quad (6)$$

ここで、式(5)を式(6)に代入すると以下の式を得ることができる。

$$|Y_1 - Y_2|_{\max} = |Y|_{\max} \frac{S_0 \int_{-\infty}^{\infty} |H_{r_1}(\omega) - H_{r_2}(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega}{S_0 \int_{-\infty}^{\infty} |H_r(\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega} = |Y|_{\max} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{r_1}(\omega) - H_{r_2}(\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |H_r(\omega)|^2 d\omega} \quad (7)$$

すなわち、一自由度系の最大応答変位が与えられれば最大相対変位が推定可能となる。式(7)の分母は留数積分を実行することで以下のように求めることができる。

$$\frac{1}{2} \frac{a_1 b_1 + \frac{b_2}{a_4} (a_3 - a_1 a_2)}{a_3^2 + a_1^2 a_4 - a_1 a_2 a_4} \quad (8) \quad \begin{aligned} a_1 &= -2.0ih\omega_1 - 2.0ih\omega_2, a_2 = -\omega_1^2 - 4.0h^2\omega_1\omega_2 - \omega_2^2, a_3 = 2.0ih\omega_1\omega_2^2 + 2.0ih\omega_2^2\omega_1, a_4 = \omega_2^2\omega_1^2, \\ b_1 &= 4.0 + h^2(\omega_2 - \omega_1)^2, b_2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 \end{aligned}$$

本研究では式(7)を最大相対応答変位の推定式として提案する。

3. 時刻歴応答解析と推定式との比較

提案した推定式の精度について調べるため時刻歴応答解析結果との比較を行った。比較を行ったケースは2つの1自由度系の内、1つの固有周期を0.5秒で固定しもう一方の固有周期を0.5-5.0秒まで変化させたものである。なお、減衰定数は5%とした。図-2に示すように入力地震波として神戸海洋気象台 NS を用いた。時刻歴応答解析については2つの1自由度系についてそれぞれ応答変位の時刻歴を計算し、その差をとって相対変位としたあとに最大値を求めた。また推定式によって最大相対応答変位を求める場合、以下のような手順とした。まず、1自由度系の時刻歴応答解析を行って最大応答変位を求めた。その結果を図-3に示す。次に図-4に示すように、式(7)の最大応答変位以外の項について求めた。最後に図-3と図-4の値を掛け合わせることで最大相対応答変位を決定した。

図-5に推定式と時刻歴応答解析の結果の比較を示す。図より推定式による最大相対応答変位が少し小さめの評価となっているもののおおむね時刻歴応答解析の結果と一致することがわかった。

4. まとめ

本研究では固有周期差のある2つの構造系間に生じる相対変位の推定方法を検討した。結果をまとめると次のようになる。1) ランダム応答に対する考察から、隣接橋梁間に生じる最大相対変位を求める推定式を提案した。2) 入力を実地震波として、提案した推定式を用いて最大相対応答変位を求めた結果時刻歴応答解析の結果とほぼ一致することが分かった。

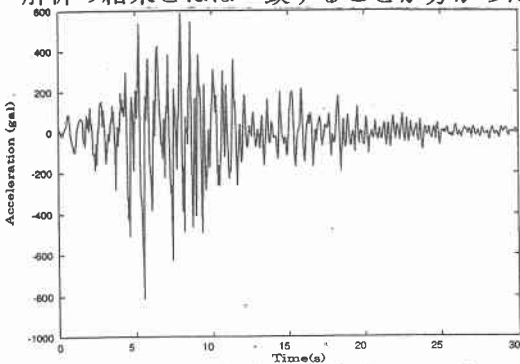


図-2 入力地震波 (kobens)

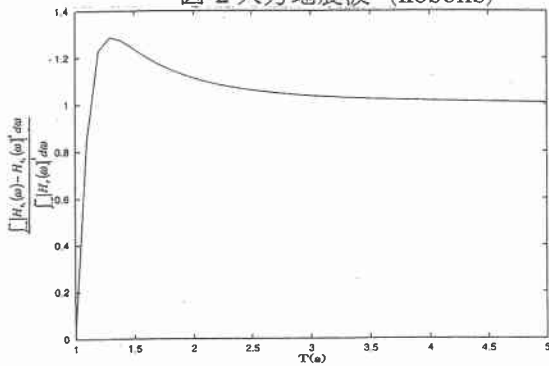


図-4 伝達関数の比

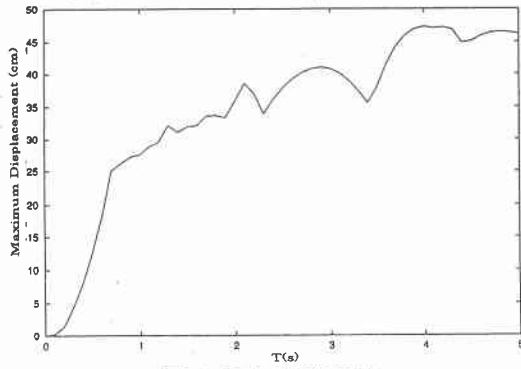


図-3 最大応答変位

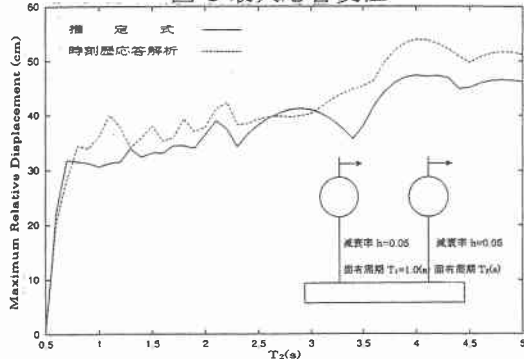


図-5 最大相対応答変位

参考文献

1) 例えば、柴田明德：最新 耐震構造解析、1981