

橋梁系の地震時動特性を考慮した耐震装置の検討

東北大学工学部 ○学生員 高橋 潤吉
 東北大学工学部 正 員 岩熊 哲夫
 東北大学工学部 正 員 中沢 正利

1. まえがき

橋梁の耐震構造として近年では免震支承を配することが多い。単なるゴム支承と違いバイリニア的抵抗をする免震支承の有効さはよく知られている²⁾。一方、橋梁によっては落橋防止装置も各所に取り付けられているが、阪神淡路大震災ではこの装置の落下等も見受けられる。大地震時に特に、この支承と落橋防止装置とがシステムとして耐震挙動をしてくれるようになれば、より有効な耐震装置が得られそうだ。そこでここでは、免震支承の降伏応力に対応する抵抗を「摩擦抵抗機構」で簡易モデル化し、既存の免震支承を改善する可能性を検討する。ただし、簡単のため、橋梁と橋脚とを各1質点にモデル化し、その間に支承をモデル化する「バネ」「ダッシュポット」「摩擦抵抗機構」をはさんで橋梁系のシステムとし、入力は橋脚の下の地盤からの地震加速度入力とする。

2. 解析モデルと方法

図-1は橋梁と橋脚とを2質点系にモデル化したものである。支承部には3つの機構を挿入したが、基礎と橋脚との間には「摩擦機構」を入れていない。図に定義した記号を用いると、運動方程式は

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (2h_1\omega_1 + 2\mu h_2\omega_2) & -2\mu h_2\omega_2 \\ -2\mu h_2\omega_2 & 2\mu h_2\omega_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (\omega_1^2 + \mu\omega_2^2) & -\mu\omega_2^2 \\ -\mu\omega_2^2 & \mu\omega_2^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = -p_0 \frac{|\dot{u}_2 - \dot{u}_1|}{(\dot{u}_2 - \dot{u}_1)} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix} \ddot{\phi} \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここに ω_1 、 ω_2 はそれぞれの質点を独立した1自由度系とみなしたときの固有振動数で $\omega_1 \equiv \sqrt{k_1/m_1}$ 、 $\omega_2 \equiv \sqrt{k_2/m_2}$ と定義した。また μ は質量比(m_2/m_1)である。さらに橋脚の粘性係数を h_1 、支承の粘性係数を h_2 、地震加速度を $\ddot{\phi}$ 、摩擦抵抗機構による摩擦力を p_0 とそれぞれ定義した。

各パラメータの値は実橋を考慮して決めなければならないが、ここでは同じような研究文献¹⁾の設定を借り、 ω_1 は 4π 、 2π 、 $\frac{4}{3}\pi(1/s)$ のいずれかとし、振動数比 $\nu \equiv \omega_2/\omega_1$ を0.2~2.0の間で変化させた。もうひとつの研究文献²⁾の例では $\omega_1 = 8.57, 11.30(1/s)$ 、 $\nu = 0.55$ 程度である。また、減衰 h_1 も2%である。研究文献²⁾の固有振動数 ω_1 の値は $\omega_1 = 3\pi$ とし、その他の値は研究文献¹⁾の設定を用いる。摩擦力 p_0 は $0.0\sim 4.0m/s^2$ とした。式(1)は、時間刻み $\Delta t = 0.01s$ を用いたNewmark β 法($\beta = 0.25$)を用いて直接積分した。入力地震動はエルセントロ、兵庫県南部地震(JR西日本鷹取駅)、宮城県沖地震を本研究の解析例として用いる。パラメトリック比較で着目するのは加速度応答などの2乗平均値とし、上の直接積分から得られる応答を、入力地震時間のうちの20.48sの間のパワースペクトルから算定した。

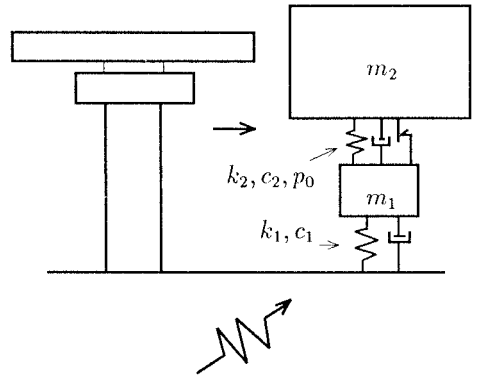


図-1 橋梁系のモデル

3. 解析結果および考察

紙面の関係で兵庫県南部地震入力の結果のみを示す。各パラメータの値は表-2に示しておく。解析例1に対する図-2と、解析例2に対する図-3には横軸に摩擦力 p_0 を、縦軸は(a)~(d)の順に橋脚の変位、桁の変位、橋脚の加速度、桁の加速度の2乗平均をプロットしてある。図からわかるとおり(a), (b), (d)は、 p_0 の値が $0\sim 2\text{m/s}^2$ の範囲内においてはほぼ単調に減少する傾向がみられる。(c)を見てみると p_0 が 1m/s^2 付近までは減少またはほぼ一定で変化が小さい。 p_0 の値に注目した場合、 1m/s^2 付近までの摩擦力を支承部に付けることによって橋脚に負担をかけることなく、橋梁及び支承の耐震性能を上げることが可能であることを示している。

粘性による減衰と摩擦減衰や塑性変形による減衰とでは、粘性による効果の方が大きいことがわかる。これは特に支承のバネ定数が大きい場合、図にも顕著にあらわれる。この理由は、橋脚と桁の相対変位が小さく抑えられるため p_0 による減衰の効果が期待できないことがあげられる。逆に支承のバネ定数を小さくした場合、橋脚と桁の間で2次モードの振動が起きるので、摩擦力を持つ制振装置による減衰も大いに期待できる。

表-1 解析の入力値

| | 解析例1 | 解析例2 |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| μ | 5.0 | 5.0 |
| $\omega_1(1/s)$ | 3π | 3π |
| $\omega_2(1/s)$ | $0.6\pi(\nu=0.2)$ | $4.5\pi(\nu=1.5)$ |
| h_1 | 0.05 | 0.05 |
| h_2 | 0.0~1.0 | 0.0~1.0 |
| $p_0(\text{m/s}^2)$ | 0.0~4.0 | 0.0~4.0 |

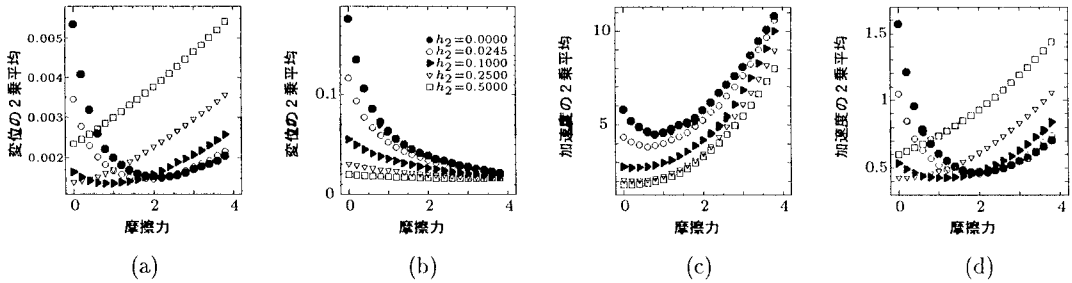


図-2 解析例1

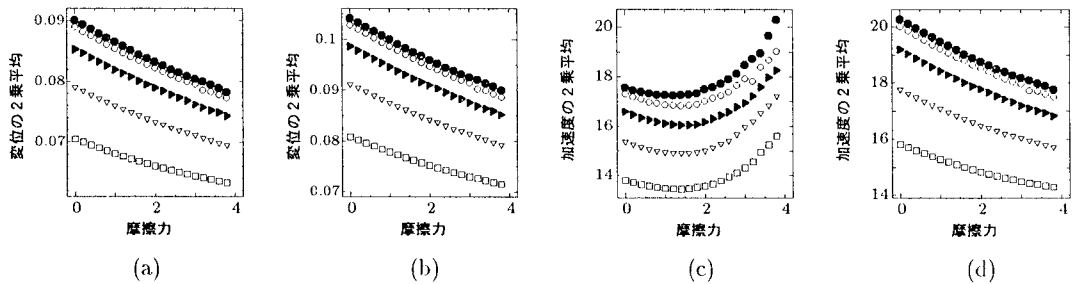


図-3 解析例2

4. まとめ

本研究では桁と橋脚の間に桁の重量に匹敵するくらいの大きさの塑性抵抗をするような装置を入れることによって橋梁全体としての耐震性能の向上ができる可能性を見いだした。それは研究論文²⁾のある橋梁をモデル化したと思われる上部構の例では 2.98MN なので p_0 が 1m/s^2 の場合、現存の落橋防止装置(断面積 $70\times 12\text{mm}$)1~2本分程度の抵抗力を生み出す装置ということになる。

参考文献

- 1) 阿部雅人・藤野陽三: 高架橋構造全体系の耐震性能の向上を考えた制振装置の最適化 土木学会論文集 投稿準備中
- 2) 中島章典: 多径間高架橋システムの大地震時応答解析 第2回土木鋼構造研究シンポジウム pp.14-21
- 3) 小畑・後藤・松浦・藤原: 高速引張時の落橋防止装置連結板の強度特性 土木学会論文集 No.441/I-18, pp.97~105, 1992.1