

パルス性地震動を受ける道路橋へのロッキング免震の適用性評価

徳島大学 正会員 ○井上貴文 徳島大学 フェロー 成行義文

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震や 2004 年新潟県中越地震のような内陸地殻内地震において観測されるパルス状の速度波形を含む地震動（以下、パルス性地震動とよぶ）に対して、構造物の被害を軽減する技術の開発が求められていて、そのような背景から、近年、パルス性地震動に受ける構造物の地震応答について様々な検討がなされている^{例えば 1), 2), 3)}。本研究では、一般的な直接基礎を有する道路橋を対象とし、直接基礎の浮き上がりを許すことによって上部構造系の被害を軽減できる一種の免震技術であるロッキング免震がパルス性地震動に対してどのように有効であるのかを明らかにすることを目的として検討を行う。検討にあたり入力地震動として模擬パルス性地震動を用いることにより、パルス性地震動の特性に着目して検討を行う。

2. 検討方法

図-1 に示す道路橋⁴⁾を対象として検討を行う。この橋梁は平成 8 年道路橋示方書に基づいて試設計されたものである。地盤条件として、図-1 に示すとおり(1)N 値 50 程度に相当する砂質地盤とそれよりも軟らかな(2)N 値 25 程度に相当する砂質地盤の二種類の地盤を考える。N 値 50 程度のものを $V_s=295\text{m/s}$ の砂質地盤、N 値 25 程度のものを $V_s=230\text{m/s}$ の砂質地盤とする。さらに基礎の寸法として図-1 に示すとおり(1)6.5m×7m に加え、それよりも大きい値とした(2)10m×10m の二種類のものを考える。一基の下部構造とそれが支持する上部構造部分を検討対象とし、橋軸方向の応答を対象とする。また、ここでは橋脚を線形弾性体と仮定し、構造物の損傷に寄与する応答量であると考えられるベースシアを評価することにより検討を行う。モデル化した上部構造物-橋脚-基礎-地盤システムを図-2 に示す。直接基礎の浮き上がりやそれに伴う地盤の非線形化を考慮できる手法として、本研究では中谷ら⁵⁾によって開発されたマクロエレメントモデルを用いる。この手法の詳細は文献 5)を参照されたい。地盤の非線形特性を決定づける支持力曲面、塑性ポテンシャル、硬化則のパラメーター、さらに地盤密度は Nova and Montrasio⁶⁾と中谷ら⁵⁾の実験に基づく提案によって設定する。 $V_s=295\text{m/s}$ の砂質地盤については、硬化則のパラメーター R_0 、中央鉛直荷重についての基礎底面地盤の極限支持力 V_m を以下のように設定する。硬化則のパラメーター R_0 は Shirato et al.⁷⁾と同様に以下の式により決定する。

$$R_0 = 100 \times V_m / B \quad (1)$$

ここで、 R_0 、 V_m そして B の単位はそれぞれ kN/m, kN そして m である。中央鉛直荷重についての基礎底面地盤の極限支持力 V_m は道路橋示方書⁸⁾に規定された静力学公式により設定する。なお、土被りの影響は無視する。各ケースについて基礎-地盤システムは、(1)地盤を弾性体とする場合（以下、線形モデル）、(2)地盤を弾塑性体とし基礎が浮き上がる場合（以下、非線形モデル）の 2 つのものを考え、それらの応答を比較して検討を行う。ロッキング免震の効果を直接基礎の浮き上がりやそれに伴う地盤の非線形化による断面力の低減効果により評

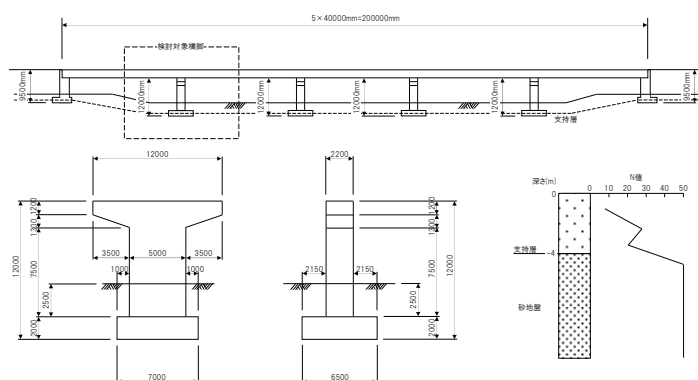
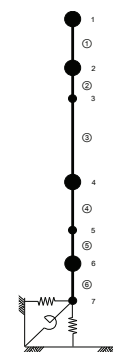
図-1 検討対象橋梁⁴⁾

図-2 上部構造物-橋脚-基礎-地盤システム概念図

価する。

パルス性地震動を正弦波パルスによって模擬する．検討に用いる正弦波パルスの加速度時刻歴 $a(t)$ を次式によって定義する．

$$a(t) = \begin{cases} A_p \sin \frac{2\pi}{T_p} t & (0 \leq t < T_p) \\ 0 & (T_p \leq t) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 A_p はパルス加速度振幅、 T_p はパルス周期である．正弦波パルスの一例として、パルス加速度振幅が 200gal、パルス周期が 0.684 秒のものを図-3 に示す．パルス性地震動を特徴づける量であるパルス周期 T_p と線形モデルの 1 次の固有周期 T_e との関係によって、ロッキング免震効果がどのように変化するかを整理する．

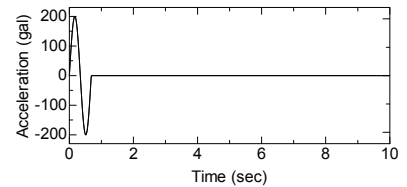


図-3 正弦波パルスの一例

3. 検討結果

T_p として T_p/T_e が 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 となる 4 つのケースを考える．パルス性地震動を特徴づけるもうひとつの値であるパルス加速度振幅として、200, 800gal の 2 つの異なるレベルを考える．

ロッキング免震効果とパルス周期の関係を図-4, 5 に示す．横軸は T_p/T_e であり、縦軸は、線形モデルにおけるベースシアの最大値に対する非線形モデルにおけるその比であり、ロッキング免震効果の程度を表している．図-4, 5 より分かるように、ロッキング免震効果は、パルス加速度振幅に依らず T_p/T_e が 1~1.2 の範囲において最も大きく、それから離れるほどその効果は緩やかに低下しており、パルス周期への依存性が見られる．これは、 T_p/T_e が 1~1.2 の範囲において、線形モデルの応答が最も大きくなる傾向にあるが、基礎の浮き上がりや地盤の非線形化によりモデルが長周期化し応答が最も大きくなるパルス周期帯にずれが生じ、その応答が抑えられるためであると考えられる．また、パルス加速度振幅が大きいほど、また基礎幅が小さいほど断面力の低減効果が大きくなっている．これはパルス加速度振幅が大きくなるほど、また基礎幅が小さいほど基礎の浮き上がりや地盤の非線形化が生じやすくなるためであると考えられる．これらの傾向は、地盤の硬さに依らない．

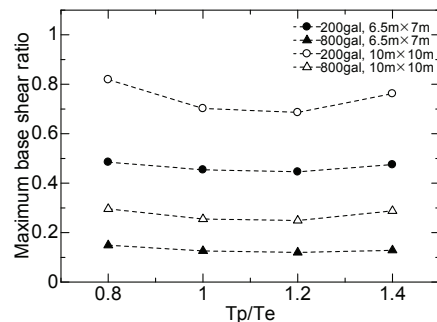


図-4 ロッキング免震効果とパルス周期の関係 ($V_s=295\text{m/s}$ の地盤)

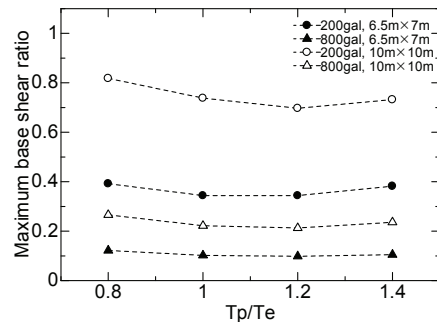


図-5 ロッキング免震効果とパルス周期の関係 ($V_s=230\text{m/s}$ の地盤)

謝辞

本研究では土木研究所において中谷氏らによって開発された解析プログラムを使用いたしました．記して感謝の意を表します．

参考文献

- 1) 堺淳一, 川島一彦: パルス応答スペクトルに基づく断層直近地震動の特性, 構造工学論文集, Vol. 45A, pp. 819-828, 1999.
- 2) 鈴木恭平, 川辺秀憲, 山田真澄, 林康裕: 断層のパルス性地震動特性を考慮した設計用応答スペクトル, 日本建築学会構造系論文集, 第 647 号, pp. 49-56, 2010.
- 3) 亀井功, 佐藤浩太郎, 林康裕: モーダル解析によるパルス波地動に対する多自由度系の層間変形角応答特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 649 号, pp. 567-575, 2010.
- 4) (社) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, 丸善, 1997.
- 5) 中谷昌一, 白戸真大, 河野哲也: 直接基礎の地震時挙動を予測するための数値解析モデルの開発, 土木研究所資料, 第 4101 号, 2008.
- 6) Nova, R. and Montrasio, L.: Settlement of shallow foundations on sand, *Géotechnique*, Vol. 41, No. 2, pp. 243-256, 1991.
- 7) Shirato, M., Kouno, T., Nakatani, S. and Paolucci, R.: Most impacting conventional design parameters on the seismic permanent displacement of shallow foundations, *Soils and Foundations*, Vol. 52, No. 2, pp. 346-355, 2012.
- 8) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書 (I 共通編, IV 下部構造編)・同解説, 丸善, 2012.