

ゴム支承の鉛直剛性が高架橋の 地震応答に与える影響の評価

川原林 浩¹・伊津野 和行²

¹学生員 立命館大学大学院 理工学研究科環境社会工学専攻（〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1）

²正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1）

1. はじめに

阪神・淡路大震災後に改訂された平成8年度版道路橋示方書以降、橋梁の支承はゴム支承を基本とするようになった。従来の金属支承と比較すると、ゴム支承の鉛直剛性は小さいものが多く、用いるゴム支承の種類によっても異なることが考えられる。鉛直剛性の違いは、支承部に生じる地震時発生応力等、支承設計にも関わってくる。最近ではすべり摩擦型免震支承も採用され始めているが、これらの支承では、摩擦係数の面圧依存性の考慮や桁の浮き上がりが生じた場合への対処等、特に鉛直挙動に対する照査が重要である。橋軸直角方向の応答を考えた場合、水平入力地震動によっても鉛直方向の慣性力、ロッキング振動、桁のたわみ振動により、特に耳桁の支承部

には鉛直反力の大きな変動が生じることが報告されている¹⁾。そのため、ゴム支承の鉛直剛性の違いによって桁応答が異なり、さらには橋脚応答にも影響が出ることが考えられる。

本研究では、すべり摩擦型支承の鉛直剛性の違いが、橋脚の橋軸直角方向の地震応答に与える影響について検討した。

2. 解析モデルと解析方法について

(1) 検討対象橋梁とそのモデル化

本研究における検討対象橋梁は、単柱T型RC橋脚と5本の主桁によって支持された鋼I桁で構成されている橋梁とした。図-1に検討対象橋梁とその解析モデル図を示す。この橋脚の、橋軸直角方向及び鉛直方向の地震応答について考える。検討対象橋梁は、高さ10.5m、幅員16.8m、上部構造質量は466ton、下部構造質量は516tonである。解析において部材のモデルは次のように設定した。単柱T型RC橋脚は塑性化することが予想されることから、非線形特性を考慮した履歴復元モデルとして武田モデルを採用した。橋脚のM- ϕ 関係の骨格曲線を図-2に示す。減衰定数は2%とし、地盤は固定とした。

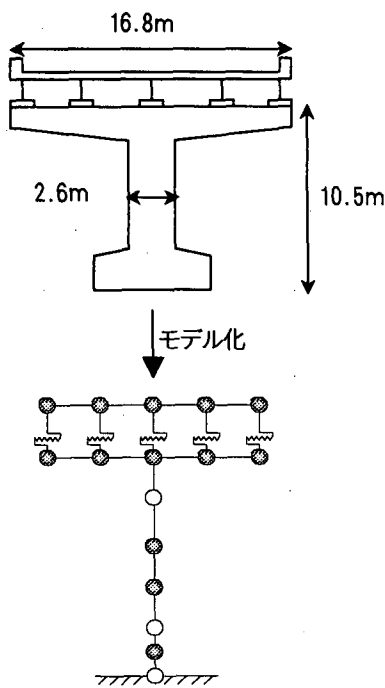


図-1 解析モデル

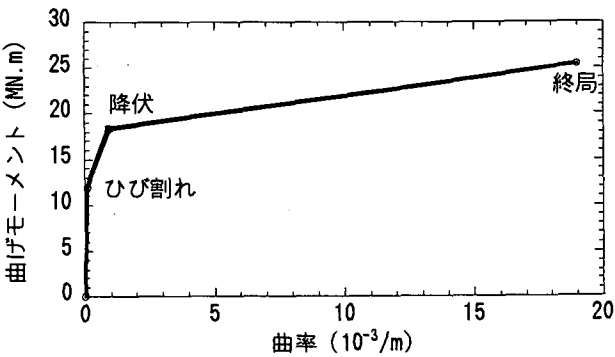


図-2 橋脚の骨格曲線

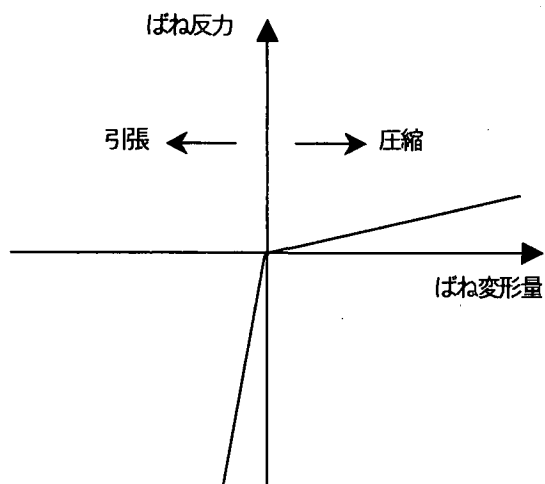


図-3 支承部分の履歴特性

(2) 支承のモデル化

一般にゴム支承は圧縮剛性よりも引張り剛性が小さい。また、すべり摩擦型支承で鉛直方向の拘束をゴムのせん断変形でとるタイプのもものでは、桁が浮き上がる方向には、ゴムバツファなど復元力を与えるばねのせん断剛性のみが作用する。反対に、桁が沈み込む方向には、そのばねのせん断剛性に加えて支承部の圧縮剛性が作用する。よって、鉛直方向における支承は図-3に示す原点非対称の線形モデルを用いたばねでモデル化した。減衰定数は2%とした。また、支承部分の橋軸直角方向は固定とした。

(3) 解析方法

非線形地震応答解析には、市販のソフトウェア TDAP III²⁾を利用した。今回の解析においては水平方向にも鉛直方向にも地震波を入力するため、入力地震動は1995年兵庫県南部地震においてJR 鷹取駅で観測された補正を行っていない地震波³⁾を用いた。

動的解析における積分法にはNewmark β 法を用い、積分時間刻みは0.002秒とした。なお、固有値解析を行った結果、1次モードの固有周期は0.32秒(3.1Hz)であった。

3. 橋脚の鉛直挙動に与える入力地震方向の影響

まず始めに、上下動の地震動が桁端部の鉛直応答に与える影響を検討した。検討対象橋梁に水平動のみが作用した場合と、水平動と上下動が同時に作用した場合とを比較検討した。

図-4に、桁端部における鉛直加速度応答波形のフーリエスペクトル図を示す。1~4Hz付近の低周波数部分においては、水平動のみが作用した場合のスペクトルも、

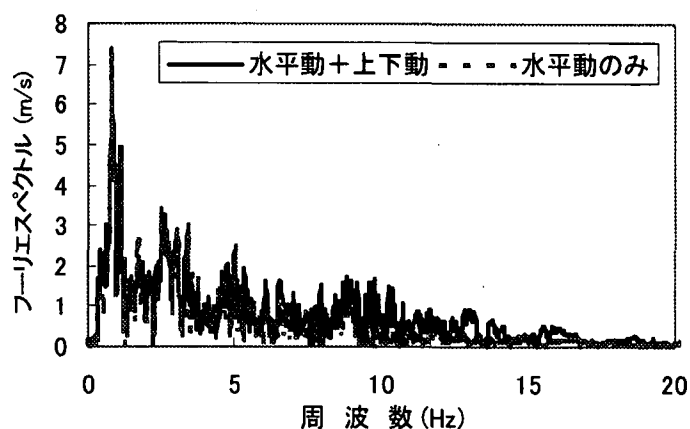


図-4 加速度応答波形のフーリエスペクトル図

表-1 解析ケース

	圧縮剛性 (kN/m)	引張剛性 (kN/m)
Case 1	4.4×10^5	4.4×10^2
Case 2	4.4×10^5	4.4×10^3
Case 3	4.4×10^5	4.4×10^4
Case 4	4.4×10^6	4.4×10^2
Case 5	4.4×10^6	4.4×10^3
Case 6	4.4×10^6	4.4×10^4

水平動と上下動が作用した場合のスペクトルもほぼ一致している。つまり、構造物応答の卓越振動数付近では、水平地震動の影響が大きいことがわかる。それに対して上下地震動は、8~12Hz付近の高周波数部分において影響を与えていることがわかる。桁端部の鉛直方向の挙動を考える場合、橋軸直角方向の水平地震動の影響が大きいという従来の研究結果¹⁾が、ここでも確認できる。

4. 支承の鉛直剛性が橋脚応答に与える影響

(1) 解析ケース

次に、鉛直方向の支承剛性を変えて解析を行った。今回行った解析は表-1に示す6ケースである。

Case1~3における圧縮剛性は、荷重支持と回転機能等を十分に満たすよう試設計で与えられた剛性値を設定した。それに対し、Case4~6ではCase1~3で採用した値より10倍剛性を大きくした値を採用している。

引張り剛性に関しては、一般のすべり摩擦型免震支承を想定して、圧縮剛性の1/100の引張り剛性としたCase2とCase5を標準として設定した。Case1とCase4はさらにその1/10の引張り剛性、Case3とCase6は逆に10倍の引張り剛性を与えた。結果的に、Case1とCase4は桁が上方向にほぼ自由に振動するケースとなり、Case3とCase6は支承部が鉛直方向にあまり動かないケースとなった。

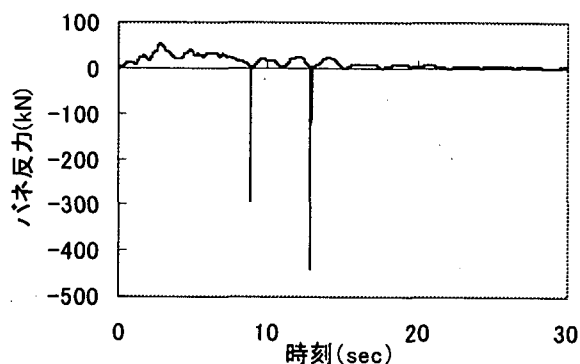


図-5 支承部反力の時刻歴応答波形 (Case1)

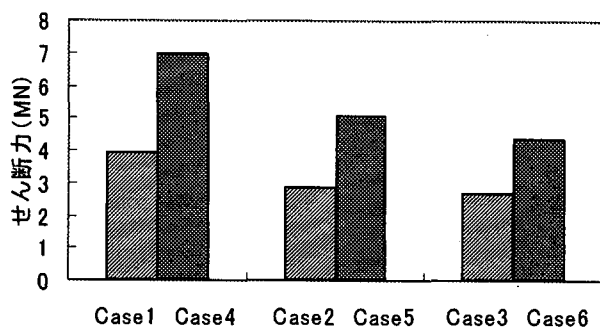


図-6 橋脚張り出し部の基部におけるせん断力

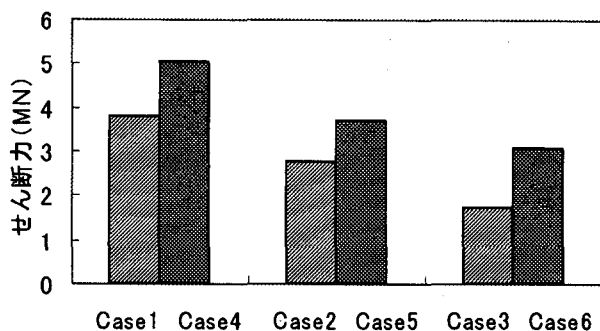


図-7 橋脚張り出し部の耳桁直下におけるせん断力

これら6ケースの地震応答解析を行ったところ、最外縁の耳桁部の支承において1.5~18cmの鉛直変位が発生し、支承の浮き上がりが確認された。例として、Case 1における耳桁部の支承反力の時刻歴応答を図-5に示す。横軸の9秒と12秒付近で合計2回、大きな力が作用している。支承が浮き上がることによって、支承が橋脚に着地するときに橋脚に大きな力が発生すると考えられる。

そこで、桁落下時の大きな力が橋脚の張り出し部に与える影響を検討するために、張り出し部におけるせん断力と曲げモーメントを計算した。それぞれのケースに対して、橋脚の張り出し部の基部および先端の耳桁直下における最大せん断力の比較図を、それぞれ図-6と図-7に、橋脚の張り出し部の基部および先端部における最大曲げモーメントの比較図を図-8と図-9に、耳桁部支承のばね反力の最大値を図-10に示す。

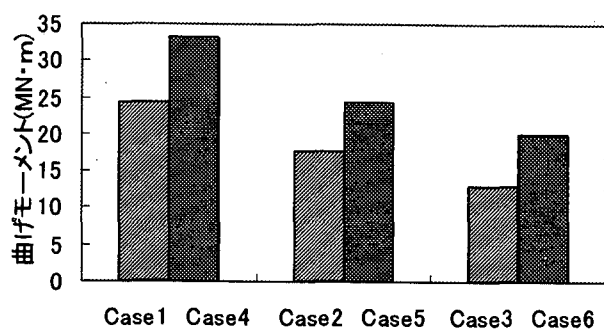


図-8 橋脚張り出し部の基部における曲げモーメント

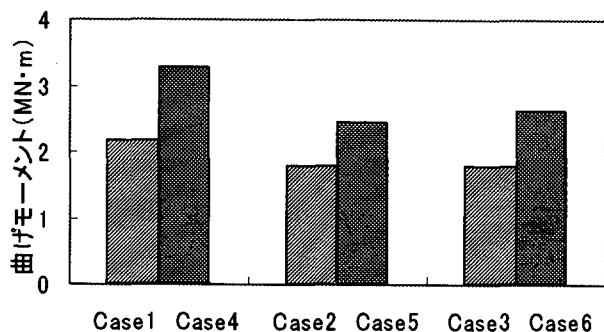


図-9 橋脚張り出し部の耳桁直下における曲げモーメント

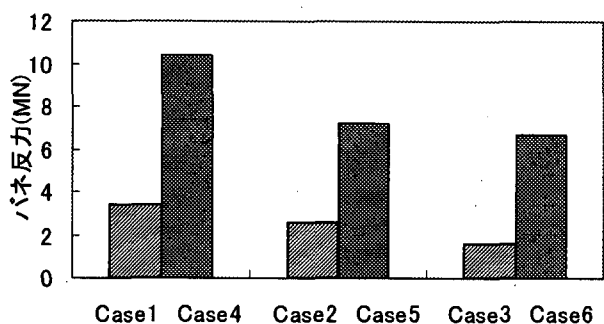


図-10 耳桁部支承反力

(2) 支承の引張り剛性が応答に与える影響

はじめに引張り方向に関する支承の鉛直剛性の違いが、橋脚応答に与える影響について検討した。Case 1~3の比較から、引張り剛性をCase 3からCase 1へと小さくすることによって、図-10に示すように、支承に作用する反力が大きくなるのがわかる。この影響で、図-6~図-9のいずれの図においても、引張り剛性の減少につれ、橋脚張り出し部におけるせん断力も曲げモーメントも大きくなっている。引張り剛性が小さくなることによって支承の鉛直変位が大きくなり、橋脚の張り出し部により大きな力が作用すると考えられる。

せん断力に関しては、図-6と図-7のCase 1~Case 3をそれぞれ比較すると、引張り剛性の変化は、図-7の耳桁支承部直下において影響が大きい。図-6の基部におけるせん断力は、特にCase 2とCase 3とでは、ほとんど差がない。

曲げモーメントは、図-8と図-9のCase 1~Case 3をそれぞれ比較すると、引張り剛性の変化は、図-8の基部において影響が大きい。図-9の耳桁支承部直下における曲げモーメントは、Case 2とCase 3とでほとんど差がない。これは、耳桁支承部直下における曲げモーメントの値自体が小さいことにもよる。

(3) 支承の圧縮剛性が応答に与える影響

次に、圧縮方向に関する支承の鉛直剛性が、橋脚応答に与える影響について比較検討した (Case1 と Case4, Case2 と Case5, Case3 と Case6)。図-6~10より、各ケースともに圧縮側の剛性が大きくなる (Case 1 から Case 4 へ, Case 2 から Case 5 へ, Case 3 から Case 6 へ)と、せん断力も曲げモーメントも大きくなっている。支承の浮き上がり後の落下による大きな力が生じた場合、圧縮側のばねが柔らかいほど、桁落下時のエネルギーを支承部分で緩和するために橋脚に与える影響がより小さくなると考えられる。

圧縮剛性を大きく (Case4~6) した場合、張り出し部基部に作用するせん断力が先端部に作用するせん断力に比べて 1.4 倍に増加していることがわかる。Case 4~6 では、橋脚張り出し部の中間支点においても桁の浮き上がりが生じていた。そのため、基部のせん断力応答にも影響が生じたものと考えられる。

一方、圧縮剛性を小さく (Case1~3) した場合、橋脚張り出し部の基部におけるせん断力 (図-6) と耳桁直下部におけるせん断力 (図-7) では、値に大きな変化が見られなかった。前述のように、桁落下時のエネルギーを支承部分で緩和しているためであると考えられる。

また、図-10より、圧縮剛性を 10 倍に大きくすると、支承部反力は 4 倍ほど大きな値となる。支承の鉛直剛性を大きくすれば、それだけ支承直下の補強等にも注意を

要することになり、逆に小さくすれば橋脚への影響を小さく抑えられることになる。

これらのことより、支承の浮き上がり後の落下によって発生する大きな力が、橋脚の張り出し部に影響を与えていることを確認できた。橋脚張り出し部の設計にあたっては、支承の鉛直剛性の影響も十分考慮する必要があるものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、すべり摩擦型支承の鉛直剛性が、橋脚の応答に及ぼす影響について基礎的な検討を行った。得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 桁端部の鉛直方向の挙動には、橋軸直角方向の水平地震動が及ぼす影響が大きい。
- (2) 支承の鉛直剛性の違いは、橋脚張り出し部の部材力応答に大きな影響を与える。
- (3) 支承の鉛直方向引張り剛性が小さくなれば、桁の浮き上がり量が大きく、落下時に橋脚張り出し部に作用する力も大きくなる。
- (4) 支承の鉛直方向圧縮剛性が小さくなれば、桁の浮き上がり後の落下時に生じる力を小さく抑えることができる。

参考文献

- 1) 足立幸郎, 鈴木威, 長澤光弥, 西森考三: 機能分離支承を用いた橋梁の支承鉛直反力の変動検討, 第5回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.297-300, 2002.
- 2) 株式会社アーク情報システム: TDAPⅢ, Ver2.11, 理論説明書, 2002.