

機能分離型支承を有する曲線格子高架橋の地震応答性状に関する研究

Study on Seismic Response of Curved Viaduct with Integrated Sliding Bearing System

北海道大学大学院工学院	学生員	○岳 琳 (Lin Yue)
北海道大学大学院工学研究院	F 会員	林川 俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
北海道大学大学院工学研究院	正会員	松本 高志 (Takashi Matsumoto)
北海道大学大学院工学研究院	正会員	何 興文 (Xingwen He)

1. まえがき

1995年に発生した兵庫県南部地震で、多数の橋梁は被害を受け、橋脚や支承に多くの損傷が見られた¹⁾。橋梁は社会基盤施設となる重要な構造物であり、独立した鉄道や道路の交通網を作るうえで建設されることが多く、特に高速鉄道や高速道路といった高い速度を求める場合に多く用いられる高架橋の耐震機能について検討が必要である。その後改訂された道路橋示方書の耐震設計編²⁾にも記述されているように、高架橋全体を上部構造、支承、橋脚の各構造要素を1つの構造部材として捉え、高架橋の全体系が大地震を受けた場合の動的挙動を調べる必要がある。

支承部は高架橋の上部構造を支え、上部構造の荷重を下部構造へ伝達させる重要な部材であり、地震の振動エネルギーを吸収し地震力を低減させる働きもある。従来高架橋では鋼製支承が数多く使われていたが、兵庫県南部地震以降、耐震性能向上を目的とした免震支承が広く採用されるようになった。しかし、免震支承を用いた免震構造では、橋梁の長周期化・高減衰化により地震力の低減が可能となったが³⁾、地盤条件や構造条件などから適用範囲が限定されることや、鋼製支承よりもコストが掛かるなどの問題がある。そのため、近年ではコスト縮減の目的として、鉛直支承とゴム支承に各機能を分担させることになる機能分離型の支承構造が注目されている⁴⁾。

そこで、本研究では3径間連続曲線格子高架橋を立体骨組構造にモデル化し、幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮した弾塑性有限変位動的応答解析を用いて3次元動的応答解析を行い、すべり支承とゴム支承の組み合わせを考え、ゴム支承の固定条件を変え、それぞれの支承部・橋脚基部の応答解析について考察する。具体的には、支承部の最大水平変位、支承部の最大水平力、橋脚基部の最大曲げモーメントと降伏曲げモーメントの比率について考察する。

2. 解析モデル

本研究で対象とした橋梁は図1に示すような3径間連続曲線格子高架橋である。解析モデルと全体座標系(X-Y-Z座標系)は図2に示すように設定する。上部構造および橋脚をはり柱要素にモデル化し、上部構造は62要素に、橋脚を7要素に分割する。さらに、それぞれの要素を断面方向に24分割、部材軸方向に5分割するファイバー要素を用いる。また、使用する鋼材の応力-ひずみ関係をバイリニアにモデル化し、降伏応力235MPa、弾性係数200GPa、弾性域のひずみ硬化を0.01とする。

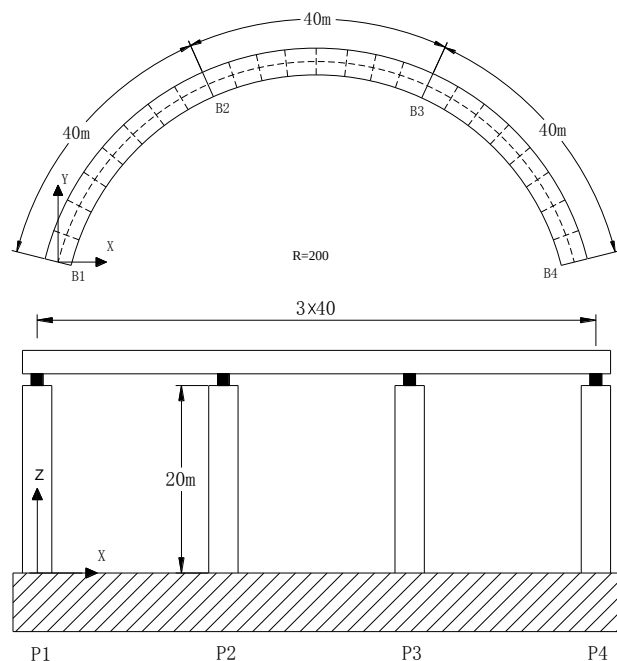


図1 3径間連続曲線高架

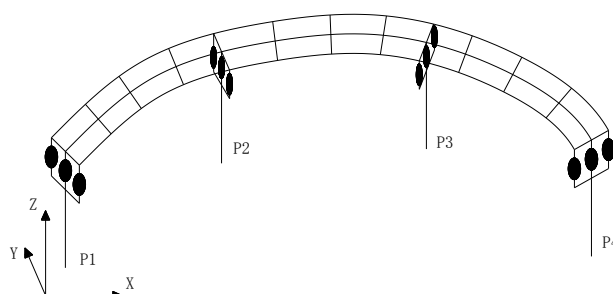


図2 解析モデル

2.1. 上部構造、下部構造

上部構造は曲率半径200m、橋長120m(3@40m)、幅員15m、総重量約8.82MNの曲線格子桁を使用する。橋脚は震度法および許容応力度設計法に基づき設計し、断面幅2.4m、板厚0.05mの正方形箱型断面の鋼製橋脚を採用し、橋脚高さは全て20mとする。橋脚の設計は支承条件を考慮して橋脚ごとに行うのが望ましいが、本研究では橋脚断面には全て同一の条件を設定した。橋脚の配置方向は各橋脚とも支承の設置方向を考慮し支承方向と同様にし、橋脚基礎は十分に剛である場合を考え固定とする。また、各橋脚を左側からP1、P2、P3、P4とする。

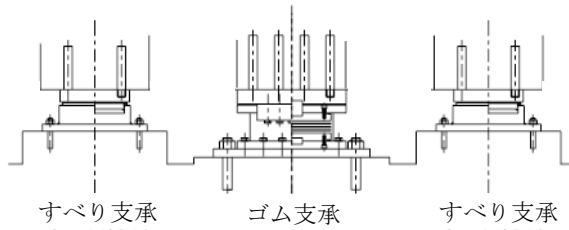


図3 すべり支承とゴム支承の配置

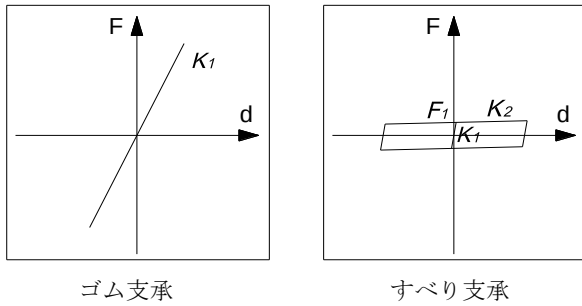


図4 支承モデル

表1 すべり支承のばね定数

すべり支承	K_1 (MN/m)	K_2 (MN/m)	F_1 (MN)
S30 ($\mu=0.3$)	5.0×10^3	9.8×10^{-4}	0.662

表2 ゴム支承のばね定数

ゴム支承	R4	R8	R12
K_1 (MN/m)	4.05	8.16	12.33

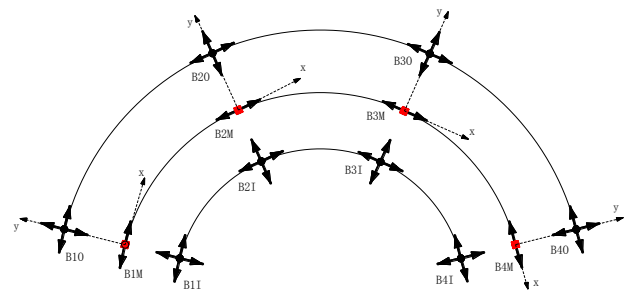
2.2. 支承部

本研究で用いた機能分離型支承構造はすべり支承とゴム支承(RB)から成るものであり、図3に示すように外桁(0)と内桁(I)にすべり支承、中桁(M)にゴム支承を配置する。すべり支承は摩擦係数 $\mu=0.3$ の高摩擦すべり支承、ゴム支承は天然ゴム系材料の使用を想定する。それぞれの支承モデルを図4、すべり支承のばね定数を表1、ゴム支承のばね定数を表2に示す。

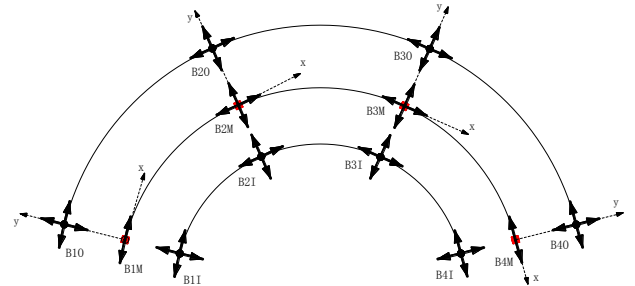
支承の配置方向については図5に示すように曲線桁の接線方向に支承を配置し、支承の接線方向をx軸、その直角方向をy軸とする局所座標系(x-y座標系)を設定する。中桁のゴム支承の固定条件によってそれぞれcase1, case2, case3の3ケースに分類され、case1は全てのy方向を固定する、case2はB1とB4のy方向を固定する、case3は全てのy方向を固定なしと設定する。外桁と内桁のすべり支承は、全てのケースでは両方向動けるように設定する。

3. 解析方法・入力地震波

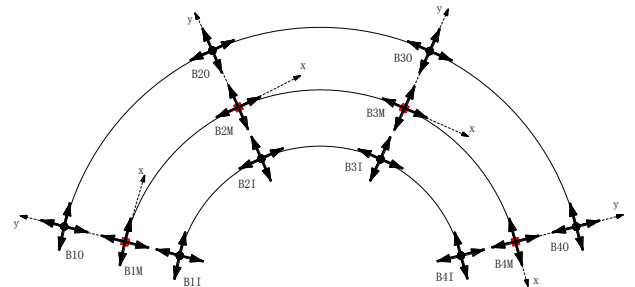
本研究では、幾何学的非線形性と材料非線形性を考慮したはり柱要素の有限要素法とNewmark β 法($\beta=0.25$)および修正Newton-Raphson法を併用した平面骨組のための弾塑性有限変位動的応答解析を3次元的に拡張した



case1



case2



case3

図5 支承の配置

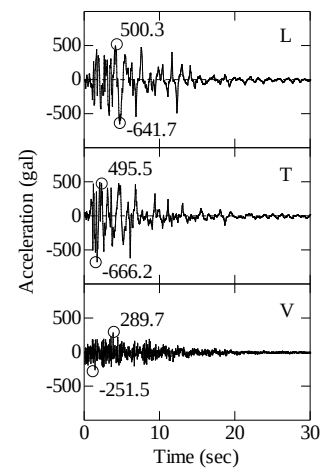


図6 入力地震波 JR 鷹取駅

解析方法を用いる。入力地震波は図6に示すように兵庫県南部地震 JR 鷹取駅記録を用いる。

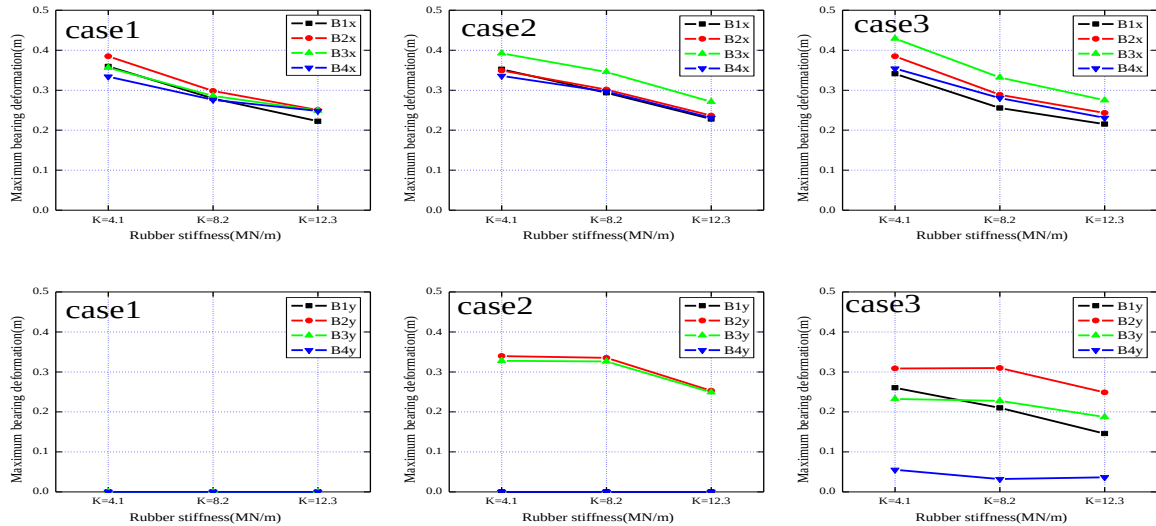


図7 ゴム支承の最大水平変位とゴム剛性の関係

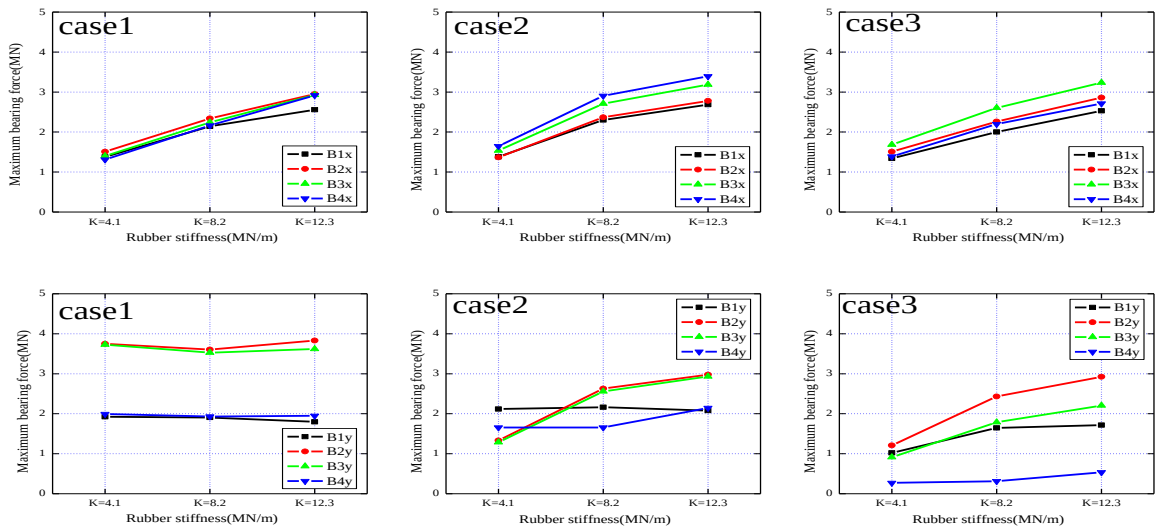


図8 ゴム支承の最大水平力とゴム剛性の関係

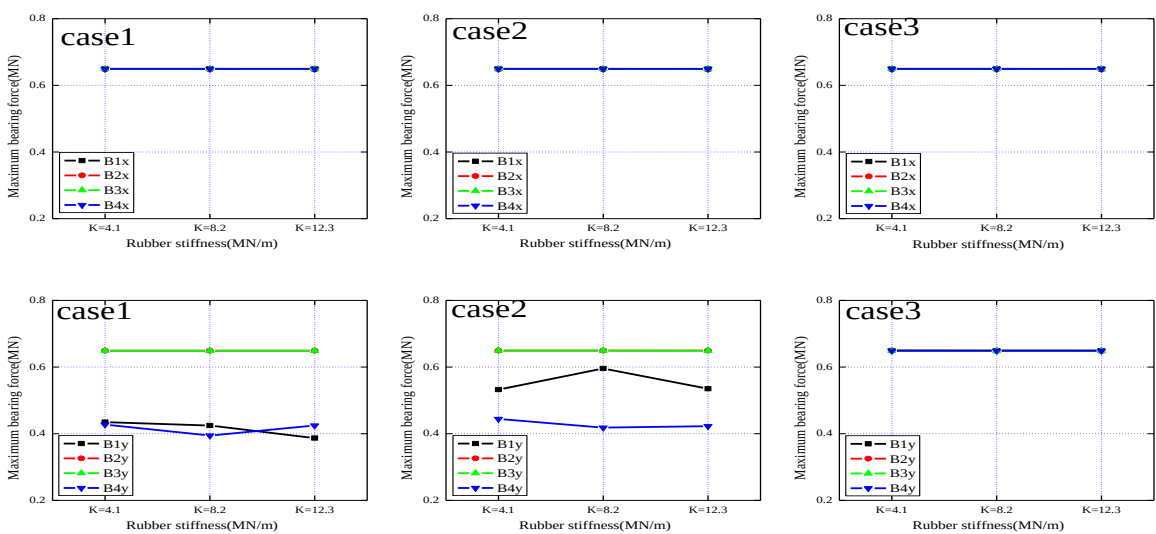


図9 すべり支承の最大水平力とゴム剛性の関係

4. 動的応答解析結果

4.1. 支承部の応答

支承部の応答について、ゴム支承の最大水平変位とゴ

ム剛性の関係を図7、ゴム支承の最大水平力とゴム剛性の関係を図8、すべり支承の最大水平力とゴム剛性の関係を図9に示す。左から順に case1、case2、case3 の結

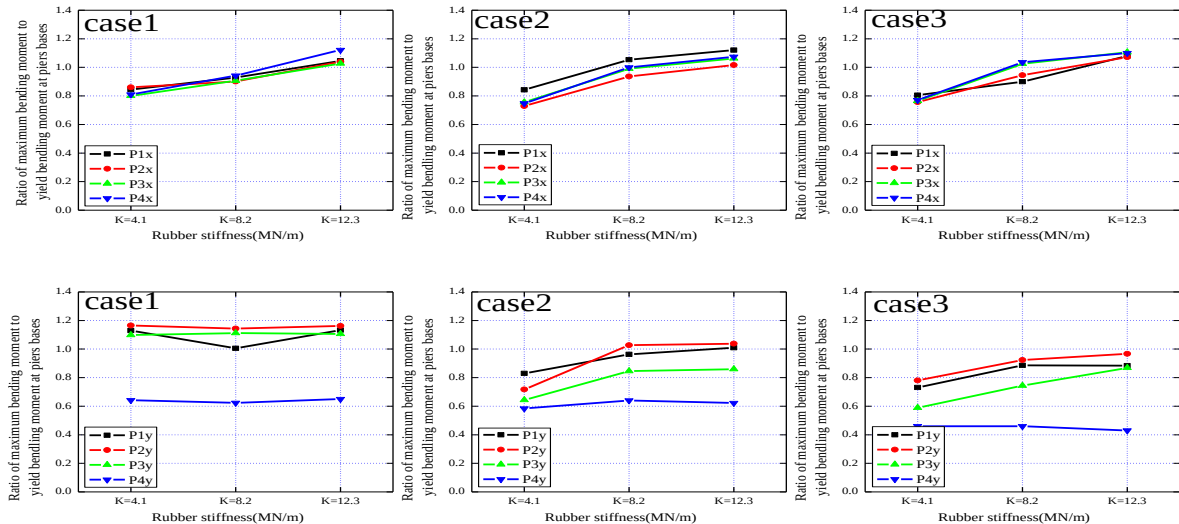


図 10 最大曲げモーメントと降伏曲げモーメントの比率とゴム剛性の関係

果となっている。

すべり支承の応答では、剛性の変化と固定条件の変化による影響が少なく、ほとんど一致な結果を得られた。

ゴム支承の応答では、全てのケースにおいて x 方向の最大水平変位はゴム剛性が大きくなるより小さくなっているが、 $K=4.1$ MN/m の組み合わせをいずれのケースも比較的大きな水平変位が生じていることがわかる。これは、低剛性のものでは地震振動エネルギー吸収があまり期待できないと考えられる。y 方向の最大水平変位については固定条件の影響により、異なる結果を得られた。case1 は y 方向全部固定となるより、水平変位はほぼ 0 となった。case2 は B1 と B4 が固定となるより、水平変位はほぼ 0 となった。全てのケースにおいてゴム剛性が大きくなるより、x 方向の最大水平力が大きくなっているが、y 方向の最大水平力が固定条件の影響により、異なる結果を得られた。高摩擦すべり支承を用いると支承部での変位を抑える効果が期待できるが、水平力が過大にならないよう十分な検討が必要である。高剛性と高摩擦の組み合わせでは、両者の水平力を合計した支承部全体での水平力が大きくなる可能性があるため、橋脚基部に作用する曲げモーメントなど橋脚の応答には注意が必要である。

4.2. 橋脚基部の応答

橋脚の応答について、橋脚基部に作用する最大曲げモーメントと降伏曲げモーメントの比率とゴム剛性の関係を図 10 に示す。左から順に case1、case2、case3 の結果となっている。

case1 はほぼ全ての組み合わせで曲げモーメントが降伏曲げモーメント $84.8 \text{ MN} \cdot \text{m}$ に到達しており橋脚が塑性化していることが確認できる。これはゴム支承 y 方向固定すると支承部で生じる水平力に大きな影響を受けると考えられる。ゴム剛性 $K=4.1$ MN/m の組み合わせのとき、case2 と case3 が弾性域に収まっているが、大きな水平変位が生じているため、落橋防止について検討が必要と考えられる。ゴム剛性が高くなると水平変位を抑える作用があるが、あまり高くすぎると水平力が増大したため、

これより、橋脚の損傷を防止するためには、個々の支承だけではなく支承部全体の応答にも注目した検討が必要である。

5. あとがき

本研究では、機能分離型支承を有する曲線格子高架橋の地震応答において、支承の組み合わせが与える影響の把握を目的とし、動的応答解析を実施し比較検討した。結論は以下のとおりである。

- 1) 高摩擦すべり支承と比較的剛性の低いゴム支承の組み合わせは、落橋やゴムの破断などの可能性が大きくなるため、実用には好ましくない組み合わせである。
- 2) 高摩擦すべり支承を用いると支承部での変位を抑える効果が期待できるが、支承部の水平力が増大し橋脚が塑性化する可能性がある。
- 3) ゴム剛性が高くなると水平変位を抑える作用があるが、あまり高くすぎると水平力が増大したため、橋脚損傷の可能性が大きくなるため、個々の支承だけではなく支承部全体の応答にも注目した検討が必要である。
- 4) ゴム支承の固定による、その固定方向の剛性が無限大により、水平変位が小さくなるが、水平力が大きくなるから、橋脚損傷の可能性が高く。

参考文献

- 1) 土木学会：阪神・淡路大震災調査報告書-土木構造物の被害、第 1 章橋梁、丸善、1996.12.
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書 V 耐震設計編、2002.
- 3) 高橋良和ら：滑り型免震支承の軸力変動が連続桁橋の地震応答に及ぼす影響、第 26 回地震工学研究発表会講演論文集、pp1077-1080、2001.8.
- 4) 土木学会：道路橋支承部の改善と維持管理技術、第 2 章支承の変遷、丸善、2003.5.