

すべり摩擦型免震支承の地震応答に及ぼす 支承鉛直剛性の影響

村瀬聡¹・伊津野和行²

¹学生会員 立命館大学大学院理工学研究科（〒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 理工学部都市システム工学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1）

1. はじめに

近年、橋梁の耐震性能向上のため支承部にすべり摩擦型免震支承が設置されることがある。すべり摩擦型免震支承を有する橋梁では、水平方向の地震時挙動に着目して設計される。また近年、すべり摩擦型免震支承のすべり面における速度依存性や面圧依存性に関する研究が多くなされている^{1)・2)}等。

支承の鉛直剛性に関しては、水平挙動と回転性能から決まる大きさでほとんど決定されてしまい、鉛直剛性が地震応答に及ぼす影響について詳細な検討がなされることが少なかった。

そこで本研究では、鉛直剛性が異なる支承を有する5径間連続橋の地震応答解析を行うことにより、鉛直剛性が橋梁の地震応答に及ぼす影響について検討を行った。

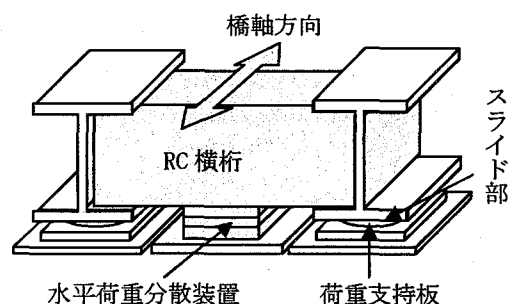


図-1 すべり摩擦型免震支承の概要

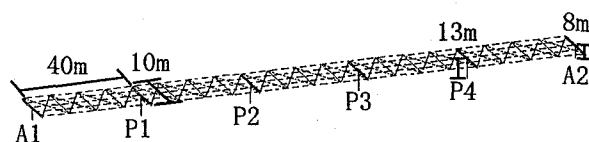


図-2 橋梁1のモデル概要

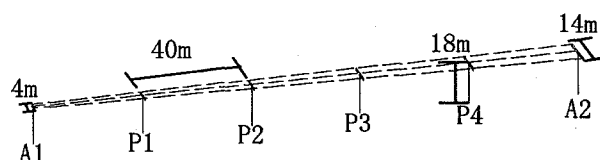


図-3 橋梁2のモデル概要

2. すべり摩擦型免震支承の概要

すべり摩擦型免震支承は図-1のように水平荷重分散装置と荷重支持板から成り立っている^{3)・4)}。

常時と地震時の機能を分離することで各材料を別々に設計することが可能となり、固有値設定の自由度が高まることで既存橋梁の制約に適した支承配置が可能となる。

水平荷重分散装置は地震時に荷重支持板のすべり面で水平方向に動いた桁を元の位置に戻す復元力を与えることを目的としている。主な材料としては積層ゴムが多く使用されている。

荷重支持板は平常時においては桁の鉛直荷重を受け持つ役割を担っており、地震時においては上面に設置されているすべり面によって桁が水平方向に動き、長周期化と摩擦減衰によって桁に加わる地震力

を軽減することを目的としている。

すべり面には桁の下側にステンレスを設置し、荷重支持板の上部にPTFE（テフロン）を設置している。また荷重支持板のすべり面下部にある桁の死荷重を受け持つ部分の材料には道路橋示法書の改正によりゴムの使用が基本とされたが、それ以前に建設された橋梁の耐震補強では従来使用されていた金属も多く使用されている。

3. モデル概要

図-2 の橋梁 1 は上部構造をスパン 40m の 5 径間連続橋とし、下部構造を T 型 RC 橋脚とした。幅員を 10 m、橋台の高さを 8 m、橋脚の高さを 13 mとした。橋脚基部にはすべり摩擦型免震支承は一支承線に荷重支持板を 5 体、水平荷重分散装置を 4 体設置している。

図 - 3 の橋梁 2 は上部構造をスパン 40 m の 5 径間連続橋とし、下部構造を T 型 RC 橋脚とした。合流部を想定して桁の形状は台形とし、両端の幅員を 4 m と 14 m、橋脚の高さは 18 m とした。すべり摩擦型免震支承は一支承線に荷重支持板を 2 体、水平荷重分散装置を 1 体設置している。

支承の荷重支持板はすべり面をバネに置き換えて解析を行った。荷重支持板の非線形モデルは水平方向にバイリニア型 (図-4) とし、鉛直方向には非対称線形モデル (図-5) とした。図 - 5 の α を 0.001 とした。摩擦係数は 0.1 とし、面圧依存性や速度依存性は考慮せず一定値として解析を行った。

水平荷重分散装置のモデルは水平方向は線形とし、鉛直方向は図 - 5 のモデルとし、 α を 0.2 とした。

4. 解析ケース

本研究で用いる解析ケースは表-1 のように鉛直剛性を変化させたゴム支承と金属支承、橋梁 1 の幅員を 2 倍にしたモデル、そして橋梁 2 に対してゴム支承と金属支承を設置した場合の計 6 ケースとした。それぞれのケースにおいての記号は表-1 に書いてある記号を用いることとする。

表の一番下は各橋梁における固有周期である。固有値解析においてゴム支承と金属支承の値は同値であったので同列に列記した。

5. 解析方法

本研究で用いた積分計算の手法は Newmark β 法 ($\beta = 0.25$) とし、時間刻みを 0.005 秒とした。減衰はひずみエネルギー比例減衰とした。

入力地震波は兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された地震波を、橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向に NS 方向 (最大加速度 818gal)、EW 方向 (最大加速度 617gal)、UD 方向 (最大加速度 322gal) で観測された地震波を入力した。

表-1 解析ケース

	橋梁 1		橋梁 2
	幅員 10m	幅員 20m	
ゴム支承	A	C	E
金属支承	B	D	F
固有周期 (S)	0.44	0.59	0.94

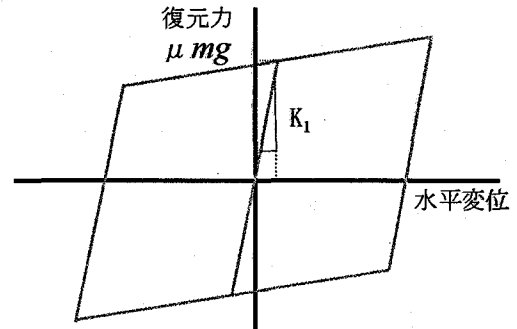


図-4 荷重支持板の水平方向非線形モデル

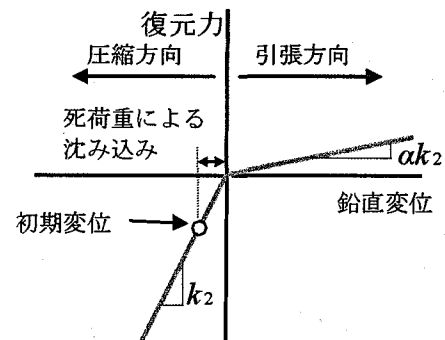


図-5 鉛直方向非線形モデル

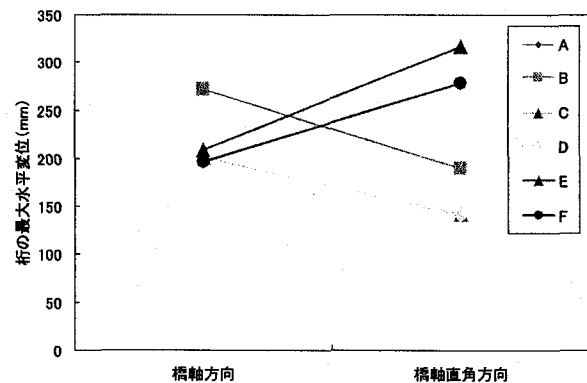


図 - 6 桁の最大水平変位

6. 地震応答解析

(1) 桁の水平変位

図-6 は橋軸方向、橋軸直角方向それぞれに対し

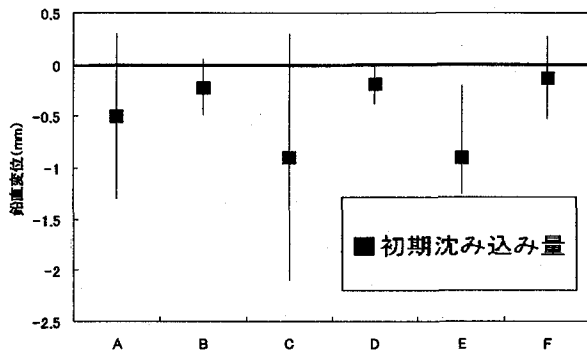


図-7 Case 別の鉛直変位の範囲

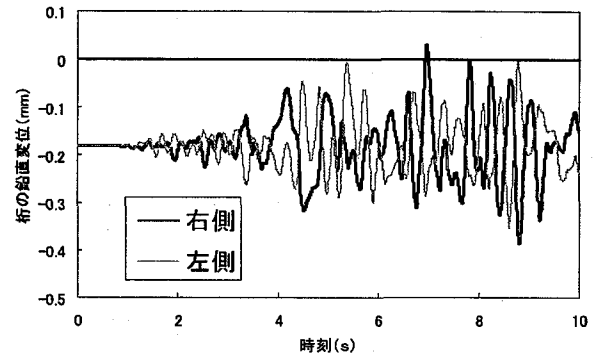


図-11 Case-D の両耳桁部の鉛直変位

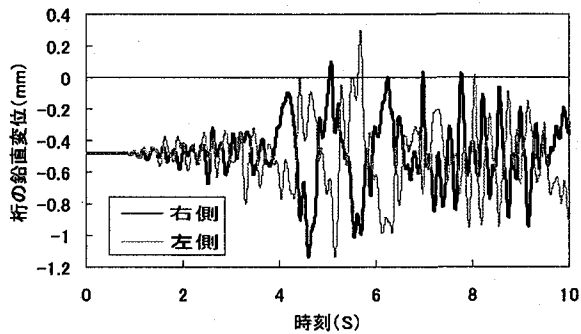


図-8 Case-A の両耳桁部の鉛直変位

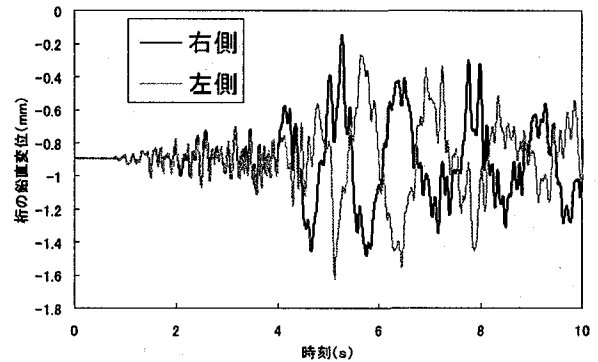


図-12 Case-E の両耳桁部の鉛直変位

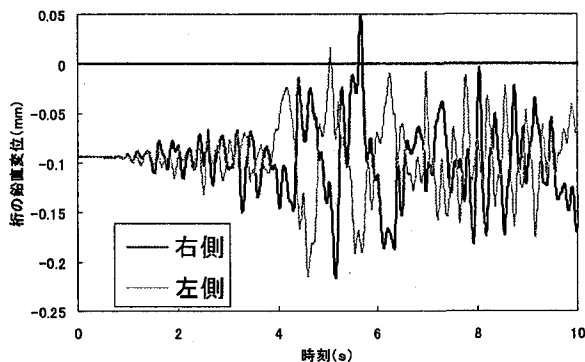


図-9 Case-B の両耳桁部の鉛直変位

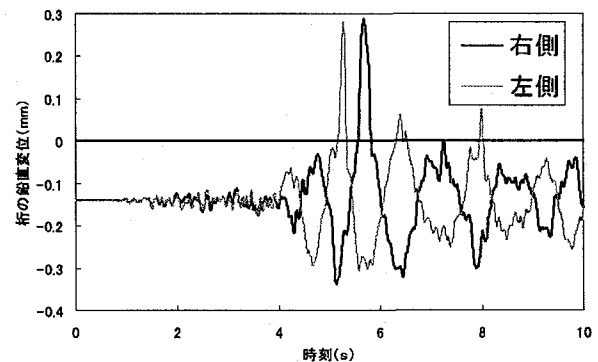


図-13 Case-F の両耳桁の鉛直変位

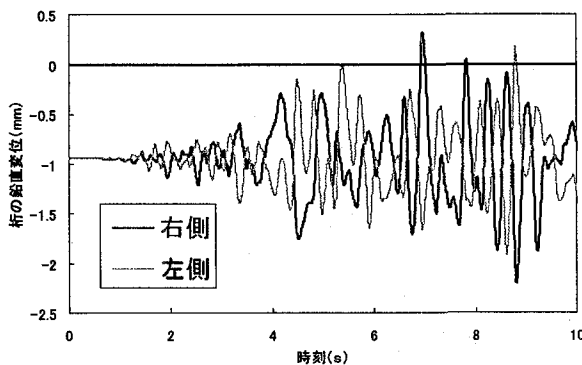


図-10 Case-C の両耳桁部の鉛直変位

て表-1 の 6 ケースについて桁の最大水平変位をプロットした図である。図-6 より橋梁 1 についてはゴム支承、金属支承で最大水平変位に橋軸方向、橋軸直角方向ともに変化はないことがわかる。また橋梁の幅員を 2 倍とした Case-C と Case-D では桁の最大水平変位が橋軸方向で 70mm、橋軸直角方向で 50mm と小さくなっている。これは幅員 20m の橋梁は幅員 10 m の橋梁と比べて桁の死荷重が 2 倍となるためすべり面に加わる圧力が大きくなり、すべり面の摩擦力が大きくなったことで水平変位が小さくなったと考えられる。なお、摩擦係数の面圧依存性

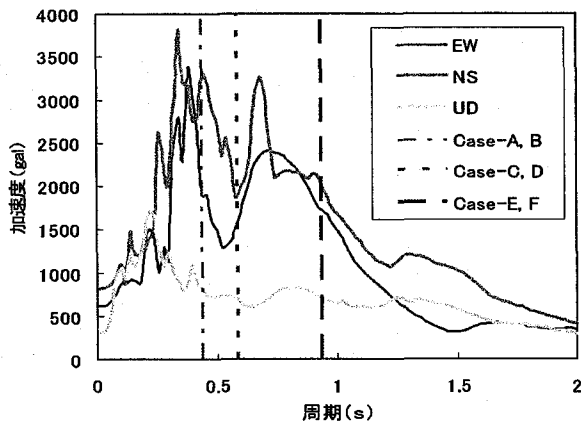


図-14 入力加速度の加速度応答スペクトル

は考慮していない。

橋梁2においては橋梁1の場合と異なり、ゴム支承と金属支承で最大水平変位に違いが見られた。しかしゴム支承と金属支承で橋軸方向より橋軸直角方向の方が大きいという傾向は変化していないことから大きな差はないと考えられる。

(2) 桁の鉛直変位

図-7はCase別の荷重支持板の初期沈み込み量と鉛直変位を示したものである。真ん中のポイントが初期沈み込み量、上限、下限が最大鉛直変位、最小鉛直変位を示している。図-7よりゴム支承の方が金属支承より鉛直変位量が大きい。また初期沈み込み量が一番大きいCase-Cでは変位量が1mm程度となっている。これに対して初期沈み込み量の小さいCase-B、Case-Fでは変位量が0.1mm程度である。

支承の鉛直ばね定数で挙動が決まるため、初期沈み込み量で桁の鉛直変位量が決まることになる。

(3) 桁の浮き上がり

図-8から図-13はCase別の桁の端部における両耳桁部の鉛直変位を表している。

Case-E以外のCaseにおいて桁の端部で浮き上がりが発生している。桁の端部は橋台として解析を行っているため、桁の死荷重が他の荷重支持板の1/2であり他の部分より浮き上がりが発生しやすい状態となっている。

図-8から図-11より橋梁1ではゴム支承と金属支承で波形の違いはないことがわかる。しかしゴム支承と金属支承では応答の変位量が異なる。

Case-AとCase-Bについて5秒から6秒の間で2回浮き上がりが発生している。Case-Aの最大浮き上がりは0.3mm、Case-Bでは0.05mmとなっている。これに対してCase-CとCase-DにおいてCase-Aと

Case-Bで卓越していた5秒から6秒の鉛直応答よりも7秒の鉛直応答の方が大きな応答となっている。これは入力地震波の卓越した加速度スペクトル(図-14)と各橋梁の固有周期に違いがあるためと考えられる。

Case-EとCase-Fでは橋梁1とは異なりゴム支承では浮き上がりが発生していないのに対して、金属支承では0.28mmの浮き上がりが4秒から6秒で2回発生している。また0.05mm程度の浮き上がりが6秒から8秒で2回発生している。

図-8から図-13より橋軸方向を軸として桁がロッキングしていることがわかる。このことより荷重支持板の浮き上がりが一部の支承において発生したとしても反対側の耳桁部においては沈み込んだ状態となっている。ゆえに浮き上がっている荷重支持板以外の荷重支持板で摩擦減衰が期待できるため、一部の荷重支持板において浮き上がりが発生したとしても桁全体に与える影響は少ないと考えられる。

しかし一部の荷重支持板が浮き上がったときに水平方向に大きな地震力が加わった場合、桁がどのような挙動となるのか、また浮き上がった衝撃により桁に大きな衝撃が加わることが考えられるため検討する必要があると考えられる。

7. まとめ

- 1) 桁の最大水平変位は橋軸方向、橋軸直角方向ともにゴム支承、金属支承で大きな変化はない。
- 2) 桁の浮き上がりは桁の端部で発生しやすい。
- 3) 桁に浮き上がりが発生したとしても一支承線の他の荷重支持板で摩擦減衰が期待できる。

参考文献

- 1) 岡本晋, 藤井俊二, 尾崎大輔, Constantinou, M.C., Tsopelas, P.C.: すべり方式免震システムを有する橋梁の動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.507/I-30, pp. 167-177, 1995.
- 2) 高橋良和, 家村浩和, 平井崇士: すべ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, Vol. 2, pp. 1077-1080, 2001.
- 3) 伊津野和行, 袴田文雄, 中村一平: 機能分離型支承装置の動特性と設計手法に関する研究, 土木学会論文集, No.654/I-52, pp. 233-244, 2000.
- 4) 伊津野和行・川原林浩・長沼敏彦・西岡勉: すべり摩擦型免震支承装置の上揚力に対する性能評価, 土木学会論文集, No. 780/I-70, pp. 165-179, 2005.