

## 2重摩擦すべり支承の基本的性能について

倉西 茂<sup>1</sup>・中島 章典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東北大学 名誉教授 (〒240-0006 横浜市保土ヶ谷区星川2-16-2-1206)

E-mail: kuranisi.sigeru@blue.plala.or.jp

<sup>2</sup>宇都宮大学大学院工学研究科 教授 (〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2)

E-mail: akinorin@cc.utsunomiya-u.ac.jp

温度変化による桁の伸縮や生起確率の高い小規模地震に対しては、摩擦係数の低いすべり支承の下面を下部構造に固定せずに滑らせ、生起確率の低い大規模地震時には、摩擦係数の高い面で摩擦すべりによる免震作用を持たせた2重摩擦すべり支承の基本的特性を解析したものである。すなわち、一質量の桁を一自由度にモデル化された橋脚が2重摩擦すべり支承が支えているとして、レベル2の地震動に対する応答解析を行い、その摩擦力が橋脚のせん断力応答値に及ぼす影響を求めるとともに、その間の最大変位および生じる残留変位を求め、本支承を用いた構造系を設計するために必要な基礎資料を提供するとともに、その耐震設計法を提案している。

**Key Words :** *double sliding bearing, friction, earthquake response, seismic design, displacement amplitude, residual displacement*

### 1. はじめに

ここで2重摩擦すべり支承というのは、図-1に示したように、通常温度変化や発生確率の高い地震動に対しては比較的低い摩擦係数をもった滑り板上で自由に滑り、発生確率の低い巨大地震動に対しては、滑り板に設けられたストッパーを固定支承が押し、下面の高い摩擦面を滑らせ、その面で摩擦力以上の力を上部構造と下部構造に生じさせない機構をもった支承システムである。

従来の支承に対する観念では、上部構造は固定支承により地盤に対し、すなわち下部構造の一点に位置が規定されているのが常識であった。しかし、上部構造は固定点で下部構造に不動であっても、温度変化等により可動支承上ではそれに応じた移動が行われていることを考えれば、ある一点だけで下部構造に固定されていることは意味のないことである。ゴム支承でも上下部の位置関係は一定ではない。そこで、本提案のすべり支承では、常時の状態では低い摩擦力を受けながら、上部構造は自由に移動可能とした。そうすることにより、橋の寿命中に起こる発生する確率の低い巨大地震に対しは滑り板を固定支承が押し、比較的高い摩擦係数も持つ面が各支点上で滑り、上部構造に生じている慣性力を各支点上で一様に下部構造に伝えることになり、ある一点だけで慣性力が集中して下部構造に伝えることもなく、また、その

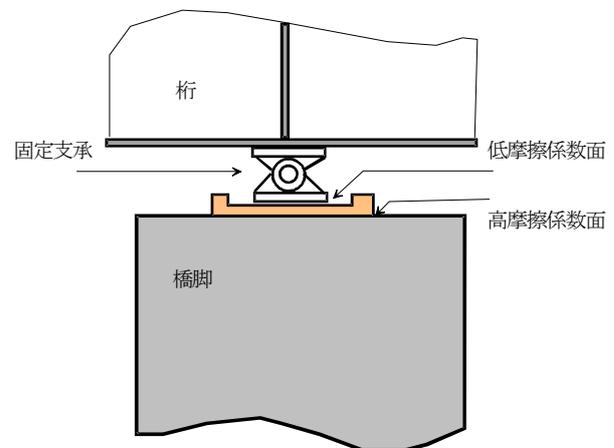


図-1 2重摩擦すべり支承の概略側面図

伝える慣性力は摩擦力を超えることはなくなる。そのため、2重摩擦すべり支承で構成される支点システムは高い耐震性を橋構造に与えることが期待される。

### 2. 摩擦係数の設定

高い摩擦係数をもった面は、温度変化や発生確率の高い地震時、すなわち、レベル1の地震では滑りを起こさないことを前提にしているため、上部構造に生じる震度

の値以上の摩擦係数の値を持っている必要がある。すなわち、Ⅰ種地盤上であれば 0.2、Ⅲ種地盤上であれば 0.3 以上の静摩擦係数があればよいことになる。

低い摩擦係数をもった面の摩擦係数は、生起確率の低い地震の震度値以下であればよいが、摩擦力による温度応力やその時の支点の変位量とレベル 1 の地震時における考えるべきその変位量を勘案して定めることになる。一般的に言って摩擦係数が大きい方が変位量は低くなる。摩擦係数が低いと常時でのその変位量は大きくなる。また、現時点で得られる摩擦材などを考慮すると、低摩擦係数面はその値が 0.1~0.2、高摩擦面で 0.3~0.6 程度にとることになる。

### 3. 地震時挙動の解析

2重摩擦すべり支承の下部構造に対する耐震性の効果を見るために、地盤上にある一自由度系にモデル化された橋脚上に一質量の桁が2重すべり支承で支えられているケースについて、レベル 2 の地震に対する動的応答解析を行った。橋脚一橋桁モデルは一自由度弾性振動体の上に、2重すべり支承により橋桁質量が支持されているとした。

2重摩擦すべり支承に働くせん断力と変位の関係は図 2 の実線で示したように、先ず低摩擦力ですべりを起こし、許容のすべり範囲に達すると高摩擦面が滑りだす階段状のものとなるが、今回は基本性質を見るために階段を斜路で上がる破線で示したバイリニアとして計算を行った。高摩擦力に達する変位を 20mm と仮定した。すなわち、傾斜部のばね係数は高摩擦力/20mm となる。

計算に使用したパラメーターは次の通りである。

単独橋脚の固有周期：0.2~2.0 sec.

橋脚実効質量に対する桁実効質量比：1/2, 1/1, 2/1

高摩擦係数：0.4

減数定数：0.02

地盤：Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種

入力地震波：タイプⅠ及びたいⅡに対するレベル 2 の三

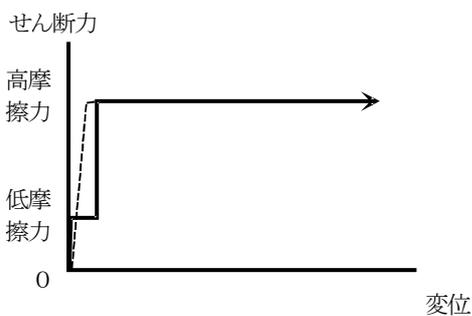


図-2 支承の仮定せん断力-変位曲線

種類の入力地震波

なお参考のためにⅡ種地盤に対するレベル 1 地震応答解析も行った。この場合は、摩擦係数は 0.15 にとった。

### 4. 解析結果

各 3 種の入力地震波の平均値に対する応答計算の結果は次の四つの観点から整理した。

- 1) 独立橋脚に作用する動的せん断力に橋桁からの摩擦力を加えた値に対する、橋脚・橋系の動的せん断力
- 2) 橋脚と橋桁間の最大変位
- 3) 橋脚と橋桁間の残留変位
- 4) レベル 1 に対する最大変位

#### (1) 摩擦力影響度摩擦力

影響度は独立橋脚として耐震設計を行うことを念頭において、橋脚に地震時保有水平耐力法を適用するに当たり動的応答値にどのように摩擦力を考慮すればよいかと云う事を見るために整理を行ったものである。ここでは摩擦力影響度と云う名前で表すことにした。結果を見ると、多くのケースで、影響度が 1 を超えることはなかった。すなわち、独立橋脚がレベル 2 の地震を受ける場合に生じる応答せん断力に、上部構造からの摩擦力を加えた値以上にはせん断力が生じないことが云える。さらに詳しく見ると、下部構造に比較して上部構造の質量が大きい場合の方が摩擦力影響度は大きくなる影響があり、しかもⅢ種地盤の場合にこの値が 1 を超える確率が高い。さらに、タイプⅠの地震の場合は、固有周期が 0.6 sec~1.0 sec、タイプⅡの場合は 0.2 sec~0.3 sec の短い周期の橋脚で大きくなり易いことが分かる。解析を単独橋脚

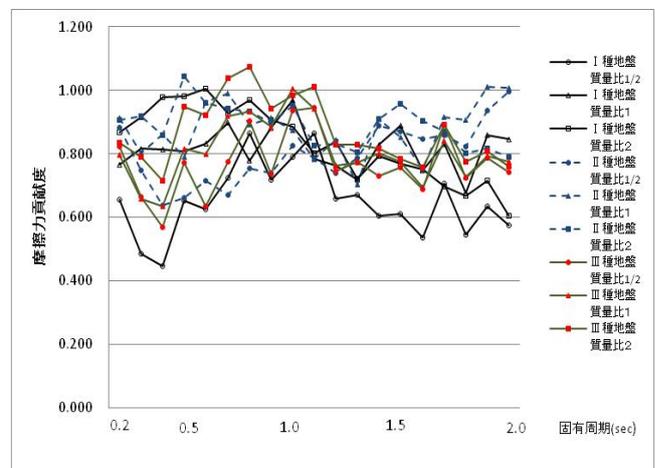


図-3 摩擦力影響度曲線 (タイプⅠ、レベル 2)

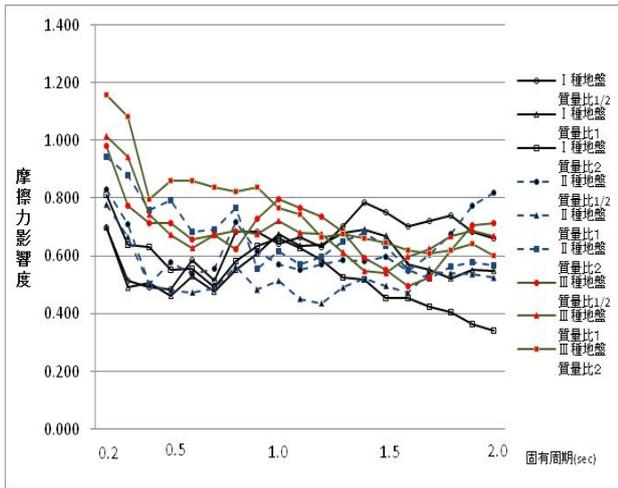


図-4 摩擦力影響曲線 (タイプII、レベル2)

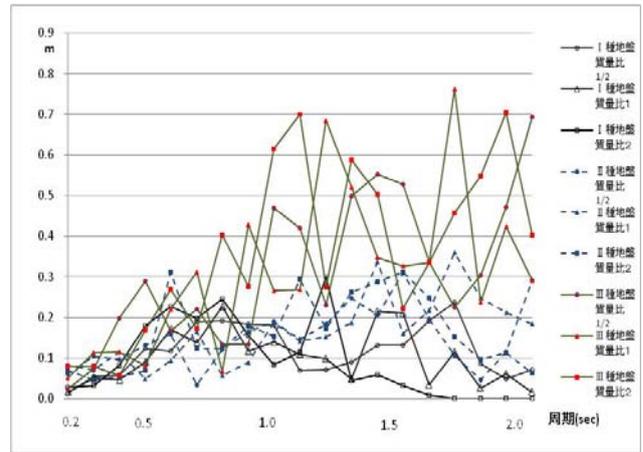


図-7 地震後の上部構造の残留変位 (タイプI、レベル2)

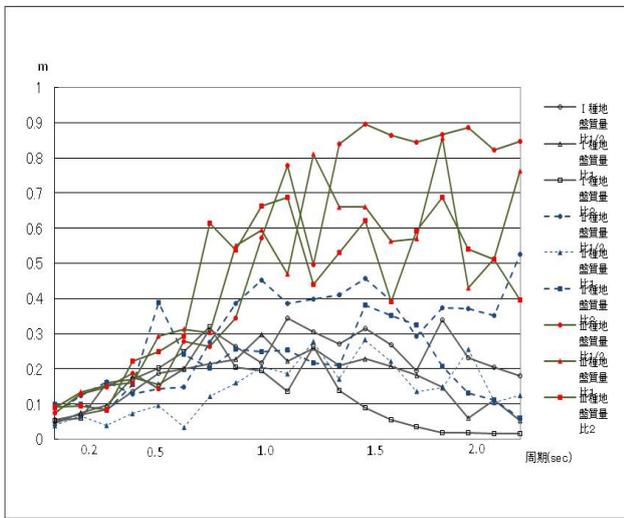


図-5 上部構造と下部構造の地震時最大相対変位 (タイプI、レベル2)

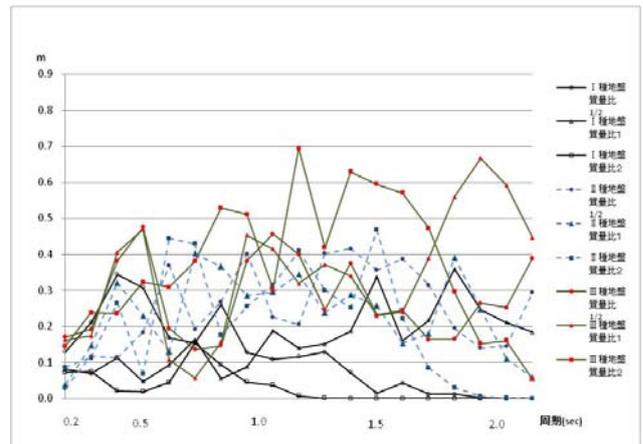


図-8 地震後の上部構造の残留変位 (タイプII、レベル2)

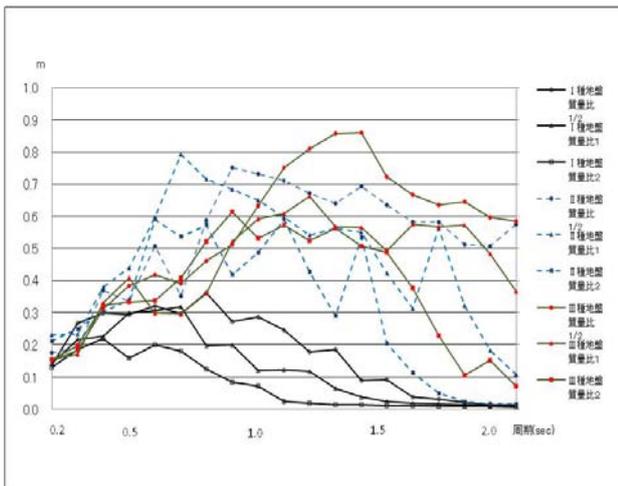


図-6 上部構造と下部構造間の地震時の最大相対変位 (タイプII、レベル2)

の場合について行っているが、桁が複数の橋脚で支持されているときは、それらが相互に干渉しあい摩擦力影響度は低くなることが期待される。質量比が小さい場合、

今回のケースでは上部構造の質量が下部構造の質量の二分の一の場合は全体的に見て、摩擦力は橋脚の振動に減衰する方向に働くことが伺える。

## (2) 最大変位

地震時に生じる上部構造と下部構造間の相対的最大変位は、タイプIの地震の場合は橋脚の固有周期が長くなると大きくなる傾向があり、さらに、III種地盤の場合に特に大きくなり 1m 近くに達する場合がある。それ以外の場合は 0.5m 以下であり特に大きくなることはない。

タイプIIの地震の場合は、一般的にタイプIの場合より大きくなり、II種地盤の場合でもIII種地盤に近い値になる場合がある。しかし、この場合でも 1m 以下であり、橋脚等の天場幅の設計が困難になることはないと考えられる。

## (3) 残留変位

タイプI及びたふIIの地震ともに平均的には 0.4m 以下の残留変位が生じるが、タイプIのIII種地盤およびタイプIIの場合の質量比 1/2 の場合には 0.7m 程度までの

残留変位が生じる場合がある。Ⅰ種地盤の場合は小さく 0.2m 以下程度である。

#### (4) レベル1の地震に対する最大変位

レベル1の地震に対しての最大変位の検討もⅡ種地盤について行ったが、その変位は通常 0.1m 以下と小さく、多くのケースで温度変化による移動量程度以下である。

### 5. 設計法

橋脚等の強度設計は、橋脚等を独立振動体として地震応答せん断力を求め、これに、下面滑り面に生じている摩擦力を不利側に加えることにより、地震時保有水平耐力法を適用することができる。ゴム支承が上下一体で考慮しなければならないことを考慮すると、設計作業が大幅に軽減されることが期待される。

### 6. 結論

本研究で取り扱ったモデル化とパラメータ解析の結果、次の事柄が結論できよう。

- (1) 2重摩擦滑り支承は耐震用支承として十分に実用性のある支承である。
- (2) 橋脚等を独立振動体として、地震応答解析より得られる橋脚に働くせん断力に上部構造からの摩擦力を不利な方向に加えて、橋脚等に生じるせん断力を評価することができる。
- (3) 2重摩擦すべり支承を用いればゴム支承と異なり橋脚等を単独で耐震設計することが可能である。
- (4) レベル2の地震時には、全振幅で 1m 程度の移動が起こる。
- (5) レベル2の地震後に 1m 程度の残留変位が起こる場合があるが、多くの場合その値は 0.4m 以下の値である。
- (6) レベル1の地震時に生じる移動量は、多くの場合、温度変化による移動量と同程度のものである。

#### 参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅴ耐震設計編，2002.3.

(2007.06.29 受付)

## FUNDAMENTAL PERFORMANCE OF A SLIDING BEARING WITH DOUBLE FRICTIONAL SURFACES

Shigeru KURANISHI and Akinori NAKAJIMA

The double sliding bridge bearing has two frictional surfaces on which one of the surface slides during rather small scale of earthquakes and the other surface slides during large scale of earthquakes respectively. In this paper, the action of the double sliding bearing is simplified by two masses which represent those of a bridge girder and a pier supported by springs, which are connected each other by the double sliding action. Taking the natural frequency of the pier, the ratio of the two masses and the condition of foundations as parameters, the dynamic response of shear force acting on the pier, the maximum displacements and residual displacements of the girders for the large scale of earthquakes is presented and a design method of the system with the double sliding bearing is suggested.