

滑り摩擦型免震支承の上揚力に対する性能照査実験

伊津野 和行¹・川原林 浩²・長沼 敏彦³

¹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）

²学生会員 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）

³正会員 工修 阪神高速道路公団 工務部設計課（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3）

1. はじめに

近年、特に設置空間に制限がある場合等において、滑り摩擦型免震支承装置の利用が進められてきている。図-1に、滑り摩擦型免震支承装置の概要を示す。しかし、従来の積層ゴム支承に対する設計思想がそのまま利用されている場合も多く、また、力学的特性に未解明の点もある。

たとえば、滑り摩擦型免震支承装置の水平荷重分散装置は死荷重反力を受けないにもかかわらず、従来の積層ゴム支承と同様に補強鋼板を入れたデバイスを用いている。この補強鋼板は必要かどうか、実験的に明らかにする必要がある。

また、滑り摩擦型支承では、大地震時の振動によって桁が浮き上がることも想定されるが、その場合、桁の浮き上がり後の落下に耐えられるのかどうか、これも実験的に明らかにする必要がある。どのような場合に浮き上がりが発生するのか、その条件を明らかにすることも重要である。

よって本研究では、滑り摩擦型支承装置の上揚力に対する性能を総合的に評価することを目的とし、実験および数値解析を実施することとしている。

本論文では、研究計画全般について述べるとともに、一部すでに実施された実験・解析結果について述べる。

2. 実験および解析の方法

ここでは、実験および数値解析の概要について述べる。

(1) 水平荷重分散装置の上揚力に対する性能評価

水平荷重分散装置は、地震時に桁を原位置に引き戻すバネとして機能することが期待されている。そのため、主に水平せん断特性に着目して性能が評価される。しかし、構造的に上扬力を受けるため、その鉛直方向の力学特性についても十分な検討が必要である。ここでは、従来型の積層ゴム支承と同じものと、補強鋼板を入れない単層ゴムとの、性能の差異を明らかにするため、以下のような実験を計画した。

供試体は□240mmで補強鋼板のあるもの（10mm厚×3層、1次形状係数6）と補強鋼板のないもの（30mm厚×単層、1次形状係数2）の2種類を用意した。せん断弾性係数は $G_0=1\text{N/mm}^2$ である。

a. 基本特性試験

基本特性試験として、水平せん断剛性の確認を行う。鉛直荷重は載荷せずに、総ゴム厚（30mm）の175%相当の変位振幅を与えて水平剛性を求める。

b. 静的引張载荷試験

水平方向へのせん断変形を与えない状態で、鉛直方向に応力度 6.0N/mm^2 相当の荷重で引張り、荷重と変位の関係から鉛直引張特性を調べる。試験後aと同様の要領で、水平剛性の確認を行う。

c. 引張破断試験

水平荷重分散装置の破断にいたるまでの特性を明

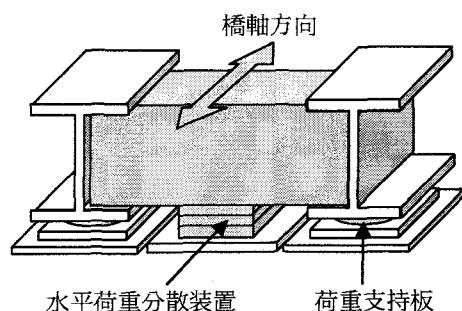


図-1 滑り摩擦型支承装置

らかにする。水平方向へのせん断変形を与えない状態で、鉛直方向に破断するまで引張る。

(2) 滑り摩擦支承の衝撃力に対する性能評価

滑り摩擦支承は常時の鉛直力を支持するとともに、地震時にはその上面に設置された滑り面における摩擦減衰を期待する構造である。機構上、上沓と下沓とは接合されていないため、地震時に桁が浮き上がることも想定される。浮き上がった桁が再度下沓上に戻ってくる際には、衝撃的な力が作用することが予測される。そのため、衝撃力に対して十分な耐力を有するのか、また、その後の滑り摩擦減衰特性には影響がないのか、実験によって確認する。

供試体は、直径 $\phi 220\text{mm}$ （PTFE部分 $\phi 180\text{mm}$ ） $\times$ 厚さ 45mm の 500kN 用支承である。最大設計面圧は 25N/mm^2 である。

a. 基本特性試験

基本特性試験として鉛直剛性と摩擦係数の測定を行う。鉛直剛性は、面圧 $3.0\sim 25.0\text{ N/mm}^2$ に相当する荷重振幅を与えて測定する。摩擦係数は、死荷重状態を想定して最大面圧の $1/2$ （ 12.5 N/mm^2 ）に相当する鉛直荷重を载荷し、正弦波加振により測定する。

b. 衝撃载荷試験

4kN の重錘を 1m 、 1.5m 、 2m の高さから滑り摩擦支承の直上に落下させ、その後上記aの要領で基本特性試験を行う。これらの高さは、想定橋梁の桁が $1.5\text{cm}\sim 3\text{cm}$ 程度の高さから落下する場合と、位置エネルギーが同じように設定した。これは、後述する数値解析結果より、桁が浮き上がるとしても数 mm 程度であるという予測から設定された値である。

(3) 数値解析による地震応答評価

支承の鉛直剛性、および水平荷重分散装置の鉛直剛性を変え、地震応答解析を行う。桁の浮き上がりが生じた場合、支承システムに作用する荷重を明らかにする。それらの結果から、上揚力の影響に関する定式化を試みる。

3. 実験状況および結果

まず、実験状況について紹介する。写真-1に水平荷重分散装置の引張破断試験装置を示す。上側が固定されており、下側に変位制御で供試体が破断するまで引張り、そのときの変位と荷重を測定する。

写真-2に、滑り摩擦支承の衝撃载荷試験装置を示す。上部の重錘を所定の高さから落下させることにより、供試体に衝撃力を加える。そのときの荷重を供試体下部のロードセルによって測定する。また、荷重载荷時の供試体の変形はレーザー変位計によって測定する。

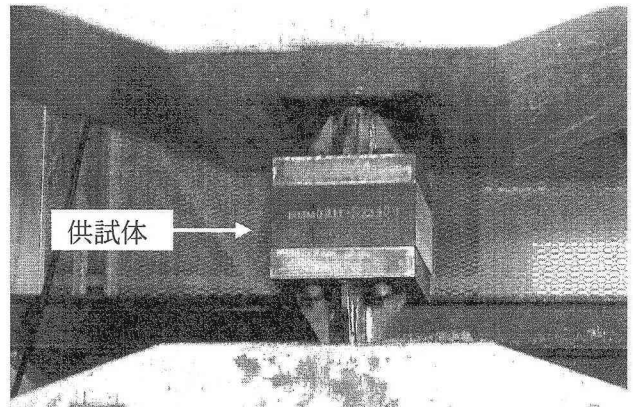


写真-1 引張破断試験装置

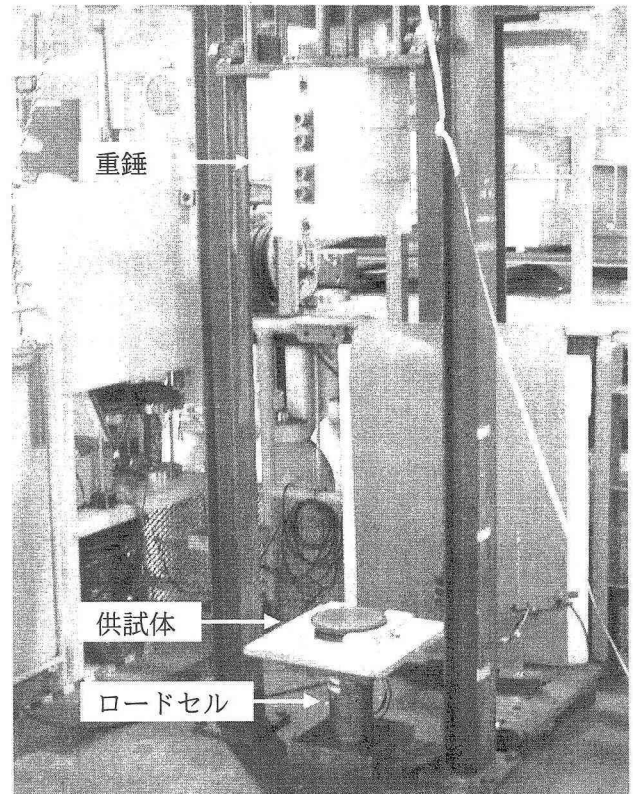


写真-2 衝撃载荷試験装置

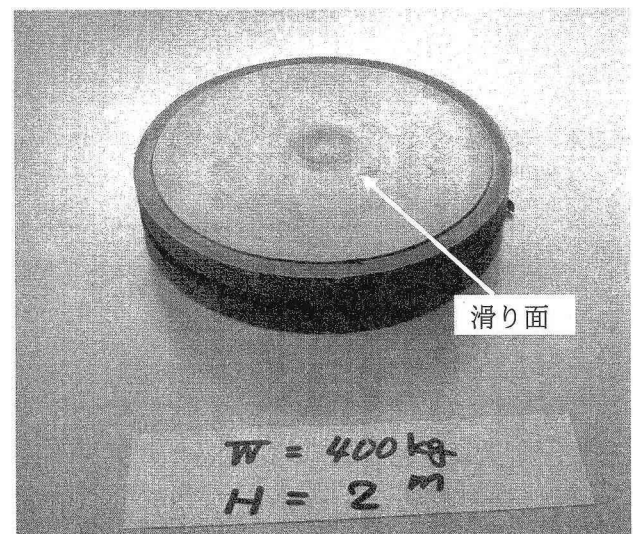


写真-3 衝撃試験後の供試体

2mから重錘を落下させた試験後の支承を写真-3に示す。PTFEの滑り面には目に見える損傷はない。この後、鉛直剛性および摩擦係数の計測を行う予定である。各実験ケースにおける荷重－変位曲線を図-2に示す。この履歴曲線から計算される吸収エネルギー量は、落下距離1.0mのケースで7.1kJ、1.5mのケースで10.0kJ、2.0mのケースで15.3kJであった。

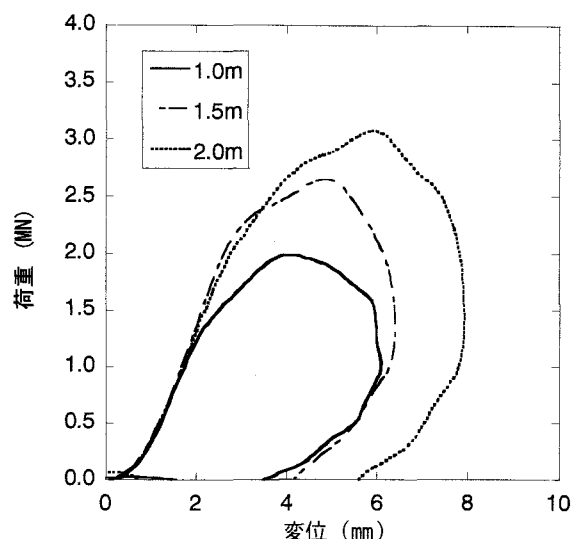


図-2 衝撃载荷試験による荷重－変位曲線

4. 数値解析結果

数値解析の対象橋梁は、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-3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466t、下部構造質量は516t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用いた。減衰定数は2%とし、地盤は固定とした。

一般にゴム支承は圧縮剛性よりも引張り剛性が小さい。支承のモデル化は、鉛直方向における支承は図-4に示す圧縮－引張非対称の線形モデルを用いたばねでモデル化した。桁の死荷重を支持する支承では、死荷重による支承の沈み込みを考慮した。水平荷重分散装置では桁の死荷重を支持しないので、沈み込みが生じない原点非対称の線形モデルを用いたばねでモデル化し、減衰定数は2%とした。

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¹⁾を用いた。

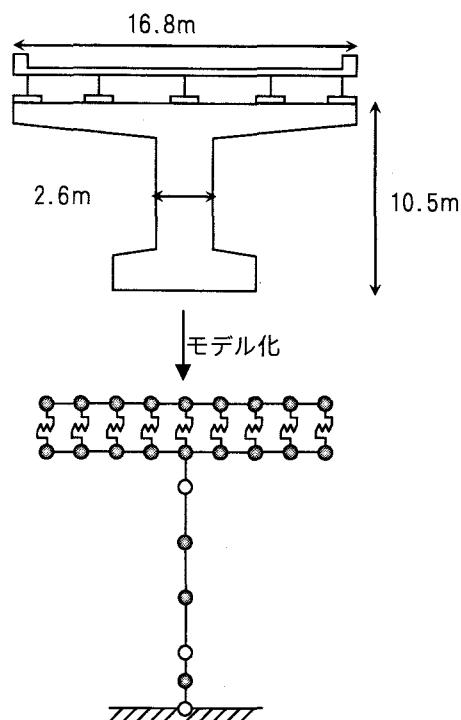


図-3 解析対象モデル

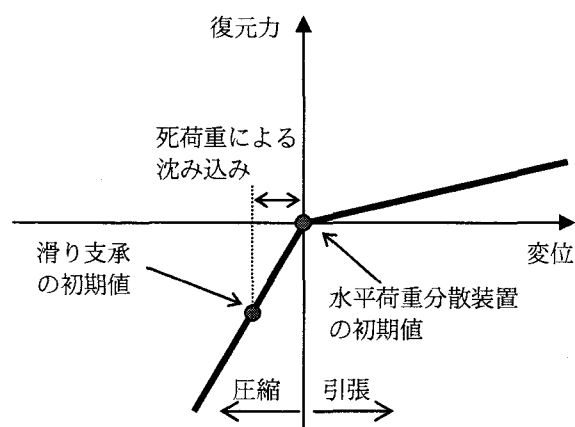


図-4 支承部のモデル

解析結果を図-5～図-8に示す。図-5と図-6が水平荷重分散装置に積層ゴムを用いたシステムの、支承部鉛直変位応答波形と、水平荷重分散装置の復元力応答波形である。図-7と図-8は水平荷重分散装置に補強鋼板のない単層ゴムを用いたシステムの、支承部鉛直変位応答波形と、水平荷重分散装置の復元力応答波形である。

鉛直変位は、プラス側（グラフ上方）が桁が浮き上がる方向を示している。図-5と図-6を見ると、どちらも1～2回桁が数mm浮き上がっていることがわかる。浮き上がり量は水平荷重分散装置の鉛直剛性が低い単層ゴムを用いた方が小さい。

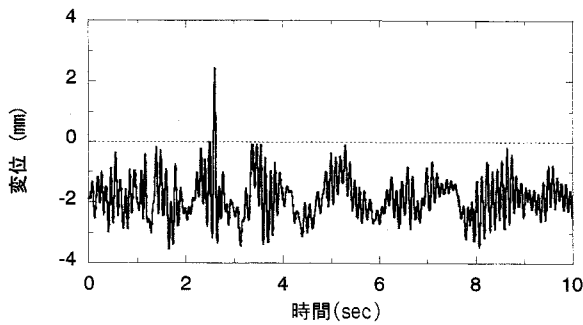


図-5 積層ゴムを用いたシステムにおける滑り支承の鉛直変位応答

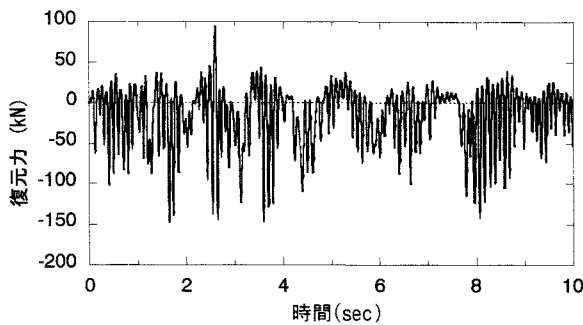


図-6 積層ゴムを用いたシステムにおける水平荷重分散装置の鉛直復元力応答

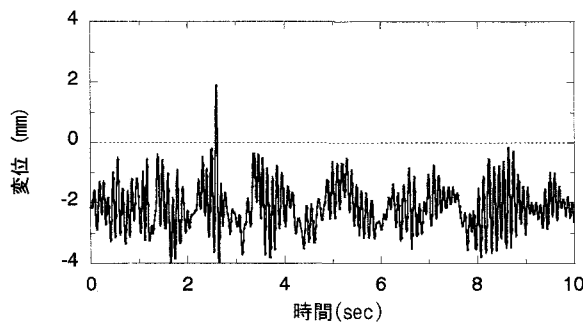


図-7 単層ゴム（補強鋼板なし）を用いたシステムにおける滑り支承の鉛直変位応答

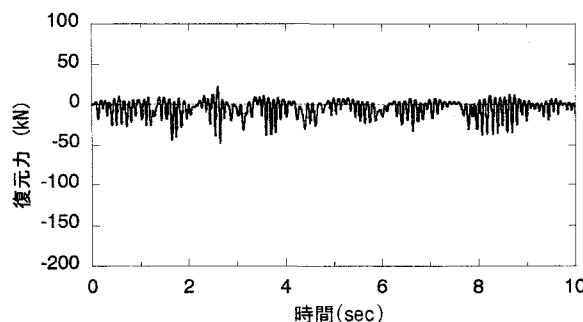


図-8 単層ゴム（補強鋼板なし）を用いたシステムにおける水平荷重分散装置の鉛直復元力応答

図-6と図-8を比較すると、水平荷重分散装置に作用する力が、鉛直剛性の差によって大きく異なっている。プラス側（グラフ上方）が引張力、マイナスが圧縮力である。この対象橋梁における支承部の設計引張力 $0.3R_d$ （ R_d は死荷重反力）は約300kNであり、どちらも設計値以下である。特に、鉛直剛性の低い単層ゴムを用いたシステムでは、作用する最大引張力が20kN程度と設計値の1/10以下である。設計値²⁾を一律に $0.3R_d$ とせずに、動的応答を考慮して設計すれば、より合理的な設計になる可能性がある。

数値解析からは、鉛直剛性の低い一次形状係数の小さな水平荷重分散装置を用いた方が、変位・荷重とも地震時鉛直応答が小さい結果となった。しかし、水平荷重分散装置は安定した水平せん断力応答特性を有することが必要とされるため、単層ゴムを用いても十分な性能が確保できるのか、実験によってその確認をする必要がある。

また、いくつかのケースについて試算を行ったが、桁の浮き上がりは数mm程度にとどまり、また浮き上がっている時間も0.1秒以下（図-5のケースで0.05秒）である。水平荷重分散装置が破壊しない限り、かつ、桁の再落下後に滑り支承の摩擦減衰性能が劣化しない限り、地震時の摩擦減衰は十分に確保されるものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、滑り摩擦型支承装置の上揚力に対する性能を明らかにするために実験および数値解析を実施した。まだ十分に結果がまとめられていないが、速報として報告する次第である。

水平荷重分散装置の鉛直剛性を変えて実施した数値解析の結果では、一次形状係数の小さな単層ゴムを用いたシステムの方が、通常の積層ゴムを用いたシステムよりも小さな応答結果を示した。また、一律に引張耐力を規定するよりも、動的応答を基本とする方が合理的な設計になる可能性がある。

謝辞：実験の実施にあたっては、（株）コベルコ科研のお世話になった。また、供試体の作成にあたっては（株）ビービーエムのお世話になった。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 震災予防協会：強震動アレー観測，No. 3，1998.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V．耐震設計編，2002.