

橋梁上部工の曲げ振動が反重力すべり支承の応答に及ぼす影響について

JIP テクノサイエンス(株) 正会員 ○戸田 圭彦 正会員 柚木 浩一
 京都大学 正会員 五十嵐 晃 学生会員 何 昕昊
 九州大学 正会員 松田 泰治

阪神高速技術(株) 正会員 足立 幸郎 阪神高速道路(株) 正会員 篠原 聖二
 オイレス工業(株) 正会員 宇野 裕恵 正会員 宮崎 貞義 正会員 二木 太郎
 (株)パウエンジニアリング 正会員 佐藤 知明

1. はじめに

著者らは新たな支承構造として反重力すべり支承 (UPSS : Uplifting Slide Shoe) の開発を実施してきた¹⁾。

UPSS は、図-1 に示すように平面 1 面、斜面 2 面のすべり面を有した支承であり、常時はすべり系支承と同じ特徴を有し、地震時には斜面区間をすべり上がることで復元力を生じさせ水平変位抑制効果が期待できる。

著者らは UPSS の動的解析のために 3 つのすべり面をそれぞれ図-2 に示す非線形ばね要素で独立に表現し、それらを重ね合せたモデル (以降、UPSS モデル) を提案した¹⁾。この簡易なモデルは模型実験を精度よく再現できることが確認されている。しかし既往の研究では、その簡易さゆえに実験では見られない跳躍現象が数値解析時に生じることが明らかになっており²⁾、剛性比例型減衰を組み合わせることで抑制の検討を行ってきた³⁾。ところが、提案した減衰モデルであっても UPSS 斜面部の傾斜角度が 15 度を越えるような急勾配の場合には衝突時の跳躍現象は完全に抑制できず、過大な反力が生じることが明らかになった。

このような跳躍現象は、UPSS の各斜面に作用する荷重を過大に見積もる恐れがあり、過剰な設計をもたらす恐れがある。UPSS はその角度によって変位制限効果を期待す

るものであるから、設計者が自由に角度を選択できることが望ましく、合理的な設計のためにも跳躍現象の改善は急務である。

そこで跳躍現象の原因に着目して既往の UPSS モデルの要素検証モデルを眺め見ると、上部工は質点で表現されており鉛直方向に拘束のない条件になっていた。滑り上がり挙動を特徴とする UPSS の取り付けられた上部工が剛体的な運動のみを生ずるとは考えづらく、UPSS は上部工の鉛直振動から何らかの影響を享受すると考えられる。

そこで、本稿では橋脚および上部工を梁要素でモデル化した上で、再度 UPSS モデルの動的解析を行い、UPSS の応答への影響と跳躍現象について考察した。

2. 質点モデルおよび梁モデル

解析対象とするのは鋼合成桁上部工および RC 橋脚からなる連続高架橋である。十分長く連続する支間長 40m の高架橋から 1 橋脚周辺だけを取り出した解析とする。質点モデルおよび梁モデルを図-3 に示す。質点モデルは上部工を質点によって表現しており、梁モデルは上部工を梁要素によって表現している。梁モデルにおいて、質量のモデル化を中央に集中質量を配するモデルと上部工節点に質量を分布させるモデルとの 2 種類を用意した。

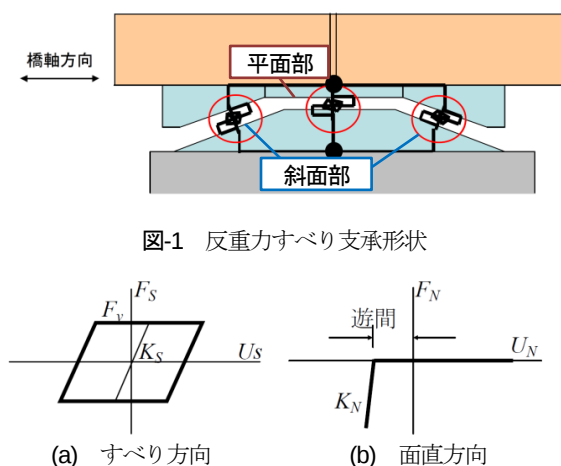


図-1 反重力すべり支承形状

図-2 ばね要素の非線形特性

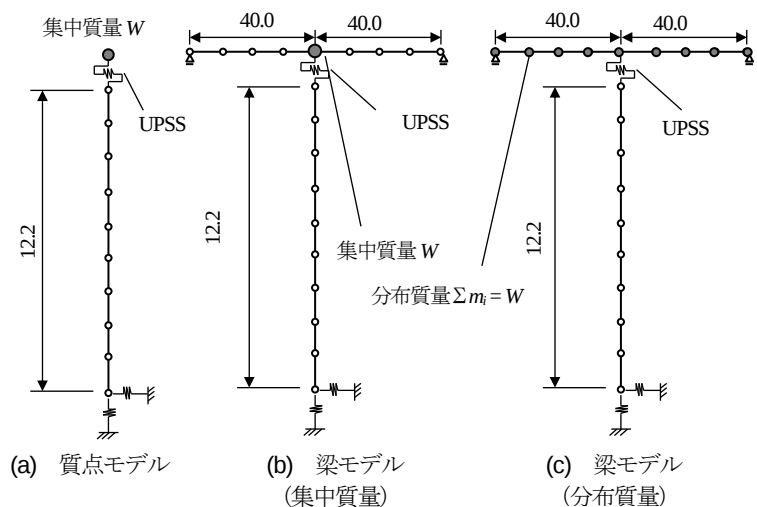


図-3 検討に用いた橋脚の解析モデル

キーワード 反重力すべり支承, 動的解析, 耐震解析モデル

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 2-12-11 JIP テクノサイエンス(株) システム技術研究所 TEL 06-6307-5401

高架橋の設計は日本道路協会⁴⁾の設計例を参考に、適宜修正して用いた。解析に用いた入力パラメータを表-1に示す。また、地震波は鷹取NSを入力し、UPSSモデル以外にはレーリー減衰を、UPSSには剛性比例型減衰³⁾を与えた。なお、解析に用いたプログラムはTDAPIIIである。

3. 解析結果

UPSSの軌跡を図-4に示す。質点モデルおよび梁モデル(集中質量)では、平面すべり部近傍において跳躍現象が生じているのに対し、梁モデル(分布質量)では跳躍現象が生じていない。さらに、図-5には水平方向の反力-変位履歴図、図-6には鉛直方向の反力-変位履歴図を示す。質点モデルおよび梁モデル(集中質量)において見られた反力の乱高下は、梁モデル(分布質量)では見られない。さらに反力の最大値も梁モデル(分布質量)が最も小さい。

図-6によると最大鉛直反力は支承鉛直変位が最も小さくなる瞬間に生じており、これは斜めすべり部から平面すべり部へUPSSが滑り降りてきた瞬間に対応する。そこで、その瞬間の近傍の梁モデル上部工の変形図を0.05秒刻みで描いたものが図-7である。集中質量と分布質量では上部工の変形が異なっている。分布質量としたものは梁中央節点が平面すべり部に衝突したことで鉛直下方への変位が押し返されるが、その他の節点の慣性力は失われずに引き続き鉛直下方へ変位する。一方、集中質量では梁中央節点が平面すべり部に衝突したあと、梁全体が押し返されている。このような上部工のたわみ振動特性によって跳躍現象が抑制されたものと考えられる。

4. まとめ

本稿に示した解析結果より、上部工の鉛直方向振動特性がUPSSモデルの応答に影響を及ぼし、跳躍現象の抑制効果を示すことが明らかとなった。したがって、UPSSモデルを用いた動的解析時には上部工の鉛直振動を適切に考慮する必要があると言える。今後は上部工の桁諸元および支間長の影響を確認し、より効果的なUPSSの設計方法についてさらなる知見を集積する予定である。

参考文献

1) 松田ら:反重力すべり支承の開発③-1(反重力すべり支承を有する橋の耐震解析モデルの構築), 土木学会第64回年次学術講演会, I-399, 2009. 2) 佐藤ら:反重力すべり支承を用いた振動系における動的挙動時のエネルギー評価, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4, I-660-I-671, 2012. 3) 戸田ら:反重力すべり支承の解析モデルにおける減衰評価, 土木学会第72回年次学術講演会, I-590, 2017. 4) 日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, 1997.

表-1 解析条件

入力パラメータ		値
梁要素 曲げ剛性 $EI(\text{kN} \cdot \text{m}^2)$	橋脚	57.292×10^7
	上部工	6.773×10^7
上部工質量W (kN)		6430
橋脚の非線形構成則	構成モデル	武田モデル
	ϕ_y	0.003411
UPSSモデル	斜面角度(deg.)	20
	平面ばね定数(kN/m)	4941000
	斜面ばね定数(kN/m)	5250000
	平面摩擦係数	0.14
	斜面摩擦係数	0.14

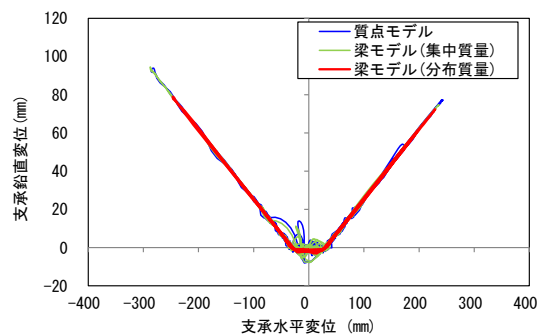


図-4 UPSSモデルの全時刻における座標を重ねた図(軌跡)

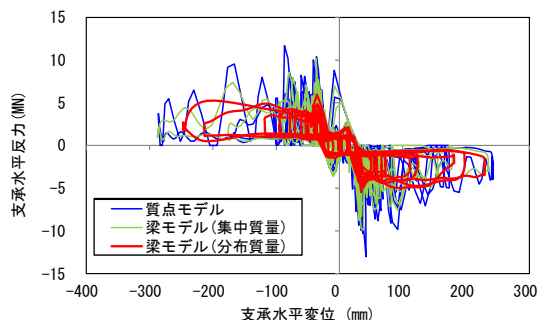


図-5 UPSSモデルの水平方向の履歴図

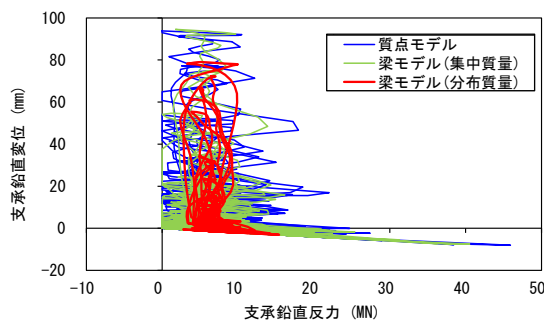


図-6 UPSSモデルの鉛直方向の履歴図

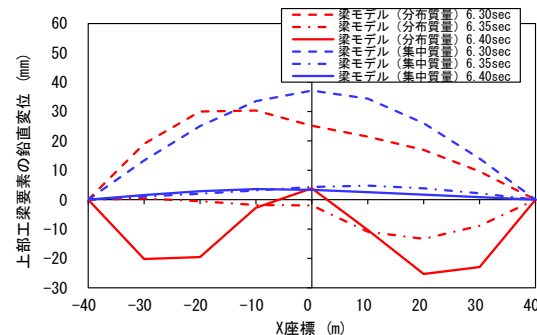


図-7 斜めすべり部から平面すべり部に滑り降りてくる瞬間(支承鉛直反力が最大となる瞬間)における梁の変形