反重力すべり支承を用いた道路橋の耐震性評価

熊本大学大学院　学生会員　○土田　智　　オイレス工業株式会社　正会員　宇野　裕惠
熊本大学大学院　正会員　松田　泰治　JIP テクノサイエンス株式会社　正会員　柚木　浩一

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、橋の耐震性・走行性の向上等を目的として、多径間連続構造が多数採用されている。また地震に対する応答低減や反力の分散、橋桁の温度伸縮を吸収する機能を前提としたゴム支承などの支承が使用され、高い安全性を確保している。しかし、これらの支承は地震時の大変位を許容するため、伸縮装置の肥大化が生じ、維持管理・コストの面で問題となっている。また多径間連続構造は常時の温度影響による不静定力が働くため、長大化を図ることが困難である。そのため、常時の温度影響を考慮し、地震時の応答変位を抑制する新たな支承の開発が望まれていた。

このような問題を解決するため、水平面部と両端の直線勾配面にすべり材を設置するすべり支承が提案されている。このタイプの支承は本稿では「反重力すべり支承」または UPSS(UPlifting Slide Shoe)と呼ぶことにする。

本研究では多径間連続橋の中の 1 本の橋脚を対象に UPSS を設置し、UPSS の動的挙動を検討する。また最終的に本研究の結果から、多径間連続橋へ UPSS を設置した橋梁モデルに対して動的応答解析を行い、UPSS の有効性を明らかにする。

2.解析対象モデルと解析条件

2.1　UPSS の概要

UPSS は図-1 に示すように、常時状態と地震時それぞれに対応して機能する。常時状態では温度変化による桁の伸縮は水平面のすべりで対応し、地震時には上沓が水平面ですべった後、下沓に乗り上がることにより地震時の慣性力を鉛直方向（位置エネルギー）に変換することで、応答を抑制する。また、斜めすべり面の勾配を調整することにより、応答変位を自由に設定できるため、設計の自由度が極めて高く、多種の橋梁に設置が可能と考えられる。

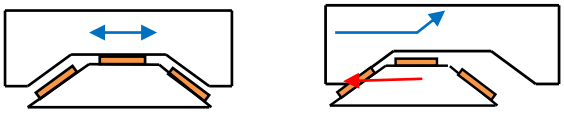


図-1 UPSS の挙動

2.2　解析モデルと解析条件

図-2 に示す多径間連続橋の中の 1 本の橋脚（橋脚の長さ 12m）を検討対象とした。UPSS は橋脚天端から 3.7m の位置に設置し、水平方向は剛とした。橋脚は非線形の 2 次元はり要素とし、橋脚基部に弾塑性回転ばねを設けた。これらの復元力特性として武田モデルを用いた。部材の減衰定数は橋脚を 2%, 基礎を 10%とした。減衰タイプは Rayleigh 減衰とし、第一基準振動数と第二基準振動数の組み合わせは、橋脚基部において過大な粘性減衰を示さないように 1 次の固有振動数と 50Hz の組み合わせを採用した。数値計算方法は Newmark’ β method(β=0.25)で、時間刻みは 0.0001 秒とした。検討用の入力地震動は、正弦波（振幅 100gal, 周波数 0.1Hz, 継続時間 100sec）とする。

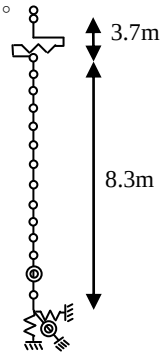


図-2　1 本柱解析モデル

2.3　UPSS のモデル化

解析に用いる UPSS の特性値を表-1 に示す。

表-1　UPSS の特性値

死荷重反力(kN)	2561
斜面角度θ	10
遊間量(m)	0.015
摩擦係数 f	0.05
すべり面方向ばね　ks(kN/mm)	3362
すべり面直角方向ばね　kn(kN/mm)	4370

また、各接触面 3 箇所に対して図-3 に示すようにすべり面方向およびすべり面直角方向にそれぞればね要素を設置した。

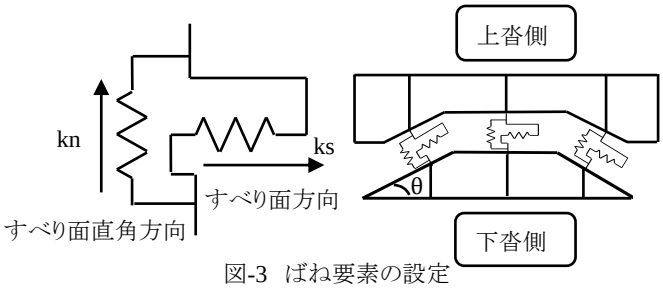
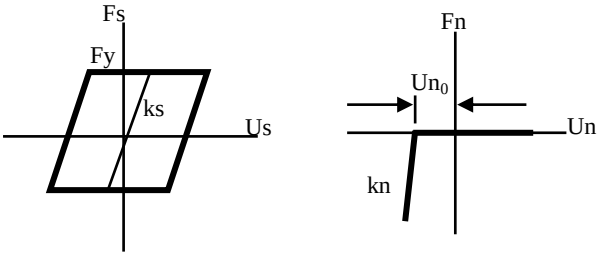


図-3　ばね要素の設定

それぞれの方向のばねの履歴特性は図-4 に示すように非線形性を考慮し、すべり面方向は完全弾塑性型の復元力特性を有している。ただし、すべり面直角方向力 Fn が引張状態時には、すべり面方向力 Fs は 0 とする。

すべり面直角方向については、斜面部は図中で示す Un_0(=初期遊間量×sinθ)を考慮し、平面部では Un_0=0 として、変位量が Un_0 を上回る時、鉛直力が 0 となる履歴特性を有している。また、自重による遊間長さの変化は微小であるため無視できるものとする。



(a)すべり面方向　(b)すべり面直角方向

図-4 履歴特性

3. 時刻歴応答解析結果と考察

図-5 に示すのは、平面部でのすべり面方向及びすべり面直角方向のばねの履歴結果である。ばね反力及びばね変形量は、圧縮を負、引張を正としている。すべり面方向の履歴図では、履歴特性通りの履歴が確認できる。また微小ではあるが、衝撃の影響による振動がみられる。すべり面直角方向の履歴図では、Un_0=0 とした履歴特性が確認できる。

図-6 に示すのは右斜面部でのすべり面方向及びすべり面直角方向のばねの履歴結果である。すべり面直角方向の履歴図では、ばね変形量|Un|と Un_0 の関係によって、斜面部の挙動が確認できる。つまり、上沓と下沓の斜面部が接触する時($Un < -Un_0$)、斜面部でのすべりが発生する。この挙動は、図-7 の右斜面部のすべり面直角方向のばね変形量とばね反力の関係からも確認することができる。すべり面方向の履歴図では、ばね反力の勾配が変化する履歴が確認できる。これは斜面部をすべる際の摩擦力が大きく関係している。上沓が下沓の斜面上にある時、水平力および鉛直力の絶対値をそれぞれ式で表すと次式で表される。

$$Fh = R\sin\theta \pm fR\cos\theta \qquad (1)$$

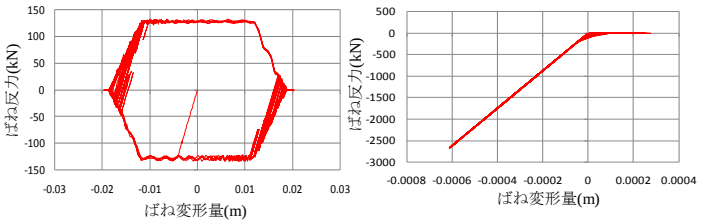
$$Fv = R\cos\theta \mp fR\sin\theta \qquad (2)$$

ここで、f:摩擦係数、θ:斜面角度

R:垂直抗力、Fh:水平力、Fv:鉛直力

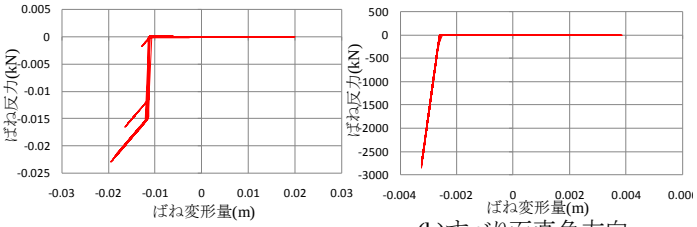
摩擦係数 f、斜面角度θは一定であるため、水平力及び鉛直力は勾配面に対する垂直抗力 R に依存することが確認できる。

右斜面部と対称に位置する左斜面部のばねの履歴は、すべり面方向は対称に、すべり面直角方向では同様な履歴結果が得られたので、本稿では省略する。



(a)すべり面方向　(b)すべり面直角方向

図-5 平面部の履歴図



(a)すべり面方向　(b)すべり面直角方向

図-6 右斜面部の履歴図

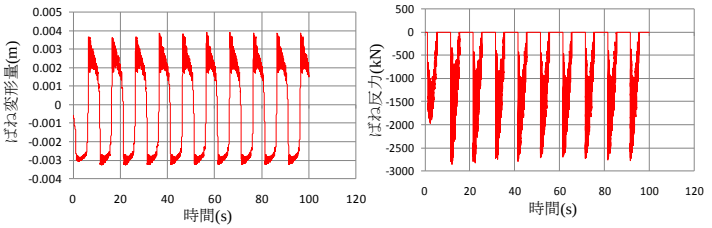


図-7 右斜面部における

すべり面直角方向のばね変形量とばね反力の時刻歴

4. まとめ

今回の研究では、1本柱でのUPSSの動的挙動をばねの履歴によって確認することができた。今後の予定としては、多径間連続橋にUPSSを設置し、動的挙動を検討する。また他の免震装置と比較し、UPSSの有効性について明らかにする。

参考文献

1) 五十嵐晃, 森本慎二, 加地淳志, 樋口匡輝, 足立幸郎, 河内山修, 佐藤知明:反重力すべり支承の動的挙動の振動台実験による検討, 土木学会地震工学研究発表会論文集, 2009.5

2) 反重力すべり支承の開発 ①～④-3 第 64 回土木学年次学術講演会講演概要集, 2009.9