

反重力すべり支承の位置エネルギー効果に関する一考察

J I Pテクノサイエンス (株)	正会員	○佐藤 知明	正会員	松田 宏
京都大学	正会員	五十嵐 晃		
阪神高速技術 (株)	正会員	足立 幸郎		
阪神高速道路 (株)	正会員	加藤 祥久	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

1. はじめに

反重力すべり支承（以下，UPSS：Uplifting Sliding Shoe という）とは，斜め勾配を有するすべり支承であり，地震時に上部構造が斜面をすべり上がることで水平方向の抵抗力を発揮させ，地震時の水平動による上部構造慣性力（運動エネルギー）を鉛直方向の力（位置エネルギー）に変換し，水平方向の応答変位を抑制するものである（図-1）．筆者らは，これまでに鋼3径間連続非合成鈹桁橋を対象に，本支承の斜め勾配が橋梁の地震時応答に与える影響について報告してきた．今回，継続的な検討として，地震時におけるUPSSを含む構造系のエネルギー推移について報告する．

2. 対象橋梁

これまで対象としてきた橋梁は，橋長150m，各支間長60m+50m+40mの鋼3径間連続非合成鈹桁橋である（図-2）．橋脚は最大脚高12.6mのRC単柱であり，支承は中間橋脚にUPSSを配置し，端部橋脚にゴム（分散）支承が配置されたものである．本検討では，鉛直変位が大きくなったP3橋脚を対象として，2質点ばねマスモデルにより検討した．

3. 解析モデル

解析モデルは，図-3に示すように，橋軸方向のみを対象とした2次元モデルで，加振を行うための基礎側の仮想点をN-1，上部構造側の仮想点をN-4とし，橋脚重量を考慮した橋脚側の節点N-2，上部構造による死荷重反力相当分を分担する節点N-3の2つの質量点を有するものである．この2点間にはUPSSを表現する非線形の水平および鉛直ばねを1組として水平面および左右斜面にそれぞれ配置した．また，N-2とN-1間には，橋脚剛性と地盤ばね値を足し合わせた剛性を有する軸方向ならびにせん断方向ばねを配置した（橋脚ばね）．さらに，N-3とN-4点間には，桁の軸剛性と端部橋脚上のばね値から算定した軸方向ばね，ならびに桁の曲げ剛性から求めたせん断ばねを用いて接続している（上部工ばね）．ここで，UPSSの遊間は左右ともに3cm，すべり面の摩擦係数は0.05とし，斜め勾配は30度または15度とした．なお，減衰モデルはRayleigh減衰($C = \alpha M + \beta K$)を用い，係数 α ， β は全体解析における値とした．ただし，UPSSを構成するばねは $\beta = 0$ とした．

本解析では，地震時における基本的なエネルギー推移を検討するために，N-1に正弦波形1サイクルを強制変位として入力した．また，斜め勾配30度における全体解析3波平均による支承の最大相対水平変位が約

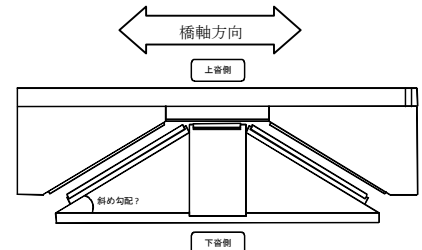


図-1 反重力すべり支承 (UPSS)

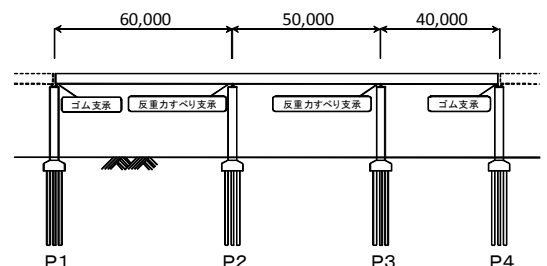


図-2 対象橋梁

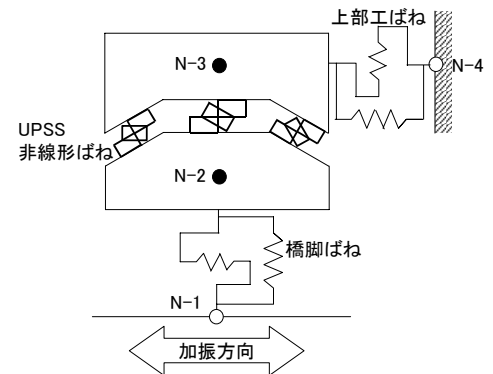


図-3 位置エネルギー検討モデル

キーワード 反重力すべり支承，位置エネルギー，ばねマスモデル

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島2-12-11 TEL 06-6307-5462

0.1 m となるように入力最大振幅を 0.25 m とした。

4. 解析結果および考察

斜め勾配 30 度, 載荷速度 20 kine による解析結果を図-4~6 に示す。図-4 には, N-2, N-3 の水平応答変位および相対水平・鉛直変位を示している。図-5 には, 正弦波形 1 サイクルにおける UPSS すべり面の摩擦により消費されたエネルギー (① UPSS 摩擦減衰と表記), 運動方程式における質量比例型粘性減衰により消費されたエネルギー (②節点減衰と表記), 相対鉛直変位から求めた位置エネルギー (③), 上部工構造と橋脚のばねによるひずみエネルギー (④), N-2,N-3 の運動エネルギー (⑤), およびそれらの合計値の推移を示した。この図より, ひずみエネルギーは当初, 載荷とともに上昇していくが, 位置エネルギーが増加しはじめた 1.3 秒付近から低下し始めることが見てとれる。続く 1.9 秒にかけては位置エネルギーが上昇しつづけ, その後 2.7 秒までは UPSS の摩擦により変位がつりあった状態となっている。これは, 鉛直方向へエネルギーが変換されている状態である。次に, 載荷開始から相対水平変位が最大を過ぎた 3 秒までの累積エネルギーを図-6 に示す。なお, この図は図-5 における①~⑤を順次足し合わせたものとして表現している。図-6 より, 逸散減衰である①UPSS 摩擦減衰, ②節点減衰は, すべり面が斜面部に切り替わる 1.3 秒を過ぎても, ほぼ一定の勾配で増加しており, 安定してエネルギーを消費していることが確認できる。

また, 支承の相対水平変位最大時 (速度 = 0 m/sec) における各エネルギーの累積割合を成分別および方向別に表-1 に整理した。この表より, 水平方向のみに入力されたエネルギーが, 位置エネルギーに 35.9%, 鉛直方向へ変換されたエネルギーの合計値は 38.8%となっていることがわかる。同様に, 斜め勾配 15 度, 載荷速度 20 kine による累積エネルギーの推移を図-7 に, また, 成分別および方向別の累積割合を表-2 に示す。15 度の場合, 勾配が緩やかなため全エネルギー量は小さいが, 応答相対水平変位が大きくなり, その結果, 鉛直変位が長い区間にわたり生じたため, 位置エネルギーに 46.4%, 鉛直方向に合計 54.0%が変換されることがわかった。

5. まとめ

本検討では, UPSS の斜め勾配 30 度および 15 度に対して, 各エネルギーの推移について示した。本検討では, 15 度の方が 30 度に比べて位置エネルギー変換効率が大きくなっていた。今後, さまざまな角度に加えて, 載荷速度を変えた検討を行う必要があるものと考えられる。

参考文献 篠原ほか: 反重力すべり支承の開発④-1 (鋼 3 径間連続非合成鈹桁橋の地震時応答特性), 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.9

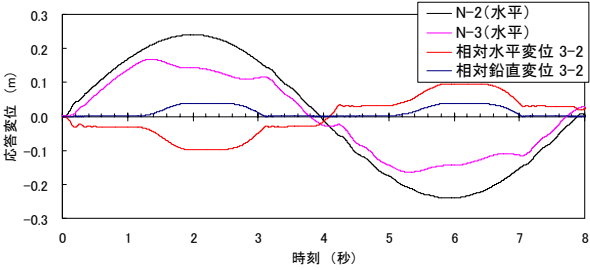


図-4 水平変位応答 (30 度)

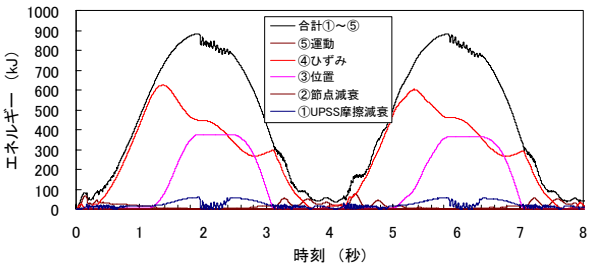


図-5 1 サイクル中のエネルギーの推移 (30 度)

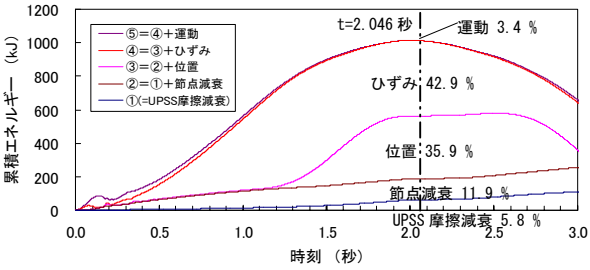


図-6 累積エネルギーの推移 (30 度)

表-1 t=2.046 秒時の累積エネルギー (30 度)

エネルギーの種類	水平方向		鉛直方向		合計 (成分別)	
	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)
運動	34.3	(3.3)	1.4	(0.1)	35.7	(3.4)
ひずみ	445.8	(42.6)	3.7	(0.4)	449.6	(42.9)
位置			376.3	(35.9)	376.3	(35.9)
節点減衰	120.2	(11.5)	4.9	(0.5)	125.1	(11.9)
UPSS摩擦減衰	40.7	(3.9)	20.4	(1.9)	61.1	(5.8)
合計 (方向別)	641.0	(61.2)	406.7	(38.8)	1047.8	(100.0)

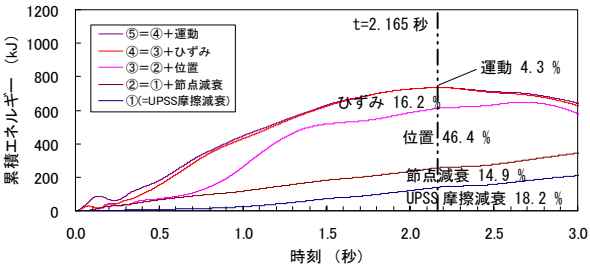


図-7 累積エネルギーの推移 (15 度)

表-2 t=2.165 秒時の累積エネルギー (15 度)

エネルギーの種類	水平方向		鉛直方向		合計 (成分別)	
	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)
運動	31.6	(4.1)	1.1	(0.1)	32.7	(4.3)
ひずみ	121.2	(15.8)	3.4	(0.4)	124.5	(16.2)
位置			356.1	(46.4)	356.1	(46.4)
節点減衰	110.9	(14.4)	3.8	(0.5)	114.7	(14.9)
UPSS摩擦減衰	89.5	(11.7)	50.5	(6.6)	140.1	(18.2)
合計 (方向別)	353.3	(46.0)	414.9	(54.0)	768.1	(100.0)