

反重力すべり支承の開発 -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)

J I Pテクノサイエンス(株)正会員 松田 宏 正会員 佐藤 知明
 京都大学 正会員 五十嵐 晃
 阪神高速道路(株)正会員 足立 幸郎
 オイレス工業(株)正会員 宇野 裕恵 正会員 横川 英彰

1. 目的

反重力すべり支承(以下, UPSS: Uplifting Sliding Shoe という)を一般の橋に適用するためには, 耐震設計上骨組モデルにより簡易的に解析を行えることが必要不可欠である. 平面すべり面のみで構成される機能分離支承については, ばね部材により桁と橋脚間を結合することで, 地震時挙動を表現することが可能であることが報告されている¹⁾. この点を踏まえ, 筆者らは, UPSS を構成する上下沓間における接触, 剥離, 再接触, 乗降などが繰り返し挙動する現象ならびに上沓が下沓の斜めすべり面上を乗降する際に生じる衝撃力等の関係を力学的に解析できる耐震解析用モデルを構築した. 本論文では, 平面すべり時, 斜面部の乗降時それぞれの変形状態に連携した作用力 - 変位関係を解説し, 解析上必要な解析パラメータ等についてその概要を示す.

2. UPSS の作用力 - 変位関係

UPSS の標準形は, 図-1 に示すように1つの平面と2つの斜面で構成される. 常時状態では, 平面部のみが桁と接触しており, 温度変化による拘束力が生じないように遊間が設けられている. ここで, 上沓側を桁下端(G1)で下沓側を橋脚天端(G2)で力学挙動する代表点として設定し, G1 - G2 間でUPSS の作用力 - 変位関係を定義する. まず, 図-1 に示す各面3箇所に対して図-2 に示すとおりすべり面に沿った方向およびすべり面直角方向にそれぞればね要素を設ける. UPSS の上下沓を構成する部材の力学特性として, 下沓側のコア部全体および桁上の UPSS 取付け区間は剛体変形するものと仮定する. また, 上沓と下沓間の回転変形は連続しないものとし, 水平, 鉛直2方向間の力学挙動を設定する.

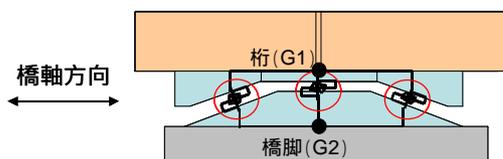
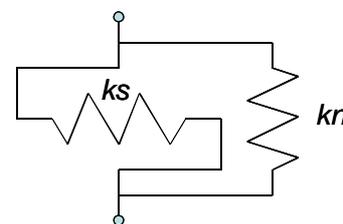


図-1 反重力すべり支承形状
ULSS上沓側



ULSS下沓側
図-2 各面のばね要素の設定

すべり面に沿った方向のばね k_s , 変位 U_s , ばね力 f_s とすべり面直角方向のばね k_n , 変位 U_n , ばね力 f_n およびすべり面の斜め勾配 を用いて作用力 - 変位関係を誘導する. すべり面1箇所の局所座標系における作用力 - 変位関係は, 式(1)のとおりである.

$$\begin{Bmatrix} f_s \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_s & 0 \\ 0 & k_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_s \\ U_n \end{Bmatrix} \tag{1}$$

斜面部の斜め勾配 を考慮して, 橋梁全体系での G1 - G2 間の水平力 F_x , 鉛直力 F_y および水平変位 U_x , 鉛直変位 U_y の関係を整理すると式(2)のとおりとなる.

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \end{Bmatrix} = \sum_i \begin{bmatrix} k_{s_i} \cos^2 \theta_i + k_{n_i} \sin^2 \theta_i & (k_{s_i} - k_{n_i}) \cos \theta_i \sin \theta_i \\ \text{sym.} & k_{s_i} \sin^2 \theta_i + k_{n_i} \cos^2 \theta_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_x \\ U_y \end{Bmatrix} \tag{2}$$

ここで, i は UPSS を構成するすべり面ごとに水平力, 鉛直力を算出し加算することを意味する. また, 非線形動的解析時は式(1), (2)とも増分形式となり, k_s, k_n とともに変位 U_s, U_n に依存して変化する.

キーワード 反重力すべり支承, 位置エネルギー, 力学モデル, シミュレーション, 耐震解析

連絡先 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 1-2-5 TEL 03-5614-3203

次に、すべり面に沿った方向およびすべり面直角方向の力学特性を設定する。両方向の力学特性は図-3に示すとおり、すべり面に沿った方向はほぼ完全弾塑性型の復元力特性を有し、すべり面直角方向力 F_n に摩擦係数 f を乗じた値を降伏耐力 F_y と仮定する。よって降伏耐力 F_y はすべり面直角方向力に依存して逐次変化する。ただし、すべり面直角方向力 F_n が引張状態に達すると、すべり面に沿った方向の作用力 F_s は 0 とする。

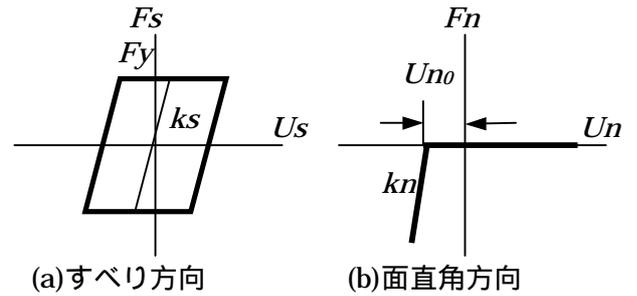


図-3 復元力特性

すべり面直角方向については、斜面部は図-3中では U_{n0} (=初期遊間量 $\times \sin$, :斜め勾配) を考慮し、平面部は $U_{n0}=0$ として、すべり面直角方向の変位量が U_{n0} を上回ると鉛直力が 0 となる非線形弾性の履歴特性を有するものとする。ここで、解析上必要なパラメータは、2つのばね k_s, k_n とすべり面の摩擦係数の3個のみであり、これらは実験データをもとに設定するのが好ましい。特に、すべり面直角方向のばね値は、UPSSの上下間が接触して斜面部を上下する挙動を表す上では重要なパラメータであるため、この値の設定如何によっては適切な挙動を表現できない可能性がある。また、すべり面に沿った方向のばね特性が実験データより設定が困難な場合は、式(3)のとおり初期ばね値を設定しても概ね良好な解を得ることができる。図-3(a)での塑性後の2次剛性および図-3(b)の引張側剛性は弾性剛性に対して概ね $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 程度の剛性を与えるのがよい。

$$k_s = k_n / 2.6 \tag{3}$$

また、上沓が下沓を乗り越えた状態はUPSSが機能しなくなるため、モデル化の対象外とした。

3. UPSSの動的挙動と力学モデルとの関係

UPSSを設けた振動台実験²⁾を実施した結果、UPSSに作用する水平力-水平変位関係はおおむね図4のような挙動を示すことがわかってきた。ここで、(a)の領域は図3(a)の復元力特性により表現可能である。また(b)の領域は、UPSSの上下沓の斜面部同士が衝突し、その直後に上沓が下沓の斜めすべり面上に乗り上げる段階であり、衝突時の速度に依存して衝撃力の大きさは変化する傾向にある^{2),3)}。また衝撃力が収束すると水平力は静的な釣り合い状態付近まで低下し(c)に至る。この現象は、図

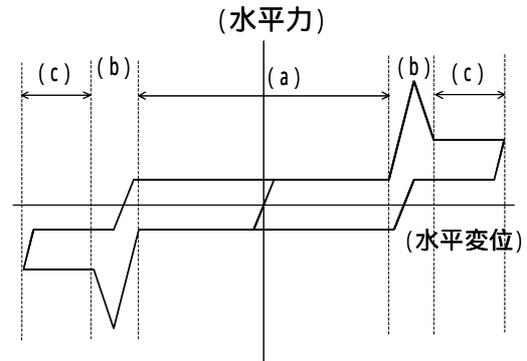


図4 UPSSの水平力-水平変位関係

3(b)の履歴特性を用い、さらにすべり面に沿った方向の作用力が逐次すべり面直角方向力に摩擦係数を乗じた力が分担力となって推移する条件を与えていることから、こうした挙動を表現することができる。また、最大変位が生じる(c)の付近の挙動についても、すべり面直角方向のばね値およびUPSSの下沓側コア部を支持する部材の剛性が適切に設定できていればおおむね実験結果と一致した傾向を示すことができる。

4. まとめ

筆者らは、UPSSを有する橋梁の耐震解析用モデルを構築した。すべり面に沿った方向とすべり面直角方向のばね特性およびすべり面の摩擦係数の3つのパラメータの設定で解析モデルを設定することが可能であることが分かった。ただし、各パラメータについては実験データをもとに設定するのが好ましい。

参考文献

- 1) (独)土木研究所：すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法マニュアル(案), 2006.7
- 2) 五十嵐, 森本ら：反重力すべり支承の動的挙動の振動台実験による検討, 2009.5, 土木学会地震工学研究発表会論文集
- 3) 河内山, 長田ら：反重力すべり支承の開発 -1 (要素実験によるすべり特性確認), 2009.9, 土木学会第64回年次学術講演会