

反重力すべり支承の開発③-3 (反重力すべり支承に作用する衝撃力に関する検討)

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
 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にあたり, 上沓が下沓に乗り上げる際に生じる衝撃力の発生メカニズムを把握しておく必要がある. 本論文では, 筆者らが構築した UPSS を有する橋の耐震解析モデル¹⁾を用いて, UPSS を含む上部構造モデルの振動台実験²⁾のシミュレーション解析を行い, 耐震解析モデルの妥当性および衝撃力の発生メカニズムについて検討した.

2. UPSS に作用する水平力と鉛直力の関係

UPSS に作用する水平力-水平変位関係はおおむね図-1のような挙動を示すが²⁾, 温度変化による拘束力が生じないように設けられた UPSS の遊間量以下の変形状態である (a) 区間は, 平面すべり部のみ上沓側と下沓側が接触した状態であり, すべり面に生じる水平力 F_{s1} は, 式(1)のとおりである.

$$F_{s1} = f \cdot F_{n1} \tag{1}$$

ここで, f はすべり面の摩擦係数, F_{n1} はすべり面に作用する鉛直反力である. また, 上沓と下沓の斜面部が接触した瞬間では, 図-2に示すとおり平面部と1斜面部間で上部構造に作用する水平力と鉛直反力を分担し, 各すべり面に生じる水平力 (F_h) と鉛直力 (F_v) の関係は式(2)のとおり表すことができる.

$$\begin{aligned} F_h &= F_{s1} + F_{s2} \cdot \cos\theta + F_{n2} \cdot \sin\theta \\ F_v &= F_{n1} - F_{s2} \cdot \sin\theta + F_{n2} \cdot \cos\theta \end{aligned} \tag{2}$$

ここで, θ は斜め勾配, F_h はすべり面に作用する水平力の合計である. 上沓が下沓に乗り上げて, 平面部で反力が生じなくなった場合には, 式(2)の右辺第1項を0とみなすことができ, また, すべり面に作用する水平力 (F_h) を鉛直力 (F_v) に置き換えると, 式(1)および式(2)より式(3)が得られる.

$$\begin{aligned} F_h &= F_{n2} \cdot f \cos\theta + F_{n2} \cdot \sin\theta \\ F_v &= -F_{n2} \cdot f \sin\theta + F_{n2} \cdot \cos\theta \end{aligned} \tag{3}$$

よって, 支承に作用する水平力 (F_h) と鉛直力 (F_v) の比は,

$$\frac{F_h}{F_v} = \frac{\sin\theta + f \cos\theta}{\cos\theta - f \sin\theta} \tag{4}$$

となり, 鉛直方向作用力によらず, 斜め勾配 θ と摩擦係数 f によって定まる一定値となる. 仮に, 摩擦係数 f を 0.14, 斜め勾配 θ を 30 度とした場合, F_h/F_v は 0.78 となる. ただし, 式(1)~式(4)には衝撃力の影響は考慮されていないが, これらの関係を運動方程式に組み込むことで自動的に衝撃力を考慮することができる.

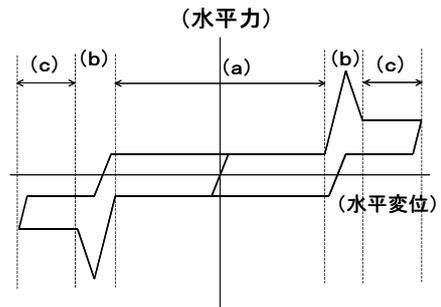


図-1 斜めすべり支承の水平力-水平変位関係

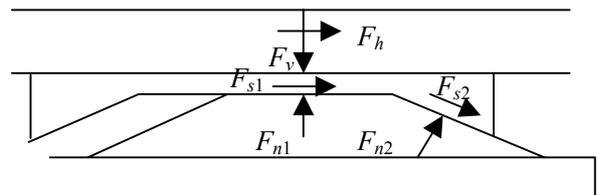


図-2 上沓と下沓が衝突した状態

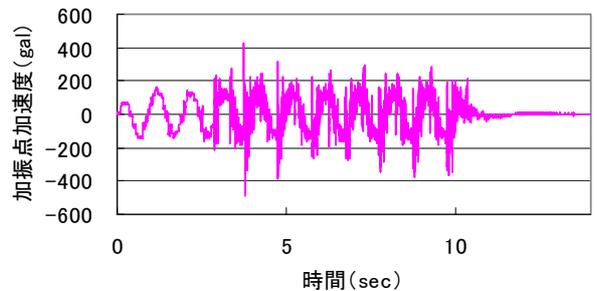


図-3 実験シミュレーション解析に用いる入力波形

キーワード 反重力すべり支承, シミュレーション, 衝撃力, 動的解析

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 2-12-11 TEL 06-6307-5401

3. 実験シミュレーション解析

振動台実験²⁾のシミュレーション解析を行い、衝撃力が発生する前後の挙動について比較を行った。UPSSの斜め勾配 θ は30度、入力した波形は、振動台表面で観測された加速度波形を用いた(図-3)。図-4~8に、入力波形の1サイクル分の結果を示した。計算時間間隔は0.0001秒であり、解析にはTDAPIII Ver.3.01を使用した。

まず、図-4~6には、水平変位、水平力(F_h)、鉛直力(F_v)の時刻歴応答について各々実験結果と比較している。水平変位、水平力(F_h)については、若干の位相のずれはあるが、おおむね一致した傾向を示している。しかし、鉛直力(F_v)に関しては位相だけでなく応答性状が異なっており、逸散減衰を考慮していない影響などがあるものと思われる。図-4および図-5によると、支承の変位が遊間量である42mmに達すると同時に、水平力(F_h)は10kNから60kNまで約6倍に急増しており、この差が衝撃力に相当するものと考えられる。その直後に水平変位はピークを向かえるが、多少変位が増加しても衝撃力はすぐに減少していくことがわかる。また、変位が減少するに従い、水平力もさらに緩やかに減少し、平面すべり面に上巻が接触すると斜面部は剥離して平面すべり状態に戻る。この衝撃力が生じている時間は0.1秒程度であり、衝撃力の発生から消失に至るまでの時間は実験結果と類似している。以後、負側の変位に移行した後も同様の挙動を繰り返す。

次に、図-7に示す支承の水平力(F_h)—水平変位関係については、正側では良好な一致を示すが、負側では正側ほど一致していない。これは、試験体製作時の誤差によるものと考えられる。同様に、図-8に、鉛直力(F_v)に対する水平力(F_h)の比と水平変位との関係を示した。 F_h/F_v の値は、遊間量42mmを境に0.14からほぼ想定値に近い0.76となっていた。こちらも図-7と同様、正側の挙動については実験結果と良い一致を示した。

4. まとめ

筆者らは、UPSSを有する橋の耐震解析用モデルを構築し、実験シミュレーション解析の結果、衝撃時の挙動を含め、おおむね実験値と一致した傾向を示すことが検証できた。

参考文献

- 1) 松田, 佐藤, 五十嵐, 足立他: 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, 2009.9, 土木学会第64回年次学術講演会
- 2) 五十嵐, 森本, 加地, 樋口他: 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

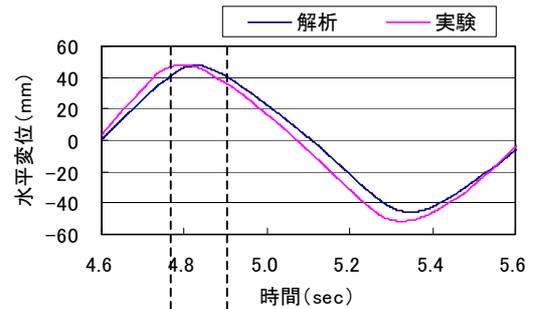


図-4 水平変位応答

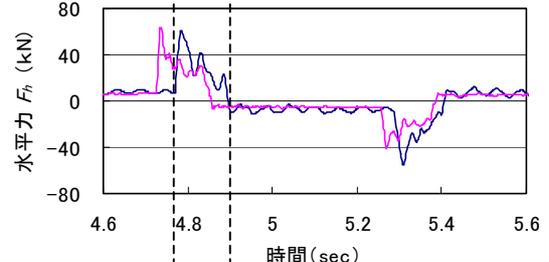


図-5 水平力応答

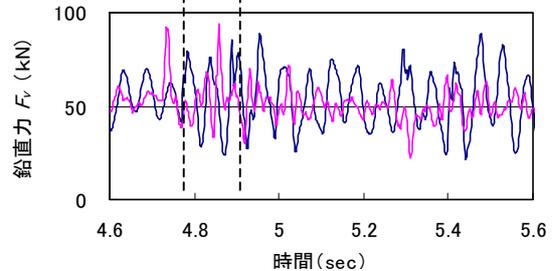


図-6 鉛直力応答

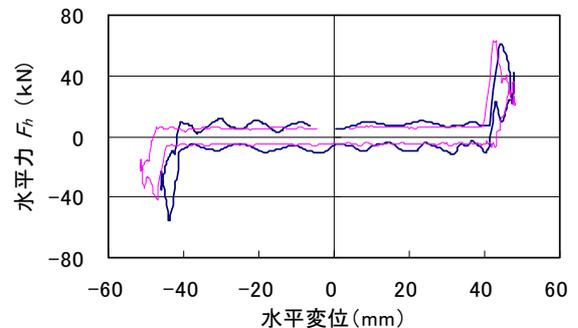


図-7 水平力—水平変位関係

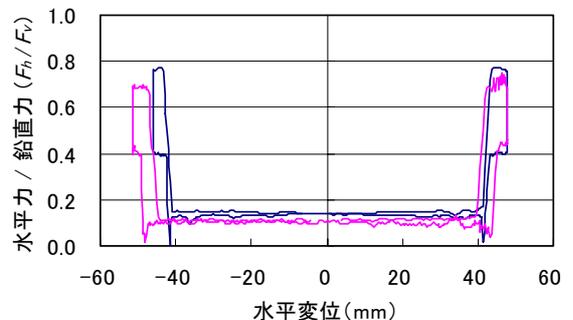


図-8 (水平力/鉛直力)—水平変位関係