

反重力すべり支承の開発 ②-4 (振動台実験結果に基づく力学モデルの構築)

京都大学工学研究科 学生員○加地淳志 正会員 五十嵐晃 学生員 樋口匡輝
 阪神高速技術(株) 正会員 足立幸郎
 オイレス工業(株) 正会員 長田修一 正会員 河内山修
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 佐藤知明

1. 概要

多径間連続桁の地震時性能の向上策の一つとして、図-1に示す反重力すべり支承(以下、UPSS: Uplifting Slide Shoe という)が提案されている。上沓の平面一面、斜面二面のSUS製すべり板、下沓のPTFE製のすべり材との間で滑る構造となっている。常時は平面部区間で橋桁の温度伸縮を吸収し、地震時には上沓が斜面部をすべり上がることで復元力が発生し、水平変位を抑制する効果を期待するものであるが、平面区間と斜面区間の境界部を通過する際の衝突現象のため衝撃的荷重が発生する。衝撃荷重の発生、大きさの評価およびUPSSの動的な応答の予測を、可能な限り明快な理想化された単純な力学モデル化により行うことを試みた。

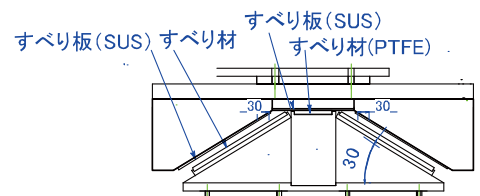


図-1 反重力すべり支承

2. 衝撃力の力学モデル化

2.1 解析モデルの考え方

図-2に示す桁模型を用いた振動台実験が実施され、UPSSにおいて生じる衝撃荷重等の計測データが得られている。得られた計測結果等に基づき図-3に示す力学モデルについて検討した。質点 m は上沓の下沓に対する相対変位の位置にあり、図示された線上に運動が拘束されていると仮定する。平面区間と斜面区間の境界付近に一定曲率の円弧区間が設定され、円弧区間の運動では質点 m の円心運動に伴う遠心力を考慮する。また、 L : 平面区間の片側長さ、 θ : 斜め勾配、 r : 円弧区間の曲率半径、 m : 反重力すべり支承が分担する上部構造質量である。ここでは振動台実験での分散ゴム支承の水平剛性をばね k でモデルに含めている。質点に作用するすべり面からの垂直抗力、重力、すべり面に沿った方向の摩擦力(摩擦係数 f)、円心運動に伴う遠心力、運動方程式を定式化すると、接線座標 $s(\theta)$ が円弧区間内にあり質点位置の水平面とのなす角を $\phi = (s-L)/r$ と表した時の抗力の X 成分で定義される水平荷重 $H(\theta)$ およびすべり面の垂直抗力 $R(\theta)$ は、式(1)で表される。ただし、ここでは説明上の便宜のため、慣性力と分散ゴムによる復元力の項は含めていない。

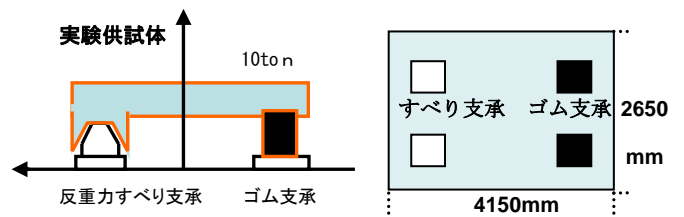


図-2 振動台実験の概略図

$H = fR \cos \phi + R \sin \phi$

$$R = mg \cos \phi + m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

円弧区間内における水平荷重 $H(\theta)$ の最大値を衝撃力の大きさと定義すれば、図-3において右側の円弧区間を正の速度で通過する時の衝撃力 I は、円弧区間の右端である $\phi(t) = \theta$ の時点で発生すると近似できる。 $\phi(t) = \theta$ における質点の速度を近似的に求め、式(1)に適用することにより衝撃力の評価式を導いたところ、次式のようにになった。

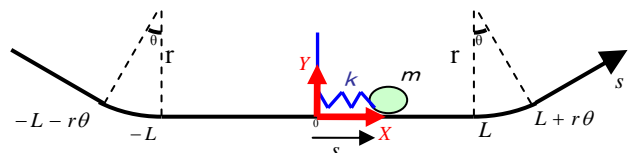


図-3 反重力すべり支承の力学モデル

キーワード 反重力すべり支承, 振動台実験, 衝撃力, 力学モデル, 曲率半径

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院構造ダイナミクス分野 075-383-3244

$$I = \frac{um}{r}(1 - 2f\theta)v^2 + umg(-2f \sin \theta + 3 \cos \theta - 2) \quad (2)$$

ここに $u = f \cos \theta + \sin \theta$ である。

2.2 円弧区間曲率半径の推定

力学モデルにおける円弧区間の曲率半径 r の値を、式(2)で算出される衝撃力 I と実験で得られた衝撃力の実測値が一致することを条件として推定する。図-4に、斜面区間の斜め勾配 $\theta = 30$ 度、すべり材のサイズ $30 \times 30 \text{mm}$ の場合と $30 \times 60 \text{mm}$ の場合を合わせた、平面区間から斜面区間への衝突速度と衝撃力の関係を示す。ほぼ一次関数的な相関があることが観察される。一方、力学モデルの円弧区間の曲率半径を $r = 3, 6, \dots, 18 \text{mm}$ で一定とした場合の衝突速度—衝撃力関係は、図-4に示す2次関数となる。最小二乗法による実験データの回帰直線とあわせて検討すれば、この結果は衝突速度が増加するにつれて曲率半径の値は増加すると解釈することが考えられる。そこで、曲率半径 r を衝突速度の関数とみなし、振動台実験の回帰式と力学モデルに基づく衝撃力の評価式(2)より衝突速度 - 曲率半径の関係を導けば、図-5の曲線が得られた。曲率半径 r と衝突速度の関係は衝突速度 $0.1 [\text{m/s}]$ 以上の領域に着目すると、

$$r = 0.0166v + 0.00056 \quad [\text{m}] \quad (3)$$

により近似できる。ここに v は衝突速度 $[\text{m/s}]$ である。

2.3 衝撃力の推定

2.2 で得られた $r-v$ 関係を用いた衝撃力の解析値と実験値を比較したものを図-6に示す。赤線が実験データに基づく線形回帰、青線が解析値である。衝突速度 $v \geq 0.2 \text{m/s}$ 以上の領域では両者は概ね一致している。

3. 実験結果と解析結果の比較

入力波を JR 鷹取 NS 加速度波形の振幅を調整したものとし、UPSS の条件を遊間長さ $\pm 30 [\text{mm}]$ 、斜め勾配 30 度の場合の相対水平変位—水平荷重関係を図-7に示す。赤線が実験値、青線が解析値である。ここで水平荷重とは UPSS の下部構造に作用する荷重の水平成分のことである。図-7より履歴復元力に特徴的に現れる衝撃力は力学モデルでも表現されている。衝撃力の大きさについては、正変位側での実験値と解析値は概ね一致しているが、負変位側では相違が見られる。このケースでは負側の衝撃力の実験値がばらつきとして小さい値として現れている。衝撃力の評価にあたっては、実験で見られる正側・負側での衝撃力の値のばらつきを考慮する必要があると考えられる。

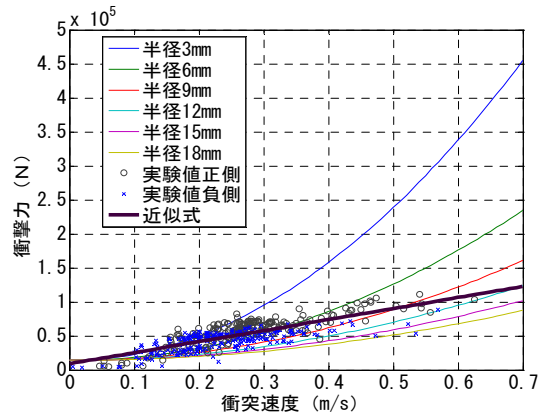


図-4 衝突速度 - 衝撃力関係

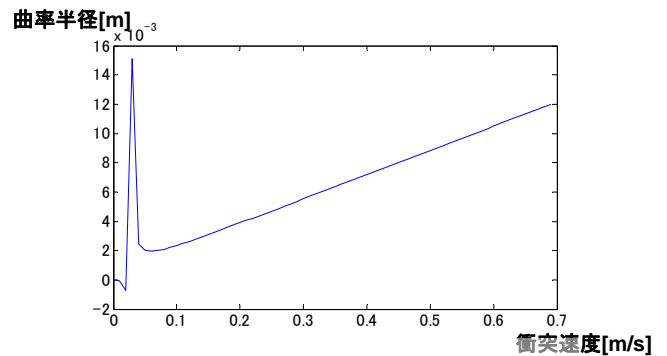


図-5 衝突速度 - 曲率半径関係

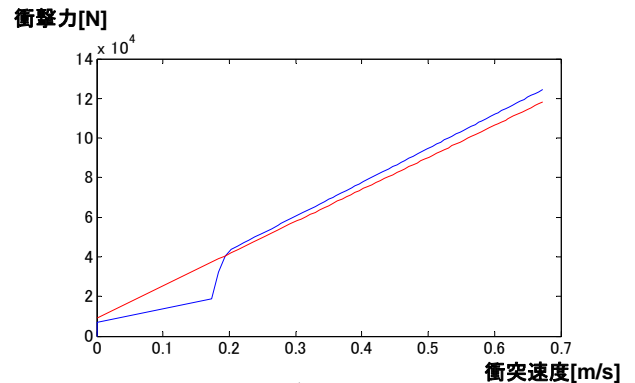


図-6 力学モデルによる衝撃力の算定値

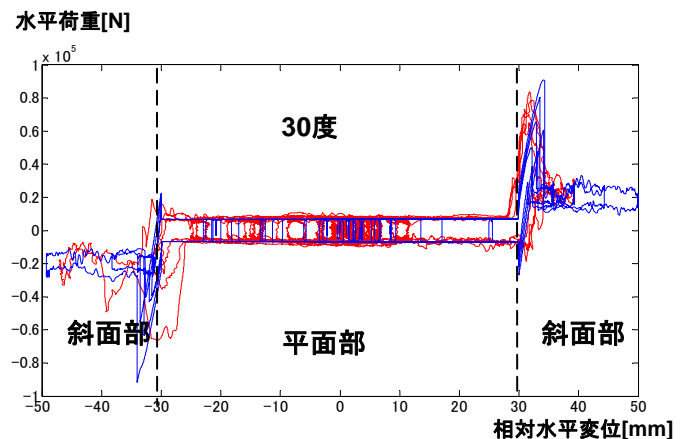


図-7 水平変位—水平荷重関係の比較