UPSS 支承のすべり面垂直抗力変動と衝撃力が橋梁の地震応答に及ぼす影響

京都大学大学院　正会員　○五十嵐 晃　　三菱重工業(株)　正会員　白石 晴子
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 裕惠　正会員 二木 太郎
JIP ﾃｸﾉｻｲｴﾝｽ(株)　正会員　佐藤 知明　　熊本大学大学院　正会員　松田 泰治

1. はじめに

UPSS 支承（反重力すべり支承）は，通常のすべり支承の水平すべり面の両端に勾配すべり面を持たせた支承であり（図 1），すべり支承の特性と地震時の上部構造最大水平変位の低減効果を利用して，合理的な構造設計を実現することを目的に提案されたものである．

各すべり面における準静的なつり合い条件から導かれる矩形型モデル（図 2）が UPSS 支承の履歴復元力特性の最も基本的なモデルとなるが，振動台実験では衝撃力や振動等の動的特性を伴うことが確認されており（図 3），これらを表現する数値モデルはより複雑なものとなる．そこで，矩形型の履歴復元力を仮定した簡易数値モデルと，UPSS 支承の動的特性を考慮した数値モデルにより算出される橋梁の地震応答の相違を検討し，簡易数値モデルにより妥当な地震応答評価が得られる条件について考察した．

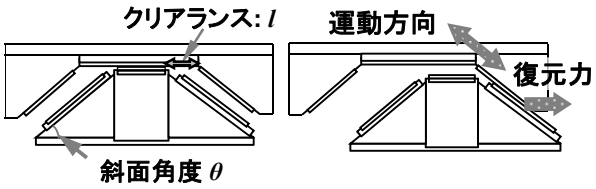


図 1　UPSS 支承

2. UPSS 支承の復元力

UPSS 支承の水平・鉛直方向復元力 Q_x (左向き正), Q_y (下向き正)は，すべり面の垂直抗力を N とすれば，式(1)のようになる．

$$\begin{aligned} Q_x &= N\left(\sin\theta_t + \mathrm{sgn}(\dot{x})\cdot\mu\cos\theta_t\right) \\ Q_y &= -N\left(\cos\theta_t - \mathrm{sgn}(\dot{x})\cdot\mu\sin\theta_t\right) + m_1 g \end{aligned} \tag{1}$$

ここに，x は支承の水平相対変位，μは動摩擦係数，θ_t はすべり面の傾斜角度である．垂直抗力 N は，上沓が水平および勾配すべり面に沿って運動するとき，式(2)で表される．

$$N = \left(m_1(g+\ddot{z}_y)+F_y\right)\cos\theta_t - \left(F_x + m_1(\ddot{x}_2+\ddot{z}_x)\right)\sin\theta_t \tag{2}$$

ここに，F_x，F_y は水平・鉛直方向外力，$\ddot{x}_2$ は下部構造の水平加速度，$\ddot{z}_x$，$\ddot{z}_y$ は地震波の水平・鉛直加速度である．

また，上部構造が水平すべり面から勾配すべり面に移行する際の復元力については，水平部と斜面部の間に円弧部分を導入することにより表現した（図 4）．円弧部分における垂直抗力 N は次式で表される．

$$N = \left(m_1(g+\ddot{z}_y)+F_y\right)\cos\theta_t - \left(F_x + m_1(\ddot{x}_2+\ddot{z}_x)\right)\sin\theta_t + \frac{m_1 v^2}{R} \tag{3}$$

3. UPSS 支承の動的特性

UPSS 支承の動的特性を構成する二つの要素が挙げられる．一つ目は，勾配すべり面上で発揮する復元力が，外力や橋脚加速度の変化によるすべり面の垂直抗力の動的変動に起因して振動する現象である．これは，式(1), (2)で表現されるように，上部構造の慣性力が斜面から離れる向きに生じる場合には垂直抗力が減少することで支承復元力も減少し，逆向きの慣性力の場合は，垂直抗力が増加し支承復元力が増加するメカニズ

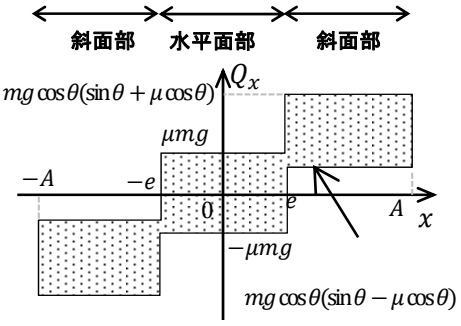


図 2　UPSS 支承の理想化された履歴復元力特性

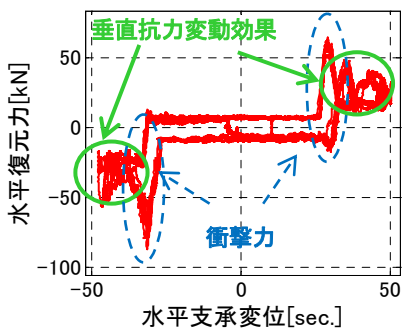


図 3　実際の履歴復元力特性

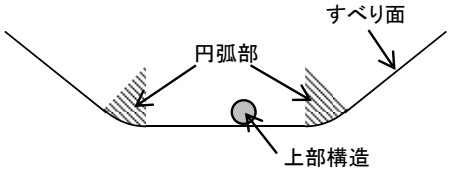


図4　力学モデルで想定するすべり面

キーワード　反重力すべり支承，地震応答解析，衝撃力，動的復元力変動，簡易評価
連絡先　〒615-8540　京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻

ムによるものである．

二つ目は，上部構造が水平すべり面上から勾配すべり面上へと移行する際に，運動方向が急変するために生じる衝撃力である．

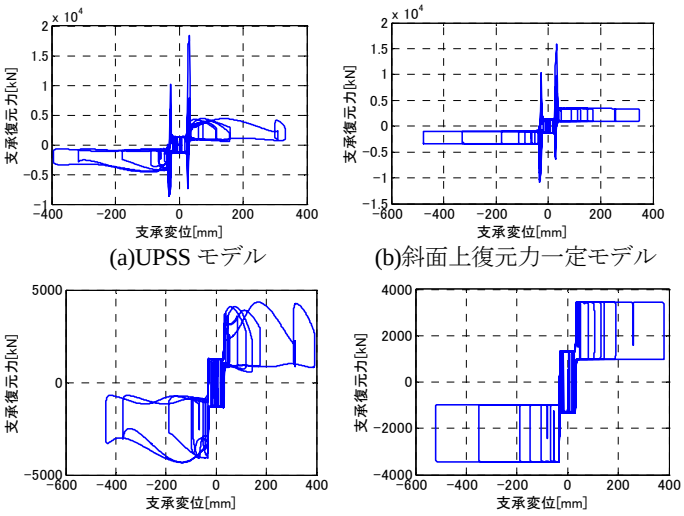
4.　UPSS 支承の動的特性比較用数値モデル

本研究では，定式化された UPSS 支承の復元力（式(1)～(3)）を直接適用した数値計算モデルを構築した．

この UPSS 支承数値解析モデルにおいて，式(2)の F_x，F_y，$\ddot{x}_2$，$\ddot{z}_x$ の外力項を無視すれば，斜面上復元力一定のモデルとなり，上部構造合成速度 v に依存する遠心力項をゼロとすれば衝撃力無視モデルとなる（図 5）．

5.　解析条件

解析対象は，一般的な都市高速道路高架橋を想定した多径間連続橋に UPSS 支承を用いた場合における，1 基の橋脚とそれが支持する上部構造部分から構成される構造系の簡略モデルである．UPSS 支承の形状及び併用するダンパーの抵抗力を様々に変化させたパラメトリック解析により，UPSS 支承の動的特性を考察した．道路橋示方書のレベル 2 タイプ II 地震動の I～III 種地盤の標準加速度波形を入力として非線形時刻歴応答解析を行った．時間刻みは，衝撃力等の変動を適切に反映するため，0.0004 秒に設定している．



(a)UPSS モデル　(b)斜面上復元力一定モデル

(c)衝撃力無視モデル　(d)簡易矩形モデル

図 5　動的特性考察用数値モデル

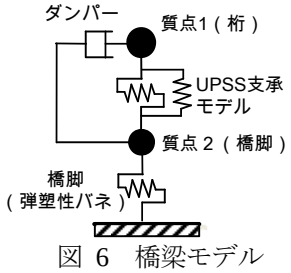


図 6　橋梁モデル

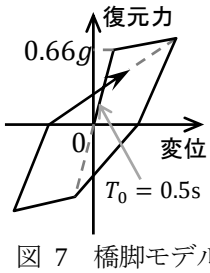


図 7　橋脚モデル

表 1　解析パラメータ

UPSS 支承	斜面角度[deg.]	5, 10, 15, 20, 25
	クリアランス[mm]	30
	摩擦係数	0.05，0.1，0.15
併用エネルギー吸収機構	水平配置，摩擦型	
	抵抗力[kN]	0, 1000, 2000, 3000
入力地震動	道路橋示方書動的解析用入力地震動 Type II-I-1~3, Type II-II-1~3, Type II-III-1~3	

6.　解析結果

図 8 に，最大桁変位－橋脚応答塑性率で整理した解析結果を示す．衝撃力もしくはすべり面垂直抗力変動を復元力モデルに考慮することで，桁変位および支承変位は減少し，橋脚塑性率は増加する傾向にある．上部構造慣性力と支承変位の向きが同一の場合に斜面上復元力が増加する性質と，衝撃力の効果により，最大変位が抑制されるためと考えられる．また，応答値が図中右上に位置するような大きな応答値を示しているケースほど UPSS 支承の動的特性の影響を受けやすく，左下境界線付近に分布している小さな応答値を示しているケースは，UPSS 支承の動的特性が応答結果へ及ぼす影響は著しく小さくなることがわかる．

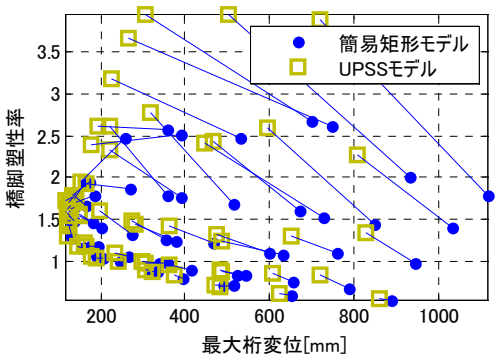


図 8　動的特性による応答結果の変化の一例

7.　簡易矩形モデルで評価可能な条件

最大桁変位－橋脚塑性率図における応答分布の左側境界線付近に分布するケースは，UPSS 支承の動的特性の影響が小さいことが分かったが，そのようなケースのパラメータの組合せは，想定最大水平復元力 $Q_{x,\max}$ がある水平力以下になるケースにおいて同一支承変位における履歴減衰が最大となるケースを選ぶことにより得られる．よって，履歴減衰が大きい場合には，簡易な矩形モデルにおいて応答評価が可能と考えられる．

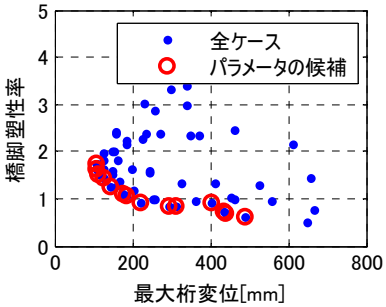


図 9　抽出したケースの分布