

UPSS 支承構造物の等価線形化および地震応答最大値の簡易評価手法

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  
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 佐藤 知明

京都大学大学院 正会員 五十嵐 晃  
 オイレス工業(株) 正会員 宇野 裕惠  
 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, 通常のスべり支承の水平すべり面の両端部に2つの勾配すべり面を持たせた支承であり, 水平すべり支承の特性と勾配すべりによる L2 地震時の上部構造最大水平変位の低減効果を用いて, 合理的な構造設計を目的としている.

UPSS 支承は非線形性が強く, UPSS 支承を用いた構造物の耐震性能の照査には最終的には動的解析による確認が必要であると考えられる. しかし, UPSS 支承の数値解析は複雑であり, さらにその復元力特性はクリアランス  $e$ , 斜面角度  $\theta$  および摩擦係数  $\mu$  の複数のパラメータに関係するため, 構造決定には容易な概略計算が求められている. そこで, UPSS-エネルギー吸収機構併用系の応答値を等価線形化法と応答スペクトルから推定する手法に関する検討を行う.

2. UPSS 支承の等価線形化

UPSS 支承を等価線形系へ置換する方法として, 最大復元力を最大支承変位で割った割線剛性を等価剛性とする「割線剛性法」(図 1, 式(1)~(2))があるが, 弾性エネルギーを位置エネルギーとみなして等価線形系へ置換する「位置エネルギー置換法」(図 2, 式(3)~(4))を提案した. 併用するエネルギー吸収機構としては, 摩擦型のダンパーを水平配置した場合を想定している.

$$k_{eqS} = \frac{(m_1 g \cos \theta - F_{dx} \sin \theta)(\sin \theta + \mu \cos \theta) + F_{dx}}{A} \quad (1)$$

$$h_{eqS} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} = \frac{2}{\pi} \frac{(\mu m_1 g + F_{dx})A}{(m_1 g \cos \theta - F_{dx} \sin \theta)(\sin \theta + \mu \cos \theta) + F_{dx}} \quad (2)$$

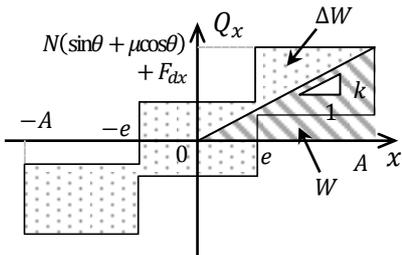


図 1 割線剛性法

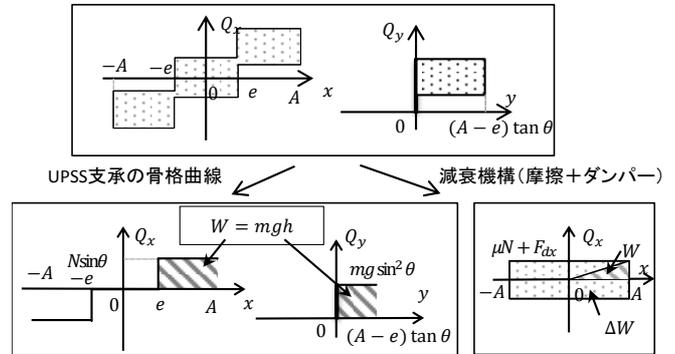


図 2 位置エネルギー置換法

$$k_{eqP} = \frac{2W}{A^2} = \frac{2m_1 g(A - e) \tan \theta + (\mu m_1 g + F_{dx})A}{A^2} \quad (3)$$

$$h_{eqP} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} = \frac{2}{\pi} \frac{(\mu m_1 g + F_{dx})A}{2m_1 g(A - e) \tan \theta + (\mu m_1 g + F_{dx})A} \quad (4)$$

支承変位による等価剛性, 等価減衰の変化の一例を図 3 に示す

3. 応答スペクトル法の適用手順

UPSS 支承の等価線形系のパラメータは変位に依存するため, 応答スペクトル法を UPSS 支承構造物に適用する場合, 初めに支承変位を仮定して等価線形系へ置換し, 応答スペクトルより節点最大変位および最大支承変位を求める. この最大支承変位と初めに仮定した支承変位が等しければ, 推定された最大応答値を, 指定した構造系における最大応答値とし, 一致しない場合は支承変位の仮定を更新する手順となる. (図 4)

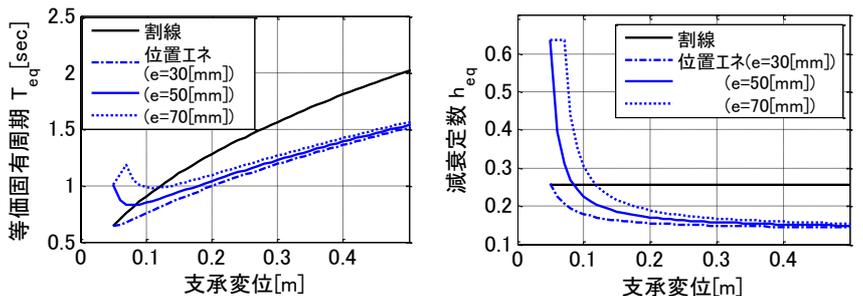


図 3 支承変位による等価固有周期, 減衰定数の変化 ( $\theta=20[\text{deg.}]$ )

キーワード 反重力すべり支承, 等価線形化, 応答スペクトル法, 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

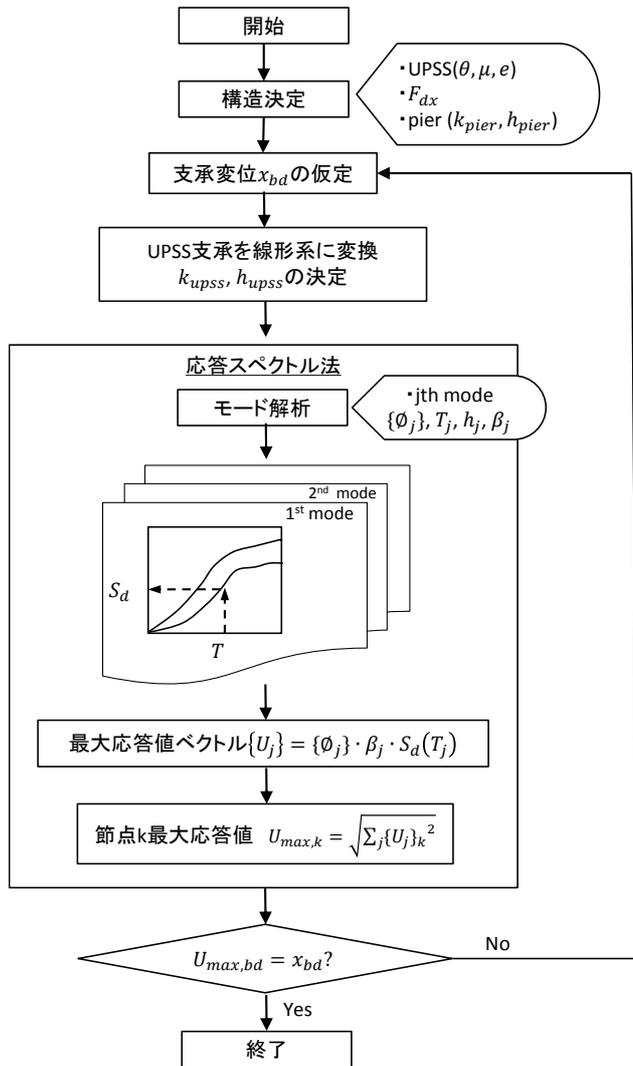
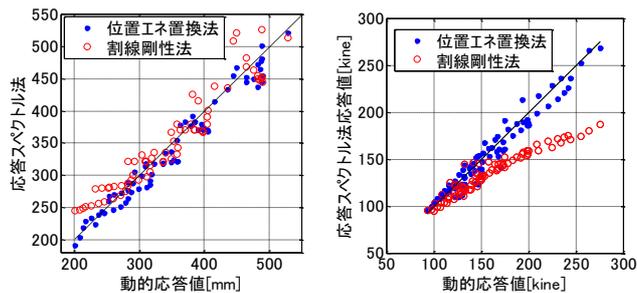


図4 応答スペクトル法のフローチャート

4. UPSS 支承受の最適等価線形化手法の推定

まずUPSS支承受の一質点系において、様々な解析パラメータにおける、位置エネルギー置換法および割線剛性法による線形系の応答値と非線形動的応答値の比較を行った。位置エネルギー置換法の方が、変位・速度ともに動的解析結果と良好に一致しており、整合性の高い等価線形系であることがわかった(図5)。



(a)変位応答 (b)速度応答  
図5 位置エネルギー置換法と割線剛性法による応答推定値の比較

5. 応答スペクトル法と動的応答解析結果との比較

次に、UPSS支承受-エネルギー吸収機構を併用した多径間連続橋の1スパンを対象とし、上部構造と橋脚の2質点系モデルにUPSS支承受とダンパーのモデルを組み込んだ多自由度モデルにおいて、様々な構造設定、地盤に対して応答スペクトル法及び動的解析により応答値を求め、比較した(図6の赤色分布)。応答スペクトル法は過大に応答値を推定する傾向にあることがわかる。

表1 解析パラメータ

UPSS 支承受	斜面角度 $\theta$ [deg.]	4, 6, 8, ..., 26, 28, 30
	クリアランス $e$ [mm]	30, 70
	摩擦係数 $\mu$	0.1
併用エネルギー吸収機構	水平配置, 摩擦型	
	抵抗力 $F_{dx}$ [kN]	0, 500, 1500, ..., 2500, 3000
橋脚	剛結時固有周期 $T_R$ [sec]	0.5, 0.7
	降伏耐力	0.66g
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. 応答スペクトル法推定値の補正

応答推定の更なる改善のため、変数  $C$  (式(5)) について整理を行い(図7)、 $C$  に関する補正2次関数を作成した。

$$C = \frac{\text{最大支承受変位} \times \sin(\text{斜面角度})}{\text{等価固有周期}} = \frac{x_{bd} \sin \theta}{T_{eq}} \quad (5)$$

この補正関数を応答スペクトル法による応答値に乘じることで、全てのUPSS支承受の構造、橋脚剛性、地盤種別において推定値が改善される(図6)。非線形性の非常に高いUPSS支承受においても、線形化を行い、応答スペクトル法によって求めた応答値と、UPSS支承受の各種動的特性を考慮した動的解析結果との間に強い相関性があることから、これを利用した応答スペクトル法による応答値推定は有望な方法である。精度の向上が今後の課題である。

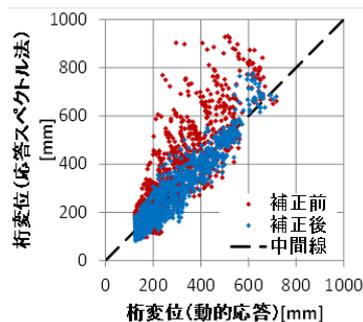


図6 応答スペクトル法推定値と動的解析結果の比較

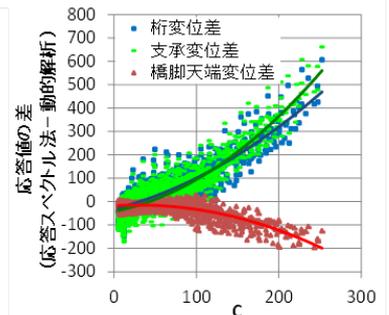


図7 補正関数の作成