

耐カスペクトル法による UPSS 支承の地震応答評価と設計への適用

京都大学大学院 学生会員 ○白石 晴子 正会員 五十嵐 晃 Muhannad Y. Fakhouri
 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
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 佐藤 知明

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部に2つの勾配すべり面を持たせた支承であり、すべり支承の特性と L2 地震時における上部構造の最大水平変位の低減効果を用いて、合理的な構造設計を実現しようとするものである。UPSS 支承を用いた構造物の耐震設計のプロセスにおいて UPSS 支承の設計パラメータを決定する方法として、耐カスペクトルを用いた性能設計法の適用を検討するとともに、動的応答解析によりその妥当性を検証した。

2. UPSS 支承の設計パラメータと等価線形系

UPSS 支承の設計パラメータは、遊間長さ(クリアランス) e 、斜面角度 θ およびすべり面の摩擦係数 μ の3つとする。地震時に UPSS 支承にクリアランスを越える相対変位が生じ、斜面すべり面での滑りが生じるような水平変位振幅を想定した場合、UPSS 支承に特徴的な鉛直運動も同時に生じる。変位-荷重関係には、図-2に示されるような水平方向および鉛直方向の履歴復元力特性が生じ、地震応答に伴うエネルギー吸収は、水平変位・荷重による履歴面積 ΔW_x と鉛直変位・荷重による履歴面積 ΔW_y の合計として考慮できる。図-2aより、想定変位振幅 A における水平方向の UPSS 支承の割線剛性(=等価剛性) K_{eq} は、次式で与えられる。

$$K_{eq} = \frac{mg \cos \theta (\sin \theta + \mu \cos \theta)}{A} \quad (1)$$

ここに、 m : 上部構造の質量、 g : 重力加速度である。便宜上の簡易化のための仮定として、上部構造を含めた全体系を質量 m 、剛性 K_{eq} の1自由度系で近似した場合、等価固有周期は

$$T_{eq}(A) = 2\pi \sqrt{m/K_{eq}} = 2\pi \sqrt{\frac{A}{g \cos \theta (\sin \theta + \mu \cos \theta)}} \quad (2)$$

となる。等価減衰定数を、通常の等価一自由度系の場合と同様に、1サイクルあたりの吸収エネルギーの、水平変位が A に達した状態での $(1/2 \times \text{荷重} \times \text{変位})$ の

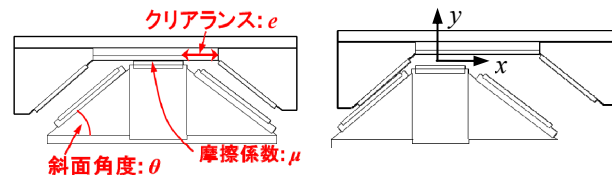
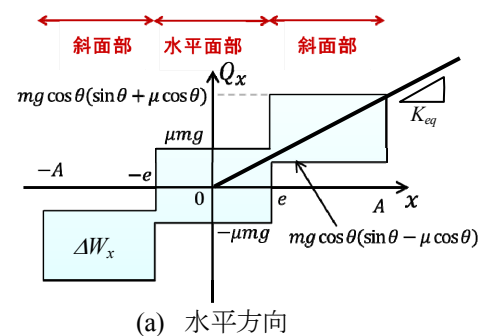
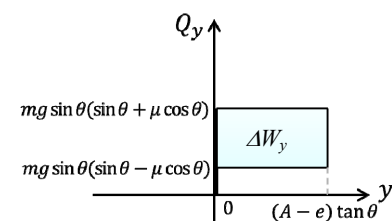


図-1 UPSS 支承と設計パラメータ



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図-2 UPSS 支承の履歴復元力モデル

水平・鉛直の合計(等価弾性ひずみエネルギー $W_x + W_y$)に対する比から計算できると仮定すれば、次式の結果が得られる。ただし、 $A > e$ を前提とする。

$$h_{eq}(A) = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W_x + 2\Delta W_y}{W_x + W_y} \quad (3)$$

$$= \frac{2\mu}{\pi} \frac{1}{\cos \theta (\sin \theta + \mu \cos \theta) + (1 - e/A)(\mu + \tan \theta) \sin^2 \theta}$$

3. 耐カスペクトル法

想定する地震動の加速度-変位応答スペクトル(要求スペクトル曲線)と、構造物の変位-復元力特性を表す耐力曲線を1自由度系の加速度-変位関係に換算したものの(耐カスペクトル曲線)を重ね合わせて得られる交点から構造物の最大応答値を推定する手法を以下、耐カスペクトル法と呼ぶこととし、UPSS 支承のケースへの適用を検討する。ここでは、免震建築物に対す

キーワード 反重力すべり支承, 耐震設計法, 耐カスペクトル法

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 TEL 075-383-3245

る技術基準規定である平成12年建設省告示2009号・平成16年国土交通省告示1160号に基づく計算方法において，“免震層”をUPSS支承に読み替えて適用する。

UPSS 支承への最大作用力は $Q_d = M F_h Z G_s(T) S_0(T)$ (ここに M : 上部構造の総質量, F_h : 減衰による加速度低減係数, Z : 地域係数, G_s : 地盤増幅係数, $S_0(T)$: $h=5\%$ に対応する基準加速度応答スペクトル, T : 固有周期) により与えられ, これを基に要求スペクトル曲線を設定する。加速度低減係数 F_h は次式で定められる。

$$F_h = \frac{1.5}{1 + 10(h_d + h_v)} \quad (4)$$

ここに, h_d は履歴減衰に対応する等価減衰定数, h_v は流体系減衰材によるもの (ここではゼロ) である。告示の規定に従い履歴減衰における応答の非定常性を考慮するため, 最大変位応答値 δ_d に対する等価減衰 h_{eq} を基に $h_d = 0.8h_{eq}(\delta_d)$ とする。

UPSS 支承で負担する最大水平力を決定する層せん断力係数 α は, $\alpha = \cos\theta + \mu \sin\theta$ と e に依存しないことに着目すれば, 図-3 に示すフローチャートによる設計手順が考えられる。

4. 計算例

図-4 に示す6質点系でモデル化される構造物を上部構造物として想定し, 諸元の決定を行った結果を示す。上部構造物の1次固有周期は0.6sである。層せん断力係数 $\alpha=0.2$ とした場合に対応するUPSSの θ および μ の組合せを表-1 に示す通り $S^1 \sim S^6$ の6通り選び, 各々ケースの要求スペクトルおよび支承変位の収束計算を行った結果を図-5 に示す。支承変位が最小となるのは,

表-1 UPSS 支承設計パラメータ候補

	S^1	S^2	S^3	S^4	S^5	S^6
θ [°]	5	5	6	7	8	9
μ	0.11	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05

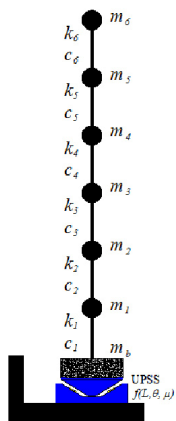


図-4 UPSS 支承と6自由度系構造モデル

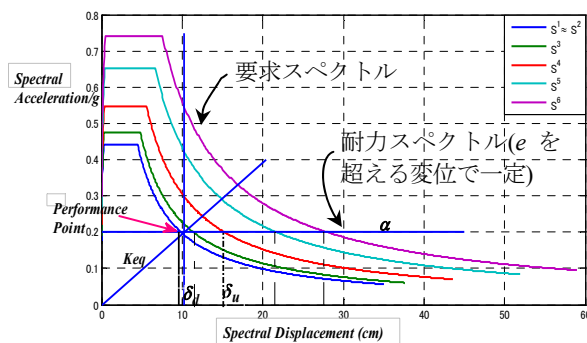


図-5 耐カスペクトル法による応答評価

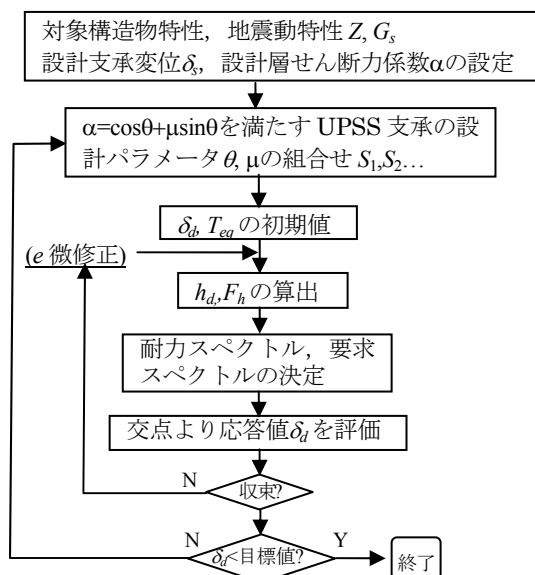


図-3 UPSS 支承の設計フローの例

この例では S^1 の場合である。

非線形動的応答解析を行い, この方法による応答評価の妥当性を検討した。UPSS 支承は既往の研究のものと同様3組の非線形バネを組み合わせたものを用いた。前述の告示スペクトルへの適合地震動7種類を入力して得られた結果の平均値との比較を27種類の設計パラメータの組合せについて行った結果を図-6 に示す。クリアランス e は20~100mmの範囲の値を用いている。UPSS 支承は荷重変動が急激で鉛直運動を伴い, 通常の部材や装置と比較しても特性上の大きな相違があるが, 耐カスペクトル法でも十分安全性を確保した応答評価が得られることがわかる。特に $\theta < 10^\circ$ のケースでは評価の精度は高いことが確認できるが, θ が 15° 程度を超えると, 本手法で考慮していない斜面衝突時の衝撃力の影響が大きくなり, 評価が大きく安全側に乖離することに留意する必要がある。

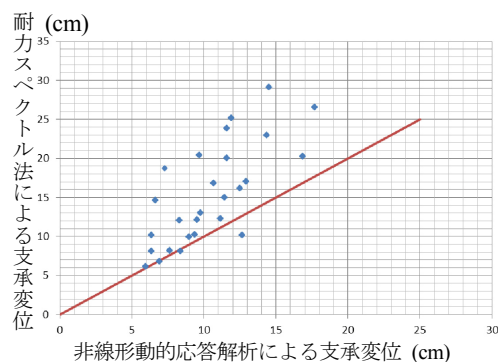


図-6 動的応答解析による評価との比較