

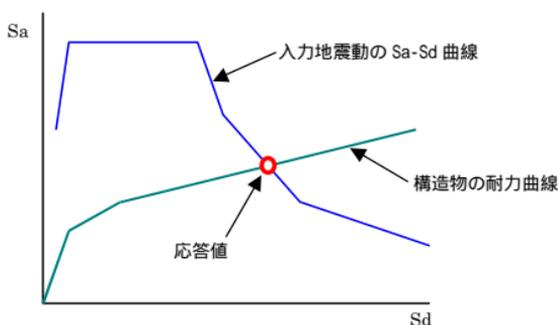
免震告示計算の要点と

Option BUILD. 一貫免震のご紹介

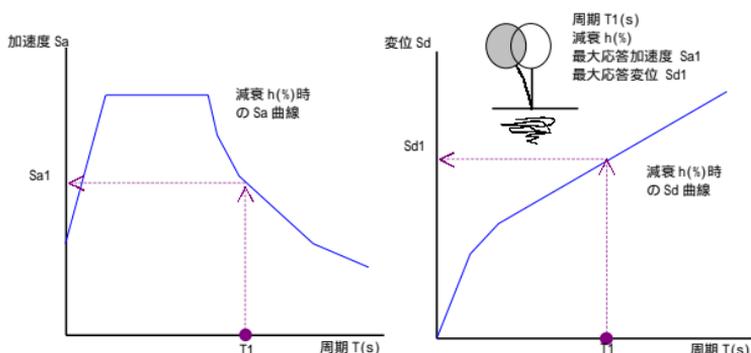
昨年10月に施行された免震建築物に関する技術基準(平成12年建設省告示第2009号、以下免震告示計算と呼称)の解説書が5月に刊行され、いよいよ免震告示計算の運用が始まりました。弊社では、昨年より免震告示計算に沿った構造計算プログラムである「BUILD.一貫免震オプション」の開発を進めて参りました。それが完成し、8月末日ごろから出荷開始予定です。本プログラムはBUILD.一貫2000の計算機能を最大限に活用し、免震層及び上部構造の一連計算を実現するものです。以下に、免震告示計算による構造計算の主なポイントを説明し、あわせて「BUILD.一貫免震オプション」のご紹介をさせて頂きたいと思ひます。

免震層の応答値計算

免震告示計算で用いられている免震層の応答値計算は、限界耐力計算で採用されている応答スペクトル法により行います。これは、下図に示すように構造物の構造特性を表す耐力曲線と想定する地震動の応答スペクトル(Sa-Sd曲線)を重ね合わせることによっ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です。

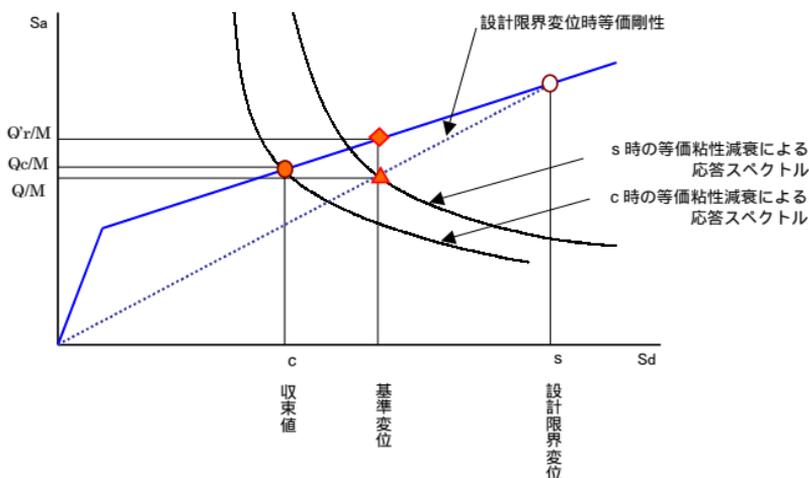


応答スペクトルとは、地震動を受ける構造物の振動性状を総括的に表すために、様々な減衰定数と固有周期を持つ1質点系に地震動を入力し、その弾性応答の最大値を縦軸に、固有周期を横軸にしてグラフ化したものを言ひます。応答スペクトルには縦軸にプロットする最大応答値の種類により加速度応答スペクトル(Sa)、速度応答スペクトル(Sv)、変位応答スペクトル(Sd)があり、これらを利用することにより特定の固有周期と減衰定数を持つ構造物の応答値を予測することが可能となります。



上記スペクトルのうち、 Sa 及び Sd から同じ周期の加速度と変位を、縦軸加速度応答(Sa)、横軸変位応答(Sd)のグラフ上にプロットしたものが、 Sa - Sd 曲線になります。

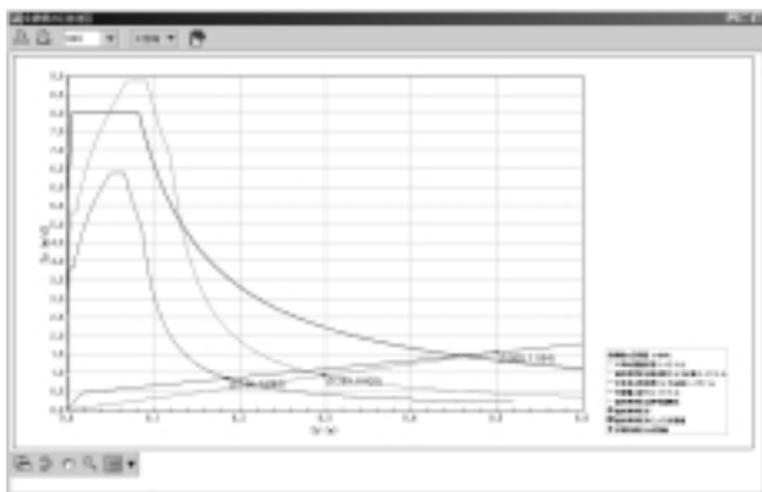
免震告示では、この応答スペクトル法を適用するにあたり免震建築物の上部構造を剛体1質点とし、免震層の特性をバネに置換した1自由度系にモデル化します。下図は、バイリニア型で表現した免震層の耐力曲線及び入力地震動の応答スペクトルをプロットしたものです。



告示では、免震層に配置された免震部材個々の限界変形量の中で最も小さな値を「免震層の設計限界変位 s 」とし、免震層耐力曲線上の s の点(印)を通る「等価剛性」とその時の「等価粘性減衰定数 h_d 」に基づく「加速度低減率 F_h 」により低減されたスペクトルとの交点(印)を免震層の応答値、すなわち「基準変位」としています(ここで等価粘性減衰定数 h_d は、 s を最大変形量とした時に免震層の復元力特性により囲まれる履歴面積とポテンシャルエネルギーの比率より算出)。しかし、図から分かるようにこの基準変位は設計限界変位 s 時の等価周期及び等価減衰から求めた見かけの応答値であるため、先に述べた耐力曲線と地震動の応答スペクトルの交点(印)である真の応答値ではありません。

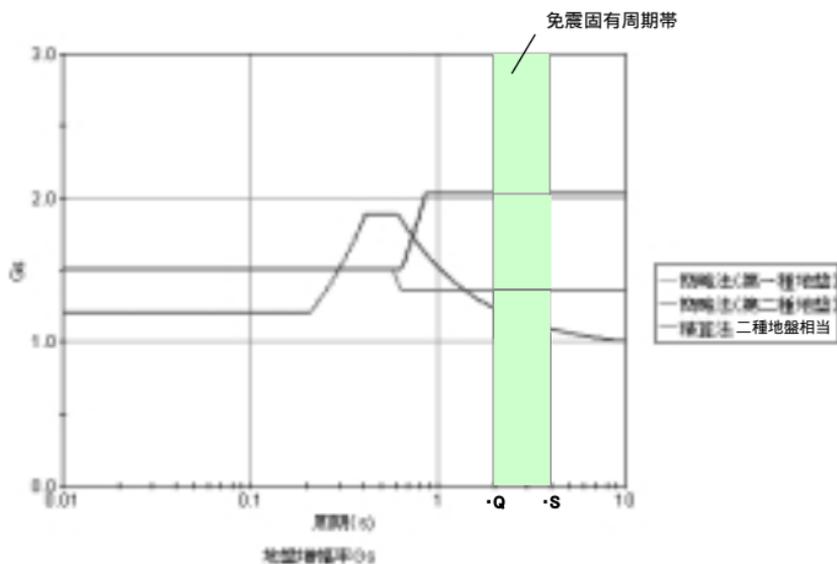
真の応答値を求めるためには、先の基準変位 に対応する等価粘性減衰より応答スペクトルを再度描き直し、印を通る等価剛性との交点を求めるということを繰り返して収束値を見つけていくことが必要になります。

免震建築物では通常の建物と異なり、一般に設計限界変位時に比べて、収束時の変位における減衰が大きくなるため、収束計算により求まる真の応答値は、最初に求めた応答変位より小さな値に収束します。BUILD. 一貫免震オプションで行った試設計によると、あるケースでは、収束計算を行わない場合で基準変位 が約30(cm)であったのに対し収束計算を行った場合約18(cm)程度まで基準変位 が減少しました。免震建築物では、応答変位がクリアランスの確保量等建築計画に及ぼす影響が大きいことを考慮すれば、応答値計算手法の選択が大変重要であることがご理解頂けると思います。



表層地盤による加速度の増幅率 G_s の計算

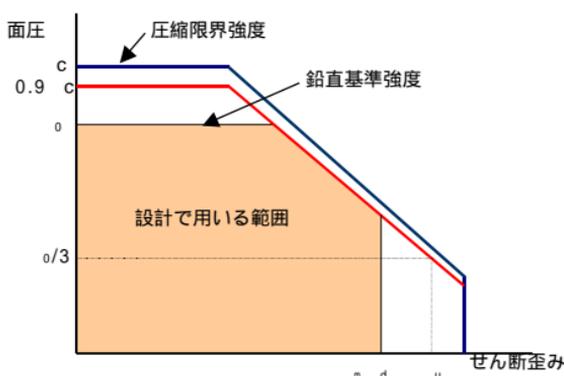
先に述べた入力地震動の応答スペクトル(S_a - S_d 曲線)は等価粘性減衰に基づく加速度低減率 F_h に加えて、建設地の地盤状況に基づき算定される表層地盤の加速度増幅率 G_s を乗ずることでその大きさが決定されます。従って、 G_s は免震層の応答値の大小を決定する重要な係数であると言えます。告示ではこの G_s の算定方法として簡略法及び精算法の2種類が用意されています。簡略法は、地盤種別に応じて地盤増幅率が与えられているもので、地表面の入力地震動の加速度応答スペクトルが一義的に決まります。一方、精算法は地盤の非線形性を考慮して次元波動理論に基づき簡略化した計算を行うもので、地震動の大きさ、地盤条件に応じた地盤増幅率を計算することが出来ます。



上図はある地盤モデルに対して簡略法及び精算法でGsを計算し、その結果を重ね書きしたものです。精算法により算出した地盤種別は上図の卓越周期から判断すると第2種地盤に相当と考えられます。図から分かるように、免震建築物の周期帯である3秒付近では、第1種地盤とした場合は簡略法と精算法で簡略法が一割強であるのに対して、第2種地盤とした場合は簡略法が精算法の約1.7倍になっています。従って、この第2種地盤での簡略法によるスペクトルで免震層を設計することは現実的に困難であり、精算法によるGsの評価が必須になると考えられます。このような点からBUILD. 一貫免震オプションでは簡略法はもとより精算法による検証も標準でご使用頂けるようになっていきます。

免震部材における安全性の検証

免震告示計算において、免震層の応答値計算と並んで重要なのが各荷重ケースにおける免震部材の安全性の検証です。特に積層ゴム等の支承材の検証は下図のような面圧とせん断歪みによる圧縮限界曲線が各部材ごとに定められており、長期、地震時、暴風時、積雪時に加えて上下動を考慮した地震時及び大規模暴風時、大規模積雪時に生じる応力が当該ケースに対して定められた圧縮限界強度を超えていないかを検証する必要があります。この時、支承材の面圧は上部構造より伝達される各荷重ケースの軸力を利用するため、免震層に配置する免震部材の組合せを変更した場合は上部構造に作用する地震力が異なり、その都度対象となる設計面圧が変動します。このような点から、BUILD. 一貫免震オプションでは免震層と上部構造の計算を一連計算とすることで、免震層応答値計算と上部構造及び免震部材の検証を同時に行えるようにし免震建築物のスムーズな設計が可能となるよう配慮しています。



免震層に配置するダンパーの投入量

免震層に配置するダンパーの役割は地震エネルギーを吸収することであり、現在よく使用されているものでは履歴型、粘性型、摩擦型等が挙げられます。中でも最もポピュラーなのが鋼材や鉛材等を用いてその降伏による履歴特性を利用しエネルギー吸収を行う履歴型ダンパーです。ダンパーの投入量(=降伏せん断力の和)は上部構造の建物重量に対する層せん断力係数で表現した場合、一般に0.03～0.08程度で計画されている事例が多く、ダンパー量を多くすると減衰が増大するため免震層の応答変位及び上部構造のせん断力は共に小さくなる傾向があります。しかし、増やし過ぎた場合は見かけの剛性が大きくなり逆に応答せん断力が増大してしまう場合があります。これは、ある仮定条件に基づいた場合最適なダンパー投入量が存在することを示唆します。日本建築学会の免震構造設計指針ではこうした現象を踏まえた免震層の略設計法として包絡解析法を提案しています。BUILD.一貫免震オプションでは免震告示計算に加えてこの検討手法による計算結果をグラフ上で確認出来るようにし免震層の設計の一助となるように配慮しています。

