

1月のテーマ:「免震部材の種類と性能の選択はどうすべきか?」について投稿を1通頂きました。その内容を掲示しましたが、特にコメントがありませんでしたので、ホームとしてコメントをつけ加え今月のテーマから次のテーマに移らせて頂きます。

会員 No7 伸構造事務所から戴いた内容は以下の通りです。

- 『 上部構造の構造種別 (質量分布等)
- 敷地と建物の関係 (水平クリアランス等)
- 必要となるであろう減衰力 (応答性状等)
- 居室が高い位置に存在すれば水平加速度応答の低減 (長周期化等)
- 免震ピット【免震材料の配置層】のフトコロ (物理的条件等)
- 性能と物性値の把握 (コストパフォーマンス等)

上記のような種々の要因にて決定されるべきであろうと考えますが、最近では、長周期化 (4秒免震) を目標にコストパフォーマンスと 軸力保持能力・減衰力および水平剛性等による免震層回転剛性の上昇と偏心率緩和等を考えて選択すべきだと考えます。

まずは、上部構造の軸力 (鉛直力) をどのように支持するのか?

支承材の性能により軸力が下部構造に伝達可能であることが大前提!

支承の特性を踏まえて、減衰性状をどうするか?

免震層全体の水平剛性 (等価剛性) をどうするか?

順序立てて選択していくべきだと思っております。』

#### 【追加コメント】

戴いた ~ までの項目は、的確に設計時の要点を指摘されています。いつも設計時には考える必要がありますが、各物件における構造設計者の役割や立場によっても異なった手順や重みとなっているのが現状だと思います。例えば、水平クリアランスは、免震性能の設計で最も重要な要素ですが、敷地と建築面積や平面計画で決定されたところからスタートする場合も少なくはありません。また、施主の希望、デザイン事務所の希望や構造設計者の嗜好で免震部材のメーカーや免震部材の種類が決定している場合もあります。むしろ、そのケースが多いのが現実です。

そこで、それらの状況下で【よくやる手順】の一例を紹介します。

ただし、設計の順序に最適はありません。不都合な結果になった時、勇気を出してやり直すことが最適な方法と感じています。

#### 【よくやる手順】

戴いた ~ までの項目を活用させていただきます。まず、この項目の影響要因を3つの区分に分け分類します。

- |                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| 区分1：建築デザイン要因   | ：敷地と建物の関係 (水平クリアランス等)            |
|                | ：上部構造の種別 (質量分布等) + 剛性の程度         |
| 区分2：構造デザイン要因   | ：免震ピットのフトコロ (物理的条件)              |
|                | ：性能と物性値の把握 (コストパフォーマンス等)         |
| 区分3：免震性能デザイン要因 | ：必要となるであろう減衰力 (応答性状等)            |
|                | ：居室が高い位置に存在すれば水平加速度応答の低減 (長周期化等) |

「区分1」に関しては、既にありき条件として対応します。「区分2」は構造設計者が調整できる領域であり、コストダウンの方向が明確な設計要素です。設計応答性能が決まるまで余裕をもたせておくようにします。「区分3」は構造設計者に委ねられる領域です。安全性と耐震目標を設定し、それを満たせるように T R Y and E R R O R でいくつかのケースを検討します。

このような順序のケースが多いと思いますが、このままでは概要のみで、いざ設計に向かう方にはこころ細いところです。

そこで、より具体的に免震部材の種類と性能の選定方法の1例を紹介します。

【免震部材の選定方法の1例】

まず、便宜上、以下の条件を固定条件と考えます。ただし、変更も十分可能な領域です。

- ・ 建物位置と敷地境界の関係（保有水平クリアランス）
- ・ 建物の構造種別（RC造、S造など）とスパン割（柱位置、軸荷重）
- ・ 耐震性能目標として極稀に発生する地震動に対して構造フレームは「許容応力度設計」とし、免震部材は、長期で「基準面圧」程度以下、短期で「短期許容面圧（2×基準面圧）」以下、「設計限界変形」以下とする。ここで、設計限界変形とは、免震部材においては平成12告示2009号第6によるものではなく、積層ゴムでは線形限界（約280~300%歪み、変形量ではゴム総厚の3.0倍程度）とします。かつ免震層においては水平クリアランスの9割とします。
- ・ 免震層の位置（基礎免震：免震部材より下は基礎構造となる）
- ・ 計画地の地盤種別を第2種地盤とする。

Step 1. 「性能による絞り込み」

この条件のもと免震部材の限界性能曲線を設計します。図1に積層ゴム系支承（天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、高減衰積層ゴムなど）、図2に摩擦系支承（弾性すべり支承、剛すべり支承、転がり支承）の限界性能曲線をイメージします。

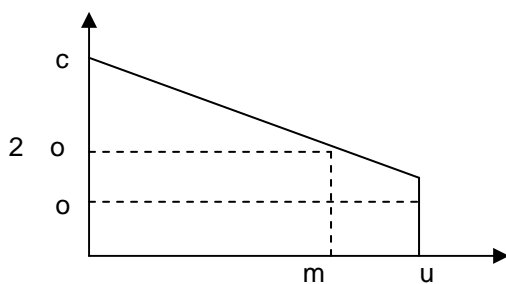


図1 積層ゴム系支承の限界性能曲線

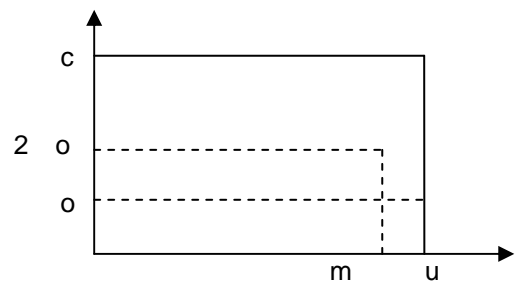


図2 摩擦系支承の限界性能曲線

この図に以下の条件を満たす必要性能曲線を描画します。

- 長期面圧  $L$  基準面圧  $o$ 。
- 短期面圧  $s$   $2x$  基準面圧、
- 設計限界変形  $m$  （水平クリアランス  $h$  の9割）かつ（ゴム総厚の2.8倍程度）

次に、各柱脚には、積層ゴム系部材を設置するとし、積層ゴムの諸元を設計します。

- ・ の条件から口径が決定されます。  $NL / ((D/2)^2) = L$   $> D$

ただし、基準面圧は、高面圧仕様のものを使用するか、標準面圧仕様にするかを選択が必要です。一般に高面圧仕様のはゴム剛性が高く、形状係数  $S_2$  が5程度以上で水平剛性が高くなりますが、高い支持性能があるため口径を小さくすることが可能です。 $S_2$  が大きいと限界変形性能も高い歪みとなりがちです。コストバランスも考慮しますと、高面圧仕様を推奨します。そこで基準面圧は、 $15\text{N/mm}^2$ 程度とし、ゴム剛性は  $G_4$  とします。例えば 10階建て RC であれば 長期軸力  $N_L = 6000\text{kN}$  とすると

$$\frac{6000 \times 1000}{((D/2)^2 \times 15)} = 15$$

$$D = 714\text{mm}$$

- ・ の条件から設計限界変形を決定します。

例えば、  $h=600\text{mm}$  とすると、設計限界変形  $0.9 \times 600 = 540\text{mm}$   
ゴムの総厚さ  $T_r$  の範囲を設計します。

$$3.0 \times T_r = \text{または } 0.9 \times 600 = 540\text{mm}$$

$$T_r = 0.9 \times h / 3.0 = 180$$

ゴムの1層厚は、鉛直剛性を十分に確保するために1次形状係数  $S_1 (=D/(4t)) = 30$  を推奨します。  
 $t = 714 / 30 \times 4 = 5.9\text{mm}$

これらの条件から積層ゴムを選定するが、一般的な諸元から以下のように条件を絞ります。

- ・ ゴム剛性： $G_4$
- ・ ゴム厚  $t=6\text{mm}$
- ・ ゴム総厚  $T_r = 180\text{mm}$ , ゴム径  $D = 714\text{mm}$

これらの条件を満たせば概ね図1の限界曲線の条件も満たすわけですが、再確認が必要です。

## Step2. 「地震応答性能による絞り込み」

ここまででは、柱脚に積層ゴムだけが設置された状態です。 $n$ 本の柱があれば  $n$ 基の積層ゴムがあります。ここで地震応答により性能を確認する前に、免震性能を推定する方法がありその方法(包絡法)で絞り込みます。この方法では、入力する地震エネルギーを免震層で吸収するという仮定になっています。これを用いるためにはまず、免震周期  $T_m$  をもとめます。この全免震部材の水平剛性  $K_t$  と免震層上部の重量  $W$  から免震周期  $T_m (=2 \sqrt{W/(K_t \cdot G)})$  を求めます。

例えば  $T_m = 3.5$ 秒になったとし、この計画地の地盤種別が第2種地盤、構造フレーム応力を「許容応力度」以下にする前提条件から、1階の設計層せん断力係数は0.14程度以上に設定する必要があります。またこの時点の最適ダンパーの降伏せん断力は建物地震時荷重の6%程度が必要で、免震層の変形は230mm程度になると予想されます。

(1) 水平クリアランスが600mmの場合、十分に余裕があり6%程度のダンパーの降伏せん断力をダンパーで設計することになります。

(2) 1階の設計層せん断力係数を0.14より下げたい場合は、積層ゴムの水平剛性を低下させるために一部の積層ゴムを摩擦系の「すべり支承」や「転がり支承」に変更します。

このとき以下の点に注意します。

- ・ 変更位置は、摩擦系支承のため短期軸力変動の少ない中柱位置とする。
- ・ 図2の限界性能曲線を満たす部材とする。

この変更を採用し免震周期が 4.0 秒になったとしますと、1 階の設計層せん断力係数は 0.12 程度となり最適ダンパーの降伏せん断力係数は 5 %程度となり、最大応答変形は 260mm 程度となります。設計限界変形に対し十分に余裕があれば、最適ダンパーの降伏せん断力係数は 5 %程度よりやや少ない 4 %程度まで設定は可能な領域と考えられる。

ここで、4.5%とすると 0.045W になるダンパーを選定します。ダンパーに要求される性能は、降伏抵抗と繰り返し安定した変形性能、および耐久性が重要となります。

種類は、鋼材系、オイル系、摩擦系があり、上記で変更したすべり支承の摩擦抵抗もこの性能に加算します。よって必要な降伏せん断力 4.5%から摩擦抵抗力を除いておきます。

残りを鋼材系、オイル系ダンパーとします。

・鋼材系ダンパーは、変位依存型の降伏特性を示し、オイル系ダンパーは、速度依存型の降伏特性を示します。

### Step3. 「風応答性能による絞り込み」

風に対する設計は、積層ゴムとダンパーのせん断抵抗で抵抗すると考えます。設計風力や 1.6 倍の暴風力に対して降伏しないように設定します。静的な風の力に抵抗するためには鋼材系のダンパーは必須でオイルダンパーは補助的な役割になります。鋼材系のダンパーには、鋼棒構成のもの、鉛や錫プラグ入り積層ゴムの鉛や錫プラグもその役割をなします。

### Step4. 「品質による絞り込み」

次に、「品質による絞り込み」を行います。免震部材は、大臣認定をうけたものが使用許可されますが、国の基準となる耐久期間や耐久性能の規定を保証するものではなく、それら一定の試験で確認し明記しているだけです。よって、免震部材の種類やメーカーによって異なります。建物の使用耐久期間と免震層の通常的环境を考慮し、できるだけ高い耐久性の製品を選定します。

但し、万一の場合は、納まりを考慮しても取り替えが可能なものとします。

### Step5. 「システムによる絞り込み」

このように、性能だけで免震部材を選定することは、経験的になかなか決定しがたいため、従来使用されている免震部材の組み合わせ（システム）を選定する方法も多いようです。以下に代表的な 3 システムを紹介します。

- A : 積層ゴムと鋼材ダンパー + 調整用（すべり支承，転がり支承，オイルダンパー）
- B : 鉛プラグ入り積層ゴム + 調整用（すべり支承，転がり支承，オイルダンパー）
- C : 高減衰積層ゴム + 調整用（すべり支承，転がり支承，オイルダンパー）

以上