

シリーズ「はじめての免震建物の設計」

2005.03.07

CERA 建築構造設計 世良信次

はじめに

1979年、初めて免震構造に出会う。当時大学4年生であった私は、卒業研究で多田研究室の免震構造の開発に接することができました。当時の私は、実建物の設計や施工経験も無く、免震構造の意義を十分に理解できていませんでした。模型建物をを用いた振動実験が卒論のテーマとなって以来、現在の業務に至っています。

昨年(2004)末、中越地震の被災地を訪れ、免震構造が採用された病院、学校、電算センター、住宅の住民の声を直接聞くことができました。その結果、免震効果は確実なものとなりました。今まで私の頭にある免震の性能は、理論と学生の時の実験のみが支えてきましたが、この訪問後、これらの大きな事実が支えることになりました。また、それぞれ異なる免震システムでありながら、住民の声に大きな違いが無かったことは、システムの選択以前に、免震化が重要であると確信しました。

ここでは、免震構造や制震構造を設計するにあたり、「はじめて」設計する方々を前提に、まず、免震化、制震化をする最も簡単な方法を紹介し、設計に取り組む意欲を出して頂きたいと思います。その後、技術的に必要な検討事項、詳細な設計事項を示し、それらのチェック方法を紹介します。

これを読まれて、免震構造や制震構造の設計にチャレンジされることを期待します。

なお、多くの諸先輩や専門分野の先生方がおられ、本文に対し多くの異論がでると思われませんが、一設計者のこれらの構造物の普及の思いによる経験論としてご了承頂ければ幸いです。

本ページは、題名のごとく「シリーズ」で業務の間に執筆いたします。目次は、以下の予定としますが、予告無く変更することがありえますことをご了承ください。

目 次

- 1 . 免震構造の原理は？
- 2 . 免震装置に必要とされる機能とは？
- 3 . 免震構造の最も簡単な設計例と性能の評価
- 4 . 詳細設計検討事項
- 5 . 標準的な設計例と性能評価
- 6 . 実施設計手続き

* 引き続き、「制震構造」を追加いたします。

1. 免震構造の原理は？

地震という振動が建物に伝わる現象を考えた場合、建物が地盤から離れていれば伝わりることがない。これが究極の免震の原理であるが、現実には膨大な重量の建物を支えるためには、地面上に設けるしかないということになる。そこで、できるだけ地上から離れることを望む結果、免震装置にたどりついたというのが現状であろう。免震構造の歴史を辿ると日本では、京都三十三間堂の基礎に中国古来の砂と粘土を互層にした版築構造が見られる。海外では、1909年にイギリスの医者カランターリエンツによる論文「建物の改良とそれに関する研究及び地振動に抵抗する付属装置」の中で、建物の基礎に雲母層を用いた絶縁機構が紹介されている。その後約100年の間に数多くの免震機構が提案され、実際に建設されたものも多いが、この時点から振動理論を背景に開発していたとは思えない。基本は、地面からどこまで分離するかという発想であろうと思う。地震工学の理論では、図-1に見られるように建物の固有周期が長いほど入力地震動の強さは低下する。現在は、この地震動の特性から建物の固有周期を伸ばすことが入力加速度を減少できる原理であると納得し、免震機構を考える者もいるでしょうが、長周期となる超高層ビルを考える者もいるであろう。数年前、免震構造の歴史を調べ年表を作成したが、それ以来、免震の根本の原理は、地上との分離であると考えている。設計理論としては、図-1の特性から展開された多くの設計理論を用いているが、歴史的観点からは原理とは思えない。近年、免震装置の積層ゴムは、低弾性ゴムへ移行している。10年ほど前はG8、G6のせん断弾剛性率のゴムが使用されていたが、装置メーカーは、低弾性のゴムの開発に尽力し、現在が、G4、G3.5のゴムが主流となっている。理想は、水のような流体であろう。そこには、周期特性の仕切りはなく、擬似浮遊体である。最近、見られる転がり支承は、周期を伸ばす補助装置として用いられているが、敷地のスペースが許され、強風時の応答を無視できるのであれば、これら転がり支承のみで、理想の免震構造に近づくことも可能である。

しかし、現実には、敷地は、狭く強風や台風は無視できない。などなど、これから免震構造の設計を説明するには、図-1などを用いてその仕組みを説明する方が、これからの設計手法を理解し易くすることは間違いのないようである。

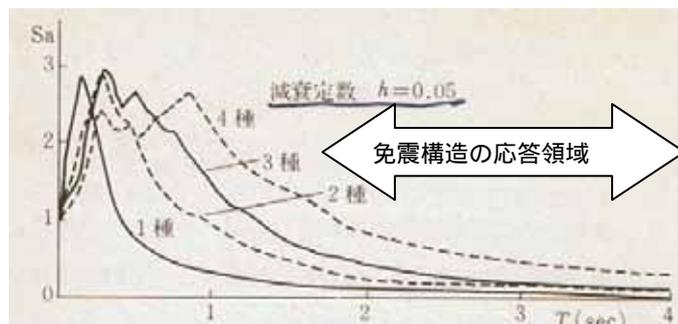


図-1 地盤種別と応答加速度スペクトル*1

*1: 出典「新しい耐震設計」P86, S59.9 梅村 魁著

2. 免震装置に必要とされる機能とは？

地震動のみを考えると、理想的には低い水平抵抗と高い支持抵抗である。建物がその位置で転倒などしない支持性能と地震動の伝達が激減する水平抵抗である。この機能は、現存する転がり支承や低摩擦すべり支承の機能に相当する。

しかし、居住建物には、人の感覚からくる居住性が必要であり、

台風時にも、建物は安定した状態を保つことが必要である。また、法的に、建物の位置は、著しくその位置を長期間移動することはできない。

かつ、地震時は、地震動の伝達を抑える必要がある。この抑える程度が免震構造の性能レベルであるが、そのレベルには、いくつものランクがありえる。建築基準の考え方からすると、大地震には、建物が損傷してもいいが崩壊しないで人命を保てるものとし、中地震では、建物の主体構造部が損傷を許さないものとするところになっている。ここで問題は、地震のレベルである。現在の建築物は、材料や設計の技術レベルにおいても、また経済性においても中地震程度までは建物に損傷を受けないのものとすることが容易である。このように考えると、免震構造の性能は、中地震程度から発揮すればその役割をみたすことになる。もちろん、小さな地震から性能を発揮することが望ましいことは言うまでもない。

よって、上の二つの条件は、中地震程度以上の地震が発生しない時に対応するればよいこととなる。言い換えれば、中地震程度以下の場合に対応していればよいこととなる。この条件を満たす免震装置の力学的性能を表現すると図-2のような復元力特性となる。

すなわち、概ねバイリニア特性となる。この特性値は、初期剛性 K_1 、降伏後の塑性剛性 K_2 、降伏耐力 Q_y で設定され、それぞれの特性値の免震性能としての役割は、以下のようになる。

- ・ 初期剛性 K_1 : 強風などの外乱に対し建物の著しい変形を抑え建物の位置を固定する。地震時は、この剛性による入力を許容することにもなる。
- ・ 塑性剛性 K_2 : 降伏後の水平剛性で、少なくすることで免震効果を発揮する。ただし、ゼロとしないことで大変形後の復元機能を果たす。
- ・ 降伏耐力 Q_y : 強風などに耐えうる限界を意味する。また、地震力がこの耐力を超えると免震機能を発揮することからトリガー機能にもなっている。

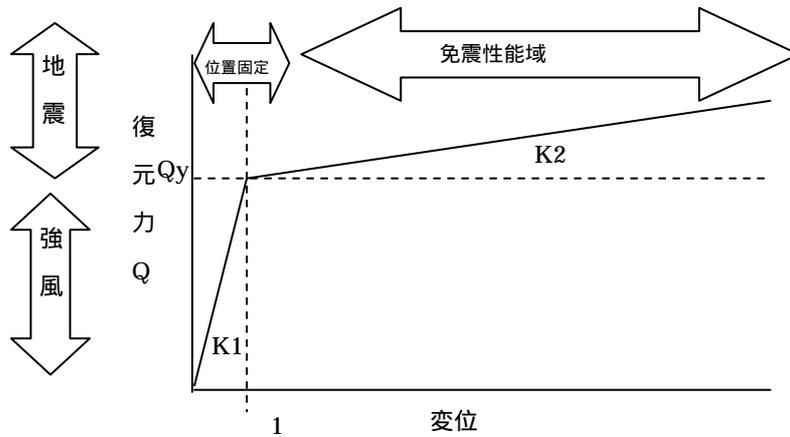


図-2 免震装置に必要とされる復元力特性(1)

このように、免震装置に必要とされる機能は、復元力特性から設計がなされる。

実設計では、 $K1$ の設定が、居住性を左右し、 Q_y 、 $K2$ の設定が免震性能を左右することから、これらの力学的要素をもつ免震装置やいくつかの免震装置の組み合わせを選定することによってこの復元力特性が構築される。また、図-2の復元力特性は、バイ・リニアタイプと呼ばれ、異なる勾配の直線2本で表現され1つの交点をもつ。図-3に示す復元力特性は、トリ・リニアタイプと呼ばれ、異なる勾配の直線3本で表現され2つの交点をもつ。この場合、極稀に発生する台風などの強風に対して第二勾配 $K2$ の領域を許容し、免震性能のを兼ねた設計がなされる。

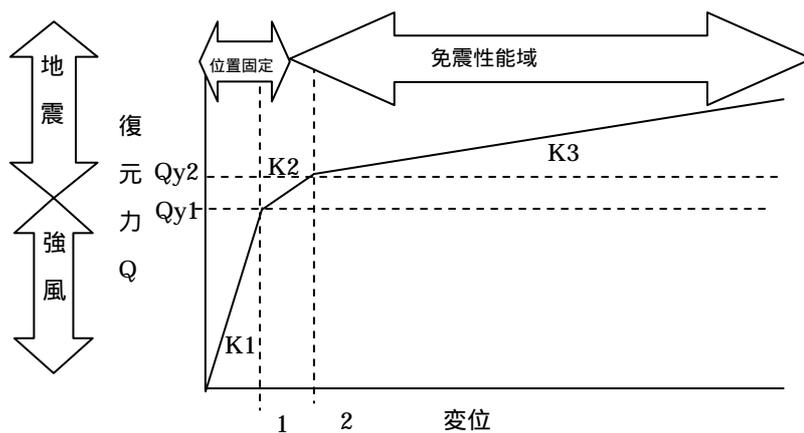


図-3 免震装置に必要とされる復元力特性(2)

一般には、いくつかの異なる復元力特性を持つ免震装置を組み合わせると複数の交点を有するマルチ・リニアータイプの復元力特性になる。極稀に発生する強風は、ある程度居住性を犠牲にして免震効果が早期に発生するように考えることが多い。戸建住宅などの低層・軽量建物では、風力が免震効果の領域まで及ぶ。この場合、建物を固定するロックシステムを導入し、事前に天気予報の情報から判断し、強風時はロックをかけた状態とし、免震効果の発揮を優先させている。

3. 免震装置の基本性能と復元力特性の確認

では実際に免震建物を設計しようとする場合、上記の復元力以下のような点がわからないと設計ができない。

(執筆休憩中)

4. 免震建物の復元力特性の構築方法

5. 復元力特性の変動 製品のばらつき(製造誤差)、経年変化

6. 免震構造の最も簡単な設計例と性能の評価

7. 詳細設計検討事項

8. 標準的な設計例と性能評価

9. 実施設計手続き