

滑震構造＝全層免震建物の模型実験
Model experiment of a “Sliding Structure”, an all floor isolation structure

○川瀬 博・野田卓見

○Hiroshi KAWASE, Takumi NODA

Base isolation system has been very popular in Japan nowadays. Its basic idea is a) to make the fundamental period longer so that we can assume smaller acceleration input level and b) to concentrate the deformation at the base level so that we can absorb energy efficiently. However, it is pointed out that the current periods of base-isolated structures are not sufficiently long and concentration of deformation in one floor makes the deformation too large when we use a larger input. We can overcome these difficulties by introducing a “Sliding Structure”, that is an all floor isolation structure with fundamental period longer than 10 s.

1. はじめに

昨今は、マンションは免震にしておかないと売れ行きがよくないそうで、大臣告示により簡便な設計が可能になったこともあり、普通に免震建築が建てられるようになってきた。そもそも免震構造とは、構造物の固有周期を長周期化することにより、地震時に上部構造に生じる加速度を低減し、その安全性を確保するという極めて単純な原理に立脚しているが、超高層建物とは異なり、特定層の剛性を極端に減らすことによりそこに変形を集中させ、その層でエネルギー吸収を効率よく行う、所謂ソフトファーストストーリーの原理を活用した構造である。

この原理を適用した現在の免震構造の設計に問題はないのかというと、それぞれに対して未解決の課題が残されていると言わざるを得ない。まず第一番目の周期の長周期化によるメリットについてであるが、これは「入力地震動はどこでも同じように周期が長いと減少する」という前提に基づいている。しかし日本の大都市はすべからく深い堆積盆地上に立地しているため、その堆積盆地の深さと平均S波速度から決まる卓越周期が存在し、主として盆地生成表面波により、その卓越周期成分は他の周期成分よりもずっと大きくなる。この周期を避けて設計することが肝要なのであるが、現在の告示による設計では表層地盤のことしか考えていない。

次にソフトファーストストーリーの原理であるが、これにも課題が突きつけられている。すなわち考慮すべき入力レベルが年々大きくなってきて

おり、その結果として免震層の変形が過大になる可能性が出てきたのである。通常免震層は地下に設けられるので、周辺地盤（の擁壁）との間には所定のクリアランスが設けられているが、設計上の限界となる極まれにしか生じないとされるレベルの入力（通称レベル2地震動）を上回る地震動が入力すればこのクリアランスを超えて免震層が変位し、周辺地盤に衝突することになる。しかしこのクリアランスを大きくすることは建物床面積を減らすことに直結するのでむやみに大きくすることもできない。

そこで免震層を中間階に持って来る中間層免震の提案がなされるのは論理的帰結であるが、ピロティ形式（1階部分が駐車場等のオープンスペースになっているもの）の中低層建物は別にして、超高層の中間階で免震化することは上下階を繋ぐ多数の配管やエレベータの問題を考えると事実上不可能と言わざるを得ない。この問題はどこからくるのかと考えればそれはすべからくある層に変形を集中させてそこでエネルギーを吸収させるといったソフトファーストストーリーの原理から導き出されていることがわかる。

2. 滑震構造の提案

これらの2つの課題を同時に解決する方法が全層免震構造である。これをここでは「滑震構造」と名付ける。揺れに対してどこでも滑って対応するからである。この滑震構造にフィジビリティがあることを確認するため、強震応答実験装置（振動台）により模型振動実験を行った。写真1にそ

の模型の全景を示す。図1にはその最下層の概略設計図を、図2には応答加速度例を示す。

各層の免震装置は円弧状のレールに車輪を載せ、極力減衰を排除している。円弧(正確にはサイクロイド曲線)上を滑る構造物の固有周期は重力振子の原理により円弧の半径だけで決まるので、長周期化が容易で、かつ釣合位置での運動エネルギーが位置エネルギーに変換されるため、最大応答変位が簡単に予測できる。この模型の場合、最下層の設計周期は約5秒、各層は約2秒にしている。それにより系の一次固有周期は10秒ほどになる。実際には各階には変形制限装置が付加されているのでそれよりも短くなっているが、ポイントは全層免震化によって、全体周期を10秒以上にするとともに、各階の層間応答変形量をできるだけ減らし、変形の集中を抑えることにある。なお1層免震としては円弧すべり面を持つ装置は1966年の論文¹⁾で既に提案されており、独自のものではない。

まず、10秒免震ならなぜ指摘した第一の課題が解決するか。それは日本の堆積盆地では10秒を超える周期帯で大きな増幅を示す盆地はまずないことによる。すなわち免震周期は通常4秒や5秒では足りず、さらに7~8秒では関東平野の中心部等で最悪の応答になるが、10秒を超えてしまえばもはや盆地による表面波の生成・増幅を心配する必要はない。

しかし10秒免震を免震層1層で達成しようとするとそこでの応答変位が過大となる可能性が生じ、第二の課題を深刻化させてしまう。それを抑えようとして免震層の減衰を増大させると今度は加速度が増大してしまって10秒免震の意味が薄くなる(よく誤解されているが減衰を付与することは力を伝達させることになるので、共振応答を低減するには有効であるが、初期の加速度応答は増大する)。これを全層免震で達成すれば各層の変形は1/100程度に十分収まり、通常層間変形角応答に対するディテールで十分対応が可能である。

減衰装置や変形制限装置の作用で重要なことは、通常地震での加速度レベルを低減させるためには、それらは変形がある程度生じてから作動させるようにすべきであるということ、そうすることにより、極端に大きなレベル2地震動を超えるような大入力の場合以外、地震を感じない構造物が実現できる。当然強風時に風下方向にずれてしまうのは防ぐ必要があるとその上限までは各層を固定する「トリガー装置」は必要である。

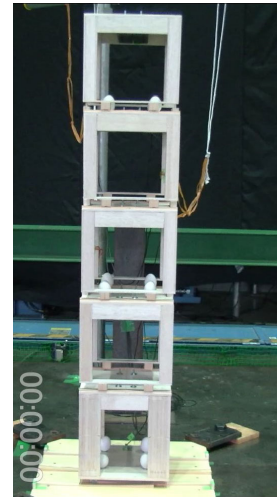


写真1 NHKの「超絶 凄ワザ!」で我々が用いた全層免震模型試験体

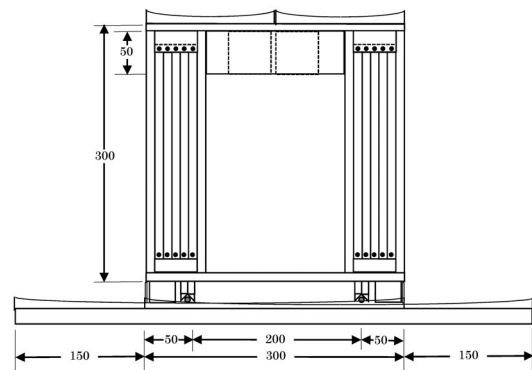


図1 全層免震模型試験体の最下層の立面図

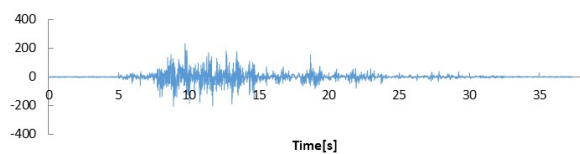


図2 最下層の JMA 神戸波 40%入力時の加速度応答波形

3. まとめと課題

以上の模型実験により滑震構造の実現可能性については検証できたが、その実装については多くの課題が残されている。低コストの柱頭免震装置や変形制限装置の開発が必要であり、その応答も現実的な大きさで検証する必要がある。しかし剛構造として作られてきた一般構造物から、超高層、免震構造、そして超高層免震へと進んできた我が国の耐震設計の歴史を塗り替える新しい構造として追及されるべき資格が十分にあると考えている。

[参考文献] 松下清夫・他：日本建築学会論文報告集，第122号，pp15-22，1966.4.