

強震動と免震構造



芝浦工業大学 教授

土方 勝一郎

1 地震動の特性と免震構造

工学は失敗の歴史から学び、新たな知見を獲得することで進歩してきた。橋梁を例に取り上げれば、1907年のケベック橋の倒壊事故から座屈問題は改めてその重要性を認識されるようになった。また、1940年のタコマ橋倒壊では風による自励振動の恐ろしさが改めて認識されるようになった。

免震構造の耐震設計上の問題ではどうであろうか。ここでは、地震動との関係に焦点をあて少し考えてみたい。

地震には大きく言って以下の2つのタイプがあり、地震動の特性も両者で大きく異なり、建物の応答性も異なることについて近年、理解が進んできた。

(内陸地殻内地震)

活断層を震源とするいわゆる直下型地震。M7クラス。再来期間は数千年程度。継続時間が短いパルス的な地震波に襲われる。震源との距離が極めて近い場合がある。

(海溝型巨大地震)

プレート境界を震源とするM8～M9クラスの地震。再来期間は数百年程度。継続時間が長い長周期の地震動に襲われる。海溝で発生するため震源との距離は一般的に遠い。

免震構造は他の構造形式に比較して、相対的にその歴史が浅いと言えるが、地震国のわが国では、免震構造は既に幾つかの内陸地殻内地震の洗礼を受けてきた。昨年の熊本地震の例をとると、免震構造はM7クラスの内陸地殻内地震に対しては、一定の有効性を示すことが出来たのではないだろうか。もっとも、大阪平野の上町断層帯地震に関しては、熊本地震に比較してかなり大きな予測地震動が出されており（大阪府域内陸直下型地震に対する建設設計用地震動および設計法に関する研究会,大阪府

域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および耐震設計指針,2015)、熊本地震での知見は必ずしも絶対的なものではないのかもしれない。

一方で、M8～M9クラスの見溝型地震による長周期・長時間地震動に対して、免震構造の実力が試されるのはこれからであるとする。免震構造は、2011年東北地方太平洋沖地震の洗礼を受けているものの、良く知られているように、本地震の地震動は最大加速度、最大速度とも過去の地震を大きく上回るレベルではなく、周期1秒以上の地震動レベルも大きくは無かった。

地震調査研究推進本部による「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」（平成25年5月）では、M8～M9クラスの南海トラフの地震の30年発生確率は60～70%とされている。これに拠れば、遠からず西日本の太平洋沿岸地域を中心に、わが国の各インフラは長時間継続する長周期地震動の洗礼を受けることを避けることができない。その中に、当然ながら免震構造も含まれることになる。

2 南海トラフ地震と免震構造

現在、南海トラフ地震を対象に多くの強震動予測波が発表されているが、その一例として、図1に南海トラフ地震による「大阪此花地点」の擬似速度応答スペクトルの試算結果を示す（宮腰淳一,壇一男他,マグニチュード9クラスの南海トラフの巨大地震による大阪府における強震動の試算、日本建築学会大会学術講演梗概集2015）。本図には、告示波レベル2のスペクトルが併記されている。

この検討例では、周期3～7秒程度の周期帯で擬似速度応答値は400cm/s～500cm/s程度となっている。このような大きな地震動に対し、免震構造はどのような応答性状を示し、これに対しどのような対策を

採ることができるかが、現在の大きな課題であると考える。

従来から指摘されているように、告示波で安全性を確認した一般的な免震建物に対し、図1のような長周期地震動を入力すると、免震層には大きな層間変位が発生する。このことは、一般的な既設免震建物では免震装置の変形はクリアランスに収まることが出来ず、よう壁と建物との衝突が発生することを意味している。耐震構造では、入力地震動が大きくなると、それに従い耐震設計上のクライテリアをある程度緩和する対応策が考えられるが、既存免震建物のクリアランスを変更することは現実的ではないため、この制限値を前提とした対応策を取らざるを得ない。また、クリアランスの問題がなかったとしても、免震装置自身の許容変形のクライテリアから変形量は一定値以下に抑えることが求められる。

このような大きな免震装置の変位を低減するためには、ダンパーにより高い減衰を付与する方策が考えられるが、それにも限界が存在するものと考えられる。また、トレードオフの関係で、建物には大きな応答が生じ補強が必要となることも考えられる。このため、大きな地震入力に対応しようとする、免震構造は、だんだんと「特定の層（ここでは免震層）にエネルギー損傷集中を許容する耐震構造」のようなものに近づかざるを得ないのかもしれない。また、この場合には、中小地震に対しては、本来免震構造に期待される性能が発揮できないことも考えられる。

図1のような強震動を想定すると、免震構造には次のような課題が存在すると考えられる。

（既存建物）

長周期地震動で発生する衝突問題にどのように対応するか。衝突を許容した場合のクライテリアは？衝突を緩和するデバイスは？

（新設建物）

免震装置への大きなエネルギー入力にどのように対応するか。また、免震装置の変形を抑えるため、どのような設計を行うか。この場合のクライテリアは？採用するデバイスは？

現在、よう壁への衝突問題に関しては、各所で精力的な検討が進められており、信頼できる解析手法も提案されるようになって来た。また、衝突緩和装置等のデバイスに関する提案も活発になされるようになってきている。自動車業界における最近の自動運転技術の著しい進歩を目の当りにすると、免震構造

に関しても、そろそろ制御技術のより本格的な導入を考える時期かもしれない。いずれにしても、問題は簡単ではないが、長時間継続する長周期地震動に対し、どのような対応策をとるかについての考え方をまとめて行くことが必要と考える。

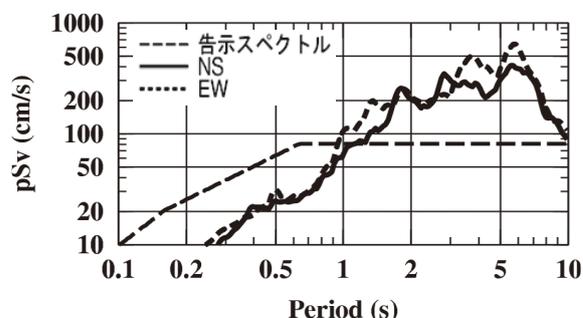


図1 OSKH02 (此花) における試算強震動 (短周期レベルが内陸地震の式の1倍のケース)

3 強震動予測の採用の課題

ここまでは、地震動ありきで免震構造の応答について話を進めて来た。しかしながら、強震動予測には一定の任意性が入らざるを得ない。近年調査研究が進んで来ているが、震源の面積や深さの予測も絶対的なものではない。また、断層面中の強震動生成域の位置や破壊開始点を初めとし、強震動の評価には数多くのパラメータが存在するが、これらのばらつきを考慮すると、予測結果は大きく変化することになる。

地震動レベルがさほど大きくない時代には、構造設計者にとって「設計用地震動」は、いわば「天から降ってくるもの」であり、ただ受け止めていれば良かった面がある。しかしながら、現在のように大きな予測地震動が出されるようになると、その作成法や結果の位置付け等について設計者も良く理解することが不可欠なものとなると考える。一方で、予測する側にもその地震動の成り立ちに関する説明責任が生じることになるものと考えられる。構造設計者と地震動を予測する研究者・技術者の連携と相互理解が極めて重要である。先に述べた上町断層帯の地震動評価では、ばらつきを考えた平均的な地震動レベルに加え、それを超える2つの地震動レベルが提示された。このような、ばらつきを考慮しレベルを分けた強震動の提供も、今後益々必要となっていくものと考えられる。

最近では、若い設計者、研究者を中心に、構造設計と強震動予測の相互理解を深める取り組みが各所で始まっている。是非その成果に期待したい。