

# 免震構造の今昔

足利工業大学教授・筑波大学名誉教授 園部 泰壽



アイソレータとその周辺技術開発には、なにか集中豪雨的に努力？が払われ、かつ、こう言うのはなんであるが、米国ではノースリッジ地震、日本では阪神大震災が追い風になって免震構造が盛んになり、当協会も隆盛にあることはご同慶にたえない。

私自身は現在耐震診断判定や連続繊維補強の研究に携わっているが、若年のおり後述のように設計実務についていたことがあり、そのときの担当した物件(当然既存不適合)も少なからず現存する身である。

建物の評定・認定には1972-1992年度の21年間従事したが、免震建物に関して日本における第一号の評定報告書にいわば責任者として署名したことがあり、何事も初心を忘れることなかれの譬えもあるので、その折りの昔話をして、巻頭言に替えることにしたい。ついでの話であるが、これは高層建築物の構造評定(建物は東京都江戸東京博物館)を担当したときのことである。地上部の観覧区域が2層で中央スパン72m、その両側に持ち出し長さ40数メートルの片持構造の所があり、片持先端の水平地動(鉛直地動ではない)による鉛直方向振動の加速度応答倍率が水平方向のそれを遙かに凌ぐ約8になった。その結果、観覧床は空気バネとダンパーで鉛直振動の免震措置がとられることになった。設計者が見過ごしたこの鉛直振動現象があることに気付いたのは私で、免震のクライテリアからシステムづくりまでの開発が開始され決着がつくまでに約1年を要した。

これは私事であるが、本協会編「免震構造入門」1-3 免震構造の歴史(10ページ)で1957年に私が大学院時代に担当した吊り下げられた構造物(具体的には火力発電所のボイラー)の制震実験が紹介されている。この研究の延長線上に国鉄川崎火力発電所でのオイルダンパーの採用がある(馬場知己氏の学位論文 1961)。現在のボイラーの制震は建屋側の要所に設けられた鋼部材が、ボイラーケーシングと接触すると所定強度で降伏することによって行われている。

免震建物第一号は、その名称が「八千代台ユニチカ式免震住宅」、2階建ての壁付鉄筋コンクリート造で、2

階建てであるがゆえに、1~3階建ての特殊RC造を準備範囲とするコンクリート系低層建築物構造評定委員会(委員長 私、正式には工業化住宅評定委員会コンクリート系分科会)に1982年に評定にかかることになった。評定番号はBCJ LC-99である。今考えると幸いなことに、この委員会に振動に明るい千葉大の村上教授、都立大の西川教授、理科大の野村教授が所属しておられたので通常担当委員は二名のところ、この三名の方に担当をお願いした。申請者側は名にし負う福岡大の多田教授と東京建築研究所の山口氏であった。

多田教授は日建設計(現)で、「鋼管構造」を始められ住金の工場を建てられたが、私も当時日建設計に在職しており、関東で社命によって同構造の工場設計を行うことになり、お教を乞うたことがある。また、私が大学勤務に入った頃、先生ご担当のPL教団のオブジェ的な形態の「大平和記念塔」の設計・研究開発のお手伝いを「一生に一度くらい奇抜な(実はもっと違う表現であったが)ことをやってみるのもええじゃないか」という殺し文句に説得されてしたことがあり、いわばそれまでは机の同じ側にいる関係だったところ、今回は向かい合いということになった。

恐らくは私を含めて評定委員側には、紹介された「積層ゴム」には全く知識がなく、実験により歪みが300%(実験で確認されていた水平変位は18cm)にも及ぶ大変形とP-Δ効果を克服してほぼ一定のバネ定数が示されたのにまず驚いたことは確かである。

上部構造は壁が多くほぼ剛体で、水平耐力にはまず問題は無かったので、焦点は2段の基礎構造の間に挟まれた形の積層ゴムを含む免震層の性能如何と言うことになる。

地震に対する検討における入力はその当時の高層建築物の評定での場合を反映してか、波形については実測された地震波、強さについては加速度だてでレベル1が300ガル、レベル2で450ガルであった。設定された3質点系(実質的にはほとんど1質点系)のSR振動モデルの1次固有振動周期は桁行、張間両方向とも1.83秒、減衰については下部基礎に置かれた箱の中の乾燥砂に

上部構造下部に固定された鋼管を挿入しておいて、それが砂を掻き回す形式のものが計画されていた。

数値的な検討では、積層ゴムの最大応答変位は、静的実験で確認されていた値の約25%アップ位であった。

一番悩ましいのは積層ゴムの性能自体は実験結果を事実として受取るとして、実際に大地震の経験もなし(なんせ第一号である)、固有周期1.8秒でかつ提示された変形能での建物が地震国日本で「免震建物」と言えるかどうか判断がかかることである。申請者側は確信を持っておられたらしいが、当方としては、フェールセーフ機構はどうなっているかの方にどうしても目が行くのは、当時としては致し方ないことであろう。

結局、1) ジャッキを用いて積層ゴムが取換え可能である、2) 万一?の時上部構造は下部基礎の上に着陸でき、かつ、上部構造は非常に丈夫である、3) 建物用途がユニチカの社宅であるなども考えに入れつつ構造のほうの評定は終わった(こういうのはあるいは腰だめ式というのであろうか? 以上の2つのパラグラフは、私個人の考えである)。

アフターケアとして、当該建物について「免震構造実験検討委員会」が設立された。奇しくも委員長は中野本協会会長、副委員長にはゆきがかかり上か私が指名され、建物ができたところで積層ゴムに所要の水平変位を与えて放す自由振動実験などが成功裡に行われた。自由振動実験の折り、建物床上にいてショックに驚き同行していた女性の大学院生が私に飛び付いてきて、私の方は余程そちらのほうで驚いたことを半ば懐かしく思い出す次第である。

昨今の免震建物のデータをみていると、固有周期が3~4秒のものが多くなり、積層ゴムの変形能も飛躍的に大きくなっているようである。これで基礎構造に万全の信頼性が保持できれば、高層建築物の評定に当たった経験からしても長周期波がこない限り免震構造と言えると考え次第である。長周期といえば液体タンクのスロッシングがある(直径をD(cm)とするとスロッシングの一次周期は $0.1\sqrt{D}$ 秒である)。その耐震設計で3波共振を考えるべきであるとの議論があったが、

あの結論はどうなったのであろうか?

この3月まで通産省の原子力発電技術顧問として原子力発電所の耐震設計の審査にあたっていた(建物関係委員長青山東大名誉教授)。ちょっと次の新規の原子力発電所設計にやや間が開いたここ3年間ばかりに亘り、現行の耐震水準を適用して既設発電所の検討が「バックチェック」の名のもとに該当するもの全数について行われ、無事完了した。兵庫県南部地震が途中で起きたが「現行水準」は変更の要がないとの検討結果が得られている。

免震構造については、その必要はないのであろうか?

既設不適合建物について、耐震診断・補強が行われていることは周知のことである。これも一種のバックチェックと解釈できようか。

免震建物の評定物件数が昨年度200を越え、全数で倍増になったそうである。人間が作る限り技術に「絶対的安全性」は有り得ない。またこのように数が増えれば大地震の試練を受けるチャンスが増えることになる。無論それは望むところであろうが、当該の免震建物全てがその上部構造・免震層・下部構造で大地震のとき合格点をとれるかどうかは神のみぞ知るであろう。もらい事故など想像外のことが起きる可能性もある。

いろいろ述べたが、免震構造には優れた利点は大きいにあると個人的に強く思っている(そうでなければ最初から個人会員に入ったりはしない)。昭和63年度から5年間、建設省の新素材総プロで連続繊維補強コンクリート造について建築部門のリーダーを務めたが、その当初から構造耐力もあり耐久性抜群で(非磁性という特色も持つ)、しかし塑性変形に基づく韌性に乏しいこの構造に非常に適していると考えていた。

当協会は免震構造の隆盛と共に、責任が大きくなってきたと考えられるので、さらに技術開発に万全を期され、ますますの発展されることを祈ってこの文を終わる。