

免震研究開発の思い出と現在抱える問題点



東京電機大学

藤田 聡

1 はじめに

1993年6月に設立された日本免震構造協会の会誌 MENSINが、この4月に100号を発行する運びとなられたことをまずは心よりお慶び申し上げます。設立当初よりの会員の一人として、免震・制振技術の発展にこれまで貴協会の果たされてきた功績に敬意を表する次第であります。この度、貴会誌の巻頭言の執筆依頼を受けたことは、私も当該技術に関わる一人の研究者として非常に光栄なことであります。ここでは、免震構造研究開発の黎明期の思い出と、今現在問題とされている原子力施設関係への免震適用に対する考えを述べさせて頂きたいと思います。

2 免震構造開発研究黎明期

1978年に発生した宮城県沖地震では、ライフライン設備、昇降機設備、高置水槽、通信設備等の被害に加えて、当時社会に普及し始めていたコンピュータ機器が多大な被害を受け、耐震設計上新たな課題が提起されました。コンピュータ機器のような『構造強度で耐震性を確保できない機器』等の地震災害防止技術はどうあるべきかと議論を経て、『地震入力』そのものを低減する、所謂『免震技術』の必要性和社会的関心が大きく浮上していた時期でありました。

1980年初頭にはコンピュートルーム用の免震床がまず実用化されましたが、ほぼ同時期に積層ゴムを用いた重量機器用の免震装置の研究開発が開始されました。その背景には、当初免震技術に関心を寄せたのが、原子力分野、そして電力分野であったからであると考えています。後者においては、当時100万V送電計画が検討されており、変電設備の碍子の耐震性が通常の設計では確保しにくいため、地震入力そのものを低減する要求があったわけです。また、変電設備機器は屋外の悪環境に晒される



図1 100万V送電用変電装置の例と開発した10トン用重量機器用免震支持装置 (東京大学生産技術研究所千葉実験所にて撮影、1981年)

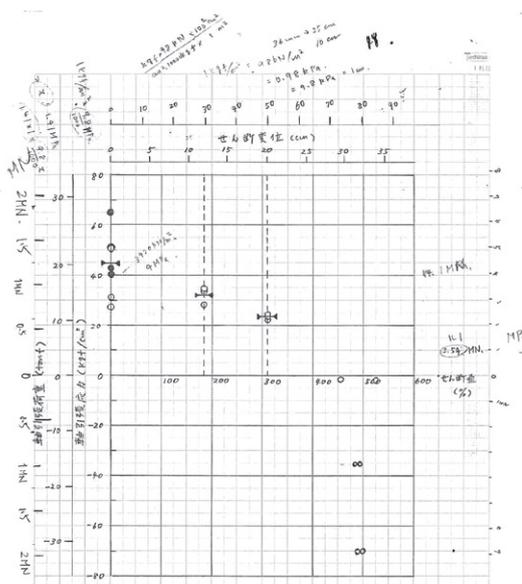


図2 実験中に描いた破断限界図

事から、当時は金属ベアリング系の免震支持装置は不適と考えられておりました。また、当該機器は建

物等に比べて相対的に軽量であり、装置一体当りの支持加重が10トン程度の新たなタイプの積層ゴムの研究開発が進められました。ここで用いられた積層ゴムは定格搭載質量10トンに対して、水平固有周期を2秒、鉛直固有振動数20Hz（剛性比で1,600倍）という設計要求条件を満たすために他に例を見ない積層数（0.25mmのゴム板を53層積層）をもってこれを実現していました。図1は変電施設設備の例で、機器前方に開発した10トン用免震支持装置を示します。

引き続き1983～1985年頃実施したのが、100トン用積層ゴムの破断実験で、その結果を実験現場でまとめたグラフを図2に示します。当時、西千葉の実験所にこもって実施した実験結果をまとめたものであります。当時は意識していませんでしたが、後に学位論文をまとめた際に審査をしてくださった建築のA先生から、「このグラフ一枚で学位の価値がある」とお褒めの言葉をいただきました。本人はその重要性に気がつきませんでした。後に原子力発電プラント等への免震適用検討にあたってこの手法が評価の基本になっており、その頃になってA先生の仰られた意味を理解しました。図2はその手書きのグラフで、昨年古い資料を整理していて偶然見つけたもので、懐かしく思う次第であります。

3 原子力施設への免震構造適用検討

免震構造の研究開発は上述のように当初原子力、電力分野で期待されたのですが、昨今、新聞報道によれば『原子力規制委員会に再稼働の安全審査を申請している全国16原発26基の事故対策拠点「緊急時対策所」について、約半数にあたる7原発15基で免震構造によって作る当初計画を撤回して耐震構造に変更したり、再検討を進めたりしていることが分かった（毎日新聞、2016年1月19日）』とあります。一般建物では高い評価を得て広く普及している免震構造が原子力発電施設等の重要産業構造物で採用されない事態を筆者は憂慮しています。

こうした状況になる前には、原子力施設への免震構造の適用検討が鋭意進められてきましたし、その背景には一般建物において当該技術が広く普及し、その免震効果を実証されたことがあると思います。また、東日本大震災時の福島第一原子力発電所免震重要棟が激しい余震が続く中、その機能を維持しえたのも免震構造物であったからと広く認識されていると考えます。しかしながら、最近になって設計

用地震動の見直し等に伴い、我国においては特に原子力施設への免震構造の採用に関してはその可能性が極めて制限されつつある状況です。基本的には、設計入力地震動レベルの増大に伴い発生すると想定される過大な積層ゴム水平変形量抑制の困難さ、鉛直方向固有振動数の低さに伴う鉛直方向地震応答の増幅とロッキング振動増大傾向等があげられると考えます。加えて、以下にこうした問題点の発生した事由について私見をあげ、原子力施設の免震化にあたっては今一度その仕様を検討し直すべきターニングポイントに至っているのではないかと思います。

- 1) 原子力発電施設等重要産業施設の免震化にあたっては、1980年初頭においては、鉛直固有振動数は十分に剛であると見做される20Hzを設計要件に、そして水平方向固有周期に関しては長周期化による積層ゴム応答変位の増加傾向と水平免震性能の低下傾向のバランスを考慮し2sを基本とすることとしていた。
- 2) その後、一般建物においてはより高い水平免震性能を目指し、水平固有周期を3～4s程度と更なる長周期化を目指す設計が主流となっていった。これは同時に積層ゴム一基あたりの支持荷重を増大させることになり、積層ゴム設置台数の抑制という観点から経済的にも歓迎されたとも考えられる。
- 3) 結果的に現在の免震建物では、水平固有周期3～4.5s、鉛直固有振動数10数Hz程度に設計されているものが多いと推察される。これまで、特に一般建物においては鉛直方向地震動に対する耐震性確保は要求されておらず、2) の様な状況を産んできたとも考えられる。
- 4) 2011年東北地方太平洋沖地震等を契機に、免震構造の採用においては、従来よりも厳しい長周期成分を含む設計地震動が設定されている。これにより、過大な変位量が生じることとなり、積層ゴムの設計成立性そのものも課題になり始めている。

4 おわりに

現在、一般社団法人日本電気協会において、「原子力発電所免震構造設計技術指針JEAG4614-2013」の改定作業中ですが、今一度初心に戻り、安全性能要求事項を明確にし、これを満足するような免震装置／免震システムを研究・開発を進めるべきと考えます。