

免震黎明期の三つの共同研究



島根大学

中村 豊

1 はじめに

私が大学院修士課程を修了して、清水建設（株）に入社したのは1984年4月であり、日本国内免震第1号の八千代台免震住宅が建てられた翌年になる。研究員として東京都江東区にある同社の技術研究所で仕事を始めた。社内では1985年に免震構造の研究開発プロジェクトが発足し、それに参画することになった。免震構造の黎明期に行われた三つの共同研究について振り返り、そこでの出会いや奮闘の一端をお話しさせて頂くことで巻頭言とさせて頂く。

2 東北大学との共同研究（1986年から）

社内では免震構造に関して「ゴムの上に建物を建て大丈夫なのか」という様な懐疑的な意見もあった。社内のプロジェクトでは、免震構造の実証のために某支店の守衛棟を免震構造で建てようという計画が進められた。それに関して和泉正哲先生に意見をお聞きする機会が持たれ、私も後ろの方で聞いていた。ところがその直後の社内会議で、免震守衛棟ではなく、東北大学内に免震実証建屋を建てることになったと聞かされて驚かされた。そして耐震構造と免震構造のRC造3階の実証建屋が1986年に建設され、地震観測が開始された（写真1、文献1）。

1998年9月15日宮城県南部地震（M5.0）では、耐震構造物（写真1左）1階・長辺方向の最大加速度が 378cm/s^2 であったのに対して、免震構造物（右）1階・長辺方向では 101cm/s^2 となった。免震実証建屋での地震観測結果は、免震構造の黎明期において免震構造の効果を国内外に知らしめる大きな働きをしたのではないかと考えている。

3 カリフォルニア大学バークレー校との共同研究（1990年から）

カリフォルニア大学バークレー校（UCB）のJames Kelly教授から免震構造に関する共同研究の話しが持ち込まれた。副社長の大崎順彦先生からは是非進める様にとの指示があり、1990年から共同研究が開始された。当時、私は偶然にもUCBへ留学予定であったが、この共同研究は、菊地優氏（現在、北海道大学教授）と猿田正明氏（現在、原子力規制庁調査官）が主担当となった。そしてUCB地震工学研究センター（EERC）側の担当が、ポストドク研究員のIan Aiken氏（現在、SIE社代表）であった。この共同研究では、東北大学免震実証建物の縮小試験体（写真2）を製作し、EERCの振動台で極限まで加振する振動台実験が行われた。



写真1 東北大学免震実証建物



写真2 UCB-EERCでの振動台実験



私は大学院に籍を置いたので学期中は授業と課題提出に忙殺されたが、Kelly教授による免震構造の講義を聞く機会は貴重であった。また、EERCでの試験体製作や振動台実験を間近で見ることができたのは幸いであった。この共同研究での菊地先生とAiken氏との出会いが、高減衰積層ゴムの復元力特性のKikuchi-Aikenモデルの開発に繋がったことは大きな成果だと思われる。Aiken氏はこの後も免震・制振構造に関して日米及び世界で活躍されている。

4 東京工業大学・第一工房・アラップとの共同研究（1999年から）

和田章先生、竹内徹先生（当時は新日本製鐵勤務）、建築家の高橋翫一氏（第一工房代表）、構造家の彦根茂氏（当時はアラップジャパン代表）が、堀富博氏（清水建設設計本部）に伴われて技術研究所に来られた。この5名で検討されていた「やじろべえ免震」について解析・実験を進めるため、研究員が集められ、1999年に研究プロジェクトがスタートした。

錚々たる発案者を中心にしたプロジェクト会議は緊張感があったと同時に大変刺激的なものであった。超一流の研究者、建築家、構造設計者の知識、発想、考え方などには教えられることが多々あった。一方で、会議で検討された構法をどの様に解析や実験により検証するかについては大変な苦労があった。何度かの振動台実験や応答解析を繰り返し、建物中央コアシャフト上部に積層ゴムを傾斜2段配置し、居室部分を吊り下げという「塔頂免震（やじろべえ免震）」が産み出された。

最終の振動台実験では、直径8cmの小型積層ゴム4個を傾斜2段配置し、1m³のコンクリートブロック6個からなる部分を吊り下げている（写真3、文献2）。



写真3 塔頂免震の振動台実験

この試験体（写真3）はプロジェクトメンバーであった北村佳久氏（日本免震構造協会専務理事、当時は清水建設設計本部）の設計によるものである。

振動台実験の実施途中、高橋翫一氏から、吊り部に椅子を付けて欲しいという注文が出された。理由をお聞きすると「自分がその椅子に座って、実際に免震効果を体験したい」とおっしゃる。実験安全上の観点からそれはできないですと説明して納得して頂いたが、建築家魂を教えられた思いであった。

5 実証建物と東北地方太平洋沖地震

研究プロジェクトが完了してほっとしていたところ、技術研究所の敷地内に塔頂免震の実証建物を建てる予定を聞かされて非常に驚かされた。設計と施工が進められ、2007年3月に塔頂免震構造を初適用した「安全安震館」（地上4階、塔屋1階、高さ14m、延べ床面積214m²）が完成した（写真4、文献2）。そして、構造モニタリングによる観測も開始された。



写真4 塔頂免震構造を適用した「安全安震館」

実証建物も完成したので、和田先生からのお勧めもあり、研究結果を英語論文としてEarthquake Engineering and Structural Dynamics (EESD)へ投稿することにした。「塔頂免震（やじろべえ免震）」の英語訳に困ったので、Aiken氏にお願いしたところ、Core-Suspended Isolation Systemと名付けてくれた。彼には論文の英語校正でもお世話になった。査読者からの修正意見に対応するのに多くの時間がかかったが、実際に論文（文献2）として掲載された時は非常に嬉しかった。

2011年3月11日の東日本太平洋沖地震が発生した際、私は技術研究所本館1階で来客対応をしていた。継続時間の長い大きな揺れを感じた瞬間、隣りに建つ「安全安震館」は大丈夫かと心配した。もしも建

物頂部の積層ゴムに座屈などが発生すれば、吊り下げられている3層のオフィス部分全体が傾くなど、大きな被害となりかねない。揺れがおさまった直後に普段は無人の同館に駆け寄った。コアシャフトと吊り部の間のエキスパンションジョイントに一部破損が見られたが、建物自体は無損傷であり、本当に安堵した。

同館の構造モニタリングによる観測は継続され、多くの観測データが蓄積されていたが、研究プロジェクトに参画したメンバーも会社を卒業、退職している。最後の一人として、地震観測結果を整理、評価して発表しておく必要があると思い、岡田敬一氏によるシステム同定結果を含めて、論文（文献3）にしてEESDに発表している。

6 まとめ・今後に向けて

この春で私が清水建設に入社してから丁度40年が経つ。2018年5月からは島根大学で教鞭を執っている。大学のある松江市においても、銀行本店ビル、市役所、放送局などが免震構造によって建てられている。1980年台半ばから、建設会社の一研究員として免震構造の研究開発に参画した者として免震構造が身近の施設にも普及してきていることは嬉しい限りである。

三つの共同研究を振り返ってみると、内外の大学・企業の先生、研究者、設計者、構造エンジニア方との協力の下、数多くの解析と実験、実証建物の建設と地震観測など、免震構造の研究開発に多大な人的・物的資源、予算が投入されていたことに驚かされる。同様な精力的な研究開発が他の組織においても行われていたと承知している。それらが現在の日本における免震構造の発展と普及の要因の一つ

であったと考える。そして私自身がその中に身を置き、多くの指導を頂き、貴重な経験をさせて頂いたことを感謝している。

最後に免震構造、制振構造の今後のさらなる発展に向けて、私の考える課題を以下に挙げさせて頂く。

(1) 地震時無損傷エキスパンションジョイントの設計・施工詳細の確立

地震発生後の免震建物の調査報告では、エキスパンションジョイント部、可動部の被害が目立つ。免震建物本体が無損傷で機能が維持されていても、エキスパンションジョイント部の被害は修復せねばならず、免震建物の価値・評価を下げてしまう。損傷しない設計・施工詳細の確立が望まれる。

(2) 住宅ストックの免震・制振改修技術の確立

既存の住宅ストックの活用、木造住宅の耐震化の必要性は大きい。過去の地震被害でも旧耐震木造住宅の大破、倒壊による被害が発生している。難題であると思うが、実用的で手の届く費用で実現可能な免震・制振改修技術の確立が望まれる。

【文献】

1. 「耐震・免震・制震の分かる本 安震建築をめざして」、清水建設免震研究会著、彰国社、1999年
2. Yutaka Nakamura, Masaaki Saruta, Akira Wada, Toru Takeuchi, Shigeru Hikone and Teiichi Takahashi
Development of the Core-Suspended Isolation System, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.40, No.4, April 2011, 429-447, doi.org/10.1002/eqe.1036
3. Yutaka Nakamura and Keiichi Okada
Effects and dynamic characteristics of the core-suspended isolation system assessed by long-term structural health monitoring, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.50, No.9, July 2021, 2259-2276, doi.org/10.1002/eqe.3437