

## パラレルリンク式鉛直免震装置の特性確認実験 ～明治大学の皆さんを連れて～

### ■まえがき



コロナ禍もワクチン効果で一段落を見せた 2021 年 10 月。久しぶりに共同研究者を兵庫耐震工学研究センターに招いての実験ができましたので、ご紹介申し上げます。私は某企業から数奇な運命の導きにより兼務出向で防災科研にお世話になっている山田と申します。会社の方で比較的早めにワクチン接種を受けましたが、なんと！ニュースにもなりました異物混入ロットに当たる…?! という、これまた数奇な運命に見舞われました。年齢のせいか接種後の発熱は無く、幸いその後も快調に過ごせています…。皆さんで協力して、なるべく早く実験研究が自由にできる日常を取り戻したいものです。さて、今回の実験関係者につきましては、日々の健康管理、検温、消毒の徹底など、防災科研のガイドラインに基づいて実施され、安全確保に努めました事、記させていただきます。



【写真 1 明治大学の皆さんとの実験状況】



【写真 2 震動台の見学状況】

### ■免震と耐震について



建物と地面の間にゴムのクッションや滑り板を入れて、地震による地面の揺れが建物に伝わらない様にする技術を「免震」と言います。日本国内では 1990 年代からビルや戸建て住宅に適用され、約 30 年で累計 1 万棟ほどの実績があります<sup>1)</sup>。しかしながら、一般的な耐震建築物が、年間 100 万棟ほど作られている事<sup>2)</sup>と比較すると、普及率は約 0.03% (新築物件比) に留まります。因みに耐震とは地震の揺れに耐える構造で、巨大地震を受けても倒壊しない強度で設計されますが、耐えるのは 1 度きりで、その後の継続使用には課題があります。

### ■なかなか難しい鉛直免震



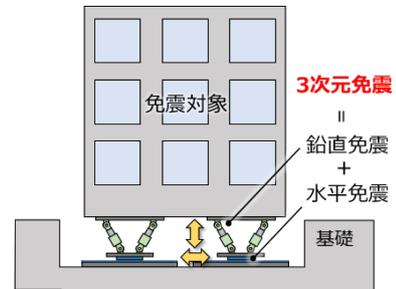
防災科研では予想される南海トラフ地震や直下型地震による激甚災害への備えとして、200m 角程度の広い領域を地盤ごと免震して、建物だけでなく、電気、ガス、水道などのインフラを地震から守る「3次元免震装置」の研究開発をしています。

前述の普及型免震装置は、ほぼ全て（後述の唯一の実施例を除く）が水平方向免震のみ（2次元免震）です。これは、鉛直方向は建物の重さを支える十分な強度があるため、ひとまず免震を省略。水平方向は柱を曲げる力が働き、倒壊の主要因になるので、積極的な開発がなされてきた実情によるものです。

一方、インフラが緊急停止したり、点検が必要となったりする多くの指標は、「震度」が用いられています。具体的には巨大地震を「震度4」以下にできれば、建物もインフラも概ね守ることができます。これには鉛直も含めた3次元免震による、これまでよりも高性能のシステムが必要です。鉛直方向の揺れは、建物をフワフワに柔らかく支えれば低減することができます。これは例えば高級乗用車が路面の振動を柔らかいばねで吸収しているのと同じ原理ですが、超重量物の建物や地盤を支えるには硬い柱が必要になるため、これをフワフワと柔らかく支えることがとても難しいのです。

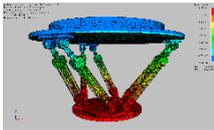


【図1 浮揚免震のイメージ】



【図2 3次元免震の構想】

■パラレルリンク式鉛直免震装置とは？



鉛直免震を建物に適用した、私が知るところの世界で唯一の実施例が、2011年に竣工された東京都杉並区阿佐ヶ谷の3階建て集合住宅「知粹館」<sup>3)</sup>です。このプロジェクトに参画されたのが、今回お招きしている明治大学の富澤徹弥先生（当時は株式会社構造計画研究所にご在籍）。先生のご実績を頼りに防災科研のプロジェクトにもご参画いただき、新型装置の開発をしています。さて、知粹館の鉛直免震は、蛇腹式の大型空気ばねと、スライド式の支柱、ダンパーと呼ばれる減衰装置で構成されています。空気ばねは重量物を柔らかく支えるには好適な方法ですが、爆発の危険性からあまり高圧では使用できないため、どうしても高コストの巨大な空気ばねが必要となります。

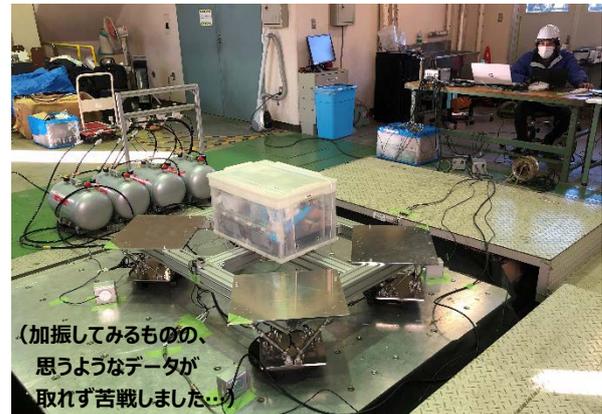
そこで防災科研では油圧式の検討を開始しました。そのメリットは以下です。

- ・空気式の20倍以上の圧力を扱えるため、装置の大きさ（受圧面積）を1/20に小型化できる。
- ・適用予定の油圧シリンダは大型空気ばねよりも低コスト。
- ・パラレルリンクに組めば、高精度・高強度・高コストのスライド式の支柱を排除できる。
- ・油圧シリンダでダンパー（減衰）機能を併用できる可能性がある。

パラレルリンクとは、近年、フライトシミュレーターや遊園地のライドアトラクションの下部に装着されている方式で、6本のシリンダをコントロールすることで、ステージを6自由度で動かす事が出来ます。この機構を免震に、受動的かつ複数台使おうというところがミソです。



【写真3 パラレルリンク免震の初期構想】

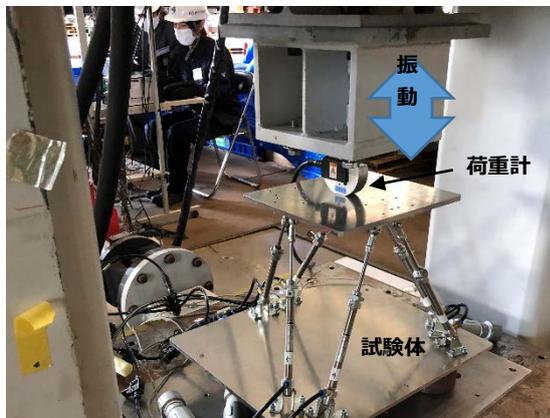


【写真4 明治大学の振動台での実験状況】

## ■実験の状況



共同研究させていただいている明治大学の皆さんを招いての実験となりました。油圧式の振動実験装置で、平行リンクの特性を確認しています。取得したデータは、大型装置の設計や運転手法に取り入れます。学生さん主導でデータを取っていただきました。



【写真5 試験体の状況】



【写真6 データ取得の状況】

## ■見学の状況



コロナ禍で授業や学会発表もオンライン。学生さん達はどこにも行けない状況が続いているそうです。そんな中、世界最大の震動台を、佐藤研究員の説明でご紹介することができました。きっと数年後には「あの時、お世話になった学生です！」と、恩返しに来てくれることでしょう！



【写真7 蓄圧器の見学状況】



【写真8 ヤードの見学状況】

## ■参考資料

1) (社) 日本免震構造協会ホームページ、免震・制振データ集瀬結果より、2022/01/08 閲覧

[https://www.jssi.or.jp/menshin/doc/ms\\_ss\\_data.pdf](https://www.jssi.or.jp/menshin/doc/ms_ss_data.pdf)

2) 国土交通省、建築着工統計調査報告 令和2年計より、2022/01/08 閲覧

<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/kencha20.pdf>

3) 構造計画研究所ホームページ、阿佐ヶ谷プロジェクト知粋館より、2022/01/08 閲覧

<https://chisuikan.kke.co.jp/>

(文責：主幹研究員 山田 学)

## 「大空間建築の構造ヘルスマモニタリングの実行可能性検証実験その2」報告

体育館のように内部に広い空間のある建物は大空間建築と呼ばれ、災害時には避難所として利用されます。地震時には大空間建築自体も被災している為、建物の損傷や被害の程度を調べて、避難所として利用可能かどうかを判断する必要があります。地震直後の利用可否判断は、多くの場合専門家不在の状況で行われます。従って、少しでも疑わしい点が見られれば避難所としての利用を断念せざるを得ません。建物の揺れや変形を計測し、損傷の有無や位置、程度を調べる技術は構造ヘルスマモニタリングと呼ばれています。一般的なビルを対象とした構造ヘルスマモニタリングは数多くの研究開発事例がありますが、大空間建築を対象とした研究はあまり行われていません。この研究課題では、大空間建築の為の構造ヘルスマモニタリング手法を開発し、専門家不在の状況でも地震にあった大空間建築の健全性を診断し、避難所建築を安全に利用できることを目指しています。

研究の第一歩として、2019年の4、5月につくば本所の大型耐震実験施設を利用した振動台実験を行いました。前回の実験では、地震損傷の位置と体育館の振動数の変化に明瞭なパターンがあることを明らかにしました。今回は2021年10月に、前回の実験をさらに発展させた、体育館の縮小模型の振動台実験を行いました。前回に引き続き、縮小模型を加振方向に対して45度傾けて設置して水平2方向に建物を揺らすことや(写真1)、建物の地震損傷を部品の取り外しによって模擬的に再現することで1つの縮小模型で数多くの損傷パターンを実験する(写真2)等の工夫は踏襲しています。今回は、複数個所に地震損傷を受けた場合(写真3)の検討と、屋根材(写真4)の与える影響の検討を目的としています。

詳細な分析はこれからですが、複数個所に損傷を与えた場合でも、振動台実験と打撃試験の双方で、安定した振動計測を行うことができました。今後、損傷個所と振動の変化について分析を行います。また、屋根材を設置した試験体では、剛性(硬さ)と減衰(揺れのおさまりやすさ)の上昇が確認されました。今後詳細な分析を行い、損傷検知・推定手法の提案に繋げていきます。

最後になりましたが、今回の実験にご協力、ご支援を頂いた方々に、心からお礼を申し上げます。



【写真1 振動台上に設置した縮小模型】



【写真2 壁ブレースの取り外しによる模擬損傷】



【写真3 複数個所の模擬損傷】  
(両側の壁面ブレースの取り外し)



【写真4 屋根材の設置】

(文責：主幹研究員 藤原 淳)