

【研究ノート】

実建物の観測記録を活用した免震層水平剛性の推定

宮内智香¹，朝川剛²，山川誠³，永野康行⁴

¹ 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科，大学院生

² 東京電機大学未来科学部建築学科，准教授 博士（工学）

³ 東京理科大学工学部建築学科，教授 博士（工学）

⁴ 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科，教授 博士（工学）

本研究では、著者らがこれまでに構築した免震層水平剛性推定手法の実用可能であるのかについて、実建物の観測記録を活用して検討した。その結果、これまで著者らが提案してきた免震層水平剛性推定手法は理想的なものであるとわかった。実用的な提案手法にするため、実建物と解析の違いを明らかにすることを目的として現地調査を実施した。調査の結果、実際の免震建物には建物外周に免震の変位を阻害する要因があるということがわかった。以上より、提案手法を実用化するには免震機能が発揮されたときの観測記録が必要であるということが明らかとなった。本研究の目的は、低コストかつ容易な免震層水平剛性推定手法の実用化を目指すことにより、減災復興学へ寄与することである。

キーワード：免震建物，減災，復興，水平剛性，性能ばらつき

1. 序論

免震建物は設計・竣工直後においては、建築基準法に基づいた構造計算や時刻歴応答解析により定量的に安全であるといえる。しかしながら、経年後の免震建物に着目すると、経年後の維持管理方法として定量的な調査はあまり行われない。なぜなら、従来の免震層の性能を推定する手法には、ジャッキを用いて人工的に建物を自由振動させることによる推定手法が確立している¹が、本従来手法には膨大なコストと時間が必要であり、ほとんど行われない現状があるからである。そこで、これまで著者らは、経年後の免震建物における免震層の性能を、地震動を活用することにより、低コストかつ容易に推定する新たな推定手法²を構築・提案してきた。しかし、本提案手法は数値実験によって理想的に構築されたものにすぎない。そこで、本研究では同提案手法の実用化を目指し、2021年の福島県沖地震時に東京電機大学千住キャンパス1号館において観測された地震動加速度波形と免震層最大変位を活用し、数値実験によって提案手法の実用性を検討する。

2. 解析条件

2.1 モデル³⁾

図1に対象モデルの模式図を示す。対象建物の東京電機大学千住キャンパス1号館は14階建て鉄筋クリート構造である。同モデルの免震層にはオイルダンパーが5基、直動転がり支承（以下CLB）が10基、天然ゴム系積層ゴム（以下NRB）が23基、鉛プラグ入り積層ゴム（以下LRB）が34基、鉛ダンパーが6基設置されている。本解析では、図1のような15質点系モデルを参考文献(3)の諸元と同様の条件で作成した。モデルを上手く作成できているかについては参考文献と同様の解析条件に対して時刻歴応答解析を実行することにより確認した。本解析では、ユニオンシステム社のソフトウェアDynamicPROを使用し、時刻歴応答解析を実行した。

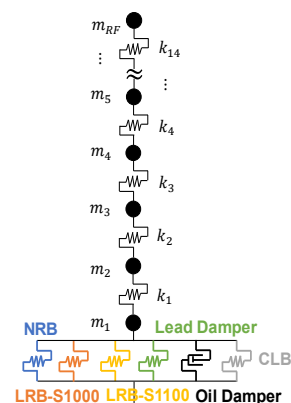


図1 対象モデルの模式図

2.2 入力地震動

図2に入力地震動の加速度波形，図3に入力地震動の変位応答スペクトルを示す。本解析では，2021年2月13日の福島県沖地震の際に，実際に対象建物で観測されたNS方向の地震動加速度波形を入力とした。本地震動は最大加速度32.2 cm/s²，計測震度3.3，震度3となっている。著者らの提案手法において対象となる中程度の地震動（震度5弱以上の地震動）と比較すると，小さな地震動となっている。

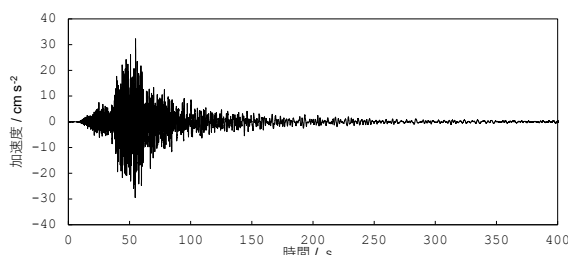


図2 入力地震動の加速度波形

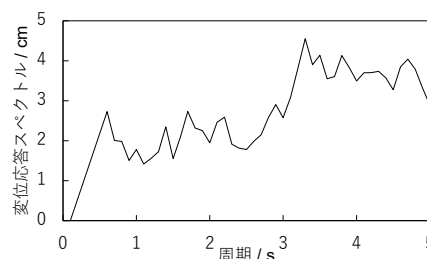


図3 入力地震動の変位応答スペクトル
(減衰定数 0.03)

2.3 免震材料の初期剛性ばらつき

表1に免震材料の初期剛性ばらつき範囲^{4) 5)}を示す。本研究では入力地震動の規模が小さいことから，弾性域の水平剛性がばらつくと仮定した。そのため，NRBと鉛ダンパーの初期剛性が一斉に最小値・標準値・最大値のときの変位応答を算出し，実際の免震層水平剛性の推定が可能であるのかについて検討した。

表1 免震材料の初期剛性ばらつき範囲^{4) 5)}

免震材料	最小値	最大値
NRB	-15%	+26%
鉛ダンパー	-37%	+37%

3. 解析結果

図 4 に免震層変位の時刻歴応答波形を示す。初期剛性が標準値・最小値・最大値のときの解析結果と観測記録を比較すると、すべての結果において免震層最大変位は観測記録より解析結果の方が大きくなる結果となった。実際の観測記録は解析結果のように免震機能を発揮していなかったのではないかといえる。加えて、実際は免震建物の周辺に変位応答を阻害している要因があるのではないかと考えた。そこで、第 4 章にてその阻害要因に関する現地調査を実施した。

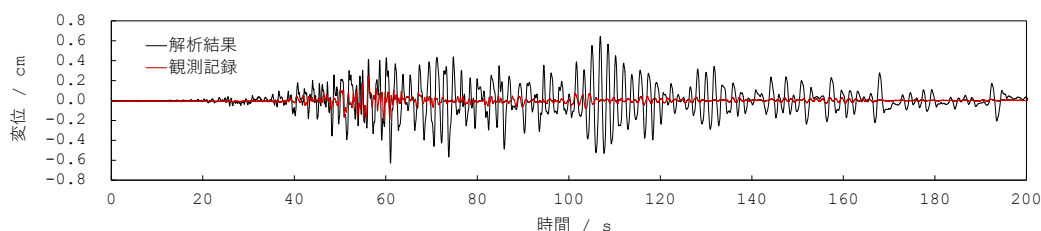


図 4 免震層変位の時刻歴応答波形（初期剛性：標準値のとき）

4. 免震層変位応答の阻害要因

2024 年 6 月 24 日に、第 2 著者と謝辞に記載した方々の案内のもと、現地調査を実施した。写真 1 に東京電機大学千住キャンパス 1 号館の周辺写真、図 5 に建物外周の詳細図を示す。写真 1 に示すように、変位応答の阻害要因には様々なものが挙げられる。本検討では入力地震動のレベルが小さく、また、これらの阻害要因によって、免震機能が発揮されていないのではないかと考えられる。このことから、提案手法を実用化するには、免震機能が発揮されたときの観測記録が必要であるということが分かった。

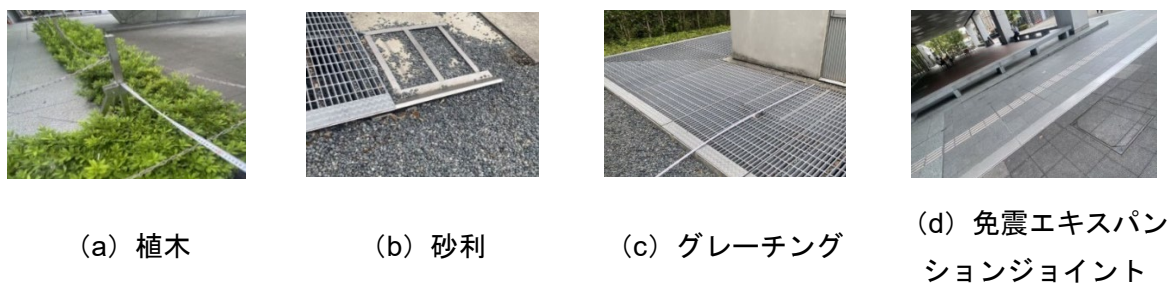


写真 1 東京電機大学千住キャンパス 1 号館の周辺写真（それぞれの位置は図 5 に示す）

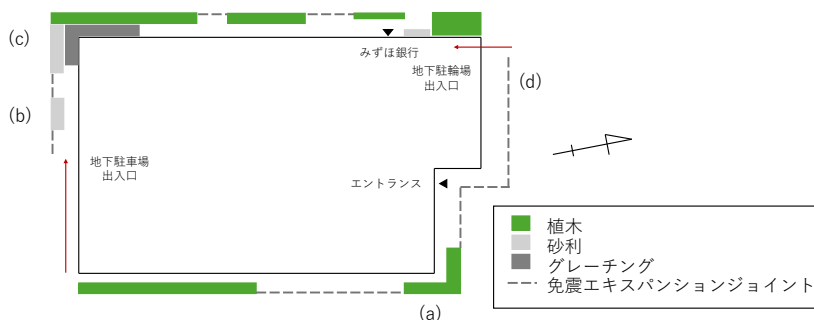


図 5 1 号館の外構図

5. 結論

本研究では、著者らがこれまでに提案してきた低コストかつ容易な免震層水平剛性推定手法が実用可能であるのかについて、東京電機大学千住キャンパス 1 号館における観測記録を活用し検討した。対象建物は提案手法で必要としている中程度の地震動（震度 5 弱以上の地震動）を経験したことがない。そのため、最近に観測された地震動を活用し、免震層水平剛性の推定を試みたが、すべての解析において免震層最大変位は観測記録より解析結果の方が大きくなる結果となった。これは、入力地震動が小さく、かつ実際の建物外周には免震層の変位応答を阻害する要因があったことが原因であると考えられる。このことから、提案手法を実用化するためには、免震機能がある程度発揮されたときの観測記録が必要であるということが明らかとなった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K04420 の助成を受けたものです。本研究では対象建物である東京電機大学千住キャンパス 1 号館の現地調査を行う際に、同大学大学院未来科学研究科の博士後期課程 3 年生の横山晴紀様、博士前期課程 2 年生の大谷光音様、管財担当の内藤眞拓様、久合田由美様に甚大なご協力を頂いた。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 長谷川泰稔, 飛田潤, 福和伸夫, 八木茂治, 北村敏也: 実大免震建物の振動実験と共振観測, 構造工学論文集, Vol.46B, pp.574-575, 2023
- 2) 宮内智香, 平井敬, 永野康行: 観測地震動と免震層最大変位に基づく免震層水平剛性の推定手法, 減災復興学研究, Vol.1, pp.24-28, 2024
- 3) 今田修一, 藤田聡, 皆川佳祐, 原田公明, 中溝大機, 井山義信: 地震観測データ分析に基づく免震構造物の振動性状同定に関する研究, 日本機械学会, No.14-17, 2014
- 4) 株式会社ブリヂストン: 建築免震用積層ゴム製品仕様一覧 2023 Vol. 1, https://www.bridgestone.co.jp/products/dp/antiseismic_rubber/product/pdf/product_catalog_202309r1.pdf, 2023 (参照 2024 年 11 月 25 日)
- 5) ケイミューシポレックス株式会社: Lead Damper 免震構造用鉛ダンパー, https://www.kmew-siporex.jp/data/download/pdf/lead_damper.pdf, 2024 (参照 2024 年 11 月 25 日)

Note:

Estimation of Horizontal Stiffness of Seismic Isolation Layer Using Observation Records of Actual Buildings

Tomoka Miyauchi¹, Takeshi Asakawa², Makoto Yamakawa³, Yasuyuki Nagano⁴

¹ Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Graduate Student

² School of Science and Technology for Future Life, Tokyo Denki University, Associate Professor, Dr. Eng.

³ Faculty of Engineering, Tokyo University of Science, Professor, Dr. Eng.

⁴ Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Professor, Dr. Eng.

Abstract

In this study, the authors examined the practical feasibility of their method for estimating the horizontal stiffness of seismic isolation layers by using the observation records of an actual building. As a result, it was found that the proposed method is an ideal method for estimating the horizontal stiffness of seismic isolation layers. In order to make the proposed method practical, a field survey was conducted to clarify the differences between the actual building and the analysis. The results of the investigation showed that the actual seismic isolation building has factors around the building perimeter that inhibit the displacement of the seismic isolation. The results indicate that the proposed method requires observation records of seismic displacement when the seismic isolation function is activated. The purpose of this study is to contribute to disaster mitigation and recovery studies by developing a low-cost and easy-to-use method for estimating the horizontal stiffness of seismic isolation layers.

Keywords: Seismic isolation building, Disaster reduction, Disaster recovery, Horizontal stiffness, Performance variance