

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14063

研究課題名(和文) 浮き上がり機構を持つ超高層免震建物の実挙動解明とそれを考慮した設計法の構築

研究課題名(英文) Actual Behavior and Design Method of Super-tall Isolated Building which has Uplift Mechanism

研究代表者

笠井 和彦 (Kasai, Kazuhiko)

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：10293060

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年は塔状比が高い超高層建物に免震構造を適用する例が増えている。その際、積層ゴムアイソレーターの引張破壊を避けるために浮き上がり機構を設ける場合があるが、その挙動の詳細は明らかになっていない。そこで、以下の検討を行った。

(1) 浮き上がり機構を有し、かつ多くの地震計が設置されている東京工業大学の超高層免震建物を対象とし、地震時の挙動を精度良く再現できる立体フレームモデルを作成した。
(2) そのモデルを用いて、入力を様々に変化させた地震応答解析を行い、建物設計時の想定より危険側の応答となる可能性があることを把握した。

研究成果の概要(英文)：Seismic isolation has been applied increasingly to super-tall buildings with high aspect ratios. The applications however can lead to the tension failure of the laminated rubber isolators due the upward force against the isolators, and the technology to allow uplift of the isolator was developed is in actual use now. However, since performance of such technology has not been verified, the following studies were conducted:

(1) A 3-D frame model was created to simulate seismic behavior of a 20-story base-isolated bldg. that uses such technology and at has many sensors of acc., dis., and strains. The model located in the campus of Tokyo Institute of Technology is found to accurately simulate the bldg. behavior recorded during the past earthquake.

(2) Based on the 3-D dynamic analyses of the model using many different ground motion records, it's observed that the building with such technology could become critical in some cases and require further study on the uplift of base-isolated bldgs.

研究分野：工学

キーワード：免震構造 超高層建物 浮き上がり 地震応答解析 強震観測 フレームモデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 1995年の阪神・淡路大震災により免震構造の需要が高まり、2011年の東日本大震災により、その勢いは急速に伸びている。近年は超高層の集合住宅や事務所ビルにも免震構造が採用されるケースが急増しているが、塔状比が高くなるため、免震層の積層ゴムアイソレーターの軸力変動が宿命的に大きくなる。加えて、上部構造の短周期化を図るために局所的な剛性要素を用いると、地震時に特定の積層ゴムへ応力が集中し、引張軸力を誘発する。積層ゴムは一般に引張耐力が圧縮耐力の3%程度と極めて低く、引張軸力を制限するための対策の一つとして、積層ゴムに浮き上がり機構を持たせる手法が提案されている。

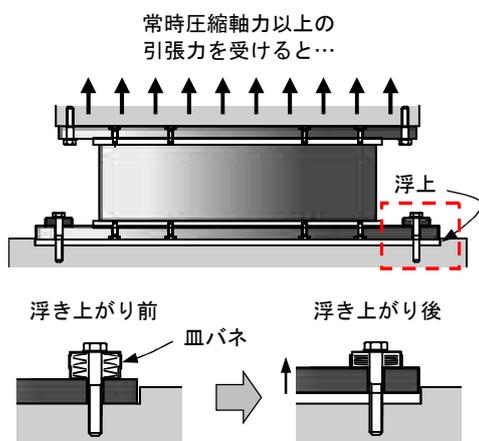


図1 積層ゴムの浮き上がり機構

(2) 浮き上がりの影響を構造設計時に正しく評価することが重要といえるが、通常の免震構造のように浮き上がりを考慮しないせん断棒モデルの時刻歴応答解析と、その結果を用いた各部の静的解析を行うだけでは、実際の挙動に対して大きな誤差が生じる可能性がある。すなわち、浮き上がると建物の剛性バランスが変化し、その構造設計モデルでは挙動を再現することができない可能性がある。浮き上がり機構を免震構造の適用範囲拡大のためのツールの一つとして位置づけるためには、既往の実務的な時刻歴応答解析モデル化に、浮き上がりの影響を的確に加味する必要があると考えられる。

(3) 東京工業大学にある浮き上がり機構を有する超高層免震建物（以後、J2棟）は、加速度計、変位計、歪ゲージなど、計45ch.という極めて多数のセンサーにより常時観測が行われており、これは一棟の建物としては日本最多の観測チャンネル数である。かつ、J2棟は東日本大震災での挙動も詳細に得られ、世界で初めて浮き上がりの実挙動の計測に成功しており（参考文献①参照）、上述した検討を行うのに最適と考えられる。

2. 研究の目的

J2棟の浮き上がり後の挙動を正確に再現できる詳細なフレームモデルを作成し、構造設計の際に考慮された応答との比較を行う。それにより、様々な地震に対するJ2棟の安全性を検証するとともに、J2棟の浮き上がり後の真の応答について分析する。

3. 研究の方法

(1) 本研究で対象とするJ2棟は観測点数が合計45chと極めて多く、かつ東日本大震災の記録をはじめ、多くの強震観測データが得られていることから、それらの記録を詳細に分析する。

(2) J2棟の構造設計時の資料をもとにして、観測記録で得られた地震時挙動をほぼ正確に再現できる詳細な立体フレームモデル（図2）を構築する。

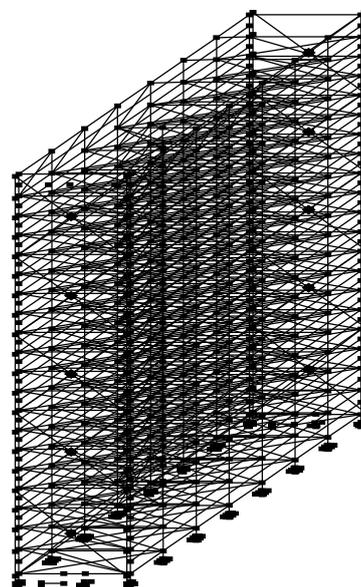
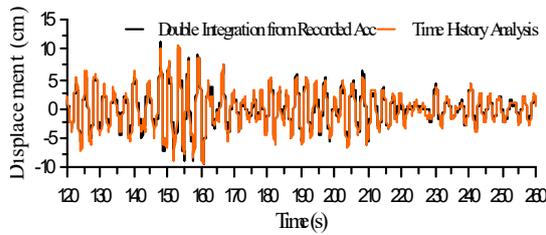


図2 J2棟の詳細な立体フレームモデル

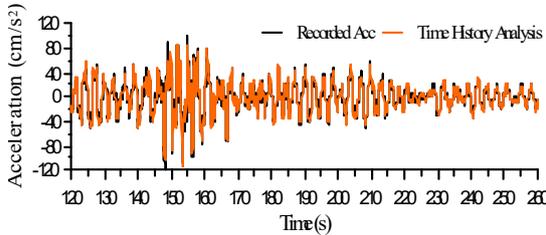
(3) 構築した詳細な立体フレームモデルに対して、観測された地震動より大きい様々な地震動を入力し、最大加速度や最大変位、上部構造および建物全体としての周期・減衰の変動、各部材の応力などについて整理することで、浮き上がり後のJ2棟の挙動を詳細に把握する。

4. 研究成果

(1) 東日本大震災やその前後におけるJ2棟の観測記録をもとに、伝達関数のカーブフィッティングやARX法によりシステム同定等を行うことで、J2棟の固有周期や減衰定数などの動的特性を詳細に把握した。また、構造設計時の予測と実際の挙動が概ね一致していることや、浮き上がり前の動的特性の変動などを把握した。

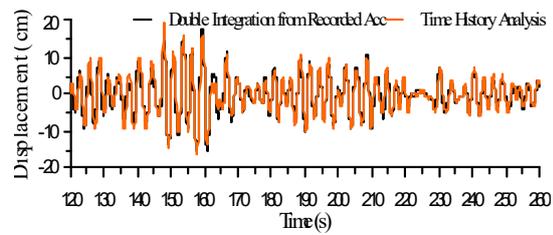


(a) 免震層上部に対する最上階の相対変形

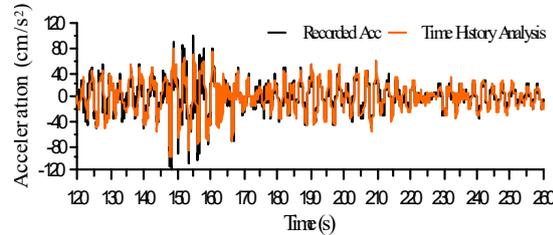


(b) 最上階の絶対加速度

図3 観測と解析の比較（上部構造のみ）



(a) 免震層下部に対する最上階の相対変形



(b) 最上階の絶対加速度

図4 観測と解析の比較（建物全体）

(2) 東日本大震災における観測記録を精度高く再現できる詳細な立体フレームモデルを構築した。原則として構造設計時の資料をもとにしているが、免震層に用いられているU型鋼材ダンパー・オイルダンパーの挙動は、設計で用いた規格値と異なる挙動を示していたことが観測から明らかになったため、それを考慮してモデル化することで、解析精度を向上させた。構築した立体フレームモデルは図3、4で示すように、東日本大震災における強震観測の結果を精度良く再現できることを確認している。

(3) 構築したJ2棟の立体フレームモデルを用いて様々な解析検討を行った。それにより、①2方向の入力を考慮することで、設計時に想定されているよりも小さい入力で浮き上がりが始まること、②レベル2相当の極稀地震に対しては、設計で想定されているよりも大きい浮き上がり変位を生じる可能性があること、③浮き上がり後の全体応答への影響は比較的小さかった（入力の大きさと最大変位の関係は線形的であった）ものの、浮き上がり後は局所変形が大きくなり、それによって部材の一部が損傷する可能性があることなどがわかった。特に、一部のアイソレータが大きく浮き上がると、浮き上がり機構を持たない隣のアイソレータへと引っ張り力が伝達し、危険な状態になる可能性があることなどがわかった。

<参考文献>

- ①松田和浩, 笠井和彦: 東北地方太平洋沖地震における観測記録を用いた超高層免震建物の動的挙動に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第704号, pp. 1445-1455, 2014年10月

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)
該当なし

[学会発表] (計2件)

- ①シムアンパン・サラン, 笠井和彦, 松田和造: Development of 3D Frame Model of High-Rise Base-Isolated Building, 日本建築学会大会学術講演, B-2分冊, pp. 495-496, 九州, 2016年8月

- ② Kazuhiro MATSUDA, Kazuhiko KASAI: Dynamic Responses of High-Rise Base-Isolated Building during the 2011 Great East Japan Earthquake, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE 2015), CD-ROM, Nara, Japan, 2015.5

[図書] (計0件)
該当なし

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)
該当なし

○取得状況 (計0件)
該当なし

[その他]

ホームページ等

<http://www.serc.titech.ac.jp/~kasailab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笠井 和彦 (KASAI Kazuhiko)

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号: 10293060

(2)研究分担者

佐藤 大樹 (SATO Daiki)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：40447561

松田 和浩 (MATSUDA Kazuhiro)

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：80567397

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

シムアンパン サラン (Thimamphant Sarun)