

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 11 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760531

研究課題名(和文) 観測記録に基づく超高層免震建物の強風時における並進・捩れ振動に関する研究

研究課題名(英文) Study on translational and torsional vibration in high rise isolated building at strong wind based on observation record

研究代表者

佐藤 大樹 (Sato, Daiki)

独立行政法人防災科学技術研究所・減災実験研究領域 兵庫耐震工学研究センター・特別研究員

研究者番号：40447561

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は超高層免震建物が風外力が作用した際の並進・捩れ振動について、東京工業大学すずかけ台キャンパスに建設されている、超高層免震建物の過去5年間の観測および風洞実験結果を用いて、風応答特性を明らかにすることが目的である。

捩れ振動は風速・風向によっては併進振動と同等の値となることが確認された。頂部平均風速から、免震層に作用するせん断力を算出する手法を提案した。算出した剛性は設計値に対して約1.5倍であった。観測記録の固有振動数が設計値に比べ高い理由は、免震装置の微小変形時の剛性が高いことが原因と考えられる。風洞実験結果を用いた応答予測値は観測値に比べて安全側の評価を与えることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In the present study, it is a purpose to clarify the wind response characteristic by using the past five years observation and the wind tunnel test result for the high rise isolated building about the translational and the torsional vibration when the wind external force acts on.

It was confirmed that the torsional vibration reached the value equal with the translational vibration according to the velocity of the wind and the wind direction. The method for calculating shearing force that acted on the seismic isolation layer was proposed from the top mean wind speed. The evaluated-stiffness was about 1.5 times as large as the design. It is thought that natural frequency of the record reached a high value compared with the design because the stiffness when the seismic isolator is slight deformation is high. It was confirmed that the prediction response value that used the wind tunnel test result gave the evaluation of the safety side compared with the observation.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：超高層免震建物 長期観測 風応答 併進振動 捩れ振動 免震層剛性 居住性評価 残留変形

1. 研究開始当初の背景

1995年の阪神淡路大震災の発生以降、人命だけでなく財産の保護、さらには建物機能を地震直後にも維持でき、経済活動が停止しない免震構造の建設が多くなされてきた。近年では中低層だけでなく、100mを超えるような超高層建物にも免震構造が適用されてきている。

本来、免震構造は、剛性の高い上部構造の下に剛性の低い免震装置を取り付けることで、建物全体(免震周期)を長周期化し、地震の卓越周期から遠ざけることで、建物と地震動の共振現象を避け、建物に入力される地震エネルギーを低減するものであった。さらに、上部構造は剛体として考えられるため、建物全体を単純な一質点系と考えることができ、設計上の簡便性があった。しかし、近年では上部構造の高層化に伴い、次のような問題点が指摘されてきている。

問題点1. 上部構造の高層化(長周期化)による免震効果の低減。

問題点2. 上部構造の高層化による風力の増加に伴う風応答への対応。

問題点3. 上部構造の高層化に伴う高次モード応答の発生。

本研究では、上記の問題点のうち、2と3の一部を対象とする。高層建物に風によって振動が発生すると、居住者は不快に感じるばかりでなく、生活を営む上で支障をきたすこともある。風による居住性の評価は、再現期間1年の風速に対して、建物の応答加速度の最大値で評価される。

東京工業大学すずかけ台キャンパスに設置されている超高層免震建物(21階建 J2棟)の観測記録より、地震応答時には並進成分が卓越しているのが、強風時の応答加速度には1次と2次の並進固有振動数の間に捩れ成分を有しており、さらにその捩れ成分は1次の並進成分と同等のパワーを有することを、研究代表者らは明らかにしている。

このような並進・捩れ振動は、建物の形状・風向および建物に作用する風外力の平面的な不均一性によって引き起こされることは、風洞実験より明らかとなっているが、実建物に対して風による捩れ振動を報告している例は国外を含めて非常に少ない。かつ超高層免震建物は下部に剛性の低い免震装置を有するため、通常の超高層建物に比べて、並進・捩れ振動の発生は顕著となる可能性がある。また、上述したように居住性の評価は、再現期間1年の風速に対して、建物の応答加速度の最大値で評価されるが、現状では、捩れ振動を無視した並進振動のみで評価している。

2. 研究の目的

本研究は超高層免震建物に風外力が作用した際の並進・捩れ振動について、東京工業大学すずかけ台キャンパスに建設されている、超高層免震建物(以下、J2棟)の過去5

年間の観測および風洞実験結果を用いて、風応答特性を明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

東京工業大学すずかけ台キャンパスに建設されている、超高層免震建物(以下、J2棟)の過去5年間の観測記録の中から、風速の高い2007年10月27日の台風20号と、2011年9月21日の台風15号に着目し、超高層免震建物の風応答特性について検討を行った。さらに風洞実験を実施し、観測記録との比較検討を行った。

4. 研究成果

初年度は、東京工業大学すずかけ台キャンパスに建設されている、超高層免震建物(以下、J2棟)の過去5年間の観測記録の中から、風速の高い2007年10月27日の台風20号と、2011年9月21日の台風15号に着目し、超高層免震建物の風応答特性について検討を行った。

はじめに、風向・風速の違いが建物の並進・捩れ振動性状に与える影響について、20階で観測された加速度データを用いて詳細な検討を行った。検討の結果、J2棟における風応答時の捩れ振動は大きく、風速・風向によっては併進振動と同等の値となることが確認された。J2棟のように扁平な平面形状を有する超高層免震建物の場合、併進振動だけでなく捩れ振動にも注意した応答評価が必要である。さらに、併進振動に含まれる高次モードの寄与率について加速度記録を用いて評価した。併進成分に含まれる高次モードの寄与は低風速時には比較的大きいが、風速が高くなる領域では1次モードが90%程度を占めることが確認された。建物の固有周期と最大応答加速度により、J2棟での風応答時の知覚確率の評価を行った。2007年10月27日の台風20号では10%の人間が揺れを感じるH-10となったが、2011年9月21日の台風15号では90%の人間がゆれを感じるH-90となった。

さらに、風応答時の免震層の変形に着目した検討も行った。風速の増大により免震層の変形が確認された。免震層変形は免震層に設置されている鋼製ダンパーの弾性範囲内ではあったが、免震層での非線形挙動により、固有振動数免震層の変形にともない低下することを確認した。また、台風通過後には免震層に残留変形が残ることを確認した。

次年度は、免震層の風応答時の剛性について設計値と比較し検討を行った。免震層の剛性を観測記録から算出する場合、免震層の変形と免震層に作用する層せん断力が必要となる。変形については観測記録を用いることができるが、せん断力については何かしらの方法を用いて算出する必要がある。地震観測において、絶対加速度記録と建物質量より算出した慣性力を用いて、免震層に作用しているせん断力の時刻歴を推定する手法が用い

られることが多い。しかし、各層に作用している外力を計測することができない風応答については、上記の手法を用いることができない。本研究において、観測されている10分毎の頂部平均風速から、粗度区分を仮定し、高さ方向の平均風速分布を推定する。さらに、上部構造に作用する10分間の平均風力を算出し、免震層に作用するせん断力を算出する手法を提案した。

算出した剛性は設計値に対して約1.5倍となった。この剛性を用いた簡単なせん断モデルを作成し固有値解析から固有振動数を算出した値は観測記録とよい対応を示した。観測記録の固有振動数が設計値に比べ高い理由は、免震装置の微小変形時の剛性が高いことが原因と考えられる。

最終年度は免震層剛性の評価手法の新たな手法の提案および風応答時における建物的特性の評価を行い、風洞実験結果との比較検討を行った。風洞予測値は観測値に比べて安全側の評価を与えるものの、免震層などを有するような非線形性の強い構造特性を有する建物に対し、より高い精度で応答を予測する場合には、非線形性を適切に反映した応答解析ならびにピークファクターの評価が課題として挙げられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 21件)

- 1) 佐藤大樹, 鈴木勇人, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 超高層免震建物の観測記録に基づく風応答の分析, 第22回風工学シンポジウム論文集, pp.251-256, 2012.12 (査読有)
- 2) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 片桐純治, 鶴見俊雄, 北村春幸, 大熊武司: 風洞実験より得られた層風力のサンプル数が高層建築物の時刻歴風応答評価に及ぼす影響, 日本建築学会技術報告集, 第18巻, 第39号, pp.489-494, 2012.6 (査読有)
- 3) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 鈴木悠也, 北村春幸: 変動風力を受ける超高層建築物の高次モード応答特性, 日本建築学会技術報告集, 第18巻, 第38号, pp.79-84, 2012.2 (査読有)
- 4) 普後良之, 佐藤大樹, 田村哲郎, 中村修, 勝村章, 笠井和彦: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その4 長期観測記録による応答加速度の非超過確率分布予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.199-200, 2013.8 (査読無)
- 5) 池上昌志, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 小川諒, 北村春幸: 変動風力を受ける多質点弾塑性建物のエネルギー吸収分担の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.201-202, 2013.8 (査読無)
- 6) 小川諒, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸: 超高層免震構造物の多質点風応答性状について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.555-556, 2013.8 (査読無)
- 7) 小川諒, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸: 狭帯域性の変動風力を受ける超高層免震構造物の応答変位確率密度分布, 日本風工学会誌, 第38巻 第2号 No135, pp.181-182, 2013.4 (査読無)
- 8) 佐藤大樹, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 観測記録に基づく免震層剛性の評価, 日本風工学会誌, 第38巻 第2号 No135, pp.183-184, 2013.4 (査読無)
- 9) 池上昌志, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 小川諒, 北村春幸: 変動風力を受ける超高層制振建物の構造減衰による吸収エネルギーの評価, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2031, 2013.2 (査読無)
- 10) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸: 変動風力を受ける履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の損傷評価手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.903-904, 2012.9 (査読無)
- 11) 普後良之, 田村哲郎, 中村修, 佐藤大樹, 鈴木勇人, 笠井和彦, 北村春幸: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その1 観測概要および建物頂部における風の特長, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.209-210, 2012.9 (査読無)
- 12) 佐藤大樹, 鈴木勇人, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その2 風応答特性および居住性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.211-212, 2012.9 (査読無)
- 13) 鈴木勇人, 佐藤大樹, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その3 風応答時の免震層変形の特長, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.213-214, 2012.9 (査読無)
- 14) 小川諒, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 平井宏幸, 北村春幸: 平面形状の違いが超高層免震建物の風応答に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.215-216, 2012.9 (査読無)
- 15) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸: エネルギーの釣合いに基づく変動風力を受ける超高層制振建物の損傷分配評価, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2011, 2012.3 (査読無)
- 16) 鈴木勇人, 佐藤大樹, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 超高層免震建物の観測記録に基づく風応答特性の評価に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2020,

2012.3 (査読無)

- 17) 小川諒, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 平井宏幸, 北村春幸: 断面形状の異なる超高層免震建物の多質点系モデルを用いた風応答評価, 日本建築学会関東支部研究報告集 (CD-ROM), 2021, 2012.3 (査読無)
- 18) 佐藤大樹, 吉江慶祐, 平井宏幸, 早田友彦, 北村春幸: 超高層建物の風洞実験により得られた多層層風力に基づく風応答特性 (その1) 風洞実験による風力時刻歴のばらつき, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.605-606, 2011.8 (査読無)
- 19) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 早田友彦, 北村春幸: 超高層建物の風洞実験により得られた多層層風力に基づく風応答特性 (その2) 時刻歴風応答解析におけるアンサンブル平均のばらつき, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.607-608, 2011.8
- 20) 佐藤大樹, 吉江慶祐, 平井宏幸, 安田憲史, 早田友彦, 北村春幸: 風洞実験に基づく超高層建物の多層層風力による風応答特性 (その1) 風洞実験により得られた風力性状の評価, 日本風工学会誌, 第36巻 第2号 No127, pp.151-152, 2011.4 (査読無)
- 21) 平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 安田憲史, 早田友彦, 北村春幸: 風洞実験に基づく超高層建物の多層層風力による風応答特性 (その2) 時刻歴風応答解析におけるアンサンブル平均のばらつき, 日本風工学会誌, 第36巻 第2号 No127, pp.153-154, 2011.4 (査読無)

[学会発表](計 20件)

- 1) 佐藤大樹: (1) 超高層免震建物 (東工大 すすかけ台 J2 棟) の風応答, 平成25年度 構造専門研究委員会「合同 WG」, 2014.3.5, 東京 (招待講演)
- 2) 佐藤大樹: 超高層免震建物の観測記録に基づく風応答の分析, 第22回風工学シンポジウム, 2012.12.5-7, 東京
- 3) 普後良之: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その4 長期観測記録による応答加速度の非超過確率分布予測, 日本建築学会大会学術講演, 2013.8.30-9.1, 北海道
- 4) 池上昌志: 変動風力を受ける多質点弾塑性建物のエネルギー吸収分担の分析, 日本建築学会大会学術講演, 2013.8.30-9.1, 北海道
- 5) 小川諒: 超高層免震構造物の多質点風応答性状について, 日本建築学会大会学術講演梗概, 2013.8.30-9.1, 北海道
- 6) 小川諒: 狭帯域性の変動風力を受ける超高層免震構造物の応答変位確率密度分布, 日本風工学会年次研究発表会,

2013.5.29-30, 宮城

- 7) 佐藤大樹: 観測記録に基づく免震層剛性の評価, 日本風工学会年次研究発表会, 2013.5.29-30, 宮城
- 8) 池上昌志: 変動風力を受ける超高層制振建物の構造減衰による吸収エネルギーの評価, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2013.2.20-21, 東京
- 9) 平井宏幸: 変動風力を受ける履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の損傷評価手法, 日本建築学会大会学術講演, 2012.9.12-14, 愛知
- 10) 普後良之: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その1 観測概要および建物頂部における風の特性, 日本建築学会大会学術講演, 2012.9.12-14, 愛知
- 11) 佐藤大樹: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その2 風応答特性および居住性能評価, 日本建築学会大会学術講演, 2012.9.12-14, 愛知
- 12) 鈴木勇人: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その3 風応答時の免震層変形の特性, 日本建築学会大会学術講演, 2012.9.12-14, 愛知
- 13) 小川諒: 平面形状の違いが超高層免震建物の風応答に与える影響, 日本建築学会大会学術講演, 2012.9.12-14, 愛知
- 14) 平井宏幸: エネルギーの釣合いに基づく変動風力を受ける超高層制振建物の損傷分配評価, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2012.3.7-10, 東京
- 15) 鈴木勇人: 超高層免震建物の観測記録に基づく風応答特性の評価に関する研究, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2012.3.7-10, 東京
- 16) 小川諒: 断面形状の異なる超高層免震建物の多質点系モデルを用いた風応答評価, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2012.3.7-10, 東京
- 17) 佐藤大樹: 超高層建物の風洞実験により得られた多層層風力に基づく風応答特性 (その1) 風洞実験による風力時刻歴のばらつき, 日本建築学会大会学術講演, 2011.8.23-25, 東京
- 18) 平井宏幸: 超高層建物の風洞実験により得られた多層層風力に基づく風応答特性 (その2) 時刻歴風応答解析におけるアンサンブル平均のばらつき, 日本建築学会大会学術講演, 2011.8.23-25, 東京
- 19) 佐藤大樹: 風洞実験に基づく超高層建物の多層層風力による風応答特性 (その1) 風洞実験により得られた風力性状の評価, 日本風工学会年次研究発表会, 2011.5-24-25, 大阪
- 20) 平井宏幸: 風洞実験に基づく超高層建物の多層層風力による風応答特性 (その2) 時刻歴風応答解析におけるアンサンブル平均のばらつき, 日本風工学会年次研究発表会, 2011.5-24-25, 大阪

〔図書〕(計 1件)

- 1) 免震構造設計指針，日本建築学会，
2013,10(共著)；第4項 免震建物の地震
観測記録と実証実験 4.8 東京工業大学
すずかけ台キャンパスの高層免震建物の
地震観測記録(執筆担当：吉敷祥一，佐藤大樹)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 大樹 (Sato, Daiki)

防災科学技術研究所 減災実験研究領域
兵庫耐震工学研究センター 特別研究員
研究者番号：40447561

(2) 研究分担者

(なし)

研究者番号：

(3) 連携研究者

(なし)

研究者番号：