

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	3次元モデルを用いた超高層免震建物の弾塑性風応答解析
Title(English)	Elasto-plastic Wind Response Analysis of High-rise Seismic Isolated Building using Three-dimensional Model
著者(和文)	中井亜里沙, 佐藤大樹, 村上智一, 普後良之, 田村哲郎
Authors(English)	Arisa Nakai, Daiki Sato, Tomokazu Murakami, Yoshiyuki Fugo, TETSURO TAMURA
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 121-122
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 121-122
発行日 / Pub. date	2017, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

3次元モデルを用いた超高層免震建物の弾塑性風応答解析

正会員
同
同○中井 亜里沙*1
村上 智一*1
田村 哲郎*1同
同佐藤 大樹*1
普後 良之*2風応答観測
Rainflow 法超高層免震建物
疲労損傷評価弾塑性風応答解析
風向

1. はじめに

近年、超高層建物にも免震構造が採用される例が増えてきた。建物の高層化に伴い風力も増大するため、設計段階の解析による検討が風応答特性を把握する上で不可欠である。地震応答観測記録に基づき解析モデルの応答を評価した研究は数多く行われている^{例えは 1), 2)}。しかし、風観測記録に基づき解析モデルの応答を確認した例は殆どなく³⁾、解析モデルの妥当性は検証されていないのが現状である。

本研究では、実建物の 3 次元応答解析モデルを設計図書に基づき作成し、免震層変位の観測記録より得られた応答変位と、応答変位から求められる鋼材ダンパーの疲労損傷度 (D 値) を解析結果と比較することで、解析モデルの妥当性を確認することを目的とする。本報ではその初期段階として、風洞実験より得られた層風力を解析モデルに作用させて風向による応答変位および鋼材ダンパーの D 値の違いを分析する。層風力は、免震層が弾性範囲である再現期間 1 年と、免震層が弾塑性応答をする再現期間 1000 年のそれぞれの風速に対して作成した。

2. 解析対象建物および解析モデル概要

東京工業大学すずかけ台キャンパス (横浜市緑区) には超高層免震建物として総合研究棟 2 号館⁴⁾ (以後、J2 棟) がある。図 1 に立面図を示すように、J2 棟は長辺と短辺の比が 2.9 の扁平な平面形を有する。図 2 に免震装置配置図を、表 1 に鋼製ダンパー概要を示す。免震層は天然ゴム系積層ゴム支承 (NRB1100, NRB1200) 計 16 基、U 型鋼製ダンパー計 14 基、オイルダンパー 2 基 (X 方向のみ) から構成されている⁵⁾。

図 3 に解析モデルの概観を示す。解析モデルは、設計図書から部材モデルを作成し、各階外周部の梁に等分布荷重を与えることで重量を調整した。また、免震層は、天然ゴム系積層ゴム支承はマルチシアスプリング要素、U 型鋼製ダンパーは標準バイリニア型、オイルダンパーはマクスウェル要素でモデル化した。減衰定数は、上部構造 1% の剛性比例型とし、免震層を 0% とした。解析モデルの固有周期は上部構造で 2.12 秒 (X 方向)、2.10 秒 (Y 方向)、建物全体で X 方向、Y 方向ともに 2.79 秒である。解析刻みは 0.02 秒とした。立体モデルには X、Y 軸方向風力および Z 方向揺れモーメントの 3 成分を同時入力した。解析に用いる変動風力は風洞実験の相似則に基づき風洞実験結果を換算した時刻歴波形を用いる。なお、解析開始時における過渡応答を避けるため、波形の先

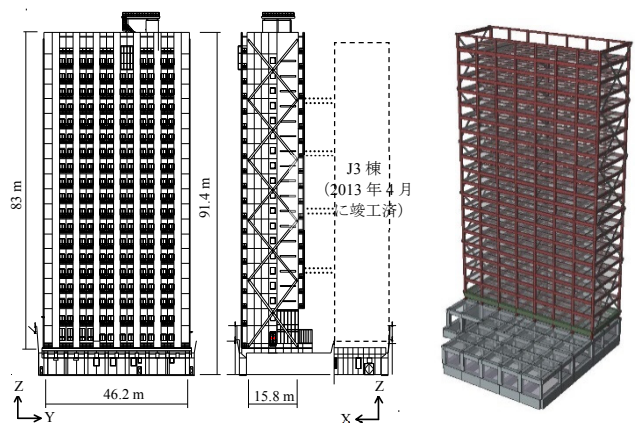


図 1 J2 棟立面図

図 3 解析モデル概観

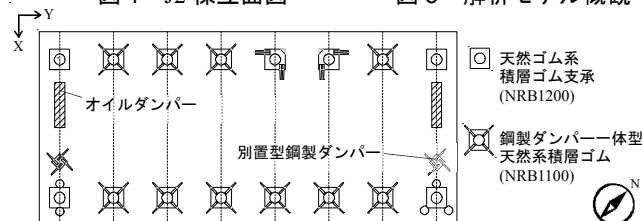


図 2 免震装置配置図

表 1 鋼製ダンパー概要

ダンパー基数			降伏変位 (cm)	降伏荷重 (kN)	ダンパー部 高さh (cm)
一体型	別置型	計			
12	2	14	3.17	304	37.4

頭 50 秒間に三角関数のエンベロープを設けた⁶⁾。応答評価は後半の 600 秒間で行った。なお、解析プログラムとして RESP-F3T (Ver.1.5.1) を用いた。

3. 風洞実験結果

構造物に作用する風外力は風圧実験により作成した。実験気流として地表面粗度区分Ⅲを用いた⁷⁾。図 4 に J2 棟単体時における風力係数の風向変化を示す。全風向において X 方向の風力係数は平均、変動ともに Y 方向よりも大きい。

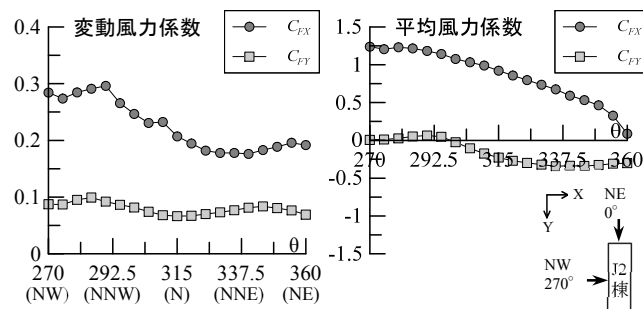


図 4 風力係数の風向変化

Elasto-plastic Wind Response Analysis of High-rise Seismic Isolated Building using Three-dimensional Model

NAKAI Arisa, SATO Daiki, MURAKAMI Tomokazu,
FUGO Yoshiyuki, TAMURA Tetsuro

4. 風向毎の免震層変形の標準偏差

本報では解析モデルが対称であることから、NW 方向 (270°) から NE 方向 (360°) の 5 方向を対象として分析を行った。図 5 に、一例として再現期間 1000 年風速の NNW 方向における X 方向および Y 方向の免震層履歴曲線を示す。図 5 より再現期間 1000 年風速では X 方向および Y 方向ともに、鋼製ダンパーの降伏変位 (表 1) を超えており、塑性化していることが確認できる。なお、再現期間 1 年風速の場合は弾性的な応答を示す履歴曲線であることを確認した。

図 6(a), (b) に再現期間 1 年風速および 1000 年風速における風向毎の免震層変形の標準偏差を示す。なお、5 波 (10 分間) のアンサンブル平均値で評価する。図 6 より、全風向において X 方向の標準偏差が Y 方向よりも大きい。X 方向の NNW 方向を他の風向と比較すると、再現期間 1 年風速では NNE の約 1.1 倍、再現期間 1000 年風速では NE の約 1.8 倍であった。

5. 鋼製ダンパーの疲労損傷の分析

本章では、X 方向および Y 方向それぞれに対して、鋼製ダンパーの疲労損傷評価を行う。疲労損傷度 (D 値) は、Rainflow 法⁹⁾より算出した免震層変位の全振幅 δ_k 毎に、Miner 則を用いて算出する。破断回数 N_f は式(1)に示すように、免震層の平均せん断変形角 γ_k %との関係式⁹⁾により算出する。なお、 γ_k %は、全変位振幅 δ_k を鋼製ダンパー高さ h (表 1) で除した式(2)で表される。

$$\gamma_k = 35 N_f^{-0.15} + 3620 N_f^{-0.80} \quad (1)$$

$$\gamma_k = \frac{\delta_k}{h} \times 100 \quad (2)$$

図 7(a), (b) に再現期間 1 年風速および 1000 年風速における風向毎の鋼製ダンパーの D 値を示す。なお、D 値についても 5 波 (10 分間) の平均値で評価する。図 7 より、全風向において Y 方向より X 方向の D 値が大きく、免震層変形の標準偏差と同様に、NNW のときに最大値を示す。また、NNW の X 方向の D 値に着目すると、再現期間 1 年風速では NNE の約 22 倍であるのに対して、再現期間 1000 年風速では NE の約 175 倍である。再現期間 1000 年風速の変位の標準偏差は NNW に対する NE の比が 1.8 倍程度であるが、D 値は大きな差として示された。これは、再現期間 1000 年風速では鋼材ダンパーが塑性化するため剛性が低下し応答変位が大きくなること、免震層せん断変形角と破断回数の関係は、(1)式に示すように対数的な変化をするため、変位が大きくなると D 値が急激に増加するためである。

6. まとめ

本報では 3 次元応答解析モデルを用いて、再現期間 1 年および 1000 年の解析用層風力を作用させ、免震層変形および鋼製ダンパーの疲労損傷を風向による応答の違いに着目して分析を行った。

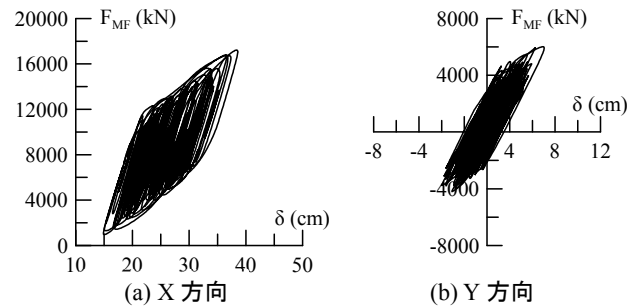


図 5 免震層履歴曲線 (再現期間 1000 年 NNW 方向)

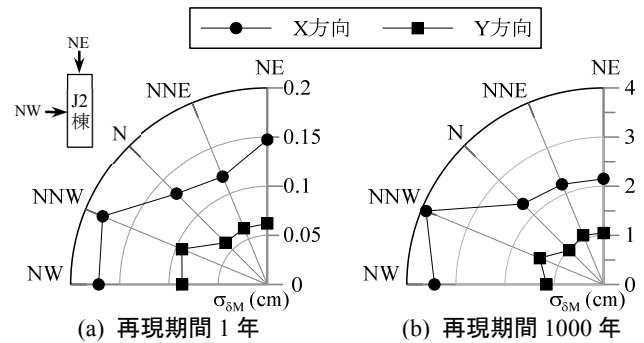


図 6 風向毎の免震層変形の標準偏差

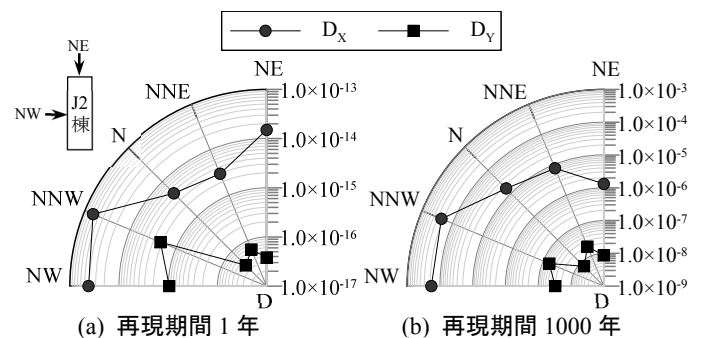


図 7 風向毎の D 値の算出結果

参考文献

- 1) 佐藤大樹, 福田優輝, 北村春幸: 多点同時地震動観測記録に基づく免震建物の上下応答解析手法, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 682 号, 1853-1862, 2012.12
- 2) シムアンバン・サラン, 笠井和彦, 松田和浩: Development of 3D Frame Model of High-Rise Base-Isolated Building, 日本建築学会学術講演梗概集 (九州), pp.495-496, 2016.8
- 3) 村上智一, 佐藤大樹, 田村哲郎, 菅後良之, 吉江慶祐, 笠井和彦, 佐藤利昭, 北村春幸: 強風時の観測記録に基づく超高層免震建物の実挙動の分析, 構造工学論文集, Vol.62B, pp.329-337, 2016.3
- 4) 菊地岳志, 藤森智, 竹内徹, 和田章: メガブレースを用いた超高層免震鋼構造建築物の設計, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp.217-225, 2005.12
- 5) 大木洋司, 山下忠道, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章: 超高層免震建物の長期観測システム構築に関する具体的取り組み, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp.73-77, 2005.6
- 6) 佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎: 粘弾性ダンパーの振動数依存性が風応答に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 635 号, pp.75-82, 2009.1
- 7) 佐藤大樹, 鈴木勇人, 田村哲郎, 菅後良之, 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, pp.251-256, 2012
- 8) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 2012 年改訂版, pp.95-98, 技報堂, 2012.6
- 9) 吉敷祥一, 大河原勇太, 山田哲, 和田章: 免震構造用 U 字形鋼ダンパーの繰返し変形性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 73 巻, 第 624 号, pp.333-340, 2008.2

*1 東京工業大学

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 風工学研究所

*2 Wind Engineering Institute