

都庁舎の居ながら制振改修工事の 円滑な推進に向けて

篠田 裕樹¹・鈴木 智嗣¹・黒沢 謙人²

¹財務局 建築保全部 庁舎整備課 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号)

²財務局 建築保全部 施設整備第二課 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号)

長周期地震動は地震に伴って発生する周期の長いゆっくりとした大きな揺れの地震動であり、特に超高層建築物について構造安全性への影響が指摘されている。長周期地震動による大きな揺れに対しても都庁舎の防災拠点としての機能を維持するため、東京都では平成26年度から平成32年度(予定)まで実施している都庁舎の設備更新の機会に合わせて長周期地震動対策として制振装置の設置を進めている。一方、都庁舎では常に庁舎としての行政機能等を維持する必要があるため、作業上の様々な制約に対処しながら、居ながら制振改修工事を円滑に進めることが求められる。

キーワード 長周期地震動、制振改修、オイルダンパー、居ながら工事

1. はじめに

東京都長期ビジョン¹⁾では、「世界一の都市・東京」の実現に向けた基本目標の一つとして「課題を解決し、将来にわたる東京の持続的発展の実現」を掲げており、東京が世界の範となる持続的発展が可能な都市に生まれ変わるために、山積する諸課題の解決に取り組んでいくとしている。このうちの課題の一つである「災害への備えにより被害を最小化する高度な防災都市の実現」のための目標の一つとして、災害時に防災拠点として重要な機能を担う都庁本庁舎の長周期地震動対策が挙げられている。

都庁本庁舎の諸元については表-1に示すとおりである。都庁第一・第二本庁舎ともに高さ60mを越える超高層建築物であり、竣工から20年以上が経過している。

東京都では平成20年から超高層建築物への影響が指摘される長周期地震動に対して様々な観点から検討を重ね、取りまとめた結果として、平成23年5月に「都庁第一本庁舎・第二本庁舎における長周期地震動対策への取組」²⁾を公表した。そして、平成26年度からの都庁舎改修プロジェクト³⁾において、都庁舎の設備更新工事(都庁舎改修工事)に合わせて長周期地震動対策を実施している。

2. 長周期地震動対策の概要について

(1) 都庁舎の長周期地震動対策の検討概要

長周期地震動は平成15年9月に発生した十勝沖地震の際に、震源から遠く約250km離れた苫小牧市内で起こった石油タンク火災の原因として注目された。諸々の調査

表-1 都庁本庁舎の諸元表

	第一本庁舎	第二本庁舎
竣工年	平成2(1990)年12月	
敷地 (m ²)	14,349.80	14,030.29
延床 (m ²)	196,755.04	139,949.78
高さ (m)	243.3	163.3
階数	地上48階 地下3階	地上34階 地下3階
職員数	約5,300人	約5,100人
容積率	1300(%)	1000(%)

研究などによれば、超高層建築物についても長周期地震動に対し、構造安全性を確保することが必要であると考えられている。

東京都では、都庁舎に対する長周期地震動の影響を把握するための調査及びその対策の必要性について様々な観点から検討を行ってきた。都庁舎への影響が最も大きい東海・東南海の2連動地震を想定して作成した長周期地震波入力時において、倒壊・崩壊や外壁の崩落の可能性はないものの、層間変形角においては基準値(1/100)を上回る階が発生することが分かった。また、長時間の繰返し揺れにより、梁など一部構造部材で基準値を超える損傷が生じる階が発生することが判明した。

そこで、長周期地震動に対して「構造体の塑性化は許容するものの、過大な変形は生じない(層間変形角1/100以下、部材の塑性率4以下、主架構であるスーパ一柱・梁の局部座屈や梁端破断は発生しない)」ことを判定指標として設定し、都庁舎を補強するため制振装置を設置することとした。さらに建設時に取得している建築基準法第20条第一号に基づく認定に係る性能評価を自主的に受け、大臣認定を再取得することで、構造安全性を有することを客観的にも確認している。

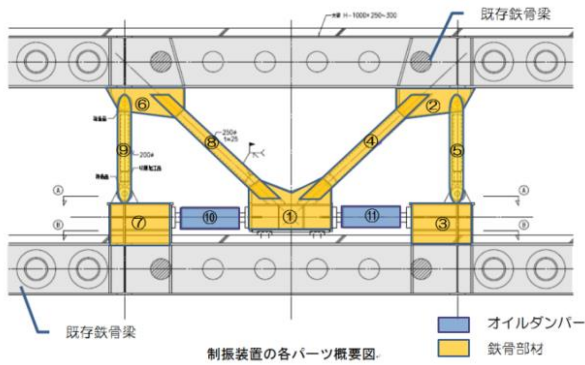


図-1 制振装置の概念図

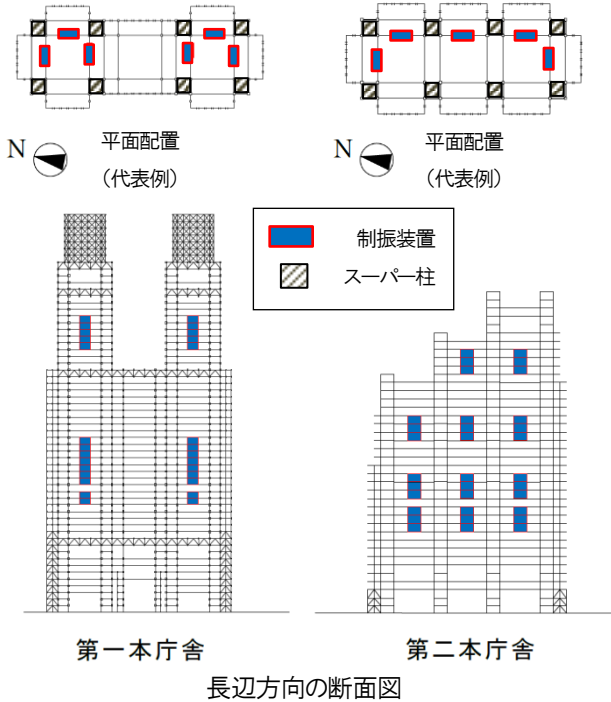


図-2 第一本庁舎(左)・第二本庁舎(右)の制振装置の配置計画



図-3 スーパー柱(左)・スーパー梁(右)



図-4 制振装置の設置状況

(2) 都庁舎の制振装置の概要

本工事で採用する制振装置には、長周期地震動の繰返し変形に対して性能が安定し、中小地震にも応答低減効果が期待できるオイルダンパーを用いている。地震や強風による建物の揺れを建物躯体である大梁に設置した鉄骨ブレースを介して、オイルダンパーで吸収する仕組みとなっている(図-1)。制振装置の配置計画として、図-2に示すとおり、第一本庁舎・第二本庁舎ともにそれぞれ20フロアの執務室内の計155か所(第一本庁舎94か所、第二本庁舎61か所)に設置することとした。

都庁舎はスーパーストラクチャー構造を採用しており、耐震性の高い構造となっている。これは厚さ最大80mmの鋼板を用いた箱型鉄骨柱4本をK型ブレースで結んだ「スーパー柱」と、フロア上下の梁にブレースを設けて1フロア分の高さをもつ「スーパー梁」により十分な強度を有する構造である(図-3)。制振装置はこのスーパーストラクチャー構造を構成するスーパー柱を繋ぐ大梁に設置することが構造上最も効果が得られることが検証の結果分かった。したがって配置計画上、執務室内に制振装置が配置されることとなった。そのため、執務室内に設置される上でのデザイン上の工夫として、色彩は室内の仕上げと同系色とし、かつ見え掛かりとなるブレースなどの鉄骨部材は鋼管で構成することで、丸みを持たせ圧迫感の少ないデザインとなるよう配慮した(図-4)。

また、執務室内の見通しを確保する観点から、制振装置を囲うカバーは装置の下半分のみをパネルで隠すタイプを基本形状とし、室内レイアウトに応じて装置の上半分にもパネルを設置できるような仕組みとしている。これにより、必要に応じて天井までの壁とすることで会議室などの間仕切り壁とすることも可能であり、執務室の用途に応じて対応可能となるよう配慮している。

(3) 制振補強の効果

制振装置補強前・後の地震応答解析による長周期地震動発生時の最大層間変形角および最大応答変位分布の比較結果を図-5に示す。制振装置の補強効果により、揺れの大きさが約2-3割程度抑制される。

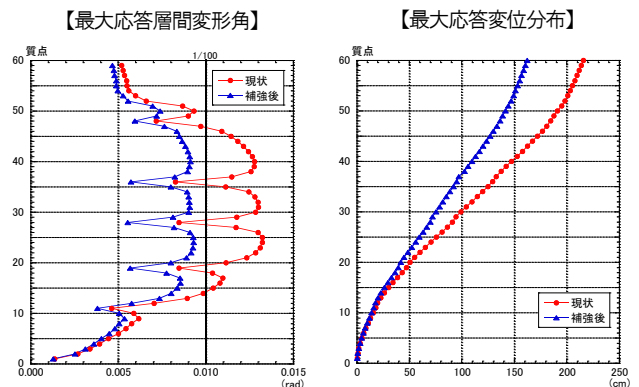


図-5 長周期地震動発生時の制振補強の効果(都庁第一本庁舎の場合)

3. 都庁舎の居ながら制振改修工事について

都庁舎改修工事は庁舎としての諸機能を維持しながら約7年間という非常に長い期間にわたって行う工事となり、庁舎内では通常通り職員が執務を行い、かつ窓口にも来庁者が訪れる状態である。ここでは、様々な制約に対処しながら進めている施工現場での苦労や創意工夫点について紹介する。

(1) 鉄骨部材の分割搬入

制振装置1か所あたりの寸法は、全体で横幅約7.2m、高さ約2.65m、奥行き0.6mであり、構成する鉄骨部材等の総重量は約6tにもなる。鉄骨部材の荷下ろしには10tトラックが停車しアームクレーンで荷捌きができる程度の広さが必要となるため、庁舎の正面エントランスから搬入作業を行っている。正面エントランスには、開庁時間帯には多くの来庁者の出入りがあり作業を実施することが困難であるため、鉄骨部材の搬入は土日休日や夜間といった閉庁時間帯に限定して実施している。

本工事は既存建築物の改修工事であり、エレベータ開口などの搬入ルートが狭あいであることから、鉄骨部材を制振装置の形として組み上げた状態で搬入することはできない。そのため、鉄骨部材を施工フロアまで運搬できる寸法以下に分割する必要がある。分割しても鉄骨部材は、一つの部材が最大で約1tもの重量物となるため、運搬の際は搬入ルートとなる既存の床石やエレベータかご内等の各所に養生を施した上で慎重に作業を実施している（図-6）。

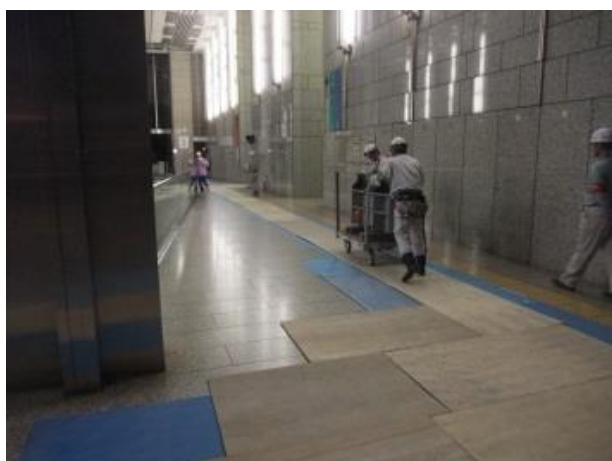


図-6 鉄骨部材搬入および各所養生

特に鉄骨部材のエレベータへの搬入作業では、鉄骨ブレース寸法とエレベータ開口幅が同程度の寸法であるため、接触しないよう細心の注意を要する困難な作業である。部材の中でも最大の長さである約3mの鉄骨ブレース材のエレベータ内への搬入にあたっては、図-7のように部材を斜めに吊り起さなければならないため、専用の吊り治具を製作して作業に使用している。

ス材のエレベータ内への搬入にあたっては、図-7のように部材を斜めに吊り起さなければならないため、専用の吊り治具を製作して作業に使用している。



図-7 鉄骨ブレースのエレベータへの搬入作業

(2) 鉄骨部材の建て方作業

ここでは施工フロアまで搬入した鉄骨部材を設置箇所まで組み上げていく工程について説明する。1フロア単位の全体工程中、制振装置の設置工程がクリティカルとなっているため、定められた工程期間内で段取り良く進めていくことが重要となる。そのために鉄骨部材の建て方に先立ち、設備工事との作業間調整を図り、干渉するフリーアクセスフロアや床下配線、天井内電気配線、スプリンクラー配管等を先行的に撤去することで、速やかに制振装置の設置作業に着手できるようにしている。

鉄骨部材の取付では、図-8のようにクランプで大梁に取り付けたチェンブロック等により鉄骨部材を吊り上げながら所定の位置まで揚重している。その後、JASS6鉄骨工事（建築工事標準仕様書・同解説 一般社団法人日本建築学会）に準拠して建て方精度を正確に管理しながら、取付位置を微調整して鉄骨を組み上げていき、仮溶接で固定している。



図-8 鉄骨部材の組み上げ過程

(3) 庁舎内での現場溶接作業

上記のとおり、鉄骨部材を分割して搬入し、一つずつ組み上げていくため、現場での溶接作業が必要となる。都庁舎は基本的に屋内での裸火厳禁を徹底していることから、現場溶接にあたっては以下のような対策を取りながら安全に工事を進めている。

a) 火気作業の区画化

溶接作業を行う箇所は仮設の鋼板パネルや防炎シート等で区画されたエリア内で実施することで、溶接火花の飛散やヒュームガスの拡散などの他作業への影響を最小限に抑えている(図-9)。エリア内でも、可燃物の除去や火気養生、消火器の設置、残火確認、火気監視人の配置などの火気対策を徹底している。

b) 下階での火気監視・火気養生

鉄骨部材の下階の既存大梁への溶接は、既存の床スラブを部分的にはつり出し大梁を現した状態で作業を行う。このため溶接火花や粉じんが直下階の執務室に落ちる可能性があるため、安全を確認するため図-10のように直下階の天井ボードを部分的に撤去し、天井裏が確認できる状態とした上で常時監視することとしている。さらに、万が一、溶接作業時の火花等が落下した時のために、下部の什器等を防炎シートにより養生している。

溶接作業はスラグはつり除去時に騒音が発生するため、閉庁時間帯である夜間を中心に作業を実施している。なお業務に支障のないように、職員の執務時間帯は撤去した天井ボードをその都度仮復旧している。

c) 溶接作業時の排煙対策

溶接作業では火気以外の留意事項として溶接時に生じるヒュームガスの処理が挙げられる。都庁舎は外壁面には開閉できる窓がなく、排気口の数や箇所も限られている。そのため、区画されたエリアのヒュームガスを適切に処理するため、各区画ごとに排気ダクトを設置して、既存の空調機械室やトイレのガラリ等を利用して屋外へ排気している。

(4) 鉄骨工事における品質管理

現場溶接は作業環境や溶接姿勢の制約などの理由から、工場溶接に比べて、品質確保のための管理対策が特に重要である。そのため、本工事では以下のような対策をとることで、溶接部位の品質確保を実現している。

a) 溶接技能者の技量付加試験

本工事では溶接技能者に対して、建築鉄骨溶接技術者検定試験(AW検定)に準拠した技量付加試験を実施している。本工事内の試験で用いる部材は、実際に現場溶接で用いる部材厚を考慮して、通常のAW検定で用いる19mmより厚い32mmの板厚としているため、より難度の高い試験を課している。

b) 溶接施工性試験

他にも、実際の鉄骨部材のディテールを再現し、所定



図-9 区画内での現場溶接作業



図-10 什器等の火気養生



図-11 溶接施工性試験(上)と実際の溶接状況(下)

の姿勢で溶接作業を再現し、実際に適切な溶接が出来ているかを外観検査や超音波探傷試験（UT）により確認する溶接施工性試験も実施している（図-11）。

c) 第三者専門機関による品質検査

現場溶接部位については、その全箇所数を第三者専門試験機関による外観検査やUTを実施することで、その品質が確実に確保されていることを確認している。

なお、検査の結果、不具合が発見された箇所については、突合せ溶接の食い違い仕口のずれの検査・補強マニュアル（独立行政法人 建築研究所）に従って、補修を実施することとしている。

(5) 部分竣工時の耐震安全性の確認

都庁舎改修工事は執務室フロア等の移転を繰り返しながら、長期間にわたって行う工事であり、移転計画に基づき工事計画が立てられている。制振改修工事もこれに合わせて進めるため、庁舎内で不規則的に制振装置が設置されていく形となる。

そこで、制振装置の設置過程を大きく3つの状態に分けて、各状態での地震応答解析を実施した。その結果、各状態において応答低減効果を発揮していることを確認でき、工事中の各段階で一定の耐震安全性が確保されていることが確認できた。

(6) オイルダンパーの本締め時期の検討

オイルダンパーは制振改修が完了したフロアから順次ボルトを本締めし、効かせていく状態とすることを原則としている。しかし、前述のとおり庁舎内で不規則的に制振装置が設置されていく形となるため、工事工程の都合により、制振装置設置階の直下階の大梁の補強が未施工の状態が長く続く箇所が発生する。

制振装置には地震時に大きな減衰力が生じ、既存の大梁との接続部にその反力が生じる。そのため、制振装置位置の上下の既存の大梁に対して補強を施している。しかし、上記のとおり直下階の大梁の補強が未施工となる箇所についてはオイルダンパーを効かせた状態とした場合、地震時に既存の大梁を損傷させてしまう恐れがある。そのため、このような箇所については高力ボルトを本締めせずに仮置きした状態としておき、直下階の大梁の補強が済んだのち、高力ボルトの本締めのために再入室し作業を行うこととしている。

4. 制振装置の維持管理計画について

オイルダンパーの維持管理については、メーカー推奨の点検要領により、図-12に示すように「定期点検」と「臨時点検」の段階に分けて考えている。

「定期点検①」では建物管理者として年1回の外観目視点検を実施し、オイルダンパーの傷や油漏れがないことを確認する。

「定期点検②」では保守専門会社による定期的な外観目視点検も実施し、塗装面の剥離の有無、ロッドの傷・発錆の有無、油漏れの有無、ダンパーの作動範囲に干渉物が無いかなどの詳細な点検を行うこととしている。その際、不具合がある場合にはそれぞれの不具合に応じて適切な処置を実施する。

「臨時点検」は地震・火災等による災害発生後にオイルダンパーの機能上、支障がないことを確認するもので、点検内容は保守専門会社による点検内容（定期点検②）と同様である。さらに「臨時点検」にて異常が認められた場合には、その原因の把握と対応を検討するため「詳細点検」を実施する計画としている。

制振改修工事で設置が完了したオイルダンパーは順次、上記の計画に沿って、適切に維持管理されていく計画である。

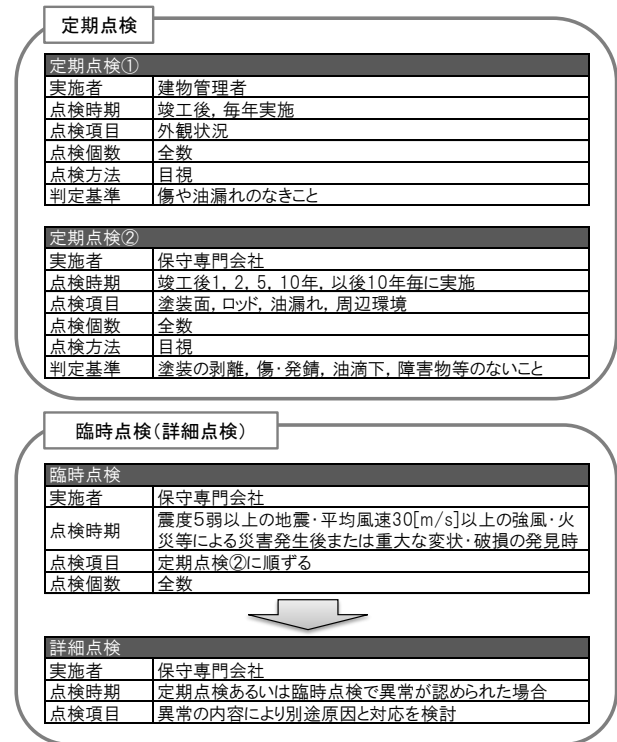


図-12 制振装置の点検フロー図 (例)

また、図-13に示すように、オイルダンパーの近傍のパネルを取り外し式とすることで、点検のしやすさにも配慮した設計としている。なお、点検時に支障とならないよう、点検用開口の手前に固定する什器等を置かないように、パネル面に注意喚起表示を掲示するとともに庁内への周知を図っている。

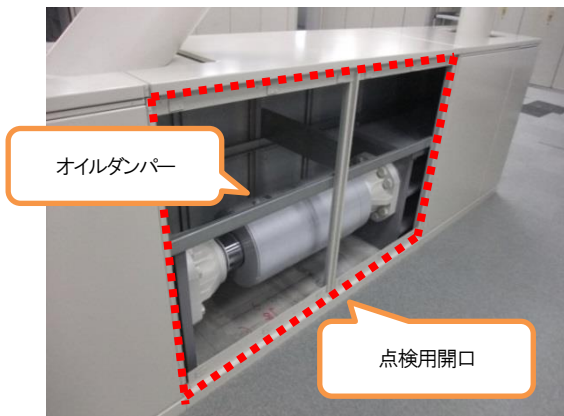


図-13 オイルダンパー点検用パネル

5. 既存の超高層建築物における長周期地震動対策の普及・啓発について

本改修工事は長周期地震動対策に先駆的に取り組むことを通じて、まだ先行事例の少ない既存の超高層建築物における長周期地震動対策の普及・啓発を図ることを目的の一つとしている。

(1) 制振装置の『見える化』について

一部の施工箇所では図-14のように制振装置を囲っているカバーを腰高程度のガラスにすることで、内部のオイルダンパー等の制振装置の機構を全面的に「見える化」させる計画である。これにより、一般来庁者をはじめ、打合せや申請等に訪れた他の工事業者等に対しても、都庁舎の長周期地震動対策をより目に留まりやすいように工夫することで、既存の超高層建築物等の長周期地震動対策の普及・啓発に役立てていく。



図-14 制振装置架構の「見える化」イメージ

(2) 外部視察・研修等について

本工事では様々な外部機関からの視察・見学を受け入れてきている。都庁舎の長周期地震動対策に対する検討については、超高層建築物の構造や地震工学を専門とする学識経験者で構成される委員会で開催しており、当該

委員会の学識経験者による施工状況の確認会を実施した。

また、庁舎の長周期地震動対策を検討している他自治体や、トルコやインドネシアをはじめとした海外からの視察も行われた。今後も、こうした類似の工事を検討する団体等の見学を積極的に受け入れることによって、都庁舎の長周期地震動対策について広く普及・啓発に努めていく。

6. おわりに

平成28年6月24日に国土交通省より「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」⁴⁾ (技術的助言) が地方公共団体等の関係団体あてに通知がなされた。この中では、平成29年4月1日以降に超高層建築物等を新築する際には、南海トラフ巨大地震の長周期地震動を考慮した設計用地震動による検討を義務化している。一方、既存の超高層建築物等については、対象地震による建設地の長周期地震動の大きさが、設計時に用いた地震動を上回る場合には、自主的な検証や必要に応じた補強等の措置を講じることが望ましいとされている。なお都庁舎においては、関東圏で示されたスペクトルを満足した告示波での検討を行っており、構造上問題ないことを確認している。

また気象庁の観測情報の発表が平成25年に試行されて以来、熊本県熊本地方を震央とする「平成28年(2016年)熊本地震」で初めて長周期地震動階級の最上階級「階級4」が観測されるなど、長周期地震動は近年さらに世間の注目度を増してきている。

上記の経緯等からも、今後、既存の超高層建築物等の長周期地震動対策がより一層求められてくることが想定される。都庁舎での長周期地震動対策は、庁舎としての機能を維持しながらの設備更新に伴う「居ながら制振改修工事」であり、特有の作業上の制約に対処しつつ、安全を確保しながら工事を進めるものである。本工事が今後の既存の超高層建築物等の長周期地震動対策のモデルケースとして参考になれば幸いである。

東京都では、こうした国の動向等に注視しつつ、引き続き、都庁舎の居ながら制振改修工事の円滑な推進に向けて取り組んでいく。

参考文献

- 1) 東京都(平成26年12月)「東京都長期ビジョン～「世界の都市・東京」の実現を目指して」
- 2) 東京都財務局(平成23年5月)「都庁第一・第二本庁舎における長周期地震動対策への取組」
- 3) 東京都財務局(平成25年2月)「都庁舎改修プロジェクトの取組について」
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課(平成28年6月24日)「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」