

2014.4.1

災害リスク情報 <第 56 号>

超高層建築物における長周期地震動の影響と対策について

1. はじめに

東日本大震災では、震源に近い東北地方だけでなく、震源から遠く離れた関東圏や関西圏の超高層建築物（高さが 60m を超える建築物）が長時間にわたり大きく揺れた。これら超高層建築物の柱や梁といった主要構造部への被害は見られなかったものの、一部の建物では天井や内壁などの非構造部材や、各種配管、設備などに被害が発生した。また、家具や什器・備品の転倒・移動なども現れた。

現在、日本の超高層建築物は 2,500 棟を超えていると言われていたが、これらを建築する場合、時刻歴応答解析等の特別な検証法にて耐震設計を行うこと（大臣認定）が建築基準法にて義務付けられている。その際、過去の地震観測記録等を用いて耐震設計をしてきたが、近年の調査・研究の結果、長周期地震動に対する備えが十分ではないことがわかってきている。このような状況に対応するために、国土交通省では超高層建築物の建築基準の見直しに向けた動きや、制震改修等に対する補助制度の新設といった施策が実施されている。

本稿では、長周期地震動により超高層建築物に発生が懸念される状況や、実施したい対応策をまとめる。また、対策を促進させるための国土交通省の取組を紹介する。

2. 長周期地震動による被害の様子と主な対策

(1) 長周期地震動と超高層建築物の共振について

地震の揺れ（地震動）には揺れははじめから終わりまでの間に、短い周期*のガタガタした揺れや長い周期のゆったりとした揺れなど、様々な周期の揺れが混じっている。「長周期地震動」とは、長い周期の揺れを多く含んでいる地震動のことである。長周期地震動は短い周期の揺れに比べて揺れが減衰しにくいため、震源地から遠く離れた場所まで伝わる性質がある。

一方、建築物（に限らずすべての物）には、それぞれに固有の揺れやすい周期（固有周期）がある。例えばうちわで自分をあおぐ場合を考えてみる。実は、少しの動作で効率よく風を送るよう、うちわが一番揺れやすい周期（固有周期）であおいでいる。大きさや素材によりもちろん固有周期は異なるが、我々は無意識に手首のスナップを調整し、うちわの固有周期にあうようタイミングよく加力している。この状態を共振という。

うちわの例と同様に、建築物にも揺れやすい固有周期があり、その周期で地震等の外力によって加力されるとよく揺れるが、この固有周期は建築物が高層になるほど長くなる傾向がある。例えば、鉄骨造の建物の場合では、建物の高さ（m） $\times 0.03$ ＝固有周期（秒）と概算できる。高さ 100m の鉄骨造の建物の場合、この式に当てはめると固有周期はおおよそ 3 秒程度と計算できる。

うちわや建物と同様に、地盤にも固有周期があり、柔らかい地盤ほど固有周期は長くなる傾向がある。図 1 のように、震源で発生した地震動は深い地盤を通じて広がっていき、浅い地盤を通過して建物に到達するが、浅い地盤の固有周期が建物の固有周期と合致してしまうと、共振してしまい、その固有周期の建物だけ、他の建物より大きく揺れる（共振する）ことが起こる。前述したとおり長周期地震動は震源地から遠方まで伝わりやすいため、震源から遠く離れた地域では高層の建物（＝固有周

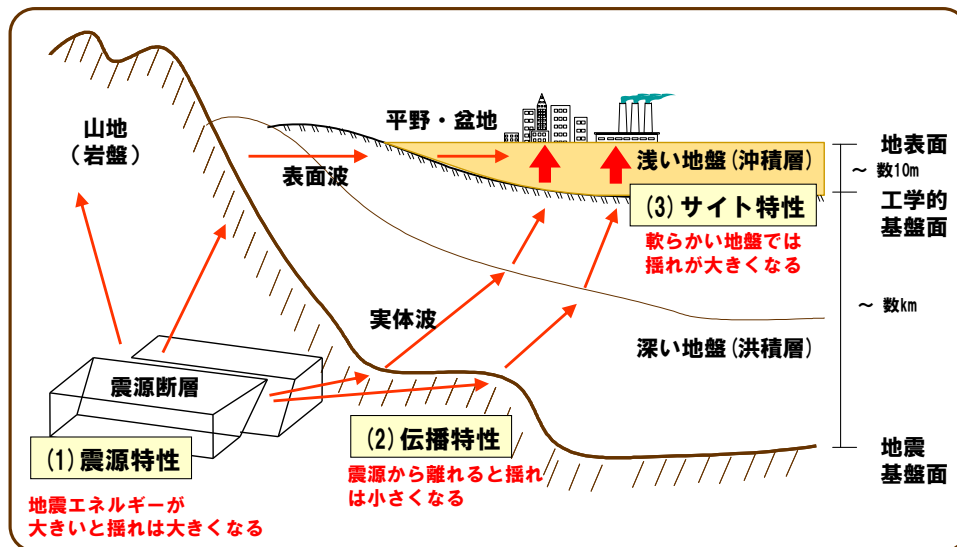


図1 震源から建物まで地震動が伝播するイメージ
(インターリスク総研にて作成)

期が長い建物) が共振しやすい状態となる。特に、その建物が立地している浅い地盤の固有周期に近い固有周期を持つ建物が共振しやすいと言える。

※周期：地震の揺れのような振動現象で、揺れが一往復するのに必要な時間のこと。

(2) 被害の様子

大地震が発生し、長周期地震動により超高層建築物が大きな揺れに見舞われた際に発生が懸念される状況をまとめたのが表1である。阪神・淡路大震災や東日本大震災等、我が国で発生した大規模な地震による被害状況や復旧状況などを踏まえ、南海トラフ巨大地震後に発生する可能性のある事象について幅広く記載したものである。

南海トラフの巨大地震が発生した場合、超高層建築物は大きく揺れるものの、建物が途中階で崩壊することや全体崩壊するといったことは想定されていない。ただし、超高層建築物の固有周期が地盤の固有周期と一致し共振すると、最上階は左右に数 m の揺れ幅で数分間も揺れ続けるおそれがある。さらに、超高層建築物は揺れが収まりにくい傾向があるため、地面の揺れが終わった後も建物の揺れはしばらく継続すると想定される。こうした状況の中、屋内収容物の固定対策が不十分であると、転倒・落下による人的被害の発生が懸念される。

揺れが収まった後はエレベーターが停止しているため、建物内外の移動に支障が出る。また、電力の供給停止が長期化した場合、ポンプが使えないことから水の供給も停止するため、事業活動も生活も継続が困難になるおそれがある。

表 1 南海トラフの巨大地震が発生した場合における、超高層建築物の様子

地震発生直後	
建物被害の発生	・地震動の周期と建物の固有周期が近い場合、揺れが大きく増幅する。 ・超高層免震建物（場合によって中低層免震も含まれる）では、免震層許容変位量を超える大変位やエキスパンションジョイント被害等が発生する場合がある。 ・内外装や天井の落下や配管の破損など、非構造部材に被害が発生する。
上層階における揺れの増幅	・高層ビルでは、揺れ始めに気付いた時点から、徐々に大きくゆっくりとした揺れになる。 ・地表の揺れが小さい遠隔地においても、高層ビルの上層階では揺れが大きく増幅する。 ・建物全体で見た場合、必ずしも最上階で揺れが最大となるとは限らず、局部的中間階の揺れが大きくなる場合がある。 ・上層階の多くの人々が、揺れによって動作上の支障があり、吐き気やめまいを感じる人も発生する。
屋内収容物転倒・落下による人的被害の発生	・固定していない家具・什器の転倒、コピー機等のキャスター付什器の滑りによって、人的被害が発生する。 ・家具・什器を固定していても、正しい方法により固定されていない場合、本来の固定効果が発揮されず、転倒や滑りによる人的被害が発生する場合がある。
全館一斉避難の発生 避難中の二次災害の発生	・揺れに対する不安から、地上へ避難しようとする人が多数発生する。 ・建築物の防災設計は火災からの特定階避難を前提としているが、全館の居住者が一斉に避難した場合、非常階段等に多数の在館者が殺到し、転倒等による二次災害が発生する。
建物内被害状況確認における支障	・エレベーターが停止しているため、階段での移動が必要となり、大規模な建物であるほど各フロアの被害確認に多くの時間・労力を要する。 ・被災の影響により技術者の数が不足し、構造安全性の詳細確認までに1週間以上要する。
概ね1日後～	
事業継続・生活機能継続への影響	・オフィスビルでは、非常用発電機の無給油連続運転時間は最長3日間程度であり、系統電力の供給停止が長期化した場合、事業継続が困難となる。 ・マンションでは、停電・断水等によりいわゆる「高層難民」となる上層階居住者が多数発生する。特に階段の昇降に必要な体力が低下している高齢者等にとって、生活を継続することが困難となる場合がある。
地域防災貢献への影響	・事前に行政と協定を締結していた高層建築物でも、安全確認に時間を要するなどの理由により、災害時の施設利用による地域貢献ができなくなる。

（南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）（平成25年3月18日）：中央防災会議「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」を元に、インターリスク総研にて作成）

3. 実施したい対応策

超高層建築物に被害の多くは内外装や天井等の非構造部材、エレベーターの停止、家具・什器の転倒などの屋内に関する被害であり、東日本大震災にて地震動が大きかった東北地方や首都圏においても、建築物の柱や梁などの主要構造部の補修が必要となった例は確認されていない。一方で、前述のような地震被害は震源から遠い関西でも、長周期地震動に共振し大きく揺れた建物において発生している。こうした状況から実施したいハード面の対応策として、以下の3点を挙げる。

①建物を制震改修する

建物が大きく長時間揺れることで、非構造部材や家具・什器等の被害も大きくなる。建物に粘りを持たせる制震改修を実施することで、揺れの大きさが低減されるとともに、揺れが継続する時間を短縮することができる。建物の設備機器の取替えや内外装の取替えなど、大規模な修繕を実施される際に制震改修も併せて実施することで、費用を抑えることができる。あわせて前述の補助金を活用するなど、国や自治体の施策にも注目していくことも重要である。

②非構造部材の地震対策を実施する

内外装材や天井などが高所から落下した場合、建物の居住者に人的被害を発生させるおそれがある。2013年8月には国土交通省より「安全上重要である天井および天井の構造耐力上安全な構

造方法を定める件」等が告示され、猶予期間を経て 2014 年 4 月より施行されることとなった。200 m²超かつ高さ 6m 超の天井が「特定天井」と定義され、新たに構築する場合、構造耐力上安全であることの確認が新たに法令化されている（ただし、既存の天井に対しては努力義務）。

③家具・什器等の地震対策を実施する

前述の通り、超高層建築物の固有周期が地盤の固有周期と一致し共振すると、最上階は左右に数 m の揺れ幅で数分間も揺れ続けるおそれがあることから、無固定の多くの物が転倒・落下することを防ぐため、家具・什器等の固定対策を実施する必要がある。

4. 国土交通省の取組

(1) 超高層建築物の建築基準の見直し

近年の調査・研究の結果、超高層建築物は長周期地震動に対する備えが十分ではないことが徐々に明らかになる中、国土交通省は 2010 年 12 月に「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」を公表し、意見募集を実施した。この試案では、これまでの大臣認定の運用を見直し、超高層建築物や免震建築物を新築する場合に長周期地震動を考慮した構造計算を義務付ける方針を示した。また、家具等の転倒防止対策に対する設計上の措置について説明を求めることとしている。その他、既存の超高層建築物や免震建築物に対しても、長周期地震動による影響が大きいものについては耐震強度を再検証し、必要な補強を行うよう要請するという内容であった。ただし、その後 2011 年 3 月に東日本大震災を受けて、これらの取組を中断せざるを得ない状況となった。現在、内閣府や文部科学省地震調査研究推進本部において南海トラフの巨大地震である東海・東南海・南海地震についての検討が行われており、その結果を見極めつつ、東日本大震災において収集された観測データ等を踏まえた検討を行った上で、長周期地震動への対策についてまとめる予定となっている。

(2) 既設の超高層マンション等の制震改修等に対する補助制度の新設

既存の超高層マンション等の長周期地震動対策の促進を目的に、「長周期地震動対策緊急促進事業」という新たな補助制度が 2014 年度より創設されることとなった。補助対象など内容を表 2 にまとめる。詳細診断や改修設計、改修工事を行う場合、一定の割合で費用の補助をうけられる。

区分所有建物には複数のオーナーが存在するため制震改修を実施する合意形成が難しい場合が多いが、当該制度を活用することで、合意形成が促進されることを期待したい。

表 2 長周期地震動対策緊急促進事業の概要

項目	内容
事業内容	長周期地震動対策に関する詳細診断並びに制震改修等に係る設計及び工事に対して支援する。
事業主体	民間事業者等
補助対象	長周期地震動に対して安全性が確保されていないおそれがある超高層建築物等のうち、マンションを含む区分所有建物である建築物
補助率	・ 詳細診断への補助：[通常]国費 1/3→[緊急支援]国費 1/2 ・ 改修設計への補助：[通常]国費 1/3→[緊急支援]国費 1/2 ・ 改修工事への補助：[通常]国費 11.5%、1/3→[緊急支援]国費 1/3,2/5 （通常の社会資本整備総合交付金等による国費分を含む助成率） （上記のほか、社会資本整備総合交付金等を活用した既存の補助制度がない地方公共団体の区域においても一定の支援）
補助期限	平成 31 年 3 月 31 日までに交付対象事業に着手するもの

（平成 26 年度住宅局関係予算決定概要 国土交通省住宅局 を元に、インターリスク総研にて作成）

5. おわりに

内閣府や文部科学省地震調査研究推進本部において、東日本大震災での知見を踏まえ南海トラフの巨大地震についての検討が行われており、その結果がまとめ次第、国土交通省では超高層建築物等における長周期地震動への対策のための技術基準等の整備が予定されていることから、超高層建築物の対策は今後進展する見込みである。

区分所有建物の場合は補助金を活用することを検討しつつ、家具・什器等の転倒防止など、出来ることから対策を実施していくことが重要である。

以上

災害リスクマネジメント部
災害リスクグループ 上席コンサルタント
鶴田 庸介
(一級建築士)

<参考文献>

・内閣府

「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第36回) 参考資料 長周期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期

http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/index_chukin.html

南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)(平成25年3月18日):中央防災会議「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html

・国土交通省

社会資本整備審議会建築分科会建築物等事故・災害対策部会(第17回)配布資料 資料9

https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05_sg_000116.html

平成26年度住宅局関係予算決定概要 国土交通省住宅局

http://www.mlit.go.jp/page/kanbo01_hy_003129.html

株式会社インターリスク総研は、MS&AD インシュアランスグループに属する、リスクマネジメント専門のコンサルティング会社です。

災害や事故の防止を目的にしたサーベイや各種コンサルティングを実施しています。弊社コンサルティングに関するお問合せは下記の弊社連絡先、または、あいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

株式会社インターリスク総研 コンサルティング第三部
東京都千代田区神田淡路町2-105 TEL:03-5296-8917/FAX:03-5296-8942

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。

また、本誌は、読者の方々に対して企業の災害防止活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

不許複製/Copyright 株式会社インターリスク総研 2014/