

超高層ビルの減災に向けて

内閣府が昨年12月にまとめた

「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」では、超高層建築物に大きな影響がある長周期地震動の予測が示された。国土交通省は今後、超高層ビル・マンションの長周期地震動への対策案を策定する計画だ。長周期地震動の建物構造への影響などを研究する名古屋大学の福和伸夫教授に、超高層ビル・マンションの減災について聞いた。

未知の震動だった長周期地震動

昨年12月17日、内閣府は「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」を公表した。同報告は、南海トラフ地震が発生した際に、長周期地震動によって地表や超高層ビル・マンション（以下、「超高層」という）がどれだけ揺れるかを推計し、超高層の構造躯体への影響や、その対策についてまとめたものだ。

同報告によると、南海トラフ地震が発生した場合、東京、名古屋、大阪の三大都市圏の広い範囲で、超高層の最上階が最大で毎秒2・5m以上の速度で揺れ、揺れ幅は往復で2m〜6mになるとしている。

※超高層建築物：高さ60m以上の建築物

長周期地震動とは、揺れの周期の長い震動のことで、一般には揺れの周期が2秒以上から長周期地震動と呼ばれる。揺れの周期とは、振り子が往復する時間を考えればよい。重りを吊るすヒモが長い振り子は周期が長く（ゆっくり揺れる）、ヒモが短ければ周期は短い（小刻みに揺れる）。

わが国の超高層の耐震設計は、建設当初は、小刻みな揺れ、つまり短周期地震動を前提としてきた。超高層が建て始められた1960年代は、地震の観測技術が発達しておらず、地震の揺れは短周期とされ、長周期地震動はノイズと見なされていた。そのため、小刻みな揺れを吸収する超高層は、地震に強いとされていた。こうした考えが改まるきっかけが、

1985年のメキシコ地震で震源から約400km離れたメキシコシティを中心に高層ビルなど数百棟が全壊したことだ。同地震では、長周期地震動が建物に影響している可能性が指摘された。しかし、長周期地震動は未知で、実態が明らかになかったのは1995年の阪神・淡路大震災以降、高精度の地震計が全国各地に置かれてからである。そして2003年の十勝沖地震で長周期地震動の影響が明らかになり、さらに2011年の東日本大震災でも広く知られることになった。

※南海トラフ地震とは、四国の南側の海底にある水深4000m級の海溝―南海トラフ沿いで発生する巨大地震（M8以上）のこと。南海トラフは駿河湾から日向灘沖までの東海、東南海、南海の長さ約700kmに亘る。東海、東南海、南海のいずれかを震源とする複数地震が連動して起きる地震を南海トラフ地震という。南海トラフは、日本列島の南のフィリピン海プレートが、西日本がのユーラシアプレートにぶつかり、その下に沈み込む場所のため、巨大地震が繰り返し発生してきた。

長周期地震動の超高層への影響

現在、長周期地震動を念頭に設計しているのは、最近の超高層に限られている。初期の超高層は長周期地震動を十分に考慮していない。これは建設当時の知見を反映した結果であり、建設会社やデベロッパーに責任があるわけではない。

また、長周期地震動を考慮していない超高層が危険というわけではない。もともと超高層は、建物高さの100分の1程度まで揺れても構造的に損壊しない耐震設計がなされている。200mの高さの建物であれば、往復4m揺れても壊れない設計だ。そのため、文部科学省が2014年に行った長周期地震動の実証実験では、揺れ幅が往復6mになっても通常の耐震設計の鉄骨造の高層建物は壊れなかった。想定される最大級の揺れの3・8倍にあたる往復8・4mの揺れでは倒壊したが、既存の超高層が完全に倒壊する可能性は大きくないだろう。

いまや超高層は、全国に2000棟以上を数え、数百万人が利用する産業や生活の基盤となっている。重要なことは、今後発生し得る南海トラフ地震などに伴う長周期地震動による被害を予測し、事前に減らしていくことだ。

地盤と共振する超高層は対策急務

超高層は、高さが高くなるほど周期が長くなる（建物の高さは振り子のヒモの



超高層建築物等の固有周期

建築物の構造と規模	固有周期の目安
高さ60m~100m (20階建て程度)	1~2秒程度
高さ200m~300m (50~60階建て程度)	4~6秒程度
免震建築物	2~5秒、最大8秒程度

(国土交通省「[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案について]に関するご意見募集について」の図表に福和加筆)

長さと同じ)。超高層の固有の周期は、図表のように、高さ60m~100mで1~2秒程度、高さ200m~300mでは4~6秒程度となる。高い建物は撓りも大きくなる。

地盤そのものも固有の周期がある。関東平野は6~8秒、大阪平野は4~6秒、濃尾平野は3~4秒とされている。平野の中でも場所によって周期が異なる。長周期地震動は揺れが長く、続くのも特徴だ。さらに、南海トラフの上には長周期地震動を伝えやすく、時には増幅させる「付加体」と呼ばれる堆積層がある。東日本大震災では、長周期地震動は付加体を通らずに全国に伝わったが、南海トラフ地震では付加体を通るため、長周期地震動が弱まらずに伝わる可能性が高い。

地震にも特徴がある。短周期の揺れが多い地震や、長い地震は、長い周期の揺れが多い地震もある。またマグニチュード(M)の大きい地震は、長い周期の揺れを放出しやすく、震動を遠くまで伝える。例えばM7.3の阪神淡路大震災は、広範囲には揺

れなかったが、周期1秒程度の地震に共振した建物に被害が生じた。M9.0の東日本大震災は広範囲に揺れて長周期地震動も起きたものの、建物と共振する長周期地震動はあまり発生せず、建物被害そのものは少なかった。しかし、今後の南海トラフ地震や首都直下地震では、建物と共振する長周期地震動が強く発生する可能性は否定できない。

長周期地震動そのものはそれほど危険ではないが、地盤や建物と共振してしまふと、危険なものになる。共振は、自分の手で振り子を揺らす時をイメージすると分かりやすい。振り子は、ヒモの長さにあつた周期(固有周期)で揺らすと、力を入れなくても大きく揺れるようになる。それが共振だ。超高層も、地盤や長周期地震動と共振するものがある。振り子が超高層で、手が地震動や地盤というイメージだ。

制震材を使う超高層の減災

超高層の減災対策では、まず地盤の揺れと共振する超高層を抽出する必要がある。

ある。例えば、濃尾平野では3~4秒の周期の超高層―高さ100m~200m(30~50階建て程度)の超高層は、地盤と共振する可能性が高い。地盤と共振する超高層は、長周期地震動に共振して揺れる地盤にも共振してしまい、揺れが二重に増幅する危険がある。長周期地震対策として、地盤と共振しないように、共振しにくい周期を避けると共に建物そのものが揺れなく(撓らなくなる)なるよう制震装置を使った制震改修を行うことが有効だ。

制震装置とは、水あめや水鉄砲のように地震の揺れのエネルギーを吸収する部材だ。オイルや粘りのある物質(粘性体)を使った粘性系制震材や、鋼材系制震材がある。ただし、既存の超高層に制震材を付けば、少なくとも数億円以上の投資が必要だ。デベロッパーやマンション住民には大きな負担だ。

国土交通省は、既存の超高層のうち、マンションなどについては、長周期地震動対策に関する詳細診断や、耐震化計画の策定、制震改修の費用の一部を補助す

るなどの支援を行うことを検討している。超高層は民間が建設したものとはいえ、産業や生活の基盤だ。地盤と共振する超高層が一部であることを考えれば、まことの防災性能の向上に資する超高層に限って重点的に支援しても良いのではないか。加えて、安全性が向上した超高層については官民でその価値を認めていくことも重要だ。

身近な超高層の減災対策

大地震(M7以上)が発生すれば、超高層は大きく揺れる。揺れ始めれば家具は転倒し、激しく動く。重い家具を固定するなどの室内の安全対策は必須だ。揺れに翻弄されないように、廊下などに手すりがあると良い。さらに、超高層ではエレベーターや電気・水道などが停電で一時的に使えなくなる。非常用発電設備も望ましい。

地域の避難所はマンション住民の避難を想定していないことが多い。超高層のマンション内では日頃から上・下階での助け合いや、食料・水・災害用トイレの備蓄が必要だろう。事業

所では、事業継続のため重要な機能の低層階への移設や、バックアップ施設の確保等が望まれる。住宅・事業所に限らず、これらの防災対策への公的支援も検討の必要があるだろう。



名古屋大学 減災連携研究センターセンター長・教授 福和伸夫(ふくわ のぶお)

1979年名古屋大学工学部建築学科卒。1981年名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程建築学専攻修了。1981年清水建設原子力部入社。1982年一級建築士。1982年清水建設大崎研究室に転属。1989年工学博士(名古屋大学・論工博)。1991年清水建設退社。1991年名古屋大学工学部助教授(建築学科)。1997年名古屋大学先端技術共同研究センター教授(環境・生命工学プロジェクト分野)。2001年名古屋大学大学院環境学研究科教授(都市環境学専攻 建築学系)。2009年構造設計一級建築士。2009年名古屋大学大学院環境学研究科副研究科長。2010年名古屋大学減災連携研究センターを兼務。2012年名古屋大学減災連携研究センター教授、センター長(現任)。内閣府中央防災会議「南海トラフの巨大地震モデル検討会」および「首都直下地震モデル検討会」委員。主な著書「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」(共著、日本建築学会、2006年)、『地震と建築防災工学』(共著、理工図書、2001年)など多数。