

オフィスビル耐震化推進講演会報告

<オフィスビル耐震化推進講演会>

- 1. 基調講演Ⅰ 「地震が発生させる長周期地震動のメカニズム」
国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター センター長 横井 俊明氏
- 2. 基調講演Ⅱ 「南海トラフ地震による長周期地震動への対応策」
国土交通省 住宅局 建築物防災対策室長 安藤 恒次氏
- 3. 事例研究Ⅰ 「長周期地震動の基礎知識と対策事例」
㈱三菱地所設計 リノベーション設計部 副部長 岡西 努氏
- 4. 事例研究Ⅱ 「長周期地震動対策の事例報告」
大成建設㈱ 設計本部 構造計画部長 木村 雄一氏
- 5. 事例研究Ⅲ 「長周期地震動対策におけるエレベーター技術の動向」
三菱電機㈱ 稲沢製作所 開発部 機械開発課 専任 福井 大樹氏

基調講演Ⅰ 「地震が発生させる長周期地震動のメカニズム」

国立研究開発法人建築研究所
国際地震工学センター センター長

横井 俊明氏



横井 俊明氏

一日本付近のプレートテクトニクスと巨大地震一

大陸は、プレート（岩盤）に乗って徐々に移動しており、地震は、こうした地球の成り立ちによって発生していて、決してあてずっぽうに起こっているわけではありません。今日、プレートの移動は、実測できます。つくばとハワイにあるVLBI（超長基線電波干渉計）で観測した星からの電波を使って、国土地理院が日本と

ハワイの距離を測っています。それによると、約5cm程度毎年縮まっています。このように大地が動くことによって、海のプレートが陸のプレートの下に沈み込んだり、あるいは、プレート同士が衝突して、地震が起こります。

日本付近では、太平洋プレートが伊豆・小笠原海溝から日本海溝、千島海溝沿いで、北米プレートとユーラシアプレートの下に潜り込んでいきます。また、相模トラフから南海トラフ、琉球海溝のあたりではフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に潜り込んでいるほか、南関東直下では、太平洋プレートもフィリピン海プレートの下に潜り込んでいます。潜り込んでいくプレートが所々で引っ掛かる場所（アスペリティーと呼ばれる）があって、この引っ掛かりが外れたときに、強い地震波が発生し、地表で強い揺れを引き起こします。

一長周期地震動に関係が深いプレート境界の地震一

日本付近で発生する地震としては、プレート境界で起こる地震、沈み込むプレート内で起こる地震、陸域の浅い地震

（一社）東京ビルディング協会は、東京都と民間団体等で設立した「耐震化推進都民会議」に参加し、東京都の推進する建物の耐震化に協力している。「オフィスビル耐震化推進講演会」は、その活動の一環で、平成21年1月の第1回から数えて9回目となる。

今年の講演会は9月7日、一般聴講者などを含め約115名を集め、東京・丸の内日本工業倶楽部2階大会堂で開催された。講師は以下の5名で、各講師の講演要旨をまとめて紹介する。



開会の辞を述べる森委員長

がありますが、長周期地震動に一番関係が深いのはプレート境界で発生する巨大地震です。

今日、注目されているのが「南海トラフ」沿いで起こる巨大地震です。地震調査研究推進本部では古文書や津波堆積物等の調査から、南海トラフで発生する地震の多様な震源パターンを想定し、南海トラフ全域におけるマグニチュード8~9クラスの地震の発生確率を、60%~70%と評価しています。

一方、関東地方では、太平洋プレートとユーラシアプレート、フィリピン海プレートがぶつかり合っていて、活断層で発生する浅い地震、陸のプレートとフィリピン海プレートの境界付近で発生する地震、フィリピン海プレート内部で発生する地震、フィリピン海プレートと太平洋プレートの境界付近で発生する地震、太平洋プレート内部で発生する地震と5つのタイプの地震が発生しています。地震調査研究推進本部によれば、相模トラフで次に発生するマグニチュード8クラスの地震の30年発生確率はほぼ0~5%、プレートの沈み込みに伴うマグニチュード7程度の30年発生確率は70%にのぼり

ます。なお、確率が低くても、明日起こらないとは限らず、十分な注意が必要です。

一長周期地震動の特性一

長周期地震動とは、南海トラフ地震や東北地方太平洋沖地震のように規模の大きな地震で発生する、ゆっくりとした大きな揺れ（地震動）のことです。ゆらゆらと継続時間が長いという特徴（長継続時間）も持っています。

地震動、つまり地表の揺れは、「震源の特性」に加えて、震源から敷地直下の岩盤までの「伝播特性」と、敷地の「地盤の特性」に影響されます。長周期地震動というのは、規模の大きな地震で発生し、遠くまで伝わり、大規模な盆地の上で増幅され、強い揺れとして観測されます。盆地の規模や地盤の深さで卓越する周期が変わるという特性があります。

高層ビルは低い建物よりも、長周期地震動と「共振」しやすく、共振すると高層ビルは長時間にわたり大きく揺れます。長周期の卓越周期が建物の固有周期と一致するとき、共振により、高層ビルは大きく長く揺れ、室内の家具や什物が転倒・移動したり、エレベーターが故障したりとより危険な状況になります。

長周期地震動による顕著な被害例としては、2003年十勝沖地震の際、約250Km離れた苫小牧市で発生した石油タンクのスロッシングによる火災があげられます。これは勇払平野の地盤で増幅された長周期地震動に対して、タンク内の石油が共振したのが原因です。同じ地震で、約770Km離れた都内でも強震計により長周期地震動が観測されています。例えば、K-NET越中島観測点（江東区）では、振幅は小さいものの、6~7秒の周期で10分間も揺れ続ける強震記録が得られています。2011年の東日本大震災では、都内の多くの高層ビルが肉眼ではっきりわかる大振幅で10分以上も揺れ続けました。振幅はかなり違いますが、長周期で長時間、揺れ続けることは、2003年の経験から予測できました。

もう一つの例として、KiK-NET下総観測点（千葉県）の地表観測点と地下

2300mの基盤観測点の記録の応答スペクトルを見てみましょう。2004年9月の紀伊半島南東沖地震（M7.4）の記録と2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）のそれとでは、マグニチュードも、記録の振幅もかなり違います。しかし、地表記録の応答スペクトルを基盤記録のそれで除したものは、この2つの地震でよく似ています。

このように、盆地構造の長周期成分の増幅特性は、振幅の小さなものも含めて、地震動を粘り強く観測していれば、予め知ることができます。現在では、これまでに蓄積された調査研究成果・経験に基づき数値シミュレーションが行われて、対策をたてる際の基礎資料として使われています。

基調講演Ⅱ

「南海トラフ地震による長周期地震動への対応策」

国土交通省 住宅局 建築物防災対策室長

安藤 恒次氏



安藤 恒次氏

一長周期地震動とは一

今年6月に「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対策」（以下、長周期地震動対策）を公表しましたが、その内容について説明します。

長周期地震動とは、揺れが1往復するのにかかる時間（周期）が長い地震動のことで、内閣府が行っている検討の中では周期が2秒から10秒の地震動を対象にしているようです。長周期地震動は、マグニチュード7以上で、かつ震源が浅い地震で卓越するといわれています。また、厚い堆積層がある大規模平野など、地盤

が盆地上になっているところで励起されやすく、揺れの継続時間が長くなりやすいという特徴があります。

また、建物には固有の揺れやすい周期（固有周期）があり、地震動の卓越周期に近い場合は共振して大きく揺れてしまいます。超高層建築物や免震構造のように固有周期の長い構造になっている建物ほど長周期地震動による影響を受けやすくなっています。

東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では、速く離れた大阪市にある地上52階の大阪府咲洲庁舎が長周期地震動の影響とみられる大きな揺れに見舞われました。咲洲庁舎では約10分間の揺れが生じ、52階で片側最大1mを超える揺れ（短辺方向137cm、長辺方向86cm）が確認され、内装材等の損傷やエレベーターのロープ絡まりによる閉じ込めなどの事象が生じました。

一国土交通省における長周期地震動対策の経緯とその概要一

国土交通省では、長周期地震動で石油タンク火災が発生した平成15年9月の十勝沖地震、超高層ビルのエレベーターのワイヤーが損傷した平成16年10月の新潟県中越地震などを契機に、長周期地震動対策の検討を始めました。平成22年12月に一度対策試案のパブリックコメントを行いました。その後、東日本大震災が発生したため、その影響も分析することとし、内閣府の「南海トラフ巨大地震モデル検討会」の動向も踏まえながら検討を進め、今年6月に最終的な「長周期地震動対策」を公表しました。来年4月から適用が開始されることになっています。

今回の「長周期地震動対策」は、南海トラフ沿いで約100年~150年の間隔で発生しているとされるマグニチュード8~9クラス巨大地震を対象にしており、1707年宝永地震、1854年安政東海地震などの過去の地震を踏まえて影響を検討した結果、対象地域は関東地域、静岡地域、中京地域と大阪地域の一部としています。ただし、内閣府では相模トラフ沿いの巨大地震などによる長周期地震動に

についても検討中であり、関東地域などで超高層建築物等を建築する場合には、可能な限り余裕のある設計や将来の改修を見込んだ設計とすることが望ましいとしています。具体的な対象地域については、国交省のホームページ上「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」のページで、4つの地域において長周期地震動による影響度ごとに「字・町丁目」まで記載したリストを示しています。このリストに載っていない地域は対象外ということになります。

対象となる建築物は、高さが60mを超える超高層建築物と地上4階建て以上の免震建築物で、建築基準法第20条第1項第一号に規定する大臣認定に必要な時刻歴応答解析の性能評価を取得する建築物です。

具体的には、新築の場合、平成29年4月1日以降に性能評価を申請する超高層建築物等について、従来からの検討に加え、「対象地震によって建設地で想定される長周期地震動による検討（時刻歴応答解析）」を行うこととなります。

これに関連して、国交省では、超高層建築物等の時刻歴応答解析に用いる設計用長周期地震動について、標準的な波形を提示するとともに、他の手法を用いた作成方法を提示しています。

さらに、「家具の転倒・防止対策に対する設計上の措置」や「免震建築物等について、長時間の繰り返し累積変形の影響を考慮した安全性の検証」を行うことを求めています。

一方、既存の場合には、「新築と同じように長周期地震動の影響をチェックし、必要に応じて補強等の措置を講じることが望ましい」としています。いわゆる既存不適格建築物の扱いはありませんが、可能な限り対応を求めるといえるものです。まずは、建設地の設計用長周期地震動の大きさが、設計時に構造計算に用いた地震動の大きさを上回るかどうかについて簡易なスクリーニングを行い、これを上回る場合には、新築と同様の詳細な検証

を行うこととしています。なお、補強等が必要な場合の具体的な措置としては、様々な方法が開発されていますが、一般的に制震ダンパーの設置が行われています。

超高層建築物等に関わるディベロPPERやビル所有者の方々におかれましては、今回公表した長周期地震動対策をご理解のうえ、今後、取組みを進めていただきますようお願いいたします。

事例研究 I

「長周期地震動の基礎知識と対策事例」

(株)三菱地所設計 リノベーション設計部 副部長

岡西 努氏



岡西 努氏

一補強対策は繰り返し検証しながら推進一

地震動には、ガタガタと小刻みに揺れる短周期のものから比較的ゆっくりと揺れる長い周期のものまで様々な周期帯があり、2秒以上の周期帯の地震動を「長周期地震動」と呼んでいます。研究者の間では1960年代から知られていましたが、当時は長周期地震動の影響を受けやすいとされる高さ100m以上の建物がほとんどありませんでした。その後、2003年の十勝沖地震による石油タンク火災や2011年の東日本大震災で超高層ビルが大きく揺れたことにより注目されることになりました。

長周期地震動は、震源が浅く、マグニチュード7クラス以上の大きな地震が起きると、厚くて柔らかい堆積層からなる大規模な平野で発生しやすいという特徴があります。

建物には固有周期と呼ばれる揺れやす

い周期があり、地震動の周期とこの固有周期が一致すると建物は大きく揺れます。これを「共振」と呼びます。建物の固有周期の目安は、木造家屋が0.5秒以下、高さ30mの建物が0.5～1秒、高さ60mの建物が1～2秒、高さ100mになると2～3秒、高さ300mでは6～7秒です。固有周期は建物が高いほど長くなり、超高層ビルは長周期の地震動と共振すると揺れが大きくなります。

長周期地震動対策を施している既存の超高層ビルは、プレス発表情報によれば、東京都庁第一・第二本庁舎、新宿センタービル、新宿パークタワー、新宿三井ビル、新宿野村ビル、損保ジャパン日本興亜本社ビル、大阪府咲洲庁舎、サンシャイン60などがあります。

既存超高層ビルの長周期地震動対策は、建物の構造的特徴を踏まえ、クライアントニーズを達成する上で最も効果的な制震装置と補強位置を選定し、耐震性、機能性、施工性、工期とコストについて繰り返し検証しながら進めていきます。

具体事例として、高さ240mのサンシャイン60を紹介しします。工期は2014年3月～2016年8月で、オイルダンパーと2種類の鋼製ダンパーの計3種類のダンパーを設置する組み合わせ工法を国内で初めて採用しています。オイルダンパーは短辺方向に252箇所、鋼製ダンパーは短辺方向に228箇所、長辺方向に186箇所設置しています。いずれも建物のコア部分に配置しているため、事務所スペースに補強要素が一切出ない計画となっており、人目に触れることなく、建物の機能性を損なうこともなく、補強工事は完了しています。

事例研究 II

「長周期地震動対策の事例報告」

大成建設(株) 設計本部 構造計画部長

木村 雄一氏

一既存超高層建物に適した制震構法一

長周期地震動の対策としては、揺れのエネルギーを吸収し、できるだけ変形を小さくし、揺れを早く収めることが基本

となります。

建築基準法における耐震基準は、建物の構造安全性に重点が置かれ、その対策構法として耐震構造、制震構造、免震構造があります。

既存の超高層建物に対する長周期地震動対策としてはどの構法が適しているのか。既存超高層建物の長周期地震動対策として、耐震化は柔構造である超高層建物には適しません。

免震化は、免震装置に作用する軸力が大きく、装置の大型化などコストと手間がかかるなど採用は難しい。制震化が超高層建物に適していますが、ダンパーを設置すると「ダンパーの反力」という設計時に想定していた以上の力が加わることになるので梁、基礎の補強が必要になる場合があります。

1979年に竣工した新宿センタービルの制震改修事例を紹介しします。高さが223mで、固有周期が長辺方向に5.2秒、短辺方向に6.2秒と相当長い周期を有した建物です。

建設時の考え方として、建物の維持管理を担う委員会を設け、事業計画年数を100年とし、100年を3分の1周期に分けて計画的にリニューアルを続けるようにしています。その1/3周期の中でも、10年毎に更新すること、15年～20年毎に更新すること、30年～35年毎に更新することに分けており、事業継続性の観点から長周期地震動対策を2009年夏頃までに行いました。

既存超高層ビルの制震対策として、V型ブレースの下にオイルダンパーの付いた「T-RESPO構法」を採用しました。そのダンパーは柱や梁にかかる力を抜く（制御する）ことができる変依存型ダン



木村 雄一氏

パーなので、柱や梁を補強する必要がありません。取り付けも梁の横にあけた穴にPC棒を通して圧着するので溶接が不要で、テナントが一時移転することなく、夜間工事に対応できました。15階～39階の効率のいい場所に1層12台、合計288台を取り付けました。

こうした対策が2011年3月の東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）で実証されました。短辺方向の建物の減衰が2倍近くあったほか、最大変形で22%低減、最大加速度で29%低減という効果がありました。

昨今の長周期地震動対策技術を紹介しておくとして、屋上にマス（重り）を置き、ばねとオイルダンパーで建物と繋ぐ「TMD」、当社が共同開発して特許出願中の「T-Sオイルダンパー」など技術開発が進んできています。

事例研究 III

「長周期地震動対策におけるエレベーター技術の動向」

三菱電機(株) 稲沢製作所 開発部機械開発課 専任

福井 大樹氏



福井 大樹氏

一長尺物振れ管制運転により建物ごとに退避階へ移動一

エレベーターの耐震性能目標をみると、稀に発生する地震では、かご懸垂機器（制御盤・巻上機・そらせ車ほか）の機能を維持するとともに、かごや釣合おもりの脱レール、主ロープや調速機ロープなどロープ類の長尺物の引っ掛かり防止・突起物の保護措置などを示すことで、地震後にも運行できる性能を求めています。一方、極めて稀に発生する地震に対して

は、かごを吊る機能が維持できること、すなわちかごを懸垂支持でき、かご内の乗客を救出できる性能を求めています。

こうした耐震性能を補うかたちで、地震時の乗客の閉じ込め被害、地震中や地震後の運行による二次被害を避けるための「地震時管制運転」が導入されています。管制運転には、P波管制運転、S波管制運転と長周期地震動に対応した長尺物振れ管制運転があります。

エレベーターの長周期地震動による影響が目立つることになったのは、1983年の日本海中部地震で新宿の高層ビルに被害が出たほか、2004年の中越地震において六本木のビルでエレベーターの長尺物が引っ掛かった事象で注目を集めることになりました。この事象では、高層ビルが地震の横揺れと共振し、その共振によってエレベーターの長尺物が昇降路内の機器に引っ掛かり、機器が損傷してしまったのでした。揺れそのものが非常に低加速度だったため、地震感知器が反応せずに運行を続けたのも被害の要因でした。

これを契機に、2009年に「昇降路耐震設計・施工指針」が改定され、長尺物振れ管制運転が標準仕様となりました。基本的に高さ120mを超える建築物（高さ60mでも条件によって設置必要）を対象に、昇降路頂部高さ及び昇降機全高が60mを超えるエレベーターに対し、長尺物振れ感知器を昇降路頂部へ設置するように求めています。感知器は建物の揺れ等から主ロープなど長尺物の揺れを予測します。

具体的な長尺物振れ管制運転を紹介すると、昇降路頂部にある感知器が建物の揺れによってロープの揺れを予測し、ロープの揺れが小さい段階で最寄階に停車します。その後、建物の周期とロープが共振しにくい階へ退避運行などをして被害を未然に防ぎます。退避運行する場合、退避階は建物ごとの固有周期に基づいて事前に各建物でロープと共振しない位置を算出し、設定する方法などが用いられています。