

2010年 7月9日

イーストコート3番街 管理組合法人
理事長 三谷 光平 殿

株式会社 竹中工務店 大阪本店
設計部 構造部門
マネージャー 前野 敏元



貴 六甲アイランドCITY イーストコート3番街
「地震に対する耐久性についての質問」に対するご回答

拝啓 時下ますますご清祥のこととお慶び申し上げます。平素は格別のご高配を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、2010年5月31日付貴信、貴 六甲アイランドCITY イーストコート3番街（以下、貴建物と呼びます）における「地震に対する耐久性についての質問」につきまして、下記のとおりご報告申し上げます。

何卒、ご査収賜りますようよろしくお願い申し上げます。

敬 具

記

1. 「東南海地震（長周期地震）に対する耐久性」について

(1) 長周期地震動の特徴と地震時の損傷程度

長周期地震動は、地震発生直後のガタガタとした揺れの後に、ゆっくりとした揺れが通常の大地震よりも長く続くことが特徴です。長周期地震動の確立した定義はありませんが、大阪平野で発生しやすい地震の揺れの周期は一般的に4～6秒程度とされ、貴建物のような高層建物の変形は一般建物より大きくなり、間仕切壁やベランダ防水などに損傷が発生する可能性があります。

(2) 貴建物における長周期地震動に対する安全性について

貴建物におきましては、1988年当時の基準で設計されており、現行耐震レベルの設計用地震動（2000年の建築基準法改正後の地震動）に対応しておりません。

しかし、建物には材料強度の余力があり、設計時に算出した貴建物が最も揺れやすい周期は2.6秒程度で、(1)でご説明した大阪平野で発生しやすい地震の揺れの周期とは一致していないことを考えれば、必ずしも「倒壊の危険性がある」との判断に至るものではありません。

ただし、ご質問にありました東南海地震に対する貴建物の耐久性をさらに詳しく検証するためには、長周期地震動を想定した模擬地震動を使用した耐震診断を実施することをお勧めいたします。

また、「5億円程度の補修費で復旧できること」というご質問につきましては、現段階では判断できません。補修費につきましては、耐震診断を実施の上、柱や梁の部材一つ一つを詳細にモデル化し、その上で模擬地震動による地震応答解析を行い、概算コストを検証することになります。

2. 「地震時に同時発生する津波に対して耐えうるのか」について

(1) 六甲アイランドで想定される津波

神戸市発行の「神戸市東南海・南海地震防災対策推進計画」では、神戸市東灘区の最高潮位として2.5m程度の津波が想定されておりますが、貴建物が位置する六甲アイランド中心部は「津波警戒地域（津波時の最高潮位よりも地盤の低い地域）」に該当していません。

(2) 「何mまで安全か？」について

津波による波圧・波力が、陸上の建築物に作用した場合の定量的な評価方法は、研究の端緒にすぎたばかりですので、明確な回答はできませんが、貴建物は高層建物で重量が大きく、正方形に近い平面形状を有しているため、津波による波圧・波力に有利な条件を備えているといえます。

(3) 「津波の被害を防ぐ方法」について

「神戸市東南海・南海地震防災対策推進計画」では、「想定上は浸水被害がなくとも、防潮扉等の被害状況によっては浸水のおそれがあり警戒が必要です」との記述もあり、地下機械室への浸水による被害が想定されますので、万一のための浸水防止対策をお勧めいたします。

3. 「地震時にエレベータを守る方法」について

「緊急地震速報を活用したリアルタイム地震対応システム」をご提案させていただきます。このシステムは、気象庁の緊急地震速報だけでは感知しきれない長周期地震動の予測機能も備え、建物やエレベータの揺れをいち早く予測し、館内一斉放送や地震管制運転を行うシステムです。

システムの概要につきましては、別紙資料をご参考ください。

以 上

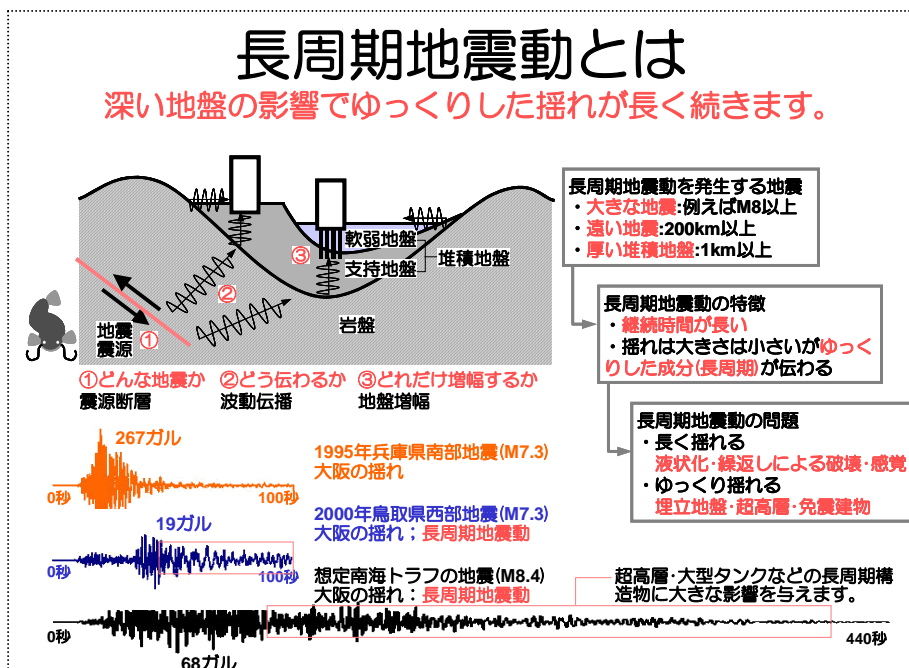
1. 長周期地震動について

2003 年十勝沖地震の際に苫小牧市内で発生した石油タンク火災や、2004 年新潟県中越地震における東京都でのエレベータ損傷被害など、長周期地震動は 200km 以上離れた場所に影響を及ぼし、広く知られるようになりました。



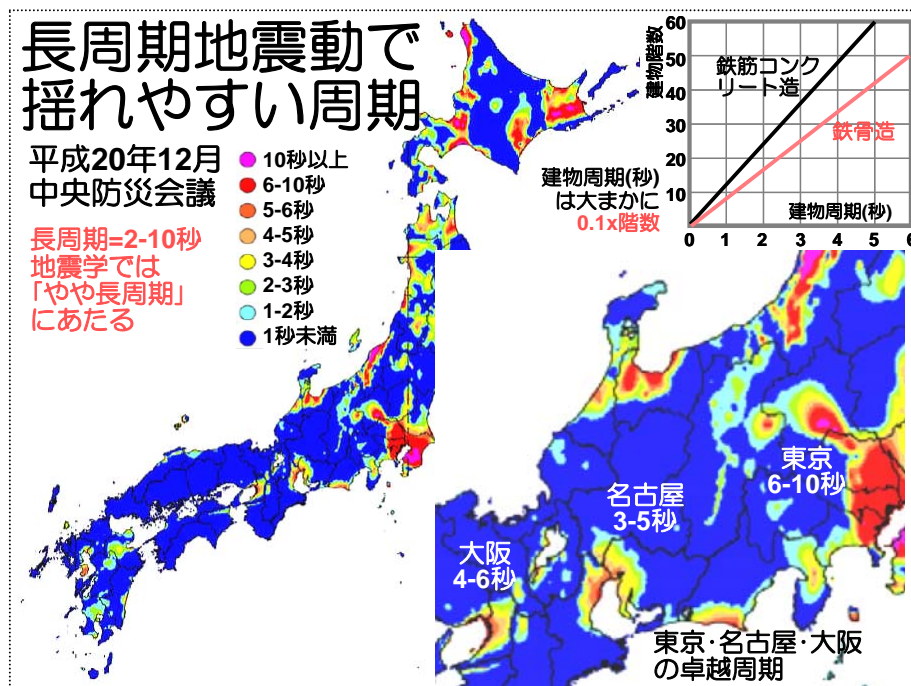
2. 長周期地震動の定義

実のところ、長周期地震動に明確な定義はありません。地震動とは、地震による地面や地中の揺れのことです。地震発生直後に感じるガタガタとした短い周期の波による揺れと、その後に伝わってくるゆっくりとした長い周期の波による揺れが混ざっています。長周期地震動は後者の揺れを指し、ゆっくり繰り返す揺れが通常の大地震よりも長く続くのが特徴です。



長い周期の波は、ガタガタとした短い周期の波に比べて減衰しにくく、震源から遠くでもあまり弱くならず伝わってきます。また、長い周期の波は、深い地下構造の影響を受けやすい性質があります。特に、深い地下構造が凹状の形になっている堆積盆地のような場所では、その中に堆積した軟弱な地盤により揺れが増幅したり、表面波と呼ばれる地表に沿って伝わる波が発達したりして、揺れの継続時間が長くなる傾向があります。

一般的には、固有周期の長い構造物などに被害を及ぼす地震動という観点から考えて、高層建物が影響を受ける周期2~3秒、あるいは周期4秒程度以上の成分を多く含む地震動を長周期地震動と呼ぶことが多いようです。平成20年には、中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」が、長周期地震動の卓越周期を予測する地図を公開しました。三大都市圏では、中京圏を含む濃尾平野の揺れやすい周期が最も短く3~5秒、大阪平野は4~6秒、関東平野が一番長く6~10秒とされています。



3. 一般的な耐震設計の考え方

わが国における建物の耐震設計の原則は、基本的には次のように2段階で考えられています。

- 1次設計：建物の耐用年限内に1度ないし数度経験する程度の比較的頻度の高い中地震に対しては、ほとんど損傷は生じない。
- 2次設計：極めて稀に遭遇するかもしれない大地震に対しては、建物に多少の損傷が生じてもやむを得ない。しかし、建物の崩壊・破損、その他派生する災害により、人身に危険の及ぶようなことがあってはならない。

2段階で耐震性を検討するという方法は、一般の建物では1981年施行の新耐震設計法から始まりました。大地震に対して建物が大破・倒壊しないことが保証されるのは、これ以降となります。一方、超高層建物の設計では当初から2段階設計が採用されており、この40年間で基本的な設計法に関する

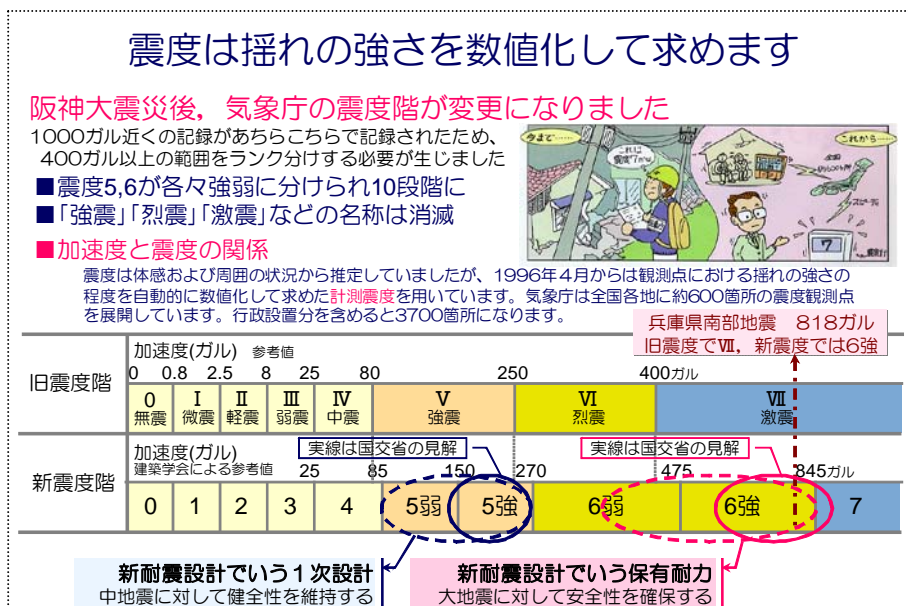
新旧の差はありません。しかし、2000年の建築基準法改正において、建設地の特性を反映した地震動を設計に用いることが義務づけられ、2000年以降に設計された超高層建物は、以前の建物に比べてより安全性が高まっています。



[注釈]: 「ガル」は加速度の単位の俗称で (cm/s²) のことです。

一般の中低層建物では、耐震設計における地震の大きさを地表面の揺れの大きさとして加速度で表現して、1次設計で80~100ガル程度、2次設計で300~400ガル程度を想定しています。これらの地震動の大きさを震度階で表すと、80~100ガルは震度5弱、300~400ガルは震度6弱にあたります。

超高層建物では、地震動の大きさをレベル1、レベル2と表現しますが、加速度に換算してレベル1で250ガル程度、レベル2で500ガル程度を想定しています。中低層建物の地震被害を表すための震度階を超高層建物に関連づけることには無理がありますが、あえて表現すればレベル1で震度5強、レベル2で震度6強にあたります。超高層建物では、その重要度を考慮して1ランク大きい地震を考えると共に、レベル2でもほとんど損傷が生じないように設計され、十分な耐震安全性が確保されています。



初期の超高層建物では、レベル1で200ガル程度、レベル2で300ガル程度とするものもあります。しかし、建物耐力の計算を現在ほど精密に行うことが不可能であったことに配慮して、余裕を残した設計が多く、現行より小さい地震動で設計されていますが、多くの場合、現在の方法で再計算すると、想定以上の耐力を有していることが確認されます。

また、材料強度の余力、計算に入れていない構造部材の耐力、設計で想定した荷重の組み合わせと実際との差異などのため、建物は設計用地震力以上の耐力を有しています。国土交通省「2001年版建築物の構造関係技術解説書」にも、「現行の耐震基準（新耐震基準）は、中規模の地震（震度5強程度）に対しては、ほとんど損傷を生じず、極めて稀にしか発生しない大規模の地震（震度6強から震度7程度）に対しても、人命に危害を及ぼすような倒壊等の被害を生じないことを目標としています」と、1ランク上の記述がなされています。

4. 長周期地震動に対する建物の安全性について

長周期地震動は、固有周期の長い構造物などに被害を及ぼす地震動です。一般の中低層建物は固有周期が短く、周期の長い長周期地震動の影響をほとんど受けません。これに対して、超高層建物・免震建物では、それぞれの建物が持つ固有周期が長く、これが長周期地震動の周期に一致するとき、大きな影響を受けます。一般的な鉄骨造建物の場合、その固有周期 T （秒）は、階数を N とすれば概ね $T = 0.1N$ （日本建築学会, 1973）で表され、20階建て以上の建物では、長周期地震動の影響を受けると考えられます。

長周期地震動に対する超高層建物・免震建物の安全性は、設計年代に応じて以下のようです。

① 2000年以降に設計された（免震構造でない）耐震超高層建物

長周期地震動は、高層や免震建物については通常震度（5強程度）で考えるよりも大きな揺れが長く続きます。従って、非常な不安感を与えます。また、間仕切り等にひび割れや破損が起こる場合があります。構造部材にも一部損傷が起こりますが、継続使用していただくのに問題はなく、構造安全性についてご心配はありません。

② 免震超高層建物を含む免震建物

長周期地震動は、高層や免震建物については通常震度（5強程度）で考えるよりも大きな揺れが長く続きます。しかし、免震建物は耐震超高層とは違って、揺れも小さく、ゆっくりとした揺れで、免震の効果を十分に発揮します。間仕切りなどに一部損傷が出るかもしれませんが、構造安全性についてご心配はありません。ただし、免震層が大きく揺れますので、EXP. Jなどの2次的な部材に損傷が起こる可能性があります。

③ 2000年以前に設計された（免震構造でない）耐震超高層建物

長周期地震動は、高層や免震建物については通常震度（5強程度）で考えるよりも大きな揺れが長く続きます。2000年の法改正により、超高層建物の設計用地震動が、建物の特性によっては以前よりも大きくなる指導を受けるようになりました。そのため、2000年以降の超高層建物に比べると、耐震性能は若干劣っています。長周期地震動により、ある程度の被害が発生する可能性があります。もちろん、倒壊するような危険はありませんが、残留変形が残り、補修工事が必要になる可能性があります。現行法規や長周期地震動も含めた耐震性診断をされることをお勧めいたします。

大きな長周期地震動が発生した時の、高層ビルの室内の状況を検証した実験があります。実験は、Eーディフェンス（兵庫県三木市にある独立行政法人防災科学技術研究所の実大三次元震動破壊実験施設）の震動台上に、30階建物の上層部5階を模した試験体で行われました。実験では、背の高い家具は床や壁に固定されていなければ転倒は免れないこと、固定していても収納物の飛散を完全に防ぐことは容易でないこと、ストッパーが効いていないキャスター付き家具などは大きく移動すること、などが観察されました。しかも、長周期地震動は継続時間が長くなることから、キャスター付きのコピー機などは机や壁に何度も衝突しながら、ふらふら動いている時間が長くなり、壁に穴を開ける状況も見られました。

遠方の大きな地震による長周期地震動の場合は、通常の（短周期の）地震動に比べて、揺れ始めてから揺れが大きくなるまでに少し時間がかかります。今後、緊急地震速報の有効活用など、長周期地震動が来る前の退避行動などの対策について検討を進めることも必要です。

5. 六甲アイランド CITY イーストコート3番街建物の耐震設計

貴建物は建物高さが60mを超えるため、その耐震安全性について日本建築センターの評定を経て、建設大臣の認定(1988年10月17日)を取得しています。2000年の建築基準法改正以前の設計であり、前節4.の③に相当します。

表1に、本建物の耐震設計に用いた地震動とその大きさを示します。実際に観測された記録を、レベル1、レベル2の2段階に対応させ、大きさを増幅して設計に用いています。レベル1で震度5強、レベル2で震度6強とされる現行規定に比較すると、設計用地震動は若干小さめになっています。

長周期地震動により倒壊するような危険はありませんが、ある程度の被害が発生し、残留変形が残り、補修工事が必要になる可能性があります。現行法規や長周期地震動も含めた耐震性診断をされることをお勧めいたします

表1. 設計に用いた地震動とその大きさ

地震動波形		レベル1 中小地震		レベル2 大地震		継続 時間 sec
		速度 cm/s	加速度 cm/s ²	速度 cm/s	加速度 cm/s ²	
EL CENTRO 1940 NS	アメリカの地震記録を修正	20	207	40	414	53.8
TAFT 1952 EW	アメリカの地震記録を修正	20	206	40	411	54.4
RIC 1983 EW	六甲アイランドで実測された地震記録を修正	20	121	40	242	—

6. さいごに

文部科学省地震調査研究推進本部によれば、今後 30 年間に東南海地震、南海地震が起こる確率はそれぞれ 50%、40%ときわめて高く、今世紀前半には殆ど確実に起こるものと考えられています。長周期の揺れが長時間継続する遠距離巨大地震では、1995 年の兵庫県南部地震のような直下型地震とは異なる被害を呈する恐れがあります。

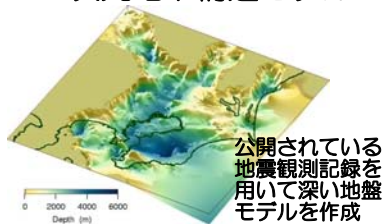
設計段階から、想定される長周期地震動（東南海地震、南海地震）に対して十分なシミュレーションを行っている最近の超高層建物以外では、現行法規や長周期地震動も含めた耐震性診断をされることをお勧めしています。構造安全性という観点と言うまでもないですが、長時間継続する揺れに対する安心感を確保するという観点からも耐震性能を検証することがよいと思われれます。

検証の結果、何らかの懸念が生じた場合は、その対策として各種の制振装置（ダンパー）を設置するなど、早期に揺れのエネルギーを吸収するような耐震改修をお勧めします。また、従来の地震感知器では検出できない長周期地震動を検知することができるエレベータに改修するなど、構造体以外の対応も効果は大きいと考えられます。

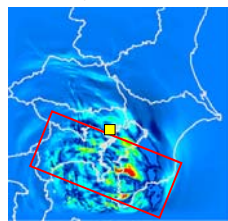
弊社では以下のように、長周期地震動が建物に及ぼす影響を把握するための各種のソフト技術、ならびに超高層建物に対応した耐震改修のためのハード技術を多く保有しています。適材適所の検討と提案をさせていただきますのでご用命ください。

ソフト技術:地震動予測技術

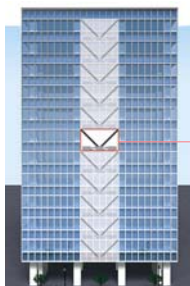
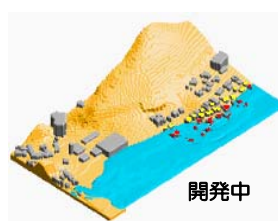
1. 3次元地下構造モデル



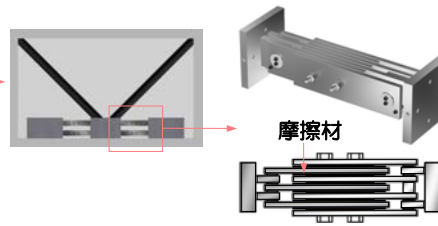
2. 地震動予測



3. 津波浸水予測



ハード技術:多段摩擦ダンパー



超高層(耐震構造)の補強をターゲットにした、軽量でコンパクトな制震装置
1基あたり
長さ80cm,重量220kg
40tの力を発揮

[参考文献]

- (1) 中央防災会議／東南海・南海地震等に関する専門調査会：「長周期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期」，平成 20 年
- (2) 地震調査研究推進本部／地震調査委員会：「長周期地震動予測地図」 2009 年試作版，平成 21 年