

高層ビル等の揺れ等の実態調査結果を踏まえた
長周期地震動に関する情報の
対象及びニーズの把握について

気象庁

実態調査の目的

実態調査の目的

【長周期地震動に関する情報の対象や目的について整理が必要】

- ・ 階数による揺れ方の違いやある中で、どのような情報が有効か。
- ・ 建物内でどのような被害があるか、人の感じ方はどうか、といったことの整理が必要
- ・ 情報について議論するためにはステークホルダーの行動を踏まえることが必要



- ・ 第1回検討会で報告した調査結果に加え高層ビル内における被害についてさらに調査を実施。
- ・ 施設管理者等の地震時の対応行動や情報のニーズの調査

実態調査の方向性

- ・ 構造被害が生じるほどではないとされる長周期地震動が入力した建物内等での人の行動の困難さや什器の転倒・移動等、人的被害の要因となりうるものを検証
- ・ 長周期の揺れと体感の特性について検証
- ・ 高層ビル等の管理者がどのような情報に基づいて防災対応を開始し、そのときの意識がどうであったかを検証

実態調査内容

- ・ 階数等の違いによる体感や什器の転倒・移動等を把握するためのアンケート調査
- ・ 被害があった場所における人の行動等についての聞き取り調査
- ・ 高層ビル等で観測された地震波形と体感等との関係について調査
- ・ 高層ビル等の管理者の初動対応基準や実際に取った措置等についての聞き取り調査



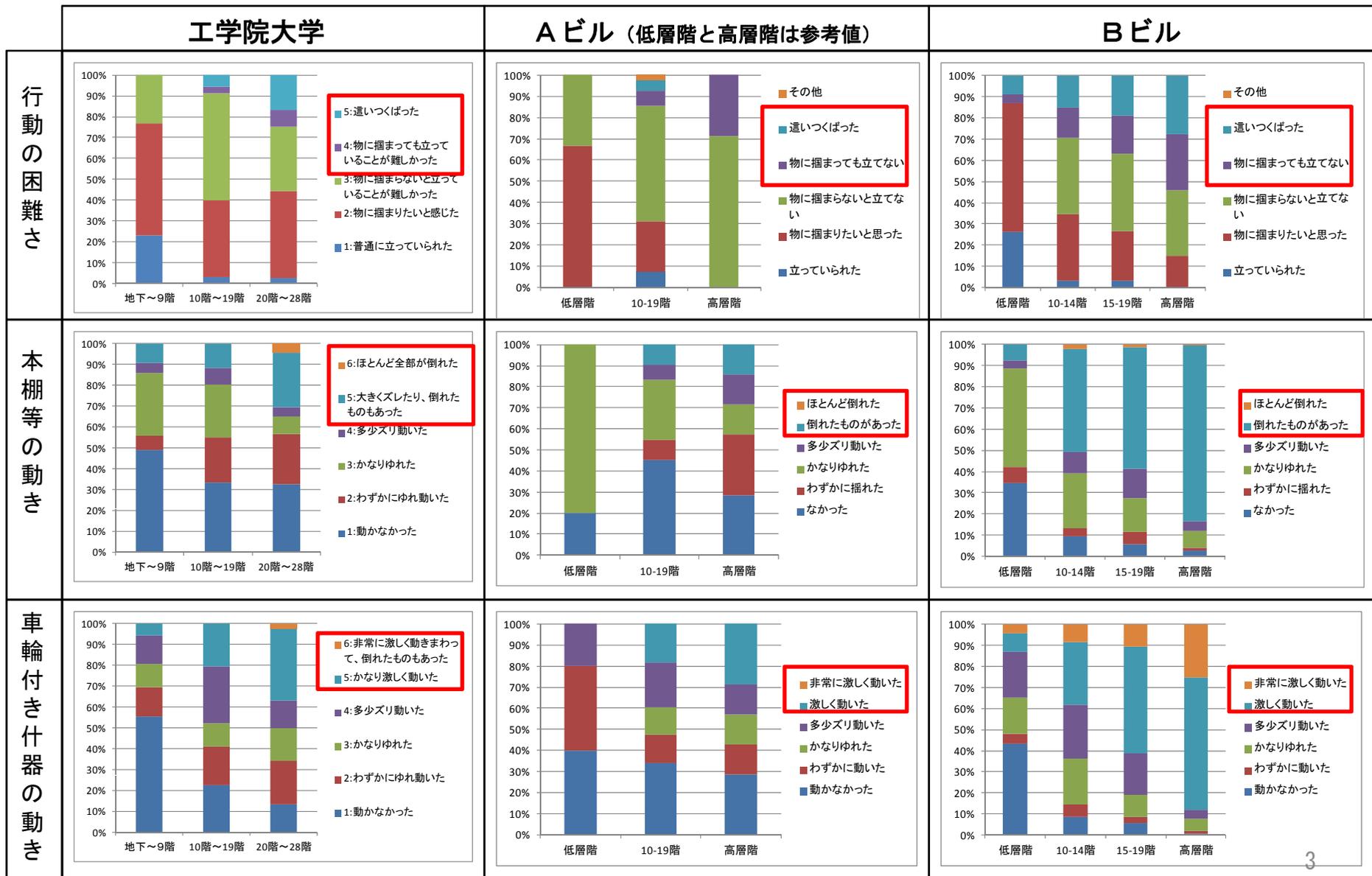
長周期地震動に関する情報の対象及びニーズの把握

高層ビル内におけるアンケート調査結果①

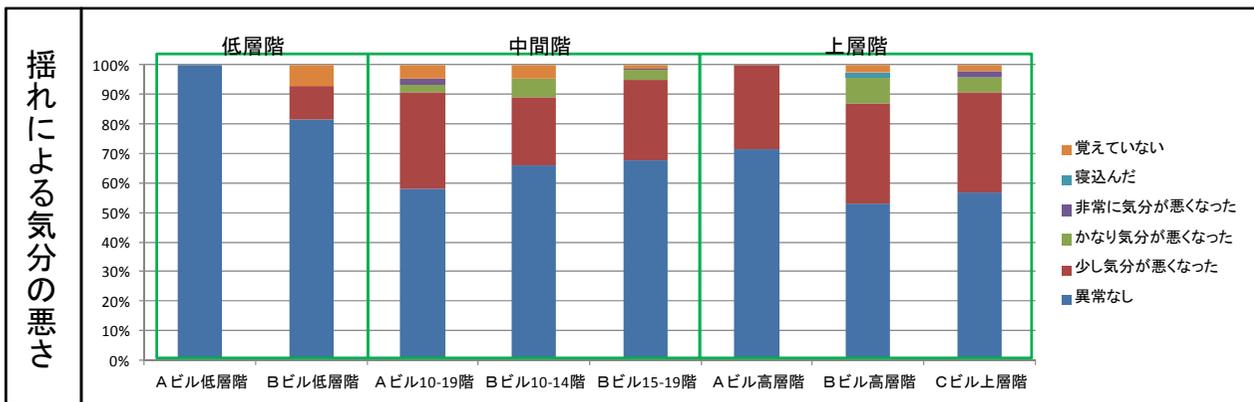
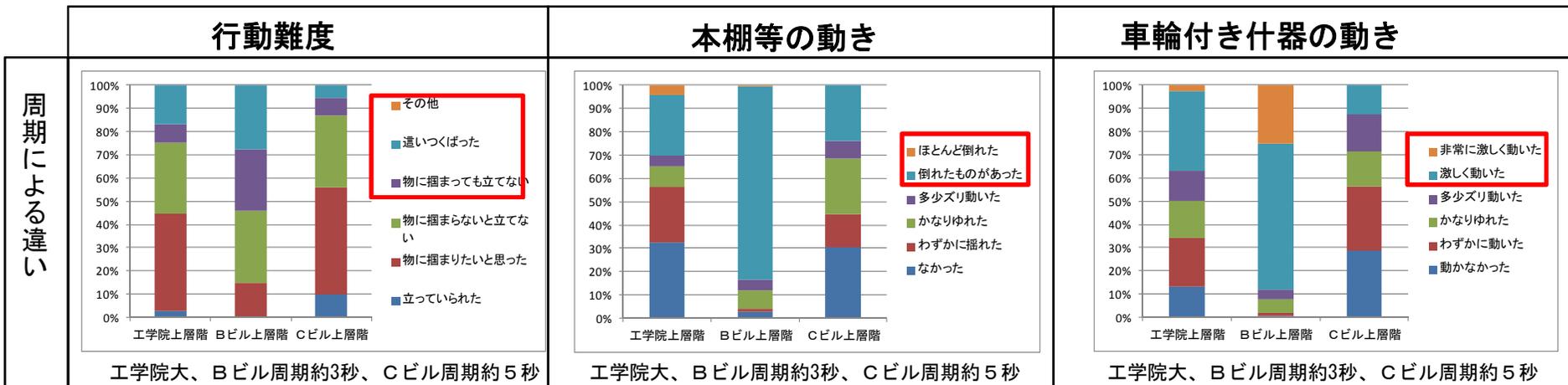
武蔵野台地上 周期約3秒

武蔵野台地上 周期約3秒

東京湾岸 周期約3秒



高層ビル内におけるアンケート調査結果②



【アンケート調査結果】

- ・高層階になるにつれ行動の困難さ、本棚等の転倒、車輪付き什器の移動が多くなり、回避行動や避難行動を阻害する要因が増加
- ・人の行動の困難さは、低層階とそれ以外で大きく異なる。
- ・同じ高さ（周期）のビルであっても、立地の違いによって、行動の困難さ、本棚等の転倒、車輪付き什器の移動に違いがある。
- ・新潟中越地震において、東京では周期5～8秒前後で応答スペクトルが卓越したが、今回はその傾向が認められず、周期5秒の建物より、周期3秒の建物の方が大きな揺れとなっている。地盤の固有周期だけでなく、地震毎の地震動の特徴による影響も考慮する必要がある。
- ・ビル内では気分の悪さを訴える人が3～4割程度ある。聞き取りでは「揺れによる船酔いのような感じ」との証言が多い⁴

低層ビルと高層ビルでの物体の動きの違い

	30mクラスビル上層階	100mクラスビル上層階	工学院大学24階
背の高い非固定の 什器の転倒			
背の低い物の転倒			

【聞き取り調査結果】

低層ビルの上層階と高層ビルの上層階で背の高い什器の転倒が発生した場所を比較すると、揺れを感じてしゃがみ込んだがガラス等の破損は一件もなかった、大きな揺れで、ワゴン等が動いたが、ガラスや皿などの破損はなかったなど、高層ビルでは、背の低い物の転倒・落下は少ない。

什器の転倒等が発生した室内における人の行動

東京都内の100mクラス高層ビル上層階



【聞き取り調査結果から】

- ・ 揺れ始めてからの継続時間が長い。大きな揺れになってからでは身動きが出来ない。
- ・ 固定していないものは一斉に倒れる。
- ・ 震度5弱と聞いても、大きな揺れにあった人は次元が違うと感じ、また、震源を聞いても揺れに対する理解が出来ない。

揺れ始め

カタカタという揺れを感じ、携帯を見たら緊急地震速報で宮城県沖M5.9とあった。次第に揺れが大きくなり、目の前の本棚が「ガタガタ」と揺れ、次第にその揺れの大きさが大きくなった。振り子のように揺れた。危ないと思い、棚等がないやや広いスペースまで同僚（女性）と歩いて避難。

やや大きな揺れだったので、机を立てて少し歩き、同僚と地震だね、と話した。歩いて机に戻って椅子に座り、パソコンをみていたらだんだん揺れが大きくなっていった。ええっ、なにっ？という感じ。

大きな揺れ

スペースに最初あぐらをかいて座ったが、揺れが大きくて体を支えきれず、四つん這いになった。あまりにも音が大きいので四つん這いで進んだら、本棚がばたんばたん音を立てて倒れていった。同じスペースにいた同僚はかがみ込み、悲鳴を上げ、動けなかった。揺れは生理的に非常に気持ち悪い感じがした。恐怖感があった。

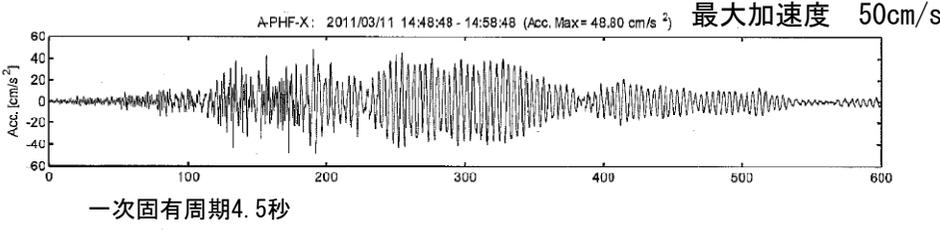
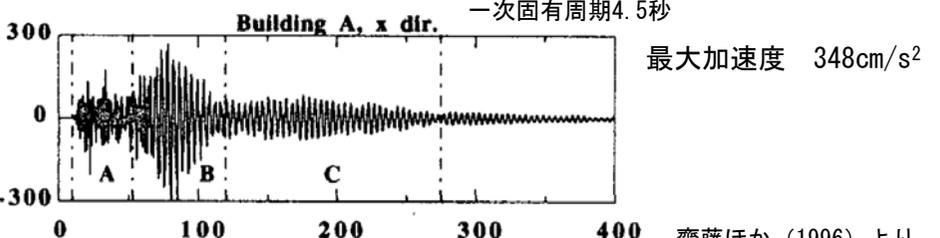
揺れが大きく、目の前の書棚が前後に振られて倒れそうに迫ってくるので、抑えようと手を伸ばした。キャスター付き椅子が床ごと持っていかれるような感じ。棚からファイルなどは落ちなかった。棚の下にあったFAXが飛び出してきた。ドン、という揺れで背中側の本棚がゆっくり倒れ込んできた。幸い椅子の背もたれが高く、頭には少し当たった程度だが、後で痛かった。

揺れ収まる

揺れの最中か終わり頃、本棚の下から「助けて！」という声が聞こえ、2人が倒れた本棚の下に出来た隙間と、本棚が倒れた机の下にいて、出られなくなっていた。周りの人と物を退かしているうち、一名は自力で、もう一名はみんなで本棚を退かして助け出した。宮城県沖で地震とあったが東京の情報がなく、あまりにも揺れが大きく、どうい地震が理解できなかった。

「助けて！」ではなく「埋もれちゃった！」と言ったと思う。本棚が動かず、死ぬ！と思ったが、身をかがめてはい出した。少し放心状態で、恐怖で鳥肌が立ち、携帯を持つ手が震えていた。後に震度情報で震度5弱とわかったが、震度6強とか7とかそんな感じがした。過去経験した震度5弱とは次元が違った。兎に角怖かった。

高層ビルで得られた過去の地震観測記録と体感・什器の動き

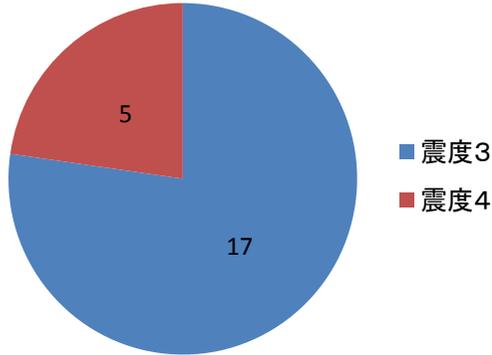
大阪市内	観測波形	観測階の方の体感や什器の動き
平成23年（2011年） 東北地方太平洋沖地震 14時48分頃～ 地表震度3	 <p>観測波形</p> <p>A-PHF-X: 2011/03/11 14:48:48 - 14:58:48 (Acc. Max= 48.80 cm/s²) 最大加速度 50cm/s²</p> <p>一次固有周期4.5秒</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・支えていないと立っていられなかったが、よるめきながらも歩いて移動できた。 ・小物類が倒れるようなことはなかった。 ・同じような大きさの揺れが兎に角長かった。 ・怖かった。
平成16年9月5日の 東海道沖の地震 23時59分頃～ 地表震度4	 <p>最大加速度 150cm/s²</p> <p>一次固有周期4.5秒</p> <p>上林ほか（2009）より</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・柱にしがみついてないと立っていられず、とても歩けなかった。 ・棚上の瓶類が飛び出して割れた。 ・背の低い重い什器の移動はなかった ・怖かった。
平成7年（1995年） 兵庫県南部地震 5時46分頃～ 地表震度4	 <p>Building A, x dir. 一次固有周期4.5秒</p> <p>最大加速度 348cm/s²</p> <p>齋藤ほか（1996）より</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・背の低い重い什器が回転して移動していた。 ・棚の上などの瓶類が多数割れた。 ・テナントの設備、内装材の破損などの被害があった。

【聞き取り調査結果】

- ・被害の程度は最大加速度が増加するにつれて大きくなっている。
- ・周期約4.5秒では、行動の困難さは50-150cm/s²の間、背の低い什器等の動きは150-340cm/s²の間でそれぞれ変化する。
- ・設備の被害に比べ、人間の行動の困難さはより低い加速度で生じ得る。
- ・直下型地震である平成7年（1995年）兵庫県南部地震でも数十秒間の大きな揺れとなっているが、海溝型地震である平成16年9月5日の東海道沖の地震や平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震では、揺れの継続時間は数分間となっている。とくに平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震ではほぼ同じ加速度で減衰せずに継続しており、揺れが長かった、という証言と一致する。

施設管理者等の初動対応

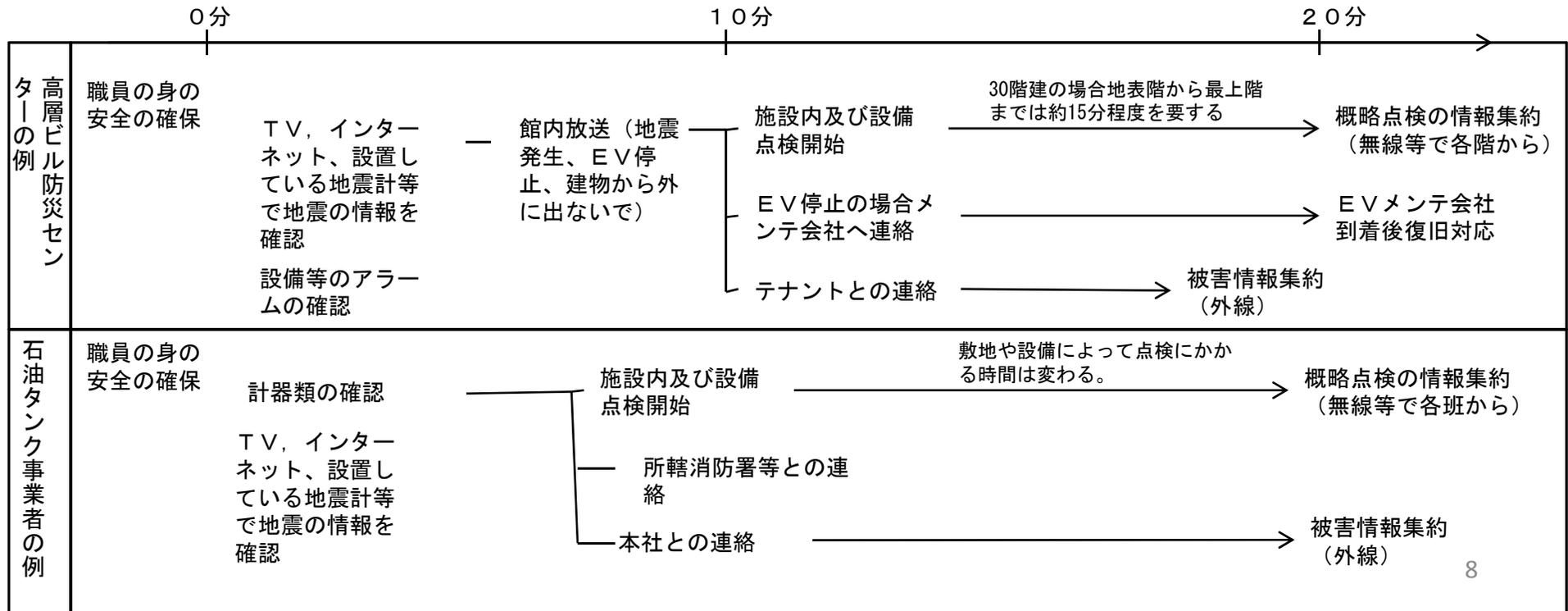
高層ビルの防災センター職員が館内の点検に入る基準



石油タンク事業者の点検等の基準
(例)

震度	点検等の基準
震度3以上	● FRT、IFRTの点検
震度4以上	● ローリー出荷作業停止 ● 海上入出荷作業停止 ● タンク移送、調合作業停止 ● 原油受入作業停止 (全ポンプ緊急停止スイッチによりポンプ停止)
震度5以上	● ボイラー運転停止

高層ビルの防災センターや石油タンク事業者の初動対応の例



平成23年3月11日の施設管理者等の初動対応の証言

震度3のエリア

【やや混乱有り】

- ・震度3なのに様々なアラームが鳴って、そんなに揺れていないのだが、と始め不審に思った。
- ・防災センターではほとんど揺れを感じなかったが、上層階のテナントからひどく揺れたという電話連絡があったため館内放送を行った。
- ・ひどい揺れだったのに館内放送が流れず、防災センターに「とてつもない揺れが発生している」と言ったが、防災センターと揺れの認識が暫く一致しなかった。
- ・高層階の管理事務所から、低層建物に「異常はないか報告を」との要請があったが、揺れていないので不審に思った。
- ・宮城県沖で地震なのに、何故揺れが大きいというのか理解できなかった。

【特に問題なし】

- ・ビルからの出勤要請がいくつか寄せられたが、これまでの地震の経験から、通常の体制で対応できた。震度3なんだけれどな、と少し思った。

震度4のエリア

【やや混乱あり】

- ・震度4なのになぜエレベータを直ぐ復旧しないのか、といった苦情が寄せられた。長い揺れだったのでワイヤーの状況を考えると確認もせず復旧できないが、説明に苦慮した。
- ・通常の震度4よりやや揺れがゆったりしているの、あれ？と思ったらスロッシングによる音が響き始めた。初めてスロッシングの音を聞いたので、火が出るかもと思い怖かった。
- ・上層階から人が降りてきて、何があったのだろうと不審に思った。揺れが大きかったと言っていたが、外の揺れはそれほどでもなく、変だなと思った。

【特に問題なし】

- ・震源が遠く、ゆったりとした揺れで、マグニチュードが大きかったので、過去の経験でこれはスロッシングが発生すると思い、直ぐに社員を退避させた。余震を考慮しながら点検した。

震度5弱～5強のエリア

【やや混乱有り】

- ・地下の防災センターの震度計では震度4だったので基準に達せず館内放送を掛けなかったが、後で上が大きく揺れたと聞いて、今後は震度4でも放送を掛けることにした。
- ・テナントとは通常外線でやりとりするが、輻輳で全く通じなかった。中で什器が倒れていたという情報は後で分かったが、そんな揺れだったかな、と思った。
- ・上層階を巡回中の職員から、立ってられないほど、という連絡があり、普段でも防災センターは揺れを感じにくく、初めは何が起きているのかよく分からなかった。
- ・震度5弱だったので、非常体制としたが、館内の設備に被害が多く、テナントから「宮城県沖の地震で、震度5弱なのになぜこんなに被害が出たのか」と言われ説明に苦慮した。

【特に問題なし】

- ・上層階の地震計の変位量をみたら防災センターより大きな値だが安全判定の基準内なので、上の方が揺れは大きいですが問題はありません、と連絡した。
- ・震源が遠方の地震で揺れが大きかったので、経験上、ビルは揺れるなと思い、直ぐに各階の防火管理者へ被害の報告を求めた。

【聞き取り調査結果から】

- ・発表された震度と、上層階で体感した揺れの大きさや被害のイメージが一致しない場合、初期には多少の混乱が見られる。
- ・基準は決まっても、施設管理者の地震時の経験の差や、イメージの持ち方によって、意識の切り替えに掛かる時間が変わる。
- ・何故、この地震で被害が出るのか、といったことを震度では説明しづらい。

調査結果に基づく、長周期地震動に関する情報の対象およびニーズ

【高層ビル内や石油タンク等の体感や被害をイメージしにくい】

- 高層ビルでは階数が上がるにつれて避難行動や回避行動の阻害要因が増加するが、低層階で感じた揺れではその様子が分かりにくい。
- 上層階で大きな揺れに遭った場合、発表された地表の震度を「小さすぎる」と感じ、どのような地震が起きたのか理解できていない。
- 長周期地震動によるゆったりした揺れ、継続時間の長さ起因する体感、被害（船に乗っているような感じでの気分の悪さ、小物は倒れなくても本棚等のスレンダーな什器が転倒、石油タンクのスロッシングなど）が生じるが、震度だけではイメージしにくい。

【初動対応は基準に沿って行うが、多少混乱が生じることがある】

- 発表された震度と、上層階で体感した揺れの大きさや被害のイメージが一致せず、上層階等の人と低層階の人の意識が一致せず、初期には多少の混乱が見られる。
- 基準は決まっても、施設管理者の地震時の経験の差や、イメージの持ち方によって、意識の切り替えに掛かる時間が変わる。

【地震情報は簡潔なものと詳細なものが求められる】

- 大きな揺れが収まっても1分程度は呆然とし、その後、テレビで情報を入手し、携帯電話などで連絡する人が多い。
- 防災センター等の職員が地震情報を入手する手段は、テレビ、インターネットなど。初動対応を始める前にみている。
- 発生した地震によって、なにが、どう起きたのか、ということを解説したものが必要。

- 現在、施設管理者等は震度を踏まえた点検等の開始基準で対応しているが、長周期地震動による揺れの状況や被害等をイメージ出来る情報があれば、さらに的確な対応に繋がると期待される。
- 高層ビル等の住民の方は、地震直後にテレビ等で震度情報を入手しているが、長周期地震動による揺れがあったことが分かる情報があれば、自らが体感した揺れの理解に繋がると期待される。
- 何故先程の地震で被害が出たのか、ということについての説明ができるような情報があれば、高層階の人などの心配の軽減に繋がると期待される。
- 日本ではこれまで、長周期地震動による建造物の倒壊や重大な損壊は発生しておらず、どのような揺れの大きさとなれば重大な被害が発生するかが明確ではない。不動産管理会社のヒアリングでは、建造物の倒壊、損壊等、著しい被害が発生した場合、地震情報を見るまでもなく災害対応を取らなければならないが、また、被害が軽微な場合は、継続使用の判断には詳細な調査が必要で、地震動だけでは評価が困難、とのことであった。
- 総務省消防庁によれば、石油タンクのスロッシングについては、速度応答スペクトルと液面高からスロッシング高を推定できる計算式が既にあり、また石油タンク事業者等は基準に基づいて対策を取っている。

過去の高層ビルにおける長周期地震動による揺れの状況

人が理解しにくい揺れ、という条件で、高層ビルのみ影響があり、震央距離が概ね200km以上、という条件で、1996年以降の地震から新聞報道等を調査

地震名	高層ビルで揺れによる被害・影響が確認された地域	状況	地域の最大震度
平成12年(2000年)鳥取県西部地震 M7.3 深さ9km	兵庫県、大阪府の大阪湾岸 東京都	高層ビルで揺れが大きくなるほどの揺れ 震度1でも上層階が大きな揺れ	震度4 震度1
平成15年5月26日の宮城県沖の地震 M7.1 深さ72km	東京都	高層ビルでエレベータが停止	震度3
平成15年(2003年)十勝沖地震 M8.0 深さ45km	北海道	札幌市内においてエレベータワイヤーが損傷	震度4
平成16年9月5日の東海道沖の地震 M7.4 深さ44km	大阪府の大阪湾岸	高層ビルで立ってられないほどの揺れ	震度4
平成16年(2004年)新潟県中越地震 M6.8 深さ13km	東京都	高層ビルでエレベータが停止、エレベータワイヤーの損傷	震度4
平成17年8月16日の宮城県沖の地震 M7.2 深さ42km	東京都	高層ビルでエレベータが停止	震度3
平成19年(2007年)新潟県中越沖地震 M6.8 深さ17km	東京都	高層ビルでエレベータが停止	震度3
平成20年(2008年)岩手宮城内陸地震 M7.2 深さ8km	東京都	高層ビルでエレベータが停止	震度3
平成23年3月9日の宮城県沖の地震 M7.3 深さ8km	東京都	高層ビルでエレベータが停止	震度3
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 M9.0 深さ24km	東京都 大阪府の大阪湾岸	高層ビルで立ってられないほどの揺れ、内装材の損傷、什器の転倒・移動 高層ビルで立ってられないほどの揺れ、内装材の損傷	震度5強 震度3



概ねマグニチュード6.8以上、深さ100km以浅の地震で、かつ、高層ビルが立地し、長周期地震動による揺れが大きいとされている地域で影響がみられる。東北地方太平洋沖地震では東京都内は震度5強～5弱であり、低層階でも大きな揺れを感じているが、上層階での被害を認識しにくかった、との証言が多いことから選択。

なお、エレベータの停止については、管制運転で正常に停止したものか、ロープの引っ掛かり等で緊急停止したのか報道等では判別できなかった。

調査結果を踏まえた長周期地震動に関する地震情報の方向性案

地震情報の役割 (震度に関する検討会より)

- ・ 初動対応用情報（非常参集基準、点検開始基準 等）
- ・ 災害応急対応用情報（被害の大きい地域の判別 等）
- ・ 状況を確認するための情報（揺れの大きさの理解・認識 等）

【長周期地震動による揺れに対する地震情報の課題】

震度と体感した揺れの大きさや被害状況が合致せず、状況を理解しにくい。

震源の位置と体感した揺れの大きさ、被害状況が合致せず、状況を理解しにくい。

また、地震情報には含まれない揺れの継続時間の長さ、周期特性も体感等に大きく影響。

住民、施設管理者、防災関係機関等の方々が、日頃見聞きし、かつ、揺れの経験がある地震情報の「震度」や「震源」では理解しにくい長周期地震動による揺れの体感を理解でき、かつ、室内における人的被害や施設内の長周期地震動特有の現象の発生可能性について、経験がなくともイメージ出来るような情報が必要ではないか。

