

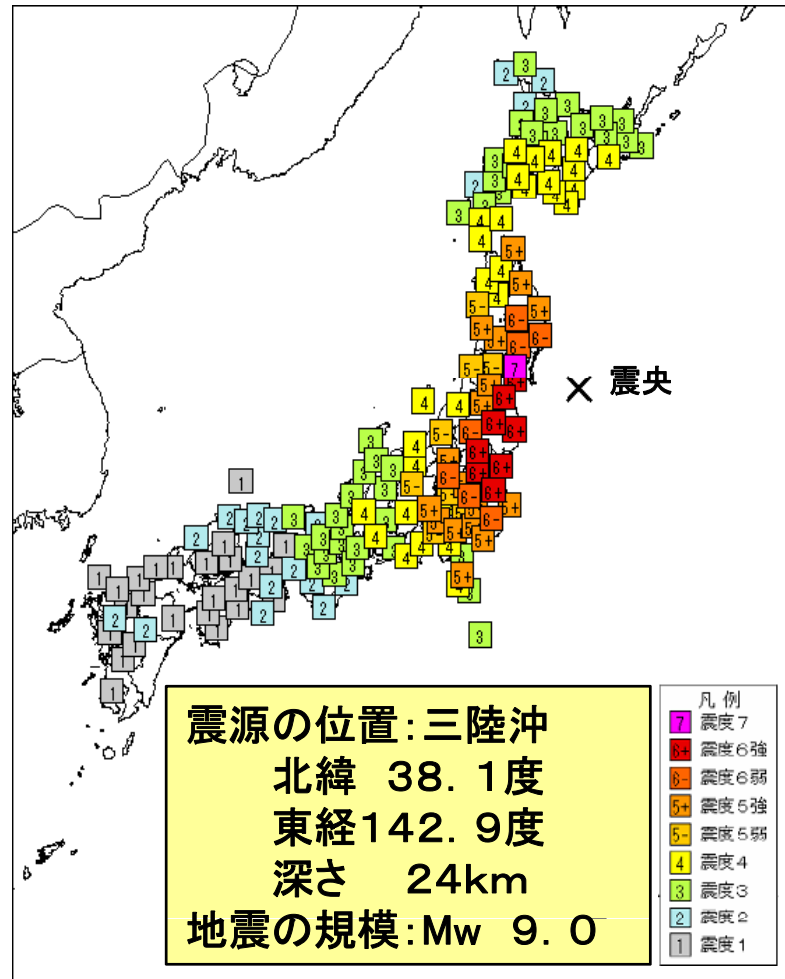
東北地方太平洋沖地震時における
長周期地震動による揺れの
実態調査について

平成23年11月14日
気象庁

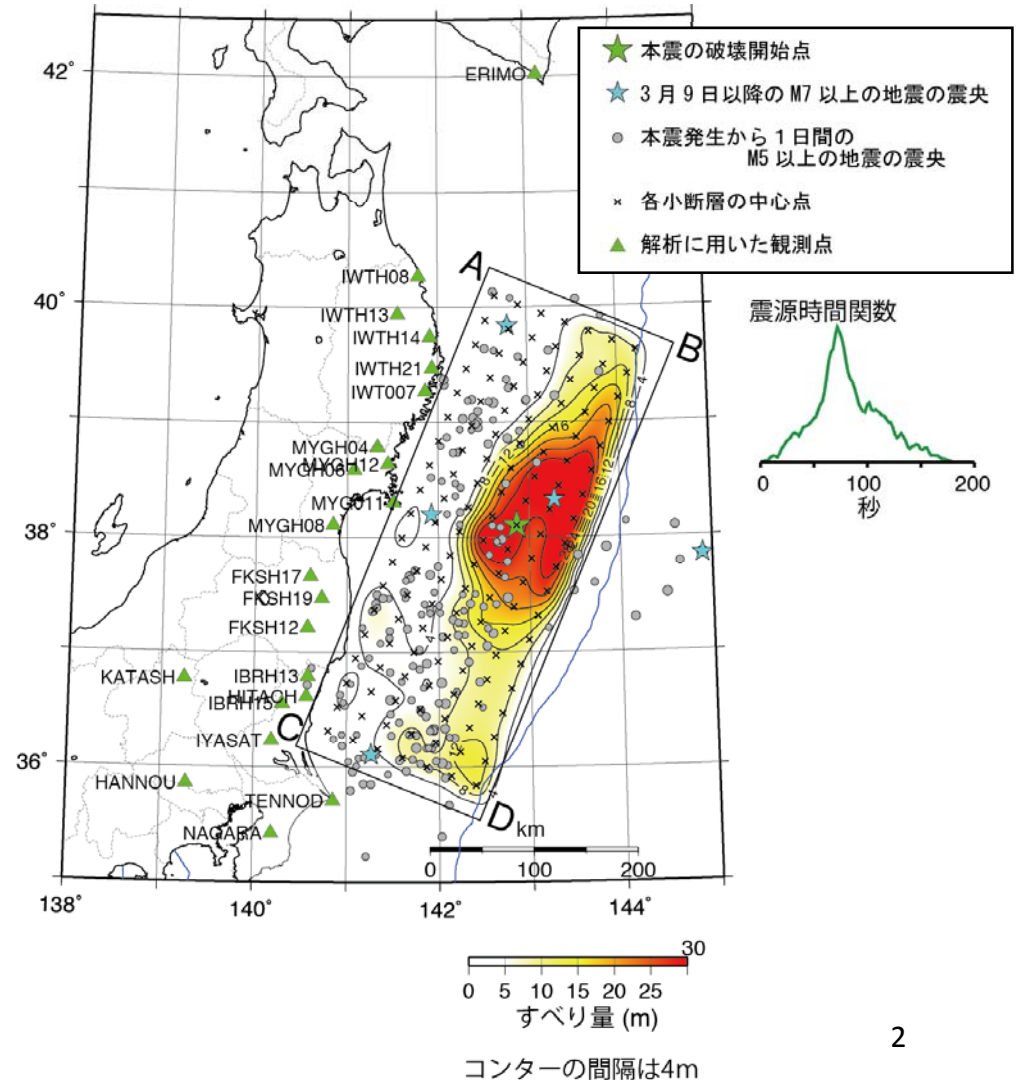
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 ー震度と断層ー

地震発生日時:平成23年3月11日14時46分

観測された震度



断層のすべり分布(気象研究所による解析)



東北地方太平洋沖地震における大阪市内の高層ビルでの揺れ

震源域から数百キロメートル離れた大阪市内（最大震度3）の超高層ビルで大きな揺れが発生し、エレベータの停止や閉じこめ、内装材等の破損が生じた。

大阪府咲洲庁舎における長周期地震動

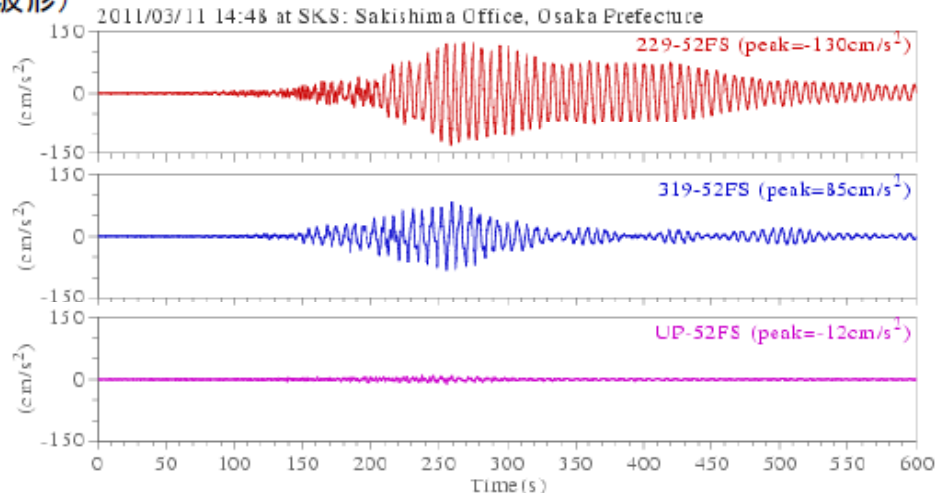
- 咲洲庁舎において約10分間の揺れが生じた。
- 最上階（52階）では、最大1m（片側）を超える揺れ（短辺方向137cm、長辺方向86cm）が確認された。
- 内装材や防火戸等の一部で破損が見られた。
- エレベータの停止や閉じこめ事象が発生した。
- ・机・棚等は固定されており、転倒・移動等の被害は認められず。

強震記録の情報

地震: 2011年03月11日 14時46分 三陸沖 (M=9, h=24 km)
 観測地点: 大阪府咲洲庁舎 (SKS)
 強震計: CV374
 震央距離: 769 km
 最大加速度: 34.3 cm/s² (at 01F)
 計測震度: 3.0 (at 01F)
 記録長: 999 sec.

①地上52階(a)

(加速度波形)

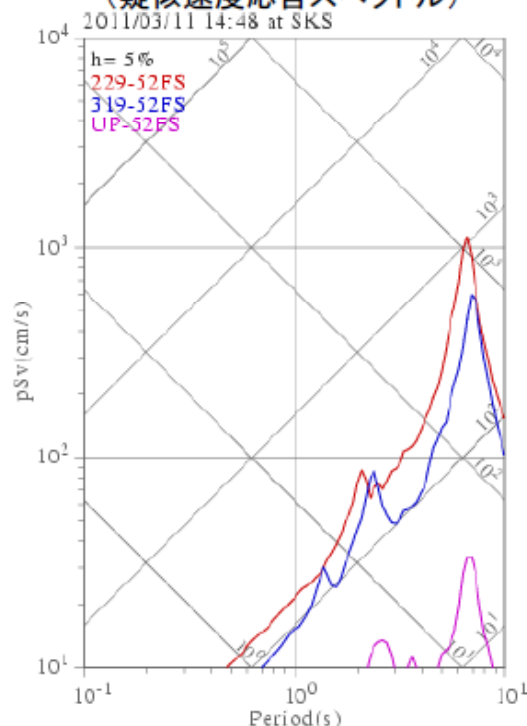


【観測された建物の揺れ】(本震時のデータ: 3月11日14時49分頃到達)

| | | 最上階 (52階) | 中間階 (18階) |
|-----------|------|-----------|-----------|
| 最大振幅 (片側) | 短辺方向 | 137 cm | 30 cm |
| | 長辺方向 | 86 cm | 32 cm |
| 最大加速度 | 短辺方向 | 131 ガル | 41 ガル |
| | 長辺方向 | 88 ガル | 39 ガル |

・ ガル: 加速度を表す単位 (1ガル=1cm/秒/秒)。重力加速度は980ガル。
 地震の揺れの強さを示すのに用いられる。

(疑似速度応答スペクトル)



(出典) ・建築研究所HP <http://smo.kenken.go.jp/ja/smdb/drawwave/201103111446SKS/52FN>、大阪府総務部「咲洲庁舎の安全性等についての検証結果」平成23年5月

東北地方太平洋沖地震における大阪市内の高層ビルでの揺れ

●咲洲庁舎 閉じこめ5時間
(2011年3月12日 読売新聞)

11日の東日本巨大地震で、府内でも震度3の揺れを観測。大阪・天保山や岬町には60～20センチの津波が到達した。大きな被害はなかったが、各自治体は被害情報の収集に追われ、消防隊員らが被災地に向けて出発するなど、支援の動きも出始めた。鉄道の駅や空港では、関東方面に戻れず足止めされた人たちが、地震の様子を伝えるテレビ画面に見入った。

大阪市住之江区の府咲洲(さきしま)庁舎(旧WTC、高さ256メートル)では、26基ある全エレベーターが停止し、このうち4基に乗っていた男性5人が、12、13階付近などで閉じ込められた。同市消防局の救助隊員がロープで引き上げるなどし、発生から約5時間余りで全員が助け出された。けがはなかった。

また、51階の消火用スプリンクラーが破損し、50～48階の床面が水浸しになったほか、天井ボードの一部が落下するなどした。

同市北区の大阪駅前第3ビルでは地震発生直後、入居するオフィスや店舗などの従業員らに屋外への避難を呼びかけ、周辺の路上は人だかりができ、騒然となった。エレベーターを一時停止する措置を取り、安全が確認された約20分後に避難解除した。

同ビル30階の事務所から階段で避難した会社員男性(41)は「デスクワークをしていたら、突然、乗り物酔いをするようなゆっくりと大きな揺れが起きた。物が落ちたり、倒れたりすることはなく、みんな冷静に階段で地上まで下りていた」と話した。

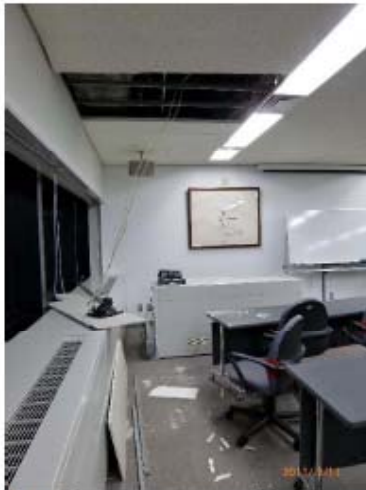
11階で仕事をしていた会社員男性(45)は「うねるような余震が5分間ほど断続的に続き、壁がギシギシと音をたて始めたので危険を感じた。約20年間ここで働いているが、避難騒ぎは初めて」と不安そうな表情を浮かべた。

東北地方太平洋沖地震における東京都内の高層ビルでの揺れ

東京23区内（最大震度5強）の高層ビルでも大きな揺れにより、エレベータの停止や、内装材等の破損が生じた。



東北地方太平洋沖地震(M9.0)における 工学院大学新宿キャンパスでの被害について



28階 天井材の落下



25階 コピー機の移動



25階 書類の散乱



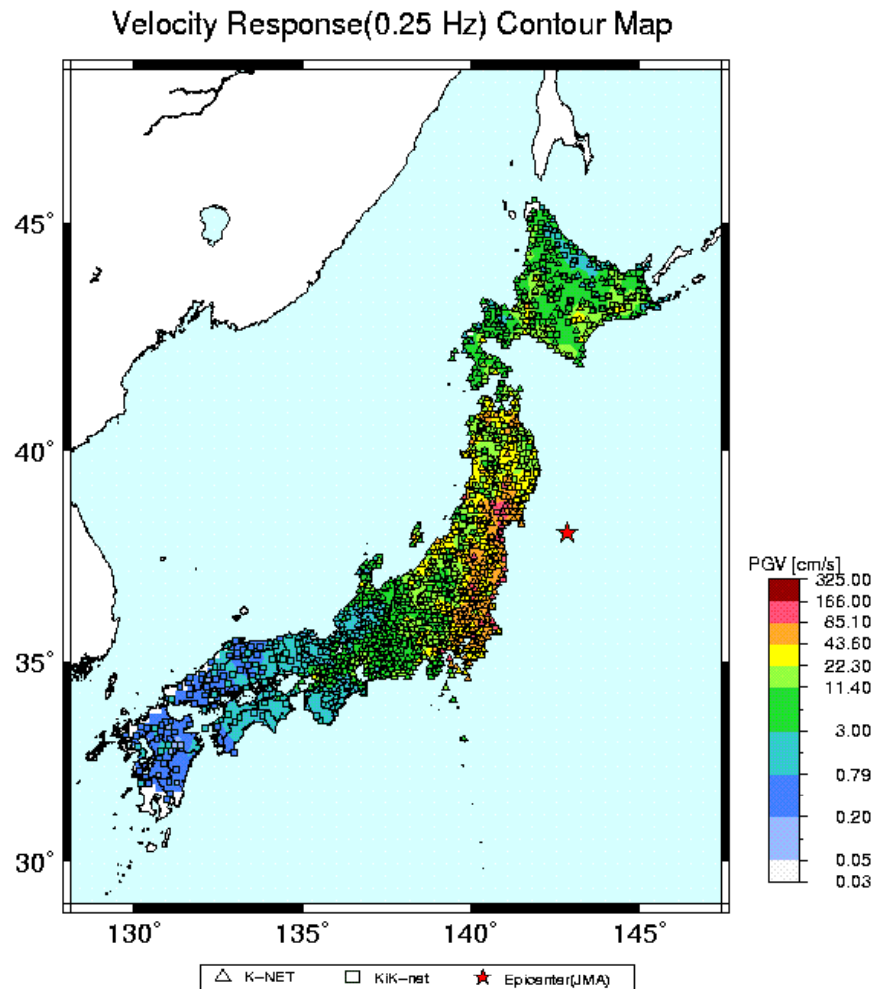
21階 重いキャスター付き
ラックの移動



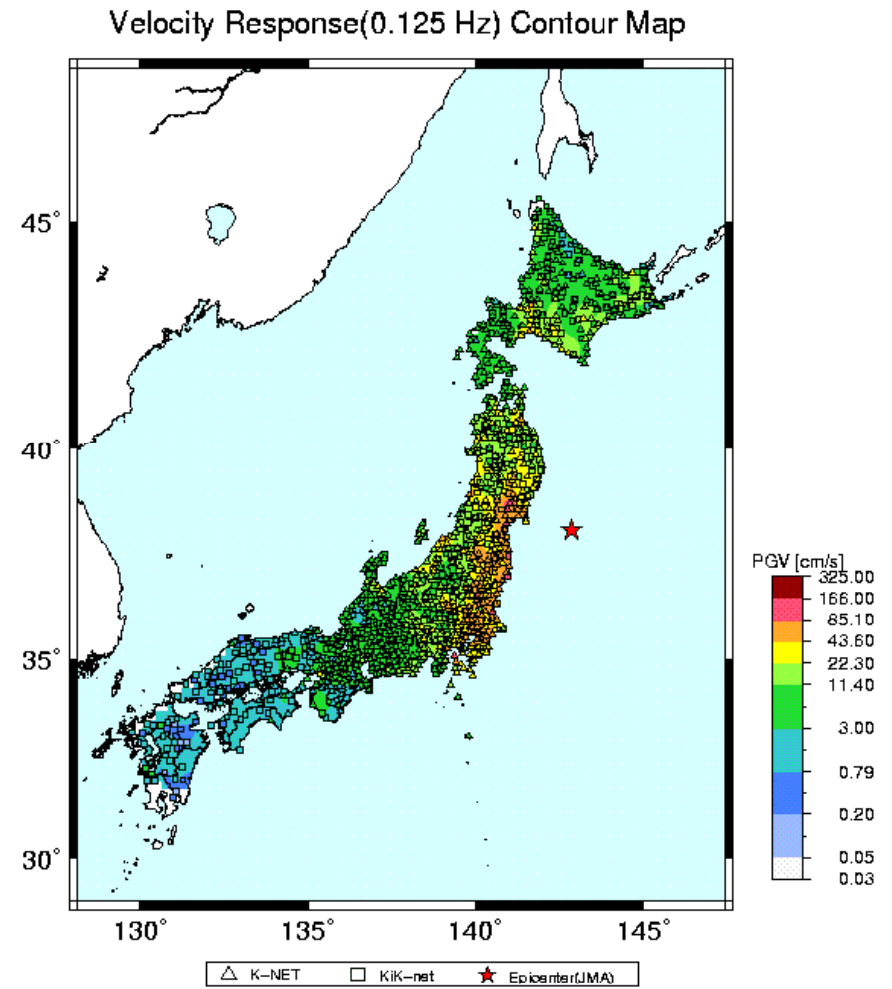
20階 薬品入れの引き出しが
飛び出し

東北地方太平洋沖地震における長周期地震動（4秒および8秒）

(独) 防災科学技術研究所の観測によれば、広い範囲で、周期4秒や8秒などの長周期地震動を観測した。

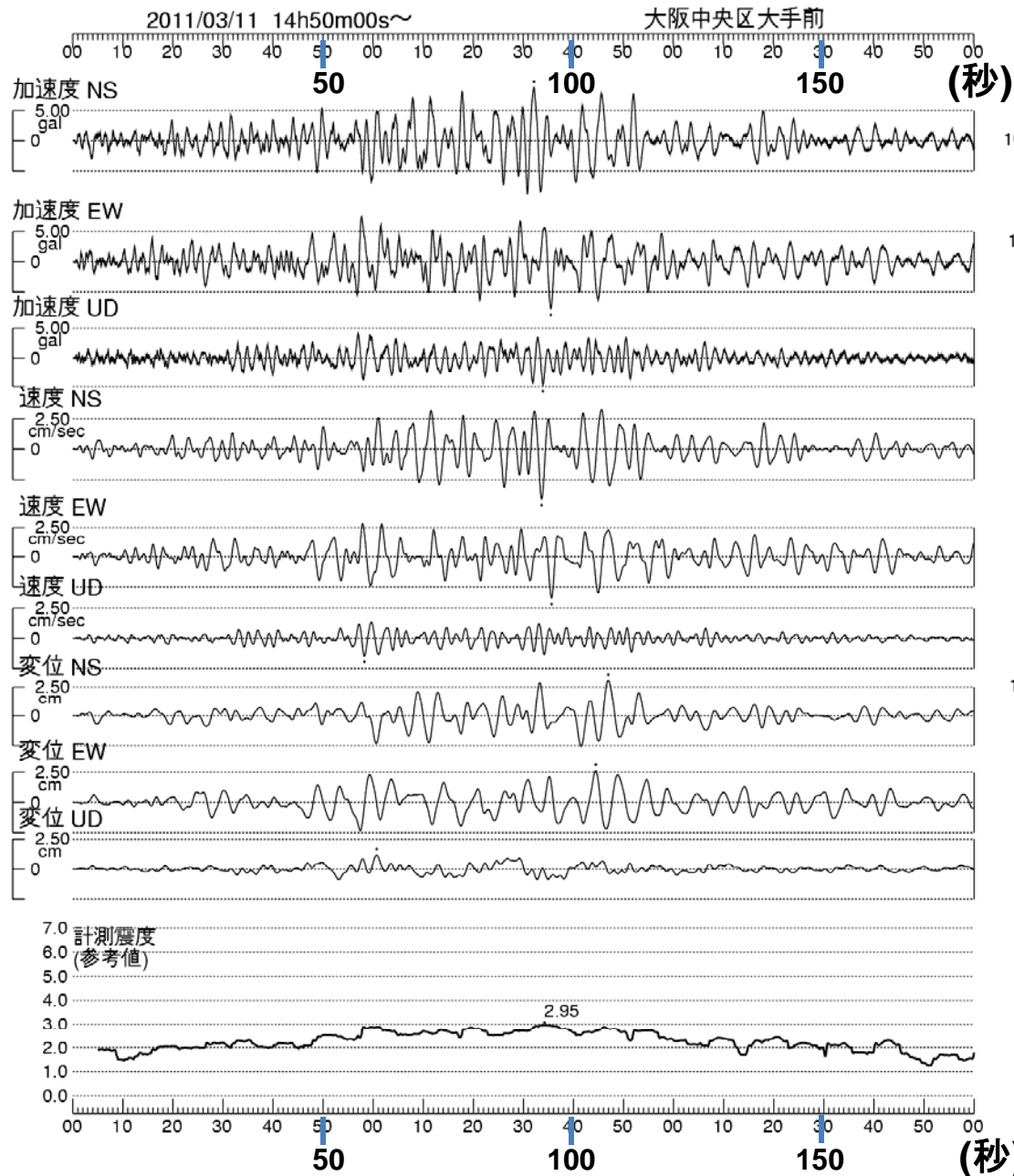


2011/03/11-14:46 38.103N 142.860E 24km M9.0

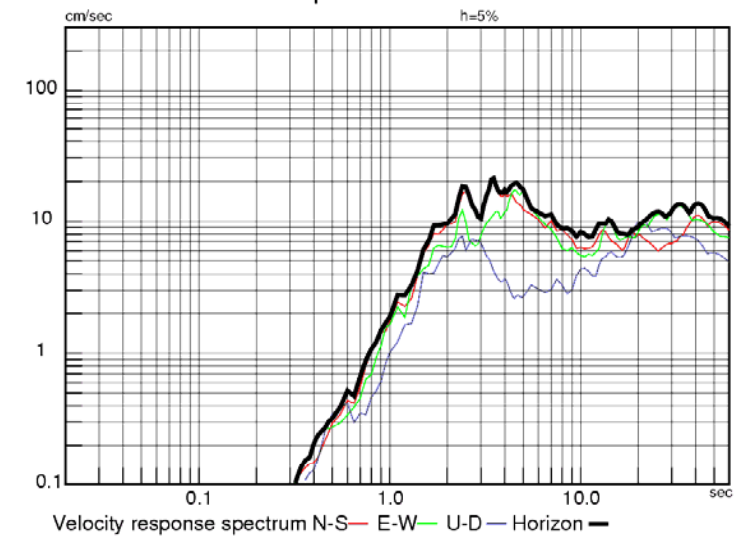
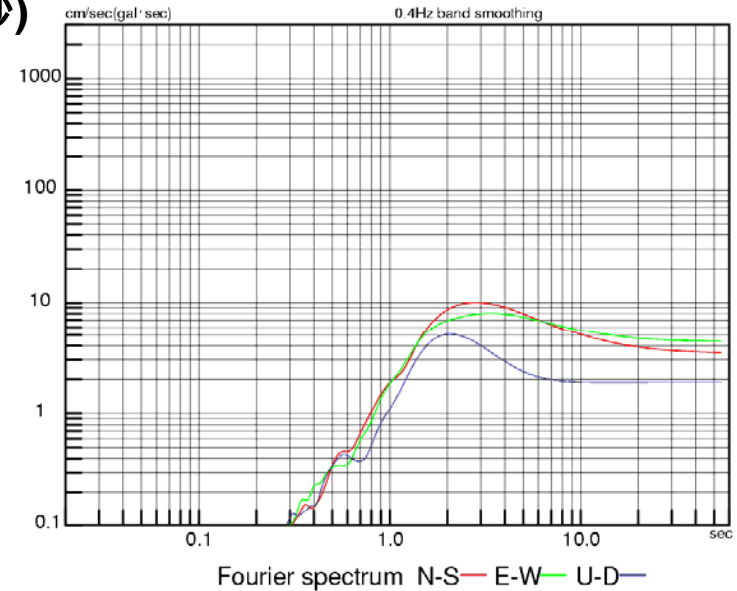


2011/03/11-14:46 38.103N 142.860E 24km M9.0

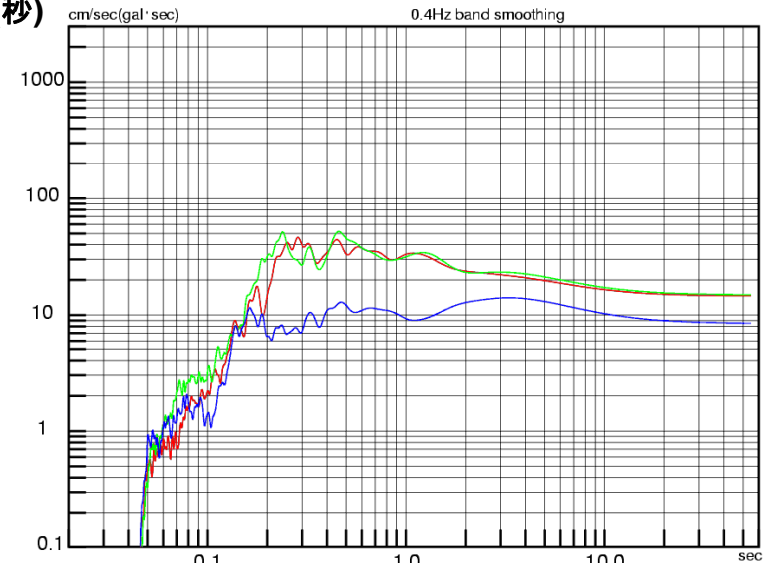
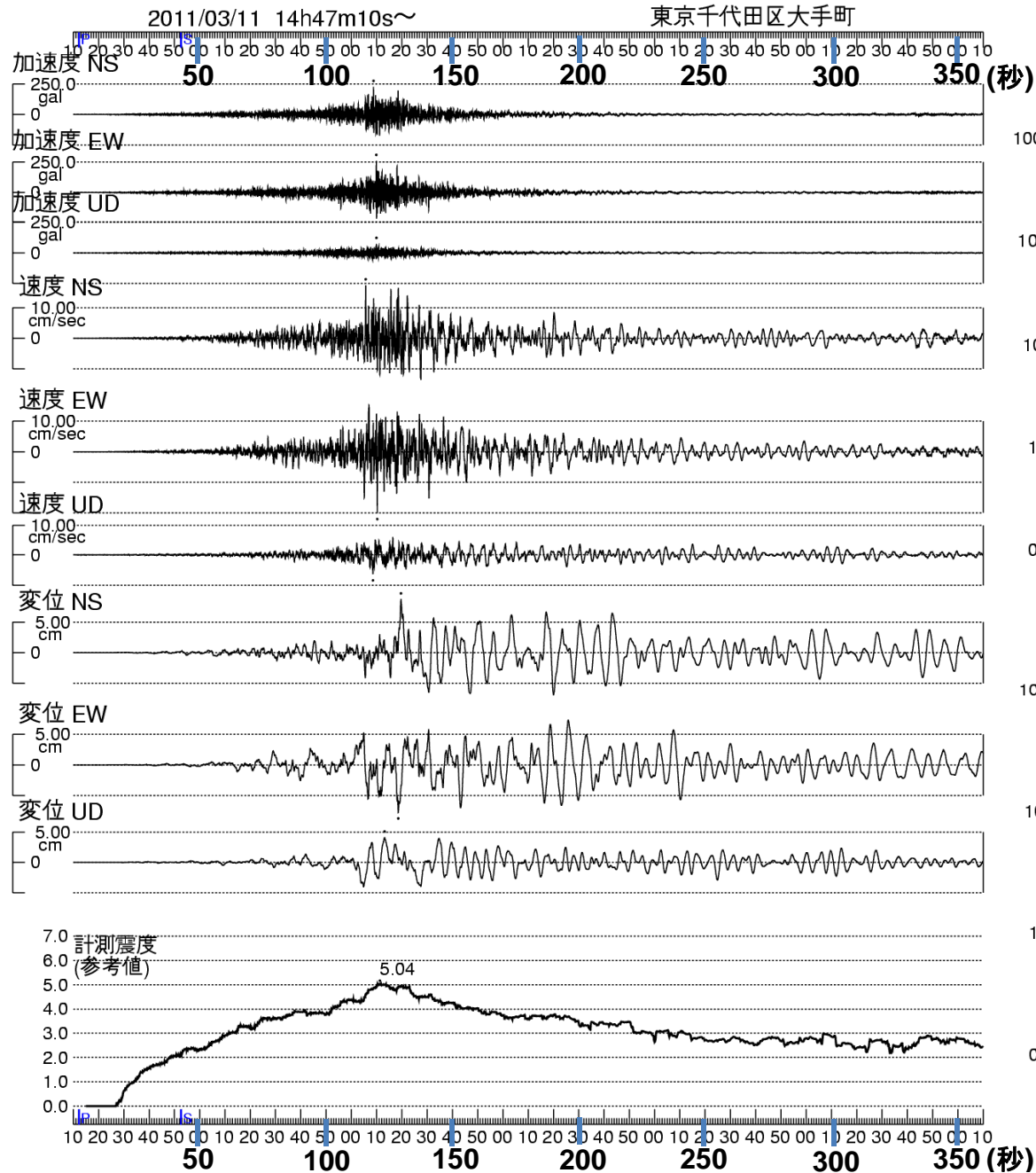
東北地方太平洋沖地震における強震観測結果① 大阪市中央区



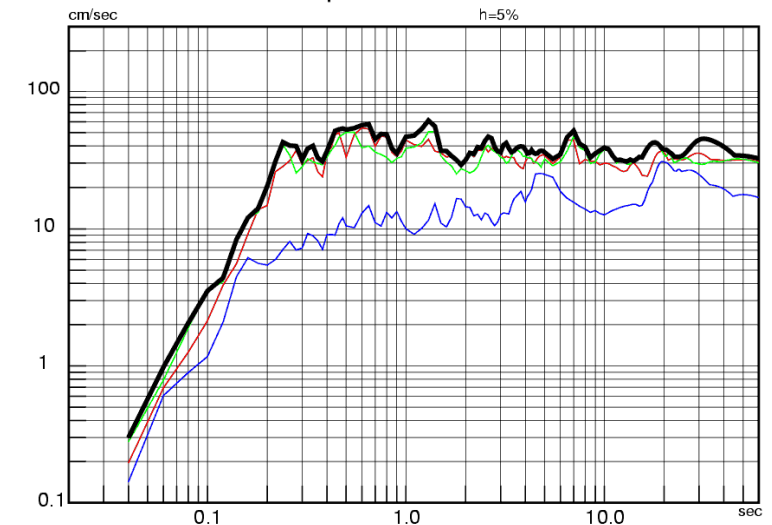
震度3



東北地方太平洋沖地震における強震観測結果② 東京都千代田区

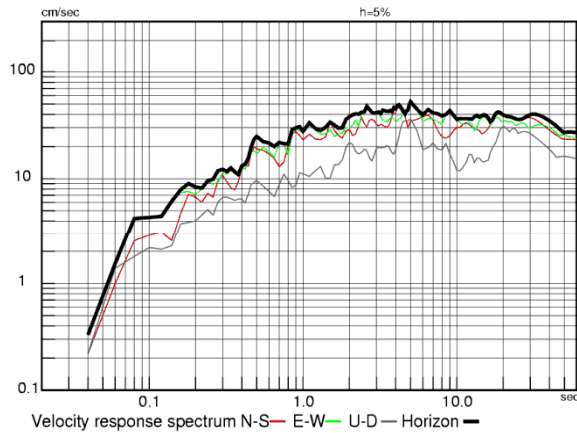


Fourier spectrum N-S— E-W— U-D—

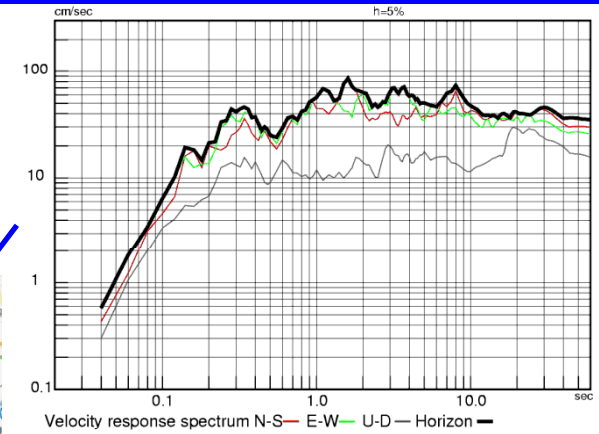


Velocity response spectrum N-S— E-W— U-D— Horizon—

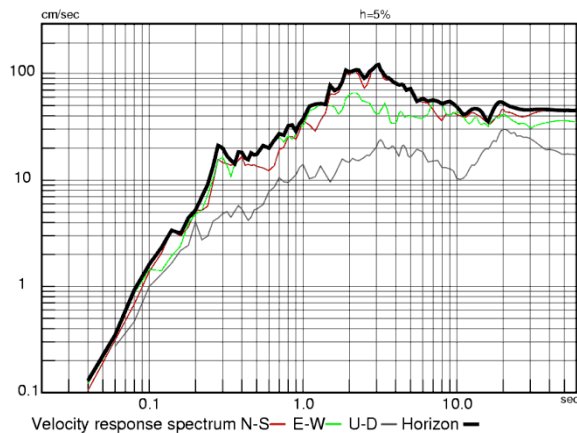
東北地方太平洋沖地震における強震観測結果③ 東京都23区



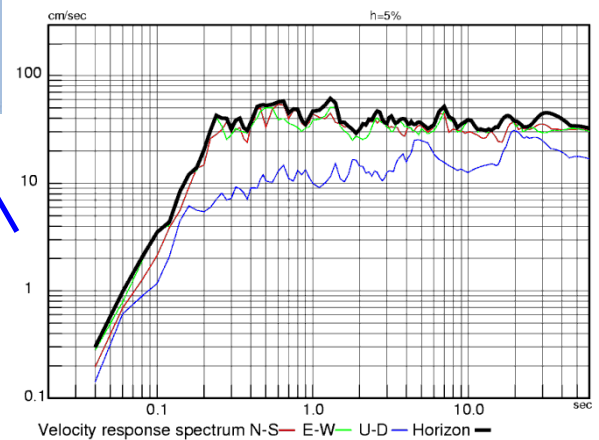
杉並区阿佐谷



江戸川区中央



東京国際空港



千代田区大手町

気象庁震度観測点で観測した6分間(360秒)の波形データを用いた速度応答スペクトル(減衰定数5%)

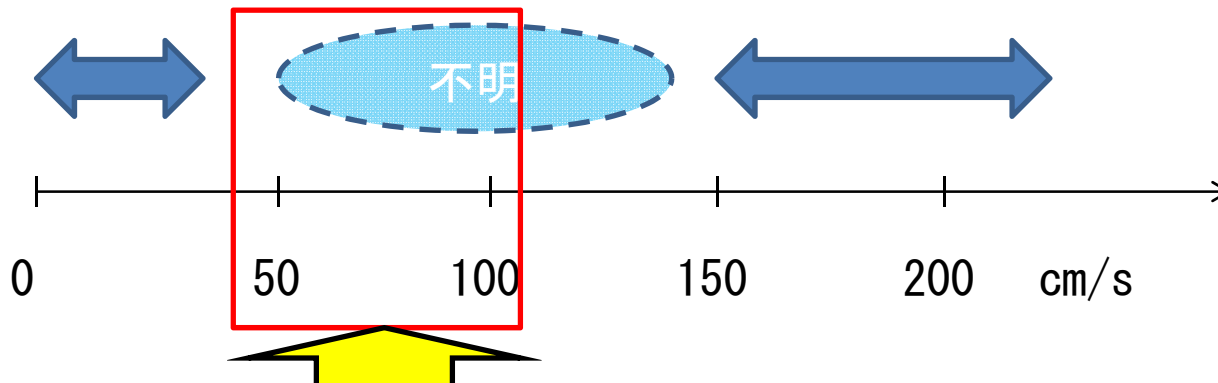
東北地方太平洋沖地震を対象にした調査の意義

従来ビルが経験した揺れ

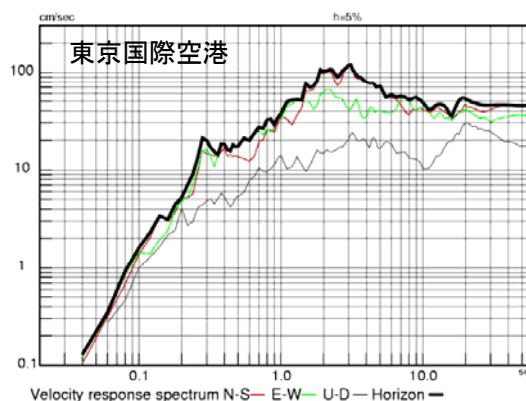
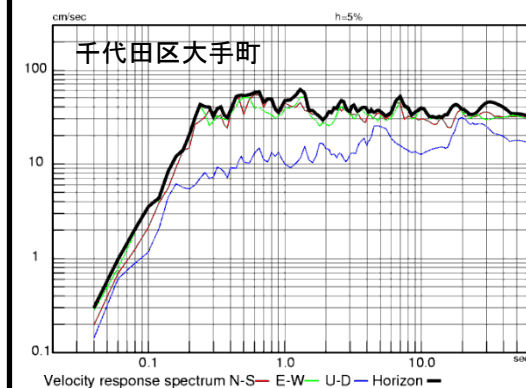
実験、シミュレーションの揺れ

室内ではほとんど被害なし

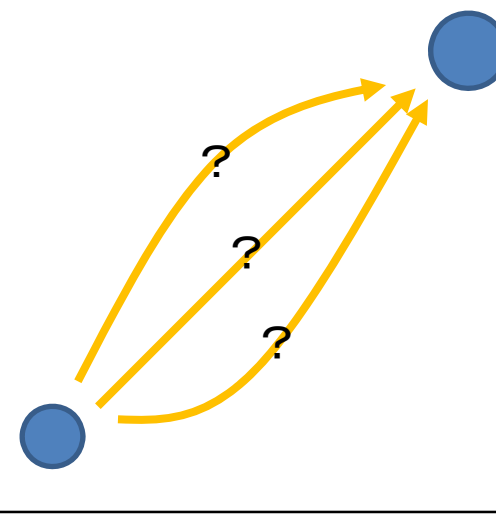
室内で大きな被害



平成23年東北地方太平洋沖地震では、1秒～7秒において
東京都内で、50-100cm/sの速度応答を観測



被害



過去の実際の揺れと実験・シミュレーション結果などをつなぐ、応答が50-100cm/sクラスの地震動建物内で人が感じた揺れに対する感覚や感情、什器等の転倒・移動の状況、非構造部材の損傷などについて、調査を実施

揺れの大きさ

気象庁による東京都内の高層ビルにおける揺れの実態調査結果（概要）

東京都内における高層ビルでの揺れの実態に関する調査を実施した。

対象建築物：東京都内の軒高60m以上のオフィスビル34棟
調査方法：面談方式による聞き取り調査
対象者：3月11日14時46分当時の在館者（各ビル数名程度以内）

| 高さ（軒高） | 別内訳 | 対象者 |
|----------|-----|--|
| 60～100m | 4棟 | 管理会社（自社ビルの場合は当該社）従業員、 防災センター警備担当者、テナント従業員、 ビルメンテナンス従業員 等 延べ人数 約100名 （複数ビルを管理している場合は同一者を含む） |
| 100～150m | 13棟 | |
| 150m以上 | 17棟 | |

なお、日本建築学会が本年3月4日に公表した「長周期地震動を受ける超高層建物の揺れと対策：日本建築学会の取り組み」では、長周期地震動に関する現状での知見と対策、今後の課題が取り上げられており、この中で、長周期地震動に関しては、実際の揺れでどのような被害が発生し、また、建物使用者や居住者に与える心理的不安や整理への影響について調査が必要とされていた。

構造躯体の損傷・破損：なし

東北地方太平洋沖地震において、東京都内では、調査した範囲では、構造躯体に被害は発生していない

揺れに対する感覚、感情、生理的反応等 ①

○揺れの長さに関する証言

・ 揺れの継続時間の長さ

上層階、低層階とも、「いつもは直ぐ収まるのに、いつまで経っても止まらない。とにかく、長かった。」「いつ終わるとも知れなかった」などの証言が多かった。

○揺れの状態に関する証言

・ 上層階での揺れの周期の長さ

船に乗っているような感じ」「最初円をかくようになって、次第に大きく回る感じ」「ぐらぐら、緩い揺れが長く続いた」などの証言が多かった。

- ・ 低層階では、「床に手をついていないと転がる感じ」「早い横揺れ」といった、揺れの周期が短いと思われる証言がある一方で、「ゆらゆらした揺れ」「船に乗っている感じ」など、周期の長さを示す証言もあった。

○揺れに対する生理的、心理的な状態に関する証言

・ 船酔いのごとく体調や気分を害する

「船酔いのような状態になり、気分が悪くなった」「目が回って座り込んだ」、「防災インターに、酔い止めの薬はないかという問い合わせがあった」という証言があった。

一方で、「特に気にならなかった」「台風などでしばしば揺れるが、同じように、気分が悪くはならなかった」、また、「気分が悪くなった人がいて介抱したが、どうも揺れが怖かったようだ」といった証言もあった。

・ 大きな恐怖を覚える

「恐くて座り込んだ」「とても恐かった」「女性の悲鳴が聞こえた」（以上、特に上層階のオフィス）や「死ぬほど怖かった」「この世の終わりかと思った」「もうだめかと思った」（ビルの外装清掃や建設現場従事者）といった証言があった。

一方で、「特に怖さは感じなかった」「少し驚いたが、冷静に対応できた」といった証言もあった。

揺れに対する感覚、感情、生理的反応等 ②

○何が怖さをもたらしたか、に関する証言

- ・ 経験の無い揺れと視覚、聴覚によるまわりの様子

上層階オフィスのほとんどの方が「過去経験の無い揺れだったから」と証言された。加えて、「窓から外を見ると隣のビルがぶつかりそうになるくらい揺れていて怖かった」「スライド式書架が左右に大きく移動し、ぶつかり合う音が大きく響いていたことが怖かった」といった証言がある。

- ・ 事態悪化を想像

「何かがきしむような、ギギーギギーという音が聞こえ、ビルが壊れるのではないかと思い怖かった」「非常階段に出たら壁にひびが入っていて、ビルが壊れるのではないかと思い怖かった」「直ぐには外に出られないということに気付いて、怖かった」などの証言があった。

○15時15分茨城県沖M7.7の余震での揺れに関する証言

- ・ 本震時に比べ印象が薄い

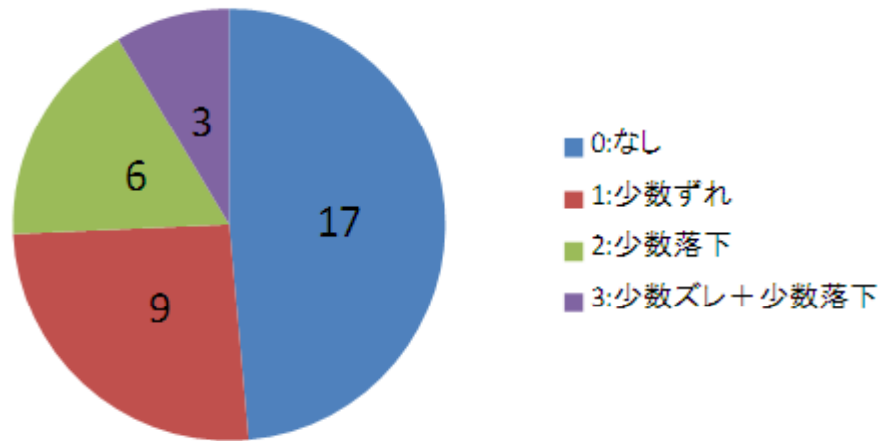
上層階、低層階とも「既に行動していたので良く覚えていない」「再び大きい揺れを受けたが、怖さはその前ほどではなかった」など、本震時に比べ印象が薄い、という証言があった。

- ・ さらなる危機感、不安感を抱く

「何回も大きな揺れが来るので、二次災害みたいなことになるのをおそれて、部下職員に見回りに行かせるのを躊躇した」「正直、ビルは大丈夫なんだろうか、と思った」といった、繰り返しの揺れに対するとまどいのような感情があった、との証言があった。

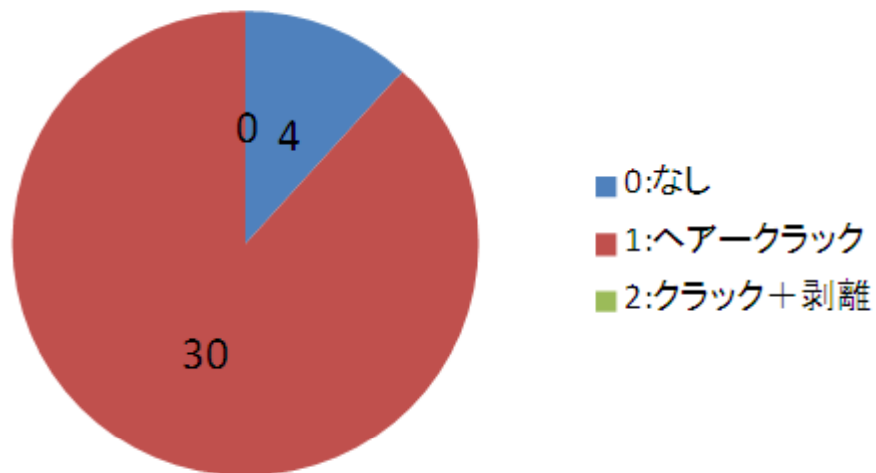
高層ビルにおける微少な被害の発生状況

天井材の被害



約半数のビルで天井材に何らかの変形・損傷が生じている。

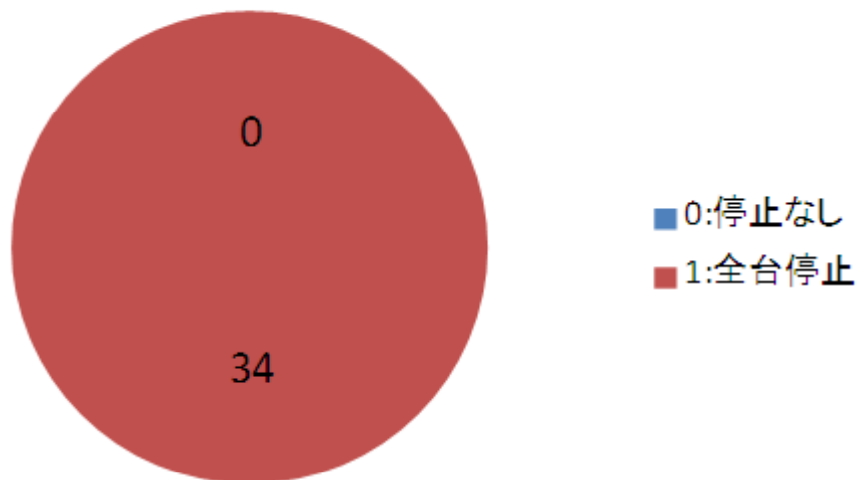
内装材の破損



多くのビルで、特に非常階段の内装材にひび割れ、塗装の剥離など軽微な損傷が生じている。

高層ビルにおけるエレベータの状況

エレベータの停止

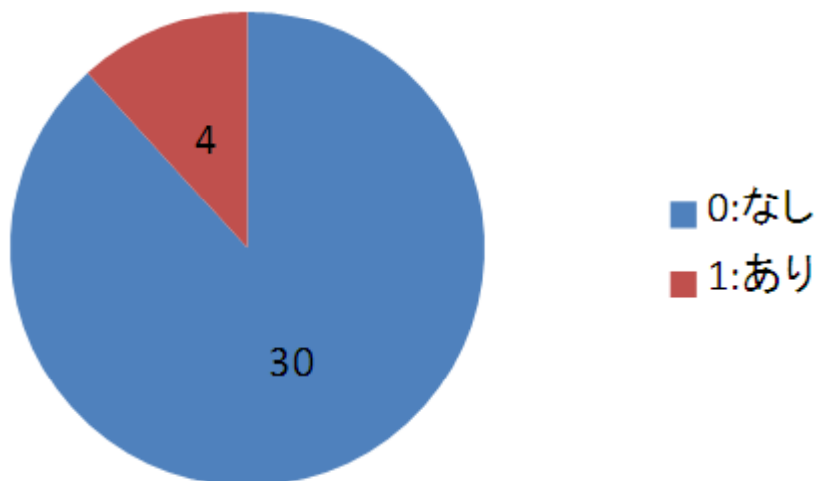


全てのビルでエレベータが全台停止。

調査した範囲では、閉じこめがあったビルは1棟（急行ゾーンにエレベータが停止。30分以内にメンテナンス会社により救出）

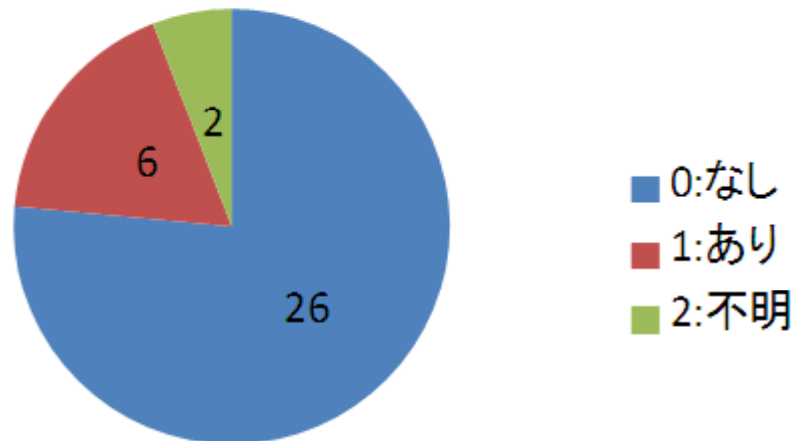
エレベータロープの絡まりや破損は4棟で認められた。

エレベータロープの絡まり・破損

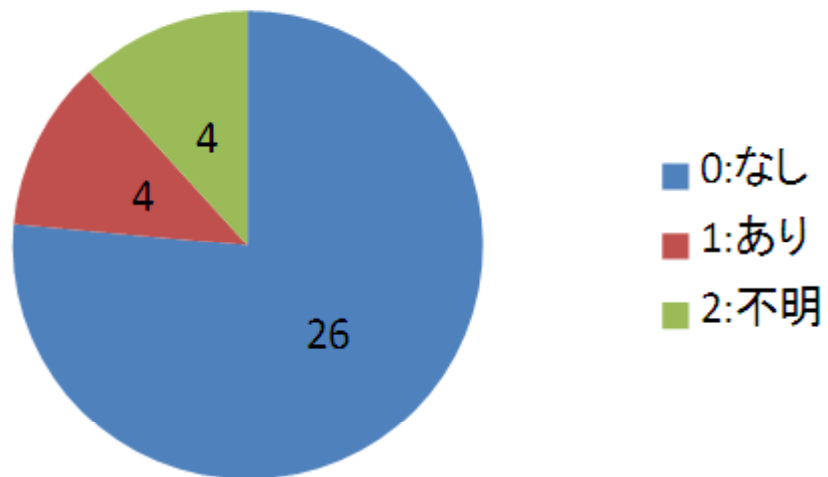


高層ビルにおける什器転倒等の状況

什器(背の高いキャビネット等)の転倒



什器(テレビ等背の低いもの)の転倒



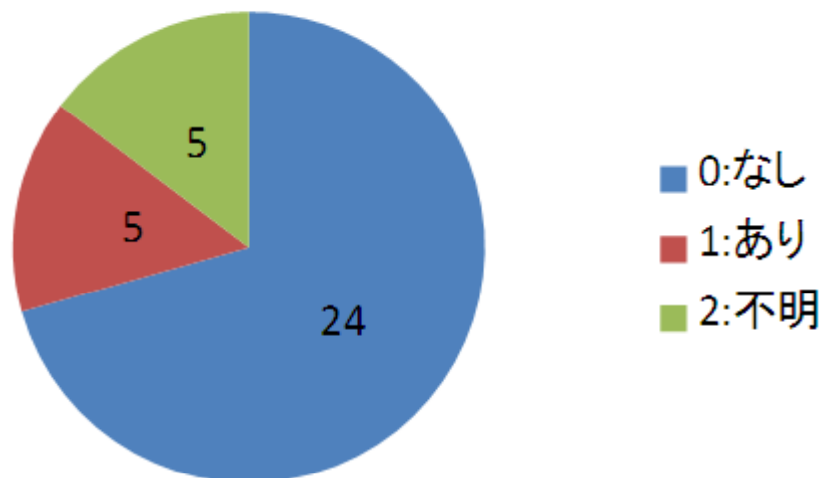
大多数のビルでは、什器の転倒は生じていない。什器の転倒は全て固定していないもので発生。

転倒が生じなかった理由について
(聞き取り調査回答)

- ・ 消防署等の指導を受け、特に高層階に対しては耐震固定の徹底を呼びかけている。
- ・ 什器は作り込みになっており、転倒は生じない。
- ・ 液晶テレビが普及し、置き型ではなく、壁に固定するなど、不安定な置き方をしていない。

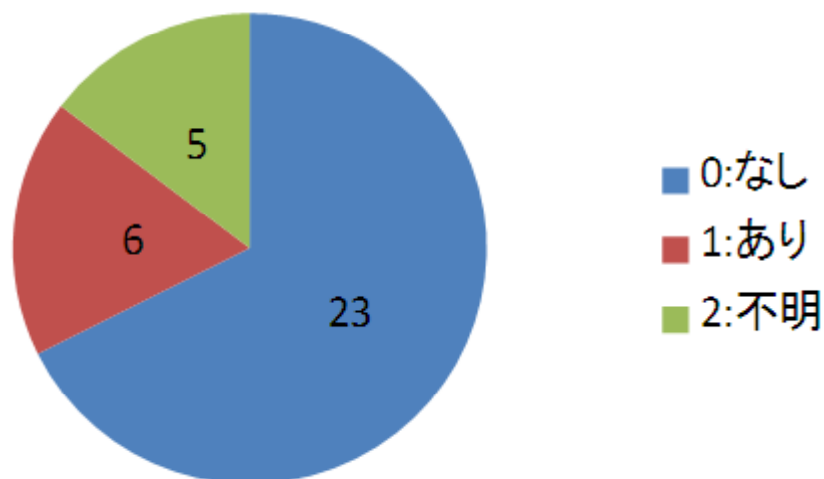
高層ビルにおける什器移動等の状況

コピー機の移動



大多数のビルでは、コピー機の移動は生じていない。コピー機の移動は全て固定していないもので発生。

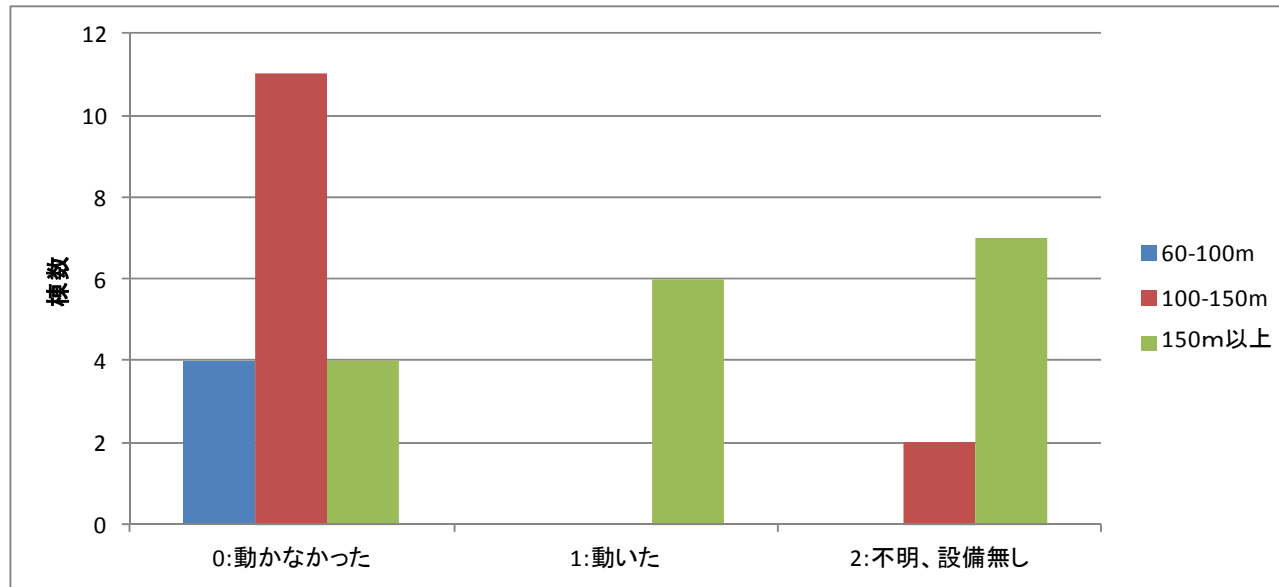
スライド式書架の移動



大多数のビルでは、スライド式書架の移動は認められなかった。一部、大きく左右に動くことにより、破損を生じたものがあった。

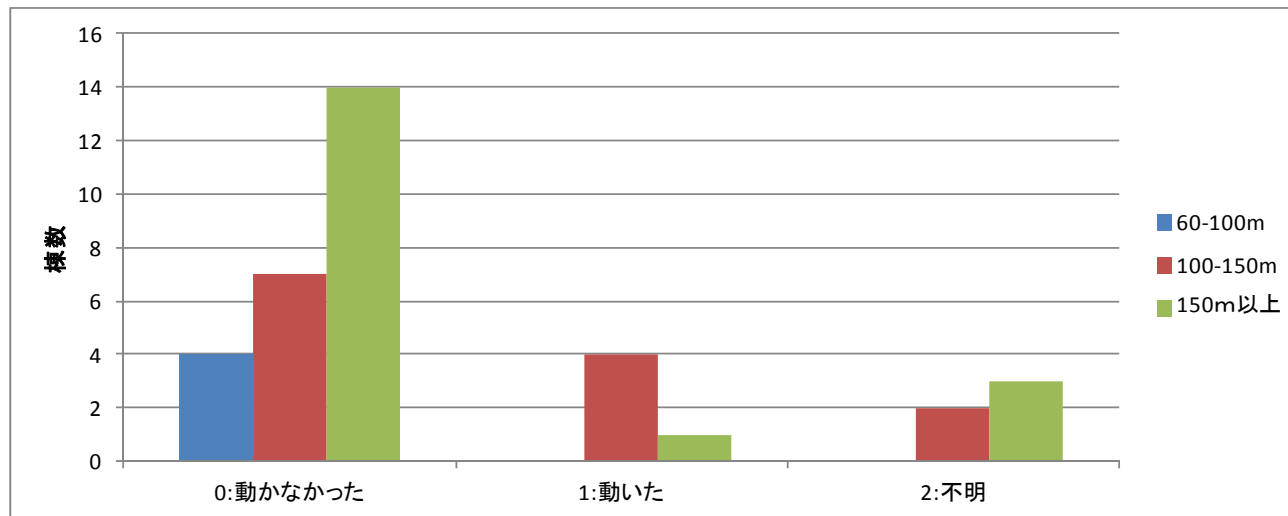
高層ビルの高さによる物体の移動の違い

スライド式書架の移動

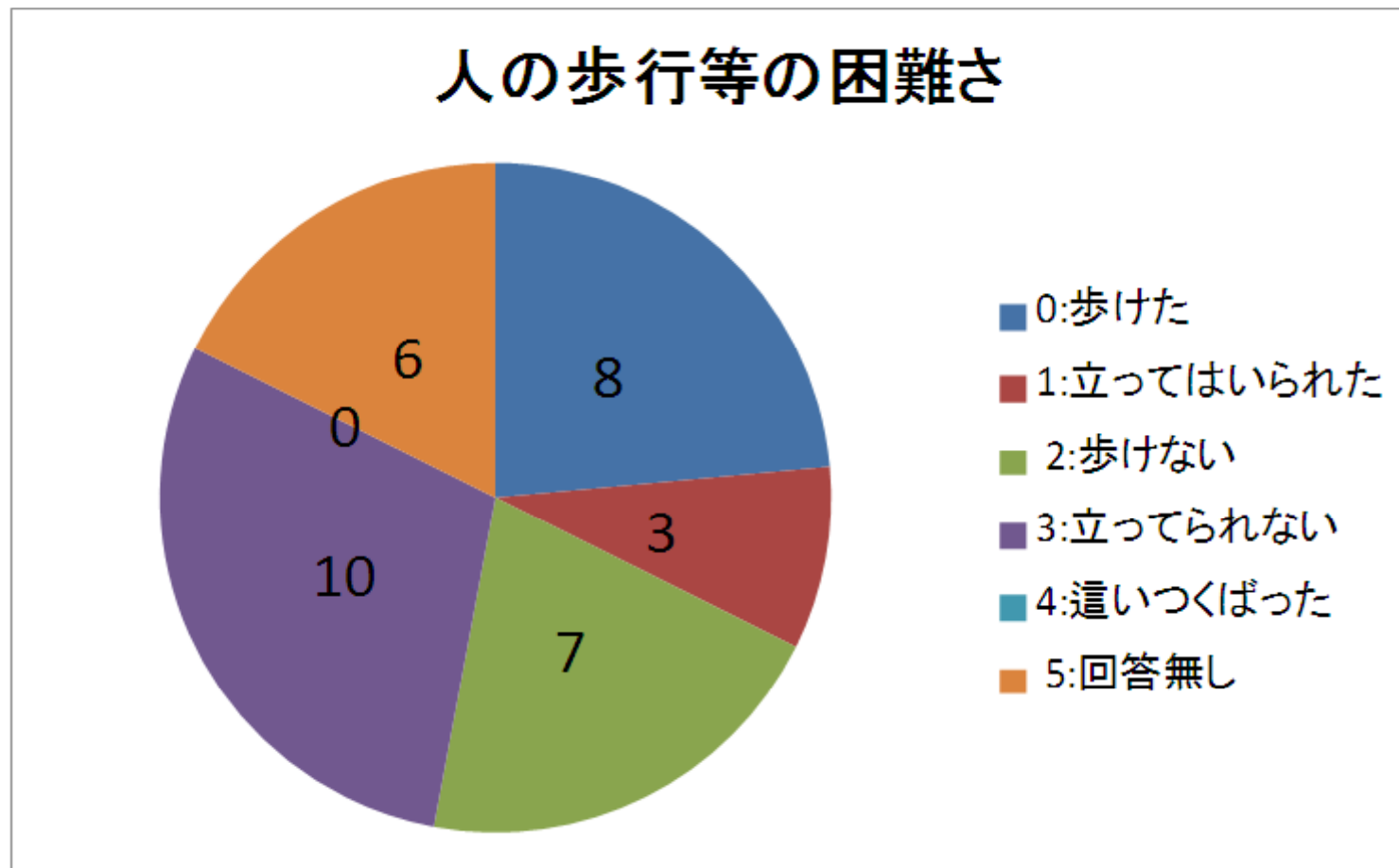


コピー機やスライド式書架などについては、車輪を固定していないものについて、100m以上のビルにおいて「動いたものがあった」との証言があった。

コピー機の移動



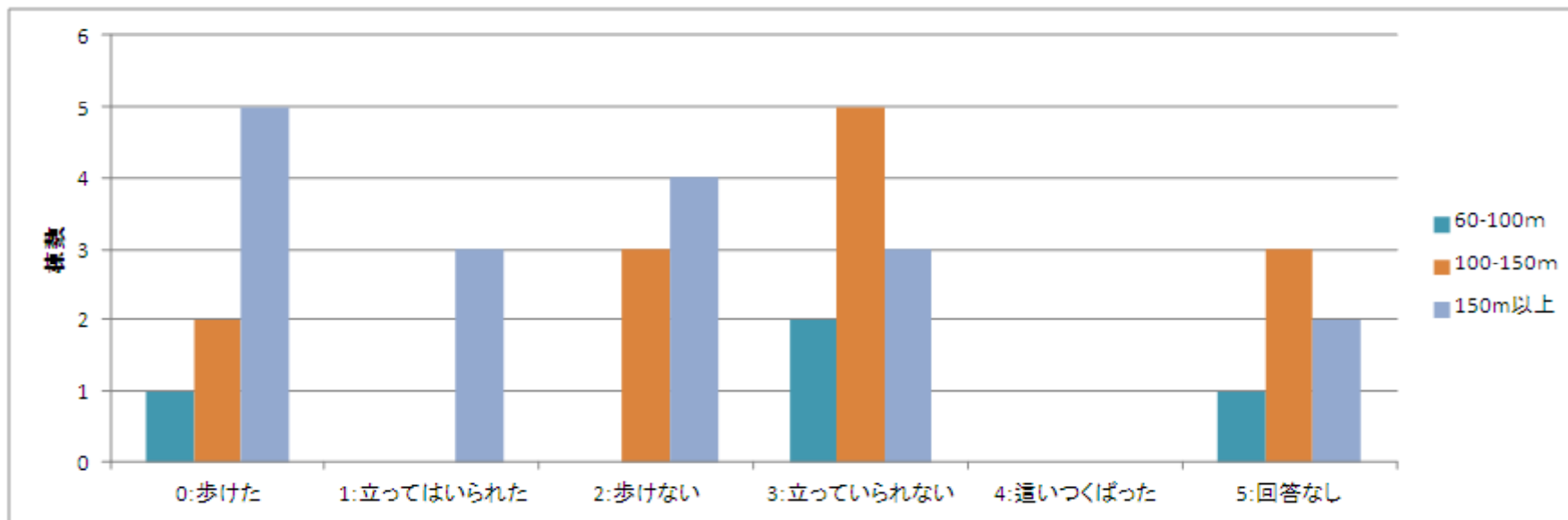
高層ビル上層階における地震時の人の歩行等の困難さ



半数のビルで、「上層階では歩けない、立ってられない」といった証言があった。

高層ビルの高さによる上層階での人の行動の困難さの違い

行動の困難さの程度



ビルの軒高で区分すると、東日本太平洋沖地震では、軒高が高いビルでは行動の可能さについて幅があった。150m以上の高層ビルでは、低層の建物より揺れの勢いが小さかったとの証言もあった。

なお、気象庁本庁舎（8階建、軒高29m）の7階および8階でも「立ってはいられなかった」という証言があった。

東北地方太平洋沖地震時における 工学院大学内の揺れに関する アンケート調査結果

この調査は、工学院大学建築学部久田研究室と気象庁地震火山部地震津波監視課の共同調査として実施した。

アンケート調査実施概要(工学院大学・気象庁)

調査実施日：2011年7月22日 午後13時から16時

対象：工学院大学新宿キャンパス、学生、教職員(147名)

震災当時との違い：当時4年生や修士2年生が多くおり(学生、教職員422名)
7月の時点ではその多くが卒業している。

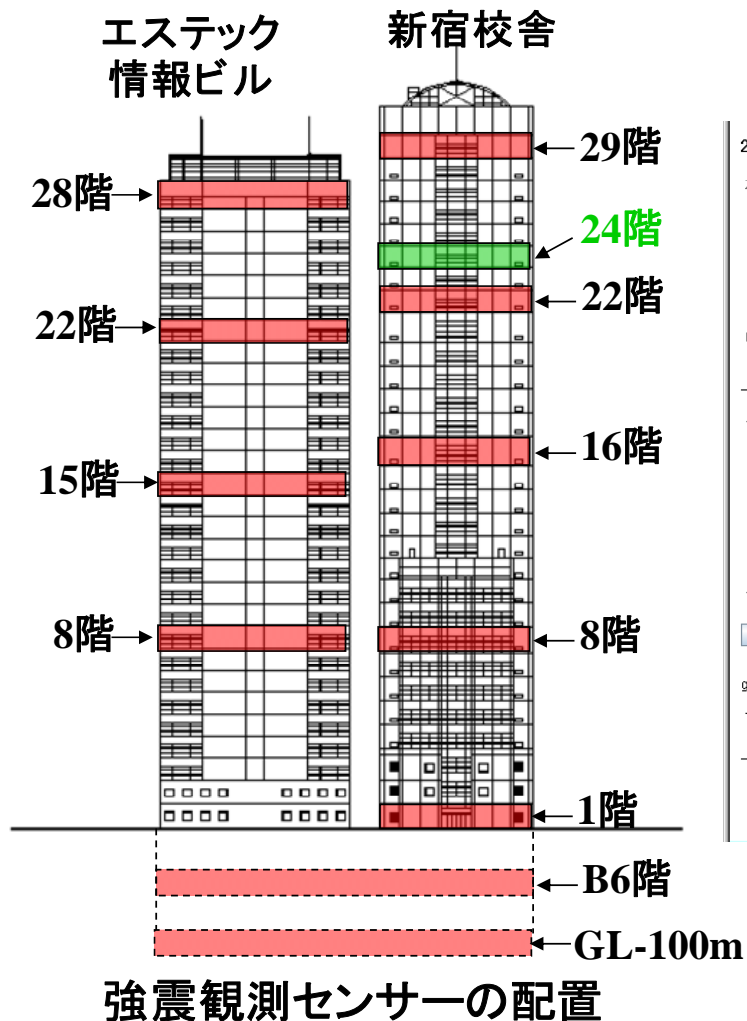
気象庁による震度アンケート調査項目を参考に以下の項目について、オフィスビル用に修正を行った。

- ◆ 室内の家具に関する表現をオフィス向けに変更
 - コケシ、食器棚⇒文房具、書類、書棚
- ◆ 建物構造に関する情報について、入手可能として削除
- ◆ 「家」という表現を適宜フローアーと変更
- ◆ オフィスビル特有の項目を追加
 - 居住性に関する項目を追加
 - キャスター付きの家具の挙動に関する項目を追加

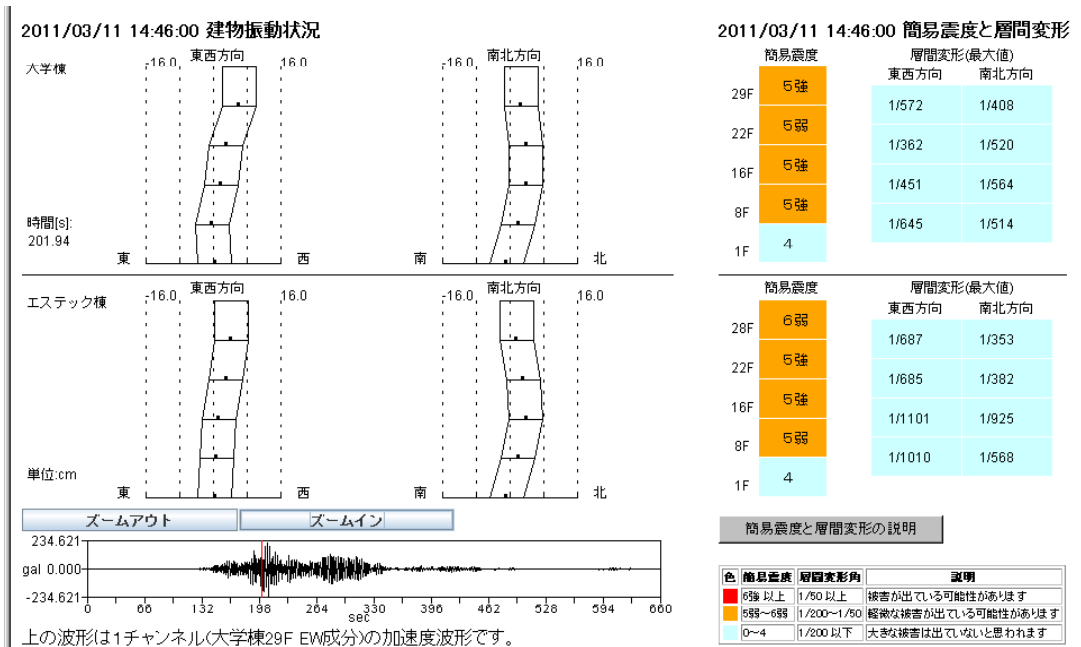
サンプルが各階で均質ではないため、ほぼ同数の数となるよう、所在階について、不明(n=3)を除いて、上層階(n=46)：20階～28階、中層階(n=55)：10階～19階、下層階(n=43)：地下～9階にまとめて整理した。

工学院大学新宿キャンパスにおける地震観測について

東北地方太平洋沖地震での建物応答について

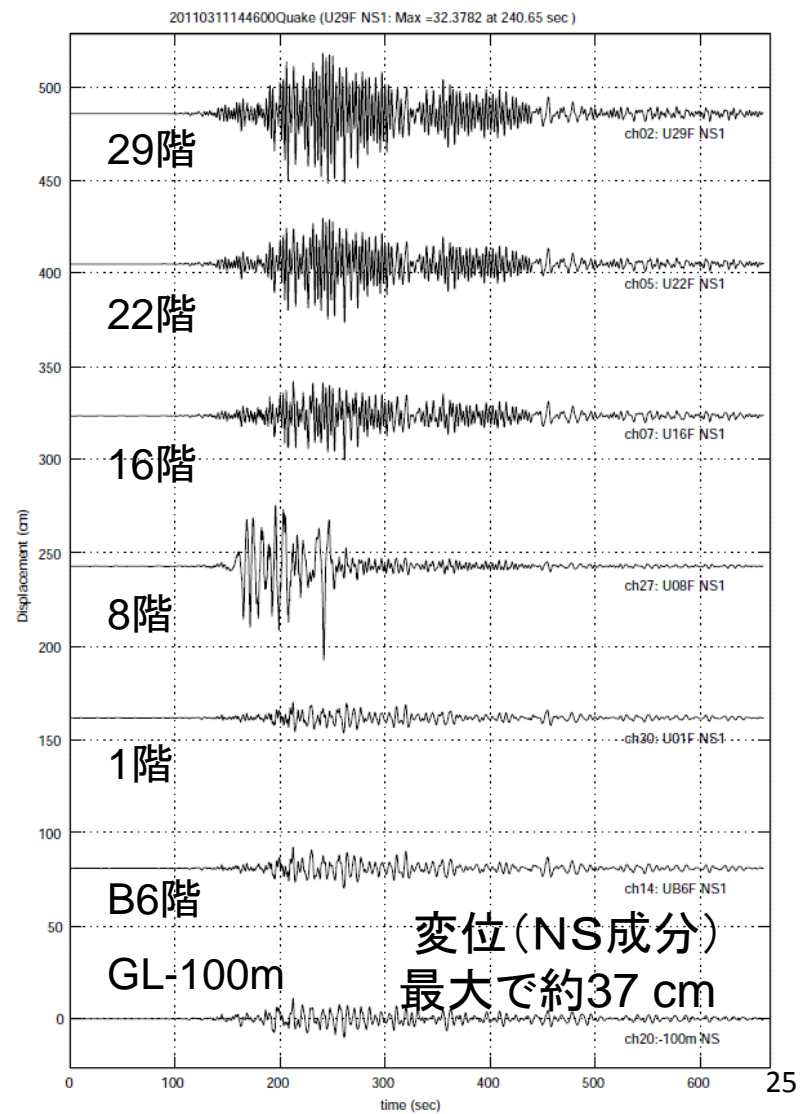
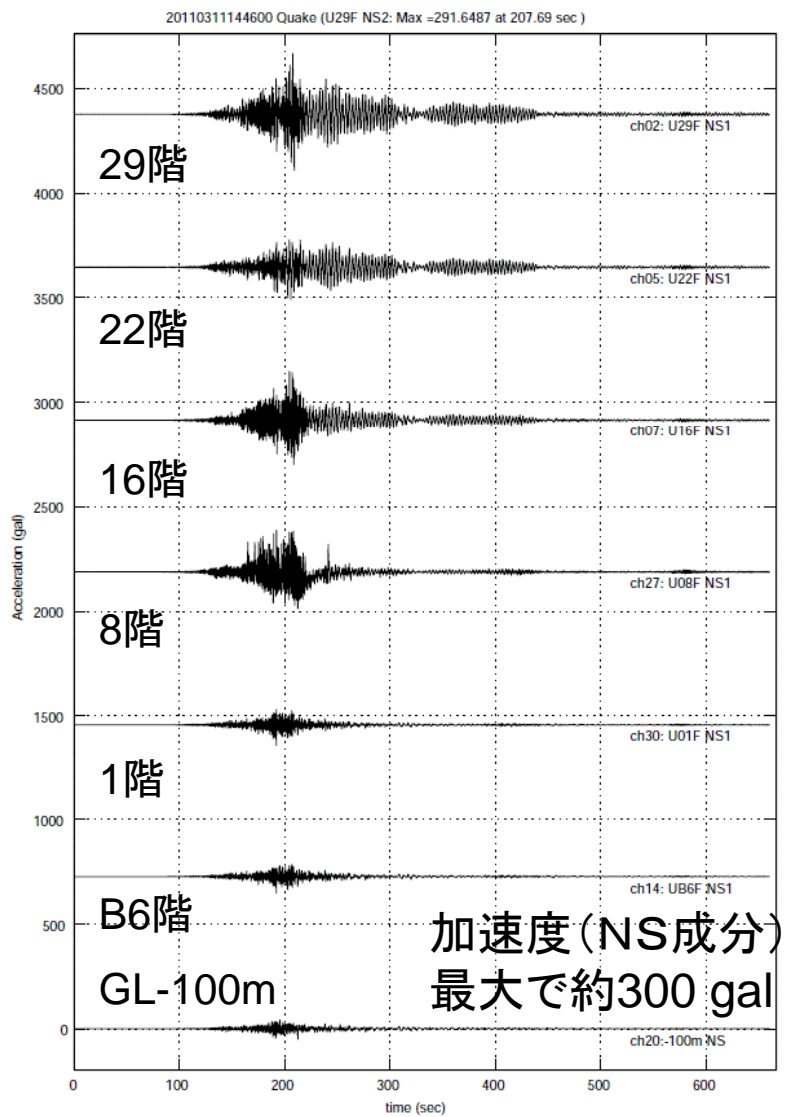


リアルタイム地震観測システムより

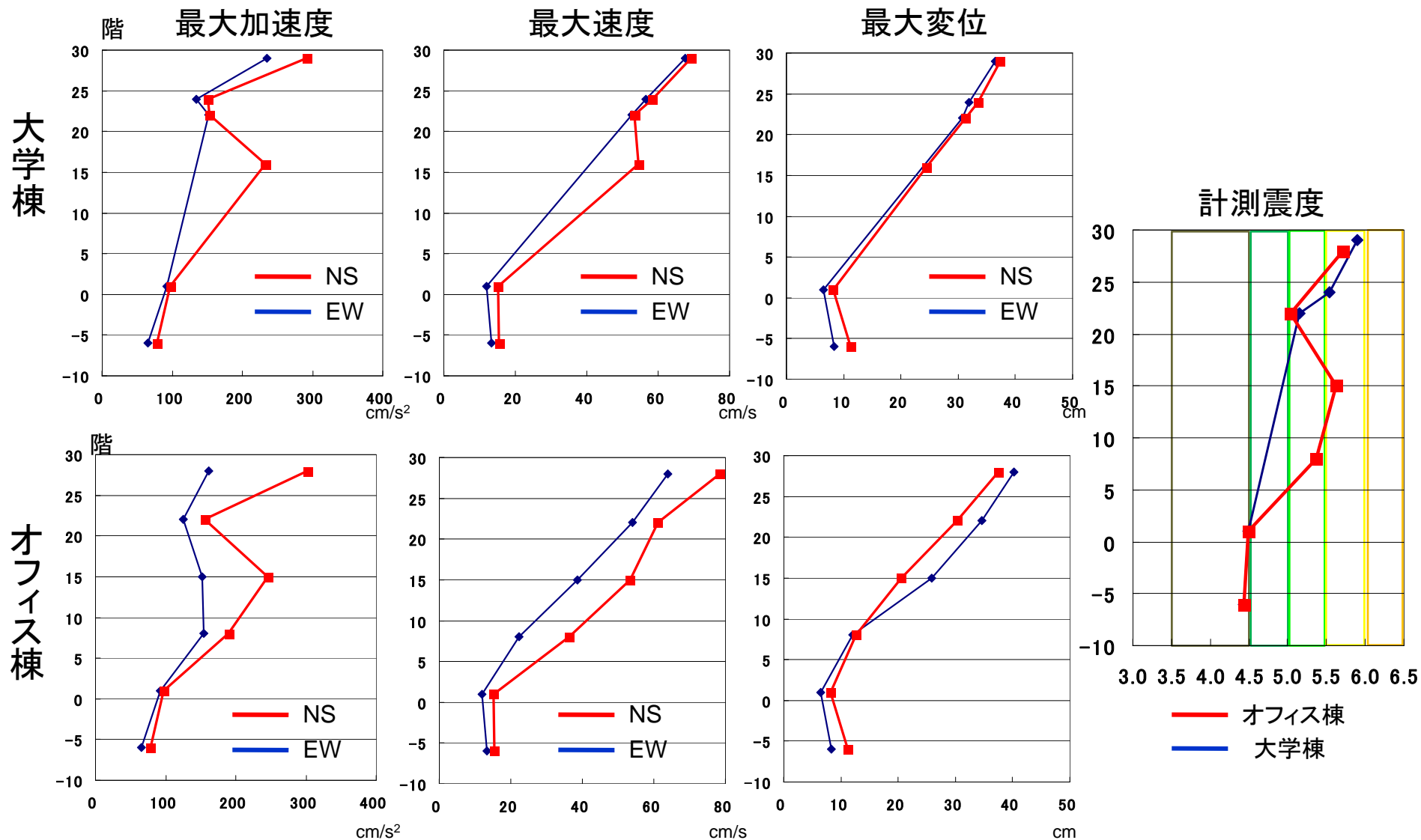


上層階で震度が大きく室内被害が発生している可能性があるが、層間変形角では、建物の安全が確認できる

東北地方太平洋沖地震における工学院大学新宿キャンパスでの揺れについて

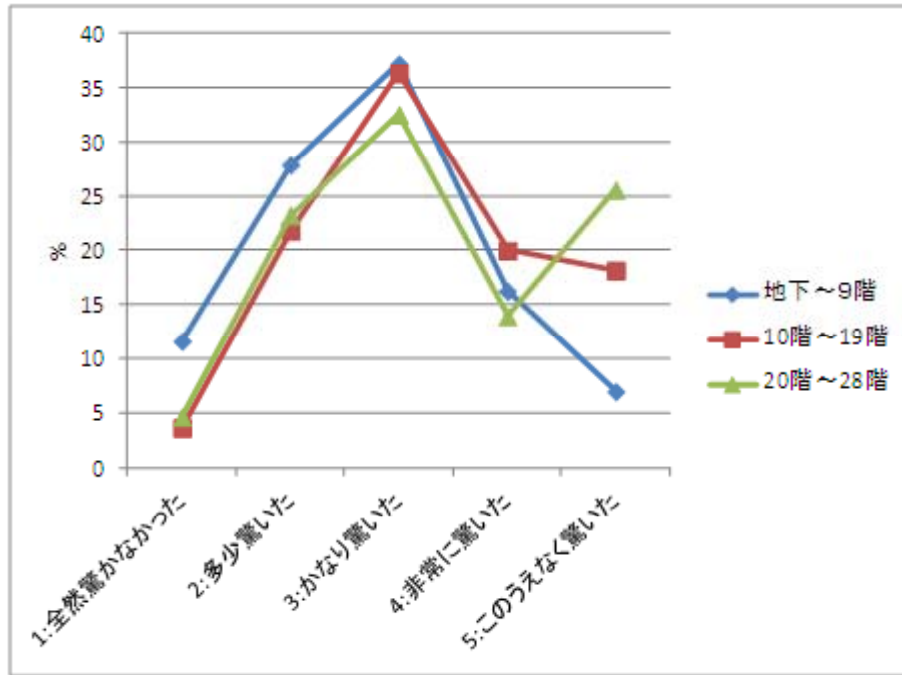


工学院大学新宿キャンパスでの揺れについて (最大加速度、最大速度、最大変位、計測震度)

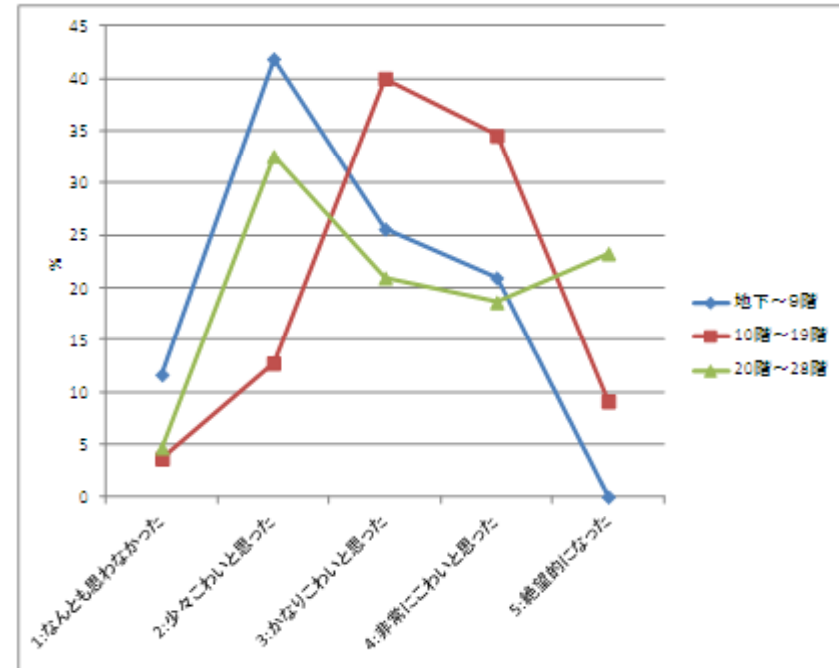


階数による揺れの驚愕度・怖さ

問 あなたは地震に気がついたとき驚きましたか。



問 それではこわさの程度はいかがでしたか。

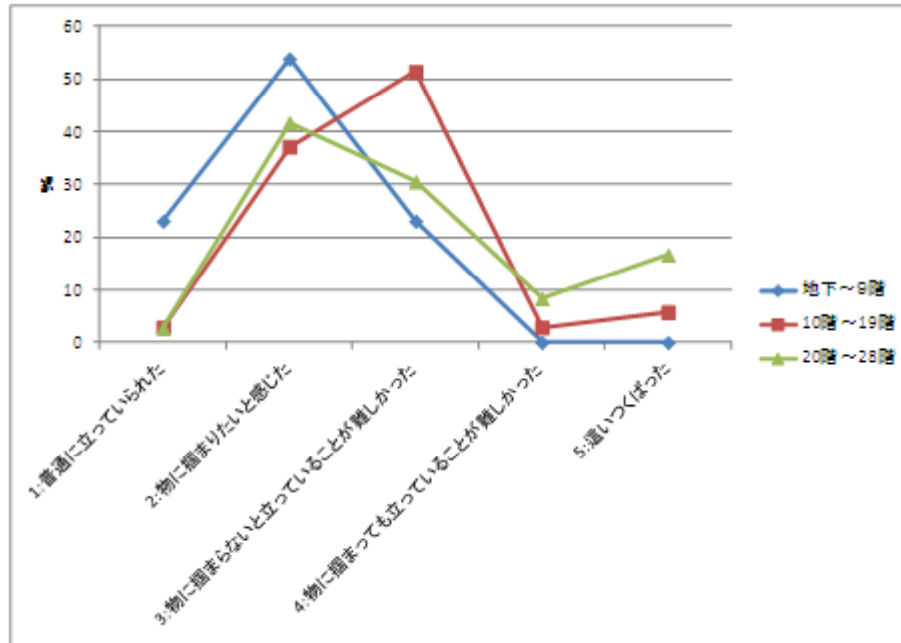


地震のゆれに対する驚きは、若干上層階でこのうえない驚きを感じている人が多いものの、概ね階数によらず同じような感覚を示しているが、こわさは、上層階の方が強いことが分かる。

階数による行動の困難さ

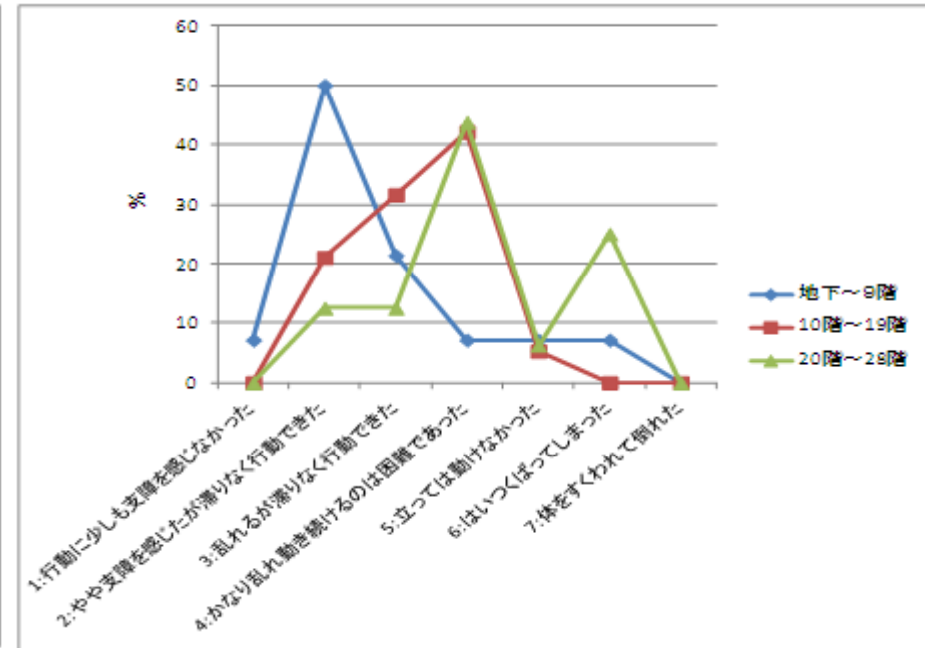
【問】

地震のときフロアーいた方にうかがいます。地震のとき立っていましたか



【問】

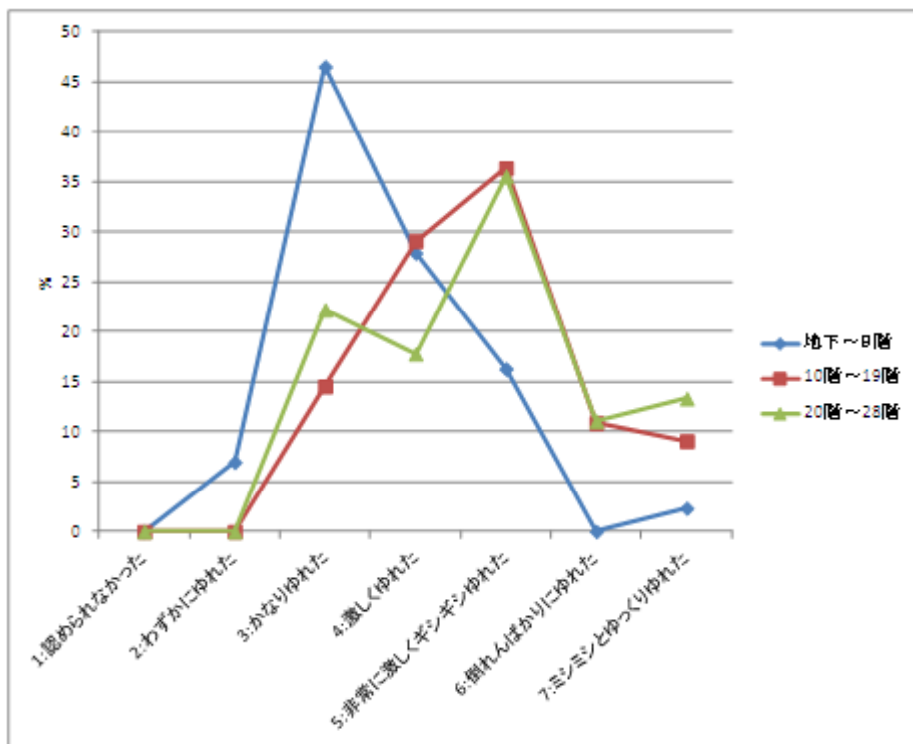
地震のときに動いていた方にうかがいます



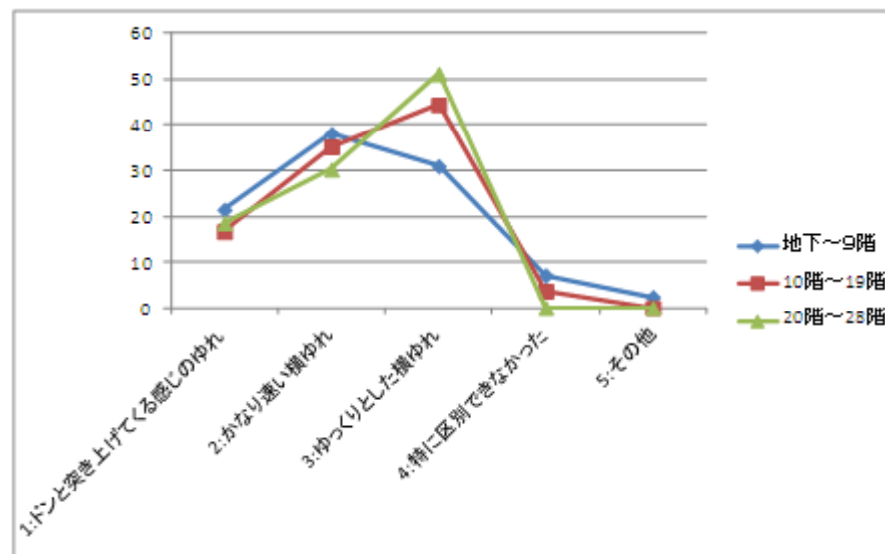
上層階に行くほど、立っているのが難しく、また、行動に支障が生じている

階数による揺れの雰囲気の違い

問 フロアー全体としてのゆれはいかがでしたか。(複数回答可)



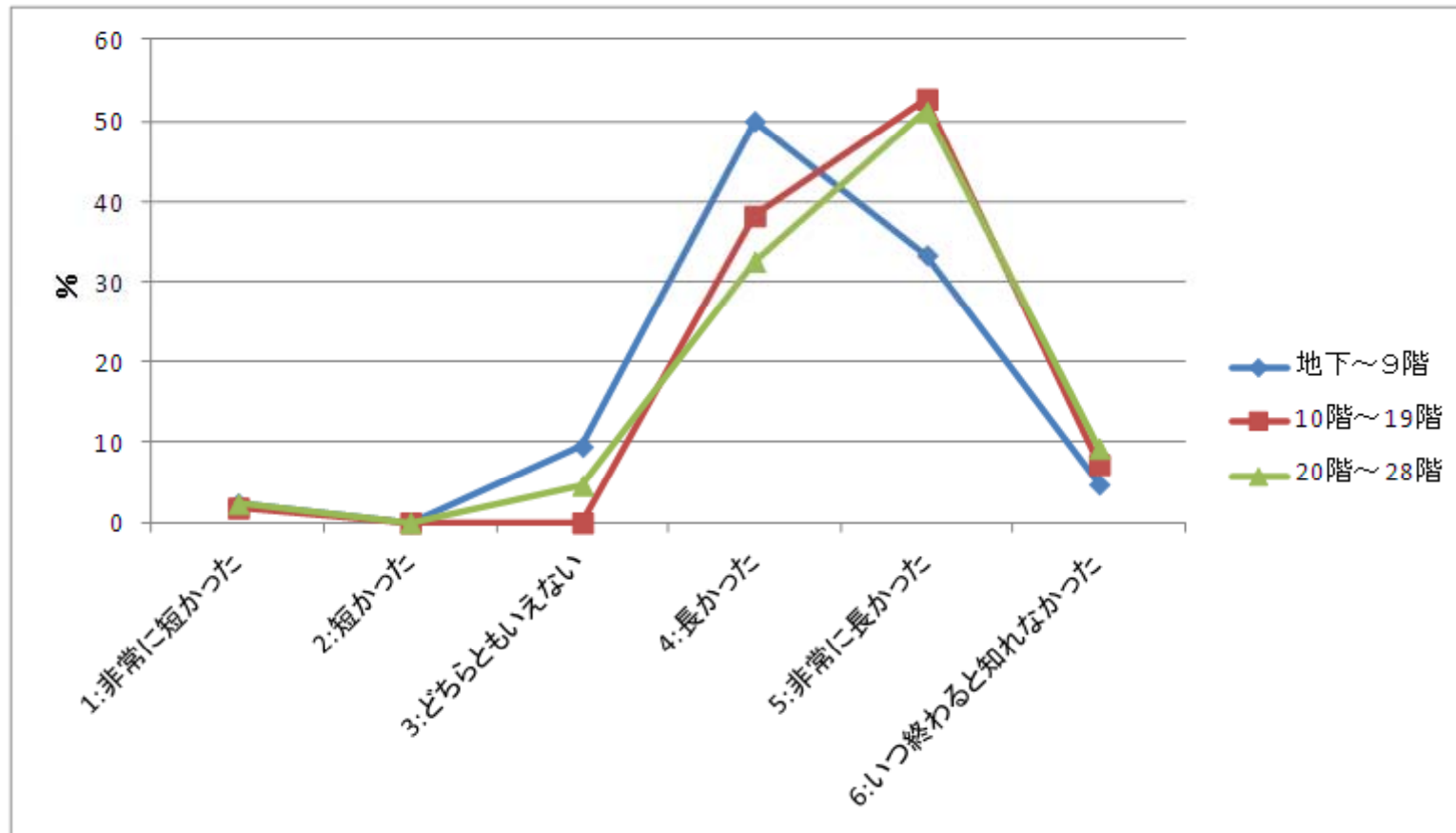
問 あなたが、地震をもっとも強く感じたのは、どのようなゆれの時ですか。(複数回答可)



揺れの大きさの程度については、中層階、上層階では、概ね同じような感じを受けている。揺れの雰囲気については、低層階から上層階まで概ね同じである。なお、上層階でも少なからず「ドンと突き上げてくる感じの揺れ」「かなり速い横揺れ」と感じている人がいた。

階数による揺れの長さに対する感覚の違い

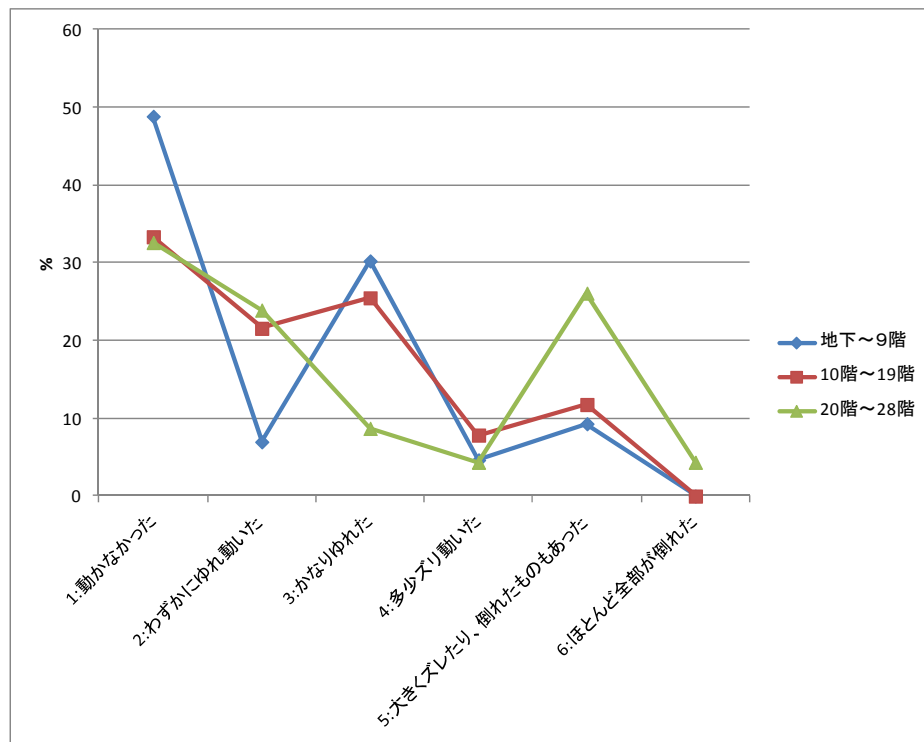
問 あなたは、地震のゆれている時間をどのように感じましたか。



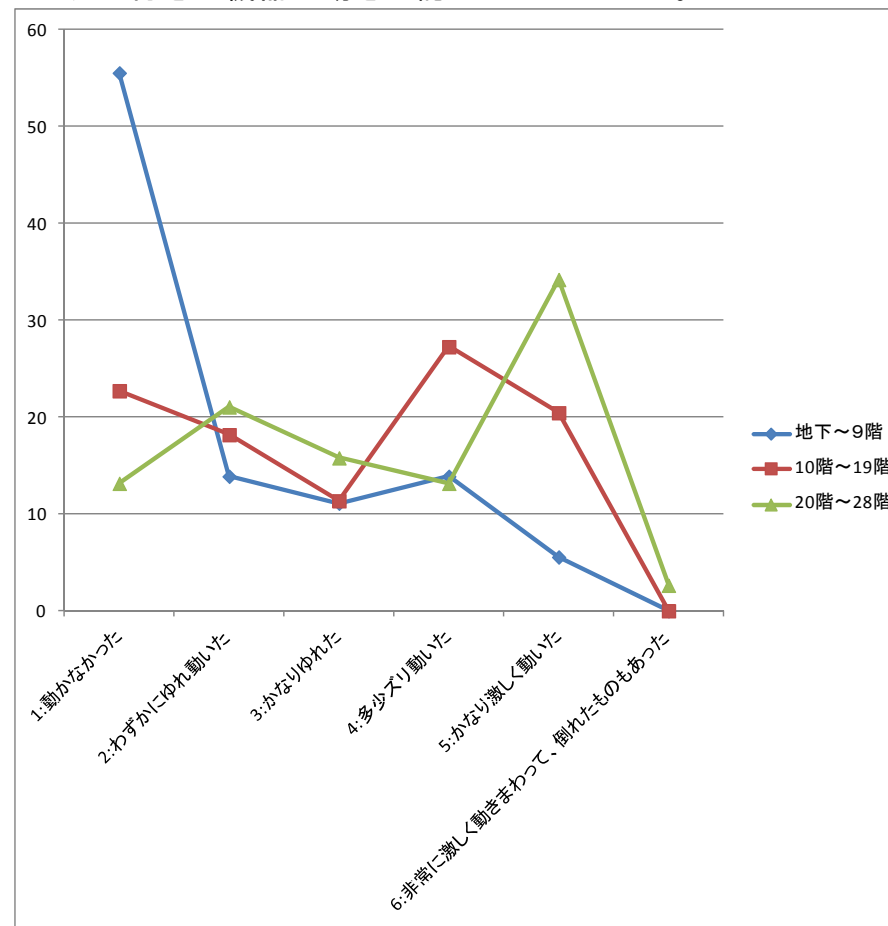
揺れの長さは、低層階から上層階まで「長かった」「非常に長かった」という回答が多い。

階数による家具の転倒・キャスター付き什器の移動

問 本棚・戸棚など、重い家具の動きは認められましたか



キャスター(車輪)付きのコピー機(複合機)やワゴン、キャスター付きの機器の動きは認められましたか。



重い家具の移動・転倒やキャスター付き什器の移動は上層階で顕著になる