

# 長周期地震動に関する情報検討会 平成 24 年度報告書

## 1. はじめに

気象庁では、平成 23 年度に有識者の参画を得て「長周期地震動に関する情報のあり方検討会」（以下、あり方検討会）を開催し、長周期地震動による長大構造物内での行動の困難さや不安感、生理的な影響などの人への影響や、高層ビル等での初動対応の状況を踏まえつつ、長周期地震動に関する情報のあり方について検討を進めた。検討結果は以下のとおりである。

- ・長周期地震動により、高層ビルでは階数が上がるにつれて行動が難しくなり、また本棚等の家具や什器の転倒・移動が増加する。また、高層ビル内では周期の長いゆったりした揺れや継続時間に起因するとみられる船酔いのような生理的な影響が発生している。
- ・これらの揺れによる影響は、日頃見聞きし、かつ、揺れの経験の頻度が高い震度ではイメージしにくい。また、低層階の防災センター等は初動対応の行動開始基準として震度を用いているが、震度では高層階における被害の発生可能性等を認識しにくい。
- ・このため、高さ 45m 以上（14、15 階建以上）の高層ビルを対象として、住民、施設管理者、防災関係機関等が、震度に加えて、長周期地震動による長大構造物内での行動の困難さや不安感、生理的な影響や、室内での家具・什器等の転倒・移動など被害の発生可能性について認識出来る「長周期地震動に関する情報」が必要である。

これらの検討結果を踏まえ、長周期地震動に関する情報の具体的な内容について検討を行うため、気象庁は平成 24 年度に「長周期地震動に関する情報検討会」（以下、本検討会）を開催した。主な検討内容は以下のとおりである。

- ・どのような指標に基づき長周期地震動を評価するのが適切かの検討
- ・情報提供については、気象庁ホームページに利用者が自らアクセスし入手する情報(PULL 型情報)で提供することを念頭に、どのような階級区分でどのような階級名称を用いて情報を発表するのが適切であるかについて検討
- ・階級と人の体感や室内の状況を関連づける解説表の作成
- ・情報発表の際に、どのようなコンテンツを気象庁ホームページに掲載する

のが適切であるかについて検討

本報告書は、上記の項目等について本検討会が平成 24 年度に行った議論および検討の結果等を取りまとめたものである。

## 2. 議論および検討の結果

### (1) 長周期地震動に関する情報の基本的な考え方

あり方検討会で示された長周期地震動に関する情報（以下、長周期地震動情報）の役割および内容についての基本的な考え方は、以下のとおりである。

#### 【長周期地震動情報の役割についての基本的な考え方】

- 震度と同様、被害や揺れの大きさについて、住民、施設管理者、防災関係機関に共通して理解される分かりやすいものとする。
- 情報の利用者が、それを見聞きし即時的にどのような行動・防災対応を執るべきかの判断に役立つ情報として、また日頃の備えの目安として用いられる情報として、現行の震度情報と同様な役割を想定する。

#### 【長周期地震動情報の内容についての基本的な考え方】

- 建物内の家具等の転倒・人の行動のしにくさなどを一般に分かりやすく示し、かつ、既に一般に広く浸透している震度情報との関係性を可能な限り確保する。
- 速やかに発表する内容は、非常時の情報過多による混乱を与えないよう最小限のものに抑える。

以上の基本的な考え方に基づいて、以下のとおりユーザーのニーズを踏まえ、長周期地震動情報の具体的な内容について検討を行った。

### (2) ユーザーニーズを踏まえた長周期地震動情報の内容

長周期地震動情報で発表する内容について何が求められているかを確認するため、高層建物の施設管理者や設計会社、建設会社、マンションの管理者等に聞き取り調査を行った。その結果、

- ・（高層建物の施設管理者などから）  
専門的知見を持たなくても揺れの程度が理解できるような内容や、震度と比較可能なレベル分けをした内容

- ・（専門的知見を有する設計会社や建設会社から）  
地震波形や応答スペクトルグラフなど、加工していないデータを含めた提供

が要望された。このことから、長周期地震動情報においては、

- ・住民、施設管理者、防災関係機関が共通して理解出来るよう、震度と混同しないよう配慮しつつ、長周期地震動による揺れの大きさとその揺れによる状況を階級化して発表することが必要
- ・専門的知見を有する者に対しては、簡便に設計用地震動などとの比較ができるよう、応答スペクトルや地震波形などのデータを提供することが有効

と考えられる。

### （3）長周期地震動階級関連解説表

これまでの調査研究により、固有周期が1～2秒から7～8秒となる45m以上の高層ビルにおいて、地震時に室内で生じた人の行動難度や什器の移動・転倒状況、内装材の破損等の状況の聞き取り、アンケート調査などの結果が得られている（別添資料2、引用文献1～7）。

長周期地震動情報が対象とする、高さ45m以上の高層ビルに大きな影響を及ぼす周期1～2秒から7～8秒の揺れは、短い周期の揺れを基本とする震度とは体感や被害が異なる特徴が認められる。しかし、震度と震度階級関連解説表は揺れの大きさととの関係を示すものとして広く一般に理解されてきていることから、震度関連解説表で記述されている体感および室内の様相も参考にすると、長周期地震動情報ではこれまでの調査研究で得られた揺れの大きさとその状況を4つの階級に区別することが適当である。

これを整理して取りまとめたのが「長周期地震動階級関連解説表」（別添資料1参照）であり、この解説表を長周期地震動情報の発表に用いる指標とする。また、この各階級は、震度と混乱しないよう、「長周期地震動階級」とすることが適当である。ただし、震度では「強い揺れ」や「強震・烈震」などの表現が用いられてきたように、「長周期地震動階級」でも、情報の発表・伝達や利用する状況に応じてさらに分かりやすい言い換えの表現が使われることで、長周期地震動階級への理解が進むことも考慮していくべきである。

### （4）長周期地震動階級を求める手法

1. はじめに、で述べたように、通常、高層ビル内では低層階から高層階になるにつれて揺れが大きくなるため、高層ビルの管理者等からは特に高層階の揺れの大きさを把握できる情報が求められている。

あり方検討会では、長周期地震動情報は、高さ 45m 以上の高層ビルを対象とし、また、現在国内に立地する高層ビルを考慮して、対象とする周期帯を概ね 1～2 秒から 7～8 秒としたが、実際に発表する情報では周期帯をより明確にする必要がある。このため、概ね周期 1.5 秒程度で「短くガタガタとした揺れ」から「ゆっくりとした揺れ」に人の揺れの感じ方が変わるという実験結果（別添資料 2、引用文献 8、9）等を踏まえ、周期帯の下限は周期 1.5 秒とする。また、現在国内に立地する高層ビルの固有周期を踏まえ、周期帯の上限は周期 8.0 秒とする。

一方、これまでの調査研究による室内の状況から区分した長周期地震動階級と、そこに最も近い階における観測値（最大床応答加速度、最大床応答速度、最大床応答変位等；ここで床応答は建物の床そのものの揺れの大きさ）の調査結果から、同一周期における観測値の大小によって長周期地震動の揺れによる行動の困難さなどの状況を区分しやすい観測値は最大床応答速度であることが分かっている。また、周期 1.5 秒～8.0 秒の周期帯において、長周期地震動階級の各階級の状況に対応する最大床応答速度の値はほぼ一定であることが得られている。これらのことから、長周期地震動階級は最大床応答速度を用いることで階級の区分を表現することが可能と考えられる。

本来、高層ビル内でどの程度の揺れとなっているかを知るためには、各々の高層ビルに管理者自らが地震計を設置して床応答速度を把握することが望ましいが、現実には全ての建物に地震計が設置されているわけではない。気象庁が発表する長周期地震動情報がこのようなニーズに応えるためには、高層ビル高層階の最大床応答速度を出来るだけ合理的に表現し、長周期地震動階級を推計する必要がある。地震工学の分野においては、地表に設置した地震計での地震観測データを用いて、様々な固有周期や減衰定数からなる建物の高層階においてどれだけ最大の揺れ(応答)が生じるかを示す応答スペクトルを用いることが多い。応答スペクトルには、地面に対する建物の床の相対的な揺れの大きさ（相対応答スペクトル）と、建物の床そのものの揺れの大きさ（絶対応答スペクトル）があり、長周期地震動階級の推計にあたっては、絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  を用いることが適当である。

この際、絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  の計算に用いる周期刻みは、周期選択性の強い高層ビル高層階での長周期地震動階級を適切に表現でき、かつ、地震計にも搭載して現地処理が出来るよう、0.2 秒とすることが適当である。なお、この計算刻みについては、今後の地震計の現地処理能力向上に応じて再検討することも考慮すべきである。また、絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  の計算に用いる減衰定数は、設計用地震動などとの比較がしやすく、かつ、実際の建物の揺れを適切に表現できる 5%を基本とする。

以上のことより、「長周期地震動階級」の算出は以下の方法で行うものとする。

①  $ACCr(t) + 2h\omega VELr(t) + \omega^2 DISr(t) = -A(t)$

$ACCr(t)$  : 相対加速度応答時刻歴

$VELr(t)$  : 相対速度応答時刻歴

$DISr(t)$  : 相対変位応答時刻歴

$A(t)$  : 地動加速度時刻歴

$h$  : 減衰定数

$\omega$  : 計算する系の固有円振動数

与えられる 1 質点減衰系の地動に対する応答、すなわち、相対速度応答時刻歴  $VELr(t)$  に地動速度時刻歴  $V(t)$  を足しあわせて求めた絶対速度応答時刻歴  $VELa(t)$  を元に、絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  (減衰定数 5%) の計算を周期 1.6 秒から周期 7.8 秒までの間で行う。

② 周期 1.6 秒から周期 7.8 秒における絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  (減衰定数 5%) の最大値の階級を求め、これをその地点の「長周期地震動階級」とする。

なお、この方法で作成・発表する長周期地震動階級は、地震計の観測データから計算された絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  (減衰定数 5%) によって求めたものであり、その場所に高層ビルがあれば高層階でどのような揺れになるかを推計したものである。したがって、周辺の高層ビル等における建物内の被害状況把握の参考にできるものの、個々の高層ビル等の特性や地盤条件まで表現しているものではないこと、対象となる高層ビルの構造や状態により揺れの大きさが異なること、また、高層ビルの中でも、階や場所によって揺れの大きさが異なること、特に建物の頂部のゆれ方は発表した長周期地震動階級よりも大きくなる場合もあることを明記する必要がある。

## (5) 長周期地震動情報(PULL型情報)の提供およびその内容

(2) で述べたように、設計会社や建設会社からは、地震波形や応答スペクトルグラフなど、加工していないデータを含めた提供が求められており、専門的知見を有する者においては、観測データの情報などが新たに加わり、その情報を利用することで、地震発生後のさらなる適切な判断に繋がると期待される。

このような利用者の要望に応え利便に供するためには、詳細な観測・解析データ等の情報が長周期地震動階級と同時に得られるよう、WEBの特性を活かしたPULL型情報の提供が重要である。このため、利用者が自らアクセスし入手することが出来るよう、少なくとも、気象庁ホームページを通じて長周期地震動に関する情報を提供出来る環境を整備することが必要である。

その際、気象庁ホームページでのPULL型情報では、以下のような内容とすることが適当である。また、これらの掲載内容については、今後、利用者の意見を踏まえて改善していくことが必要である。

- ・長周期地震動階級のほか、絶対速度応答スペクトル $S_{va}$ 図および絶対加速度応答スペクトル $S_{aa}$ 図、加速度および速度波形図、また、地動（加速度、速度、変位）の最大値等を表で掲載するとともに、利用者が利用しやすいよう、計算機で処理しやすい形式で、図の作成に用いた絶対速度応答スペクトル $S_{va}$ 、絶対加速度応答スペクトル $S_{aa}$ のデータを掲載する。
- ・石油タンクのスロッシングや免震建物の揺れの大きさ等の把握にも活用できるよう、PULL型情報においては、減衰定数が0.5%、2%、10%などの場合についても計算を行い複数の絶対速度応答スペクトルなどを選択できるようにする。
- ・エネルギースペクトル $V_E$ 、さらには地震波形についても、計算機で処理しやすい形式でデータを掲載できれば、さらに有効な情報となることが期待される。

なお、民間の情報提供サービスによるきめ細かい情報やデータの入手ニーズに応じていくことも重要であり、このために民間事業者等が必要とするデータについて、その種類や利用しやすい形態での提供方法についても検討を進めることが必要である。

#### (6) 長周期地震動情報の発表に用いる強震観測網の充実・強化

震度情報と比較した場合、長周期地震動情報については現状では気象庁が設置した地震計の地点での情報発表にとどまる。このため、個々の観測点におけ

る観測結果がどの程度地域性を代表しているかを確認するため、また、東京 23 区内のように、長周期構造物が多い地域では、見落としを避ける観点からも観測点の密度を高めることが重要である。的確な情報発表を行うためには、例えば、防災科学技術研究所の強震観測網の活用など、関係機関の協力も得つつ、情報発表に利用可能な強震観測網の充実・強化を行うことが必要である。

### (7) 長周期地震動情報を防災情報として普及するための課題と対応

以上のように、地震計付近の高層ビル高層階における揺れの推定状況を、観測情報として発表するには、長周期地震動による揺れの大きさを階級に分けた長周期地震動階級と、地震観測データから算出した絶対速度応答スペクトル  $S_{va}$  を併用することで、ユーザーのニーズに応えることができる。

しかしながら、このような長周期地震動情報を、高層ビル等の管理者の応急対応の判断支援や地方公共団体における地域内での状況の判断支援、住民の揺れに対する理解を促すための防災情報として利用するにあたっては、以下のような課題がある。

- ・長周期地震動情報を不特定多数に発表することで、これを震度と混同するなど、無用な混乱が生じるおそれがあることから、情報の目的や、新たに策定した長周期地震動階級とその内容について広く理解度を高める必要がある。
- ・長周期地震動情報の発表が地震直後の情報過多を加速し、混乱や適切な対応の妨げに繋がるおそれがあることから、震度情報や津波警報等、多種の情報を発表している中で伝達すべき情報の優先順位を明確にする必要がある。
- ・長周期地震動情報は対象が高層ビルや石油タンク等限定的であることから、それらに特化して適切な防災対応のあり方についてさらに検討しておく必要がある。
- ・長周期地震動による被害の実例が少なく、長周期地震動階級を示されてもイメージしにくいことから、長周期地震動による被害状況等を周知・啓発する必要がある。

このような課題を踏まえ、今後は、現行の震度情報と同様な利用がなされることを目標に、学識経験者等の協力を得ながら、長周期地震動に関する情報の認知度の向上に向けた取り組みを重点的に行うとともに、長周期地震動階級と地震時の対応行動との整理や位置づけなどを具体的に検討していくことが必要である。

また、情報に接する機会が増えることで認知度が向上することも考えられることから、気象庁ホームページを通じた PULL 型情報の提供と共に、顕著な長周期地震動が観測された場合には、地震発生後の記者会見や地震解説資料等を活用して、広く国民へ長周期地震動の特徴を解説することも必要である。これは、震度情報との違いなどについての社会的な認知や理解を高める効果も期待される。

### 3. 今後の課題

長周期地震動情報についても、地震情報や津波警報のようにメディアや自治体等を通じ広く国民へ速報するため気象庁が PUSH 型情報を導入するためには、広く一般に伝えるという情報の持つメリットは考慮しつつも、情報過多を加速し、混乱に繋がらないよう、その実施方法を報道機関や防災関係機関と十分検討しなければならない。仮に導入する場合は、被害軽減に結びつくよう、長周期地震動情報の認知度向上や、長周期地震動階級と地震時の対応行動との整理や位置づけなどの明確化に加え、津波警報等優先度のより高い防災情報が必須の地域への警戒避難の呼びかけを阻害しない伝え方や手段を構築することが必要である。さらに、限られた時間の中で、また、特定の人達に対して効果的に伝達するという観点で、情報伝達に用いるメディアを検討することも不可欠である。このように、PUSH 型情報のあり方については、情報の出し手と受け手の緊密なコミュニケーションの中で、さらに丁寧な検討を行うことが必要である。

また、長周期地震動による高層ビルでの被害は事例が少ないことから、関係機関と連携し、長周期地震動による被害状況等の周知・啓発についても併せて進めるとともに、顕著な長周期地震動が観測された場合には、気象庁は被害状況等の調査を行い、長周期地震動階級関連解説表を改善していくことも重要である。

将来、長周期地震動に関する予報を発表した際に、住民が適切な危険回避行動などを取れるようにするためには、新たに策定した長周期地震動階級関連解説表などの認知度の向上は不可欠である。また、応急対応との関係が明確になっていない現状にあっては、情報を発表しても活用されるとは言い難い。このような状況を考慮すると、地震時の揺れに対する新たな情報である長周期地震動情報は、今後、段階的に普及させていくことが適当である。

## 別添資料 1

### 長周期地震動階級関連解説表、長周期地震動に関する情報における留意事項

#### 1. 長周期地震動階級関連解説表

長周期地震動階級関連解説表（高層ビルにおける人の体感・行動、室内の状況等との関連）

長周期地震動階級	人の体感・行動	室内の状況	備考
階級 1	室内にいたほとんどの人が揺れを感じる。驚く人もいる。	ブラインドなど吊り下げものが大きく揺れる。	—
階級 2	室内で大きな揺れを感じ、物に掴まりたいと感じる。物につかまらなると歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。	キャスター付き什器がわずかに動く。棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。	—
階級 3	立っていることが困難になる。	キャスター付き什器が大きく動く。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が入ることがある。
階級 4	立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされる。	キャスター付き什器が大きく動き、転倒するものがある。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が多くなる。

#### 長周期地震動階級関連解説表の使用にあたっての留意事項

- 長周期地震動階級関連解説表は、周期 1.5 秒程度から周期 8 秒程度までの高層ビルを対象として、長周期地震動階級が推計された際に発生する被害の中で、比較的多く見られるものを記述しており、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。また、それぞれの長周期地震動階級で示されている全ての現象が発生するわけではありません。
- 長周期地震動階級が同じであっても、対象となる建物や構造物の状態、震度や継続時間などの地震動の性質により被害は異なります。
- 長周期地震動階級関連解説表は、主に近年発生した被害地震の事例から作成したものです。今後、顕著な長周期地震動が解析された場合には内容を点検し、新たな事例が得られたり、建物・構造物の耐震性の向上等によって実状と合わなくなった場合には変更します。
- 長周期地震動階級関連解説表では、被害などの量を概数で表せない場合に、一応の目安として、次の副詞・形容詞を用いています。

用語	意味
わずか	数量・程度が非常に少ない。ほんの少し。
大半	半分以上。ほとんどよりは少ない。
ほとんど	全部ではないが、全部に近い。
が（も）ある が（も）いる	当該震度階級に特徴的に現れ始めることを表し、量的には多くはないがその数量・程度の概数を表現できかねる場合に使用。
多くなる	量的に表現できかねるが、下位の階級より多くなることを表す。

## 2. 長周期地震動に関する情報の留意事項

長周期地震動に関する情報で発表する長周期地震動階級は、地震計の観測データから計算された絶対速度応答スペクトル Sva（減衰定数 5%）の最大値によって求めたものであり（下表）、その場所に高層ビルがあれば高層階でどのような揺れになるかを推計したものです。周辺の高層ビル等における建物内の被害状況把握の参考にできるものの、個々の高層ビル等の特性や地盤条件まで表現しているものではありません。また、高層ビルの中でも、階や場所によって揺れの大きさが異なります。特に、建物の頂部のゆれ方は、発表した長周期地震動階級よりも大きくなる場合もあります。

長周期地震動階級の各階級と絶対速度応答スペクトル Sva（減衰定数 5%）の最大値との関係

長周期地震動階級	絶対速度応答スペクトル Sva(減衰定数 5%)の最大値(対象周期 T 1.5 秒<T<8.0 秒(注))
階級 1	5cm/s ≤ Sva（減衰定数 5%）の最大値 < 15cm/s
階級 2	15cm/s ≤ Sva（減衰定数 5%）の最大値 < 50cm/s
階級 3	50cm/s ≤ Sva（減衰定数 5%）の最大値 < 100cm/s
階級 4	100cm/s ≤ Sva（減衰定数 5%）の最大値

（注）長周期地震動に関する情報で発表する長周期地震動階級は、周期 1.6 秒～7.8 秒の間で 0.2 秒刻みで計算した絶対速度応答スペクトル Sva（減衰定数 5%）の最大値の階級としています。

別添資料2 長周期地震動階級関連解説表の作成に係る調査結果

● 人の行動の困難さ

肥田・永野 (2012) <sup>1)</sup> は、東北地方太平洋沖地震における高層住宅におけるアンケート調査と調査を行われた各階で実測された揺れの最大速度を用いて、概ね 20cm/s を超えると歩いたり動いたりすることにやや支障があり、60cm/s を超えると立っていることが出来なかった、としている。

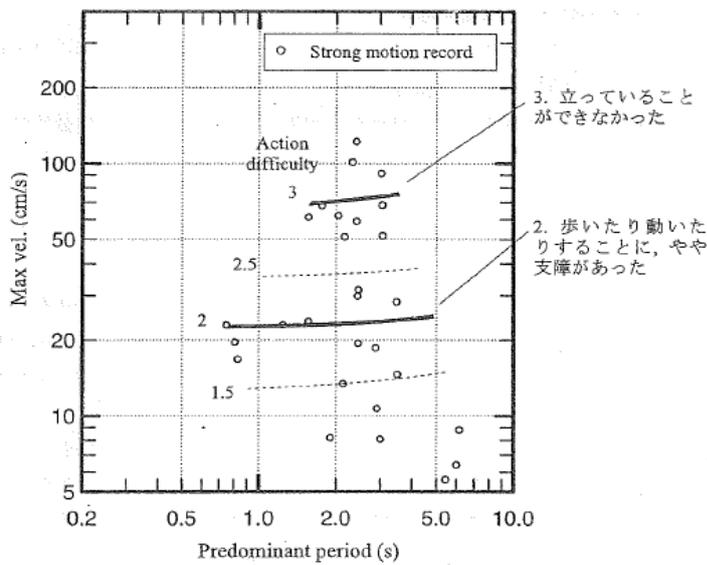


図1 肥田・永野 (2012) <sup>1)</sup> による、アンケートで得られた行動の支障の程度と床最大速度

気象庁が高層のオフィスビルで行った聞き取り調査と、調査を行われた各階で実測された揺れの最大速度では、歩けるがやや支障があったという証言は概ね 20cm/s 以上、概ね 50cm/s を超えると立っていることが困難、這いつくばる、支えれば立っていられるが動けない、といった証言が得られた。また、揺れによる人の行動の困難さは、各階で観測された最大加速度よりも最大速度の方が分離しやすいことが分かった。

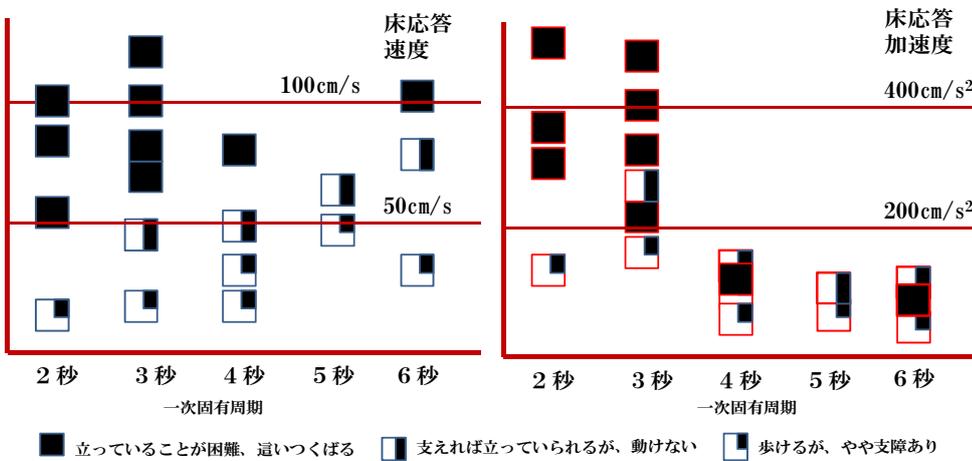


図2 気象庁の調査で得られた行動の困難さと床最大加速度・最大速度の関係

久保ほか（2012）<sup>2)</sup>は、工学院大学新宿校舎内での震度アンケート調査から、人の体感・行動について、超高層建物においても震度階級関連解説表が示すような建物内部の様子とほぼ整合するような状況となっている、と述べている。久保ほか（2012）で示されている低層階、中層階、高層階の最大速度とアンケート調査の結果を比較すると、最大速度が 40cm/s 程度までは概ね行動が可能であるのに対し、50cm/s を超えると立っていることが困難な状況となっている。

表1：大学棟の最大加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

大学棟	EW	NS	NS2	UD
29	234.62	291.65	340.75	183.62
24	134.69	151.37	-	(508.52)
22	151.72	153.44	159.20	-
16	---	232.42	241.87	-
8	197.13	---	221.29	-
1	91.85	97.45	81.57	-
B6	66.07	78.31	71.14	37.11
GL-100	45.92	49.52	-	29.09

表2：大学棟の最大速度 (cm/s) と計測震度

大学棟	EW	NS	NS2	UD	計測震度
29	67.47	69.30	70.58	12.63	5.89
24	56.49	58.31	-	(26.58)	5.54
22	52.59	53.39	53.32	-	5.15
16	---	54.45	54.33	-	---
8	41.65	---	42.74	-	---
1	12.03	15.24	16.04	-	4.49
B6	13.40	15.46	15.22	6.56	4.43
GL-100	11.87	13.86	-	6.34	-

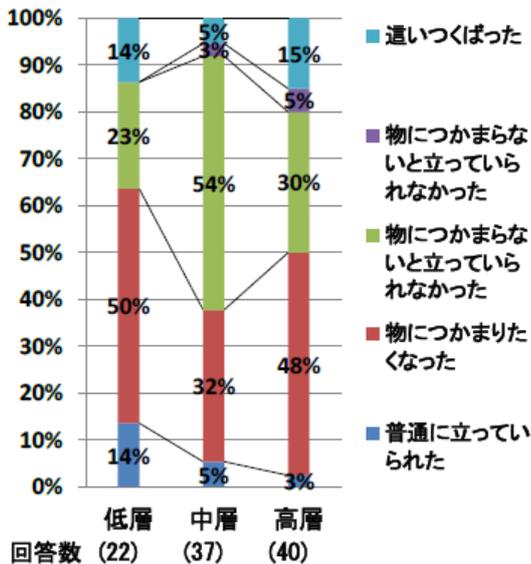


図24：設問14 地震時の対応

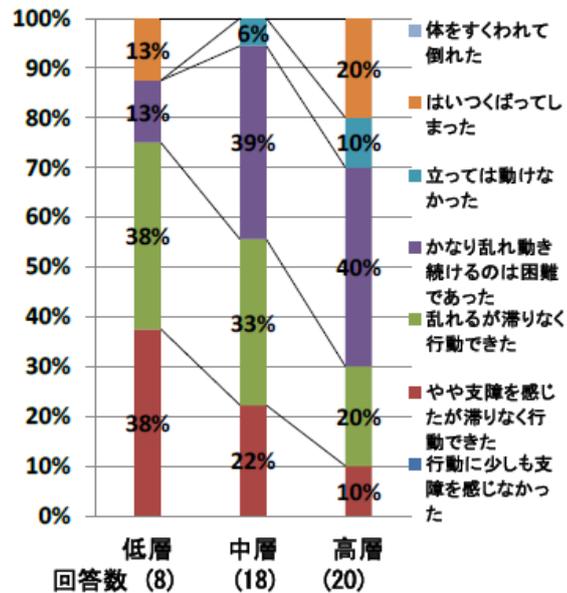


図25：設問15 行動難度

図3 久保ほか（2012）<sup>2)</sup>による、工学院大学新宿校舎における最大加速度・最大速度の観測値および震度アンケート調査結果

齊藤ほか (2011)<sup>3)</sup> は、東京都中央区に立つ 37 階建て超高層集合住宅 (表 5 中の F 棟) における東北地方太平洋沖地震での観測記録と聞き取り調査では、最上階ではつかまっていなければ立てないほどの揺れ、との証言が示され、高橋ほか (2007) による「行動難度曲線」では、高層階 (18 階) 以上ではやや乱れるものの滞りなく行動できる範囲である、と述べている。

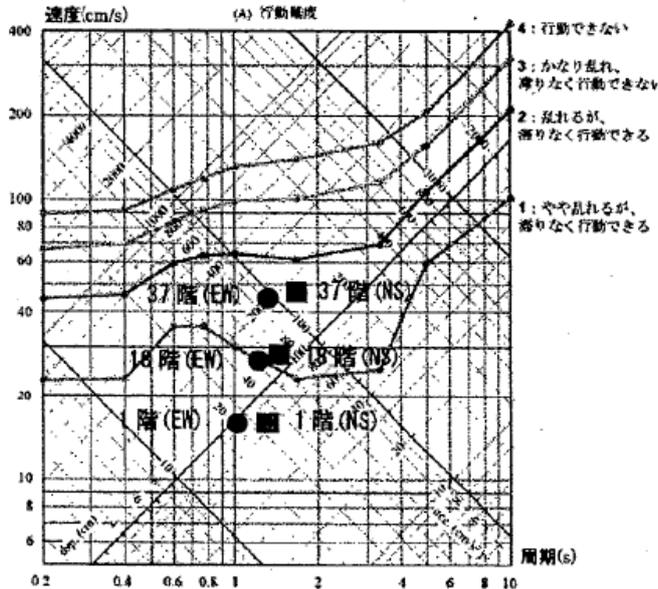


図 4 行動難度曲線<sup>3)</sup>

表 5 2011 年東北地方太平洋沖地震後の超高層集合住宅 (東京都中央区) に対する聞き取り調査結果

質問事項	A 棟 39 階建て	B 棟 32 階建て	C 棟 26 階建て	D 棟 47 階建て	E 棟 50 階建て	F 棟 37 階建て
エレベータの停止	全て停止。当日 17 時 30 分頃に復旧	全て停止。3 基はすぐに復旧、1 基は数日後に復旧	全て停止。当日の 22 時頃に復旧	全て停止。1 基は当日 23 時頃に復旧。翌日昼に全て復旧	全て停止。当日中に 3 基が復旧。翌々日の夕方に全て復旧	全て停止。当日の 18 時頃に復旧
水道、ガス、電気の停止	なし	なし	なし	なし	なし	ガスが 17 時頃に停止、22 時頃に復旧
建物の被害	一階階段壁のタイル剥落	廊下部分の仕上げ材にずれ	非常階段の梁や設備ドアの扉にひび割れ	非常階段の取り付け部やベランダの梁にひび割れ	非常階段の取り付け部にひび割れ	タイルにひび割れ
建物周辺の地盤被害	なし	なし	なし	なし	なし	なし
室内の家具の転倒等	とくに聞いていない	物が落ちた程度	物が落ちた程度	物が落ちた程度	とくに聞いていない	家具の転倒被害なし
家具の固定の呼びかけ	防災訓練等で呼びかけている	していない	防災マニュアルを各戸に配布している	防災マニュアルを各戸に配布している	していない	防災マニュアルを各戸に配布している
高層階の揺れの程度	あまり揺れなかった	鍵をかけていない窓が開いた	とくに聞いていない	防火扉が開いた	とくに聞いていない	最上階では、つかまっていなければ立てないほどの揺れ
住民の安否確認	災害対策本部を立ち上げ、車椅子の方のみ連絡した	組織的な対応なし	管理室からインターホンで問い合わせた	管理室から高齢者の独り暮らしの方に連絡	していない	高齢者の独り暮らしの方に連絡したが、組織的な対応なし
けが人や体調不良	なし	なし	なし	なし	なし	なし
その他、今後の課題など	帰宅難民の受け入れが今後の課題	帰宅難民の受け入れが今後の課題	なし	修復での専有部分と共有部分の区別	なし	なし

図 4 齊藤ほか (2011)<sup>3)</sup> による、東京都中央区に立つ 37 階建て超高層集合住宅の観測値および東京都中央区内の超高層集合住宅に対する聞き取り調査結果

齊藤(2012)<sup>4)</sup>は、東北地方太平洋沖地震での公共施設に対する聞き取り調査の結果、床加速度が300gal、床速度が70kineを超えると「何も行動できない」という回答が多い、としている。

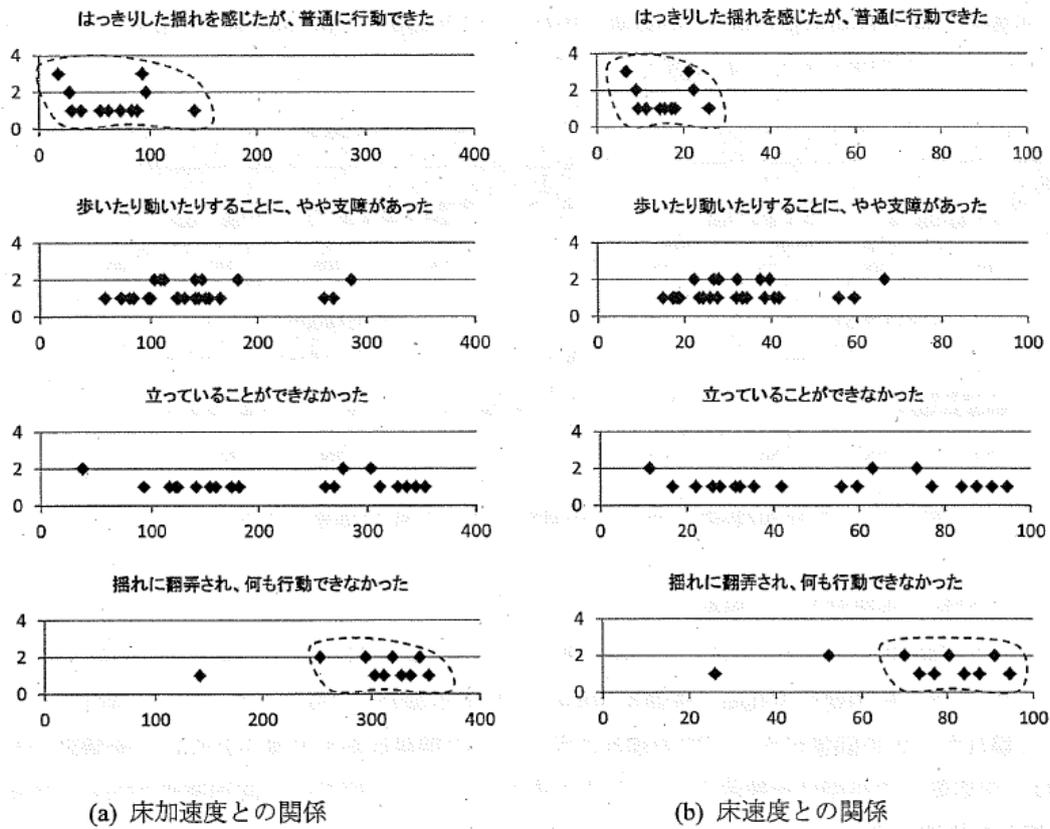


図 6.2.3 揺れの間隔と床の加速度および速度との関係

図 5 齊藤(2012)による、揺れの感覚と床の加速度および速度との関係

● 家具・什器等の転倒や移動

日本建築家協会・耐震総合安全機構（2012）<sup>5)</sup>では、床応答の等価振動数と最大加速度によって家具等の転倒限界が示されている。本図から、概ね周期 1.5 秒では、最も低い加速度で転倒が生じる書棚の転倒限界に対する床応答の最大速度の最小値は 50cm/s となることが導かれる。（床応答の等価振動数=床応答の最大加速度 / (2π×床応答の最大速度)）

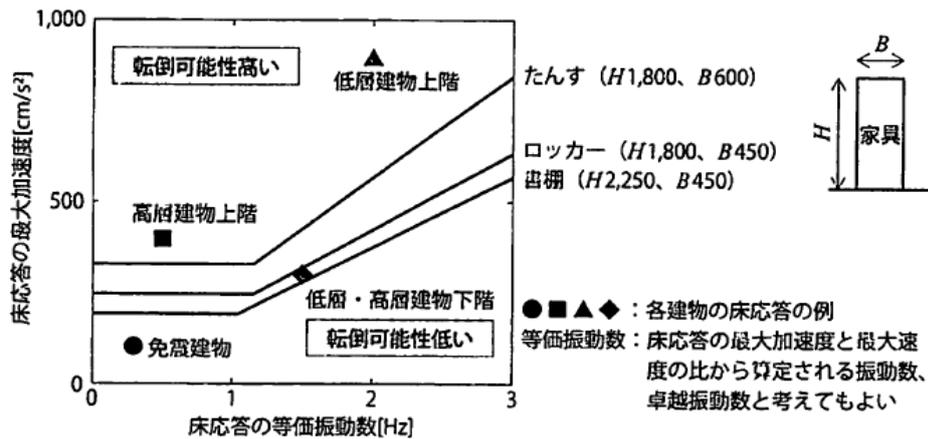


図1 各家具の転倒限界（直線を上回る加速度で、家具の転倒可能性が高い）  
たんすとロッカーは、低層・高層建物の下階では転倒可能性が低い、上階では高い。免震建物ではスレンダーな書棚でも転倒可能性は低い

図6 日本建築家協会・耐震総合安全機構（2012）<sup>5)</sup>による、床応答の最大加速度・等価振動数と家具の転倒限界の関係

肥田・永野（2012）<sup>1)</sup>は、東北地方太平洋沖地震における高層住宅でのアンケート調査と調査を行われた各階で実測された床最大速度を用いて、家具の転倒は概ね 20cm/s 程度から生じ始める、としている。

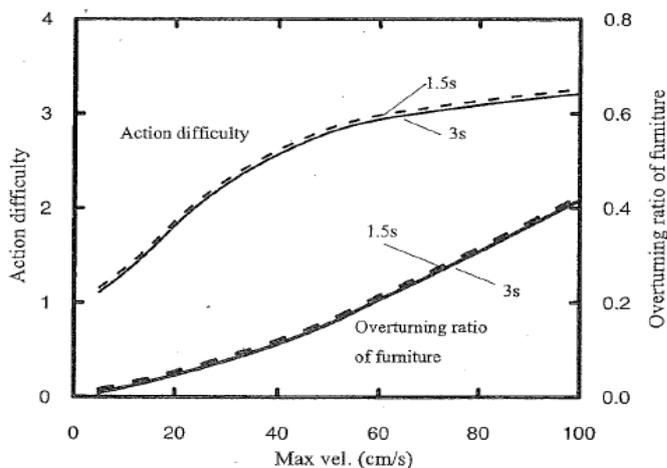


図10 最大速度と行動難度および家具の転倒率の関係

図7 肥田・永野（2012）による、家具の転倒率と床最大速度の関係

気象庁が高層のオフィスビルで行った聞き取り調査では、対象階で観測された最大速度が 20cm/s を超えると、不安定な什器等の転倒が生じ始め、50cm/s を超えると什器が転倒する割合が多くなっている。

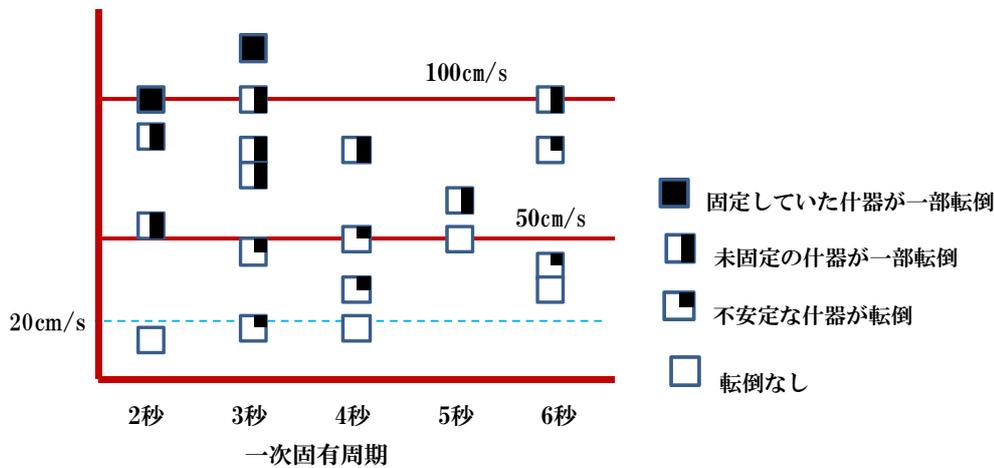


図 8 気象庁の調査で得られた什器の転倒の状況と床最大加速度・最大速度の関係

沢井ほか (1995)<sup>6)</sup> および小堀ほか (1995)<sup>7)</sup> は、兵庫県南部地震における高見フローラルタウンにおける家具の転倒状況は、25 階、30 階など高層階に集中した、としている。

表 1 沢井ほか (1995) による、平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震において高見フローラルタウンで観測された床最大加速度・最大速度・最大変位

表 2 本震の最大値一覧 (速度・変位は振り子法積分値)

測定点	加速度(gal)			速度(kine)			変位(cm)		
	東西	南北	上下	東西	南北	上下	東西	南北	上下
建物 31階	305	241	431	82.2	80.0	21.6	36.0	32.5	4.5
建物 16階	193	138	397	44.4	49.9	16.4	23.0	20.6	4.8
建物 1階	178	156	176	29.2	28.4	9.7	13.9	10.8	4.3
地盤 (-1m)	267	222	255	34.4	36.1	12.5	14.3	11.8	5.3
杭先端(-30m)	138	186	180	25.8	21.6	10.5	13.8	10.6	4.7

表 2 小堀ほか (1995) による、平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震において、高見フローラルタウンの各階における家具の転倒状況

表 4 家具の転倒した住戸

項目	度 数						
	2	5	10	16	20	25	30
階							
転倒した				1		1	3
移動した	1		1	1		2	1
異常なし	2	2		1	1	1	

● 室内の吊り下げものや食器などの挙動

齊藤 (2012)<sup>4)</sup> は、東北地方太平洋沖地震での公共施設に対する聞き取り調査の結果、80cm/s 以上で「落下した」という回答がみられるが、大きく揺れたとの回答が多く、床の揺れの大きさとの関係はあまりみられない、としている。食器類の落下に対しては、床応答との相関が比較的高く、かなり落ちたという回答は、床加速度 250gal、床速度 60cm/s を超える範囲に多い、としている。

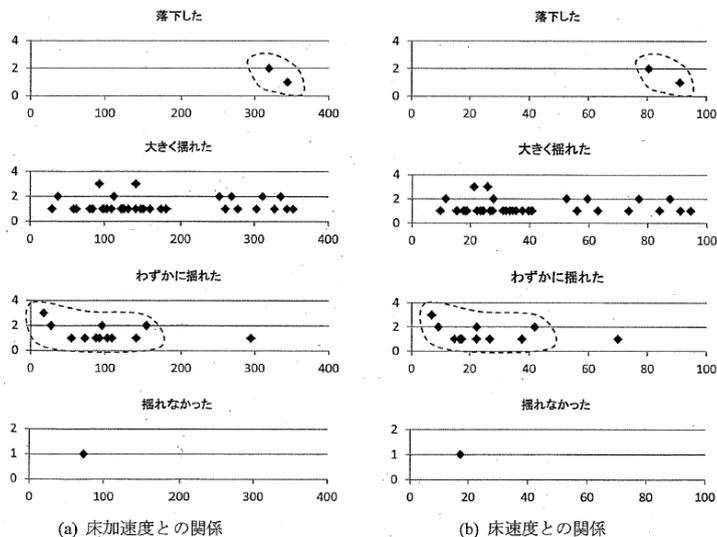


図 6.2.6 吊り下げ物の挙動と床の加速度および速度との関係

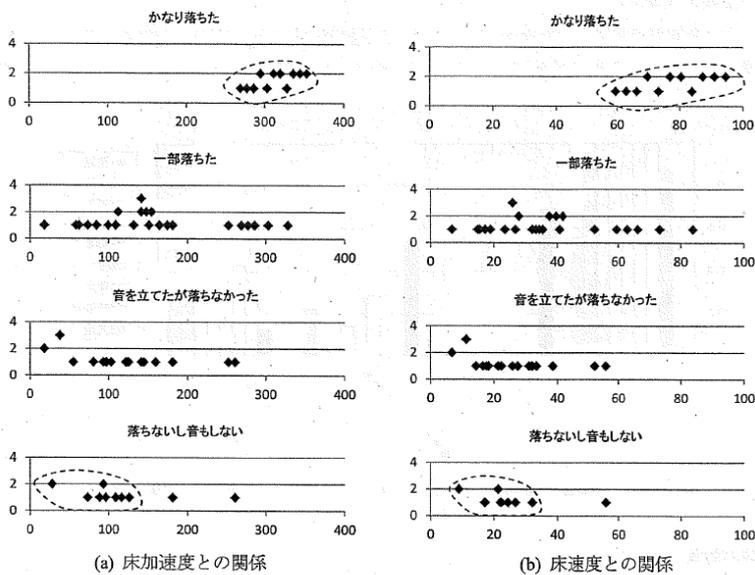


図 6.2.7 食器類やその他の棚や机の上の物の挙動と床の加速度および速度との関係

図 10 齊藤 (2012)<sup>4)</sup> による、吊り下げ物の挙動、食器類やその他の棚や机の上の物の挙動と床の加速度および速度との関係

● 人の感じ方と周期

野田ほか (2000)<sup>8)</sup> は、振動台実験の結果、振動の様子を表現する言葉が、概ね 0.1~1.5 秒程度 (震度が対象とする周期) は「小刻み、細かい」、周期 1.5 秒以上の揺れは「ゆっくり」という、実験結果が得られている。また、大きいという言葉は 0.16~1.0Hz を中心に表現され、特に変位が 0.63~10.0cm の範囲に多い、としている。

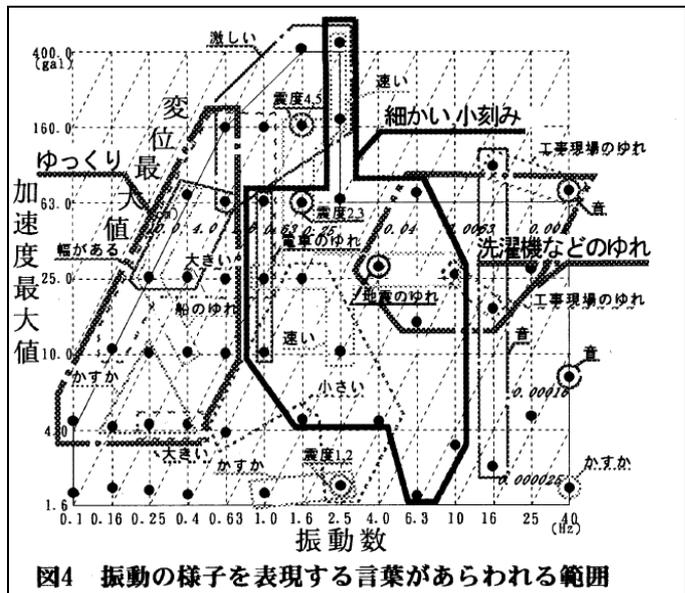


図 11 野田ほか (2000)<sup>8)</sup> による、振動の様子を表現する言葉があらわれる範囲

● 揺れの表現と物理量

石川ほか (1994)<sup>9)</sup> では、振動台実験の結果、「強い、弱い」という感覚に働きかける強さの表現は加速度との相関が良く、「大きい、小さい」は、速度や中心に振動を捉えた表現としている。

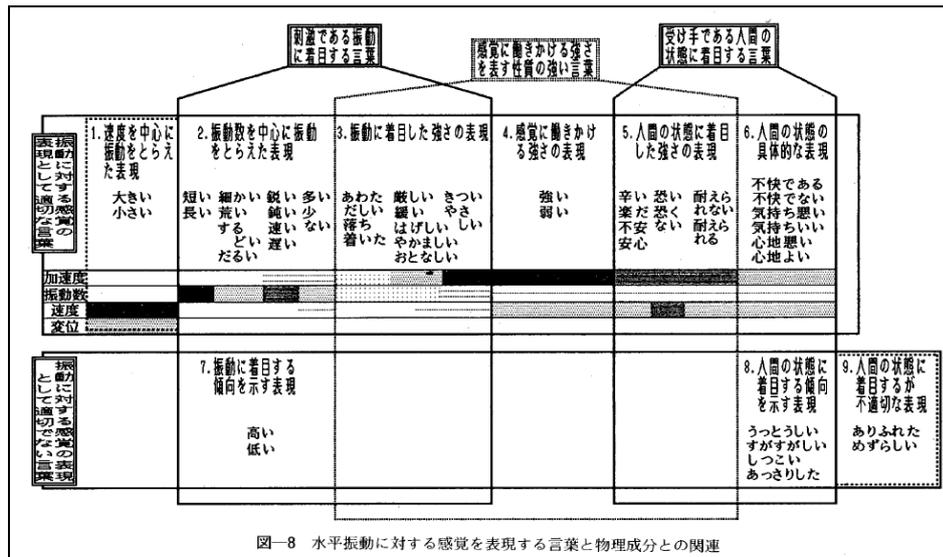


図-8 水平振動に対する感覚を表現する言葉と物理成分との関連

図 12 石川ほか (1994)<sup>9)</sup> による、水平振動に対する感覚を表現する言葉と物理成分との関連

## 引用文献一覧

- 1) 肥田剛典・永野正行 (2012) アンケート調査と強震記録に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震時における超高層集合住宅の室内被害－不安度と行動難度および家具の転倒率の検討－, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻、第 677 号、p.1065-1072
- 2) 久保智弘・久田嘉章・相澤幸治・大宮憲司・小泉秀斗 (2012) 東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査、日本地震工学会論文集、第 12 巻、第 5 号 (特集号)
- 3) 斉藤大樹・石川孝重・高橋徹 (2011) 巨大地震に対する超高層集合住宅の人・生活を守る技術の開発 その 1 2011 年東北地方太平洋沖地震による超高層集合住宅の揺れ、日本建築学会大会学術講演梗概集
- 4) 斉藤大樹 (2012) 日本建築学会構造委員長周期建物地震対応小委員会 (2012) 長周期地震動対策に関する公開研究集会資料
- 5) 日本建築家協会・耐震総合安全機構 (2012) 建築家のための耐震設計教本新訂版 彰国社
- 6) 沢井布兆・藤井睦・横山浩明・松谷輝雄・石田潤一郎・小堀隆治 (1995) 兵庫県南部地震における高見フローラル超高層 RC 造集合住宅の検証 (2) 地震観測の概要および観測記録 I、日本建築学会大会学術講演梗概集
- 7) 小堀隆治・田中幹夫・沢井布兆・松谷輝雄・横山浩明・高尾洋史 (1995) 兵庫県南部地震における高見フローラル超高層 RC 造集合住宅の検証 (5) 居住者の地震揺れ感覚－ヒアリング調査結果、日本建築学会大会学術講演梗概集
- 8) 野田千津子・石川孝重・岡村彰子 (2000 年) 揺れ性能に関する要求レベルのわかりやすい表現－その 1 言葉による振動感覚の表し方－ 日本建築学会大会学術講演梗概集
- 9) 石川孝重・野田千津子・隈澤文俊・岡田恒男 (1994) 水平振動感覚を表現する形容詞・用語がもつ意味 日本建築学会計画系論文集 No. 455, 9-16