

● 人の行動の困難さ

肥田・永野 (2012) ¹⁾ 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。

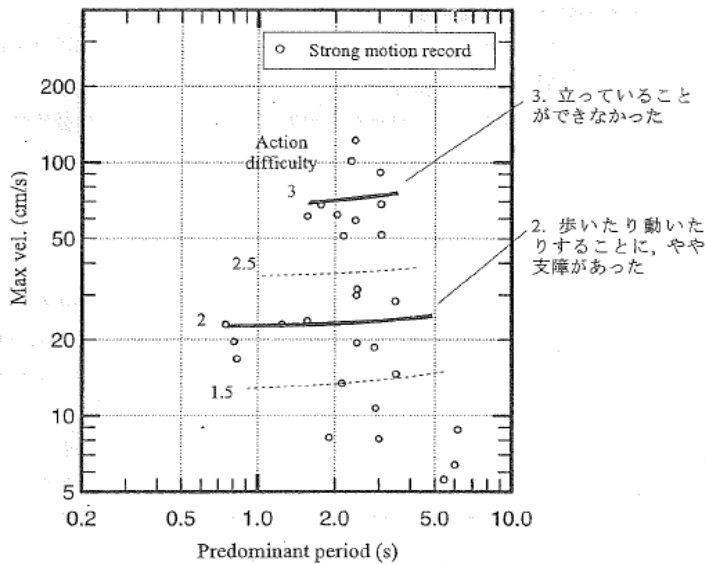


図 1 肥田・永野 (2012) ¹⁾ による、アンケートで得られた行動の支障の程度と床最大速度

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。

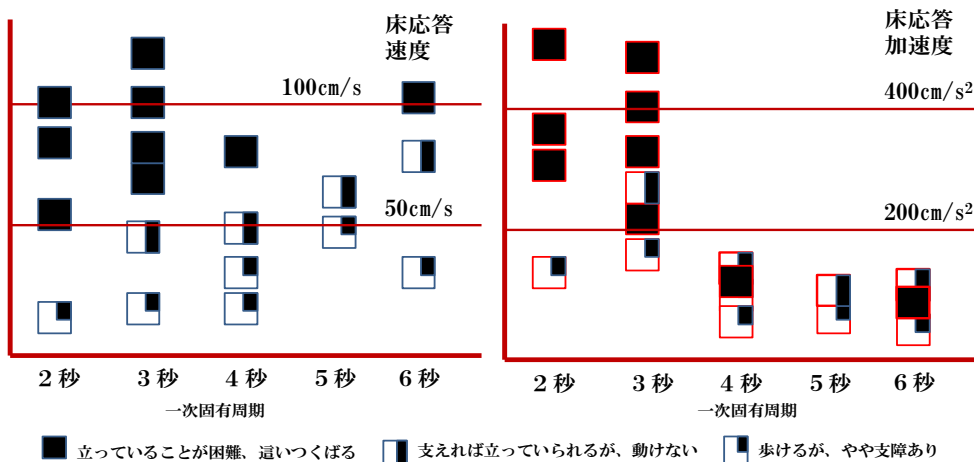


図 2 気象庁の調査で得られた行動の困難さと床最大加速度・最大速度の関係

久保ほか（2012）²⁾ 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/s²)

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	-

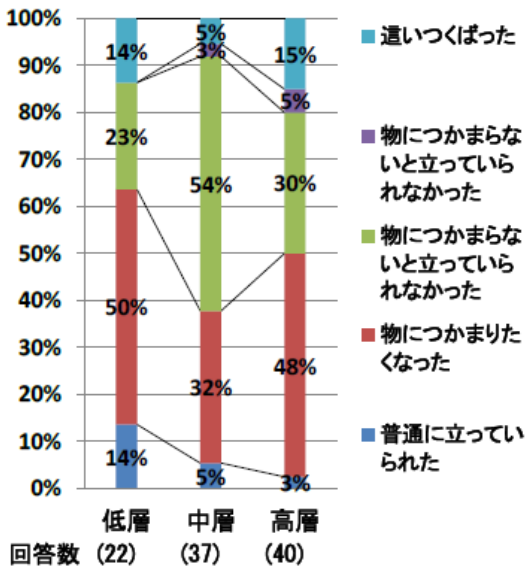


図24：設問14 地震時の対応

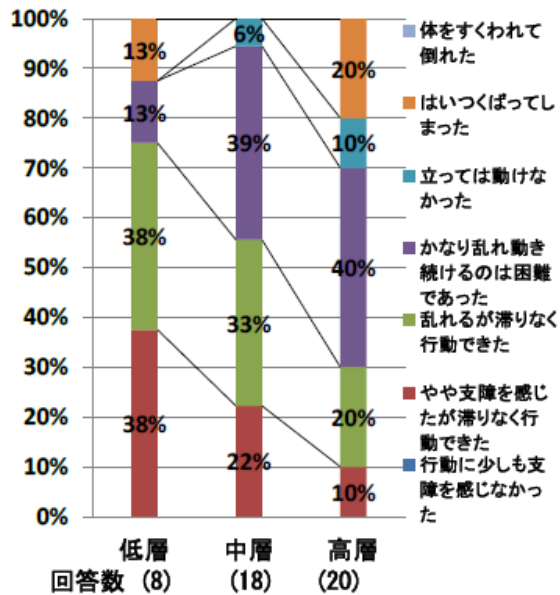


図25：設問15 行動難度

図3 久保ほか（2012）²⁾ 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)³⁾ 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。

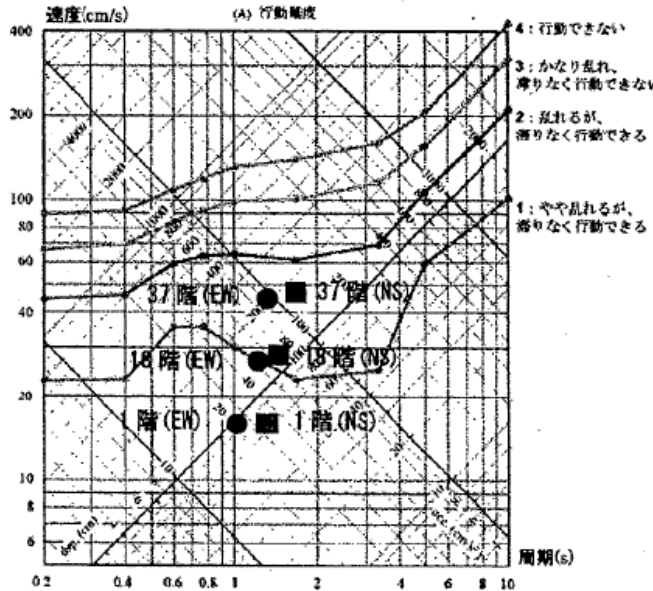


図 4 行動難度曲線³⁾

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)³⁾ 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)⁴⁾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。

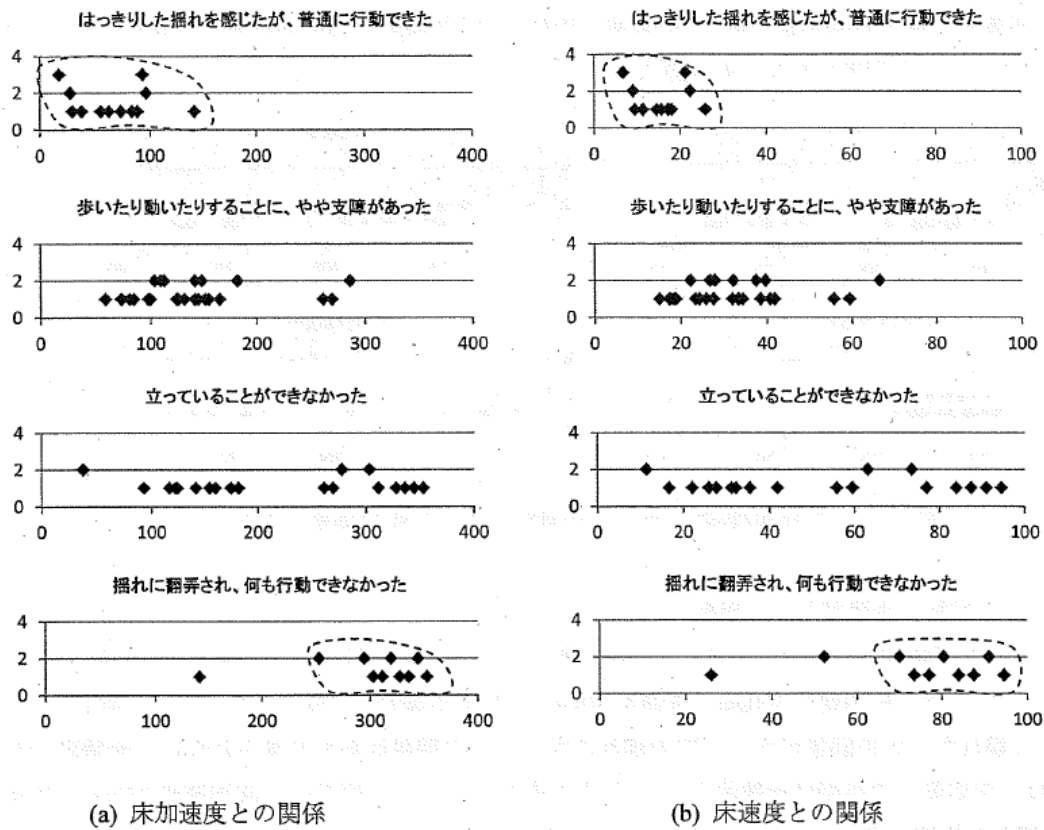


図 6.2.3 揺れの間隔と床の加速度および速度との関係

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）⁵⁾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)）

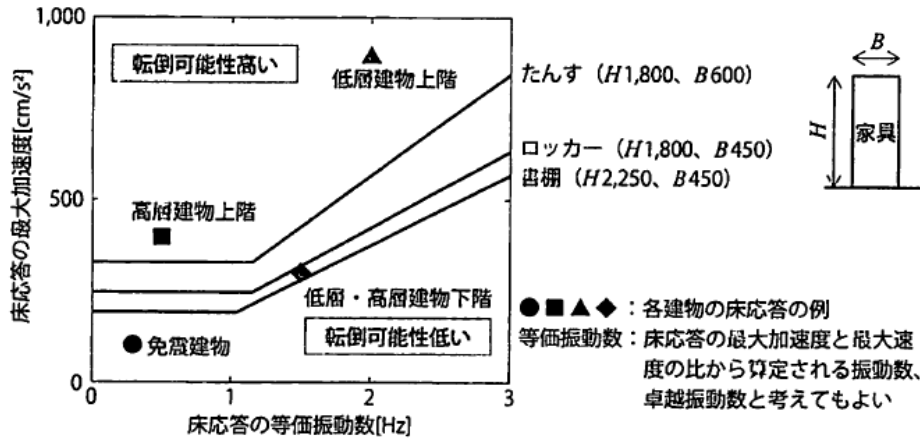


図1 各家具の転倒限界（直線を上回る加速度で、家具の転倒可能性が高い）
たんすとロッカーは、低層・高層建物の下階では転倒可能性が低い、上階では高い。免震建物ではスレンダーな書棚でも転倒可能性は低い

図6 日本建築家協会・耐震総合安全機構（2012）⁵⁾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）¹⁾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。

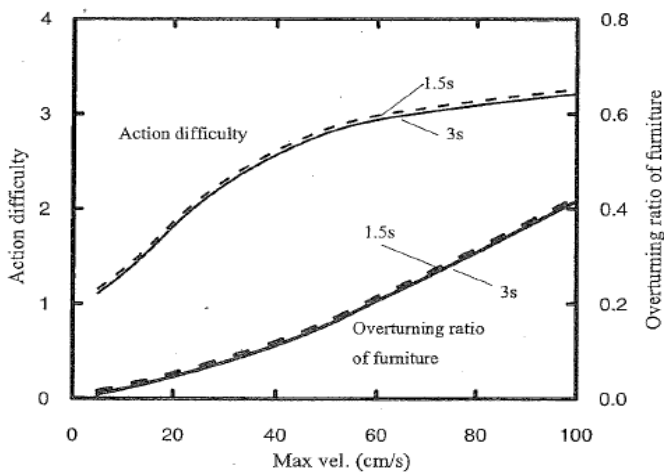


図10 最大速度と行動難度および家具の転倒率の関係

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。

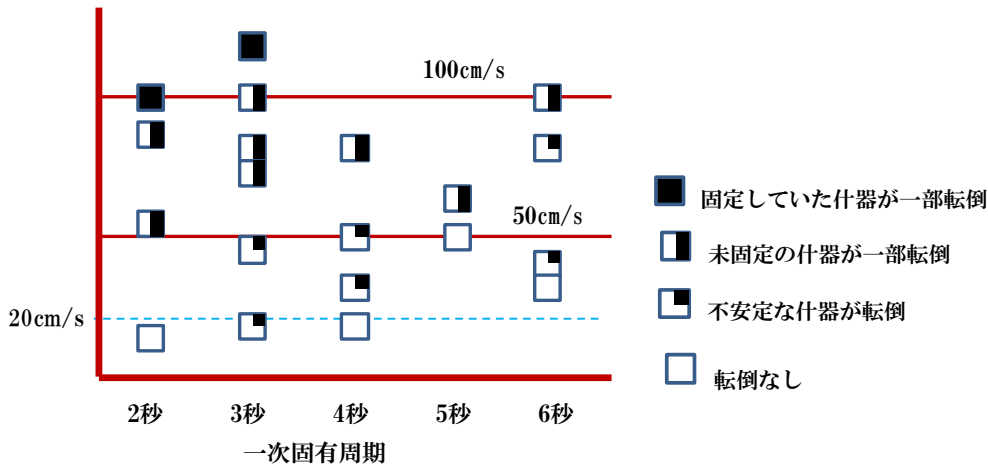


図 8 気象庁の調査で得られた什器の転倒の状況と床最大加速度・最大速度の関係

沢井ほか (1995)⁶⁾ および小堀ほか (1995)⁷⁾ 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
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)⁴⁾ 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、床応答との層間が比較的高く、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。

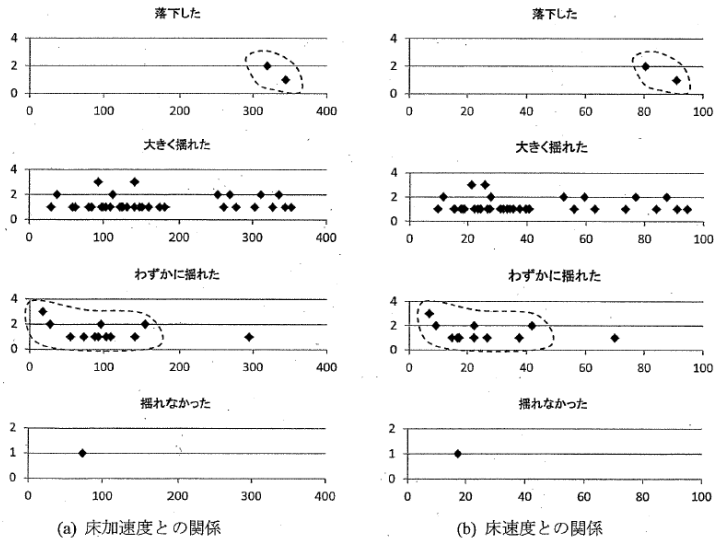


図 6.2.6 吊り下げ物の挙動と床の加速度および速度との関係

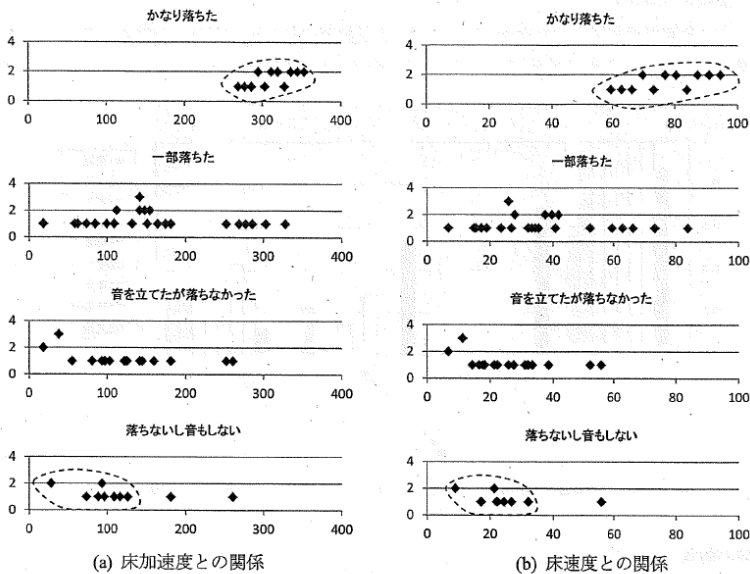


図 6.2.7 食器類やその他の棚や机の上の物の挙動と床の加速度および速度との関係

図 10 齊藤 (2012)⁴⁾ 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)⁸⁾ 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。

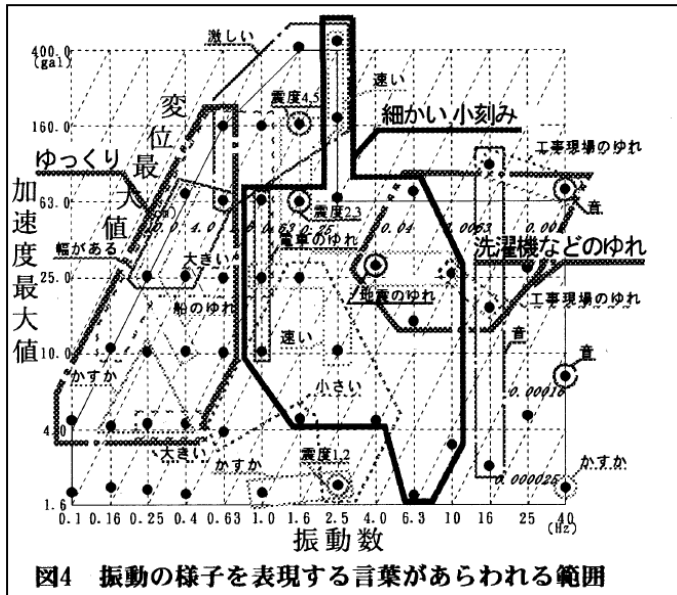


図4 振動の様子を表現する言葉があらわれる範囲

図 11 野田ほか (2000)⁸⁾ 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)⁹⁾ 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。

	剛性である振動に着目する言葉	感覚に働きかける強さを表す性質の強い言葉	受け手である人間の状態に着目する言葉
表現として適切な言葉	1. 速度を中心に振動をとらえた表現 大きい 小さい	2. 振動数を中心に振動をとらえた表現 短い 長い 鋭い 鈍い 多い 少ない 多い 少ない 多い 少ない 多い 少ない	3. 振動に着目した強さの表現 あわただしい 緩い きつい やさしい 強い 弱い
加速度 振動数 速度 変位			4. 感覚に働きかける強さの表現 辛い 楽だ 不安 安心
表現として適切な言葉	7. 振動に着目する傾向を示す表現 高い 低い		5. 人間の状態に着目した強さの表現 怖い 恐くない 耐えられない 耐えられる 不快である 不快でない 気持ち悪い 気持ちいい 心地悪い 心地よい
			6. 人間の状態の具体的な表現 うっとしい すがすがしい しつこい あっさりした
			8. 人間の状態に着目する傾向を示す表現 ありふれた めずらしい
			9. 人間の状態に着目するが不適切な表現

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)⁹⁾ 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会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