

A22

地震時における学校の行動意識と対応について
—長野県西部地震を対象としたアンケート調査—

愛知工業大学 土木工学科 ○谷口仁士 飯田淑事

地震発生時における児童の避難行動や地震後の授業の継続は、基本的には、学校責任者（校長・教頭）の判断に一任されている。従って、各学校での避難行動はまちまちになることが予想される。大地震においても、わずか数kmしか離れていない学校で避難行動や地震後の対応がかなり異なっていた。本研究は前述のような学校関係者の対応を、学校の震度、日頃の避難訓練状況等多方面から分析し、今後の避難行動、授業継続のために必要な情報、その伝達方法、震度等を考察するものである。この研究を遂行するにあたり、以下の調査研究方法を計画した。

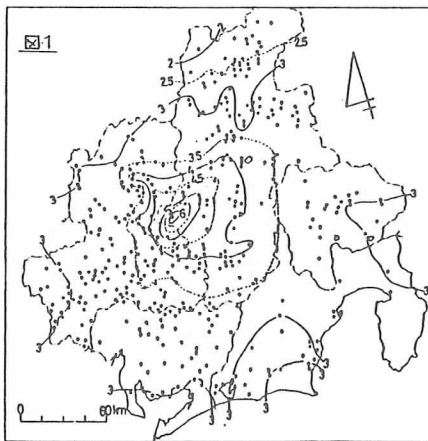
1. 調査対象地域…長野、山梨、岐阜、静岡、愛知県
2. 調査対象学校…小、中、高等学校 合計約700校
3. 調査対象教員…地震当日授業をしていた教員、各学校の校長・教頭・教務主任
4. 調査方法…アンケート方式
5. 地震情報調査…N, H, K等が報道した地震情報とその時刻

【学校での震度分布】 アンケート（太田方式）による震度算定結果を図1に示した。本地震の震央直上に位置する王滝小・中学校での震度が最高で6.1であった。全体の震度分布は震央を中心として、ほぼ、同心円の形態で徐々に減少している。

【分析結果】

【地震前の防災状況】 避難訓練は地震と火災を対象として、年3回以上なされているところが多いが、情報収集のための電話、避難通路確保のための家具の転倒防止対策については、極めて、考慮する点が多い。

【地震時の対応】 (i) 避難行動の必要性を感じさせる要因は震度であり、特に、震度5以上になるとその傾向が明らかとなる。(ii) 避難行動の必要性を左右する震度には4つの限界震度がある。震度4～5の領域は、避難行動を決断するのに多いに迷う震度である。今後、この震度領域での避難行動をどうするかを検

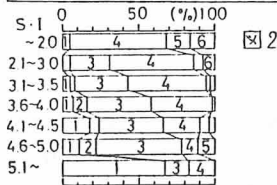


討する必要がある。(iii) 避難行動に移行させる要因としては、まず、学校での被害状況が挙げられる。その他、日頃の避難訓練回数も多少影響しているようである。(図2～3参照)

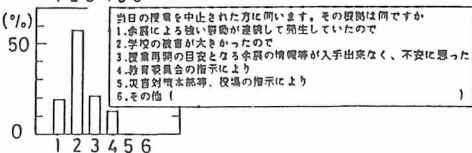
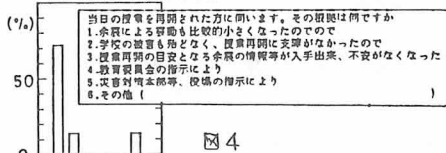
【授業の再開・中止】 学校当局者の意識と行動は授業再開を前提としているようであるが、中止するにいたる根拠として、学校の被害状況や余震情報の不足が考えられる。(図4参照)

【今後の防災意識】 地震防災体制の改善を考えている学校は80%近くある。その改善項目で、最も多いのは学校内の防災対策であり、情報収集手段の改善は相対的に少ない。学校内防災対策は、主として、家具の転倒防止対策を行うことが必要であると答えている。これは、避難通路の安全確保ばかりでなく人的被害の阻止にも有効であり、テレビ、電灯の落下防止等を合わせると、全体の約60%の学校が必要としている。

地震直後、あなたは校庭等への避難の必要性について、どう考えましたか
1.何も迷わず、すぐに避難すべきだと思った
2.少し迷ったが、避難すべきだと思った
3.少し迷ったが、避難しなくてもいいと思った
4.このくらい揺動なら、避難する程のことはないと思った
5.全く、避難のことは考えなかった
6.その他()



- (1) すぐに避難しなければならないと感じる
- (2) 少し迷うが、避難しなくてもよいだろうと感じる
- (3) この程度なら、避難しなくてもよいだろうと感じる
- (4) 全く避難の事を考えていない



長野市内での長野県西部地震の詳細震度調査

涌井仙一郎, 堀内あや子*, 塚尾 睦子*

A Detailed Investigation of Distribution of Seismic Intensities in Nagano City of the Nagano Ken-Seibu Earthquake, 1984

Senichiro WAKUI, Ayako HORIUCHI*
and Mutsuko TSUKAO*

Abstract

After the Nagano Ken-Seibu Earthquake (M6.8) on 14 Sept. 1984, about 3,000 questionnaire sheets were delivered in Nagano city and 2,200 sheets were returned with answers.

The questionnaire sheets were prepared following to the J.M.A. seismic intensity scale.

An average intensity given in unit of 1 km² on Nagano city where in locating about 110 kilometers distance from the center of the city to epicenter were distributed 1 "Kyo" to 2 "Kyo"

It is obtained that the seismic intensities at the alluvium zone along the Chikuma River sides and at the western zone of the landslide regions were stronger than other zones a little.

1. はしがき

最近, 大地震に備えて地形, 地盤, 都市構造等の自然的, 社会的条件から災害の防止と軽減の為に基礎資料作りが各方面よりなされている。震度は一般に震央から遠ざかるにつれて減少するが, 地域毎に細かく震度を調べると地震のマグニチュード, 震源の深さと震央距離だけでなく, 地盤にも影響され, 震度分布は複雑な分布となる。又, 浅い地震の震度は観測地点における表層付近の地質構造の影響により局地的震度異常が表れる。

これらのことは過去の多くの地震についても認

められている。

地震により大きく揺れる場所は他の地震でも大きく揺れる傾向があると考えられる。従って, 有感地震について各地域の震度を詳細に調べることは地震動と表層構造の関係を調べる上に又, 地震動の強さを予め知って防災計画を立てるに有用な資料となる。

今回は, 長野県西部地震について, 諏訪(1980)が報告した様に, 長野市内のアンケートによる震度調査を実施したので報告する。

2. 調査方法

1984年9月14日に長野県西部地震が発生した。

*松代地震センター

Table 1. A sample of the questionnaire sheet.

昭和 年 月 日 時 分頃の地震の震度調査票

No.

記入上の注意 (1) 各質問の該当欄に○をつけてください。
 (2) 記入の際には、地震のときあなたのまわりにいた人に限って相談されてもかまいません。

問1. 地震のときどこにいましたか (長野市 町 丁目 番地 男・女)
 (又は有名建物名)

1. 木造家屋の中 2. 鉄筋・鉄骨コンクリート建物の中 3. ブロック・レンガ建物の中 4. 屋外
 5. 乗物の中(電車・自動車・自転車等) 6. その他()

問2. 建物の何階にいましたか
 1. 地階 2. 1階 3. 2階 4. 3～5階 5. 6～9階 6. 10階以上

問3. どのような状態でいましたか
 1. 動いていた 2. 静かにしていた 3. 眠っていた 4. 乗物に乗っていた 5. その他

問4. 屋内にいた方にうかがいます

震 度	0	1	2	3	4	5
あなたのまわりで地震を感じた方はいますか	1 誰も感じなかった	2 わずかな人だけが感じた	3 多くの人が感じた	4 はほとんどすべての人が感じた	5 非常に大きく感じた	
あなたやまわりの人たちの状況		1 何もする必要を感じなかった	2 少し驚いたが外へとは出さなかった	3 一部の人は驚いて外へ出た	4 多くの人が外へ逃げ出した	5 立っておられない程だった
棚の上の物(花瓶、食器、本棚の本、商品など)が動きましたか		1 動くに気付かなかった	2 わずかに動いた	3 かなり動いた	4 一部のものが倒れたり、ずれたりした	5 大部分のものが倒れたり、落ちたりした
タンス・ロッカー・戸棚など重い家具が動きましたか		1 動かなかった	2 わずかにゆれた	3 かなりゆれた	4 ややゆれたものもあった	5 大きくずれたり、倒れたものもあった
ガラス戸・障子などが動きましたか		1 動くに気付かなかった	2 わずかに動いた	3 少し音(カカカタ)をたてて動いた	4 強く音をたてて動いた	5 戸・障子のはずれたり、ガラスが割れたものもあった
電灯など吊り下げ物がゆれ動きましたか		1 かすかにゆれた	2 ゆれがはっきりわかった	3 かなりゆれた	4 ゆれがひどく電灯のかさや細などがはずれたりした	5 壁かけ、額などが落ちたりした
眠っていた方の状況			1 目覚めた人もある	2 多くの人が目覚めた	3 すべての人が目覚めた	4 驚いて飛び起きた
壁に異常が認められましたか				1 全然何ともなかった	2 ごく一部の弱い壁に割れ目が入った	3 割れ目や剥落うしたところが目立った

問5. 屋外または乗物の中にいた方にうかがいます

震 度	0	1	2	3	4	5
あなたのまわりで地震を感じた人はいますか	1 誰も感じなかった	2 わずかな人が感じた	3 多くの人が感じた	4 すべての人が感じた		
電柱、電線が動きましたか				1 電線が少しゆれた	2 電柱が少しゆれ、電線がかなりゆれた	3 電柱がゆれ、電線が強くゆれた
自動車を運転していた方の状況				1 全然何ともなかった	2 やや支障を感じた	3 かなり支障を感じた
走行中の乗物に乗っていた方の状況		1 誰も感じなかった	2 わずかな人が感じた	3 多くの人が感じた	4 すべての人が感じた	5 乗物は止った
停車中の乗物の中にいた方の状況		1 動くに気付かなかった	2 わずかにゆれた	3 かなりゆれた	4 かなり強くゆれた	5 音がする程ゆれた

問6. あなたのまわりで次のような被害がありましたか

水道管・ガス管などに異常がありましたか 1. なし 2. 小破損したものもあった 3. 破損したものが多かった

ブロック・レンガ壁に異常がありましたか 1. なし 2. 破損したり倒れたものもあった 3. 破損したり倒れたりしたものが多かった

腐石・石どうらうなどに異常がありましたか 1. なし 2. 小数のものがずれたり倒れたりした 3. かなりのものがずれたり倒れたりした

地面・道路に異常がありましたか 1. なし 2. 割れ目が生じたところがあった 3. かなりの割れ目が生じた

問7. 被害や地震について気付いたことを記入してください。

調査は狭い地域の震度差を明らかにするために高密度かつ均質になるよう事前策どおり、調査票をその日の午後に市役所、市教育委員会、市消防局等の市内官公庁の職員を通じ、各家庭に配布した。

調査票は Table 1 のように室内にいた人、室外または乗物に乗っていた人と周辺の被害状況および地変についての質問項目になっている。調査票は3,000枚弱配布し、2,433枚回収された。その内、有効な回答者数は2,200人で、男性926人、女性1,294人である。実際の使用回答者数は室内にいた人は1,970人、室外または乗物の人205人の構成であった。室外または乗物の人の内訳は室外にいた人118人、自動車に乗っていた人70人になっている。

地震の規模、対象地域、時刻、季節等の好条件であったので調査の目的が充分達成されるデータ数である。

3. 震度判定

回収されたアンケートは所定の手続きでコード化して回答者がどの地域に属していたか回答者毎にデータをカードにし、解析は電子計算機によって行なった。

室内の人の人体感覚とその物体状況からの質問項目は8項目からなっており、その項目毎に震度を判定する。質問項目が複数の震度にまたがる項は震度の大きい方にランク付けをして回答者毎に1つの推定震度を機械的に算出した。

室外にいた人または乗物に乗っていた人の質問項目は5つあり室内にいた人と同様に震度判定を行なった。

建物の種類、階数により、その揺れの程度に相違があり、震度の補正を太田、他(1979)を参考にし、大ざっぱに Table 2 の様に仮定した。この表は木造家屋1階の震度を基準としてある。ビルディングの6階以上とその地下の補正はなくこの集計からは除外した。又、屋外にいた人や乗物に乗っていた人は補正をしていない。回答者の内からは水道管、墓石、道路等の被害の報告はなかった。

現用の気象庁の震度階も生活条件、環境等の変化に伴ない物体、建物の構造等も異なり、地震動

Table 2. The coefficient of the earthquake motion for structures which are used in this study.

建物の種類	階数	補正值
木造	1	0
	2	-0.5
鉄筋、鉄骨造	1	+0.5
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
ブロック、レンガ造	1	+0.5
	2	0

の強さという複雑な内容のものを震度という一つの数字で代表させ判定するには調査項目が少なかった。

4. 地域別平均震度

市内の地域を1km毎のメッシュ575区域に分割し、回答者の区域に該当する地域毎の平均震度を

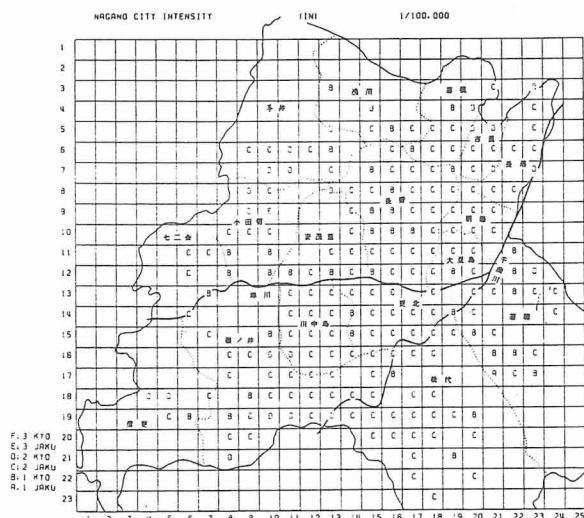


Fig. 1-a Distribution of the average seismic intensity about answerers indoors. The size of a mesh is 1 km.

集計した。今回の地震は市内の中心地から震央距離で110km位に位置している。長野地方気象台の震度は3, 当所の震度は1であった。

(1) 屋内の震度分布と回答者の分布

屋内の回答者から地域毎の震度の平均をメッシュの代表値として Fig. 1-a の様に表わした。平均震度A, B, C, D, E, Fの階級別に分け, それぞれ, 震度1の弱, 1の強, 2の弱, 2の強, 3の弱と3の強に表わしてある。図中の空白地域は山地等で回答者のない地域である。

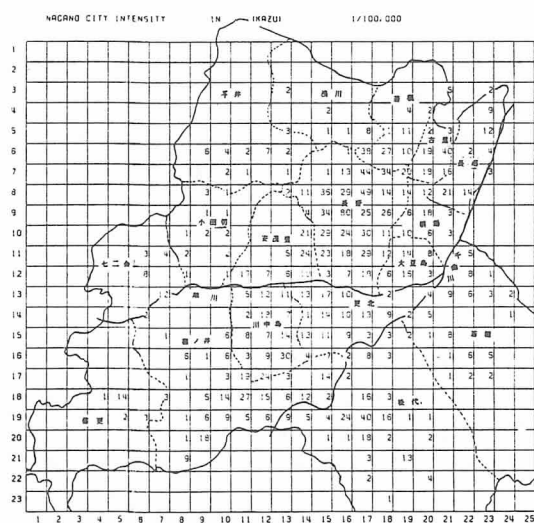


Fig. 1-b Distribution of the number of answers indoors.

回答者数の分布を Fig. 1-b に示した。長野市街地での回答者は多く, その周辺地は少ないので平均震度もそれらの数を加味しながら比較する必要がある。大半の地域はCにランクされ震度2の弱にあたる。2の強の地域は篠ノ井, 古里, 長沼地区の一部と西山山地にみられる。1の弱の地域はなく, 室内の人で算出した平均震度は1の強から2の強に分布している。

人口密集地の市街地は平均震度2の弱程度であった。

(2) 屋外の人または乗物の人の平均震度と回答者の分布

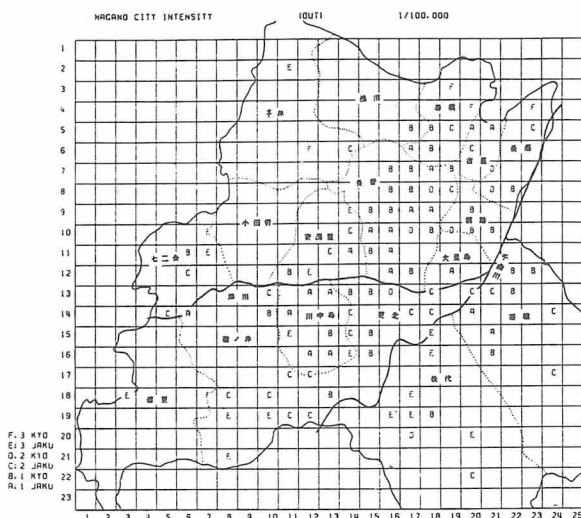


Fig. 2-a Distribution of the average seismic intensity about answerers outdoors or on a conveyance.

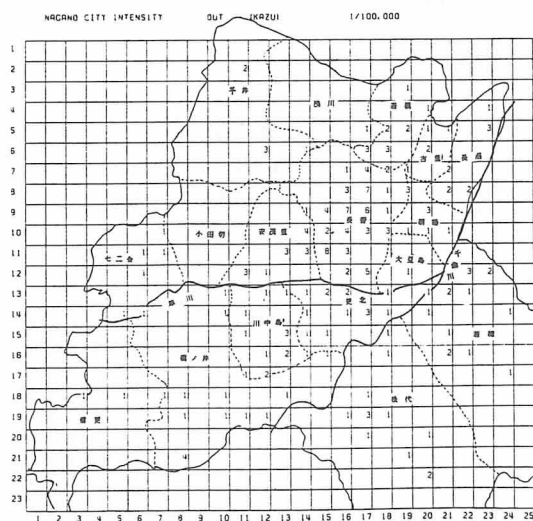


Fig. 2-b Distribution of the number of answers outdoors or on a conveyance.

この回答者は205人で各地域毎の平均震度をメッシュの代表値として Fig. 2-a に, その回答者数の分布を Fig. 2-b に示した。この震度分布は回答者数の多い地域でも7人と平均震度を推定するには無理で, 震度1の弱から3の強に分布しており, かなりの震度差が認められる。

しかし、相対的な傾向は屋内にいた人とほぼ同じ分布を示めている。この分布はもう少しデータの規格化をして集計する必要がある。

- (3) 屋内の人と屋外にいた人または乗物に乗っていた人の平均震度と回答者の分布

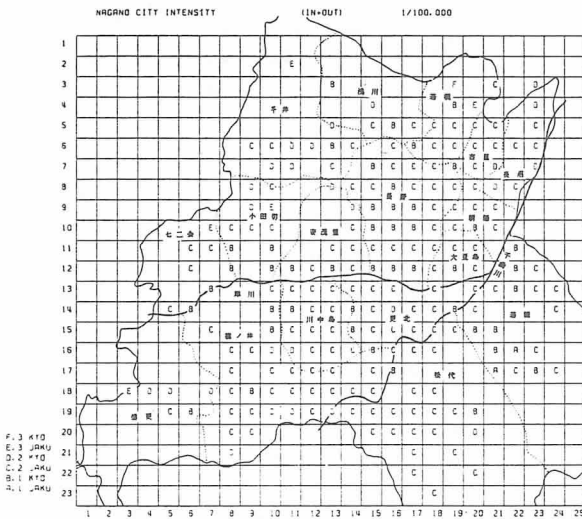


Fig. 3-a Distribution of the average seismic intensity about all answerers.

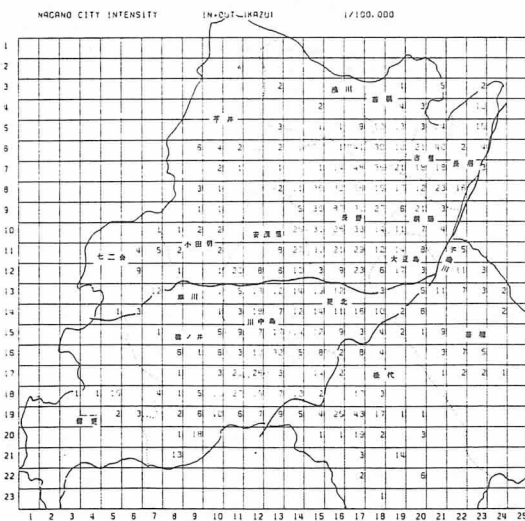


Fig. 3-b Distribution of the number of all answerers.

各地域の屋内の平均震度と屋外にいた人のそれを加えた平均震度分布を Fig. 3-a に、その回答者数を Fig. 3-b に表わした。屋外の回答者数が少ないので、殆んど屋内の分布に等しくなっている。屋外の震度が極端に強いとその影響で強くなっている地域がある。

5. 震動分布図

市内における室内の人と室外の人との単純震度平均から、太田 (1979) 方式によりおのおの地域の震動率 (X_i) を

$$X_i = \frac{I_i - I_0}{I_0} \times 100$$

とした。(I_i は当該地域の震度、 I_0 は平均震度)

市内一様な木造家屋が分布していると仮定した時、地震による揺れの程度を全地域の平均値より求めた。従って Fig. 4 は同じ構造物で観測した近似的な地盤の特性を表わしている。 $X_i > 0$ ならば揺れ易い地域、 $X_i < 0$ ならば揺れにくい地域を示している。

Fig. 4 は室内にいた人の震動度を表わしたもので平均値を基準に点線でコンター表示し、斜線の部分は揺れ易い地域を表わしている。篠ノ井、松代、更北、大豆島、朝陽、長沼の千曲川沿いは周辺地域より揺れ易い地域になる。これらの地域は従来より知られている千曲川沿いの軟らかい沖積層地帯である。

西山地区の浅川、芋井、小田切、七二会、信更地区の一部に揺れ易い地域がある。これらの地域の回答者が少ない影響のためか、あるいは過去において山くずれ等の被害があった地域で比較的地盤の軟弱な地域であるかも知れない。又、安茂里の一部も揺れ易い地域に考えられる。

千曲川河東地区の松代と若穂地区は今回の調査で比較的震度は弱かった。

室外または乗物に乗っていた人の震動分布は前節で述べたとおりデータ数の不足とデータの震度補正が妥当でないで除外した。Fig. 5 は室内の人と室外の人または乗物に乗っていた人を加えた震動分布図である。

この図も室内の人と同様な分布を示しており千曲川沿いの地帯と西山山地に揺れ易い傾向が認め

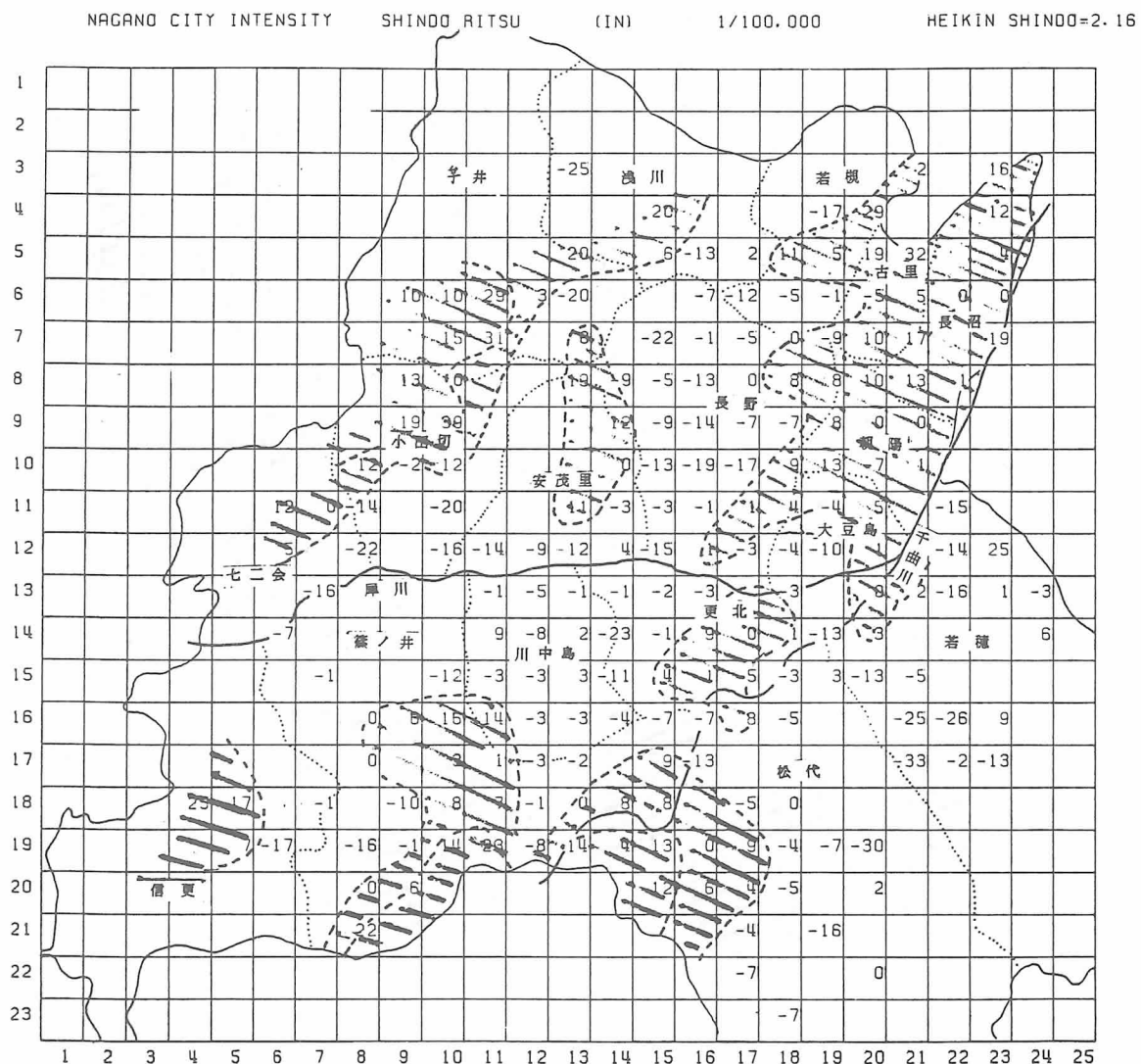


Fig. 4. Distribution of the earthquake motion about answers indoors. Dotted lines indicate isoseismic intensity lines. Hatched areas indicate areas where answers felt the earthquake motion stronger than the average seismic intensity.

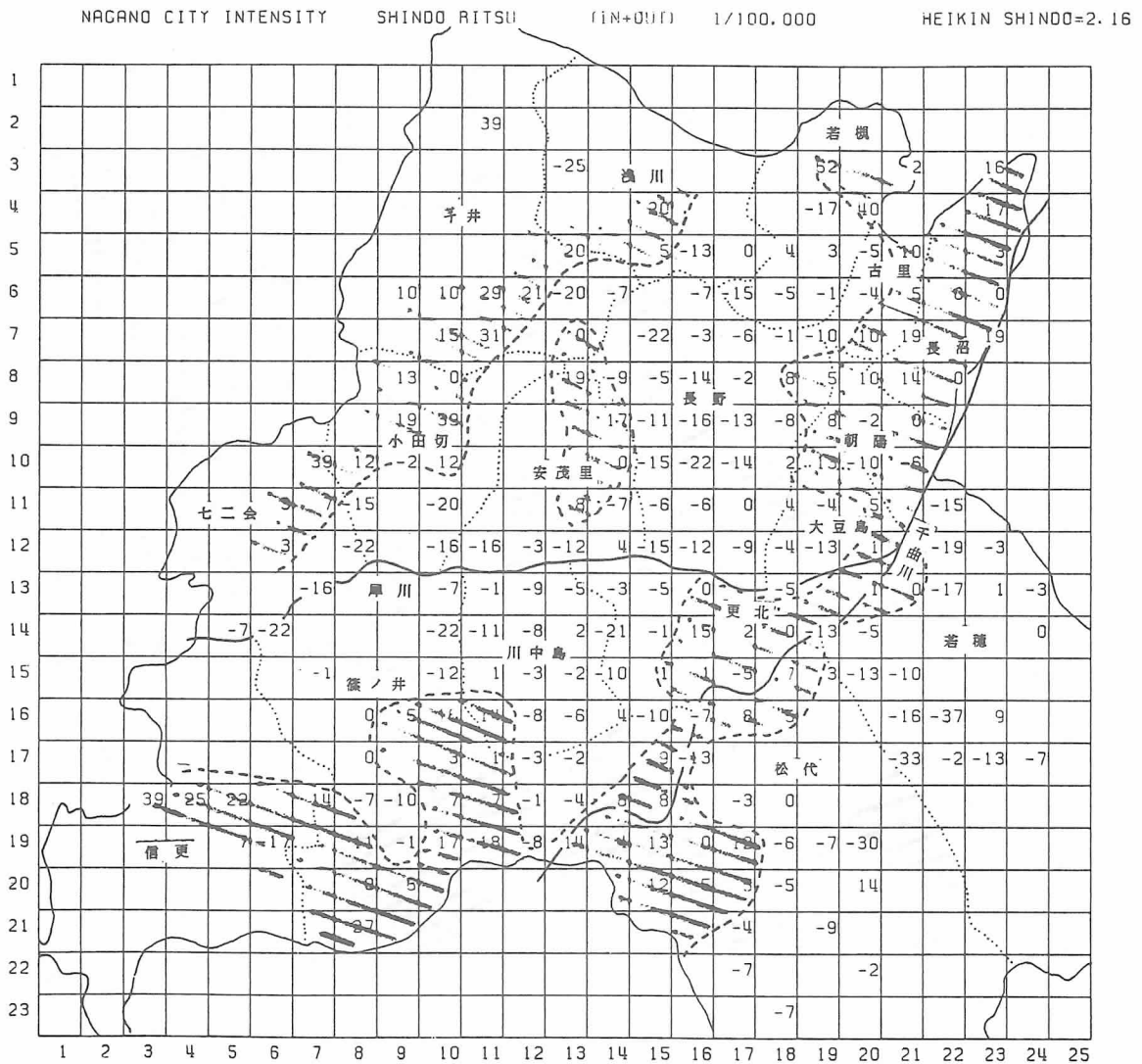


Fig. 5. Distribution of the earthquake motion about all answers. Symbols are the same as in Fig. 4.

られる。

6. 地盤とまとめ

長野市及びその周辺地域の千曲川低地は新しい氾濫原堆積物より構成され、一般に地盤は軟弱層である。

千曲川低地の両側には支流の堆積物からなる扇状地があり、これらは比較的粗粒の砂礫からなり、千曲川低地より相対的に地盤は硬質である。東西の山地、丘陵地は堆積岩や火成岩類及び崖錐、土石流堆積物からなり、地盤自体は盆地のそれより硬質である。

しかし、急峻な地域である為に山地の風化、侵蝕が盛んで地滑り、山崩れの被害が過去にあった。

一般に震度が大きくなる地盤は表土層、軟かい沖積層の厚い所であり、古い地層や火成岩の堅固な地盤では震度は小さい。

今回の長野県西部地震についてアンケート調査による平均震度分布と Fig. 6 の長野市内の N 値による軟弱地盤等深線図(表層の軟弱地盤の深さ)及び Fig. 7 の常時微動による地盤区分図と比較すると地盤調査地域においてはほぼ同様な分布と

なっている。千曲川低地の軟弱地盤は相対的に震度は強く分布している。盆地の北西方面の山地や丘陵地は泥岩、砂岩互層から形成されており千曲川低地と同様にやや強く分布しているのが注目される。東方の山地は他の地域より相対的に弱めの傾向にある。

各地域の詳細について議論することはできないが、この詳細震度分布から地盤の揺れの程度を把握することができた。この調査より簡便に地盤特性の概略を見積ることができた。

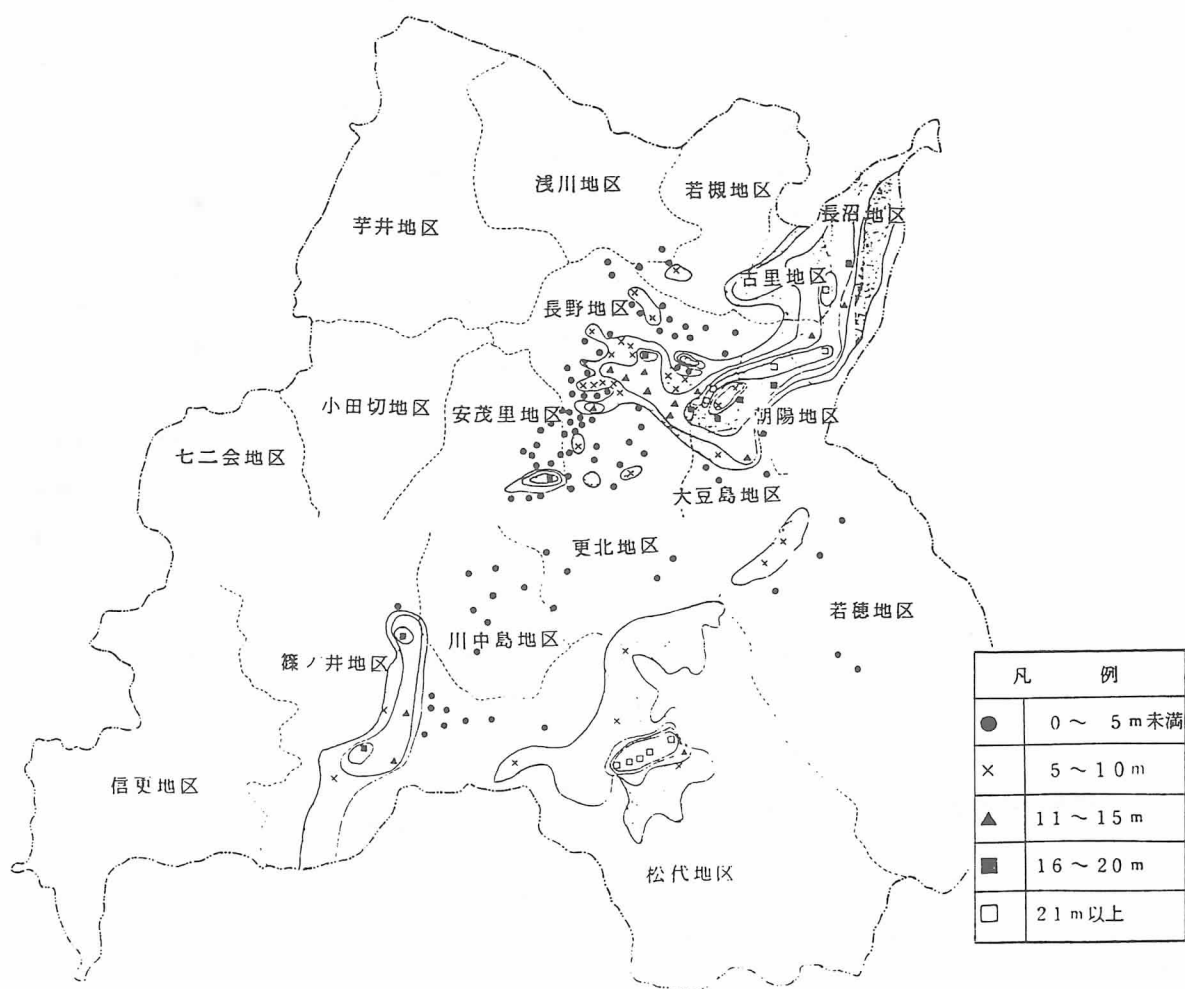


Fig. 6. Isodepth map of the weak ground based on the N-value in Nagano city. (After the Nagano city)

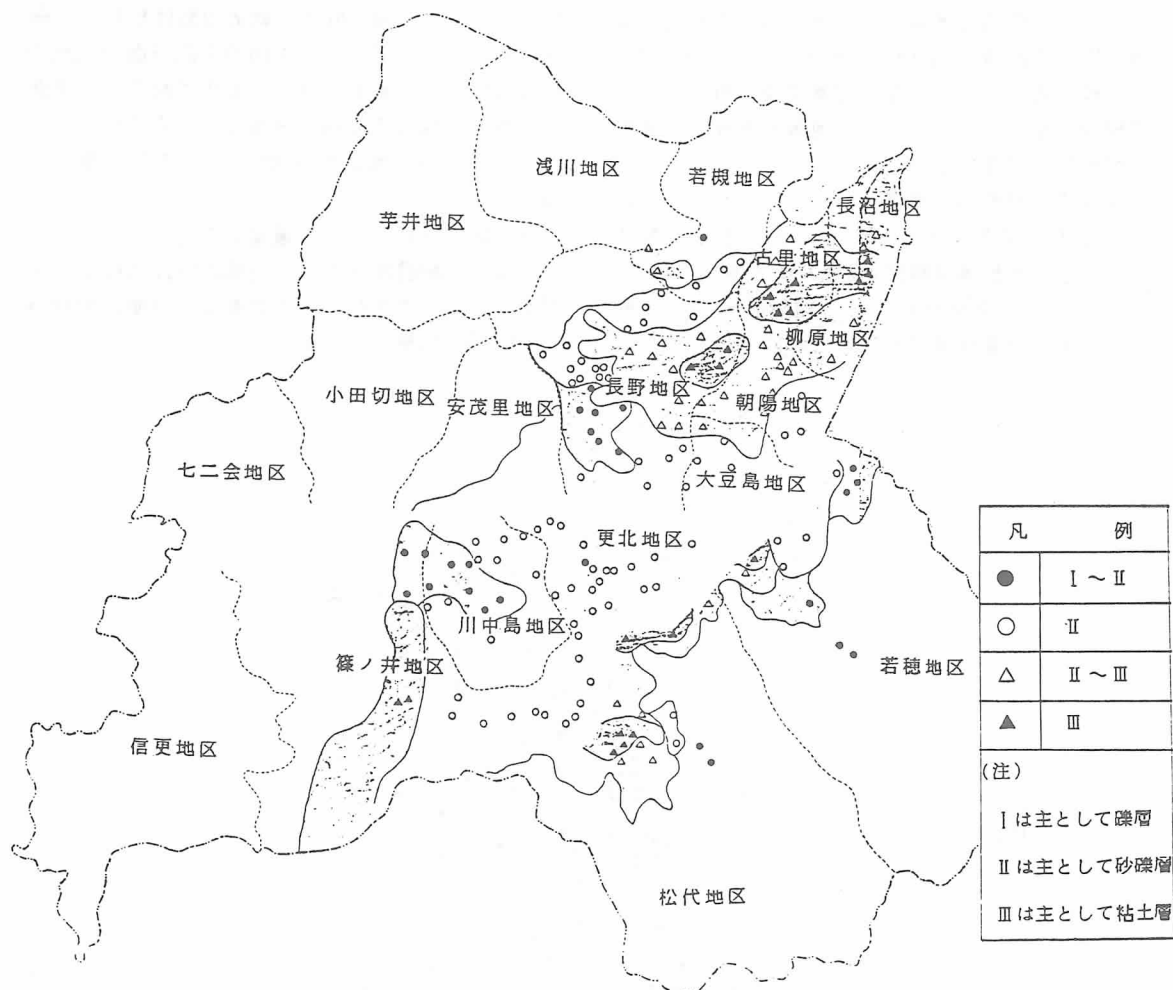


Fig. 7. Distribution of the ground based on ordinary microtremor observation in Nagano city. (After the Nagano city)

7. 結果の吟味と質問項目の再検討

(1) 質問項目と震度判定

現在の様に構造物の多様化, 生活様式の複雑化により震度の当てはめに疑問が残るので今回の結果について, 調査項目別に震度の当てはめ傾向を Table 3 にまとめた。

i) 室内の人

全回答の質問項目別の平均震度は1.7~2.4とばらつきの多いものであった。これより気付いた点

を列記する。

①人体感覚は震度判定に適正であった。

一人でいた人は回答に迷ったようである。

②地震を感じた人々の状況は質問項目から震度1~3の弱に該当し, 震度範囲が広いので, 震度が大きめになった。

③棚の上の物体の動きは質問項目の平均より小さめであるが震度判定に適正であった。

④タンス, ロッカーなどの家具の動きは震度判定に適正であった。

Table 3. The average seismic intensity in each item.

a. 室内の人

調査項目	判 定	回答者数	平均震度
1	人 体 感 覚	1,837	2.4
2	地震を感じた人々の状況	1,910	2.7
3	棚の上の物の動き	1,926	1.7
4	タンス, ロッカーなど家具の動き	1,878	2.4
5	ガラス戸, 障子などの状況	1,913	1.8
6	電灯などの吊り下げ物の動き	1,829	2.6
7	眠っていた方の状況	86	2.6
8	木造家屋の壁などの状況	1,649	2.0

b. 室外または乗物の人

調査項目	判 定	回答者数	平均震度
1	人 体 感 覚	180	1.8
2	電柱, 電線の動き	54	3.4
3	自動車を運転していた人	50	2.2
4	走行中の乗物の状況	53	2.2
5	停車中の乗物の中の人	25	1.7

⑤ガラス戸, 障子等の状況は質問項目の平均より小さめであったが, 震度判定に適正であった。

⑥電灯, 吊り物の物体は震度判定に適正であった。

⑦眠っていた人の状況について回答者は少なく 震度はやや強めであった。しかし, 震度判定は適正であった。震度1に“目覚めなかった”の項を加える。

⑧木造家屋の壁などの状況は“全然なんともなかった”の回答に震度3としているが, これを震度1~3に該当する様にする。

室内の物体の動きは人体感覚より揺れなかった事が一般的に認められる。

ii) 室外または乗物の中にいた人

質問項目別の平均震度は1.7~3.4と非常に震度差が大きく, 特に電柱, 電線の動きが大きい。

①人体感覚の震度は小さめであった。“誰も感じなかった”の項を震度0と1の項に付ける。室内にいた人と同様に一人でいた人が回答に戸惑うので質問項目を“あなたやまわりで地震を…”と直

すと良い。

②電柱, 電線の動きについて“電線が少しゆれた”は震度3に判定されるので“ゆれなかった”の項を震度2の項に付け加える。

③自動車を運転していた人について“全然何もなかった”の項は震度3と判定するので震度1~3の項に直す。

④走行中の乗物に乗っていた人は震度判定に適正であった。

⑤停車中の乗物の中にいた人について震度は小さめであった。

以上の結果より, 震度判定が疑がわしい項目は修正して再計算してある。震度判定に利用できる種々の現象の現れ方と震度との関係は非常にばらつきの多いものであることがわかる。しかし, 震度判定に用いる現象の表現をあまり厳密にすることは実用性の面から好ましくない。

これらのことを想定しながら調査票の改良, 調査法の開発, 調査対象の拡大について今回の調査のみでは不十分であるので, 異なる地震(発生場所, 規模, 発震機構等)から更に調査を繰り返す必要がある。

(2) 震度補正(震動係数)について

建物, 回答者の状態により揺れ方に差があり, Table 4に建物の構造と階数による平均震度を求めた。この資料は人口密集地の市街地2km内の回答者167人の結果である。この区域の木造1階と2

Table 4. The average seismic intensity in 215, 216, 240, 241 areas without the coefficient of the earthquake motion.

建物の種類	階 数	回答者数	平均震度
木 造	1	48	1.96
	2	7	1.95
鉄筋, 鉄骨造	* 地下	22	2.0
	1	41	1.6
	2~5	71	1.9
	* 6~9	9	2.2

* 全回答者による。

階の震度差はほとんどなかった。全地域におけるビルディングの地下と6～9階にいた人の平均震度からビルディングの震度補正は次の様に見積られる。地下は0, 1階は+0.5, 2～5階は0, 6～9階は-0.2位である。

(3) その他

データの集計時に回答者がどの地域に属していたか区分するのに時間を費したので、調査票に地域を記入して貰う方法が好ましい。又、問2の建物の階数を回答番号と建物の階数とに間違えていた人が若干あった。

謝 辞

本調査は地震観測所と松代地震センターが主体となり実施したが、市役所、市教育委員会、市消防局の関係者に多く便宜を計っていただいた。又、当所職員の各位には有益な議論、助言をいただいた。アンケートに協力していただいた多数の方々を含め、これらの皆様に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 北海道大学理学部地球物理学教室 (1969) : 北海道内の震度分布の詳細調査, 1968年十勝沖地震調査, 85—102.
- 2) 茅野一郎, 佐藤泰夫 (1974) : 通信調査による1974年伊豆半島沖地震の震度分布, 地震研究所速報, 14, 7—15.
- 3) 茅野一郎 (1983) : 1983年2月27日に茨城県南部に発生した地震 (6.0) の被害及び震度分布, 地震研究所彙報, 58, 831—878.
- 4) 長野県防災会議 (1979) : 長野県地震対策基礎調査報告書.
- 5) 長野市 (1980) : 長野市防災計画, 地震対策編.
- 6) 野越三雄 (1984) : 1983年中本海中部地震のアンケート方式による秋田県・秋田市の高密度震度調査, 自然災害特別研究突発災害研究成果, 1983年日本海中部地震による災害の総合調査研究, 180—188.
- 7) 太田裕, 後藤典俊, 大橋ひとみ (1979) : アケートによる地震時の震度推定, 耐震工学研究室論文集録, 北海道大学工学部建築工学教室, 241—252.
- 8) 諏訪彰 (1980) : 長野市での震度分布調査計画, 地震観測所技術報告, 1, 35—42.
- 9) 宇津徳治 (1969) : 震度階について, 北海道大学地球物理学研究報告, 21, 53—62.

6. アンケート方式による超高層ビルの揺れ方の推定とこれにもとづく高層アパート・高層ビルの防災対策上考慮すべき幾つかの項目に関する調査

—その(2) 1984年長野県西部地震の場合—

表 俊一郎 関 沢 愛
座 間 信 作 楢 橋 秀 衛

1. はじめに

筆者等は地震時における高層ビルの揺れ方とその中に居る人間の心理・行動との関係について、地震防災対策の視点からアンケート調査を実施している。前報⁽¹⁾では1983年神奈川・山梨県境地震 ($M=6.0$) について東京都内の6棟の超高層ビルに対して実施したアンケート調査結果を報告した。本報は前報と同様の視点・手法から、1984年9月14日に発生した長野県西部地震 ($M=6.8$, $\lambda=137^{\circ}33.6'$, $\phi=35^{\circ}49.3'$ ⁽²⁾) について東京都内の超高層ビル4棟に対して行なったアンケート調査の結果を述べ、前回の調査結果との比較・検討を行なっている。

1983年神奈川・山梨県境地震の場合マグニチュードは6.0, 東京都区部までの震央距離は、約70km⁽³⁾, また東京都区部における気象庁発表震度はⅣであった。⁽⁴⁾ 一方、長野県西部地震は、マグニチュード6.8, 震央距離約200km⁽²⁾, また気象庁震度はⅢ⁽⁵⁾であった。すなわち、長野県西部地震は神奈川・山梨県境地震と比べ相対的に規模が大きく遠地の地震であり、東京都区部に与えた震度は小さい。また震源の深さは前者が約0km, 後者が約20kmとされている。^{(2), (3)}

調査解析の結果、まず超高層ビルの揺れ方は震度、周期などに両地震の相違が明瞭に現われた。その理由は上述した地震の性格の違いによるものと考えられる。次に地震時における超高層ビル内の人間の心理・行動、混乱の程度、地震情報放送の有効性などについては両地震の差は認められず、前回の調査結果が確認された形となった。これらの点について以下に詳述する。

2. 調査概要

今回の調査に使用したアンケート票は1983年神奈川・山梨県境地震の調査で使用したと同じものである(詳細は前報⁽¹⁾参照)。調査対象は新宿三井ビル、新宿住友ビル、安田火災海上ビル及びN Sビルの超高層ビル4棟で、いずれも前回の調査(6棟)にも含まれている。各超高層ビルのアンケート票の回収結果を表1に示す。表中の数字は各ビル各階毎の有効回答数である。有効回答数とは、回収されたアンケート票の内「地震を感じなかった」とする回答、あるいは「感じた」と答えていても回答の内容から計算される震度が0.1以下となる回答を除いた数である。この種の無効回答(としたもの)があるために実際の回収数と有効回答数が異なる階については、実回収数を括弧に入れて示している。また、表1中に記号“—”で示した階は回答がなかったことを示している。

上に述べたような回答の有効・無効の判定を行なったのは次のような理由からである。本報で無効と判定した回答の大部分は「地震を感じなかった」とするものである。「感じなかった」という回答

表 1. 超高層ビル各階のアンケート回収数 (1984 年 9 月 14 日長野県西部地震)

階	ビル名	新 宿 三 井	新 宿 住 友	安田火災海上	N S
5		26			
4		9			
3		2			
2		5			
1		11	1		
5 0		3	—		
9		—	—		
8		—	—		
7		—	—		
6		—	7		
5		—	21		
4		21 (22)	9		
3		14	—	1	
2		15 (16)	19	1	
1		—	29	2	
4 0		—	12	14	
9		—	11	2	
8		7	5	2	
7		—	4	—	
6		16	13	—	
5		10 (11)	—	—	
4		—	1	—	
3		—	—	46	
2		—	5 (6)	23	
1		18	1	—	
3 0		11	—	1	
9		8	—	—	2
8		3	—	1	20
7		2	—	—	14
6		13	—	9	1
5		2 (3)	1	10	6 (7)
4		22	7	34	19
3		5	10	6	21
2		—	2 (3)	8	15
1		2	5	—	24
2 0		18	14	15	16
9		6 (7)	12	10	8 (10)
8		9	5	—	24
7		3 (4)	—	8	16
6		1	—	25	3 (4)
5		—	11	8	24 (25)
4		6	11	5	17 (18)
3		3	—	11	20
2		25 (26)	12	21	19 (20)
1		10	16	15	1
1 0		2	22	23	16 (17)
9		3	—	41	—
8		—	6	—	14 (17)
7		7	18	32	4 (5)
6		—	7	35 (38)	13 (16)
5		5	4	23	8 (10)
4		7	1	22 (25)	11 (19)
3		10 (12)	8	1	5 (6)
2		2 (3)	15	10 (11)	7 (13)
1		19 (21)	7 (9)	11 (16)	3 (11)
B 1		5 (8)	2	10 (12)	0 (1)
B 2		3	3 (5)	12 (15)	3 (5)
B 3		—	4 (6)	1	1 (5)
合 計		369 (385)	341 (349)	499 (516)	355 (402)
エレベータ内		29	42	46	33
階 不 明		28	18	38	43

それ自身は本来それなりの意味を持っているが、しかしその回答に直ちに震度0を与えてよいということにはならない。今回の調査のように「感じなかった」とする回答の回収数に占める割合が小さい場合については尚更その判断は難しいと言わねばならない。「地震を感じなかった」とする回答の回収数に占める割合は超高層ビルの低い階で増加する傾向が表1より読み取れるが、この傾向も超高層ビルにより相違し4棟について一般的な結論を述べることは出来ないようである。そこで本報では、震度推定において特に低い階で震度を実際より多少大きく見積ることになる問題はあるが、「地震を感じなかった」とする回答を無効回答としたものである。表1から判かるように無効とした回答は全回答数の約5%である。従って以下に述べる結果は1,564枚の有効回答によるものである。

3. 結果

3-1 アンケート調査による超高層ビル各階の震度

前報と同様有効回答1枚毎に回答内容に応じて震度を計算し、さらに各超高層ビル各階毎に震度の平均値を求めその階の震度とした。結果を図1-a, 1-bに示す。縦軸に階、横軸に震度を取っている。図中の大きい黒丸はその階の有効回答が20枚以上あったことを示している。大きい白丸は有効回答が10~19枚あったこと、また小さい白丸は有効回答が9枚以下であったことを示している。推定された震度値の精度は有効回答が少なくと低下する。特に有効回答が数枚以下の場合、推定された震度が不自然であることもある。図1-a, 1-b中で小さい白丸には超高層ビルの高さ方向の震度の変化から大きく偏るものもあるのはそのためである。

図1-a, 1-bにおいて、まず各超高層ビルの1階の震度を見ると、新宿三井ビルが震度2.6となっているが他の3棟は震度2.0程度となっており、ビルによる多少の差が認められる。河角⁽⁶⁾による震度とマグニチュード、震央距離との関係式

$$I = 2M - 4.60 \log \Delta - 0.00166 \Delta - 0.32 \quad (1)$$

ここに

I : 気象庁震度

M : マグニチュード

Δ : 震央距離

に長野県西部地震のマグニチュード $M = 6.8$ 、東京都区部までの震央距離 $\Delta \div 200$ kmを入れると $I = 2.4$ となり、今回のケースが過去の経験と大きく異なるものでないことが分かる。ただし式(1)は気象庁マグニチュード M と河角マグニチュード M_k との関係を

$$M = 0.5 M_k + 4.85 \quad (2)$$

と置いたものである。式(2)については次のように改めるべきだという説もある。

$$M = 0.5 M_k + 4.35 \quad (2)'$$

式(2)'を用いた場合、式(1)の定数項が+0.68となる。これを式(1)'と呼ぶことにすると、式(1)'により計算される震度は $I' = 3.4$ となり式(1)による値より1.0大きい。同様のことを神奈川・山梨県境地震($M = 6.0$, $\Delta \div 70$ km)について行なうと河角の式(1)によって計算される震度は $I = 3.1$ となり、やはりアンケート調査によって推定された超高層ビル6棟全ての1階における震度

(前報参照)と同程度かやや上回る値となる。以上を要するに、今回の長野県西部の地震及び前回の神奈川・山梨県境地震についてアンケート調査から定られた超高層1階の震度は河角式(1)から定まる震度と同程度ないしやや低い値となっていることが知られた。

次に図1-a, 1-bより震度の超高層ビルの高さ方向での変化を見ると, 1階での震度が2.0~2.5程度であるのに対し, 各超高層ビルとも上階程震度が増加し最上階では震度が3.5を上回る値を示しており, 前回の神奈川・山梨県境地震の場合と比べてビルの揺れ方に明らかな相違があったことを指摘できる。この結果は長野県西部地震が神奈川・山梨県境地震に比べ相対的に規模が大きく遠地の極浅発地震であったことから, 地動の長周期成分が卓越し超高層ビルの低次振動モードを主に励起したためと考えると説明し易い。

尚, 上に述べたアンケート調査によって推定した震度は, 前報でも行なったように, 各超高層ビルの幾つかの階に設置されているSMA C型強震計による最大加速度と比較すべきであるが, 今回の長野県西部地震については調査対象とした4棟の超高層ビルの最大加速度が強震速報⁽⁵⁾に報告されておらず, 本報では論ずることができない。今後の課題としたい。

3-2 超高層ビルの揺れ方

今回用いたアンケート調査票は前回のものと同じであり, 上に述べた震度決定のための設問とは別に, 建物の揺れの周期の長短を聞くための設問(設問12), 揺れの継続時間に関する設問(設問18)及び最も強い揺れの時の揺れの方向に関する設問(設問19)などを持っている。これらの設問に対する回答の高さ方向の変動を見ることによって前節に述べた震度の高さ方向の分布との関係を調べ, また神奈川・山梨県境地震の場合のビルの揺れ方との相違を調べた。

設問12, 18, 19についての回答の百分率を各超高層ビルの階毎に示したものがそれぞれ図2-a, 2-b, 図3-a, 3-b及び図4-a, 4-bである。ただし, 有効回答数の少ない階では上記各設問に対する回答の割合が極端に偏る場合もあるので, 結果は各階とその上下2階(計5階)を用いて移動平均処理を行なって示している。この処理により各設問に対する回答の階による変化が平滑化され見易くなっている。

まず, 図2-a, 2-bに示した揺れの周期について見ると, 「ガタガタ」揺れたとする回答1の割合は全ての超高層ビルの全ての階で少なく, 「小舟のよう」あるいは「ユラリユラリ」揺れたとする回答2, 3が大きい割合を占めている。その中で回答2の割合は超高層ビルの低層階ほど多く, 逆に高い階程回答3の割合が増えビルによってはさらに「舟酔いを感じる」程の長い周期の揺れがあったとする回答4もかなりの割合であることが判かる。この結果を前回の神奈川・山梨県境地震の結果と比較すると, 例えば, 後者の場合「ガタガタ」あるいは「小舟のよう」に揺れたとする回答1, 2の割合は50%程度あり両回答は概ねこれを2分していたのに対し, 今回の長野県西部地震の場合両回答の割合は30%程度に止まりかつその中で回答1の占める割合は回答2に対して極めて小さいことが指摘できる。すなわち長野県西部地震の場合超高層ビルが「ユラリユラリ」あるいは「舟酔いを感じる程」のかなりの長周期で揺れたということである。この結果は前項で述べた震度が高さ方向に漸次増加する事実及びその解釈を裏付けるものである。

同様のことを継続時間及び最も揺れの強い時の揺れの方向に関する結果, 図3-a, 3-b及び

図4-a, 4-bについても言うことができる。図3-a, 3-bは揺れの継続時間についてのものである。神奈川・山梨県境地震の場合「非常に短い」, 「短い」, 「(短いか長いか) どちらとも言えぬ」とする回答1~3の割合は各ビルで50~60%であったのに対して, 図3-a, 3-bでは20~30%と少なく「長い」あるいは「非常に長い」とする回答4, 5の割合が多くなっている。前回と今回の調査で超高層ビルの揺れ方についての結果が著しく異なるのは次に述べる最も強い揺れの方向についての回答である(図4-a, 4-b)。神奈川・山梨県境地震の場合「ドンと突き上げた」時か「速い横ゆれ」の時とする回答1, 2の割合は50~60%に達しているが, 長野県西部地震の場合それら回答は20%に過ぎず「ゆっくりした横ゆれ」の時とする回答3が多数を占めている。

超高層ビルの揺れ方に関する上述の結果から見ても長野県西部地震では相対的に継続時間の長い低次の振動モードが励起されたことが判かる。尚, 上では各設問に対する回答の割合の階方向での変化については述べていないが, 各超高層ビルについて, 高い階の方が低い階より相対的に揺れの周期が長くまた継続時間も長いことを示す回答が多いことは前回と同様である。

3-3 地震時における超高層ビル内の人間の心理・行動

前回と同様地震時の避難(設問14, 15), ビル火災(設問24), 地震情報放送(設問27, 28)などに関する設問への回答についても検討した。しかし長野県西部地震の場合も神奈川・山梨県境地震と同様アンケート震度が4.0未満と小さく, 設問が想定しているような状況は生じていない。従って結果も前回とほぼ同様のものである。ただこの程度の震度でも地震情報をきちんと流している超高層ビルとそうしないビルとがあり, 情報放送を聞いた人の約70%は不安が解消されたと答えている点を重ねて強調しておきたい。

4. おわりに

神奈川・山梨県境地震の際に用いたものと同じアンケート票を用いて超高層ビルの揺れ方及び超高層ビル内の人間の心理・行動を調査した。調査対象は前回調査した6棟に含まれる4棟である。長野県西部地震と神奈川・山梨県境地震とでは, 震度の階方向の変化, 揺れの周期, 揺れの継続時間などで顕著な相違が認められた。その理由は前者は後者に比べて相対的に規模の大きい遠地の地震であるため超高層ビルの敷地近傍においても長周期の地動が卓越し, それが超高層ビルの低次の振動モードを励起したためと考えられる。人間の体感は両地震による揺れの相違を弁別し得たものである。しかしながら両地震とも震度が4.0未満と小さく, 地震時における人間の心理・行動について調査が想定しているような状況は現出していない。これまでの調査から防災対策上の結論を述べることはできないが, 地震情報放送の有効性については再度確認されたと言うことができる。従って震度Ⅳの上のクラス以上の地震があった場合同様の調査を行なうことは有益であると考えられる。

川崎市市内には超高層ビルはまだ存在していないが高層ビル, 高層アパートは数多く建てられている。これらの高層建築物の上層階は地階にくらべ地震のときにはより大きく揺れるものであることは現在までに得られている多少のデータから知られているところである。しかしながら上層階の振動が地階の震動に比べどの程度の増幅を受けるものであるかについては得られているデータは極めて乏しい。

これらデータの不足を補い、且つ現在アンケート調査を行うことのできる震度Ⅲ又はⅣ程度の地震をはるかに超える大地震の時に於ける川崎市内の高層建築物の上層階の地震時挙動を推定する有力な資料を得るために本調査においては通常の高層建物に比べ階数の高い超高層建築物について、その地震時の振動挙動を調べたものである。更に振動の大きさがある限界を超えると人間の行動、心理状態に色々な不安定要素が顕在化し防災上大きな問題となる事柄が生じてくることが考えられるので、振動増幅が著しいと考えられる超高層建物の振動、及びその中にいた人々の心理状態につき震度Ⅲ、Ⅳ程度の地震のときにその把握を行い通常の高層建物の大地震の建物の振動増幅及びそのときの人間心理の状態についての資料を得て、高層建物の防災対策に役立てようとするものである。

謝 辞

アンケート票の配布・回収については東京消防庁の一方ならぬ御配慮、御協力を頂いた、ここに記して深甚の謝意を表する。また新宿三井ビル、新宿住友ビル、安田火災海上ビル及びNSビルの管理事務の関係各位並びにこれら各超高層ビルのテナント各社、また調査票の配布・回収に御協力を頂いた方々、更に調査票に御回答下さった各位に厚く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- (1) 表，他「本報と問題－1983年8月神奈川・山梨県境地震の場合－」 川崎市の震災予防に関する調査報告書 昭和59年3月
- (2) 地震月報 昭和59年9月 気象庁
- (3) 地震月報 昭和58年8月 気象庁
- (4) 強震速報 №24 昭和58年10月
- (5) 強震速報 №28 昭和59年11月
- (6) Kawasumi, H. "Intensity and Magnitude of Shallow Earthquakes." 1956

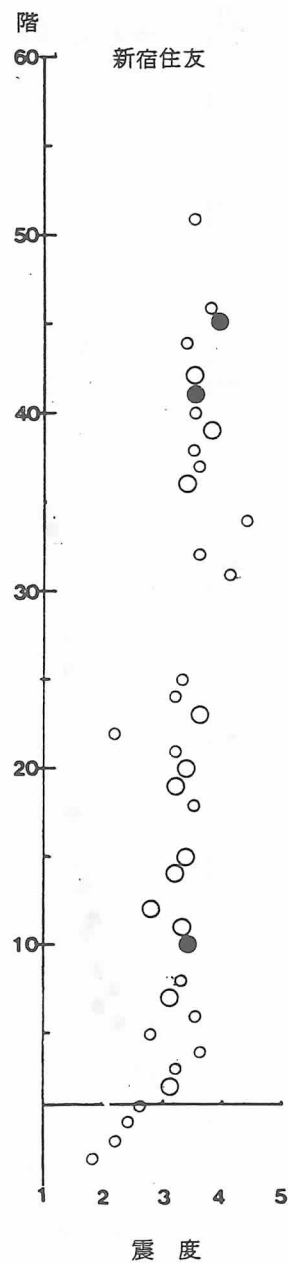
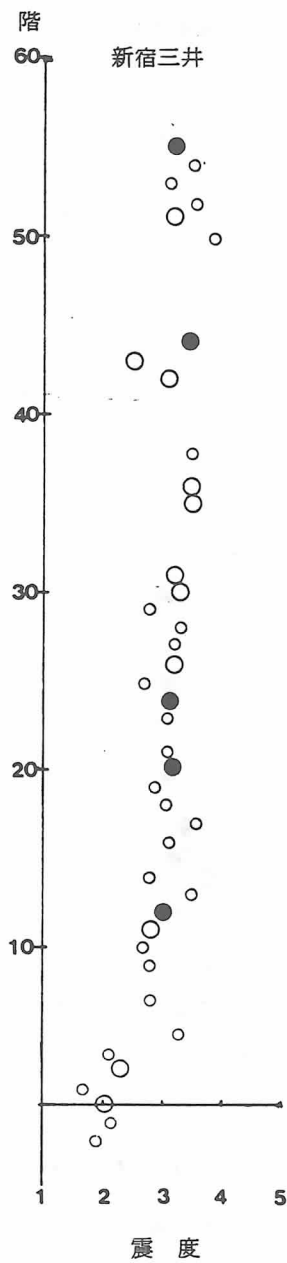


図1-a アンケート調査によって求められた超高層ビル各階の震度
(1984年9月14日 長野県西部地震)

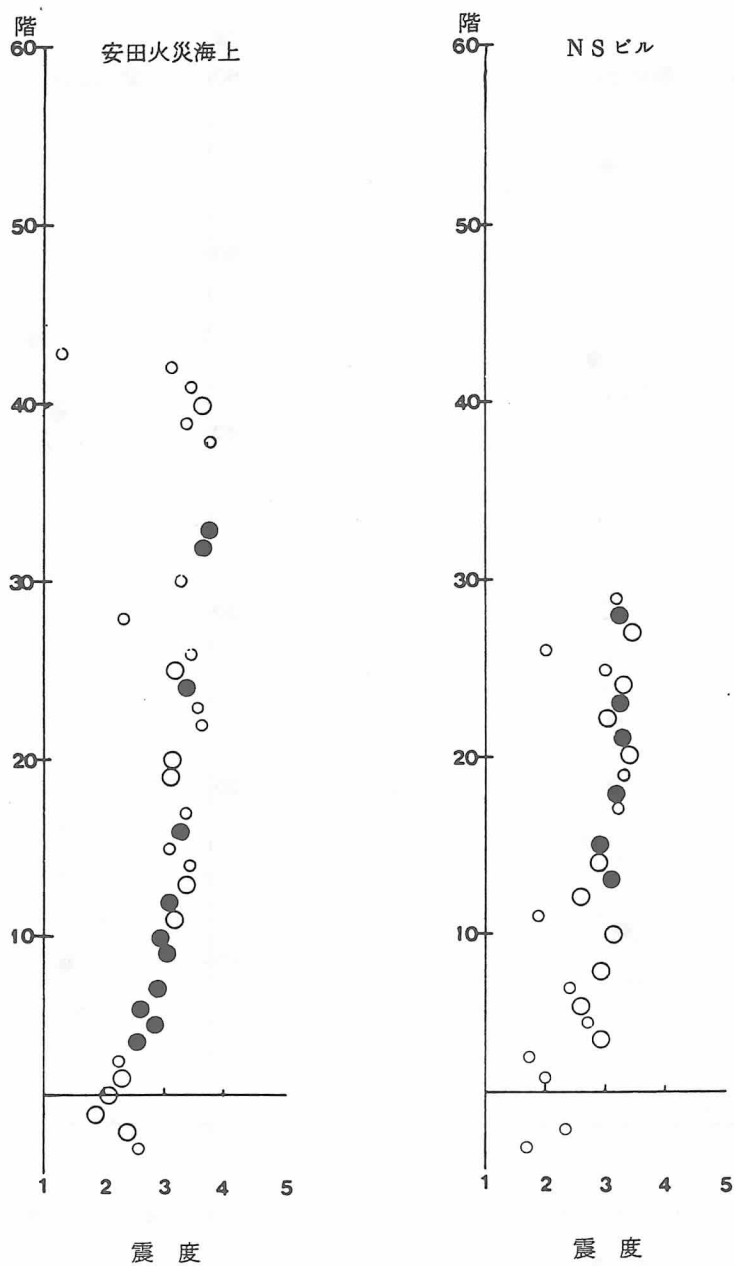


図1-b アンケート調査によって求められた超高層ビル各階の震度
(1984年9月14日 長野県西部地震)

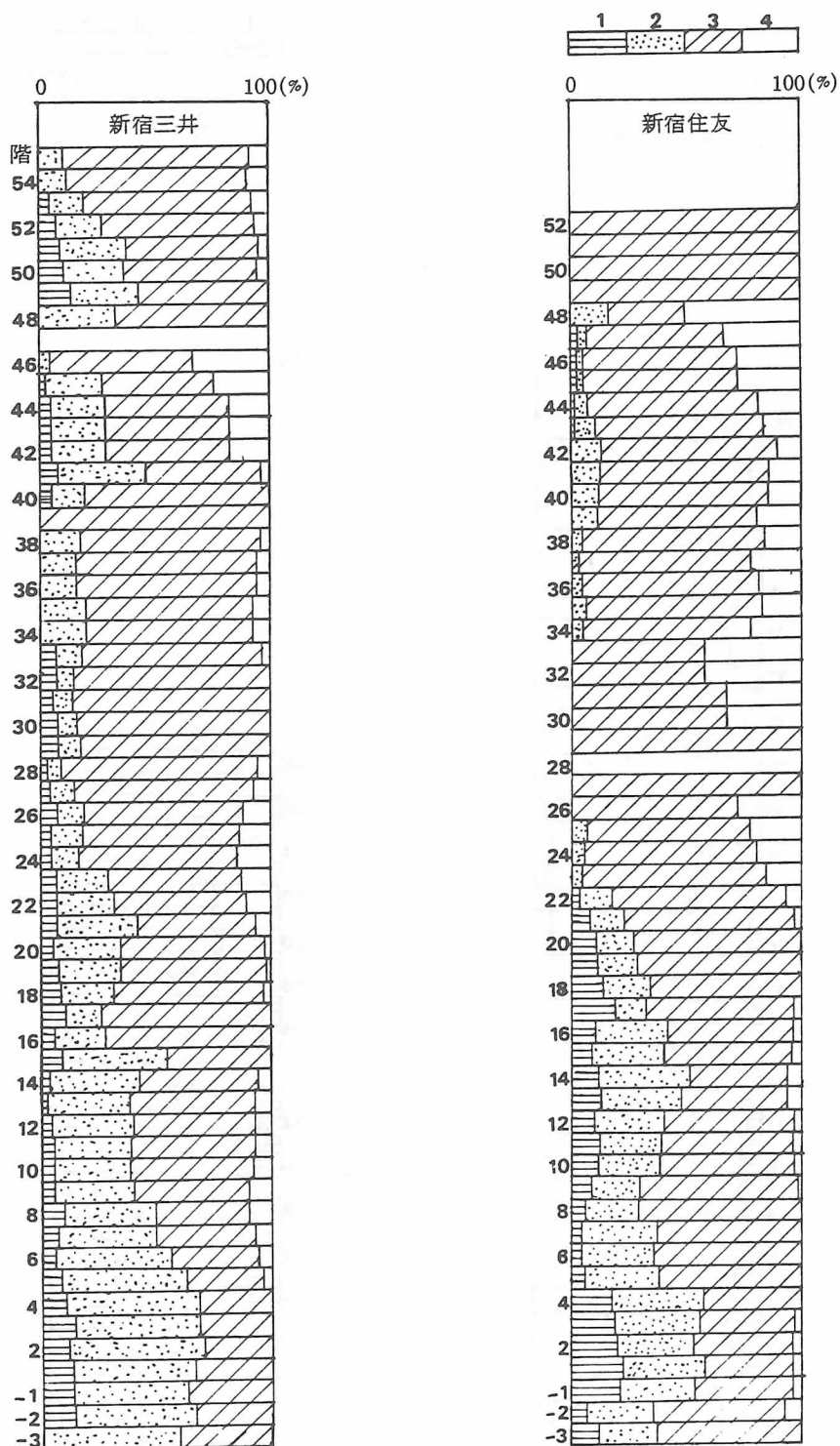


図 2 - a 超高層ビルの揺れ方の感じについての回答

(1. ガタガタ 2. 小舟のよう 3. ユラリユラリ 4. 船酔いを感じる程)

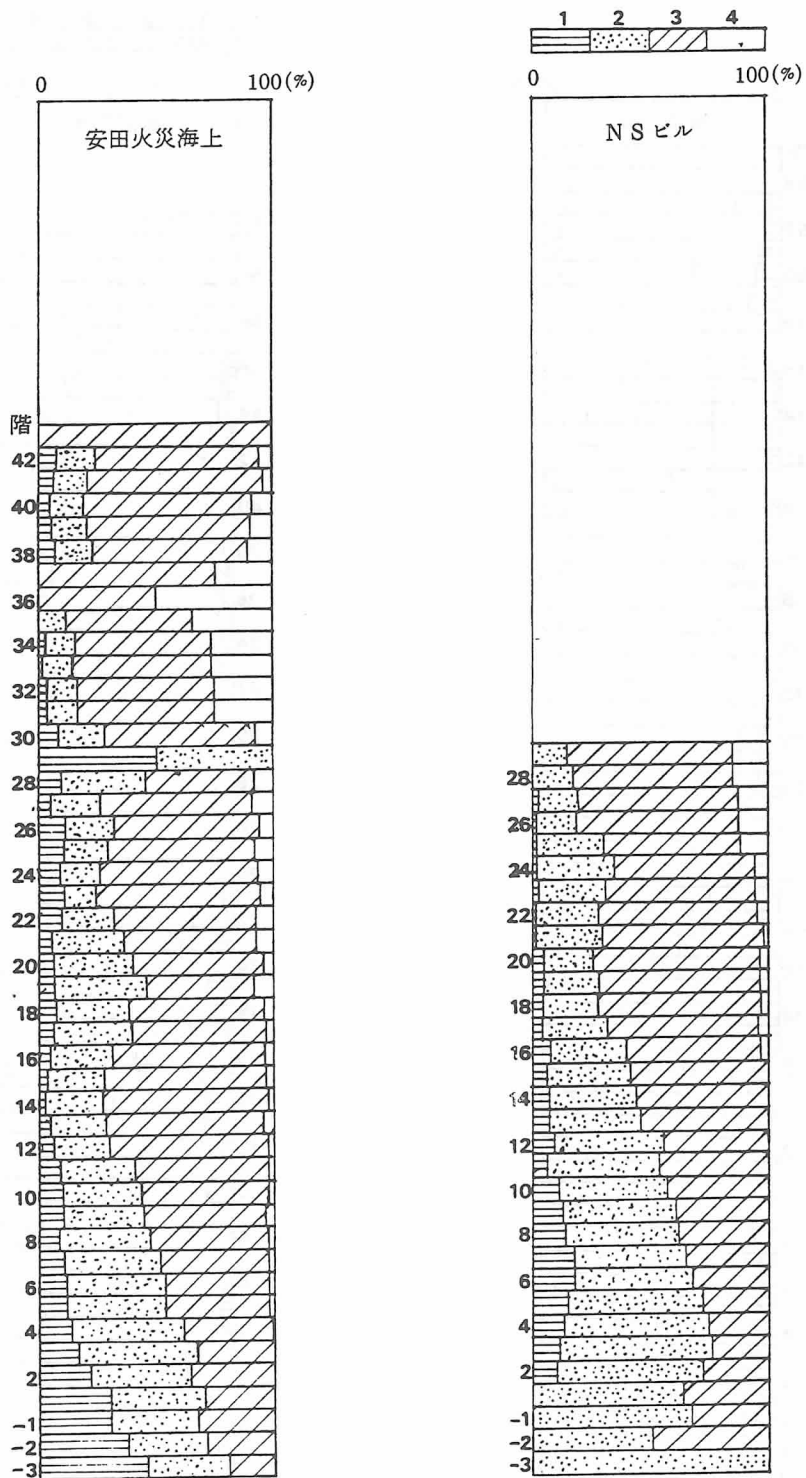


図 2 - b 超高層ビルの揺れ方の感じについての回答
(1. ガタガタ 2. 小舟のよう 3. ユラリユラリ 4. 船酔いを感じる程)

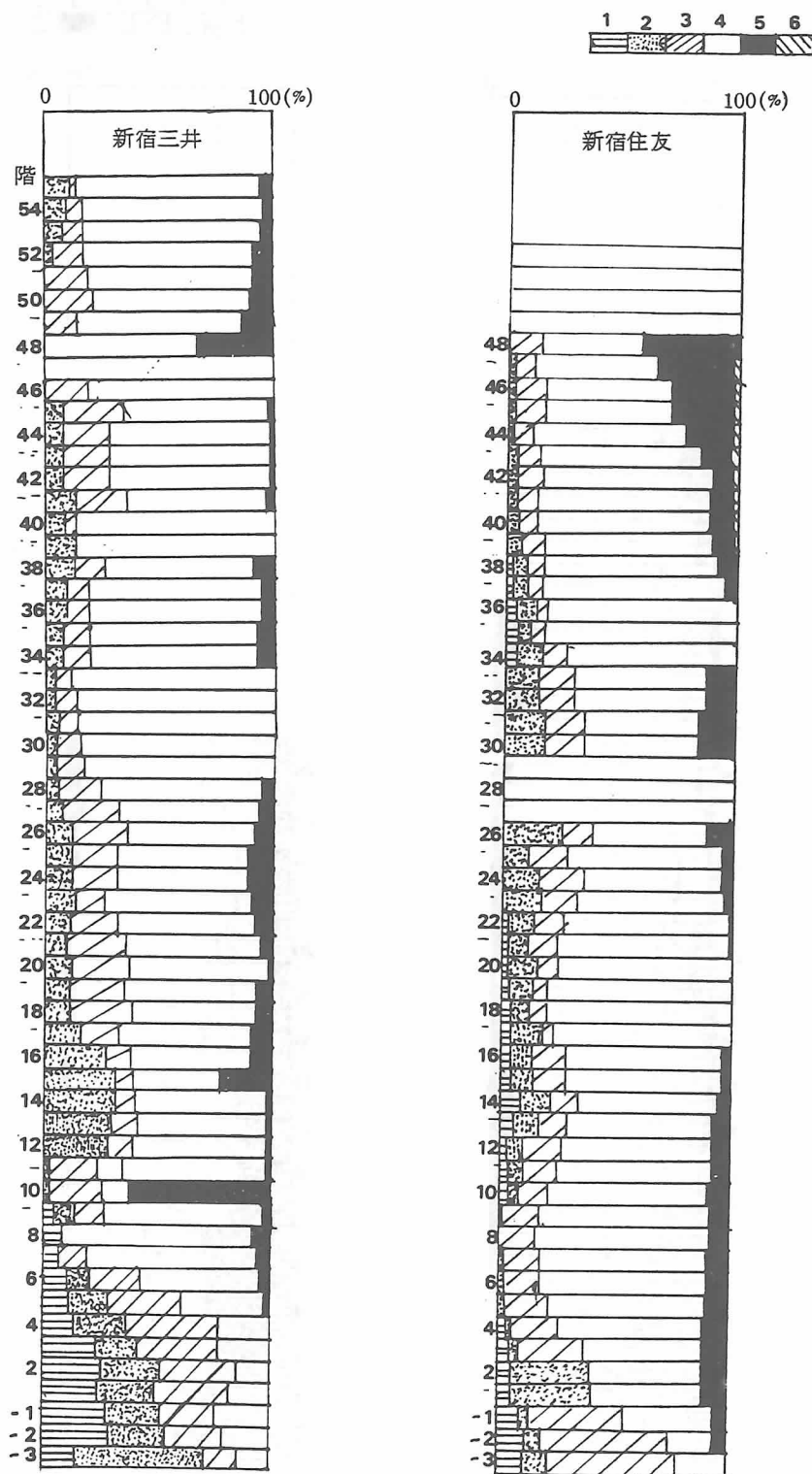


図3-a 超高層ビルの揺れの継続時間についての回答

(1. 非常に短い 2. 短い 3. どちらともいえない
4. 長い 5. 非常に長い 6. いつ終わるとも知れぬ)

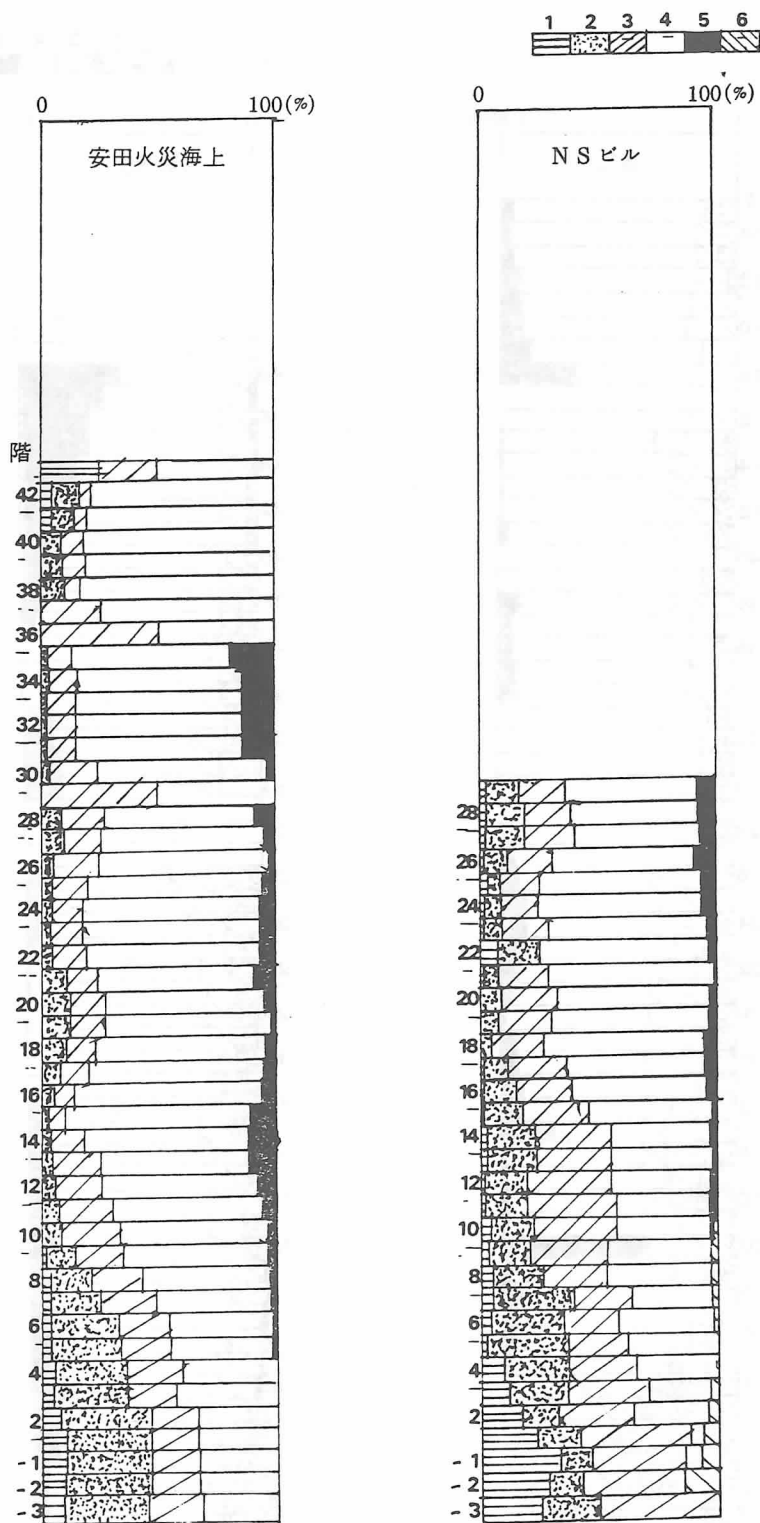


図3-b 超高層ビルの揺れの継続時間についての回答

- (1. 非常に短い 2. 短い 3. どちらともいえぬ
4. 長い 5. 非常に長い 6. いつ終わるとも知れぬ)

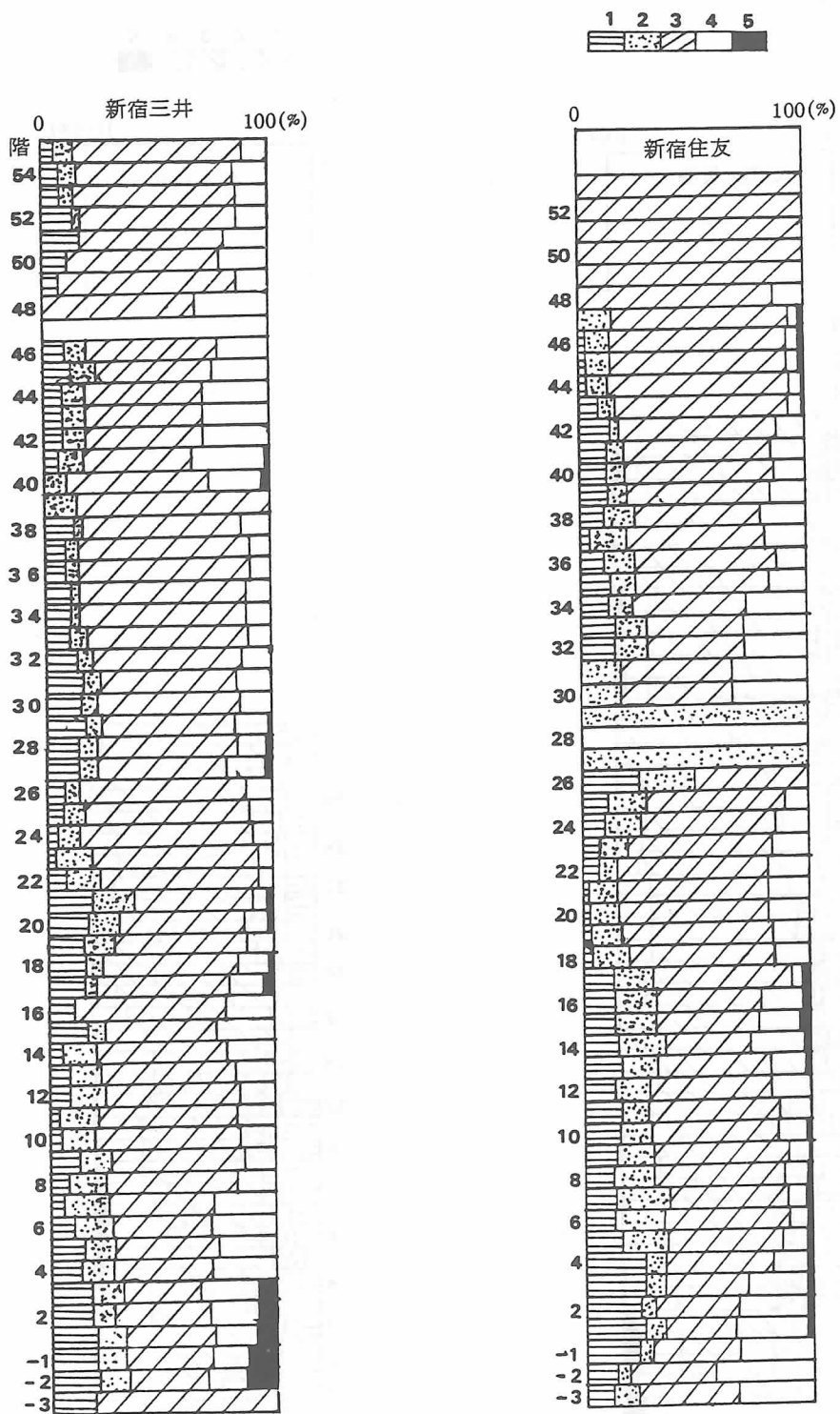


図 4 - a 超高層ビルの最も揺れの強い時の揺れ方についての回答
 (1. ドンと突き上げた 2. 速い横ゆれ 3. ゆっくりした横ゆれ)
 (4. 区別できない 5. その他)

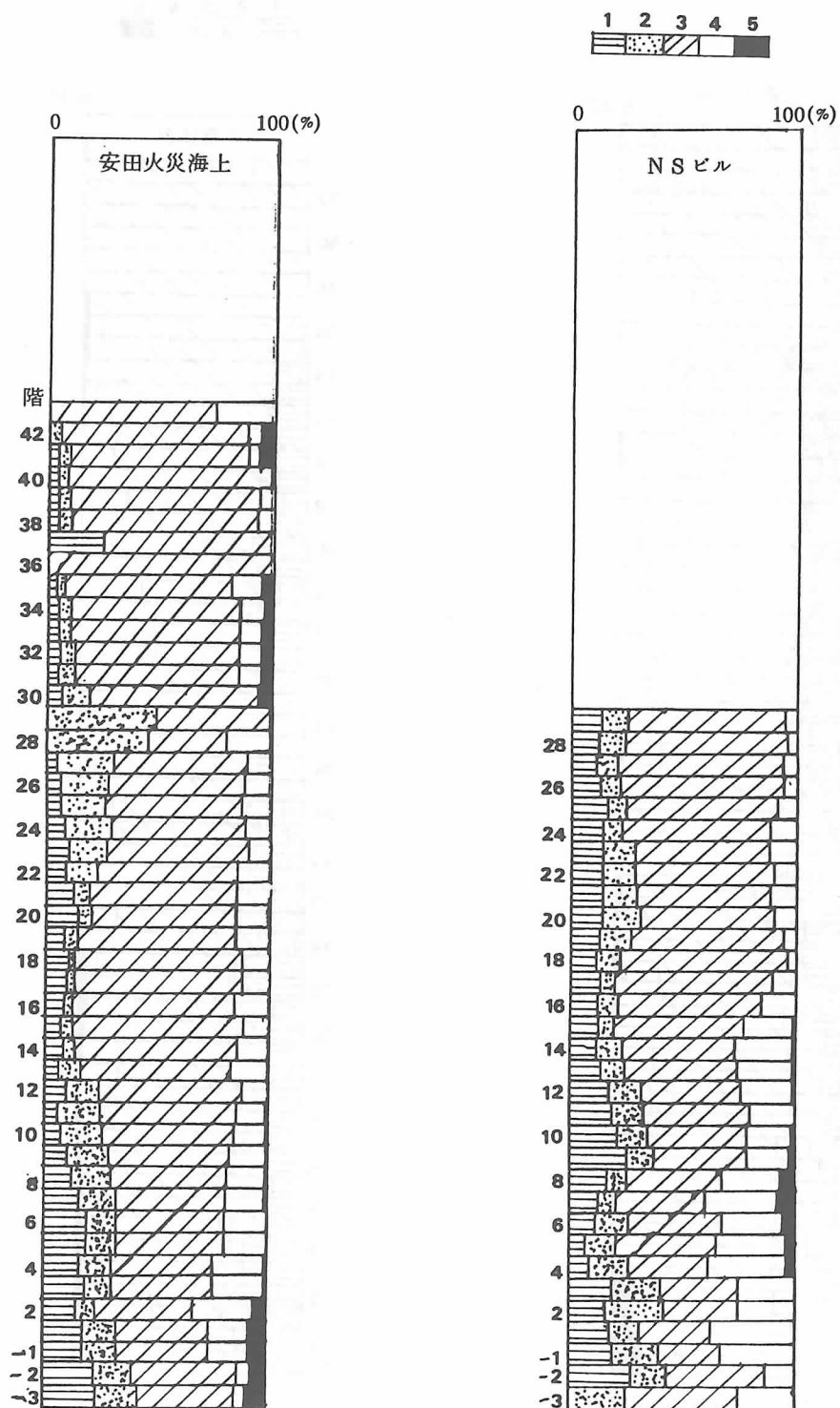


図 4 - b 超高層ビルの最も揺れの強い時の揺れ方についての回答
 (1. ドンと突き上げた 2. 速い横ゆれ 3. ゆっくりした横ゆれ)
 (4. 区別できない 5. その他)