

高密度震度調査

—— 1985 年 10 月 4 日茨城県南部の地震 ——

後 藤 典 俊*

1. はじめに

アンケート方式の震度調査は、これまでの主な地震の度に実施されてきたが、それらの調査は、目的に応じて調査表の配布計画が異なっている。大別すれば、都市単位の広さに高密度な配布をしてマイクロゾーニングをする調査法 [太田・他 (1974), 岡田・他 (1983)] と例えば北海道全域といった比較的広範囲の有感域に配布してマクロなゾーニングを行う調査法に分けられる。本報告は、太田・他 (1979) による調査方式で後者の目的により、1985 年 10 月 4 日茨城県南部の地震 ($M=6.1$) の後に関東地方一円に行なった調査について述べる。また、1982 年 3 月 21 日浦河沖地震について全道市町村を対象にした調査 [後藤・他 (1982)], 1983 年 5 月 26 日の日本海中部地震について東北地方およびその周辺地域にわたって行なった調査 [後藤・他 (1983)] の結果をも引用して、採用したアンケート方式から求めた震度の気象庁震度階との対応関係についての問題点および震度の地域による空間分布特性に関する考察を行なう。

2. 調査の実施

調査地点の選定 1985 年 10 月 4 日 21 時 26 分、茨城県と千葉県の県境付近にマグニチュード 6.1 の地震が発生し、気象庁の発表では東京で震度 V であった。その他、千葉・熊谷・宇都宮・日光などで震度 IV、帯広・盛岡・彦根・福井などの遠方で震度 I を観測したという発表がなされた。そこで、2 つの目的をもって調査地点の選定にあたった。1 つは、関東地方の震度の空間分布を高密度に調べるため、東京・千葉・茨城・埼玉・栃木・群馬・神奈川・山梨・静岡の各県から、調査地点がなるべく空間的に均等に分布するように配慮しながら市町村を選びだした。次に、気象庁発表震度とアンケートから算出される震度との対応を見る目的で、気象庁から震度 I 以上の発表があった全市町村を選び出した。配布・回収・解析の能力の限界を考慮して、結局 250 市町村を対象に選んだ (表 1)。

アンケート票の配布・回収 アンケート票の配布数は全調査対象市町村とも一律に各 25 部とし、調査票は市町村ごとにまとめて市役所・町村役場にそれぞれ郵送し、関係者の協力を得て配布回収をしていただいた。回答者は、役所 (場) 担当者に依頼し、市町村職員あるいは市町村住民の中から選んでいただいた。

回答のあった市町村は 250 のうち 224 (89.6%), 回収票数は 6250 部のうち 4970 部 (79.5%) に達した。これらの集計のまとめは表 1 に示されている。有効枚数は、回収された調査票の回答欄の「地震時にどこに居たか」の回答にしたがってそれぞれの市町村に振り分けた後の

* 室蘭工業大学工学部

表1 アンケート票配布集計

都道府県名	市町村数	回収地点数	回収票数	有効票数	回収率%
北海道	1	1	25	23	100
岩 手	2	2	33	24	66
秋 田	1	1	25	0	100
山 形	2	2	43	33	86
福 島	5	5	101	82	81
栃 木	13	10	212	204	65
茨 城	34	29	664	624	78
群 馬	19	18	378	324	80
埼 玉	26	24	584	543	90
千 葉	30	23	516	489	69
東 京	33	33	727	614	88
神奈川	14	13	289	269	83
新 潟	1	1	24	15	96
富 山	1	1	24	18	96
石 川	2	1	22	13	44
福 井	2	2	50	44	100
山 梨	23	20	426	378	74
長 野	5	5	120	111	96
静 岡	33	30	635	527	77
三 重	1	1	25	16	100
滋 賀	1	1	22	14	88
兵 庫	1	1	25	16	100
合 計	250	224	4,970	4,381	80

集計を示している。地震の発生が夜の9時半頃であったので、他の市町村へ移動していた人の数はそれほどないものと予想されたが、土曜日であったためか、やはり、これまでの調査でもみられたように、人口の多い都市への枚数の集中傾向が幾分みられた。

コンピュータへのデータ入力の前処理として、回答者が地震時に当該市町村内に居たかどうか、無効回答でないかどうか、を初期の質問事項(回答者の状態に関する質問)の回答でチェックを行ない、調査票の振り分け分類を行なった。無感と答えた回答のうちで運動をしていたり、乗りものに乗っていた回答者の場合は無効回答として除外される。このようにして最終的に有効な回答枚数の率は70.1%となった。

計算の方法 回収されたアンケート票は市町村ごとに作られたコンピュータのファイルにコード化されたデータとして収録される。震度の算出は調査票1枚ごとに行なわれ、これを集計して市町村単位で平均震度を求めている(表2)。質問は、小震度から大震度(無感－震度VI)にかけて多岐にわたっており、気象庁発表の震度階の分解能(有効数字1桁)よりは精度が高い(有効数字2桁)であろうと思われる。これまでの同形式の調査(浦河沖地震・日本海中部地震など)では、震度III～Vで十分精度を保っていると見なされる。

表2 市町村別震度算出結果

コード	市町村	震度	コード	市町村	震度	コード	市町村	震度	コード	市町村	震度
01207	帯広市	2.4	10211	安中市	3.6	12349	東庄町	3.4	19206	大月市	3.3
03201	盛岡市	0.8	10307	新里村	3.3	12407	松尾町	3.2	19301	春日居町	3.3
03203	大船渡市	1.4	10366	上野村	2.8	13201	八王子市	3.5	19325	境川村	2.9
06201	山形市	1.4	10382	下仁田町	3.4	13202	立川市	3.3	19328	豊富村	3.0
06205	新庄市	1.0	10423	吾妻町	3.1	13203	武蔵野市	3.5	19341	上九一色村	2.4
07201	福島市	2.7	10425	端恋村	3.3	13204	三鷹市	3.4	19362	鯉沢町	3.3
07202	会津若松市	2.5	10427	六合村	2.8	13205	青梅市	3.1	19364	早川町	2.4
07203	郡山市	2.2	10442	利根村	3.2	13206	府中市	4.0	19365	身延町	2.4
07204	いわき市	2.8	10443	片品村	3.4	13207	昭島市	3.2	19367	富沢町	2.3
07205	白河市	3.2	10447	新治村	2.6	13208	調布市	3.4	19385	田富町	3.5
08201	水戸市	3.3	10463	境町	3.4	13209	町田市	3.4	19390	楢形町	3.1
08202	日立市	2.8	11201	川越市	3.6	13210	小金井市	3.5	19403	須玉町	2.9
08203	土浦市	3.5	11202	熊谷市	3.1	13211	小平市	3.6	19406	大泉村	3.3
08204	古河市	3.4	11203	川口市	3.9	13212	日野市	3.4	19408	白州町	3.3
08205	石岡市	3.6	11205	大宮市	3.6	13213	東村山市	3.6	19425	山中湖村	3.2
08206	下館市	3.3	11207	秩父市	3.0	13214	国分寺市	3.5	19426	河口湖町	3.1
08210	下妻市	3.5	11208	所沢市	3.7	13215	国立市	3.3	19441	上野原町	2.9
08211	水海道市	3.5	11209	飯能市	3.2	13216	田無市	3.6	20201	長野市	1.2
08217	取手市	3.8	11211	本庄市	3.4	13217	保谷市	3.6	20202	松本市	2.5
08218	岩井市	3.8	11212	東松山市	3.1	13218	福生市	3.4	20205	飯田市	2.5
08347	緒川村	3.5	11213	岩槻市	3.5	13219	狛江市	3.7	20206	諏訪市	2.9
08364	大子町	3.0	11215	狭山市	3.3	13220	東大和市	3.5	20321	軽井沢町	3.1
08401	旭村	3.0	11217	鴻巣市	3.6	13221	清瀬市	3.4	22201	静岡市	2.2
08406	神栖町	3.3	11221	草加市	3.9	13222	東久留米市	3.6	22202	浜松市	0.7
08407	波崎町	3.5	11228	志木市	3.6	13223	武蔵村山市	3.3	22203	沼津市	2.6
08422	牛堀町	3.6	11229	和光市	3.3	13224	多摩市	3.3	22204	清水市	2.5
08424	北浦村	3.7	11231	桶川市	3.4	13225	稲城市	3.0	22205	熱海市	2.7
08441	江戸崎町	3.7	11232	久喜市	3.4	13226	秋川市	3.4	22206	三島市	2.8
08442	美浦村	3.7	11237	三郷市	3.5	13306	五日市町	3.3	22207	富士宮市	2.8
08444	牛久町	3.6	11343	小川町	3.2	13308	奥多摩町	2.6	22208	伊東市	3.2
08447	河内村	3.9	11348	鳩山町	3.4	13361	大島町	3.1	22209	島田市	1.1
08449	東村	3.6	11364	吉田町	3.2	13363	新島本村	2.1	22211	磐田市	1.3
08463	八郷町	3.8	11367	大滝村	2.9	13381	三宅村	2.9	22213	掛川市	1.4
08465	新治村	3.6	11408	寄居町	3.1	13401	八丈町	1.6	22214	藤枝市	1.2
08481	谷田部町	3.7	11425	大利根町	3.5	13421	小笠原町	0.3	22215	御殿場市	3.2
08485	筑波町	3.5	12201	千葉市	3.3	14100	横浜市	3.4	22217	天竜市	1.5
08543	三和町	3.7	12202	銚子市	3.3	14130	川崎市	3.4	22219	下田市	2.2
08561	守谷町	3.7	12203	市川市	3.9	14203	平塚市	2.9	22221	湖西市	1.1
08564	利根町	3.9	12204	船橋市	3.5	14204	鎌倉市	3.3	22301	東伊豆町	2.9
09201	宇都宮市	3.4	12205	館山市	3.4	14205	藤沢市	3.4	22304	南伊豆町	1.6
09202	足利市	3.5	12209	佐原市	3.3	14206	小田原市	3.2	22306	西伊豆町	2.2
09203	栃木市	3.6	12210	茂原市	3.3	14207	茅ヶ崎市	3.1	22326	蕨山町	2.8
09206	日光市	3.4	12211	成田市	3.7	14208	逗子市	3.2	22328	天城湯ヶ島町	2.3
09208	小山市	3.6	12212	佐倉町	3.6	14209	相模原市	3.3	22383	由比町	2.3
09210	大田原市	3.0	12214	八日市場市	3.4	14210	三浦市	3.0	22421	御前崎町	1.3
09211	大板市	3.4	12217	柏市	3.8	14211	秦野市	3.0	22422	相良町	1.7
09212	黒磯市	3.2	12219	市原市	3.6	14364	山北町	3.1	22427	中川根町	0.7
09343	茂木町	3.2	12222	我孫子市	3.5	14422	津久井町	3.3	22445	小笠町	1.6
09403	馬頭町	3.1	12223	鴨川市	3.3	15222	上越市	1.3	22461	森町	1.2
10201	前橋市	2.8	12225	君津市	3.7	16201	富山市	0.6	22487	佐久間町	1.5
10202	高崎市	3.5	12226	富津市	3.5	17201	金沢市	1.0	22488	水窪町	1.3
10205	太田市	3.3	12305	沼南町	3.8	18209	福井市	2.2	22523	三ヶ日町	1.0
10206	沼田市	2.3	12324	富里町	3.8	18202	敦賀市	1.4	24201	津市	0.8
10207	館林市	3.3	12341	下総町	4.0	19201	甲府市	3.2	25202	彦根市	1.2
10208	渋川市	3.0	12344	小見川町	3.6	19203	塩山市	3.3	28209	豊岡市	1.2
10209	藤岡市	3.1	12347	多古町	3.6	19204	都留市	3.1			

3. 低震度域のアンケート震度

低震度域での分解能 気象庁における震度決定は、地震の概要を知り、それに伴う被害を予測し緊急な対策を講ずるところに大きな意義がある。したがって、そのような目的のためには低震度域の精度を細かく議論することの意味はあまりないかもしれない。しかし、アンケートによる震度調査の方法が開発され、精度の高い震度の空間分布が議論出来るようになった現在、低震度域も大きな意味を持ってきたといえよう。

今回の調査を含む一連の調査に用いられてきたアンケート票の設問は、震度Ⅱ～Ⅴに重点が置かれていて、この範囲で同程度のゆれを意味する問いが重複していて、それらの平均値としてアンケート震度が求まるように工夫されている。したがって一枚の質問票に含まれる、震度Ⅱ以下に対応する有効なアイテム・カテゴリの項目が少なく、精度が良くないものと予想される。しかしながら、多数の回答者からの回答分布の中央値（平均値）でみると、震度Ⅰ程度のゆれでも、結果的には比較的良く識別されているように思われる。これは、1人の観測者が体感で低震度を精度よく判定することの困難さがあるため、1枚のアンケート票の個別の回答の内容によるよりも、むしろ有感と無感の比率が低震度域を識別するインデックスとなっているためであろう。震度の算出は震度Ⅱ以上では1枚のシート内での平均値という量的データを用いるのに対して、Ⅱ以下では有感か無感かという、いわば質的データにいかんウエイトをかけるかという扱いが加味される。もちろん、1枚の調査票からきめ細かく低震度を識別できるような質問を新しく設けることも、一方では課題である。

いまのところデータ数が限られているので、1対1のウエイトを仮定している。図1はアンケートから算出された震度を気象庁発表震度別に集め、0.1きざみに頻度分布で表現したものである。気象庁発表の震度Ⅰに対応するアンケート震度のバラツキ（分散）は、他の震度のバラツキに比して特に大きな違いはない。

気象庁震度階への変換 今回の調査では、これまでのデータの少なかった低震度域でのアンケート震度がどの程度気象庁発表の震度と対応がつかを比較し、アンケートの解析から求められる独自の震度を気象庁震度階のスケールに変換する式の再検討を行なう。表3は気象庁発表震度とアンケートから独自に求まる震度とのデータである。図1において、分布の中央の縦線は平均値の位置を示す。破線は、これまで用いられてきた変換式[太田・他(1979), 後藤・他(1983)]を図示したものである。アンケート震度を I_q 、気象庁を I_{JMA} とすれば、変換式は

$$I_{JMA} = 2.958 * (I_q - 1.456)^{0.547} \quad (I_q > 2.224)$$

$$I_{JMA} = 1.506 * I_q - 0.78 \quad (I_q < 2.224)$$

である。一方、図中の頻度分布の平均値を直線で結んだのが実線である。この図から、震度Ⅲでデータ数も多く、 I_q と I_{JMA} の対応が良い。また、その値の近くでは上記変換式は適切である。しかし、それより高震度および低震度では系統的な相違が目立つ。

図2は、今回の調査で得られた震度と気象庁発表の震度の相関図である。震度Ⅲを境にして上下で系統的に異なっている。図1の変換式を実線のように補正したとすると、低震度側ではより小さな震度に換算される。すなわち、図2で、横軸に沿って左へ移動し、より45°の線

表3 気象庁発表震度とアンケート震度

地名 I (Q) I (JMA) 地震	地名 I (Q) I (JMA) 地震	地名 I (Q) I (JMA) 地震
門別 1.1 1 浦河沖	銚子 1.8 3 南伊豆	大島 2.9 4 南伊豆
留萌 2.4 1 同	三宅 2.3 3 同	三島 3.0 4 同
根室 2.2 1 同	飯田 2.6 3 同	静岡 2.8 4 同
石巻 2.4 1 日本海中部	甲府 2.7 3 同	館山 3.0 4 同
帯広 2.1 1 茨城県南部	秩父 2.4 3 同	伊東 3.1 4 同
盛岡 1.5 1 同	諏訪 2.7 3 同	川崎 2.8 4 同
新庄 1.6 1 同	名古屋 2.2 3 同	川崎 3.0 4 八丈沖
富山 1.5 1 同	川崎 2.6 3 大月	川崎 3.0 4 八丈東方沖
金沢 1.6 1 同	釧路 2.5 3 浦河沖	帯広 3.1 4 根室半島沖
福井 2.0 1 同	室蘭 3.2 3 同	広尾 3.2 4 同
敦賀 1.7 1 同	旭川 2.2 3 同	浦河 3.2 4 同
長野 1.6 1 同	函館 2.8 3 同	札幌 3.0 4 浦河沖
浜松 1.5 1 同	羽幌 1.9 3 同	倶知安 2.7 4 同
津 1.6 1 同	森 2.7 3 同	広尾 3.2 4 同
彦根 1.4 1 同	室蘭 2.6 3 日本海中部	帯広 3.1 4 同
豊岡 1.4 1 同	倶知安 2.8 3 同	小樽 2.7 4 同
大船渡 1.7 1 同	函館 3.3 3 同	岩見沢 3.1 4 同
石廊崎 1.8 1 同	宮古 2.8 3 同	苫小牧 3.3 4 同
八丈島 1.8 1 同	大船渡 2.3 3 同	森 3.4 4 日本海中部
津 1.9 2 南伊豆	仙台 2.8 3 同	江差 3.6 4 同
彦根 2.2 2 同	新庄 2.8 3 同	青森 3.9 4 同
松本 2.5 2 同	山形 2.5 3 同	八戸 2.8 4 同
軽井沢 2.2 2 同	福島 2.5 3 同	盛岡 2.7 4 同
白河 2.0 2 同	新潟 2.7 3 同	酒田 3.2 4 同
熊谷 2.4 2 同	相川 2.7 3 同	宇都宮 2.7 4 茨城県南部
千葉 2.7 2 同	網代 2.3 3 茨城県南部	日光 2.7 4 同
いわき 1.9 2 同	諏訪 2.4 3 同	熊谷 2.6 4 同
江差 2.4 2 浦河沖	軽井沢 2.5 3 同	千葉 2.7 4 同
苫小牧 2.8 2 日本海中部	大島 2.5 3 同	館山 2.7 4 同
いわき 2.3 2 同	三宅島 2.4 3 同	横浜 2.8 4 同
白河 1.8 2 同	山形 1.7 3 同	土浦 2.8 4 同
福島 2.3 2 茨城県南部	いわき 2.3 3 同	下田 4.3 5 南伊豆
会津若松 2.2 2 同	白河 2.6 3 同	根室 4.2 5 根室半島沖
松本 2.2 2 同	水戸 2.7 3 同	釧路 3.5 5 同
静岡 2.0 2 同	前橋 2.4 3 同	釧路 3.1 5 同余震
新島 2.0 2 同	秩父 2.5 3 同	釧路 3.1 5 同余震
三島 2.4 2 同	銚子 2.7 3 同	むつ 3.8 5 日本海中部
	甲府 2.6 3 同	深浦 4.4 5 同
	河口湖 2.5 3 同	秋田 4.1 5 同
	飯田 2.2 3 同	東京 3.6 5 茨城県南部
		浦河 4.5 6 浦河沖

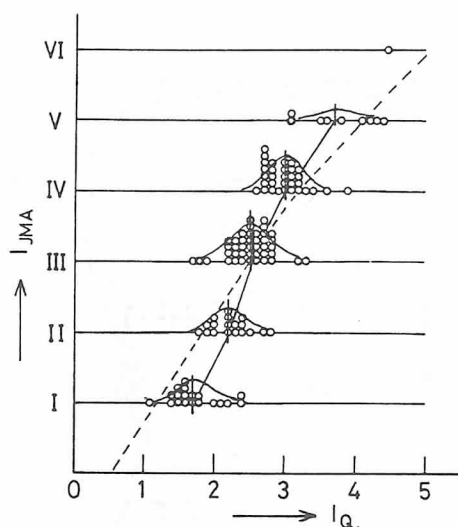


図1 アンケート震度 I_q の気象庁発表震度別頻度分布。実線はそれぞれの平均値を結んだ線、破線は I_q から I_{JMA} への変換式をあらわしたものの

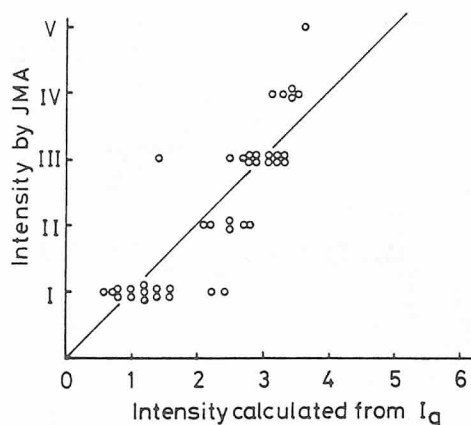


図2 気象庁発表震度とアンケートから求めた震度との相関図

に近づく傾向になる。高震度側では右方に移動し、これも 45° の線に近づき全体として相関の高い側へ補正されることがわかる。ここでの議論は、一応気象庁発表の震度が適切であるという仮定のもとに行なわれている。しかし、気象庁発表震度が必ずしも適切でないと思われる例が少なくない。特に、高震度域において目立つ。このような事情から、変換式の改訂を急ぐことは現段階では適切でないと判断し、問題点の指摘のみにとどめる。

4. 震度の空間分布

等震度線の作図 関東地方の調査対象市町村の座標とアンケート票の解析から算出された震度より、等震度線図を求めた。前処理として、データの平面上での平滑化を行った。これは、ある範囲の多数のデータに、2次曲面のフィッティングを行って平滑化する手法を用いた [Ohta, et al (1982), 鏡味・他 (1982)]。格子点ごとに平滑化データを計算して等高線作図プログラム [石田 (1979)] により自動的に描かせた。図3は、平滑化範囲を、格子点より半径50 km としたときのコンタマップである。この方法に基づく限り、アンケート票の解析からコンタマップ作成まで客観的な処理がなされる。ただ、平滑化の範囲の選択の際に、半径をどの程度にとるかは、解析の目的に応じて決めなければならない。当然のことながら、半径 R を小さくすると、局地的変化が強調され、逆に大きくすると同心円状に近くなり震度の距離減衰の一般的傾向をみることになる。

震度の空間分布特性 等震度線の形状は、震度の減衰特性を示すものであり、同心円からのずれは震度減衰の異常をあらわしている。異常の原因は、震源の特性、伝播経路の特性、未固結堆積層からなる表層地盤と下部基盤層（地震基盤）のインピーダンス比から決まる地表地震動の増幅特性などが考えられる。

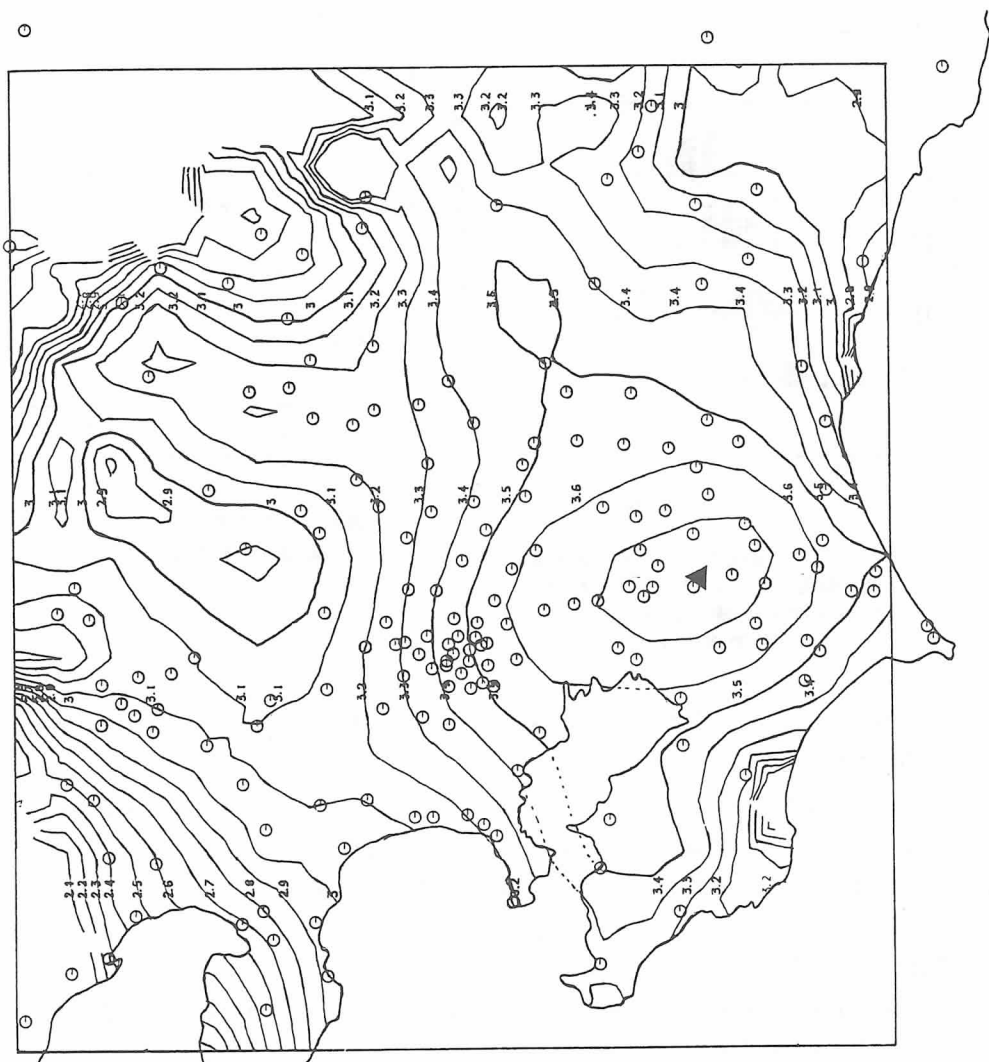


図3 1985年10月4日茨城県南部の地震における等震度線図(平滑化半径50 km)。丸印は関東地方における調査市町村の位置

増幅特性には、堆積層の厚さが大きく関わってくる。図4は、関東地方の基盤岩の等深線と露頭を示す図である。露頭は、地形とほぼ対応している。震度コンタマップの西側の谷は関東山地に、北西の谷は足尾山地に、そして北側の谷部分は八溝山地にそれぞれ対応している。また、基盤岩のコンタが深い東京・横浜近傍にかけて高い等震度線がはり出し、さらに熊谷・前橋の方へ震度コンタの尾根が続いており、基盤深度との対応がみられる。北方にのびる震度コンタの尾根は、今市・日光方面である足尾山地東部にくい込んでおり、必ずしも基盤岩が深いところだけ相対的に高震度を示すとは言えない。伝播経路あるいは震源の特性のどちらを反映しているのかは、今のところよくわからない。

アンケートによる震度調査の結果から、基盤面の空間分布に関して、どこまで立ち入って議

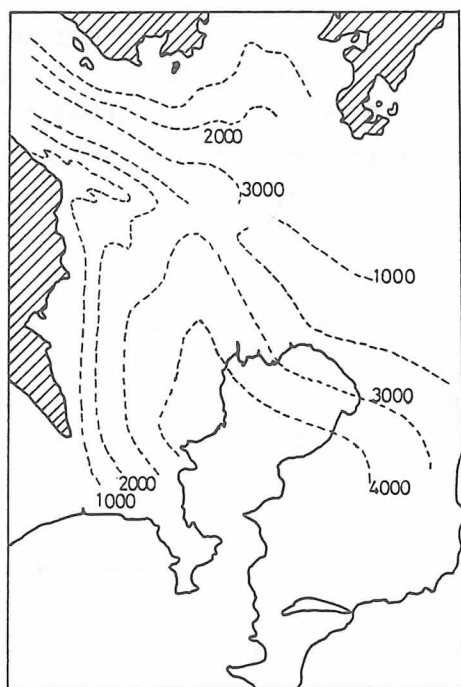


図4 関東地方基盤岩等深度線図(深さm)
と露頭(斜線部) [垣見・他(1973)]
による

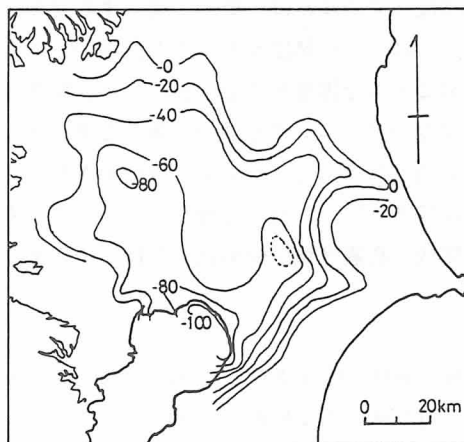


図5 成田層群基底面等深度線図 [関東第
四紀研究会 (1983)] による

論ができるかは疑問であるが、一般的傾向の類似は相当あるように見える。深部基盤に対応する増幅特性は、やや長周期の卓越性に関するものであり、震度の直接的要因になっているかどうかは吟味する必要がある。図5は、成田層群の基底面、すなわち上総層群（三浦層群）上面に対応するコンタマップ [南関東地方地盤沈下調査 (1979)] である。成田層群は、東京礫層などを含む層であり、S波速度にして0.4~0.5km/s P波で1.8~2.0km/sである [山水・他 (1981)]。これらの、より浅部の基底面と深部基盤面の空間分布の相関が良ければ、たとえ震度の要因に短周期振動がある程度寄与していたとしても、見かけ上震度のコンタと深部基盤のコンタとの相関が良く見えることになる。これらを区別するには、震度コンタのローカルな変化と、より長い波長の変化を分けて、深さ別に扱えるような工夫が必要である。そのためには、観測点を密に選ぶことはもとより アンケート票を長・中・短周期それぞれに反応する質問項目を意識的に設定し、震度算出にも周期特性を配慮したものに、今後改善されていくことを期待するところである。

5. おわりに

今回の調査対象となった茨城県南部の地震では、気象庁発表によれば、東京は震度Vであった。しかし、被害発生 の報告はなく、IVに近いVであるという報道がなされた。したがって、この地震では、高震度での調査資料は期待できないが、震源が深さ78キロメートルと深かったため、関東地方全域に有感域が広がり、このことから、低震度域の高密度に分布したデータが

得られた。また、この地域内での気象庁発表震度箇所が多いというのももう1つの特色である。低震度域でのゆれは、緊急に決定する必要がないことから、必要があれば地震計の記録に頼る方が、はるかに精度がよいことは確かである。しかし、高密度な観測をするには機械観測では非常に大きな困難が予想される。多少精度は粗いが、高密度な配布の出来る通信調査は、ゆれの程度のゾーニングを調べる強力な手段となり得る。しかも、地震の起こった後に、計画的に調査地点を選ぶことが出来る点に大きなメリットがある。

現段階では、これを広域なゾーニングにまで十分に活用しようとするれば、調査票の内容に低震度域と高震度域に分解能力を持たせるよう、より十分な配慮をする必要がある。

文 献

後藤典俊・鏡味洋史・太田裕 (1983), 1982年3月21日浦河沖地震の高密度震度分布—北海道全域の震度分布—, 1982年3月21日浦河沖地震調査報告書, 135—144.

後藤典俊・鏡味洋史・岡田成幸・堀田淳・大橋ひとみ・太田裕 (1983), 1983年日本海中部地震のアンケートによる震度マップ(速報), 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, No. 20, 152—155.

石田完(1979), 等高線を描くプログラム CONTA0, 北大大型計算機センターニュース, 11, No 2, 29—40.

鏡味洋史(1982), 空間的に分布する地震工学的データの自動化表現, 日本地震工学シンポジウム論文集, 6, 265—272.

垣見俊弘・衣笠善博・木村政昭 (1973), 後期新生代地質構造図, 東京, 地質調査所.

関東第四紀研究会 (1983), 南関東の第四紀堆積盆地, 地球科学, 27, 102—112.

太田裕・後藤典俊 (1974), アンケートによる道内各地の震度の推定と Seismic Microzoning Map 作成の試み, 1973年6月17日根室半島沖地震調査報告, 302—325.

太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ (1979), アンケートによる地震時の震度の推定, 北大工学部研究報告, 92, 117—128.

Ohta, Y. and H. Kagami (1982), An Automatic Drawing Technique of Contour Maps of Seismic Intensity and Other Spatially Distributed Earthquake Engineering Data, International Earthq. Microzonation Conf. Proc., 3, 1405-1416.

岡田成幸・太田 裕 (1983), 1982年3月21日浦河沖地震の高密度震度分布—札幌市の詳細震度分布, 1982年3月21日浦河沖地震調査報告書, 161—178.

山水史生・高橋博・後藤典俊・太田裕 (1981), やや深い構造のS波速度 (III)—府中 2750 m 観測井における測定とまとめ—, 地震II, 34, 465—479.

東京都区部の震度分布

—1986年10月4日茨城・千葉県境地震時のアンケート調査—

- 1 はじめに
- 2 地震の諸元
- 3 調査の概要
- 4 調査票の整理
- 5 震度の推定および震度分布
- 6 調査の問題点と今後の課題
- 7 まとめ

望 月 利 男 *
精 木 紀 男 **
塩 野 計 司 ***

要 約

1985年10月4日に発生した茨城・千葉県境地震時における東京都区部での震度分布をアンケートによって推定した。

調査対象者は33,920人として、推定に用いた有効回答票は26657枚となり、区部全域を十分にカバーできるデータを得た。

この結果、区部の平均震度は3.6となったが、本報では、区毎、メッシュ毎の震度分布を求めた。

又、震度評価に影響すると思われる建物構造、地震種別、階層などについて検討し、さらに、強震記録並びに既住の想定加速度値との対応なども検討した。

1 はじめに

サイスミック・マイクロゾーニングの基礎資料として、アンケートによる高密度震度分布調査の有効性は、被害地震はもちろん震度Ⅲ、Ⅳ程度の地震時を含めて、そのつと行なわれた調査によって確立されたといえるが、東京都においてはまだ実施されていない。

本調査は、1985年10月4日茨城・千葉県境地震

時に東京都23区を対象として実施されたものである。

なお、この地震は、気象庁が東京の震度をⅤと発表し、地震直後若干の社会的な混乱が生じたが、その後気象庁の評価の妥当性をめぐっていくつかの試論がなされている。震度評価と地震直後の都市の社会的対応は密接な関係があるので、その意味でも、影響の大きい区部についての精密な震度調査が要求されていたといえる。

* 東京都立大学都市研究センター ** 東京都立大学都市研究センター(昭和60年度研修員)・関東学院大学工学部
*** 東京都立大学都市研究センター工学部

2 地震の諸元

気象庁地震月報(1985年10月)によれば本地震の諸元は以下の通りである。

発生年月日:1985年10月4日

21時25分51.65秒

規模: $M=6.1$

震度: V・東京 IV・柿岡, 千葉, 横浜, 熊谷, 宇都宮, 館山, 日光 III・水戸, 鉾子, 勝浦, 秩父, 前橋, 河口湖, 網代, 白河, 大島, 甲府, 軽井沢, 諏訪, 三宅島, 山形, (II以下は省略)

3 調査の概要

3-1 調査方法

調査は、既住の諸調査との対応を考慮して、都市域での高密度震度分布の推定に実績のある太田裕らの方法(太田裕ほか1979)によった。

アンケートの対象を23区内の区立中学校の生徒の家庭とし、調査票は1校当り2クラス分80人程度の生徒を通じて配布し、原則として父兄に回答して頂くこととした。

3-2 調査票の配布および回収

調査票は、各区の教育委員会に委託し、区教委から交換便により各中学校へ送られた。それらは各中学校の2クラスの先生方から生徒に配布され各家庭に届けられるという方式で行われた。

回答票は、学校単位でまとめられ各区教委へ戻された。

調査票は、1985年10月21日に各区教育委員会に配達し、回答票は1985年11月15日に収集した。収集日までに区教委に届いていなかった分は、その後都市研究センターへ送付されてきたが、全体に比べてその数は極めて少なかった。データとしては、1986年2月末日までに到着した分までを用いた。

なお、23区内の区立中学校は総数で424校であ

り、各中学校へは、1クラス40名と想定し、2クラス分80枚に予備分として20枚を加えて1校当り100枚の調査票を送付した。従って送付枚数42400枚、想定対象者33920人である。

3-3 震度および震度分布の推定方法

震度は太田らのプログラムにより調査票1枚毎に推定する。この方法は、比較的新しい木造建物の1階での震度を基準にして推定するもので、まず質問アイテムとカテゴリー番号で対応する震度係数を与えて、一旦震度を算定し、構造、年代、階数による影響を条件係数で補正する。この震度をアンケート震度と呼び、これを気象庁震度階(JMA震度階)に変換する。

以上が、原調査法による推定方法であるが、このようにして調査票1枚毎に推定された震度を、必要に応じて対象地域に対して合計し、平均値を求める。

本調査では、区部を500m平方のメッシュ区分で震度分布図を作成するが、震度分布の地域特性をより明確にするために、以下のような平滑化の方法を導入した。

C	B	C
B	A	B
C	B	C

図-1 平滑化操作時のメッシュ名

図-1のAのメッシュの震度を求める場合に、その周囲のメッシュも重みを変えて考慮する。すなわち、Aの平滑化震度 I_{WA} は、次式で求めることとし、サンプルの合計数Nが一定数に満たない場合は計算しないこととした。

$$I_{WA} = \frac{\sum I_A + \sum I_B / 2 + \sum I_C / 4}{N}$$

ここで $N = \sum N_A + \sum N_B / 2 + \sum N_C / 4$

$\sum I_i$: iメッシュの合計震度

$\Sigma N_i : i$ メッシュの合計サンプル数

4 調査票の整理

4-1 回収率

学校数424校に対して、回収校数は407校であり、従って96%の回収率である。又、回収票数は想定対象者数33920人に対して30855枚で回収率91.1%となる。但し、回答者の位置づけの無記入などにより無効調査票を除くと有効調査票数26722枚で、屋外に居た者は除外したので解析に用いたのは、26657枚となり実質有効回収率は78.6%となる。

表—1に学校毎の回収率と回答票の有効枚数を区毎に示した。

4-2 調査票のメッシュ毎の回収状況

調査票の回収が、地域的にかたよることなく一様に分布しているか否かは、推定された震度分布そのものに影響するといえる。

回収された全調査票がメッシュ毎にどのように分布しているかを付図1に、そのうち、木造建物及びRC造建物だけの回収票の分布を付図2及び付図3に示した。

本調査が全区立中学校を通じての依頼方式であったために、全体としては、付図1に示すように、バランスのよい分布となっている。但し、千代田、中央の両区に典型的に示される児童・生徒の“都市型過疎”地域では、十分なデータが得られていない。付図2及び3にみられる木造、RC造でのデータ数の偏りは、都市の性格からやむを得ないものの、RC造については、データの絶対数においてやや不足しているといえる。

5 震度の推定および震度分布

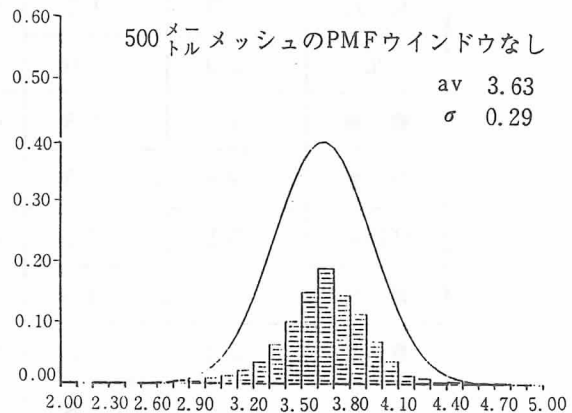
5-1 全体および区毎の平均震度

23区全体での平均震度は、3.6と推定された。又、各区毎の平均震度は図—2に示すように、江戸川、墨田、江東の3区が最も大きく3.8を示し、

中野、豊島の2区が3.5で最も小さい値を示している。

5-2 メッシュ毎の震度分布

500m平方のメッシュ毎に平均震度を求めてヒストグラムと分布関数を示すと図—3のようなガウス分布となる。



図—3 メッシュ毎の推定震度の分布関数

図—3を参考に、震度区分を3.5以下、3.6、3.7、3.8以上として、メッシュ毎の震度分布図を作成すると図—4のようになる。(メッシュ図は(東京都1984)と同じものを用いている。)これより、東部で高い震度を示し、西部でやや低くなる傾向はわかるものの、これだけでは地域の特性は把握しにくい。そこで、3—3で述べた平滑化操作を図—4に適用すると、図—5のようになる。これによって、極めて明確に東部で高く、西部で低い状況が明瞭になるばかりでなく、東部の湾岸地域のかかなり広い範囲に震度の高い地域のあることが明らかとなる。

5-3 構造種別毎の震度分布

対象者の居住している建物の構造の違いは当然震度にも反映するといえる。太田らは、これを条件係数として補正しているが、これが設定された時点でのデータは限られていたといえる。そこで本調査には、木造13670、RC造7959のデータが含まれていることから、木造とRC造に限って若干

表-1 回収率と震度推定(1986年2月現在)

区	配布学校数	回収学校数	回収率%	有効枚数	平均震度
練馬	32	26	81.3	1717	3.6
板橋	24	19	79.2	1439	3.6
荒川	15	15	100.0	842	3.7
北	20	20	100.0	1331	3.6
豊島	13	13	100.0	757	3.5
杉並	23	23	100.0	1497	3.6
江戸川	31	31	100.0	2107	3.8
足立	37	35	94.6	2391	3.7
葛飾	24	24	100.0	1688	3.7
太田	28	28	100.0	1812	3.6
世田谷	32	30	93.8	1900	3.6
目黒	12	11	91.7	814	3.6
品川	18	18	100.0	1258	3.6
台東	11	11	100.0	639	3.7
墨田	13	12	92.3	773	3.8
中央	3	3	100.0	175	3.6
千代田	5	5	100.0	269	3.7
中野	14	14	100.0	851	3.5
渋谷	9	9	100.0	590	3.6
江東	22	22	100.0	1458	3.8
港	11	11	100.0	712	3.7
新宿	15	15	100.0	937	3.6
文京	12	12	100.0	700	3.7
全体	424	407	96.0	26657	3.6



図-2 区毎の推定震度

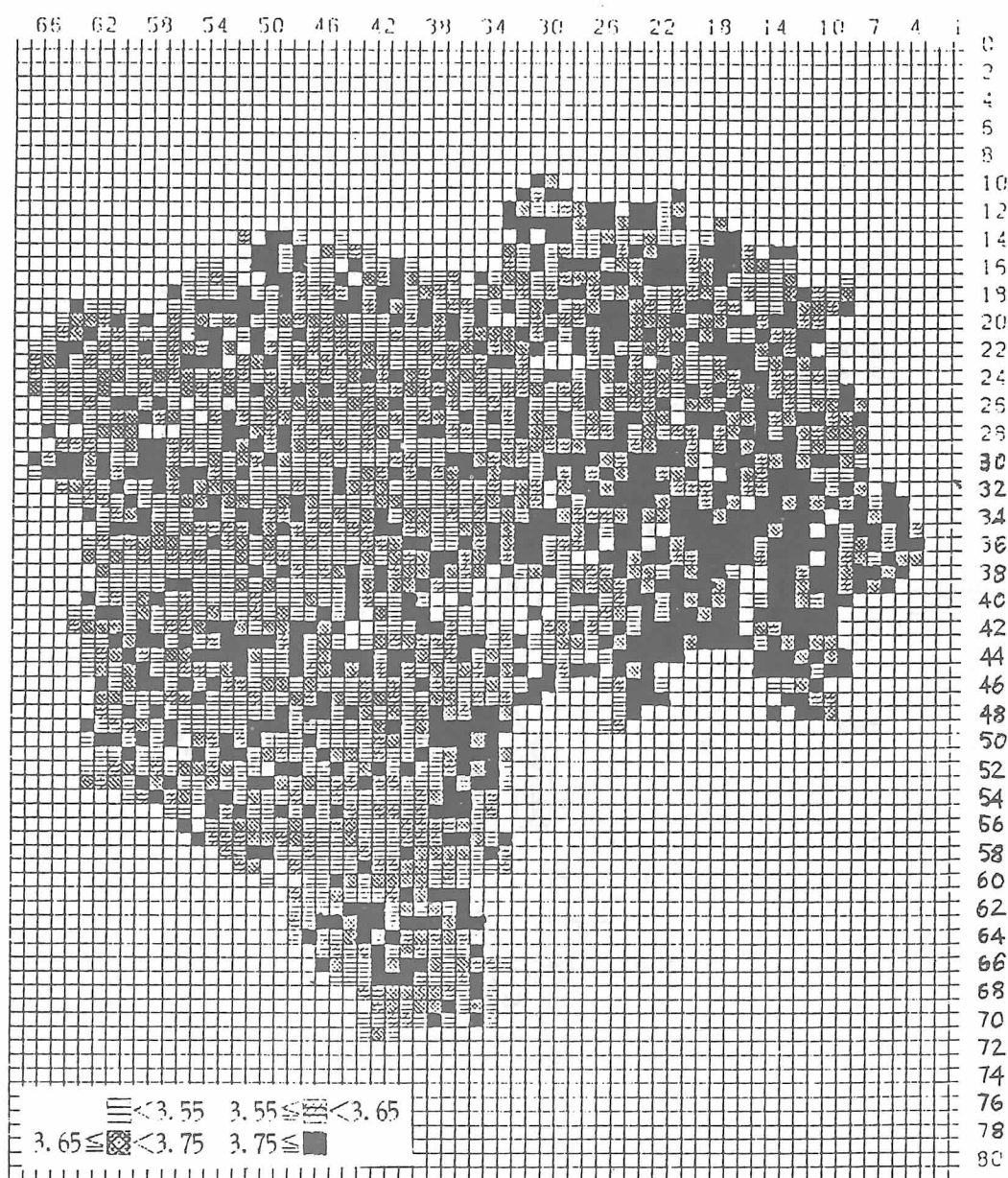


図-4 メッシュ毎の震度分布

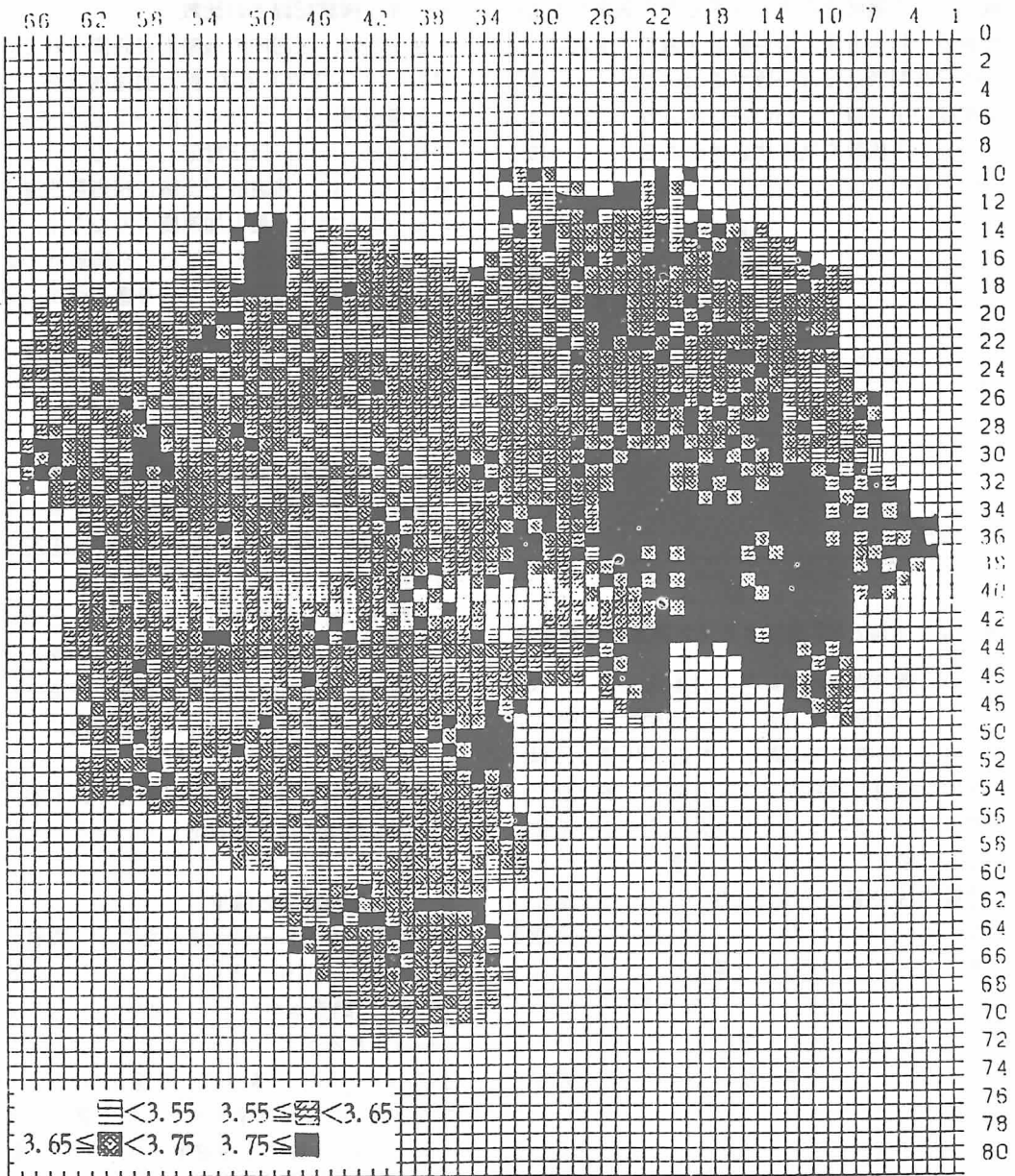
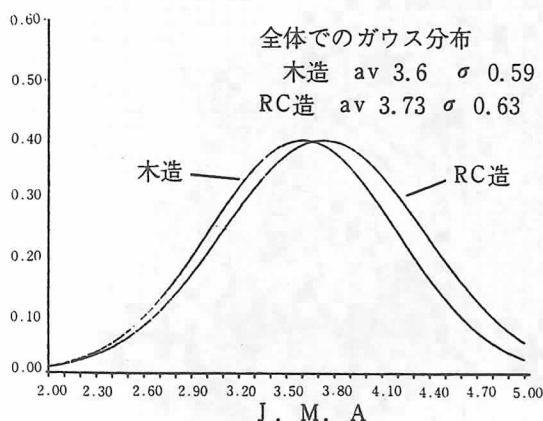


図-5 メッシュ毎の震度分布(平滑化操作後)

の検討を行った。図一6は、木造とRC造データを取り出して震度分布をガウス分布で表現したものである。推定方法は条件係数が適切であれば、2つの分布関数はほぼ一致するはずであるが、実際は震度の平均値で0.13の差が示され、これによって今後条件係数を見直す必要があることを示唆しているものといえる。



図一6 木造とRC造による推定震度の分布関数

一方、構造物の地震応答特性を考えると、大都市のように建物密度が高く、その絶対数が膨大になる場合、振動特性の異なる木造とRC造などは、地域的な相違を明らかにするために、各々別々に震度分布図を求めることも意義のあることと考えられる。図一5と同じ方法で木造のみで求めた平滑化操作後の震度分布図を図一7に、RC造については図一8に示した。(但し、図一5が周囲を考慮した上でデータ10枚未満をカットしたのに対して、図一7、8ではデータ7枚未満の場合をカットした。又、図一8は、図一6からRC造が木造に比べて0.13大きく推定されていることを考慮して、震度区分を図一5および図一7の場合より0.1大きくしている。) 図一7から、木造のみで求めた震度分布図では、西部には震度3.8以上の地域は局部的に点在するだけでまとまった地域は殆んど存在しない。これに対して、図一8より、RC造のみで推定すると西部にも幾つかの震度3.9以上のまとまった地域がみられると同時に、東部の湾岸地域の震度の高い地域も木造のそれとは必ずしも一致していない。

5-4 強震記録との比較

図一9は、区部内の地盤面に設置されている強震計によって得られた最大加速度記録である。(強震速報No31) これらと図一5を比べると全体的傾向としては、ほぼ対応しているといえる。東京都のように、強震計が全域に相当数設置されているところでは、最大加速度のみならず、レスポンススペクトルやS.I.値などを強震計のおかれている地盤や周辺環境なども考慮しつつ、強震記録にもとづくサイスミック・マイクロゾーニングも可能と考えられるが、ここでは、本調査との対比として最大加速度のみをとりあげた。

5-5 想定最大加速度分布図との比較

東京都の「地震に関する地域危険度測定調査報告(区部第2回)」による想定最大加速度分布を図一10に示す。これと、図一5-4とは、全体としての傾向は対応しているといえるが、とくに、大きな違いは、東部湾岸地域である。本調査で江戸川、墨田、江東の3区で高い震度が推定されたのに対して、想定加速度では、その傾向はみられない。

又、都心部の対応はやや不明確であるが、西部では両者の傾向はほぼ対応しているといえる。

5-6 地盤種別と震度

震度予測を更に一般化するために、表層地質や軟弱層厚との関係が考察されているが、(岡田ほか1985)、調査地域に応じて地質地形との関わりも検討されるべきであろう。ここでは、メッシュ毎に22タイプに分類された地盤分類^(文2)に従って表5・1のように全データによる推定震度並びに木造、RC造毎の推定震度を求め、各地盤タイプ毎に平均値との差 δI を求めて揺れやすい地盤、揺れにくい地盤の判別を試みた。地盤分類は図一11と表一3に示している。

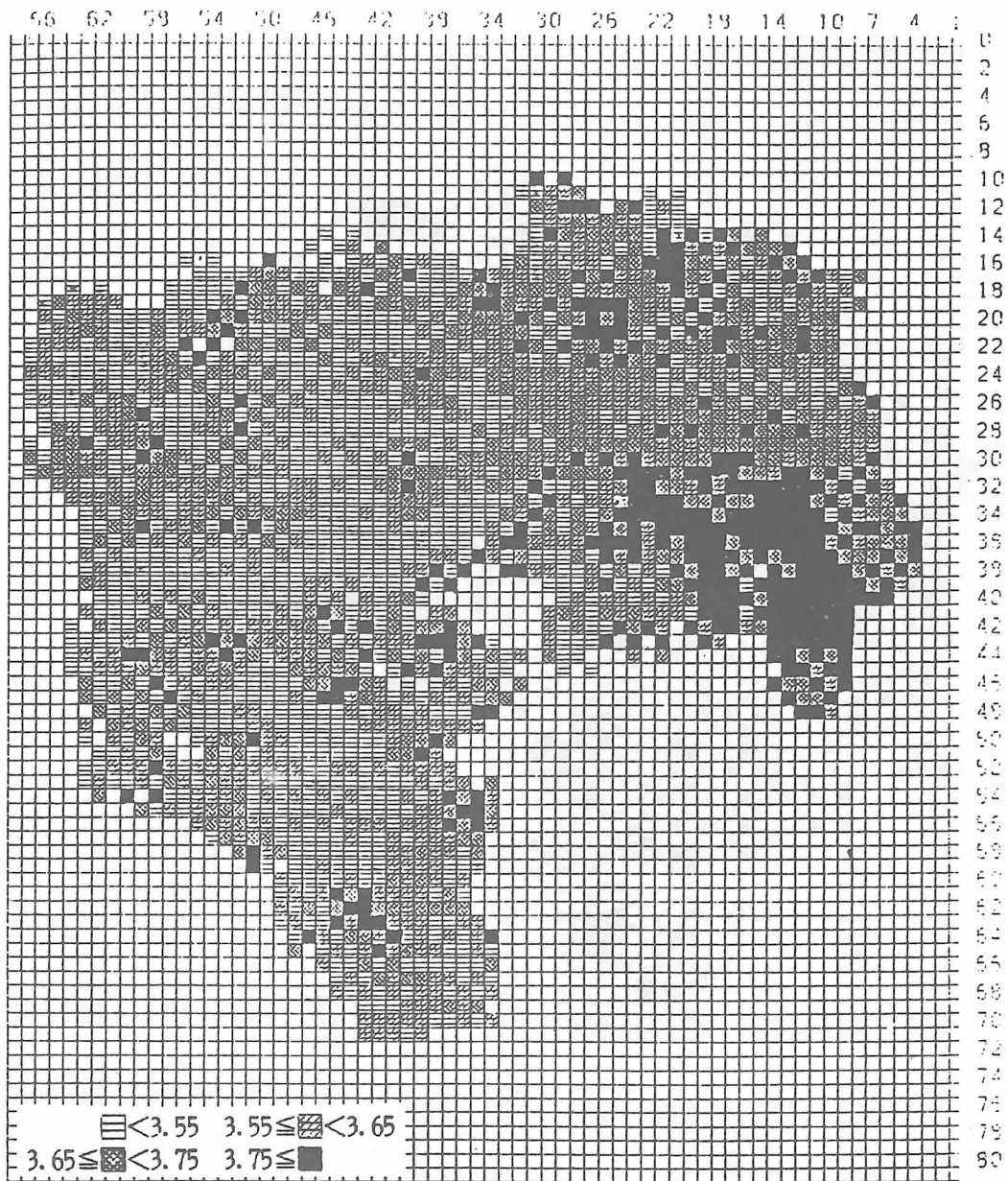


図-7 木造のみによる震度分布

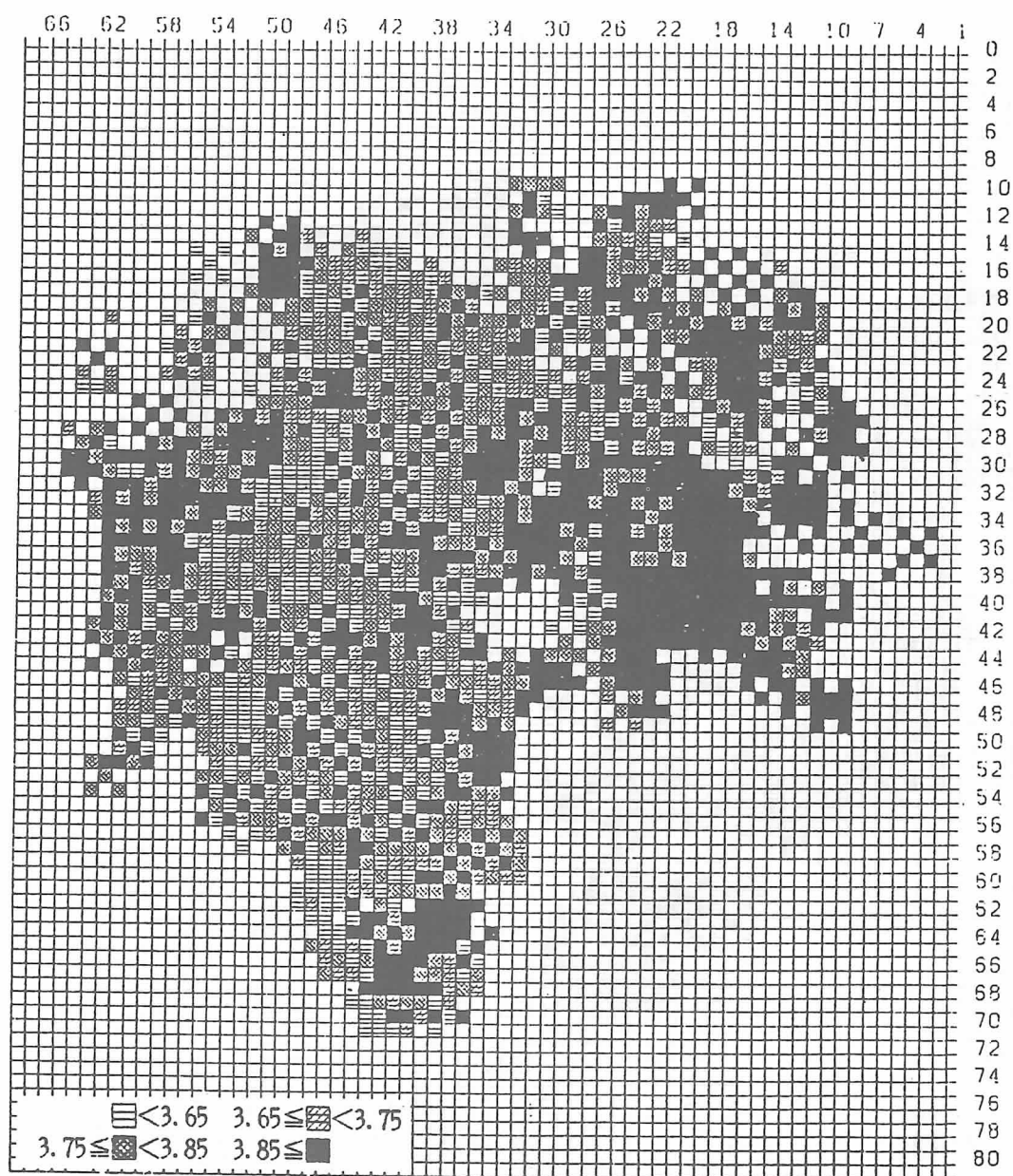


図-8 RC造のみによる震度分布

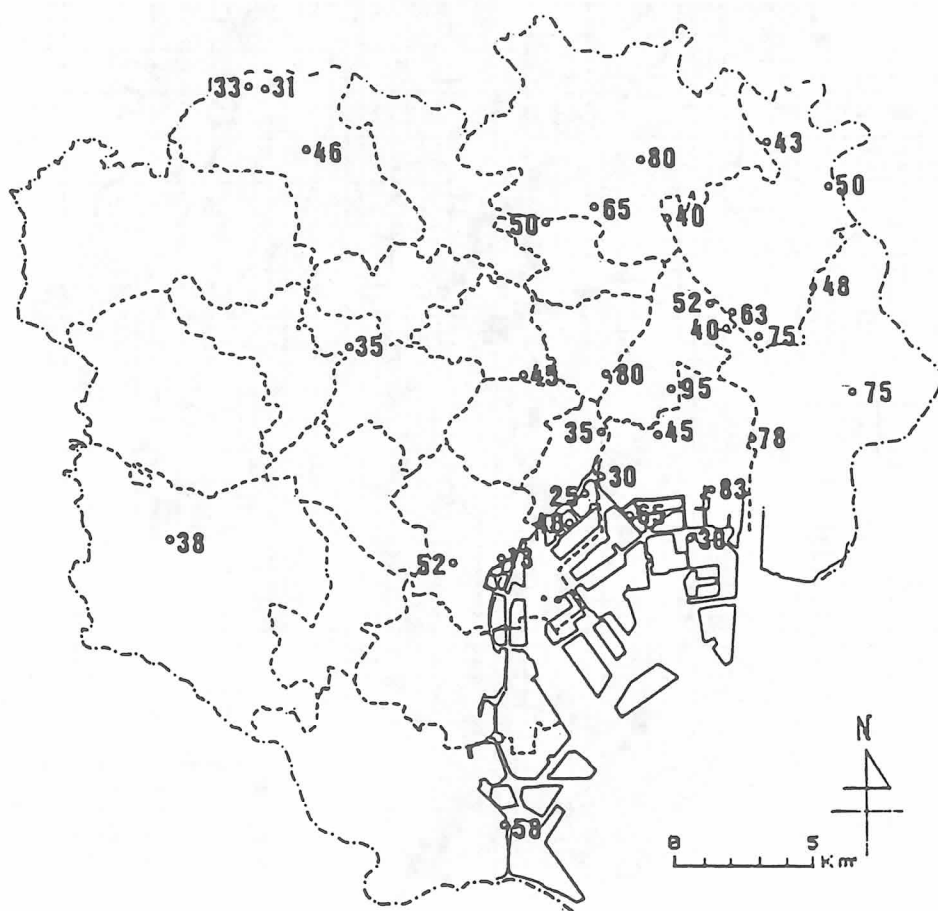


図-9 G.L.における最大加速度記録
(強震速報No30より作図) (N-S方向・gal)

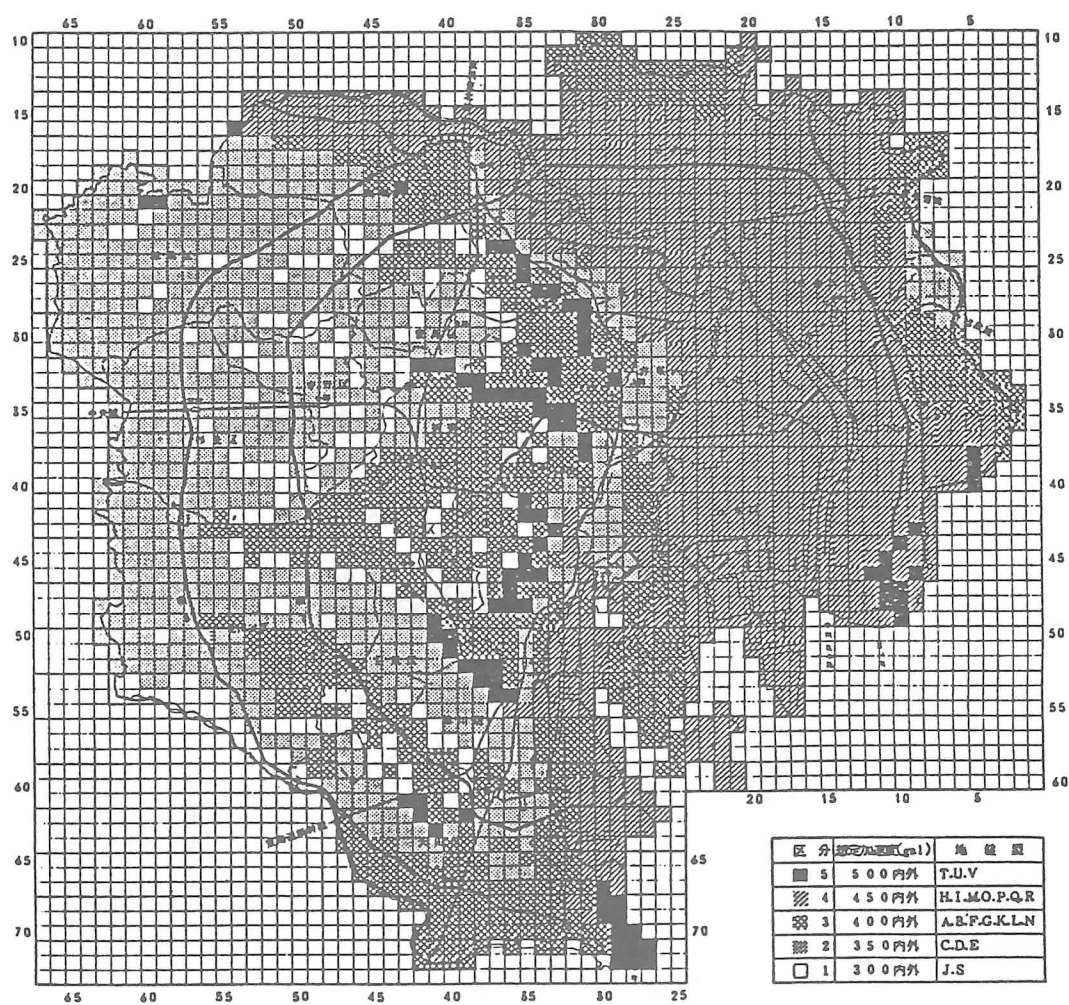


図-10 地表における想定最大加速度分布
(東京都都市計画局1984)

表-2 各種地盤における建物の構造別推定震度

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Σ
全 体	平均 δ I	1109 3.57 -0.06	2683 3.62 -0.01	4468 3.57 -0.06	2305 3.56 -0.07	1457 3.69 0.05	1174 3.67 0.04	479 3.64 0.01	697 3.82 0.19	13 3.74 0.11	96 3.63 0.0	77 3.63 -0.16	219 3.47 0.0	833 3.63 0.0	321 3.61 -0.02	3956 3.72 0.09	227 3.85 0.22	1421 3.72 0.09	2036 3.78 0.15	2190 3.57 -0.06	617 3.59 -0.04	188 3.60 -0.03	90 3.76 0.13	2057 平均 3.63 —
木 造	平均 δ I	627 3.56 -0.04	1084 3.59 -0.01	2815 3.53 -0.07	1375 3.54 -0.06	717 3.62 0.02	574 3.63 0.03	257 3.62 0.02	386 3.79 0.19	3 3.91 0.31	43 3.64 0.04	34 3.63 0.03	114 3.44 -0.16	260 3.51 -0.09	169 3.61 0.01	1964 3.68 0.08	135 3.82 0.22	728 3.69 0.09	1003 3.71 0.11	1135 3.53 -0.07	310 3.54 -0.06	77 3.63 0.03	60 3.69 0.09	13670 平均 3.60 —
R C 造	平均 δ I	292 3.66 -0.07	1067 3.68 -0.05	1162 3.68 -0.05	600 3.66 -0.07	419 3.79 0.08	360 3.78 0.05	162 3.68 -0.05	170 3.88 0.15	7 3.60 0.16	34 3.57 -0.16	35 3.57 -0.16	69 3.54 -0.19	371 3.73 0.0	106 3.70 -0.03	1135 3.78 0.05	46 3.81 0.08	398 3.81 0.08	587 3.91 0.18	678 3.67 -0.06	177 3.74 0.01	71 3.50 -0.23	15 3.84 0.11	7059 平均 3.73 —

δ I = I - 平均震度

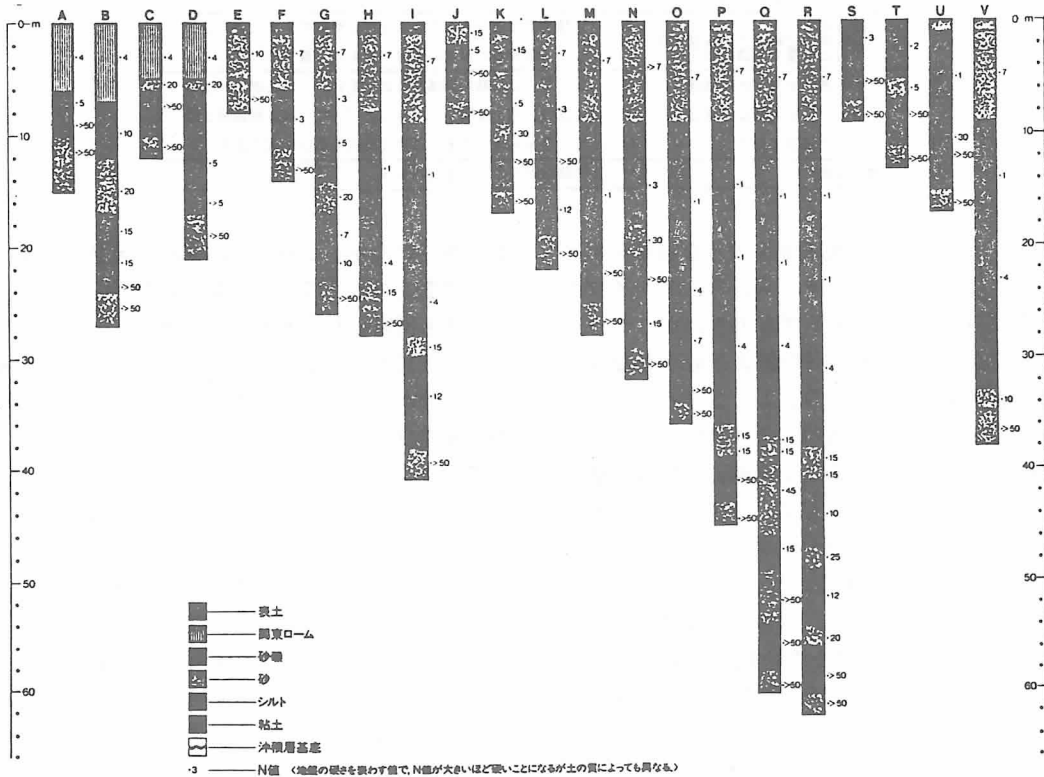


図-11 地盤分類別柱状図(東京都1984)

表-3 地盤分類の解説(東京都1984)

分 布		Type	備 考
台 地	茶臼台地	A	Aに比べてBの方がN値の小さい粘土・シルト層や砂層が多い
		B	
	海性の台地	C	Dの10～15mにみられる粘土層の有無により分類
		D	
埋没河床上、及び 埋没谷底の一部 山の手台地の東縁部に続く 低地と、下総台地の西縁に 続く低地にある江戸川区		E	沖積層の厚さとN値の小さい洪積層の厚さにより分類
		F	
		G	
		H	
		I	
埋没海蔵 段丘上	多摩川低地、荒川 低地の台地より	J	沖積層の基盤が砂れきである。 埋没谷底の一部で、洪積砂れ き層直上に沖積層が分布する地 域及び沖積層の層相層厚から見 て妥当と思われる地域では、M、 N、O、Pのタイプに含めた。
		K	
		L	
	下総の下流側	M	
		N	
	東京低地の埋没 谷底の両側	O	
埋没谷底 谷東谷と呼ばれ、東京低地 中央に位置する深い谷上	P	沖積層が厚い	
	Q	沖積層厚はどちらも55m程度だがQの方が上流に位置し、沖積層幅にN値の比較的大きい砂層を挟んでいる。	
	R	S、T、Uの順に沖積層厚が小さい。最上部が粘土層（又は、粘土層混じり）である。特に、Uは軟弱粘土層を10m前後も持ち、部内では最も悪い地盤である。	
	S		
	T		
山の手台地を刻む谷底低地 S、T、Uの順に上流部 より下流部に分布		U	
埋没谷底		V	沖積層が35m前後分布する。

表5・1から、平均値よりも大きな震度を示した地盤として、H、O、P、Q、R、Vタイプなどがあげられる。(Iタイプも大きいですが、データが十分でない。)一方、平均値よりも小さな震度を示す地盤は、A、C、D、L、Sタイプなどである。図5—10より震度の大きい地盤は少なくとも25m以上、大半は30m以上を越える軟弱な層からなっている。それに対して、震度の小さい地盤は軟弱層厚が小さく、Dタイプの1.7mを除けば10m程度かそれ以下である。

又、Gタイプのように、木造では震度がやや大きく、RCでは平均より小さい地盤、あるいは逆にMやTタイプのようにRC造では平均の震度であるが、木造は平均値よりかなり小さい地盤もある。

5—7 RC造建物の階層別震度

東京区部には、中高層の共同住宅が相当数実在している。既に5—3で述べたように、構造種別毎の震度推定に対して条件係数の見直しの必要性

が示唆されたが、これは、中高層住宅居住者を含めた調査を行う上では、階数別に推定された震度の吟味も同時に行われるべきである。

表—4にその結果を示す。ここでは、各項目毎の震度分布がガウス分布を示すとして平均値と標準偏差並びにデータのサンプル数を示している。

表—4より、2つの傾向が明らかとなる。その第1は、上層階ほど大きな震度となることと、2階より1階の震度が大きく推定されていることである。前者は、高層建物の性質上当然予想されることであり今後その相対的な比率を確定することが必要であろう。後者の問題は、まさに、条件係数の妥当性の問題で、本来は1階の震度が上層階より低目の震度となるべきものと思われ、修正すべき課題であるといえる。

6 調査の問題点と今後の課題

対象とした地震の震央が東京区部から近い位置であり、当然距離減衰を考慮すべきであるが、現

表-4 鉄筋コンクリート建物の階層別震度推定

階 段 別	対 象 階	平均震度 I_{av}	標準偏差 σ	サンプル数 n
全 体 (階 数 区 分 無 視)	1	3.73	0.63	1561
	2	3.63	0.66	1927
	3～5	3.68	0.60	3030
	6～9	3.82	0.58	913
	10～	3.94	0.66	473
1	1	3.81	0.67	61
2	1	3.77	0.64	516
	2	3.61	0.59	624
3	1	3.73	0.64	805
	2	3.67	0.60	999
5	3～5	3.70	0.70	2200
6	1	3.65	0.70	99
	2	3.56	0.68	159
9	3～5	3.66	0.58	422
	6～9	3.84	0.61	406
10	1	3.48	0.84	69
	2	3.58	0.62	134
以 上	3～5	3.62	0.63	398
	6～9	3.80	0.57	491
	10～	3.94	0.66	469

段階では考慮していない。それは、震源がかなり深く、そのため震央の近い割には、とりあえず距離減衰の差は無視しうると判断したものである。ただ、震度推定方法そのものを検討する必要を提起したが、そのためには、徐々に公表されつつある震源データをもとに、距離減衰による影響を除去せねばならない。

データの採集の面では、都心の児童・生徒の過疎地、即ち住居用建築物が極度に少ない地域では、学校のみを通じての調査は限界があり、これを補う何らかの方策が必要と思われる。

また、このような調査は、震源や規模の異なるいくつかの地震時に同じような調査を行うことが必要であるといえる。

7 まとめ

以上、若干の問題を残してはいるものの、東京区部において、高密度の震度分布図を作成し得たことは、従来行われて来たサイスミック マイクロゾーニングの諸資料に、新しくかつ具体的な裏づけをもつ有効な資料を付加したものである。

又、この地震時の区部の震度は気象庁の発表に拘らず、震度Ⅳと評価する方が妥当である。

謝辞

調査を遂行する上で、主旨をご理解下さり、全面的なご協力賜わった、各区教育委員会、各中学校並びに生徒のご家族に心からお礼申し上げます。又、調査票の搬送、データ整理、震度推定、作表・作図など膨大な作業を短期間に実行してくれた黒岩和彦、田中直樹、佐藤和雄君をはじめ関東学院大学の大学院・学部多くの学生諸君並びに貴重な助言、討論を頂いた都市研究センターの諸氏に対して、心からの謝意を表します。

文 献 一 覧

太田裕，後藤典俊，大橋ひとみ

1979「アンケートによる地震時の震度推定」，北大工

学部研究報告第92号

東京都都市計画局

1984『地震に関する地域危険度測定調査報告（区部第
2回）』

強震観測事業推進連絡会議

1985『強震速報 No31』1985年10月

岡田成幸，宮川忠芳，太田裕

1985「高密度震度調査にもとづく地域内震度予測式の

構成—札幌市を例として—」日本建築学会構造系

論文報告集第348号

1985年10月4日 茨城・千葉県境地震の アンケートによる震度調査

応用地質株式会社

瀬川秀恭・金子史夫

1. はじめに

1985年10月4日午後9時26分頃、茨城・千葉県境で発生した地震は、東京に56年ぶりの震度Ⅴをもたらした。首都圏域を中心に広範囲にわたって有感であった。ところで、首都圏域では、地震防災を目的としたサイスミックマイクロゾーニング調査が数多く実施されてきている。今回のアンケート調査は、マイクロゾーニング調査における地震動予測手法の検証を行うことを主な目的とし、当社の職員、家族を対象に行った。

2. 調査の方法

調査は、太田裕ら(1974)によるアンケートの方法を基本にして、設問内容を多少改変したアンケート用紙を作成し、実施した。震度Ⅱ以上を記録した11都県の約500名に配布し、397通の解答を得た(回収率87%)。ただし調査数が少なく、地域的には必ずしも均一に分布してはいない。

3. 結果

回収した397通のうち、震度の算出が可能な333通について、1回答者につき、1つの震度を算出し、第3次標準メッシュ(東西、南北約1km×1km)毎に平均している。震度が決定されたメッシュ数は217である。図-1には、首都圏域のアンケート調査による震度分布を示す。全般に震度3+以上が分布しており、最も大きいのは震度5-で、千葉県に2ヶ所、東京、埼玉に各1ヶ所分布している。

以上の調査結果に対して、マイクロゾーニング調査における地盤情報をもとに震度を予測する方法を今回の地震に適用して得られた結果との比較を試みた。図-2に一例を示す。マイクロゾーニング調査における地震動予測手法による震度は、アンケート調査による震度に比べてやや大きめに求まっているが、80%以上が±1ランク(気象庁震度階の1/2)の範囲内におさまっている。

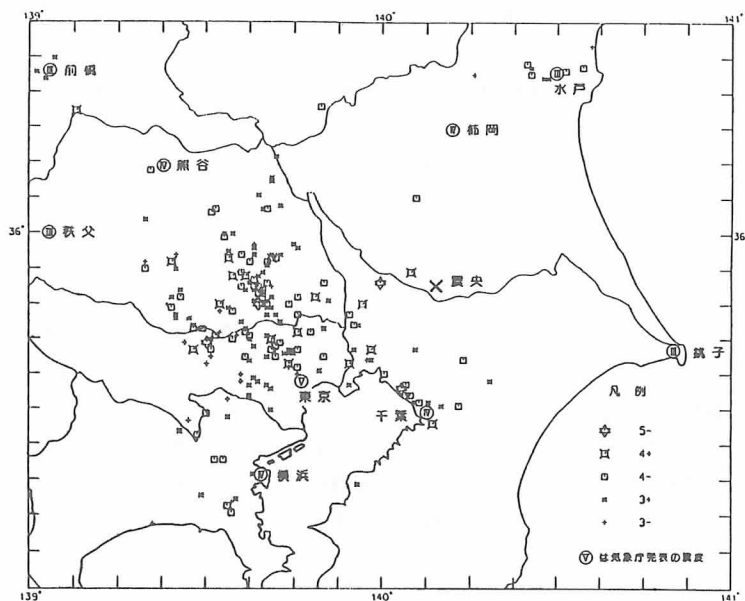


図-1 アンケート調査による震度分布

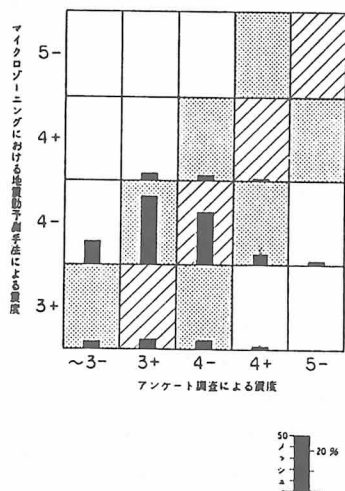


図-2 アンケート調査による震度と地震動予測手法による震度の比較