

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、そのつど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、銚子、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校当たり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依頼し、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校当たり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

$\sum Ni$: 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。

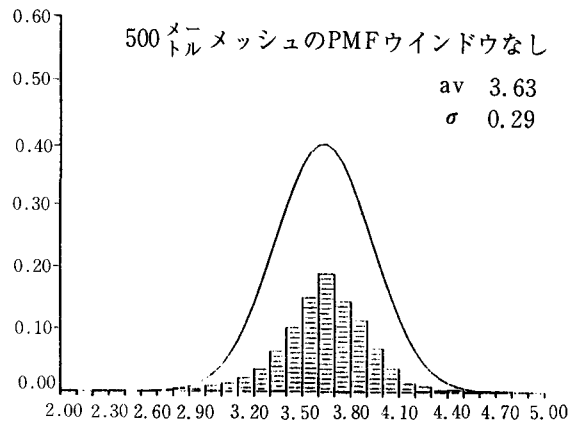


図-3 メッシュ毎の推定震度の分布関数

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 |

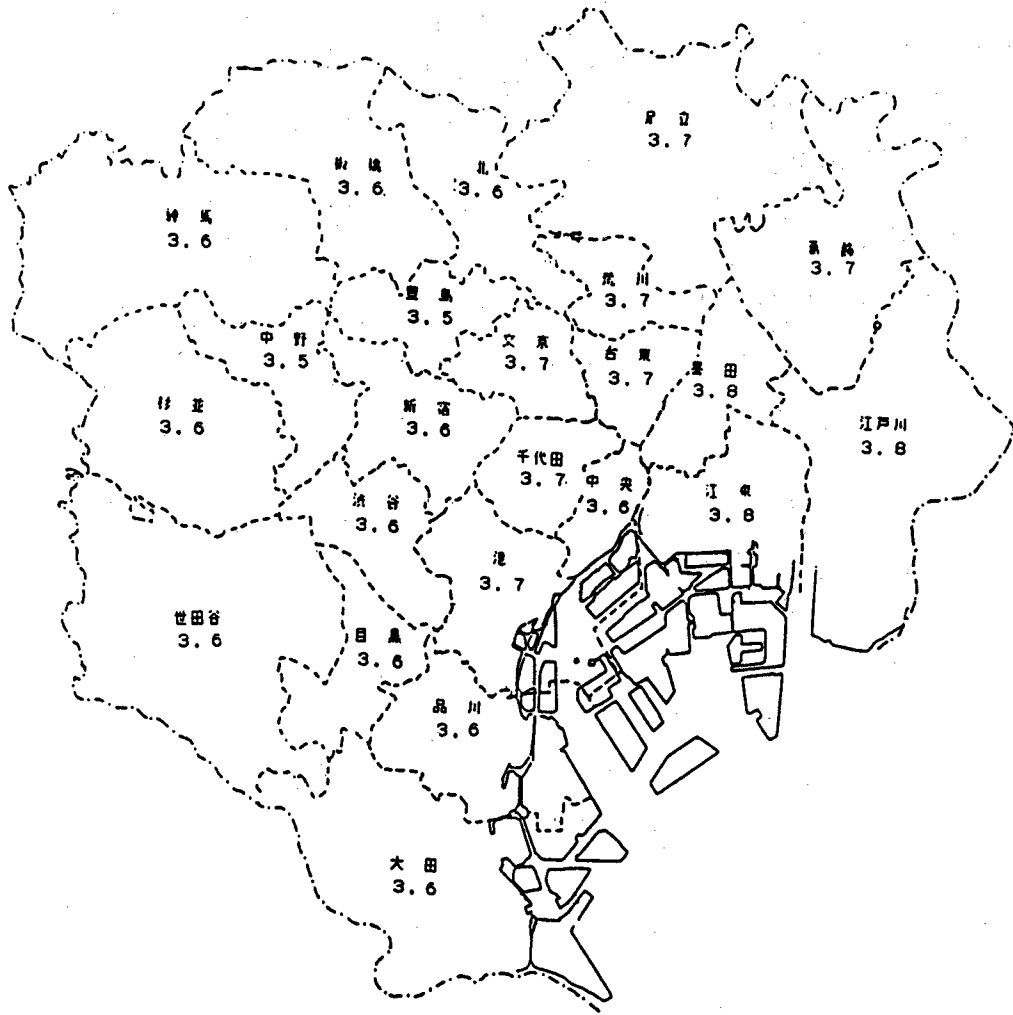


図-2 区毎の推定震度

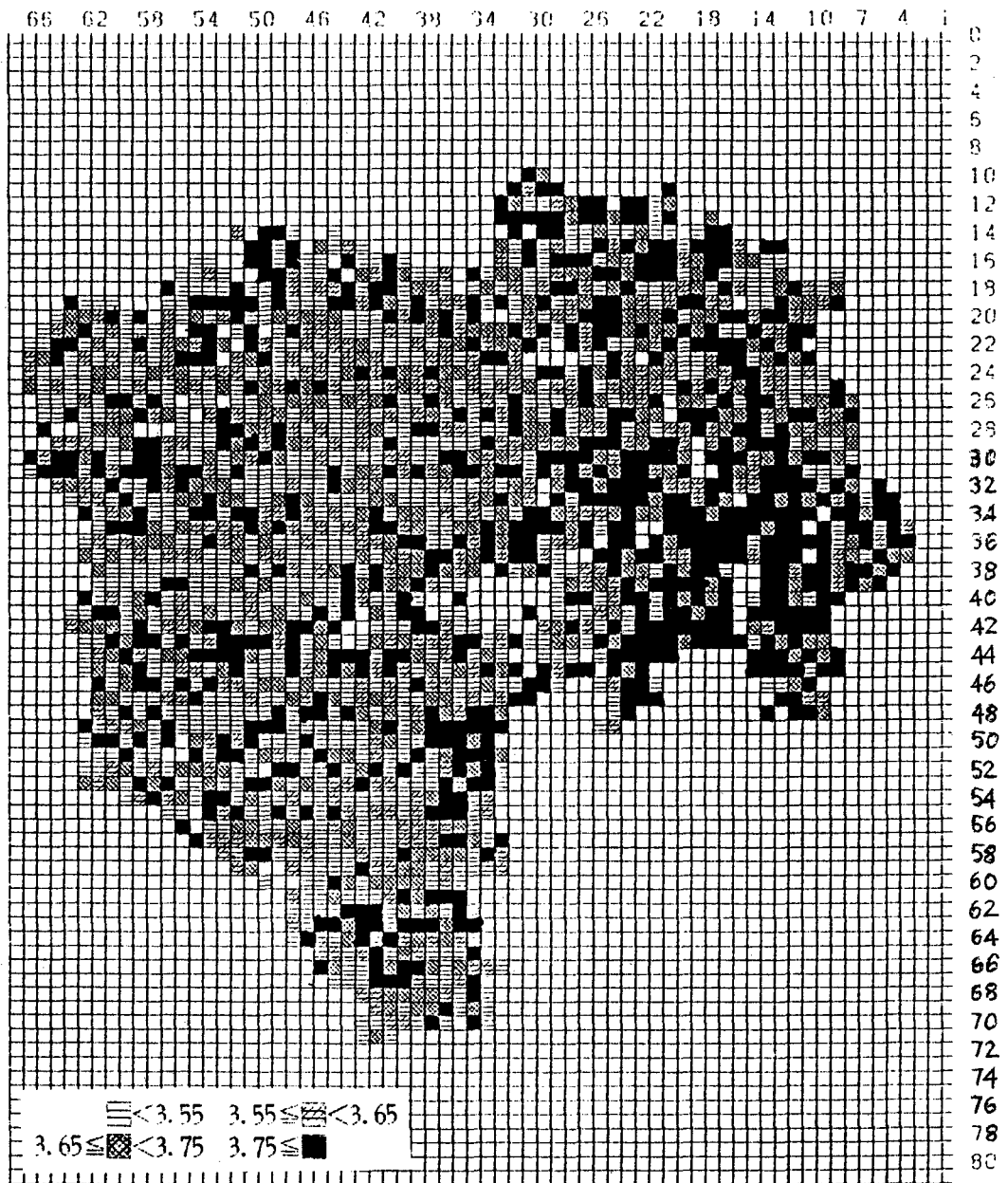


図-4 メッシュ毎の震度分布

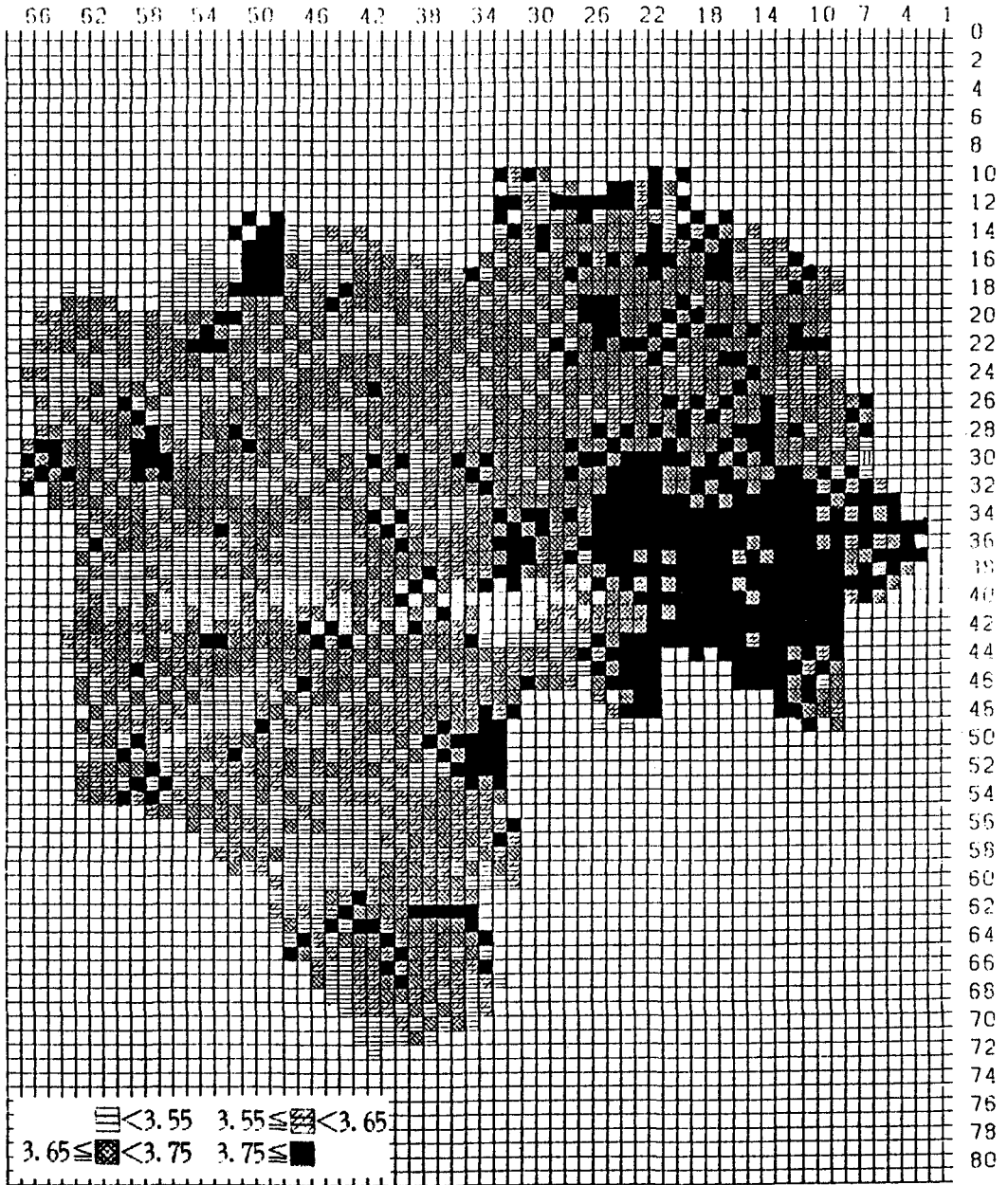


図-5 メッシュ毎の震度分布(平滑化操作後)

の検討を行った。図-6は、木造とRCデータを取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。

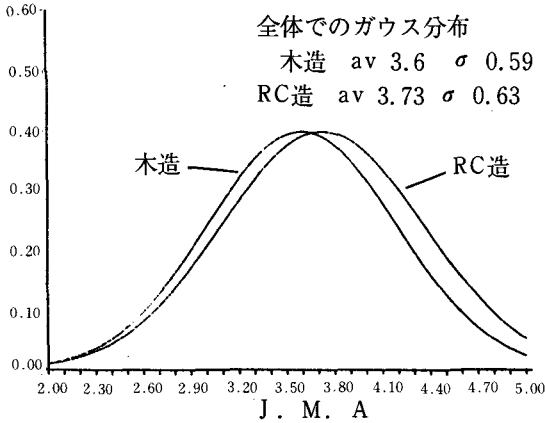


図-6 木造とRC造による推定震度の分布関数

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-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-7に、RC造については図-8に示した。(但し、図-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-7、8ではデータ7枚未満の場合をカットした。又、図-8は、図-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-5および図-7の場合より0.1大きくしている。) 図-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-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-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-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、強調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-10に示す。これと、図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 δ 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-11と表-3に示している。

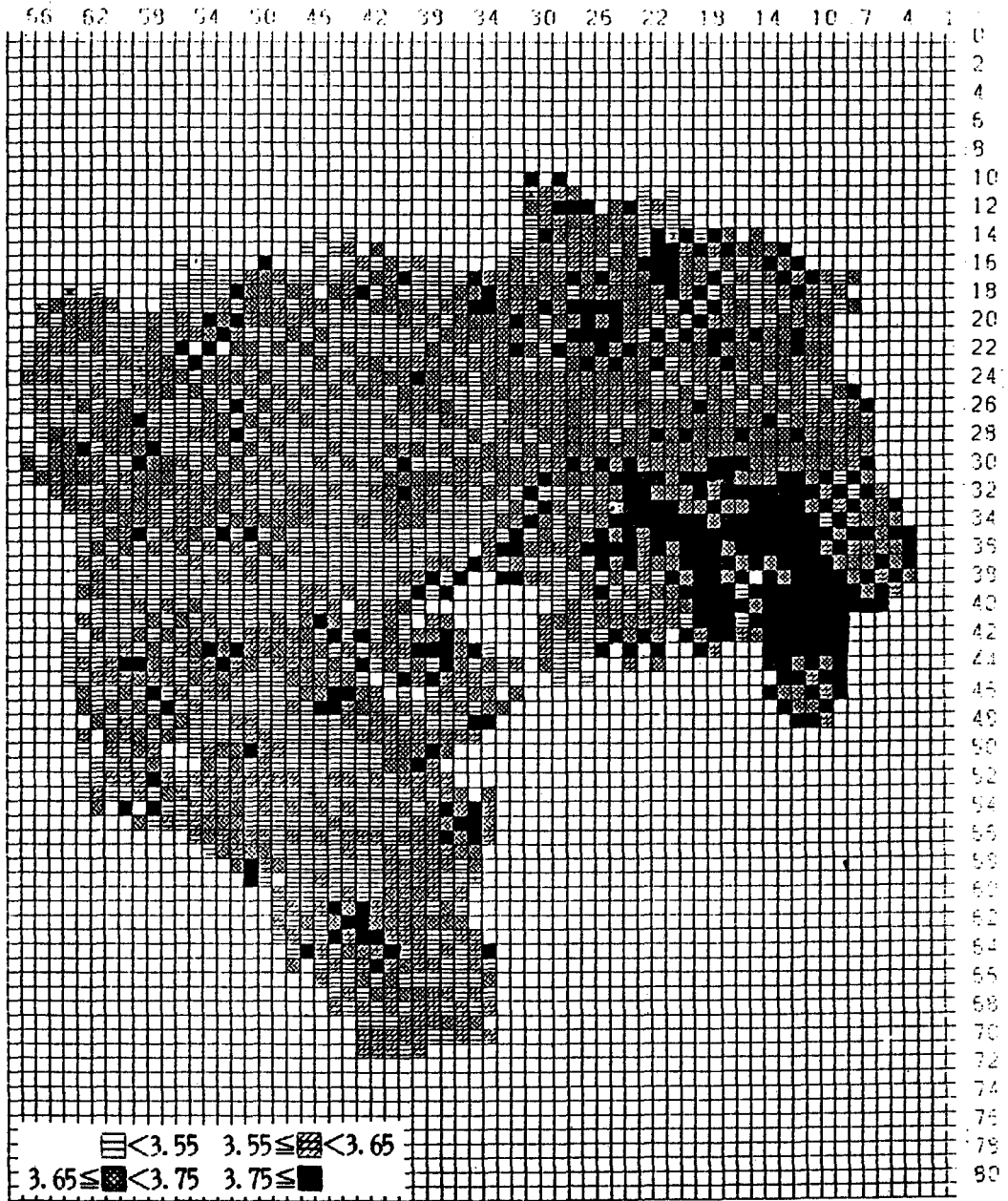


図-7 木造のみによる震度分布

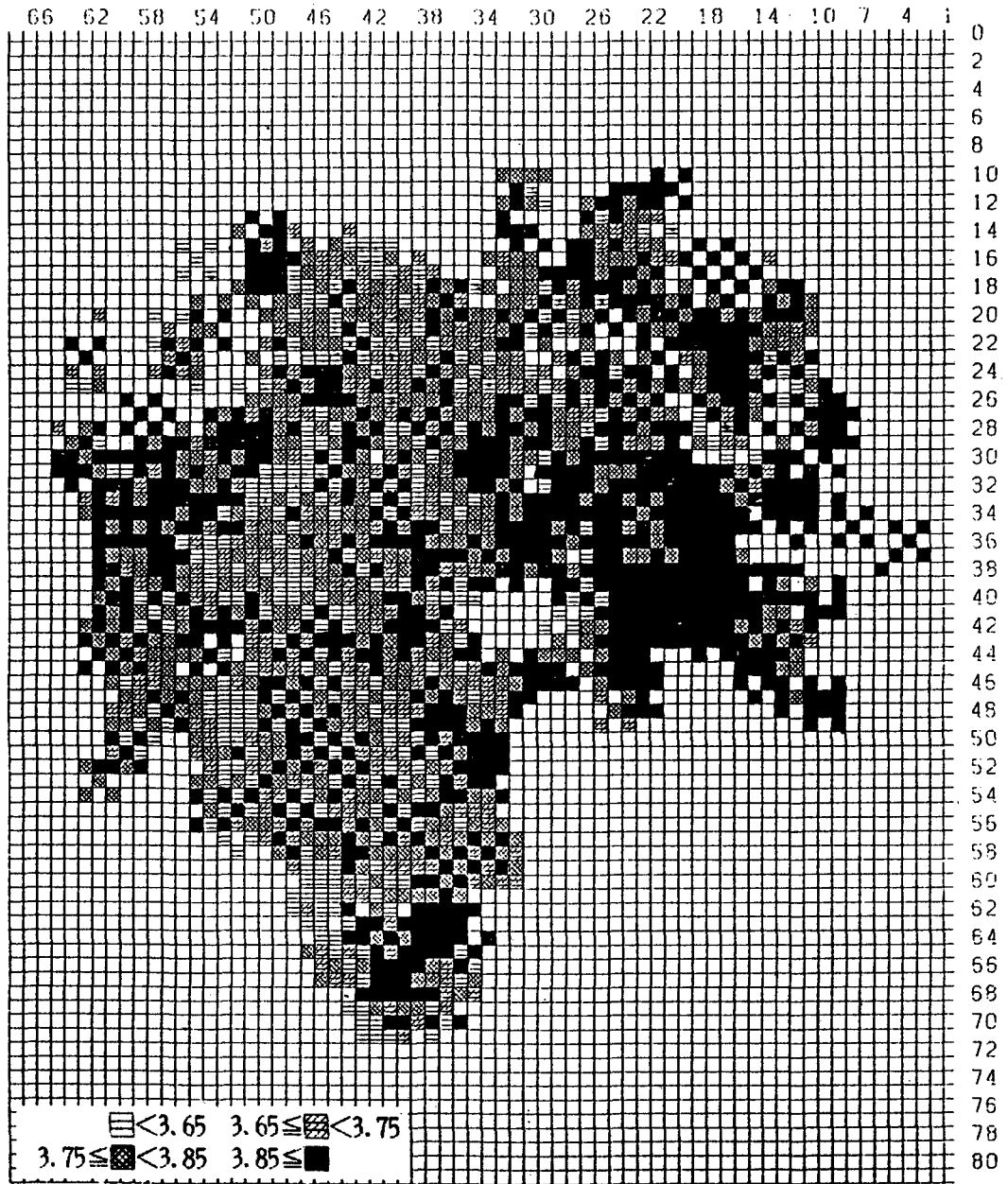


図-8 RC造のみによる震度分布

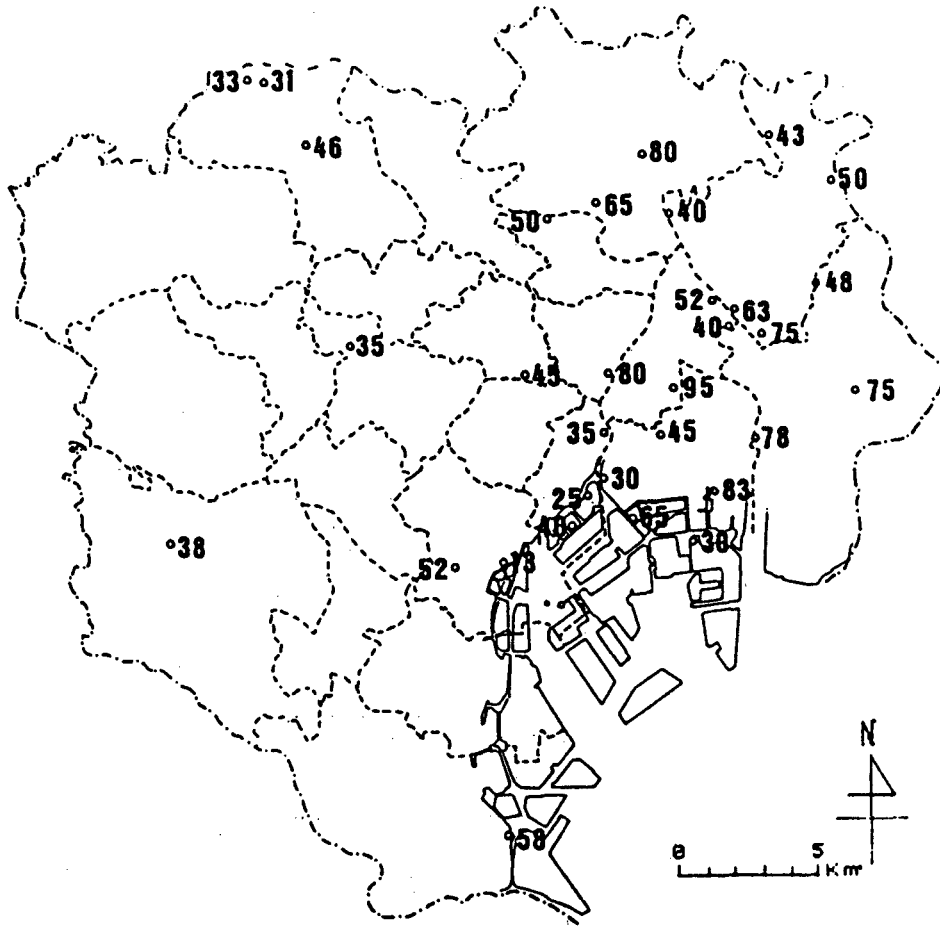


図-9 G.L.における最大加速度記録
(強震速報No30より作図) (N-S方向・gal)

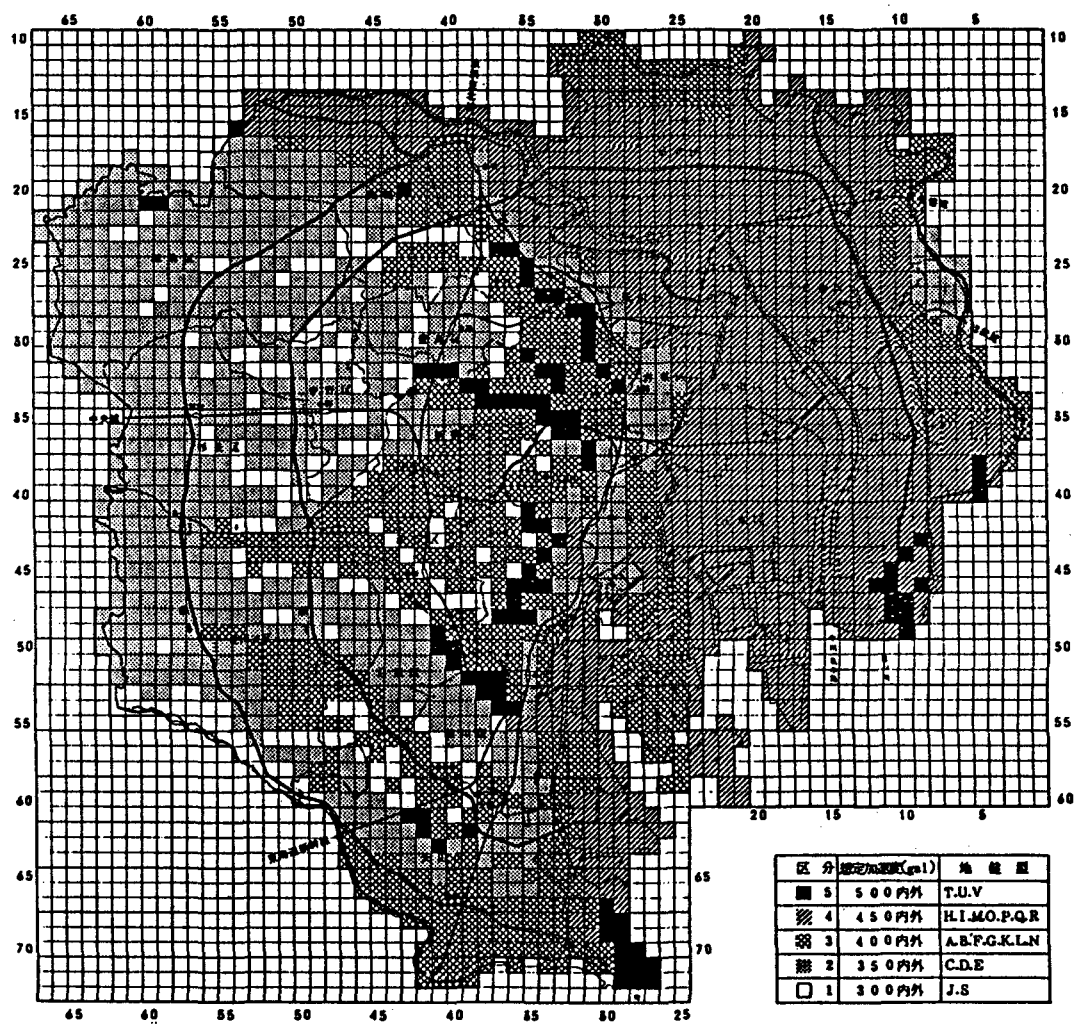
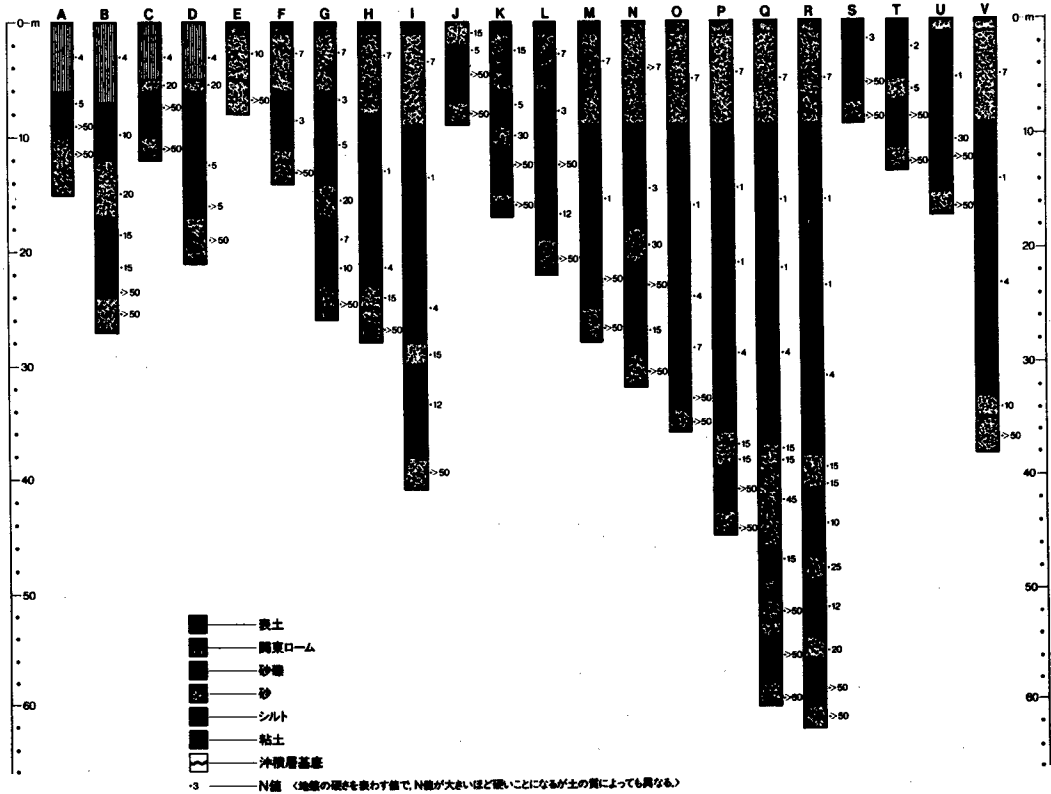


図-10 地表における想定最大加速度分布
(東京都都市計画局1984)

表一 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 | 平均震度 | 1109 | 2683 | 4469 | 2205 | 1457 | 1174 | 479 | 897 | 13 | 96 | 77 | 219 | 833 | 321 | 3956 | 227 | 1421 | 2036 | 2190 | 617 | 188 | 90 | 2657 |
| | ΔI | 3.57 | 3.62 | 3.57 | 3.56 | 3.68 | 3.67 | 3.64 | 3.82 | 3.74 | 3.63 | 3.63 | 3.47 | 3.63 | 3.61 | 3.72 | 3.85 | 3.72 | 3.78 | 3.57 | 3.59 | 3.80 | 3.76 | 平均 3.63 |
| 木 造 | 平均震度 | 627 | 1084 | 2615 | 1375 | 717 | 574 | 257 | 386 | 3 | 43 | 34 | 114 | 260 | 169 | 1964 | 135 | 728 | 1003 | 1135 | 310 | 77 | 60 | 13670 |
| | ΔI | -0.04 | -0.01 | -0.07 | -0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.19 | 0.31 | 0.04 | 0.03 | -0.16 | -0.00 | 0.01 | 0.08 | 0.22 | 0.09 | 0.11 | -0.07 | -0.06 | 0.03 | 0.09 | 平均 3.60 |
| R C 造 | 平均震度 | 292 | 1067 | 1162 | 600 | 419 | 360 | 162 | 170 | 7 | 34 | 35 | 69 | 371 | 108 | 1135 | 46 | 398 | 587 | 678 | 177 | 71 | 15 | 7959 |
| | ΔI | 3.66 | 3.68 | 3.68 | 3.66 | 3.79 | 3.78 | 3.68 | 3.88 | 3.80 | 3.57 | 3.57 | 3.54 | 3.73 | 3.70 | 3.78 | 3.81 | 3.81 | 3.91 | 3.67 | 3.74 | 3.50 | 3.84 | 平均 3.73 |
| | | -0.07 | -0.05 | -0.05 | -0.07 | 0.06 | 0.05 | -0.05 | 0.15 | 0.16 | -0.16 | -0.16 | -0.19 | 0.0 | -0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.18 | -0.06 | 0.01 | -0.23 | 0.11 | — |

$\delta I = I - \text{平均震度}$



図一 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 | 末吉台地 | A | Aに比べてBの方がN値の小さい粘土・シルト層や砂層が厚い |
| | | B | |
| | 海性の台地 | C | Dの10~15mにあられる粘土層の有無により分類 |
| | | D | |
| 埋没路面上、及び埋没谷底の一部 山の手台地の東縁部に続く低地と、下段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 | |
| 埋没海段 段丘上 | 多摩川低地、荒川低地の台地より | J | 沖積層の差盤がけれきである。埋没谷底の一部で、洪積れき層直上に沖積層が分布する地域及び沖積層の層相厚さから見ても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 | |
| | 下記の下流側 | M | |
| | | N | |
| | | O | |
| 東京低地の埋没谷底の両側 | P | 沖積層が厚い | |
| | | | |
| 埋没谷底 東京低地中央に位置する深い谷上 | | 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、沖積層中にN値の比較的大きい砂層を挟んでいる。 |
| | | R | |
| 山の手台地を閉じ谷底低地 S、T、Uの順に上流部より下流部に分布 | | S | S、T、Uの順に沖積層厚が小さい。最上部が粘土層(又は、粘土層扱い)である。特に、Uは軟弱粘土層を10m前後も持ち、砂内では最も悪い地盤である。 |
| | | T | |
| | | 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よう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性を提起したが、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ズミック 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と見える。

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

DISTRIBUTION OF SEISMIC INTENSITIES IN CENTRAL TOKYO
— A CASE STUDY BY QUESTIONNAIRE SURVEY ON
THE EARTHQUAKE OF
SOUTH IBARAKI PREFECTURE ON OCTOBER 4 , 1985.—

*Toshio Mochizuki **Norio Abeki *Keishi Shiono

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

**Faculty of Engineering, Kanto Gakuin University

Comprehensive Urban Studies No.29,1986,pp.67—86

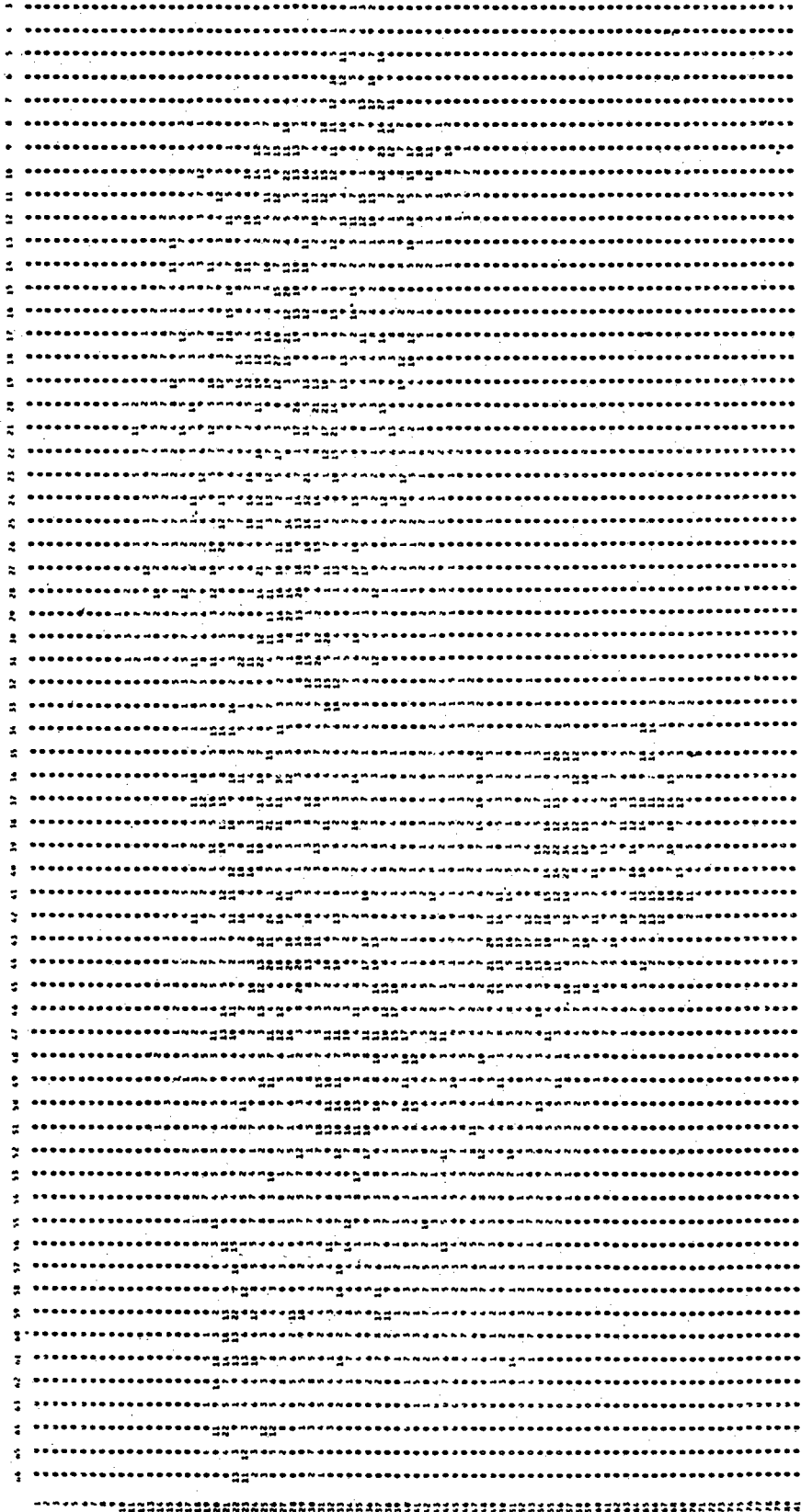
Distribution of seismic intensities in central area of Tokyo was estimated by questionnaire survey of the earthquake of south Ibaraki Prefecture on October 4,1985.

Questionnaires were delivered for about 34000 persons, and answers come back to us about 27000 sheets. So those answers covered on almost area of this survey.

By this survey, it is estimated that mean value of seismic intensities in this area was about 3.6 (JMA).

And then, distribution maps of seismic intensities for each 23 Wards, and for each meshes with 500m square were made.

In addition, another matters are discussed the relations with estimation method of seismic intensity.



付図一 2 メッシュ毎の回収調査票数(木造)



付図一 3 メッセージ毎の回収調査票数(RC造)