

アンケート震度調査に基づく 高密度震度分布図の作成

大中 太郎¹・翠川 三郎²・阿部 進³

¹東京工業大学大学院生 総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259) (現 野村総研)

E-mail:smidorik@enveng.titech.ac.jp

²東京工業大学教授 総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

E-mail:smidorik@enveng.titech.ac.jp

³鶴見区役所副区長 (〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央3-20-1)

地域の地震防災を進めていく上で重要な基礎資料となる高密度震度分布図を作成するために、2006年7月23日に千葉県北西部で発生した地震(M6.0)を対象として、横浜市鶴見区において多数のアンケート震度調査票を配布し、3000点強の地点でアンケート震度を算出した。アンケート震度と観測された計測震度を比較し、その妥当性を検討した上で、各地点での震度データの空間補間を行い、高密度震度分布図を作成した。その結果、震度分布は非常に複雑であることを明らかにした。さらに、複雑な震度分布の要因を検討するために、震度分布と地形・地盤の関係について考察した。

Key Words : Detailed Seismic Intensity Map, Questionnaire Survey, Ground Condition, Regional Disaster Planning

1. はじめに

地域の地震防災を進めていく上で、行政のみならず市民が対象地域の地震動特性の分布を理解して、地区毎に適切な対策を実施しておくことが重要であり、市民にわかりやすいきめ細かい地震ハザードマップを作成することが望まれている¹⁾。地震動の特性は、震源特性、伝播特性および地盤特性の影響を受けるが、地盤特性の影響は大きく、比較的近い距離にある地点でも、地盤条件により地震動特性が大きく変化する場合がある。例えば、2007 年能登半島地震の際に輪島市での近接した2観測点で強震記録に大きな差がみられた。

近年、各機関による地震計ネットワークの発達により、観測記録に基づいて地震動特性の分布が把握可能になりつつある。しかしながら、地震計により観測されるデータは、例えば K-NET でおよそ 25 kmの間隔で、自治体でも市区町村レベルであり、町丁目単位などといった詳細なスケールによる地震動分布を把握するのに十分な数のデータが得られているわけではない。

地震計の数がもとより少なかった 1970 年代後半より、面的な地震動分布を把握することを目的として、地域住

民を対象に周囲の物体の動きや人体の揺れの大きさの感じ方などをアンケート調査する手法が開発され^{2),3)}、大地震時の震度分布を把握することを目的として、アンケート震度調査が広く行われるようになった^{4)~12)}。しかしながら、アンケート調査の依頼や調査票の配布・回収に手間がかかることや調査対象地域が広く設定される場合が多いことなどから、市民の視点に立ったきめ細かい震度分布を描けるほどの高密度な調査はみあたらない。

本研究では、2005年7月23日の千葉県北西部の地震(M6.0)を対象として、横浜市鶴見区において多数のアンケート震度調査票を配布し、非常にきめ細かい高密度震度図を作成することを目的とした。さらに、得られた震度分布と地形・地盤条件の関係について検討した。

2. アンケート調査と解析

(1) アンケート調査の概要

本研究で対象とした地域は、地形・地盤条件の変化に富んだ横浜市鶴見区で、対象とした地震は 2005 年 7 月 23 日に発生した千葉県北西部を震源とする M6.0 の地震で

ある。この地震では、東京で最大震度 5 強が観測され、鶴見区では 3.9～4.6 の計測震度が観測された。アンケートの被験者は鶴見区の各自治会の班長で、アンケート総配布数は 8371 枚、回収数は 4793 枚、有効回答数は 3811 枚であった。その中でも、丁目番地以下までの詳細な住所情報がある回答は 3090 件存在した。

本研究では、約 20 平方 km の対象地域に対して 3000 件以上の回答が得られており、1 平方 km あたりの回答数は 150 件強となっている。既往のアンケート震度調査^{4)～12)}が 1 平方 km あたり 10 件程度ないしそれ以下であるのと比べると、本研究のデータ密度は 10 倍以上と非常に高密度な調査となっている。

(2) アンケート震度の解析方法

アンケート震度 I_q の算定は太田らの手法^{2),3)}に従う。 i 番目の質問に対して j 番目の選択肢を選んだ時に割り当てられる質問項目に対する震度を震度係数 k_{ij} とする。また、構造種別、建物階数などにより与えられている揺れ易さをあらわす条件係数 α を考慮する。有効な回答が得られた質問数を Ne とするとアンケート震度 I_q は式(1)で表される。

$$I_q = \frac{1}{\alpha Ne} \cdot \sum_i^{Ne} k_{ij} \quad (1)$$

k_{ij} は文献 2) によるものを用いる。さらに、式(2)により気象庁震度と等価な値に変換する。

$$I_{JMA} = 2.958 \times (I_q - 1.456)^{0.547} \quad (2)$$

また、得られた震度が 4.5 以上のときは以下の高震度用の式(3)³⁾を用いて補正する。

$$I_M = 1.684 \times e^{0.220 \times I_{JMA}} \quad (3)$$

このようにして得られたアンケート震度を回収した自治会ごとにまとめると、アンケート震度は図 1 のような分布となる。鶴見区の南部でアンケートが得られていないのは工場地帯で自治会が存在しないためである。なお、図中の☆印は横浜市の強震計により計測震度が得られている地点である。

3. アンケート調査結果の検討

(1) 住所別のアンケート震度データの分布

より詳細な震度分布を検討するために、住所の判明しているアンケート 3090 件を地図上にプロットし、住所別のアンケート震度の分布図を作成し、図 2 に示す。住所を地図上にプロットするために、住所データを緯度経度に変換してアドレスマッチングを行った。

図中にアンケート震度のデータがない、または数件し

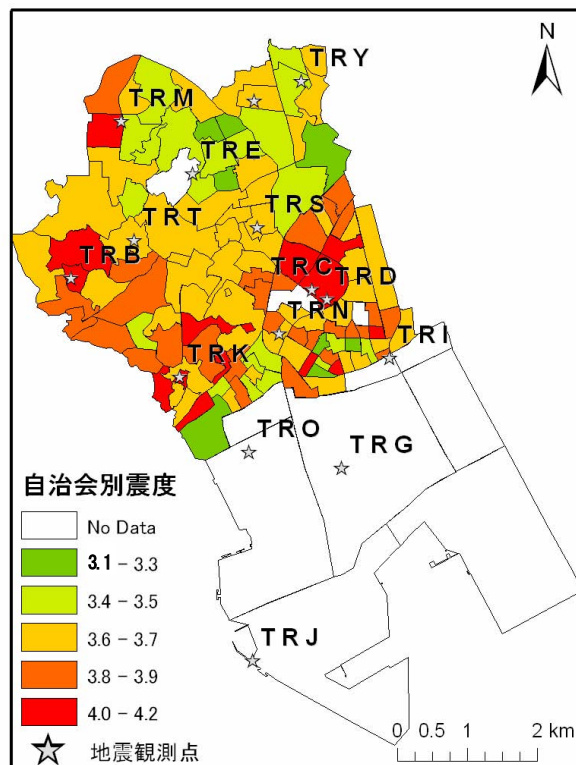


図 1 自治会別アンケート震度分布

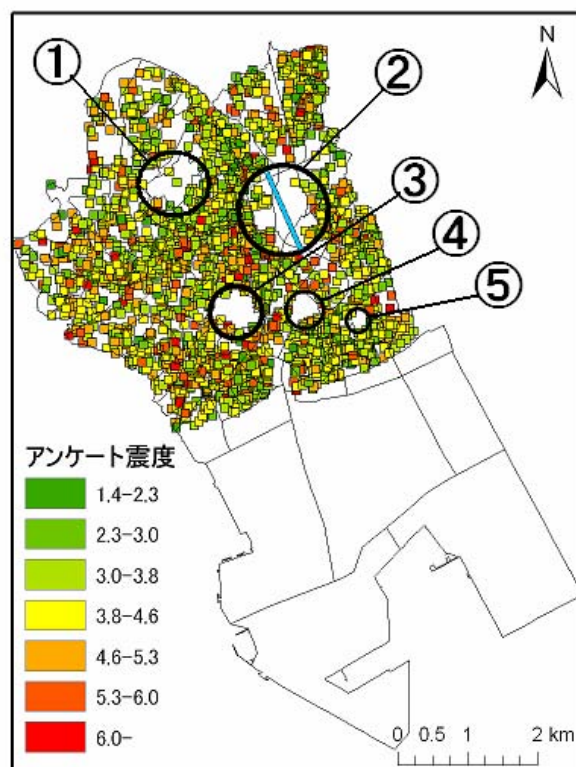


図 2 アンケート震度データの分布

かない地域に①～⑤までの番号がふつてある。①は公園である。②、③は、自治会も存在し、アンケートも回収されているが、詳細な住所情報が得られているのが数件しか存在せず、分布が疎な地域となっている。④、⑤はアンケートを回収できなかった地域である。

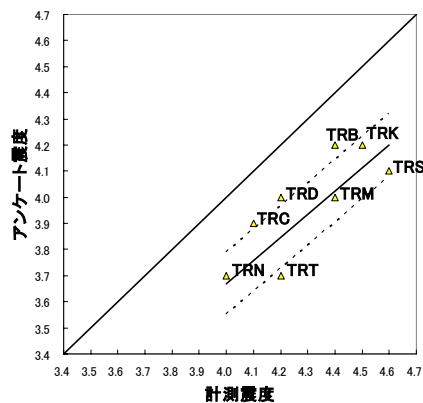


図3 アンケート震度と計測震度の関係

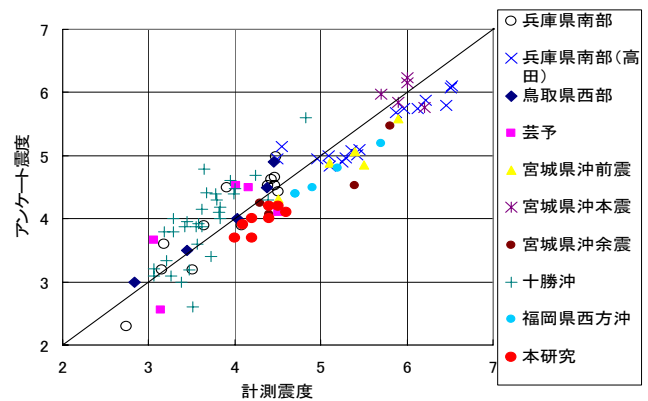


図4 既往研究との比較

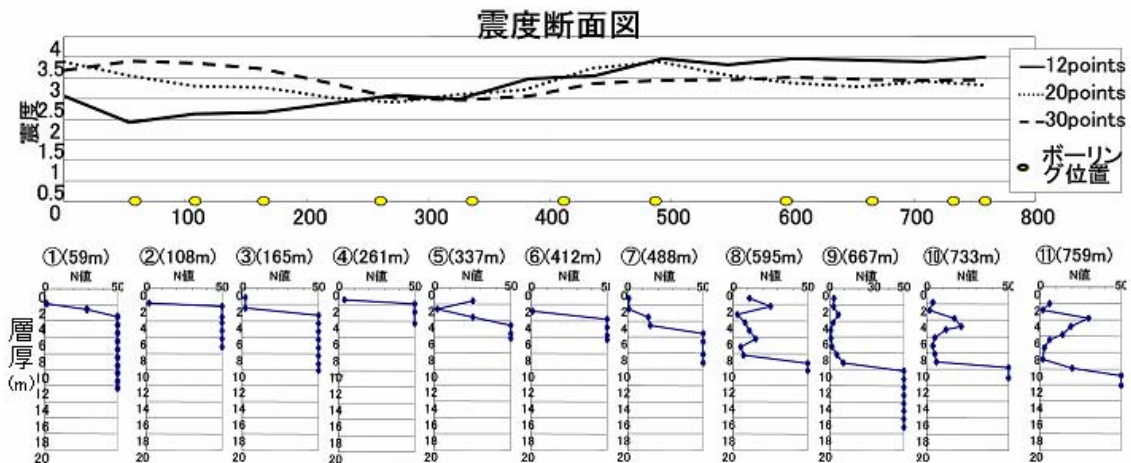


図5 震度の断面図とボーリングデータ

(2) アンケート震度と計測震度の関係

アンケート震度と計測震度との関係を検討するために、地震観測点から半径 250 m の範囲内かつ、地震観測点と同様な地形・地盤条件である地点のアンケート震度データを選び、その平均値を地震観測点のアンケート震度とした。図 3 にアンケート震度と計測震度の関係を示す。

これを見ると、計測震度が増大するにつれてアンケート震度は増大し、アンケート震度は計測震度と調和的である。ただし、アンケート震度は計測震度に比べ 0.3 程度小さい。

アンケート震度と計測震度の関係については、図 4 に示すように、既往の研究^{4)~12)}でも検討されており、例えば、2003 年十勝沖地震ではアンケート調査震度の方が大きめで、2005 年福岡県西方沖地震では本調査結果と同様に小さめの結果が得られており、地震毎に傾向が異なっている。

両者の差の原因については不明の点が多く、今後の課題ではあるが、本研究の結果は既往の結果のバラツキの範囲内におさまっており、本アンケート震度調査結果に特に問題がないものと判断できる。

4. 震度データの空間補間による高密度震度分布

アンケート震度と地形・地盤条件の関係を検討するために、図 2 に示したアンケート震度データを空間補間して、高密度震度分布図を作成した。用いたデータは、詳細な住所情報が得られている 3090 件で、使用した空間補間方法は Kriging 法を用いた。セルサイズは、後に用いる地盤データが 50m メッシュであることから、50m に固定した。補間を行う際のデータ数は 12 点、20 点、30 点の 3 パターンで行った。

データの密な地区で補間された震度分布を比較したところ、12 点ないし 20 点の場合は大きな違いはみられないが、30 点の場合には分布の傾向が異なり、スムージングがややきついにみえる。データの欠落している地区でも比較を行った。震度データが欠落している地区②から⑤のうちで最も大きな②の地区の水色の太線に沿って作成した震度の断面図を図 5 の上段に示す。この場合には、12 点と 20 点の場合で分布が異なっている。

どちらがより適切であるか厳密に判断する材料は乏しいが、ここでは軟弱層が厚いほど震度は大きくなるという仮定のもとに、図の下段に示すボーリングデータ¹³⁾と比較した。ボーリング①から⑧にかけて軟弱層が厚くな

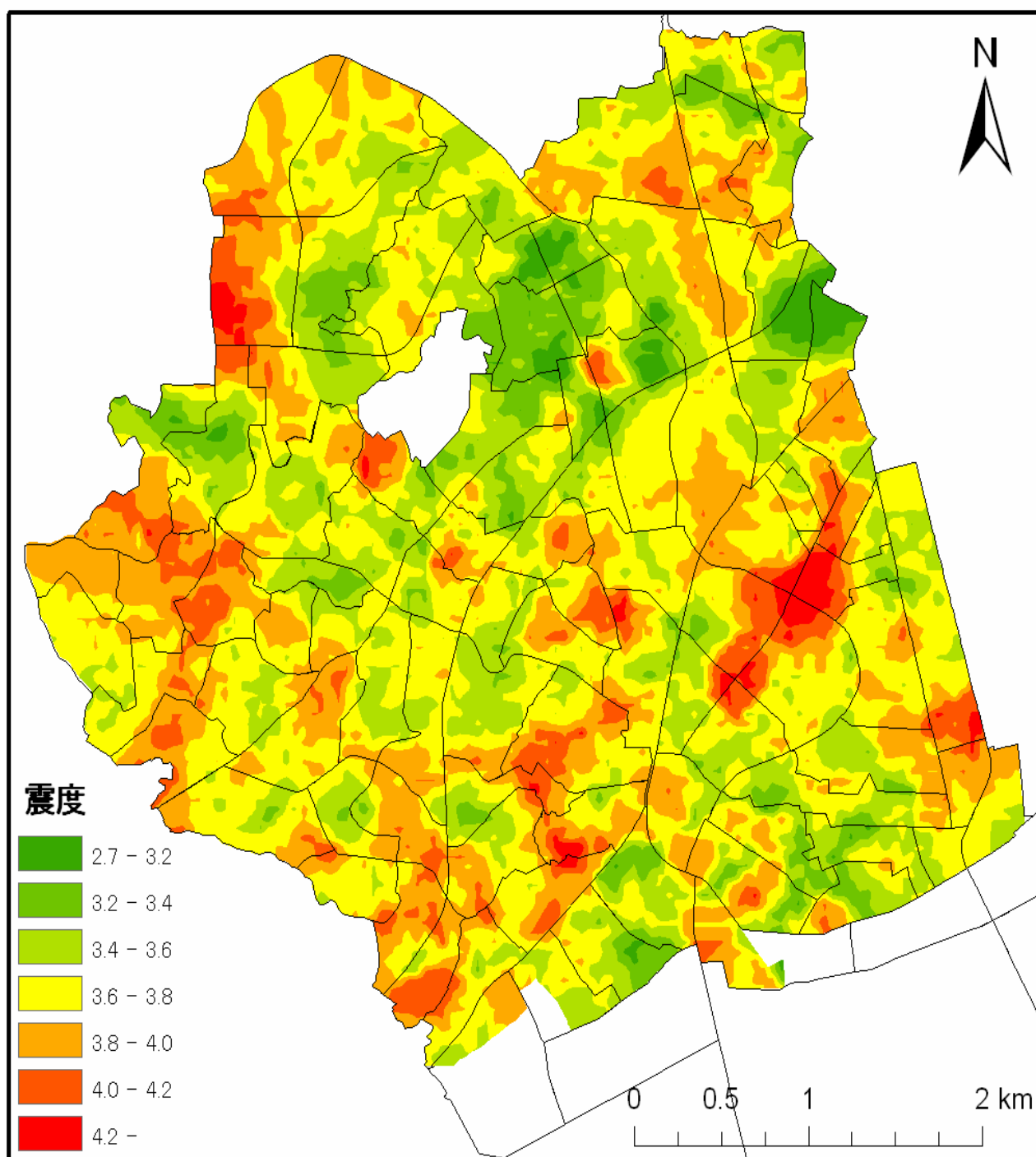


図6 高密度震度分布

っており、対応する震度の値も増大する傾向にあるものが自然と考えると、12点で補間したものがより適切な補間と判断できる。④の地区についても同様の結果であった。①、③、⑤の地区については、利用できるボーリングデータが少なく、検討は行えなかった。

図6に12点で補間して得られた高密度震度分布図を示す。鶴見区という限られた範囲の中でも、震度は最大で4.5、最小で2.7と、1.8にも及ぶ震度値の差が生じており、震度が大きい場所と小さい場所が地域全体にわ

たって複雑に分布している。

5. 震度と地形・地盤との関係

(1) 鶴見区の地形・地盤条件

図6に示した複雑な震度分布の要因を明らかにするために、震度と地形・地盤条件の関係を検討する。鶴見区の地形・地盤条件に関して、図7～9にそれぞれ

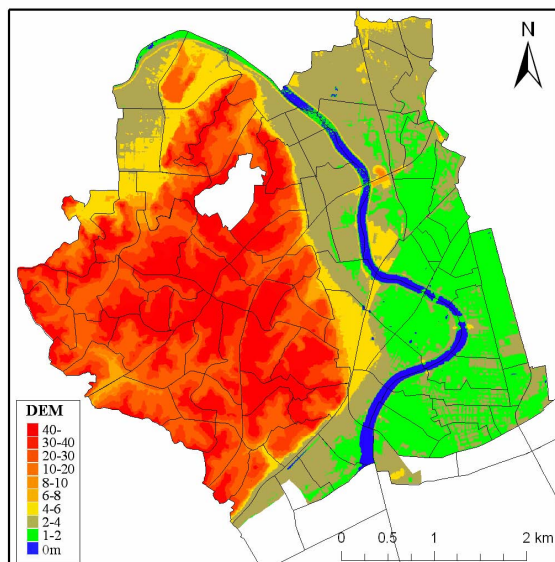


図7 標高分布

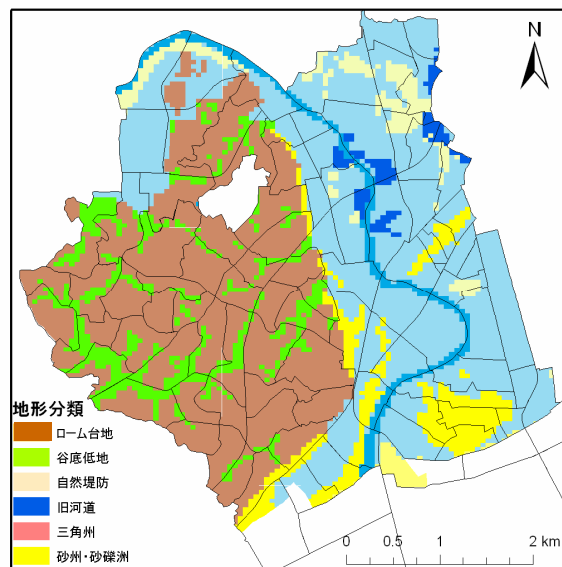


図8 地形分類

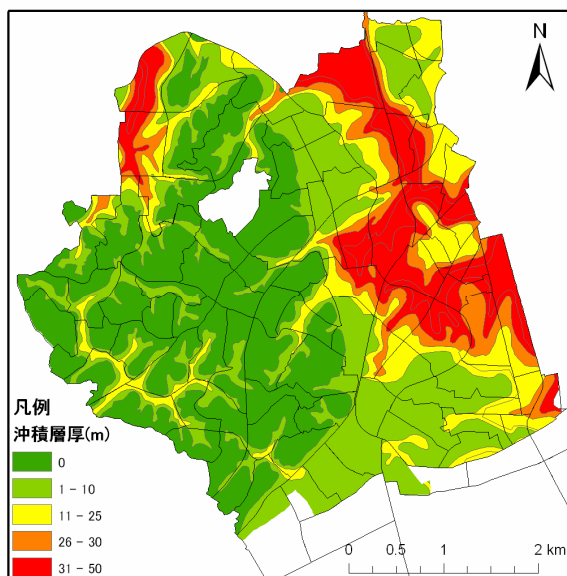


図9 沖積層厚分布

表1 沖積層厚さ毎の震度（低地部）

沖積層厚(m)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
0～20	3.64	0.24	2.72	4.33
20～30	3.76	0.20	3.14	4.27
30～40	3.81	0.21	3.26	4.51
40～50	3.85	0.23	3.33	4.52

標高、地形分類、沖積層厚分布¹⁹⁾を示す。鶴見区の西側は標高の変化が大きいローム台地が存在し、その間を細く刻むように谷底低地が存在する。

一方、低地では、標高の変化はほとんどなく、主に三角州からなり、自然堤防や砂州・砂礫洲なども存在する。低地部で特徴的なのは沖積層厚分布で、鶴見区の東部や北西部で周囲と比べて沖積層が厚い傾向にある。このように、鶴見区では低地部と台地部でそれぞれ違った特徴を持つために、震度と地形・地盤条件の関係を検討を2つの地域にわけて検討を行う。

(2) 低地部での震度と地形・地盤条件の関係

低地部において、震度分布と地形・地盤条件を比較すると、震度が大きな地域は沖積層が厚い傾向が読み取れる。震度と地形・地盤分類との関係は明瞭ではない。そこで、沖積層の層厚ごとに震度の値の平均を計算すると、表1に示すように、ばらつきは小さくないものの、沖積層が厚くなるとともに震度はやや増大する傾向がみられる。これは、従来から指摘されているように沖積層が厚くなるにつれて地盤による増幅が増大するためと考えられる。なお、数量化理論Ⅰ類で解析を行い、地形分類等を説明変数として加えても相関係数はほとんど向上しなかった。

(3) 台地部での震度と地形・地盤条件の関係

図10に台地部を抜き出した震度分布図を示す。これを見ると台地部では震度値がさらに複雑に変化していることがわかる。図11に台地部を抜き出した地形分類図を示す。図中の破線で囲った地域では周囲と比べると震度が高い地域で、これを見ると、腐食土等が堆積している谷底低地だけでなく、ローム台地でも震度が高くなっている。図の実線で囲った地域でも震度が高く、この地域は標高の高いローム台地となっている。

このように、台地部ではローム台地と谷底低地で震度に明瞭な差はみられない。ただし、ローム台地においては標高の高い地域で震度が大きくなる可能性が考えられる。そこで、標高別の震度の平均的な値を計算すると、表2に示すように、標高が15mを越えると、わずかながら震度が増大するが、標高が35mを越えるとやや減少する。ただし、標高毎の震度の最大値をみると標高とともに増大しているようにもみえる。

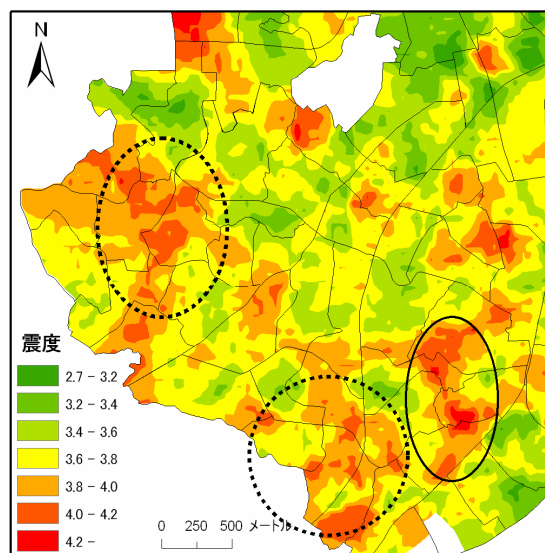


図 10 震度分布図（台地部）

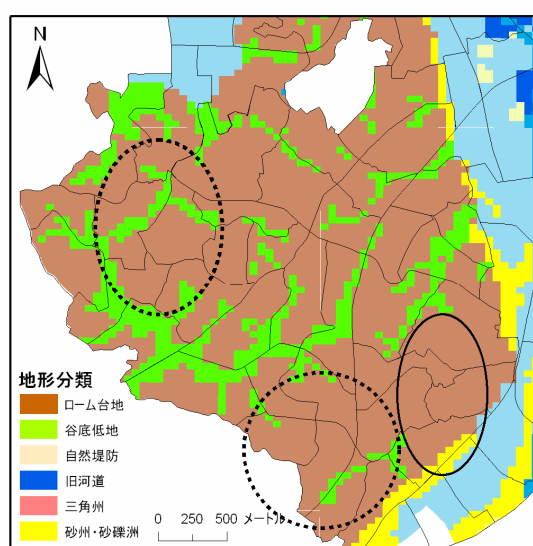


図 11 地形分類図（台地部）

表 2 標高毎の震度（ローム台地部）

標高(m)	平均値	最小値	最大値
5～15	3.64	3.05	4.14
15～25	3.72	3.19	4.22
25～35	3.73	3.18	4.51
35～50	3.64	3.19	4.42

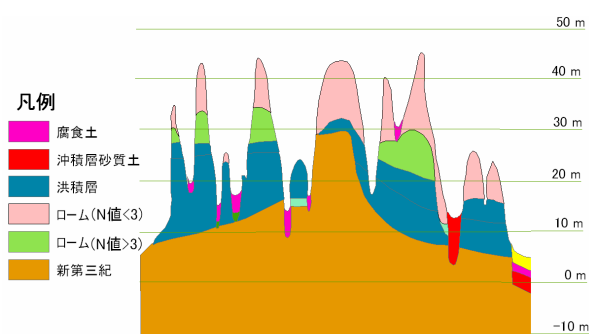


図 12 台地部での地盤断面図

台地部で標高が高い地域において震度が高くなる原因を検討するために、台地部での断面図の一例¹⁴⁾を図 12 に示す。図に示すようにローム台地部では、比較的硬い洪積層ないし新第三紀層の上に軟らかいロームが堆積している。比較的硬い層の上面は標高 15～30m に分布している。したがって、標高が 15m を越えるとローム層が堆積しはじめ、標高が高くなるにつれて層厚が増大し、そのため地盤の増幅度が増大し、震度が増大するという説明が可能である。

また、台地部を刻むように存在する谷底低地については、図に示されるように、腐植土等の堆積層の層厚が 10m 以下の場合が多く、そのために地盤の増幅度が大きくなりやすく、震度も大きなものとはならなかったものと考えられる。

しかしながら、台地部では震度と地形・地盤との関係は明瞭ではない。この理由として、1) 台地部では地盤の変化が複雑であるのに対して利用できるボーリングデータが限られている¹³⁾ために用いた地盤図が実際の地盤の状況を十分正確には表現していない可能性があること、2) 高密度なアンケート調査とはいえデータの疎なメッシュも存在し、空間補間して得られた震度分布図にはある程度の誤差が含まれること、3) この地域では深い地盤構造の変化が大きく¹⁵⁾、浅い地盤構造だけでなく深い地盤構造の影響も反映されている可能性があること、などが考えられる。より詳細な地盤データの取得などに基づく検討が今後の課題として指摘できる。

6. 結論

2006年7月23日に千葉県北西部で発生した地震(M6.0)を対象として、横浜市鶴見区において約8000枚のアンケート震度調査票を配布し、非常に高密度に分布する3000枚強の回答からアンケート震度を算出した。アンケート震度と計測震度の関係を比較することにより、その妥当性を検討した上で、各地点での震度データの空間補間を行い、高密度震度分布図を作成した。

その結果、約20平方kmという限られた対象地域の中でも、震度は最大で4.5、最小で2.7と、大きな震度の差が生じており、震度が大きい場所と小さい場所が地域全体にわたって複雑に分布していることを指摘した。

複雑な震度分布の要因を検討するために、震度と地形・地盤条件との関係を検討した。その結果、1) 低地部では沖積層が厚いほど震度が高い傾向があること、2) 台地部では、震度と地形・地盤条件との関係は明瞭ではないが、標高の高いローム台地で揺れやすい傾向

がややみられ、これが標高が高くなるとローム層が厚くなる傾向にあることで説明可能であること、を指摘した。

謝辞：アンケート調査の際には鶴見区の自治会の方々および鶴見区役所総務課の方々、東京工業大学翠川研究室学生諸君のご協力を頂いた。横浜市からは各種地盤データを提供して頂いた。本研究は、文部科学省特別教育研究経費「首都圏大震災軽減のための実践的都市地震工学研究の展開」によった。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 翠川三郎:地震防災と強震動予測—市民に役立つ地震動予測地図に向けて—, 入倉孝次郎先生退官記念シンポジウム「強震動予測の現状と将来」論文集, pp.9-12, 2004.
- 2) 太田裕, 後藤典俊, 大橋ひとみ: アンケートによる地震時の震度の推定, 北海道大学工学部研究報告, 第92号, pp. 241-252, 1979.
- 3) 太田裕, 小山真紀, 中川康一: アンケート震度算定法の改訂—高震度領域—, 自然災害科学, No.16-4, pp. 307-323, 1998.
- 4) 鶴来雅人, 澤田純男, 香川敬生, 入倉孝次郎, 土岐憲三: アンケート震度に基づく兵庫県南部地震の大府域におけるサイト特性, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp. 1047-1052, 1998.
- 5) 井上直人, 芝山元彦, 辻江賢治, 領木邦浩, 千田智志ほか: 1995年兵庫県南部地震の広域アンケート調査—高震度領域におけるアンケート震度との関係—, 地震第2輯, 第51巻, pp. 395-407, 1999.
- 6) 神戸大学工学部建築学科土木家教室耐震工学研究室兵庫県南部地震アンケート調査グループ(代表: 高田至郎): 兵庫県南部地震に関するアンケート調査—集計結果, 1999.
- 7) 鶴来雅人, 澤田純男, 香川敬生, 入倉孝次郎, 土岐憲三: アンケート調査による兵庫県南部地震の大府域の震度分布, 土木学会論文集, No.612, pp.165-179, 1999.
- 8) 森伸一郎, 圓井洋介, 盛川仁, 河原莊一郎, 向谷光彦: 2000年鳥取県西部地震におけるアンケート震度調査, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.361-364, 2001.
- 9) 東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター: 2003年5月26日宮城県沖の地震および2003年7月26日宮城県北部の地震におけるアンケート震度調査(報告書), 2005.
- 10) 欽田泰子, 高田至郎, 勤息義弘, Javanbarg Mohammad Bagher: 斜面地形による水道管路被害への影響評価—2004年新潟県中越地震の管路被害分析—, 日本地震工学会論文集, 第5巻, 第4号, pp. 1-14, 2005.
- 11) 植橋秀衛: 2005年3月福岡県西方沖地震(M7.0)に関するアンケート震度調査, 日本地震工学会大会梗概集, pp. 266-267, 2005.
- 12) 恩田淳也, 塩田計司: 長岡市内の高密度震度調査, 長岡高専卒業論文, 2002.
- 13) 横浜市環境創造局環境科学研究所: 地盤情報(ボーリング資料), 2006.
- 14) 横浜市総務局災害対策室: 横浜市地盤と地震に関する調査報告書, 1984.
- 15) 三浦弘之・翠川三郎: 3次元深部地下構造がやや長周期地震動の特性に及ぼす検討—横浜市とその周辺地域における検討—, 地震第2輯, 第54巻, pp. 381-395, 2001.

(2007.4.6 受付)

DEVELOPMENT OF A DETAILED SEISMIC INTENSITY MAP BY QUESTIONNAIRE SURVEY

Taro ONAKA, Saburoh MIDORIKAWA and Susumu ABE

In order to produce a detailed seismic intensity map which aids regional disaster planning, a seismic intensity survey using paper-based questionnaire was conducted at Tsurumi ward, Yokohama in the northwestern Chiba earthquake (M6.0) on July 23, 2006. About 8,000 questionnaire sheets were distributed and more than 3,000 were collected. From the survey, the detailed seismic intensity distribution was revealed, showing that the distribution is very complex and that the intensity at a lowland is not necessarily larger than that at a plateau. To interpret the complex intensity distribution, the relation of the intensity with the ground condition is examined.