

新潟県中越地震による群馬県震度分布と表層地盤増幅に関する検討

Distribution of seismic intensity and site amplification in Gunma Prefecture due to Niigata-ken Chuetsu Earthquake

大塚敬太*, 阿部 博**, 北原武嗣***

Keita Ohtsuka, Hiroshi Abe and Takeshi Kitahara

*金沢大学大学院, 自然科学研究科社会基盤工学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)

**博(工), 群馬工業高等専門学校教授, 環境都市工学科 (〒371-8530 前橋市鳥羽町 580)

***博(工) 関東学院大学准教授, 工学部社会環境システム学科 (〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1)

In order to carry out seismic designs and seismic diagnoses and to set out actions of disaster prevention, it is necessary to estimate the seismic hazard near the construction site. The estimation method is categorized into two types. One is the deterministic method and the other is the probabilistic method. In both methods, the site amplification is very important in order to estimate the seismic hazard. Therefore, in this study, the seismic hazard and the site amplification in Gunma Prefecture have been estimated due to Niigata-ken Chuetsu Earthquake. Consequently, it is clarified that sufficient actions of seismic disaster prevention are necessary at the plain fields in Gunma Prefecture.

Key Words: seismic intensity, site amplification, Gunma Prefecture, Niigata-ken Chuetsu Earthquake

キーワード: 震度分布, 表層地盤増幅, 新潟県中越地震, 群馬県

1. はじめに

近年, 国内では鳥取県西部地震(平成 12 年), 芸予地震(平成 13 年), 宮城県北部地震, 新潟県中越地震(平成 16 年), 福岡県西方沖地震(平成 17 年), 能登半島地震(平成 19 年)等, 毎年のように被害地震が発生しており, 地震活動が活発化しているといえる¹⁾.

これらの地震に限らず, 日本は世界で発生する地震の約 10%が発生している地震大国であるため, 地震時の被害軽減を図ることが重要課題である. このため, 国をはじめとして多くの自治体で, 地震時の被害を予測し地震防災対策を立案している. 一方群馬県は, 過去の地震活動度が低く, 大きな地震被害を受けたことが少ないため, 地震災害に対する認識が必ずしも高いとは言えない. 地震被害予測や防災対策に関しては, 群馬県が平成 10 年に行った群馬県地震被害想定調査²⁾や, 平成 12 年度の群馬県震災対策計画³⁾が存在する程度である.

しかしながら平成 16 年に, 群馬県の隣県である新潟県において, 新潟県中越地震が発生したことからわかるように, 群馬県が地震被害と無縁である根拠は乏しいと考えるのが妥当といえる. このことは, 近年, 群馬・埼玉県境に存在すると考えられる新たな活断層系に関す

る報告⁴⁾からも裏付けられる.

したがって群馬県においても, これから起こりうる地震に対して地震防災対策を十分に実施する必要があるといえる. このような対策を検討する際には, 検討地点における地震危険度を把握することは必要不可欠である.

そこで本研究では, 新潟県中越地震をシナリオ地震の一例として, 群馬県における震度分布を翠川・松岡が提案する手法⁵⁾で計算し, 気象庁の震度観測値と比較した. 検討の結果, 観測値と危険度解析値に一部差異が生じたことから, 表層地盤の増幅率の設定に注目し再検討を行うこととした.

ここでは, 既存ボーリング情報を使った SHAKE による増幅率の検討と, 最新の群馬県地質図を GIS 用データに取りこんで新たな表層増幅率分布を検討するものとした. 本研究での検討結果は, 群馬県における地震被害予測や地震防災対策に役立つと考えられる.

2. 地震危険度評価手法

地震動強さを求める方法には, シナリオ地震と確率論的手法の二通りがある⁶⁾. 両手法とも, 一般的には距離

減衰式を用い基盤面の地震動強さを求め、表層地盤の増幅率を乗じることで地表面の地震動強さを得ている。

表層地盤の増幅率の設定には、翠川・松岡⁵⁾により提案された国土数値情報を利用した手法がある。国土数値情報は、全国規模のメッシュ分割数値地理データベースである。国土数値情報に含まれる土地分類データには、表層地質データ、地形分類データ、土壌データが3次メッシュ（約1km四方）に分類されている。図-1に標準地域メッシュシステムを示す。

翠川・松岡は表層地盤増幅率を求めめるため、3次メッシュの地形分類データ項目をさらに細分化し微地形分類を作成している。この微地形が地震動の表層増幅と密接な関係を持つと考え、種別毎に増幅率を求めている。ここでも、提案された手法に基づいて群馬県内の地表面での地震動強さを求めた。

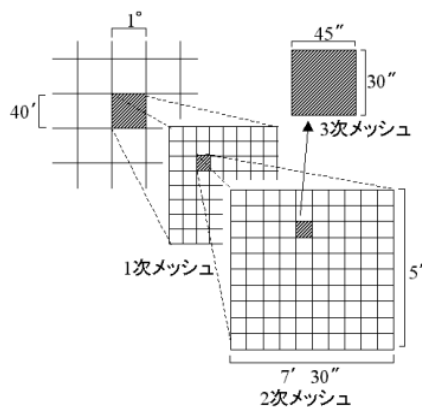


図-1 標準地域メッシュ

3. 新潟県中越地震による震度分布

3.1 気象庁観測震度

新潟県中越地震は、2004年10月23日17時56分に新潟県中越地方で発生した地震であり、気象庁マグニチュードは6.8、新潟県の川口町で最大震度7を観測した。また、同日18時11分にマグニチュード6.0、18時34分にマグニチュード6.5の余震が発生し、いずれも最大震度6強を記録した。

新潟県中越地震の本震と二回の余震時に、群馬県において気象庁により観測された計測震度⁷⁾を図-2に示す。ここではGIS上で識別しやすいように、観測位置1箇所が含まれる3次メッシュ1つに、周囲のメッシュ3つを加えることにより誇張して表示している。

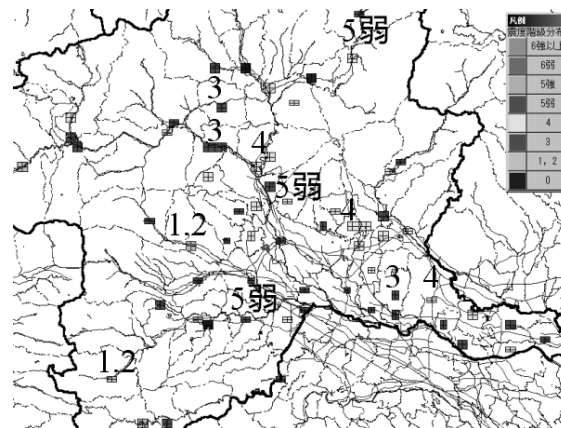
3.2 危険度解析による震度分布の計算

新潟県中越地震の本震と二回の余震をシナリオ地震として、群馬県における震度階分布を計算した結果を図-3に示す。ここでは、以下の①～④に示す手順にしたがい震度を求めた。①翠川の最大速度の距離減衰式を使い工学的基盤における最大速度を求める。②微地形毎に与え

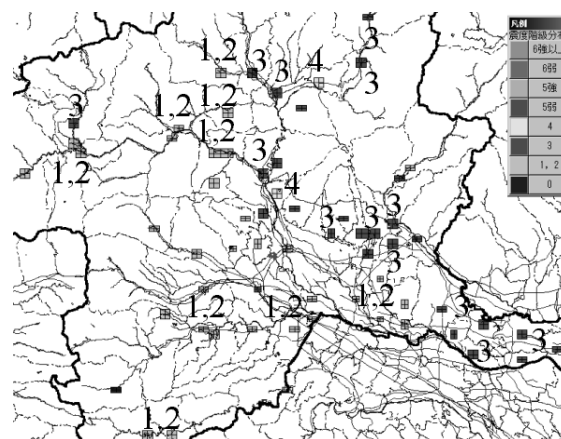
られた表層地盤の増幅率を基盤の最大速度に乘じ地表面における最大速度を求める。③式(1)により最大速度から計測震度に変換する⁸⁾。④計測震度を気象庁の震度階に変換した。震度階を指標としたのは、気象庁観測による震度階と比較しやすいこと、および一般的に震度階は地震被害との関連をイメージしやすいためである。

$$I = 2.68 + 1.72 \log PGV \quad (1)$$

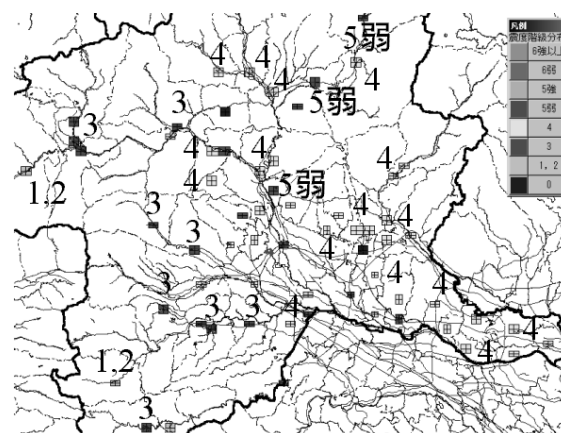
ここに、 I : 計測震度, PGV : 最大速度 (cm/s)。



(a) 本震 17:56 (M6.8)

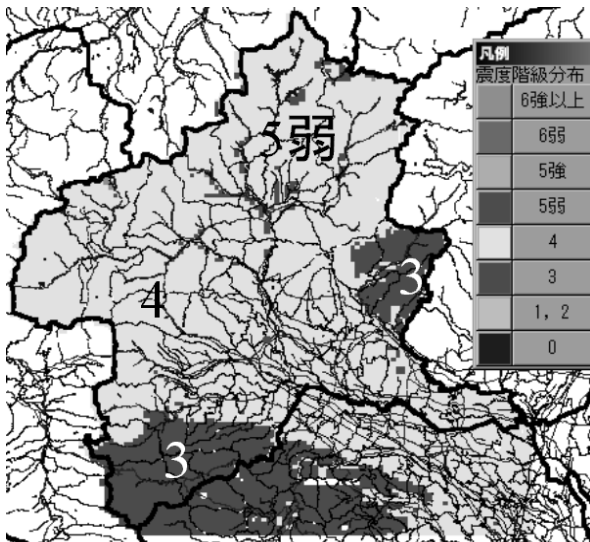


(b) 余震 18:11 (M6.0)

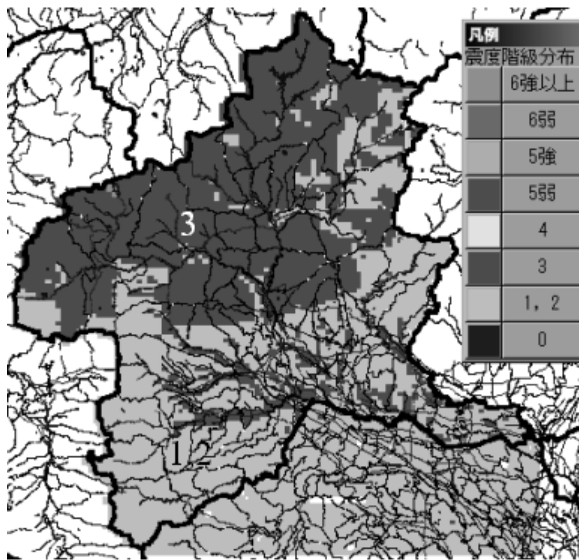


(c) 余震 18:34 (M6.5)

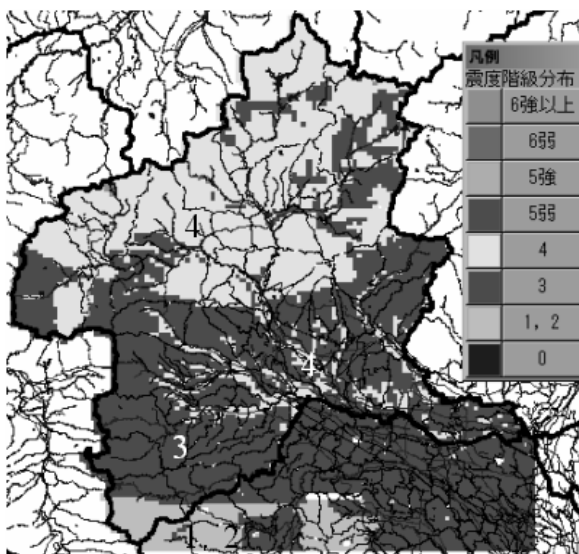
図-2 気象庁による震度階観測値



(a) 本震 17:56 (M6.8)



(b) 余震 18:11 (M6.0)



(c) 余震 18:34 (M6.5)

図-3 危険度解析による震度分布

3.3 観測値と危険度解析値の比較

気象庁による観測値と危険度解析結果を比較すると、本震では危険度解析結果の方が震度階級で概ね1大きい値を示す地域が多かった。特に、河川沿いでは観測値が震度4の地域が多かったのに対し、危険度解析では震度5弱を示す地域もあった。

図-2(b)に示した一回目の余震では、観測値は概ね東部では震度3程度、西部では震度1,2程度となり、東部の方が大きい震度を示したのに対し、図-3(b)の危険度解析結果では距離減衰式の性質どおり震源距離から同心円状に震度分布が低下する傾向がみとめられ、北部の方が大きい震度分布を示している。

図-2(c)に示した二回目の余震では、観測値には震度5弱が見られたが、図-3(c)に示した危険度解析結果に震度5弱は見られず最大でも震度4であった。また、北部での観測値と危険度解析値は一致したのに対し、南東部の地域では一致しない地域がみられた。

新潟県中越地震をシナリオ地震として群馬県の地震危険度解析を行った結果、多くの地域で観測値と危険度解析値は概ね一致していたと判断できるため、翠川・松岡の手法による最大速度推定式の有用性は高いことが確認できた。一方、観測値と危険度解析値に差異の生じた地域も存在した。この理由は、表層地盤の増幅率の設定結果や、増幅率を求めるために利用した微地形図が全国を対象としたもので、群馬県のみを対象としていないことが影響していると考えられる。そこで、一部地域の増幅率評価を改善すれば、群馬県における表層増幅特性の最適化が図れ、危険度解析結果の信頼性が高まると期待できる。

4. 表層地盤増幅率の検討

前述の通り、観測値と危険度解析値が地域によって差異が生じたのは、表層増幅率に問題があると考え、表層地盤による増幅率の設定手法や微地形データに関して検討を加えることとした。

まず、防災科学技術研究所の各K-NET観測点のボーリングデータと新潟県中越地震における各観測点の波形データを利用して、水平成層地盤の地震応答解析プログラムであるSHAKEを用いた応答倍率を計算し、翠川・松岡の手法による増幅率と比較した。

つぎに、群馬県の地質が現在のところ最も正確に記されていると考えられる、群馬県地質図作成委員会の群馬県10万分の1地質図⁹⁾を入手し、アナログ地質図を3次メッシュ(基準地域メッシュ)に分割した地質データをGIS上に構築した。ここで作成した新しい地質データを「新デジタル地質図」と呼ぶことにする。作成した新デジタル地質図の凡例ごとに、SHAKEによる応答倍率と関連付け、新たな表層地盤の増幅率分布図を検討した。

4.1 解析結果

群馬県におけるK-NET観測点は、片品、水上、沼田、草津、嬬恋、吾妻、渋川、前橋、桐生、館林、太田、伊勢崎、高崎、坂本、下仁田、万場の計16点である。各観測点で記録された新潟県中越地震の本震における地表面の地震波形と、地盤の諸定数を入力し、SHAKEによって地盤増幅を検討した。ただし、片品では地震波形が観測されていなかったため、検討地点から除外した。

例として、図-4に、高崎における本震の観測波形(地表面)と応答解析波形(工学的基盤面)を示す。地表面での観測最大加速度は 109.2cm/s^2 であり、SHAKEによる工学的基盤面での最大加速度は 30.3cm/s^2 となった。ここで、表層地盤における増幅率を工学的基盤面での最大加速度に対する観測最大加速度と考えると、高崎における増幅率は3.60と求まる。

今回対象とした地震では、最大加速度が地表面でも 109.2cm/s^2 と小さいため、地盤は線形範囲の挙動を示したと考えられる。しかしながら、より大きな地震動が生じた際には、地盤が非線形化するため、増幅率は小さくなる可能性もある。したがって、今後は地盤の非線形性を考慮した検討も必要と考えている。

4.2 表層地盤の増幅率の比較

各観測点における水平成層地盤応答解析結果と、国土数値情報を用いた翠川・松岡の手法による表層地盤の増幅率の比較を行う。表-1には、各観測点が存在するメッシュの微地形分類を示す。翠川・松岡の手法では、この微地形ごとに増幅率が設定されている。また図-5には、4.1で示した方法で計算した増幅率を示す。

吾妻、渋川、前橋、館林、太田、伊勢崎の6地点では、二つの手法による結果がほぼ一致していたが、他の9地点では、翠川・松岡の手法による増幅率の方が水平成層地盤応答解析結果よりも小さい値を示した。このように、増幅率の評価にばらつきが生じたのは、メッシュの微地形分類と観測点が存在する地点の構成土質が一致しなかったことや、土質の動的特性の取り扱い方法の違いなどが理由として考えられる。

今回は新潟県中越地震のみを対象としたが、これ以外の地震を対象とした同様の検討を行うなど、表層地盤の増幅率をより合理的に評価するためには、さらなる検討が必要であると考えられる。

表-1 微地形分類

地点	微地形名称
片品	第三期以前・山地
水上	新第三期
沼田	ローム台地・シラス台地
草津	洪積紀
嬬恋	新第三期
吾妻	沖積紀
渋川	沖積紀
前橋	自然堤防・砂州
桐生	ローム台地・シラス台地
館林	自然堤防・砂州
太田	三角州低地・川から500m以内
伊勢崎	ローム台地・シラス台地
高崎	ローム台地・シラス台地
坂本	新第三期
下仁田	第三期以前・山地
万場	第三期以前・山地

4.3 地質図による表層地盤データ

翠川・松岡の手法による増幅率と、水平成層地盤応答解析による増幅率の検討結果に差異が生じたため、増幅率に関して、別途、検討を加えることとした。ここでは、新デジタル地質図を、群馬県における現状でもっとも正確な地質図と判断して利用することとした。図-6に新デジタル地質図を示す。表-2に新デジタル地質図上のK-NET観測点の地質名称を示す。

例えば、図-5からわかるように太田では、翠川・松岡の手法と水平成層地盤解析結果がほぼ一致している。太田においては、国土数値情報の微地形分類も、新デジタル地質図の分類も沖積であり、さらに、K-NETの柱状図に示された構成土質からも軟弱な地盤であると判断できる。すなわち、異なる3種の分類方法のすべてにおいて、微地形分類が沖積と評価されたため、増幅率もほぼ一致したと考えられる。

このことから、太田の増幅率を沖積地盤の増幅率の代表例と考え、新デジタル地質図上で沖積を示した水上、桐生、下仁田も太田と同じ増幅率を適用できると考えた。

SHAKEから得られた増幅率を各凡例の増幅率として考え、新デジタル地質図による増幅率分布をGIS上にデータとして構築した。ここで作成した新しい増幅率データを用いて、新潟県中越地震を想定したときの危険度解析を行った。解析結果として震度分布を図-7に示す。

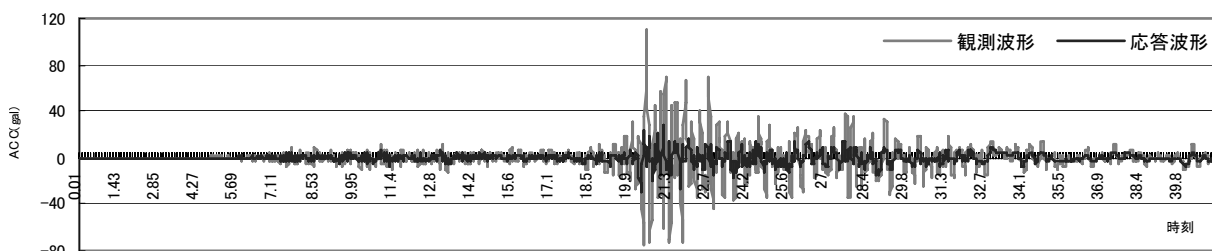


図-4 高崎の観測波形と応答波形

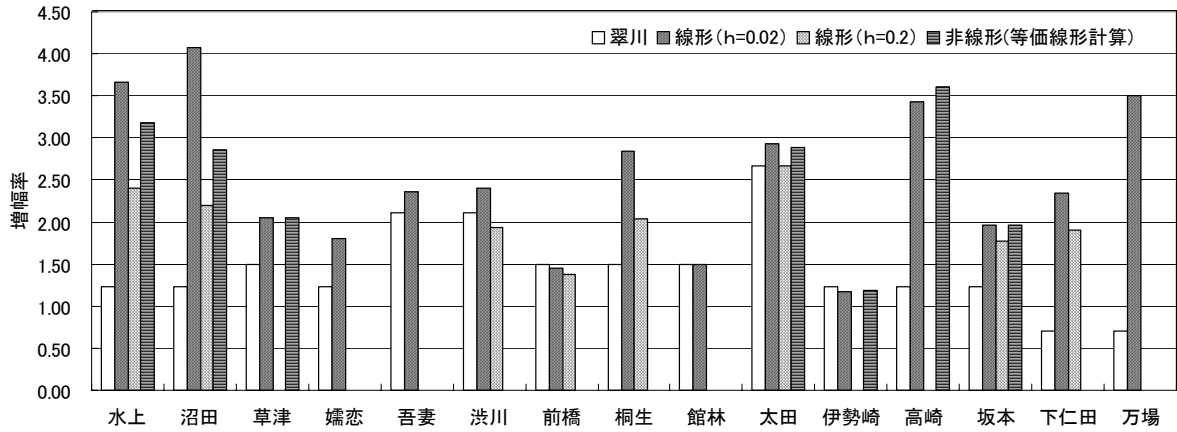


図-5 表層地盤の増幅率

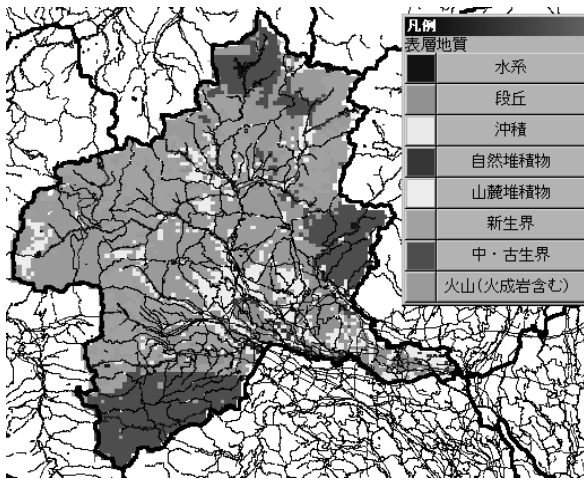
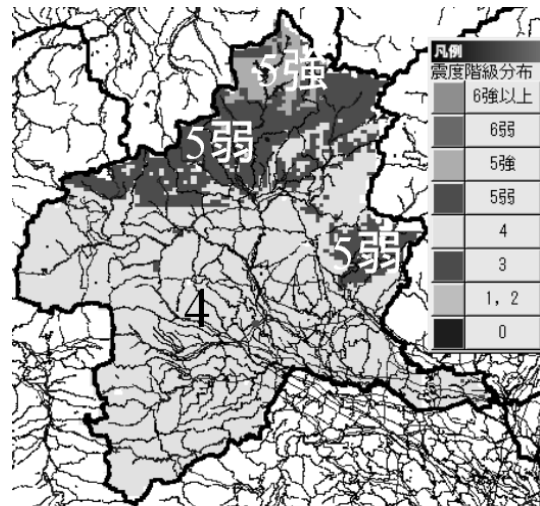


図-6 地質図による表層地盤

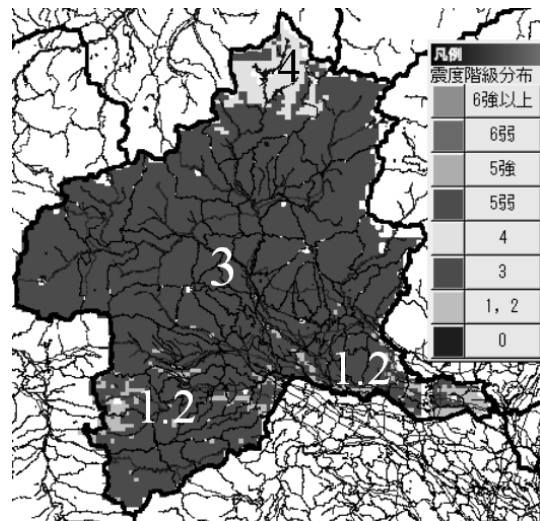
標高や形成過程によって地盤の強さは異なるためなどが理由として考えられる。例えば、同じ沖積世に形成された地質であっても、レキなどがある扇状地は軟弱ではないことも理由の一つと考えられる。

表-2 地質図名称

地点	地質図名称
片品	伊閑面(レキ・砂及びローム)
水上	沖積
沼田	沼田面(レキ・砂及びローム)
草津	旧期溶岩
嬬恋	太子火砕流堆積物
吾妻	中之条面(レキ・砂及びローム)
渋川	山麓堆積物
前橋	自然堤防堆積物
桐生	沖積
館林	館林・邑楽台地(レキ・砂及びローム)
太田	沖積
伊勢崎	前橋台地(レキ・砂及びローム)
高崎	高崎台地(レキ・砂及びローム)
坂本	相生面(レキ・砂及びローム)
下仁田	沖積
万場	万場サブユニット(玄武岩溶岩及び火砕岩、頁岩・砂岩・チャート及び石灰岩を伴)



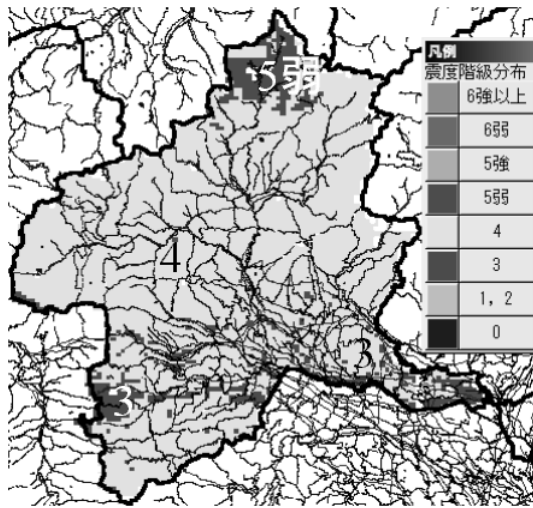
(a) 本震 17:56 (M6.8)



(b) 余震 18:11 (M6.0)

図-7 新デジタル地質図による震度分布計算結果

翠川・松岡の手法で使用される微地形情報は全国レベルでの地震危険度評価を主な対象と考えられる。ここでは、県レベル(本研究では群馬県を対象)での地震危険度評価への適用を目的として、群馬県の最新地質情報から表層増幅率の再検討を行ったが、気象庁の観測結果と一致しなかった。この理由として、沖積という凡例でも



(c) 余震 18:34 (M6.5)

図-7 新デジタル地質図による震度分布計算結果
(続き)

今後は、土粒子の分級作用に着目し標高を併用して沖積凡例を細分類化するつもりである。さらに、新デジタル地質図作成の際に、メッシュの中央点の地質をそのメッシュの地質としたことも解析結果と一致しなかった原因の一つと考えられ、一つのメッシュの凡例の読みを、中央点で読むのではなく、メッシュ内に含まれる凡例面積の最も大きいもので代表させるようなことも考える必要がある。

太田のように表層の増幅率が一致する地点もあることから判断して、新デジタル地質図は群馬県の詳細な増幅率分布図として十分使用可能と考えているが、沖積凡例の細分化など、さらなる修正を加えることでより信頼性の高い増幅率データとしていくことが課題である。

5. まとめ

日本全国を対象とした翠川・松岡の手法は、県単位レベル（例えば、今回示した群馬県）を対象とした地震危険度においても利用できる可能性が示唆された。しかしながら、群馬県の地震危険度評価に特化することを考えると、一部地域において、増幅率の評価に問題があると考えられる。このため、成層地盤増幅解析や「新デジタル地質図」等による増幅率の検討を行った。これにより、群馬県において信頼性の高い増幅率データ構築の可能性

を示すことができた。増幅率データのさらなる改善を図るため、「新デジタル地質図」に標高を考慮すること、メッシュの細分割等が必要であることを示した。

地域特有の増幅率に関して信頼性を高めることで、地域の地震防災対策、ひいては安全な都市作りに貢献することが重要と考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、群馬県地質図作成委員会 野村哲先生に「群馬県10万分の1地質図」のデジタル化を快諾いただいた。また、水平成層地盤応答解析においては、防災科学技術研究所 K-NET の情報を利用させていただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国立天文台：理科年表 平成 18 年，日本付近のおもな被害地震年代表，丸善，2006.
- 2) 群馬県総務部消防防災課：群馬県地震被害想定調査報告書，1998.
- 3) 群馬県防災会議：群馬県震災対策計画(群馬県地域防災計画・震災対策編)，2000.
- 4) 杉山雄一他：群馬県における深谷断層の反射法地震探査と深谷断層系＝東日本の中央構造線活断層系モデル，地質ニュース，No. 546，pp. 45-51，2000.
- 5) 翠川三郎，松岡昌志(1995)：国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価，物理探査，Vol. 48, No. 6, pp. 519-529.
- 6) 例えば，(社)土木学会地震荷重研究小委員会：レベル 2 地震動と設計地震荷重の課題—地震荷重研究小委員会の活動報告—，土木学会，1997.
- 7) 新潟県中越地震北関東地震震動研究グループ：群馬県における新潟県中越地震の震動調査，地学団体研究会 専報 54, pp113-118, 2005.
- 8) 童 華南，山崎 文雄，清水 善久，佐々木 裕明：計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係，土木学会年次学術講演会講演概要集第 1 部(B)，Vol. 59, pp. 458-459，1996.
- 9) 群馬県地質図作成委員会：群馬県 10 万分の 1 地質図，内外地図株式会社，1999.

(2007 年 8 月 17 日受付)