

新潟県中越地震における強震動と道路被害の関係

Relationship between strong motion and road damage during the 2004 Mid-Niigata earthquake

酒井久和*, 長谷川浩一*, ネルソン・プリード*, 佐藤忠信**

Hisakazu Sakai, Kouichi Hasegawa, Nelson Pulido, Tadanobu Sato

*博（工）, 防災科学技術研究所, 地震防災フロンティア研究センター（〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通 1-5-2）

** 工博 早稲田大学教授, 理工学術院（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）

Investigating the relationship between strong motion and road damage during large earthquakes is necessary for evaluating the seismic performance of road infra-structures and screening which structures should be reinforced. In order to compare damage to roads during the 2004 Mid-Niigata earthquake, with ground motion indexes, we estimated the PGV values at every 250m within the Niigata region, by using a multi-asperity source-model, combined with a 7.5 arc-second Niigata-prefecture map of the average S-wave velocity of the upper 30m. We also used the observed JMA seismic intensities for comparison. The road damage ratio is clearly related with JMA intensities for values above 5. Simulated PGV is useful for judging road seismic capacity at a larger number of localities without JMA records.

Key Words: the 2004 Mid-Niigata earthquake, strong motion, road damage,

PGV spatial distribution

キーワード：新潟県中越地震，強震動評価，道路被害，PGV 分布

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震では兵庫県南部地震以来の気象庁の計測震度で 7 が川口町において記録され、道路、鉄道を含むライフラインに甚大な被害が発生した。新潟県内では、本震およびその余震活動により 6 千箇所を上回る道路被害を生じて道路ネットワークとしての機能が寸断され、一部で孤立する地域が発生した。これらの道路の被害はその構造物としての被害に留まらず、地震により被害を受けた他のライフライン施設の復旧、緊急物資の輸送に少なからず影響を及ぼし、災害時の道路ネットワーク機能の重要性を再認識させることになった。

一方、サイトの地震動強さと道路被害の関係を把握することは、限られた震度情報などから地震直後の道路ネットワークにおける施設被害を大略的に把握できるばかりでなく、大地震時においても重要な道路ネットワーク機能を維持するための脆弱な道路箇所の予測、事前対策のスクリーニング手段として、防災上非常に重要である。

過去の被害地震においても、サイトに作用する地震動強さと道路の被害程度との関係が示されている。1994 年北海道東方沖地震では、気象庁震度階の震度 4 程度まで

の揺れでは被害はほとんど発生せず、震度 5 ないし 6 の地域に道路盛土被災箇所が集中していることが地盤工学会の調査¹⁾により定性的に明らかにされている。1995 年兵庫県南部地震では、杉田・濱田²⁾は、兵庫県内の幹線道路に対して統計処理を行い、加速度レベルが 550cm/s^2 程度から被害件数が増加することを示している。2004 年新潟県中越地震においても、常田らは現地調査ならびにこれらの機関などの情報をもとに、90 弱の国道施設の被害について、被害形態ごとに震度と全面通行止めの発生率を調べ、全面通行止め発生率が震度 5 弱で 0.003 箇所/km、5 強で 0.030 箇所/km、6 弱で 0.105 箇所/km、6 強以上で 0.291 箇所/km であったことを明らかにしている³⁾。しかし、一般的には、被害地震の際には個々の道路施設の詳細な被害調査がほとんどであり、被害程度と地震動強さを統計的に整理した研究は少ない。

将来発生する被害地震の際に発生するであろう道路被害は、地震動の特性、地域の地盤特性など、様々な条件により異なることから、道路施設の被害程度と地震動強さに関するデータを蓄積することは、防災上非常に重要である。新潟県中越地震に対しては、前述のように常田らが調査結果を示しているが、研究で使用された気象庁震度階が限られた観測点を空間的に線形補間したもので

あり、また、検討対象の道路施設が国道に限定されている。そこで、本研究では、被害域のサイトの地震動強さを震源断層モデルを用いた強震動評価に基づいて算定し、さらに、国道以外に市町村道、主要地方道、一般県道路の被害についても、気象庁の計測震度と強震動評価による地震動強さとの比較検討を行った。

2. 研究方法

新潟県中越地震では、家屋や人的被害⁴⁾、斜面崩壊地^{5),6)}、強震動データ^{7),8)}、各種被害調査結果^{9)~13)}など、様々な情報がインターネットを通じて容易に入手可能になった。道路施設に関しても、被害や復旧の状況、通行規制等の情報について、新潟県⁴⁾、国土交通省北陸地方整備局¹⁴⁾、新潟県警¹⁵⁾のホームページを通じて日々更新され、復旧に携わる機関や被災者に対して貴重で広域かつ詳細な情報の提供が行われた。

本研究では、まず、道路施設に関して、小千谷市、長岡市、川口町などの自治体、国土交通省北陸地方整備局、日本道路公団北陸支社などの道路関係機関等に対して、聞き取り調査やホームページを通じて道路の被害情報を入手、GIS への登録、整理を行った。次に、地震動に関しては、気象庁のホームページで公開されている震度階情報、ならびに Kik-Net や K-Net の記録を基にした強震動評価を行った。さらに、これらの被害データ、地震動情報をもとに地震動強さと道路被害の関係について分析を行った。

3. 強震動分布

3.1 推定方法

広帯域の強震動予測手法¹⁶⁾に基づく地震基盤での強震動に、表層の地震動増幅を考慮して、被災地域の強震動分布を算定した。詳細は下記に示す。

- ①震央から半径 50km 以内にあり、地盤の非線形性が強くない 10 つのサイト (6Kik-Net, 4K-Net) に対して、地震記録を地震基盤 ($V_s=2600\text{m/s}$) に引き戻す。10 の観測点を図-1 に示す。
- ②①で得られた加速度のフーリエスペクトルと速度エンベロップを target にして、GA によりマルチアスペリティモデルを同定する。ただし、断層面と震源の位置は八木モデル¹⁷⁾を採用し、アスペリティの位置は八木モデルを基本として、観測記録と整合するように微調整を行った。強震動シミュレーションは地震動の長周期成分を理論的方法、短周期成分を統計的グリーン関数法に基づくハイブリッド合成法で行った。同定された震源断層モデルを図-1 に示す。
- ③新潟県内の震央から 37km~55km の範囲内において、1.5km メッシュの地震基盤での地震動をハイブリッド合成法で強震動予測を行う。

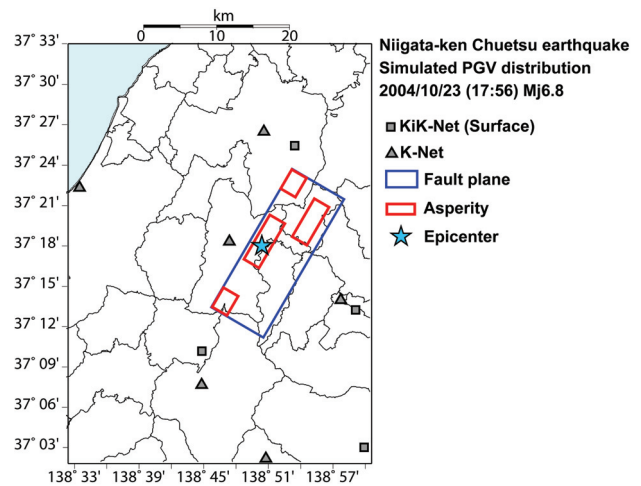


図-1 震源断層モデルのインバージョンに使用した Kik-net と K-net 観測点と同定された震源断層モデル

- ④③で得られた 1.5km メッシュの地震動を空間的に線形補完し、地震基盤での 250m メッシュの地震動を算定する。

- ⑤新潟県内の表層 30m の平均 S 波速度 V_{s30} ¹⁸⁾ から下式¹⁹⁾に基づいて、地表の PGV 増幅率 PGV_{amp} を求める。

$$\log PGV_{amp} = 1.83 - 0.53 \log V_{s30} \quad (1)$$

- ⑥④の地震基盤での PGV に⑤で求めた増幅率を乗じて地表における PGV を求める。ここで、各サイトにおける PGA についても推定計算を行うことは可能であるが、シミュレーションの PGA が本研究の目的に対して十分な推定精度を有していないため、検討用の指標として採用しない。

3.2 推定結果

前節の方法に基づいて、作成した PGV の分布図を図-2 に示す。ただし、図には参考のために実線で気象庁によって示された震度分布を付加している。ここで、震度分布は前述のように、震度観測点での計測震度を空間的に線形補間したものである。また、図中の新潟県内の 30 の Kik-Net と K-Net のサイトで観測記録から得られた PGV と上記の強震動評価に基づく PGV を比較し、図-3 に示す。ここで、図中の PGV は NS, EW 方向の 2 乗平方和である。

新潟県中越地震のような被害地震の際には、地表において数十 cm/s レベルの PGV を示すことがあり、表層地盤の非線形性を無視できない。それにも関わらず、本シミュレーションでは観測地点での PGV を 1/3~3 倍に過大、過小評価してしまう場合もあるが、表層 30m の平均 S 波速度を用いる簡易的な手法で、図-3 のように、 10^0cm/s レベルから 10^2cm/s レベルまで、観測記録の PGV を比較的良好に再現できていることが分かる。

シミュレーションによる PGV の分布を全体的に見る

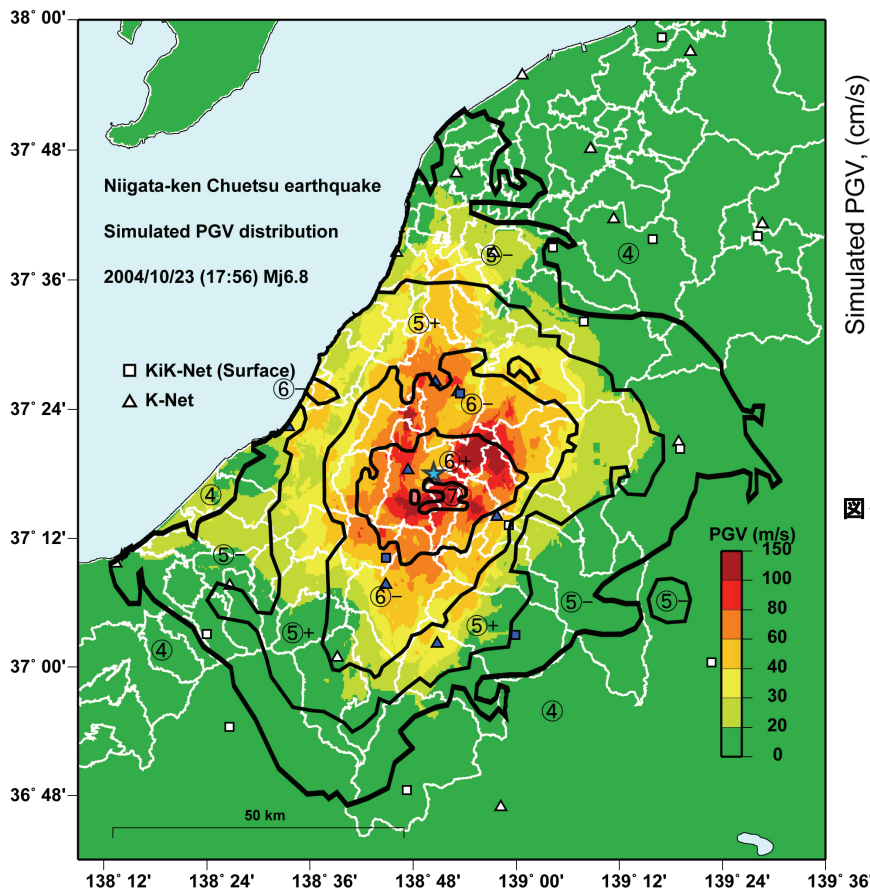


図-2 シミュレーションによる地表面最大速度 (PGV) 分布および気象庁震度階の分布 (本震のみ).

*震度階は○付数字で、数字の横の符号は各震度の強弱を表す.

*ハッチングされた□, △は同定に使用した観測点を示す.

と、図-2 より、旧堀之内町～川口町～小千谷市の東西に連なったエリアと山古志村のほぼ全域、旧広神村の北西部に PGV が 100cm/s を越えるエリアが震央をお椀状に囲むように存在する。また、旧川西町から旧中之島町、十日町市から栃尾市の北北東に延びる PGV が相対的に大きな 2 つの帯が見られる。気象庁震度と PGV の分布を比べると、震度 6 強が PGV 60cm/s 以上、震度 6 弱が PGV 40～60cm/s、震度 5 強が PGV 20m/s のエリアと全体的に整合している。ただし、震度 6 弱の分布は PGV が 40cm/s 以上の分布より震央から南南西部(旧中里村)に広がり、反対に PGV が 40cm/s 以上のエリアは震度 6 弱のエリアより北側 (旧三島町) に及んでいる。

つぎに、得られた PGV と道路を除く被害の観点から結果の妥当性を考察する。高濱・内藤²⁰⁾や保坂ら²¹⁾は、墓石調査の結果や柏崎、刈羽地区の地震調査を通じて、旧堀之内町から刈羽村に至る、西北西～東南東軸の異常震動帯の存在を指摘しているが、図-2 でも PGV が 100cm/s のエリアが旧堀之内町から西方向に分布し、小千谷インター付近から PGV が 30～40cm/s のエリアを経て刈羽村で 40～60cm/s と PGV の大きなエリアが存在する。また、川口町から北北東に栃尾市に至る転倒率が 80%以上のエ

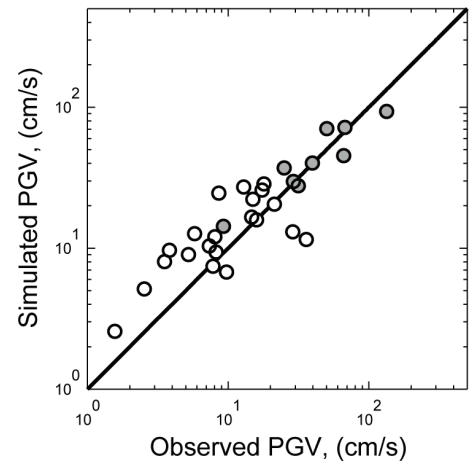


図-3 Kik-net と K-net における PGV の観測記録とシミュレーション結果の比較.

*ハッチングされた○は断層モデルの同定に使用した観測点のデータを示す.

リアも PGV が 40cm/s のエリアとほぼ重なる。

4. 道路の被害率

新潟県中越地震では、兵庫県南部地震以来の震度 7 を記録し、新潟県内で 6 千箇所を上回る市町村道が被害を受けた。兵庫県南部地震では、被災地域の 9 市 (兵庫県: 神戸市、尼崎市、明石市、西宮市、芦屋市、伊丹市、宝塚市、川西市、大阪府: 豊中市) に含まれる市道以上の一般道路の被災箇所数は 2003 箇所²²⁾であったことから、新潟県中越地震では、人的被害は比較的小さかったが道路の被害は兵庫県南部地震の約 3 倍の被害が発生したことになる。この膨大な道路被害データは新潟県中越地震災害対策本部によって集計され、ホームページに公表されている。まず、本研究では、このデータを用いて市町村ごとの市町村道の総延長距離より被害率 (被害箇所数 / 総延長距離 km) を算出し、地震動強さとの関係を調べる。つぎに、被害箇所、被害形態等の詳細な情報が分かっている一般県道以上の道路 (国道、主要地方道、一般県道) について、検討を行う。

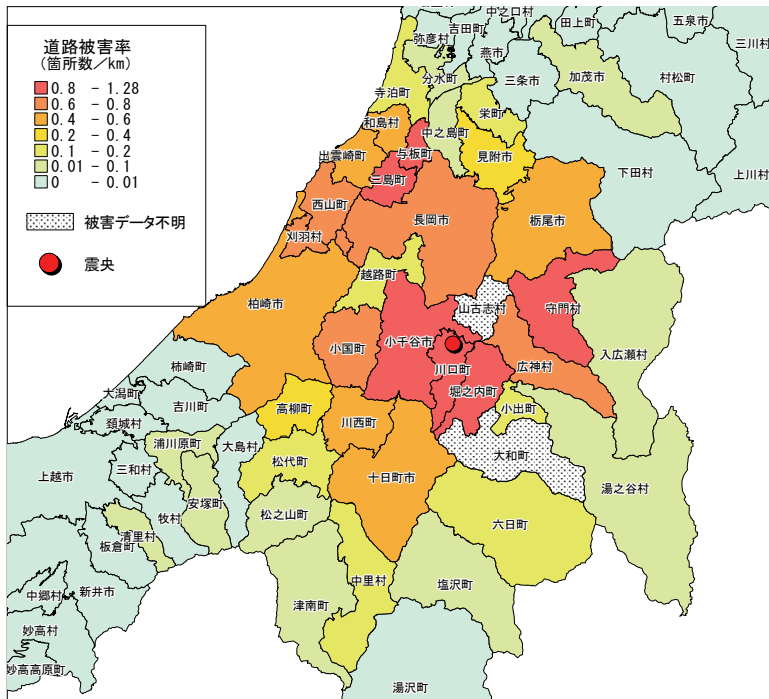


図-4 新潟県内の各市町村の道路被害率（被害箇所数／市町村道の総延長距離 km）

*市町村名は新潟県中越地震当時のものである。

表-1 検討に使用した新潟県中越地震の本震と4つの余震の概要

	発生日時	気象庁マグニチュード	最大震度
本震	10月23日17時56分	6.8	7
余震1	10月23日18時11分	6.0	6強
余震2	10月23日18時34分	6.5	6強
余震3	10月23日19時45分	5.7	6弱
余震4	10月27日19時45分	6.1	6弱

4.1 市町村道の被害

(1) 被害率分布

気象庁により発表された本震の震度4以上および余震の震度3以上である新潟県内の市町村道の被害率の分布を図-4に示す。ただし、被害箇所数は新潟県中越地震災害対策本部資料（2005年8月4日付）に基づいた。

道路の被害率は、図-4より、震源付近の小千谷市、川口町、旧堀之内町で大きく、震源の北西方向に比較的大きなエリアが広がっている。また、震央から比較的近い旧越路町や旧小出町で比較的小さい被害率を示しているのに対して、震源から離れた旧与板町、旧三島町で被害率の大きな自治体が飛び地のよう存在することが分かる。

(2) 計測震度と被害率

つぎに、被害率と計測震度との関係を図-5に示す。ただし、計測震度は、最大震度6弱以上の4つの余震と

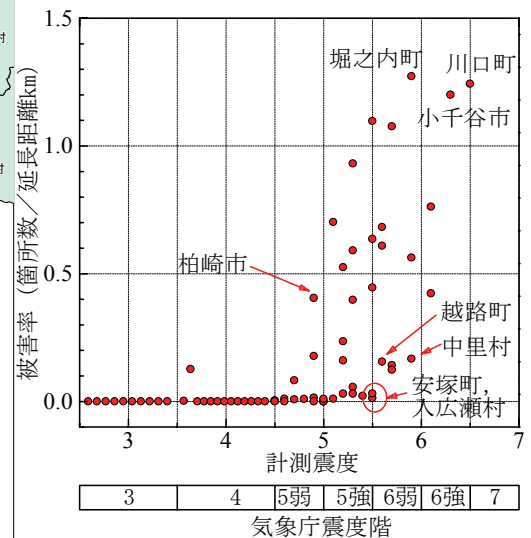
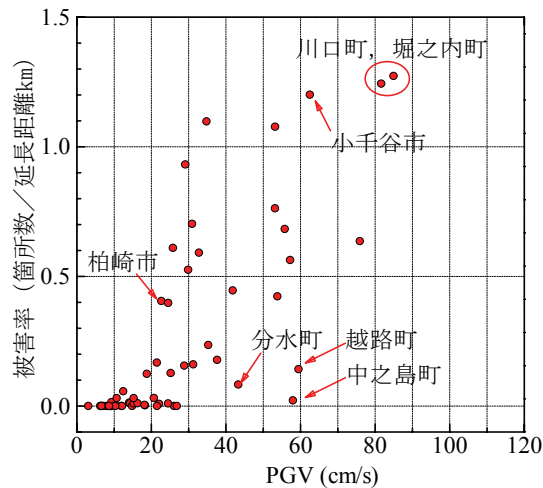


図-5 気象庁震度階（本震と余震の最大値）と道路被害率（市町村道）

*震度4で被害率の大きい点は寺泊町、震度5弱で被害率の大きい点は、値の大きい順に柏崎市、栄町、分水町。

本震の5つの地震（表-1参照）における気象庁の震度情報に基づいた最大震度であり、市町村内で2点以上の計測震度が得られている場合には、その最大値を各市町村における代表値とする。また、計測震度4.5未満の値については公表されていないため、例えば震度階4（3.5～4.4）、3（2.5～3.4）のエリアにプロットされている点は全て同じレベルであり、左側の方が小さい訳ではない。

図-5より、道路被害と震度との関係を見ると、震度4では1町（旧寺泊町）、震度5弱では3市町（柏崎市、旧栄町、分水町）だけで被害率が大きく、その他の震度4と5弱の市町村では被害率がほぼ0であった。ここで、震度が小さい割に被害率の大きかった、旧栄町、分水町、旧寺泊町は東西方向に町境を接しており、旧寺泊町、旧栄町の家屋の一部損壊以上の被害は18%と比較的大きく、旧寺泊町では半壊以上の家屋が15世帯存在する。このうち、旧寺泊町に関しては震度が観測された町役場は震央から離れた海岸沿いにあり、内陸部の低地に被害が多く被害が発生した²³⁾。ただし、国道や県道に全面通行止め規制に至るような被害は発生していない。また、計測震度4.9で被害率が大きい柏崎市は、市役所が震央から離れた地点（海岸線から約1km）にあることから、内陸部では旧西山町（5強）、刈羽村（6弱）と同程度の震度であったと想定される。したがって、およそ震度5強（5.0～5.4）以上の震動強さで市町村道は大きな被害率になり、震度5弱以下（4.9以下）で被害率は比較的小さいと解釈できる。すなわち、市町村道の被害は震度5弱と5強を境として、被害の多少の概略が判断できそうである。



図－6 PGV（本震，市町村面積の重心位置）と道路被害率（市町村道）

一方、震度 5 強以上では被害率がほぼ 0 の自治体は少なく、全体的に大きな被害率であることが分かる。また、この場合、被害率は 1km 当り 1.3 箇所程度が上限値となっている。

(2) 地表面最大速度（PGV）と被害率

つぎに、3 章で求めた PGV と被害率を図－6 に示す。ただし、PGV は市町村面積の重心位置で、かつ本震のみの値である。

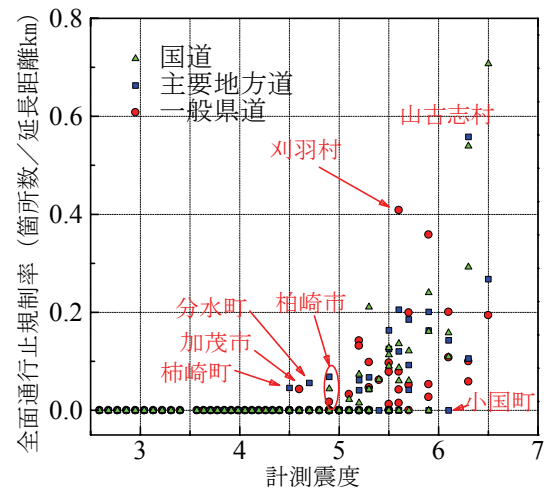
図－6 より、PGV が 10cm/s 未満では被害率がほぼ 0 であり、20cm/s 以上で被害率が 0.1 以上の市町村が出始め、30cm/s では被害率が小さなデータはほとんど見られない。ここで、図－5 で震度が小さい割に被害率が大きかった旧寺泊町、柏崎市、旧栄町、分水町は、PGV を指標とした場合には特異な点ではなくなっている。ただし、図－5 で震度が大きい割に被害率が比較的小さい旧越路町と旧中之島町は、PGV を指標とした場合にも同様の傾向があり、震度が小さい割に被害率が大きい分水町は逆に同程度の PGV の被害率に比べて小さな被害率を示している。

4.2 国道・主要地方道・一般県道の被害

新潟県中越地震では、国道、主要地方道、一般県道の被害は 88 路線、224 箇所て全面通行止め規制された。これらの道路については、ネットワーク機能の維持という観点から全面通行止め規制に着目する。

(1) 計測震度と全面通行止め規制率

ここではまず、市町村道の場合と同様に、計測震度と全面通行止め規制率との関係を図－7 に示す。また、参考のため、各道路の被害形態を表－2 に示す。ただし、全面通行止め規制率は各市町村内の被害箇所数をその市町村内のそれぞれの総延長で除した値である。また、計測震度は表－1 の地震における最大値で、震度 4 以下(4.4



図－7 気象庁震度階と全面通行止め規制率（国道・主要地方道・一般県道）

表－2 全面通行止め規制された国道・主要地方道・県道の被害形態

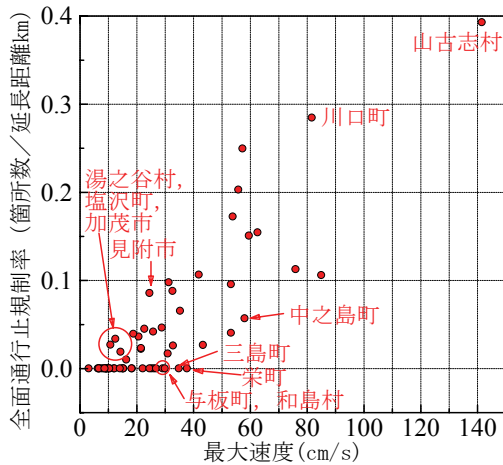
被害形態	被害箇所数
土砂崩れ	78
道路陥没	78
道路・路肩決壊	30
橋梁	4
トンネル	2
事前予防措置	21

表－3 国道と県道（主要地方道・一般県道）の全面通行止め規制率（箇所数／総延長距離 km）と震度階の関係

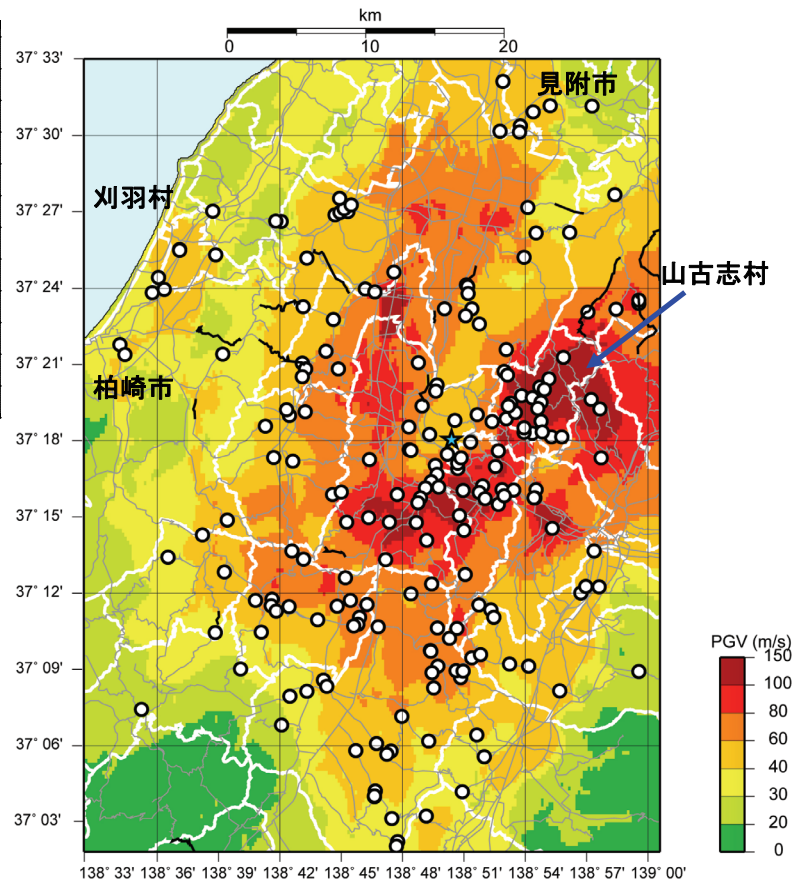
気象庁震度階	国道	県道
3	0	0
4	0	0
5 弱	0.01	0.01
5 強	0.02	0.04
6 弱	0.08	0.08
6 強	0.24	0.15
7	0.71	0.22

以下) についてはデジタル値がないため、その間で分布させて表示している。

図－7 より、旧柿崎町、加茂市、分水町で計測震度が小さいにも関わらず全面通行止め被害率が大きくなっているが、いずれも通行止め規制は 1 箇所であり、旧柿崎町、分水町については本震当日、加茂市については本震から 3 日後の 26 日に通行規制が解除されている。ここで、旧柿崎町、加茂市の通行規制理由は道路陥没である。分水町に関しては水道管破裂のための通行規制で、他の多くの被害形態と異なる。また、柏崎市は計測震度 4.9 であるが、国道、主要地方道、一般県道、いずれの範疇で



図－8 地表面最大速度（PGV，本震）と全面
通告止め規制率（箇所数／総延長距離
km，国道，主要地方道，一般県道）



図－9 国道・主要地方道・一般県道の全面通行止め箇所および地表面
最大速度の推定値の（PGV，本震）の分布状況

も比較的大きな規制率を示している。規制理由の多くは道路陥没である。ここで柏崎市に関しては、前節で示した市町村道の被害率でも同様の傾向が見られるが、これは震度計測地点が震央から離れた海岸沿いにあったためだと想定される。これらの影響を考慮すると、全体的には、市町村道の被害率と同様に計測震度 5.0（震度 5 強）から通行止め規制率が大きくなると考えられる。

一方、被害率の大きな刈羽村の規制理由の多くは道路陥没であり、隣接する柏崎市と同じ傾向を示している。また、震度 7 の川口町では、道路決壊、土砂崩れ、橋梁・トンネルなど多様で甚大な被害で復旧にも日数を要している。旧山古志村では、土砂崩れ、道路決壊が規制理由として多い。

ここで、兵庫県南部地震の際の地表面加速度と通行止め等の道路機能低下箇所数では、直轄国道で 700cm/s^2 、県管理区間で 550cm/s^2 から被害が大きくなっているが、これは国が管理する道路が震災の帯に属するものが多いため、もし、もっと広範な範囲に分布していればもっと小さな加速度の地域における被害が増えていたと考えられていた²⁾。ここで参考のため、国道と県道（主要地方道、一般県道）の全面通行止め規制率と気象庁震度階との関係を表－3 に示す。

表－3 より震度 5 強では国道の全面通行止め規制率が

県道より若干小さいが、震度 6 強以上では国道の方が県道の規制率よりも明らかに大きくなっている。

(2) 地表面最大速度（PGV）と全面通行止め規制率

つぎに、地表面最大速度（PGV）と全面通行止め規制率の関係を調べ、図－8 に示す。

図より、PGV が 11cm/s 、 13cm/s 、 14cm/s と小さいにも関わらず規制率が比較的大きな市町村は、順に、旧湯之谷村、旧塩沢町、加茂市である。ただし、旧湯之谷村では事前予防措置としての通行規制が 3 箇所、旧塩沢町では障害物撤去による規制が 1 箇所、加茂市については道路陥没による規制が 1 箇所となっている。また、見附市では市町村道の被害率も大きく、橋梁部の段差が原因のものが多く含まれている。逆に、PGV が大きいにも関わらず全面通行止め規制率が比較的小さい旧三島町、旧柴町、旧与板町、旧和島村は、いずれも震央の北北東部に位置し、お互い近接した市町村である。したがって、このエリアの PGV を過大評価するような震源モデルを同定した可能性も否定できないが、図－4 に示すようにこれらの市町村では市町村道の被害率が震央から距離を考慮すると近隣の市町村に比べて大きくなっており、PGV と市町村道被害率との関係においては特異なデータにはなっていない。

全体的には市町村道と同様に PGV が 10cm/s から全面通行止め規制が発生する被害が生じ始めるが大規模な被害は少なく、PGV が 20cm/s 以上で全面通行止め規制率が大きくなり、30cm/s を越えると全面通行止め規制が 0 に近い市町村は少なくなっていることが分かる。

(3) 全面通行止め規制箇所の分布

これまでは被害率や全面通行止め規制率などについて、計測震度が観測された地点での震度や市町村の重心位置での PGV を指標として、被害統計量をもとにした検討を行ってきた。ここでは、全面通行止め規制箇所と PGV の分布から考察を加える。図-9 に国道・主要地方道・一般県道の全面通行止め規制箇所および本震における地表最大速度 (PGV) の推定値の分布状況を示す。

図より、全面通行止め規制された箇所は、旧松代町や旧大和町東部で PGV が 20~30cm/s のエリアにある以外、ほとんどの場合、PGV が 30cm/s 以上のエリアにあり、また、その大部分が刈羽村や見附市、旧中之島町も含む PGV が 40cm/s のエリアに位置することが分かる。

また、PGV が 100cm/s を超える旧山古志村、川口町北部、小千谷市南部で規制箇所が集中している。一方、気象庁震度階に対して比較的大きな全面通行止め規制率を有していた柏崎市については、PGV が 40cm/s 以上のエリアを中心に規制箇所が分布しているなど、本研究で行った手法に基づく PGV が道路被害の事前予測の一助となることが示唆される。

5. まとめ

本研究では新潟県中越地震の際の道路施設の被害をサイトの地震動強さとの関係で検討を行った。ここで気象庁の震度階は限られたサイトでの情報であるので、震源断層モデルに基づく強震動シミュレーションによる地表の最大速度 (PGV) を算定し、震度階とは異なる地震動強さの指標として被害との関係を調べた。検討の結果以下の成果を得た。

- ① 強震動シミュレーションを用いて推定した PGV は、観測記録の PGV を 1/3 から 3 倍程度過小、過大評価する箇所があるが、 10^0 cm/s レベルから 10^2 cm/s レベルまで広い範囲で整合した。
- ② ①で得られた PGV は、高濱・内藤、保坂らが指摘する旧堀之内町から刈羽村に至る異常振動帯、ならびに、柏崎市の国道、県道で局所的に被害の発生した箇所でも相対的に大きな分布を示し、本手法の被害想定への有用性が示唆された。
- ③ 気象庁の震度階は限られたサイトにおける指標であるが、震度 5 弱では市町村道の被害率は小さく、震度 5 強以上で市町村道の被害率が増大した。
- ④ 市町村道では PGV が 20cm/s 位から被害率が大きくなり、30cm/s 以上では被害率が 0 に近いものはほとんど

見られなかった。国道、主要地方道、一般県道の全面通行規制率も同様の傾向が見られた。

- ⑤ 国道、主要地方道、一般県道では気象庁震度階の 5 強からの全面通告止め規制率が大きくなった。また、国道の規制率は主要地方道、一般県道に比べて震度 5 強で小さく、6 弱以上で大きかった。
- ⑥ 国道、主要地方道、一般県道の全面通行止め規制箇所位置は、ほとんどが PGV で 40cm/s 以上のエリアにあり、PGV が 100cm/s 以上のエリアでは規制箇所の密度が高くなっていた。

最後に、市町村道の被害率、県道以上の全面通行止め規制率との関係において、本研究で用いた地表面の最大速度は市町村の重心位置における値である。そのため、市町村の代表値として十分とは言えず、PGV と面積で重み付けした値を採用する方がより妥当な評価が得られるように考える。また、新潟県中越地震は全国有数の地すべり地帯に発生したものであり、地震直前の台風 23 号による降雨で地盤の保水率が高くなっていたことも被害増大させたと思定される。したがって、上記の成果は、このような条件下でのものであることに注意すべきである。

謝辞

本研究は、科学技術振興調整費『新潟県中越地震に関する緊急研究』の一環として行われた。国土交通省北陸地方整備局、新潟県、小千谷市、長岡市、川口町をはじめとする関係機関からは、被害分析に必要な情報を提供していただいた。Kik-Net および K-Net の強震記録は防災科学技術研究所に提供していただいた。新潟県内の 250m メッシュ Vs30 マップは防災科学技術研究所の松岡昌志博士に提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会・北海道東方沖地震災害調査委員会：1999 年北海道東方沖地震災害調査報告書，1998。
- 2) 杉田秀樹，濱田禎：占有施設・沿道施設の耐震性評価に関する調査，(その 1) 平成 7 年兵庫県南部地震における被害調査，土木研究所資料，No.3557，1998。
- 3) 常田賢一，小田和広，鍋島康之，江川祐輔：新潟県中越地震における道路施設の被害水準と道路機能の特性，土木学会地震工学論文集，Vol.28，No.9，2005。
- 4) 新潟県庁：新潟県中越地震に関する情報，http://bosai.pref.niigata.jp/content/jishin/jishin_1.html
- 5) 国土地理院：平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震災害状況図，<http://zgate.gsi.go.jp/niigatajishin/index.htm>
- 6) 防災科学技術研究所：地すべり地形分布図データベース，http://lswb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/jisuberi_mini/jisuberi_top.html

- 7) 防災科学技術研究所：公開情報（地震），
<http://www.bosai.go.jp/jpn/jishin.htm>
- 8) 気象庁：強震観測のページ，http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/041023_niigata/1756/nigata_main.htm
- 9) 新潟大学調査団：2004 年新潟県中越地震，
<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~earthquake/>
- 10) 産業技術総合研究所：新潟県中越地震情報，
http://www.gsj.jp/jishin/chuetsu_1023/index.html
- 11) 地盤工学会：災害速報，<http://www.jiban.or.jp/saigai/sokuho.html>
- 12) 土木学会：平成 16 年新潟県中越地震災害緊急調査団，
<http://www.jsce.or.jp/report/32/index.html>
- 13) 日本建築学会・災害委員会：2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震に関する情報，<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Saigai/niigata/index.html>
- 14) 国土交通省北陸地方整備局：平成 16 年新潟県中越地震に関する北陸地整の情報，http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H161023/1023_top.html
- 15) 新潟県警察：新潟県中越地震に関するおしらせ，
http://www.police.pref.niigata.jp/osirase/sinsai/jisin_top.htm
- 16) Pulido N., T. Kubo, 2004. Near-Fault Strong Motion Complexity of the 2000 Tottori Earthquake (Japan) from a Broadband Source Asperity Model, *Tectonophysics*, 390, 177-192.
- 17) 八木勇治：<http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/20041023/source.pdf>
- 18) 若松加寿江，松岡昌志，坂倉弘晃：新潟地域の地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその適用例，第 28 回地震工学研究発表会報告集，CD-ROM, ID180, 2005.
- 19) プリード・ネルソン，松岡昌志：2004 年新潟県中越地震の強震動記録のスペクトル比インバージョンと 250m メッシュ Vs30 マップに基づくサイト増幅特性と地震動評価，2005 地震学会秋季大会，2005.
- 20) 高濱信行，内藤信明：墓石転倒調査チーム調査報告（中間報告第 2 報），<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~earthquake/rep/04/tmb1227/tmb1227.html>
- 21) 保坂吉則，大川秀雄，神立秀明，星智浩：新潟県中越地震における柏崎市東部の地盤被害について，土木学会第 60 回年次学術講演会，No.I-669, pp.1335-1336, 2005.
- 22) 建設省土木研究所：平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震災害調査報告，土木研究所報告，No.196, 1996.
- 23) 広報てらどまり平成 16 年 12 月号④，2004.

（2005 年 9 月 10 日受付）