

中越地震における建物被害の偏在と地盤災害

卜部厚志・高濱信行・片岡香子・本郷美佐緒・鈴木幸治

新潟大学積雪地域災害研究センター

はじめに

新潟県中越地震は、2004年10月23日17時56分に川口町北部を震源として発生しました。本震直後から震度6強の余震を複数回観測するなど、活発な余震活動が継続し、余震域は東山丘陵南部の北東から南西方向に伸びる約30kmの範囲に及んでいます。本震では震源地近くのK-NET小千谷観測点で、最大1500ガル、130カインを超える阪神大震災以来の強震動を観測しています。

この地震による2005年6月2日現在の被害は、死者46名、重軽傷者4,794名、住家の全壊3,177棟、大規模半壊と半壊13,475棟、一部損壊104,070棟という大きな災害となっています。震度7を記録した川口町や小千谷市などの建物被害は多く報告されていますが、川口町や小千谷市内でも特に大きな被害は偏在して分布しています。特に、木造建造物の建物被害は必ずしも震度の分布とは一致していません。

これら木造建造物を含む建物・建造物被害の偏在は、入力された地震動の特性、強震動の集中、地盤の共振、地盤の液化化、傾斜地や宅地盛土の移動あるいは古い建物の密集など、強震動、地盤の問題、建物の構造と分布など多くの要因によって現れたものと考えられます。

積雪地域災害研究センターでは、2004年10月24日より小千谷市から川口町、魚沼市（旧堀之内町）の被害状況の把握のために住宅地図を用いた個別ごとの建物被害調査、地盤変状の把握を行いました。この被害調査によって震源地に近い川口町田麦山、和南津、武蔵窪や魚沼市（旧堀之内町）新道島地区などにおいて被害が顕著であることが明らかになり、このうち、川口町田麦山、和南津と魚沼市（旧堀之内町）新道島地区は、強震動により被害が顕著であることを指摘しました¹⁾。

このような木造建造物を中心とした建物被害の分布の把握とその要因を明らかにすることは、建物の再建に際して重要な検討要素であり、速やかな復興と今後の安全性の確保のために重要な課題であると考えられます。

研究方法

建物の構造区分

一般に住家などの木造建造物の被害率から被害の集中帯を推定することは、設計様式、建築工法、建築年数による差異や都市の開発履歴による同一建築年数の集中（造成地や区画整理によって築年数が同じになる）などさまざまな要素が混在しており、また施工の不具合も加味した場合には困難である場合が多いと考えられます。

しかし、今回の地震による震源地付近の被害は、小千谷市や川口町の市街部を除いて豪雪地域の農村であることから、集落を構成する木造建造物群は、以下の3タイプに区分できます。

(1) 木造2階建車庫

2階建て1階部分が車庫や倉庫からなるピロティ形式で、2階部分は窓の少ない壁構造で倉庫（納屋）となっているもの。川口市街部や小千谷市街部では、1階が古い店舗構造で2階が住宅あるいは倉庫となっている建造物もこの区分に対応します。

(2) 木造2階建一般住家

2階建ての一般住家で、豪雪地域に対応した構造であることから、屋根荷重に強く（柱が太く、本数が多い）、室内の間取りや建物の構造が類似しており、都市部のように間取りのデザインの多様性は少なくなっています。雪（屋根雪の落下）を考慮して1階部分と2階部分の床面積が同じ直方体状の建物であることが多い特徴があります。

(3) 高床式木造2階建一般住宅

基礎部分がRC構造の高床式で、車庫部分や小さな間仕切りを多用したもの。小空間から構成されるため、ピロティ形式のような大空間を伴う構造ではありません。上部建屋は一般の木造住宅であるが、雪を自然に落下させるために屋根の棟を高くして屋根勾配が急になっています。

これらに加えて低層のRC建造物や2×4工法の建造物をほとんど含まないことも特徴としてあげられます。また、10～15年程度前より高床式木造住宅（克雪住宅）が普及することから、ほとんどの木造2階建一般住家の建築年数は10～15

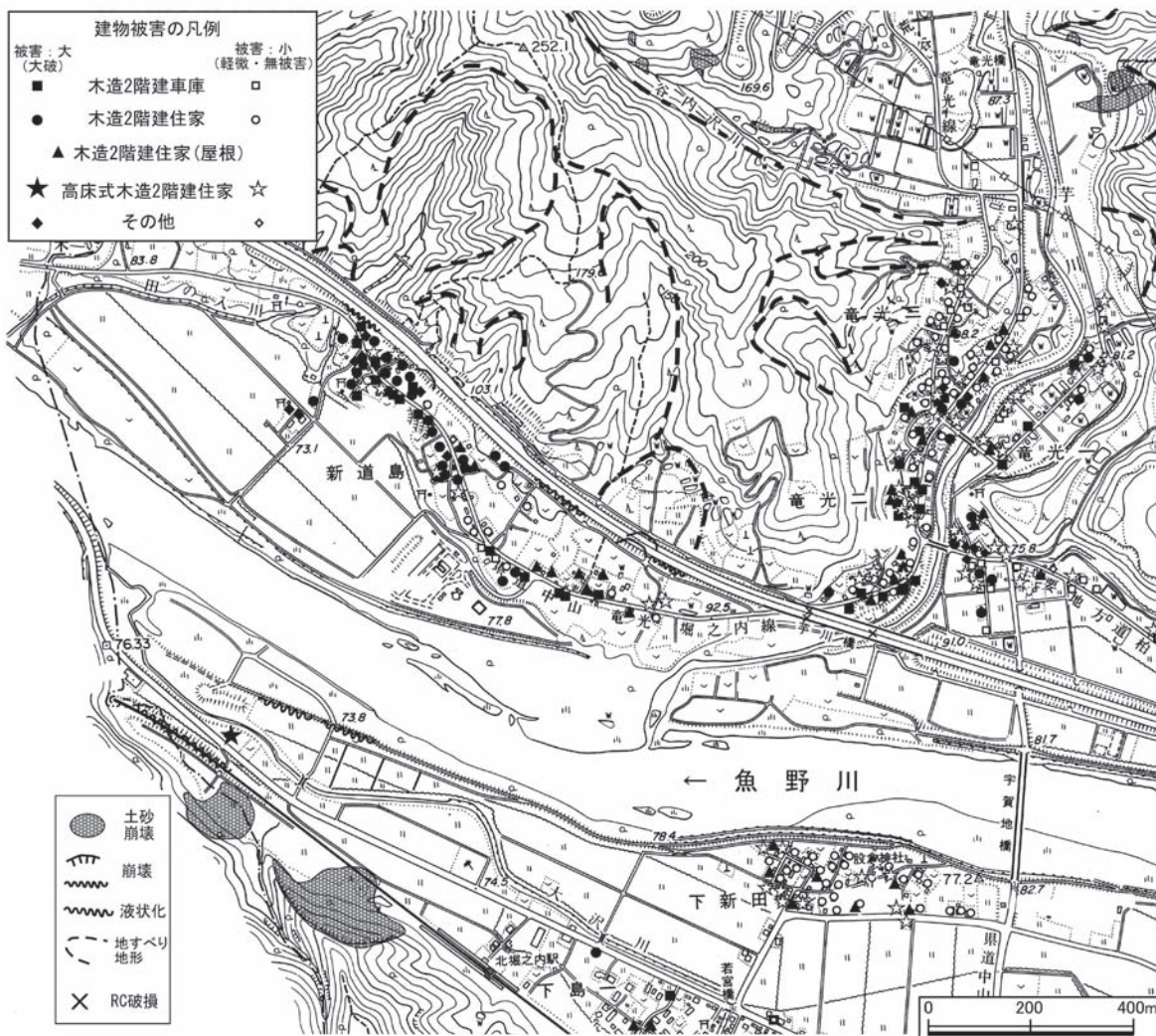


図1 魚沼市(旧堀之内町)新道島・竜光地域の建物被害分布. 地形図は魚沼市(旧堀之内町)発行 1/10000 地形図を使用.

年前以前で、これ以降は高床式木造2階建住家が一般住宅の中心になっています。よって、震源地付近の住家は、およその建築年数と構造物の様式区分がほぼ一致する特徴があり、これらの住家の区分と被害から地盤による被害を除いて、集落ごとの被害率を算定することにより、各集落の地震動による被害の程度を比較することができるものと考えられます。

建物の被害区分

木造構造物の被害程度の区分は、完全に倒壊したものに加えて、基礎の破断や基礎と建屋の分離、建物全体のゆがみなど外見上の被害に着目して行ないました。特に建物のゆがみは基礎からの全体の傾き・ゆがみ、1階と2階の境界部での屈曲・ゆがみ・通し柱の破断を観察しました。ここでは、これらの判断基準から、倒壊したものに加えて、建物のゆがみの程度が大きいものを“大破”として区分しています。

一般に大破の定義は、「倒壊および現状のままでは住めない状況の建築物」で a) 建物が大きく傾き、修復不能な状態あるいは倒壊したもの、b) 取り壊しまたは大規模な全面的補強工事を必要とするもの、c) 接合部が抜け出し、建築物の一部が鉛直荷重に対する耐力を失っているもの、d) 柱、梁、筋交等の骨組みに重大な損傷をきたしたものとされています。大破の区分は、市町村の罹災証明用の全壊判定とは異なり、大破数は罹災証明の全壊数の7割程度となります。ここでの被害区分は、構造物内部の状況を検討したうえでの判断ではなく外見上の観察ですが、大破の基準に相当した判定で“大破”という用語を用いています。また、木造2階建一般住家の場合、大破の区分のみではなく被害のうち外見上の識別が容易な屋根瓦の棟部分の損傷の有無も区分しました。被害の程度としては概ね、木造2階建一般住家の屋根被害→木造2階建車庫の大破→木造2階建一般住家の大破

→高床式木造 2 階建住家の大破の順で被害の程度が大きいものと考えられます。

研究成果

各地区の建物被害

調査地域のうち、以下では魚沼市（旧堀之内町）新道島・竜光地区、川口町和南津地区、川口町田麦山地区の地形、建物の被害状況等について述べます。

魚沼市（旧堀之内町）新道島・竜光地区

地形概説

この地域の地形区分は、建物被害調査時の地形概査と空中写真判読から、現河川沿いの沖積面と下位より A～F までの河成段丘面および地すべり性の緩斜面（a, b）に区分することができます（図 1）。また、魚野川に沿う方向で道路交通網の基幹である関越自動車道と国道 17 号線と JR 上越線が位置する地域であり、今回の地震において、関越自動車道は盛土路盤の崩壊、国道 17 号線は川口町境界部の和南津トンネルの崩落、JR 上越線は北堀之内駅西方における土砂崩壊と液状化による路盤の変形が発生しており、東京方面への道路交通網の基幹が寸断された地域でもあります。

建物被害の概要

新道島：堀之内浄化センター付近を境として西部と東部で被害の程度が非常に大きく異なります。西部の木造構造物は、主に木造 2 階建一般住家・木造 2 階建車庫と 6 棟の高床式木造 2 階建住家から構成されますが、木造 2 階建一般住家と木造 2 階建車庫をあわせた大破率は 97% で、高床式木造 2 階建住家をあわせた（全木造構造物）大破率は 84% と壊滅的です。これらのほとんどは地震動による倒壊・大破であると考えられます。

東部の被害は、数棟の木造 2 階建一般住家と 5 棟の木造 2 階建車庫の大破で木造 2 階建一般住家の被害は屋根のみの被害が目立っています。木造 2 階建一般住家と木造 2 階建車庫をあわせた大破率は 31% で、全木造構造物の大破率は 29% となります。

芋川右岸（竜光 2, 3）：木造構造物の被害は木造 2 階建車庫の大破と木造 2 階建一般住家の屋根被害が目立っており、木造 2 階建一般住家の大破はやや少ない傾向があります。木造 2 階建一般住家と木造 2 階建車庫をあわせた大破率は 27% で、全木造構造物の大破率は 21% になります。

芋川左岸（竜光 1）：木造構造物の被害は木造 2 階建車庫と木造 2 階建一般住家の大破がみられます。木造 2 階建一般住家と木造 2 階建車庫をあわせた大破率は 40% で、全木造構造物の大破率は 24% になります。

下新田：魚野川右岸の宇賀地橋南方に位置しており、木造 2 階建一般住家と高床式木造 2 階建住家から構成されます。ここでの被害は、木造 2 階建一般住家の屋根被害が 7 棟程度と他の地区と比較すると軽微であり、大破に相当する被害は認められませんでした。

被害の分布と地形

建物の被害は、新道島地区の西部に特に集中しています。この地点では、高床式木造 2 階建住家を除く木造構造物のすべてが大破しており、本調査地域内の他の地区や震源地に近い川口町においても特筆できる被害の集中となっています。

この被害の集中は、河成段丘面や若干の崩壊性堆積物が分布する河成段丘面上に分布しています。しかし、新道島地区の東部ではほぼ同様な地形と表層地盤環境ですが、被害は西部と比較すると格段に少なくなっています。この被害の集中は、地形や表層地盤の影響よりも新道島地区西部が地震による強震動を受けたものと考えられます。新道島の被害集中区間の南東方向には魚野川左岸の堤防の損傷や液状化による JR 上越線の路盤の変形区間が位置しており、周囲より強い強震動を受けた可能性が考えられます。

川口町和南津地区

地形概説

和南津地域は魚野川と信濃川の合流地点から東に約 2km に位置し、北東-南西方向へ流下する魚野川右岸の川口町中山野田と左岸の川口町八郎場、上河原、下村、長坂の集落から構成されます（図 2）。和南津地域の地形区分やリニアメントの分布は、被害調査の時の地形概査と空中写真判読によるもので、高位より I～IV までの河成段丘面、扇状地性緩斜面および扇状地性急斜面、現河川沿いの氾濫原面と微高地に区分できます。

建物被害の概要

八郎場集落：木造 2 階建車庫、木造 2 階建一般住家、高床式木造 2 階建一般住家のいずれも被害が比較的少なく、倒壊した建物は木造 2 階建車庫が 1 棟、木造 2 階建一般住家が 2 棟となっています。

上河原集落：被害件数は比較的少ないものの、大破した高床式木造 2 階建一般住家が 3 棟認めら



図2 川口町和南津地域の建物被害分布・地形図は川口町発行 1/10000 地形図を使用

れました。このほかに倒壊した建物は、木造2階建車庫が7棟、木造2階建一般住家が11棟でした。

下村集落：被害件数はやや多く、大破した高床式木造2階建一般住家が3棟、倒壊した建物は木造2階建車庫が9棟、木造2階建一般住家が9棟でした。

長坂集落：被害件数は多いですが、大破した高床式木造2階建一般住家はなく、倒壊した建物は木造2階建車庫が4棟、木造2階建一般住家が13棟となっています。

野田集落：被害件数は比較的少なく、倒壊した建物は木造2階建車庫が7棟、木造2階建一般住家が4棟でした。

被害の分布と地形

和南津地域における建物被害は河成段丘面および扇状地性の緩斜面上に集中しています。また、段丘面上に発達する地すべり性緩斜面の末端部には、地すべりによる建物被害や道路法面のはらみ出し、消雪パイプの被害が集中しています。

和南津地域に見られる段丘面上の扇状地性緩斜面は、後背地の和南津層に由来する“泥質な”崖錐性扇状地堆積物からなると考えられ、これらの地形面で被害が大きいという事実は地盤の増幅あるいは共振効果を表しているものと考えられます。

また、魚野川左岸の氾濫原面で大破率が約30%前後となるだけでなく、左岸の河成段丘面では、

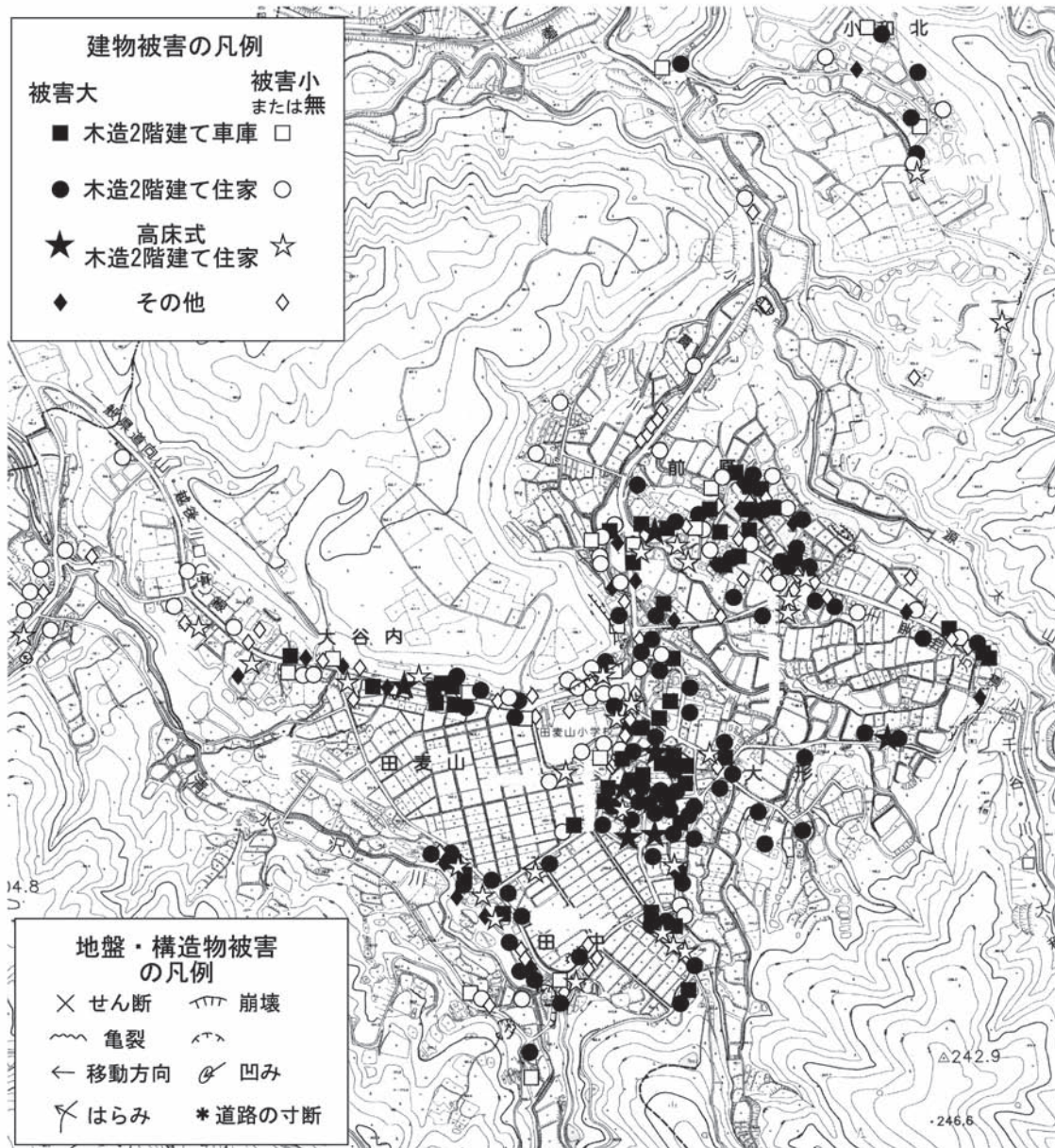


図3 川口町田麦山地域の建物被害分布. 地形図は川口町発行 1/10000 地形図を使用.

右岸と比較して被害率が高率（約 30%前後）を示すことが特筆されます。これは同じ河成段丘面でありながら、左岸が右岸よりも 3 倍程度被害率が高いこととなります。これらの特徴から、和南津地域では魚野川左岸のほうがより強い強震動を受けたことが推測されます。

川口町田麦山地区

地形・地質概説

田麦山地区は東西 1 ～ 1.5 km 南北約 2 km ほどの比較的平坦な地形上にあり、周辺はこれら新第三紀の基盤岩に囲まれています。中山間地にあるこの平坦面は、現地の地形概査と空中写真による判読から解釈すると、近接して流下する魚野川の蛇行によりできた河成段丘と放棄された流路に対

して周囲の小河川からの堆積物の埋積によってできた地形(扇状地性緩斜面)から構成されています。
建物被害の分布

川口町田麦山地区の建物被害分布を図3に示します。田麦山地区全体では、高床式木造 2 階建一般住宅は 38 棟中 9 棟に、木造 2 階建一般住宅は 133 棟中 81 棟に、木造 2 階建車庫（倉庫）については 67 棟中 50 棟に、その他は 76 の構造物のうち 18 に、それぞれ大破・倒壊などの著しい被害が認められました。

これらの被害は、特に扇状地性緩斜面に集中していることから、地盤での共振による効果が考えられますが、周辺地域には上述の新道島、和南津から続くリニアメントが発達していることから、活断層に関連した地質構造に強震動が伝播して被

害が大きくなった可能性も考えられます。

考 察

建物被害の偏在性

ここでの建物被害調査は、上述の地区・地域の調査に加えて震源域周辺の小千谷市南部から川口町の各集落について行いました。これらの集落ごと（一部は地形の相違を考慮した区分）の倒壊・大破率を図4に示します。この倒壊・大破率で見ると被害の大きな地区（集落単位）は偏在しており、例えば震度7を観測した川口町市街部では、被害が集中しているが市街部の対岸の魚野川左岸では外見上の被害は軽微である住家が多いことがわかります。同じ震度7の被災地域でありながら、建物被害の程度は異なることが明らかになりました。また、被害率が特に高い地区（集落）は、魚沼市（旧堀之内町）新道島西部、川口町和南津南部、同田麦山、同小高、同武道窪東部と川口町市街部の一部であることがわかります。

建物被害の要因

(1) 河成段丘の扇状地地形効果

震源地周辺の地形は、信濃川と魚野川が形成した河成段丘で特徴付けられます。これらの段丘地形は、段丘堆積物として主に河川の運搬した砂礫層からなる河成段丘（平坦）面と段丘上に発達する泥質な堆積物からなる扇状地状地形面に区分できます。この河成段丘面は、構造物の基礎地盤としては良好であると考えられます。また、扇状地地形面は、段丘の離水後に側方の支流からもたらされた軟弱な堆積物が形成する地形面です。

この両地形面と建物被害との関係を見ると、近接した地域での比較では、段丘面上では被害が軽微となり扇状地地形面では被害が相対的に大きくなる特徴が見られます。扇状地地形面では、この軟弱な堆積物によって地盤の固有振動が木造構造物の固有振動周期と一致する共振が生じ、建物被害が集中したものと考えられます。

(2) 強震動の伝播

震源地付近で上述した段丘面と段丘上の扇状地地形面での被害の違いを考慮しても木造構造物の大破率が非常に高く、他地域では損壊が非常に少ない高床式木造2階建一般住宅の一部にも被害が及んでいる地区（集落）が存在しています。例えば、魚沼市（旧堀之内町）新道島地区は、地形区分では魚野川右岸の狭長な河成段丘面と段丘面

上に薄い崩壊性堆積物が分布する地形面から構成されますが、同じ地形・地質環境であってもこの地区の西部と東部では、被害の程度が大きく異なります。新道島西部では、木造構造物の木造2階建一般住家と木造2階建車庫をあわせた大破率は97%で、高床式木造2階建住家をあわせても84%の大破率と壊滅的であるのに対して、東部の被害は、数棟の木造2階建一般住家と5棟の木造2階建車庫の大破で木造2階建一般住家の被害は屋根被害が目立つ程度になっています。

木造2階建一般住家と木造2階建車庫をあわせた大破率は31%で、高床式木造2階建住家をあわせた大破率は29%です。このように地形面や堆積物の増幅、共振効果では説明できない事象が起っています。このような被害の集中域は、魚沼市（旧堀之内町）新道島西側、川口町和南津南方、川口町田麦山地域、小高地域で、扇状地地形の効果ではなく強震動の影響を受けて建物の被害が大きくなったものと考えられます。

空中写真の判読では、上述の地区の東縁に近接してリニアメントが見られることから、この強震動の集中は伏在する断層との関連が高いものと判断できます。これらの地域は幅500m程度と比較的狭い幅で、ほぼ約6kmの直線上に並ぶことから“激震ゾーン”として区分しました。この激震ゾーンは、本震の想定される震源断層の東側（逆断層の上盤側）に位置することから本震による断層運動による非常に強い震動が伝播して、ほぼ直線上の狭長な範囲に表れたものであると考えられます。また、小高集落を南限とする強震動帯の分布は、余震の分布域の南限とも一致し、東山丘陵に分布する褶曲構造の南限とも一致しています。このように今回の地震活動は、地質構造の分布と密接に関係があり、激しい建物被害の集中も地質構造に起因する可能性が高いものと考えられます。

文 献

- 1) 卜部厚志ほか（2004）2004年新潟県中越地震における震源付近の建物被害，地学団体研究会そくほう，595，2-4.

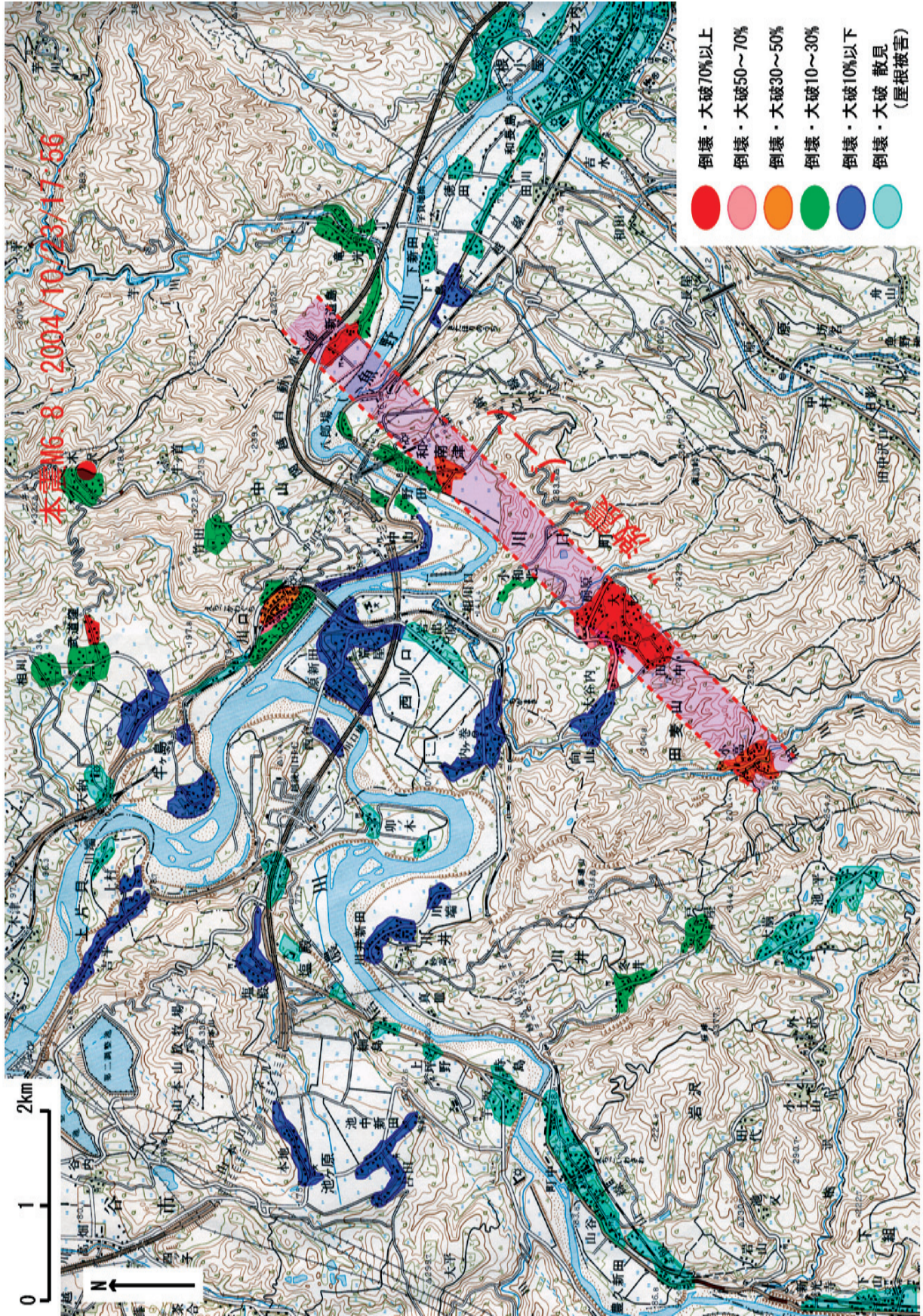


図4 木造構造物の被害分布. 地形図は, 国土地理院 1/50000 地形図「小千谷」を使用.