日本建築学会 第 32 回地盤震動シンポジウム（2005.1.7）、pp21-32

2004 年新潟県中越地震
― 地盤と地震被害 ―

2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake
Sub-Surface Soil Condition and Earthquake Damage

久田嘉章
Yoshiaki HISADA

Damage of the 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake and its relation with sub-surface soil conditions are reported. The most severely damaged areas are located on old rivers and alluvial funs in mountain areas, whose deposits are composed of the weathered soft rocks on the Higashi-Yama anticlines. On the other hands, whereas the earthquake damage on the Niigata plain are not very severe, the alluvial deposits along the Shinano river clearly showed non-linear effects during the mainshock.

１ はじめに

2004 年新潟県中越地震における地盤特性と被害に関係を中心に、その地震と被害の概要、地形・地質（褶曲地形、沖積層など）、強震動特性、震源モデル、建物全数調査の結果を現在（2004 年 12 月）までに得られている知見をもとに報告する。

２ 2004 年新潟県中越地震の概要

2004 年新潟県中越地震（10 月 23 日 17 時 56 分、深さ 13ｋｍ）は M_{JMA}6.8（USGS M_W 6.4:, F-net M_W 6.6）で、西北－南東方向に圧力軸を持つ西落ち逆断層の地震である。同日の 18 時 03 分に M_{JMA}6.3、18 時 11 分に M_{JMA}6.0、18 時 34 分に M_{JMA}6.5 を記録するなど余震活動が非常に活発であり、救助や避難活動にも大きな支障を生じた。本震の際、川口町で兵庫県南部地震以降初めての震度７を記録している。

12 月 10 日現在、地震による死者数が 40 名、住家家屋では全壊が 2,729 棟、大規模半壊が 706 棟、壊が 8,747 棟、一部損壊が 85,118 棟、非住家被害が 34,259 棟、道路被害 6,062 個所と報告されている（新潟県、2004）。死者の内訳では、地震動による建物等の倒壊によるものは９名のみであり、その他はショック死や、地震後の疲労・ストレス・エコノミー症候群など間接的影響で亡くなっている。

本震や余震では震源域で多数の強震記録が観測され、それを用いた震源モデルも提案されている。震源域での最大加速度や速度は、既往の経験式と比べると大きい（例えば、東京大学地震研究所 2004、防災科学技術研究所 2004）。震源逆解析によると、強い地震動を生じた断層部分（アスペリティー）は震源の近傍の比較的に浅い位置に特定されている（例えば東京大学地震研究所 2004、防災科学技術研究所 2004）。今後、浅いアスペリティーからどれほど短周期地震動が発生したのか、表層地盤の影響をも加味した詳細な分析が期待される。

３ 山地部（活褶曲地形帯）での地震被害

新潟県中越地震による被害の大きな特徴は、平野部よりも山地部で大きな被害が集中したことである（図１参照）。中越地震の震源域である魚沼丘陵（南部）・東山丘陵（北部）は、西北西-東南東の圧縮を受ける活褶曲地域である（例えば岡本・柳沢（2004））。褶曲地域では沈降する向斜軸では圧縮を受け地盤は硬化するが、隆起する背斜軸では張力を受け岩盤はもろくなる。このため隆起が続くと地盤の弱い背斜は差別的に削除され、もともと尾根だった背斜は徐々に谷地形となる。東山丘陵は多数の背斜・向斜で刻まれており、特に大きな被害を受けた山古志村は東山背斜が差別的に削除され谷地形し、地すべりの多発地域として知られている（図１、２）。今回の地震でも台風による大量の雨でゆるまった地盤により、多数の地すべり被害を生じたと解釈されている（小長井，2004）。

一方、隆起する背斜の谷地形を蛇行する河川の効果により、活褶曲地形帯には段丘状の崖地形や、取り残された馬蹄形の平地に旧河川道を生じる。小千谷市や川口町の周辺にはこのような多くの段丘地形や旧河川道、後背湿地が認められている。当該地域

では多くの道路や鉄道は段丘崖沿いに敷設され、斜面崩壊により多大な被害を被った（小長井，2004）。

一方、山地部での地震動による被害も褶曲地形の地盤条件に密接に関係している。図１には褶曲地形と地震動によって大きな被害を生じた地域を重ねているが（図２は断面図）、大被害の地域は背斜軸上に集中している。さらに被害地域での詳細な被害分布と地形に注目すると、被害の集中した地域は旧河川道（川口町など）や、扇状地・扇状地性段丘（武道窪、田麦山など）に位置すると指摘されている（産業技術総合研究所・活断層研究センター，2004）。通常の扇状地は硬質な砂礫が堆積するが，当地域の扇状地・扇状地性段丘では、背後の地すべり性斜面から供給された第三紀軟岩による軟弱な風化物である（産業技術総合研究所・活断層研究センター，2004）。従って、地震時の地盤の増幅効果が大被害をもたらした一因と考えられる。

一方、川口町、田麦山、竜光、新道島など大被害を受けた地域では建物の倒壊・傾斜、飛び石などは、北西向きに卓越していた（写真１・２）。後で述べる小千谷での強震動波形は北西−東南方向に卓越している。従って山地部には強震記録が無いものの、震源域の強震動は共通に北西−東南方向が卓越したと思われる。

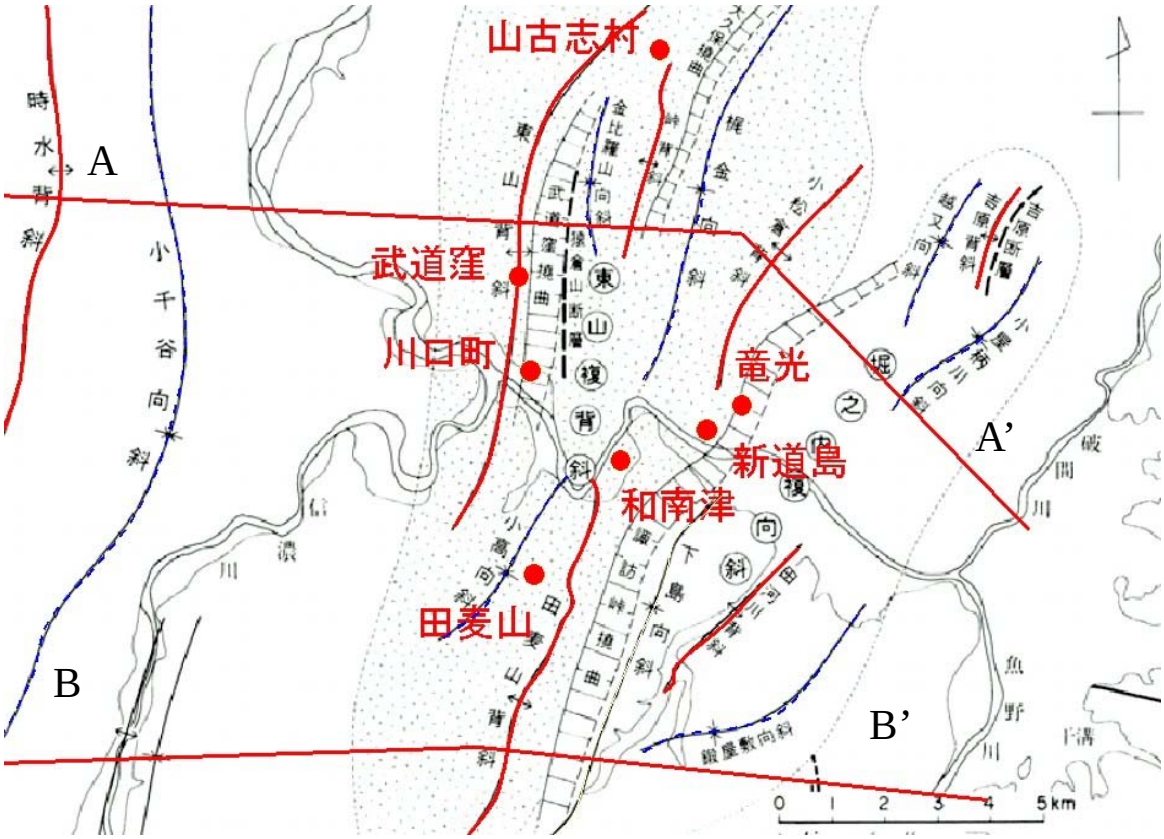

図１　褶曲地形による背斜（実線）と向斜（破線）と大きな被害を受けた地域
（産業技術総合研究所・小千谷の地質(2004)に加筆）

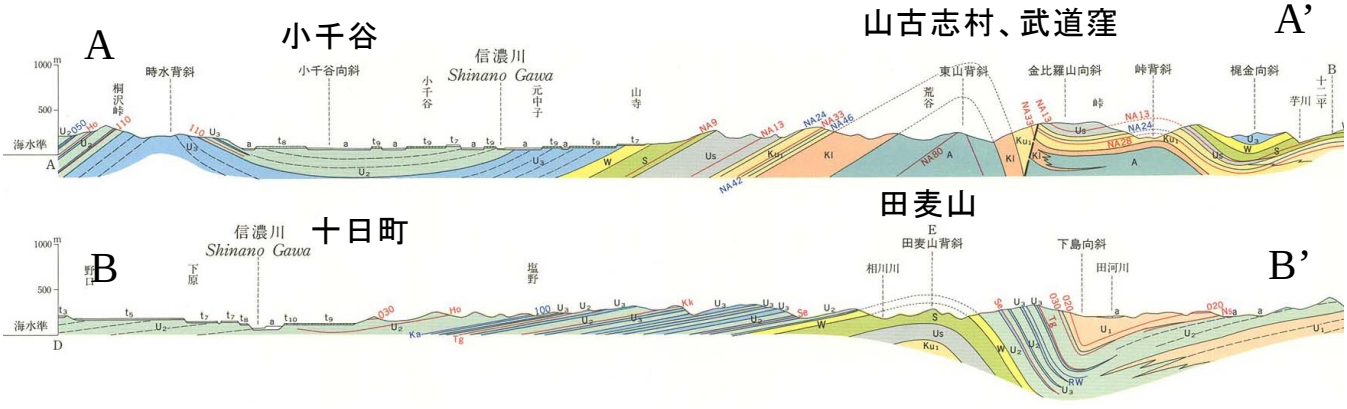

図２　褶曲地形における地質断面図（産業技術総合研究所・小千谷の地質(2004)に加筆）

写真１　　西向きに傾斜した建物（竜光）　　写真２　北西向きの飛び石（新道島）

田麦山、竜光、新道島など大被害を受けた地域で傾斜した建物の多くは西から北西向きに卓越していた

４　平野部（沖積平野）での地震動と地震被害

信濃川流域の平野部は厚さ５ｋｍ以上の新第三期以降の堆積層によって新潟堆積盆地を形成している（例えば、産業技術総合研究所・震源域の地質図2004)。平野部での地震被害は山地部ほど大きくはないが、多くの強震記録が観測されており、震源近傍の地震動特性や表層地盤の非線形など興味ある研究が多数報告されている。

長岡市周辺：長岡市周辺では、地震動による被害よりも、液状化や宅地造成地の地すべりなど地盤変状による被害が顕著であった。長岡市周辺の表層地盤の例として図３に地質図を、図４に新幹線沿いの地質断面図（産業技術総合研究所・長岡市の地質2004)、図５にはK-net長岡における柱状図を示す。長岡市周辺やその南側では硬質な砂礫層があり、主として粘土質の表層がその上に堆積している。液状化を生じる砂質土層は長岡市より北側(図３,図４のC 点あたり）で堆積していることが分かる。大規模な液状化の例として写真３に宝地区の噴砂を示す（長岡市の北側、場所は図３を参照)。

図５のK-net長岡の柱状図では、硬質な工学的基盤層上に３ｍ程度の軟弱な粘土層が乗っており、強震動の際に地盤の非線形化することが予想される。実際、図６にはK-Net長岡（左）とJMA長岡（右）における微動のH/Vスペクトルと速度応答スペクトルを示すが、強震時における卓越周期の長周期化が見られる（紺野他、2004)。

一方､長岡市より東側の山地側で目立った被害は、地震動による被害よりも宅地造成地の盛土における大規模な地すべり被害である。写真４に高岡地区における地すべり被害の例を示す。

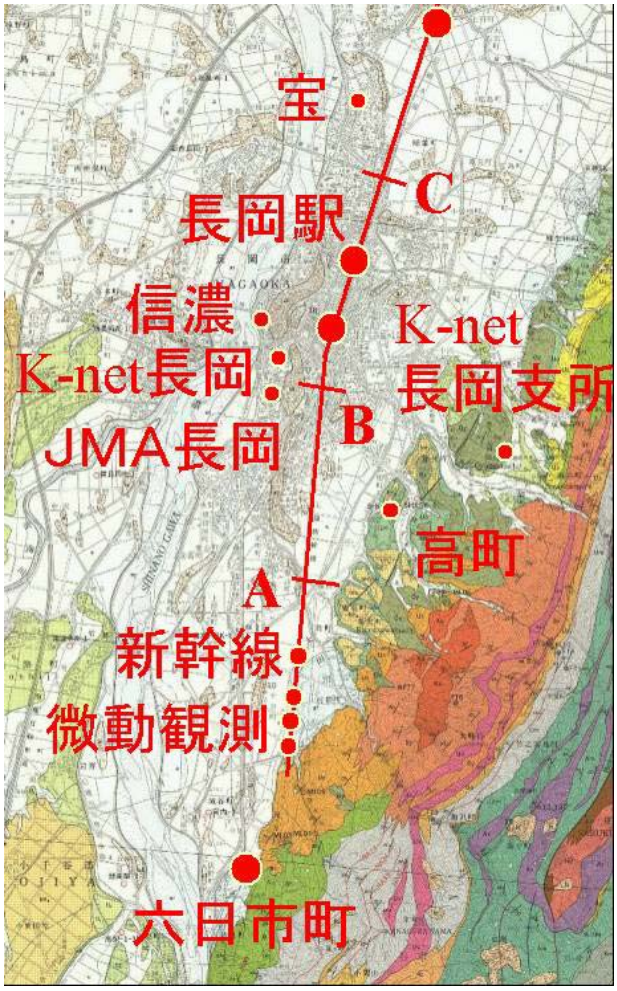

図３　長岡市周辺の地質（産業技術総合研究所・長岡市の地質 2004 に加筆

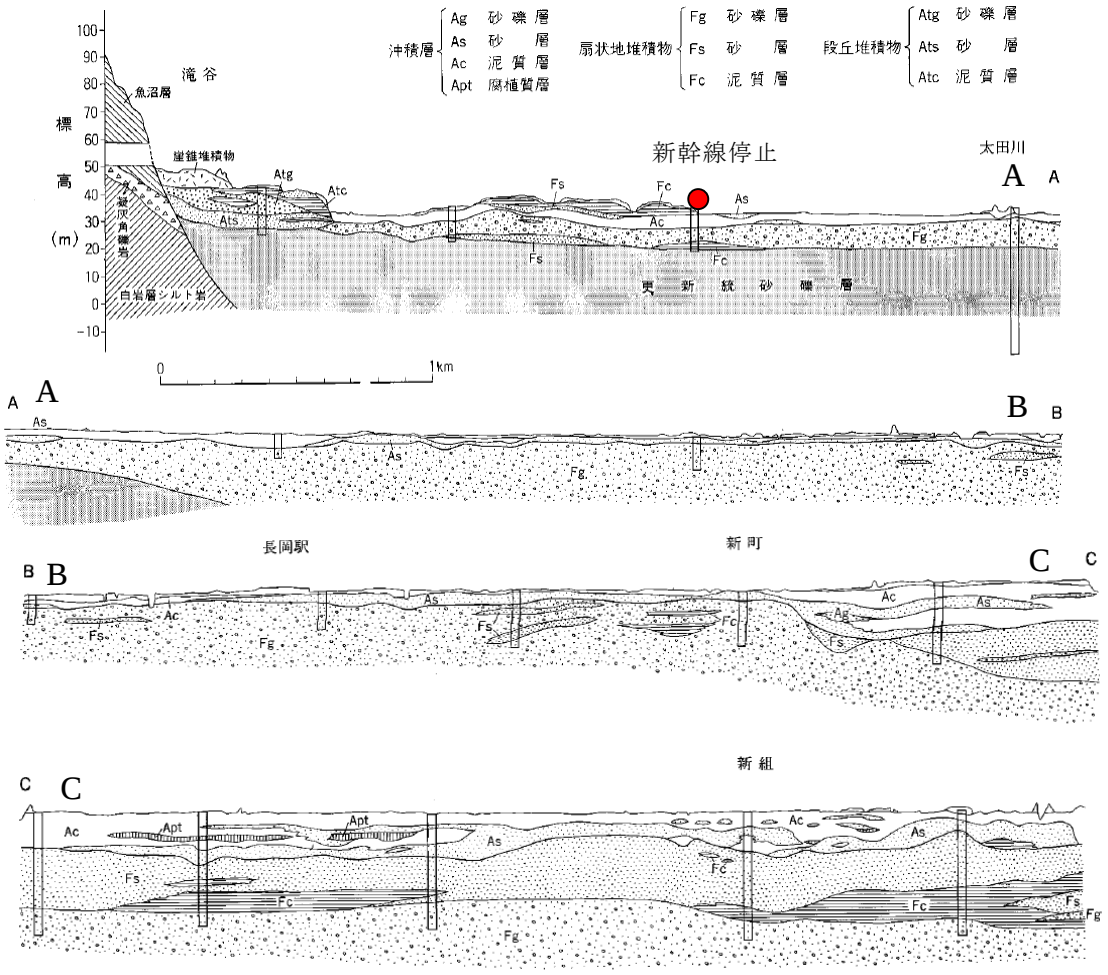

図４　新幹線沿いの地質断面図（産業技術総合研究所・長岡の地質 2004 に加筆、位置は図３）

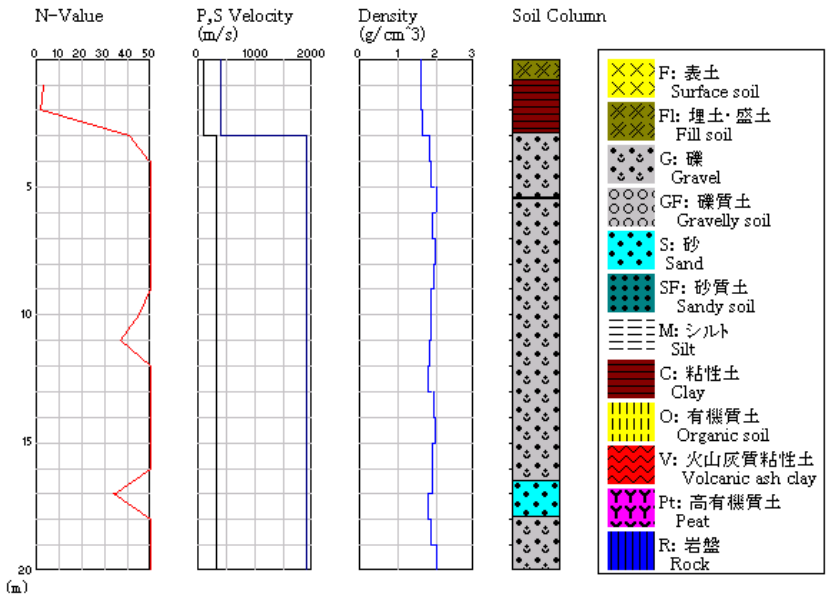

図５　K-Net 長岡の柱状図
（防災科学技術研究所）

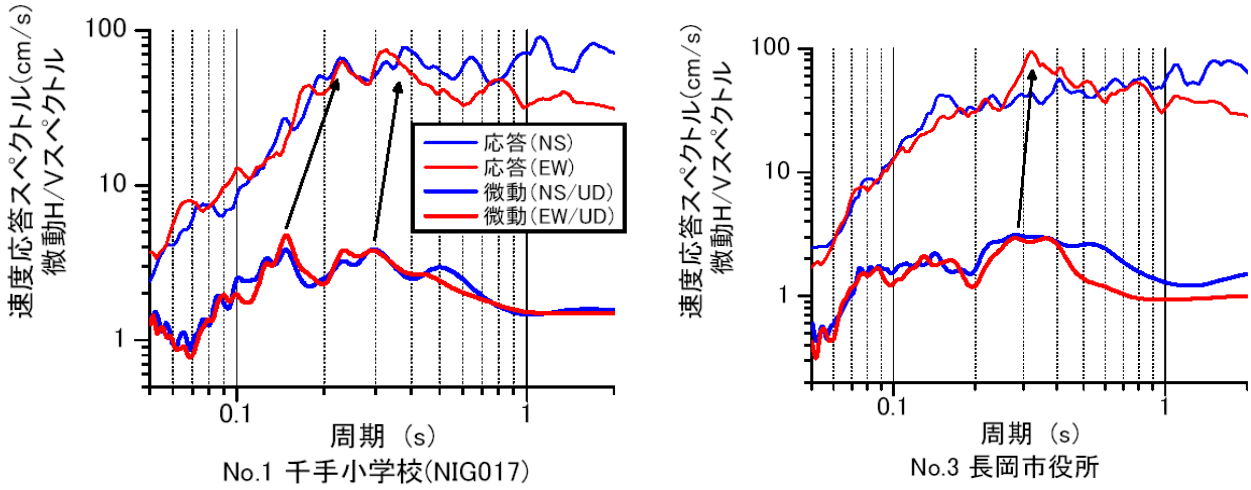

図６　K-Net 長岡（左）と JMA 長岡（右）における微動の H/V スペクトルと速度応答スペクトル
（観測点場所は図３を参照：紺野他、2004）

写真３　長岡市宝地区で見られた液状化（場所は図３）

写真４　長岡市高岡地区の造成地での地すべり被害（図３）

小千谷市周辺：図７には小千谷市とその周辺地域の地質図と断面図を示す。３で述べたように小千谷地域は活褶曲帯の向斜軸上にあり、蛇行を繰り返した信濃川とその支流によって多数の段丘や旧河川道や後背湿地が分布している。

図７には K-net 小千谷と JMA 小千谷の観測点も示している。また図８は K-net 小千谷の柱状図である。図７の５万分の１地質図上では２観測点とも完新世の段丘堆積層上に位置しているが、両地点の間には茶郷川があり、その流域には軟弱な氾濫原堆積物が堆積している。K-net 小千谷の柱状図によると、13ｍ以深には岩盤（図７の断面図では更新世の魚沼層群）、深さ３ｍ以深には硬質な礫層があり、その上に３ｍ程度の非常に軟弱なピートが乗っており、強震の際、塑性化することが予想される。

図９には本震の際に観測された JMA 小千谷（震度６強）と K-net 小千谷（計測震度７相当）の加速度波形（EW 成分）の比較を示す（東京大学地震研究所 2004）。K-net 小千谷の振幅の方は大きく、特に大振幅時には密な砂地盤で見られる液状化現象の一種であるサイクリック･モビリティーが観測されている。

図 10 は-Net 小千谷での本震・余震・本震前の観測波のフーリエ振幅スペクトルの比較であるが、中小地震時での 0.4～０.5 秒程度の卓越周期が、本震時には 0.7 秒程度まで増大しており、地盤が大きく塑性化していたことを示している（翠川他 2004）。

図 11 に、JMA 小千谷と K-net 小千谷における地震動特性の差異として、山中他（2004）による小千谷市での余震観測例を示す。図で観測点８は JMA 小千谷に近く、観測点 12 が K-net 小千谷に近い。図には

10 月 27 日の余震時（M6.1）における速度応答スペクトル、計測震度、最大速度、最大加速度値の比較を示しているが、JMA 小千谷に比べ、K-net 小千谷の値はいずれも大きくなっている。応答スペクトルでは K-net 小千谷や観測点 12 に顕著に見られる周期 0.4 秒程度の卓越周期は、他の観測点では見られず、本観測点近傍に特有な地盤特性があることが分かる。以上のことから JMA 小千谷と K-net 小千谷での地震動特性の差異は、表層地盤特性の違いが大きく影響していると考えられる。

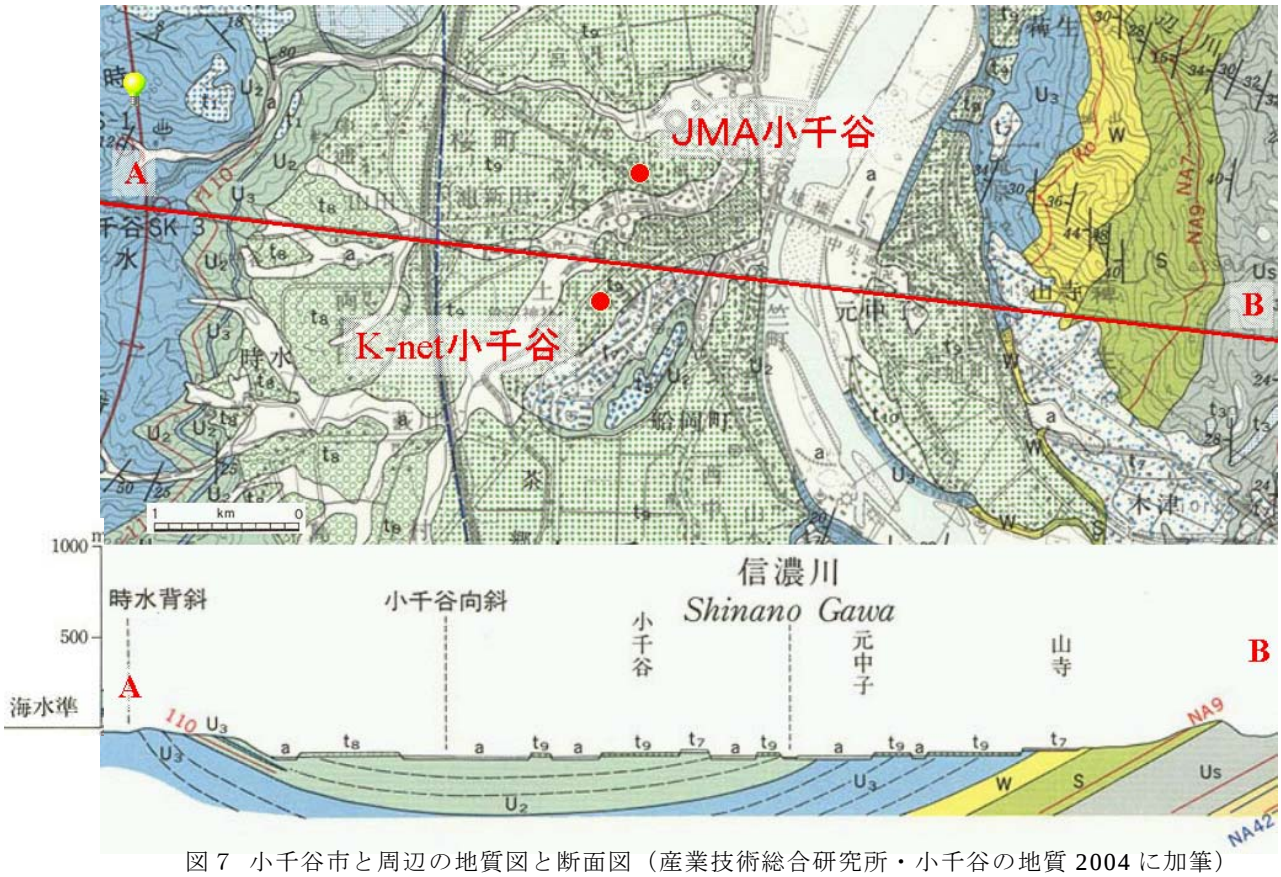

図 7　小千谷市と周辺の地質図と断面図（産業技術総合研究所・小千谷の地質 2004 に加筆）

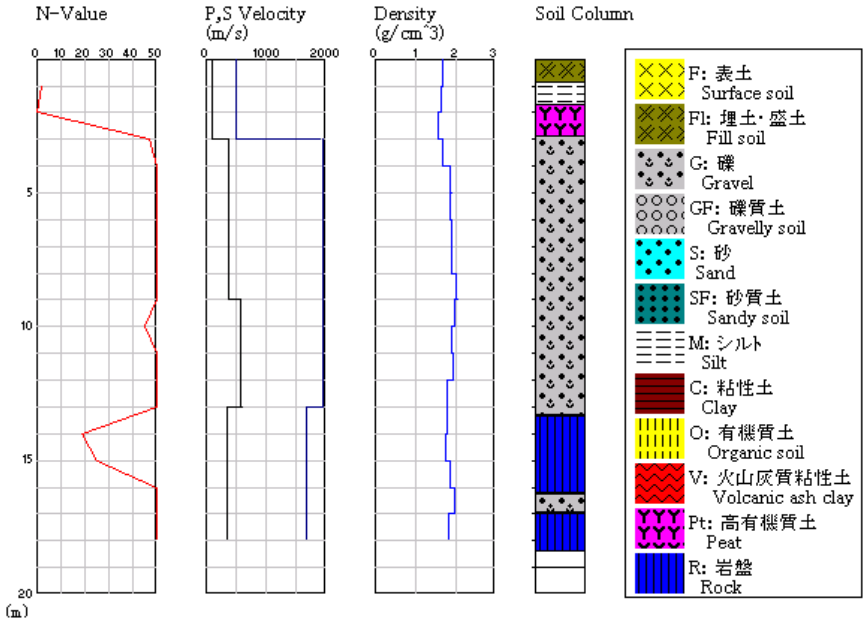

図 8　K-Net 小千谷の柱状図（防災科学技術研究所）

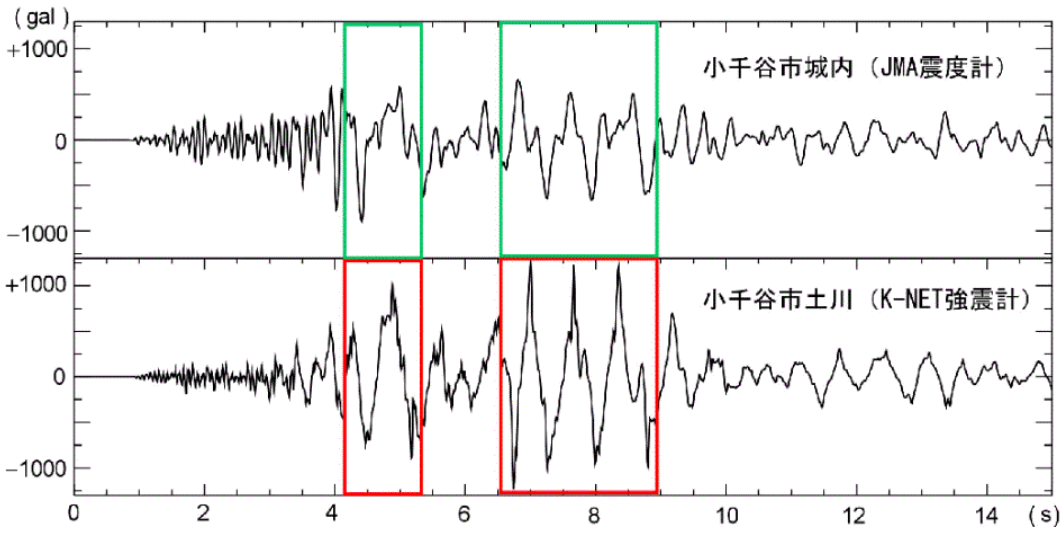

図 9　JMA 小千谷と K-net 小千谷の加速度波形（東京大学地震研究所 2004）

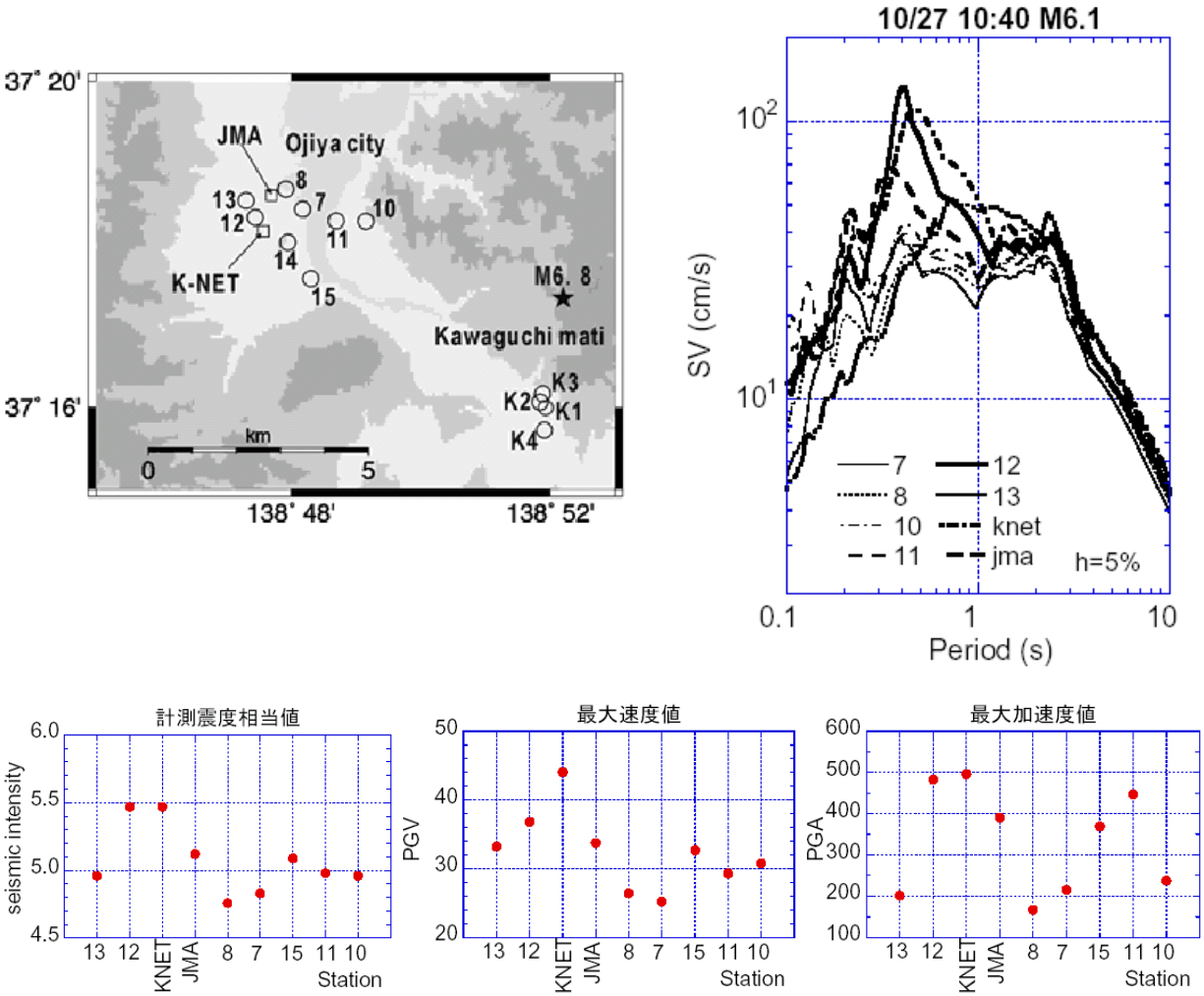

図 11　小千谷市における余震観測例（山中他 2004）
左上：余震観測点、右上：10 月 27 日の余震時（M6.1）における速度応答スペクトル
下：10 月 27 日の余震時（M6.1）における計測震度、最大速度、最大加速度値の比較

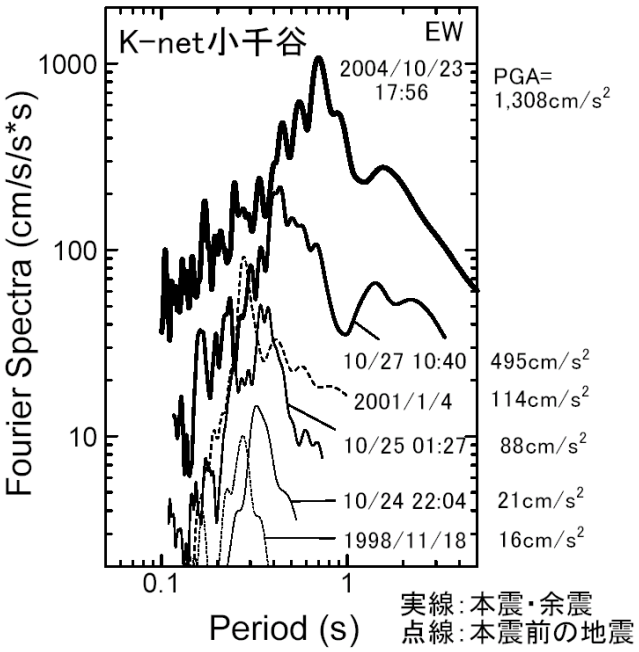

図 10 K-Net 小千谷での本震、余震、本震前の地震のフーリエ振幅スペクトル（翠川他 2004）

図 12 川口町における全数調査の対象地域

5　建物全数調査（川口町の例）

本震の際、小千谷市や川口町にて震度 7 を観測しており、著者らはその周辺地域で建物の全数調査を行っている。特に建物の被災度や表層地盤との関係が興味あるところである。ここでは図 12 に示す、10 月 31 日に行った川口町役場周辺の 355 棟の外観目視による全数調査の結果を紹介する（表 1）。

図 13 は使用した調査用紙（木造家屋用）である。応急危険度判定、建築年、用途、屋根・基礎形式、建物・地盤被害などを記入し、被災度は岡田・高井の被災パターン（2001）を使用した。２名一組を原則に３チームで行い、１名が判定と写真撮影を、他の１名が用紙記入を行った。建築年で非常に古い(表中で古)、古い（同、中)、新しい（同、新）は、それぞれ外観目視にて 30 年より古い、10～30 年、10 年より新しいと判定された建物である。

表 1 より全建物（355 棟）の８割以上の建物は木造であり、全体で全壊率（D4 以上）は 13%である。一方、全木造建物（288 棟、倉庫や車庫は除いた）では、古い建物は多いものの（10 年以上で 77%)、基礎の９割以上は雪国使用の高床式か布基礎であり、一方、屋根では８割以上は軽い金属屋根であり、耐震性は比較的高いことが分かる。全木造家屋の全壊率は 14%であり、境他（2004）による調査結果（全壊率約 17%）より若干小さな値である。同様に非常に古い木造家屋の全壊率は 46%、古い木造家屋は 10%、新しい木造家屋では 0%であり、被害は古い木造家屋に集中していることが分かる。現在、他の地域（小千谷など）を含め、被害建物の分布と表層地盤との関係などをまとめているおり、より詳細な内容は後日紹介したい。

6　まとめ

2004 年新潟県中越地震における地盤特性と被害に関係を中心に、その地震と被害の概要、地形・地質（褶曲地形、沖積層など)、強震動特性など公表されている研究を中心に紹介した。表層地盤と被害に関して、まず震源域の山地部における被害の集中地域は褶曲地域の背斜軸に近く、旧河川道や扇状地上にある。これらの扇状地の表層地盤は地すべりによる軟弱層であると考えられており、地震の際に地震動の大きな増幅があったと考えられる。一方、信濃川流域の平野部では、地震動による被害は山地部ほど大きくは無かったが、強震記録により表層地盤による地盤非線形が観測されている。また震源近傍の地震動は北西-南東方向に卓越しており、倒壊・傾斜した建物の向き（多くは北西向き）とも調和していた。最後に震度 7 を観測した川口町での全数調査結果を報告した。

謝辞

本研究は文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」、学術フロンティア事業「工学院大学 地

震防災・環境研究センター」、及び、科学技術振興調整費「危機管理対応情報共有技術による減災対策」による研究助成によって行われました。川口町での現地調査の際は、芝浦工業大学の紺野克昭・諏訪敦士・田辺明義の各氏、大成建設の吉村智昭・堀井良浩の各氏、及び工学院大学の塚本英司・柴山明寛の各氏のご協力を頂きました。

参考文献

岡村行信，柳沢幸夫，信濃川東側の東山丘陵の地質構造と新潟中越地震との関係，活断層研究，2004
http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/chishitsu.html
高井伸雄・岡田成幸、地震災害調査のための鉄筋コンクリート造建物の破壊パターン分類、構造系論文集、2001
小長井一男、活褶曲地形と地震被害概要、土木学会中越地震被害調査団速報（第一報)、2004
http://www.jsce.or.jp/report/32/geology.pdf
紺野克明 他、新潟県中越地震の調査報告書、 2004
http://www.db.shibaura-it.ac.jp/eq-net/
境有紀 他､震度７を記録した川口町役場周辺の被害、2004
http://www.geocities.jp/yuki_sakai1019/kwg.htm
産業技術総合研究所、震源域の地質図、2004
http://www.gsj.jp/jishin/chuetsu_1023/geomap.html
産業技術総合研究所・活断層研究センター，甚大被害地区の被害分布と地形との関連について，2004
http://staff.aist.go.jp/yoshimi.m/damages_hp/index.html
地震災害調査のための鉄筋コンクリート造建物の破壊パターン分類（高井・岡田、構造系論文集、2001)
東京大学地震研究所 地震火山災害部門･地球計測部門纐纈他､2004 年新潟県中越地震 ―強震動と震源過程―、2004
http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/chuetsu/chuetsu.html
防災科学技術研究所、2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分の新潟県中越地震の強震動 速報、2004
http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/news/niigata041023/index.html
翠川三郎 他、2004 年新潟県中越地震の地震動について、第 92 回工学地震学・地震工学談話会
http://www.cuee.titech.ac.jp/events/esse92/essereport92.html
新潟県､平成 16 年新潟県中越大震災による被害状況について（第 81 報)、2004
http://www.pref.niigata.jp/content/jishin/higai1210_0900.pdf
山中浩明 他、2004 年新潟県中越地震の余震および微動の観測、第 92 回工学地震学・地震工学談話会
http://www.cuee.titech.ac.jp/events/esse92/essereport92.html

調査地区名

調査日＿＿＿＿＿＿＿＿　**調査員**＿＿＿＿＿＿　**住宅地図**＿＿＿＿頁　**写真枚数**＿＿＿＿＿＿枚

写真番号(　　)－(　　)～(　　)

A.建物番号＿＿＿＿＿　**B.表札**＿＿＿＿＿＿氏　**C. 応急危険度判定** 1. 無　2. 有（赤・黄・緑）

D.建築年　1.非常に古い　2.古い　3.新しい　4.不明　5.推定(　　年頃)　6.聴取(　　年)
(築 30 年以上)　(築 30～10 年)　(築 10 年以下)

E.建物用途　1.戸建専用住宅　2.長屋住宅　3.共同住宅　4.併用住宅　5.店舗　6.オフィス　7.その他＿＿＿＿

F.構造種別　1.木造（伝統・準伝統・在来・壁式・(　　)）　2. S 造(　×　)　3. RC 造(　×　)　4.その他

G.建物階数　1.平屋　2. 2 階（ピロティ無，ピロティ有）　3.（　　）階（ピロティ無，ピロティ有）

H.主被害階　(　　)階　(主な被害内容＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿)

I.屋根形式　1.土葺瓦　2.土無瓦　3.金属　4.スレート　5.その他　6.不明

J.屋根被害　1.ほとんど無被害　2.著しいずれ　3.全面的にずれ，破損　4.判定不能

K.基礎形式　1.独立基礎(玉石等)　2.布基礎　3.高基礎(一階が RC の車庫等の場合)　4.杭（種類と本数　　）　5.不明

L.基礎被害（木造・S 造のみ）　1. 無被害　2.部分的　3.著しい(破壊あり)　4.不明

M.地盤変状　1. 無　2. 有 →（場所と形態＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿）
例　建物直下／敷地南端，亀裂沈下，液状化（噴砂），土砂など

メモ欄

N. 増築　1.無　2.有　3.コメント(　　)

O. 家族・在宅人数　1.家族（　　）名　うち　在宅（　　）名　2.不明

P. 人的被害状況　1.死亡（　　）名，重傷（　　）名，軽症（　　）名　2.無し　3.不明

Q. 破壊パターン：木造，S 造の場合　下図の該当パターンに○
RC 造の場合　記号を記入（別紙「RC 造破壊パターン」参照）：＿＿＿＿＿＿＿＿

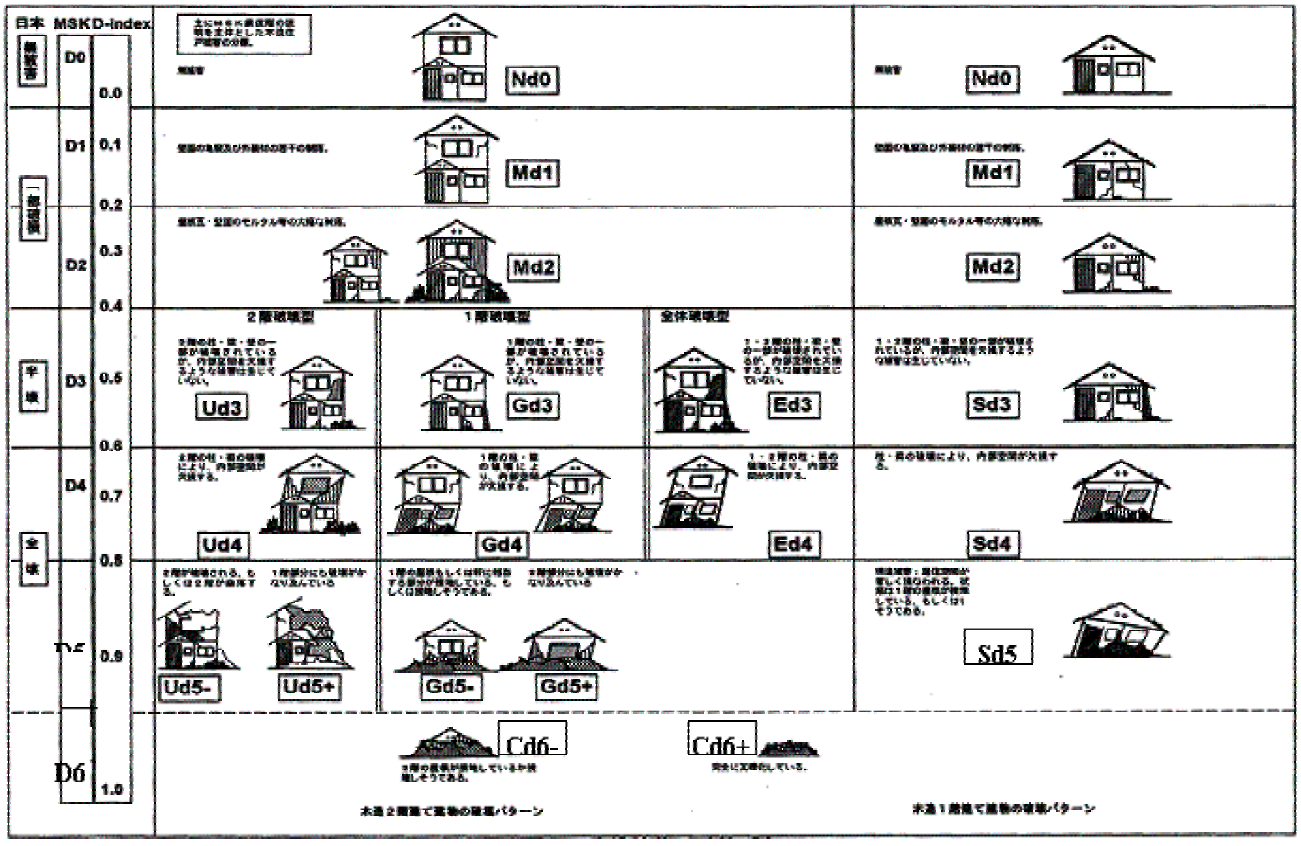

図 13　建物全数調査で使用した調査用紙（木造家屋用；岡田・高井 2001 など）

表１　川口町での全数調査結果（３５５棟：表中の建築年は古、中、新はそれぞれ外観目視　にて 30 年より古い、10～30 年、10 年より新しいと判定された建物）

全体（355棟）

構造種別	木造	S造	RC	他	計
計	287	37	26	5	355
%	81%	10%	7%	1%	100%

応急危険度判定	赤	黄	青	無	計
計	93	93	92	77	355
%	26%	26%	26%	22%	100%

建築年	古	中	新	計
計	66	206	83	355
%	19%	58%	23%	100%

基礎形式	独立	布	高床	その他	計
計	8	198	109	41	355
%	2%	56%	31%	12%	100%

屋根形式	瓦	金属	その他	計
計	39	276	40	355
%	11%	78%	11%	100%

	無被害	一部損壊		半壊	全壊			
被災度	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	計
計	116	132	34	27	29	13	4	355
%	32%	37%	10%	8%	8%	4%	1%	100%

全木造家屋（288棟）

応急危険度判定	赤	黄	青	無	計
計	80	80	69	51	280
%	29%	29%	25%	18%	100%

建築年	古	中	新	計
計	51	160	69	280
%	18%	57%	25%	100%

基礎形式	独立	布	高床	その他	計
計	6	161	102	11	280
%	2%	58%	36%	4%	100%

屋根形式	瓦	金属	その他	計
計	38	234	8	280
%	14%	84%	3%	100%

	無被害	一部損壊		半壊	全壊			
被災度	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	計
計	85	105	30	22	24	12	2	280
%	30%	38%	11%	8%	9%	4%	1%	100%

非常に古い木造家屋（51棟）

応急危険度判定	赤	黄	青	無	計
計	24	11	3	13	51
%	47%	22%	6%	25%	100%

建築年	古	中	新	計
計	51	0	0	51
%	100%	0%	0%	100%

基礎形式	独立	布	高床	その他	計
計	4	38	1	8	51
%	8%	75%	2%	16%	100%

屋根形式	瓦	金属	その他	計
計	15	34	2	51
%	29%	67%	4%	100%

	無被害	一部損壊		半壊	全壊			
被災度	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	計
計	2	14	7	5	12	9	2	51
%	4%	27%	14%	10%	24%	18%	4%	100%

古い木造家屋（160棟）

応急危険度判定	赤	黄	青	無	計
計	51	58	28	23	160
%	32%	36%	18%	14%	100%

建築年	古	中	新	計
計	0	160	0	160
%	0%	100%	0%	100%

基礎形式	独立	布	高床	その他	計
計	2	110	45	3	160
%	1%	69%	28%	2%	100%

屋根形式	瓦	金属	その他	計
計	22	134	4	160
%	14%	84%	3%	100%

	無被害	一部損壊		半壊	全壊			
被災度	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	計
計	30	79	19	17	12	3	0	160
%	19%	49%	12%	11%	8%	2%	0%	100%

新しい木造家屋（69棟）

応急危険度判定	赤	黄	青	無	計
計	5	11	38	15	69
%	7%	16%	55%	22%	100%

建築年	古	中	新	計
計	0	0	69	69
%	0%	0%	100%	100%

基礎形式	独立	布	高床	その他	計
計	0	13	56	0	69
%	0%	19%	81%	0%	100%

屋根形式	瓦	金属	その他	計
計	1	66	2	69
%	1%	96%	3%	100%

	無被害	一部損壊		半壊	全壊			
被災度	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	計
計	53	12	4	0	0	0	0	69
%	77%	17%	6%	0%	0%	0%	0%	100%