



2007年新潟県中越沖地震における強震観測点周辺の 被害状況と地震動の対応性

境有紀¹⁾, 川岡裕康²⁾, 林佑樹³⁾, 飯塚裕暁⁴⁾

1) 正会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 准教授, 工博

e-mail: sakai@kz.tsukuba.ac.jp

2) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 大学院生

e-mail: e0411279@edu.esys.tsukuba.ac.jp

3) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 大学院生

e-mail: e0411355@edu.esys.tsukuba.ac.jp

4) 非会員 ㈱ライク (元筑波大学大学院システム情報工学研究科, 大学院生)

要 約

2007年新潟県中越沖地震を対象として, 震度6弱以上を記録した全ての強震観測点と5強を記録した一部の強震観測点周辺の被害調査を行った. 震度6強を記録した6観測点のうちK-NET 柏崎, 柏崎市中央町震度計周辺では, 木造建物全壊率が5~7%程度, 柏崎市西山町, 刈羽村割町震度計周辺でも全壊した木造建物, 倉庫が見られたが, 長岡市小国町, 飯綱町芋川震度計周辺では建物の大きな被害はなかった. 震度6弱を記録した観測点周辺でも, 大きな被害はなかった. 観測された強震記録の性質と被害との対応について検討した結果, 周辺で大きな被害が生じたK-NET 柏崎, 柏崎市中央町震度計, 刈羽村割町震度計では, 2~2.5秒というやや長い周期が卓越すると同時に, 建物の大きな被害と相関をもつ1-2秒応答も大きく, これが大きな被害に結びついたと考えられる. その一方で, 震度6強を記録した長岡市小国町, 飯綱町芋川震度計も含めて, 1秒以下の短周期が卓越したその他の強震観測点では, 建物の大きな被害と相関をもつ1-2秒応答は小さい地震動で, 周辺にも大きな被害は見られなかった.

キーワード: 2007年新潟県中越沖地震, 地震動, 震度, 建物被害, 強震観測点

1. はじめに

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震では, 震度6弱, および6強という大きな震度が観測され, 木造建物を中心に甚大な被害が発生した. 筆者らは, 計測震度6弱以上を記録した全ての強震観測点と5強を記録した一部の強震観測点周辺の被害調査を行い, 建物被害と地震動の性質の関係を検討するためのデータを収集した. ここでは, その調査結果を報告し, 収集した建物被害データと観測された強震記録を用いて, 建物被害と地震動の性質の関係について検討を行った.

2. 被害調査方法と調査結果の概要

調査は、2007年7月18日から20日にかけて4人体制で行った。調査を行った強震観測点一覧を表1に（強震観測点名称の（）の部分はこれ以降省略）、それらの位置を図1に示す。調査は、強震観測点を中心とした半径ほぼ200m以内を対象とした。調査対象を観測点から半径200m以内にしたのは、観測点と同程度の揺れと見なすためにできるだけ観測点近傍に限定することと、建物被害率を算出するための十分な数の建物が存在すること、という相反する2つの条件のバランスから決定した。対象範囲以内の調査に加えて、全ての建物について、外観から被害レベル、構造種別の判定を行い、全壊¹⁾、大破²⁾という大きな建物被害について被害率を算出した。被害率算出の際は、倉庫や蔵等や地盤被害、基礎の被害を受けた建物は対象から除外した。即ち、倉庫や蔵等を除いた全建物の強震動による上部構造の被害を対象とした。定量的な被害データは建物の大きな被害のみとしたが、調査、記録は、全壊・大破以外の建物被害、建物以外の地盤等の被害についても行った。

表1 調査を行った強震観測点一覧

No.	強震観測点	計測震度
1	K-NET 柏崎	6強 (6.4)
1	柏崎市中央町震度計	6強 (6.3)
2	上越市柿崎区(柿崎)震度計	6弱 (5.9)
3	上越市吉川区(原之町)震度計	6弱 (5.8)
4	上越市三和区(井ノ口)震度計	6弱 (5.5)
5	長岡市上岩井震度計	6弱 (5.7)
6	長岡市中之島震度計	6弱 (5.6)
7	JMA 出雲崎町米田	6弱 (5.9)
8	出雲崎町川西震度計	6弱 (5.5)
9	柏崎市西山町(池浦)震度計	6強 (6.3)
10	刈羽村割町(新田)震度計	6強 (6.1)
11	柏崎市高柳町(岡野町)震度計	6弱 (5.7)
12	長岡市小国町(法坂)震度計	6強 (6.2)
13	JMA 小千谷(市土川)	5強 (5.1)
14	K-NET 小千谷	6弱 (5.6)
15	長岡市山古志(竹沢)震度計	6弱 (5.8)
16	飯綱町芋川震度計	6強 (6.2)



図1 調査を行った強震観測点位置

3. 調査結果

3.1 各観測点周辺の様子

各観測点周辺の様子を以下に示す。

(1) K-NET 柏崎, 柏崎市中央町震度計（震度6強）

K-NET 観測点は、柏崎市役所建物（写真 1.1）の北西にある柏崎市市民会館建物（写真 1.2）の北西端に（写真 1.3）、震度計は、西脇に設置されている（写真 1.4）。震度計は K-NET 観測点の 50m 南に位置する。観測点周辺（観測点から半径 200m の円内、以下同じ）の建物分布を図 2 に示す。なお、< 印は写真を撮った向き、番号は、写真番号の右の数字（写真 1.13 なら 13）に対応している。各建物はその中心位置に○印で表していて、建物の一部が観測点から半径 200m の円内にあれば範囲内としているため、○印の位置が半径 200m の円の若干外側になっているものもある。○印の中の数字は建物階数で、数字なしは 2 階建、○の中の横棒は、基礎部分が車庫などの RC 造で、1 階床が高くなっているいわゆる高床式であることを示している（以下の観測点でも同じ）。

円内に大きな地形の変化はない。K-NET 周辺には、240 棟の建物（うち木造建物 189 棟）、震度計周辺には、265 棟の建物（うち木造建物 204 棟）がある（写真 1.5～10）。全壊した木造建物が多数見られ（K-NET 周辺が 10 棟、震度計周辺が 15 棟（写真 1.11～16））、木造建物全壊率はそれぞれ 5.3%、7.4%となった。観測点から半径 200m の円のすぐ外にも全壊木造建物は多数見られた。大きな被害を

受けた商店街（写真 1.17）は調査範囲の南端（一部範囲内）にある。非木造建物には大破以上の被害建物はなかった。その他の被害としては、倒壊した倉庫が数棟あり（写真 1.18）、塀の倒壊（写真 1.16, 19）、屋根瓦の被害（写真 1.20）、地盤の被害（写真 1.21）が多数あった。また、地盤の液状化による噴砂の跡（写真 1.22）も見られた。



図 2 K-NET 柏崎、柏崎市中央町震度計周辺の建物分布



写真 1.1 柏崎市役所建物



写真 1.2 柏崎市市民会館建物



写真 1.3 K-NET 観測点の設置状況



写真 1.4 震度計の設置状況



写真 1.5 周辺の様子



写真 1.6 周辺の様子



写真 1.7 周辺の様子



写真 1.8 周辺の様子



写真 1.9 周辺の様子



写真 1.10 周辺の様子



写真 1.11 全壊した木造建物



写真 1.12 全壊した木造建物



写真 1.13 全壊した木造建物



写真 1.14 全壊した木造建物



写真 1.15 全壊した木造建物



写真 1.16 全壊した木造建物と塀の倒壊



写真 1.17 大きな被害を受けた商店街



写真 1.18 倒壊した倉庫



写真 1.19 塀の倒壊



写真 1.20 屋根瓦の被害



写真 1.21 地盤の被害



写真 1.22 地盤の液状化による噴砂

(2) 上越市柿崎区震度計（震度 6 弱）

観測点は、上越市柿崎区総合事務所（写真 2.1）の正面入口のすぐ右に設置されている（写真 2.2）。震度計が設置されている上越市柿崎区総合事務所建物は、高台の上にあつて（写真 2.3）、崖地に建設されており、正面（写真 2.1）は 4 階建になっているが、背面から見ると写真 2.4 のようになっている。観測点周辺の建物分布を図 3 に示す。周辺には 183 棟の建物（うち木造建物 164 棟）がある（写真 2.5～8）。ガラスの被害（写真 2.9）、墓石の転倒（写真 2.10）が見られるが、大きな被害を受けた建物はない。



図 3 上越市柿崎区震度計周辺の建物分布



写真 2.1 上越市柿崎区総合事務所建物



写真 2.2 震度計の設置状況



写真 2.3 周辺の様子



写真 2.4 上越市柿崎区総合事務所建物の背面



写真 2.5 周辺の様子



写真 2.6 周辺の様子



写真 2.7 周辺の様子



写真 2.8 周辺の様子



写真 2.9 ガラスの被害



写真 2.10 墓石の転倒

(3) 上越市吉川区震度計(震度 6 弱)

観測点は、吉川小学校(写真 3.1)の横の吉川たすけあい事務所(写真 3.2)の脇に設置されている(写真 3.3)。観測点周辺の建物分布を図 4 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 47 棟の建物(うち木造建物 36 棟)がある(写真 3.4~5)。地盤の被害は見られるが(写真 3.6~8, 一部やや範囲外)、大きな被害を受けた建物はない。

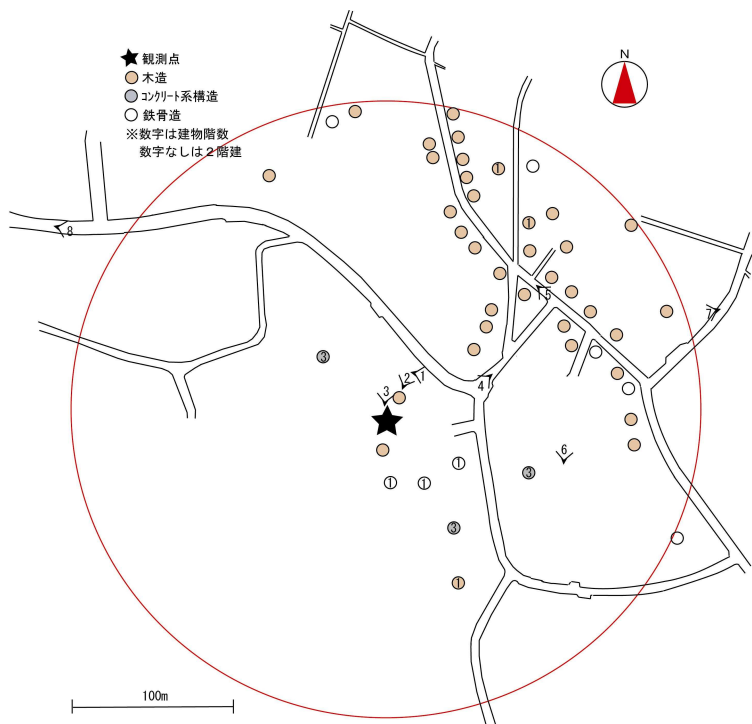


図 4 上越市吉川区震度計周辺の建物分布



写真 3.1 吉川小学校建物



写真 3.2 吉川たすけあい事務所建物



写真 3.3 震度計の設置状況



写真 3.4 周辺の様子



写真 3.5 周辺の様子



写真 3.6 地盤の被害



写真 3.7 地盤の被害（やや範囲外）



写真 3.8 地盤の被害（やや範囲外）

(4) 上越市三和区震度計（震度 6 弱）

観測点は、三和区総合事務所建物（写真 4.1）のすぐ北側に設置されている（写真 4.2）。観測点周辺の建物分布を図 5 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 8 棟の建物（うち木造建物 2 棟）がある（写真 4.3～6）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

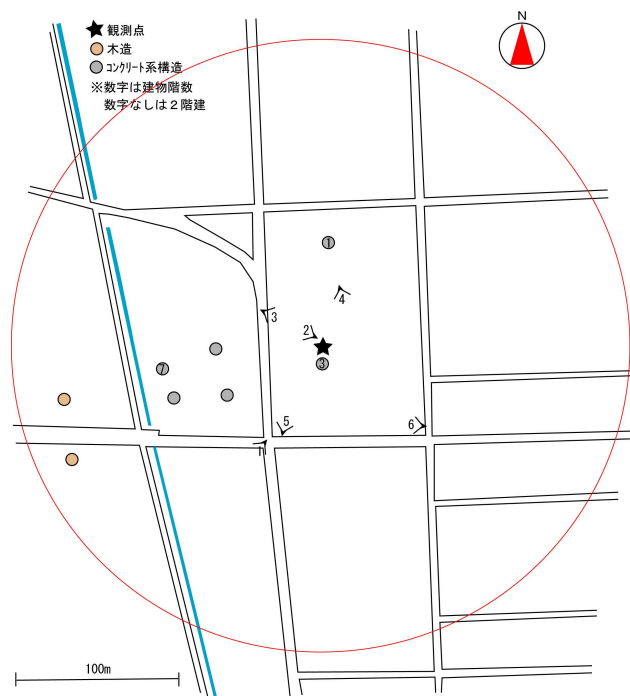


図 5 上越市三和区震度計周辺の建物分布



写真 4.1 三和区総合事務所建物



写真 4.2 震度計の設置状況



写真 4.3 周辺の様子



写真 4.4 周辺の様子



写真 4.5 周辺の様子



写真 4.6 周辺の様子

(5) 長岡市上岩井震度計（震度 6 弱）

観測点は、長岡市三島支所建物（写真 5.1）のすぐ南東端に設置されている（写真 5.2）。観測点周辺の建物分布を図 6 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 106 棟の建物（うち木造建物 97 棟）がある（写真 5.3～5.6）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

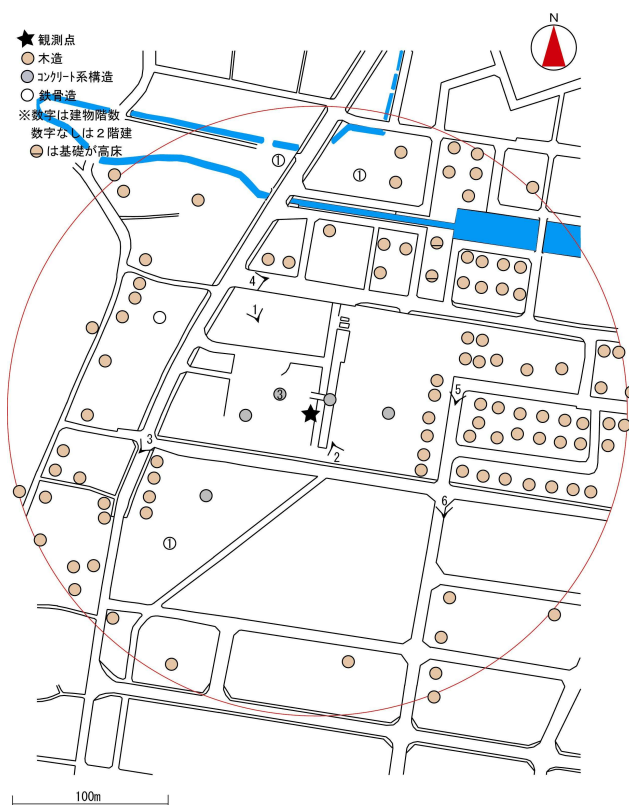


図 6 長岡市上岩井震度計周辺の建物分布



写真 5.1 長岡市三島支所建物



写真 5.2 震度計の設置状況



写真 5.3 周辺の様子



写真 5.4 周辺の様子



写真 5.5 周辺の様子



写真 5.6 周辺の様子

(6) 長岡市中之島震度計（震度 6 弱）

観測点は、長岡市中之島支所建物（写真 6.1）の建物敷地内の中庭に設置されている（写真 6.2）。観測点周辺の建物分布を図 7 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 155 棟の建物（うち木造建物 141 棟）がある（写真 6.3～6.8）。屋根瓦の被害が数件見られるが（写真 6.3）、大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。



図 7 長岡市中之島震度計周辺の建物分布



写真 6.1 長岡市中之島支所建物



写真 6.2 震度計の設置状況



写真 6.3 周辺の様子



写真 6.4 周辺の様子



写真 6.5 周辺の様子



写真 6.6 周辺の様子



写真 6.7 周辺の様子



写真 6.8 周辺の様子

(7) JMA 出雲崎町米田（震度 6 弱）

観測点は、出雲崎町米田中学校（写真 7.1）の敷地内の端に設置されている（写真 7.2）。観測点周辺の建物分布を図 8 に示す。観測点が設置されている出雲崎町米田中学校はやや高台にある（写真 7.3）。周辺には 7 棟の建物（うち木造建物 3 棟）がある（写真 7.3～7.5）。道路にひび割れは見られるが（写真 7.6）、大きな被害を受けた建物はない。

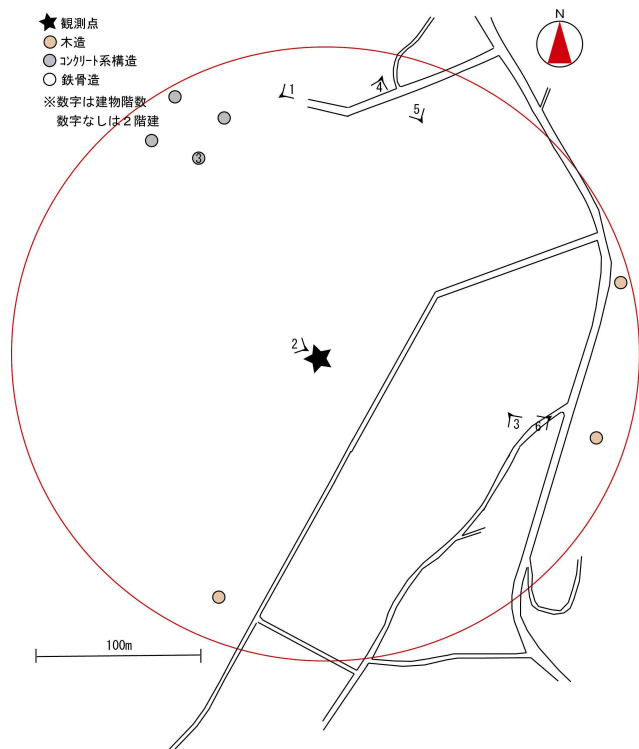


図 8 JMA 出雲崎町米田周辺の建物分布



写真 7.1 出雲崎町米田中学校建物



写真 7.2 観測点の設置状況



写真 7.3 周辺の様子



写真 7.4 周辺の様子



写真 7.5 周辺の様子



写真 7.6 道路のひび割れ

(8) 出雲崎町川西震度計（震度 6 弱）

観測点は、出雲崎町役場建物（写真 8.1）の建物倉庫内に設置されている（写真 8.2）。JMA 出雲崎町米田観測点の 600m ほど南東に位置する。観測点周辺の建物分布を図 9 に示す。観測点は山間部にあり、出雲崎町役場建物のすぐ裏（南西）は山になっていて、周辺の地形もやや高低差がある。周辺には 37 棟の建物（うち木造建物 35 棟）がある（写真 8.3～8.6）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

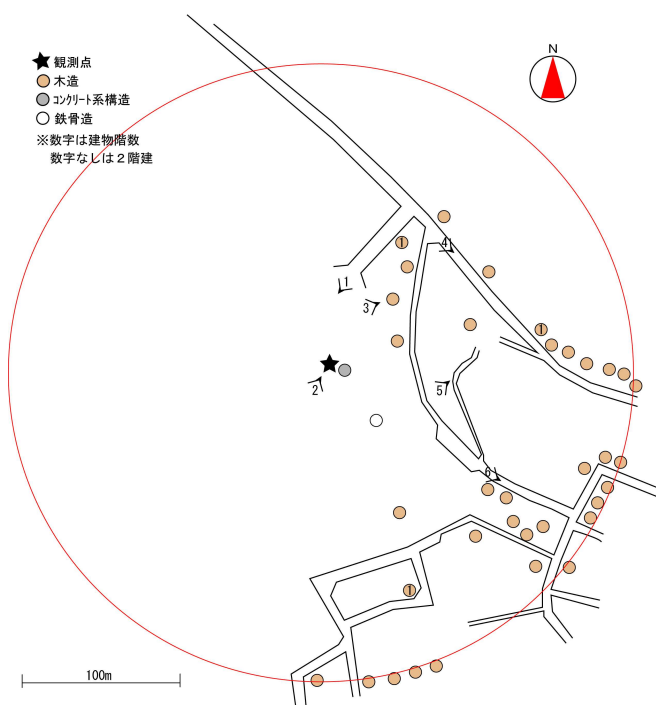


図 9 出雲崎町川西震度計周辺の建物分布



写真 8.1 出雲崎町役場建物



写真 8.2 震度計の設置状況



写真 8.3 周辺の様子



写真 8.4 周辺の様子



写真 8.5 周辺の様子



写真 8.6 周辺の様子

(9) 柏崎市西山町震度計（震度 6 強）

観測点は、柏崎市西山町事務所建物（写真 9.1）の入口のすぐ左脇に設置されている（写真 9.2）。観測点が設置された周辺の地盤に被害が見られる。地盤の被害は、柏崎市西山町事務所建物の東に位置するいきいき館福祉センターの入口にも見られる（写真 9.3）。観測点周辺の建物分布を図 10 に示す。観測点の南東は高台になっている。周辺には 61 棟の建物（うち木造建物 47 棟）がある（写真 9.4～9.7）。被害は観測点南東の高台の方が、観測点のある高台の下より明らかに大きく、1 階部分が大きく変形した全壊木造建物が 1 棟あり（写真 9.8, 9），地盤の変状によって全壊した木造建物も 1 棟あった（写真 9.10）。中程度の被害を受けた木造建物（写真 9.11），屋根瓦やガラスが損傷を受けた木造建物も多数見られた（写真 9.12）。建物以外では塀の倒壊（写真 9.12），灯籠の転倒（写真 9.7），石垣や地盤の被害も見られた（写真 9.10, 13）。一方、観

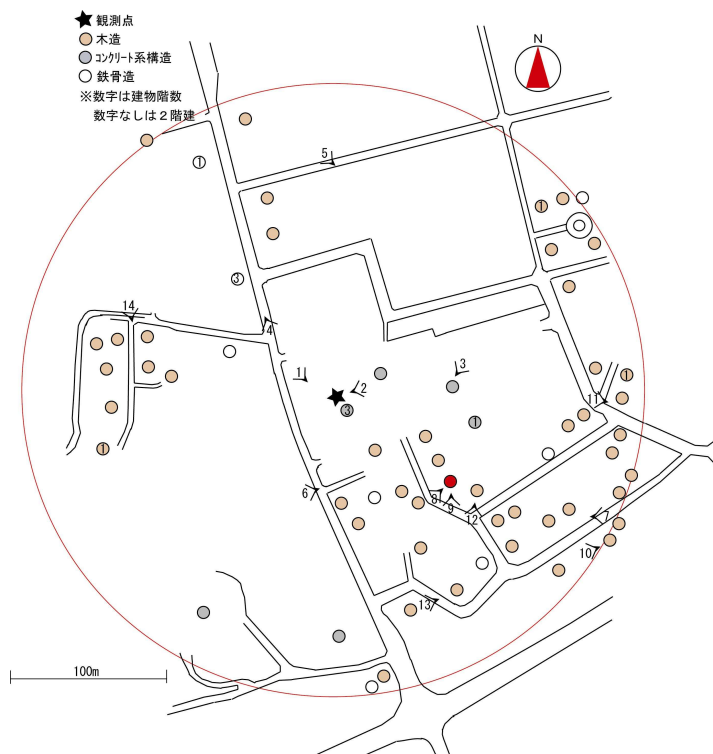


図 10 柏崎市西山町震度計周辺の建物分布

測点が設置された高台の下は，屋根瓦の被害，地盤の被害（写真 9.2, 3, 14）は見られるが，大きな被害を受けた建物はなかった．



写真 9.1 柏崎市西山町事務所建物



写真 9.2 震度計の設置状況



写真 9.3 いきいき館福祉センター入口の地盤の被害



写真 9.4 周辺の様子



写真 9.5 周辺の様子



写真 9.6 周辺の様子



写真 9.7 周辺の様子



写真 9.8 全壊した木造建物



写真 9.9 写真 9.8 のクローズアップ



写真 9.10 地盤が変形し全壊した木造建物



写真 9.11 車庫部分が変形した木造建物



写真 9.12 塀，屋根瓦，ガラスが破損した木造建物



写真 9.13 石垣と地盤の被害



写真 9.14 地盤の被害

(10) 刈羽村割町震度計（震度6強）

観測点は、刈羽村役場建物（写真 10.1）のすぐ西脇に設置されている（写真 10.2）。柏崎刈羽原子力発電所から東南東に約2km の距離にある。刈羽村役場建物は盛土で一段高くなっていて、観測点設置位置周辺の地盤に多くのひび割れが見られた（写真 10.3）。観測点周辺の建物分布を図 11 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には21 棟の建物（うち木造建物14 棟）がある（写真 10.4～10.8）。全壊した倉庫建物が2 棟あり（写真 10.9, 10），地盤の被害が多数見られた（写真 10.11, 12）が、大きな被害を受けた建物はない。この他には、屋根瓦の被害（写真 10.13），塀の倒壊（写真 10.14），灯籠の倒壊，電柱の傾き（写真 10.6）が見られた。



図 11 刈羽村割町震度計周辺の建物分布



写真 10.1 刈羽村役場建物



写真 10.2 震度計の設置状況



写真 10.3 震度計が設置された地盤の被害



写真 10.4 周辺の様子



写真 10.5 周辺の様子



写真 10.6 周辺の様子



写真 10.7 周辺の様子



写真 10.8 周辺の様子



写真 10.9 全壊した木造倉庫



写真 10.10 全壊した木造倉庫



写真 10.11 地盤の被害



写真 10.12 地盤の被害



写真 10.13 屋根瓦に被害を受けた木造建物



写真 10.14 倒壊した塀

(11) 柏崎市高柳町震度計（震度 6 弱）

観測点は、柏崎市高柳町事務所建物（写真 11.1）の東脇に設置されており、すぐ脇の崖下は川になっている（写真 11.2, 3（赤丸は震度計））。柏崎市高柳町事務所建物は、正面から見ると 3 階建に見えるが崖地に建設されていて後ろから見ると写真 11.4 のように 4 階建になっている。観測点周辺の建物分布を図 12 に示す。円内に大きな地形の変化はないが、ほぼ中央を南北に川が流れていて崖地になっている。周辺には 117 棟の建物（うち木造建物 107 棟）がある（写真 11.5～11.9）。倉庫の内装材の落下が見られたが（写真 11.10）、大きな被害を受けた建物はない。

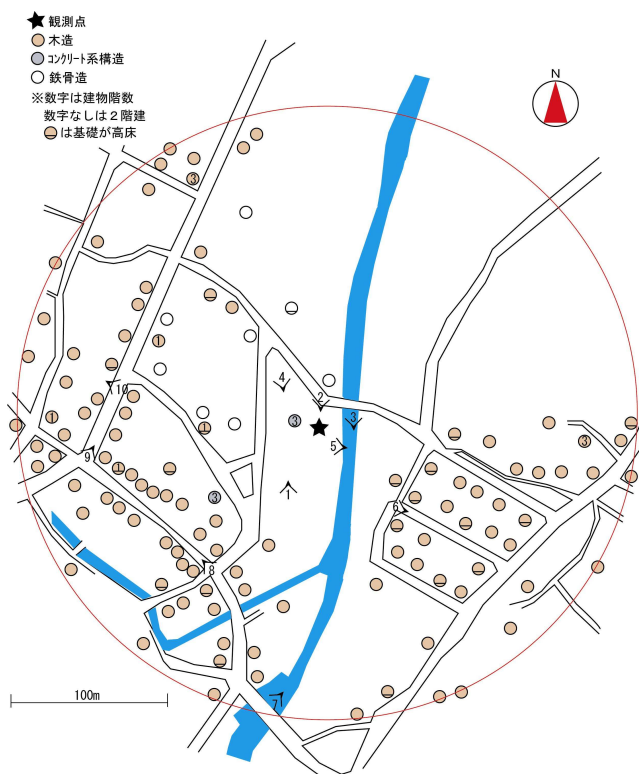


図 12 柏崎市高柳町震度計周辺の建物分布



写真 11.1 柏崎市高柳町事務所建物



写真 11.2 震度計の設置状況



写真 11.3 観測点のすぐ脇を流れる川



写真 11.4 柏崎市高柳町事務所建物の背面



写真 11.5 周辺の様子



写真 11.6 周辺の様子



写真 11.7 周辺の様子



写真 11.8 周辺の様子



写真 11.9 周辺の様子



写真 11.10 倉庫の内装材の落下

(12) 長岡市小国町震度計（震度 6 強）

観測点は、長岡市小国支所建物の北東面（写真 12.1）の入口階段の下に設置されている（写真 12.2）。観測点周辺の建物分布を図 13 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 42 棟の建物（うち木造建物 22 棟）がある（写真 12.3～12.8）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

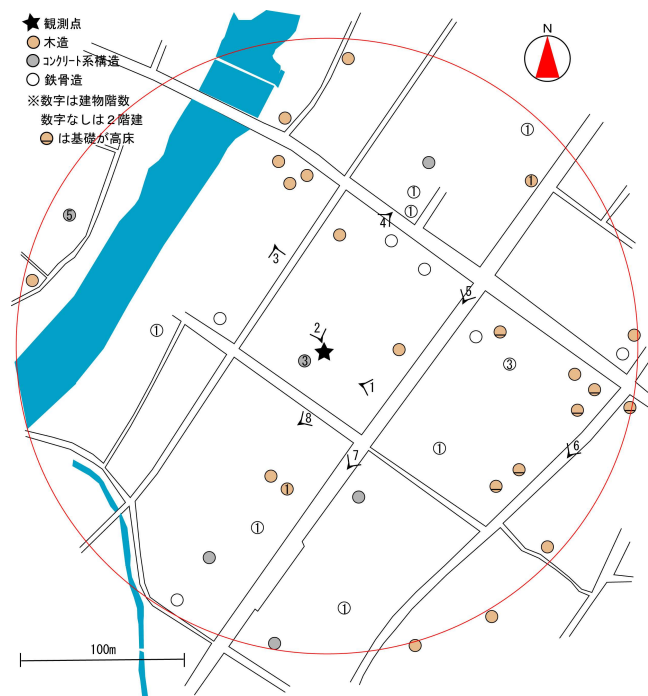


図 13 長岡市小国町震度計周辺の建物分布



写真 12.1 長岡市小国支所建物



写真 12.2 震度計の設置状況



写真 12.3 周辺の様子



写真 12.4 周辺の様子



写真 12.5 周辺の様子



写真 12.6 周辺の様子



写真 12.7 周辺の様子



写真 12.8 周辺の様子

(13) JMA 小千谷（震度 5 強）

観測点は、小千谷地域消防本部建物（写真 13.1）の敷地の西側に設置されている（写真 13.2）。K-NET 小千谷とともに 2004 年新潟県中越地震のときも調査を行った観測点であり³⁾、当時被害を受けた建物の補修使用状況がいくつか確認された（半壊の被害を受け、1 階部分が補修された木造建物（写真 13.3）、中破の被害を受け、1 階部分が補修された鉄筋コンクリート造建物（写真 13.4））。観測点周辺の建物分布を図 14 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 180 棟の建物（うち木造建物 128 棟）がある（写真 13.5～13.8）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

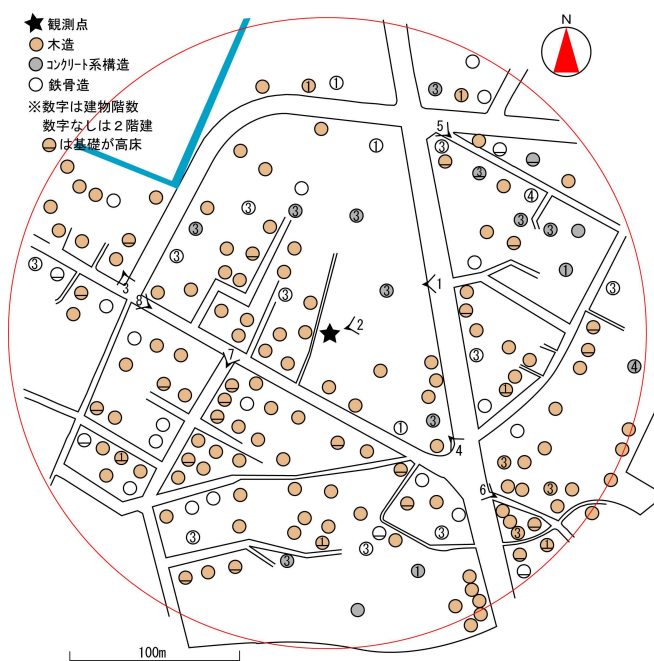


図 14 JMA 小千谷周辺の建物分布



写真 13.1 小千谷地域消防本部建物



写真 13.2 観測点の設置状況



写真 13.3 補修された木造建物



写真 13.4 補修された鉄筋コンクリート造建物



写真 13.5 周辺の様子



写真 13.6 周辺の様子



写真 13.7 周辺の様子



写真 13.8 周辺の様子

(14) K-NET 小千谷（震度 6 弱）

観測点は、小千谷市立小千谷小学校（写真 14.1）の西側に設置されている（写真 14.2）。JMA 小千谷とともに 2004 年新潟県中越地震のときも調査を行った観測点である³⁾。観測点周辺の建物分布を図 15 に示す。円内に大きな地形の変化はない。周辺には 122 棟の建物（うち木造建物 111 棟）がある（写真 13.3～13.6）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。



図 15 K-NET 小千谷周辺の建物分布



写真 14.1 小千谷市立小千谷小学校



写真 14.2 K-NET 小千谷の設置状況



写真 14.3 周辺の様子



写真 14.4 周辺の様子



写真 14.5 周辺の様子



写真 14.6 周辺の様子

(15) 長岡市山古志震度計（震度 6 弱）

観測点は、長岡市山古志支所建物（写真 15.1）の南西端に設置されている（写真 15.2）。長岡市山古志支所建物の震度計位置近くの外階段に損傷が見られる（写真 15.3）。観測点周辺の建物分布を図 16 に示す。観測点は、山間部にあり、円内の地形には高低差があるが、建物は道路沿いに点在している。周辺には 6 棟の建物（うち木造建物 2 棟）がある（写真 15.4～15.6）。大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

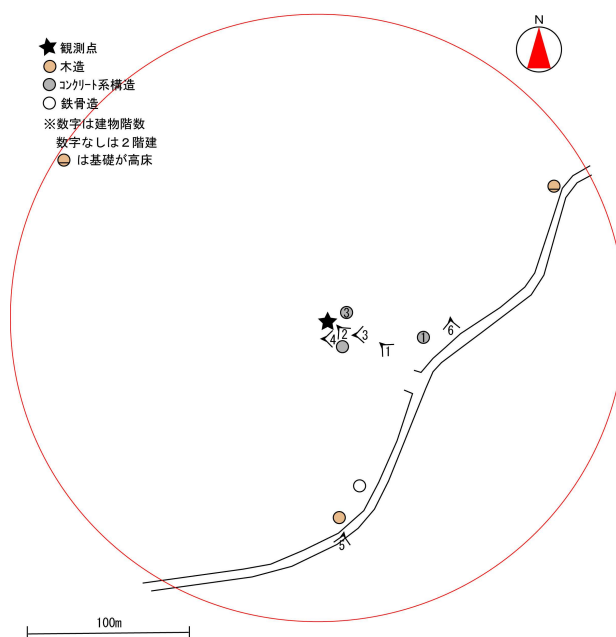


図 16 長岡市山古志震度計周辺の建物分布



写真 15.1 長岡市山古志支所建物



写真 15.2 震度計の設置状況



写真 15.3 外階段の損傷



写真 15.4 周辺の様子



写真 15.5 周辺の様子



写真 15.6 周辺の様子

(16) 飯綱町芋川震度計（震度 6 強）

観測点は、飯綱町役場三水庁舎建物（写真 16.1）の南西端に設置されている（写真 16.2）。飯綱町役場三水庁舎建物自体は、壁に軽微なひび割れが見られ（写真 16.3）、補強されたと思われる部材のカバーに少し変形が見られる（写真 16.4）。観測点周辺の建物分布を図 17 に示す。円内の地形の変化はほとんどないが、役場建物の裏手（北西）が若干高くなっている。周辺には 45 棟の建物（うち木造建物 44 棟）がある（写真 16.5～16.10）。外装材の落下が見られる木造建物（写真 16.11）、軽微なひび割れが見られる木造建物（写真 16.12）があるが、大きな被害を受けた建物はなく、建物以外の被害も特に見られない。

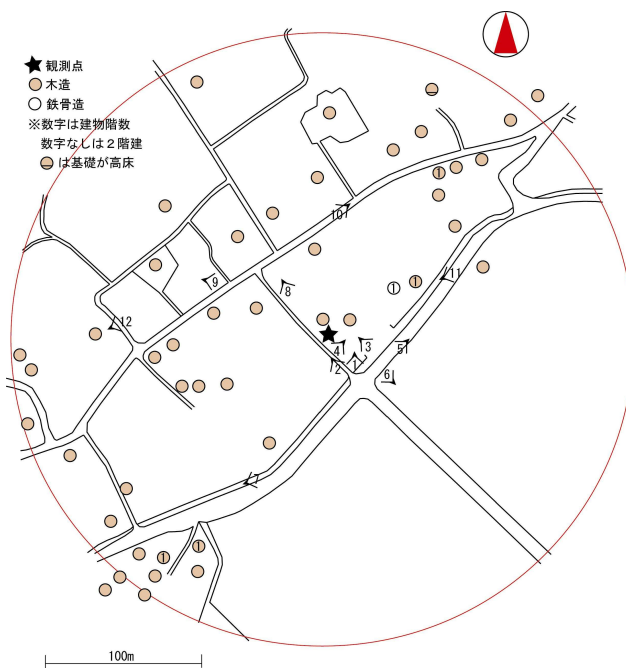


図 17 飯綱町芋川震度計周辺の建物分布



写真 16.1 飯綱町役場三水庁舎建物



写真 16.2 震度計の設置状況



写真 16.3 壁の軽微なひび割れ



写真 16.4 補強されたと思われる部材のカバーの変形



写真 16.5 周辺の様子



写真 16.6 周辺の様子



写真 16.7 周辺の様子



写真 16.8 周辺の様子



写真 16.9 周辺の様子



写真 16.10 周辺の様子



写真 16.11 外装材の落下が見られる木造建物



写真 16.12 軽微なひび割れが見られる木造建物

3.2 各観測点周辺の被害のまとめ

被害調査を行った強震観測点周辺の被害概況と被害データ（非木造建物の大破以上の被害はなかったため木造全壊のみ）を表 2 に示す。震度 6 強を記録した、K-NET 柏崎と柏崎市中央町、柏崎市西山町、刈羽村割町、長岡市小国町、飯綱町芋川の各震度計、計 6 地点のうち、柏崎市中央町震度計と K-NET 柏崎（ただし、この 2 点は 50m ほどしか離れていない）周辺では木造建物全壊率が 5～7%程度と大きな被害が生じ、柏崎市西山町、刈羽村割町震度計周辺でも全壊木造建物、あるいは倉庫が見られた。その一方で、長岡市小国町、飯綱町芋川震度計周辺では建物の大きな被害はなく、長岡市小国町に至ってはほとんど被害が見られなかった。震度 6 弱を記録した観測点周辺では、外壁のひび割れ、屋根瓦の破損などの被害は見られたが、建物の大きな被害はいずれも見られなかった。

表 2 被害調査結果の概要と地震動強さ指標

強震観測点	被害概況	Na	Nw	Dw	dw	JMA	PGA	PGV
K-NET 柏崎	全壊木造建物多数, 屋根瓦の被害, 地盤の被害, 液状化による噴砂, 塀の倒壊	240	189	10	5.29	6.4	812.0	126.9
柏崎市中央町震度計		265	204	15	7.35	6.3	775.1	125.1
柏崎市西山町震度計	全壊木造建物1棟, 地盤の被害, 屋根瓦, ガラスの損傷, 石垣の被害, 塀, 灯籠の倒壊	61	47	1	(2.13)	6.3	868.4	83.3
刈羽村割町震度計	全壊木造倉庫2棟, 地盤の被害, 屋根瓦の被害, 塀, 灯籠の倒壊	21	14	0	(0)	6.1	484.2	155.7
長岡市小国町震度計	特に被害なし	42	22	0	(0)	6.2	694.3	82.2
飯綱町芋川震度計	外壁に軽微なひび割れ, 外装材の落下	46	45	0	(0)	6.2	650.4	81.7
柏崎市高柳町震度計	倉庫内装材の落下	117	107	0	0	5.7	543.5	53.3
上越市柿崎区震度計	ガラスの破損, 墓石の転倒	183	164	0	0	5.9	443.1	94.4
上越市吉川区震度計	地盤の被害	47	36	0	(0)	5.8	474.3	64.2
上越市三和区震度計	特に被害なし	8	2	0	(0)	5.5	296.4	52.0
長岡市中之島震度計	屋根瓦の被害	155	141	0	0	5.6	347.8	35.6
長岡市上岩井震度計	特に被害なし	106	97	0	0	5.7	354.9	44.9
長岡市山古志震度計	役場建物の階段の損傷	6	2	0	(0)	5.8	412.4	44.2
JMA 出雲崎町米田	道路にひび割れ	7	3	0	(0)	5.9	696.9	56.1
出雲崎町川西震度計	特に被害なし	37	35	0	(0)	5.5	378.6	41.7
K-NET 小千谷	特に被害なし	122	111	0	0	5.6	524.8	47.6
JMA 小千谷	特に被害なし	180	128	0	0	5.1	401.9	28.3

Na: 建物棟数, Nw: 木造建物棟数, Dw: 全壊木造建物棟数, dw: 木造建物全壊率(%、()付きは母数 Nw が少ないため参考値.), JMA: 計測震度, PGA: 地動最大加速度(cm/s^2), PGV: 地動最大速度(cm/s)

4. 観測された地震動の性質と被害との対応

計測震度, 地動最大加速度などの地震動強さ指標を表 2 に示している. 多くの観測点で, 非常に大きな地動最大加速度 (PGA), 地動最大速度 (PGV) を記録しており, PGA が 500cm/s^2 を越えるものが 8 点, PGV が 100cm/s を越えるものも 3 点ある. 特に, K-NET 柏崎と柏崎市中央町震度計は, PGA, PGV とともに大きい.

加速度波形 (水平 2 方向ベクトル和最大方向) を図 18 に, 弾性加速度応答スペクトル (減衰定数 5%, 水平方向 2 方向ベクトル合成) を図 19(a)~(c)に, 過去の強震記録と比較して図 19(d)に示す. 周期特性から大きく分けて 2~2.5 秒というやや長い周期が卓越した K-NET 柏崎, 柏崎市中央町, 刈羽村割町震度計と 1 秒以下が卓越したその他の記録に分けられることがわかる. 前者は, 建物の大きな被害と相関が高い 1~2 秒の周期帯^{4)~6)}におけるスペクトル値が大きく, これが周辺の大きな被害に結びついたと考えられる. K-NET 柏崎, 柏崎市中央町, 刈羽村割町震度計の 1-2 秒応答を過去の強震記録と比較すると周辺の木造建物全壊率がそれぞれ 59.4%, 18.8%という甚大な被害であった 1995 年兵庫県南部地震の JR 鷹取, 2007 年能登半島地震の K-NET 穴水ほどではないが, 周辺木造建物全壊率 1.8%であった 2004 年新潟県中越地震の JMA 小千谷より大きい. その一方で, 1 秒以下が卓越した強震記録は, 1-2 秒応答も小さく, 周辺にも大きな被害は見られなかった. 特に, 飯綱町芋川, 長岡市小国町は, 震度 6 強を記録したにも関わらず, 周辺に大きな被害は見られなかった. これらの強震記録は, 1 秒以下の短周期が卓越し, 0.1-1.0 秒応答と相関を持つ⁴⁾計測震度は高くなったが 1-2 秒応答は小さく, 建物の大きな被害は生じない地震動だったことがわかる. ただし, 柏崎市西山町震度計の記録は 1 秒以下の短周期が卓越していて, 1-2 秒応答も大きくないにもかかわらず, 周辺には全壊木造建物がある. 大きな被害が生じているのは, 観測点南東にある小高い丘の上で震度計は丘の下にあり, 地形の影響があったことが考えられる.

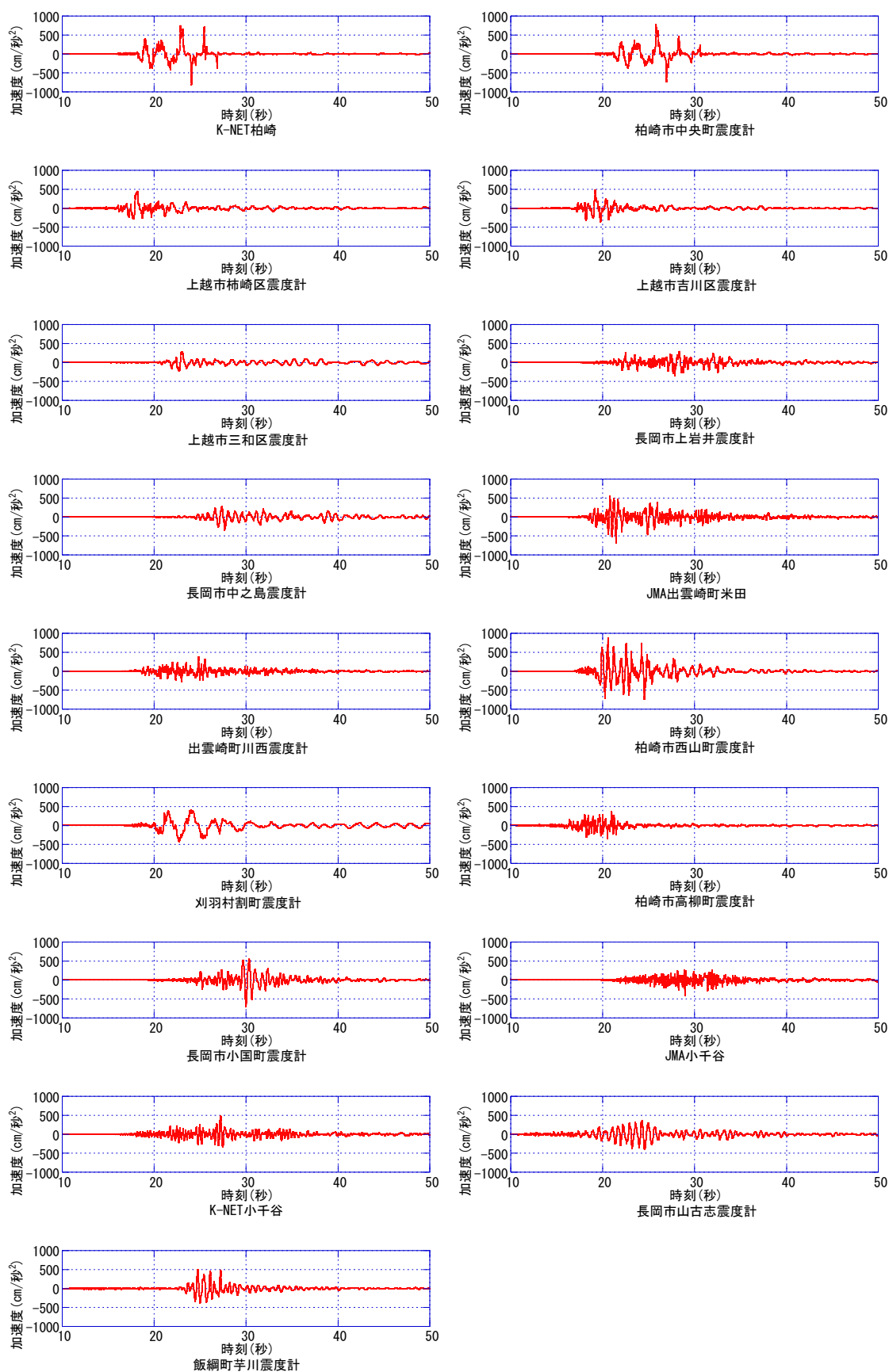
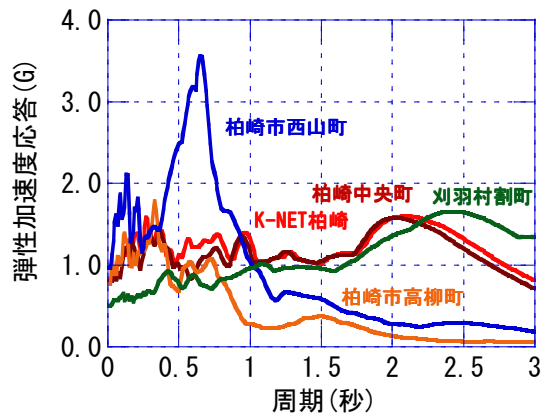
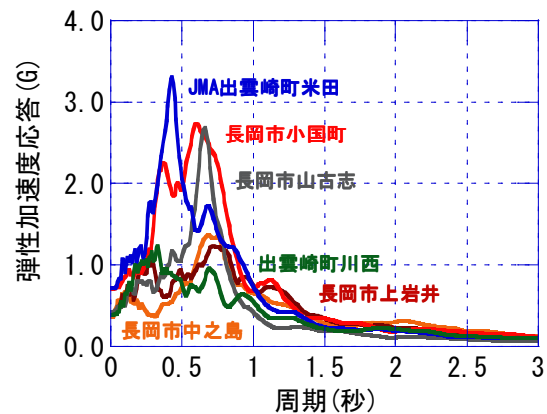


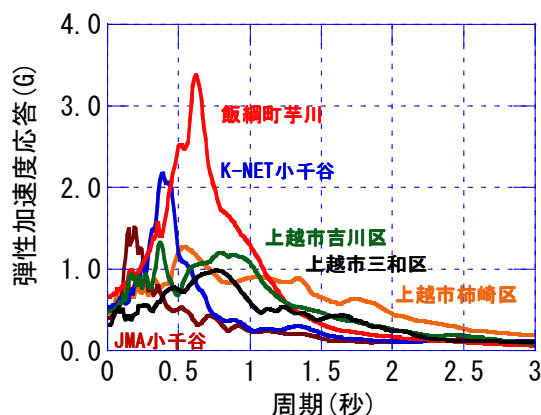
図 18 加速度波形（水平 2 方向ベクトル和最大方向）



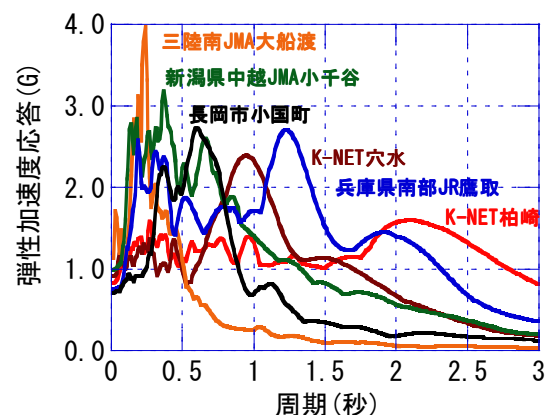
(a) 柏崎市，刈羽村



(b) 長岡市，出雲崎町



(c) 上越市，飯綱町



(d) 過去の強震記録との比較

図 19 弾性加速度応答スペクトル（減衰定数 5%，水平方向 2 方向ベクトル合成）

5. まとめ

2007 年新潟県中越沖地震を対象として、震度 6 弱以上を記録した全ての強震観測点と 5 強を記録した一部の強震観測点周辺の被害調査を行った。震度 6 強を記録した 6 観測点のうち K-NET 柏崎、柏崎市中央町震度計周辺では、木造建物全壊率が 5～7%程度、柏崎市西山町、刈羽村割町震度計周辺でも全壊した木造建物、倉庫が見られたが、長岡市小国町、飯綱町芋川震度計周辺では建物の大きな被害はなかった。震度 6 弱を記録した観測点周辺でも、大きな被害はなかった。

観測された強震記録の性質と被害との対応について検討した結果、周辺で大きな被害が生じた K-NET 柏崎、柏崎市中央町震度計、刈羽村割町震度計では、2～2.5 秒というやや長い周期が卓越すると同時に、建物の大きな被害と相関をもつ 1-2 秒応答も大きく、これが大きな被害に結びついたと考えられる。その一方で、震度 6 強を記録した長岡市小国町、飯綱町芋川震度計も含めて、1 秒以下の短周期が卓越したその他の強震観測点では、建物の大きな被害と相関をもつ 1-2 秒応答は小さい地震動で、周辺にも大きな被害は見られなかった。

なお、言うまでもないことであるが、本報告は、あくまで強震観測点周辺という限られたエリアでの被害状況を報告し、観測された強震記録との対応性について論じたものであり、2007 年新潟県中越沖地震の被害全体について記載したものではない。

謝辞

強震記録は防災科学技術研究所，JR 総合技術研究所，気象庁より提供していただきました．被害調査の際，現地の方々には被災されていたにもかかわらず，様々なご協力をいただきました．気象庁計測震度を求めるプログラムは，参考文献 7) の巻末のリストを基に早稲田大学山田真氏，中村操氏らがコーディングし東京電力植村富一氏が修正したものに手を加えて使わせていただきました．被害調査の準備，道路状況の調査，図の作成など研究室メンバーの支援を受けました．

参考文献

- 1) 岡田成幸，高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン，日本建築学会構造系論文集，第 524 号，65-72，1999.
- 2) 1978 年宮城県沖地震災害調査報告，日本建築学会，142，1980.
- 3) 小杉慎司，境有紀，中村友紀子，大月俊典，2004 年新潟県中越地震における強震観測点周辺の被害状況および建物被害と地震動の対応性，日本地震工学会論文集，第 7 巻，第 6 号，48-81，2007.11.
- 4) 境有紀，神野達夫，瀬瀬一起：建物被害と人体感覚を考慮した震度算定方法の提案，第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集，CD-ROM，2002.
- 5) 境有紀，神野達夫，瀬瀬一起：震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案，日本建築学会構造系論文集，第 585 号，71-76，2004.
- 6) 境有紀，瀬瀬一起，神野達夫：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案，日本建築学会構造系論文集，第 555 号，85-91，2002.
- 7) 気象庁，震度を知る 基礎知識とその活用，ぎょうせい，1996.

(受理：2008年 8月 8日)

(掲載決定：2008年10月 1日)

**Damage Investigation of Surroundings of the Seismic Stations in
the 2007 Niigata-ken-chuetsu-oki Earthquake and
Correspondence of Damage to Bulidings with Strong Ground Motions**

SAKAI Yuki¹⁾ , KAWAOKA Hiroyasu²⁾ , HAYASHI Yuki²⁾ and
IIZUKA Hiroaki³⁾

1) Member, Assoc. Professor, University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Eng., Dr. Eng.

2) Student Member, Graduate Student, University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Eng.

3) Like Company Ltd.

ABSTRACT

We carried out damage investigation around the seismic stations where high JMA seismic intensity scales were recorded in the 2007 Niigata-ken-chuetsu-oki Earthquake. Among the seismic stations with 6+ JMA seismic intensity scales we found many heavily damaged wooden houses around K-NET Kashiwazaki, Kashiwazaki-Chuomachi Shindokei, but we did not find heavy damage around the Nagaokashi-Oguni and Iizunacho-Imokawa Shindokei. We did not find heavy damage around the seismic stations with 6- JMA seismic intensity scales. We investigated the correspondence of strong ground motions with damage to buildings. We found that 2-2.5 sec. dominated in the records of K-NET Kashiwazaki, Kashiwazaki-Chuomachi Shindokei with heavy damage and large 1-2 sec. responses that brought about severe damage to buildings. On the contrast, in the case of the records of the Nagaokashi-Oguni and Iizunacho-Imokawa Shindokei with 6+ JMA seismic intensity scales and no heavy damage, short period below 1 sec. dominated and the 1-2 sec. responses were small.

Keywords *The 2007 Niigata-ken-chuetsu-oki Earthquake, earthquake damage investigation, strong ground motion characterictics, JMA seismic intensity scale, seismic station*