

2/13 に発生した福島県沖の地震被害調査と発生した地震動

境 有紀*・汐満 将史**・中澤 駿佑***

* 京都大学 防災研究所

** 山形大学大学院 理工学研究科

*** 筑波大学 システム情報系

要 旨

2021年2月13日に発生した福島県沖の地震において、震度6弱を記録した一部、震度6強を記録した全ての強震観測点周辺の被害調査を行った。その結果、瓦屋根の被害や外壁の被害といった軽微な建物被害は見られたものの、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。観測された強震記録の性質について分析した結果、多くは周期1秒以下の短周期が卓越した地震動で建物の大きな被害と相関がある周期1-1.5秒応答は小さく、このことが震度が大きいにも関わらず、大きな被害を受けた建物が見られなかった要因と考えられる。

1. はじめに

2021年2月13日に発生した福島県沖の地震では、最大震度6強の強い揺れが観測された。筆者らは、大きな震度を記録した強震観測点（K-NET、KiK-net、気象庁震度観測点（以下、JMA）、地方公共団体震度計（以下、単に震度計））周辺の、建物を対象とした被害調査を行った。ここではその調査結果を報告し、発生した地震動の性質との対応性について述べる。

2. 調査の概要

2.1 対象とした観測点

筆者らは、これまで発生した地震において、強震観測点周辺の被害調査を行ってきた（例えば汐満ら（2020））。その方法は、震度6弱以上を記録したすべての強震観測点を対象とした、周辺（観測点から半径200m以内）の建物全数調査を行い、地震動と建物被害の対応性の検証を行うというものである。しかし、今回の地震では震度6弱以上を観測した観測点が43点と非常に多く、全てを調査するのが困難なため、調査する観測点の絞込を行った。絞込の条件は、震度が大きいもの、調査時点で強震記録が公開されていて、かつ、周辺に建物が多く存在しているもの、具体的には、

- ① 震度6強以上の全ての観測点
- ② 震度6弱の場合は、調査検討時点で強震記録が公開されていたK-NET、KiK-net、JMA観測点、かつ、周辺に建物が多く（80棟程度以上）存在している

とした。結果、調査を行った観測点は図1に示す、震度6弱6点、震度6強5点の、計11点である。

2.2 調査方法

調査は2021年2月22～23日に行った。ただし、筆者



図1 調査を行った観測点の位置

の一部は地震発生直後の2月14～15日に、震度6強を記録した観測点周辺の先見調査を行っている（汐満、2021）。そのため、3章の調査結果では、先見調査で見られた被害状況も適宜報告している。調査範囲は、強震観測点から半径200m以内とした。半径200m以内としたのは、強震観測点で観測された地震動とできる限り同一の揺れとみなせるように観測点近傍に範囲を限定すること、建物被害率を算出するために十分な数の建物が存在することの相反する2つの条件を考慮した結果である（例えば汐満ら（2020））。範囲内のすべての建物について、外観から被害レベル、構造種別（木造、非木造）を判定した。被害率算出のための被害レベルは、全壊（岡田ら、1999）、大破（日本建築学会、1980）という大きな被害のみとした。なお、寺社、倉庫、蔵等や地盤被害、基礎の被害を受けた建物は対象外とし、建物棟数と被害棟数にはカウントせず、後述する建物分布図にも記載していない。つまり、調査範囲内の寺社や倉庫等を除く全ての建物の振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みであるが、地盤等の建物以外の被害についても調査、記録を行った。

3. 調査結果

3.1 各観測点周辺の被災状況

本節では、各観測点周辺の被災状況について述べる。ただし、全ての観測点については紙面の都合上難しいため、ここでは震度6強を記録した観測点5点についてのみ報告する。以下には各観測点周辺（観測点から半径200m以内）の建物分布図を示しているが、図中の「<」は写真を撮った向き、番号は、写真番号の数字を表している。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200m円内にあれば範囲内としているため、○印の位置が半径200m円内の若干外側になることもある。○印の中の数字は建物階数で、数字なしは2階建を意味している。また、写真名の最後に「*」が付いているものは、前述した先見調査の際に撮影した写真である。

(1) 相馬市中村震度計（震度6強、調査日：2/14、15、23）

観測点は、相馬市役所（写真1）の敷地内に設置されている（写真2）。範囲内に大きな高低差はない。周辺は商店や住宅が並び（写真3）、約160棟の建物がある。外壁の被害（写真4）や瓦屋根の被害は見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受

けた建物は見られなかった。

(2) 新地町谷地小屋震度計（震度6強、調査日：2/14、15、23）

観測点は新地町役場（写真5）の敷地内に設置されており（写真6）、範囲内の西から東にかけて川が流れている。観測点周辺に大きな高低差はない。建物分布図を図3に示す。周辺（写真7）では図書館のガラスの被害（写真8）、外壁の被害、瓦屋根の被害が見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。

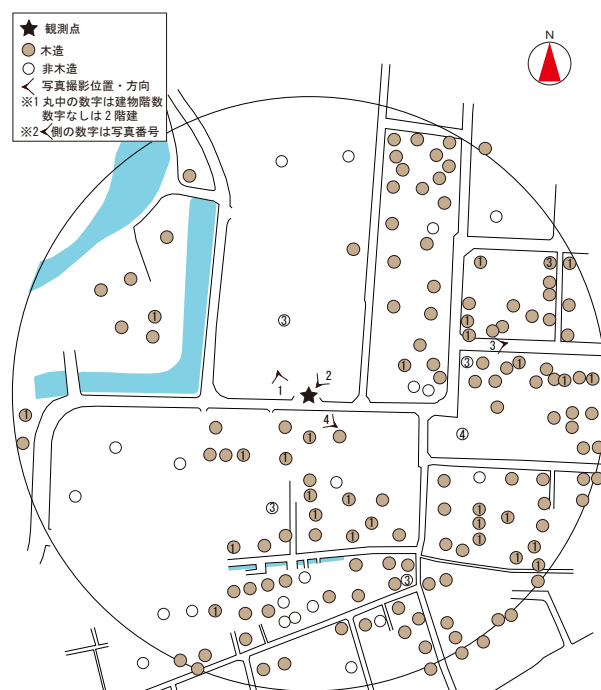


図2 相馬市中村震度計周辺の建物分布図



写真1 相馬市役所*



写真2 相馬市中村震度*



写真3 相馬市中村震度計周辺の様子*



写真4 外壁の被害

(3) KiK-net山元（震度6強、調査日：2/14、23）

観測点は山元町体育文化センター（写真9）の敷地内に設置されている（写真10）。観測点北側にある病院は（図4建物分布図のハッチング部分）、2011年東北地方太平洋沖地震の調査の際に許可をいただけなかったため、今回も調査していない。周辺には住宅（写真11）がいくつか見られるが、建物棟数は40棟程度と多くない。瓦屋根の被害、外壁の被害（写真12）が見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。

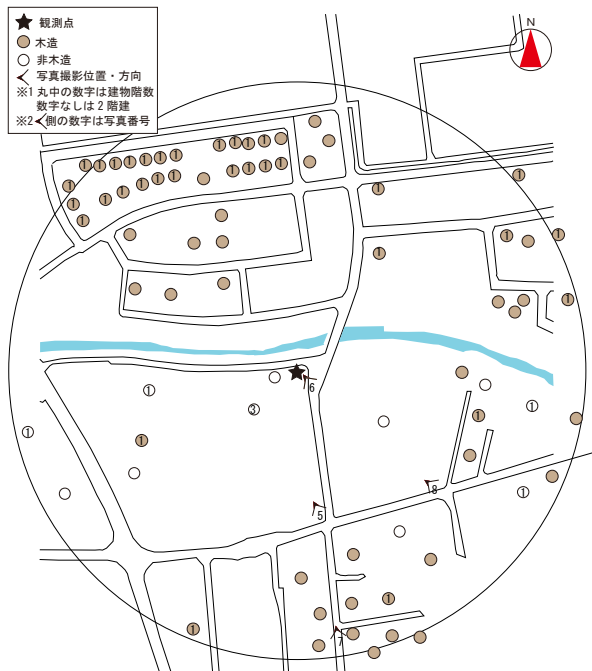


図3 新地町谷地小屋震度計周辺の建物分布図

(4) 蔵王町円田震度計（震度6強、調査日：2/14、23）

観測点は蔵王町役場（写真13）の建物1階に設置されている（写真14）。周辺（写真15、16）の建物は30棟程度と多くない。また、観測点の北側に斜面があるが、斜面の上に建物はほとんどない。軽微なものも含めて、建物被害は見られなかった。

(5) 国見町藤田震度計（震度6強、調査日：2/14、23）

観測点は国見町役場（写真17）の敷地内に設置されている（写真18）。周辺は住宅街（写真19）で建物は多く（約180棟）、範囲内に大きな高低差はない。

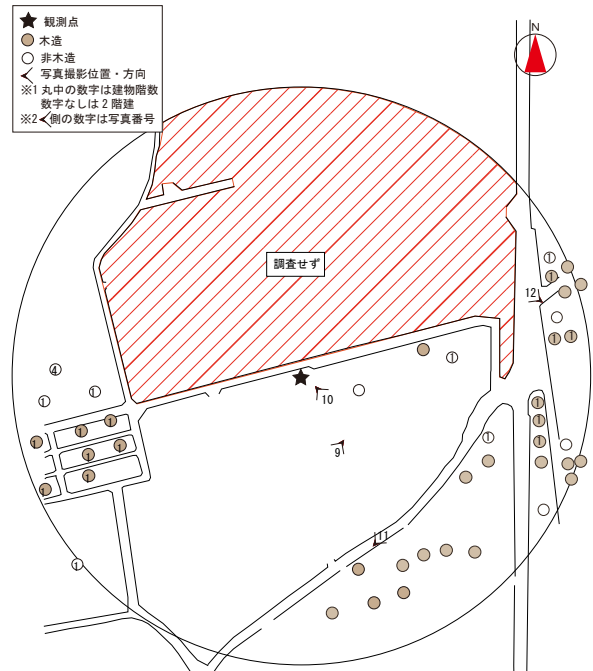


図4 KiK-net 山元周辺の建物分布図



写真5 新地町役場



写真6 新地町谷地小屋震度計*



写真9 山元町体育文化センター*



写真10 KiK-net 山元*



写真7 新地町谷地小屋震度計周辺の様子



写真8 ガラスの被害*



写真11 KiK-net 山元周辺の様子*



写真12 外壁の被害*

瓦屋根の被害（写真20）、外壁の被害は見られたものの、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。

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建物棟数、および、被害率を表1に示す。建物の被害としては、瓦屋根の被害、外装材の被害といった軽微な被害は見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。また、本紙で省略した震度6弱を記録した観測点周辺でも、大きな被害を受けた建物は見られていない。

4. 発生した地震動の性質と被害調査結果との対応

表1に、調査を行った観測点の地震動強さを示している。地震動強さ指標には、建物の大きな被害と相関が高い減衰定数20%における周期1-1.5秒のスペクトル値（以下、1-1.5秒応答）（境、2013）と、建物の大きな被害と相関が高い震度指標として提案された1-2秒震度（境ら、2002；境ら、2004）も記している。PGAは新地町谷地小屋震度計とKiK-net山元で 1000cm/s^2 を超えており、PGVはKiK-net山元で 80cm/s を超えている。

次に、弾性加速度応答スペクトルを図7に示す。減

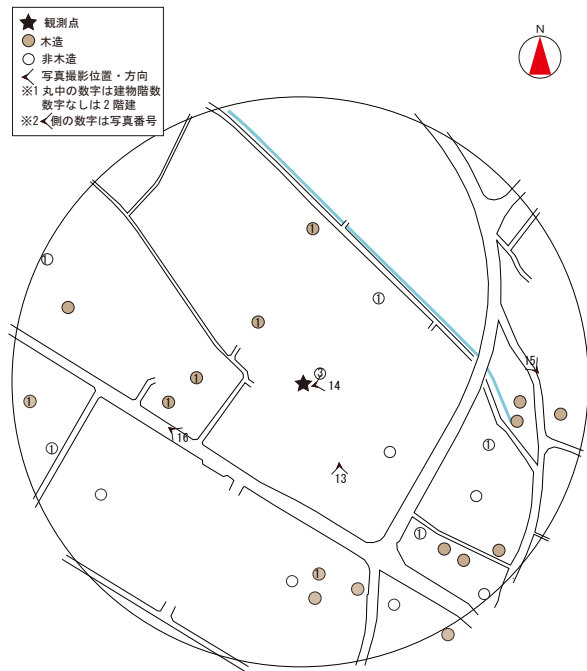


図5 蔵王町円田震度計周辺の建物分布図

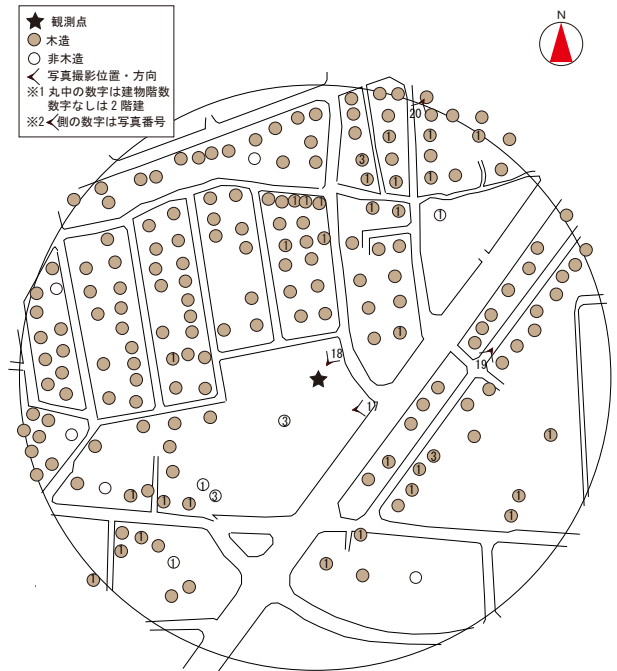


図6 国見町藤田震度計周辺の建物分布図



写真13 蔵王町役場



写真14 蔵王町円田震度計



写真17 国見町役場*



写真18 国見町藤田震度計*



写真15 蔵王町円田震度計周辺の様子



写真16 蔵王町円田震度計周辺の様子



写真19 国見町藤田震度計周辺の様子



写真20 瓦屋根の被害

衰定数は一般的な5%に加え、全壊時の履歴減衰を考慮した20%（境、2013）の2ケースについて示している。また、図8には計測震度が最も大きかったKiK-net山元と、1-1.5秒応答が最も大きかった国見町藤田震

度計と、過去の強震記録、具体的には1995年兵庫県南部地震のJR鷹取、2004年新潟県中越地震のJMA小千谷、2011年東北地方太平洋沖地震のK-NET築館の記録を示している。図7より、今回の地震で発生した

表 1 被害調査結果と地震動強さ指標

調査日	観測点名 *()内は臨時調査日	建物棟数		全壊・大破棟数		木造 全壊率 ^{※1} [%]	地震動強さ				
		全建物	木造	全建物	木造		PGA ^{※2} [cm/s ²]	PGV ^{※3} [cm/s]	計測 震度	1-2秒 震度	A _{1-1.5} ^{※4} [cm/s ²]
2021/2/22	JMA郡山市朝日	133	100	0	0	0.0	536.6	47.8	5.92	5.10	293.3
	K-NET郡山	121	97	0	0	0.0	518.3	43.1	5.81	4.91	236
	K-NET中野	87	79	0	0	0.0	250.6	41.1	5.53	5.61	392.9
	JMA浪江町幾世橋	96	79	0	0	0.0	516.4	40.3	5.61	5.26	247
2021/2/23	相馬市中村震度計(2021/2/14-15)	165	138	0	0	0.0	653.0	52.9	6.01	5.58	385.9
	K-NET相馬	167	151	0	0	0.0	618.9	52.2	5.92	5.46	314.4
	新地町谷地小屋震度計 (2021/2/14-15)	74	63	0	0	0.0	1032.3	66.4	6.13	5.36	353.8
	KiK-net山元(2021/2/14)	42	31	0	0	0.0	1431.3	81.7	6.49	5.41	310.1
	K-NET岩沼	87	60	0	0	0.0	481.7	56.0	5.87	5.17	282.7
	蔵王町円田震度計(2021/2/14)	28	16	0	0	0.0	513.2	60.4	6.06	5.37	352.7
	国見町藤田震度計(2021/2/14)	183	173	0	0	0.0	933.3	77.2	6.14	6.13	575.5
過去の記録	1995年兵庫県南部地震 JR鷹取	545	207	190	123	59.4	741.6	157.2	6.4	6.63	1227.1
	2004年 新潟県中越地震 JMA小千谷	164	114	2	2	1.8	975.0	93.6	6.3	6.03	616.0
	2011年東北地方太平洋沖地震 K-NET築館	58	51	0	0	0.0	2765.2	105.8	6.6	5.58	332.1

※1: ()付きは、建物棟数が少ない(80棟を基準)ため参考値

※2: 地動最大加速度(水平2方向ベクトル合成)

※3: 地動最大速度(加速度波形に0.1-10Hzのバンドパスフィルタをかけて積分し、水平2方向ベクトル合成したものの最大値)

※4: 1-1.5秒平均加速度応答(減衰定数20%)

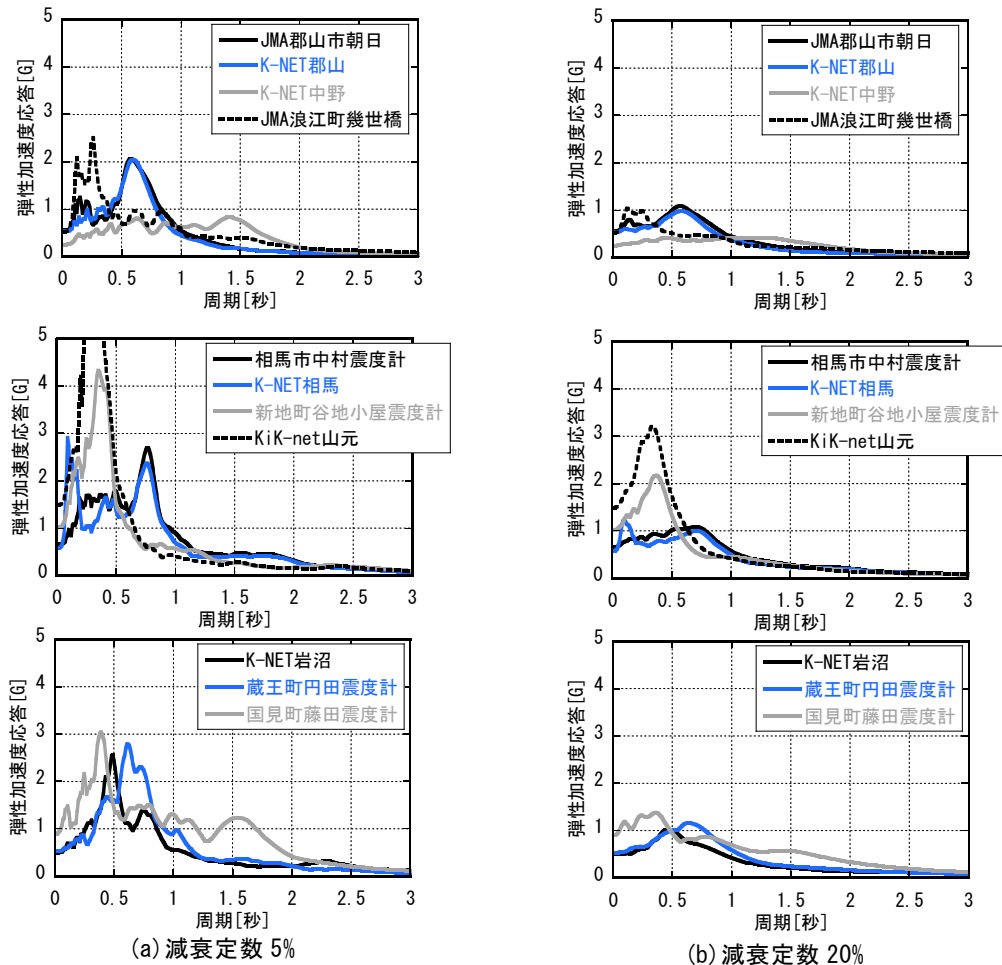


図 7 弾性加速度応答スペクトル

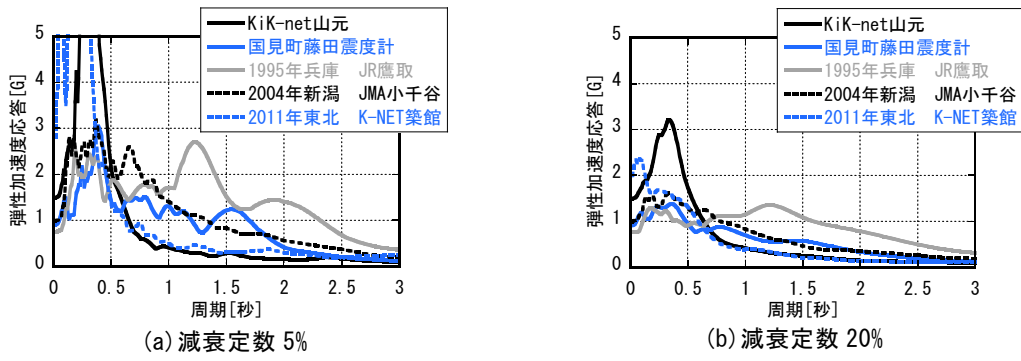


図8 弾性加速度応答スペクトルの過去の強震記録との比較

地震動の多くは、震度と人体感覚に対応した周期1秒以下の短周期（境ら、2002）が卓越している一方、建物の大きな被害と相関がある1-1.5秒応答は、木造全壊率が1.8%であった2004年新潟県中越地震のJMA小千谷よりも小さい。そのため、観測点周辺で全壊・大破といった大きな被害を受けた建物が見られなかったのは、震度と相関がある周期1秒以下の短周期が卓越した一方、建物の大きな被害と相関がある周期1-1.5秒の成分が小さかったためであると考えられる。

しかし、国見町藤田震度計の1-1.5秒応答は 575.5cm/s^2 と、JMA小千谷の9割程度の大きさを有しており、1-2秒震度も6強となっている。JMA小千谷の木造全壊率が1.8%であることを考慮すると、大きな被害を受けた建物が見られるか、その境界付近の大きさであると考えられるが、周辺に耐震性能が高い建物が多かった可能性もある。そこで、外観写真から建物の建築年代分布を判定する方法（戸田ら、2020）を用いて、国見町藤田震度計周辺の建物の建築年代分布を算出した（図9）。JMA小千谷は、2004年時点ということもあり2000年代の建物の割合が少なく、1960～1970年代の古い建物が約半数を占めている。一方、国見町藤田震度計は2000年代の建物の割合が4割程度と大きく、1980年代以降の比較的新しい建物が8割程度を占めている。よって、国見町藤田震度計で大きな被害を受けた建物が見られなかった要因として、周辺の建物の建設年が新しい物が多い、つまり、耐震性能が高い建物が多かった事が考えられる。今後、建築年代だけでなく、開口が多い建物の割合などを算出し、大きな被害を受けた建物が見られなかった要因を、さらに検討する予定である。

5. まとめ

2021年2月13日に発生した福島県沖の地震において、震度6弱を記録した一部と、震度6強を観測した全ての強震観測点周辺の建物の被害調査を行った。その結果、瓦屋根の被害や外壁の被害は見られたものの、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物

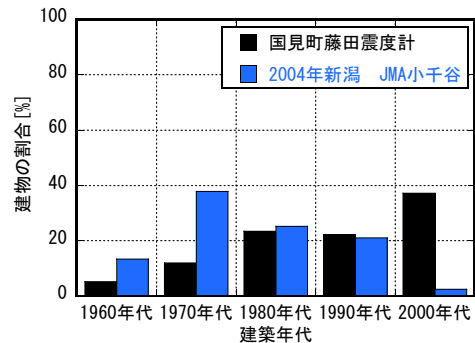


図9 観測点周辺の建築年代分布

は見られなかった。発生した地震動の性質について分析した所、強震記録の多くは震度と相関がある周期1秒以下の短周期が卓越している一方、建物の大きな被害と相関がある周期1-1.5秒の成分は小さかった。そのため、大きな震度を記録したにも関わらず、観測点周辺で大きな被害を受けた建物が見られなかったと考えられる。しかし、国見町藤田震度計は、周期1-1.5秒の成分が比較的大きく、木造全壊率が1.8%であった2004年新潟県中越地震のJMA小千谷の9割程度を有していた。そこで、観測点周辺の建築年代分布を算出した所、1980年代以降の比較的新しい建物の割合が大きいがわかった。そのため、大きな被害を受けた建物が見られなかった要因として、周辺の建物の建設年が新しい物が多い、つまり、耐震性能が高い建物が多かった事が考えられる。

謝辞

強震記録は防災科学技術研究所、気象庁、鉄道総合技術研究所、福島県、宮城県より提供いただきました。被害調査は、筑波大学大学院システム情報工学研究群村嶋美波氏、松井貴宏氏、山形大学大学院理工学研究科江口直希氏と共同で行いました。現地調査にあたり、自然災害研究協議会より援助をいただきました。調査の際現地の方々には、被災されているにも関わらず、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、文献

(気象庁、1996)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竹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

汐満将史・境有紀・中澤駿佑・三木彩加・野崎光輝
(2020) : 2019年山形県沖の地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性、日本地震工学会論文集、Vol.20、No.6、pp.65-84
汐満将史(2021) : 福島県沖の地震に関する臨時被害調査結果(2/15版)、
<http://shiomitsu.site/pdf/20210214fukushima-rinji.pdf>
(2021/08/24参照)
岡田成幸・高井伸雄(1999) : 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、pp.65-72

日本建築学会(1980) : 1978年宮城県沖地震災害調査報告、日本建築学会、908p
境有紀(2013) : 2011年東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と建物被害の対応性—建物の大きな被害をより正確に推定する地震動強さ指標—、日本建築学会構造系論文集、第78巻、第683号、pp.35-40
境有紀・神野達夫・額瀨一起(2002) : 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、pp.17-22
境有紀・神野達夫・額瀨一起(2004) : 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、pp.71-76
戸田和徳・境有紀(2020) : 木造建物の建築年を外観写真から判定する方法、Vol.20、No.4、p.4_56-4_65
気象庁(1996) : 震度を知る—基礎知識とその活用、ぎょうせい