

東北地方太平洋沖地震における1-2秒計測震度と建物被害との関係

Relationship between 1 to 2 Second Instrumental Seismic Intensity and Building Damage during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

岡本 篤 興 鍬 田 泰 子
Atsuoki Okamoto Yasuko Kuwata

1. はじめに

我が国で用いられる震度は、複雑な「地震動の強さ」を1つの無次元の数値で表し、被害と密接に関係する値として地震発生直後に速報されることから、地震被害の推定やこれに関連した初動対応の判断材料として多くの防災機関で利用され、住民にも馴染みの深い指標である。しかし、現行の計測震度は、1995年の兵庫県南部地震の地震動や被害の特徴を反映した指標であるため、それ以降に発生した地震の被害と相関が十分ではないことが指摘されている^{1) 2)}。2011年3月11日に発生した、観測史上最大規模の地震である東北地方太平洋沖地震においても、最大震度7を記録した宮城県のK-NET 築館周辺などの被害は小規模なものとなったことが報告されている³⁾。一方で、著者ら⁴⁾は一般建造物の等価周期に着目した震度指標「1-2秒計測震度」を提案しており、本指標と建物被害との関係には良い相関があることを示している。しかし、その検討で用いられた1995年から2007までに発生した地震記録は、地殻内地震の地震記録が多く、巨大規模のプレート境界地震は含まれていなかった。東北地方太平洋沖地震のような巨大なプレート境界地震を経験し数多くの強震記録が観測されている中、1-2秒計測震度と建物被害との関係について明らかにしておく必要がある。そこで本研究は、計測震度の高い観測点を網羅的に調査するのではなく、東北地方太平洋沖地震の記録を用いて1-2秒計測震度の高い観測点と世帯あたりの被害棟数の高い市町村の観測点に絞り、地震計周辺の建物被害と1-2秒計測震度について調査・分析し、建物被害との関係を明らかにすることを目的としている。

2. 観測点の抽出と調査方法

本研究で検討する新震度、1-2秒計測震度（以下、 I_y と表記する）は、低層住宅などの一般建造物の建物被害を適切に予測することを目的とし、1~2秒の弾性速度応答を震度の評価指標として用いた境ら⁵⁾の研究を踏まえ、振動時の建造物の塑性化による周期の伸びを考慮した等価周期である1~2秒の地震動強度を対象にした震度として提案したものである。従来の計測震度（以下、 I_s ）の算出方法は、3成分の加速度波形をそれぞれ周波数領域でフィルタ処理をした後、時間領域で合成したベクトル波形から継続時間を考慮したベクトル波振幅を得る。そして、それを河角の式に代入して計測震度は算出される。一方、新震度の算出方法は、基本的に計測震度の算出方法に則したものであり、1~2秒の台形バンドパスフィルタを計測震度のフィルタに重ねて用い、その他の処理は計測震度と同じとした。

東北地方太平洋沖地震における1-2秒計測震度(I_y)と建物被害との相関を検証するため、計測震度の高い観測点を網羅的に調査するのではなく、広域な被災地域の中から1-2秒計測震度が大きい地域、もしくは建物被害が大きくなると推定される地域を選別し、現地調査を行った。

まず、地震記録から地域を選別するため、東北地方太平洋沖地震の本震におけるK-NET⁶⁾と気象庁の地震計⁷⁾の観測記録の内、最大加速度 (PGA) と1-2秒計測震度の上位10記録を表-1に列挙した。なおPGAは3成分の最大加速度の2乗和平方根を示している。PGAの上位10記録は全て1,000galを超え、宮城県や茨城県、栃木県、福島県の北関東から東北までの太平洋側で観測されている。一方、1-2秒計測震度では宮城県の観測点が上位10記録の大半を占める中、栃木県のK-NET小川と福島県のK-NET中野で、高い1-2秒計測震度が記録された。とくに、K-NET仙台を除いた1-2秒計測震度の上位5記録は、いずれもPGAの上位10記録に含まれていない。PGAと1-2秒計測震度の違いが上位記録を比較するだけでも顕著に現れている。観測点周辺の建物被害状況を把握するため、1-2秒計測震度の上位4記録であるJMA大崎市、K-NET小川、K-NET古川、K-NET中野を対象にして調査を行った。

一方、市町村の建物被害状況から地域を選別した。岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県における市町村の建物全壊棟数⁸⁾を全世帯数⁹⁾で除した比率を市町村の建物全壊率と定義し、その分布図を図-1に示す。新聞や地震被害報告から、沿岸部で明らかに津波の浸水被害や液化化被害を受けている地域を省き、内陸にも建物全壊率の高い市町村があることが確認できる。上記で1-2秒計測震度が高い観測点の市町村では建物全壊率も高くなっている。そこで、上位4記録の他に市町村の建物全壊率が高い福島県の郡山市と須賀川市にあるK-NET郡山、K-NET須賀川を上記の分析対象に追加して現地調査を行った。

表-1 PGA、1-2 秒計測震度の TOP10 記録とその観測点

(a) PGA			(b) 1-2 秒計測震度		
	K-NET 観測点	PGA (gal)		K-NET 観測点	I_g
1	築館 (MYG004)	3,525	1	JMA 大崎市	5.99
2	日立 (IBR003)	2,306	2	小川 (TCG006)	5.82
3	塩竈 (MYG012)	2,169	3	古川 (MYG006)	5.81
4	鉾田 (IBR013)	1,907	4	中野 (FKS024)	5.76
5	仙台 (MYG013)	1,829	5	仙台 (MYG013)	5.73
6	大宮 (IBR004)	1,805	6	石巻 (MYG010)	5.66
7	白河 (FKS016)	1,664	7	JMA 登米市	5.64
8	今市 (TCG009)	1,638	8	JMA 涌谷町	5.61
9	茂木 (TCG014)	1,483	9	JMA 松島町	5.56
10	郡山 (FKS018)	1,381	10	角田 (MYG017)	5.54

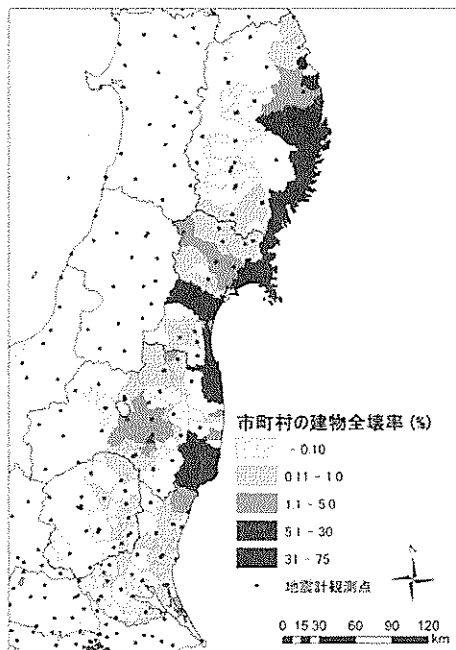


図-1 各市町村の建物全壊率分布

表-2 各市町村の建物全壊率上位 5 記録

	市町村	建物全壊率 (%)	対応する観測点
1	福島県須賀川市	3.09	K-NET 須賀川
2	宮城県涌谷町	2.24	JMA 涌谷町
3	福島県郡山市	1.64	K-NET 郡山
			K-NET 中野
			JMA 郡山市
4	茨城県鹿嶋市	1.63	K-NET 鹿嶋
			JMA 鹿嶋市
5	宮城県大崎市	1.19	K-NET 古川
			JMA 大崎市
			K-NET 鳴子

現地調査では、地震計周辺の建物被害状況を視察した他、地震計周辺の行政区画を対象に市町村から建物被害数の情報を収集した。また、微動観測により地盤の振動特性と本震・余震の地震動特性について分析した。なお、常時微動測定には、物探サービス株式会社製の速度計 (CR4.5-2s) と測定器 (GEODAS14-USB) を用いた。速度計によって観測されたサンプリング周波数 100Hz の 3 成分のデータを A/D 変換部とノートパソコン部によって構成されている測定器によって約

10 分間記録し、2,048 データ長の波形を 10 波サンプリングする。高速フーリエ変換によって得られたフーリエスペクトルを 10 波で平均することでその地点の各成分のフーリエスペクトルを得て、EW 成分と NS 成分の積の平方根を水平成分のスペクトルとし、UD 成分で除することで H/V スペクトル比(以下、H/V 比)を算出した。また、観測点の地盤情報として、S 波速度の構造⁶⁾から表層地盤の周期を算出した¹⁰⁾。

3. 観測点周辺の被害と地盤特性

現地調査では、まず地震計周辺の建物被害状況を視察した。視察時期は JMA 大崎市と K-NET 古川については 2011 年の 3、4 月と 2012 年 3 月、その他の地域では 2011 年の 12 月である。微動の観測結果と地震被害を以下に述べる。

3. 1 K-NET 小川(TCG006)

K-NET 小川 (TCG006) は、栃木県那須郡那珂川町に位置する。東北地方太平洋沖地震の本震において PGA 563gal、PGV 89kine、計測震度 5.98 を記録し、PGA や計測震度では、本地震の観測記録の内の上位記録と比較して低いレベルにあった。本震のフーリエスペクトル(以下、FS)を図-2 に示す。周期 1 秒付近で大きく卓越したため、1-2 秒計測震度は 5.82 と高い値を示した。また、同じ震源域で 2011 年 4 月 11 日に発生した Mw7.1 の誘発地震の際に観測された FS を図-3 に示す。こちらも、周期 1 秒付近でピークに達しているため、この周期帯で卓越しやすい傾向にあることが考えられる。しかし、常時微動測定の結果から算出した H/V 比(図-4)には、K-NET 小川の表層地盤の周期(以下 T_0) 0.19 秒⁶⁾に対応した卓越が見られるが顕著なものではない。従って本震と余震の FS に見られる 1 秒付近の卓越は、表層地盤の増幅特性はあまり影響していないと考えられる。

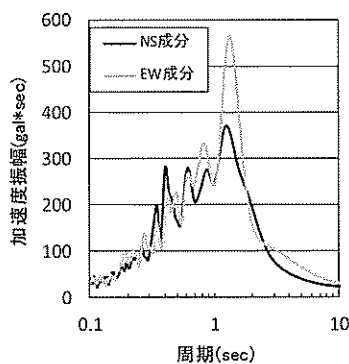


図-2 本震の FS

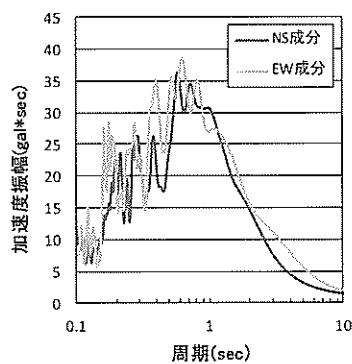


図-3 2011/04/11 の誘発地震の FS

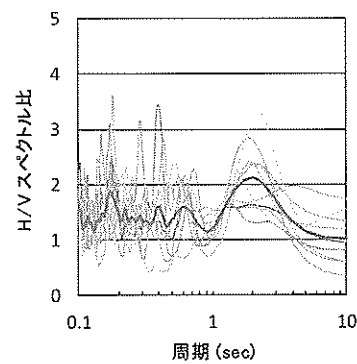


図-4 常時微動の H/V 比

観測点周辺の地震被害の概要を説明する。K-NET 小川周辺は住宅が点在している地域である。周辺では家屋の屋根瓦のずれの被害(写真-2)が見られた。観測点近くの墓地では、墓石が転倒したことがわかる修繕痕が多く確認できた(写真-3)。その位置を図-5 に示す。また、観測点から約 750m 東にある段丘で 1km ほどの延長で地すべりが発生しており、非常に強い揺れであったことが推察された。K-NET 小川がある小川 2 区(現在の町丁目ではなく、役場のもつ字界)の本震による建物被害の内訳を表-3 に示す。観測点周りの建物全壊率(建物棟数に対する全壊数の比率)は 0.3%であった。

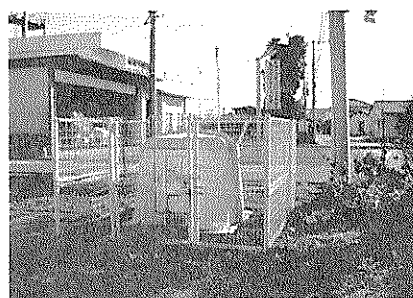


写真-1 K-NET 小川

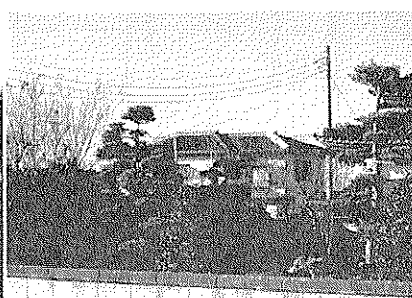


写真-2 瓦屋根の被害

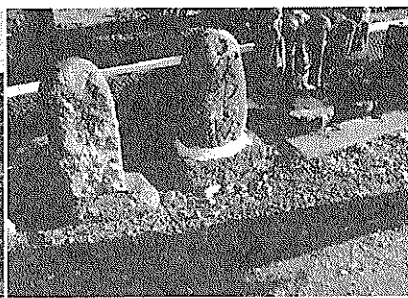


写真-3 墓石の被害

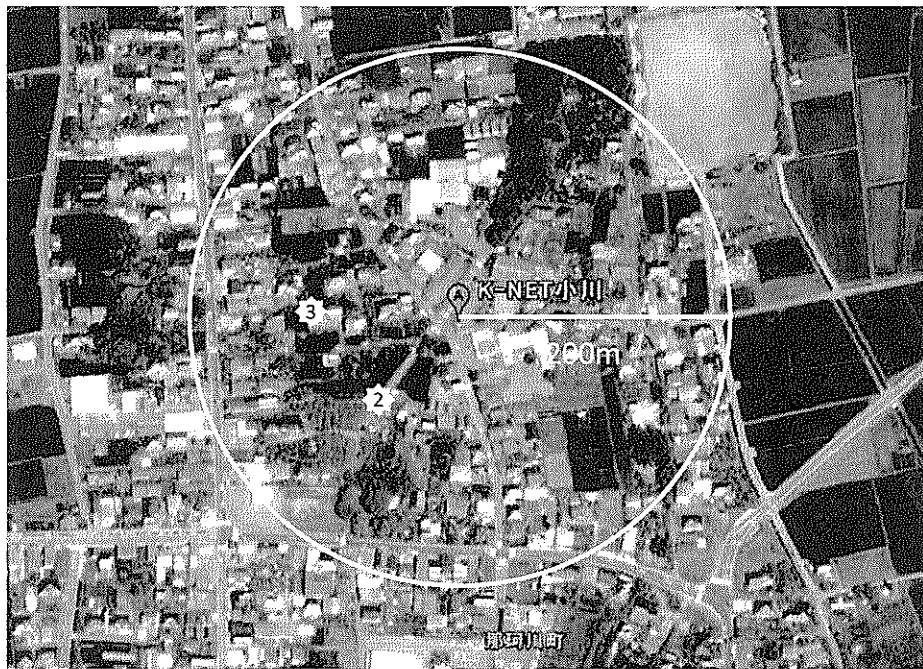


図-5 K-NET 小川周辺の航空写真（图中番号は写真の番号である）

表-3 K-NET 小川周辺の被害の内訳

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	被害なし	建物棟数	全壊率(%)
小川2区	1	0	4	202	124	331	0.3

被害数は市町からの提供されたもの。建物棟数は固定資産台帳ベース。
小川2区は、役場のもつ昔の字界でK-NET 小川のある地区。

3. 2 K-NET 中野(FKS024)

K-NET 中野(FKS024)は福島県郡山市湖南町に位置する。東北地方太平洋沖地震の本震で記録された、PGA 515gal、PGV 70kine、計測震度 5.84 は、PGA や計測震度では、いずれも上位の記録に比べ低い値である。図-6 に東北地方太平洋沖地震の本震のFSを示す。周期1秒付近で特殊な形で卓越したことが、1-2秒計測震度5.76という高い値に影響した。また、4月11日に発生した誘発地震におけるフーリエスペクトル(図-7)、常時微動のH/V比(図-8)も同じく、周期1秒付近で卓越しており、常時この周期帯で卓越していると考えられる。なお、K-NET 中野の表層地盤の周期は0.38秒⁶⁾であり、それぞれの図において周期0.38秒付近に小さな卓越が見られるため、1秒付近の大きな卓越は表層地盤の影響ではないと思われる。観測点は猪苗代湖の湖畔にあるため、その深部地盤の影響が考えられ、今後より詳細に検討する必要がある。

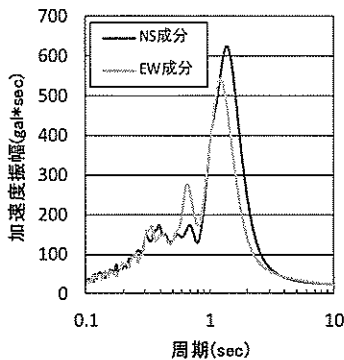


図-6 本震のFS

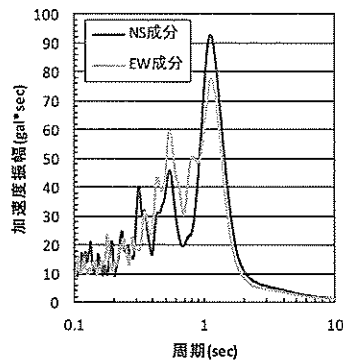


図-7 2011/04/11の誘発地震のFS

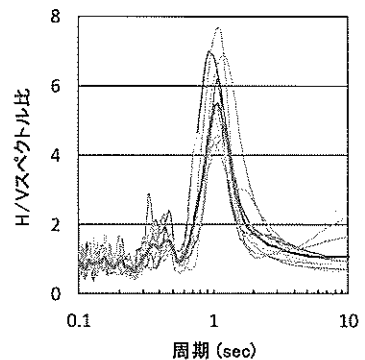


図-8 常時微動のH/V比

K-NET 中野は中山間地域にある集落にあり、周辺には住居がさほど多くない。現地ではブロック造の蔵にクラック(写真-6)を確認した。その位置は図-9 に示す。図中央の空白は、印刷の都合上途切れた部分である。また近隣住民から倒壊した家屋が数軒あったとの情報を得て、更地を数か所確認した。東北地方太平洋沖地震の本震による中野地区の被害内訳を表-4 に示す。建物全壊率は1.5%となった。

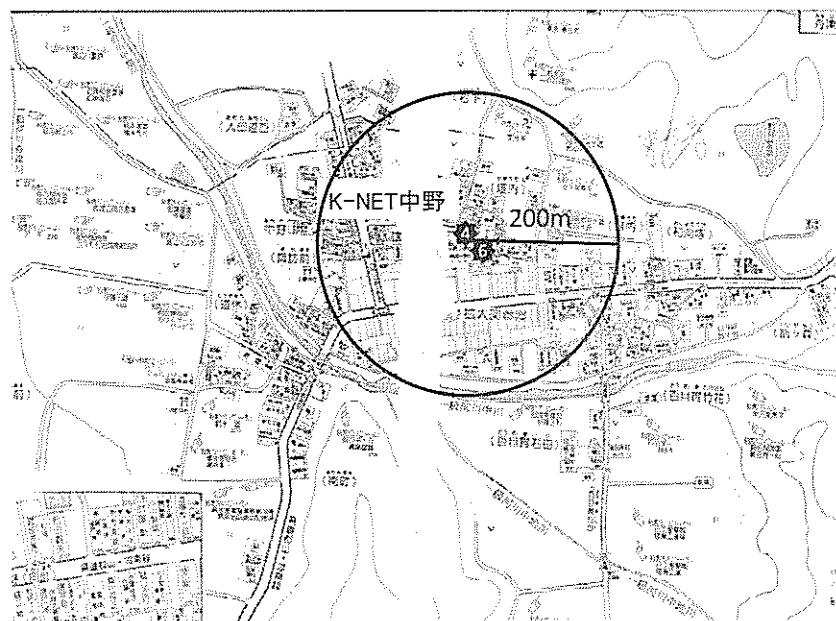


図-9 K-NET 中野周辺地図(図中番号は写真の番号である)



写真-4 K-NET 中野

写真-5 K-NET 中野の近隣家屋

写真-6 ブロック造のクラック

表-4 中野地区被害内訳

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	建物棟数	全半壊率(%)
中野地区	4	—	1	—	270	1.5

被害数は市町からの提供されたもの。建物棟数は住宅地図による読み取り数

3. 3 K-NET 古川(MYG006)・JMA 大崎市

K-NET 古川 (MYG006)・JMA 大崎市は宮城県大崎市に位置する。強震記録が頻繁に記録され、揺れによる被害も多発する地域である。著者らは被害調査を行ったが微動観測は実施しなかったため、本観測点では本震と余震のフーリエスペクトルのみで地盤の振動特性を分析する。

K-NET 古川では、東北地方太平洋沖地震の本震でPGA 762gal、PGV 107kine、計測震度 6.16 を記録し、PGA を除く各指標で高い値を示した。図-10 に東北地方太平洋沖地震の本震のフーリエスペクトルを示す。周期 1 秒付近で卓越したため、1-2 秒計測震度は小川と同レベルの 5.81 を示した。また図-11 に 2011 年 4 月 7 日に発生した Mw7.1 の大きな余震、

図-12 に 2011 年 5 月 23 日に発生した Mw4.8 の小さな余震のフーリエスペクトルを示す。いずれも周期 0.5 秒付近で大きく卓越しており、固有周期 0.6 秒⁹⁾の表層地盤の影響で増幅したことが考えられる。また、大きな余震においては周期 1 秒付近が強くなっているため、表層地盤に合わせて 1 秒付近が卓越した地震動の影響と見られる。

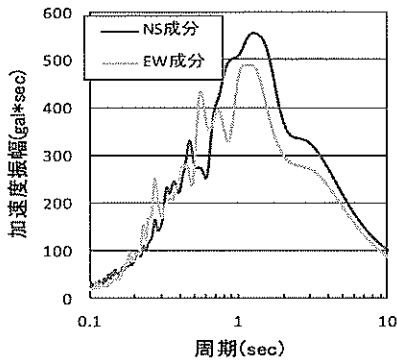


図-10 本震のFS

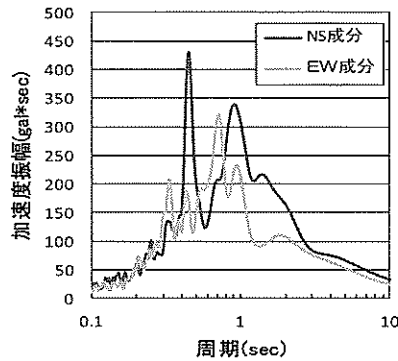


図-11 2011/04/7の余震のFS

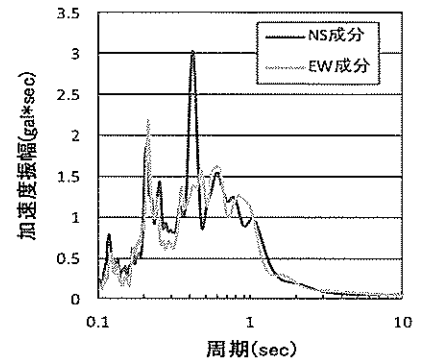


図-12 2011/05/23の余震のFS

K-NET 古川から南に約 800m の距離にある JMA 大崎市周辺は、地震動による倒壊家屋、大きな損傷を受けた家屋が多く見られたほか、液状化による填砂、マンホールの浮き上がりなども多数見られた。代表的な地点を図-13 に示す。図の右側地域とさらにその右側では液状化被害が顕著であるのに対して、図の左側地域では局所的に住宅の被害が甚大であったとのことである(写真-7、写真-8)。左側地域ではマンホールの浮上や路面の浮隆は確認されていないことから、震動による被害が主であると考えられる。一方、K-NET 古川周辺の建物被害は JMA 大崎のそれと比べると軽微であったと報告されている¹¹⁾。K-NET 古川・JMA 大崎市周辺の本震による被害内訳を表-5 に示す。建物全壊率はそれぞれ、0.3%、3.1%であり、建物全壊率からも JMA 大崎の方が地震動も強く、被害も大きかったことがわかる。



図-13 代表的な被害地点

表-5 K-NET 古川・JMA 大崎市周辺の被害内訳

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	建物棟数	全半壊率(%)
K-NET 古川周辺	2	4	10	64	641	0.3
JMA 大崎周辺	10	4	24	40	326	3.1

被害数は市町からの提供されたもの。建物棟数は固定資産台帳ベース

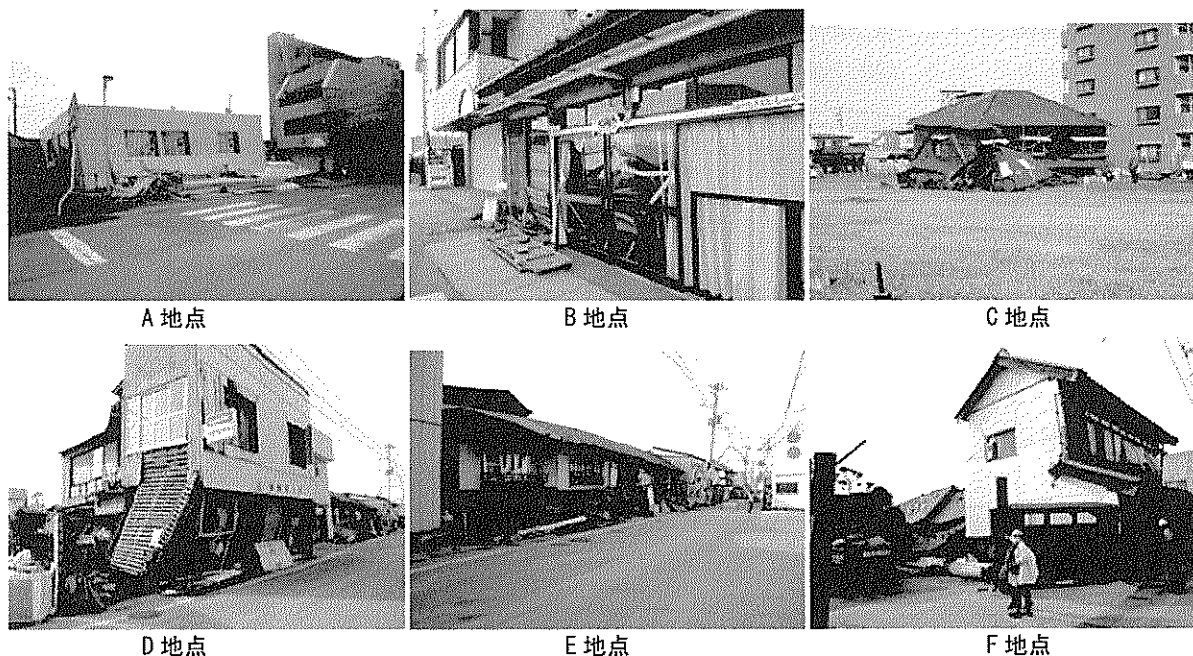
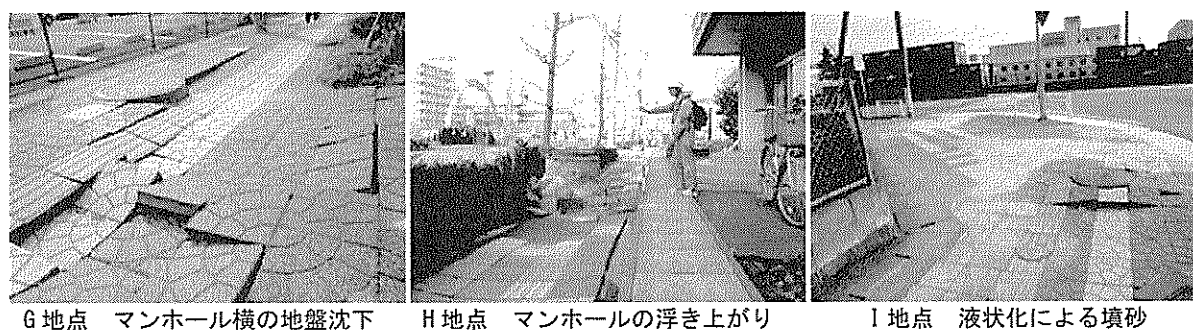


写真-7 図-13 左側地域における木造家屋の被害



G地点 マンホール横の地盤沈下

H地点 マンホールの浮き上がり

I地点 液状化による填砂

写真-8 図-13 右側地域の被害

3. 4 K-NET 郡山 (FKS018)

K-NET 郡山 (FKS018) では、東北地方太平洋沖地震の本震で PGA 1,381gal、PGV 70kine、計測震度 5.9 を記録した。PGA は比較的高いが、PGV、計測震度では上位の記録に比べ低い値を示した。図-14 に本震のフーリエスペクトルを示す。周期 0.6 秒付近でピークに達したため、1-2 秒計測震度は小川・古川・中野より低い 5.05 であった。また、図-15 に常時微動の H/V 比を示す。こちらも周期 0.6 秒付近で卓越しており、その周期帯で卓越しやすい傾向にあることが考えられる。

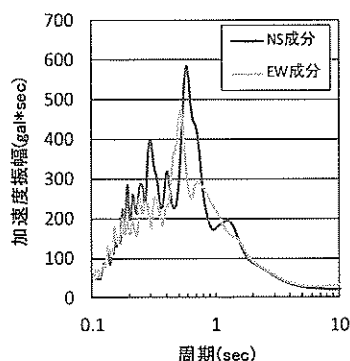


図-14 本震の FS

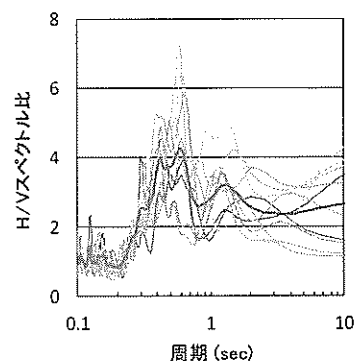


図-15 常時微動の H/V 比

なお、表層地盤の固有周期は 0.38 秒⁶⁾であり、本震のフーリエスペクトルの 0.3 秒付近の卓越、H/V 比の 0.4 秒付近の卓越は表層地盤の影響が考えられる。

K-NET 郡山周辺は住宅が密集する地域である。現地では瓦屋根や壁に被害をうけた家屋(写真-10)が数軒と、道路の崩壊を 1 か所確認した。観測点から北に約 400m の距離にある RC 造の山市役所では、1 階部分で窓ガラスの割れなどの被害が激しく(写真-11)、閉鎖されていた。それぞれの位置は図-16 に示す。また、観測点周辺地区の本震による被害内訳

を表-6 に示す。全壊した家屋が多くあるのは、常時から周期 0.6 秒付近の波が卓越する比較的軟らかい地盤であることが影響していると考えられる。建物全壊率は 2.8%であった。

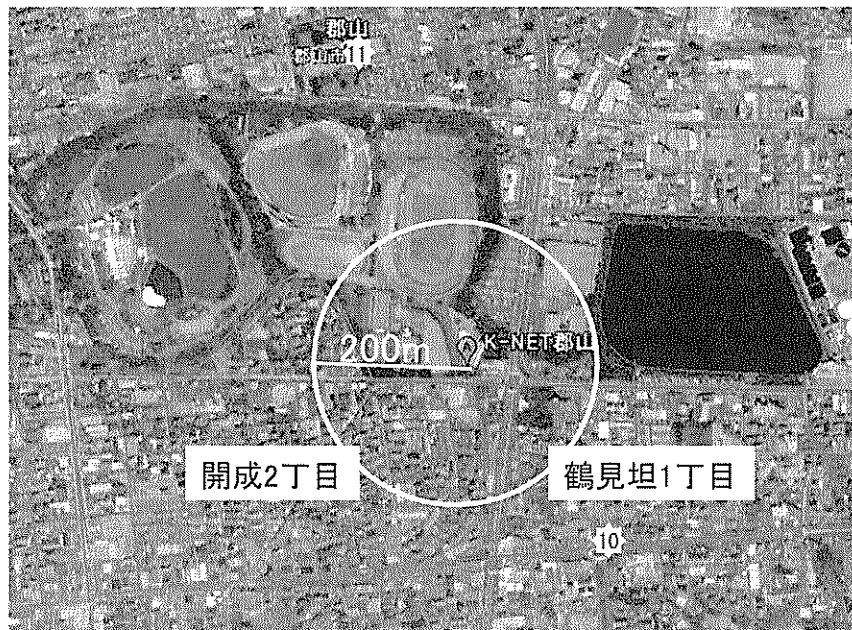


図-16 K-NET 郡山周辺の航空写真(图中番号は写真の番号である)

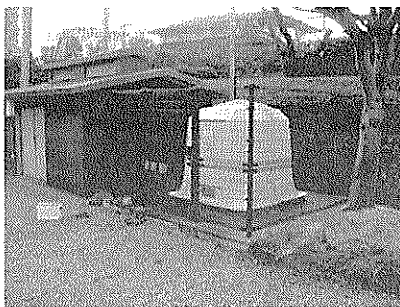


写真-9 K-NET 郡山

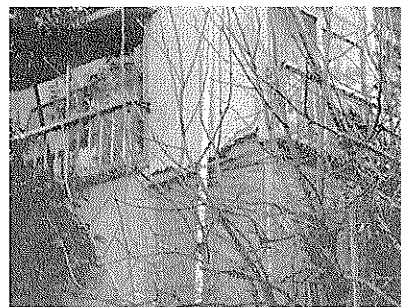


写真-10 家屋の壁の被害



写真-11 郡山市役所の被害

表-6 K-NET 郡山周辺の被害内訳

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	建物棟数	全壊率(%)
開成2丁目	19	20	119	236	797	2.8
鶴見坦1丁目	4	7	184	208		

被害数は市町からの提供されたもの。建物棟数は住宅地図による読み取り数
ただし、被害総数が建物棟数を超えたため、暫定的に被害総数を建物棟数とした

3. 5 K-NET 須賀川 (FKS017)

東北地方太平洋沖地震の本震において、K-NET 須賀川で記録された PGA 885gal、PGV 76kine、計測震度 6.0 はいずれも、上位の 10 記録に比べ低い値であった。また、図-17 に本震の地震動のフーリエスペクトルを示す。郡山と同じく周期 0.6 秒付近でピークにあるため、1-2 秒計測震度は上位の記録に比べ比較的低い 5.05 を記録した。また、図-18 に常時微動の H/V 比を示す。周期 0.4 秒付近で卓越しているのは、固有周期 0.37 秒の表層地盤の影響があると考えられる。したがって本震のフーリエスペクトルにおける周期 0.4~0.6 秒付近の卓越は表層地盤における増幅によるものと考えられる。

K-NET 須賀川周辺は、住宅密集地域ではない。観測点に隣接する墓地では墓石の転倒が多くみられた(写真-13)。また観測点から北東に約 400m の距離にある RC 造の須賀川市役所では二棟の庁舎をつなぐ渡り廊下が被害を受けており、完全に閉鎖されていた(写真-14)。それぞれの位置は図-19 に示す。また須賀川市役所周辺は、市内の他の地域や他の市の市街地に比べ被害が集中していることが報告さ

れているが、昔、須賀川城の堀があった地域と一致しており、比較的軟らかい地盤であったことが影響している¹²⁾。表-7 に観測点周辺地区の被害内訳を示す。ただし、建物棟数を把握できなかったため以降の分析では割愛する。

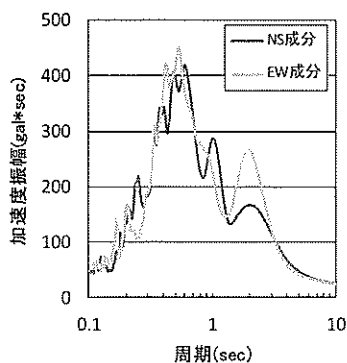


図-17 本震のFS

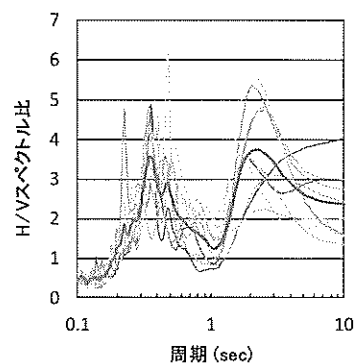


図-18 常時微動のH/V比

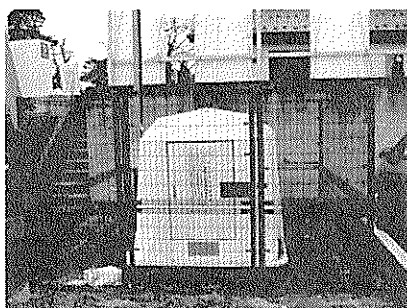


写真-12 K-NET 須賀川

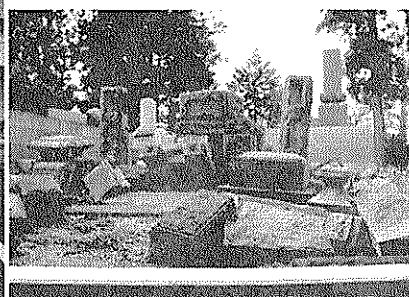


写真-13 墓石の被害

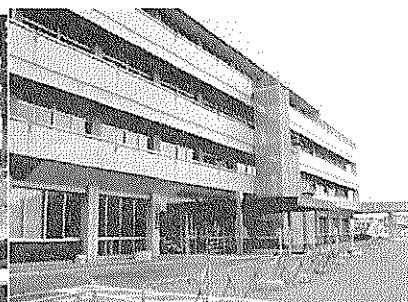


写真-14 須賀川市役所の被害

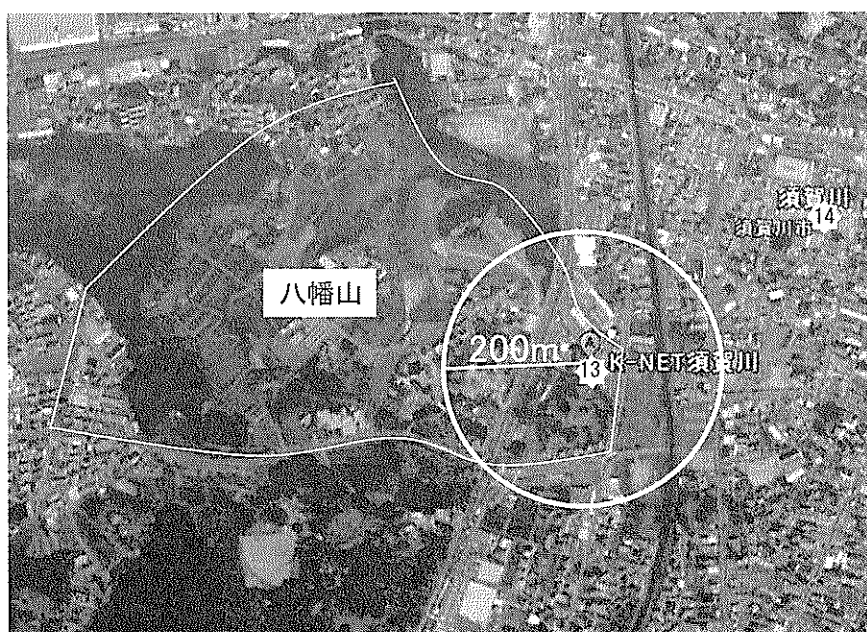


図-19 K-NET 須賀川周辺の航空写真(図中番号は写真の番号である)

表-7 K-NET 須賀川周辺の被害内訳

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	建物棟数	全壊率(%)
八幡山	17	—	29	38	—	—

被害数は市町からの提供されたもの。建物棟数を把握できなかったため以降の分析では割愛する

3. 6 被害調査のまとめ

東北地方太平洋沖地震の本震で1-2秒計測震度が卓越した観測点と、市町村の建物全壊率が高い地域の観測点について、平成23年3月から平成23年12月までの4度に分けて行った被害状況調査と常時微動測定の結果をまとめ、地震被害と地盤の振動特性、地震動特性の分析を行った。分析をした4か所の地震計で1-2秒計測震度が高かった理由として、K-NET 中野については常時から1秒が卓越する地盤環境にあり、K-NET 古川やJMA 大崎ではS波速度の遅い表層地盤が厚く⁶⁾、地盤周期は0.6秒で1秒に近い周期特性と持っていた。また、K-NET 小川や古川では地震動についても1秒の周期帯が卓越していたことが挙げられる。一方、建物被害から見た場合、1-2秒計測震度が高い観測点の市町村では市町村の建物全壊率も高くなっていった。また、1-2秒計測震度が高い観測点周辺では、住家が密集していない地域が多かったが、全壊している家屋が少なからずあったことがわかった。

市町村の建物全壊率が高い市町にあるK-NET 郡山やK-NET 須賀川では、1-2秒計測震度が上位10記録に入るものではなかったが、表層地盤の卓越周期が0.4~0.6秒であり、表層地盤での当該周期帯に強い成分をもつ地震動であったために1-2秒計測震度は5.0程度であった。市町村の建物全壊率同様に地震計周辺でも多くの建物被害があることが調査より明らかになった。

4. 1-2秒計測震度と建物被害との関係

本研究の現地調査によって表-8に示す東北地方太平洋沖地震における地震計周辺の建物全壊率と、表-9に示す1995年から2007年までに発生した地震における境¹³⁾の調査で得られた地震計周辺の建物全壊率を用いて、1-2秒計測震度と建物被害との関係を検証する。前述したように本研究では、建物棟数が得られなかったK-NET 須賀川を除き、5観測点で評価を行った。

図-20に建物全壊率と計測震度・1-2秒計測震度との関係を示す。図-20(a)から、建物全壊率と計測震度の関係には相関はあるが、高震度においてばらつきが多いことがわかる¹³⁾。一方で図-20(b)から、1-2秒計測震度と建物全壊率の相関係数Rの乗数は0.85で高い相関があることがわかり、また本地震の記録が過去の地震の被害分布の上に載ることが確認できる。なお、東北地方太平洋沖地震を含まない記録における建物全壊率と1-2秒計測震度の関係では、相関係数Rの乗数は0.92でさらに高い相関を示しており、高震度階における相関も良い。なお、本文中には図示しないが、境らが提案する、1~2秒の弾性速度応答を用いた震度と建物全壊率との相関係数Rの乗数は0.92であり、精度としては1-2秒計測震度と同程度であった。

計測震度の高い観測点周りの建物被害についての調査は行わなかったが、計測震度とPGAの相関は高いことが知られており、表-1(a)のPGAが高い観測点で市町村の建物全壊率が高い地域にないこと(図-1)を踏まえると、計測震度であれば図-20(a)の横軸EXP(I_p)の400以上で建物全壊率が低い点が分布したものと考えられ、過去の地震の計測震度との関係では合わないといえる。一方1-2秒計測震度は、過去の地震だけでなく東北地方太平洋沖地震においても、建物被害に適合する震度指標であるといえる。しかし、本地震の建物被害は、1-2秒計測震度 I_p が大きい地域を対象としたが、 I_p が6.0(EXP(I_p)が約400)以上の高震度の記録がなかった。そのため、本研究で確認できたのは I_p が6.0以下のレベルまでであり、それ以上の高震度域での建物被害との関係については今後検討が必要である。

表-8 東北地方太平洋沖地震における各地の建物全壊率

観測点	計測震度	EXP 計測震度	1-2秒 計測震度	EXP 1-2秒計測震度	建物 全壊率(%)
K-NET小川	5.98	395.44	5.82	336.97	0.3
K-NET古川	6.16	473.43	5.81	333.62	0.3
JMA大崎	6.21	497.7	5.9	365.04	3.1
K-NET中野	5.84	343.78	5.76	317.35	1.5
K-NET郡山	5.90	365.04	5.05	156.02	2.8

表-9 境¹³⁾の建物被害調査結果と各震度指標

地震	観測点	計測震度	EXP 計測震度	1-2秒 計測震度	EXP 1-2秒計測震度	建物 全壊率(%)
1995年 兵庫県南部地震	JR鷹取	6.48	652.0	6.17	478.2	34.9
1995年 兵庫県南部地震	登合	6.49	658.5	6.04	419.9	15.3
1995年 兵庫県南部地震	JR宝塚	6.15	468.7	5.42	225.9	6.2
1995年 兵庫県南部地震	本山第一小	6.12	454.9	5.19	179.5	5.3
1995年 兵庫県南部地震	神戸JMA	6.43	620.2	5.38	217.0	2.5
1995年 兵庫県南部地震	尼崎高架橋	5.69	295.9	5.08	160.8	2.2
1995年 兵庫県南部地震	尼崎竹谷小	5.70	298.9	4.83	125.2	1.2
1995年 兵庫県南部地震	尼崎港	5.74	311.1	5.06	157.6	0
1995年 兵庫県南部地震	六甲アイランド	5.70	298.9	5.02	151.4	0
1997年 鹿児島県北西部3/26	K-NET宮之城	5.53	252.1	4.26	70.8	0
1997年 鹿児島県北西部5/13	K-NET宮之城	5.92	372.4	3.95	51.9	0
2000年 鳥取県西部	K-NET米子	5.82	337.0	5.37	214.9	0
2001年 芸予	K-NET大野	5.64	281.5	4.19	66.0	0
2001年 芸予	K-NET東予	5.59	267.7	4	54.6	0
2001年 芸予	K-NET三原	5.03	152.9	3.32	27.7	0
2003年 十勝沖	K-NET広尾	6.07	432.7	3.87	47.9	0
2004年 新潟県中越	K-NET長岡	5.51	247.2	4.59	98.5	0
2004年 新潟県中越	K-NET小出	5.55	257.2	4.65	104.6	0
2007年 能登半島	K-NET穴水	6.33	561.2	5.93	376.2	18
2007年 能登半島	K-NET輪島	5.53	252.1	4.78	119.1	2.8
2007年 能登半島	K-NET能都	5.55	257.2	4.4	81.5	0
2007年 能登半島	K-NET七尾	5.28	196.4	4.93	138.4	0
2007年 新潟県中越沖地震	K-NET柏崎	6.37	584.1	5.5	244.7	4.2
2007年 新潟県中越沖地震	K-NET小千谷	5.58	265.1	3.95	51.9	0

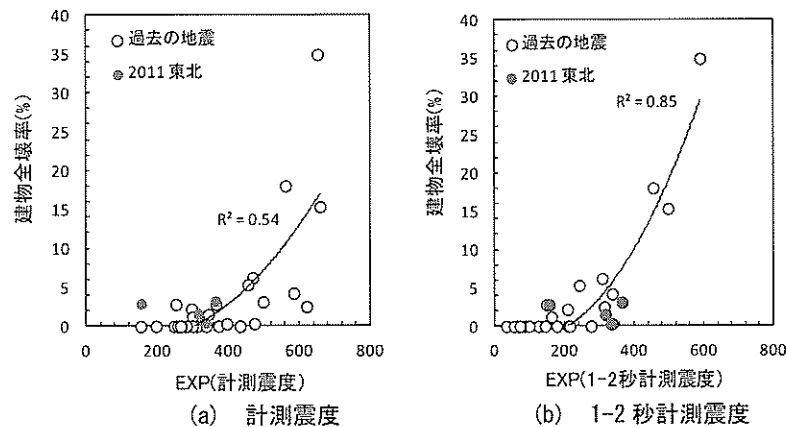


図-20 指標と建物全壊率の相関性

5. まとめ

本研究では、東北地方太平洋沖地震の本震において1-2秒計測震度が卓越した観測点と、市町村の建物全壊率が高い地域にある観測点について、現地調査で得られた建物の被害状況と常時微動観測の調査結果をまとめ、被害と、観測点の地盤特性について分析を行った。そして、得られた建物全壊率と、1-2秒計測震度との関係について検証を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 1-2秒計測震度が高い観測点では、現地で倒壊に至る建物被害を確認しており、1-2秒計測震度は地震直後の1次の被害把握に役立つ指標であると考えられる。
- 1-2秒計測震度と建物全壊率の相関係数は、従来の計測震度を用いた場合のそれよりも高い値にあることがわかった。また、東北地方太平洋沖地震の記録が既往の地殻内地震が多い地震の被害分布の上に乗ることも確認された。従って、地殻内地震だけでなく巨大規模のプレート境界地震も含め、1-2秒計測震度は従来の計測震度よりも建物

の被害に適合した震度指標であるといえる。

- 東北地方太平洋沖地震の建物被害は、1-2秒計測震度 I_M が大きい地域を対象としたが、 I_M が 6.0 (EXP(I_M) が約 400) 以上の高震度の記録がなかった。そのため、本研究で確認できたのは I_M が 6.0 以下のレベルまでであり、それ以上の高震度域での建物被害との関係については今後検討が必要である。

我が国において震度は、地震発生後の被害推定や初動対応の判断材料として多くの防災機関で用いられる指標であるため、被害と密接に関係するものでなければならない。本研究によって1-2秒計測震度は、過去の地殻内地震だけでなく東北地方太平洋沖地震のような巨大規模のプレート境界地震においても、計測震度より建物の被害に適合していることがわかった。本研究の成果が、想定されている東海・東南海・南海地震において迅速かつ効果的な救助活動、応援活動、つながることを期待する。

参 考 文 献

- 1) 境有紀、吉岡信悟、額綱一起、壁谷澤寿海：1999年台湾集集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討、日本建築学会構造系論文集、第549号 pp. 43-50、2001
- 2) 境有紀、神野達夫、額綱一起：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、pp. 71-76、2004
- 3) 後藤浩之：土木学会東日本大震災被害調査団、緊急地震被害調査報告書第4章、pp. 2-7、2011
- 4) 岡本篤興・鍛田泰子：建物被害に合う地震動強度指標の東北地方太平洋沖地震への適用、土木学会全国大会第67回年次学術講演会、2012
- 5) 境有紀：2007年能登半島地震、新潟県中越沖地震の強震記録と被害データを加えた建物被害と対応した地震動の周期帯の検討、日本地震工学会大会-2007梗概集、pp. 480-481、2007
- 6) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/search/>
- 7) 気象庁：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震関連情報
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-portal.html>
- 8) 消防庁：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(第140報)
- 9) 総務省：平成22年住民基本台帳人口・世帯数
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編・同解説、pp. 25-27、2002.
- 11) 後藤浩之：土木学会東日本大震災被害調査団、緊急地震被害調査報告書第4章、pp. 2-7、2011
- 12) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成23年東北地方太平洋沖地震による建築物被害第一次調査 白河市、須賀川市、仙台市におけるRC造、S造、非構造部材を中心とした建築物被害調査(速報)
- 13) 境有紀：地震動の性質と建物被害の関係、日本地震工学会誌、No. 9、pp. 12-19、2004

著 者

岡本 篤興	神戸大学大学院生、学士(工学)
鍛田 泰子	研究員、博士(工学)、地震工学