

2011年東北地方太平洋沖地震の地震動による 福島県浪江町建築被害の悉皆調査

後藤 浩之¹・澤田 純男²・吉田 望³・羽田 浩二⁴

¹正会員 京都大学助教 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: goto@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: goto@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

³正会員 東北学院大学教授 工学部都市建設工学科 (〒985-8537 宮城県多賀城市中央1-13-1)

E-mail: yoshidan@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

⁴非会員 (株) ニュージェック 建築グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

E-mail: hadakj@newjec.co.jp

2011年東北地方太平洋沖地震の本震において福島県浪江町で記録された地震動の特徴と、地震動により被災した浪江町市街地の建築被害悉皆調査の結果について整理した。浪江町に位置する防災科学技術研究所KiK-net浪江(FKSH20)の観測記録は、他の浜通り地方の記録と比較してピーク周期の異なる強い地震動であったことを示唆している。この成因は、最表層が軟弱地盤であることのみならず、深い基盤構造の影響も考えられる。公益立ち入りが可能となった直後に実施した市街地の建築被害悉皆調査から、同地域の本造建物全壊率は11%と算出される。観測点周辺の本造全壊率とPGVとの対応は過去の地震におけるデータと比較して矛盾しない。また、市街地を代表的な3地区とその他の地区に分割して地区毎の全壊率を算出したところ、自然堤防上と考えられる地区の全壊率が有意に低いことが統計的に示された。

Key Words : the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Namie, Building damage survey, Ground motion

1. はじめに

2011年3月11日に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震では、津波による甚大な被害、福島第一原子力発電所事故による放射性物質の拡散など、東日本を中心として我が国の社会に多大な影響が発生した。加えて、東北地方から関東地方の内陸部では地震動による被害も発生している^{1,3)}。津波被害に比べて相対的に影響は小さいものの、地震動による被害の実態を調査し体系的に整理することは、今後の地震災害を軽減するために重要である。

地震動による被害の事例としては、宮城県大崎市古川地区の構造物被害^{1,5)}、東京湾沿岸の液状化被害^{6,7)}などが代表的である。一方で、本地震の地震動による被害がくまなく調査されているわけではなく、限られた地域を対象として個々に調査・検討されているのが実情である。このため、地震後2年が経過した現在でも被害の実態が整理されていない地域もある。今回対象とする福島県浪江町も地震動による被害の実態が明らかとなっていない

地域のひとつである。

福島県双葉郡浪江町は、太平洋沿岸に面した福島県浜通り地方北部に位置する(図-1)。町の全域が福島第一原子力発電所の事故後に設定された半径20km圏内の警戒区域、および放射線量が年間20mSvを越える計画的避難区域のいずれかの区域に属したため^{8,9)}、事故後しばらくの期間、住民は町内での生活を許されず、また町の機能は町外に移設された。後述するように浪江町で観測された地震動は本地震で観測された地震動の中でも顕著なものであるため、地震動による構造物被害が発生したと予想されたが、立ち入り調査を行うことは不可能であった。一方、住民の立ち入りが制限されていたことから、この期間は被害構造物を撤去・修復することができず、地震後手つかずのままであろうことも予想された。

警戒区域および計画的避難区域に属していた地域は、順次避難指示区域の見直しが進められ、2013年8月に全ての区域見直しが完了した。浪江町は2013年4月1日に区域見直しが実施され、避難指示解除準備区域、居住制限区域、および帰還困難区域に分類されている¹⁰⁾。浪江駅

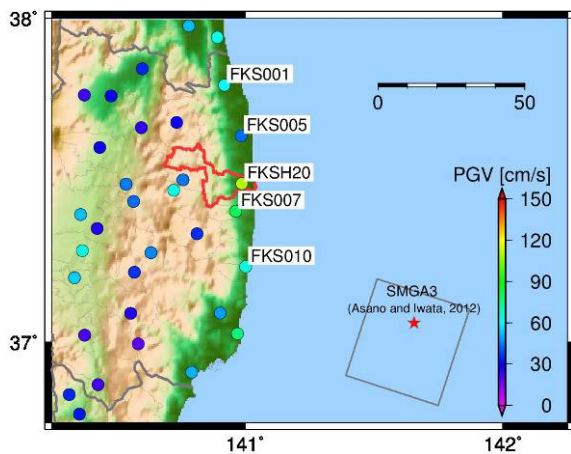


図-1 浪江町の位置（赤線領域内），最大速度値（PGV）の分布，および本震時の強震動生成領域（SMGA3）¹⁾。

前から町役場にかけての市街地は避難指示解除準備区域，および居住制限区域のいずれかに分類されており，区域見直し実施後は住民が帰還して生活を行えるよう，インフラ復旧を進めることが可能となる．このため，地震後手つかずであった被害の実態が徐々に失われると考えられるため，警戒区域の解除にあわせて浪江町市街地の被害調査を実施し，整理することとした．

本報告では，東北地方太平洋沖地震の本震で観測された浪江町の地震動の特徴について紹介した後，市街地で実施した建築構造物の悉皆調査の結果について紹介する．

2. 浪江町の地震動

図-1は福島県浜通り地方を中心として，東北地方太平洋沖地震の本震記録が得られている防災科学技術研究所 K-NET，KiK-net観測点をプロットしたものである．それぞれの観測点に示したマークの色は水平2成分合成の最大速度値（PGV）である．浜通り地方の太平洋沿岸部では相対的にPGVが高いことが確認できる．

浪江町にはKiK-net浪江（FKSH20）観測点が位置していて，PGVは111cm/sである．周囲のPGVは，例えばK-NET相馬（FKS001）60cm/s，K-NET原町（FKS005）43cm/s，K-NET大熊（FKS007）80cm/s，K-NET広野（FKS010）63cm/s，のようにFKSH20のPGVを下回っていることから，この地震動は特に顕著な地震動である．

図-2は図-1に観測点名を明記した5観測点の速度波形を比較したものである．それぞれの記録のトリガー時刻を参照し，時間軸の原点を14:47:00秒に揃えて描いているため，直接フェーズの到達時刻を比較することができる．FKSH20の東西成分に振幅の大きい顕著なフェーズが確認できる．このフェーズは図中90秒頃に観測されて

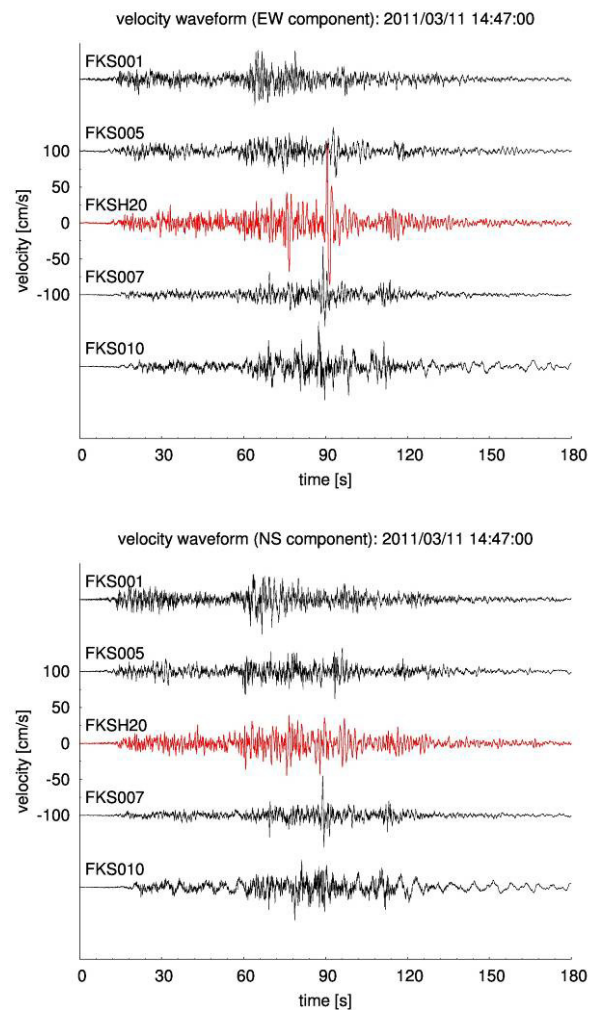


図-2 本震時の速度波形の比較
（上図：東西成分，下図：南北成分）．

おり，S波の到達時刻（図中20秒頃）から1分以上も遅れて観測されている．

東北地方太平洋沖地震の震源は宮城県の沖合であり，この地域から見ると北東の方角である．しかし，FKSH20で観測されている顕著なフェーズは南側のFKS010，FKS007から順に伝播していることが認められることから，そのフェーズの発生源が北東にあるとは考えにくい．本地震において，工学的に重要な周期帯域に対応する地震動は強震動生成領域（SMGA）で生成されたと考えられており，その位置が具体的に推定されている．Asano and Iwata¹⁾の結果によれば，この顕著なフェーズは図-1に示すSMGA3で生成された．SMGA3のみのモーメントマグニチュードがMw7.6であることから，地震動を生成するエネルギーとしてSMGA3からの影響を無視できるものではない．

図-3は各記録の擬似速度応答スペクトル（減衰定数5%）を方位毎に計算して最大となる方位についてプロットしたものである．黒線はFKS001，FKS005，FKS007，FKS010の記録に対応する．比較のため，1995年兵庫県南

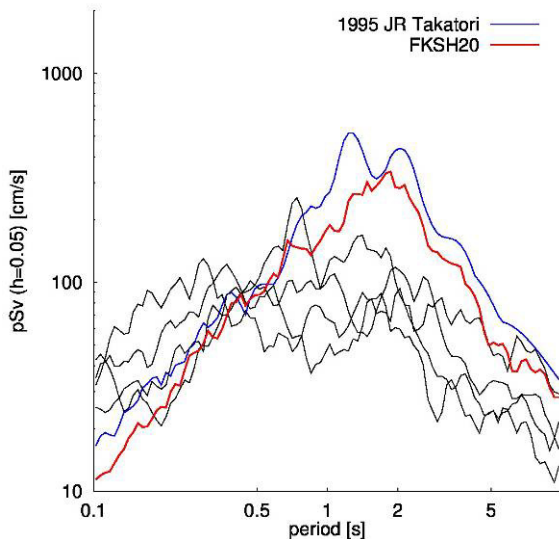


図-3 擬似速度応答スペクトル (h=5%) の比較
(黒線 : FKS001, FKS005, FKS007, FKS010) .

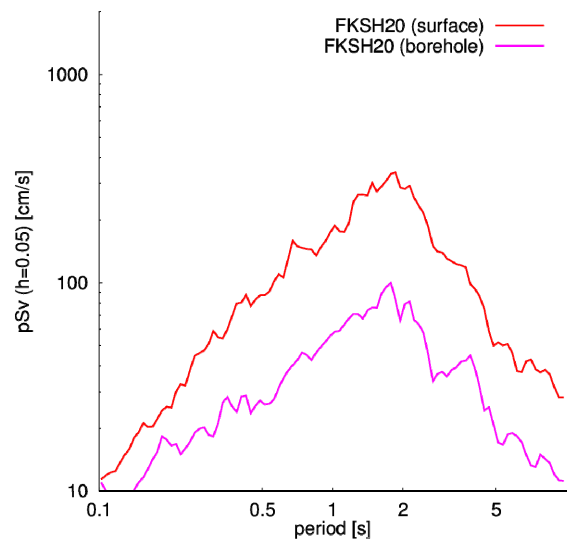


図-4 FKSH20における地表 (surface) と地中 (borehole) 記録の擬似速度応答スペクトル (h=5%) の比較.

部地震で記録されたJR鷹取波も併せて示している。FKSH20の記録は周期1.9秒でピーク応答値339cm/sを持つ。応答値が最大となる方位はN101Eと求まり、先の速度波形に見られたように東西成分が顕著であることに対応する。一方、その他の観測点でのピーク周期は概ね0.5-1.0秒の範囲にあって、ピーク値もFKSH20の半分程度である。JR鷹取波に比べるとFKSH20の記録は全周期帯域で下回っているが、少なくとも周囲の地震動と比較して強い地震動であったと考えられる。また、FKSH20で観測された地震動は周囲の地震動と比較して異なる周期でピークを持つ。このピークを与える時刻は14:48:33秒過ぎと求まり、これは図-2の93秒過ぎに相当する。すなわち、FKSH20に見られる顕著なフェーズが到達した頃に発現している。顕著なフェーズはFKS010やFKS007など他の観測点でも認められることから、他観測点と異なる周期で応答していることを踏まえると、FKSH20における応答スペクトルのピーク付近のレベルは、付近のローカルなサイト特性による影響と考えられる。

FKSH20は深さ110mの地中にも地震計のある鉛直アレ観測点である。地表と地中のそれぞれで観測された記録に対して擬似速度応答スペクトル (減衰定数5%) を描いたものが図-4である。なお、地中の記録は公開されているセンサー設置方位¹²⁾を参照して、補正したものを利用している。地表記録にみられる周期1.9秒のピークは地中記録にも認められ、その応答レベルは小さいものの概ね同じ形状をしている。周期1.9秒のピークがサイト特性によるものと考えられることを先に述べたが、この結果が示唆することは、このサイト特性が深さ110m以浅の構造で決まらない、すなわちより深い構造を意識しないといけないことを意味している。

本震の水平動について、地表と地中記録のフーリエ

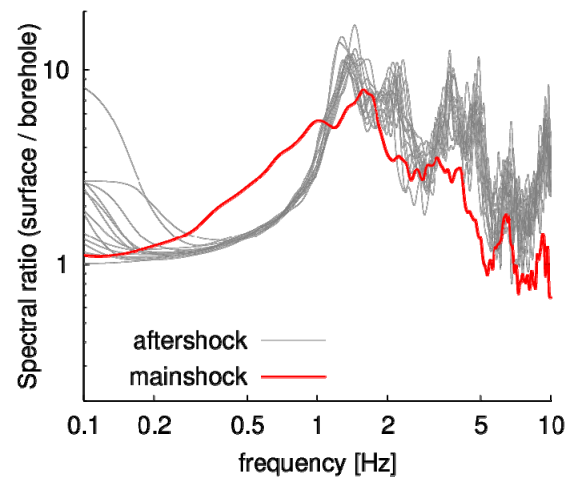


図-5 FKSH20 における水平動の
地表／地中フーリエスペクトル比.

ペクトルの比を図-5の赤線で示す。横軸が周波数であることに注意すると、ピーク周波数は1.5Hz程度 (周期0.6秒程度) にあって、深さ110m以浅の構造によって最も振幅が増幅される周波数と、地表記録の卓越周波数とが一致しない。このこともまた、周期1.9秒の地震動が深い構造に起因することを示唆するものである。なお図-5には、本震直後の余震を除く本震後2年間に地表でPGA3成分合成値が20cm/s²を越えた余震の記録について、同様にスペクトル比を描いたものを併せて示している。本震記録に認められるピークは、余震記録においてもほぼ同じ周波数付近に認められる。このことは深さ110m以浅の地盤材料の非線形挙動の影響は、観測された本震の地震動に対して限定的であったことを示唆するものである。ただし、記録から判別できるのは観測点そのものの挙動だけである。周辺で液状化現象が発生していたかどうか



図-6 浪江町の表層地質（久保他¹³⁾に加筆）．
黒点線枠内が浪江町の主な市街地．

などは、現地調査をして確認する必要があると考えた。

3. 浪江町の地質・地盤構造

浪江町市街地は北側を流れる請戸川と南側を流れる高瀬川に挟まれた、完新世の沖積層上に広がっている（図-6）．防災科学技術研究所強震観測網のサイトで公開されているFKSH20のボーリング柱状図によれば、完新世の砂れき層が深さ60mにまで達し、その下部に第三紀のシルト層、砂岩が続いている．ただし、公開されている速度構造を用いて、地表と地中のスペクトル比を計算すると観測記録のスペクトル比と整合しない（図-7）ことから、深さ110mまでの構造を把握するために、観測に適合するS波速度構造を改めて推定した．

余震記録のスペクトル比（図-5）の平均を観測量とし、遺伝的アルゴリズム¹⁴⁾によって適切なS波速度構造を推定した．評価関数は既往の研究¹⁵⁾と同じものを採用し、8ビット量子化、個体数200、世代数500、突然変異確率0.5%、交叉確率75%とした．地盤は3層構造を仮定し、1層目、2層目の厚さ、S波速度、減衰定数、および3層目のS波速度、減衰定数を推定変数として、それぞれ推定した．探索範囲は、S波速度は50-1000m/sの範囲、減衰定数は0-10%の範囲とした．層境界は公開されている速度構造と土質柱状図とで異なるため、柱状図の土質境界を速度境界として採用し、その各層厚さの90-110%の範囲を探索範囲とした．なお、解の安定性を確認するため、第1世代を生成する乱数を変えた10通りの結果を重ねて示すことにする．

図-7は、公開されているS波速度構造と推定したS波速度構造を比較したもの、および推定したS波速度構造から計算されるスペクトル比を観測と比較したものである．推定されたS波速度構造は観測スペクトル比をよく表現しており、2層目のS波速度にややばらつきが残るものの、

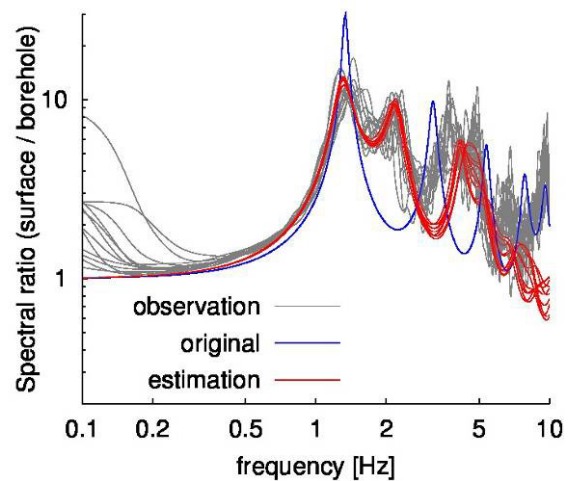
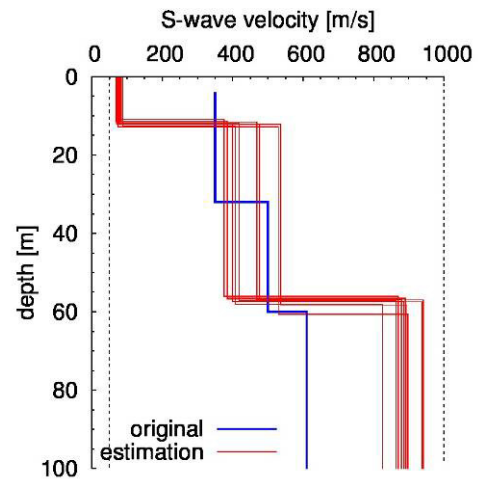


図-7 FKSH20の地表／地中スペクトル比から推定したS波速度構造（上図），および推定した構造から計算したスペクトル比の比較（下図）．

最表層の速度や3層目の速度は初期値によらず安定して求められている．最表層のS波速度は、公開されているS波速度よりも低い値（70-90m/s）を示しており、相当軟弱な表層を持つことを示唆している．また、砂れき層に相当する2層目のS波速度は350-550m/sで、第三紀に相当する3層目のS波速度は850-950m/sである．公開されているS波速度構造においても、今回の推定結果においても、ボーリング最下部の深さ112mまでに地震基盤に相当する速さの基盤（およそ3000m/s）が表れないと考えられるため、地震基盤はより深部に位置することが予想される．

浪江町周辺の大域的な構造に目を向けると、浪江町の西方に双葉断層（双葉起震断層）が存在する．双葉断層は宮城県南部から福島県東部にかけて阿武隈山地の東縁に沿ってほぼ南北方向に延びる断層で、断層傾斜角が概ね垂直であるとされている¹⁶⁾．断層から東側の地域は概ね沖積層が覆っていることから、断層より東側は全体的に深い地震基盤面が予想される．しかし、双葉断層の東



図-8 建物被害悉皆調査の対象とした地域と建物。同心円はFKSH20からの距離を表す。



図-9 FKSH20の外観（2013年4月2日撮影）。

側が全体的に深い地震基盤を持つのであれば、浪江町だけでなく、浜通り地方の全域で系統的に大きな地震動が観測されと考えられるが、実際には浪江町の記録のみが特徴的であった（図-2、図-3）。このことは、全体的に深い地震基盤構造を持つだけでなく、浪江町近辺の3次元的な構造の影響が予想されることを指摘しておく。

4. 浪江町市街地における現地調査

(1) 現地調査の概要

浪江町で観測された地震動は東日本大震災で観測された地震動の中でも顕著な大きさである。また、軟弱な表層地盤や局所的な深い地盤構造が示唆されることから、地震動によって構造物被害が発生している可能性が予想される。しかし、福島第一原子力発電所の事故に伴う立ち入り制限によって、浪江町の市街地における構造物被害の実態はほとんど把握されてこなかった。2013年4月1日より区域見直しが実施されたことにより、浪江町の市街地を含む一部地域で住民の立ち入りが可能となったことから、区域見直し実施直後の2013年4月2～3日の2日間現地に入り、建築構造物の被害状況を調査した。

調査はFKSH20周辺の現地踏査、市街地内の被害状況の概観のみならず、市街地の一部地域における建物被害悉皆調査を実施した。悉皆調査の対象とした地域、及び対象建物を図-8に示す。

FKSH20は駅の西側にある浪江町中央公民館・図書館の敷地内南側に位置する。図-9は観測点の外観を撮影したものである。観測小屋そのものに目視できる損傷、および傾斜は認められなかった。一方、FKSH20の北側に隣接する小屋（図-10、図-9の右奥と同じ）は南側に傾



図-10 FKS20に隣接する傾斜した小屋
(2013年4月2日撮影)。



図-12 浪江町市街地の木造建物被災事例（被災度 D5）
(2013年4月2日撮影)。



図-11 浪江町中央公民館入口に生じた段差と土のう
(2013年4月2日撮影)。



図-13 浪江町市街地の木造建物被災事例（被災度 D4）
(2013年4月3日撮影)。

斜している。また、公民館入口には揺すり込み沈下によるものと思われる段差が生じており、土のうが積まれていた（図-11）。この他にも同敷地内には埋め戻し土、もしくは盛土材の液状化によるものと思われる痕跡がいくつか認められ、地震時に地盤が非線形挙動をした可能性が示唆される。この事実は前述したように地震記録のみからでは判断できないものである。

駅東側の市街地では、崩壊あるいは全壊に至った木造建物が認められた。図-12、13は現地で確認した木造建物の被災事例である。崩壊パターンは2階建ての場合、そのほとんどが1階部分の層崩壊であった（図-12）。また、図-12のように道路に崩壊部がせり出した状態のまま放置されているものも認められ、地震発生後2年が経過した調査時点であっても手つかずの状態であることが伺える。

(2) 建物被害悉皆調査

建物被害の悉皆調査は、既往の研究で多く採用されて

いる岡田・高井の建物破壊パターン分類¹⁷⁾に基づき、現地で目視によって6段階の被災度、D0（無被害）、D1～D2（一部破損）、D3（半壊）、D4～D5（全壊）のいずれに該当するか判定した。また、構造種別の分類（木造、S造、RC造、その他）は、現地で撮影した対象建物の写真を基に、1棟ずつ構造の外観、仕上げ材、開口部の広さなどから総合的に判定した。表-1に対象建物の棟数と構造種別の内訳を示す。木造建物は調査対象のおよそ半数であり、残りの非木造建物ではS造がその大半である。浪江町の市街地には店舗、および店舗兼住居が多くあり、このような建物においてS造建物の割合が高い傾向にあった。

木造およびS造建物の被災度別の棟数を表-2に示す。木造建物の被災度がS造建物より系統的に高いことが被災度別棟数の分布から確認できる。木造建物の全壊率（D4以上）、および全半壊率（D3以上）はそれぞれ12%、29%と算出されることから、浪江町市街地では木造建物の1割以上が全壊、およそ3割が半壊以上であると

表-1 建物被害悉皆調査の対象棟数とその構造種別内訳.

対象建物	844棟
内 木造	398棟
S造	326棟
RC造	33棟
その他・不明	87棟

表-2 木造, S造建物の被災度別棟数.

	木造 (棟)	S造 (棟)
被災度 D0	129	212
D1	57	53
D2	97	42
D3	67	16
D4	29	3
D5	19	0

表-3 観測点距離に応じた木造建物の被災度別棟数

	観測点距離 200m以内	観測点距離 400m以内
被災度 D0	2	36
D1	2	13
D2	3	22
D3	4	17
D4	0	9
D5	0	0

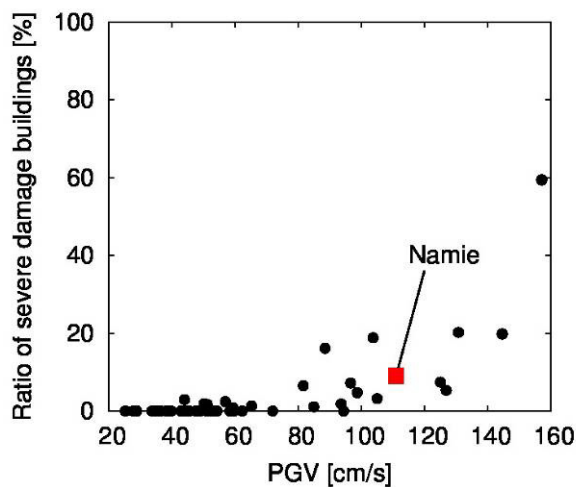


図-14 最大速度値と木造全壊率の関係. 黒点は過去の地震における関係²⁰⁾. 浪江町 (Namie) については観測点距離400m以内の被害率.

いう結果である.

なお, 観測点距離200m以内の木造建物全壊率と地震動指標との関係については, 境らのグループによる多くの研究成果がある¹⁸⁾²⁰⁾. しかし, 本対象地域では, 観測点距離200m以内に位置する対象建物が35棟, うち木造建物は11棟であり, 全壊建物は0棟, 全半壊建物は4棟であった(表-3). 全壊率は0%と算出されるが, 既往研究においても母数が100棟に満たないケースは参考値と



図-15 浪江町市街地の表層地質図¹⁹⁾ (上図) と明治41年測量の1/5万地形図²¹⁾ (下図) の比較.

扱われているため²⁰⁾, 本結果を直接採用することは適切ではない.

そこで, 観測点距離を400mに広げても地震動特性が大きく変化しないと仮定し, 対象地域の観測点距離400m以内の建物を対象として全壊率を算出した. 該当する木造建物は97棟となり, 全壊率は9%, 全半壊率は27%と算出される(表-3). 図-14は水平2成分合成の最大速度値と木造建物の全壊率との関係を示したものである. 図中の黒点は過去の地震において調査された観測点距離200m以内の木造全壊率²⁰⁾, 赤四角は今回調査したFKSH20から400m以内の木造全壊率を表す. 既往の研究において最大速度値と木造全壊率にはよい対応関係が見られるが, 今回の調査結果も概ね過去の調査結果と矛盾しない結果であることが伺える.

(3) 被災度の地域性

上述したように, 悉皆調査の対象とした浪江町市街地の主な表層地質は完新世の砂れきである. より詳細に見ると, 市街地の北部を東西に通る富岡街道(国道114号)に沿って砂層(図-11のal)が分布している. 砂層の成因にもよるが, 富岡街道の北に請戸川が流れておりこ

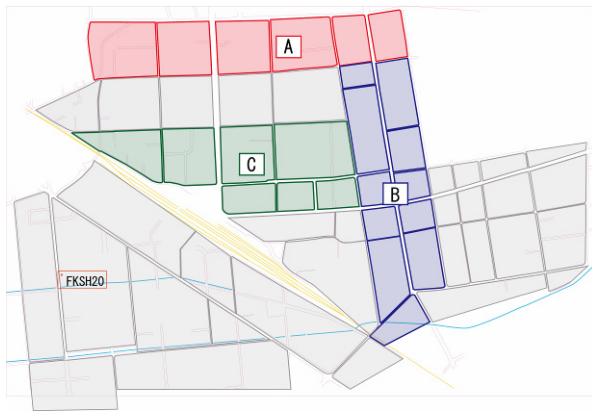


図-16 地形図と表層地質図に基づいて分類した
A, B, C地区の位置.

れに沿って東西に砂層が分布することから、自然堤防であった可能性も考えられる。一方、図-15に示した明治41年測量1/5万地形図²¹⁾によれば、浪江町の旧市街地は富岡街道沿いではなく、南北の通りに沿って広がっている。このことから、旧市街地の立地理由は不明であるものの、表層地質や地形と単純に関連させて説明できるものではないと考えられる。

表層地質の違いや新旧市街地の別による被災度を調べるため、図-16に示すように対象地区を分割し、それぞれの木造建物被災度を整理する。A地区は表層地質図で砂層が表れているとされる富岡街道沿いの地区、B地区は旧地形図でも市街地であるとされる南北の通り沿いの地区である。C地区は、旧地形図では明確に市街地であるとされていないものの、浪江駅から市街地に至る地区で、当時の役場などの施設が位置している。なお、A地区、B地区はFKSH20から半径400m以内には含まれておらず、C地区の一部は半径400m以内に含まれる。

表-4はA地区、B地区、C地区、およびその他の地区毎に整理した木造建物の被災度別棟数である。全壊率はそれぞれ2%、14%、22%、7%と算出される。有意水準を5%として比率の差に関する検定²²⁾をそれぞれの地区間で実施すると表-5の結果を得る。A地区とB地区、およびA地区とC地区では全壊率に有意な差があること、またC地区とその他の地区とで有意な差があることが確認できる。すなわち、A地区が低い全壊率であることは、B地区、C地区と比較して有意であることを意味している。

A地区の低い全壊率は、A地区が自然堤防上で、B地区、C地区と地盤震動特性が異なる可能性があること、およびB地区とC地区が旧市街地であって建築年代の古い建物が多かったために高い全壊率であったことなどに関連している可能性が考えられる。ただし、実際の地盤震動特性や建築年代の相違を把握した上で述べるのが望ましく、ここでは地区によって全壊率に有意な差があることを指摘するに留める。

表-4 浪江町市街地の地区別・木造建物被災度別棟数.

	A地区	B地区	C地区	その他
被災度 D0	11	36	33	49
D1	9	11	11	26
D2	16	26	21	34
D3	19	10	19	19
D4	0	7	17	5
D5	1	6	7	5

表-5 地区別全壊率の差の検定結果（有意水準5%）.

（○：有意な差，—：有意な差とは言えない）

	B地区	C地区	その他
A地区	○	○	—
B地区	—	—	—
C地区	—	—	○

5. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震の本震において福島県浪江町で記録された地震動の特徴と、地震動により被災した浪江町市街地の建築被害悉皆調査の結果について整理した。浪江町に位置する防災科学技術研究所KiK-net FKSH20の観測記録は、周辺の福島県浜通り地方の記録と比較してピーク周期の異なる強い地震動であったことを示している。この成因は、最表層が軟弱地盤であることのみならず、深い基盤構造の影響も考えられる。

公益立ち入りが可能となった直後に実施した市街地の建築被害悉皆調査から木造建物全壊率は11%と算出される。観測点周辺の木造全壊率と観測記録のPGVとの対応は過去の地震におけるデータとよい対応を示している。また、市街地を代表的な3地区とその他とに分割して地区毎の全壊率を算出したところ、自然堤防上と考えられる地区の全壊率が有意に低いことが統計的に示された。

謝辞：現地調査にあたり浪江町より公益目的での一時立ち入り許可を頂きました。また、若見正幸氏より事前に現地の有益な情報を頂きました。若松加寿江教授より旧版地形図を提供頂きました。記録の分析には、防災科学技術研究所のK-NET、およびKiK-net観測点の記録を利用しました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 後藤浩之，高橋良和，鎌田泰子，高橋章浩，盛川仁：東日本大震災速報 地震動による地盤と構造物の被害，自然災害科学，Vol.30, No.1, pp.49-53, 2011.
- 2) Goto, H. and Morikawa, H.: Ground motion characteristics during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Soils and Foundations*, Vol.52, No.5, pp.769-779, 2012.
- 3) Goto, H., Hata, Y., Kuwata, T., Yamamoto, H., Morikawa,

- H., and Kataoka, S.: Earthquake source and ground motion characteristics in eastern Japan during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Structural Eng./Earthquake Eng.*, JSCE, submitted.
- 4) Goto, H., Morikawa, H., Inatani, M., Ogura, Y., Tokue, S., Zhang, X., Iwasaki, M., Araki, M., Sawada, S., and Zerva, A.: Very dense seismic array observations in Furukawa district, Japan, *Seism. Res. Lett.*, Vol.83, No.5, pp.765-774, 2012.
 - 5) 稲谷昌之, 後藤浩之, 盛川仁, 小倉祐美子, 徳江聡, Xinrui Zhang, 岩崎政浩, 荒木正之, 澤田純男, Aspasia Zerva: 大崎市古川高密度地震観測を利用した表層地盤構造の推定, 土木学会論文集A1, Vol.69, No.4 (地震工学論文集第32巻), pp.758-766, 2013.
 - 6) Yasuda, S., Harada, K., Ishikawa, K., and Kanemaru, Y.: Characteristics of liquefaction in Tokyo bay area by the 2011 Great east Japan earthquake, *Soils and Foundations*, Vol. 52, No.5, pp.793-810, 2012.
 - 7) 安田進, 原田健二, 石川敬祐: 東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.103-115, 2012.
 - 8) 経済産業省原子力対策本部: 警戒区域の設定について, <http://www.kantei.go.jp/saigai/pdf/20110421110001shiji.pdf>, 2011 年 4 月 21 日 (最終アクセス 2013 年 8 月 23 日) .
 - 9) 経済産業省原子力安全・保安院: 計画的避難区域, 緊急時避難区域の設定, <http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110422004/20110422004.html>, 2011 年 4 月 23 日 (最終アクセス 2013 年 8 月 23 日) .
 - 10) 経済産業省原子力対策本部: 葛尾村, 富岡町及び浪江町等における避難指示区域及び警戒区域の見直しについて, http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130307/20130307_01.pdf, 2013 年 3 月 7 日 (最終アクセス 2013 年 8 月 23 日) .
 - 11) Asano, K. and Iwata, T.: Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, Vol.64, No.12, pp.1111-1123, 2012.
 - 12) 防災科学技術研究所 Hi-net 高感度地震観測網: 観測点情報検索, http://www.hinet.bosai.go.jp/st_info/detail/, (最終アクセス 2013 年 9 月 6 日) .
 - 13) 久保和也, 柳沢幸夫, 吉岡敏和, 高橋浩: 浪江及び磐城富岡地域の地質, 地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 1994.
 - 14) Holland, J.H.: Adoption in Natural and Artificial Systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence, University of Michigan Press, 1975.
 - 15) Goto, H., Kawamura, Y., Sawada, S., and Akazawa, T.: Direct estimation of near-surface damping based on normalized energy density, *Geophys. J. Int.*, Vol.194, No.1, pp.488-498, 2013.
 - 16) 産業技術総合研究所: 活断層データベース 2012 年 2 月 28 日版. 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB095, 産業技術総合研究所, https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html, 2012 (最終閲覧 2013 年 8 月 26 日) .
 - 17) 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報告集, No.524, pp.65-72, 1999.
 - 18) 境有紀, 中村友紀子, 大月俊典, 小杉慎司: 2004 年新潟県中越地震で発生した地震動と建物被害の対応性, 日本建築学会構造系論文集, No.601, pp.69-73, 2006.
 - 19) 境有紀, 赤松勝之, 神田和紘, 宮本崇史: 2009 年駿河湾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.10, No.4, pp.82-113, 2009.
 - 20) 境有紀: 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報告集, No.683, pp.35-40, 2013.
 - 21) 国土地理院: 5 万分 1 地形図 (浪江), 1911.
 - 22) 芝祐順: 統計的方法 II 推測, 新曜社, 1976.

BUILDING DAMAGE SURVAY AT NAMIE, FUKUSHIMA, DUE TO GROUND MOTION DURING THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Hiroyuki GOTO, Sumio SAWADA, Nozomu YOSHIDA and Koji HADA

KiK-net FKSH20 station observed severe strong ground motion during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. The station is located in a center of Namie town where was the restricted areas due to the Fukushima daiichi nuclear disaster. We performed building damage serveys at the center of town just after temporary entry was accepted. A total ratio of serious damages for wooden frame houses is estimated about 11%. The damage ratio within a 400m from the station is consistent with the observed PGV. We estimated the spatial variation of the dagmange ratio by categorizing into three areas. In one of the areas located on a natural levee, the ratio is statistically less than the other areas.