

2011年4月7日の地震による岩手県奥州市前沢区の家屋被害の地形地質的原因

土 井 宣 夫*

(2013年8月30日受付, 2013年12月17日受理)

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は、モーメントマグニチュード (M_w) 9.0の超巨大地震であった。このため、本震直後からマグニチュード7を越える余震が頻発し、3月11日15:15には茨城県沖を震源とする最大余震(気象庁マグニチュード (M_j) 7.6)が発生し、4月7日23:32には本論の研究対象である M_j 7.2 (M_w 7.1)の余震が発生した。

本震で大災害が発生していた東北地方は、4月7日の余震で再び大きな災害が発生し、岩手県南部の奥州市と一関市で多数の家屋被害が発生した。この家屋被害で疑問とされるのは、第一に3月11日の本震で大きな被害を受けなかった地域が余震でなぜ大きな被害を受けたのか、第二に岩手県南部の家屋被害がなぜ奥州市前沢区などに集中して発生したのか、という点である(図1)。4月7日の余震における地震動の卓越周期は、木造家屋を倒壊させる1~2秒の周期ではなく、1秒以下の周期であった。この周期の地震動は、屋内の家具や置物を倒すような揺れである。それにもかかわらず、前沢区では多数の家屋被害が集中して発生したのである。

本論は、2011-2012年度の奥州市と岩手大学間の共同研究として、上記の第二の問題の解決を目

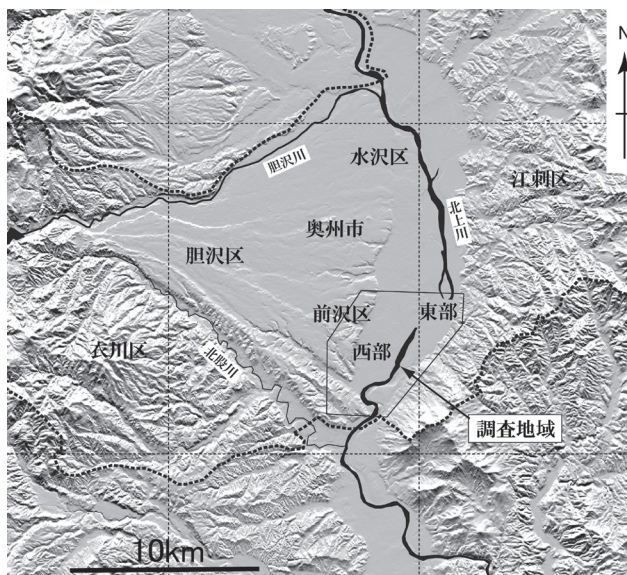


図1 調査地域位置図

調査範囲は、北上川が形成した沖積河谷のなかにある。北側の岩堰川、南側の太郎ヶ沢川に挟まれたこの調査範囲を、国道4号線から北上川寄りの東部地区と、沖積河谷西縁の前沢市街地を中心とする西部地区(胆沢段丘崖下から国道4号線までの地区)とに2分した。

* 岩手大学教育学部

指して行った調査研究の結果をまとめたものである。本研究の成果は、奥州市の今後のまちづくりに反映されることが期待されている。本調査研究は、具体的には、奥州市前沢区の構造物の被災調査から地震動の特性を明らかにすること、家屋被害が集中して発生した原因を立地する地形と地質条件から明らかにすることを目的としている。次章で、まず、奥州市前沢区の家屋被害の実態を述べる。

2. 2011年4月7日の余震と前沢区の家屋被害

2011年4月7日23:32の余震は、宮城県沖（東経141度55分、北緯38度12分；牡鹿半島の東約40km 付近）の深さ 66km を震源とするスラブ内地震である。気象庁マグニチュードは 7.2 (Mw7.1)，地震の発震機構は西北西－東南東方向の圧縮軸をもつ逆断層型である（気象庁，2012）。

この余震は深いところを震源として発生したため、周期1秒以下の地震動が卓越していることが特徴である。また、日本列島の陸域に近いところを震源としたため、強い揺れを陸域にもたらした。さらに、この余震はスラブの最下段を震源として浅部に向かって最大約2.5m の断層運動を生じた（気象庁，2012）ことも、強い揺れが上方（地表）に放出されて地震動を大きくした。

この余震の震度は、宮城県栗原市と仙台市で 6強、奥州市、一関市、釜石市、大船渡市、矢巾町などで 6弱である。奥州市内の水沢区と前沢区（図1）の震度は、ともに 6弱である。前沢区は、この地震の震源からみて、N30° W の方向にあり、仰角が約30度である。なお、余震の地震波形は水沢区と一関市の地震計で記録されているけれど、前沢区では地震観測がなされていないため記録はない。

次に、奥州市の地震被害をみる。2011年3月11日の本震では半壊以上の家屋被害は発生していない。しかし、4月7日の余震では多数の家屋被害が発生した。図2は奥州市内5区の被害

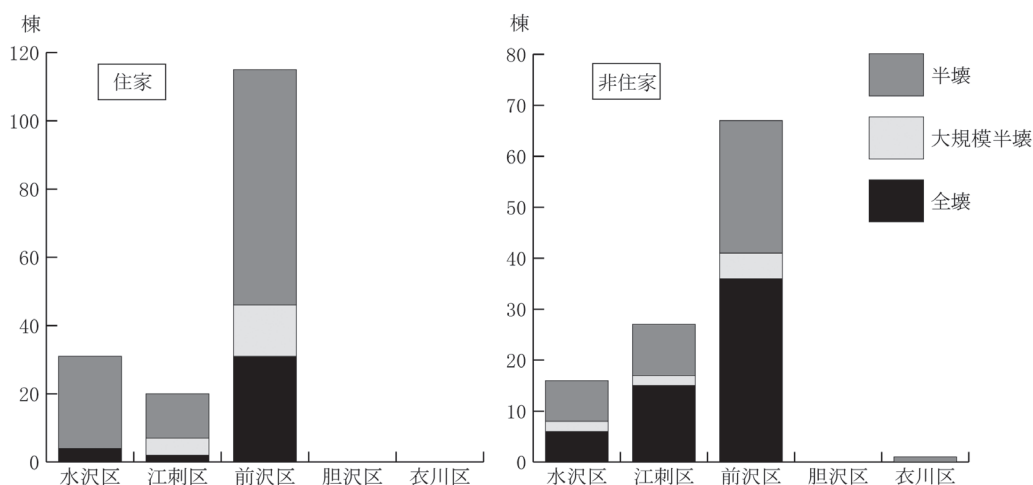


図2 2011年4月7日の余震による奥州市5区の被害家屋数

家屋被害は、前沢区で多く発生し、次いで江刺区、水沢区で発生している。各区の家屋の被害率は本文参照。奥州市（2011）より作成。

家屋数である。被害家屋は住家、非住家とも前沢区で突出して多く発生している。前沢区の家屋被害率（被害家屋数／総家屋数）は、住家で1.8%、非住家で0.8%である。家屋被害は、水沢区（被害率は住家0.1%、非住家0.1%）と江刺区（同住家0.1%、非住家0.1%）でも生じているが、胆沢区と衣川区ではほとんど発生していない（同住家0.0%、非住家0.0%）。ここで前沢区を北上川寄りの東部地区と、北上川沖積河谷西縁の西部地区の2地区に分けると（図1）、西部地区の家屋被害数は、東部地区の10倍以上多く、住家と非住家をあわせた被害率では、東部地区の0.7%に対して、西部地区で2.8%である（図3）。したがって、前沢区西部地区になぜ家屋被害が集中したのかを解明する必要がある。

3. 前沢区西部地区の立地地形と地震動特性

本章では前沢区西部地区の立地地形と2011年4月7日の余震の地震動特性を明らかにする。今回、立地地形を検討するため、原地形が残る1947年米軍撮影の空中写真を用いて、新たに地形区分図を作成した（図4、5）。この際、詳細な微地形判読をおこなうことができるように、二倍出力印画を作成して使用した。

3-1 前沢区西部地区の立地地形

前沢区の地形は、胆沢川が形成した複数の段丘からなる大型の胆沢扇状地と、これを北上川が侵食して形成した南北方向の北上川沖積河谷とからなる（図4）。北上川沖積河谷を埋積する北上川堆積物は、西寄りが古く、東寄りが新しい。このことは、地形改変が少ない1947年に撮影された空中写真の微地形判読からわかる。例えば、河谷西寄りの北上川の旧河道跡は埋積されて地形が不明瞭になっているのに対して、東寄りの旧河道は地形が新鮮であり、現在の北上川の河道も東寄りにある。このような地形的特徴から、先行研究（例えば田山・土田（1933）、中川ほか（1963）、藤原・中村（1963）、木野（1963）、斉藤（1978）など）でも、西寄りの地域は沖積段丘として現河床がつくる地形面とは区別されてきた（図4）。

前沢区西部地区にある前沢市街地は、北上川沖積河谷の西縁にあたり、胆沢段丘群の段丘崖下にある。段丘崖は比高200mに達し、崖とその脚部に崖錐斜面が形成されているところがある。また、胆沢段丘群を侵食して東流する岩堰川、太郎ケ沢川などの小河川は、北上川沖積河谷への出口で傾斜の小さい小型の扇状地を形成している。これらの小河川は、現在は北上川沖積河谷内の沖積段丘や扇状地を侵食して、浅い低地を形成している。

2011年4月7日の余震による被害家屋が立地する地形は、前沢区東部地区では次の2地形である（図4）。

- i) 北上川の自然堤防（例：本杉の被害家屋）

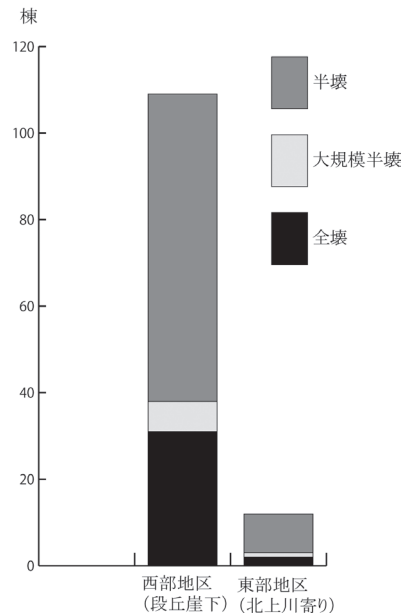


図3 2011年4月7日の余震による奥州市前沢区の地区別被害家屋数

家屋被害は、前沢区西部地区に集中している。本文中の被害率は、胆沢段丘崖下から国道4号線までの西部地区と、国道4号線から北上川までの東部地区で計算した。奥州市（2011）より作成。

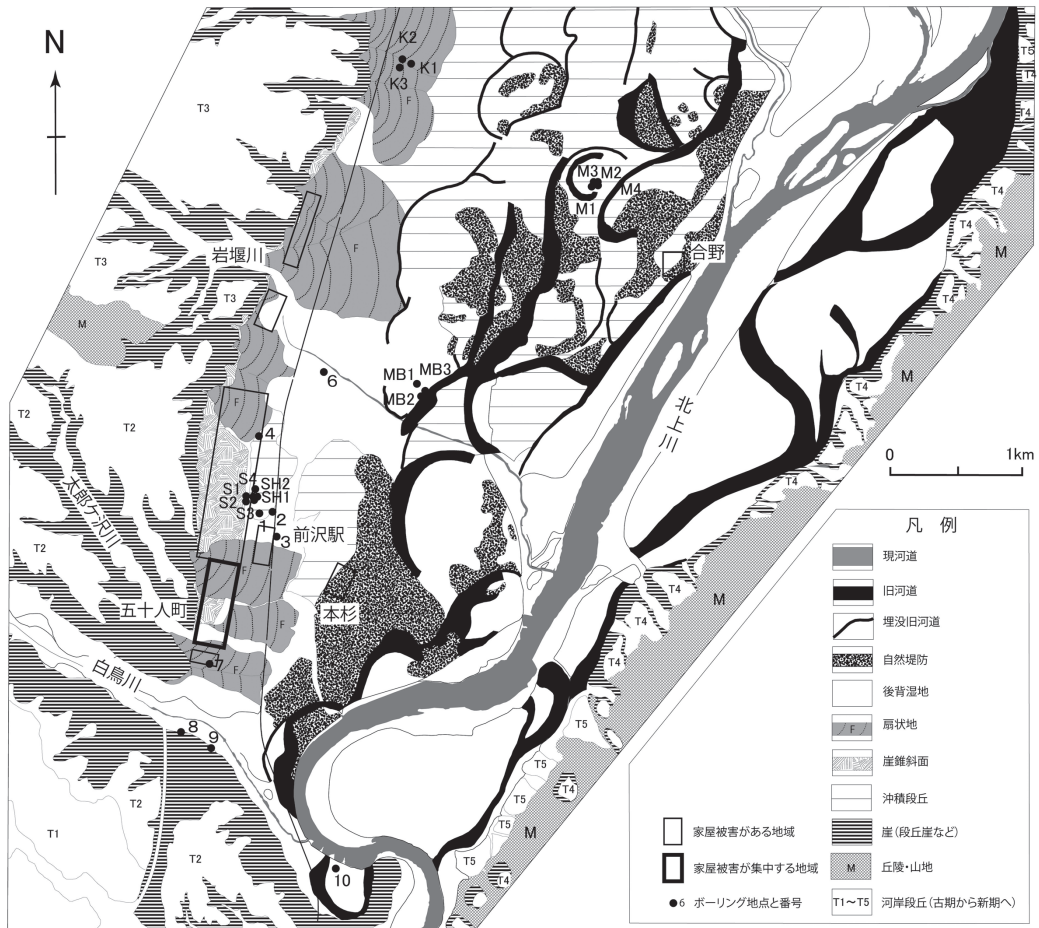


図4 奥州市前沢区の地形区分と家屋被害地域

家屋被害は、西部地区の段丘崖下に集中している。段丘崖下の地形は、扇状地、崖錐斜面、小河川の後背湿地からなる。

ii) 北上川の旧河道（例：合野の被害家屋）

東部地区のほとんどの集落は自然堤防上に立地している。このため、家屋被害が発生すると、それは自然堤防上にあることになる。北上川の旧河道上の被害家屋は1軒のみであった。

一方、前沢区西部地区で被害家屋が立地するのは次の3地形である（図5）。

- iii) 東流する小河川の河道（例：岩堰川沿いの北前沢被害家屋，前沢駅前の被害家屋，平小路の被害家屋，太郎ヶ沢川沿いの「平住宅」）
- iv) 東流する小河川が形成した扇状地（例：岩堰川扇状地上の被害家屋，二十人町・五十人町北部の被害家屋，太郎ヶ沢川扇状地上の被害家屋）
- v) 段丘崖に形成された崖錐斜面（例：新町，七日町，五十人町南部の被害家屋）

このことから、家屋被害が集中して発生した西部地区は、立地する iii) から v) の地形とその地下地質の特性によって、4月7日の余震の短周期地震動が家屋を倒壊させる

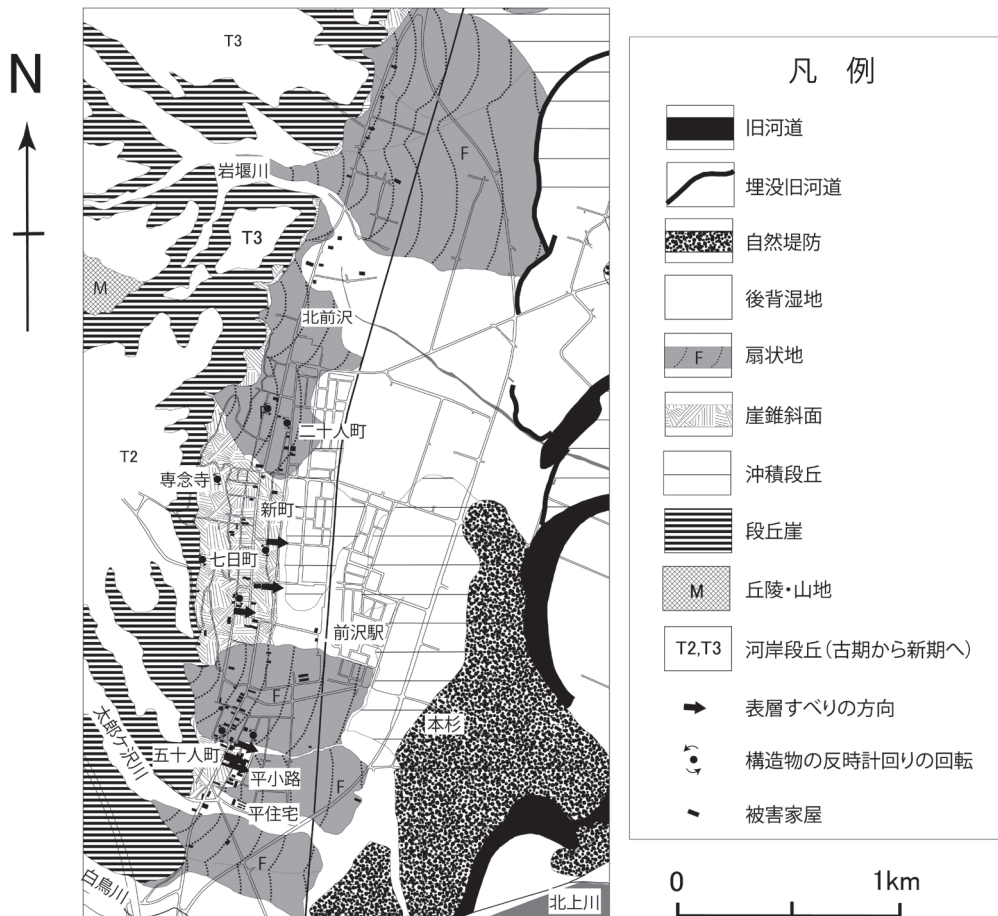


図5 奥州市前沢区西部地区の地形と家屋被害の関係

被害家屋には全壊、大規模半壊、半壊がある（奥州市，2011）。

周期の振幅の大きな地震動に変化したことが予測される。この点は第4章で考察する。

3-2 前沢区西部地区の地震動特性

2011年9月8日，11月17日，12月22日の3日間，前沢区西部地区の前沢市街地で被災した墓石，門柱，蔵，家屋の変形を調査して，4月7日の余震の地震動特性を明らかにした。前沢市街地の家屋は，旧国道4号線など南北方向の道路とこれに直交する東西方向の道路にそって建設されている。このため，各家屋の壁の方向もほぼ南北と東西になっており，家屋被害と方位との関係をつかみやすい。

(1) 墓石と門柱の反時計回りの回転

前沢区西部地区の段丘崖の斜面に，専念寺などいくつかの寺院と墓地がある。これを余震から8ヶ月以上経過した2011年12月22日に調査した。転倒した墓石は，復旧・修復が既にほとんど行われていたけれど，変形したままの墓石も多数残されていた。変形した墓石は，いずれも反時計回りに回転しており，回転にともなって台座からずれて転倒寸前

の墓石もあった（図6a, b）。

一方、市街地内の門柱も、墓石と同様に反時計回りに回転していた（図6c, d）。回転にともなって柱の中心が移動し、台座からずれて傾いた門柱もあった。

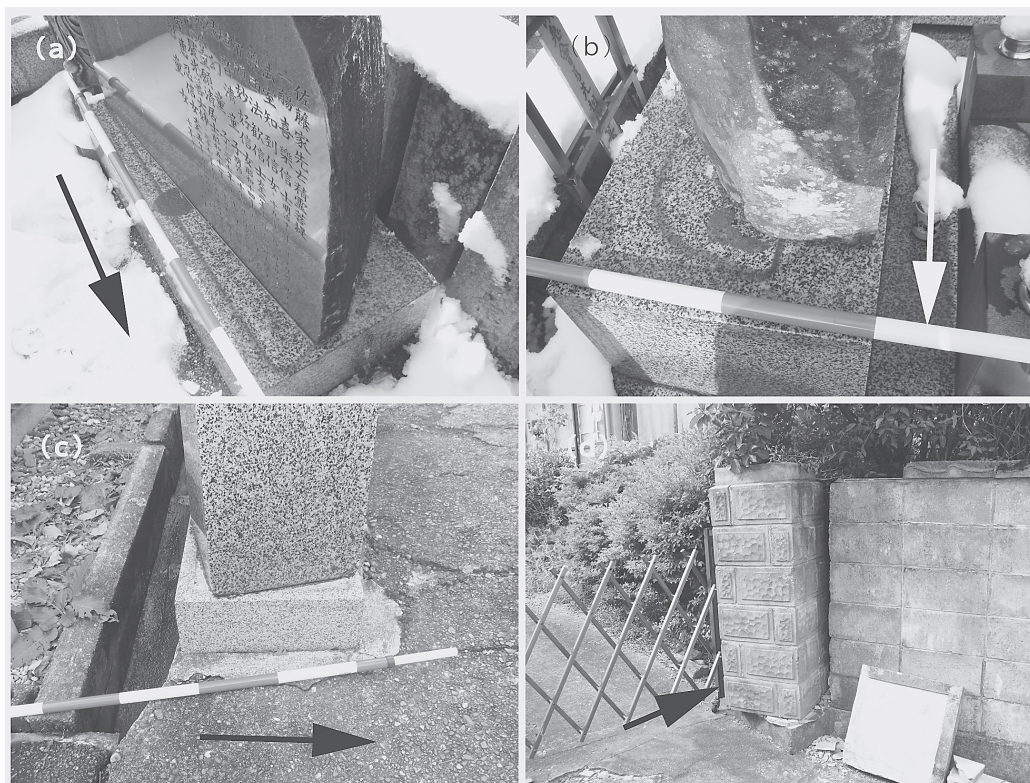


図6 前沢区西部地区の墓石および門柱の反時計回りの回転

(a)・(b) 前沢区専念寺の墓石は、反時計回りに回転しており、(a)の墓石では南東隅を基点として回転している。2011年12月22日撮影。(c) 前沢区五十人町の門柱は、反時計回りに回転している。2011年11月17日撮影。(d) 前沢区七日町の門柱は、ブロック塀から分離して反時計回りに回転し、台座からずれて傾いている。2011年9月8日撮影。写真中の矢印は北の方角を指す。スケールの1目盛は20cm。

(2) 蔵の反時計回りの回転

蔵は比較的均質な構造をもつ方形の剛構造物であり、基礎工との結合が弱いため地震動による変形を残しやすく、地震動の特性を知るうえで重要な調査対象である。今回前沢区西部地区の3棟の蔵を調査した。

蔵はいずれも反時計回りに回転していた。蔵のひとつは、浮いた屋根が北側にずれていた（図7a1）。蔵の北東隅と北西隅は、反時計回りの回転によってそれぞれ北側と西側に押し出し、破壊していた（図7の a2, b2, c2）。蔵の南西隅は押し出すことはなく、反時計回りの回転にともなう小さな破壊があるか（図7b1）、または破壊されることはなかった。蔵の南東隅は、ほとんど変位することはない、引張応力で開口割れ目が生じていた（図7a1）。

2011 年 4 月 7 日の地震による岩手県奥州市前沢区の家屋被害の地形地質的原因



図7 前沢区西部地区の蔵の反時計回りの回転

a1とa2は蔵の全景と枠内の接写をそれぞれ示す。bとcも同様。(a1) 前沢区七日町の蔵は、屋根が浮いて北に飛び、入口の柱も北に傾いている。(a2) その北東隅では、蔵が反時計回りに回転して基礎工（石材）から北に押し出し、割れている。2011年12月22日撮影。(b1) 前沢区二十人町の蔵は、反時計回りに回転し、北東、北西（写真左とb2）、南西（写真右）の各隅が基礎工（石材）から押し出し、壊れている。蔵の南東隅は移動も破壊もしていない。2011年11月17日撮影。(c1) 前沢区二十人町の蔵は、若干反時計回りに回転し、北側に張り出している。(c2) 蔵が北側に2～3cm押し出した状況。2011年11月17日撮影。写真中の矢印は北の方角を指す。スケールは全長3mで1目盛が20cm。

(3) 家屋の反時計回りの回転

家屋は、基礎工との結合が強く、蔵とは異なり建物と基礎工が一体で変形するため、家屋と基礎工がともに破壊していることが確認された。

図8は、家屋被害の状況である。この家屋の東面では、南東隅の基礎工（コンクリート）は引張応力が働いて東西方向の開口割れ目が生じている（図8b）。一方、北東隅は圧縮応力が働いて基礎工（コンクリート）に逆断層が生じている（図8c）。また、敷地境の側溝のコンクリート壁は南から押されて割れ、北に傾いている。

他の家屋においても、北東隅では、圧縮応力によって短縮して基礎工が上下方向に膨らみ、水平方向の割れ目が生じたり（図9a）、北側に押し出すと同時に圧縮応力によって基礎工が破壊されている（図9b）。

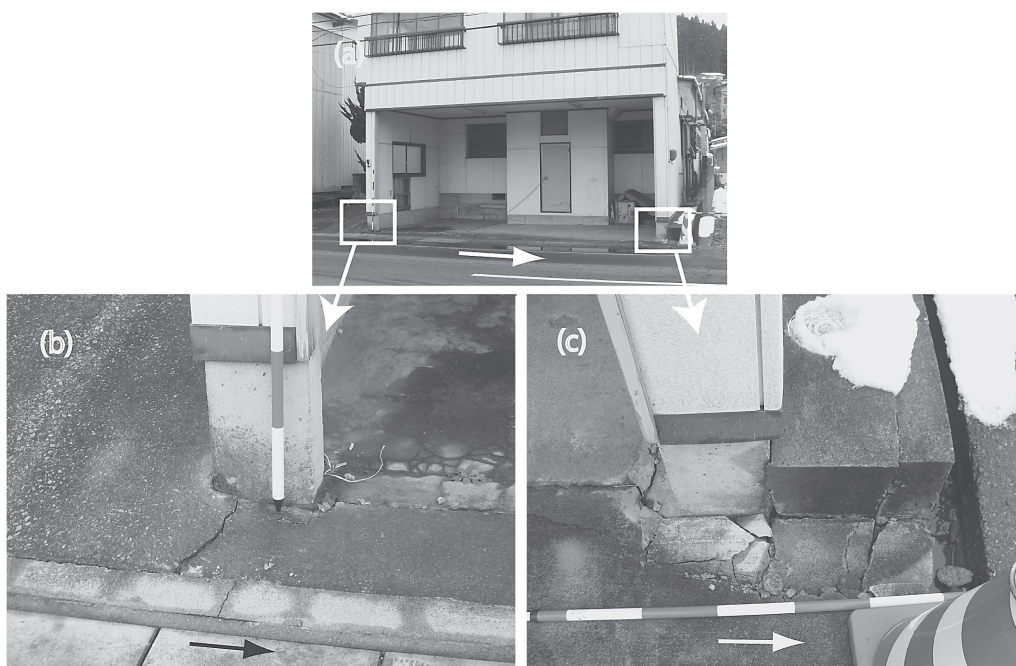


図8 前沢区西部地区の被害家屋の南東隅と北東隅の状況

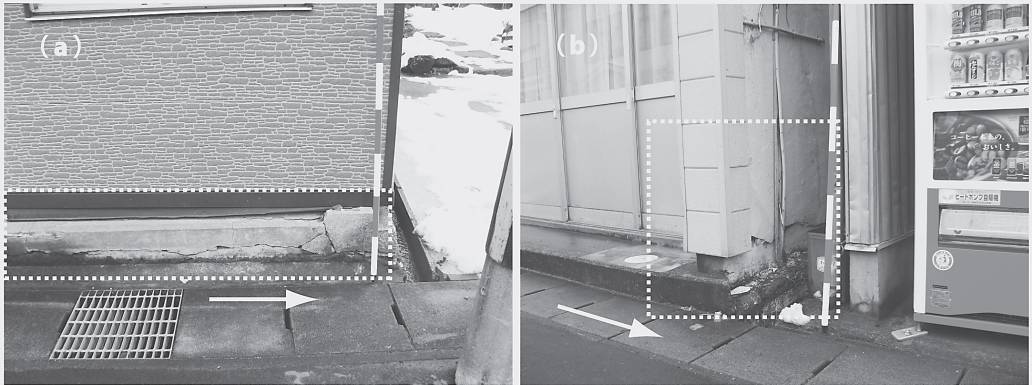
(a) 地震動で被災した家屋の全景。家屋の南東隅（左枠）と北東隅（右枠）の拡大写真がそれぞれ (b) と (c)。 (b) 南東隅の基礎コンクリートは、引張応力によって開口割れ目が生じている。 (c) 北東隅の基礎工（コンクリート）は、圧縮応力によって逆断層が生じ、コンクリート壁は圧縮されて割れ、側溝側に傾いている。2011年12月22日撮影。写真中の矢印は北の方角を指す。スケールは1目盛りが20cm。

一方、北西隅では、基礎工（コンクリート）が圧縮応力により短縮して割れ、はじけ飛んだり、押し出されたりしている（図9c, d）。

(4) 前沢区西部地区の地震動特性

前沢区西部地区で観察された墓石、門柱、蔵、家屋の変形は、前沢市街地の北部（北前沢）から南部（五十人町）まで共通していた。図10は、正方形の家屋を例にして、地震後の変形の模式図である。図6～9のように、4月7日の余震の地震動は、墓石、門柱、蔵、

住宅の北東隅の破壊状況



住宅の北西隅の破壊状況

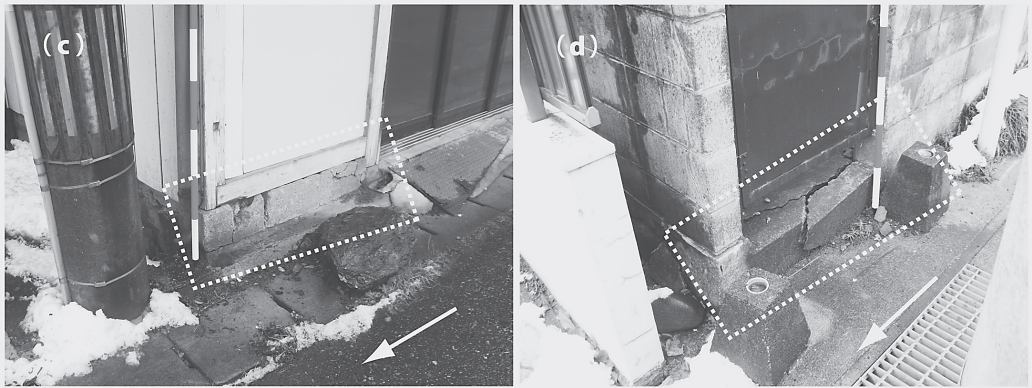


図9 前沢区西部地区の被害家屋の北東隅と北西隅の状況

(a) 家屋の基礎工は、南北方向に短縮して鉛直方向に膨らみ、水平割れ目が生じている（枠内）。(b) 家屋の壁は、北側に押し出してたわみ、基礎工も北側に押し出して割れている。(c) 家屋の基礎工は短縮して割れ、コンクリートがはじけ飛んでいる。(d) ブロック塀の基礎工は短縮して割れ、道路側に押し出している。いずれも 2011 年 12 月 22 日撮影。写真中の矢印は北の方角を指す。スケールの 1 目盛りは 20cm。

家屋を反時計回りに回転させ、これによって家屋では基礎工を破壊している。

余震の地震動被害は蔵、家屋の北側で大きい。北東隅では、蔵や家屋の角が北側に押し出されて破壊され、基礎工も圧縮応力で逆断層の形成や押し出しが生じている。北西隅では、角が西側に押し出されて破壊され、基礎工も圧縮応力で割れている。蔵の屋根の一部は北側に飛んでいる場合がある。

逆に、余震の地震動被害は蔵、家屋の南側で小さい。南西隅では、蔵や家屋の角は変位することなく、反時計回りの回転にともなって小さく破壊されているか、または破壊を生じなかった。基礎工も破壊されることはなかった。南東隅では、引張応力が働き、蔵と家屋の上物および基礎工に引張割れ目が生じたが、破壊の程度は小さかった。

このように、2011 年 4 月 7 日の余震の地震動は、南西隅をほとんど変位させることなく、南東隅に引張り、北東隅と北西隅に強い圧縮を引き起こすものであった。つまり余震の主要地震動は、およそ北西方向に向かう反時計回りの大きな加速度をもっていた。また、住

民証言によると、家屋の中では、南北方向に置いたテレビや家具は倒れたが、東西方向に置いた物は倒れなかった。このことは、地震動の東西成分が大きかったことを示唆しており、4月7日の余震の主要地震動は、北西ないし西北西方向に向かう反時計回りの大きな加速度をもっていたと考えられる。

4月7日の余震の震源断層は、東北東走向の純粋な逆断層である（気象庁，2012）。したがって、断層運動によって西北西方向に振動する強い地震動を発生させたと考えられる。前沢区は、余震の震源からみて $N30^{\circ}W$ 方向の仰角約 30° の位置にある。このため、発生した地震動は、特性が大きく変化することなく前沢区の地下に到達した可能性がある。今回の被害構造物の変形から推定された主要地震動は、この予測とほぼ整合している。

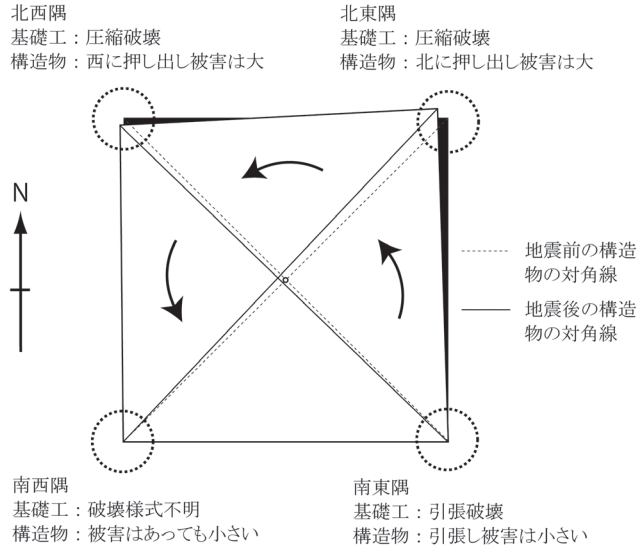


図10 前沢区西部地区の構造物の変形模式図

地震前の正方形の構造物（黒塗り）と地震後の変形した構造物（白塗り、上書き）の関係を模式的に示す。墓石、門柱のように基礎工と構造物が分離している場合、上物は反時計回りに回転し、中心も移動した場合は基礎からずれて傾いたり、転倒している。蔵のように構造物と基礎工の結合が弱い場合、構造物は反時計回りに回転し、北東隅と北西隅はそれぞれ北側と西側に押し出されている。このため、構造物の被害は北側で大きい。構造物の南側は、南東隅で引張りによる開口割れ目などが生じ、南西隅では回転による破壊が生じた場合でも、その被害は小さい。家屋のように基礎工と結合が強い場合、基礎工においても北東隅と北西隅で圧縮破壊、南東隅で引張破壊している。これらの変形状況から、2011年4月7日の主要地震動は、北西ないし西北西方向に向かう反時計回りの大きな加速度をもっていたと考えられる。

4. 前沢区西部地区の市街地に被害が集中した原因と対策

前沢市街地の震度は、山本ほか（2012）による超高密度アンケート調査による震度分布によると6弱であった。特に、もっとも家屋被害が集中した五十人町は、震度6弱から6強で、6強の場所が大半であることが分かっている。本章ではこのように家屋被害が集中した原因を立地地形と地下地質から考察する。なお、前沢市街地は段丘崖下に位置することから湧水や浅層地下水が豊富である。例えば五十人町南部では、地下25cmと1.5m付近に地下水脈が存在する。五十人町南部で家屋被害が集中した原因を明らかにするうえで、この浅層地下水を検討する必要があるが、本研究では資料を得ることができなかった。

（1）河道湿地を埋め立てた軟弱地の被害

胆沢扇状地を東流する小河川である岩堰川、前沢駅前の沢、平小路の沢、太郎ヶ沢川は、北上川沖積河谷に出ると後述する小扇状地を形成する。さらに、最新期のこれらの河道は、扇状地を侵食して浅い低地を形成している。この河道低地に立地して家屋被害が集中した地

2011 年 4 月 7 日の地震による岩手県奥州市前沢区の家屋被害の地形地質的原因

区は、北前沢地区、前沢駅前低地、平小路地区、「平住宅」を含む太郎ヶ沢川地区である。ボーリング資料がある前沢駅前低地をみると、小河川がつくる低地は厚さ 2.0 ～ 2.9m の腐植質シルト層からなる湿地である（図11の地点2、3）。この層の下位には泥炭層と北上川堆積物上部の粘土層も分布することから、これらを合わせた厚さ 3.8 ～ 5.0m の軟弱層がこの

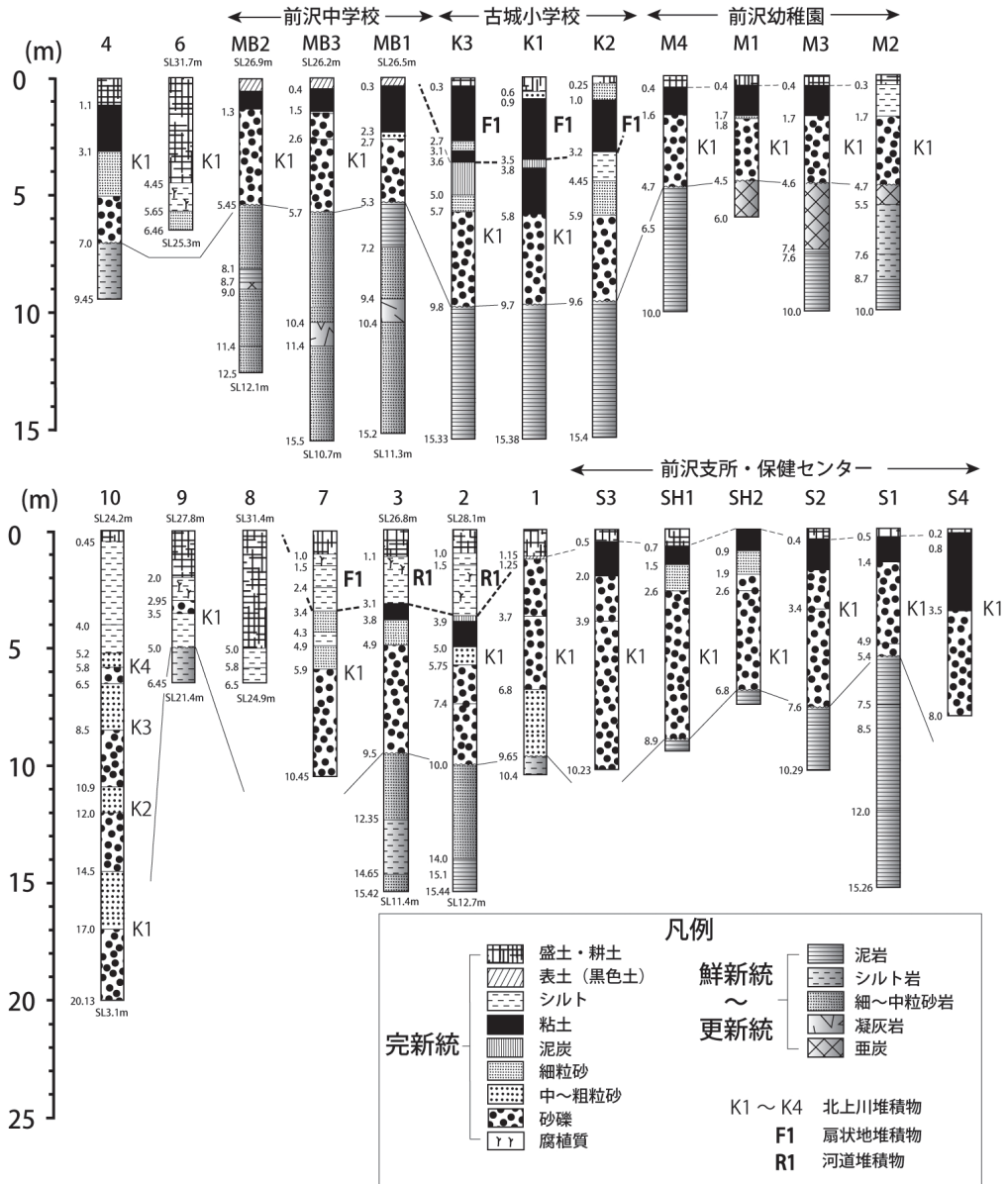


図11 前沢区のボーリング地質柱状図

北上川沖積河谷は、北上川堆積物 (K1 ～ K4に区分) に埋積されている。この上位には、西部地区の小河川が運搬、堆積した扇状地堆積物 (F1) と河道堆積物 (R1) が重なる。F1とR1はともに層厚3m 前後の腐植質シルト・粘土層からなり、K1上部のシルト・粘土層と合わせて厚さ 2.4m ～ 5.8m の軟弱層を形成している。

低地に分布することになる。

図12は1947年と2000年に撮影された空中写真を用いて前沢市街地南部の発展の様子を示したものである。この地区は2000年までに南方と東方に発展したが、平小路の沢と太郎ヶ沢川がつくる低地を埋め立てた地点の家屋に被害が集中していることがわかる。特に「平住宅」は全戸が被災し、10cm程度沈下した家屋もある。

このように、河道湿地を埋め立てた軟弱地に、家屋被害が集中した。4月7日の余震の地震動は、湿地埋立地の軟弱層によって家屋を倒壊させる周期の大振幅の地震動に変化し、家屋沈下をも発生させたと考えられる。

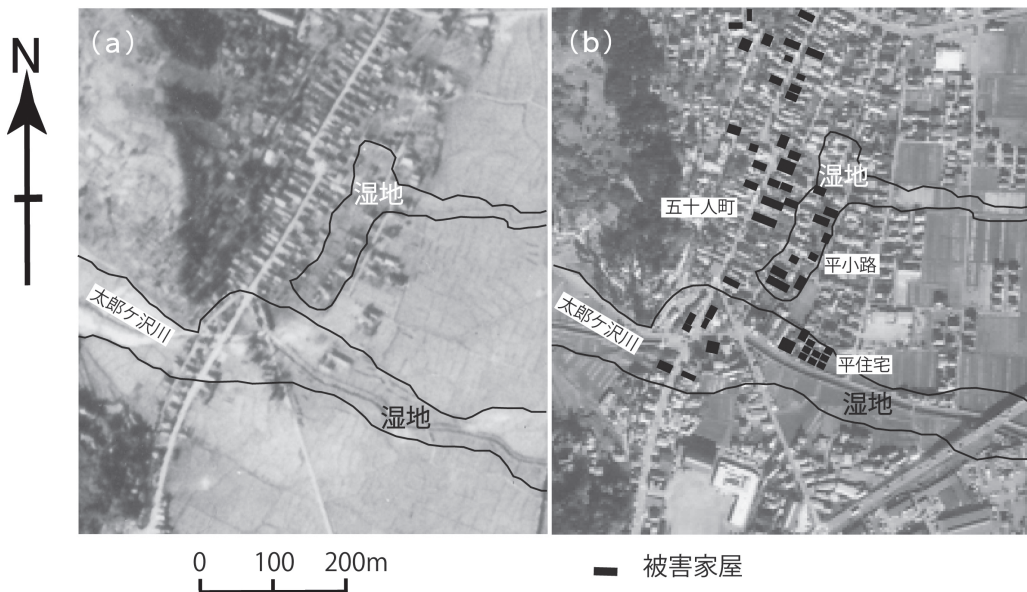


図12 前沢区西部地区の河道湿地の埋立地に集中した家屋被害

(a) 1947年米軍撮影の空中写真。(b) 2000年撮影の空中写真。前沢市街地は、太郎ヶ沢川と平小路の沢の河道湿地を埋め立てて拡大した。2011年4月7日の余震では、河道の低湿地を埋めて建設が進んだ平小路、「平住宅」などの家屋に多くの被害が出た。被害家屋には全壊、大規模半壊、半壊がある（奥州市、2011）。

(2) 扇状地堆積物による軟弱地の被害

胆沢扇状地を東流する岩堰川、太郎ヶ沢川などの小河川は、北上川沖積河谷に出ると小扇状地を形成する。この扇状地に立地して家屋被害が集中した地区は、二十人町地区と五十人町北部地区である。

ボーリング資料がある西部地区北方の明後沢川扇状地と太郎ヶ沢川扇状地をみると、前者の扇状地を構成する堆積物は、厚さ3.2～3.6mの粘土層である（図11の地点K1～K3）。この下位に北上川堆積物上部の厚さ1.2～2.0mの泥炭、シルト、粘土の各層がある。このため扇状地地下には、これらを合わせた厚さ4.4～5.8mの軟弱層が存在することになる。また、太郎ヶ沢川扇状地には、厚さ2.4mのシルト層、腐植質シルト層からなる軟弱層がある（図11の地点7）。また、五十人町北部の扇状地には、微動観測の結果、地下約4m程度まで軟弱層が分布すると推定されている（高倉ほか、2012）。

このように、水量が小さい小河川が運搬した堆積物からなる扇状地は、シルト層や粘土層で構成され、さらにこの下位に北上川堆積物上部の粘土層などがあることから、軟弱層は 2.4m から 5.8m の厚さに達している。このため扇状地上でも、河道湿地を埋め立てた地点と同様、地震動の周期の変化と増幅が生じて家屋被害が集中して発生したと考えられる。

(3) 盛土の締固め不足による被害

前沢市街地では、盛土に立地した被害家屋が少数確認された。新町では、盛土した造成地に建つ築後10年程の家屋は北に移動し、家屋の周囲幅約40cmの地盤とともに、基礎工で3cm程度沈下している(図13)。この造成地に隣接した家屋の被害は軽微であることから、厚さ1m程の盛土の締固め不足が原因で大きな地震動と家屋の沈下が生じたと考えられる。



図13 前沢区西部地区新町の盛土住宅の被害

築後10年ほどの住宅は北に移動し、基礎工が3cmほど沈下して、水道用のコンクリート柵も破断している。住宅内の損壊は激しく、二階屋根の瓦の落下、ブロック塀の倒壊も見られる。しかし、隣接する住宅の被害は小さい。この住宅は、ゆるい傾斜の斜面に厚さ1mほど盛土して建設されており、盛土の締固め不足により、大きな揺れと基礎工の沈下を生じたと考えられる。2011年11月17日撮影。スケールは1.6m。

(4) 崖錐斜面の表層すべりによる被害

胆沢扇状地の段丘崖の斜面から脚部に、崖錐斜面が形成されている。崖錐斜面は、東流する小河川が形成する扇状地にはさまれて分布する。崖錐斜面上に立地し、家屋被害が集中した地区は、新町・七日町地区と五十人町南部地区である。

崖錐斜面の地下構造は、ボーリング資料がなく不明であるが、前記2地区とも表層すべりが発生しており、これにより家屋被害が集中して発生したと考えられる(図5)。五十人町南部地区の表層すべりは、旧国道4号線沿いが顕著で、すべりの幅も広く、道路の東端からはじまる斜面が東にすべっている(図14a)。このすべりによって、開口割れ目の形成、すべり方向に直交する軸にそった側溝の回転、擁壁の東方への傾き(図14b)と倒壊が生じ、家屋被害も集中して発生している。

新町・七日町地区の表層すべりは、3ヶ所で確認され、いずれも斜面方向の東に向かってすべり、石塀の開口(図14c)、アスファルト道路の開口割れ目の形成(図14c)、擁壁の東方への傾き(図14e)、側溝のコンクリート蓋の突き上げ(図14e)などが生じている。

この表層すべりは、2008年に奥州市衣川区を震源として発生した岩手・宮城内陸地震(Mj7.2)でも同様に発生している。この地震の地震動は、周期1秒未満の波の振幅が大きく、

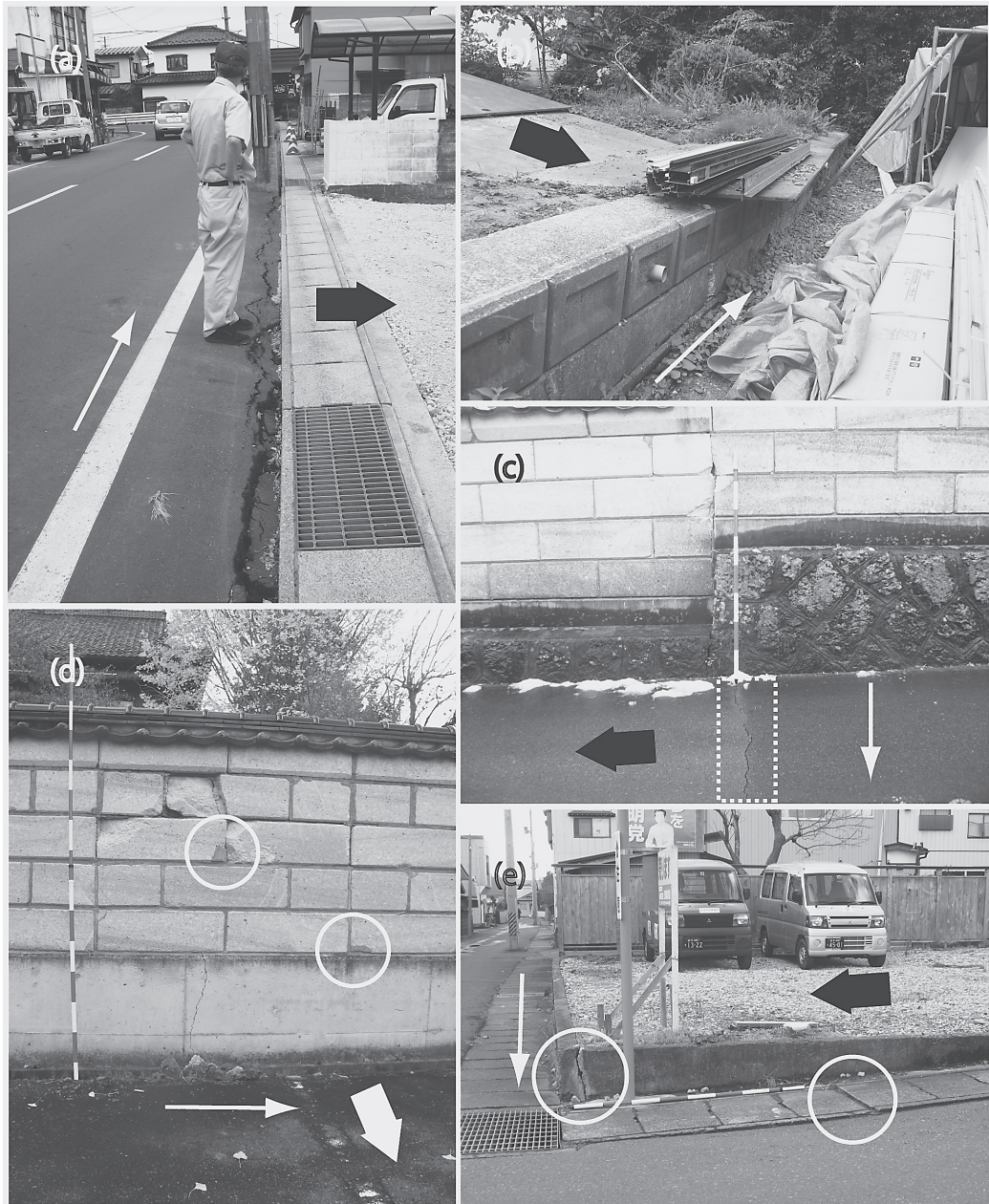


図14 前沢区西部地区の崖錐斜面の表層すべりとすべり変位の累積

(a) 前沢区五十人町南部の旧国道4号線の東側は、東方向の表層すべりで道路と側溝間が開き、側溝は回転して道路側に傾いている。2011年9月8日撮影。(b) 前沢区五十人町南部の (a) の地点の東側斜面では、表層すべりによってコンクリート壁が東に傾いている。2011年9月8日撮影。(c) 前沢区七日町太田家住宅（岩手県指定有形文化財）の塀と道路（枠内）に南北性の開口割れ目が生じている。2011年12月22日撮影。(d) 前沢区七日町太田家住宅の塀は、2008年岩手・宮城内陸地震で壊れて補修した箇所（丸印）が4月7日の地震で再び壊れた。2011年11月17日撮影。(e) 前沢区七日町の埋土の敷地は、表層が東に移動し、コンクリート壁が東に傾いている。この壁は、2008年岩手・宮城内陸地震でも東に傾き、補修（丸印）していた。また、道路側溝のコンクリート蓋は、西から東にずれて突きあがっている（丸印）。2011年11月17日撮影。写真中の太い矢印は表層すべりの方向、細い矢印は北の方角をそれぞれ指す。スケールの1目盛は20cm。

周期1～2秒の波の振幅は必ずしも大きくなかった（平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会，2009；気象庁，2010）点で，2011年4月7日の地震の地震動と類似している。岩手・宮城内陸地震の地震動によって，新町・七日町地区では，石堀の開口割れ目の形成と堀の破損（図14cとd），擁壁の東方への傾き（図14e）が生じている。地震後これらは修復されたが，2011年4月7日の余震で再び表層すべりが発生して同じ地点が被災した。すなわち，崖錐斜面では，短周期の地震動によって斜面方向に表層すべりが発生し，すべりが累積していると考えられる。

崖錐斜面で発生する表層すべりは，地下に円弧状のすべり面をもつ回転すべりで生じる表面地形が認められないことから，すべり面の深さが浅い並進性のすべりであることが予想される。しかし，崖錐斜面の地下地質が不明で，すべり面を確認できていない。

（5）前沢区西部地区の地盤特性と今後のまちづくり

前沢区西部地区は，胆沢扇状地の段丘崖の下方に形成された地形と地質で地盤特性が決定されている。東流する小河川が形成した低湿地と扇状地は，厚さ2.4m～5.8mの軟弱層によって地震動の周期の変化と増幅が生じやすい地盤と考えられる。また，崖錐斜面は，表層すべりが繰返し発生する不安定な地盤である。

したがって，前沢区西部地区の今後のまちづくりを考える上で，この地盤特性がさらに解明され，住民に理解されることが重要である。具体的には，i）ボーリング資料や大規模掘削時の地下地質資料の収集と公開，ii）原地形にもとづく前沢市街地の地形区分図の作成と利用，iii）表層すべりを繰り返す地区の地図化，iv）家屋建設時の基礎工事の充実（行政の補助金支援を含む）などがあげられる。住民と行政がともに西部地区の地盤特性を理解して，家屋建設時の基礎工事の充実を一戸毎に実現する対策を推進することによって，安全なまちづくりが達成されることを期待したい。

5. まとめ

2011年4月7日の余震（Mj7.2）によって，奥州市前沢区西部地区に家屋被害が集中して発生した原因を，地形地質的視点から解明した。被災した墓石，門柱，蔵，家屋の移動・変形から，余震の主要地震動は，北西ないし西北西方向の反時計回りに回転する大きな加速度をもっていたことが判明した。これは震源断層の位置と性質から予測される地震動とほぼ整合した。前沢区西部地区の地形は，北上川沖積河谷の西縁に形成された胆沢扇状地の段丘崖の下方に形成された扇状地と崖錐斜面，ならびに，これらを侵食した小河川の低湿地からなる。家屋被害が集中したのは，i）小河川の低湿地に堆積したシルト・粘土層を埋めた地区，ii）粘土・シルト層を構成層とする扇状地上の地区，iii）崖錐斜面で表層すべりが発生した地区，iv）締固めが不足した盛土地である。崖錐斜面で発生した表層すべりは，短周期地震動が強い2008年岩手・宮城内陸地震でも同じ地点で発生しており，変位が累積していた。

前沢区西部地区の今後のまちづくりのためには，同地区が大きな段丘崖の下方に形成された地形地質に起因する軟弱地盤地または不安定地盤地であることを理解し，周知して，地下地質資料の収集と公開，家屋建設時の基礎工事の充実などの対策の推進が望まれる。

土 井 宣 夫

謝 辞

本研究を遂行する上で、奥州市には東日本大震災資料および前沢区のボーリング資料を提供頂くとともに、同市前沢総合支所長阿部正勝氏（当時）には被災地を案内して頂いた。北杜地質株式会社には前沢区のボーリング資料を提供頂いた。また、岩手大学工学部社会環境工学科山本英和准教授には、奥州市の地震動と地盤特性についてご教授、討論頂いた。匿名の査読者2名の指摘と助言は、原稿の改善に大変役立った。これらの方々に感謝申し上げる。

引用文献

- 藤原健蔵・中村嘉男（1963）5万分の1地形説明書 水沢．経済企画庁，土地分類基本調査（国土調査），1-42.
- 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会（2009）平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震災害調査報告書．土木学会東北支部・地盤工学会東北支部・日本地すべり学会東北支部・東北建設協会，404p.
- 木野義人（1963）5万分の1表層地質説明書 水沢．経済企画庁，土地分類基本調査（国土調査），1-42.
- 気象庁（2010）平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震調査報告．気象庁技術報告，no.132，187p.
- 気象庁（2012）平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査報告 第I編．気象庁技術報告，no.133，354p.
- 中川久夫・石田琢二・佐藤二郎・松山 力・七崎 修（1963）北上川上流沿岸の第四系および地形－北上川流域の第四紀地史（1）－．地質学雑誌，vol.69，nos.811，163-171.
- 奥州市（2011）東北地方太平洋沖地震に係る奥州市の被害状況等．8p.（付表1，付図14）.
- 斉藤淳治（1978）岩手県胆沢川流域における段丘形成．地理学評論，vol.51，no.12，832-863.
- 高倉 恵・山本英和・齋藤 剛・石沢隆輝・齋藤良平・宇部陽子（2012）岩手県奥州市前沢区中心部における1点3成分微動観測による地盤震動特性．東北地域災害科学研究，vol.48，41-46.
- 田山利三郎・土田定次郎（1933）北上川の地形学的研究 其一，河岸段丘 B，北上川及び馬淵川の河岸段丘．齋藤報恩会学術研究報告，no.22，1-84.
- 山本英和・齋藤 剛・石沢隆輝・齋藤良平・宇部陽子（2012）東北地方太平洋地震とその最大余震を対象とした岩手県奥州市前沢区中心部における超高密度アンケート震度調査．東北地域災害科学研究，vol.48，5-10.