

## 平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震による地盤変状 Ground Deformation Due to the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007

地理地殻活動研究センター

小荒井 衛・佐藤 浩・長谷川裕之・宇根 寛

Geography and Crustal Dynamic Research Center

Mamoru KOARAI, Hiroshi P. SATO, Hiroyuki HASEGAWA and Hiroshi UNE

### 要 旨

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震による被害について、災害直後に撮影された空中写真の判読により、地震後の地形変化と被害の分布特性を把握した。その結果、建物の全壊被害は、軟弱な沖積層に砂丘が乗るような特定の地形条件の箇所に密集して発生している事が判った。このような軟弱な沖積層に乗る砂丘の末端部が、地震動により流動化し大規模に側方流動したことが確認されている。SAR 干渉画像は、そのような地域の抽出に活用できる可能性が判った。また、航空レーザの高さデータと反射強度データを活用することにより、高さ 30cm 程度の亀裂や噴砂などを検出することが可能であることもわかった。大規模造成宅地では、盛土の部分で地盤変状が顕著に出ていることも明らかになった。

### 1. はじめに

平成 19 年 7 月 16 日に発生した「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」（以下、「中越沖地震」という。）に関連して、国土地理院では 7 月 19 日に緊急の 1/10,000 カラー空中写真撮影を実施した。そして、地震による斜面崩壊、建物全壊、液状化発生箇所等の位置を判読し、その結果を 7 月 30 日に「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震災害状況図（電子国土）」として公表した（国土地理院, 2007a）。また、電子基準点による地殻変動観測、緊急の水準測量、緊急現地調査、陸域観測技術衛星 ALOS「だいち」（宇宙航空研究開発機構：JAXA）の合成開口レーダ（SAR）の干渉解析、本震の震源位置などから、震源断層モデルを推定して公表した（国土地理院, 2007b, 2008）。

本論文では、上記の公表資料を基に地震による地盤変状について報告する。なお、斜面変状については本特集号の佐藤ほか（2008）で報告するので、本報告では省略する。また、SAR 干渉画像から確認出来る地殻変動以外の地表変動については、建物被害が顕著だった柏崎市街地について報告する。また、航空レーザ測量によって把握可能であった地震後の地形変化についても報告する。そして、地震被害状況と地形条件との関連性について、地形発達史や地質構造的視点から考察した結果を報告する。本報告の対象とした地域について図-1 の調査位置図に示す。

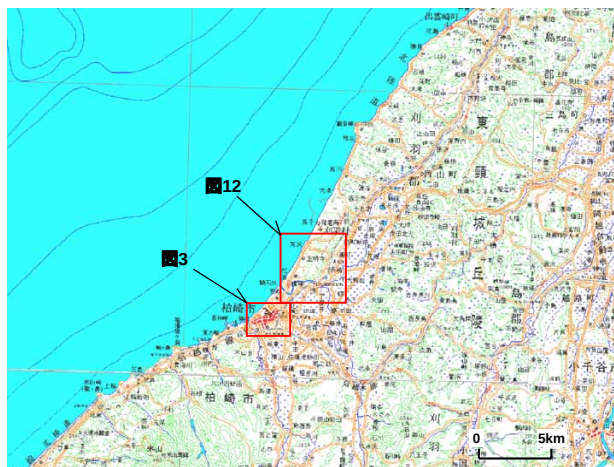


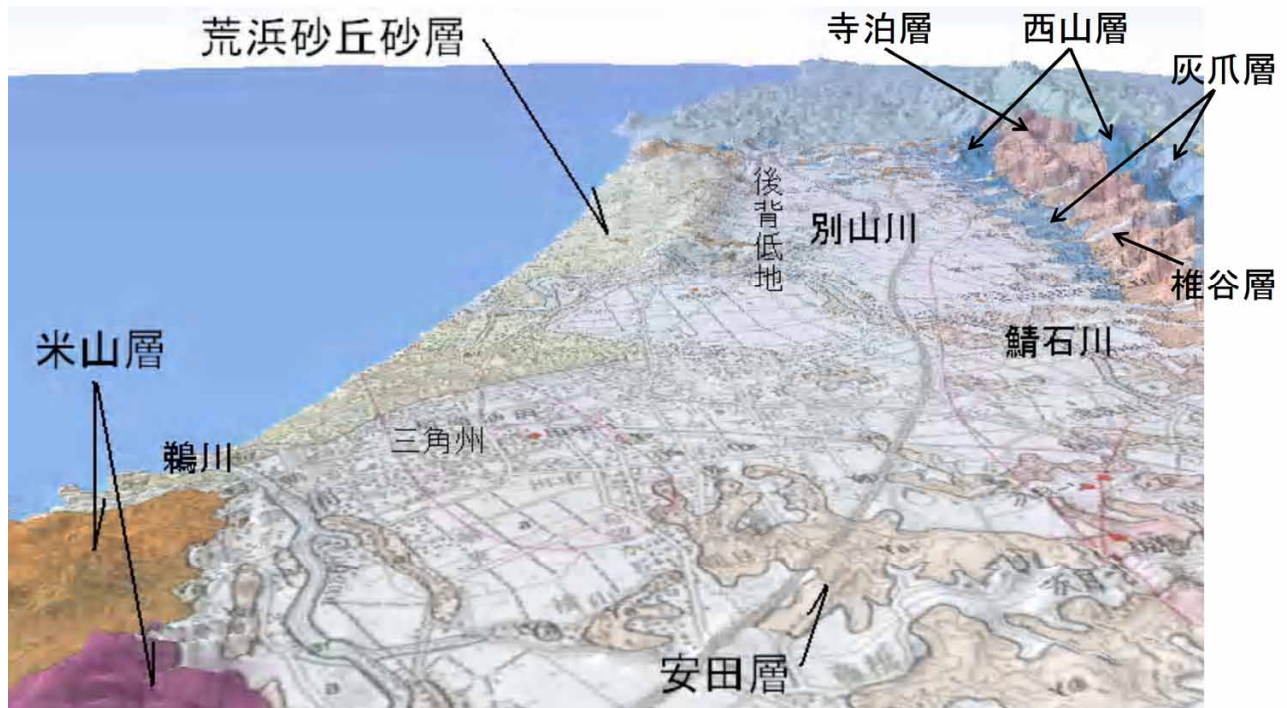
図-1 調査位置図（背景は地図画像 200000 を使用）

### 2. 対象地域の地形と地質

対象地区は、北北東－南南西の海岸線のすぐ西を、海岸線と平行に延びる丘陵（刈羽・三島丘陵；新潟県, 1989）と西山丘陵、それらに挟まれた河谷の地形配列で特徴づけられる活褶曲地帯に位置する。

中越沖地震による被害の著しかった柏崎市周辺の地形と地質の状況を以下に示す。当地域は国土地理院の土地条件図が未整備のため、国土調査土地分類基本調査「柏崎・出雲崎」の地形分類図（新潟県, 1989）と、産業技術総合研究所（旧地質調査所）の 5 万分 1 地質図「柏崎」（小林ほか, 1995）を基に記述する。周辺の地質図を図-2 に示す。対象地域は、西側に米山山塊、北東側に刈羽・三島丘陵と呼ばれる北北東－南南西方向に延びた丘陵地帯があり、両者に挟まれた平野部に位置する。

柏崎市中心部が位置する平野部は、別山川・鯖石川・鶴川などが流入する柏崎平野と、海岸部の荒浜砂丘から構成される。市街地の南側に最終間氷期（約 13 万年前）の段丘が開析されて残丘状に残されており、現河川沿いに自然堤防が連続性悪く分布する。それ以外のは大半は、谷底平野・三角州となっている。荒浜砂丘の内陸側は別山川に沿った谷底平野や後背低地となっている。荒浜砂丘は、北は大湊南方から南は柏崎市街地まで連続し、北側では標高 70～80m くらい、南側では標高 20m にかけて分布する。



図－2 調査地域周辺の地質図（小林ほか（1995）に 50mDEM を重ね合わせて鳥瞰表現したもの）

米山山塊は、新第三紀鮮新世の主に火山岩や火山砕屑岩からなる米山層から構成される。刈羽・三島丘陵は、新第三紀中期中新世から第四紀前期更新世にかけての、主に砂岩・泥岩・砂岩泥岩互層などから構成される。下位から寺泊層（黒色泥岩）・椎谷層（砂岩泥岩互層）・西山層（青緑色塊状泥岩）・灰爪層（細粒砂・砂質シルト）・魚沼層（海成シルト・砂礫層）である。この地域は、地形配列と調和的な北北東から南南西に延びる褶曲構造で特徴付けられる。西山丘陵には小木ノ城背斜、刈羽から出雲崎にかけての JR 越後線沿いの低地には出雲崎向斜、刈羽・三島丘陵部には後谷背斜が位置しており、丘陵部に背斜構造が低地部に向斜構造が位置している。

一方鵜川の河口から西側には、海岸線に沿って標高 50m ほどの平坦面があり、平坦面上に国道や集落が存在している。この平坦面は安田層と呼ばれる中位段丘堆積物で構成されており、最終間氷期に形成された段丘面と考えられる。安田層下部の海食崖の地質は新第三紀鮮新世の米山層で、下部が火山礫岩（主に円礫岩）、上部が泥岩である。段丘面は過去の地殻変動の影響を受けて西に向かうほど標高が高くなるのが特徴である（新潟県、1989）。

### 3. 柏崎市街地における建物被害の顕著な箇所と地形条件との関連

建物被害が集中する地域は、柏崎市街地中心部と荒浜砂丘東縁の柏崎市山本から刈羽村にかけての地

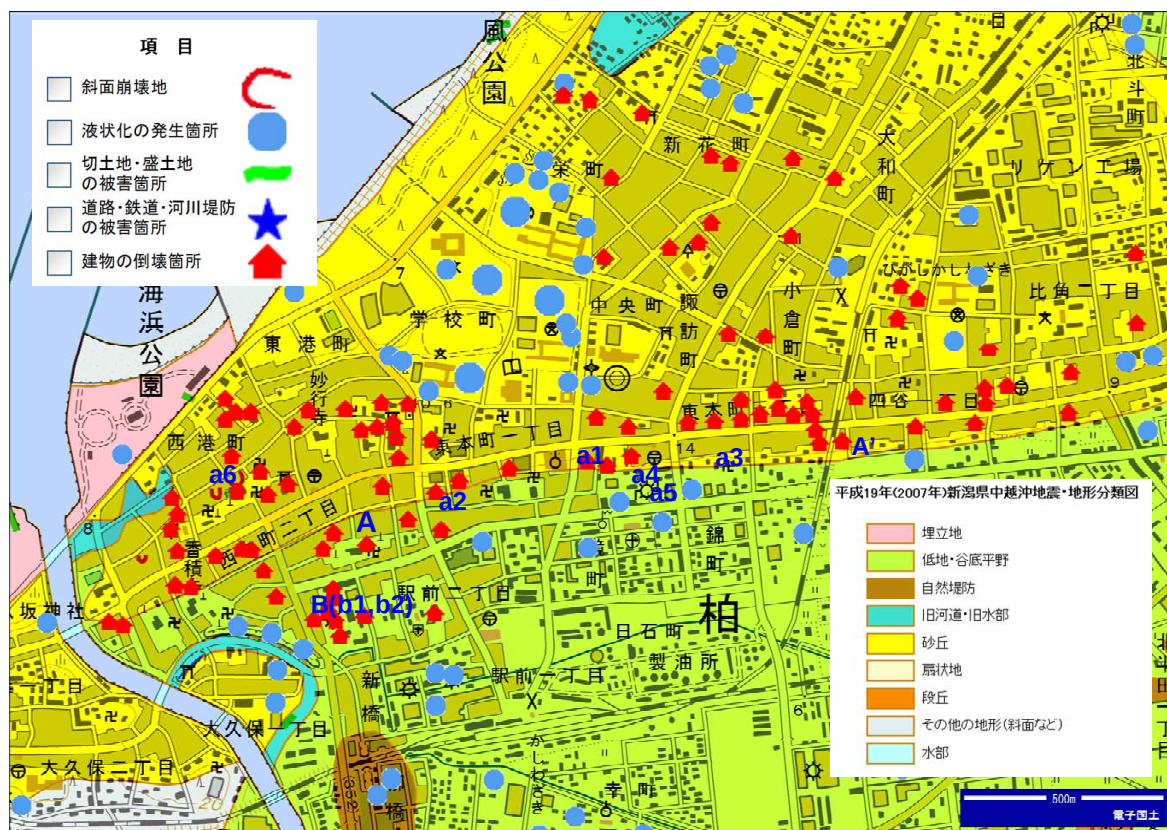
域である。柏崎市街地中心部について、「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震災害状況図（電子国土）」を抜粋したものを図－3 に示す。この地域の建物被害集中域の地形条件を、地形分類や現地調査の結果から考察すると、その間に密接な関連があることがわかる。

#### 3.1 柏崎市東本町地区（砂丘の縁）

図－3 を見ると、柏崎駅から JR 越後線東柏崎駅にかけての地域については、建物全壊被害は砂丘上の南端を東西に延びる通りに沿って集中している。このすぐ南側は、砂丘と沖積低地の境界に位置している。このような場所では軟弱な沖積層の上に砂丘の砂が薄く乗っており、地震時に液状化や地盤の流動化が起りやすいことが知られている（国土地理院、1984）。

全壊の建物（図－4）はかなり築年数の古い建物が多く、この地域は明治時代の旧版地形図でも柏崎の市街地として存在しており、ここで建物被害が集中していたのは地形的な要素だけではなく、この地域に古い建物が集中していたことが大きかったものと考えられる。倒壊した建物の多くは、主に土塗り壁を有するような比較的古い構法による住宅、倉庫、納屋の類、及び店舗併用住宅であった。

なお、砂丘と低地との境界は南向きの斜面を形成しているが、東西に伸びる通りに近い側で急傾斜になっていて（図－3 の a2 地点）、東西方向の連続性



図－3 柏崎市街地の被害分布と地形分類

がよい（図－3のA-A'のライン）。しかし、建物被害はその急崖になっている部分に集中しているわけではなく、その急崖の上端の縁にあたる東西に延びる通りに沿って集中している。図－3のa3地点では、斜面上部の道路上で引っ張りによる亀裂が多数認められた（図－5）。斜面の途中（図－3のa4地点）では、斜面上の建物がそれぞれ逆方向に傾いているのが認められた（図－6）。斜面基部（図－3のa5地点）では、斜面の傾き下がった地点で圧縮により側溝が押しつぶされ、全体的に地面が隆起している箇所が認められる（図－7）。



図－5 斜面上部の開口割れ目（図－3のa3）



図－4 柏崎市街地の全壊した建物（図－3のa1）

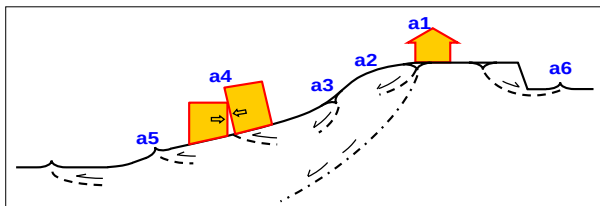


図－6 建物の傾き（図－3のa4）



図－7 斜面下部の圧縮変形（図－3のa5）

このような現地観察の結果が図－3のA－A'ラインに直交する方向に随所で確認されたが、この方向の模式断面図を図－8に示す。以上の現象を総合的に判断すると、地震時に砂丘を構成する砂が側方流動して重力的に傾き下がり、砂丘の縁の部分の斜面では上方で伸張性の亀裂が発達し、斜面の下方面では圧縮性の亀裂が発達したと考えると説明が可能である。



図－8 砂丘被害の模式断面図

一方、この砂丘は北側にも緩傾斜で傾き下がっているが、そのような箇所でも地盤の側方流動が発生している（図－3のa6地点）。図－9は現地写真であるが、地盤が側方流動により右側の砂丘の縁から左側に押されて、側溝等が圧縮されて盛り上がっている様子がわかる。このような場所に立地している建物は、ローテーションを伴うような地盤変状を受けて、左側（砂丘の下側、海岸側）が持ち上がるような変位を受けて建物自体が傾いてしまっている事例も確認できた。



図－9 柏崎市街地北側の圧縮変形（図－3のa6）

### 3. 2 柏崎駅周辺の沖積低地

柏崎市街地の南側の沖積低地部分では建物被害は相対的には低かったが、柏崎駅の北西側では寺社や酒造工場等で顕著な建物被害が認められた（図－3のB地点）。直ぐ近くに鵜川の旧河道が存在しており（新潟県，1989）、かなり低湿な堆積環境であったと推定される。今回の地震で倒壊した建物は、大正から昭和初期（戦前）の木造蔵小屋であり（図－10）、壊滅的な被害を受けていた。コンクリート製の建物は、5 cm 程度抜け上がっており、噴砂跡等も認められたが、建物自体には変状は無かった（図－3のb2地点）。



図－10 木造蔵小屋の壊滅的倒壊（図－3のb1）

### 4. SAR 干渉画像による地表変動の抽出

国土地理院では、中越沖地震に伴う地殻変動を面的に詳細に明らかにする目的で、地球観測衛星ALOS「だいち」PALSAR データの干渉解析を行った（国土地理院，2007b）。

地震の際には、地表には断層運動による変位だけでなく、液状化、地すべりなどのノンテクニクな地盤変状も発生する。SAR 干渉画像では変動を面的に把握することができるため、これら地盤変状現象とその空間的広がりも捉えることができる。ただし、断層運動による変位が大きい場所では他の変動の検出が難しい。このような場合、地震の断層モデルから計算される位相変化を差し引いた「残差画像」を作成することにより、ノンテクニクな変状だけを抽出することが可能である。中越沖地震に関しては、GPS、水準測量、干渉 SAR など様々な地殻変動データを元に、断層モデルが推定されていることから（国土地理院，2007b）、この断層モデルを用いて残差画像を作成した。柏崎市街地の残差画像を図－11に示す。

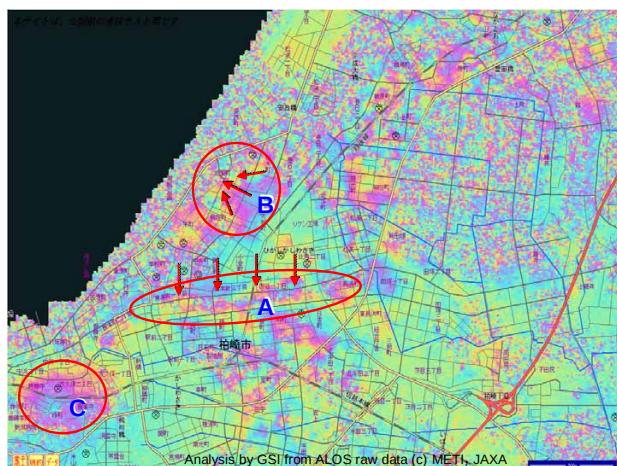


図-11 柏崎市周辺の SAR 干渉残差画像

柏崎市街地の建物被害は砂丘の南の縁に沿って集中している。このような場所では砂丘が沖積低地側に側方流動を起こしたと考えられている。SAR 残差画像を見ると、砂丘の南縁に沿って東西に延びる帯状に干渉縞の変化が認められるが（図-11 のA），

これらは現地調査の結果と照らしあわせると、砂丘砂が南側へ側方流動した事に伴い圧縮による隆起が発生したものと考えられる。また、この砂丘の北西側では地盤の北西方向への側方流動が生じていたが、残差画像でも同様の変化が確認できる（図-11 のB）。一方、図-11 のCの様なドーム状の隆起と考えられる干渉画像も得られているが、現地調査で全く変状は得られていない。

### 5. 荒浜砂丘東縁部での地盤変状と地形条件

荒浜砂丘東縁の柏崎市山本から刈羽村にかけての地域で、建物の被害等が集中している地域があった。これらの地域について、「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震災害状況図（電子国土）」から抜粋したものを図-12に示す。柏崎市の鯖石川河川改修記念公園内（C）から山本集落（D）にかけてと、刈羽村の中心部（E）において、砂丘の縁に沿って大規模な地盤変状が認められた。以下、代表的な地点において地盤変状の状況と、地震後の航空レーザ測量で捉えることが出来た変状について報告する。

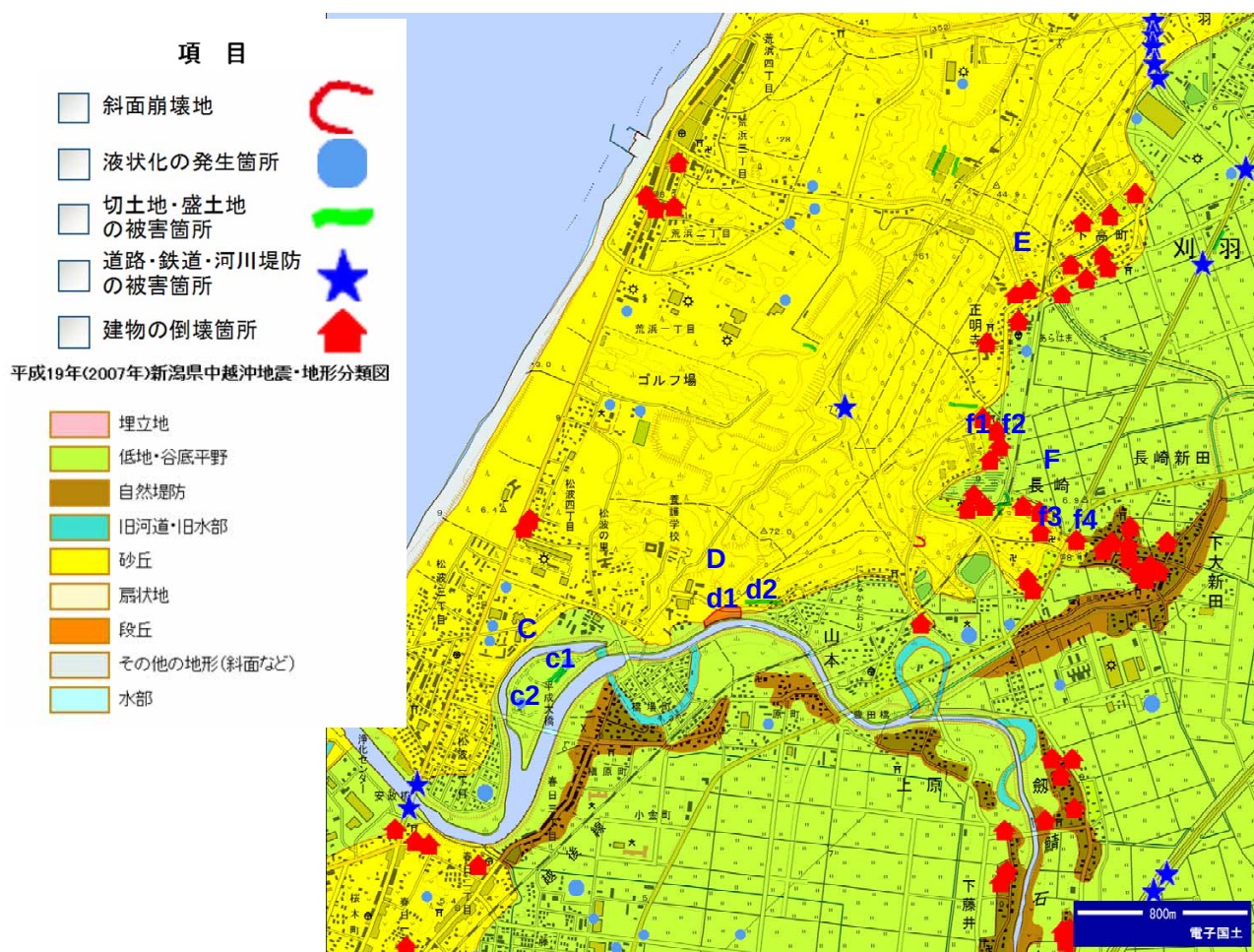


図-12 鯖石川河川改修記念公園から刈羽村にかけての被害分布と地形分類