５．１　鯖石川河川改修記念公園の被害状況

鯖石川河川改修記念公園内では，液状化による被害が集中しており，段差最大 40㎝ の亀裂が見られた（図－13，14），液状化により噴砂している部分もあった（図－15）．

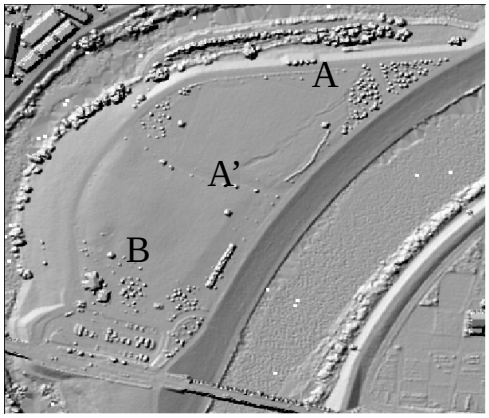
図－13　鯖石川河川改修記念公園の亀裂（図－12 の C1，図－16 の A-A ’）

図－14　段差 40㎝ の亀裂（図－12 の C1，図－16 の A-A ’）

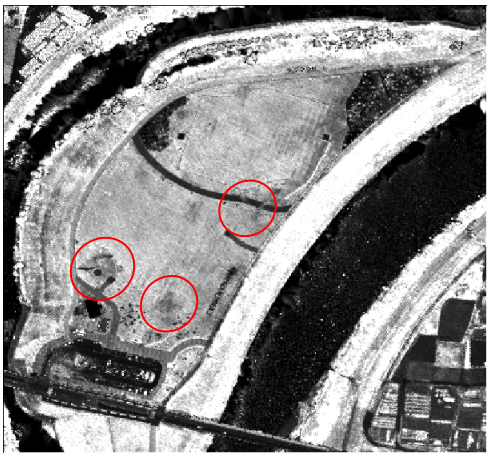
図－15　鯖石川河川改修記念公園の噴砂（図－12 の C2，図－16 の B）

航空レーザの高さデータ（１ｍグリッド）による陰影画像を図－16 に示す．北東－南西方向に延びる顕著な線状の構造が確認できる（Ａ－Ａ ’）．段差 40㎝ 程度の開口亀裂であれば，明瞭に航空レーザの陰影画像で把握することが出来る．公園南西側の子供の遊び場では，液状化して周りよりも少しへこんだ状態であったが，陰影画像でも凹んでいる様子が判読可能である（Ｂ地点）．

航空レーザの反射強度画像を図－17 に示す．芝生の反射強度が高いため，芝生での噴砂箇所は周りと比べて反射強度が低く（画像では暗く）なり，判読が容易である．逆に道路（アスファルト）は反射強度が低いため，道路上の噴砂箇所は周りと比べて反射強度が高く（画像では明るく）なり，こちらも判読が容易である．



図－16　鯖石川河川改修記念公園の LiDAR 高さデータ陰影画像



図－17　鯖石川河川改修記念公園の LiDAR 反射強度画像

５．２　柏崎市山本周辺

鯖石川河川改修記念公園の北東延長方向では，山本集落の西側で，鯖石川の右岸に沿って落差２ｍ以上の段差が連続（図－18）している．現地調査により河岸で土塊が隆起している部分が確認されていることから，川側への地すべり的な側方流動があったものと判断される．砂丘内にその段差が連続している（図－19）が，砂丘内では段差の落差は小さくなり，亀裂のみが連続する様になる．なお山本集落の西端では，住宅背後の砂丘が東側に張り出して住宅を押しつぶしている．

航空レーザの高さデータ（１ｍグリッド）の陰影画像（図－20）では，この段差が連続していること

が判読でき，特に丸の部分で落差が顕著である．

図－18　段差２m以上の亀裂（図－12 の d1，図－20 の赤丸）

図－19　亀裂が砂丘の中まで連続（図－12 の d2）

図－20　山本地区西部の LiDAR 高さデータ陰影画像

５．３　柏崎市長崎から刈羽村にかけて

JR 荒浜駅付近（図－12 のＥ）から長崎集落（図－12 のＦ）にかけては，国道 116 号の旧道沿いに集落が集中している．ここは別山川が形成した沖積低地であるが，西側が砂丘により閉塞された後背低地的な地形を形成しており，これに砂丘からの堆積物が運ばれて形成された微高地に集落が立地している．このような立地条件の集落では建物全壊が集中している．特に長崎では建物全壊被害（図－21）や地盤の液状化（図－22）が顕著であった．周辺には液状化によるマンホールの 50cm もの抜け上がりや（図－23），家屋の抜け上がりや傾き（図－12 の f4 地点）なども顕著に観察された．

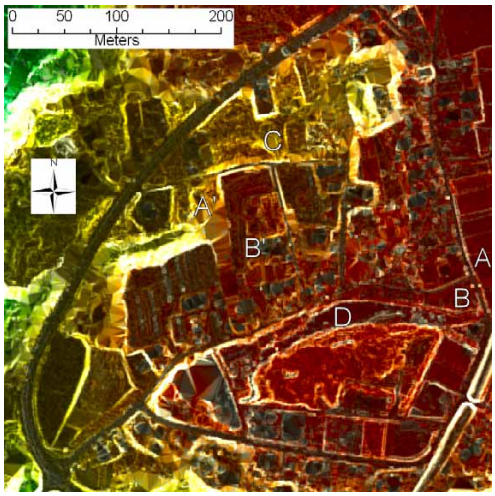
図－21　柏崎市長崎での家屋の倒壊（図－12 の f1）

図－22　柏崎市長崎での噴砂（図－12 の f2）

図－23　マンホールの抜け上がり（図－12 の f3）

航空レーザの高さデータ（１mグリッド）と反射強度を組み合わせて作成した疑似カラー画像を図－24 に示す．擬似カラー画像を見ると，西北西－東南東方向に二条の線が判読できる(図中Ａ－Ａ’,およびＢ－Ｂ’）．現地調査の結果，この線が道路と交差する地点では，道路の舗装に幅数～10cm 程度の割

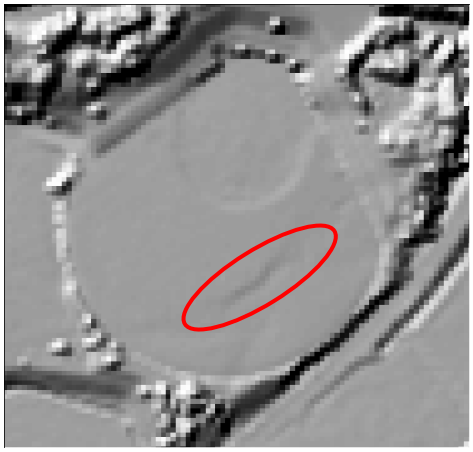
れ目が生じていた．集落の北側では，黄色く示される小領域が道路上にかかっている（図中C）．現地調査の結果，この領域では円形の隆起や路肩の崩壊が生じていた．さらに，高浜ほか（2007）などによって報告されている池の中のプレッシャーリッジ（図中D右側）についても，灰色の帯として明瞭に判読できる．



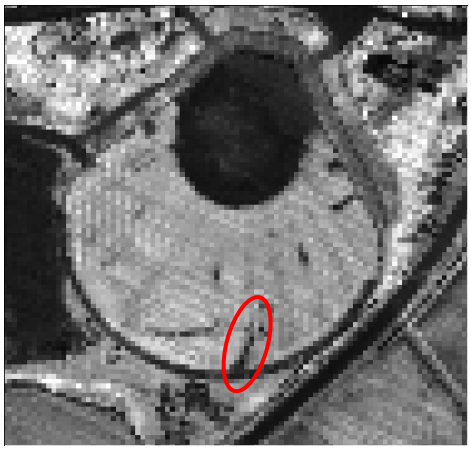
図－24 柏崎市長崎の LiDAR 擬似カラー画像

５．４　柏崎市西山野球場

西山町浜忠の西山野球場でも液状化による噴砂や亀裂が確認できた．西山野球場の航空レーザデータのグリッドサイズは２mである．航空レーザ高さデータによる陰影画像を図－25 に，反射強度画像を図－26 に示す．グラウンドでは，最大で 40cm 程度の段差を持つ亀裂が発生していた（図－27）が，図－25 でもその段差が陰影として明瞭に現れており，容易に判読が可能である．亀裂が２本有ることも判読可能である．外野には顕著な噴砂が連続していた（図－28）が，芝とのコントラストが良く，図－26 では砂の部分の反射強度が芝生と比べて低く（暗く）写っており，容易に噴砂箇所を判読することが出来る．



図－25　西山野球場の LiDAR 高さデータ陰影画像



図－26　西山野球場の LiDAR 反射強度画像

図－27　西山野球場の段差 40cm の亀裂

図－28　西山野球場の噴砂

野球場では亀裂を境に谷底平野側に側方流動するような変状が認められ，野球場の壁が一部抜け上がっているところがあった（図－29）．この抜け上がりによって，フェンスも歪んでおり，30cm 程度の高さのズレが認められた．この部分は背後に土留めのコンクリート壁があり，移動土塊がはらみ出せず，そのために抜け上がったものと推定される．一方，土留めのコンクリート壁が無い部分については，盛土

図－29　西山野球場の地盤被害

部分の若干のはらみ出しが認められ，コンクリート壁の各ブロックに隙間が生じていた．これらは，野球場の側方流動により，コンクリート壁ブロックが外に押し広げられたためと推定される．なお，これらの外野壁に生じていた隙間やズレなどは，航空レーザの画像からは判読することは出来なかった．

６．盛土地での地盤変状

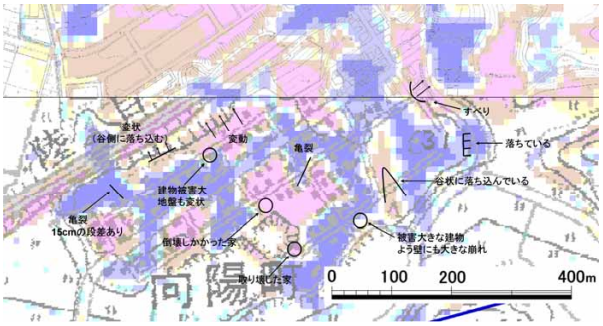
柏崎市街地の南側には最終間氷期（約 13 万年前）の段丘が開析されて残丘状に残されており，丘陵を形成している．これらの場所は，現在住宅団地が形成されており，大規模な切土盛土がなされている．1978 年宮城県沖地震や平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震では，造成宅地の盛土部で地すべり的変状が発生して，住宅に壊滅的な被害を与えており，地震時には盛土部の地盤変状に注意を払う必要がある．今回は，向陽町，朝日が丘，上田尻の３つの造成宅地について災害調査を行った．

向陽町について，切土盛土分布と被害状況を図－30 に示す．基図は北部が柏崎市の 1/2,500 都市計画図, 南部が国土地理院刊行の 1/25,000 地形図である．薄い桃色が盛土，薄い青色が切土である．

向陽町は，枝分かれしている段丘の尾根を切って周囲の谷に盛土して造成したと推定される．谷埋盛土が沈下または滑って，盛土部や切盛境界部で亀裂を発生させている．切盛境界（推定）部の建物の一部に傾斜や壁の亀裂等が生じていた．

朝日が丘は，段丘頂部を切って周囲に盛土して造成したと推定される．盛土部の沈下または滑りにより，境界部および盛土部において，しばしば段差をともなう亀裂が発生した．建物にも被害が及んだものが多かった．

上田尻については，盛土斜面の擁壁で崩壊等が認められたが，詳細な切土盛土分布図は作成していない．



図－30　柏崎市向陽町の住宅造成地における切土盛土分布と被害状況

７．まとめ

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，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．柏崎市中心部は，北東方向から海岸沿いに連続する荒浜砂丘の末端とその南側の沖積低地に立地しているが，鵜川，鯖石川，別山川などの河川の河口が砂州の発達で閉塞気味となり，低湿な環境で堆積した軟弱な沖積層に，砂丘が乗って形成された地形である．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，さらに地盤の液状化も加わって，場所によっては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．

謝　辞

本研究で使用した ALOS PALSAR のデータは，国土地理院－宇宙航空研究開発機構（JAXA）間の共同研究協定に基づき提供されたものである．また，干渉 SAR の解析は，国土地理院地理地殻活動研究センターの矢来博司，飛田幹男，西村卓也の各氏によるものである．また，現地の災害情報については，山形大学の川辺孝幸教授，村上良之教授からの情報提供を参考にさせていただいた．ここに記して，関係機関，関係各者に感謝します．

参 考 文 献

国土地理院（1984）：1983 年日本海中部地震調査図．国土地理院技術資料 D･1-№255．

国土地理院（2007a）：平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震 災害状況図，
http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/0707-chuetsuoki/index.html（accessed 26 Mar. 2008）．

国土地理院（2007b）：「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを推定，
http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0726.htm（accessed 26 Mar. 2008）．

国土地理院（2008）：「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新，
http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/index.html（accessed 26 Mar. 2008）．

小林巌雄，立石雅昭，吉村尚久，上田哲郎，加藤碩一（1995）：柏崎地域の地質．地域地質研究報告（５万分の１地質図幅），地質調査所．

佐藤　浩，小荒井衛，宇根　寛，岩橋純子，宮原伐折羅，山岸宏光（2008）：平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震による斜面崩壊の地形的特徴の GIS 解析．国土地理院時報，114，91-102．

高浜信行，卜部厚志，鈴木幸治，梶　壮志，福留邦洋（2007）：池の中に出現した液状化によるプレッシャーリッジ（柏崎・長崎地区），http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~070716/rep07/thm0727.pdf（accessed 26 Mar. 2008）．

新潟県（1989）：土地分類基本調査５万分の１「柏崎・出雲崎」．