

2011年東日本震災の地盤災害調査

研究代表者 生命・環境学系 阿子島 功

1. 調査研究の目的

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震による東日本震災は、地震動による災害、津波による災害、加えて原子力発電所機能損傷による放射性物質拡散の災害であり、津波による人的・物的被害が激甚であるが、地震動による地盤災害も広域に及んでいた。地震動による地盤災害の実態を調査・記録し、この経験則を将来の防災計画やハザードマップ改良などに役立たせるために、なぜその場所で地変が生じたのかを、地形、地質、土地履歴などの観点から検討を行っている。調査は継続中である。

2. 調査研究組織

<研究代表者>

生命・環境学系 阿子島 功

<研究分担者>

生命・環境学系 川越 清樹

生命・環境学系 長橋 良隆

3. 調査研究計画・方法

2011年3月11日に発生し東北地方太平洋沖地震と呼ばれることになったM9.0の本震の震央は男鹿半島東南東約130km、深さ約24kmで、震源域は岩手県沖～茨城県沖の長さ約400km以上、幅200kmの範囲に及んだ。宮城県北部の震度が7、宮城県中部～福島県中通りにおける震度は6強、福島県会津が6弱であった。

この地震によって、宮城県南部～福島県中通り地域を中心に、自然斜面や人工造成地の崩壊・地すべり、貯水池のダム決壊にともなう洪水、内陸盆地の低地の地盤液状化などが発生した。地盤液状化は会津盆地でも発生した。

なお、3.11当日に福島県中通りを震央とするM5.

1の地震（最大震度不明）、宮城県南部を震央とするM5.2（最大震度4）があった（地震本部ニュース、2011-4、-5）。4.11の福島県浜通りを震源とするM7.0の地震（最大震度6弱）をはじめ、多くの余震（最大震度4以上の余震は5月6日までに140回）があったが、ここで記載する地盤災害事例のすべては、3.11本震によって発生したものである。

調査にあたって、地形・地質条件、とくに造成地であればその構造、1978年宮城県沖地震（M7.4、最大震度5）の際の被害との対応に注目した。速報としては阿子島（2011.4, 2011.5）、川越ほか（2011.8, 2011.9）ほかなどで述べたが、本報告では福島県中通り地区を中心に、特徴的な事例をいくつか記載する。

4. 調査結果

4-1. 地盤災害の概観

地盤被害はさまざまな形態で広域にわたって生じたためにその全体像はいまだ明らかではない。

図1に特徴的な事例を示す。特徴を概観すると

1. **瓦屋根損壊** 全域にわたって共通的に瓦葺き屋根の峰瓦の落下が見られた。鉄板葺き屋根の損壊は少なく、新旧を問わず一般住宅の瓦葺き屋根に選択的に被害があった。伊達市などでみる限り、阿武隈川氾濫原の微地形との対応は現われなかった。

2. **建物損壊** 蔵造りなど歴史的建物の壁の落下などが目立った。とくに歴史的建物を残して街づくり景観形成を目指していた宮城県柴田郡村田町、福島県伊達郡桑折町などで多くの蔵が損壊した。福島市内でも歴史的な蔵づくりの家屋が被害を受けた。また寺社建物の外壁などの破損が多く生じた。喜多方市における蔵の被害は16件と少なかった。

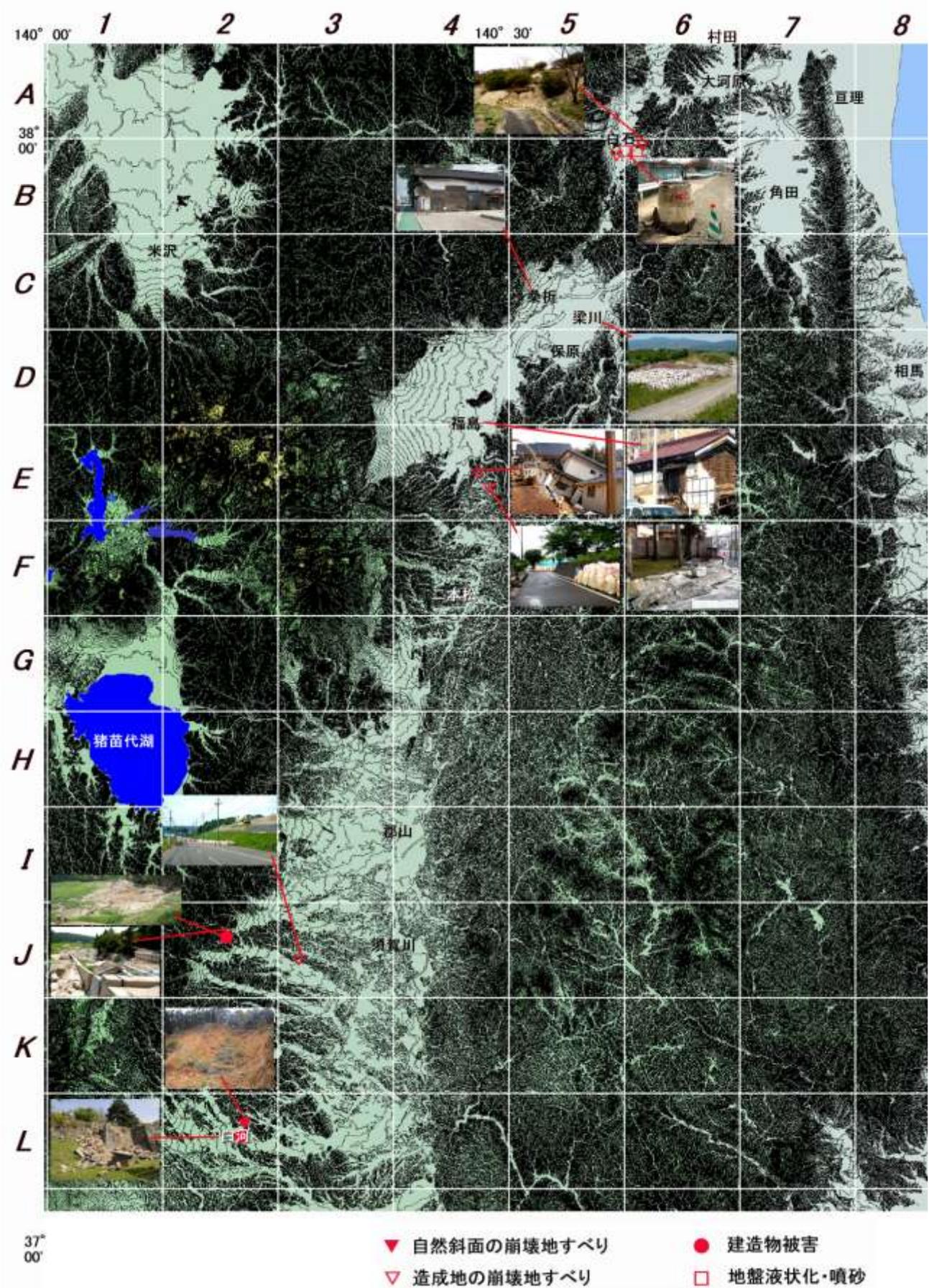


図1 宮城県南部～福島県中通り地区の2011.3.11地震による地盤災害 (経緯度線は1:25,000地形図の図郭)

3. コンクリートブロック塀・石材積み塀の損壊

福島県中通り地域の全域にわたってコンクリートブロック積みの塀および凝灰岩切り石積みの塀は倒壊・破損が目立った。墓地の墓石の転倒・回転などが全域にわたって見られた。

4. 石垣の崩壊

発生箇所は少ないが相馬市中村の相馬中村城の石垣（東二の丸と内丸の間の空堀）の一部、白河市小峰城の石垣の一部が崩壊した。

5. 丘陵地造成地地盤の損壊

宮城県では仙台市、名取市、白石市などの丘陵地の宅造地で大小規模の地すべりが発生し、仙台市では合計2100戸程の宅地が危険と判定された。白石市では4地区27世帯の避難勧告がなされた。仙台市の丘陵地の宅地開発は1978年宮城県沖地震に先立つものが多く、同地震によって多くの被害が発生して、丘陵地宅造地の地震被害の顕在化事例として注目されたが、今回の地震で地盤変状の箇所・様式とも1978年地震の際の変状（東北大学理学部地質古生物学教室, 1979, 阿子島, 1996）の再現となったものがある。地すべり対策工事と土地利用変更（緑地化）によって大きな被害は免れた（白石市緑ヶ丘公園, 仙台市太白区緑ヶ丘1・2号緑地）ものの、冠頭部の拡大傾向（白石市緑ヶ丘公園）や地割れの再現（仙台市緑ヶ丘3・4号緑地）によって周辺の家屋・地盤にとっては重篤な被害を生じた（阿子島, 2011. 4, 2011. 5）。

福島市内の宅地造成地で建物の移動・損壊にいたる重篤な地すべりが2地区で発生した（後述4-2）。これらは1978年宮城県沖地震の際には造成中あるいは造成後であったが、当時は被害をうけておらず、今回被災した。福島市周辺の丘陵造成地は、仙台市周辺の丘陵造成地にくらべて原地形がゆるやかであったためか、被害箇所は少ない。

学校校庭・工場敷地など大規模な造成地の盛り土の法面の崩壊が生じた。例としては、宮城県白石市立東中学校校庭法面（鷹ノ巣字柴ノ下地内の11世帯に避難勧告がなされた）、福島市蓬萊団地の蓬萊中学校校庭南端、須賀川市木之崎字光崎山の工場の盛土法面、相馬市中村椎木の工場の法面な

どである。

6. 自然斜面の崩壊地すべり 白河市葉ノ木平では、幅70m、長さ100mにわたって崩壊地すべりが生じたために、斜面の麓にあった住宅地で13名の死者が生じた（後述4-3）。

7. 農業用貯水池の堤体決壊と洪水被害

須賀川市西部の丘陵内の藤沢ダムの決壊によって下流側約1.5kmの滝集落が氾濫被害を受け、死者・行方不明者8人の人的被災が生じた（後述4-4）。

8. 低地の地盤液状化 顕著な例は、宮城県白石市（低地の地盤災害は上水道の漏水70箇所、下水の人孔の被災897箇所。白石市4.18集計）の齊川に沿った沖積低地や、福島県会津盆地西部の会津坂下町の阿賀川氾濫原や扇状地面の耕地整理で造成された水田で地盤液状化・噴砂が生じた（後述4-5）。福島盆地では人孔の抜け上がりが一部でみられたようであるが軽微であった。

====

図1の写真説明（写真記号番号）は格子の位置

(A5) 宮城県白石市緑ヶ丘1 防災緑地内部の地すべり

(B6) 白石市東町3丁目 地盤液状化による人孔の抜け上がり

(B4) 福島県伊達郡桑折町 土蔵の壁の損壊

(D6) 伊達市梁川 広瀬川河川敷の瓦礫（瓦とブロック）の集積場

(E5) 福島市伏拝 造成地の崩壊・国道4号線への流下

(E6) 福島市早稲町 土蔵の壁の損壊

(F5) 福島市蓬萊 蓬萊中学校校庭南側の法面。校庭に地割れ

(F6) 福島市大田町 切り石積み壁の倒壊

(I2) 須賀川市木之崎字光崎山の工場の盛土法面崩れ

(I1) 須賀川市 藤沼貯水池の第一堤の崩壊

(J1) 須賀川市 決壊した藤沼貯水池の下流の洪水被害

(K2) 白河市葉ノ木平の谷頭部斜面崩壊

(L1) 白河市小峰城の石垣の崩壊

4-2. 丘陵地造成地地盤の損壊例

福島市南部の伏拝、あさひ台団地の崩壊地すべり

福島市南部の伏拝の国道4号線路盤地すべりとその上方の“あさひ台団地”（559, 578, 577, 624, 625, 628ほか団地4組の一部）の地すべりは谷埋め造成地の地すべりである。

あさひ台の公園とその背後の擁壁が地すべりを起こし、擁壁の上の市道と家屋3棟、中段の3棟が滑落移動した。地すべり土塊は公園の半分を覆い、先端がR4の中央線まで押し出した。

国道4号線路盤地すべりは道路上方から道路の下方にかけて滑った。公園の地すべりと路盤のすべりは別ユニットであり、滑落崖の切りあい関係が観察できる。これらの地すべり部分の団地造成中の地形は、1969年都市計画図および1975年航空写真で判読できる（図2-1）が、谷を塞いで中段（公園）を設け、さらに高さ約10m程の法面（下半はコンクリート擁壁、上半は草つき斜面）の上に宅地を造成した部分が今回の滑落崖となったことがわかる。谷を埋めたことは、冠頭部の上方（3軒先、地区集会所前付近）に位置する南北市道にもわずかなくぼみがあることから推定できる。この丘陵の地質は第四紀前期の火山岩屑流堆積物（伏拝

火山屑碎流堆積層）であり、岩塊を混える未固結の赤褐色火山灰層である。

あさひ台南側入り口近く（466, 団地2組の一部）では、地すべりで市道と家屋2戸3棟が滑落した。滑落崖は垂直で比高は3~4mである。市道に陥没（地すべり地割れ）を生じ、押し出した土塊は下方の水路を覆った。

造成前の1963年撮影空中写真と現在地割を重ねて立体視すると、原地形は谷地形であったと判読できる（図2-2）。崩積土をみるかぎりマサ土が混ったり水抜きパイプがみえることから、道路部分は盛り土地盤であったことがわかる。

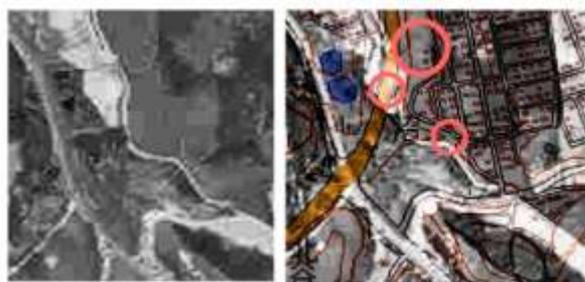


図2-2 1963年空中写真(立体視)に現在の地割(1:25,000地形図)と2011地震による崩壊地すべりを重ねた。空中写真は、MT0637X-C8-11, 12 およびCT07529-C14A-11 1969年県北都市計画図は福島市都市計画課提供。



図2-1 福島市伏拝、あさひ台の人工地盤の崩壊地すべり

(阿子島 功)

4-3. 自然斜面の崩壊地すべり

白河市葉ノ木平の崩壊地すべり ここでは葉ノ木平の地すべりの地質学的背景について述べる。

白河市の丘陵地には、白河火砕流堆積物群のうち西郷火砕流堆積物（吉田・高橋，1991）が露出する。西郷火砕流堆積物は溶結凝灰岩からなり、約100万年前に噴出した大規模火砕流堆積物である（山元，1999）。

葉ノ木平の地すべり地は、この西郷火砕流堆積物とそれを覆うローム質粘土層と降下軽石層からなる。地すべり地上部の滑落崖には、現地表面に沿ってローム質粘土層と2層の降下軽石層が露出する（図3-1）。下位の軽石層は層厚約1m、上位の軽石層は層厚約0.8mであり、ここではそれぞれをA軽石層とB軽石層とする（図3-3）。滑落崖から図3の地点へと続くA・B軽石層はともに急傾斜しており、軽石層と直下のローム質粘土層との境界面の走向傾斜はN36°，W35°Nである（図3-3）。A軽石層の直下は比較的しまりの良いローム質粘土層からなる（図3-4）。A・B軽石層の上位は、やや砂質のローム質粘土層が厚く重なり、最上部は黒色土壌と盛り土からなる（図3-5）。最上部の盛り土はゴルフ練習場を造成したときのものと考えられる。図3-5の右端上部にはB軽石層が露出するが、ここでは階段状のクラックが発達しており、なんらかの変形を被っている。

滑落崖から下方に続く斜面（図3-2）はA・B軽石層と同じ傾斜を示すこと、この斜面には図3-4に見られるようにA軽石層直下のローム質粘土層が露出することから、A軽石層と直下のローム質粘土層との境界面が主すべり面となっていると考えられる。また、A軽石層が濃い茶褐色を呈していること（図3-3）と含まれる石質岩片の表面が黒色にコーティングされていることは、水による変質を被っていると考えられる。さらにA軽石層の直下のローム質粘土層が不透水層となるため、A軽石層は水を多く含みうる。付近の住民の話によると被害にあった住宅地付近には湧水があったとのことである。気象庁のアメダスデータによると、3月1日には10cmの積雪があったが、11日の地震ま

でに積雪が無くなっている。このことから地震当時もA軽石層には相当量の水が含まれていたと考えられる。

葉ノ木平の地すべりは、西郷火砕流堆積物を浸食した急斜面が存在したこと、それを覆って堆積したローム質粘土層と水を含んだA軽石層との境界がすべり面となり、地震動によって崩壊したと考えられる。付近の住民の話によれば、3月11日の地震発生時に屋外に避難した際、土煙を上げながらあつという間に地すべりが発生したとのことである。土煙はA・B軽石層上位の砂質なローム質粘土層の崩壊によるものと考えられ、また地すべりといっても数分以内の短時間の現象であった。



図3-1 葉ノ木平の地すべり地の全景

崩壊した土砂は住宅があった図撮影地点になだれ込んだ。



図3-2 地すべり上部の滑落崖

降下軽石層が現地表面に沿って連続的に露出する。



図3-3 急傾斜するA・B軽石層



図3-4 すべり面に露出するA軽石層直下のローム質粘土層と薄く残存しているA軽石層



図3-5 A・B軽石層上位の厚い砂質ローム質粘土層とその上位の黒色土壌と盛り土



図3-6 クラックの発達したB軽石層

(長橋 良隆)

4-4. 農業用貯水池の堤体決壊と洪水被害

東日本大震災により745ヶ所のため池損傷が報告されており(福島県農林水産部報告, 2011※8月10日現在), 須賀川市の藤沼湖ではダムの決壊が生じた。日本国内のダム決壊は1854年安政南海地震による満濃池決壊以来の稀な事例である。決壊した藤沼ダムは, 1937年に着工し, 戦中を含む12年間を経過して1949年に竣工されたアースフィルダムであり, 下流域856haに及ぶ肥沃な水田に灌漑用水として利用されてきた。ダム決壊により下流側約1.5kmの滝集落が氾濫被害を受け, 死者・行方不明者8人の人的被災が認められている。死者を伴う地震によるダム決壊事例は1930年以降世界でも報告例がなく, 稀有な被災である(日本大ダム会議, 2011)。

藤沼ダムの決壊状況(図4-1)を報告すると, 左岸側はダム形状が残存する(図4-2)一方で, 右岸側は決壊により概ねの土砂が流出した形跡を成している。右岸に関しては, 沢地形を堰き止めた形跡は皆無であり, こうした状況から右岸側から決壊したことが明らかである。右岸側旧ダム前面の河道脇に押し出された土砂が堆積している。堆積した土砂には大別して3箇所の段差が認められている。堆積土砂の比高の連続性から, これらの段差は滑落崖になっていることが有力であり, 土塊がスランプ状に移動した形跡が認められている。また, 破壊によりアースフィルダムの内部構造を随所で確認できるが, ダムの構造は水平の層理構造(層厚20~50cm)を成している。目視より認められる土層は, 腐植土層(炭化), 砂礫層, 軽石混じりの火山灰が主であり, 同一の構成材であっても土層により密度, 粒径等の様相は異なっている。腐植土層の存在は難透水層になるため, ダム堤体の間隙水圧上昇を促す作用も推測させる。決壊のメカニズムとしては, 現在の段階では以下の①, ②が推測される。

① 地震動により法面崩壊が生じ, その後, 堤体が決壊した。

② 堤体内の異なる土層内で生じた滑りによって崩壊した。

この他、貯水池内に地震に伴い波が生じ、波力により決壊を助長することも考えられるが、ダム洪水吐きに漂砂の痕跡がなかったこと、ダム前面の堆積の痕跡がダム天端とほぼ同標高に直線的に分布することの現場状況から、①、②を誘因とした可能性が高い。

ダム決壊によりダム直下の旧河道は洗掘され、旧河道に分布する樹林、土砂を伴いながら、滝集落に氾濫をもたらした(図4-3)。旧地形を示す数値地理情報と現地調査の比較結果より概算として50,000m³程度が下流域に氾濫したことが推計される。箕の子川を挟み藤沼ダムの正面に位置する滝集落では、箕の子川河道より約50m河岸内は概ね家屋全壊し、50mから100m内は家屋全壊するまでに至らず現存し、いずれも出水による痕跡が集落の地盤レベルより1.5mから2.0mの高さで認められている。損傷の痕跡から上流から流下した流木や岩塊、集落内に存在していた重量物が衝突した現象が多く認められていた。集落内では自動車の転倒跡も認められることから、相当の流量に加えて速度も大きかったことが示されている。こうした被害に加え、および護岸裏込めの土砂流出も集落内で数箇所認められているが、水の勢いの大きさを示唆するものである。集落よりも下流側の痕跡からこの出水の範囲は広く及んでいたことが明らかにされている。滝集落よりも1.0km下流の橋梁では、橋台護岸のコンクリートの流出が認められ、コンクリートの比高は約2.5mから3.0mであり出水による異常な推力が推測される。なお、橋梁付近の漂流物の状況から、河道と橋梁の空間に漂流物が詰まり堰止め状態になったことで河道から溢水が生じ、裏込めの土砂流出と水圧により橋台護岸流出まで至った推測される。

ダム決壊は、日本観測史上最大の東北地方太平洋沖地震を素因に生じているが、ダム自体の老朽化、代掻き時期の貯水池の満水位も誘因になっていた可能性も示唆される。また、決壊に加えて、ダム直下の流線沿いに集落が存在していたこと、衝撃増加させる林地や土砂(水田)がダムと集落の間に存在していたことが被害を増大させた。林地

はある程度の速度までは水勢の緩衝効果をもたらすが、過剰な流れは植生そのものを抜根させるまでに至り緩衝効果を見込めなくさせる。既に水工学分野でこうした植生検討がなされてきたが、今まで決壊までは波及しにくいと考えられてきたアースフィルダムの最大限のリスクを考慮した場合、アースフィルダム決壊による影響に対する安全管理上で林地配置の検討も加える必要がある。今後、老朽化しうるアースフィルダムを放置する、もしくは簡易な管理体制にすることを考慮すると、斜面崩壊により河道閉塞させる土砂ダムが増加していくことと同じような評価になる可能性もある。このような現状も踏まえて、一層のアースフィルダムの対策、施策の強化が望まれる。こうした強化に関しては、施工完了するまでのタイムラグも予測されるため、構造を補強させるハード対策を加えるだけではなく、効率的な管理手法の確立、ため池決壊ハザードマップの整備と周知、避難体制に示されるソフト対策も行っていく必要がある。

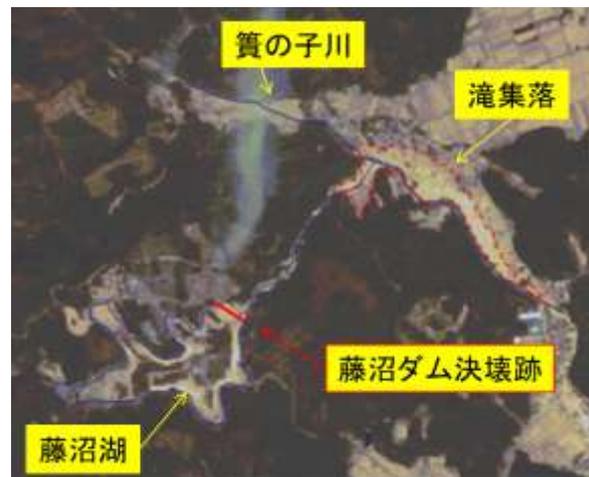


図4-1 藤沼湖 (GEO EYE-2 2011/04/15撮影)



図4-2 藤沼ダム決壊位置 (2011/04/11撮影)



図4-3 滝集落の氾濫現場 (2011/04/11撮影)

1) 福島県農林水産部：東北地方太平洋沖地震による農林水産部
 公共施設等被害について、http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/230427_aff_higai-02.pdf (Cited 2011/07/05).
 (川越 清樹)

4-5. 低地の地盤液状化

4-5-1 宮城県南部，白石盆地の地盤液状化

東町3丁目の地盤液状化 JR新幹線白石蔵王駅の設置にともなって，白石川支流齊川にそった低湿な水田地帯（齊川西岸の旧町名は沖）に宅地・工場が展開したところである。上水管の破断，下水のマンホールの浮き上がりが諸所で生じたが，東町3丁目では最大高さ約1.2mの抜け上がりが見られた（図5）。



図5 白石市東町3丁目 人孔の抜け上がり

鷹巣東3丁目の地盤液状化 JR新幹線白石蔵王駅の設置にともなって，その東側の丘陵地の中に入りこんだ水田地帯に宅地が拡大したところである。最大高さ約1m内外の下水のマンホールの抜け上がりが見られた。ほか白石市鷹巣東3丁目でも

人孔の抜け上がりや路面の陥没が見られた。

4-5-2 会津盆地西部の地盤液状化

会津盆地西部では，阿賀川氾濫原および扇状地面で噴砂が生じた。会津盆地西部では1964年新潟県沖地震でも地震噴砂が見られ（佐藤ほか，1992），1611年会津地震によって生じた塞き止め湖（山崎新湖、寒川1992）の範囲に集中したことが注目されているが、新潟県沖地震および今回の噴砂地点はその範囲の内外でみられた。

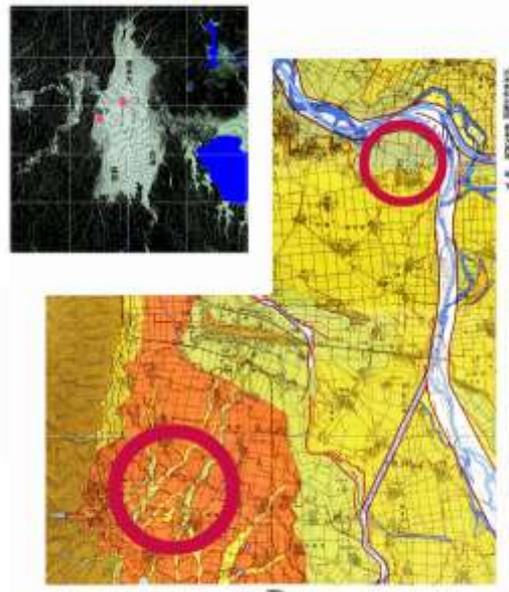


図6-1 会津盆地西部の噴砂発生地点

地形分類図は国土交通省1:25,000治水地形分類図

会津坂下町立川の阿賀川氾濫原の噴砂

立川付近の氾濫原と扇状地面とは比高2mほどの崖で接している。噴砂地点（図6-2中の赤い点）は会津坂下町の記録によった（7月時点では水田が修復されていた）。その分布は脈状を示すが，空中写真に示される幾筋もの旧河道のうちの特定の河道跡に一致しているとはいえない。

会津坂下町南部の扇状地面の造成耕地に生じた噴砂について

扇状地面の耕地整理は高速道路と同時に平成元年頃に完成した。耕地整理は台地状扇状地面と開析谷の原形を残しつつも大規模な改変（平坦化）が行われている。今回の噴砂地点は原地形（谷筋など）との厳密な対比を行う精度での地形図の重ね合わせができていないが，耕地の最大傾斜方向

に沿って脈状に現れ、上段に陥没を生じている例が多数見られた。

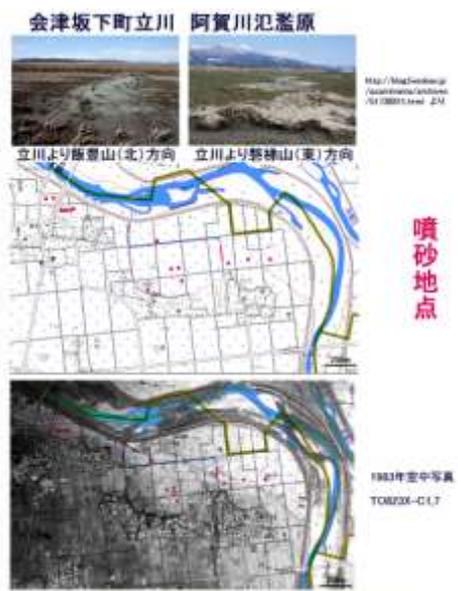


図6-2 会津坂下町立川の 阿賀川氾濫原の噴砂



図6-3 会津坂下町南部の扇状地面の造成耕地に生じた噴砂(左下図以外は7月撮影)(阿子島 功)

5. まとめ

広域に及んだ地震動による地盤災害について宮城県南部～福島県中通り地区を中心にその概要を述べた。長時間の強震動によってさまざまな地盤災害が生じており、丘陵地の自然斜面・造成斜面の崩壊・地すべり、溜池堤体の決壊による洪水、低地の軟弱地盤の液状化など多様な災害が発生している。地質、地形（特に造成前の地形）、構築

物の構造などの観点からさらに検討を行っている（2011. 8. 25）。

文 献 （一部）

- 阿子島 功(1996)1978年宮城県沖地震の地盤災害——人工地すべり地の問題——. 山形応用地質, 16, 30-39
- 阿子島 功(2004)2003. 5. 26三陸南地震による地盤災害数例. 山形応用地質, 24, 30-36
- 阿子島 功(2011. 4) 2011年東日本震災における宮城県白石市の地盤災害の特徴. 日本地理学会災害対応本部ホームページ, http://www.ajg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-eq.html
- 阿子島 功(2011. 5) 2011年東北地方沖地震による丘陵地の谷埋め造成地の被害例(仙台市緑ヶ丘, 白石市緑ヶ丘, 福島市あさひ台). 東北地理学会2011年春季大会
- Nobuo Mimura, Kazuya Yasuhara, Seiki Kawagoe, Hiromune Yokoki and So Kazama(2011.5) Damage from the Great East Japan Earthquake and Tsunami - A quick report. MITIGATION AND ADAPTATION STRATEGIES FOR GLOBAL CHANGE. DOI: 10.1007/s11027-011-9297-7
- 小野桂介, 風間聡, 川越清樹, 横尾善之(In press) 東北地方太平洋沖地震に伴う福島県須賀川市藤沼ダム決壊の概要. 自然災害科学
- 川越清樹, 風間聡, 横尾善之, 小野桂介(2011. 9 in press), 速報 東日本大震災による河川構造物の被害特性の報告. 地球環境シンポジウム 講演集
- 風間聡, 小野桂介, 川越清樹, 横尾善之, 牛山素行(2011. 9) 東日本大震災による福島県アースダム被災状況. 水文水資源学会研究発表会
- 川越清樹, 横尾善之, 風間聡, 小野桂介, 牛山素行, 増本隆夫, 仙頭紀明(東日本大震災対応調査研究グループ). (2011. 8) 地震によるアースフィルダムの被害諸特性と今後の影響に関する調査. 水文水資源学会東日本震災特別セッション
- 佐藤敏弘, 八島隆一, 小河靖男, 小林昭二 1992 会津盆地西縁における新潟地震による地震災害 福島大学教育学部論集(理科報告) 49, 7-13
- 寒川 旭(1992)地震考古学. 中央公論社
- 東北大学理学部地質古生物学教室(1979) 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について. 東北大学理学部地質古生物学教室研究報告, 80, 81ps, 7plates