

# 展 望

## 荒砥沢ダムの復旧対策の検討に関わって

宮城大学食産業学部

加 藤 徹

( KATO Toru )



平成 20 年 6 月 14 日に岩手・宮城内陸地震（最大震度 6 強，M 7.2）が発生し，宮城県栗原市，岩手県奥州市を中心に甚大な被害をうけました。最も大きい被災を受けた栗原市では，この 5 月になって 11 カ月ぶりに避難指示・勧告が解除され，また同時に「駒の湯温泉」跡で行方不明者になっている従業員 2 名の捜索も再開されました。まだまだ爪痕は生々しく残っています。

今回の岩手・宮城内陸地震の最初の揺れを感じたとき，とっさに宮城県沖地震？と思いました。それは，全国で今後の地震発生確率が最も高く予想されているのが宮城県沖地震で，10 年以内の発生確率は 70% 程度，20 年以内の発生確率は 90% 程度以上，30 年以内の発生確率は 99% 以上と予想され，いつ発生してもおかしくない状況にあるからです。しかし，震源地は岩手県内陸南部というニュース速報が流れ，内陸地震であることを知りました。内陸地震も宮城県では，平成 15 年（2003）7 月 26 日に前震（震度 6 弱，M 5.6），本震（震度 6 強，M 6.4），最大余震（震度 6 弱，M 5.5）と，震度 6 弱以上の地震が 1 日に 3 回発生した宮城県北部連続地震を経験しています。したがって，その内陸地震のときの被害状況が一瞬脳裏をよぎりました。ところが，被災地の状況がテレビの映像で流れるたびに，その様相はまったく異なるものであることを認識いたしました。そして，初めて現地に足を踏み入れたときに真っ先に目に入ってきた光景は，荒砥沢ダムに流入した土砂も含め，その背後に広がる大量の崩壊土砂でありました。それは斜面崩壊，土砂崩れなどと表現されるものとはあまりにも違い過ぎ，凄まじい山体崩壊の姿でありました。

今回の岩手・宮城内陸地震の復旧・復興のため国（農水省・林野庁・国土交通省），岩手・宮城両県の関係機関では，岩手・宮城内陸地震に係る 3 つの委員会・検討会を設置しました。それは，災害対策の基本方針と整備計画および警戒避難体制のあり方を検討する「土砂災害対策技術検討委員会」，迫川，磐井川，胆沢川流域における大規模な地すべり，山腹崩壊等の山地災害の本格的な復旧対策，計画を検討する「山地災害対策検討会」，貯水池内に大量の土砂が流入した荒砥沢ダムの復旧対策等を検討する「荒砥沢ダム復旧・復興対策検討会」の 3 つです。

農業農村整備関係で最も大きな被害を受けたのは荒砥沢ダムで、筆者も「荒砥沢ダム復旧・復興対策検討会」に関わらせていただきました。この検討会は、土砂流入によって失われた利水、治水機能の回復を中心とした復旧・復興対策の検討でしたが、なんとと言っても貯水池内に流入した土砂の扱いが最大の課題になりました。今回の地震では、約3,500カ所で崩壊・地すべりが生じ、130百万 $m^3$ の不安定土砂が発生しました。そのうち荒砥沢ダム上流域での推定土塊移動量は約67百万 $m^3$ と全体の約半分を占めます。このうち、荒砥沢ダムの有効貯水容量内への流入土砂量は約150万 $m^3$ 、有効貯水容量より上部（非洪水期サーチャージ水位以上）流入土砂量は約270万 $m^3$ 、合わせて約420万 $m^3$ の流入土砂量となりました。この流入土砂量の全量撤去は上流部の崩壊状況をもても現実的ではなく、結局は背後の大規模地すべりの安定性に影響を与えない範囲、すなわち大規模地すべりの受動破壊を助長する範囲とならないこと、ということで有効貯水容量内へ流入した土砂の約1/3に相当する約50万 $m^3$ （流入先端部）を排除することとしました。この判断をする上で、検討会のメンバーに「山地災害対策検討会」の座長で地すべりがご専門の先生、土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会の合同調査団の団長で地盤工学がご専門の先生方に加わっていただき、流入土砂撤去と上流地すべりとの関連について適切なお意見がいただけたのは大変良かったと思っております。さらに、この復旧・復興対策の基本方針が比較的短期間に決定できましたのは、関係機関の中でも中心的役割を果たされた東北農政局整備部と宮城県農林水産部農村振興課、国土部河川課の連携が非常に素晴らしかったことによるものと考えています。今回のような災害を想定して関係機関では災害対応のネットワークが事前に構築されていなかったと思われませんが、行政の底力を見させていただきました。この対応のうまくいった秘訣、たとえば失われた治水機能の回復については荒砥沢ダムを管理している県土木部が、利水機能の回復は荒砥沢ダムを建設した東北農政局と県農林水産部が主導的に対応することなどの役割分担の明確化と相互理解のノウハウ、などをきちんと整理して今後の災害対応マニュアルの一つとして継承していただければと考えております。

ところで、今回の地震では、荒砥沢ダム本体は基礎部（監査廊）の最大加速度が1,000 gal以上（ダム軸直角）と大きく揺すられた割には、堤体の天端において鉛直沈下量が20 cm程度にとどまりました。このことにより、わが国の世界に誇れるフィルダム建設の技術水準の高さを再認識させられました。また、荒砥沢ダムのある栗原市では死者9名、行方不明者8名と多くの犠牲者を出しました。あらためて哀悼の意を表したいと思います。一方、荒砥沢ダム建設の際に、水没のため立ち退き移転した戸数は5戸あり、その方々は今回の被災を免れることができました。現地の被災状況からみますと、もし荒砥沢ダムが建設されていなければ、かつての水没家屋地点まで大量の土砂が押し寄せていたものと推察されます。ダム建設における水没家屋移転は、現在の公共事業評価で言えば“なかりせば効果”としてきちんと評価されるべきものであるということも実感させていただきました。

この荒砥沢ダムをはじめ被災箇所はこれから本格的な復旧工事が進められますが、復旧工事が順調に進み、一日も早い復興を願わずにはおれません。

〔2009.6.4 受稿〕

## 荒砥沢ダム上流大規模地すべり周辺の地盤変動

The Surface Deformations due to the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 around the Large-scale Landslide at the Upstream of Aratozawa Dam

中里 裕 臣<sup>†</sup>  
(NAKAZATO Hiroomi)

奥 山 武 彦<sup>††</sup>  
(OKUYAMA Takehiko)

### I. はじめに

平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震では、国土地理院の GEONET により震央の周辺で南東への大きな移動と隆起を示す領域と西向き移動を示す領域が示された(図 1)<sup>1)</sup>。前者は震源断層の上盤側地盤、後者は下盤側地盤と考えられ、これらの境界付近には地表地震断層の出現が想定される。産業技術総合研究所活断層研究センターは地震直後より震源域の地表変状を調査し、荒砥沢ダム上流の大規模地すべり(以下、荒砥沢地すべりと呼ぶ)周辺でいくつかの「地震断層」を記載した<sup>2)-4)</sup>。そのうち荒砥沢地すべり北東の市道馬場駒ノ湯線を大きく変位させる横ずれ断層(以下、荒砥沢断層と呼ぶ)については、南北走向の分岐逆断層の南方延長が地すべりを縦断し、荒砥沢ダム右岸側の管理用道路に生じた圧縮変形に連続すること、断層が周辺の地すべりを誘発した可能性の高いことが指摘された<sup>2)-4)</sup>。本報では、地震前後の地盤変動を評価する手法として荒砥沢地すべり周辺における地震前後の各種の測地データに着目し、これらの比較により地震時の地盤変動と荒砥沢地すべりとの関係について検討する。

### II. 航空レーザー測量データの比較

荒砥沢地すべりの北西約 4 km の電子基準点栗駒 2 では、地震により南東へ 1.5 m の水平変位、2.1 m の隆起が観測されており<sup>1)</sup>、周辺地盤では m オーダーの 3 次元的な変位分布が予想される。航空レーザー測量データは世界測地系に基づく高密度の 3 次元座標値の集合であることから、地震前後の航空レーザー測量データを比較し、その変化から地盤変動状況の把握を試みた。ここで、2 時期の DEM を利用した平面座標点ごとの高さ成分の差分解析では、3 次元的地盤変動による上下動成分と水平移動成分を分離できないため、2 m メッシュ DEM から作成した 5 m 等高線図を重ねあわせ、等高線の重なり具合から地表変動の定性的傾向を検討した。航空レーザー測量データは国際航業株式会社により地震前の 2006 年と地震直後の 2008 年 6 月 15~16 日に取得されたもので、地物除去処理後の 2 m メッシュ DEM である。等高線図は、2 時期のデータが存在する領域について、Golden Software 社製 Sufer を用いてクリギング補間により作成した。

図 2 の範囲について 2 時期の等高線の重なり具合を検討した結果、以下の 2 点を指摘できる。

図 3 の範囲では、図中の太一点鎖線を境界として、北側では地盤全体の東方向への移動を示す等高線の系統的なずれが認められる。これは尾根部を通過する市道馬場駒ノ湯線にみられる右横ずれ変位と調和する。この境界線の中央部は、太実線で示した荒砥沢断層の東西走向区間に、東部では北東-南西走向区間に、西部では南北走向区間にそれぞれほぼ一致する。

図 3 の太一点鎖線より南側では、等高線の補間に伴う誤差の影響が少ないと考えられる急斜面や尾根のピーク部(図 4)および植生のないダム堤体(図 5)などに着目すると、等高線分布がほぼ重なる箇所が多数認められる(図 2 の楕円部)。特に荒砥沢ダム右岸については、管理用道路に生じた圧縮変形(図 5 の

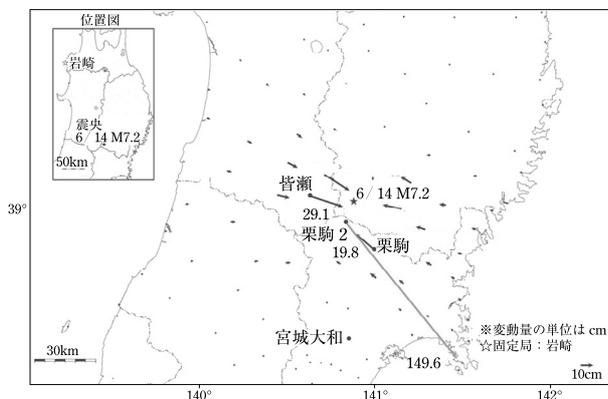


図 1 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動ベクトル図(水平変動)

<sup>†</sup>農村工学研究所  
<sup>††</sup>山形大学農学部



地震断層, 地すべり, 航空レーザー測量, GPS, 測地データ

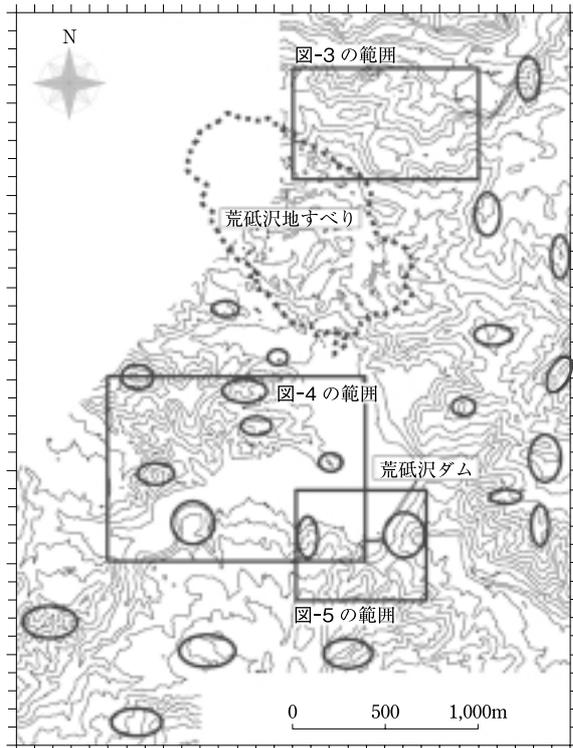


図2 地震前後の地形変化検討範囲。地震後の航空レーザ測量データによる20 m等高線図。楕円は不動と判定される尾根部等

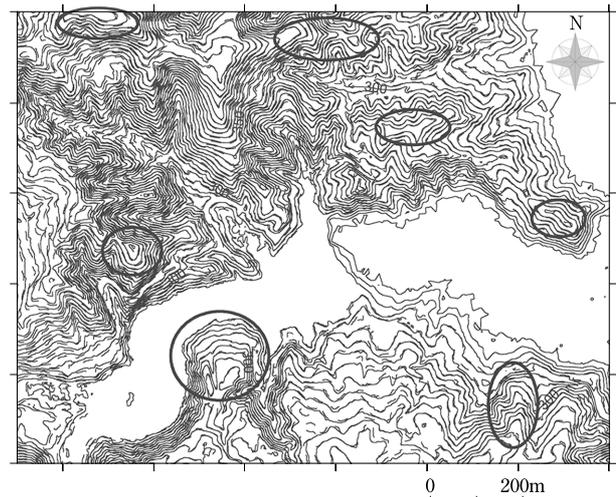


図4 荒砥沢ダム湖周辺の5 m等高線図の比較。凡例は図2, 3に同じ

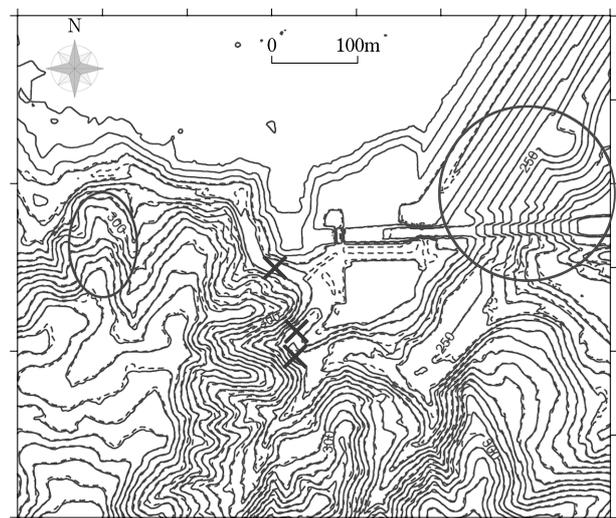


図5 荒砥沢ダム周辺の5 m等高線図の比較。凡例は図2, 3に同じ。xは管理用道路に生じた圧縮変形

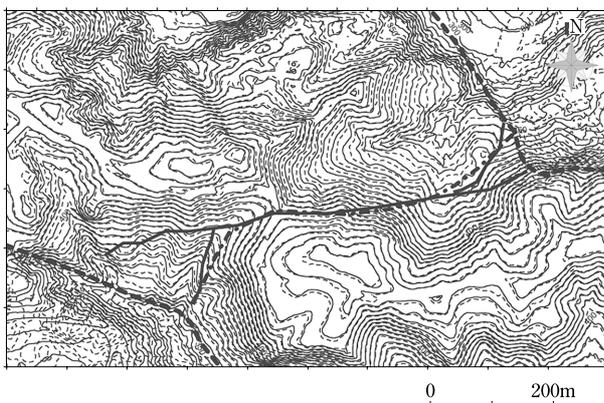


図3 荒砥沢断層周辺の5 m等高線図の比較。細実線は2006年、細破線は2008年データ、太一点鎖線は等高線分布状況の異なる範囲境界、太破線は大規模地すべり地の境界、太実線は荒砥沢断層<sup>4)</sup>

×印)の東西両側で等高線分布の一致箇所が認められ、のような等高線分布の広域的なずれは認められない。

これらの点から、検討範囲における荒砥沢断層の南側では、2 mメッシュDEMに基づく等高線図の変化として現れるようなオーダーの大きさの地形変化は生じていないと考えられる。

### III. 基準点座標の変化

図1によると、電子基準点栗駒2と栗駒の水平変位は対向しており、その間に地表地盤変動の収束境界が存在するはずである。そこで、これら2点の間で収束境界の位置を限定するため、地震前後の測地座標の変化が求められる点として、表1に示す電子基準点<sup>1)</sup>、GPS連続観測点<sup>5)</sup>、三角点および荒砥沢ダム基準点を取り上げ、これらの座標変化を図6に示した。三角点および荒砥沢ダム基準点の地震後の座標は、国土地理院による電子基準点測量成果改訂後に電子基準点栗駒2等を基準点としてGPS測量により求めたものである。

図6によると、荒砥沢地すべり西側の三等三角点木立は地震前の座標値に対し、南東に2.1 mの水平

表 1 基準点座標の変位量

基準点名	種別	南北変位 北が+ (m)	東西変位 東が+ (m)	水平変位 (m)	上下変位 (m)
栗駒 2	電子基準点	-1.17	0.93	1.49	2.09
木立	三等三角点	-1.39	1.52	2.06	1.52
日影森	三等三角点	0.12	-0.33	0.35	0.09
駒堂	四等三角点	0.01	-0.57	0.57	-0.31
固定点 A	ダム基準点	0.02	-0.57	0.57	0.13
固定点 C	ダム基準点	0.12	-0.16	0.20	0.61
固定点 E	ダム基準点	0.18	-0.54	0.57	-
固定点 H	ダム基準点	0.12	-0.62	0.63	0.22
櫃ヶ森	東北大 GPS 点	0.25	-0.20	0.32	-0.07
栗駒	電子基準点	0.13	-0.14	0.20	-0.02

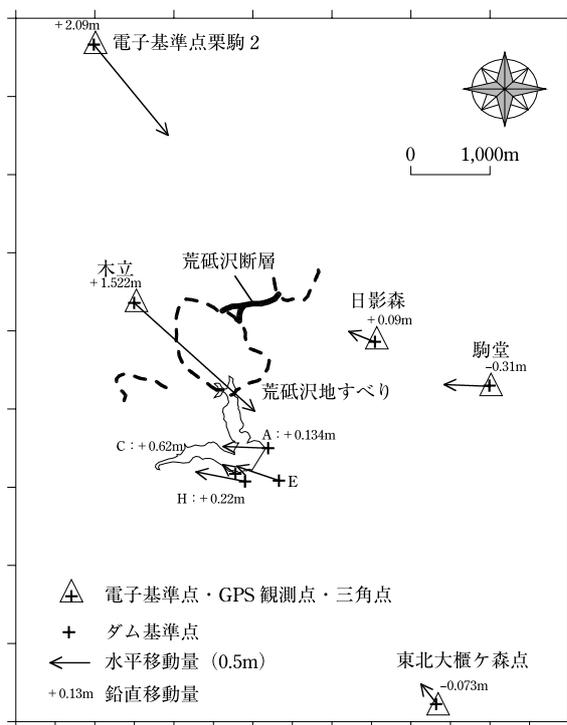


図 6 地震前後の基準点座標変化

変位と 1.5 m の隆起と、電子基準点栗駒 2 と同様の大きな変位量と向きを示す。これに対し、荒砥沢地すべり東方の三等三角点日影森では西北西に 0.35 m の水平変位と 0.09 m の隆起、四等三角点駒堂では西に 0.57 m の水平変位と 0.31 m の沈下と、先の 2 点とは大きく異なる向きと大きさの変位を示す。荒砥沢ダム基準点では堤体左右岸の基準点では西～西北西に 0.46～0.63 m の水平変位、0.05～0.22 m 隆起を示し、ダム右岸の圧縮変形の西側の基準点 C では北西に 0.20 m の水平変位と 0.61 m の隆起を示す。

これらの結果を総合すると、荒砥沢断層および荒砥沢地すべりより北西側では m オーダーの南東向き水平変位と隆起を示す。そして、南東側では東北大櫃

がもり  
ヶ森観測点<sup>5)</sup>および図 6 には示していない電子基準点栗駒を含めて西～北西向き 0.20～0.63 m の水平変位を示し、荒砥沢断層寄りでは隆起、荒砥沢断層から離れるに従い沈下の傾向を示す。これらの変動傾向の大きく異なる地盤の境界は、やはり荒砥沢断層に求められる。ダム右岸の圧縮変形の東西での基準点座標の変化は、道路に現れた東西圧縮、西側隆起の変位と調和する。しかし、圧縮変形西側の固定点 C においても西向き変位を示すことから、この部分が栗駒 2 や木立と同じ地盤ブロックに属するとは考えにくい。この圧縮変形発生箇所は、ダム基礎となっている硬質の葛峰層と上位の軟質な小野松沢層との不整合部に相当しており、不整合面を境とする地層の震動特性の違いが変形の要因として指摘されている<sup>6)</sup>。したがって、荒砥沢断層の西側延長は、荒砥沢地すべりの頭部を横断し、西～南西方向へ続くものと推定される。そして、地すべり頭部における斜面下方方向への断層変位は、地震動とともに荒砥沢地すべりの活動の大きな要因になったと考えられる。

#### IV. 地盤変動の時系列変化

それでは、地震に伴う m オーダーの地盤変動はどのような経過で生じたのだろうか。地盤変動の時系列変化を解明するため、GPS データをエポックごとに干渉測位解析するエポック・バイ・エポック解析法<sup>7)</sup>を用いて、電子基準点の詳細な変位の解析を試みた。

図 7 は、地震前後で変動の小さかった電子基準点宮城大和(図 1)を基準として電子基準点栗駒 2 の本震前後の変位について、標準の電子基準点 GPS データである 30 秒間隔で解析したものである。各成分の m オーダーの変位は 1 エポック 30 秒以内に生じていることが示されている。一方、電子基準点では RTK 測位用に 1 秒エポックのデータも生成されている。栗駒 2 では本震直後に 1 秒エポックデータが途絶えたため、栗駒 2 の次に水平変位が大きかった電子基準点皆瀬(位置は図 1 参照)について電子基準点宮城大和を基準局とする 1 秒エポックデータの解

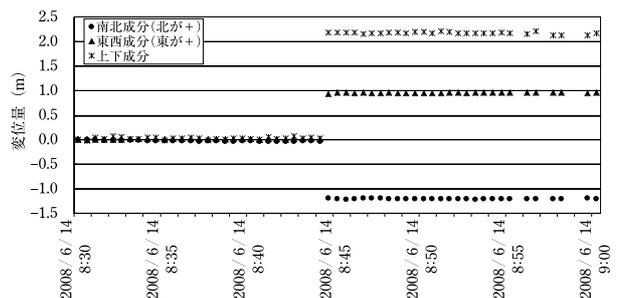


図 7 電子基準点栗駒 2 の 30 秒エポックごとの変位

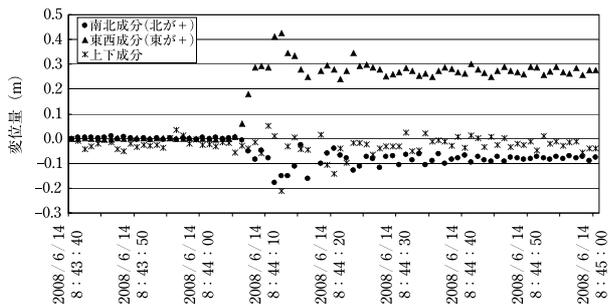


図8 電子基準点皆瀬の1秒エポックごとの変位

析を行った。皆瀬では電子基準点岩崎（青森県，位置は図1参照）を基準局として東南東に0.29 mの水平変位，0.02 mの沈下が確認されている<sup>1)</sup>。図8によると本震発生直後の約10秒間，すなわちほぼ本震継続時間に相当する時間のうちに0.29 mの水平変位が生じていると判断される。

このような短時間のうちに生じた大きな地盤変動は，荒砥沢地すべりの発生に直接的に関与した可能性が高いことを支持する。

## V. おわりに

地震前後の航空レーザ測量データおよび基準点座標の測地データの変化により，荒砥沢地すべり周辺の地盤変動の把握を試みた，その結果，荒砥沢断層が変動量および変動方向の大きく異なる地盤同士の境界となることを示し，さらに，荒砥沢断層の西側延長は荒砥沢地すべりの頭部を横断し，南西方向に続く可能性が高いこと，短時間に生じた断層変位が地すべり活動の大きな要因となった可能性が高いことを示した。

荒砥沢断層は地表変動の収束境界に相当するが，地下の震源断層との関係については反射法探査等の地下地質調査により明らかにしていく必要がある。また，荒砥沢断層の東西への延長部の把握には，今回の検討範囲よりさらに周辺の三角点について地震前後の座標変化を明らかにすることが有効と考えられる。

**謝辞** 本報文のとりまとめに当たり，農林水産省東北農政局，宮城県農林水産部，栗原市の関係各位には，

現地調査，データ収集にご協力いただいた。国土地理院には電子基準点データおよび公表停止中の基準点測量成果を利用させていただいた。東北大学太田雄策博士には東北大学のGPS観測データについてご教示いただいた。これらの皆様に謝意を表します。

## 引用文献

- 1) 国土地理院：平成20年(2008年)岩手宮城内陸地震に伴う地殻変動(第2報)，<http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60032.html> (2008)
- 2) 吉見雅行，丸山 正，遠田晋次，金田平太郎，粟田康夫，安藤亮輔，吉岡敏和：2008年岩手・宮城内陸地震の緊急調査報告，AFRC NEWS, No 81, pp 5~12(2008)
- 3) 遠田晋次，吉見雅行，丸山 正：荒砥沢ダム北方，斜めずれ断層トレースとその重要性，AFRC NEWS, No 81, p.13(2008)
- 4) 吉見雅行，遠田晋次，丸山 正：2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地震断層，最大右横ずれ量4-7mの荒砥沢ダム北方地震断層トレース，活断層研究29, pp i~ii(2008)
- 5) Ohta, Y., Ohzono, M., Miura, S., Iinuma, T., Tachibana, K., Takatsuka, K., Miyao, K., Sato, T. and Umino, N.: Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced by a dense GPS network, Earth Planets Space, Vol.60, pp.1191~1195(2008)
- 6) 日本応用地質学会平成20年岩手・宮城内陸地震調査団：「平成20年岩手・宮城内陸地震」災害第一次現地調査報告，応用地質50, pp 98~108(2009)
- 7) 内山雅行：エポック・パイ・エポックによる精密な基線解析とアプリケーションについて・RTDの紹介，GPS/GNSSシンポジウム2004, pp 67~71(2004)  
[2009.5.11 受稿]

### 中里 裕臣 (正会員)



1987年 千葉大学大学院修了  
農林水産省入省  
東北農政局，北陸農政局を経て  
2008年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所基礎地盤研究室長  
現在に至る

### 略 歴

### 奥山 武彦 (正会員)



1981年 東京農工大学大学院修了  
農林水産省入省  
(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所を経て  
2009年 山形大学農学部教授  
現在に至る

## 農業用大ダムの被災状況と地震時挙動

Damage and Seismic Behavior of Large Dams for Irrigation

増川 晋<sup>†</sup> 浅野 勇<sup>†</sup> 田頭 秀和<sup>†</sup> 林田 洋一<sup>†</sup>  
 (MASUKAWA Susumu) (ASANO Isamu) (TAGASHIRA Hidekazu) (HAYASHIDA Yoichi)

### I. はじめに

平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震(2008 年 6 月 14 日 8 時 43 分ころ、深さ 8 km、気象庁マグニチュード 7.2)が発生した震央の地域を中心に、ダム左岸の貯水池上流の国有林野に大規模地すべり<sup>2</sup>が発生した荒砥沢ダムを始め多数の農業用大ダムが供用されていたが、安全性に問題が生じるような顕著な変状は発生せず、貯水・構造機能が確保されていた。

本地震における震央近傍の主な農業用大ダムの被災状況と地震観測の加速度波形記録から地震時挙動の特徴について報告する。

### II. 地震の概要<sup>1)</sup>

平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震において岩手県奥州市衣川区と宮城県栗原市一迫(共に地方公共団体の震度観測点)で震度 6 強、栗原市栗駒や宮城県大崎市古川三日町(共に気象庁の震度観測点)で震度 6 弱を観測した。東北地方を中心に北海道から関東・中部地方にかけて震度 5 強~1 を観測した。震度分布では、震源の南東側の震度が大きい傾向が現れていた。奥州市衣川区では三方向合成  $1.8165 \text{ cm/s}^2$  および KiK-net の IWTH 25(一関西<sup>3)</sup>)では地表上下動  $3.866 \text{ cm/s}^2$ 、三方向合成  $4.022 \text{ cm/s}^2$  と重力加速度の 2~4 倍に相当する加速度を記録した。本震は、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、地殻内で発生した。

### III. 被災状況

図 1 に本地震の震央と震央近傍の大ダムの位置を示す。震央の東側から南側を取り囲むように衣川防災ダム群の衣川 1~5 号ダムの 5 ダムと栗駒ダムと荒砥沢ダムが位置している。これらのダムのうち、衣川防災ダム群の 5 ダムのうち 4 ダムと荒砥沢ダムが被災した。衣川防災ダム群の被災 4 ダムのうちの衣川 1 号ダムでは、堤頂上流側法肩の石積バラベットおよび

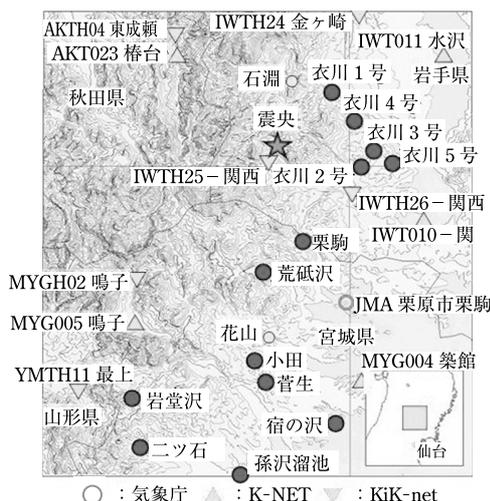


図 1 震央( )と農業用大ダム( )の位置

この上部の高欄が堤体中央を中心に堤頂のダム軸に沿って上流側へ傾倒した。さらに、堤頂下流側法肩部にダム軸方向に亀裂が発生した<sup>4)</sup>。本ダムは均一型フィルダム、堤高が 35.5 m、1963 年竣工であり、震央距離は約 11 km と農業用大ダムの中で最も震央に近いダムであった。地震発生時、貯水されていなかった。他の防災 4 ダムは、傾斜遮水型・中心遮水型ロックフィルダムや複合ダム、堤高は 20.5~41 m、1954~1987 年竣工と多様である。栗駒ダム(重力式コンクリートダム、堤高 57 m、1962 年竣工)は震央距離が約 14 km と農業用大ダムの中で衣川 1~4 号ダムについて五番目に震央に近いダムであった。しかし、堤体の安全性に問題は認められなかった<sup>5)</sup>。

#### 1. 荒砥沢ダムの被災状況

荒砥沢ダムは中心遮水ゾーン型ロックフィルダム、堤高が 74.4 m、有効貯水量が  $13.510 \text{ km}^3$ 、1998 年に竣工したダムである。震央距離は約 16 km である。本ダムはマグニチュードと震度分布(旧震度階)による経験則からは旧震度階の震度 VI<sup>6)</sup>の範囲内(震央距離約 21 km に相当する円内)に位置する。

本ダムの被災状況は以下に示すとおり顕著な被害は

<sup>†</sup>農村工学研究所

なく、貯水機能が確保されていた。地震後の安全点検における沈下量や移動量の測定において測量固定点の移動が考えられたため、絶対値を得るための基準点からの再測量を実施した。この結果、ダムサイトの地盤において全体が西やや北方向へ最大 60 cm 程度の水平移動および 5 ~ 25 cm 程度の隆起が確認された。

(1) 浸透水量・濁度・間隙水圧 浸透水量は、地震前後において総浸透水量（右岸・河床・左岸部の3系統の合計）が 200 L/min から 250 L/min に増加した。この増加した浸透水量は既往の観測結果を超過しなかった。濁度は、地震直後に増加したが、すぐに減少傾向となり数日間の経過後に地震前の観測値に戻っている。間隙水圧は、基礎岩盤内では地震直後に減少したが、時間経過とともに地震前の観測値に戻り、堤体内では地震直後に上昇し、地震前よりわずかに上昇した値（98.1 kN/m<sup>2</sup>（1 kgf/cm<sup>2</sup>）前後）に収束した観測点が多く見られた。コアゾーン下流の観測点では間隙水圧の上昇は観測されなかった。

(2) 堤体 最大横断面の堤頂部付近において約 20 cm 沈下した。2 測線（No.12+10.0 断面：堤頂中央の最大横断面付近と No.16 断面：右岸寄りの横断面）の層別沈下計測用の塩ビ管がマンホールからそれぞれ 34 cm と 12.5 cm 突き出していた（写真 1）。堤体と右岸の洪水吐との境界近くの堤頂保護アスファルトに上下流方向の亀裂が 2 か所発生していた（写真 2）。これらの亀裂は、開削調査によって保護アスファルト下面路盤で消失し、コアゾーンに到達・存在していないことが確認されている。このような箇所は平



a) No.12+10.0 断面



b) No.16 断面

写真 1 層別沈下計測用の塩ビ管の突出

写真 2 堤体と右岸の洪水吐との境界近くの堤頂の状況  
（覆いシート部に上下流方向の亀裂が存在）

成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震で被災した谷山ダム<sup>7</sup>や常盤ダム<sup>8</sup>などでも発生している。写真 2 の上流側法肩に見られるような高欄石柱の転倒、高欄石柱がダム軸に向かって傾倒している箇所があった。この傾倒は、約 1 割の石柱に見られ、堤体中央部では少ない傾向であった。

(3) 地山 右岸地山にある管理道路において既知の地層の不整合面（葛峰層 小野松沢層）の場所と一致する箇所でも路面上に横断亀裂・段差が発生した。これらの路面変状箇所における路肩の側溝は、これらの変状につながる亀裂・段差等の変状が目視において認められなかった。この亀裂・段差が最も大きい箇所に近接した地山法面では布製型枠の破断や浮き上がりが生じた。また、堤体に近い右岸地山の旧沢地形における盛土の重力式擁壁に亀裂等が発生した。堤体に近い左岸地山の法面においてロックボルトの浮き上がりが発生した。右岸に位置する取水塔の管理橋の取水塔側への相対的な移動により橋桁支承が破損、取水塔では取水ゲートの巻き上げに支障が生じた。

(4) 貯水池への土砂流入 大規模地すべりによる崩壊土砂の貯水池への流入によって貯水位は約 2.5 m 上昇した。流入した土砂量は約 150 万 m<sup>3</sup> と推定されている。この量は 100 年間の設計堆砂量 62 万 m<sup>3</sup> の約 2.4 倍、非洪水期の有効貯水量 1351 万 m<sup>3</sup> の約 11% に相当する膨大な量である。

## 2. 小田ダムの被災状況

小田ダムは中心遮水ゾーン型ロックフィルダム（ブランケット有り）、堤高が 43.5 m、有効貯水量が 9,010 千 m<sup>3</sup>、2005 年竣工である。震央距離は約 31 km である。本ダムは前述の経験則からの旧震度階では震度 V の範囲内に位置する。

小田ダムの被災状況は以下に示すとおり顕著な被害はなく、貯水機能が確保されていた。

(1) 浸透水量・濁度・間隙水圧 浸透水量は、地震前後において総浸透水量が約 120 L/min 増加した。地震後、緩やかに減少し 1 か月間程で地震前の値となった。濁度は、地震直後に増加したが、この濁りはドレーン導水管に堆積した酸化鉄、酸化マンガンの流出による濁りであった。間隙水圧は、地震後にすべての観測点で増加した。堤体内に比較して基礎地盤内での増加が大きい傾向であった。

(2) 堤体 堤頂の両法肩の縁石コンクリートでの排水孔がある断面縮小箇所において屈曲し、その両端において圧壊している箇所が複数箇所において認められた（写真 3）。これらの箇所において保護アスファルトと縁石コンクリートの接合部に隙間等の変状は認められず、縁石コンクリートが長軸方向に圧縮を受け



写真 3 縁石コンクリートの屈曲と圧壊

ての破壊と考えられる。

上下流方向に4~7 cm, ダム軸右岸方向に7~15 cm 程度, 堤体全体が右岸上流側に変位した。層別沈下計の計測結果から, 堤体は左岸側で7 cm, 中央で6 cm, 右岸側で4 cm の沈下が発生した。さらに, 監査廊の水準測量によれば左岸部および河床部は約7 cm, 右岸部は4~6 cm の基盤沈下を生じていた。

(3) 地山 左岸の堤体上流側の池敷き斜面の護岸において小規模な崩壊が発生した。

#### IV. 地震時挙動

栗駒, 荒砥沢および小田ダムの各ダムの地震観測記録を表 1, 2 および 3 に示す。表中の各欄の下段の数値は, 基礎部(栗駒ダムでは下部監査廊)の加速度記録を入力加速度とした場合の加速度増幅率である。荒砥沢ダムの記録の表 2 での基礎部(監査廊底部)の上下流方向と右岸地山の鉛直方向における「-」は  $1.024 \text{ cm/s}^2$  を記録しているが, 地震計の計測上限値(1G)を超過していることから, 正確な最大加速度値が記録されていないと判断される。栗駒ダムの下部監査廊と右岸地山における最大加速度は, ダム位置が荒砥沢ダムより震央に近いにもかかわらず荒砥沢ダムの値に比較して小さい。小田ダムの最大加速度は, 基礎から中間部, 堤頂へと値が増加し, 堤体内において地震動が増幅されている。一方, 荒砥沢ダムのダム軸方向ではこの傾向は現れておらず, 堤体内で最大加速度は小さくなっている。鉛直方向はこの増幅傾向が現れ

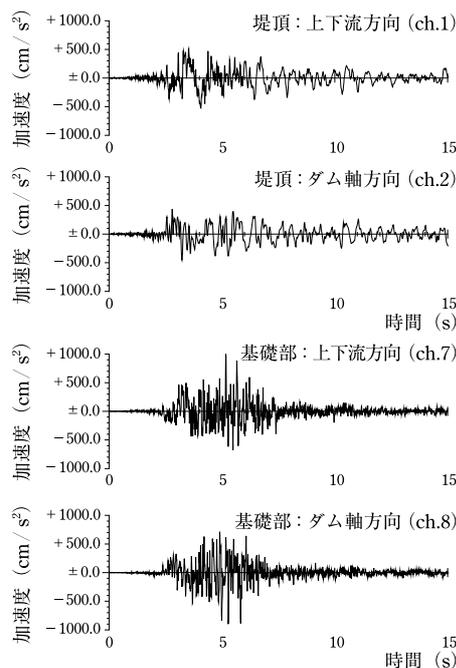


図 2 荒砥沢ダムの加速度波形

ているが, 堤体内の最大加速度は基礎の値より小さくなっている。フィルダムにおいて入力加速度(基礎観測点の加速度)が増加しても, 堤頂での加速度の増幅は一定値に収束するのが一般的である。荒砥沢ダムの場合, 既観測結果から入力加速度がおおよそ  $100 \text{ cm/s}^2$  を超えるとおおよそ3~4倍程度の増幅<sup>9,10)</sup>と考えられる。したがって, 本地震での堤体の増幅特性は既知の傾向と異なっている。

荒砥沢ダムの加速度波形を図 2 に示す。基礎部は堤頂に比較して高い振動数の波形である。堤頂は低い振動数の波に高い振動数の波がのっているような波形である。さらに, 基礎部の最大加速度のピークに対応する堤頂でのピークが認められない。これら2観測点の水平2方向のパワ・スペクトルを図 3 に示す。基礎部では約5 Hz(上下流方向)および約7 Hz(ダム軸方向), 堤頂で約0.9 Hz(上下流方向)および約1.7 Hz(ダム軸方向)にピークが現れている。1996

表 1 栗駒ダムの記録(上段: 最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ ), 下段: 加速度増幅率)

	上下流方向	ダム軸方向	標高(m)
堤頂右岸	535 1.94	511 1.11	200.0
堤頂左岸	666 2.41	922 2.00	200.0
下部監査廊	276 1.00	461 1.00	157.3
右岸地山	421 1.53	463 1.00	183.0

表 2 荒砥沢ダムの記録(上段: 最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ ), 下段: 加速度増幅率)

	上下流方向	ダム軸方向	鉛直方向	標高(m)
堤頂	525	455 0.51	622 0.90	279.4
中間部 2/3 H	535	478 0.53	470 0.68	250.0
基礎部		899 1.00	691 1.00	205.0
右岸地山	843	798 0.89		284.5

表 3 小田ダムの記録(上段: 最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ ), 下段: 加速度増幅率)

	上下流方向	ダム軸方向	鉛直方向	標高(m)
堤頂	254 1.69	248 1.64	269 2.19	168.5
中間部 2/3 H	185 1.23	164 1.09	151 1.23	150.0
基礎部	150 1.00	151 1.00	123 1.00	123.5

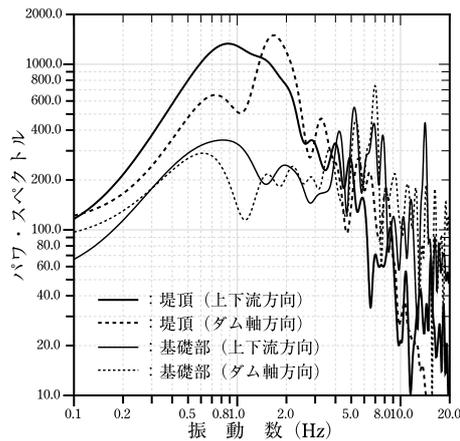


図3 荒砥沢ダムの加速度波形のパワ・スペクトル

年8月11日に発生した3回の地震(基礎部で20~30 cm/s<sup>2</sup>の最大加速度)では堤頂の上下流およびダム軸方向が約2.5 Hzと約2.7 Hz<sup>9)</sup>, 2003年5月26日の宮城県沖の地震(基礎部で100 cm/s<sup>2</sup>前後の最大加速度)では堤頂で2.3 Hz程度<sup>10)</sup>にピークが現れていた。これらから, 大きな入力加速度では堤体の応答加速度波形の振動数に現れるピークは低い振動数に移り, 土質材料の非線形性による固有振動数の変化を現していると考えられる。

#### IV. おわりに

大きな入力加速度を受けたにもかかわらず, それぞれの農業用大ダムは安全性に支障が生じる被害は発生していなかった。このことは現在の設計基準や施工方法においてダムの安全性を確保できていることを示していると考えられる。ダムの耐震性の向上のためには今回得られた特徴的な知見を有益に反映していく必要がある。荒砥沢ダムでは, ダムサイトの地盤全体が移動し表面変位計測用の固定点も移動し, ダム堤体や地山の変位の絶対値を得るための公共基準点からの再測量に労力・時間を要した。地震後の調査・復旧を迅速に行うためには, 固定点やダム堤体および地山の表面変位計測点のGPSによる高精度な絶対座標の把握も今後の地震対策として重要である。

調査の実施や記録の提供等に農林水産省東北農政局管内および宮城県農林水産部の関係各位にご協力を頂いた。ここに, 記して感謝の意を表します。また, (独)防災科学技術研究所のKiK-netの観測波形および気象庁の観測波形を用いました。ここに, 記して感謝いたします。

#### 引用文献

1) 気象庁: 災害時地震速報平成20年(2008年)岩手・宮城

内陸地震, 災害時自然現象報告書, 2008年第1号, pp.1~23(2008)

- 2) 増川 晋, 中里裕臣: 荒砥沢・小田ダムおよび荒砥沢ダム上流大規模地すべり調査報告, 水土の知76(8), pp.7~9(2008)
- 3) (独)防災科学技術研究所: 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震において記録されたきわめて大きな強震動について, [http://www.k-net.bosaigo.jp/k-net/topics/Iwatemi-yaginairiku\\_080614/IWTH25\\_NIED.pdf](http://www.k-net.bosaigo.jp/k-net/topics/Iwatemi-yaginairiku_080614/IWTH25_NIED.pdf) (2008)
- 4) 千葉 匡: 平成20年岩手・宮城内陸地震による岩手県内の被害の概要, 水土の知76(8), p.5(2008)
- 5) 石垣利浩: 平成20年岩手・宮城内陸地震による宮城県内の被害の概要, 水土の知76(8), p.5(2008)
- 6) 増川 晋, 安中正実, 田頭秀和: 農業用ダムの地震時安全点検システム, 農士誌64(3), pp.41~46(1996)
- 7) 増川 晋, 浅野 勇, 田頭秀和, 堀 俊和: 兵庫県南部地震による農業水利施設の被害, 農士誌63(3), pp.1~5(1995)
- 8) 増川 晋, 安中正実: 盛土構造物の地震後の調査と対策の事例, 農士誌65(9), pp.29~34(1997)
- 9) 増川 晋, 向後雄二, 浅野 勇, 林田洋一: 地震観測による複数のフィルダムの地震時挙動, 農工報41, pp.19~59(2002)
- 10) 増川 晋, 中西憲雄: 宮城県沖の地震(2003年5月26日)における農業用大ダムの地震時挙動, 農工報44, pp.105~138(2005)

[2008.5.12 受稿]

#### 増川 晋(正会員)



1985年 神戸大学大学院農学研究科修了  
農林水産技術会議事務局などを経て  
2007年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所施設資源部構造研究室長  
現在に至る

#### 略歴

#### 浅野 勇(正会員)



1988年 東京農工大学農学部卒業  
農業工学研究所, 農林水産技術会議事務局を経て  
2008年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所施設資源部構造研究室主任  
研究員  
現在に至る

#### 田頭 秀和(正会員)



1992年 京都大学大学院農学研究科修了  
農業工学研究所, (独)北海道開発土木研究所を経て  
2007年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所施設資源部構造研究室主任  
研究員  
現在に至る

#### 林田 洋一(正会員)



2000年 京都大学大学院農学研究科修了  
農業工学研究所  
2006年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所施設資源部構造研究室研究員  
現在に至る

## 岩手・宮城内陸地震による宮城県内の農地被害と対応

Responses to Damaged Agricultural Lands by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake  
in Miyagi Prefecture

千葉 克己<sup>†</sup>  
(CHIBA Katsumi)

米澤 千夏<sup>††</sup>  
(YONEZAWA Chinatsu)

加藤 徹<sup>†</sup>  
(KATO Toru)

### I. はじめに

2008 年 6 月 14 日、岩手県奥州市を震源とするマグニチュード 7.2 の地震が発生した。主な被災地は宮城県北部と岩手県南部の中山間地域であり、宮城県栗原市、岩手県奥州市では震度 6 強を記録した。2009 年 4 月 7 日現在、宮城県内における人的被害は死者 10 人、行方不明者 8 人、負傷者 365 人であり、公共施設被害は総額 1,094 億円に及んでいる。

本報では、この地震による宮城県内における被害の概要を述べる。また県内で最も大きな被害を受けた栗原市における農地・農業施設被害とその対応等について報告する。なお、荒砥沢ダム等の大規模農業施設被害については、別途報告されるため、本報では割愛する。

### II. 宮城県内の被害

#### 1. 被害の概要

震災による県内の人的被害は震度 6 強が観測された栗原市で最もひどく、死者 9 人、行方不明者 8 人、負傷者 180 人であった(表 1)。避難指示・勧告は栗原市と大崎市の 150 世帯に出されたが、栗原市の 120 世帯については 2009 年 4 月 7 日現在まだ解除されていない。公共施設の被害については、農林水産業関係被害が 596 億円、土木施設被害が 409 億円と、これらで総被害額の 9 割以上を占めた(表 2)。また、農林水産業関連のうち農業関連の被害額は 288 億円であり、そのうち農地・農業用施設の被害が 280 億円(575 カ所)であった。新潟県中越大地震の 1 兆 6 千億円<sup>1)</sup>と比べ、総被害額は少ないものの、農業・農村に大打撃を与えた震災であった。

#### 2. 県による被害額把握の過程

県は地震発生後から 2009 年 4 月 7 日まで 64 報の被害報告を公表している。農林水産業関係被害額は産業被害として地震発生翌日 6 月 15 日の第 4 報から公表された。地震発生から 10 日間の農林水産業被害額

表 1 宮城県内の人的被害(2009.4.7 現在)  
(人)

市町村	死者	行方不明者	負傷者		計
			重傷	軽傷	
栗原市	9	8	28	152	197
仙台市	1	0	3	23	27
角田市	0	0	1	0	1
塩竈市	0	0	0	1	1
名取市	0	0	1	29	30
利府市	0	0	0	1	1
大崎市	0	0	9	72	81
色麻町	0	0	0	1	1
加美町	0	0	2	5	7
涌谷町	0	0	0	1	1
美里町	0	0	7	18	25
登米市	0	0	2	7	9
東松島市	0	0	0	1	1
気仙沼市	0	0	1	0	1
計	10	8	54	311	383

表 2 宮城県内の公共施設被害(2009.4.7 現在)

区分	箇所数	被害額 (千円)	割合 (%)
土木施設被害	359	40,888,100	37.4
経済商工観光関係被害	881	7,091,781	6.5
農林水産業関係被害	986	59,569,182	54.4
文教施設被害	257	896,246	0.8
保健福祉関係被害	44	44,453	0.0
環境生活関係被害	14	859,393	0.8
県立病院関係被害	2	70,475	0.1
公営企業関係被害	8	20,810	0.0
その他の公共施設被害	50	22,026	0.0
計		109,462,466	100.0

の推移をみると、6 月 24 日に被害額が 590 億円に達しており(図 1)、県はおよそ 10 日で被害のほとんどを把握していた。

なお、県と栗原市に確認したところ、道路の破壊等によって立ち入りできない一部の地域を除き、農地・農業用施設被害の把握が特に遅れた地域はなかったとのことである。

<sup>†</sup>宮城大学  
<sup>††</sup>東北大学



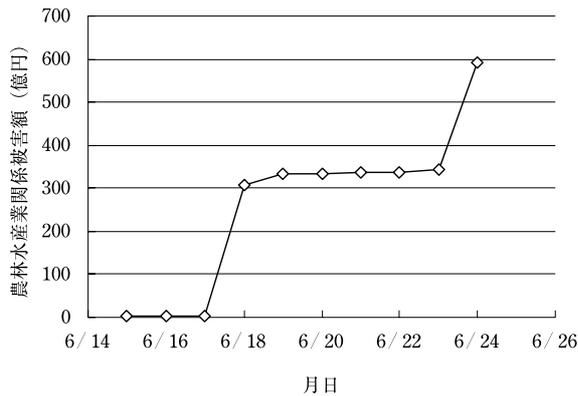


図1 把握された農林水産業関係被害額の推移(2008年)

### III. 栗原市における農地・農業施設被害とその対応

#### 1. 農地・農業施設被害の概要

栗原市における農地・農業施設の被害額は、約26億円、484カ所(2008年8月13日現在)であり、現在も復旧工事が行われている。

災害復旧事業は水路36地区、ため池20地区、水田4地区、道路9地区等、計72地区で実施され、2009年4月末まで45地区で工事が完了している(表3)。復旧が完了していない地区においては、本年の稲作において灌漑水の不足等が懸念されるが、応急的な通水等の措置を行っており、灌漑水が極端に不足している地区はない。

#### 2. 災害応急用ポンプによる灌漑水の確保

この震災では、農業用水路の被災等によって、灌漑水が不足した水田が少なくなかった。

震災時、稲は分けつ期に当たり、特に水が必要な時期であった。市内の農家の話では、畦畔の崩壊と田面の地割れによって1週間程度水を入れられなかった水田では、分けつ不足によって例年より1~2割程度収量が低くなったという。

農業用水路が被災し、水田へ通水できなくなった地区に対し、東北農政局は災害応急ポンプの無償貸出しを行った。農政局によるポンプの貸出しは震災発生から4日後の6月18日には行われていたため<sup>2)</sup>、多くの水田で分けつ不足による減収が回避できたと考えられる。なお、栗原市には13台のポンプが貸出された(表4)。

現在、市内では災害応急ポンプが利用された5地区のうち、4地区で復旧工事が完了している。しかし、栗原市栗原地区では現在も水路の復旧が続けられており(写真1)、約40haの水田に通水できない状況にある。このため、2009年度も農政局から災害応急ポンプを借り、灌漑水を確保している(写真

表3 災害復旧事業地区数と復旧状況(栗原市)

2009年4月30日現在		
施設	地区数	復旧完了地区数
水路	36	25
ため池	20	7
水田	4	4
揚水機	2	1
道路	9	7
橋梁	1	1
計	72	45

表4 災害応急用ポンプ設置地区(栗原市)

地区	台数	備考
栗駒方子沢	1	
栗駒文字津花	2	
花山萩ノ原	4	
高清水	1	
栗駒沼倉	2	
栗原市一迫総合支所	3	配備
計	13	

2, 3)。

#### 3. 市独自の農地復旧の取組み

栗原市は、市内における農地の復旧を進めるため、国が定める災害復旧事業等に該当しない農地の自力復旧にかかる費用を助成する独自事業(以下「市単事業」という)を創設した。1カ所当たり上限65千円、補助率2分の1以内とする市単事業で、建設会社等への復旧工事委託費だけでなく、農家が復旧のために使用する重機等のリース代などにも対応している。

2008年度の予算は1千万円であり、158件の申請があった。主な内容は崩壊した畦畔の修復、地割れを直すための床締め、田面の一部が陥没した水田の均平等であった。

市内には、現在も住民が避難中であるため、震災による被害が把握できていない地区がある。このため、市は2009年度もこの事業に百万円の予算を計上しており、次年度以降も事業を継続することとしている。

#### 4. 水田の被害と農家の対応

市内には行政に頼らず被災した水田を自力で復旧した農家もある。ここでは栗原市栗駒沼倉地区(標高約180m、地形勾配約1/8)の水田被害と農家の対応について報告したい。

当地区の水田は昭和50年に重機を利用して自力で整備された。水田の約3分の1は盛土部(西側)である。この震災によって、遠目からもわかるくらい畦畔が沈下し(写真4)、畦畔法面の一部が崩壊した(写真5)。また、田面の一部が陥没していることが確認された。地区内水田の均平度を5mメッシュで測定



写真1 用水路復旧現場 (津花地区)



写真4 被災により沈下した畦畔 (矢印)(沼倉地区)



写真2 災害応急用ポンプ (津花地区(2009年5月))

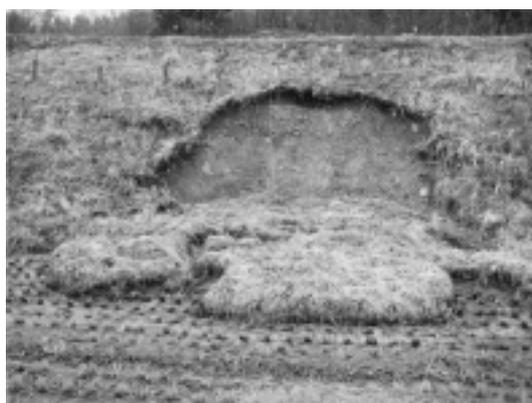


写真5 崩れた畦畔法面 (沼倉地区)



写真3 災害応急用送水ホース (津花地区(2009年5月))

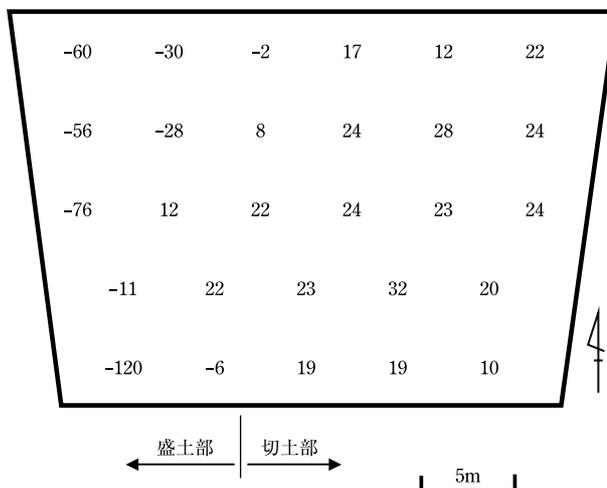


図2 震災した水田における震災後の田面均平度 (数字は平均田面標高との差 (mm))

した結果、田内に最大 15 cm 以上の標高差が生じた水田が認められた (図 2)。

この農家は油圧ショベルをリースし、崩壊した畦畔を改修するとともに、均平度を修復するため、表土のまきだしを行った。均平作業については湛水均平工法も実施した。また、盛土部の地盤に発生した亀裂については表土をはぎ、人力で修復した。

現在、当地区では畦畔からの漏水が一部で確認されるものの、随時、締固め等の対応をしており、今年度の稲作は順調に進んでいる。

#### IV. おわりに

震災から 11 カ月ほどが経ち、宮城県内の農業・農村の震災復旧は国、地方自治体、地域住民等の協働によって着実に進んでいる。しかしながら、避難指示が解除されていない栗原市の地区では、現在でも被害の全容は明らかではなく、つい最近、導水施設の被災が

判明し、灌漑水確保のため、市に支援を求めたところもある。

2009年5月20日には、被害が著しかった栗原市栗駒耕英地区など5地区99世帯で避難指示・勧告が解除される。今後、これらの地区では新たな被害が判明し、震災復旧が行われていくと思われる。一日も早い復興を祈りたい。

### 引用文献

- 1) 宮里圭一：中越大地震「農地農業用施設」の被害と復旧，  
水土の知 75(3), pp 3~6(2007)
- 2) 須田直也：岩手・宮城内陸地震に対する行政の対応について，  
水土の知 76(8), pp 3~4(2008)

[2009 5 22 改正]

### 千葉 克己 (正会員)



1996年 宮城県入庁，宮城県古川農林振興事務所，  
産業経済部農村基盤計画課，古川農業試験場，  
農業短期大学を経て  
2005年 宮城大学食産業学部助手  
2009年 宮城大学食産業学部講師  
現在に至る

### 米澤 千夏



1996年 リモート・センシング技術センター研究  
部研究員  
2005年 宮城大学食産業学部講師  
2009年 東北大学大学院農学研究科准教授  
現在に至る

### 加藤 徹 (正会員)



1971年 宮城県入庁，宮城県仙台土地改良事務所，  
農業短期大学助手，講師，助教授，教授  
を経て  
2005年 宮城大学食産業学部教授  
現在に至る

## 改訂 農村計画学

(社)農業農村工学会

### 目次

### 内容紹介

まえがき

第1章 農村の特質と農村計画

- 1.1 わが国の農村と計画の背景
- 1.2 農村の特質
- 1.3 農村計画の歴史

第2章 農村計画の体系と構成

- 2.1 農村計画の体系
- 2.2 農村計画の構成と役割
- 2.3 計画の主体と住民参加

第3章 土地利用計画

- 3.1 わが国の土地利用の特徴と課題
- 3.2 土地利用計画の構成
- 3.3 農業生産環境の整備と土地利用
- 3.4 農村集落の土地利用秩序の実現

第4章 生活環境整備

- 4.1 生活環境整備の意義と必要性
- 4.2 生活環境整備の考え方
- 4.3 生活環境整備の計画手法

4.4 生活環境施設の整備

4.5 生活環境施設と管理と整備効果

第5章 農村環境整備の保全と管理

- 5.1 農村環境と資源の循環利用
- 5.2 水環境の保全と創造
- 5.3 地域生態系の保全と管理
- 5.4 景観の保全と形成
- 5.5 環境管理の方法

第6章 中山間地域の活性化

- 6.1 中山間地域の現状と課題
- 6.2 中山間地域への新たな期待
- 6.3 中山間地域の活性化対策

第7章 西欧の農村計画

- 7.1 オランダの空間整備計画
- 7.2 ドイツの農村整備
- 7.3 フランスの土地利用計画
- 7.4 イギリスの環境保全政策
- 7.5 EUの条件不利地域政策

A5判 284ページ 定 価 4,200円 (内税・送料学会負担)  
会員特価 3,500円 (内税・送料学会負担)  
〔会員特価は、個人会員による前金購入の場合のみ適用されます〕

申込先 〒105-0004 港区新橋5-34-4  
(社)農業農村工学会  
TEL 03 3436 3418 FAX 03 3435 8494

## 陸域観測技術衛星 ALOS (だいち) で観測された 2008 年岩手・宮城内陸地震による農地被害

*Damage to Agricultural Land due to the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008  
Observed by Advanced Land Observation Satellite (ALOS)*

米澤 千夏<sup>†</sup> 千葉 克己<sup>††</sup> 加藤 徹<sup>††</sup>  
(YONEZAWA Chinatsu) (CHIBA Katsumi) (KATO Toru)

### I. はじめに

2008 年 6 月 14 日午前 8 時 43 分 (JST), マグニチュード 7.2 の地震が発生した。おもな被災地は宮城県北部から岩手県南部にかけての中山間地域であり, 宮城県栗原市, 岩手県奥州市では震度 6 強を記録した。土砂崩れや斜面崩壊が多く報告され, 死者 13 名, 行方不明者 10 名にのぼる人的被害のほか, 道路や建造物への被害があった。

農作物, 営農施設や農地・農業用施設においても各種の被害が報告されており, 2008 年 9 月 5 日時点での総被害額は岩手・宮城・秋田・山形各県の合計で 311 億円となっている<sup>1)</sup>。宮城県栗原市に位置する荒砥沢ダムの貯水池上流における大規模地すべりのほか, ため池, 農地, 水路などにおける被害が報告されている<sup>2)</sup>。本報では, 被害状況<sup>3)</sup>および被災後の経過の人工衛星リモートセンシングによる観測例を報告する。地震が発生した時点において, 米国の TERRA, 合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) 搭載衛星であるドイツの TerraSAR-X など多くの地球観測衛星が画像を取得している。ここでは日本が打ち上げた地球観測衛星である ALOS (だいち) による観測画像を用いた<sup>4)</sup>。

### II. 陸域観測技術衛星 ALOS (だいち)

2006 年 1 月 24 日に宇宙航空研究開発機構 (JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency) により打ち上げられた陸域観測技術衛星 ALOS (Advanced Land Observing Satellite) は「だいち」の愛称のもと, 継続的な地球観測を行っている。ALOS (だいち) は, パンクロマチック光学センサである PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping), マルチスペクトラル光学センサである AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2), 合成開口レーダである PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Ap-

erture Radar) の 3 つのセンサを搭載している。光学センサの地上分解能は PRISM が 2.5 m, AVNIR-2 が 10 m となる。PALSAR は世界初のフルポーラリメトリ (全偏波) 観測可能な人工衛星搭載合成開口レーダであり, 観測波長約 24 cm の L バンドを採用している。入射角, 観測幅可変であり, 単偏波高分解能モードでの地上分解能は 7~44 m となる。PALSAR の高分解能モードは主に HH 偏波による単偏波観測であるが, HH 偏波と HV 偏波による二偏波観測を行うこともある。

ALOS は岩手・宮城内陸地震発生直後より緊急観測を開始した。PRISM および AVNIR-2 による観測では, 2008 年 7 月 2 日に対象地域の上空にほとんど雲がない画像が取得された。PALSAR は, 異なる入射角および観測方向で繰り返し観測を行っている。2008 年 8 月 24 日にはフルポーラリメトリモードによる観測が行われた。地震発生以降も各センサが繰り返し観測を行っている。

### III. 結果と考察

#### 1. 荒砥沢ダム

荒砥沢ダム (有効貯水量 13,510 千 m<sup>3</sup>, 堤高 74.4 m) は, 国営迫川上流かんがい排水事業の一環として灌漑用水の供給と放流水を利用した発電を目的に着工された。その後, 河川総合開発事業により治水機能を持たせた多目的ダムとして 1998 年に竣工した<sup>5)</sup>。本地震によりダム北岸の貯水池上流で, 幅 900 m, 長さ, 1,300 m, 移動土塊量 6,700 万 m<sup>3</sup> に及ぶ大規模地すべりが発生した。ダム内に流入した土砂量は 417 万 m<sup>3</sup> になる<sup>6)</sup>。

地震前後に AVNIR-2 が観測した荒砥沢ダム周辺の画像を図 1 に示す。地震前にはダム湖を除いた画像の範囲のほぼ全域が植生で覆われていた。地震後に取得された画像として 7 月 2 日, 9 月 17 日, 12 月 4 日の画像を示す。地すべりや斜面崩壊地域によって裸地になった箇所が地震後の画像では明るくみえる。ダム

<sup>†</sup> 東北大学  
<sup>††</sup> 宮城大学



リモートセンシング, 地すべり, 斜面崩壊, 多目的ダム, ため池, SAR, 災害監視

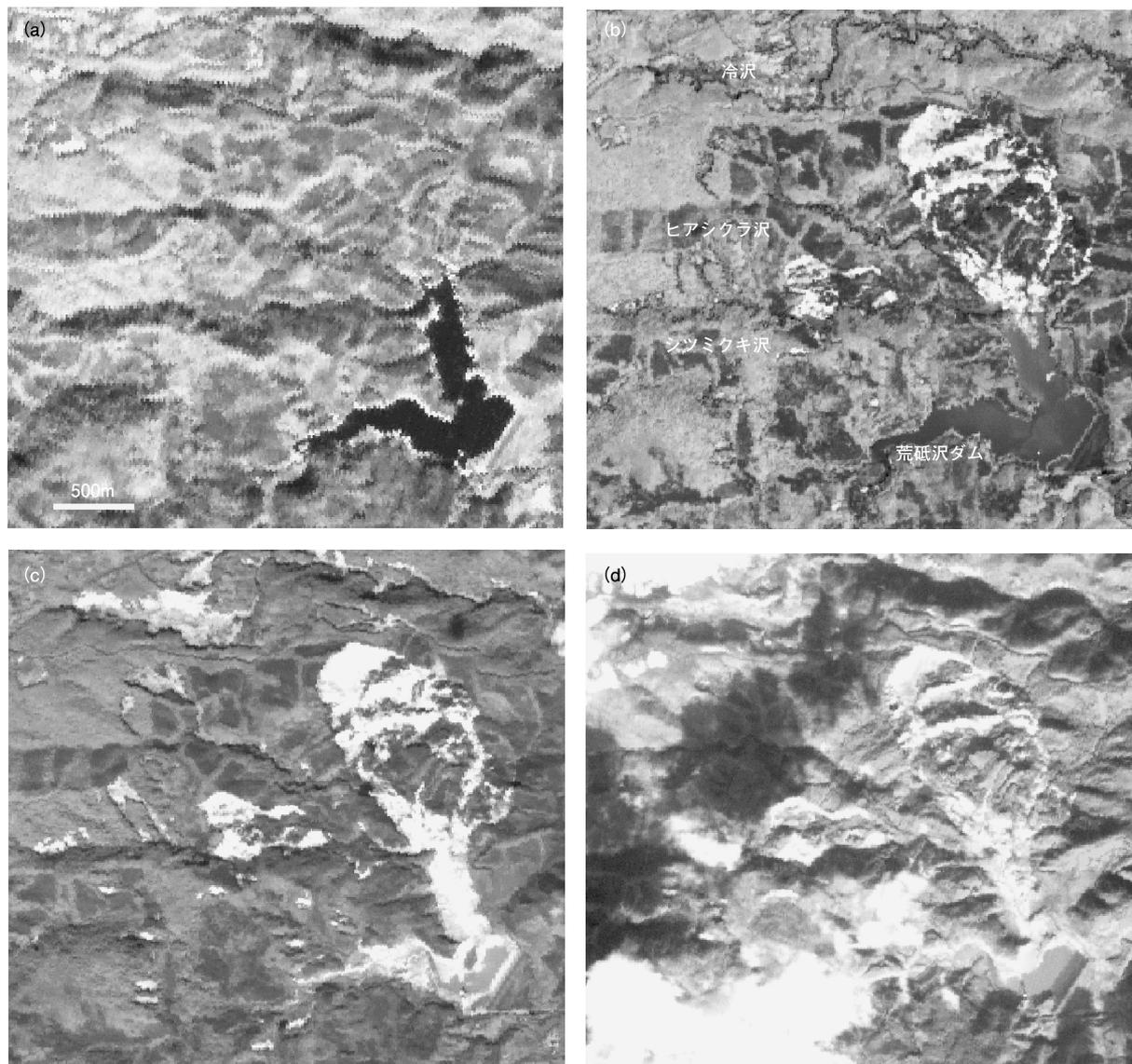


図1 AVNIR-2で観測した荒砥沢ダム周辺  
(a) 2006年10月17日, (b) 2008年7月2日, (c) 2008年9月17日, (d) 2008年12月4日

湖上流の地すべりのほか、周辺の冷沢、ヒアシクラ沢、シツミクキ沢などの地すべりや斜面崩壊が認められる。ダム湖内への土砂の流入も認められる。地震発生後、復旧対策のために貯水の放流作業が行われた。水位の変化は地震後に継続して取得されている画像から認められる。12月4日に取得された画像の一部は雲に覆われているが、落葉や積雪した地域も認められる。PRISMはAVNIR-2よりも観測頻度において劣るものの、地上分解能が高いため水がなくなったダム湖の底面の状態などの判読も可能である。

水位の変化はPALSARの画像からも判読することができる。図2は地震前後にPALSARの高分解能モード(2008年12月1日のみ二偏波観測のHH偏波、ほかは単偏波観測)によって継続観測した荒砥沢

ダム周辺の画像である。いずれの画像も観測方向はディセンディング(ほぼ北から南)、オフナディア角(観測角)は約34.3度で取得された。合成開口レーダはマイクロ波を用いており昼夜・天候を問わず地表を観測でき、光学センサよりも頻繁に地表面の情報を取得できる。また、大規模な斜面崩壊は、単偏波画像からわかる地形の変化による後方散乱の変化としてだけでなく、二偏波観測および全偏波観測データの解析結果にみられる土地被覆の変化によるマイクロ波の散乱過程の変化としても現れた<sup>7)</sup>。

## 2. 権平ため池

宮城県栗原市栗駒西田地区にある権平ため池は、周辺5haの水田の灌漑を目的としている。堤頂長90m、天端幅3m、堤体積9,720m<sup>3</sup>、有効貯水量

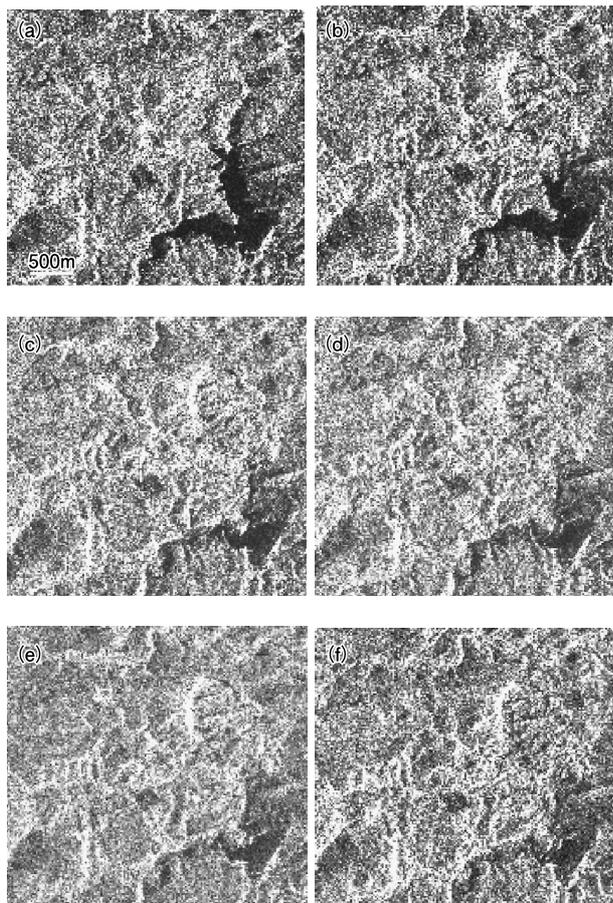


図 2 PALSAR で観測した荒砥沢ダム周辺  
 (a) 2008 年 5 月 31 日, (b) 2008 年 7 月 16 日,  
 (c) 2008 年 8 月 31 日, (d) 2008 年 10 月 16 日,  
 (e) 2008 年 12 月 1 日, (f) 2009 年 1 月 16 日

15,000 m<sup>3</sup> である。地震によって、水田に面した北側の堤体が崩壊した。

PRISM によって観測された権平ため池の画像を図 3 に示す。地震直後の 7 月 2 日に取得された画像においては、堤体が崩壊していることがわかる。9 月 11 日に現地を確認したところ、水田に面した北側の堤体が崩れ、ビニールシートで覆われていた。12 月 4 日に取得された画像では、土砂が取り除かれたことが読み取れる。このことは、12 月はじめに復旧工事が開始されたことと一致する。

ここでみられる変化の観測には、AVNIR-2 の地上分解能は不十分である。ただし、AVNIR-2 画像と、同時観測された PRISM 画像とをパンシャープ処理 (低解像度のマルチスペクトル画像と高解像度のパンクロマチック画像を合成すること) した画像を用いると、植生、裸地等の土地被覆の判別が容易になる。

### 3. 館下地区地すべり

地震によって宮城県栗原市の館下地区地すべり防止区域において土砂崩落が発生した。農地約 0.8 ha が



図 3 PRISM で観測した権平ため池  
 (a) 2008 年 5 月 17 日, (b) 2008 年 7 月 2 日,  
 (c) 2008 年 12 月 4 日

推定で法長 120 m, 幅 50 m にわたり、約 4,000 m<sup>3</sup> の土砂とともに滑落、被災した<sup>8)</sup>。2008 年 9 月 11 日および 2009 年 3 月 16 日に現地を確認したところ、地すべり箇所はビニールシートで覆われていた。

地すべり箇所は地震前後に取得された AVNIR-2 画像の比較より、明瞭な土地被覆の変化として判別できる。また PRISM 画像においても、周辺の植生で覆われた地域よりも明るく現れている (図 4)。図 4 より、7 月 2 日から 12 月 4 日まで、地すべり箇所に大きな変化がないことが確認できる。7 月 2 日取得画像の地すべり箇所の南部に確認できる暗い影は高さ 5 m 程度の樹木であることを現地調査によって確認した。10 月 9 日には落葉していることが画像からわかる。また、7 月 2 日の PRISM 取得画像において地すべり箇所の北部と南東部にみられる明るい箇所は、地すべりを覆うビニールシートとは異なる物質であることが AVNIR-2 とのパンシャープ画像より読みとれる。

HH 偏波で観測した PALSAR の強度画像の目視判



図 4 PRISM で観測した館下地すべり地域  
 (a) 2008 年 5 月 17 日, (b) 2008 年 7 月 2 日,  
 (c) 2008 年 10 月 9 日, (d) 2008 年 12 月 4 日

読では変化を確認できなかった。SARの強度画像に現れるのは地表面の変化によるマイクロ波の後方散乱の変化である。この地すべりでは大規模な地形の変化は発生しておらず、また被災箇所をビニールシートで覆ったことは明瞭な後方散乱の変化をもたらさなかったと考えられる。

#### IV. おわりに

人工衛星による観測画像は、災害発生後の緊急観測による被害の把握のみならず、復旧過程のモニタリングにも利用できる。被害地域の抽出においては、地震前後に取得された画像の比較が有用である。災害発生前からの観測データの蓄積が望まれる。

地震による個々の農地被害を人工衛星リモートセンシングによって把握するには、センサの地上分解能に対する被害の規模を考慮する必要がある。農地・農業用施設の被害は、規模数10m以下の場合がほとんどである。地上分解能1m以下の高分解能衛星画像の利用が考えられるものの、ALOSによる観測画像と比較すると現状では高価である。ダム湖等の大規模な水域の変化を追跡する場合には、PALSARなどの合成開口レーダの画像を利用することも考えられる。

**謝辞:** 本報では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)・(財)リモート・センシング技術センター(RESTEC)による衛星リモートセンシング推進委員会農業ワーキンググループ、およびJAXAとのALOSデータ利用公募型共同研究契約によって提供されたデータの一部を用いた。PALSARデータの再生処理にはJAXA SIGMA-SAR<sup>9</sup>を使用した。現地調査においては宮城大学食産業学部 本庄和志氏の協力を得た。また2009年度より(社)東北建設協会の支援を受けている。

#### 引用文献

- 1) 農林水産省:平成20年岩手・宮城内陸地震による被害と対応, <http://www.maff.go.jp/j/saigai/zisin/0806.html> (参照 2009 03 01)
- 2) 須田直也:岩手・宮城内陸地震に対する行政の対応について, 水土の知 76(8), p.701(2008)

- 3) Yonezawa, C. and Kato, T.: Observation of Damage Resulting from the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 Using ALOS Satellite Imageries-Damage to Agricultural Environments, *Tohoku Journal of Agricultural Research* 59(3 4), pp.123~128, (2009)
- 4) 米澤千夏:宮城県での「だいち」データ利用, 平成20年度衛星リモートセンシング農林業ワークショップ in 仙台「だいち」(ALOS)データ利用に向けて 予稿集, pp.18~21(2008)
- 5) 宮城県土地改良史編纂委員会編:宮城県土地改良史, pp.1293~1310(1994)
- 6) 増川 晋, 中里裕臣:荒砥沢・小田ダムおよび荒砥沢ダム上流大規模地すべり調査報告, 水土の知 76(8), pp.705~706(2008)
- 7) 米澤千夏, 加藤 徹, 千葉克己, 渡邊 学:ALOS PAL-SARによって観測された2008年岩手・宮城内陸地震による土砂災害, 日本写真測量学会平成20年秋季学術講演会論文集, pp.79~80(2008)
- 8) 石垣利浩:平成20年岩手・宮城内陸地震による宮城県内の被害の概要, 水土の知 76(8), p.704(2008)
- 9) Shimada, M.: Verification Processor for SAR Calibration and Interferometry, *Adv. Space Res* 23(8), pp.1477~1486(1999)

[2009 3 30 受稿]

#### 米澤 千夏



**略 歴**  
1996年 リモート・センシング技術センター研究部研究員  
2005年 宮城大学食産業学部講師  
2009年 東北大学大学院農学研究科准教授  
現在に至る

#### 千葉 克己(正会員)



1996年 宮城県入庁, 宮城県古川農林振興事務所, 産業経済部農村基盤計画課, 古川農業試験場, 農業短期大学を経て  
2009年 宮城大学食産業学部講師  
現在に至る

#### 加藤 徹(正会員)



1971年 宮城県入庁, 宮城県仙台土地改良事務所, 農業短期大学助手, 講師, 助教授, 教授を経て  
2005年 宮城大学食産業学部教授  
現在に至る