

2008年岩手・宮城内陸地震に関連した地震断層と活断層

Surface Raptures and Active Faults Associated with the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, Northern Honshu, Japan

岡田 篤正・堤 浩之

Atsumasa OKADA, Hiroyuki TSUTSUMI

1. はじめに

いわゆる内陸直下型の大地震は活断層(運動)により引き起こされ、マグニチュード(M)が6.8程度以上になると、明瞭な地表地震断層が長く連続して地表に出現する。ところが、2000年鳥取県西部地震(Mj 7.2)と2008年岩手・宮城内陸地震時(Mj7.2)に現れた地震断層は規模(M)の割に長さや変位量などがかなり小さい。既存の活断層が一部で認められ、これにほぼ沿って同じような変位様式で再活動したことが多くの現地調査で判明してきた。しかしながら、両断層沿いの変位地形は不明瞭であり、断層破碎帯の規模も微弱である(岡田、2009)。

活断層から地震規模や地震波の性質を推定したり、長期評価などを行ったりする上では、活断層の長さやその変位地形の検出可否は実に重要で基本的な課題である。また、活断層の誕生・成長過程を解明する上でも、岩手・宮城内陸地震時に出現した地震断層の性質や活断層としての重要であり、地形・地質学的な意味を考察する作業に着手した。本稿では、この地震断層の概略的な性質を述べ、活断層としての地形・地質的特徴を簡単に紹介する。

2. 2008年岩手・宮城内陸地震

<地震の概要>2008年6月14日08時43頃に岩手県南西部の深さ約10kmで直下型大地震が発生した。岩手県と宮城県で最大震度6強が観測され、震央付近で4000ガルに達する大きな加速度が記録された。当該地域には大きな災害が引き起こされたが、人的な被害は、死者13名、行方不明者10名、負傷者448名であり、その多くは土砂崩れや土石流などの地盤災害に起因する。特記すべきは、栗原市荒砥沢ダム北方とその周辺に発生した、径1km内外の巨大な地すべり群である。また、栗駒火山東斜面に発生した崩壊と土石流による温泉旅館の埋積災害も大きな話題となった。建物被害は、全壊23棟、建物半壊65棟であり、地震規模の割に相対的に少ない。震源域は集落が散在的に分布する山地域であり、重い屋根瓦の少ない軽量の建物構造も関係した可能性が大きい。

気象庁は2008年岩手・宮城内陸地震と命名したが、この発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、地殻内の浅所で発生した大地震(Mj7.2、Ms6.8)とした。地震活動は本震-余震型であり、余震の大部分は北北東から南南西方向に延びる長さ約45km、幅約15kmの領域で発生している(図1)。大局的には西傾斜の分布となっている。7月10日までの最大の余震は6月14日09時20分頃に発生したM5.7の地震(最大震度5弱)で、余震活動は全体的に減衰している。なお、余震は今回主なすべりを生じた領域より広く分布し、その北部では

北上低地西縁断層帯の南部にあたる活断層(出店断層)の深部延長でも発生している可能性がある。

<震源過程解析> 気象庁による本震の震源過程解析によると、すべり量の大きい領域は破壊開始点南側の浅い部分に集中していたと推定されている。GPS観測及びSAR干渉解析から推定された断層モデルからも、同様なすべり量の集中域がみられている。地震時の地殻変動から、主なすべりを生じた断層の長さは30km程度であり、断層面は西傾斜で、典型的な逆断層型と推定されている。

<GPSおよびSAR観測> 国土地理院によるGPSの観測結果によれば、震源域直上の電子基準点「栗駒2」観測点で、約208cmの隆起と154cmの南東方向への水平移動が観測されている。震央付近では余効的な変動も継続している。また、加速度波形記録の解析からは、一関西観測点で、1.4mの隆起と0.6mの北東方向の水平変位が得られている。

さらに、国土地理院によるSAR干渉解析結果によると、震源域の変動の大きかった領域は、長さ約30km、幅10kmに広がっている。この東縁に、現地調査で明らかになった地震断層と見られる地表変状が位置している。

3. 地表地震断層の概要

地震発生の直後から、産業技術総合研究所活断層研究センターや大学、地質調査会社などの研究者が、地震断層やその他の地表変形を確認するために、緊急調査を開始した。これらの速報的な成果は各機関のHPに掲載され、速やかに観察結果が公開された(文献参照)。筆者らもこれら成果を参考にすると共に、写真判読を行ったり、既存文献を参照したりしながら、現地での地震断層や地形・地質調査を実施した。また、2008年11月に開催された日本活断層学会や地震学会の秋季大会、2009年1月の北淡活断層シンポジウムなどでも調査成果が紹介され、活発な議論も行われて、多くの研究者が行ってきた情報が得られたので、これらの成果も参考にした。



図1 2008年岩手・宮城内陸地震の位置と概要
(朝日新聞、2008-6-22 朝刊)

こうした多くの調査によると、現在までに確認されている地震断層・地表変位は次の4つの区域に分けることができる。1) 奥州市衣川区の国見山南東斜面―衣川区餅転(もちころばし)―一関市巖美町中川・岡山―爪木立(はのきだち)―蛇沢(図2)、2) 栗原市荒砥沢ダム北方(図3, 図4)、3) 荒砥沢ダム南―南東方(図3)、4) 栗駒山山頂部付近の地変である。1) 地区について、以下簡単に説明する。

1) 区間の最北部は、国見山南東斜面(奥州市衣川区)であり、いずれも見かけの上下変位量が約0.5m、左横ずれ約0.5m、短縮量約1mとされる。東落ちの断層崖や逆向きの低崖が伴われ、それらの基部に沿って地変が現れた(金田ほか、2008; 産総研、2008)。奥州市衣川区餅転付近では、道路(主要地方道49号線栗駒衣川線)とガードレールに見られた地変は、実変位量が0.45―0.5mと見積もられ、詳しい変位成分も求められた(写真1)。この直ぐ南側の水田面には明瞭な「盛り上がり」が認められ、詳しい現地測量も産業技術総合研究所や堤ほか(2008)が実施し、地変の詳細分布図が作成された。この南西延長は真打川河床の2箇所では明瞭な断層変位が認められた。その西側の河床では第三紀層と現河床礫層が逆断層関係で接する(写真2)。それらの間や南西側の水田面にも実に見事な上下変位や横ずれが観察された(写真3)。この付近の水田における変位は地上LiDAR測量が行われたので、いずれ詳しい成果報告の公表が期待される。

一関市巖美町中川や岡山では、道路・水田・畑などに地変が観察された。とくに、岡山では後述の空中写真判読や現地調査でも、既存の低断層崖地形(比高:約3m)が観察され、この崖地形に沿いに地震断層が出現した(写真4)。産業技術総合研究所活断層研究センターでは、トレンチ掘削調査を実施して、逆断層の詳しい露頭観察を行っている。

一関市爪木立付近では、道路・水田・畑などに明瞭な西側低下の地変が現れた(図2地点4)。南側の水田面(写真5、6)では、東上がり約0.5mの明瞭な地震断層崖が現れ、上下変位量は当地が最大値を示す。この場所の北側では、低位段丘面を切断する低断層崖(比高:約2.5m)が認められ、この崖麓に沿って地震断層が現れたが、崖斜面に生えていた杉の木も西側へ傾いた。

なお、爪木立付近における低位段丘面の東側沿いに、水田面の傾動(東側低下)が多くの研究者により報告されており、低位段丘面を含む南北に細長い地帯が地塁状に持ち上がったとされている(鈴木ほか、2008a・b; 小荒井ほか、2008; 石山ほか、2008)。

奥州市衣川区から一関市爪木立付近の1)地区について、主な地震時の地変を紹介した。以南の2)と3)地区は産業技術総合研究所活断層研究センター(2008)により詳しく調査され、成果が遠田ほか(2008a・b)や遠田(2009)で報告されているので、紙数の関係で詳述を避ける。

4. 地震断層のまとめ

上述のように、1)地区の地震断層は奥州市衣川区国見山南東斜面から、一関市蛇沢付近まで断続的に観察されるが、この延長距離は約12kmである。北北東―南南西方向へ断続的にほぼ直線状に配列する。余震域東縁に沿った地帯に位置しており、上下変位量は50cm以下であり、主に水田や道路等の人工的に平坦にされた場所で確認された(図5)。震源断層のモデルでも、

地表に大きなすべり量が生じたとする場所にはほぼ該当するので、岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層と認定される。

一関市爪木立付近における西側低下の地震断層発生場所では、この東側 200m 内外にはほぼ並行する撓曲が観察されている。この撓曲が地下の震源断層(逆断層)に続く本質的な動きとみなされ、西側の地変(東側上がり)は逆向き低断層崖に沿う地震断層であり、いわゆるバックスラストに相当する(鈴木ほか、2008a)。したがって、震源断層から地表付近で分岐した共役の副次的な逆断層である可能性が高い。

2) 地区の荒砥沢ダム北方に現れた断層の延長は短い、右横ずれは 4-7m に達するほど大きい。断層の地形表現は実に明瞭であり、東北東-西南西走向に約 200m 延び、両側には巨大地すべりが発生した(遠田ほか、2008a・b; 遠田、2009; 吉見ほか、2008; 図 4)。地すべりの滑落崖に断層(面)を確認する必要がある。この断層沿いには鞍部や下流側隆起のふくらみ地形など、既存の地形が地震前に撮影された空中写真類から判読できる。したがって、その再活動であることは確実であり、巨大地すべりとの関係や活動間隔など、今後の重要な課題が多く残されている。

3) 地区の荒砥沢ダム南方及び南東方でも、逆断層性の地震断層が報告されている(遠田ほか、2008a・b)。荒砥沢ダム周辺では、走向は南北方向に近い明瞭な逆断層である(図 4)が、荒砥沢集落より東南側に報告されている部分では、走向や上下変位が大きくばらつくので、これらは局所的な不等沈下や地すべりの可能性もある。

1) 地区の逆断層と 3) 地区北部の逆断層との間に、2) 地区の明瞭な変位を伴う右横ずれ断層が位置している。これら逆断層はほぼ南北走向であり、これらに直交する東西方向に 2) 地区の右横ずれ断層が配置している。したがって、後者は 1) と 3) とを結ぶ、ラテラルランプ(lateral ramp)、あるいは逆断層間を繋ぐトランスフォーム断層(transform fault)的な地震断層である可能性もある。

2) 地区の横ずれ断層が震源断層に関連するかどうかの詳細な検討は、なお多くの材料を得て、詳しく検討する必要がある。

4) 地区とした栗駒山の山頂部付近にも山頂側が低下した地変(低崖地形の出現)が報告されている(土井ほか、2008)。このような地変の情報はさらに入手する必要があるが、これらは火山体の中心部に向かって低下しているものがほとんどであり、火山体中心部の沈降や重力性の活動である可能性が大きく、震源断層に直接に関与する断層ではないと予想されるが、まだ全貌は判明していない。また、余震域の東縁線から西側 10km の範囲にも、幾つかの地震断層出現の報告(堤ほか、2008; 土井ほか、2008)があり、比較的広い範囲に変位が分散している可能性もあるので、後述(7)する今後の調査で検討することが肝要である。

5. 空中写真判読による変位地形の検出

<既存の文献による活断層> 当地域でも国土地理院が撮影した空中写真には、縮尺約 4 万分の 1、約 2 万分の 1、約 1 万分の 1 がある。日本列島全域を対象とした活断層の文献として、活断層研究会編(1991)や中田・今泉編(2002)等の活断層分布図がすでに出版されていたが、当地域では活断層は認定されていなかった。

しかし、段丘面の比高から求められる隆起量(TT 値)の急変帯が今回の地変が現れた地帯の南北方向に認められ、田力・池田(2005)は一つの可能性として、この位置に伏在断層の存在を推定していた。

これら既往の研究は、縮尺約4万分の1ないし約2万分の1空中写真の判読を実施したと思われるが、こうした縮尺での変位地形の認定は困難であったと言える。

<段丘面の変位地形> 国土地理院が1976年に撮影した約1万分の1カラー空中写真はすでに存在していたが、その枚数が実に多く、都市圏活断層図や特定の活断層沿いの判読を行う場合を除いて、日程や効率の関係で地域的な活断層や地形判読に使用されることは少なかった。しかし、地震発生後に緊急撮影された約1万分の1カラー空中写真も加わり、これら約1万分の1空中写真類を判読すると、次の2地点で段丘面を切断する低断層(~撓曲)崖が検出できる。

一関市巖美町岡山では、磐井川形成の低位段丘面がほぼ南北の低断層崖で切断されている(図2の地点3;図5上部)。比高は約3mであり、約200m続くが、この南北延長部では変位地形の認定は難しい。岡山から西方へ延びる道路上では、低断層崖の部分で地震時の地変が現れた(写真3)。さらに、この南方側の牧場内でも、低崖基部の位置で地変が観察されている(金田ほか、2008;産総研、2008)。

一関市柵木立では、小猪岡川が形成した低位段丘面の西側に北北東-南南西走向の逆向き低断層崖が認められる(図2の地点4;図5中部)。比高約2.5mの低崖を横切るトレンチ掘削調査では、活断層の存在と活動履歴が求められている(鈴木ほか、2008a)。

これら2事例のように段丘面の変位地形は確かに認められるが、その区間は前述した1)地区の中部の約4kmにおいてだけであり、それ以外の場所では確実な変位地形と認定できる所は検出できなかった。また、この区間以外やさらに南北両側延長部でも、約1万分の1空中写真による判読では、変位地形やリニアメントの認定は難しい。

<段丘面より古い変位地形>

上記地域(1地区の中央部)における段丘面を切断する変位地形はかなり明瞭に認定できるが、これら以外の地震断層の発現場所では、変位地形は極めて不明瞭である。当域全域について、2.5万分の1地形図を使用して、等高線50mの間隔について、谷幅0.5km以下を埋める接峰面図を作成したが、丘陵性の山地や開析を受けた火山性山地の高度にも、高度差や谷地形の検出は難しい。したがって、数10mを越えるような累積性を伴う活断層の崖地形を認定することはできないようである。低断層面を切断する変位地形は認定できるにも拘わらず、それが含まれる丘陵性山地においては、新期の断層運動に伴う変位地形は認められないことが指摘できる。

6. 地震断層と地質断層との関係

今回の地震断層が現れた場所は、すでに地質調査で指摘されていた餅転-細倉構造線(片山・梅沢、1958)沿いであった(東京大学地震研究所HP、2008)。しかし、この地質断層は餅転南方-柵木立北方の区間で、東側の花崗岩類と西側の第三紀層とが接している。このことから判るように、地質的な配置では西側低下であり、正断層的な構造を示す。しかし、今回の地震断層は

大局的には西側隆起の逆断層として発現していることから、いわゆるテクトニックインバージョンによって、古い正断層(面)を使って新しい逆断層の運動が生じたと考えられる。

また、地震断層が出現した場所付近に露出している第三紀層を観察しても、層理面はほぼ水平に近く、大きな断層変形や傾きは認められない。もし、変位を繰り返してきた逆断層であれば、断層近くの第三紀層は一般に大きく変位・変形している。上盤側の地層は特に大きく上方へ膨れ上がり、断層に近づくと、まくれ込むように変形する。こうした変位・変形構造はどこにも報告されていない。現地観察でも、地震断層近くの第三紀層があまり変形していないことを大きくの研究者が観察している。したがって、数 10m 程度以上に及ぶような上下変位の累積は地震断層沿いに存在しないとみなされる。

こうした現地観察や空中写真判読・地形図作業などを併せ考えると、逆断層の発現時期が地質学的にみてきわめて新しく、累積性はごく少ない活断層と判定される。誕生後、間もない若い活断層とみなされ、いわゆる未成熟の活断層と指摘できる。また、震源断層から求められている変位量に比べて、地表地震断層の変位量が小さく、その長さが短い理由も成長を始めて間もない活断層の特質を示唆している。

今回の地震断層が出現した位置は、北上低地西縁断層帯から南西方向へ分岐するような場所にあたる。北上低地の西縁では地形的に明瞭で大きな比高をもつ断層崖(地形)が連なり、南部の出店(でだな)断層まで追跡できるが、この南南西延長部では活断層地形は不明瞭となる。これは奥羽山脈の隆起に伴い、南側にも新期の活断層が新しく成長を始めてきたと解釈できる。こうした作業仮説を今後の詳しい調査によって検証して行く必要がある。

一方、2)地区の断層に関しては、既述のように長さは短い、変位量はきわめて大きい。地形表現は明瞭であり、1)と3)を結ぶトランスフォーム断層的な運動が推測され、特異な断層配列に起因している可能性が高い。一方で、この山地全体が移動して発現した地すべりの一種である可能性を排除できるかどうか、また、起震断層に直結するかどうかのさらなる検証も必要である。

また、地表地震断層が確認されている周辺を含めて、広域の撓曲や傾動を伴う地殻変動が生じている可能性があるので、事項7で述べる今後の調査・研究が重要と判断される。

7. 今後の調査・研究に向けて

今回の地震断層が現れた地帯に沿って、国土地理院は詳細活断層図を21年度に作成する計画である。これには詳細活断層図作成委員会を設置して、多くの意見を徴集し、地震断層や活断層の性質を解明することを目指している。この計画の主な目的は 2008 年岩手・宮城内陸地震に伴って出現した地震断層を広く覆う地域について、航空レーザ計測を行い、50m メッシュの標高値を作成し、詳しい地形図を作成する。特に地震断層出現地帯沿いは 0.5m メッシュの詳細標高値を作成し、活断層の変位地形を詳しく検討して、図に表現する。さらに、明瞭な地震断層が出現した地点はより詳細な地形解析を行い、現地踏査も実施して、地震断層が道路・水田・構造物等の人工的な場所だけでなく、山地一丘陵斜面にも連続して現れたかどうかの検証を行う計画である。

こうして得られた詳細図や拡大図を活断層・地震断層分布図に挿入する。また、地すべりや崩壊等の災害情報も盛り込む計画であり、地震や活断層情報、地質図、地球物理学的(地磁気・重力などの)資料と対応させて、活断層が出現した場所の特徴や性質を明らかにする予定である。

主な引用文献

- 石山達也・今泉俊文・大槻憲四郎・越谷 信・中村教博(2008):2008 年岩手・宮城内陸地震の地震断層調査(第 1 報・第 2 報). 東北大学理学研究科 HP. <http://www.dges.tohoku.ac.jp/%7Egeomorph/08iwatemiyagijishin/jishinsokuhou1dan.html>;- /jishinsokuhou2dan.html
- 金田平太郎・粟田泰夫・安藤亮輔(2008):2008 年岩手・宮城内陸地震速報.緊急現地調査速報(第 6 報:2008.6.23) http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/iwate_miyagi/report/080623/index.html
- 片山信夫・梅沢邦臣(1958):7 万 5 千分の 1 地質図幅「鬼首」, 及び同説明書. 27 頁,地質調査所.
- 活断層研究会編(1991):『新編日本の活断層—分布図と資料』. 東大出版会, 437 頁+付図.
- 小荒井衛・神谷 泉・岩橋純子・中本貴元・関口辰夫(2008):空中写真判読で把握した平成 20 年岩手・宮城内陸地震の地表変状. 国土地理院 HP.
- 中田 高・今泉俊文編(2002):「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, DVD-ROM2 枚・付図 1 葉・60p.
- 岡田篤正(2009):2008 年岩手・宮城内陸地震の地殻変動. 北淡活断層シンポジウム 2009「親子で体験!地震と防災」講演要旨集, 9-12.
- 田力正好・池田安隆(2005):段丘面の高度分布からみた東北日本弧中部の地殻変動と山地・盆地の形成. 第四紀研究, 44, 229-245.
- 産業技術総合研究所活断層研究センター(2008):地表変状地点確認位置図(PDF 2Mb「他機関の公表・提供情報により現地確認した箇所を含む」)および周辺地域の地質と緊急現地調査(PDF 600kb)08/7/10.
- 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高ほか 8 名(2008a):2008 年岩手・宮城内陸地震に関わる活断層とその意義——関市巖美町付近の調査速報—. 活断層研究, 29,25-34.
- 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高・島崎邦彦(2008b):爪木立周辺における地表断層と活断層. 活断層研究, 29,口絵 iii-iv.
- 遠田晋次・丸山 正・吉見雅行(2008a):2008 年岩手・宮城内陸地震速報. 緊急現地調査速報(第 1・2 報). http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/iwate_miyagi/report/080615/index.html.
- 遠田晋次・吉見雅行・丸山 正・金田平太郎・粟田泰夫・安藤亮輔・吉岡敏和(2008b):2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層. 日本活断層学会 2008 年度秋季学術大会講演予稿集, 15-18.
- 遠田晋次(2009):2008 年岩手・宮城内陸地震で出現した地震断層. 北淡活断層シンポジウム 2009「親子で体験!地震と防災」講演要旨集, 5-8.
- 堤 浩之・杉戸信彦・石山達也・今泉俊文・丸島直史・越谷 信・廣内大助(2008):2008年岩手・宮城内陸地震の地表地震断層および既存の断層変位地形との関係, 日本活断層学会2008年度秋季学術大会講演予稿集, 58-59.

土井宣夫・斎藤徳美・野田 賢(2008): 2008年6月14日岩手・宮城内陸地震の地表地震断層調査報告(速報) http://www.cande.iwate-u.ac.jp/gpl/080614earthquake_fault_080619.pdf

土井宣夫・斎藤徳美(2008): 2008年6月14日岩手・宮城内陸地震の地表地震断層調査報告(第2報), http://www.cande.iwate-u.ac.jp/gpl/080614earthquake_fault_080728.pdf

東京大学地震研究所 HP(2008): 2008年岩手・宮城内陸地震の地質学的背景. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/Iwate2008/geol/>

吉見雅行・遠田晋次・丸山正(2008): 2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層 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, 口絵 i-ii.

なお、応用地質、国際航業、ダイヤコンサルタント、アイ・エヌ・エーなどの地質コンサルタント会社でも、各社のHPに2008年岩手・宮城内陸地震による被害状況速報や現地調査報告を掲載しているが、文献リストでは省略した。



図2 2008年岩手・宮城内陸地震時の地震断層の出現位置北部 (産業技術総合研究所活断層センターHP, 2008-7-10の図を分割して使用)



図 3 2008 年岩手・宮城内陸地震時の地震断層の出現位置南部 (産業技術総合研究所活断層センターHP, 2008-7-10 を分割使用)

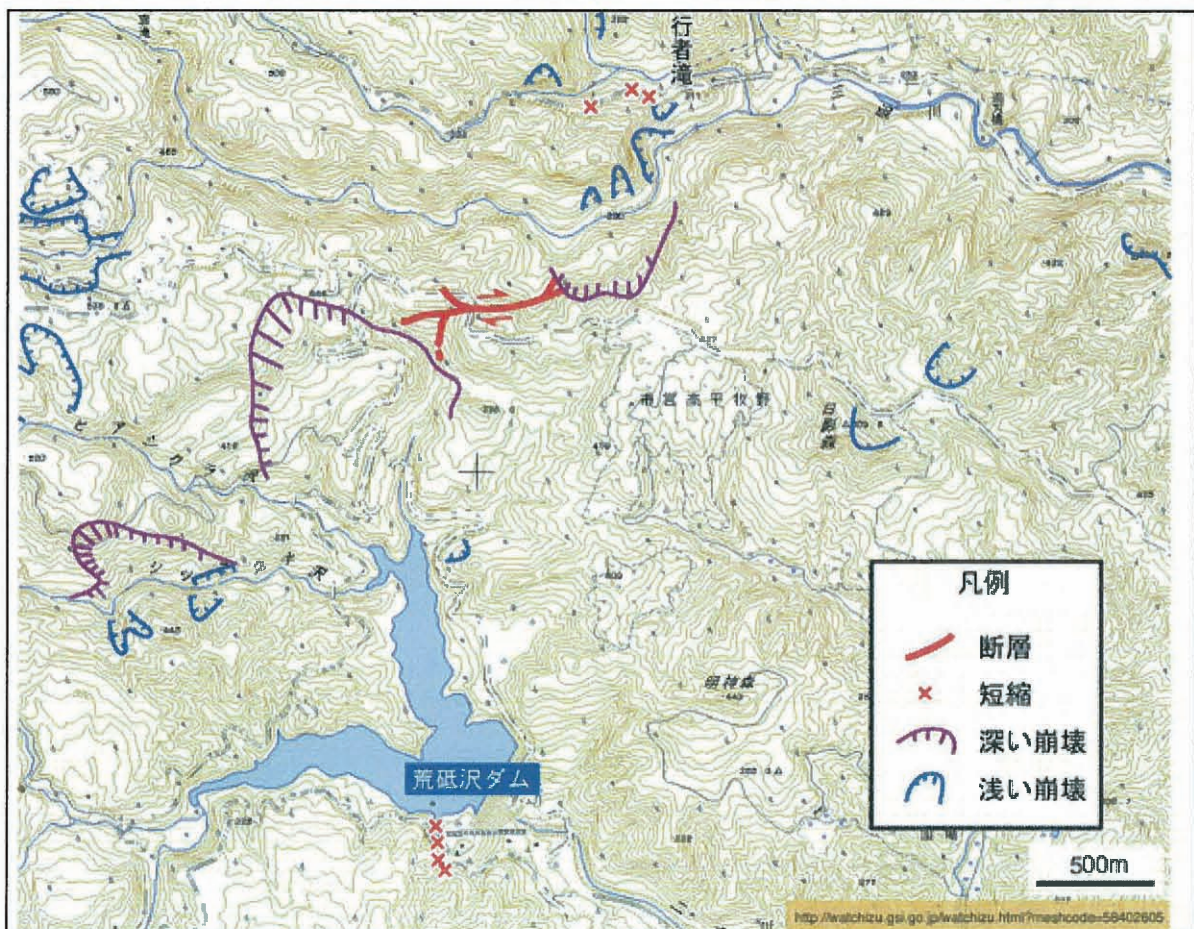


図 4 栗原市荒砥沢ダム付近に出現した地震断層と巨大地すべり (遠田ほか、2008b) 巨大地すべりを連結するように明瞭な右横ずれ断層が出現したが、既存の断層が再活動したと考えられる。荒砥沢ダムの南側にも短縮を伴う楽団層が南北方向へ連なった。

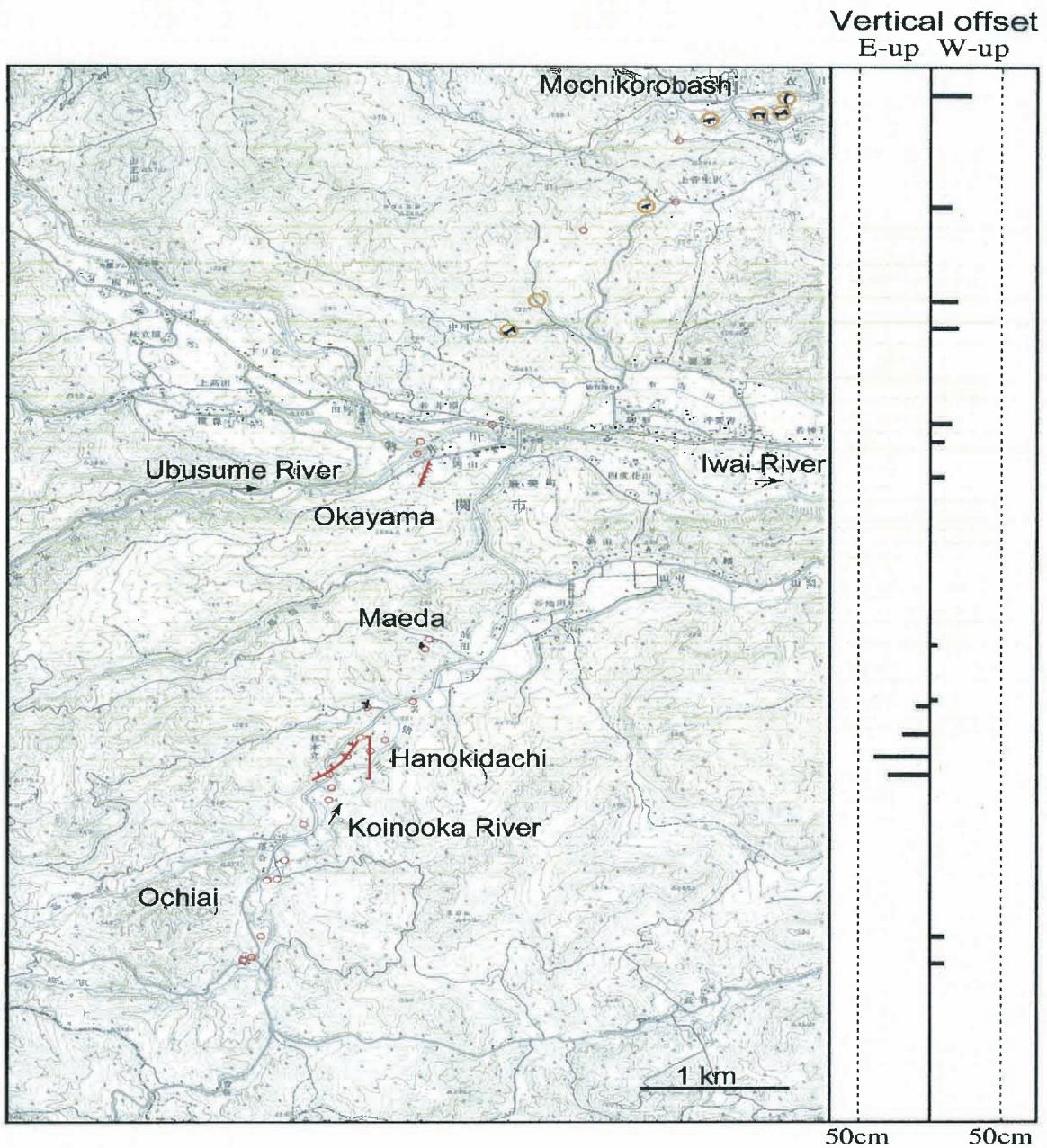


図 5 宮城内陸地震時に出現した地震断層主要部の位置と上下変位量(堤ほか、2008) 奥州市衣川区餅転から一関市落合に至る地域で確認された地表変位の位置(図中のオレンジ色と赤色の丸印)と上下変位量。地表変位の位置図は、石山ほか(2008)と産業技術総合研究所活断層研究センターがホームページで報告した地表変位を追認したものも含んでいる。一関市岡山付近の東側向き低崖と、柷木立付近の北西側向き低崖は空中写真判読でも現地調査でも明瞭に認められる。これらの場所では、低位段丘面を切断する低断層崖の地形が確認されるが、それらの間や南北両方向への連続性は不明瞭である。柷木立の東側における南北方向の赤線付近には、東側へ撓曲低下する地殻変動が水田の傾きなどで現れ、これが震源断層に繋がる逆断層に関係する可能性が高い。



写真1 衣川区餅転の道路に現れた地変



写真2 餅転南の真打川河床の断層露頭、
第三紀層と右側（西側）の河床礫が接触



写真3 餅転南の水田の地変
(写真2の西側の水田における変位)



写真4 一関市岡山の低断層崖と道路面の地変



写真5 柵木立の低断層崖と地震断層
(北東を望む)



写真6 柵木立の地震断層崖
(南西を望む)



写真7 柵木立南方の地震断層と河床壁面の亀裂
(北東を望む)



写真8 栗原市荒砥沢ダム北方の地震断層崖と
右横ずれ（人と人の間）