

2.3.6 航空LP測量データによる湯ノ岳・井戸

沢地震断層の判読

2.3.6.1 断層調査の経緯と概要

2011年4月11日に福島県浜通りを震源とするM7.0の地震が発生した。この地震によって形成されたものと考えられる地表地震断層が、福島県いわき市南西部に位置する活断層の湯ノ岳断層および井戸沢断層付近にて確認され、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所、土木研究所などの研究機関により現地調査結果（速報）が報告されている。なお、井戸沢断層のうち最も西側に位置する断層については『新編日本の活断層』（活断層研究会：1991）に記載された内容と今回の地表地震断層の構造の違いなどから、今回最大の垂直変位量が確認された、いわき市田人町塩ノ平を模式地として「塩ノ平断層」と仮称している（石山・他：2011）。

この地表地震断層の地形形状を調査するために、地震発生から1か月余りが経過した5月18日に航空レーザー計測および空中写真撮影を実施した。取得した詳細な地形データ、画像データなどから地表地震断層による変動地形を判読し、その結果を基に現地にて位置、形状、変位量の検証を行った。

今回の計測・撮影は、湯ノ岳断層および井戸沢断層（塩ノ平断層）の中でも、地表地震断層の垂直変位量が比較的大きく連続性の高い箇所について実施した。図1は航空レーザー計測および空中写真撮影の範囲であり、黒破線は「活断層デジタルマップ」の推定活断層位置を示す。

2.3.6.2 航空レーザー計測および空中写真撮影

近年では、航空レーザー計測は様々な地形計測に応用され、断層地形調査などにも利用される航空測量手法の一つである。

今回の計測では、低速飛行により高密度なデータ取得が可能な回転翼機（ヘリコプター）を使用し、飛行高度は対地750m、1秒間に10万パルス照射、その照射密度は1㎡あたり7.3点と非常に高密度な計測値に設定した。通常の地形計測では1㎡あたり1~3点程度の設定であるのに対し、高密度に設定にした理由は、形成された小さな断層崖を確認するためである。

空中写真は、航空レーザー機器に付属したデジタルカメラで撮影した。デジタルカメラは22Mピクセルの

ものを使用し、地上画素寸法は対地高度750mで約11cmとなる。撮影した写真画像はオルソ化し、航空レーザー計測による地形データと重ね合わせ断層地形の判読に使用した。（背景図は、国土地理院刊行の20万分の1地勢図「白河」）

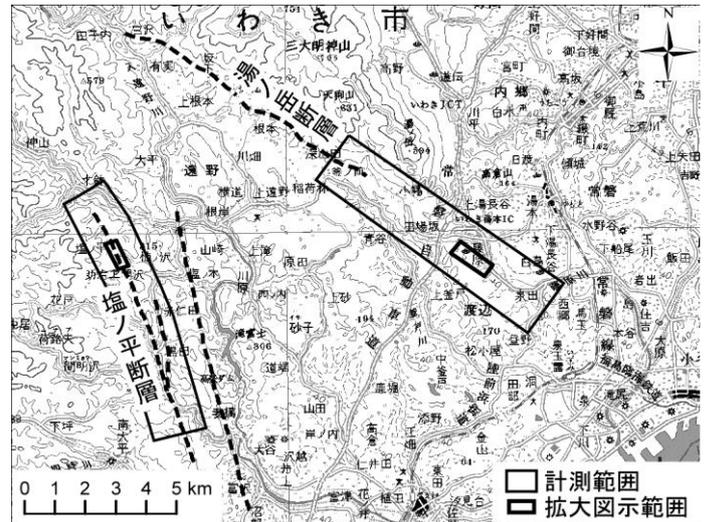


図-3.6.1 計測範囲と推定断層位置

2.3.6.3 地表地震断層の位置・形状の把握

航空レーザー計測および空中写真撮影によるデータを解析処理し、陰影図、陰陽図、オルソ写真図、地震断層判読図を作成した。その中で変位量の大きな塩ノ平断層の模式的箇所を図2（A~D）に示す。この地域は、今回の地震断層で最も変位量の大きかった福島県いわき市田人町塩ノ平地区である。

陰影図（図2A）は樹木や建物を除去した後の地盤をレリーフ状に表したもので、地形の凹凸が平面図に表現されている。陰陽図（図2B）は弊社独自の地形表現図で、地形の凹凸を陰値と陽値に分けた奥行きとして情報化し、画像に付加することで立体感を強調した表現手法である。特に、微地形の判読が陰影図に比べ容易となる特長がある。

陰影図および陰陽図において、NNW-SSE方向に線状のトレースが確認できる。線状の構造は、図の中央付近から北側に向かって2つに分岐している。陰影の陰が西側に認められることから、西落ちの断層であることが推定できる。また、丘陵地や山地、水田や畑地のいずれにも断層と思われる線状構造が追跡可能である。線状構造は直線とは限らず、緩い曲線や若干蛇行しているような箇所も見られる。その段差について

も、段差の陰の濃淡から、連続して一様ではないことが推察される。

空中写真撮影によるオルソ写真図（図 2C）では、図の北側および南側の断層崖が存在すると思われる箇所、針葉樹林の中に線状の空隙が明瞭に確認できる。この箇所の現地調査では、杉の植林地内で地震断層の影響による連続的な樹木の傾動が確認できた（写真-3.6.1）。

また、オルソ写真図の中央付近の三方向を道路に囲まれた丘陵地では、針葉樹の傾動は明瞭には見られない。しかし、陰影図、陰陽図では断層崖と思われる明瞭な段差が確認され、航空レーザ計測の特長の一つである樹林下の地盤を取得することにより、空中写真判読では困難な樹林下の断層崖の検出が可能であった。このような樹林下の断層崖の代表的な露頭状況を写真-3.6.2に示す。

オルソ写真の耕作地やゴルフ場などの樹木のない箇所においても、当然のことながら地震断層発生に伴う断層崖や崩壊地などが確認できる。オルソ写真図（図 2C）では北側に分岐する 2 つの地表地震断層が認められ、そのうち西側のものは水田に露出している。撮影時期が田植えの時期であったことから湛水による色調の違いによる判読が可能であり、横切った断層地形の下段は湛水し、その境界が断層の走向と一致する。

これらの陰影図、陰陽図、オルソ写真図をもとに、地表地震断層判読図（図 2D）を作成することによって、地表地震断層の位置や連続性が把握可能となった。これまでの空中写真による実体視の判読では、人の目で確認して判読結果を移写するため位置精度の低下が生じる場合があったが、航空レーザ計測データでは、直接的に高密度な三次元座標データを取得していることから従来と比較して位置精度を高めることが可能になった。

2.3.6.4 地表地震断層の変位の把握

今回の地震断層の断層構造は、湯ノ岳断層および塩ノ平断層において、いずれも南西落ちの正断層である。現地調査の結果から、その変動形態は大きく「断層崖タイプ」と「撓曲崖タイプ」に区分される。一般に前者は岩盤被覆層が薄く比較的急峻な山地や丘陵地帯で多く観察され、後者は岩盤被覆層が厚い低平な田畑などで多く観察される。

典型的な断層崖タイプと撓曲崖タイプが見られた

湯ノ岳断層について、航空レーザ計測データから断面図を作成した。断面図作成箇所の位置図を図-3.6.3 に示す。図-3.6.1 において湯ノ岳断層は NW-SE 方向の分布が認められるが、図-3.6.3 の範囲はその推定断層の、さらに SE 方向にある福島県いわき市常磐藤原町付近である。図中の P1 および P2 について地表地震断層の断面図を作成し、現地にて断面形状を観察した。

図-3.6.4 の P1 断面はいわきゴルフクラブのフェアウェイを横切る断層崖である。現地写真から正断層の引張り応力により垂直方向にせん断された面が明瞭に見られる。航空レーザ計測データの点分布による断面図から約 60cm の比高であることが確認され、不連続箇所の形状についても断層崖状が表現されている。

また、図-3.6.5 の P2 は P1 の南東約 500m の地点に出現した変状地形である。現地写真からは、水田の地表面を緩い傾斜で撓曲崖が形成されているのがわかる。航空レーザ計測データの点分布による断面図では、水平方向に 2~3m 程の幅で比高が約 40cm の緩いスロープ状の地形を形成する。

いずれの断面においても、その断面形状や垂直変位量において、航空レーザ計測データによる断面図と現地調査の結果に相違がないことが確認された。



写真-3.6.1 針葉樹林の傾動

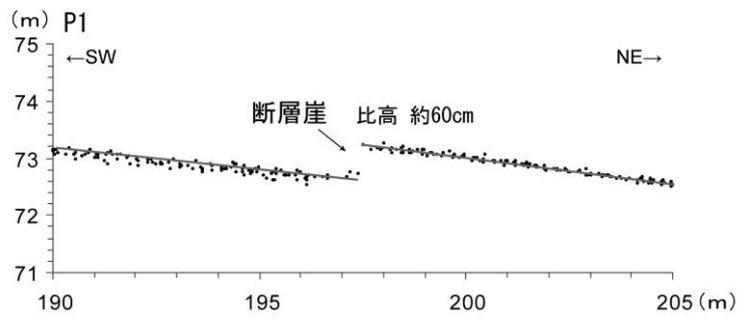


写真-3.6.2 樹林内の断層崖



▷ ◁ 地表地震断層 ▶ ◀ 断面位置

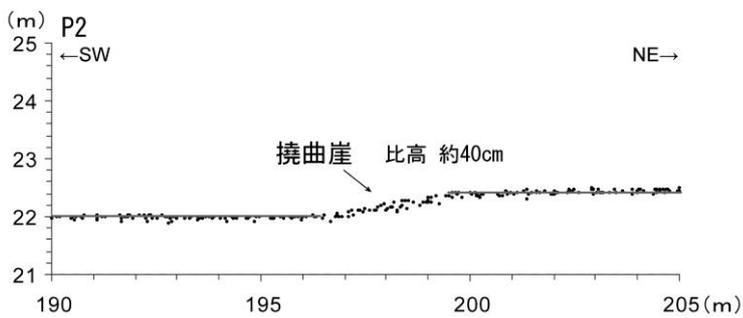
図-3.6.3 典型的な断層崖および撓曲崖の断面位



(断面幅 2m 範囲内のデータを使用)



図-3.6.4 断層崖タイプの断面形状と現地写真



(断面幅 2m 範囲内のデータを使用)



図-3.6.5 撓曲崖タイプの断面形状と現地写真

2.3.6.4 まとめ

東日本大震災では、岩手・宮城・福島の各県を中心として地震・津波・地すべり・崩壊・地表地震断層・液状化などの様々な現象を広域に出現させた。

これらの災害種のうち、変状として比較的小さく現れる傾向にある地表地震断層調査に航空レーザ計測と空中写真撮影を適用した結果、その有効性について再認識することができた。

しかし、航空レーザ計測から地震断層地形の判読には注意すべき点がいくつか存在した。航空レーザ計測データの飛行コース間のずれや樹木除去フィルタリングのノイズ、高圧送電線の線状構造物のノイズなどは、データ処理の方法によっては誤判読を引き起こす可能性があった。また、横ずれ断層や垂直変位量の小さな断層崖については検出が困難であった。

災害直後の対応は、迅速性が求められるため、今後は、今回得られた注意事項への対策と広範囲を状況把握するための実施体制の整備が必要である。