

戦-2 活断層周辺の地下構造調査手法および地盤モデル作成手法に関する調査 (2)

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 15-平 20

担当チーム：技術推進本部 特命事項担当

研究担当者：稲崎富士

【要旨】

道路や河川施設などの線形構造物が内陸活断層と交差して構築されている場合、地震の被害想定では地震動やそれに伴う液状化などの地盤被害に加えて、断層の変位そのものによる構造物の被害についても検討する必要がある。断層変位は主断層部だけでなく断層帯内の副断層にも分配される。しかし断層変位のすべてが地表に明瞭にあらわれるわけではなく、特に沖積低地や人工改変が進んだ市街地などでは変位地形を識別できないことが従来の変動地形調査や群列ボーリング調査の限界として指摘されていた。これに対しランドストリーマーを用いた高分解能反射法探査では、表層部 100m 程度までの浅部地盤の詳細な変形構造をイメージングすることができる。今回、富山県中央部呉羽山丘陵の東麓付近を南北に走る呉羽山断層の浅部断層変形構造を把握することを目的としてランドストリーマー反射法探査を実施した。本断層の近傍には高速道路や河川堤防、鉄道などの重要ラインが存在しており、断層変形帯の把握手法の開発はこれらの防災機能向上や新線建設時の基礎設計に貢献が期待できる。現地探査の結果、P波探査では主断層である低角逆断層の位置を特定することができた。またS波探査では、表層部の粗粒河成堆積物に比定される反射面が変形している構造をとらえることができた。この変形構造は周辺で実施されたボーリング調査結果とも調和的であった。

キーワード：内陸活断層，ランドストリーマー，反射法地震探査，S波速度モデル。

1. はじめに

2007 年中越沖地震や 2008 年岩手宮城内陸地震では、最大震度 6 強、最大加速度で 2000gal を超える強震動が観測されたが、それに加えて大規模な地盤破壊が発生し建造物に甚大な被害を与えたことが特徴的であった。我が国では陸域だけでも 2,000 本以上の活断層が記載されているが、その活動によって地表にまで断層変位が達した場合、同様な地盤破壊が広域的に発生することが懸念される。高速道路や鉄道などの線状構造物は、本来の機能保持のために内陸活断層と交差することが余儀なくされるので、内陸活断層の活動による地盤破壊の影響を受ける確率が高いと想定される。これらの構造物が損壊すると、通行車両に対する直接的な被害だけでなく、災害復旧に不可欠なインフラ機能障害による間接的な影響もはかり知れないものがあり、適切な防災対策の実施が求められる。従来地震による被害想定では、強震動による構造物のひずみ破壊が想定されてきたが、活断層近傍では地盤破壊の影響も評価することが必要とされる。

近年、空中写真判読と群列ボーリング、トレンチ

調査を組み合わせることによって微細な断層変位地形を識別する手順が確立され、その成果は新たな活断層の発見やセグメントの詳細区分として提供されている。しかし断層変位のすべてが地表に明瞭にあらわれるわけではなく、特に沖積低地や人工改変が進んだ市街地などでは変位地形を識別できないことが変動地形学の限界として指摘されていた。

土木研究所では、社会基盤施設の防災・耐震機能向上に資することを目的として、内陸活断層周辺の浅部地盤構造調査手法の開発を進めている。その一環として、活動度が高く縦ずれ成分が卓越する逆断層を対象に、断層帯浅部の変形構造を把握することを目的として独自に開発したランドストリーマーツールを利用した高分解能浅層反射法探査の適用性を検討した。その結果、断層帯浅部の変形構造を詳細にイメージングできることがわかった。

2. 検討調査手法概要

手法検討の対象とした断層富山県中央部を北東—南西に走る呉羽山断層である（図-1）。富山市婦中町安田地区では交付金による反射法地震探査（富山

県, 1997), 群列ボーリング(吉岡ほか, 2007)によって主断層の位置が把握されていた. この位置より約 500m 南西の, 同町小泉地区に約 500m の探査測線を設定した(図-2a). また富山駅西方約 1km, 神通川西岸の同市駒見地区において, 線路の近傍に平行して 2 本の短い測線を設けた(図-2b).

探査には独自に開発した探査ツールであるランドストリーマー(稲崎, 1992)を使用した. 使用したランドストリーマーツールは, 非伸縮性のベルト上に 50cm ないし 1m 間隔で配置された 48 チャンネルの地震計ユニットで構成される. ツールと震源を移動して測定を繰り返し, 反射法地震探査データセットを取得する(ただし観測時には停止させる). 地震計ユニットはプレートを介し地表と接しているが, スパイク等では固定されていない. したがって舗装路面上で容易に移動展開させることができる.

現地探査は 2008 年 3 月に実施した. S 波の起振にはエアハンマーツールを採用し, 各起振点で 4-16 回の垂直重合を加えた. 起振点間隔は 1m, 記録長は 1 秒とした. P 波の起振には人力によるカケヤ打撃法を採用した. 探査条件を表-1 にまとめて示す.

3. 現地適用結果概要

取得したデータを Windows 環境で動作する専用の反射法探査データ処理ソフトウェア解析ソフトを用いて処理した.

富山市婦中町小泉地区 PW_FC_1 測線に対する重合後時間断面を図-3 に示す. 図-3 上の S 波時間断面では, 往復走時 100ms 付近に起伏する強い反射面が認められる. この反射面は測線距離 350m 付近まで追跡することができるが, その右側(南東側)では急に出現走時が 180ms 程度まで下がり, 南東側にゆるく傾斜するように見える. 安田城址付近のボーリングデータ(富山県, 1997)によると, 断層の上盤側では深度 20m 付近で新第三系の基盤が出現している. 一方下盤側では基盤上面深度は 50m 以深と推定されている. 表層部の重合速度(V_{stk} : 160~220m/s)から推定されるこの反射面の深度は 10m 前後と, ボーリングデータに比べるとやや浅いが, この基盤上面境界に対比可能である. 測線距離 350m 以南では, この反射面の上位にも, 南にゆるく傾斜する反射イベントを認めることができる. これらの反射面は測線距離 450m 付近で屈曲しているようにも解釈することが可能であるが, この付近には用水路が走っており, それらからの回折波の影響とも考

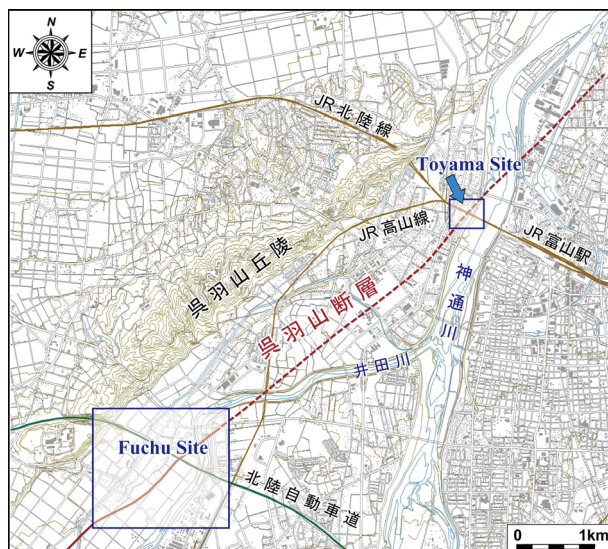


図-1. 呉羽山断層の分布と調査地位置図. 国土地理院発行 1/2.5 万地形図「富山」を使用.

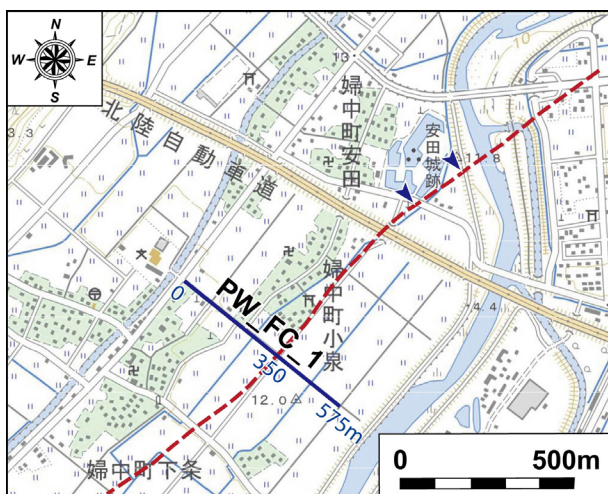


図-2a. 探査測線位置図(富山市婦中町小泉地区). 国土地理院発行 1/2.5 万地形図「富山」を使用.

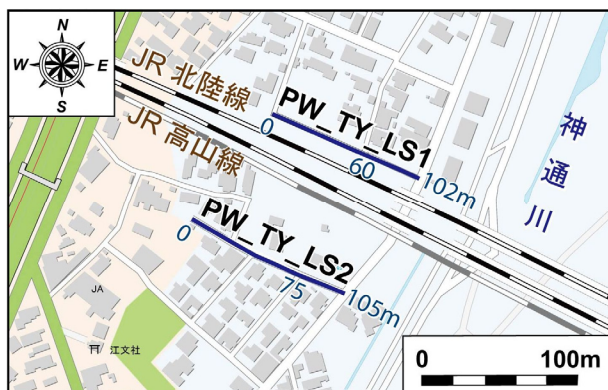


図-2b. 探査測線位置図(富山市駒見地区).

えられる。一方 P 波断面(同図下)では、測線右半部に数枚の平行する反射面が認められる。これらの反射面は測線距離 400m 付近まではほぼフラットであるが、それより左側では傾斜が大きくなり、北側へ落ち込む構造が捉えられている。測線北側には明瞭な反射面が出現していないが、浅部(50~100ms 付近)に逆傾斜(右下がり)の構造を解釈することができる。このような反射断面構造は、富山県による活断層調査で明らかにされた呉羽山断層の浅部変形構造と調和的であった。なおこの測線での断層の地表延長出現位置は測線距離 350~400m 付近と推定される。

富山市駒見地区で実施した 2 本の短い S 波探査測線の深度断面を図-4 に示す。同断面では深度 20m 付近に連続性の良い反射面が認められるが、測線距離 70m 付近においてこの反射面が下方に撓みこむ構造が両断面ともに明瞭に捉えられている。この撓曲構造は上位の反射面にも見出され、深さ約 10m の不整合面下まで及んでいる。中村ほか(2003)は、この地区の段丘面の地形解析から、断層による変形構造を推定した。また鉄道沿線で実施された群列ボーリング調査では、この撓曲構造付近において支持層が 5m 程度落ち込んでいることが確認されている。

表-1 測定条件および使用機器類

測線	PW_FC_1P	PW_FC_1S	PW_TY_LS1	PW_TY_LS2
測定条件				
測線長	575 m	575m	102 m	105 m
発震間隔	2 m	1 m	0.5 m	0.5 m
発震点数	254	525	151	155
震源	かけや	エアハンマー	同左	同左
使用ツール	LS-100P	LS-50S	同左	同左
受振間隔	1 m	0.5 m	0.5 m	0.5 m
地震計	40Hz/V2	28Hz/H4	28Hz/H4	28Hz/H4
探鉱機	DAS-1	StrataView	StrataView	StrataView
サンプル間隔	0.25 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms
記録長	500 ms	1.0 s	1.0 s	1.0 s

反射断面に対する解釈は、これらの既往調査研究結果とも調和的であり、断層運動による表層の変形構造を捉えたものであると結論することが可能である。

速道と主断層帯および小規模断層帯が交差する部分では、断層変位による道路施設の破損が想定される。

4. まとめ

活断層周辺地盤の浅部断層変形構造を把握することが可能な調査手法として、ランドストリーマーツールを利用した高分解能反射法探査の有効性を、実際の活断層に適用して検証した。3 箇所での現地調査実験の結果、同手法によって活断層周辺の擾乱構造を詳細にイメージすることができることが明らかになった。また S

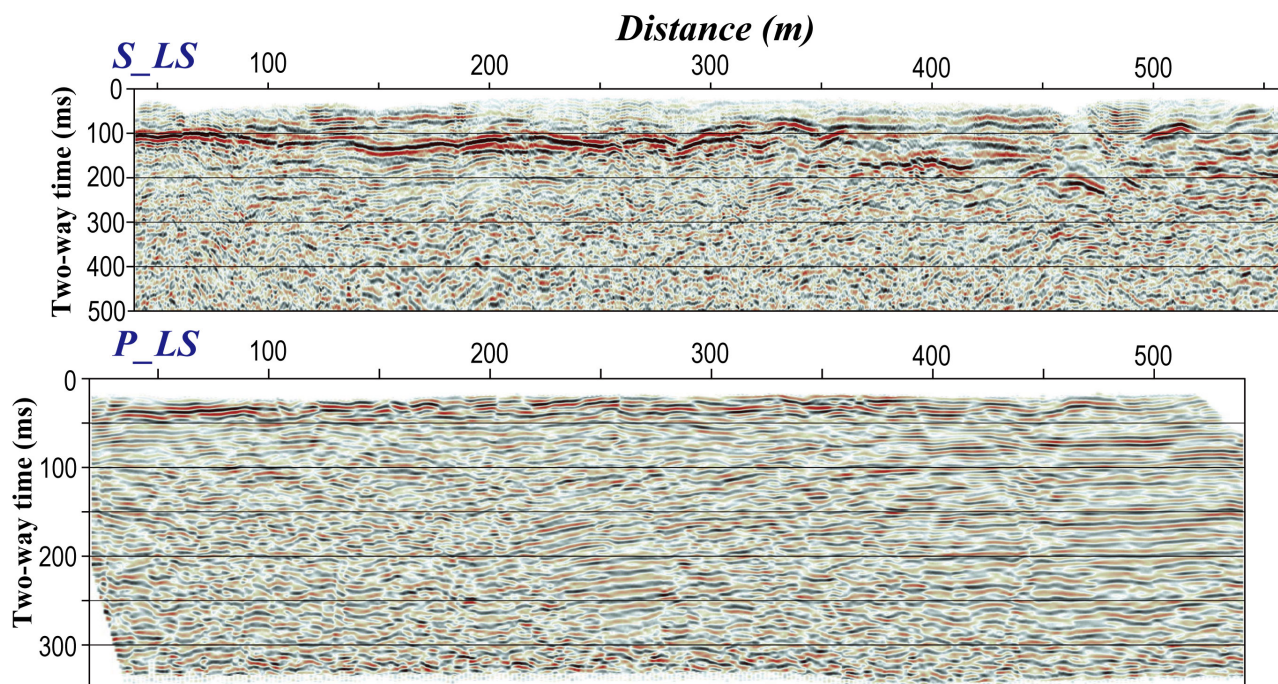


図-3 富山市婦中町小泉地区 PW_FC_1 測線 S 波時間断面(上)及び P 波時間断面比較。

波速度構造のモデル化も可能であることがわかった。さらに、反射断面の変形構造を詳細に解析することで、対象断層の活動史を解明するとともに地震動確率予測の精度向上に貢献することが可能である。

参考文献

稲崎富士(1992):地盤調査技術の開発, 地下空間の利用技術の開発報告書, 第3分冊, 2-26, 建設省
 稲崎富士・中西利典(2007):ランドストリーマーS波反射法による桑名断層の浅部変形構造イメージング, 物理探査学会第 116 回学術講演会講演論文集, 253-255
 中村洋介・岡田篤正・竹村恵二(2003):富山平野西縁の河成段丘とその変形. 地学雑誌, 112, 544-562.
 高橋雅紀・林 広樹・笠原敬司・木村尚紀 (2006) : 関東平野西縁の地震波探査記録の地質学的解釈 - とくに吉見変成岩の露出と利根川構造線の西

方延長一. 地質学雑誌, 112, 33-52.
 高野 修・荒戸 裕之・中西 健史・松岡 俊文・佐伯 龍男(2006) : 三次元反射法地震探査技術の進展がもたらす地質学, とくに堆積学分野へのインパクト. 物理探査, 59, 225-231.
 富山県 (1997) : 平成 7 年度呉羽山断層に関する調査成果報告書.
 吉岡敏和・細矢卓志・橋本智雄・真柄耕治(2007) : 砺波平野断層帯および呉羽山断層帯の古地震調査. 活断層・古地震研究報告, no. 7, 181-196.

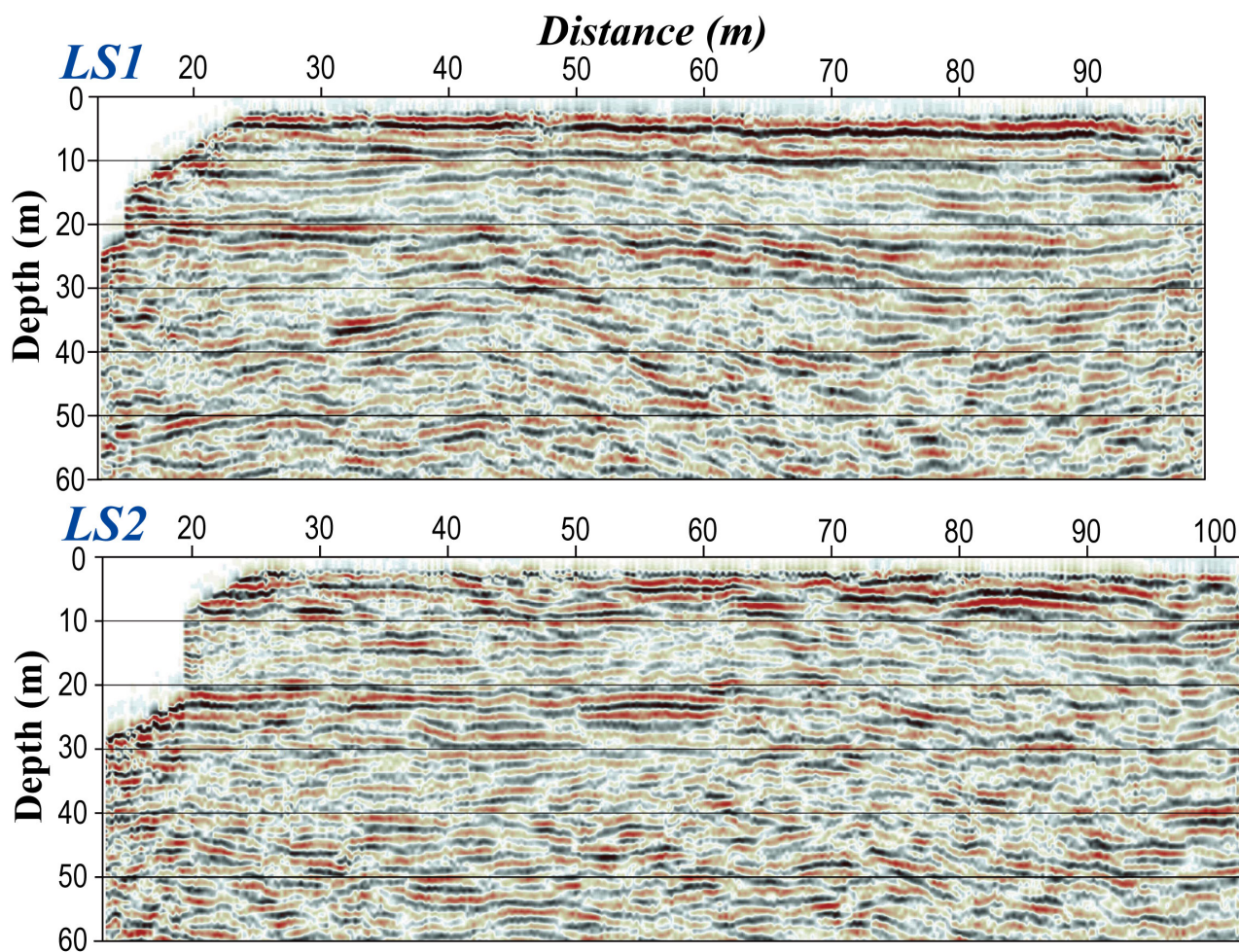


図-4 富山市駒見地区 PW_TY_LS1 測線(上)及び PW_TY_LS2 測線(下)S波深度断面比較。(縦横比: 1/2)

RESEARCH ON DETAILED IMAGING AND MODELING OF ACTIVE FAULTING STRUCTURE

Abstract : Active faults which have the potential to cause disastrous earthquake in the near future are widely distributed in Japan. As well known, faulting structure recorded in the near surface layer is the key to reveal the behavioral pattern of each fault and evaluate the potential activity. High resolution seismic reflection method using Land Streamer developed by PWRI was successfully applied to image detailed structure of Kureha-yama fault, Toyama Prefecture. A 550 m-long seismic line was deployed to obtain P- and S-wave seismic profiles across the fault. CMP stacked time sections profiled a low angle thrust faulting and related deformation structure at the frontal part in the near surface down to 200 m in depth. Other two 100 m-long parallel seismic lines were set along a railway at a residential area where the fault was inferred to extend. S-wave CMP stacked depth sections delineated flexure structure unconformably overlain by recent flood deposits. The depression structure was concordant with interpreted structure of logs drilled near the lines. As a result, high-resolution shallow seismic reflection surveying using Land Streamer is helpful to provide valuable information regarding seismic zoning near an active fault for earthquake disaster prevention of infrastructures.

Key words : active fault, Land Streamer, seismic reflection surveying, near-surface faulting structure.