

### 3.2.4 陸域活構造調査

#### 目次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画
  - 1) 平成25年度
  - 2) 平成26年度
  - 3) 平成27年度
  - 4) 平成28年度
  - 5) 平成29年度
  - 6) 平成30年度
  - 7) 平成31年度
  - 8) 平成32年度
- (e) 平成27年度業務目的

##### (2) 平成27年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

##### (3) 平成28年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

#### 2.4 陸域活構造調査

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	助教	石山 達也
	教授	佐藤 比呂志
	特任研究員	加藤 直子
首都大学東京都市環境学部	教授	鈴木 毅彦
信州大学教育学部	教授	廣内 大助
地域地盤環境研究所	研究員	越後 智雄
岡山大学大学院教育学研究科	准教授	松多 信尚
法政大学人間環境学部	講師	杉戸 信彦
岩手大学理工学部	准教授	越谷 信
愛知教育大学	教授	戸田 茂
新潟大学理学部	教授	豊島 剛志
	講師	小林 健太

### (c) 業務の目的

陸域の変動地形学的調査と地下構造調査を組み合わせ、沿岸域の震源断層モデルの高度化に資する資料を得る。

### (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

#### 1) 平成25年度：

飛騨山脈北縁から能登半島北方海域で実施される海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行った。

#### 2) 平成26年度：

平成25年度・平成26年度の海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行った。

#### 3) 平成27年度：

引き続き海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状

を明らかにするために、得られた地形及び浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行った。

4) 平成 28 年度 :

平成 27 年度・平成 28 年度実施の海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部である北陸・山陰沿岸地域の主要活構造について、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、変動地形・構造地質学的な解析を行う。

5) 平成 29 年度 :

引き続き海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形及び浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行う。

6) 平成 30 年度 :

引き続き海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形及び浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行う。

7) 平成 31 年度 :

引き続き海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行う。

8) 平成 32 年度 :

調査領域の陸域部の活構造について、前年度までの調査結果をとりまとめ、その結果を震源断層モデル構築のための基礎資料として提供する。

(e) 平成 27 年度業務目的

平成 26 年度・平成 27 年度の海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造について、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、得られた地形および浅部地下構造について変動地形・構造地質学的な解析を行う。

## (2) 平成 27 年度の成果

### (a) 業務の要約

海陸統合測線及び沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造である福井平野周辺の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、高精度浅層反射法地震探査を実施し、そのイメージングを行った。

### (b) 業務の成果

1948年に発生した福井地震(M7.1)は、1946年昭和南海地震以降最初に発生した最大の内陸地震である。福井平野では全潰率が100%に達する集落も多く、福井市・丸岡町(現坂井市)・森田町(現福井市)などに甚大な被害が発生した。福井地震を契機として、気象庁震度階に震度(激震)が加わったことで知られる。建造物に甚大な被害を生じたほか、沖積平野である福井平野では、液状化等に伴う鉄路・路盤の変状と橋梁の落下や、砂丘の大崩壊等、軟弱な地盤を反映した災害が数多く発生した。水準路線の改測によって福井地震時の地盤変動が明らかになり、福井平野の中央部に伏在する左横ずれ断層のすべりによってその分布が説明された<sup>1)</sup>。その一方で、地震直後の現地調査では明瞭な地表地震断層は認められず、その原因について活発な議論が行われた<sup>2)</sup>。ところが、例えば『新編 日本の活断層』<sup>3)</sup>には「地震断層」が図示されており、混乱がみられる。近年、地震発生直後に米軍によって撮影された高解像度空中写真が再検討され、「地震断層」に沿っては明瞭な地表地震断層は存在しないことが確認された<sup>4)</sup>。このように、福井地震の震源断層の直上には明瞭な変動地形は存在しないとみられる一方で、福井平野東縁部から両白山地西麓部にかけては、南北走向の左横ずれ断層が数条並走して分布する<sup>4) 5) 6) 7)</sup>。このうち瓜生断層<sup>5)</sup>に沿っては沖積面を変位させる変位地形が存在する。ここで行われたトレンチ調査では、およそ3000年前に最新活動があったとされ<sup>8)</sup>、これらは1948年福井地震の際には活動していないとみられる。このような福井地震の震源断層を含む左横ずれ断層系についてはその成因や相互の関係について不明な点が多い。また、福井平野東縁断層帯の北方延長には見当山断層<sup>9)</sup>や海域に活断層が分布しており<sup>10) 11)</sup>、その連続性を検討することは、海陸境界部の震源断層を推定する上で重要である。そこで、福井地震震源断層を含む福井平野中央部から福井平野東縁断層帯が分布する両白山地西麓部にかけての測線(坂井測線)において、浅部の高分解能反射法地震探査を実施した(図1および2)。測線は福井県坂井市坂井町蔵垣内から同あわら市を経て坂井市丸岡町に至る約9.6 km区間である。本探査では10 m間隔で独立型収録器GSR-1(OYO Geospace社製)の展開と中型バイブレーターEnviroVib(IVI社製)1台による稠密発震を行い、高分解能な反射法のデータを取得した(図3、表1)。実施期間は2015年11月16日~26日である。

主なデータ取得パラメーターは以下の通りである：受振点間隔：10 m、発震点間隔(標準)：10 m、総発震点数：907点、展開チャンネル数：925 ch、スイープ長：16 sec、スイープ周波数：8-90 Hz、地震計固有周波数：10 Hz、サンプリング間隔：2 msec、平均垂直重合数：3回。

また、屈折法として、1000 m間隔10点で1点あたり20回、スイープ周波数8-40 Hzの集中発震を実施した。受振点・発震点の測量はネットワーク型RTK-GNSS測位(VRS方式)

及び光波測距儀による多角測量によって実施した。測線全般でノイズレベルは低く、殆どのショット記録において S/N 比の高い良好な記録が得られた(図 4~9)。

この観測記録を用いて、Super-XC ((株)地球科学総合研究所製)を使用した共通反射点重合法に基づく初期的なデータ解析を行った。主な解析パラメーターは以下の通りである: AGC: 100 msec; Deconvolution gate length 3000 msec, operator length 200 msec, 予測距離 8 msec; Bandpass filter: 10/20-80/100 Hz; F-X FD Migration, 80 %

図 10 に暫定的な深度断面図を示す。変動地形的な考察や既往研究の結果<sup>4) 5) 6) 7)</sup>から福井平野東縁断層帯を構成する 2 条の断層が通過すると推定される地点付近では、中新世前期の火砕岩である糸生層(岩稲層相当層)<sup>12) 13)</sup>の分布域に反射面の不連続が認められ、ほぼ垂直な断層が存在すると推定される。一方、福井地震の震源断層が位置すると推定される領域では、中新統の上位に層厚 100 m 以上の第四系が分布するとみられるが、現状では明瞭な変形構造は確認できない。今後は、反射法の解析を進めるとともに、変動地形・表層地質などと併せて福井平野周辺の活断層の浅部地質構造について詳細な解析を進める予定である。

なお、反射法地震探査の実施に際しては、福井県庁・あわら市役所・坂井市役所の関係部署ならびに測線周辺の住民各位の多大なご協力を賜った。ここに記して感謝します。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部の主要活構造である福井平野周辺の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、高分解能な浅層反射法地震探査を実施し、良好な記録を得るとともに、共通反射点重合法による反射法解析を行い、暫定的な地下構造断面を作成し、特に福井平野東縁断層帯に対応する変形を見出した。今後はさらに解析を進め、変動地形・表層地質や重力データなどと併せて福井平野周辺の活断層の浅部地質構造と活動性について詳細な解析を進める。

#### (d) 引用文献

- 1) 鷺谷 威: 1948 年福井地震 (M= 7.1) に伴う地殻変動と震源断層モデル, 地震 2 輯, 52, 111-120, 1999.
- 2) 小笠原義勝: 福井地震の被害と地変, 地理調査所時報 6, 2-13, 1949.
- 3) 活断層研究会編: 「新編日本の活断層 - 分布図と資料 - 」. 東京大学出版会, 437p., 1991 .
- 4) 東郷正美・岡田篤正・堤 浩之・石山達也・小野塚良三: 1:25,000 都市圏活断層図「福井」, 国土地理院技術資料, D1-No. 388, 2002 .
- 5) 廣内大助: 福井平野東縁地域の活構造と地形発達. 地理学評論, 76, 119-141, 2003.
- 6) 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編: 第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会, 254p, 2002 .
- 7) 中田 高・今泉俊文編: 活断層デジタルマップ, 東京大学出版会, 2002.
- 8) 産業技術総合研究所: 福井平野東縁断層帯の活動性および活動履歴調査「活断層の追加・補完調査」成果報告書 No.H19-8, 29pp., 2008.
- 9) 廣内大助・安江健一: 福井平野東縁最北部における見当山断層の発見とその意義, 第四紀研究, 40, 67-74, 2001.

- 10) 地震予知総合研究振興会: 沿岸海域における活断層調査 福井平野東縁断層帯(海域部) 成果報告書, 19p., 2011.
- 11) 岡村行信: 20万分の1「能登半島西方海底地質図及び説明書」, 海洋地質図, no.61, 産業技術総合研究所, 2007.
- 12) 鹿野和彦・原山 智・山本博文・竹内 誠・宇都浩三・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久: 20万分の1地質図幅「金沢」, 地質調査所, 1999.
- 13) 鹿野和彦・山本博文・中川登美雄: 福井地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 68 p., 2007.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
石山達也・佐藤比呂志・加藤直子	地殻構造探査により明らかになった富山堆積盆地の活断層の構造的特徴(口頭発表)	日本地球惑星科学連合2015年大会	平成27年5月28日
石山 達也・佐藤 比呂志・加藤 直子・蔵下 英司・戸田 茂・越谷 信・小林 健太・野 徹雄・佐藤 壮・小平 秀一・白石 和也・東中 基倫・阿部 進・かほく 砺波構造探査研究グループ	日本海地震・津波調査プロジェクト:海陸統合地殻構造探査「2014年かほく・砺波測線」による富山堆積盆地の構造(口頭発表)	日本地球惑星科学連合2015年大会	平成27年5月27日
石山 達也・佐藤 比呂志・加藤 直子・蔵下 英司・越谷 信・戸田 茂・小林 健太・野 徹雄・佐藤 壮・小平 秀一・白石 和也・東中 基倫・阿部 進	地殻構造探査「2014年かほく・砺波測線」による富山堆積盆地の構造(口頭発表)	石油技術協会春季講演会(国立青少年オリンピックセンター)	平成27年6月11日
石山達也・佐藤比呂志・加藤直子・越谷信・松原 誠・阿部進・東中基倫	北陸地域の浅部～深部地殻構造と活構造(口頭発表)	日本地質学会2015年学術大会(信州大学)	平成27年9月12日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

**(3) 平成28年度業務計画案**

平成27年度・平成28年度実施の海陸統合測線および沿岸調査海域周辺の陸域部である北陸・山陰沿岸地域の主要活構造について、調査地域の活断層の活動性や浅部形状を明らかにするために、変動地形や浅層反射法地震探査などの活構造調査を実施し、変動地形・構造地質学的な解析を行う。

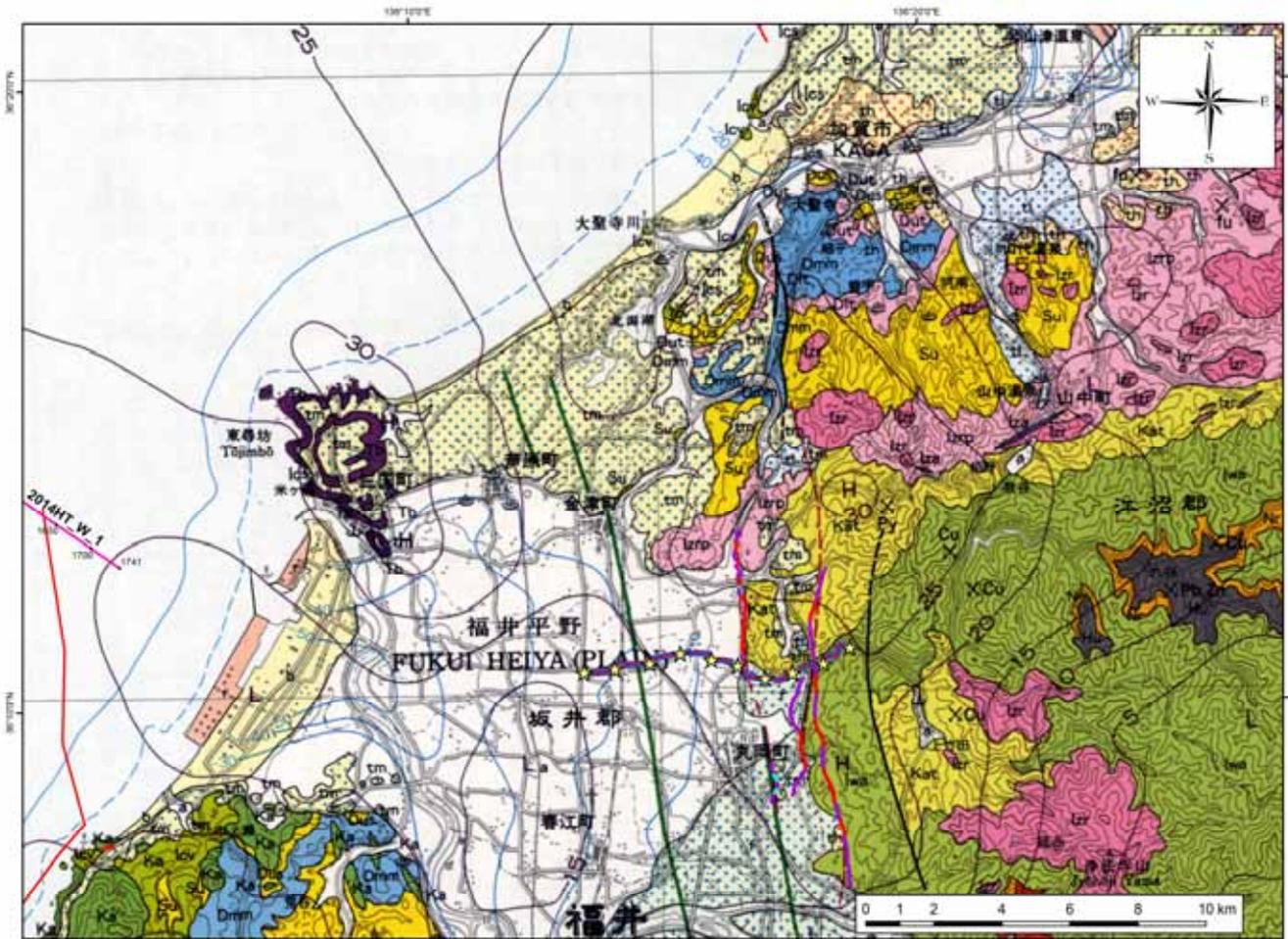


図1 反射法地震探査・坂井測線の概略位置図。測線を青線（受振測線）・赤点（発震点）で示す。背景地質図は鹿野ほか（1999）<sup>12)</sup>による。活断層（赤線・紫線）の位置は中田・今泉編（2002）<sup>7)</sup>に基づく。

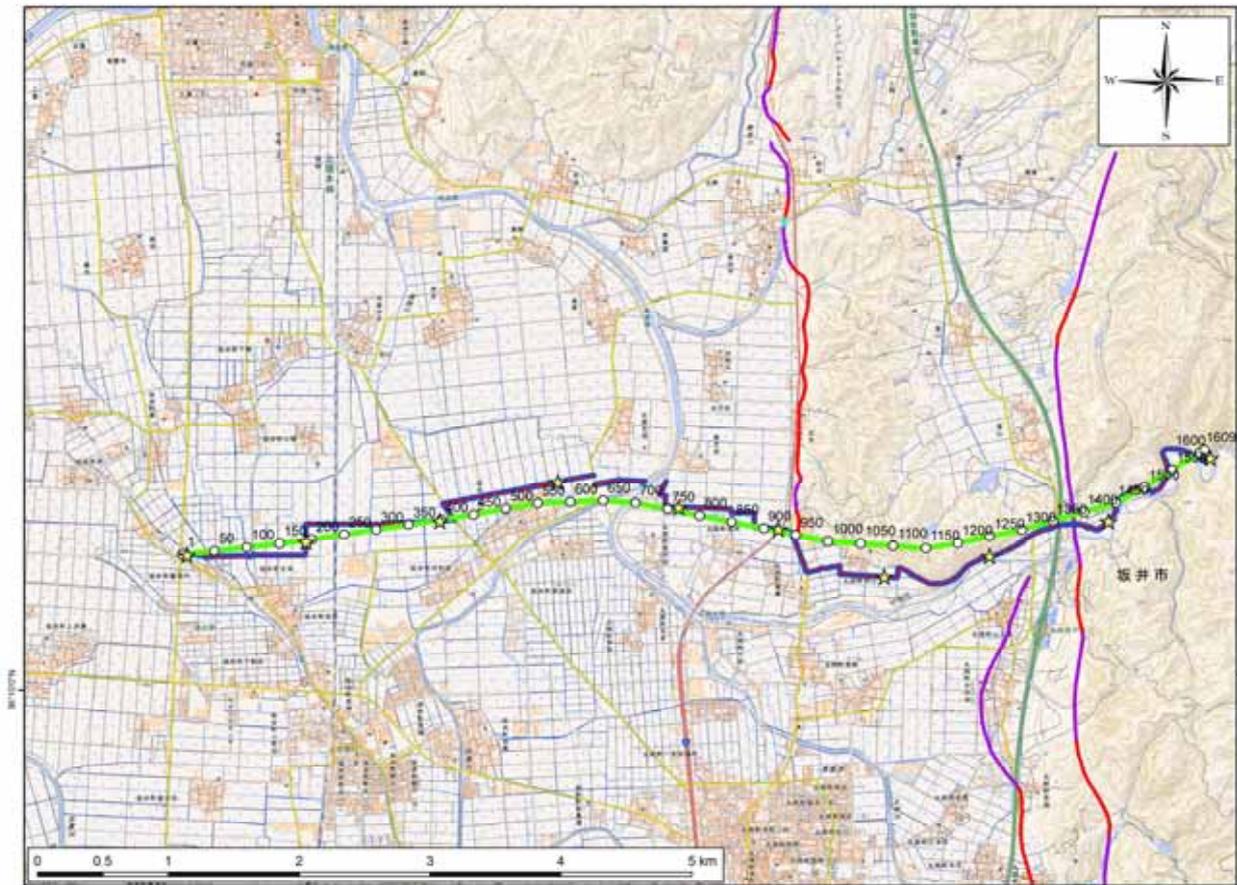


図2 反射法地震探査・坂井測線の詳細位置図。重合測線を黄緑線で示す。星印は屈折法の集中発震点を示す。活断層の位置は中田・今泉編(2002)7)に基づく。



図3 調査観測風景。(a) 福井平野での発震作業、(b) 両白山地山麓部、住宅地での発震作業、(c) 山間部での発震作業、(d) GSR-1の設置の様子、(e) ネットワーク型RTK-GNSS測量の様子、(f) くい打ち作業の様子。

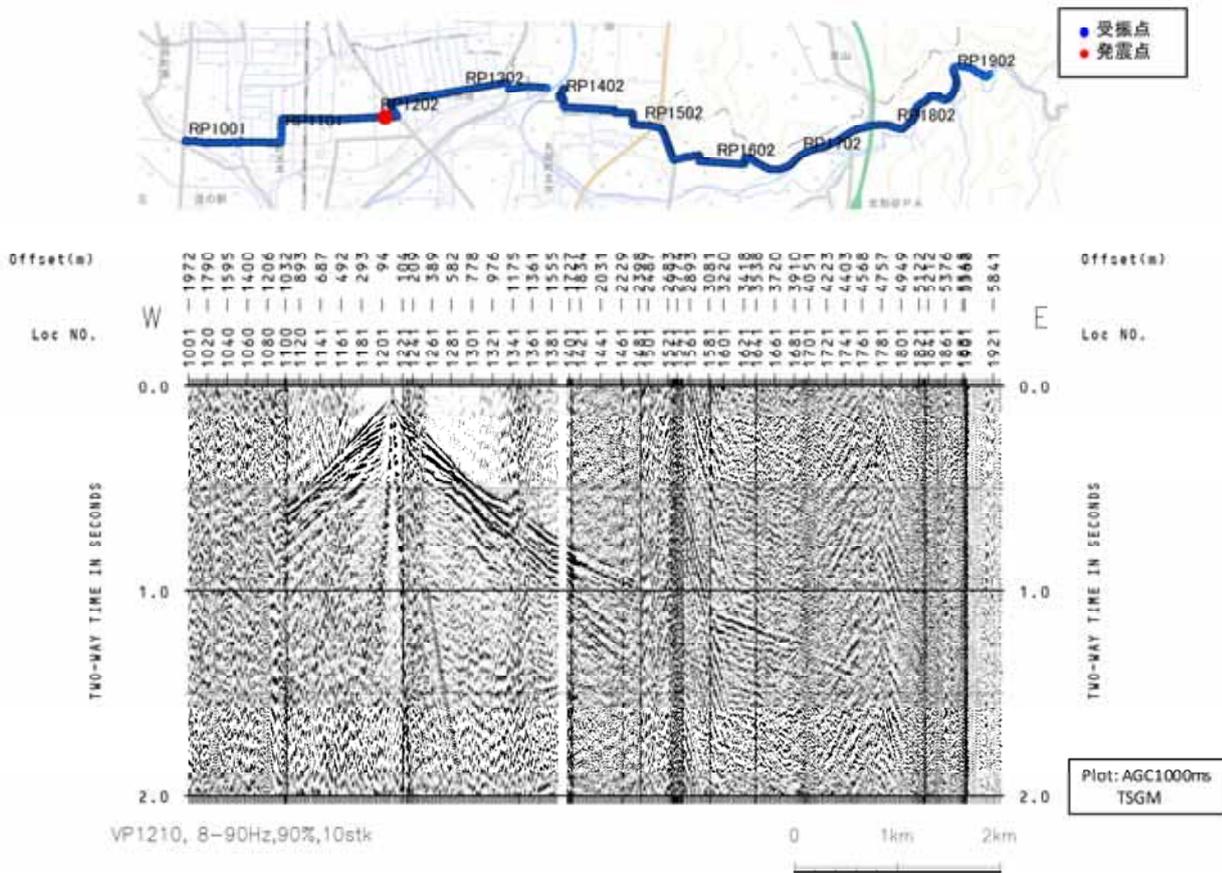


図 4 VP1210 における発震記録。

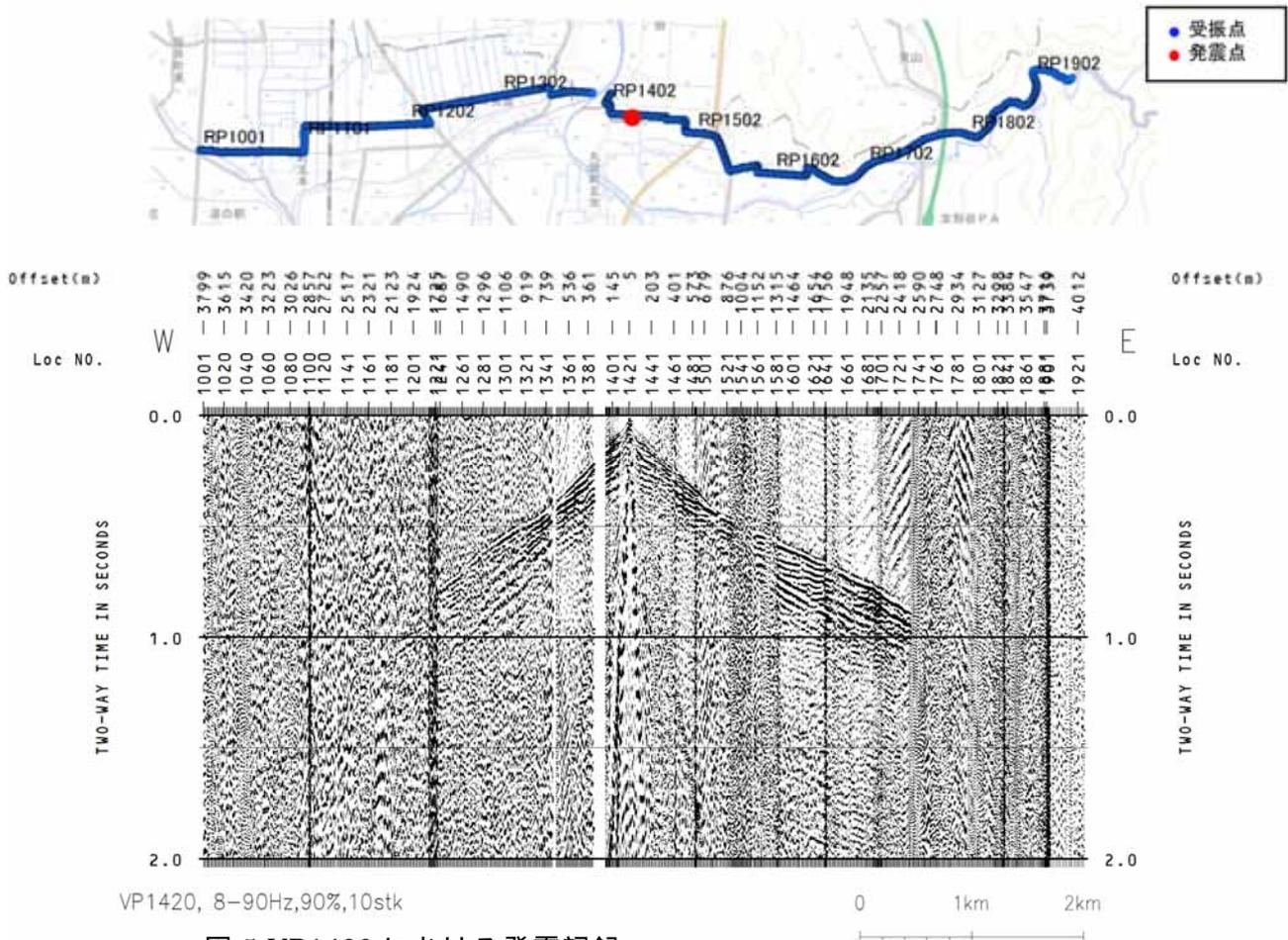


図 5 VP1420 における発震記録。

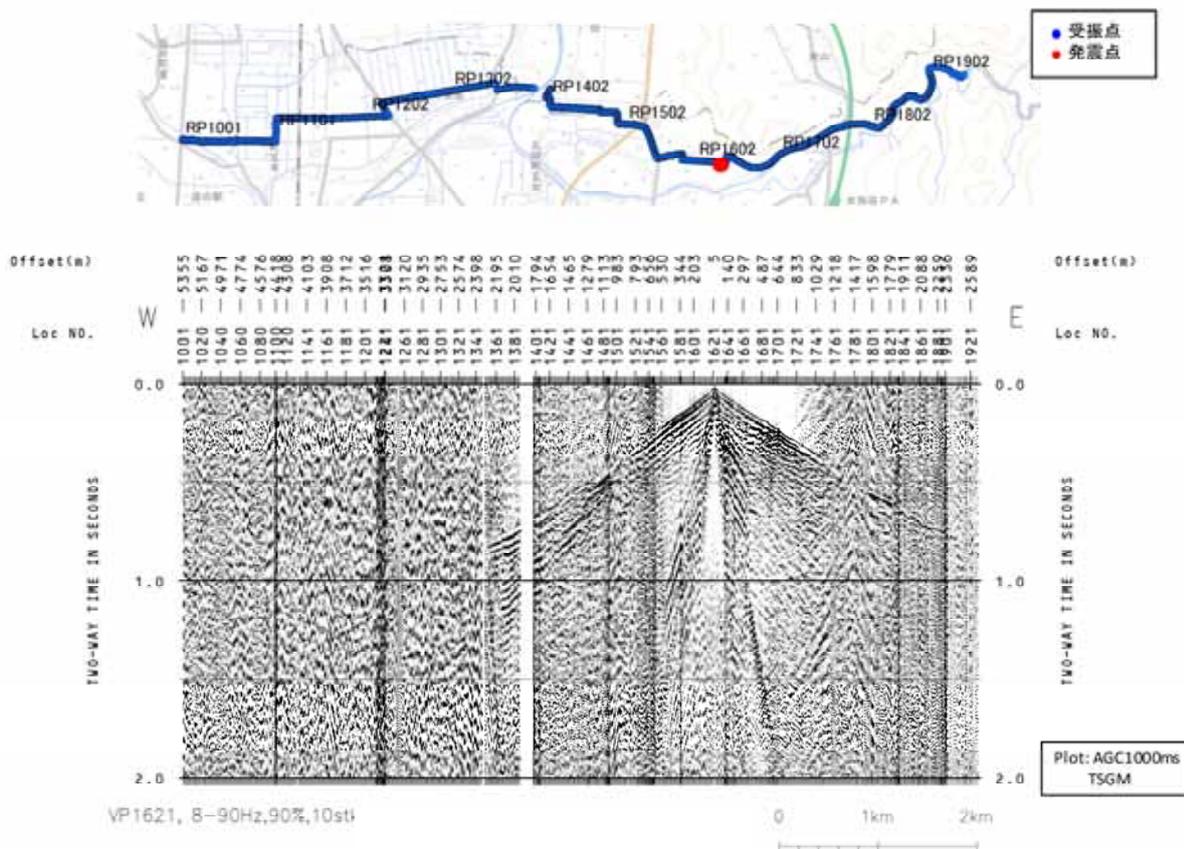


図 6 VP1621 における発震記録。

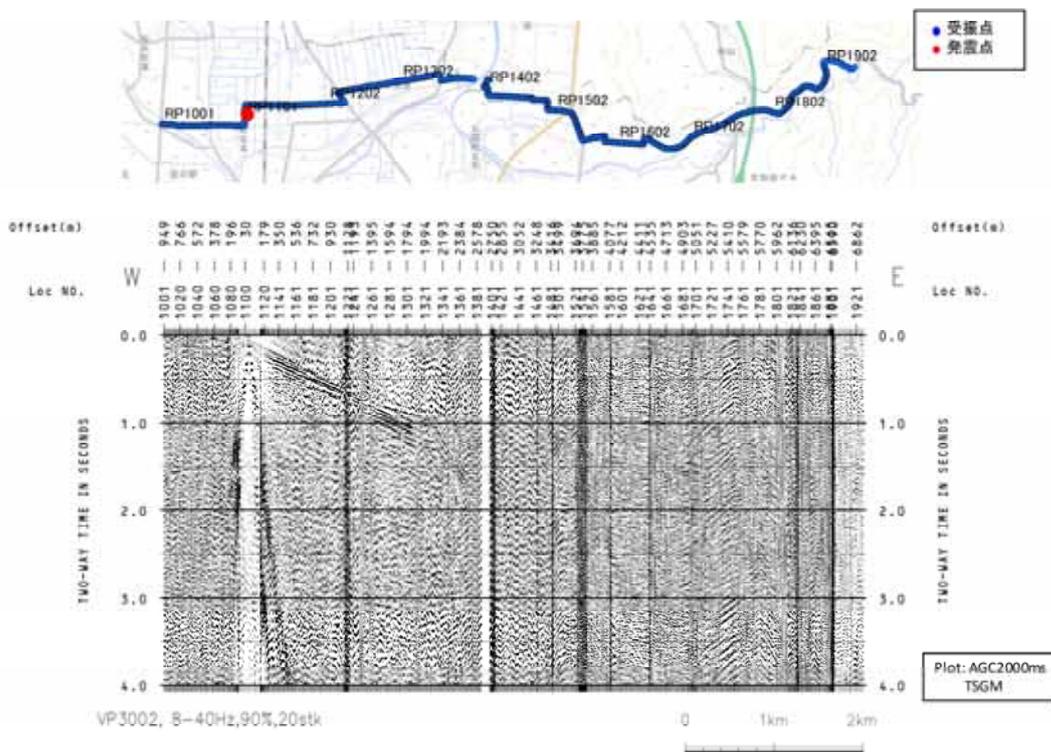


図 7 VP3002 における集中発震記録。

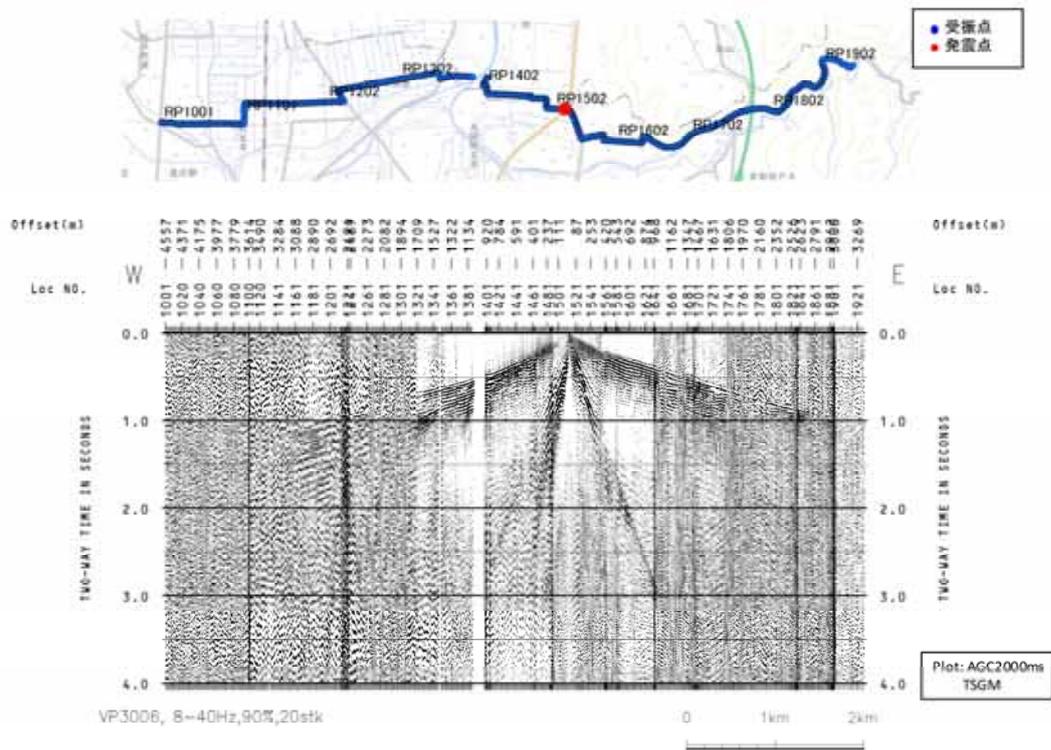


図 8 VP3006 における集中発震記録。

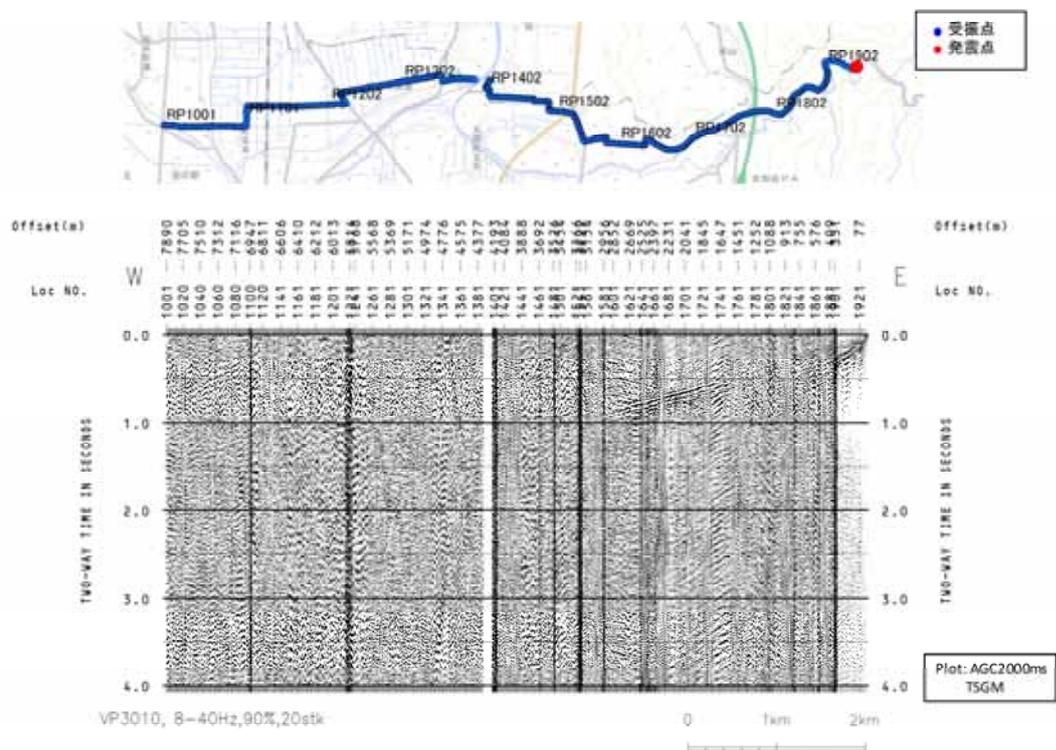


図 9 VP3010 における集中発震記録。

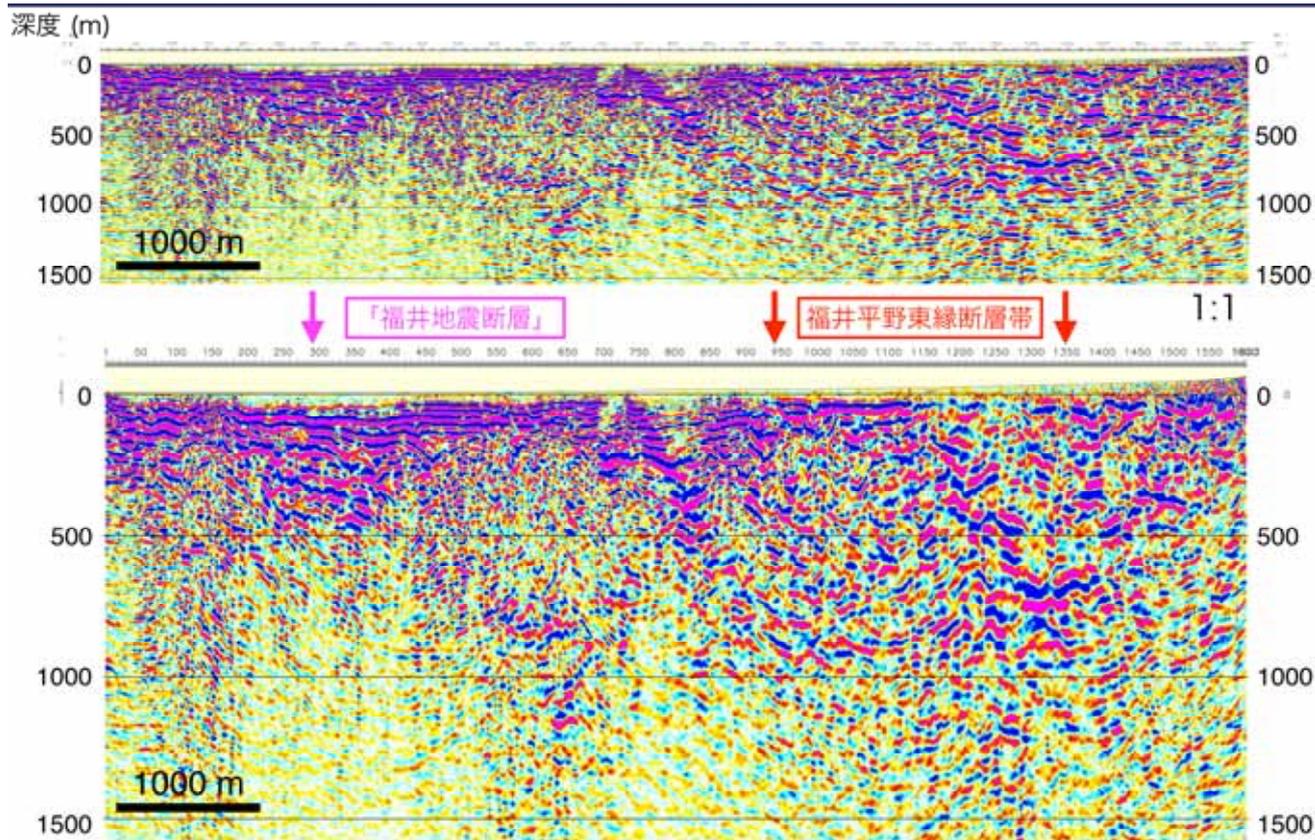


図 10 暫定的な深度断面図。上図は縦横比 1:1、 下図は縦 2 倍強調。

表 1 データ取得パラメーター一覧

調査項目/測定諸元	反射法発震	屈折法発震
発震種別	高分解能パイプレータ発震	高エネルギーパイプレータ発震
測線長	9.6km	9.6km
調査測線位置概要	受振器展開は全区間。測線上に標準10m及び20m間隔で受振点及び発震点を設定	受振器展開は全区間。測線上に標準10m及び20m間隔で受振点及び発震点を設定
<b>発震系パラメータ</b>		
震源	中型パイプレータ (EnviroVib)	中型パイプレータ (EnviroVib)
パイプレータ台数	1 台	1 台
標準発震点間隔	10 m, 20 m	1000 m
発震区間	9.6 km (道路沿い)	9.6 km (道路沿い)
スイープ長	16 sec	16 sec
発震回数/発震点	3回, 10 回	20回
スイープ周波数	8~90Hz	8~40Hz
総発震点数	907点	10 点
<b>受振系パラメータ</b>		
受振点間隔	10m, 20m	
受振器種別	SM-24 10Hz, GS-One 10Hz	
受振器数/受振点	3個組, シングル	
展開パターン	固定展開	
展開長	9.6 km	
総受振点数	925点	
<b>記録系パラメータ</b>		
独立型記録システム	GSR-1 (OYO Geospace社製)	
サンプルレート	2 msec	
チャンネル数	925 (固定展開)	
プリアンプゲイン	30dB	
記録長	連続観測(データ取得後に下記パラメータにて編集作業を実施)	
Diversity Edit パラメータ	W=2.0sec(Ovl=1.0sec) $\alpha=3.0$	
相互相関	CAS	
編集後記録長	4 sec	