

## 足柄平野における浅部地下構造調査 — データ取得 —

### Shallow seismic reflection survey at the Ashigara plain, Kanagawa Prefecture, central Japan - Data acquisition -

山口和雄<sup>1\*</sup>・伊藤 忍<sup>1</sup>

Kazuo Yamaguchi<sup>1\*</sup> and Shinobu Ito<sup>1</sup>

**Abstract:** We conducted shallow seismic reflection surveys near the Kouzu-Matsuda fault and its vicinity, Kanagawa Prefecture, central Japan to reveal the shallow subsurface structure of the Kouzu-Matsuda fault and the active fault inferred at the Chiyo terrace and their relationship. The seismic source is a P-wave Yuatsu impactor, intervals of stations are 2 m for both source and receiver, the maximum source – receiver offset is 382 m, two survey lines align in series and they are 1.2 km and 1.1 km long, respectively. In vertically stacked and gained shot records, first breaks of 1.6 ~ 1.8 km/s apparent velocity reach the maximum offset and reflection waves are recognized down to 300 ms in two way time. In preliminary constant velocity stacked CMP time sections with simple processing, continuous reflectors are recognized between 50 ms and 200 ms in two way time and east dipping short reflectors exist near the Kouzu-Matsuda fault and the western edge of the Chiyo terrace.

**Keywords:** Seismic reflection survey, Kouzu-Matsuda fault, Subsurface structure, Thrust fault, Ashigara plain, Oiso hills, Chiyo terrace, Odawara city

#### 要旨

国府津—松田断層および千代台地西縁に推定される活断層の深度 10 数 m から 300 m 程度までの浅部地下構造と両者の関係の解明を目的として、神奈川県小田原市千代、高田、曾我別所地区で測線長計 2.3 km の反射法地震探査を実施した。震源は P 波油圧インパクト、測点間隔は 2 m、最大オフセットは 382 m、測線は 2 本で線状に並び、それぞれの長さは 1.2 km と 1.1 km である。振幅調整後の発震記録で見掛け速度 1.6 km/s ~ 1.8 km/s の初動が最大オフセットまで到達し、往復走時 300 ms まで反射波が認められる。簡易処理と定速度 NMO 補正を適用した予備的な CMP 重合時間断面で往復走時 50 ms ~ 200 ms に連続的な反射面がイメージングされた。東傾斜の短い反射面は国府津—松田断層、千代台地西縁の活断層を反映している可能性がある。

#### 1. はじめに

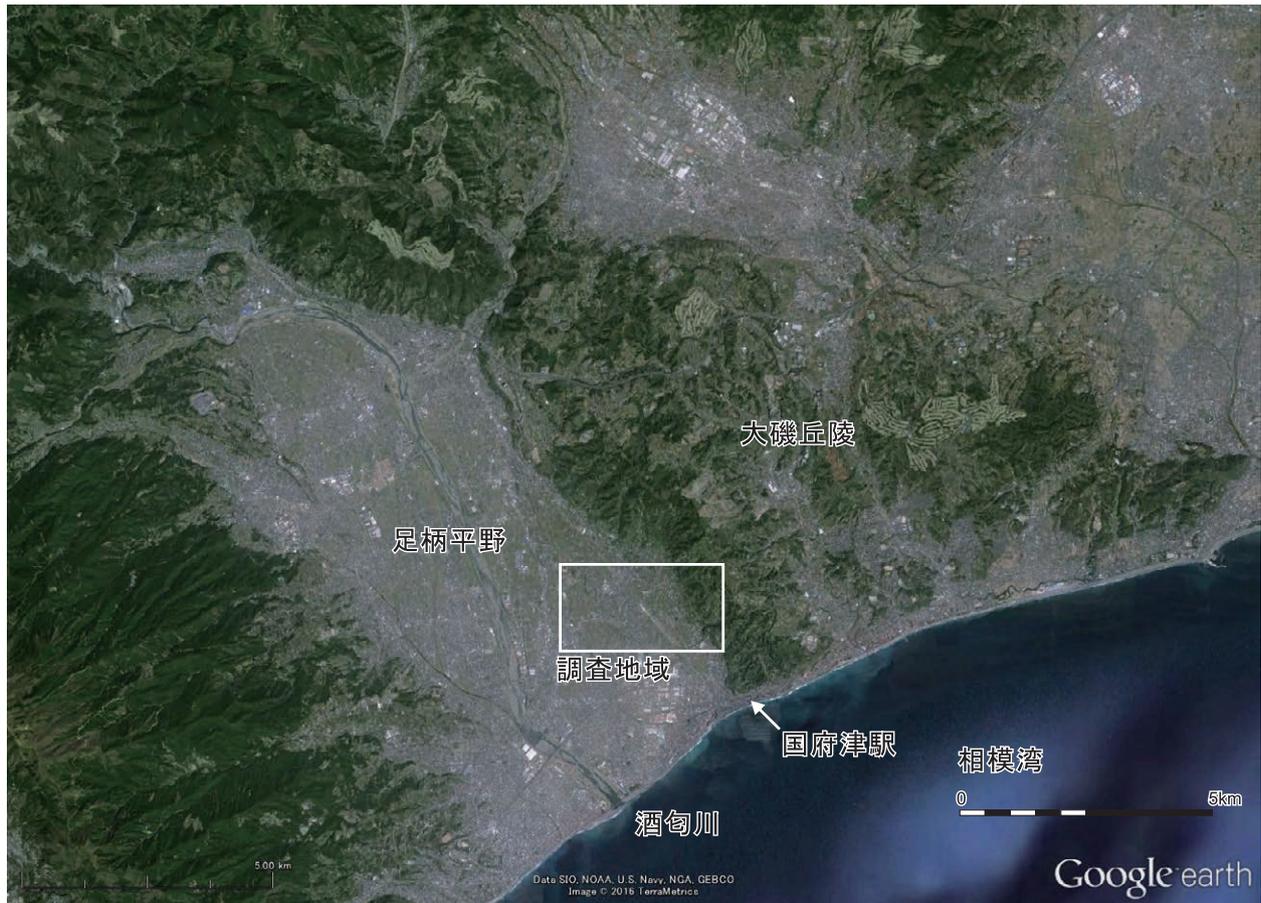
「沿岸域の地質・活断層調査」のプロジェクトは関東地方南部の沿岸陸域と沿岸海域を調査対象として進められている。陸域の地震探査では、新規の地下構造調査を実施するとともに、既存データの収集や見直しを行う。平成 27 年度は、足柄平野では既存データ再解析と新規調査を、九十九里低地では 2 回目の新規調査をそれぞれ実施した。ここでは足柄平野における新規調査のデータ取得の概要を報告する。足柄平野の新規調査の目的は国府津—松田断層および千代台地西縁に推定される活断層の浅部地下構造と両者の関係の解明である。九十九里低地の 2 回目の調査は諸事情により平成 28 年 4 月に実施となった。

#### 2. 調査概要

国府津—松田断層帯は、神奈川県足柄上郡大井町から大磯丘陵の西縁に沿って延び小田原市を経て相模

\* Correspondence

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)



第 1 図 調査地域周辺の広域図。矩形は第 2 図の範囲を示す。基図として Google Earth を使用した。  
Fig.1 Wide area map of the survey area. The square corresponds to Fig.2. The base map is from Google Earth.

湾内に至る断層帯 (活断層研究会, 1991; 宮内ほか, 1996; 中田・今泉, 2002) であり沈み込むフィリピン海プレートから分岐した断層と考えられている (地震調査研究推進本部, 2015)。本断層帯周辺では 10 数本の測線で大小さまざまな規模の地下構造調査が行われてきた (水野ほか, 1996; 神奈川県, 2002a, 2002b; 宮内ほか, 2003; 佐藤ほか, 2003, 2006; 今泉ほか, 2012)。千代台地は足柄平野東部に位置し、北西-南東方向に延び台地面は北東へ傾動している。千代台地西縁の活断層は、上杉ほか (1982)、活断層研究会 (1991)、宮内ほか (1996) 等が指摘している。今泉ほか (2012) は、反射法地震探査の結果に基づいて、国府津-松田断層と千代台地端部の活断層を複数条の分岐スラスト構造で説明した。これに対して、水野ほか (1996)、山崎・水野 (1999)、横倉ほか (2016) は、千代台地付近に断層構造は認められないとしている。我々は国府津-松田断層と千代台地西縁の推定活断層の深度 10 数 m から 300 m 程度までの浅部構造をより詳細に解明することを目的として新規に地下構

造調査を行った。

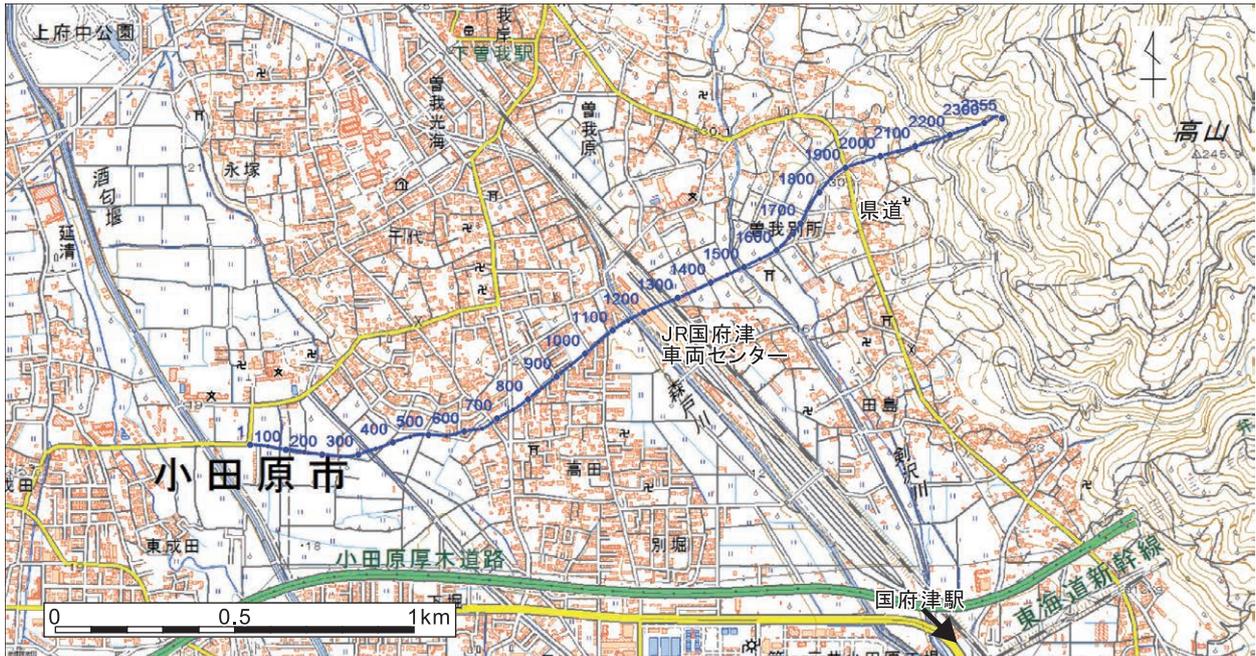
国府津-松田断層と千代台地西縁の両方を横断する既存測線は、水野ほか (1996)、横倉ほか (2016) の S-2 測線、神奈川県 (2002a, 2002b) の A(C) 測線、宮内ほか (2003) の小田原 2002 測線、今泉ほか (2012) の飯泉-沼代測線である。新規調査は、既存測線と位置および仕様が異なるように設定した (第 1 図, 第 2 図)。調査地域は小田原市千代、高田、曾我別所地区である。JR 国府津車両センターの約 140 m の区間は測点を設けられなかった。データ取得はここを境として 2 つに分けて西側の千代測線 (長さ 1.2 km) と東側の曾我別所測線 (同 1.1 km) で実施した。

第 1 表に調査の測定諸元を、第 3 図に調査機器と調査地の写真を示す。新規調査は、浅い方の目標深度 10 数 m を考慮して測点間隔を 2 m、深い方の目標深度 300 m を考慮して最大オフセットを 382 m、震源を P 波油圧インパクトとした。測点間隔 2 m は、既存調査の 5 m, 10 m, 12.5 m, 25 m に対して 2.5 ~ 12.5 倍の稠密さである。

(a)調査測線



(b)CMP測線



第2図 測線図。(a) 調査測線 数値は測点番号 (2 m 間隔) (b)CMP 測線 数値は CMP 番号 (1 m 間隔)。  
基図として国土地理院の地理院地図を利用した。

Fig.2 Seismic lines. (a)Survey lines with station numbers(2 m interval) (b)CMP line with CMP numbers (1 m interval).  
The base map is from Geospatial Information Authority of Japan.

千代測線の測点 1 ~ 224 は水田地帯, 225 ~ 320 は千代台地端部の集落と田畑の境, 321 ~ 600 は台地上の集落, 曾我別所測線の 601 ~ 1,056 は梅園と一部で集落, 1,057 ~ 1,152 は大磯丘陵の森林を通る。2 測線とも路面はほとんどが舗装道である (未舗装は 165 ~ 181)。受振器はシングルでケーブルと一体型

のものを使用した。台地端部, 台地上の集落, 丘陵森林は土の露出箇所が少なく, 受振器と地表面のカップリングは悪い。発震時は片側交互通行あるいは一時的に震源付近の道路区間を通行止めとした。1 発震点の発震回数は, 標準が 10 回, 簡易舗装・集落・丘陵 (140 ~ 600, 985 ~ 1,152) で 5 回, 路面ひび割れなど発

第 1 表 調査諸元と調査機器。  
Table1 Survey parameters and instruments.

測線名	千代	曾我別所
調査測線長	1,200m	1,100m
総受振点数	585点	535点
総発震点数	671点 (オフセット発震は79点)	543点
測点番号	1-600	601-1,152
震源	P波油圧インパクトJMI-200 (地球科学総合研究所製)	
発震点間隔	2m	
発震パターン	1箇所固定(不良路面は2箇所に分散)	
発震回数	10回(不良路面や民家直近は1~5回)	
受振器	GS20-DM (GeoSpace製)	
受振点間隔	2m	
受振器個数	1個/受振点	
固有周波数	28Hz	
探鉱器	DSS-12 (サンコーコンサルタント製)	
チャンネル数	192ch	
発震受振展開	1から48番目まで発震し受振点を48点ずつ移動	
調査方向	南西→北東	
サンプリング間隔	0.5ms	
記録長	2s	
CMP重合数	標準96	
CMP間隔	1m	
CMP番号	1-2,355	
CMP数	2,355点	
CMP測線長	2,354m	
測量装置	GRS-1 (トプコン製)	
測量方法	VRS方式 RTK-GPS (ジェノバ)	
調査年月日	2015年12月15日~19日	2015年12月10日~14日

震によって地面に影響しそうな場所や民家直近などでは1回とした。2測線を反射断面上で繋ぐために曾我別所601~681で発震し千代409~600で受振のインラインオフセット発震も実施した。個々の発震記録を探鉱機で収録した。測量は5測点毎にVRS方式RTK-GPSで測定し、間の測点座標は内挿で求めた。標高は、千代測線で16m~20m、曾我別所測線で17m~103mである(第4図)。

現地調査は2015年12月10日~19日に実施した。JR国府津駅付近の海岸砂浜での調査も計画したが、近海の漁期と重なり実施は見送った。

### 3. 取得データ

垂直重合と振幅調整を適用した後の発震記録を第5図に示す。

発震点1,101および401以降の発震記録では初動、反射波らしき波群、表面波などの波群が見られる。初動は最大オフセットまで達し見掛け速度は1,500 m/s~1,800 m/sである。一部の記録でニアオフセットに低速度の初動が見られ、これは低速度の表層の存在を示唆する。反射波はゼロオフセットで最深300ms程度まで追える。測点913付近は交通量の多い県道

を横断しノイズが大きい状況であったが、垂直重合により良好な記録を取得できた。オフセット発震でJR国府津車両センターの電車稼働がノイズ源となった。それ以外は測線全体に渡ってノイズの少ない環境であった。

201,301の発震記録は垂直重合数がそれぞれ5回、1回と少なく、初動、反射波、表面波などの連続的な波群に乏しい。この付近は低地と台地の境界付近であり、震源の効きの悪い記録となった。付近の住民によれば低地も台地上も地盤が悪いとのことであった。

### 4. 簡易データ処理

反射断面の概要を知るために、簡易的なデータ処理による予備的なCMP重合時間断面を作成した。内容は垂直重合、ジオメトリ、デコンボリューション、TVバンドパスフィルタ、振幅調整、CMPソート、定速度NMO、ストレッチミュート、CMP重合である。2測線を一連の測線として扱った。標高補正・静補正・パラメータテスト・速度解析等は適用していない。

第6図に速度1.4 km/s、1.8 km/s、2.2 km/sの定速度NMOを適用したCMP重合時間断面を示す。速度2 km/sが縦横比1:1となるスケールで表示している。JR国府津車両センター区間は測点が無く浅部データが欠ける。曾我別所測線では、標高変化に合わせたトレースの上方シフトが必要であるが、第6図では平坦に表示している。

重合速度1.4 km/sではおよそ往復走時50ms~200msの間でイベントがイメージングされる。強振幅のイベントは、千代測線で50ms~100ms、曾我別所測線で50ms~150msにある。千代ではおおむね水平、曾我別所で見掛けでは東方に向かって浅くなる反射面と深くなる反射面が見られる。CMP400, 1,650, 2,100付近に東傾斜の短いイベントが存在する。重合速度1.8 km/sや2.2 km/sでは全体として往復走時300ms以深にも断続的な反射面が認められる。

宮内ほか(1996)や中田・今泉(2002)を参照すると、千代台地西縁の活断層と国府津-松田断層の地表トレースは、それぞれCMP400付近と2,050付近を通る。上記のCMP400とCMP2,100付近の東傾斜の短いイベントは、それぞれ、千代台地西縁の活断層、国府津-松田断層を反映している可能性がある。ただ

(a)震源装置



(b)受振装置



(c)千代測線 低地部



(d)千代測線 低地部



(e)千代測線 台地端部



(f)千代測線 台地上 集落内



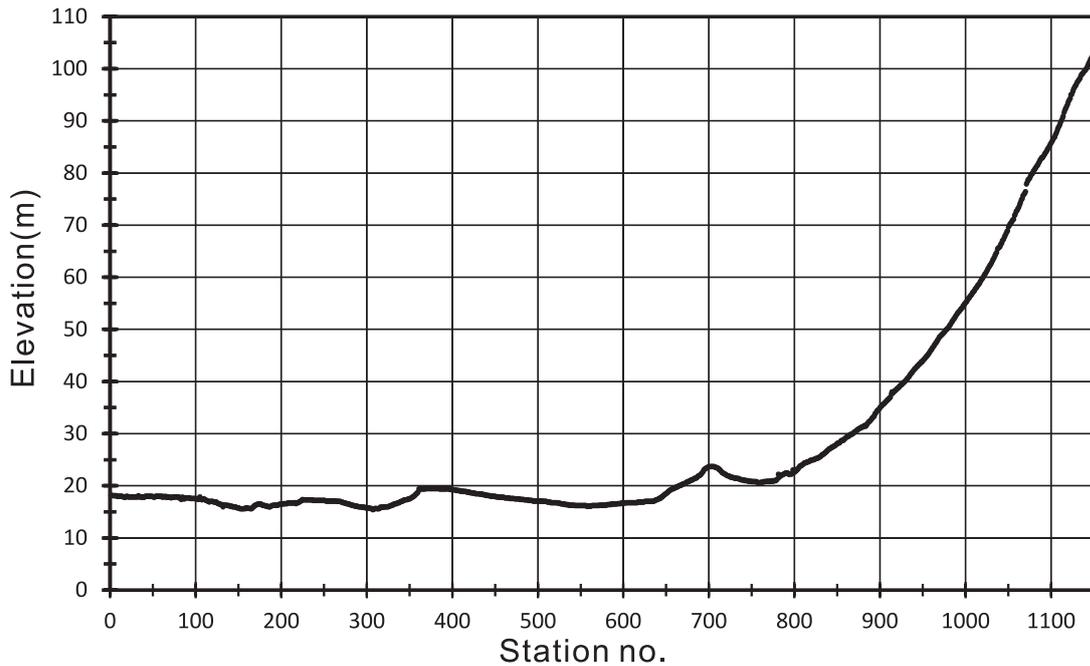
(g)曾我別所測線 梅林



(h)曾我別所測線 丘陵部



第3図 調査機器と調査地の写真.  
Fig.3 Photos of survey instruments and survey area.



第 4 図 測線の標高.  
Fig.4 Elevation map along seismic survey lines.

し、千代台地西縁付近は震源の効きが悪く反射断面の信頼性がやや低いことを考慮しなければならない。

### 5. まとめ

国府津－松田断層および千代台地西縁に推定される活断層の深度 10 数 m から 300 m 程度までの浅部地下構造と両者の関係の解明を目的として、神奈川県小田原市千代、高田、曾我別所地区で測線長計 2.3 km の反射法地震探査を実施した。震源は P 波油圧インパクト、測点間隔は 2 m、最大オフセットは 382 m、測線は 2 本で線状に並び、それぞれの長さは 1.2 km と 1.1 km である。振幅調整後の発震記録で見掛け速度 1.6 km/s ~ 1.8 km/s の初動が最大オフセットまで到達し、往復走時 300 ms まで反射波が認められる。簡易処理と定速度 NMO 補正を適用した予備的な CMP 重合時間断面で往復走時 50 ms ~ 200 ms に連続的な反射面がイメージングされた。東傾斜の短い反射面は国府津－松田断層、千代台地西縁の活断層を反映している可能性がある。

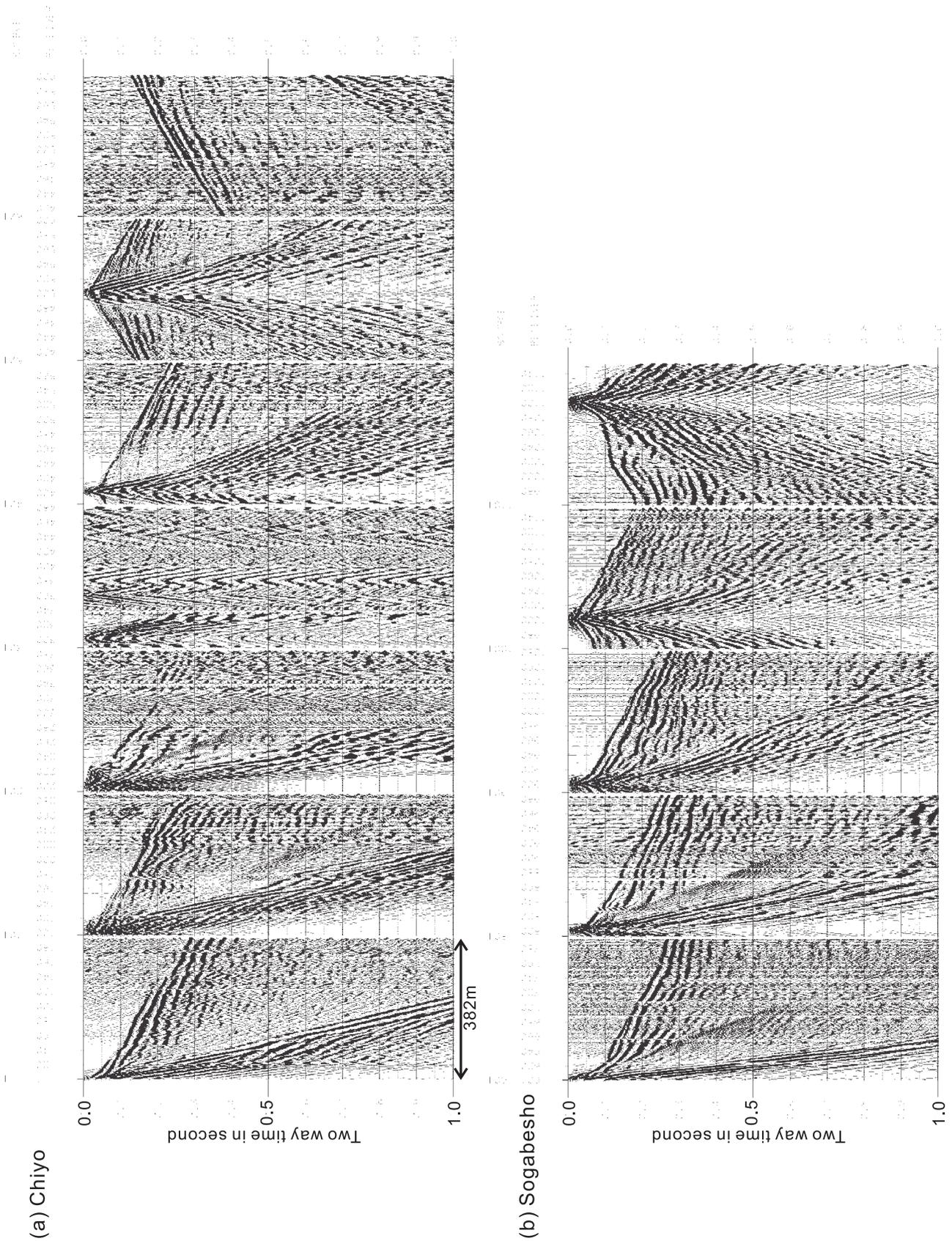
今後、初動走時読み取り・標高補正・静補正・パラメータテスト・速度解析等のデータ処理を進め最終的な反射断面を作成し、既存の地下構造調査データ等と合わせて、調査地周辺の深度 10 数 m から 300 m 程度までの地下構造を解明する。

### 謝辞

本調査の実施に際し、小田原市役所には測線選定、住民周知、車両駐車等で様々な便宜を図っていただきました。神奈川県小田原土木センターおよび小田原市漁業協同組合には測線選定で有用な情報を提供していただきました。データ取得の現地作業はサンコーコンサルタント株式会社が実施しました。上記の皆様から心からの謝意を表します。

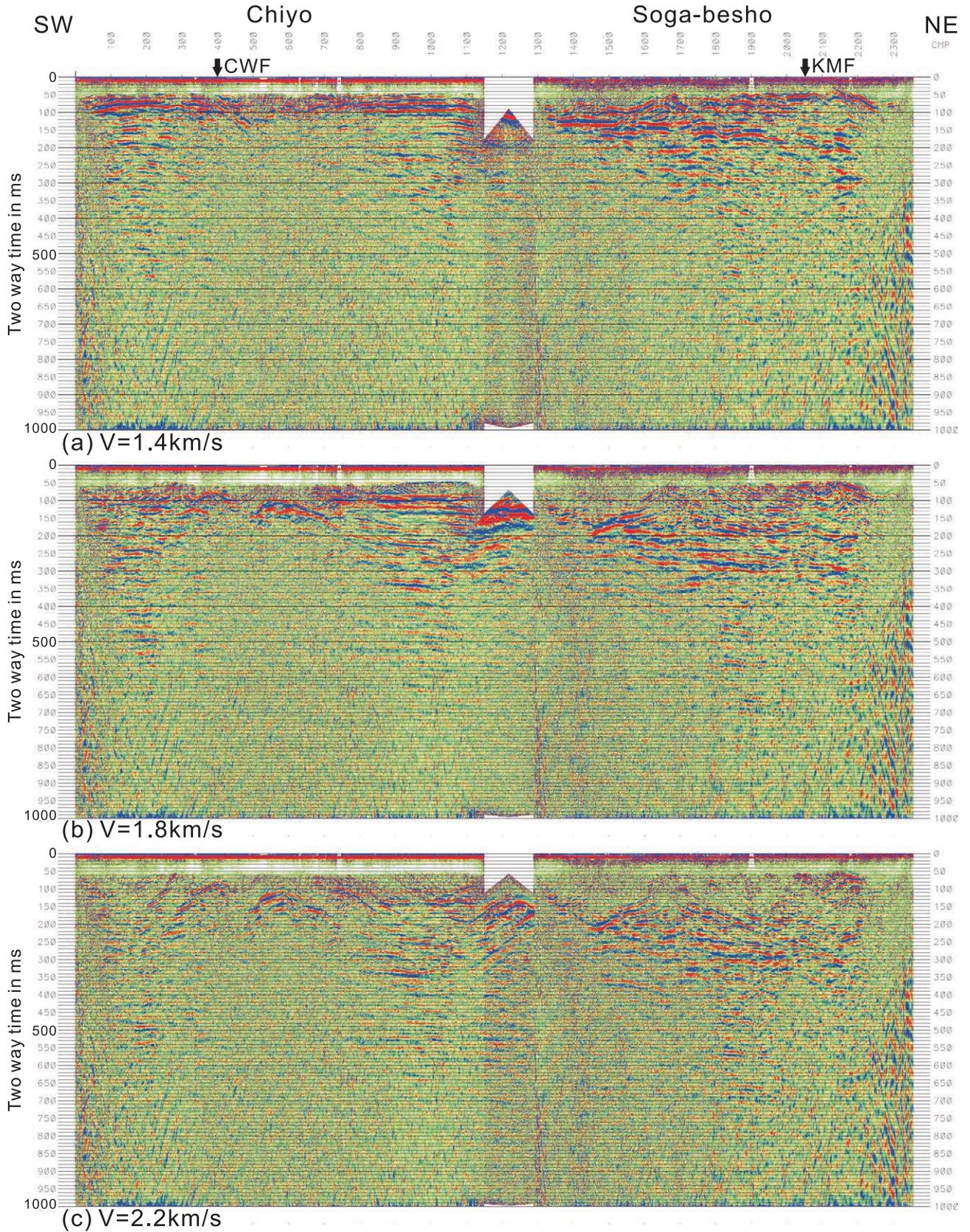
### 文献

- 今泉俊文・石山達也・宮内崇裕・東郷正美・鈴木毅彦・佐藤比呂志・戸田 茂・加藤 一・越後智雄・田力正好 (2012) 神縄・国府津－松田断層帯の変動地形と活動様式・活動性の解明。「神縄・国府津－松田断層帯における重点的な調査観測平成 21 ~ 23 年度成果報告書」。文部科学省研究開発局・国立大学法人東京大学地震研究所, 148-184.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2015) 塩沢断層帯・平山－松田北断層帯・国府津－松田断層帯 (神縄・国府津－松田断層帯) の長期評価 (第二版)]. 55p.
- 神奈川県 (2002a) 平成 13 年度地震関係基礎調査交



第5図 発震記録。(a)千代測線 (b)曾我別所測線 垂直重合と振幅調整後の発震記録 100発震点(200m)毎に表示、SOURCE:発震点番号 RECEIVER:受振点番号。

Fig.5 Shot records. (a)Chiyo line (b)Sogabesho line. Vertical stack and Gain recovery are applied(every 100 shot point(200 m interval)). SOURCE:source station number RECEIVER:receiver station number.



第 6 図 予備的な時間断面図。簡易データ処理を適用した予備的な CMP 重合時間断面図。縦横比はおよそ 1:1.

(a)NMO 速度 1.4 km/s, (b)NMO 速度 1.8 km/s, (c)NMO 速度 2.2 km/s.

Fig.6 Preliminary time sections. Preliminary CMP stacked time sections by simple processing.

Approximate vertical exaggeration is 1.

(a)NMO velocity 1.4 km/s, (b)NMO velocity 1.8 km/s, (c)NMO velocity 2.2 km/s.

付金神奈川県地下構造調査成果報告書」.  
神奈川県 (2002b) 平成 13 年度神奈川県活断層 ( 神  
縄・国府津—松田断層帯) 調査事業成果報告書」.  
127p.  
活断層研究会編 (1991) 新編日本の活断層—分布図  
と資料—」. 東京大学出版会, 437p.  
宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正  
美 (1996) 1:25,000 都市圏活断層図「小田原」.  
国土地理院.  
宮内崇裕・田中 環・伊藤谷生・佐藤比呂志・川村知徳・  
石山達也・加藤 一・井川 猛 (2003) 反射法  
地震探査からみた神縄国府津松田断層システム  
の前進過程とアクティブテクトニクス. 地球惑  
星科学関連学会 2003 年合同大会予稿集, J027-  
P009.  
水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・佐竹健治・井村隆介・  
吉岡敏和 (1996) 国府津—松田断層の活動履歴  
及び活動性調査. 平成 7 年度活断層研究調査概  
要報告書, 地質調査所研究資料集, 259, 81-  
88.  
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-ROM 2 枚・付  
図 1 葉・60p.  
佐藤比呂志・平田 直・伊藤谷生・岩崎貴哉・額額一起・  
笠原敬司・伊藤 潔 (2003) 相模湾岸地殻構造  
探査 (相模 2003). 大都市大震災軽減化特別プ  
ロジェクト I 地震動 (強い揺れ) の予測「大都市  
圏地殻構造調査研究」(平成 14 年度) 成果報告書,  
88-137.  
佐藤比呂志・平田 直・岩崎貴哉・額額一起・伊藤 潔・  
伊藤谷生・笠原敬司・加藤直子 (2006) 関東地  
殻構造探査 (小田原—山梨測線). 大都市大震災  
軽減化特別プロジェクト I 地震動 (強い揺れ) の  
予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成 17 年度)  
成果報告書, 98-182.  
上杉 陽・千葉達朗・米澤 宏 (1982) いわゆる国  
府津—松田断層について—その研究史と実態—.  
関東の四紀, 9, 21-32.  
山崎晴雄・水野清秀 (1999) 国府津・松田断層の最  
新活動史と地震テクトニクス. 第四紀研究, 38,  
447-460.  
横倉隆伸・山口和雄・伊藤 忍・水野清秀 (2016)  
国府津—松田断層帯における反射法地震探査

データの再解析. 平成 27 年度沿岸域の地質・活  
断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調  
査総合センター速報, 本報告書.