

曾根丘陵断層群を横切る浅層反射法地震探査

加藤直子^{1)*}・佐藤比呂志¹⁾・今泉俊文²⁾・加藤 一³⁾・井川 猛⁴⁾・荻野スミ子¹⁾・木村治夫¹⁾・
楮原京子²⁾・小池太郎⁴⁾

¹⁾ 東京大学地震研究所

²⁾ 東北大学大学院理学研究科

³⁾ 山梨大学教育人間科学部

⁴⁾ (株)ジオシス

High-resolution seismic reflection profiling across the Sone Hills fault zone, central Japan

Naoko Kato^{1)*}, Hiroshi Sato¹⁾, Toshifumi Imaizumi²⁾, Hajime Kato³⁾, Takeshi Ikawa⁴⁾,
Sumiko Ogino¹⁾, Haruo Kimura¹⁾, Kyoko Kagohara²⁾ and Taro Koike⁴⁾

¹⁾ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

²⁾ Department of GeoEnvironmental Science, Tohoku University

³⁾ Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University

⁴⁾ Geosys, Inc.

Abstract

The Sone fault is a south dipping active reverse fault, trending WNW-ESE and bounding the southern end of the Kofu basin. This fault is located between the Kofu basin and Sone hills, and has displaced several river terraces. To reveal the subsurface geometry of the Sone fault, high-resolution shallow seismic profiling was performed along the 2.8-km-long Makado and 0.8-km-long Ubaguchi seismic lines. On the Unagushi section, a south dipping fault surface is clearly recognized by the discontinuity between horizontal reflectors in the north and the domain showing a chaotic pattern of reflections. On the Makado section, the south dipping Sone fault is identified between the horizontal reflectors at the basin-side and dipping reflectors at the hill-side. On both seismic lines, the fault surface dips 30 degrees southward. The trace of The Sone fault is located along the present riverbed of R. Fuefuki, some hundred meters basin-ward shift from the trace estimated from tectonic geomorphology.

Key words: seismic reflection profiling, active fault, Kofu basin, central Japan

1. はじめに

曾根丘陵断層群(活断層研究会編, 1991)は, 甲府盆地の南縁を限る ENE-WSW の走向を示す活断層 (Fig. 1) であり, 撓曲構造や低断層崖を伴う北側低下の逆断層である(たとえば今泉ほか, 1998). 甲府盆地西縁の一之瀬断層群とともに, 曾根丘陵断層群の活動によって甲府盆地が形成された. この断層の地下構造については, 反射法地震探査による調査(山梨県, 2004)や重力探査に基

づく研究(隈元・池田, 1993; 國友・志知, 1995)があるが, 浅層部の断層のイメージは得られていない. 活断層の深部延長の位置・形状を明らかにすることは, 活断層を評価する上で, また将来発生する地震像を明らかにする上で重要である. こうした背景から, 2006年2月に「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」大都市圏地殻構造探査の一環として, 曾根丘陵断層群を横切る2測線において浅層反射法地震探査を行った.

* e-mail: naoko@eri.u-tokyo.ac.jp (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

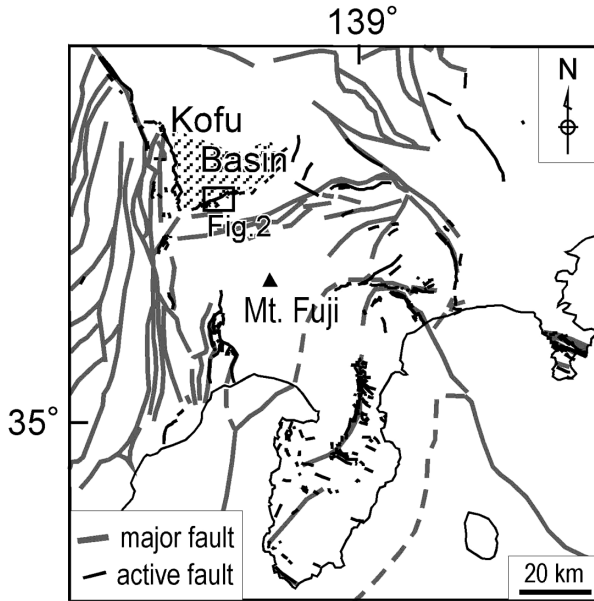


Fig. 1. Generalized geologic structure of the Izu collision zone, after Aoike (1999), Soh *et al.* (1998) and Nakata & Imaizumi (2002).

2. 地質概説

曾根丘陵断層帯は甲府盆地南縁に位置し、複数の地表トレースが報告されている（たとえば今泉ほか，1998）。主要な断層は段丘の変位量から丘陵と盆地の境に位置すると考えられている（澤，1981）。曾根丘陵には鮮新 - 更新統の曾根層群（片田，1956）と完新統が御坂山地に分布する中新統の火山岩類を不整合におおって分布する（内藤，1988；Nishimiya，1973；尾崎ほか，2002）。御坂山地に分布する中新統の火山岩類は珪長質火山岩・火山碎屑岩，玄武岩 - 安山岩質火山碎屑岩および溶岩からなり御坂層群（石田，1988）と呼ばれている。曾根層群は下位から高部層・寺尾礫層・黒富士火砕流・佐久シルト層・原礫層・韮崎岩屑層・前間田礫層に区分される（内藤，1988）。高部層は輝石安山岩・デイサイトの角礫からなる泥流堆積物で，佐久シルト層は黒富士火砕流を整合におおう湖沼成堆積物である（内藤，1988）。黒富士火砕流（三村，1967）については，1.0 Ma の K-Ar 年代が報告されている（三村ほか，1994）。また韮崎岩屑流（三村ほか，1982）については，本調査地域北方のハヶ岳地域において，その直上に分布する野辺山原層基底部から，0.28 Ma のフィッシュトラック年代が報告されている（河内，1977）。既存の地質図（内藤，1988；Nishimiya，1973；尾崎ほか，2002）を元に曾根丘陵の地質図を作成した（Fig. 2）。

3. 反射法地震探査「曾根 2006」右左口（うばぐち）測線および間門（まかど）測線

3.1 データ取得

曾根丘陵の地下構造を明らかにするために 2 つの浅層反射法地震探査測線（右左口測線・間門測線）を設定した（Fig. 2）。右左口測線は中央市（旧豊富村）高部から甲府市（旧中道町）下向山をとおり，中央市（旧豊富村）右左口に至る約 2.8 km の区間である。間門測線は甲府市（旧中道町）上曾根から笛吹市寺尾に至る間門川沿いの 0.8 km の区間である。観測は，2006 年 2 月 6 日から同年 2 月 17 日にかけて実施した。測定仕様を Table 1 に示す。データ収録および震源は東京大学地震研究所所有のマルチチャンネル陸上反射法地震探査システム GDaps-4（（株）地球科学総合研究所製）ならびに小型パイプレーター震源 T-15000（IVI 社製）を用いた。本探査では 284 チャンネル（右左口測線），80 チャンネル（間門測線）を使用し，受振点は固定展開とした。受振点間隔及び発震点間隔は共に 10 m である。発震の垂直重合は標準 10 回とした。受振器は固有周波数 10 Hz のものを使用し，9 個を 1 グループとして 1 受振点に設置した。レコーディングのサンプリング間隔は 2 msec で記録長は 3 sec（右左口測線），2 sec（間門測線）とした。受振点，発震点の座標はトータルステーションを用いて測量した。

全般的に良好な記録を取得できた。2 測線で得られたショット記録例を Fig. 3, 4 に示す。右左口測線の中央部でのショット記録（SP154; CMP 290, Fig. 3）では南側の御坂山地に近い部分で初動の傾きが緩くなり，地表付近の速度が速くなっていることがわかる。間門測線の SP45 の記録（CMP 86, Fig. 4）では盆地側には往復走時 0.2-0.3 秒に強い反射面が見えているに対し，丘陵側でそれに連続するものは見えない。

3.2 データ処理

反射法地震探査処理は通常の共通反射点重合法によった。処理のプロセスを Fig. 5 に示した。データ処理には（株）地球科学総合研究所製の反射法処理ソフトウェア Super X-C を用いた。以下に主な処理に用いたパラメータを示す。

- ・自動振幅調整（Automatic Gain Control; AGC）
AGC operator length: 400 msec（右左口測線），100 msec（間門測線）
- ・デコンボリューション（Deconvolution）
Operator length: 200 msec（右左口測線），100 msec（間門測線）
Gate length: 2000 msec
White noise: 5%

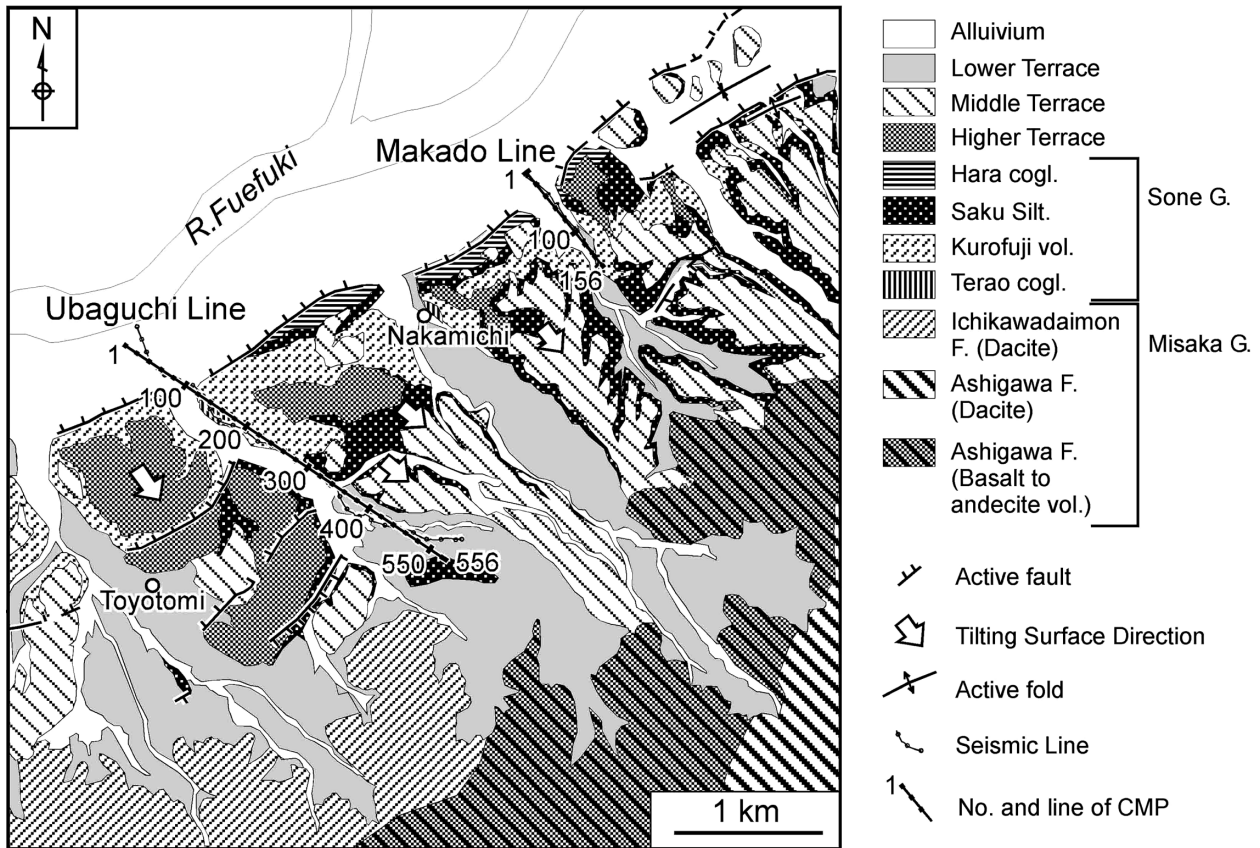


Fig. 2. Geological map showing the seismic line "Sone 2006".

Geologic map was compiled based on Naito (1988), Ozaki *et al.* (2002), Imaizumi *et al.* (1998), Nishimiya (1973) and Nakata & Imaizumi (2002).

Table 1. Data acquisition parameters for the Sone 2006 seismic survey.

Line	Ubaguchi	Makado
Length of seismic line	2.8 km	0.8 km
<i>Source parameters</i>		
Source	Mini-vibrator (IVI, T-15000)	
Sweep frequency	10 - 80, 100, 120 Hz	10 -120 Hz
Sweep length	20 s	
No. of sweeps	10	
No. of shot points	282	84
Shot interval	10 m	
<i>Receiver parameters</i>		
Natural frequency	10 Hz	
Receiver interval	10 m	
No. of channels	284	80
<i>Recording parameters</i>		
Instruments	JGI, GDAPS-4	
Sampling interval	2 ms	
Recording length	3 sec.	2 sec.

Prediction length: 8 msec (右左口測線), 12 msec (間門測線分)

・静補正 (Static Correction)

各ショット記録の初動を読み取り, 受振点および発震点のタイムタム値と表層構造モデルをインバージョン

ンによって求めた。表層低速度層のP波速度を800 m/secとした。

この初動解析結果を Fig. 6, 7 にそれぞれ示す。この解析には (株)地球科学総合研究所製のソフトウェア iRAS を用いた。この解析により得られた値を SuperX に入力し, 静補正を行った。

・NMO 補正 (Normal Move-out Correction) と速度解析 (Velocity Analysis)

速度解析は CMP50 毎に行った。得られた速度構造を Fig. 8, 9 に示す。

・残差静補正 (Residual Static Correction)

補正値の許容範囲を両測線とも 2 ms とした。

・バンドパスフィルター (Band-pass Filter)

パスバンド: 15/22-100/120 Hz (右左口測線), 20/30-

100/120 Hz (間門測線)

・周波数-空間領域予測フィルター (F-X Prediction Filter)

Gate length: 30 traces, Operator length: 5 traces,

Window length: 1000 ms

・マイグレーション (Post stack Time Migration)

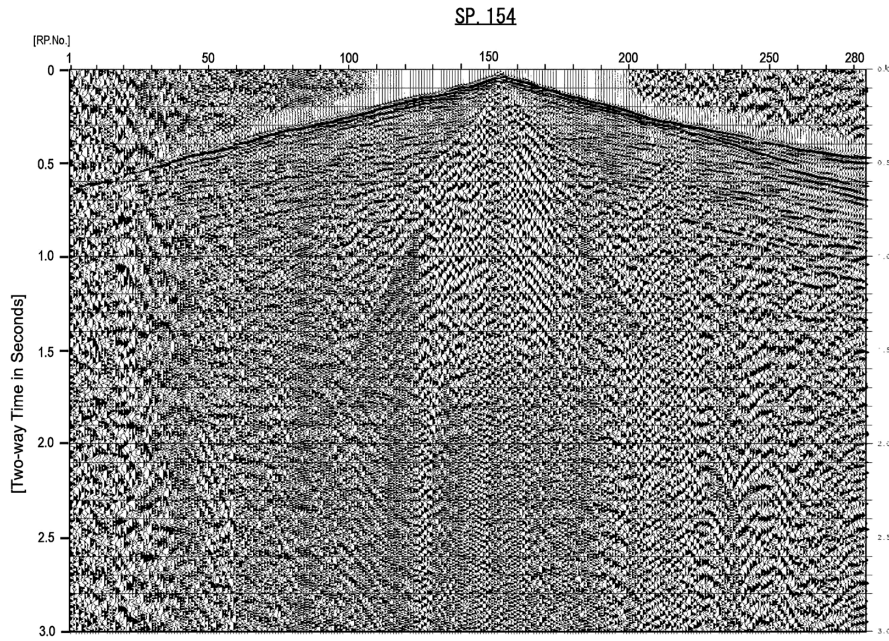


Fig. 3. An example of shot gather [Ubaguchi line]. SP54 corresponds to CMP 290 (see Fig. 2).

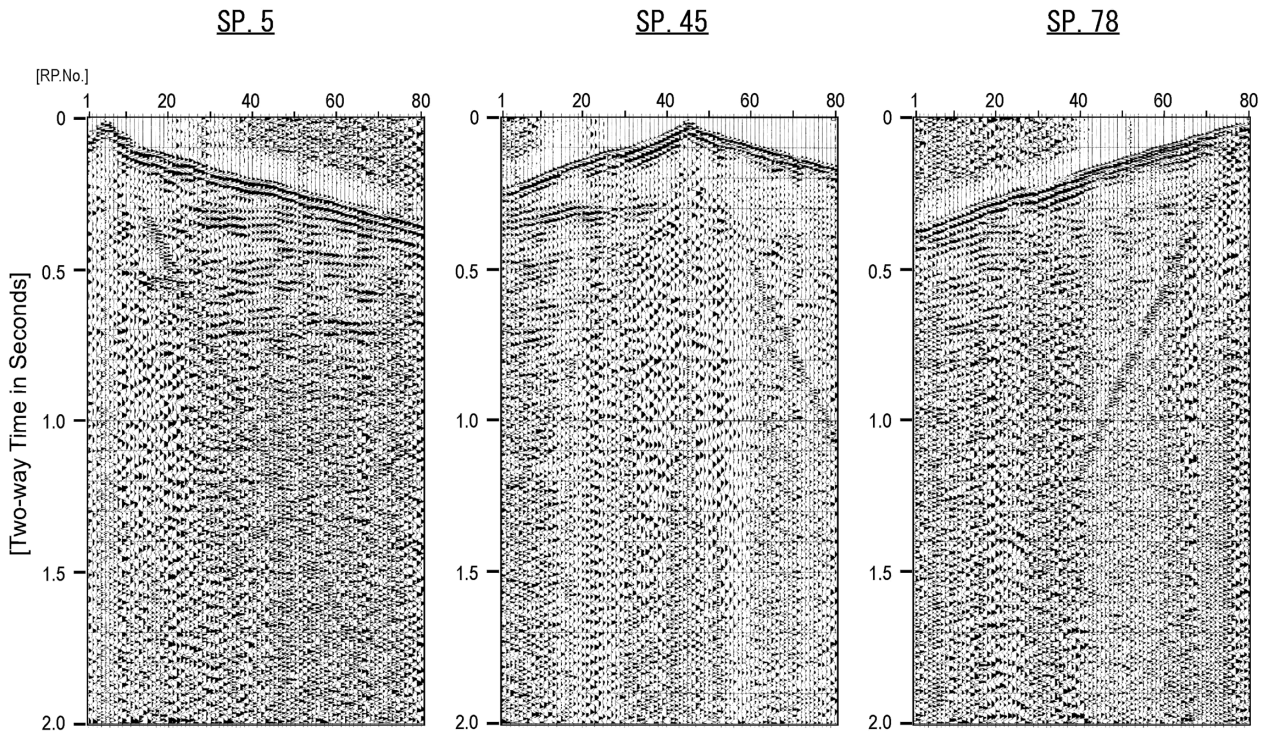


Fig. 4. Examples of shot gathers [Makado line]. SP 5, 45, and 78 correspond to CMP 10, 86 and 153, respectively (see Fig.2).

重合時の速度構造を90% (右左口測線), 80% (間門測線) とした速度を用いた。

Fig. 8, 9 に重合断面と重合後マイグレーション断面, Fig. 10 に深度変換断面を示した. 各測線で得られた重合断面では, 往復走時約1秒付近 (右左口測線), 0.5秒付

近 (間門測線) までの反射面が認識できる。

4. 反射法地震探査断面の地質学的解釈

得られた深度断面に対して既存の変動地形学的・地質学的データをもとに地質学的解釈を行った (Fig. 11).

右左口測線で得られた断面 (Fig. 11A) では, CMP4 から 150 までの測線の盆地側に水平な反射面が卓越する. このほぼ水平な反射面が卓越する領域は, 曾根丘陵での不規則な反射パターンを示す領域と接している. こ

の2つの領域の境界部を断層と解釈した. この断層は, 盆地の南端に限っていることから曾根丘陵断層帯の主要な断層である. 断層の形状は, 前述した反射パターンの境界として地下 800 m まで 30 度の傾斜で追跡される. 反射断面から断層の先端部は分岐して少なくとも 2 条の断層面を読み取ることができる. これらの断層の先端部は伏在している可能性が高く, 端点は変動地形学的に推定された地表の断層トレースよりも北方に位置し, 最前面の断層の先端部はほぼ笛吹川南岸となる.

丘陵部では, 測線南端部の CMP400-500 の区間で, ほぼ水平な傾斜を示す上部のユニットが下位の傾斜した反射面を示すユニットを覆い不整合関係となっている. 測線南方には御坂層群が露出していることから判断して下部ユニットは中新統の火山碎屑岩を主体とする御坂層群に, 上部ユニットはそれらを不整合で覆う曾根層群と判断した. CMP180-330 の区間で, 振幅が大きく連続性の比較的良い反射波が見られる. この反射波より深部の反射波は不規則なパターンを示している. 曾根丘陵を構成する御坂層群は火山碎屑岩を主体とし, このような不規

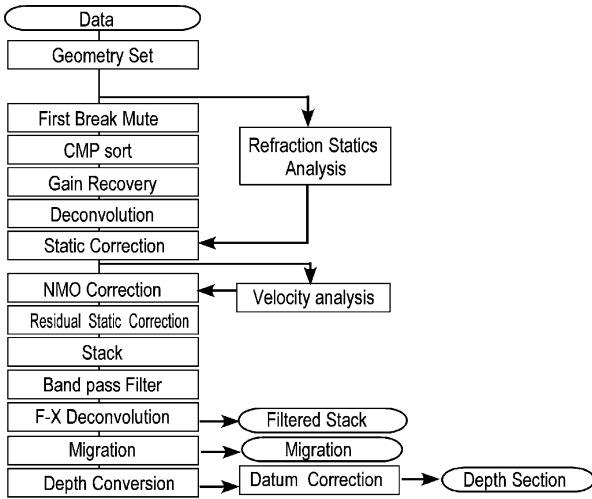


Fig. 5. Flow chart showing the processing steps.

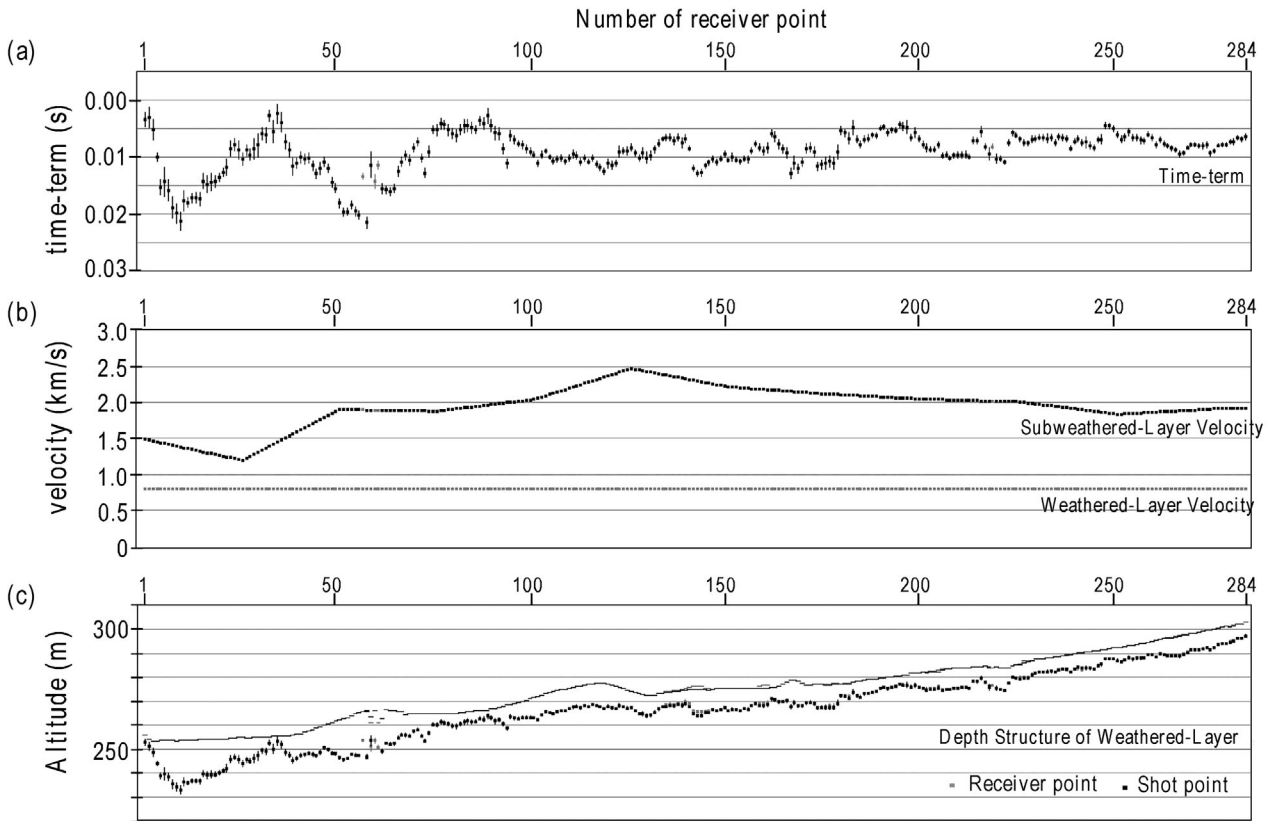


Fig. 6. Surface structure determined by time-term analysis [Ubaguchi line].

- (a) time-terms,
- (b) velocities of second layer,
- (c) topography and geometry of surface low velocity layer.

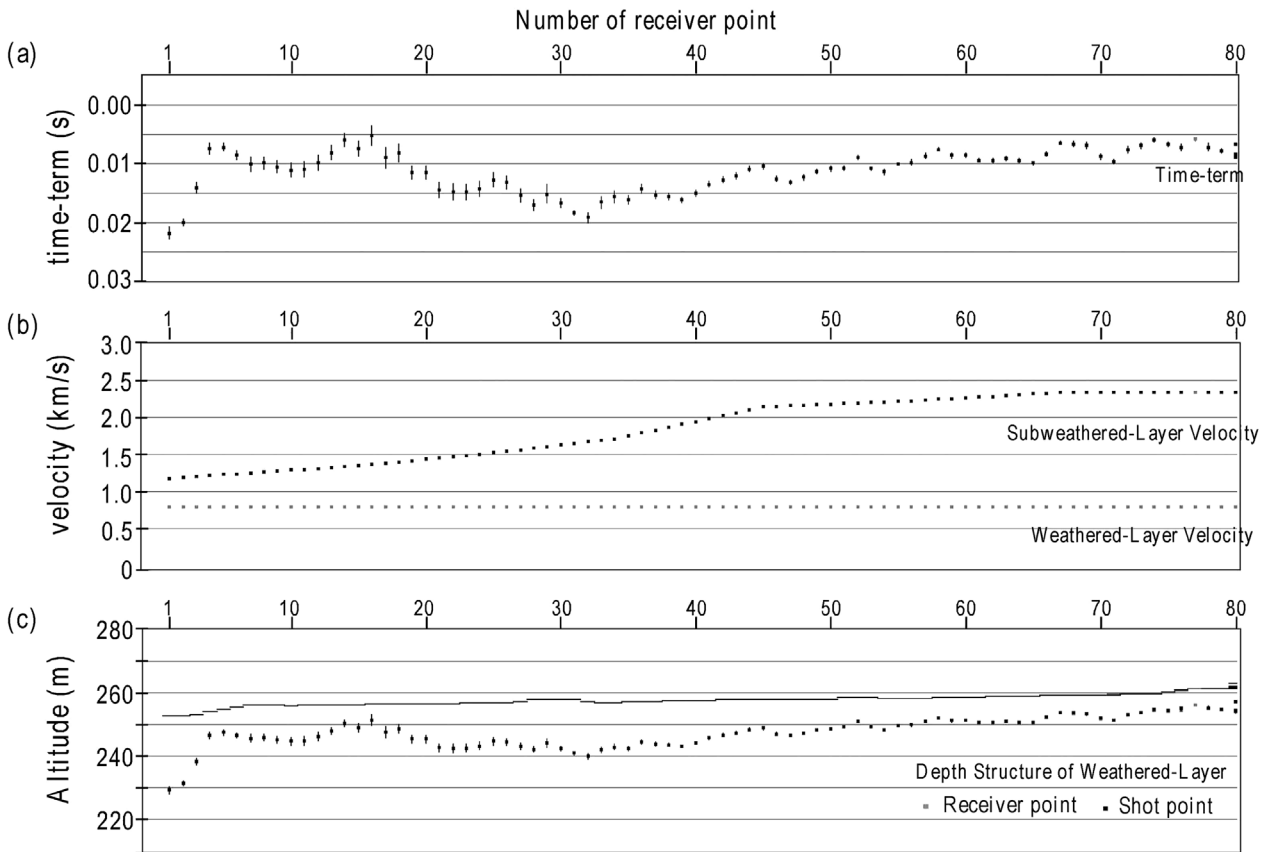


Fig. 7. Surface structure determined by time-term analysis [Makado line].

- (a) time-terms,
- (b) velocities of second layer,
- (c) topography and geometry of surface low velocity layer.

則な反射波のパターンと調和的である。また、不規則な反射を示す領域では、同一深度で甲府盆地下に分布する連続性の良好な反射波群を示す領域に比べ、より大きなP波速度を示している (Fig. 8)。これらの点から、曾根丘陵下に分布する不規則な反射を示す領域は火山砕屑岩類から構成される御坂層群に相当すると判断した。御坂層群の上面は、CMP180-330の区間では深度20-150 mまでの凸型の形状を示し、振幅が大きく連続性の良い反射波によって特徴づけられる層準に推定した。CMP150-90では、不規則な反射を示す領域の上面として北傾斜を示す層準に推定した (Fig. 11)。丘陵部の断層に関して、曾根層群上部のわずかな変形から2条の断層を推定した。いずれも、丘陵北縁の断層に比べ不明瞭であり、確実性が低い。

間門測線で得られた断面においても右左口測線と同様に反射面パターンの変化が見られ、明瞭に断層として、断面全体に渡って南に約30度傾斜して追跡できる。この断層も枝分かれしており、その先端部は波長の短い褶

曲を形成している。間門地域においても断層の先端は変動地形で推定されている地表トレースよりも盆地側に伏在していることが明らかになった。

5. まとめ

曾根丘陵断層帯の地下構造を明らかにするために「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」大都市圏地殻構造探査の一環として、曾根丘陵断層群を横切る2測線において浅層反射法地震探査を行った。共通反射点重合法による処理によって、海拔下500 m程度(地下800 m)までの断層の形状が明らかになった。本探査で得られた断面からは曾根丘陵北縁の主断層は、深度800 m程度まで、南傾斜約30度である。主断層の地表トレースは笛吹川南岸であり、浅層部で伏在断層となっている。

謝 辞

本研究を行うにあたり、探査のデータ取得において(株)ジオシスの佐藤 良氏・鈴木貴司氏・野田克也氏・

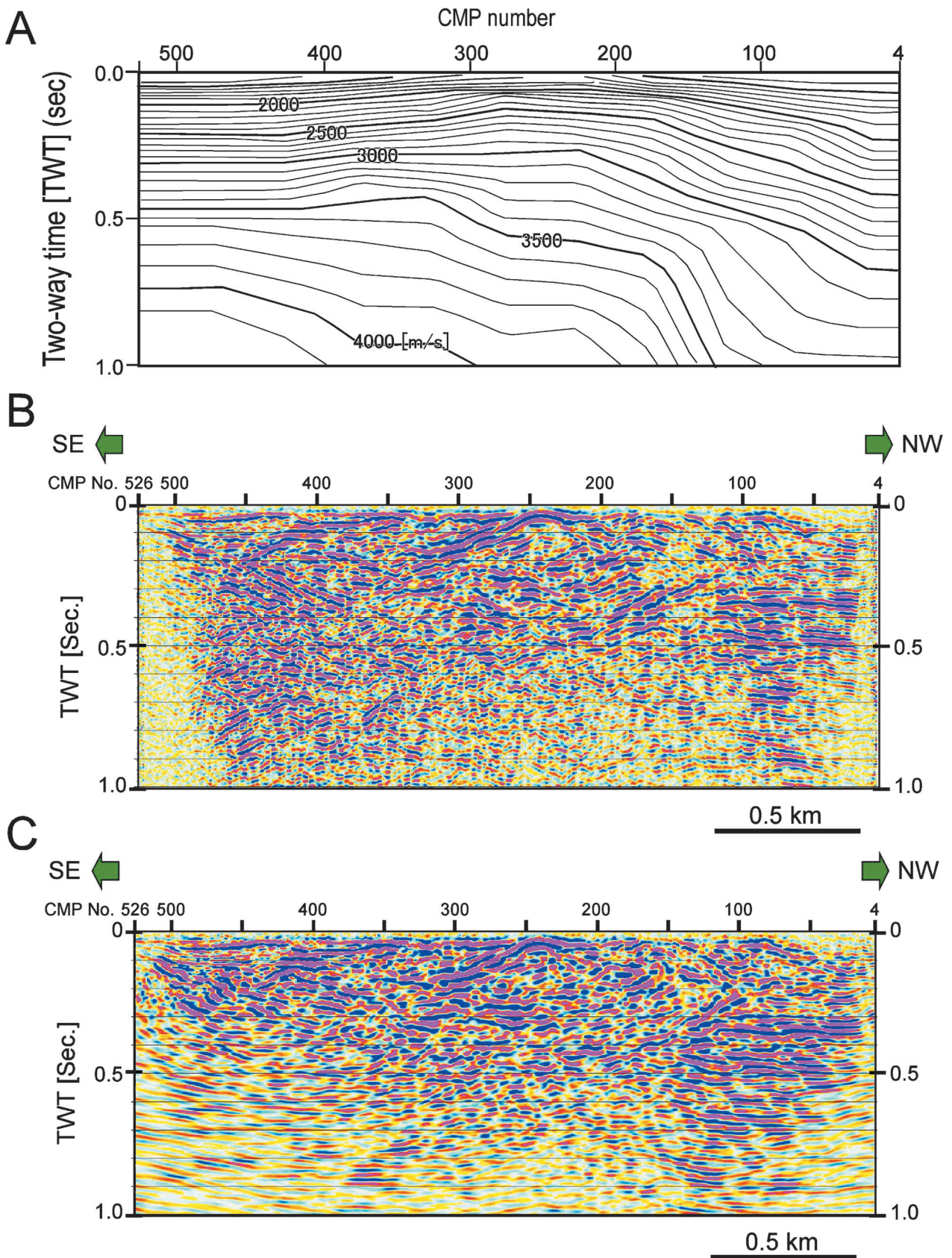


Fig. 8. Optimum stacking velocities determined by velocity analysis (A), filtered stacked section (B) and post stacked and migrated time section (C) of Ubaguchi line.

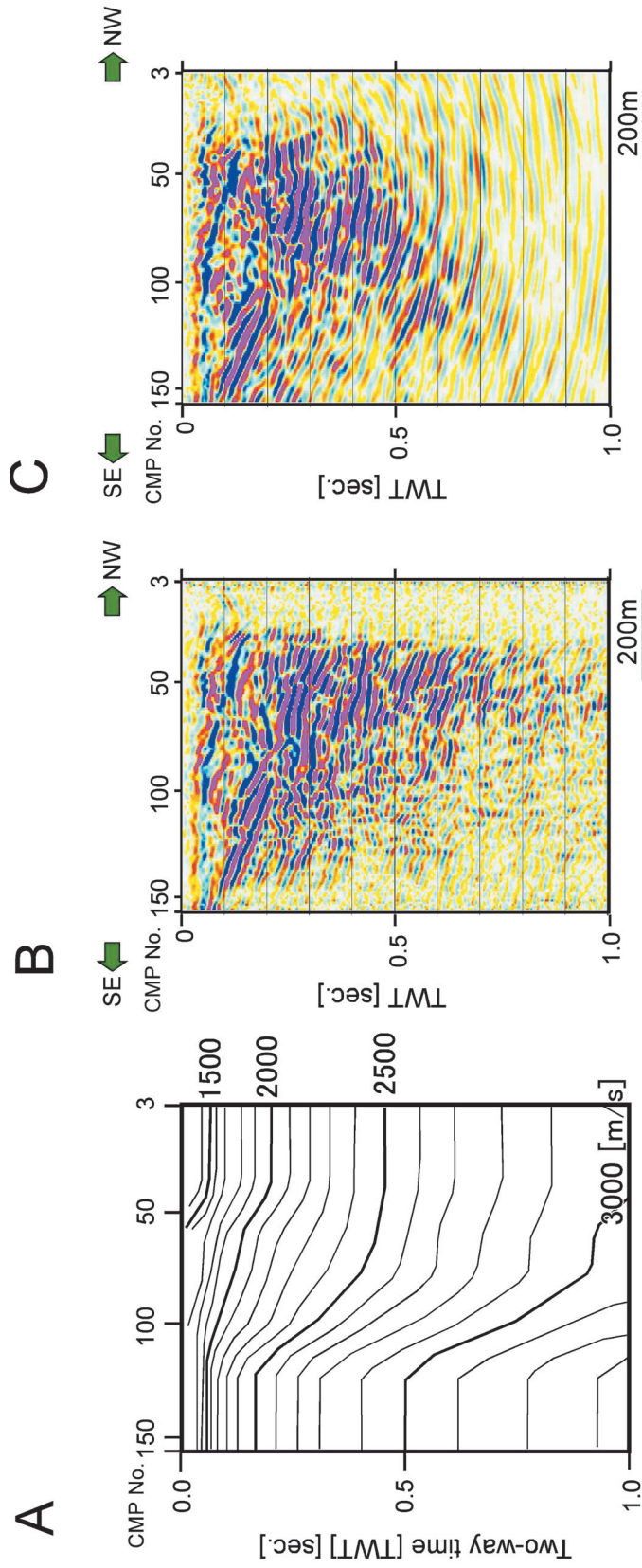


Fig. 9. Optimum stacking velocities determined by velocity analysis (A), filtered stacked section (B) and post stacked and migrated time section (C) of Makado line.

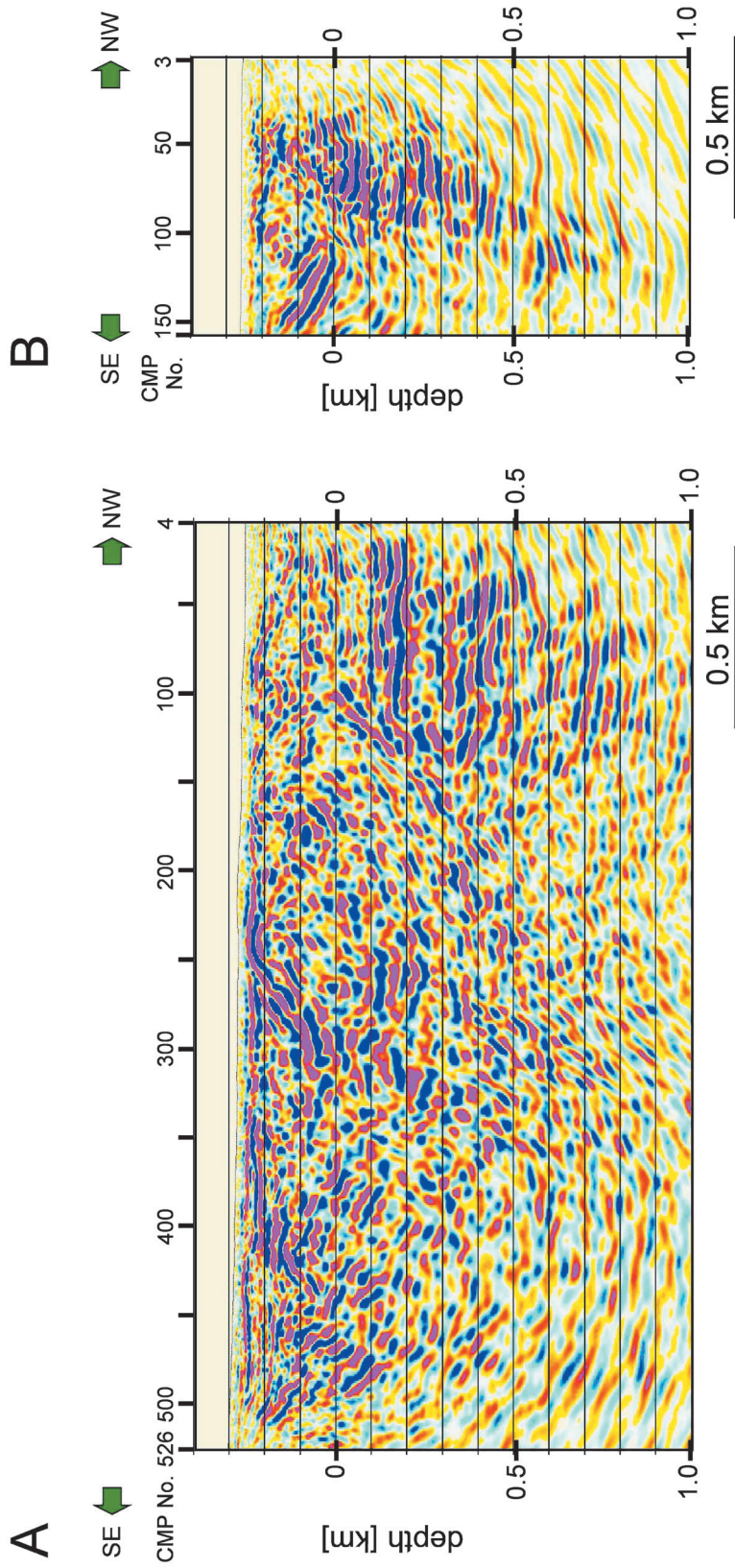


Fig. 10. Depth converted seismic sections. A: Ubaguchi line, B: Makado line

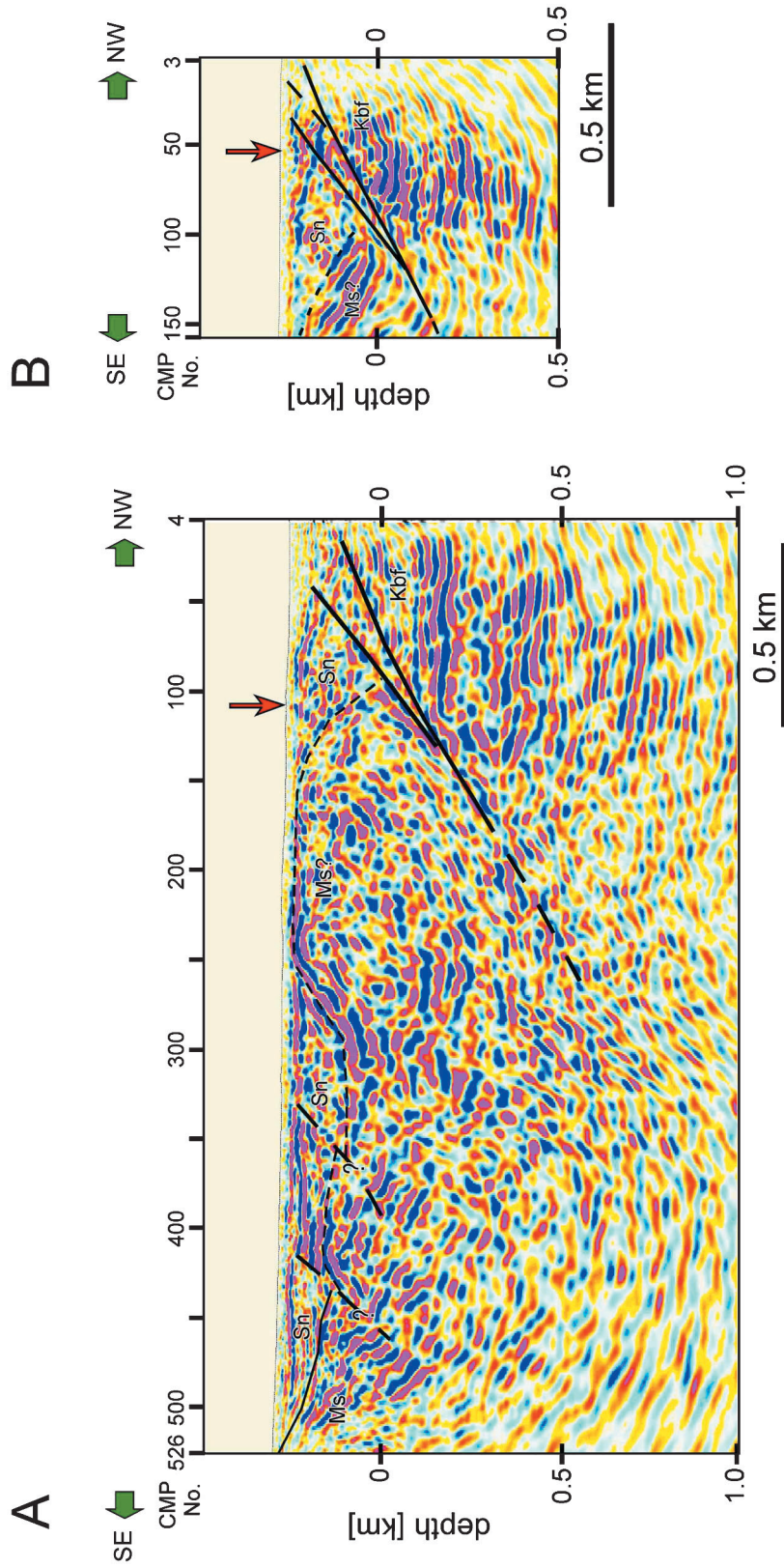


Fig. 11. Interpretation of Some2006 seismic sections. A: Ubaguchi line, B: Makado line. Thick solid line: fault, thick broken line: fault (inferred), thin solid line: geological boundary, thin broken line: geological boundary (inferred), Ms: Misaka Group (Middle Miocene), Sn: Some Group (Pliocene to Quaternary). Red arrow: previously estimated fault trace.

橋田 功氏にお世話になった。探査にあたっては山梨県消防防災課笹本勝相氏、旧中道町の池谷清志氏にご協力いただいた。匿名の査読者には本論文を改善するための指摘をいただきました。本探査は、文部科学省の大都市圏大震災軽減化特別プロジェクト、「大都市圏地殻構造調査研究」の一環として実施された。ここに記して謝意を表す。

文献

- 青池 寛, 1999, 伊豆衝突帯の構造発達, 神奈川博調査研報(自然), **9**, 113-151.
- 今泉俊文・澤 祥・東郷正美・池田安隆, 1998, 1:25,000 都市圏活断層図「甲府」. 国土地理院技術資料 D.1-No. 355.
- 石田 高, 1988, 御坂山地, 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編, 日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版, 92-97.
- 片田正人, 1956, 5 万分の 1 地質図幅「甲府」および説明書, 地質調査所, 27p.
- 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, 448p.
- 河内晋平, 1977, ハヶ岳地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 92p.
- 國友孝洋・志知龍一, 1995, 重力異常から見た甲府盆地の境界断層, 地震, 第 2 輯, **48**, 439-450.
- 隈元 崇・池田安隆, 1993, 南部フォッサマグナ, 甲府盆地の低角逆断層の地下構造とネットスリップ, 地震, 第 2 輯, **46**, 245-258.
- 三村弘二, 1967, 黒富士火砕流の火山層序学的研究, 地球科学, **21**, 1-10.
- 三村弘二・柴田 賢・内海 茂, 1994, 黒富士火山と甲府盆地北方に分布する火山岩類の火山活動と K-Ar 年代, 岩鉱, **89**, 15-20.
- 三村弘二・河内晋平・藤本丑雄・種市瑞穂・日向忠彦・市川重徳・小泉光昭, 1982, 自然残留時期からみた韮崎岩砕流と流れ山, 地質雑, **88**, 653-663.
- 内藤範治, 1988, 曾根丘陵, 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編, 日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版, 171-173.
- 中田 高・今泉俊文編, 2002, 活断層詳細デジタルマップ (DAFM 0042), 東京大学出版会.
- Nishimiya, K., 1973, Studies on the geochronology of the Sone group in the Sone hills, Higashiyatsushiro district of Yamanashi prefecture, *Mem.Fac.Lib.Art Educ., Yamanashi Univ., part 2*, **24**, 64-68.
- 尾崎正紀・牧本 博・杉山雄一・三村弘二・酒井 彰・久保和也・加藤碩一・駒沢正夫・広島俊男・須藤定久, 2002, 20 万分の 1 地質図幅「甲府」, 産業技術総合研究所.
- 澤 祥, 1981, 甲府盆地西縁・南縁の活断層, 地理学評論, **54**, 473-492.
- Soh, W., Nakayama, K. and Kimura, T., 1998, Arc-arc collision in the Izu collision zone, central Japan, deduced from the Ashigara Basin and adjacent Tanzawa Mountains, *The Island Arc*, **7**, 330-341.
- 山梨県, 2004, 平成 15 年度地震関係基礎調査交付金 甲府盆地地下構造調査業務成果報告書, 150p.

(Received December 27, 2006)

(Accepted January 12, 2007)