

反射法地震探査による十勝活断層帯中部の浅層構造

越後智雄¹⁾・宮内崇裕¹⁾・河村知徳¹⁾・佐藤比呂志²⁾・蔵下英司²⁾・加藤 一³⁾・井川 猛⁴⁾・川中 卓⁴⁾・折戸雅幸⁵⁾・長谷川貴志⁶⁾・伊藤谷生¹⁾

¹⁾ 千葉大学, ²⁾ 東京大学地震研究所, ³⁾ 山梨大学, ⁴⁾ (株) 地球科学総合研究所, ⁵⁾ 三井石油開発株式会社, ⁶⁾ サイトウコンサルタンツ

Shallow seismic reflection profiling across the central part of the Tokachi active fault zone, Hokkaido, Japan

Tomoo Echigo¹⁾, Takahiro Miyauchi¹⁾, Tomonori Kawamura¹⁾, Hiroshi Sato²⁾, Eiji Kurashimo²⁾, Hajime Kato³⁾, Takeshi Ikawa⁴⁾, Taku Kawanaka⁴⁾, Masayuki Orito⁵⁾, Takashi Hasegawa⁶⁾ and Tanio Ito¹⁾

¹⁾ Chiba Univ., ²⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ³⁾ Yamanashi Univ., ⁴⁾ Japex Geoscience Institute, Inc., ⁵⁾ Mitsui Oil Exploration Co., Ltd., ⁶⁾ Saitou Consultant

Abstract

The Tokachi active fault zone, a chain of active faults and flexures 80 km long from north to south, exists as the topographic boundary between the Tokachi Plain and the eastern uplands, Hokkaido, Japan. We carried out shallow seismic reflection profiling using a mini-vibrator to clarify the implications between surface deformation and subsurface structures of this fault zone at the most highly active area of the Makubetsu Plateau. The results obtained are as follows. Two distinct flexures are recognized in the seismic reflection profile. The western flexure is about 2 km wide and has at least a 0.25 to 0.30 second vertical displacement, whose sense is concordant with the deformation of the surface of the upper fluvial terraces geomorphologically identified as the Tobatsugawa fault. The eastern one also has the same deformation pattern of fluvial terraces as that geomorphologically identified as the Itaira fault. However, both geomorphic flexures are below one-sixth to one-third of the subsurface flexural zone in width. The seismic reflection method is necessarily required, to evaluate the net displacement of active flexural zone, in addition to morphotectonic observations.

Key word: shallow seismic reflection method, Tokachi Plain, active fault (flexure) zone, deformed fluvial terraces, late Quaternary

1. はじめに

北海道中軸部は、北米・ユーラシアプレートの衝突境界にあたる。第四紀後期の東西圧縮応力は、日高衝上断層帯前縁の石狩低地帯、ならびに背後側の十勝平野において、解放されてきた。日高山脈周辺の地質構造や現在の地震活動やからも、後期中新世以降の運動傾向は継続していると考えられている (Kimura, 1986; 在田, 1998)。

石狩平野の東縁にひろがる第四紀後期の地形面には、

断層運動による変形が、撓曲という形態で認められる。変形がおよんでいる範囲は、北端の美幌付近から南端の早来にかけて、馬追丘陵に沿って南北約 80 km にわたる (活断層研究会, 1991; Fig. 1)。折戸ほか (1999) は、苫小牧の勇払地区での浅層反射探査の結果と既存の地質データなどから、伏在断層の短縮速度を 0.86 mm/yr と算出した。

十勝平野においても、芽登から広尾にかけての南北約 100 km にわたって、第四紀後期の河成段丘群を変位さ

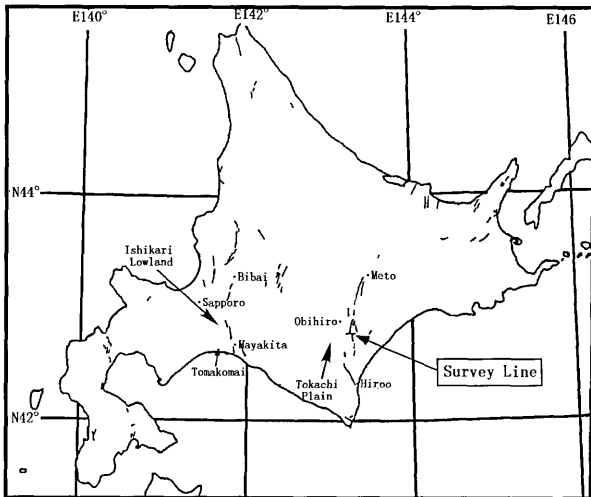


Fig. 1. Active fault map of Hokkaido, Japan. (Research group on Active faults Japan, 1991)

せる「十勝平野活断層帯」の分布が指摘されていた(東郷・小野, 1994). 変位のセンスは, 東部の丘陵と平野を分化させる東上りの逆断層と推定され, 垂直変位速度は 0.1~0.5 mm/yr 程度としている(東郷・小野, 1994). 越後(1999)は, これらを「十勝活断層帯」と総称し, 撓曲変形の実測値と段丘面の年代に基づいた垂直平均変位速度の分析から 3つのピークを認め, この分布にもとづいて北部・中部・南部のセグメントに区分した(Fig. 2).

十勝平野における浅部地下構造と地表変形との関係を明らかにするために, 本研究では, 最も活動度の高いと考えられる中部セグメントの帯広市^{いたいら}以平付近において, 反射法地震探査を行ったので, その結果について報告する.

2. 地域概要

2-1 地形と地質

十勝平野の西側には, 先白亜系の日高累層群・変成岩類・花崗岩類からなる標高 2,000 m 級の日高山脈が位置している(十勝団体研究会, 1978; 日本の地質「北海道地方」編集委員会, 1990). 東部に位置している押帯^{おしよつぶ}台地・長流枝^{おさるしな}内丘陵・幕別台地・豊頃丘陵は, 上部鮮新統から完新統の池田層・長流枝内層^{おさるしな}・渋山層^{しぶさん}からなる十勝層群によって構成されている(Fig. 3). 主要な構成物は, 砂岩・シルト岩となっており, 一部に亜炭層や凝灰岩層を挟む. これらは平野地下にも分布していることが, 平野地下試錘資料などに基づいて報告されている(岡, 1986). 平野部の地形は, 扇状地性の河成面群よりなる. 平川・小野(1974)は, 火山灰の層序と編年をも

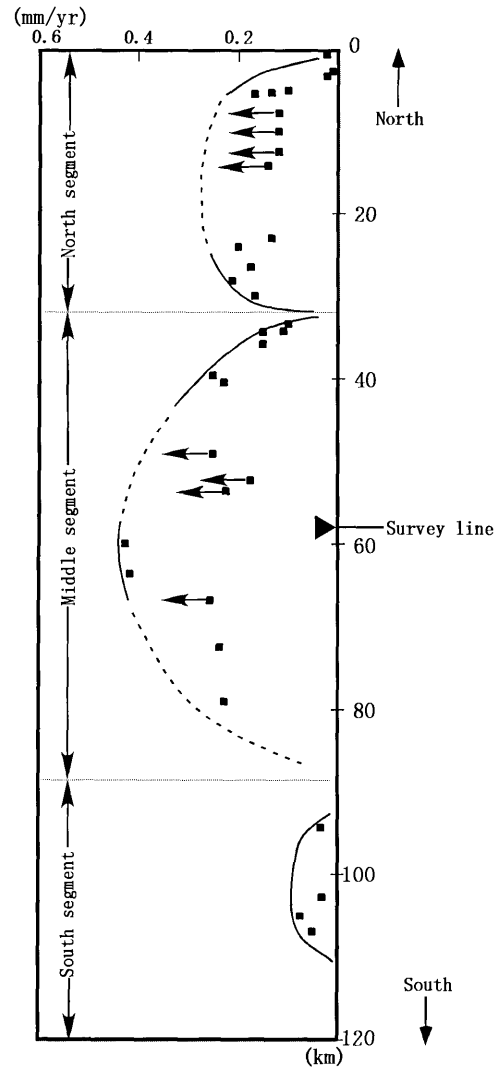


Fig. 2. Vertical average slip rate of the Tokachi Plain active fault zone. (Echigo, 1999)

とに, 中期更新世以降数十万年の間に離水した地形面を 13 に分類している.

2-2 活断層

丘陵と平野を境する地域には, 北端の芽登から南端の広尾まで(Fig. 1), 総延長約 100 km にわたり, 第四紀に活動してきた構造線の存在が示唆されてきた(十勝団体研究会, 1978; 岡, 1982; 1986; 東郷・小野, 1994). 十勝平野東縁の台地・丘陵群の西端では, 第四系の基盤をなす十勝層群の池田層や長流枝内層において, 西への急傾斜帯が認められる. この急傾斜帯の直上では, 第四紀後期の段丘面にも幅の広い撓曲変形が認めらる. 十勝活断層帯の地表での形態に着目すると, 「断層」よりも「撓曲」と称することが適当な場合もある. 変位のセンスは, 変形域をはさんで東側が相対的に隆起するもので, 伏在する逆断層に伴う変形であると推定される. 地表での変

形の幅は、50~300 m 程度である。地表での変形は、2ないし3条の撓曲が平行ないし雁行している。十勝活断層帯の北部では、平行する変形域間の距離が2 km 程度で

あるのに対し、十勝活断層帯中部より南方では最大約10 km と広がる(東郷・小野, 1994; 越後, 1999; 東郷, 2000)。先述の十勝活断層帯での各セグメントの垂直平均変位速度は、中部セグメントは0.2-0.5 mm/yr, 北部セグメントは0.1-0.3 mm/yr, 南部セグメントは0.1 mm/yr である。つまり、中部セグメントは十勝平野の活断層の中で、最も活動性が高い部分に相当する。

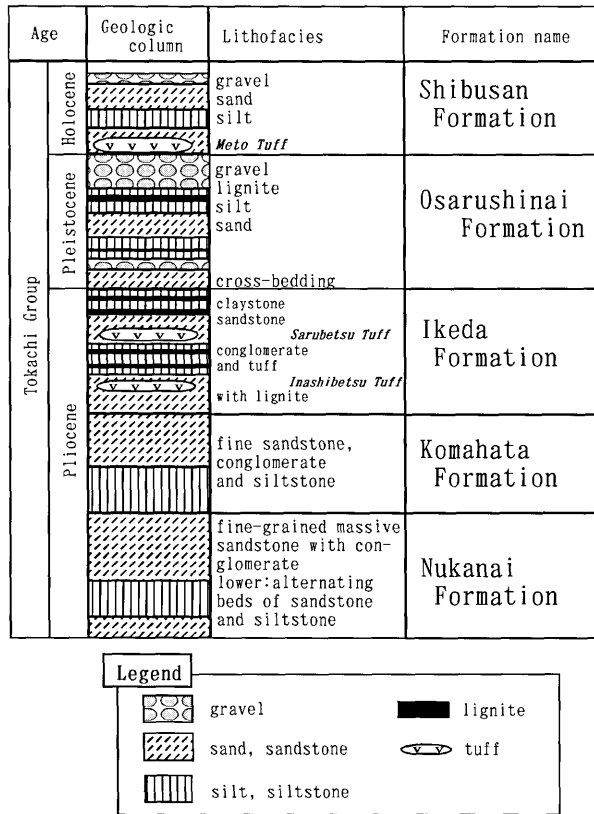


Fig. 3. Stratigraphy and lithofacies in and around the Tokachi Plain.

3. 反射法地震探査

探査測線は、帯広市南部の道道大正一^{ぬかない}線に沿い、途別川から猿別川に至る約7.7 km に設定した (Fig. 4)。この測線は、十勝活断層帯の中部セグメントで最大の垂直平均変位速度 0.5 mm/yr を示す部分を横切る。震源は、東京大学地震研究所所有のミニバイブレーター (Industrial Vehicles International 社製) を使用した。データ取得システムは、GDAPS-4 (Japex Geoscience Institute, Inc.) を使用した。探査に関するパラメーターは以下の通りである。発振点間隔が 25 m, スイープ周波数が 10~80 Hz で 1 地点 20 秒の発振を 5 回行った。固有周波数 10 Hz の受振器を約 2.7 m 間隔で 9 個を 1 グループとし、25 m 間隔に 1 グループの割合で道路沿いに設置した。計測は、1 地点の発振につき 180 グループの受信器を使い、前方 90 ch, 後方 90 ch でサンプリングレートは 2 ms としてデータを取得した。

4. データ処理

原記録については、Receiver Point (以降 RP) の 993

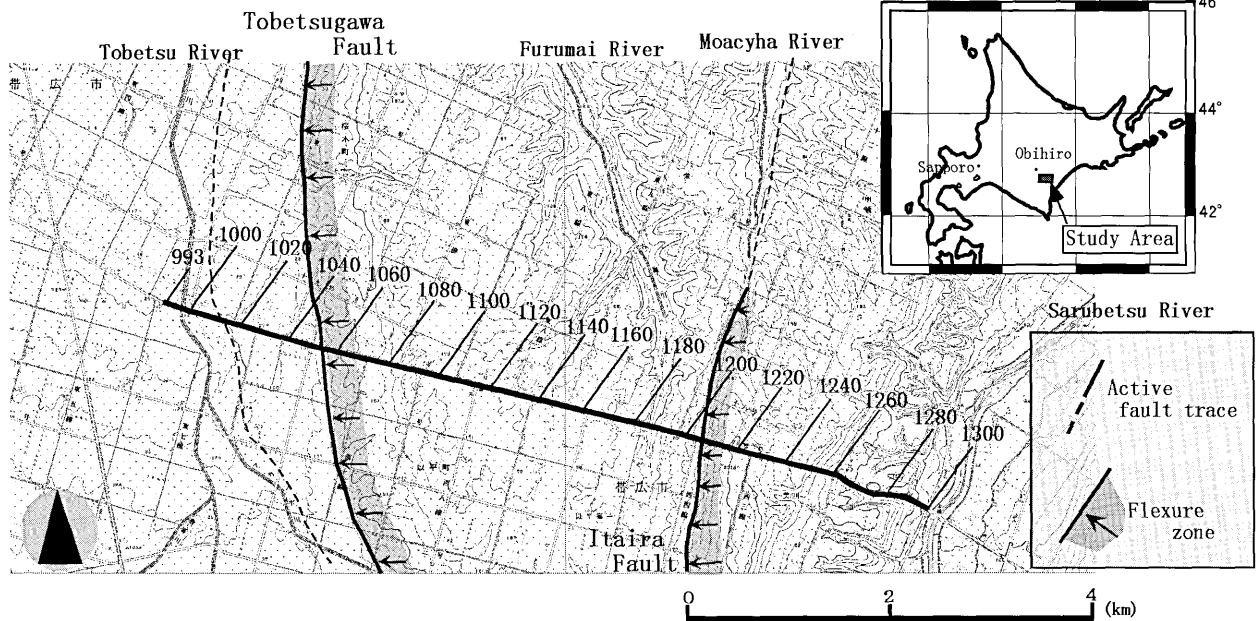


Fig. 4. Location map of the Survey Line.

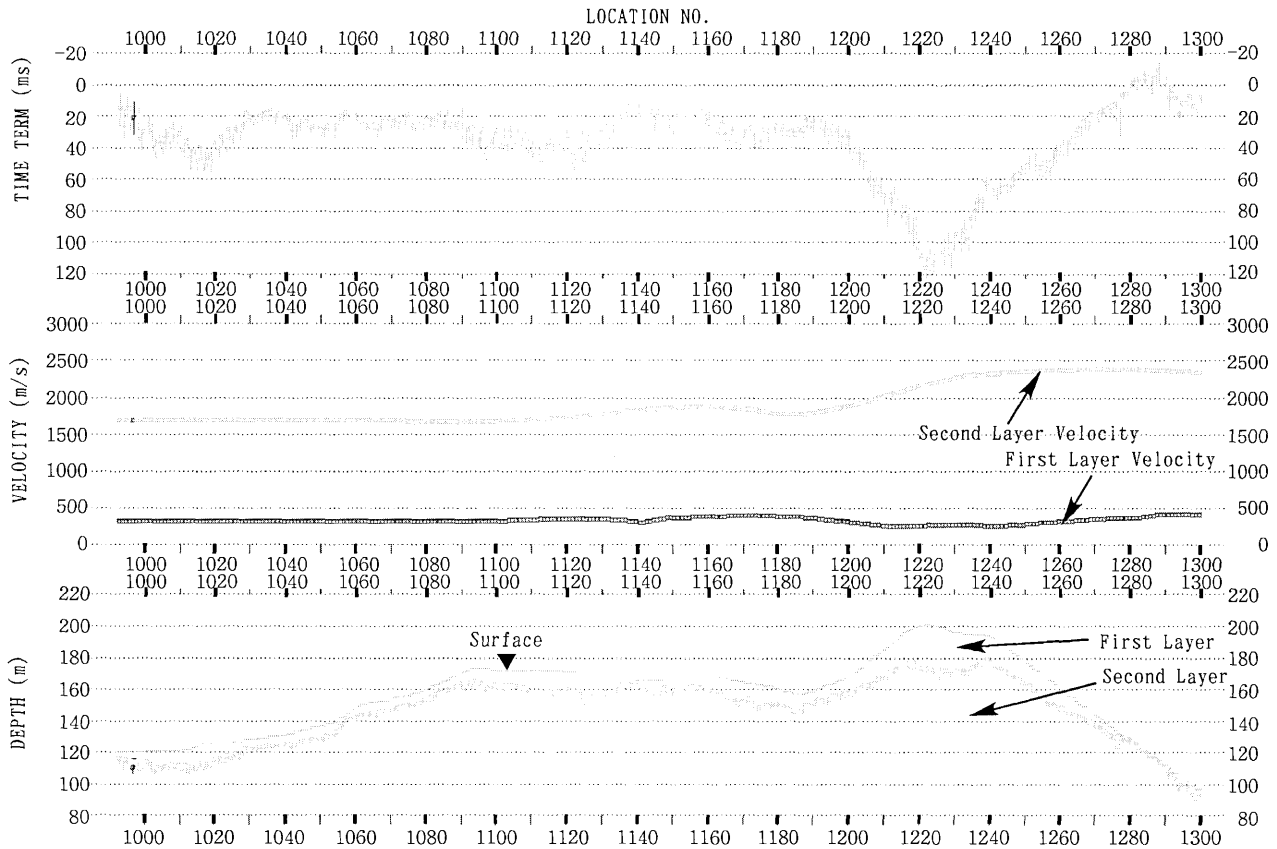


Fig. 5. Result of Time Term Analysis.

から 1010 付近において、地震波の伝播する範囲が極端に小さくなるのを除き、発振点から 50 ch (1.25 km) 程度の範囲内では十分に初動の読み取りは可能であった。ただし、震源車油圧系のラジエーターファンの故障により、想定していた出力の 70% 程度であった。

データの前処理として、全記録の P 波初動の到達時間を読み取り、その値をインバージョンすることで Time-Term 値、第 2 層目速度、浅層構造モデル (Fig. 5) を得た。処理にあたっては、静補正処理システム改良 Time-Term 法 (市川ほか, 1987) によるプログラムを利用した。インバージョンでは、第 1 層目の速度を 400 m/s (RP 1210-1240 は 300 m/s) として行った。

データ処理は、Mercury International Technology 社製の反射法データ処理システム iXL を使用し Fig. 6 に示す過程に沿って行った。解析で使用したパラメーターは、以下の通り。

- BANDPASS FILTER
Low Cut: 6Hz, Low Pass: 8Hz, High Pass: 78 Hz,
High Cut: 80 Hz
- GAIN RECOVERY
RMS Window Length: 300 msec.

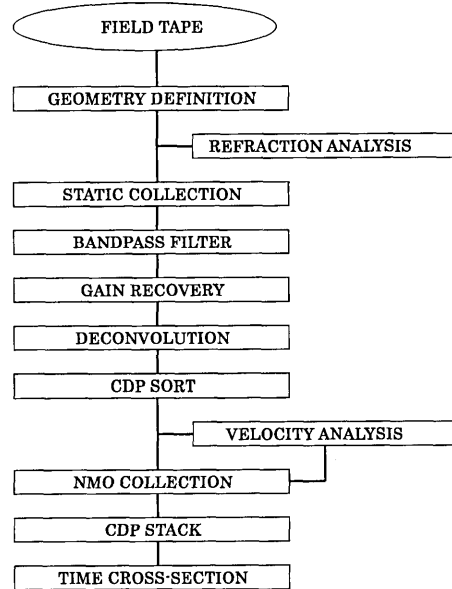


Fig. 6. Flow chart of data-processing.

- DECONVOLUTION
Operator Length: 50 msec, Gate Length: 2,000 msec
Prediction Distance: 2 msec, Autocorrelation Whit-

Table 1. Velocity analysis table.

CDP Number	105		205		305		405		505		605	
	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s	ms	m/s
1	70	1500	80	1700	80	1800	120	1950	60	1850	100	1650
2	180	1800	170	1850	190	1900	230	2050	160	2200	200	1800
3	300	2000	300	2200	280	2000	320	2100	210	2650	300	2100
4	480	2200	380	2450	330	2300	400	2200	280	3000	400	2450
5	550	2700	440	2650	430	2450	550	2300	340	3100	560	2700
6	650	2850	480	2750	580	2650	800	2550	540	3250	840	2800
7	1100	3050	600	3000	720	2850	1060	2850	750	3400	1200	2900

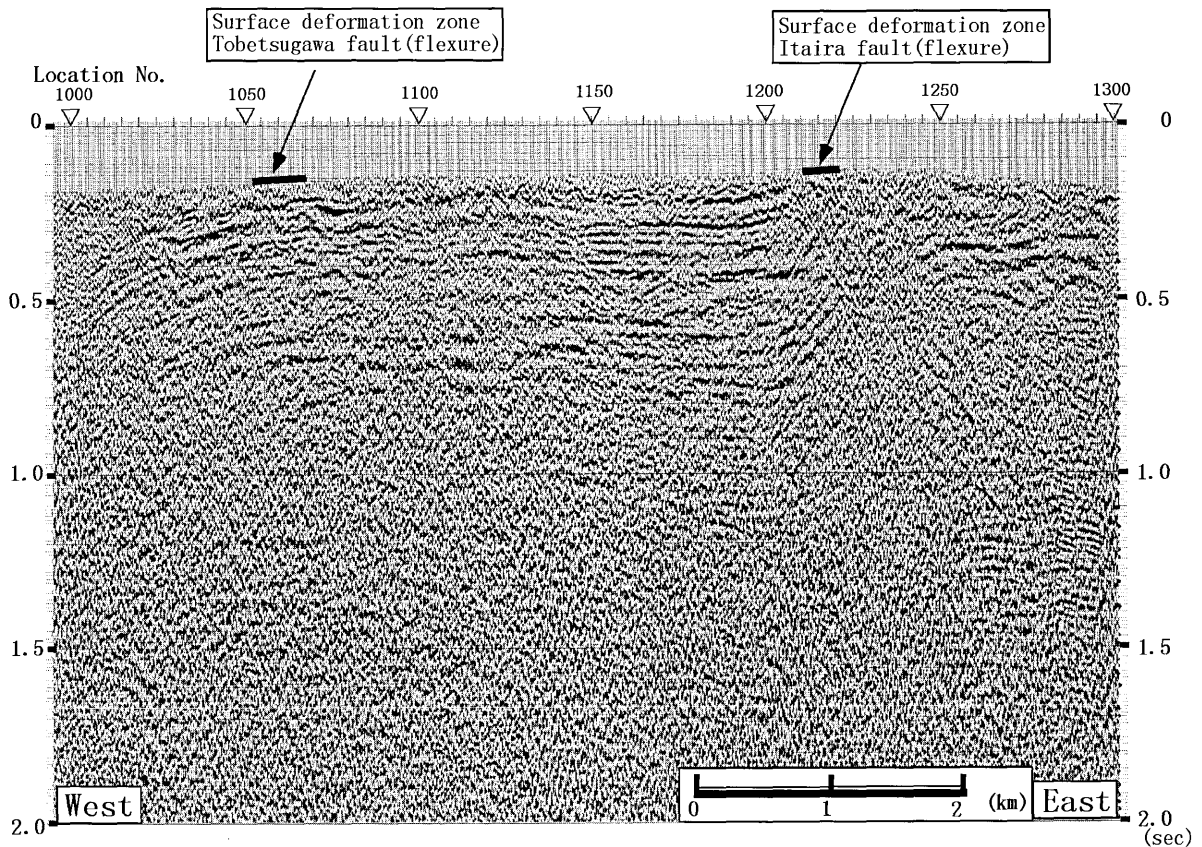


Fig. 7. Time section at middle eastern part of the Tokachi Plain.

ening: 0.5%

毎に 6 点 (Table 1)

・ VELOCITY ANALYSIS

CVSK 法で CDP 105 から 100 CMP point (1.25 km)

5. 結 果

解析の結果、得られた時間断面は Fig. 7 である。測線西端部の RP 1000 から RP 1080 の間では、丘陵側が上がる大きな撓曲構造が確認できる。さらにその撓曲構造から東に向けて、反射面が緩やかに傾き下がるが、RP 1200 付近で、再び丘陵側が上がる撓曲が存在する。RP 1200 番付近の表層では、地震波の伝播が遅い層が存在するため、反射面は横方向の連続性が悪くなる。測線東端付近の反射面は、緩やかな東下りの傾斜を示している。この結果、本測線の地下には 2 つの撓曲構造の存在が認められた。これらは、東郷・小野 (1994)、越後 (1999) が示した変位地形の位置とはほぼ一致し、西側の撓曲が途別川断層、東側の撓曲が以平断層にそれぞれに該当する。

途別川断層においては、写真判読で認められる地表での撓曲範囲と反射断面で得られた地下での撓曲範囲に大きな差異が認められた。途別川断層の地表変形は、空中写真をもとに RP 1050~1065 の間で 300~350 m 程度の撓曲と判読した。地下での変形は、反射断面を基にする RP 993~RP 1060 の約 2 km におよんでいる。地上で確認できる撓曲は、地下での変形域の約 6 分の 1 である。垂直方向の変位は、時間断面で 0.2~0.3 sec 程度認められた。測線の西端から RP 1050 付近まで、地表で明瞭な断層変位地形が認められないのは、RP 1050 より西側の地形面が東側の地形面よりも新しく、累積変位量が小さいためであると考えられる。

東側に撓曲崖として認められる以平断層は、地下でも同様に撓曲変形をしている。地下での撓曲の幅は、約 1 km である。垂直方向の変位は、途別川断層と同程度の 0.25~0.3 sec であった。以平断層における地表の変形範囲は、地下での変形帯幅の 1/3 程度である。

6. まとめ

‘十勝活断層帯’中部セグメントにおいて、ミニバイブレーター車を用いた反射法地震探査を実施した結果、以下の事が明らかとなった。

探査測線の地下には、2 つの撓曲構造が存在する。東側の以平断層 (撓曲) は、地表と地下での変形形態が、撓曲であることが確認された。しかし、地表での撓曲変形は、地下における変形域の約 3 分の 1 しか表現されていない。西側の途別川断層 (撓曲) では、地表まで到達する断層面の存在は確認されなかった。そのため、RP 1015 付近の低断層崖としていた崖は、侵食作用によって

形成されたものであると考えられる。変形範囲については、前者同様、地表での撓曲は、地下での変形の 6 分の 1 であった。

本探査では、地表における変形域の評価、特に撓曲変形においては、地形情報のみでなく地下構造探査も加えて、変形域・変位量を考慮する必要があることが再確認された。

謝 辞

探査の実施に際しては、全般にわたって株式会社地球科学総合研究所に御協力を頂いた。測線の設置に際しては、千葉大学学部生の三縄岳大、鈴木和子、岡田和久、熊谷小百合、金子紫延、戸村元史、福井健史、中瀬香織、村野明子の諸氏に御協力を頂いた。

また、調査測線沿道にお住いの方々、地元自治体の担当各位におかれては、調査に対する御理解と御協力を頂いた。ここに深く御礼を申し上げます。

引用文献

- 在田一則 (1998): 反射法地震探査と衝突型造山帯のテクトニクス, 地質学論集! 21 世紀の構造地質学にむけて, 50, 193-204.
- 越後智雄 (1999): 十勝平野に分布する活断層のセグメンテーションについて, 日本第四紀学会講演要旨集, 29, 80-81.
- 平川一臣・小野有吾 (1974): 十勝平野の地形発達史, 地理学評論, 47, 607-632.
- 市川健士・太田陽一・熊井 基・内田真人, 1987, 改良タイムターム法を用いた会話型静補正処理システム, 物理探査学会第 77 回学術講演論文集, 129-133.
- 活断層研究会 (1991): 「日本の活断層 (新編) 分布図と資料」, 東京大学出版会, 437p.
- Kimura Gaku (1986): Oblique subduction and collision: Forearc tectonics of the Kuril arc, *Geology*, 14, 5, 404-407.
- 日本の地質「北海道地方」編集委員会 (1990): 「日本の地質 1 北海道地方」, 共立出版, 337p.
- 岡 孝雄 (1982): 十勝平野の鮮新・更新統について (その 3) - 幕別台地の池田層群 -, 地学雑誌, 88, 79-100.
- 岡 孝雄 (1986): 北海道の後期新生代堆積盆の分布とその形成に関わるテクトニクス, 地団研専報, 31, 295-320.
- 折戸雅幸・佐藤比呂志・平川一臣・池田安隆・伊藤谷生・越谷信・戸田 茂・堤 浩之・宮内崇裕・今泉俊文・井川猛・勇弘活断層研究グループ (1999): 浅層反射法地震探査による苫小牧市勇弘の地下活構造解析, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集.
- 十勝団体研究会 (1978): 「十勝平野」, 地団研専報, 22, 433p.
- 東郷正美・小野有吾 (1994): 十勝活断層系および活動特性について, 法政大学自然地理学報告, 9, 1-14.
- 東郷正美 (2000): 微小地形による活断層判読, 古今書院, 206p.

(Received October 13, 2000)

(Accepted February 1, 2001)