

福岡市生の松原での浅部地下構造調査

Shallow seismic reflection survey at Ikinomatsubara area, Fukuoka City.

加野直巳^{1*}・山口和雄¹

Naomi Kano^{1*} and Kazuo Yamaguchi¹

Abstract: We conducted a high-resolution shallow seismic reflection survey at Ikinomatsubara area, Fukuoka City to image the shallow basement structure. Two about 600m-long S-wave seismic lines were set along the coastal line. One was set in pine tree forest and the other was set just outside the forest and about 20m from the coastal line. The distance between the two lines was about 50m. As a result, CMP stacked sections profiled several continuous reflection events at the near surface. Line2 section profiled characteristics like fault. The drilled core data obtained at GS-IKM-1 site, which is just at the north-east end of the line 1, suggests that two strong reflections can be expected from the two interfaces (8m and 20m in depth) and two reflections in Line1 depth section have a good agreement with the expected depth. The profiles still have noises caused by strong direct-wave/surface-wave and surface statics. We still need to suppress these noises to have a good image of the basement.

Keywords: high-resolution shallow seismic reflection survey, S-wave

要旨

浅部の基盤構造をイメージすることを目的として、福岡市生の松原地区において高分解能反射法地震探査を実施した。九州大学演習林となっている松林の中とその外側海岸に沿ってのそれぞれ約 600m の測線において S 波探査を行った。一連の処理を施して得られた CMP 重合断面を暫定的に解釈した。測線 1 には、3 つの比較的連続性の良い反射面が捉えられた。測線 2 には断層構造らしき特徴も認められた。測線 1 の北東端で掘削されたオールコアボーリング GS-IKM-1 のコア試料の堆積相解析結果と速度解析で求めた速度を用いての測線 1 の深度変換断面図と対比すると、中位の反射面が深度 20.4m の古第三系姪浜層のトップと礫質河川相の境界からのもの、上位の反射面が深度 8.0m の礫質河川相のトップと氾濫原層との境界からのものと考えられる。今後、下位の反射面が何であるかの検討と合わせて、注意深い静補正、直接波によるノイズの除去により、よりよい断面図を作成することが必要である。

1. はじめに

福岡平野付近には、警固断層など既知の活断層の他に、リニアメントや周囲に比べて第四系が相対的に厚く堆積する低地がある。水野ほか(2011)は、後者のような活断層と認定されていないリニアメントや低地について、空中写真判読、野外調査、ボーリング資料収集、2 地域で新規のボーリング調査を行った。新規のボーリングのうち生の松原のボーリング地点付近で、地下構造調査として S 波反射法地震探査と表面波探査を実施した。地下構造調査の目的は、室見川下流域の低地帯である生の松原付近の基盤の上面形状をイメージすることにより、ボーリング地点から西方約 1km の区間での断層の存否、断層が存在する場合の変形様式などを解明することである。また、ボーリング調査で判明した地質層序と反射面等の境界面との対比も行う。

2. 調査の概要

本調査は 2011 年 2 月 2 日～7 日の 6 日間に実施した。測線は福岡市生の松原地区の九州大学演習林(松林)内の小道(測線 1)と演習林はずれの海岸の通路

* Correspondence

¹ 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, Institute of Geology and Geoinformation)

(測線 2) のそれぞれ約 600m である (Fig. 1). 測線 1 は曲がりくねってはいるが, 海岸とほぼ平行であり, 2つの測線の距離はおおよそ 50m で, その一部は並行している. 両測線ともほぼ水平で, 測線 1 の標高は 1.4-4.2m, 測線 2 の標高は 2.7-4.1m である. また測線 1 の東北端を既存のボーリング GS-IKM-1 (水野ほか, 2011) の掘削地点とし, ボーリング資料と反射法断面との比較検討を可能にした. この 2つの測線の間には元寇防塁が走っており, これを横切った調査は防塁によるノイズが大きいと判断し, 行わなかった.

この 2つの測線に対し, カケヤによる板たたきを

S 波震源とした反射法調査 (測線 1 の 600m, 測線 2 の南西側 553m) および大カケヤを震源とした表面波探査 (測線 2 の 623m) を行った. 測線の設定を 2月 2日の午後に行い, S 波反射法調査を 3日朝から 6日午前 11時頃まで, 表面波探査を 7日午後 2時頃まで実施した. これは準備, 撤収の時間を含む. この報告では前者 S 波反射法調査の結果を報告する.

Table1 に調査の測定諸元および使用した機器類を示す. 対象が極めて浅部 (深度およそ 20m) であることから震源として S 波を選択し, 鉛直方向の分解能の向上を図り, 測線長がそれほど長くないことから,



第 1 図 測線図.
基図は国土地理院 2 万 5 千分の 1 地形図「福岡西南部」を使用
測線の数字は発震点・受振点番号.

Fig.1 Location map.
The Geographical map is “Fukuoka-Seinanbu” (1/25,000 in scale) by Geographical Survey of Japan.
Numbers on the survey lines are shot/receiver station numbers.

第 1 表 調査の概要.

Table 1 Survey parameters.

	S-wave Line1	S-wave Line2	Surface-wave Line2
Source	Plank striking by wood hammer	Plank striking by wood hammer	Big wood hammer
Shot points	599shot points	553 shot points	614 shot points
Detector Stations	600 stations	554 stations	611 stations
Record length	2 s		2 s
Shot Interval	1 m		1 m
Detector	GS-20DM (Geospace Technologies)		L-15B (Mark Products)
Natural Frequency	28 Hz		4.5 Hz
Detector interval	1 m		1 m
Spread	Split-Spread shooting		End-on shooting
Offset	-48 – 48m		3-50m
Recording System	DSS-12 (Suncoh)		DSS-12 (Suncoh)
Sampling interval	0.5 ms		0.5 ms
No. of channels	96		48

発振点・受振点間隔を 1m として水平方向の分解能向上を図った。また震源としては、松林内での操作性と対象深度がそれほど深くないことを考慮し、人力による板たたきとしたが、震源の力を増加させるため、小型ユンボの排土盤（一部測線 2 の松の枝が測線上に覆いかぶさっている部分はバケット）で板を抑えつけ、摩擦力が大きくなるようにした (Fig. 2)。受振器は 28Hz の垂直用受振器に L 型ブラケットを取り付け、横向きにスパイクで地面に設置できるようにしたもの

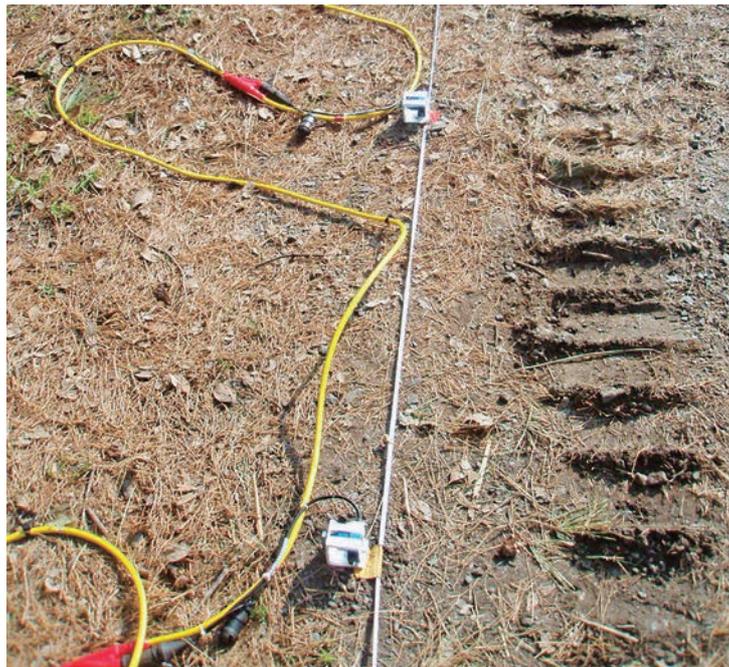
を使用した (Fig. 3)。展開は対象深度を考慮し、最大オフセットを 48m とし、水平重合数を増やし S/N を向上させるため、スプリットスプレッドを基本にデータを取得することとし、各発震点で 96ch のデータを取得した。

実質 3.5 日間の現地探査で取得した反射法調査データは、総発震点数 1152 点、合計 2304 ファイルとなった。



第 2 図 S 波震源.

Fig.2 S-wave source.



第 3 図 受振器.

Fig.3 Receivers.

3. 調査結果

取得データを Linux 上で動作する専用の反射法処理ソフトウェア Omega2 (WesternGeco 社製) を用いてデータ処理を実施した。データ処理の流れを Fig. 4 に、また各処理の概要を以下に記す。前述のように測線 1 は少し曲がりくねっていたので、測線に沿ったなめらかな曲線を CMP 重合測線とし、この測線に沿って共通反射点の編集を行った。測線 2 はほぼ直線であるので、CMP 重合測線はこの直線と一致させた。CMP の間隔は 0.5m とした。それぞれの測線の CMP 点数は 1153 と 1114 となった。

まず前処理としてトレース編集、同一発震点重合(ダイバーシティ重合)等を施し、次に測量作業によって求められた各受振点および発震点の座標データを入力し、ジオメトリを定義した。その後、振幅調整、バンドパスフィルタ(帯域通過フィルタ)等の処理を施し、反射イベントが強調されるようにした。暫定版として、静補正は地形補正のみを行い、屈折波走時を利用した静補正值の計算は行っていない。速度解析は、定速度走査センブル法計算法を用い、50CMP (25m) 毎に実施した。速度解析点数は 2 測線で合計 45 点である。速度を決定する際にはその速度による NMO カーブと CMP ギャザとの比較、その速度による NMO 補正後の CMP ギャザデータの確認を行った。この解析を経

て求めた重合速度構造を用いて NMO 補正、CMP 重合処理を施し時間断面を作成した。この重合後時間断面に対して、反射面の連続性を強調する FX 予測フィルタ処理を施し、さらに周波数帯域フィルタ処理等を加えた。また時間断面上の見かけの傾斜構造を真の構造に近い断面に変換する重合後時間マイグレーション処理を行った。この処理には速度解析で求めた重合速度構造データを用いた。

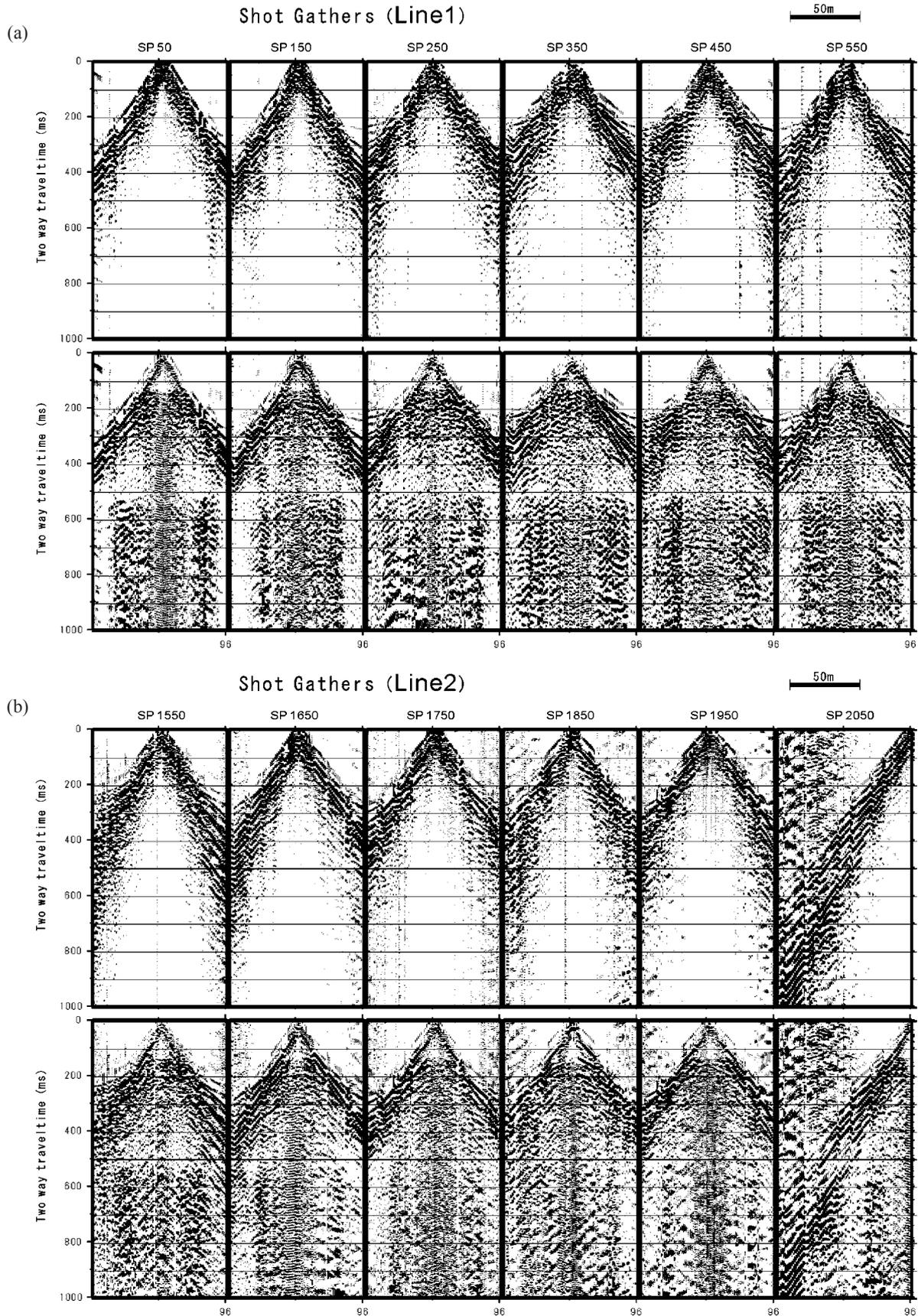
発震点ギャザと受振点ギャザの例を Fig. 5, 6 に示す。それぞれ 100m 間隔の記録である。それぞれのギャザの上段は垂直重合後のオリジナル、下段は時間方向の振幅補正を行ったあとの記録である。全般に S/N は良好であるが、オリジナルの記録では見かけ速度 140m/s 程度の直接波、あるいは表面波が卓越しており、反射波ははっきりしない。オフセットの大きいトレースには見かけ速度 700m/s 程度の屈折波のイベントが認められ、この屈折面での速度コントラストが大きいことが分かる。この記録に対して時間方向の振幅補正を適用することで、反射波らしき波群を観察することができるようになっている。

暫定的な時間断面図、時間マイグレーション断面図、深度マイグレーション断面図を Fig. 7 に示す。標高 10m を基準面としており、時間断面図、時間マイグレーション断面図では速度 125m/s を用いて標高補正を行っている。

Data Conversion(SEG2 → SEG Y)
Trace Edit(Dummy shot delete, Noisy trace delete etc.)
Vertical Stack(Diversity stack)
Geometry Apply
Amplitude balancing
Band-pass Filter
Elevation Correction
Velocity Analysis
NMO Correction
CMP Stack
FX Prediction Filter
Band-pass Filter
FX Time Migration
FX Depth Migration

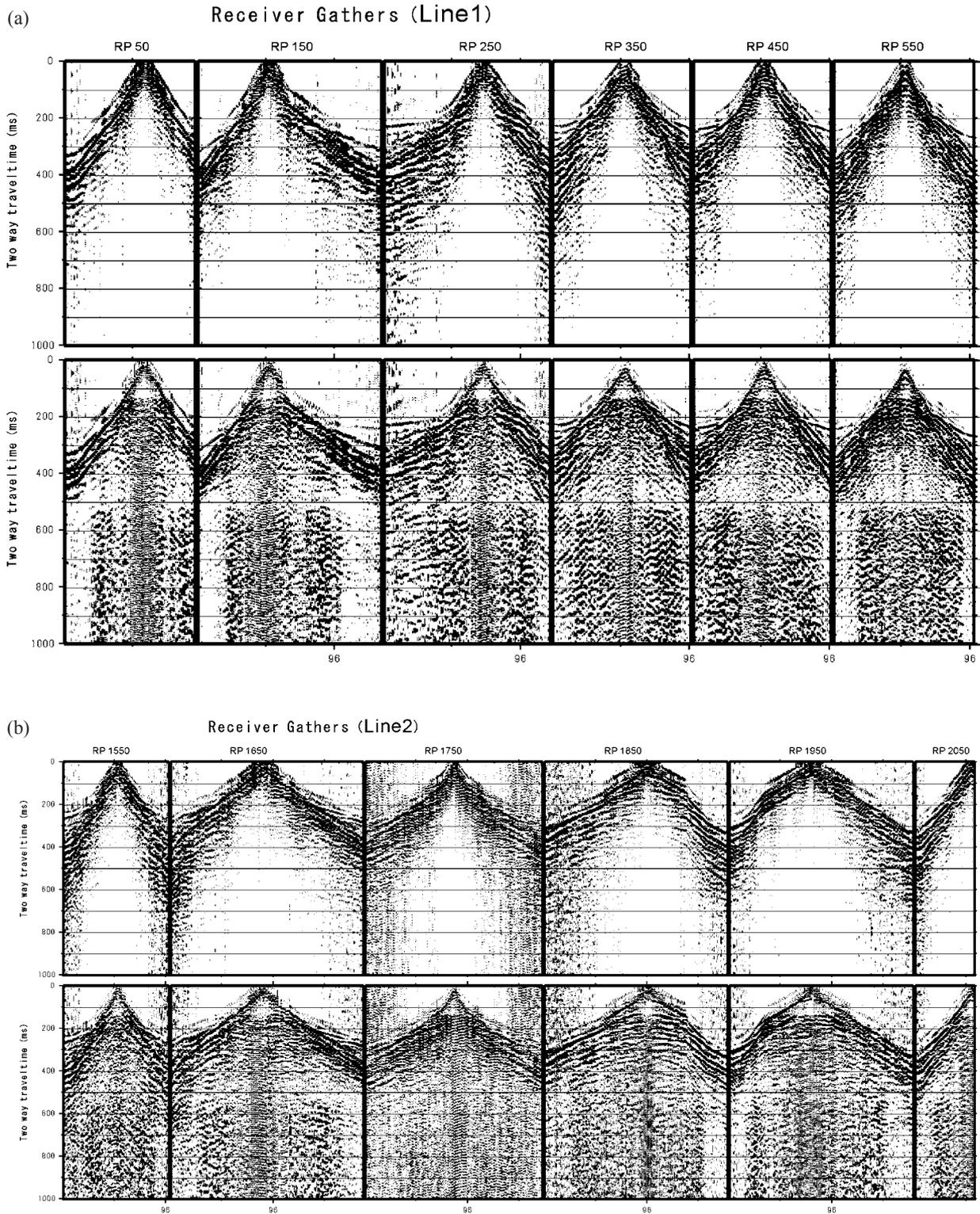
第 4 図 反射法データ処理の流れ図。

Fig.4 Processing flow chart.



第 5 図 発震点記録例.
 100m 間隔の発震点記録の例を示す. 上段は垂直重合後の記録, 下段は時間方向振幅調整後の記録である.
 a): 測線 1, b): 測線 2

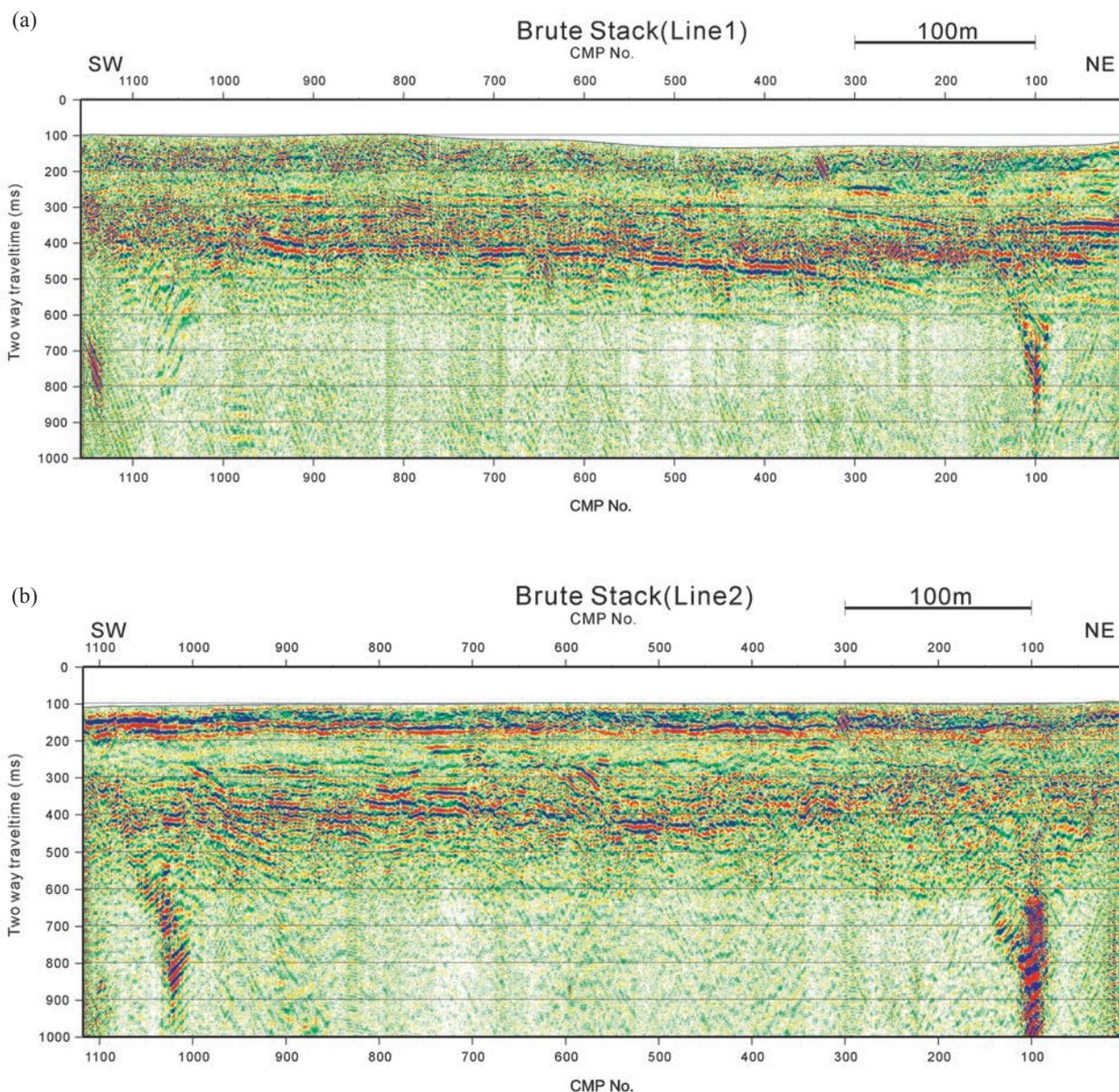
Fig.5 Examples of shot gathers.
 Shot gathers in 100m interval. Top: After vertical stack. Bottom: After amplitude balancing.
 a): Line1, b): Line2



第 6 図 受振点記録例.

100m 間隔の受振点記録の例を示す. 上段は垂直重合後の記録, 下段は時間方向振幅調整後の記録である.
a): 測線 1, b): 測線 2

Fig.6 Examples of receiver gathers.
Receiver gathers in 100m interval. Top: After vertical stack. Bottom: After amplitude balancing.
a): Line1, b): Line2

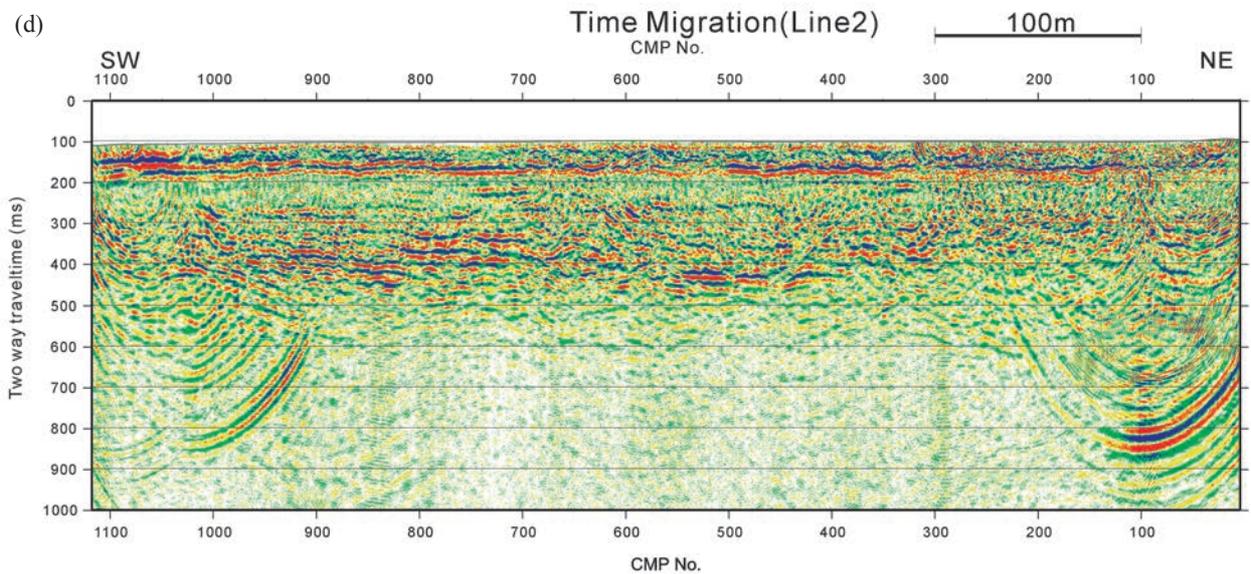
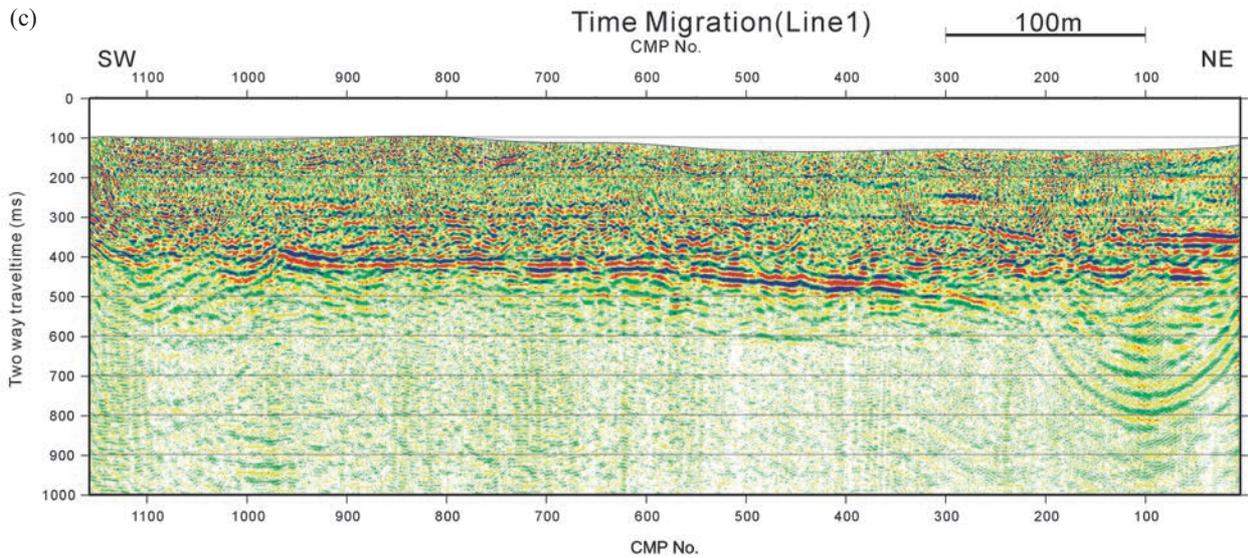


4. 考察

断面図ではオリジナルの記録で卓越していた直接波、あるいは表面波によると思われる急傾斜のイベントがノイズとして反射イベントの連続性を阻害している。時間マイグレーション断面図、深度マイグレーション断面図では不連続部分からマイグレーションによるノイズが発生しており、間違った印象を与えやすくなっている。この影響を避けるため、まず時間断面図で検討を行った。Fig. 8は、それぞれの測線の時間断面図に対し、反射イベント群を暫定的に解釈したものである。

測線1では南西端付近での連続性が悪いが、強い2つの反射面とその上位にある少し振幅の小さい反射面

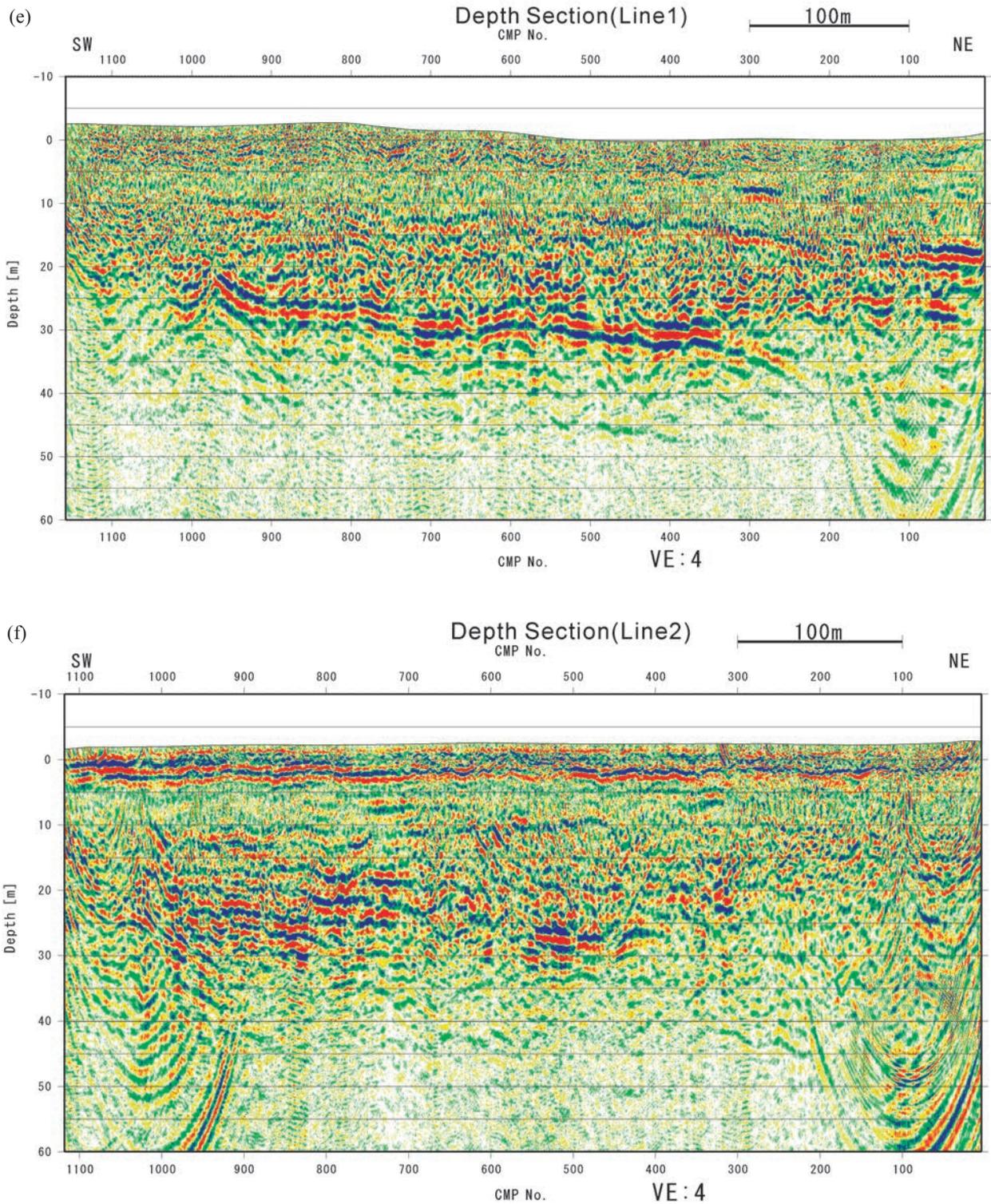
が特徴的である。一番上位の振幅の小さい反射面は北東端の往復走時 230ms から CMP250 付近の往復走時 260ms へと少し傾斜し、走時を大きくしている。CMP400 付近では往復走時 230ms 程度となり、それより南西でははっきりしなくなっている。浅い方の強い反射面は北東端では往復走時 370ms 程度で、ほぼ水平である。CMP200 付近から CMP350 付近まで少し傾斜し CMP350 付近では往復走時 300ms 程度となっている。CMP350 より南西では傾斜は緩やかになり南西端の CMP1153 では往復走時 250ms 程度となっている。深い方の強い反射面は北東端では往復走時 450ms 程度で、ほぼ水平である。CMP350 付近で波形が乱れていて連続性がはっきりしなくなっており、CMP370 付近では往復走時 470ms 程度となっ



ている。CMP370 から CMP600 付近まで少し傾斜し CMP600 付近では往復走時 420ms 程度となっている。CMP600 から CMP930 付近まではほぼ水平で、それより南西ではまた傾斜があり南西端の CMP1153 では往復走時 380ms 程度になっている。振幅がかなり弱いですが、CMP350 の往復走時 470ms から CMP200 で往復走時 560ms と傾斜し、それより北東側はほぼ水平となる反射面も認められる。深い方の強い反射面の CMP370 での反射面の乱れているところより北東側は、こちらに連続している可能性もある。

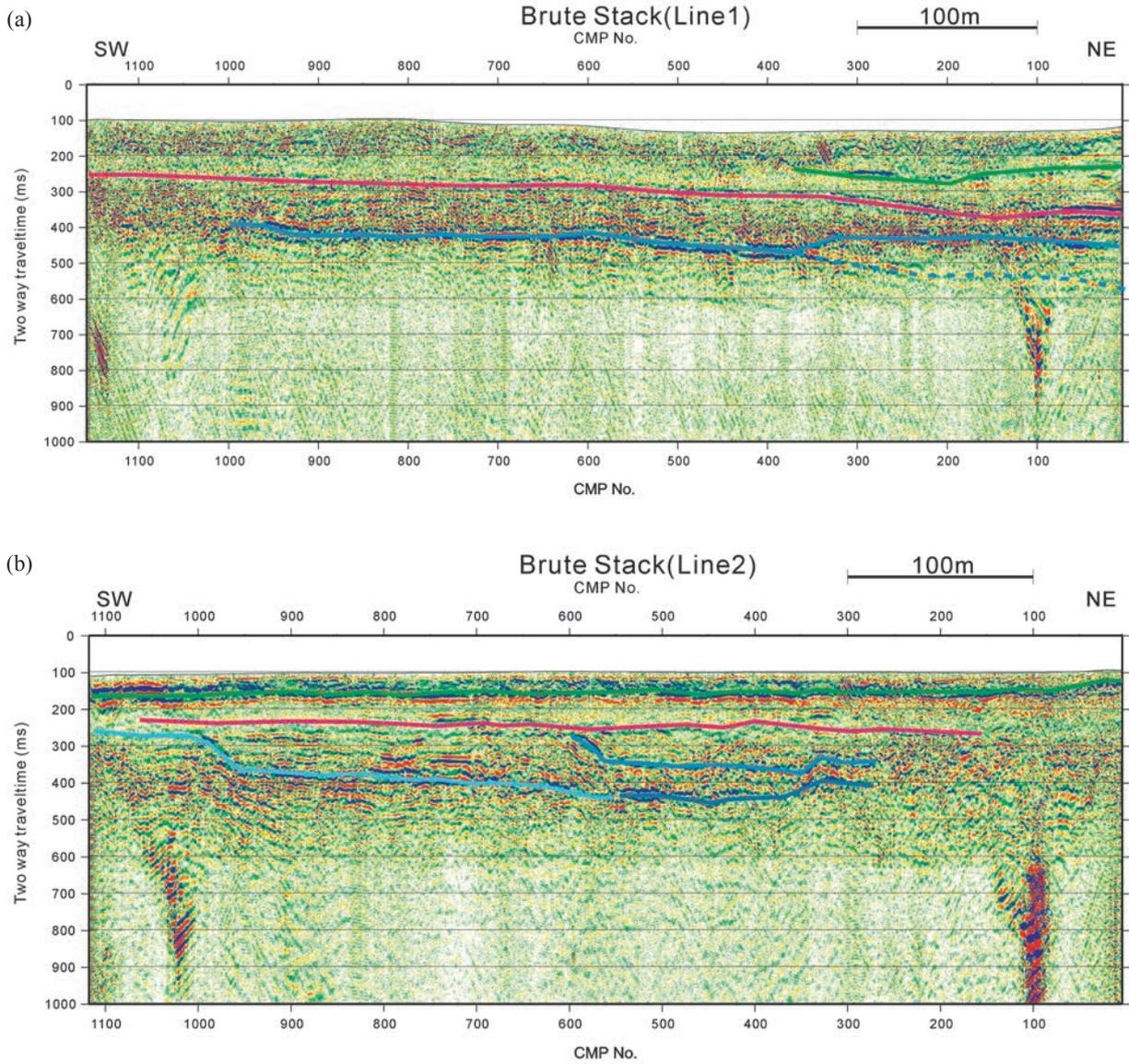
測線 2 では北東側半分の反射面は連続性が悪く、はっきりしないが、南西側では何枚もの強い反射のイベントあり、いくつか断層らしき構造が認められる。反射面が独立していないため、連続性が悪い部分での対応が取りにくいですが、暫定的解釈として、反射面を

結んだ。往復走時 150ms 付近に測線全体にわたってほぼ水平な反射面がある。往復走時 250ms 付近にも北東側の反射面がはっきりしない部分を除き測線全体にわたってほぼ水平な反射面がある。CMP300 付近で往復走時 350ms 付近の反射面は CMP330 付近で 50ms ほど南西に落ち、その南西では徐々に浅くなり、CMP550 から CMP600 にかけて、往復走時 350ms 付近から 280ms 付近まで持ち上がり、その上位の反射面と一緒にになっている。CMP300 付近で往復走時 400ms 付近の反射面は CMP330 付近で 30ms ほど南西に落ち、その後水平に連続し、CMP600 付近まで続く。CMP600 付近で連続性が悪くなっているが、見かけ上はこれとつながる形でその南西では徐々に浅くなり、CMP960 から CMP1000 にかけて、往復走時 380ms 付近から 280ms 付近まで断層らしき構造で持



第7図 暫定の反射調査結果。
 a) : 測線1 重合時間断面。
 b) : 測線2 重合時間断面。
 c) : 測線1 時間マイグレーション断面。
 d) : 測線2 時間マイグレーション断面。
 e) : 測線1 深度マイグレーション断面。
 f) : 測線2 深度マイグレーション断面。

Fig.7 Preliminary result of the seismic reflection survey.
 a): Stacked section Line1.
 b): Stacked section Line2.
 c): Time migrated section Line1.
 d): Time migrated section Line2.
 e): Depth migrated section Line1.
 f): Depth migrated section Line2.



第 8 図 解釈時間断面図。
a) : 測線 1, b) : 測線 2

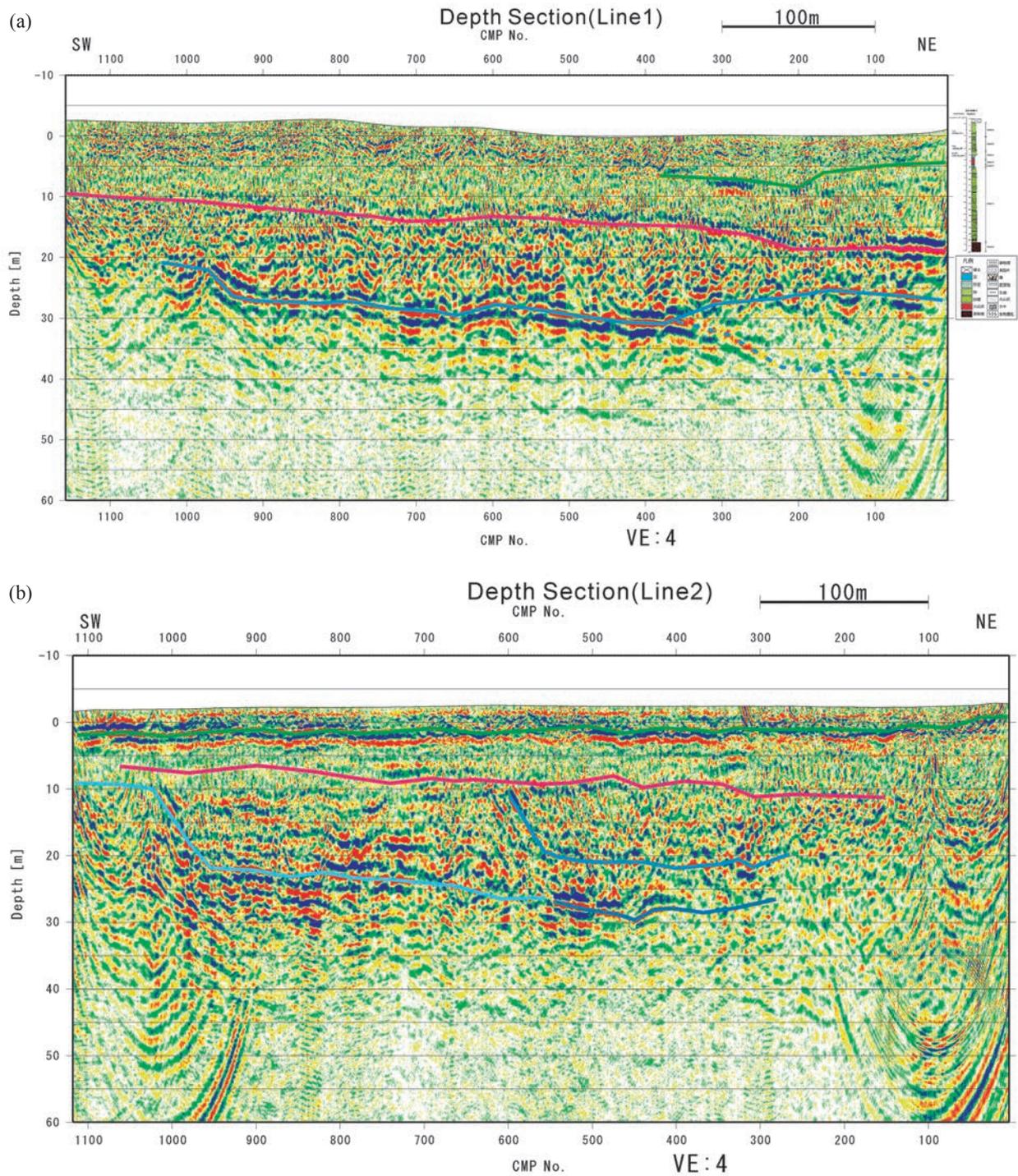
Fig.8 Interpreted stacked sections.
a): Line1, b): Line2

ち上がり, その南西ではほぼ水平となっている。2つの反射面の CMP330 付近の走時の変化はその上の反射面も乱れており, 地表付近の異常が影響しているかもしれない。CMP600 付近と CMP1000 付近の走時の変化は断層によるものではないかと考える。

測線 1 の北東端ではオールコアボーリング GS-IKM-1 が掘削されている (水野ほか, 2011)。Fig. 9 は, それぞれの測線の深度マイグレーション断面図に対し, 時間断面図で暫定的に解釈した反射面を書き入れたものである。測線 1 の北東端にこの GS-IKM-1 孔の簡易柱状図 (水野ほか, 2011 を加工) を示した。この柱状図から反射面の候補として考えられるのは深

度 8.0m の礫質河川相 (I-Unit 1) のトップと氾濫原層 (I-Unit 2) との境界と深度 20.4m の古第三系姪浜層 (I-Unit 0) のトップと礫質河川相 (I-Unit 1) との境界の 2 つである。深度断面図の測線 1 の一番上位の反射面と中位の強い反射面はそれぞれおよそ 8m と 20m となり, ほぼこれらの想定される反射面と対応する。

測線 1 の南西側 100m と測線 2 の北東側 100m はほぼ 50m 離れて並行しているが, どちらの部分も反射面の連続性が悪く, 残念ながら両者の反射面の対応は困難となっている。



第9図 解釈深度断面図。
 a)：測線1 柱状図（水野ほか，2011 を加工），b)：測線2

Fig.9 Interpreted depth sections.
 a): Line1 with boring data, b): Line2

5. おわりに

福岡市生の松原地区の九州大学演習林（松林）内で行ったそれぞれおよそ600mの2本の測線の数10mの深度を対象とした反射法探査の暫定処理結果を報告

した。暫定的な結果ではあるが、いくつかの反射面と断層らしき構造を捉えることができた。また測線の端で掘られているボーリングデータとの対比も良好である。今後、屈折波静補正、直接波・屈折波・表面波の抑制、ノイズの大きなトレースの除去などを行い、よ

りよい断面図を作成するとともに、基盤面の形状をはつきりさせていきたい。

謝辞

本調査の実施にあたり、九州大学福岡演習林、福岡市教育委員会の方々に多くのご協力をいただいた。上記関係機関の方々に心からの謝意を表します。

文献

水野清秀・中村洋介・石原与四郎・田中甫脩・田辺 晋・中西利典・池田政人・細矢卓志（2011）福岡県日本海沿岸域における低活動度の活断層と平野地下の第四紀堆積物に関する地質調査，平成 22 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告，地質調査総合センター速報（本研究報告）。