

警固断層南東部での極浅層反射法調査の再処理

Reprocessing of very shallow seismic reflection surveys across the southeastern part of the Kego fault, Fukuoka

加野直巳¹

Naomi Kano¹

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation, n.kano@aist.go.jp)

Abstract: I reprocessed the very shallow seismic reflection surveys using both P-wave and S-wave conducted in November 2005. The surveys were conducted across the southeastern part of the Kego fault. The length of the survey line is about 1 km in north-south direction. The source and receiver spacing is 1 m, except for the some part of P-wave survey, where the source spacing is 2 m. The S-wave source is plank striking by a wooden sledgehammer and the P-wave source is a drop-hitter. In both surveys we used a 48-channel landstreamer system. Frequency ranges of the lower limit for reprocessing are lowered compared with the previous processing and the ranges are 5-60 Hz for S-wave and 40-600 Hz for P-wave. The velocities are about 300 m/s (S-wave) and 1800 m/s (P-wave) for a shallower part. In the northern part of the survey line the strong event exists at about 20-30 m in depth. It decreases the depth in the middle of the line from CMP no. 1100 through 1200 to near the surface with about 15 m difference. This suggests that Kego fault may crosscut this part of the survey line. Other faults are interpreted checking the both P and S-wave depth sections.

キーワード: 警固断層, 極浅層反射法, P波, S波

Keyword: the Kego fault, very shallow seismic reflection survey, P-wave, S-wave

1. はじめに

加野ほか (2006) は 2005 年 11 月に警固断層系の中央やや北西において, 地表兆候が認められていない那珂川低地での浅い地下の構造を明らかにすることを目的として, 高分解能な P 波と S 波の極浅層反射法地震探査を実施した. 加野ほか (2006) では高分解能を得るため, S 波では 15~80 Hz, P 波では 120~300 Hz という周波数帯域を解析の対象とした. あまりに高周波数帯域を使用したため, S/N が低下し連続性が悪くなっていた. 今回は低周波領域を解析に含めることにより連続性を良くすること, 静補正の精度を高めることを中心に再解析を行った.

2. 地質

唐木田ほか (1994) によれば, 調査地周辺は完新統の住吉層 (粘土・シルト及び砂, 第 1 図 (a) 中 a) に覆われた那珂川低地である. 測線の西および東には古い地層 (約 500 m 西に更新統の須崎層 (第 1 図 (a) 中 Ds), さらに 500 m 西に白亜系の早良花崗岩 (第 1 図 (a) 中 Gw), 約 500 m 以東に, 古いほうから更新統の須崎層, 阿蘇-4 火砕流堆積物 (第 1 図 (a) 中 A4), 大坪砂礫層 (第 1 図 (a) 中 Dt)) が分布し

ている. 第四紀層の下にはかなり浅い深度に先新第三系が存在する.

地震調査研究推進本部 地震調査委員会 (2007) によれば, 警固断層帯は, 玄界灘から筑紫野市に至る, 概ね北西-南東方向に延びる長さ 55 km 程度の断層帯である. 警固断層帯は, 玄界灘から志賀島付近にかけての北西部と, 志賀島南方沖の博多湾から筑紫野市の警固断層にあたる南東部に区分され, 北西部, 南東部ともに左横ずれを主体とする. 南東部では南西側隆起成分の縦ずれを伴う.

3. 調査の概要

測線は 5 万分の 1 地質図幅「福岡」(唐木田ほか, 1994) で推定されている警固断層の南端付近を横切るように那珂川西岸の道路に設定された (第 1 図). 測線の長さは約 1 km である. 図中の赤い実線が発震点・受振点設置測線, 黒い実線は重合測線 (CMP ライン) である. 測線は多少の曲がりを含んだ平坦な舗装道路であり, 測線の北から 181~195 m で鉄道を, 310~350 m で幹線道路を, 781~853 m で那珂川に架かる橋梁の工事区間横切っている. 橋梁の工事区間は盛土がされ, その上がアスファルト舗装されていた. 調査は板たたきによる S 波反射法探査とドロッ

プヒッタによるP波反射法探査の2種類を実施した。受振は舗装道路上で効率的に調査ができるランドストリーマシステムを用いた。主な調査諸元を第1表に示す。両調査とも発震はエンドオン発震で48チャンネルの観測を基本としたが、鉄道および幹線道路により発震及び受振ができない区間があったため、その端では固定展開による調査を行った。発震点と受振点を鉄道、幹線道路の両側に設定し、できるだけ断面が途切れのないような工夫を行った。鉄道の電車の通行時にはデータの収録を行わないことでノイズを避けた。幹線道路は車の通行が途切れることがないので、やむを得ず、車の通行を無視してデータを収録した。ただし、発震点を受振点より幹線道路側に設定することで多少なりともS/Nの低下を少なくする工夫を行った。受振点間隔は1m、発震点間隔は1mであるが、P波反射法では一部発震点間隔が2m間隔の区間がある。調査は2005年11月24日から開始し、同31日昼過ぎに発震を終了、その後調査機器の撤収を行った。

4. 反射法データ処理・結果

第2表にデータ再処理のフローを示す。前回のデータ処理と今回の再処理との違いは以下の2点である。今回は加野ほか(2006)より連続性を高めるため、低周波領域のデータを解析に含めることとし、S波では5~60 Hz、P波では40~600 Hzという周波数帯域を使用した。受振点ギャザにコヒーレンシーフィルタを適用し、交通ノイズや風のノイズなど震源に起因しないようなノイズを抑制することで初動部分のS/Nを向上させてから走時を読み取ることで、静補正の精度を向上させた。受振点ギャザでのコヒーレンシーフィルタを適用したデータを用いてCMP重合を行った結果は、適用していないデータをCMP重合した結果よりS/Nが悪かったため、受振点ギャザでのコヒーレンシーフィルタは初動の読み取り用のデータにのみ用いた。受振点ギャザでのコヒーレンシーフィルタは多少なりともS/Nのよい初動の連続性はよくするが、S/Nが悪くかつ静補正を行っていない段階の連続性の悪い反射波には悪い影響を与えるようである。

そのほかの今回行ったデータ処理での特徴的なものを簡単に述べる。大きな交通ノイズを抑制するため、垂直重合前にノイズの大きなトレースを除去し、バンドパスフィルタを適用してからダイバシティスタックによる垂直重合を実施した。またP波では大きな表面波を抑制するため、FKフィルタを用いた。初動部分のS/Nを向上させてから走時を読み取り、静補正值を計算した。S波データでは、混入するP波のノイズを抑制できず、初動の特定が難しかった。誤差を含む初動走時読み取り値を用いた静補正量ではかえって反射波の連続性が悪くなったため、最初

の静補正としては地形補正のみを行うこととし、微細な静補正は残留静補正で行うこととした。その後一般的な処理の流れに従い、デコンボリューション、バンドパスフィルタ、振幅調整、速度解析、残留静補正、CMP重合、時間マイグレーション、深度マイグレーションなどを行った。周波数帯域を広げたため反射波のS/Nが向上し、静補正の精度も向上したため、速度解析、残留静補正の精度も向上したものと考えている。

S波、P波それぞれの重合時間断面図と時間マイグレーション断面図を第2図~第3図に示す。浅部の重合速度はP波でおよそ1800 m/s、S波でおよそ300 m/sと、P波に比べS波は速度が遅いので、およその深度が一緒になるように時間スケールを調整している。S波断面図の100 ms付近、P波断面図の20 ms付近の黒線はデータ処理の基準面であり、S波断面図では地表を、P波断面図では風化層の下面を示している。

加野ほか(2006)で示した時間断面図を第4図に示す。第2図と第4図を比較すると、今回の再処理によって、S波断面とP波断面のいずれも反射面の連続性が向上していることがわかる。また両者の強い反射面の対応もよくなっている。

S波時間断面図では往復走時100 ms程度の浅部と北半分で250~300 ms程度、南半分で150~200 ms程度のところに強い反射面が見られる。この反射波の1周期は35 ms (=1波長10 m)程度である。P波時間断面図では往復走時北半分(CMP2-1100)では40~50 ms程度、CMP1100~1500では30~40 ms程度、CMP1700~2000では50 ms程度のところに強い反射面が見られる。この反射波の1周期は5.5 ms (=1波長10 m)程度で、一般の反射法に比べて分解能がよく、S波と遜色ない分解能が得られている。P波、S波の両探査とも、より詳細な構造を求めるためにさらに高分解能にしていくには、データ収録の時点からS/Nを向上させなければならず、交通のノイズを減らすため夜間に観測するなど、工夫を行う必要がある。

両断面図とも、鉄道と幹線道路を横断しているところでは発震点、受振点ともになく、重合数が小さく、オフセットの大きいデータしかないため、イメージできていない部分もあり、また連続性が悪くなっている。P波断面ではCMP1500から1700にかけて橋梁工事による盛土の影響が大きく出ており、S/Nが極めて悪くなっており、反射面がほとんど見られない。S波断面に比べてP波断面で橋梁工事による盛土の影響が大きく出ているのは、本当の盛土部分や橋梁の基礎杭の影響などで、盛土部分の速度構造が複雑であること、またそのため初動の読み取りが困難で、静補正が正確にできておらず、その影響が周りにも影響したことによると考えている。S波断面では地形補正のみを行ったため、本当に速度構造が

複雑な部分のみがうまくイメージングできなかったものだと考えられる。また基礎工事により、この部分の地層境界が壊され、反射面として捉えられなくなっているということも考えられる。

5. 考察

S波、P波それぞれの深度マイグレーション断面図を第5図に示す。また両断面の対応を見るために、S波、P波それぞれの断面の色を変えて重ねた断面図を第5図(c)に示した。P波、S波の深度マイグレーション断面の対応はよい。ただし絶対的な深度は静補正、速度解析の精度の影響が大きく、ボーリング資料などで、確認・補正する必要がある。

S波、P波の両断面図に、測線北側の海面下20m付近のところに比較的強い反射波が存在している。両断面図での両者の対応は比較的良い。これは多少の凹凸や途切れがあるが、測線のほぼ中央(CMP1100)までは連続している。この反射面の強度が強くと下にはほとんど反射面が見られない。福岡地盤図作成グループ(1992)によれば測線近傍のいくつかのボーリングで坑口から10数mの深度で花崗岩が確認されている。強い反射面は完新統の住吉層と花崗岩の境界と考える。図のほぼ中央のCMP1100付近から1200付近にかけて、この反射面が南へ向かって浅くなり、地表付近に達している。浅くなったこの反射面は凹凸をしながらもしばらくは追跡できる。しかし、橋梁工事の付近(CMP1520~1700)では盛り土などの影響で反射面が不明瞭になっている。橋梁工事の南(CMP1700~2000)では海面下20m付近に再度反射面が認められる。S波では海拔0m付近にも反射面が認められる。

唐木田ほか(1994)によれば、警固断層の延長はCMP900付近となっている(第1図(b)黒色の破線、第6図黒色の破線矢印)。岡田ほか(1989)ではCMP1300付近で断層が測線を通っており、また関連した断層がCMP900付近を通っている(第1図(b)水色の破線、第6図水色の矢印)。警固断層は左横ずれ断層であり、一般的な横ずれ断層と同様に地表付近ではフラワー構造をなしていると考えられる。ここではそれを考慮して、P波断面を参考にしながら、分解能の高いS波断面図を主として反射面の途切れや変形から断層構造を解釈し、S波、P波の深度マイグレーション断面図に水色の破線で示した(第6図)。P波の断面で特にはっきりしているように、基盤の深度の15m程度の変位がCMP1200付近に認められる。この位置は岡田ほか(1989)や唐木田ほか(1994)とは少し位置がずれているが、南西側が相対的に高まる上下方向のずれ成分を伴う警固断層がこの付近を通過しているのを捉えたものと考えられる。

6. おわりに

警固断層系のほぼ中央部で、警固断層の南方延長で地表兆候が認められていない那珂川低地の地下構造を調べるために、福岡市南区大橋、塩原の那珂川沿いの道路で実施した反射法地震探査調査データの再解析を行った。周波数帯域を広げたこと、初動のS/Nを向上させてから走時を読み取ることにより静補正の精度を上げたことにより、加野ほか(2006)と比べ連続性のよい反射面を得ることができた。またP波の深度断面図とS波の深度断面図の対応もかなりよいものとなった。これまで警固断層が想定されていた地表位置の周辺の地下に反射面の約15mの深度変化が認められた。またいくつかの断層と思われる変形が認められた。

前節でも述べたように、静補正、速度解析の精度が深度断面の深度精度に与える影響は大きく、ボーリングデータ・検層データを用いてこれを補正し、正確な反射面と深度との対応をつけていく必要がある。福岡地盤図作成グループ(1992)によるボーリングデータ(土質およびN値)は坑口からの深度での記載であり、坑口の深度が記載されていないため、今回は有効に利用できなかった。今後詳細なデータのあるボーリング情報を収集し、さらに解釈を進める必要があると考えている。

謝辞 断層の解釈にあたって、産業技術総合研究所地質情報研究部門楮原京子氏、活断層・地震研究センターの吾妻 崇氏、宮下由香里氏に議論していただいた。ここに記して謝する。

文 献

- 福岡地盤図作成グループ(1992)福岡地盤図(南部編), 132p.
 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2007)警固断層帯の長期評価について, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07mar_kego/index.htm
 加野直巳・稲崎富士・山口和雄・田中明子(2006)警固断層南東部での極浅層反射法調査, 活断層・古地震研究報告, No.6, 143-152.
 唐木田芳文・富田幸臣・下山正一・千々和一豊(1994)福岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 192p.
 岡田篤正・中田 高・千田 昇・池田安隆・今泉俊文・渡辺満久・長岡信治・前李英明(1989)九州の活構造. 九州活構造研究会編, 東京大学出版会, 553p.

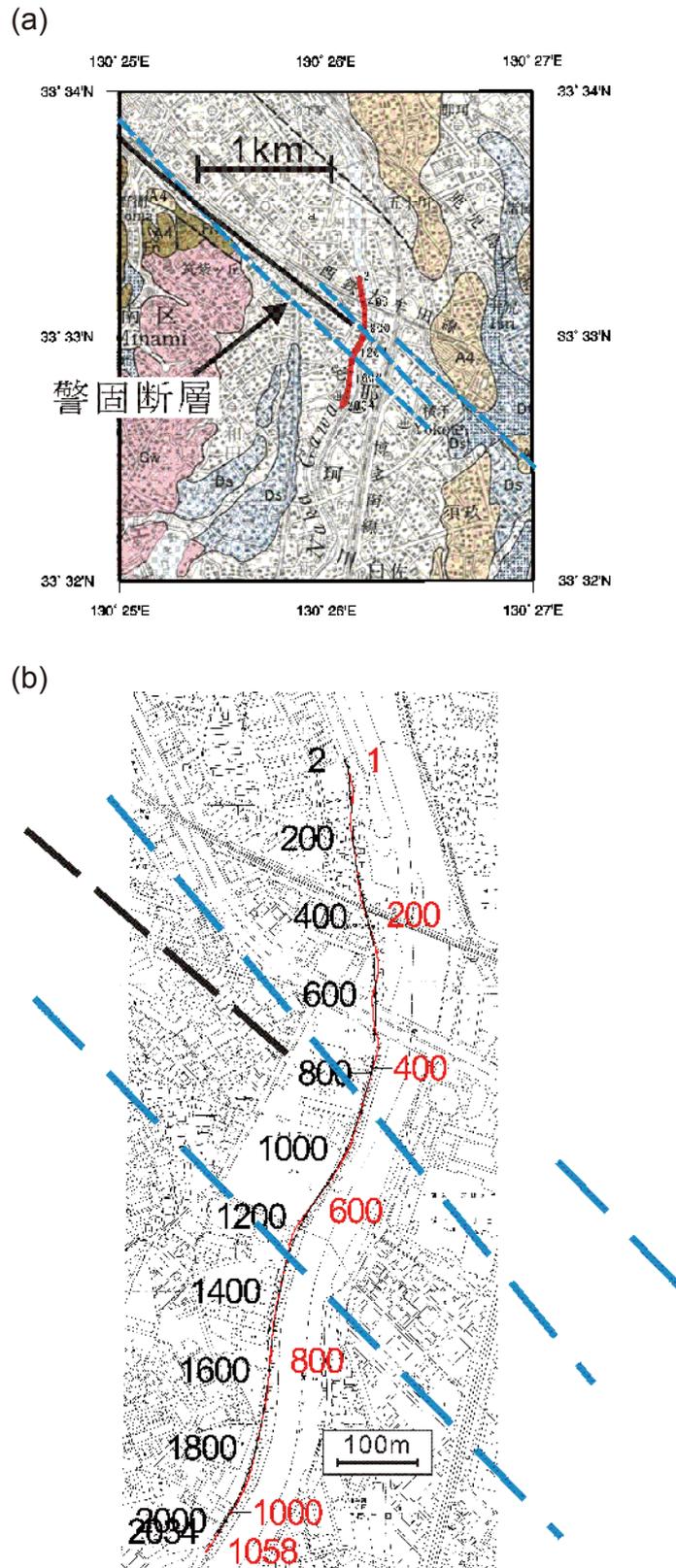
(受付: 2009年8月7日, 受理: 2009年9月15日)

第1表. 福岡市那珂川測線の調査諸元.
Table 1. Specification for the surveys at Nakagawa line.

測線名	那珂川測線 S 波	那珂川測線 P 波
測線長	1058 m	
震源	S 波板たたき (人力)	ドロップヒッタ
発震回数	4-6/ 点	
サンプリング間隔	1 ms	0.5 ms
記録長	1000 ms	500 ms
発震点間隔	1 m	1 m, 一部 2 m
総発震点数	998 点	744 点
総発震数	5746 発震	3239 発震
受振点間隔	1 m	
総受振点数	1008 点	1016 点
受振器	L410 2 個 / 点	UM-2 1 個 / 点
受振器固有周波数	28 Hz	28 Hz
探鉱器	DAS-1	
チャンネル数	48ch	
展開	48ch エンドオン (基本)	

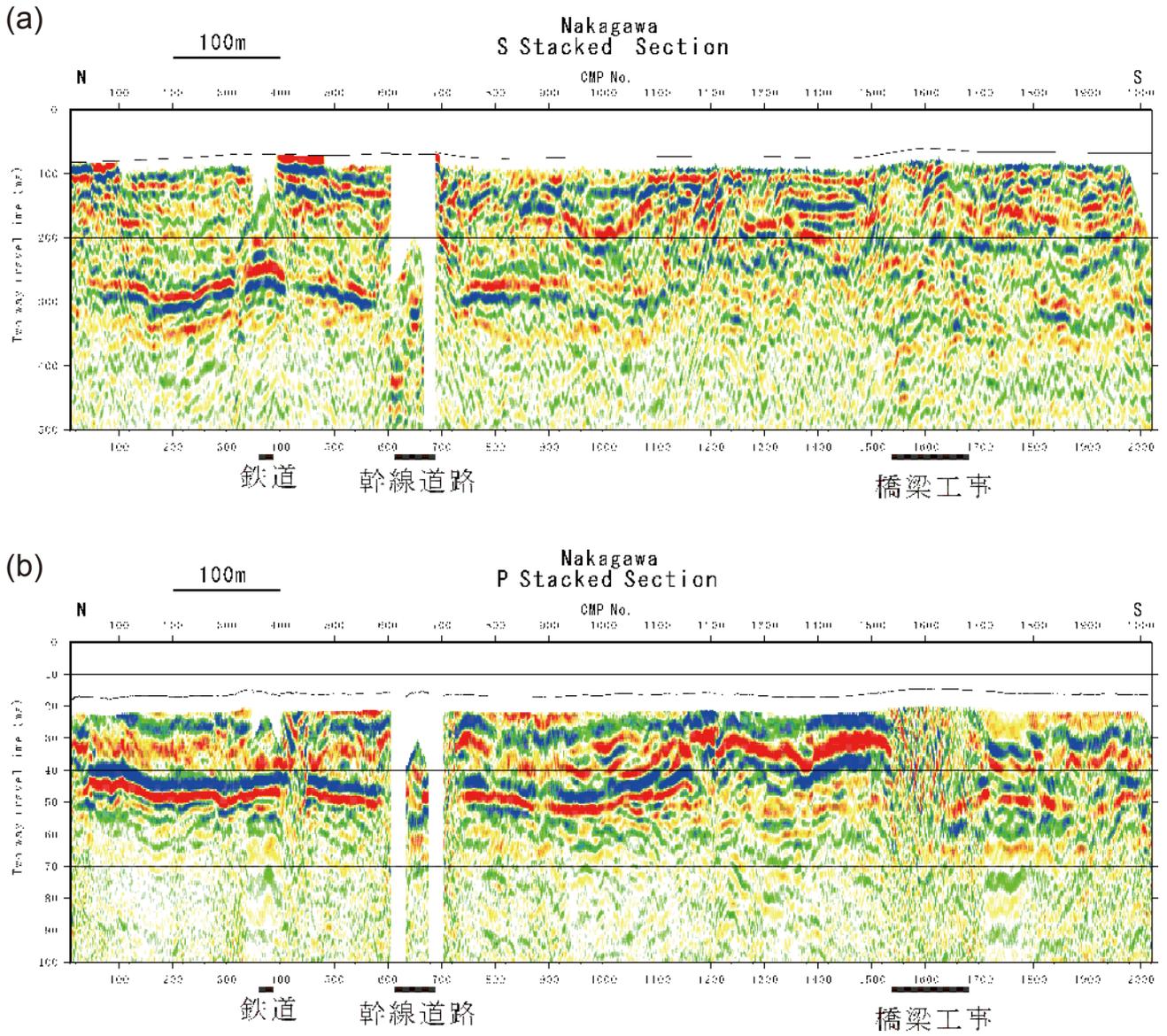
第2表. データ処理フロー.
Table 2. Data Processing sequence.

<p>Bandpass Filter Noisy Data Removal Bandpass Filter (P-wave only) Vertical Stack Position Information (Geometry) Trace Balance FK Filter (P-wave only) Deconvolution Filter Bandpass Filter CMP Sort Refraction Statics Gain Recovery Velocity Analysis Residual Statics Velocity Analysis NMO Stack Deconvolution Filter Bandpass Filter Datum Correction Coherency Filter FX-Migration (Time) FX-Migration (Depth)</p>
--

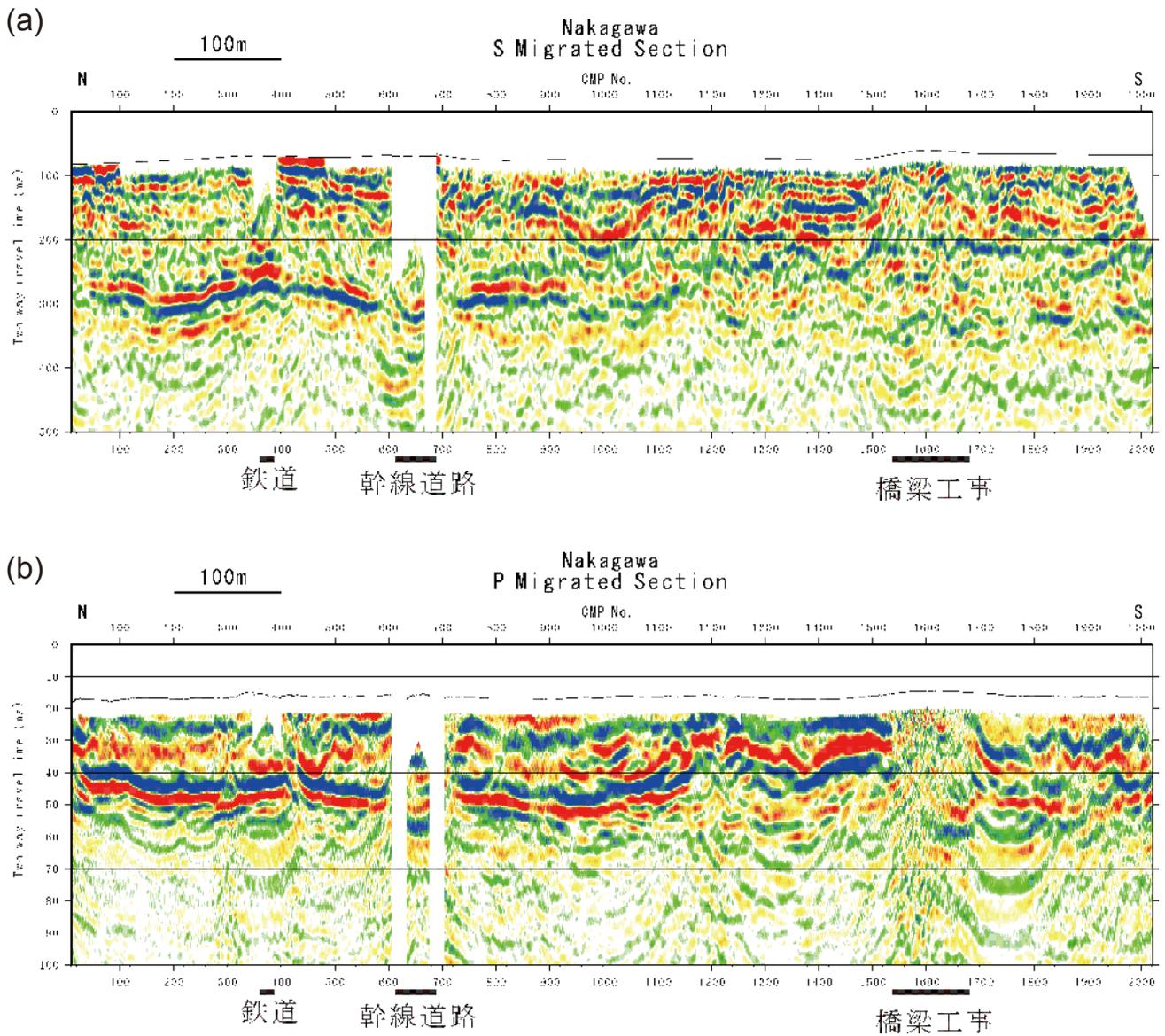


第1図. 測線図. 赤線:受振点ライン. 黒線:CMPライン. 青破線:岡田ほか(1989)による断層線. 黒破線:唐木田ほか(1994)による断層線. (a) 測線図. 5万分の1地質図幅「福岡」(唐木田ほか, 1994)の一部を基図に利用, (b) 那珂川測線拡大図.

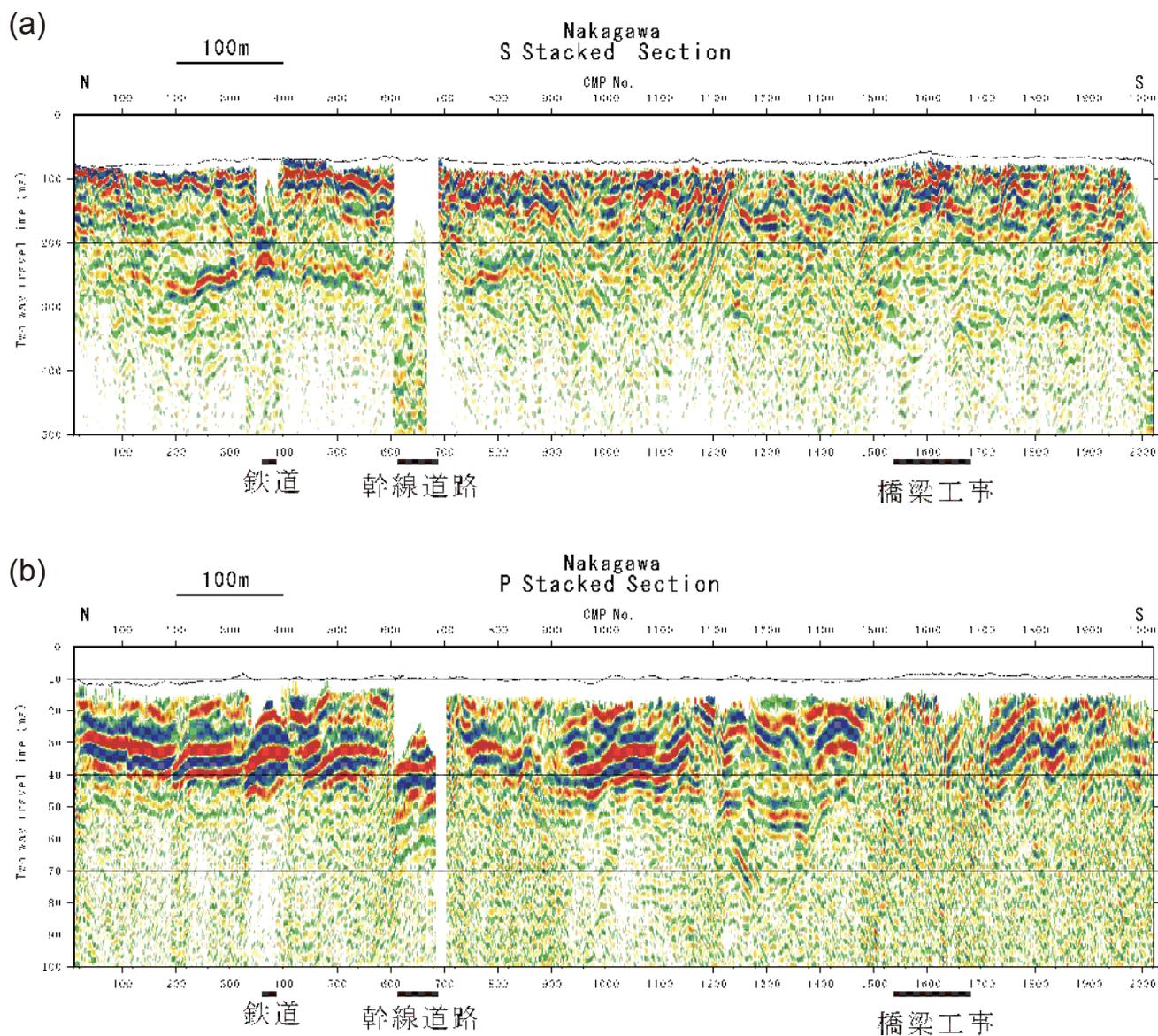
Fig. 1. Location Map. Red line: Receiver line. Black line: CMP line. Blue broken line: Fault lines from Okada *et al.* (1989). Black broken line: Fault line from Karakida *et al.* (1994). (a) Location map. Part of Geological sheet map at 1:50,000 “Fukuoka” (Karakida *et al.*, 1994) is used as a base map. (b) Enlargement map.



第2図. 重合時間断面図. (a) S波調査, (b) P波調査.
Fig. 2. Stacked time sections. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey.

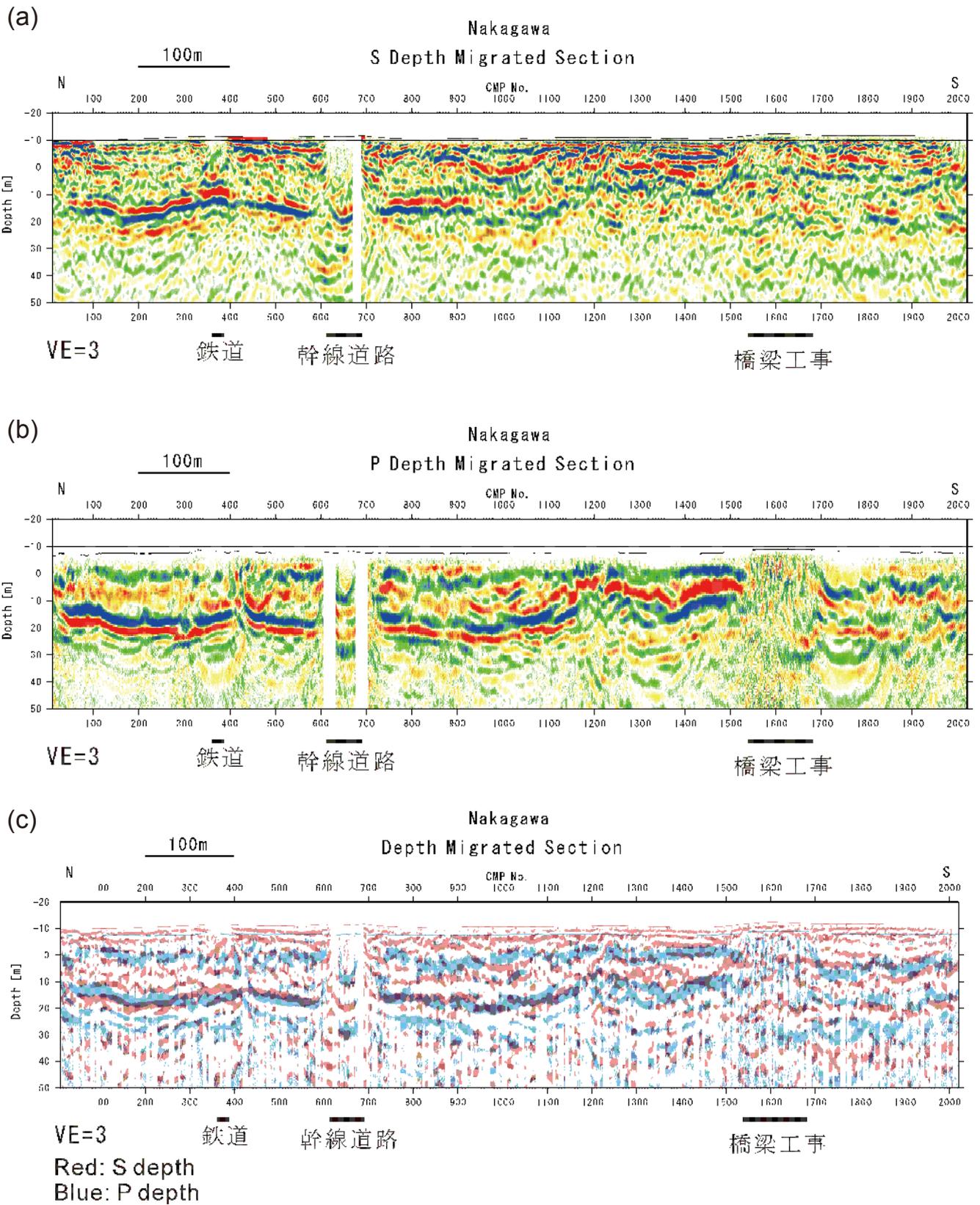


第3図. 時間マイグレーション断面図. S波調査, (b) P波調査.
Fig. 3. Time migrated sections. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey.



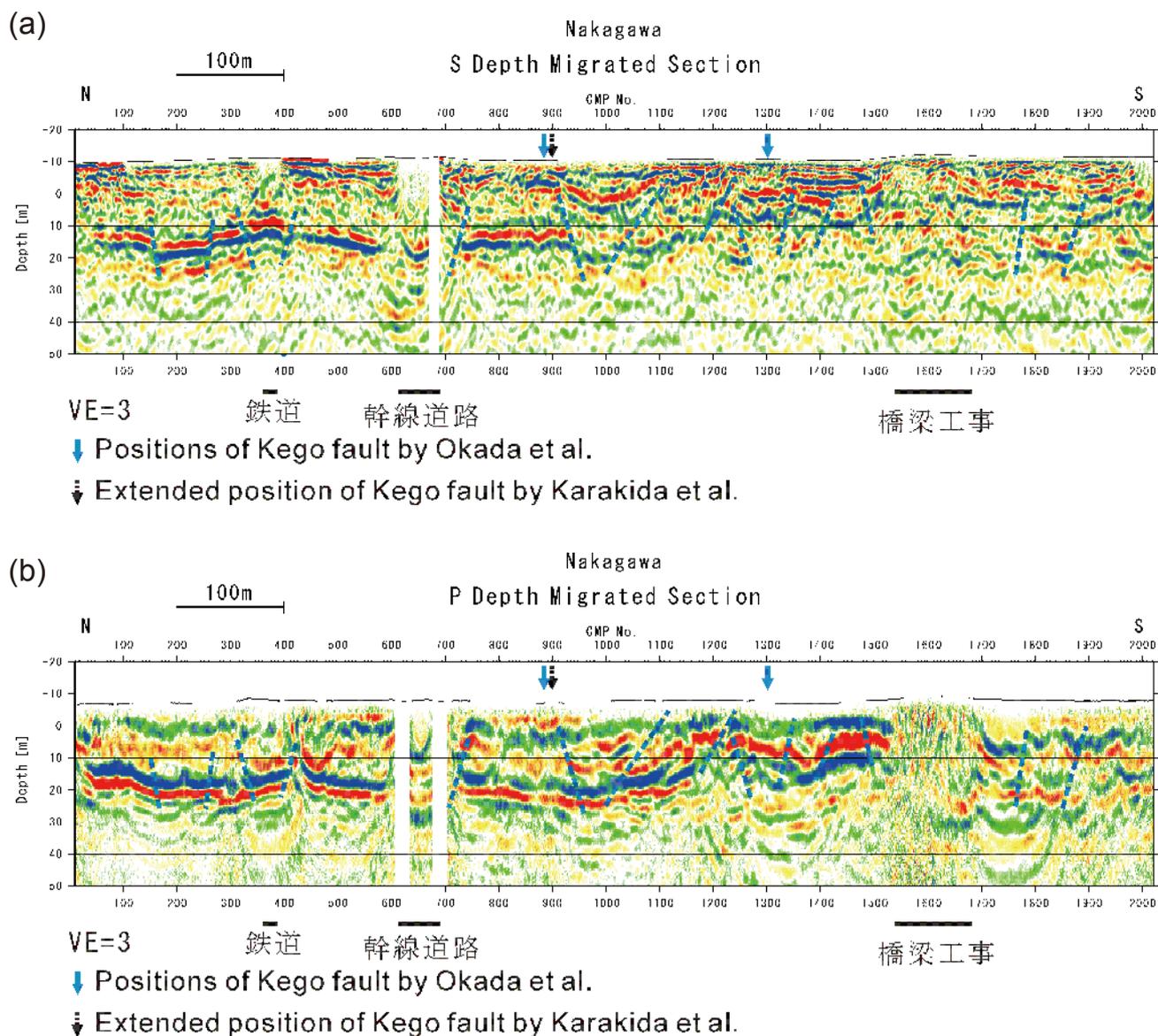
第4図. 前回の重ね時間断面図(加野ほか, 2006). (a) S波調査, (b) P波調査.

Fig. 4. Stacked time sections of the previous processing (Kano *et al.*, 2006). (a) S-wave survey, (b) P-wave survey.



第5図. 深度マイグレーション断面図. (a) S波調査, (b) P波調査, (c) 重ね合わせ断面図. 赤: S波調査, 青: P波調査. 縦軸は海拔0mを基準にしている.

Fig. 5. Depth migrated sections. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey, (c) Overlaid depth section. Red: S-wave survey, blue: P-wave survey. Y axis is below sea level.



第 6 図. 解釈断面図. (a) S 波調査, (b) P 波調査. 青破線: 解釈した断層, 青矢印: 岡田ほか (1989) による断層位置, 黒破線矢印: 唐木田ほか (1994) による断層位置. 縦軸は海拔 0 m を基準にしている.

Fig. 6. Interpreted depth migrated sections. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey. Blue Dashed lines are interpreted faults, Blue arrows: Positions of Kego fault by Okada *et al.* (1989), Black broken arrow: Position of Kego fault by Karakida *et al.* (1994). Y axis is below sea level.