

警固断層南東部での極浅層反射法調査

Seismic reflections to depths of 50 m across the Kego fault, Fukuoka

加野直巳¹・稲崎富士²・山口和雄³・田中明子⁴

Naomi Kano¹, Tomio Inazaki², Kazuo Yamaguchi³ and Akiko Tanaka⁴

^{1,2,3,4} 地質情報研究部門 地殻構造研究グループ (Tectonophysics Group, Institute of Geology and Geoinformation, GSJ/AIST, n.kano@aist.go.jp)

Abstract: We conducted very shallow seismic reflection surveys using both P-wave and S-wave across the south-eastern part of the Kego fault that is located on the southeast-ward extension of the main shock and aftershocks of the 20 March 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake (Mj 7.0). 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 wood sledgehammer and the P-wave source is a drop-hitter. In both surveys we used a 48-channel landstreamer system. Frequency ranges for processing are 15-80 Hz for S-wave and 120-300 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 30 m in depth. It decreases the depth in the middle of the line from CMP No. 800 through 1200 to near the surface. This suggests that the Kego fault may crosscut this part of the survey line.

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

2005年3月20日に発生した福岡県西方沖地震(Mj 7.0)は、九州北部の各地で強い揺れを引き起こし、大きな被害をもたらした。当初の余震域は志賀島の北縁までであったが、4月20日の最大余震に伴う余震はさらに南東方向に伸び、福岡市内を北西-南東に走る警固断層(福岡地盤図作成グループ, 1981)に近づいた。余震の分布からは、この地震の震源域は警固断層の北西方、博多湾内への延長とつながっているように見え、高知大学や東京大学などが地震後に行った音波探査でも、警固断層の延長と考えられる活断層が確認されている(岡村ほか, 2005)。

警固断層は福岡市の中央部を通っており、防災の観点からその実態の解明が急務である。岡田ほか(1989)と活断層研究会編(1991)は、地下資料から決めた警固断層と横ずれの尾根や谷および花崗岩類と阿蘇-4テフラの断層関係から決めた南部の断層を警固断層系としてまとめ、確実度I~II、活動度B未満、長さ約16kmの西上がり左横ずれの活断層とした。その後、警固断層系については、地形判読やボーリング資料による断層の通過位置に関する研究(鬼木, 1996; 千田ほか, 1996; 中田・今泉編, 2002など)や主にトレンチ掘削による活動履歴調査(福岡県, 1996; 下山ほか, 1999, 2005など)を中心に研究が進められてきた。しかし、人工地震波を使った地下

構造調査例はわずかである。(たとえば近藤ほか, 1989; 福岡県, 1996)。これは、警固断層近傍や同断層が縦断する福岡平野では、比較的浅いところに基盤岩が分布するため反射法調査の対象深度としてはかなり浅く調査が難しい、また福岡市街は都市化が進んでいるため、調査場所の設定が難しい、ノイズが多いなど、地下構造調査を行う上での障害も多いといった理由からである。そのため今回はこのような障害が比較的少ない2つの測線で反射法調査を行った。すなわち、海の中道測線と那珂川測線である。海の中道測線では、福岡県西方沖地震の余震が発生している石堂・海の中道断層の延長と警固断層の延長との両者の関係を調べることを目的としてP波による反射法地震探査を実施した。那珂川測線では地表兆候が無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。本報告では、このうち警固断層が通っていると推定される福岡市南区大橋、塩原の那珂川沿いの道路で行った那珂川測線での調査の概要と結果について述べる。

なお文献により警固断層系全体を警固断層としているものもあるが、本報告では狭義の警固断層を警固断層とし、その南部での調査ということで題目を付けた。陸域の警固断層系全体から言えば本調査の場所は断層系の中央やや北西にあたる。

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(b)中a)に覆われている。測線の約500m西には更新統の須崎層(礫・砂及び粘土, 第1図(b)中Ds)が認められ、さらに500m西には白亜系の早良花崗岩(中一粗粒黒雲母花崗岩, 第1図(b)中Gw)が分布する。測線の約500m以東には、古いほうから更新統の須崎層、阿蘇-4火砕流堆積物(非溶結の軽石質火山灰(輝石角閃石デイサイト), 第1図(b)中A4)、大坪砂礫層(礫及び砂(シルトを伴う), 第1図(b)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。

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した(第1図)。測線の長さは約1kmである。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、鉄道、幹線道路を横切っている。また那珂川に架か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(第2図(a))とドロップヒッタによるP波反射法探査(第2図(b))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48チャンネルのランドストリーマシステム(第2図(c))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ないような工夫を行った。また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表にデータ処理のフローを示した。高分解能を得るため、S波では15~80Hz、P波では120~300Hzという周波数帯域を使用した。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ーシティスタックによる垂直重合を実施した。また大きな表面波を抑制するため、FKフィル

タを用いた。S波、P波それぞれの重合時間断面図、時間マイグレーション断面図および深度マイグレーション断面図を第3図~第5図に示す。浅部の重合速度はP波でおよそ1800m/s、S波でおよそ300m/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波断面とP波断面で連続性は良くないが対応の良い強い反射面が認められる。S波時間断面図では往復走時100ms程度の浅部と北半分で250~300ms程度、南半分で150~200ms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35ms程度で、P波時間断面図に比べて分解能が良い。P波時間断面図では往復走時北半分では30~40ms程度、南半分では20~30ms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8ms程度で、一般の反射法に比べれば高周波数であるが、対象となる走時からみて分解能は十分でない。さらに高分解能にするには現場作業において高周波でのS/Nを上げるために更なる工夫が必要である。

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、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が極めて悪く反射面がほとんど見られない。

S波調査では舗装道路の影響で、初動・屈折波が舗装面を通るため、正しい静補正が難しい。正確な長周期の静補正ができていない影響でP波断面図に比べてS波断面図の反射面の深度変化が大きい可能性がある。また、P波断面では、サイクルスキップを起こしているように思われる。サイクルスキップは、残留静補正で1周期以上フェーズのずれた反射波を同じフェーズであると間違えて認識し、むりやりフェーズをそろえようとすることで生じる。最初の屈折波を利用した静補正值の短周期成分が適切でないため、このようなことが起こっている可能性がある。反射面の不連続の原因が、不適切な静補正によるものか、地下構造によるものかを判別するにはさらに処理を進め、静補正の精度向上など記録の質を上げていく必要がある。より正確な静補正ができれば、さらにP波断面図とS波断面図の反射面の対応が良くなるものと考えている。また深度マイグレーション断面図の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。

5. 考察

第6図はS波、P波の深度マイグレーション断面図に暫定的な解釈を示したものである。S波の断面では極浅部に黄色で示した反射面が認められる。S波、P波の両断面図に、測線北側の深度20m付近の

ところに比較的強い反射波が存在している(赤線)。両断面図での両者の対応は比較的良い。これは多少の凹凸があるが、図面のほぼ中央までは連続している。この反射面の強度が強くその下にほとんど反射面が見られないことから、これが完新統の住吉層とその下の先新第三系の境界ではないかと考える。図のほぼ中央のCMP 800 付近から1200 付近にかけて、この反射面が途切れ、断層(水色の点線)により切られ、南へ向かって浅くなり、地表付近に達しているように見える。このほかにも水色の点線で示した断層らしき構造が見られる。

唐木田ほか(1994)によれば、警固断層の延長はCMP 900 付近となっている。岡田ほか(1989)ではCMP 1300 付近で断層が測線を通っており、また関連した断層がCMP 800 付近を通っている。南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する。

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反射法地震探査調査を実施した。現在断面図を作成し、簡単な解釈を行ったところである。これまで警固断層が想定されていた地表位置の地下に反射面の深度変化が認められた。静補正の精度を上げることにより、より良い解釈が可能になると考える。また表面波解析もS波構造の解析に有効であろうと考えている。

謝辞 調査に当たって、福岡市役所には大変お世話になった。また現場作業は日本物理探査株式会社にお手伝いいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

千田 昇・岡田篤正・中田 高・渡辺満久・鬼木史子(1996) 1:25,000 都市圏活断層図「福岡」, 国土地理院技術資料 D.1-No. 333.

福岡地盤図作成グループ(1981) 福岡地盤図. 九州地質調査業会, 174p.

福岡県(1996) 西山断層系, 水縄断層系及び警固断層系に関する調査委託報告書, 第IV編警固断層についての調査結果. 福岡県総務部消防防災課, 140p.

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.

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.

近藤章司・黒岩正信・平野浩治・西田 薫・岡田 信・名越澄生(1989) 福岡市内における浅層反射法地震探査. 物理探査学会第80回学術講演会論文集, 80, 1-6.

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 2枚, 解説書68p., 付図1.

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・前杵英明(1989) 九州の活構造. 九州活構造研究会編, 東京大学出版会, 553P.

岡村 眞・松岡裕美・島崎邦彦・千田 昇・中田 高・平田和彦(2005) 警固断層の博多湾延長部とその地震履歴, 日本地震学会2005年秋季大会

鬼木史子(1996) 福岡市域の警固断層の詳細位置と地下形態. 活断層研究, No. 15, 37-47.

下山正一・磯 望・松田時彦・市原季彦・千田 昇・岡村眞・茂木透・鈴木貞臣・落合英俊・長沢新一・今西 肇・川畑史子・矢ヶ部秀美・樗木政昭・松浦一樹(2005) 警固断層, 薬院地区(福岡市)でのトレンチ調査報告. 活断層研究, No. 25, 117-128.

下山正一・松田時彦・千田 昇・杉山雄一・磯 望・松村一良・鈴木貞臣・茂木 透・岡村 眞・松山尚典・黒木瑞昭・蚊爪康典(1999) 警固断層, 大佐野地区(福岡県)でのトレンチ調査報告. 活断層研究, No. 18, 55-64.

(受付: 2006年7月3日, 受理: 2006年10月12日)

第1表. 福岡市那珂川測線の調査諸元.

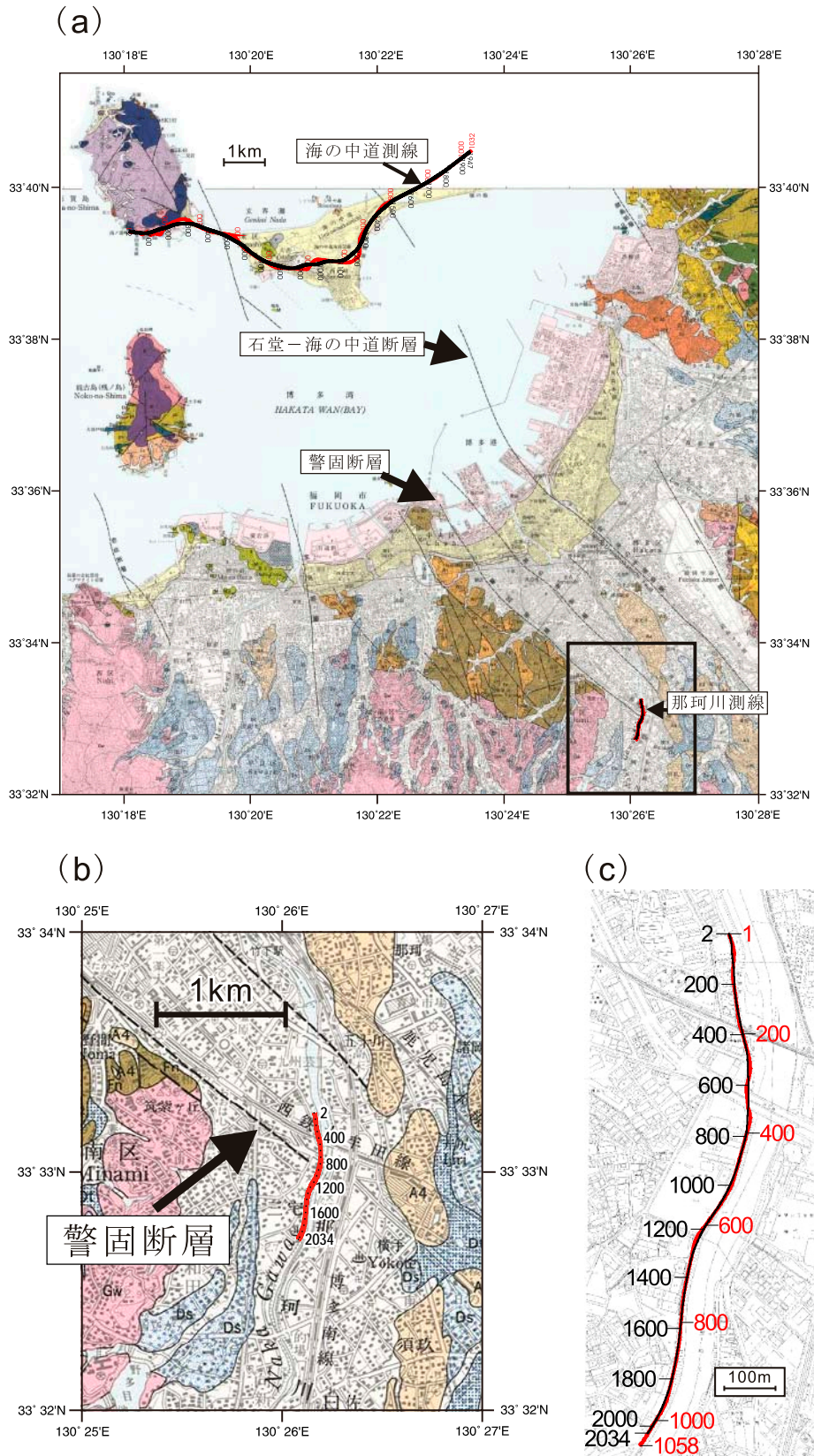
Table 1. Specification for the surveys at Nakagawa line.

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	48 ch	
展開	48 ch エンドオン (基本)	

第2表. データ処理フロー.

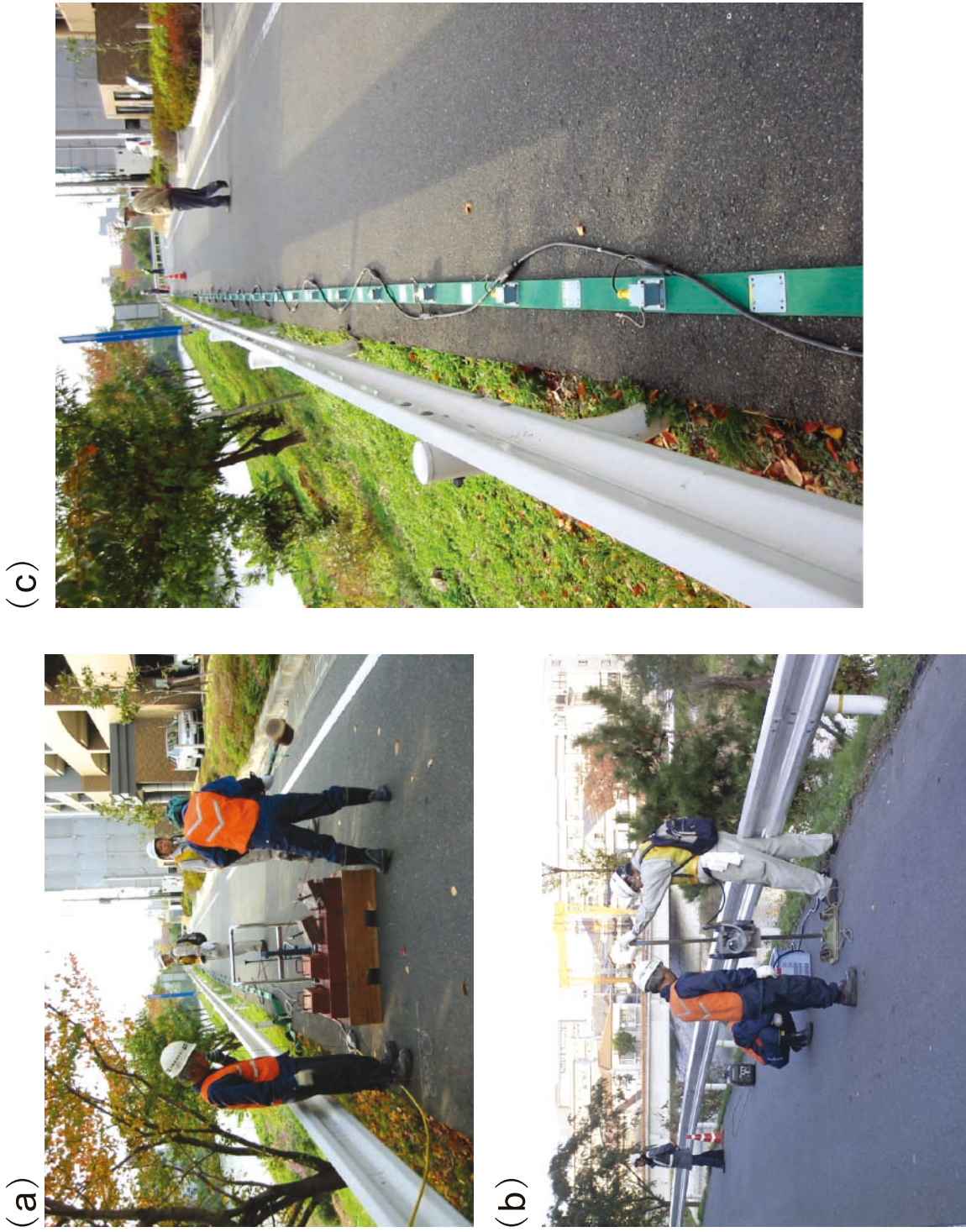
Table 2. Data Processing sequence.

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

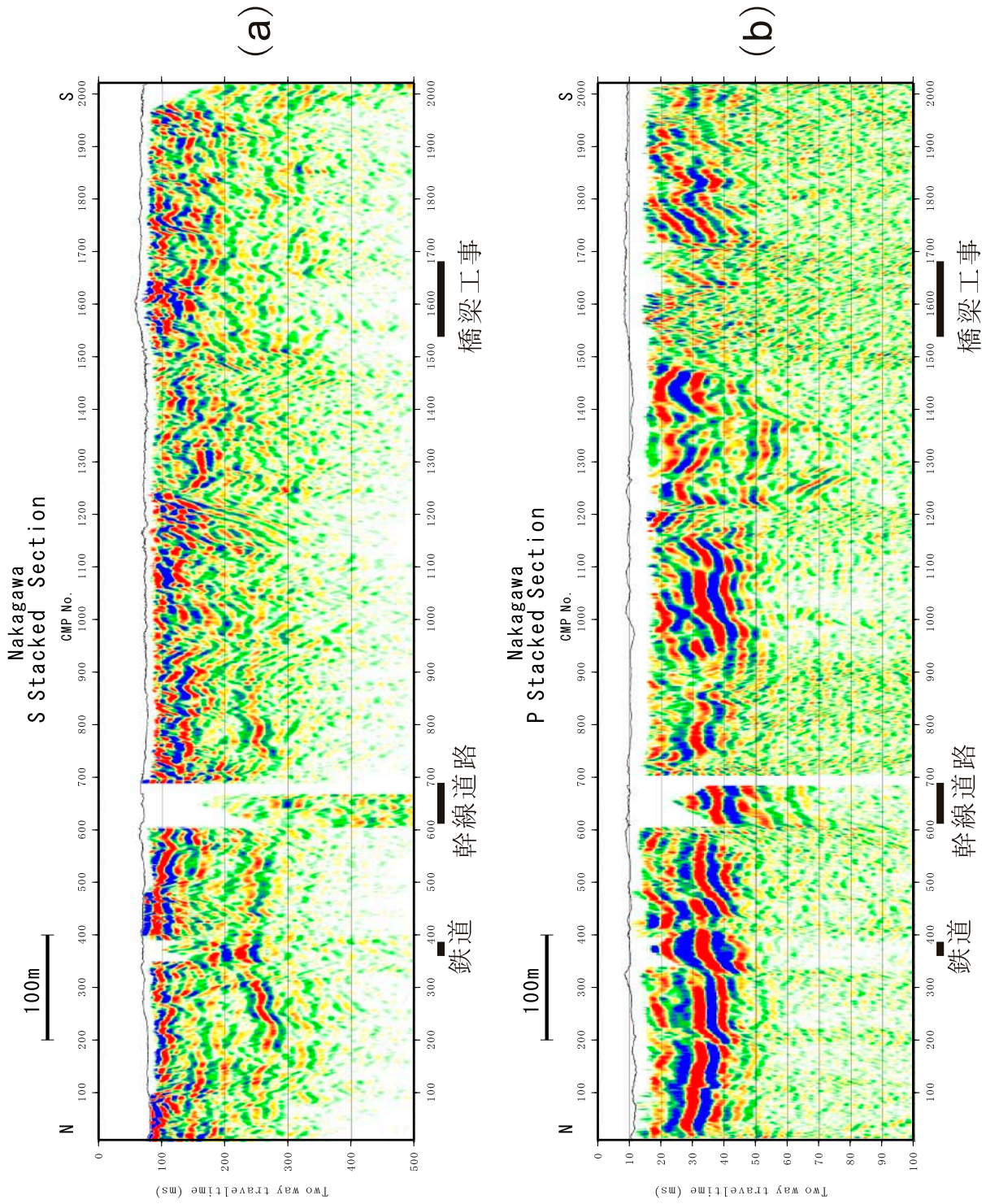


第1図. 測線図. 赤線: 受振点ライン. 黒線: CMPライン. 5万分の1地質図幅「福岡」(唐木田ほか, 1994b)の一部を基図に利用. (a) 全体図, 同時期に実施した海の中道測線もあわせて示してある. 四角で(b)の範囲を示した. (b) 那珂川測線拡大図1, (c) 那珂川測線拡大図2

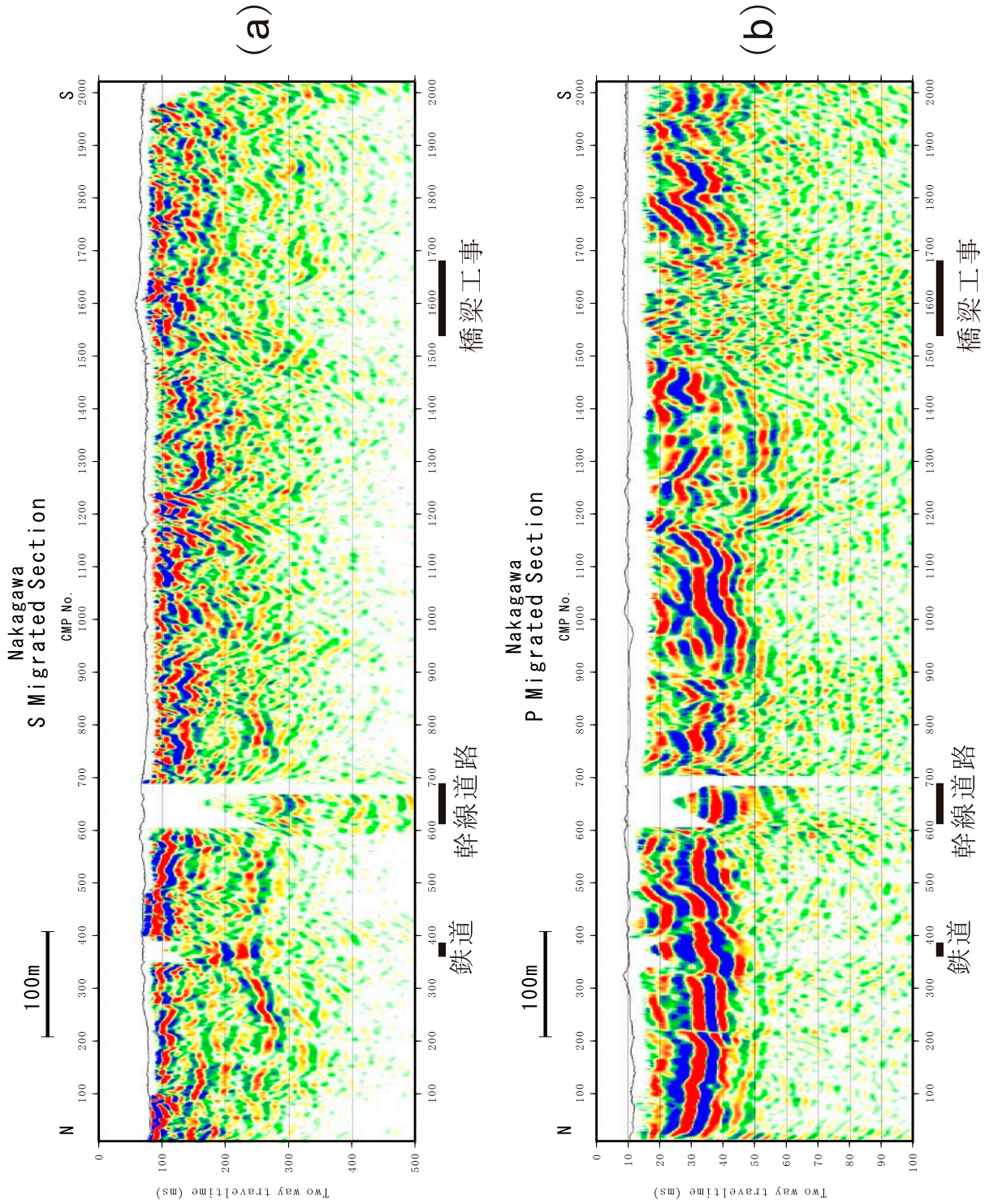
Fig. 1. Location Map. Red line: Receiver line. Black line: CMP line. Part of Geological sheet map at 1:50,000 "Fukuoka" (Karakida *et al.*, 1994) is used as a base map. (a) Over all map. Uminonakamichi survey line, which is conducted at the same time, is also shown. The square box indicates the area of (b). (b) Enlargement map 1 for Nakagawa survey line. (c) Enlargement map 2 for Nakagawa survey line.



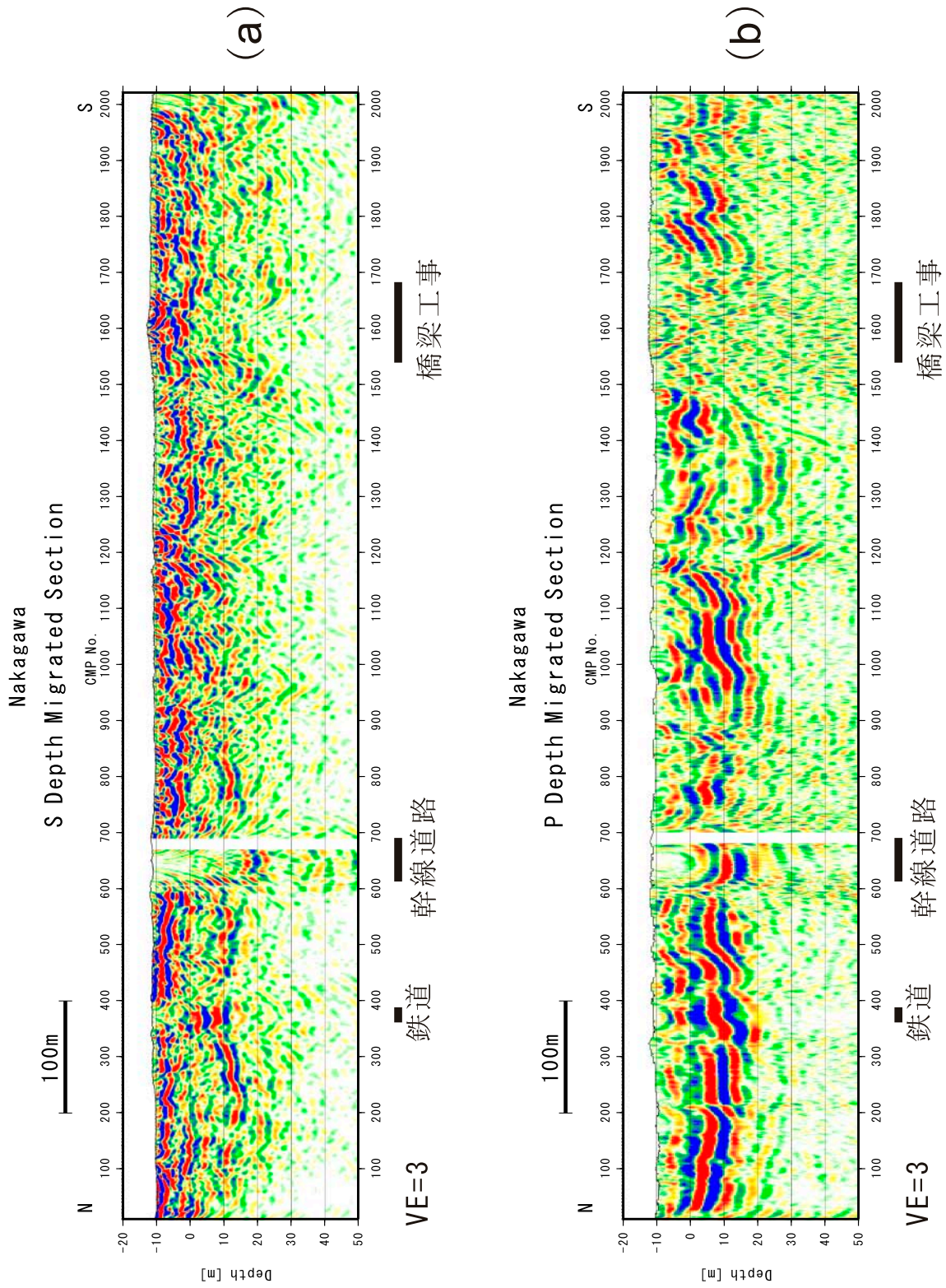
第2図．現場写真．(a) S波震源 (板たたき), (b) P波震源 (ドロップヒッタ), (c) 受振器設置状況 (ランドストリーマ).
Fig. 2. Field pictures. (a) S-wave source (Plank striking), (b) P-wave source (Drop hitter), (c) Receivers (Land streamer).



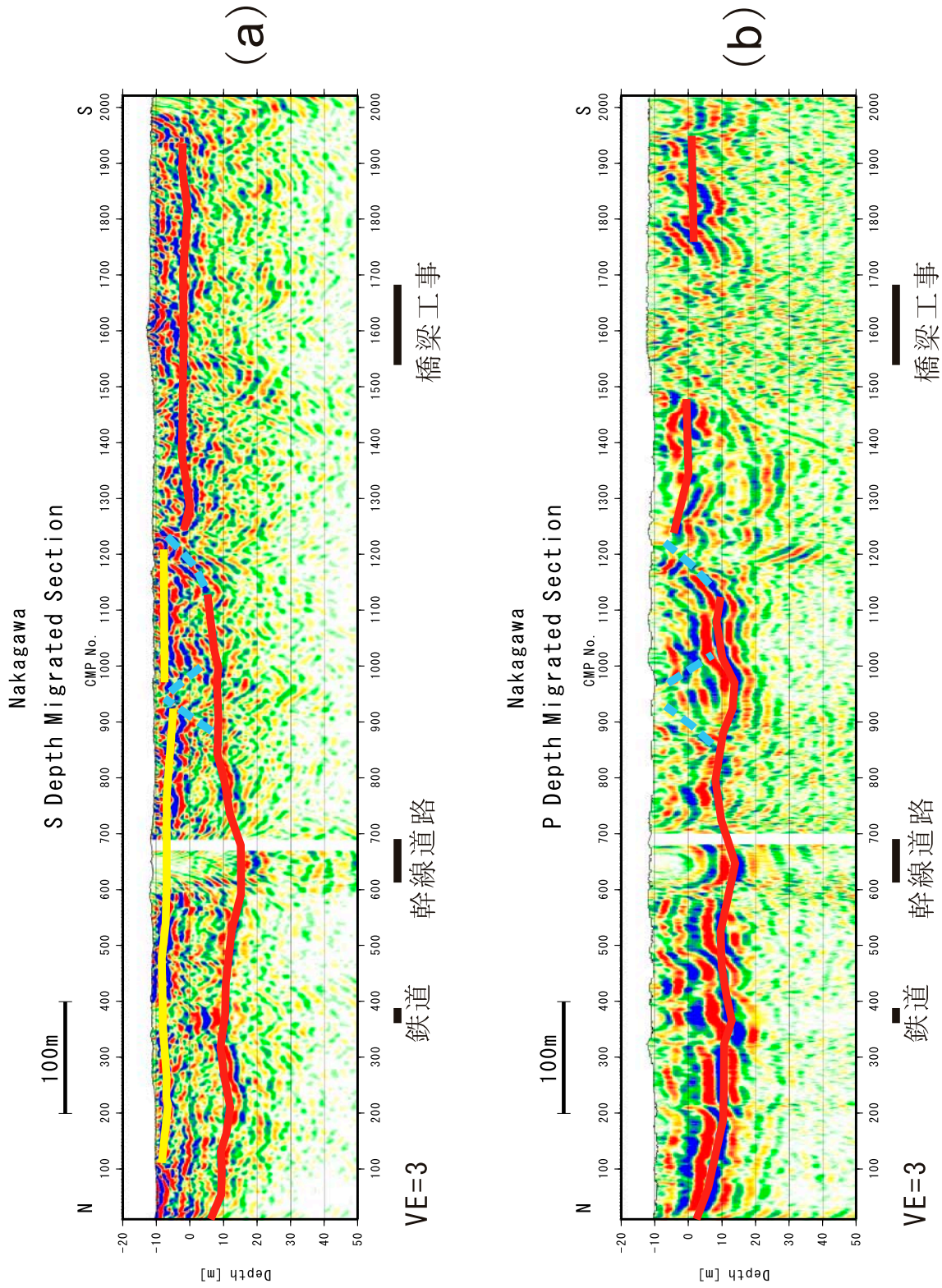
第3図. 重合同断断面図. (a) S波調査, (b) P波調査.
 Fig. 3. Stacked time section. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey.



第4図. 時間マイグレーション断面図. (a) S波調査, (b) P波調査.
 Fig. 4. Time migrated section. (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.
 Fig. 5. Depth migrated section. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey.



第6図. 解釈断面図. (a) S波調査, (b) P波調査.
Fig.6. Interpreted section. (a) S-wave survey, (b) P-wave survey.