

# 反射法地震探査による横須賀断層北端付近の地下構造 Subsurface structure around the north end of the Yokosuka Fault by seismic reflection survey

伊藤 忍<sup>1\*</sup>・竜沢篤ノ助<sup>1,2</sup>  
Shinobu Ito<sup>1\*</sup> and Tokunosuke Tatsuzawa<sup>1,2</sup>

**Abstract:** Surface fault from reports is not consistent with earthquake source fault estimated from aftershock area for the 1945 Mikawa Earthquake. Particularly, the north end of the Yokosuka Fault is indistinct, and is also proposed as the secondary deformation. Then, we carried out the S-wave seismic reflection survey at the north end of the Yokosuka Fault. Reflected events from the top of the Ryoke metamorphic rocks is recognized in shot records. However, no events related to the Yokosuka Fault can be seen only in the shot records.

**Keywords:** seismic reflection survey, Yokosuka Fault, Mikawa Earthquake

## 要 旨

1945年に発生した三河地震については、報告されている地震断層と、余震分布等から推定された震源断層が一致しない。特に、北西部にあたる横須賀断層については不明瞭な点が多く、二次的な地変によるものであるという説もある。そこで、横須賀断層の北端部でS波反射法地震探査を実施した。発震記録には領家変成岩の上端と推定される反射波が認められた。しかしながら、発震記録だけでは、明らかに横須賀断層に関係すると考えられるイベントは見いだせなかった。

## 1. はじめに

1945年1月13日に発生した三河地震(M6.8)は、愛知県蒲郡市から額田郡幸田町に至る深溝断層と、幸田町から西尾市に至る横須賀断層を震源とするとしてされている。この地震は戦時中に発生したことから報告が十分でなく、その詳細については不明な点が多い。津屋(1945)は地震発生間もない時期に、この地震が深溝断層に起因するものであると報告している。その後、飯田・坂部(1972)は、深溝断層がさらに北西に延びていると報告しているが、この延長部が現在、横須賀断層と呼ばれている部分である。一連の断層は、南北の走向をもつ2つの断層を、東西の走向をもつ断層がつなぐような形状をしている。南北の走向をもつ断層のうち、南東側に位置するものは深溝断層の一部を構

成し、北西側に位置するものが横須賀断層の一部を構成している(第1図)。東西の走向をもつ断層のうち、津屋(1945)によって報告されている東の部分は深溝断層の一部とされ、飯田・坂部(1972)によって延長された西の部分が横須賀断層の一部とされる。

Ando(1974)は三角測量のデータを用いて三河地震の断層パラメタを推定しているが、それによると深溝断層の断層変位で地表の変位は概ね説明でき、横須賀断層の南北走向区間は震源断層ではなく、二次的な地変である可能性を指摘している。

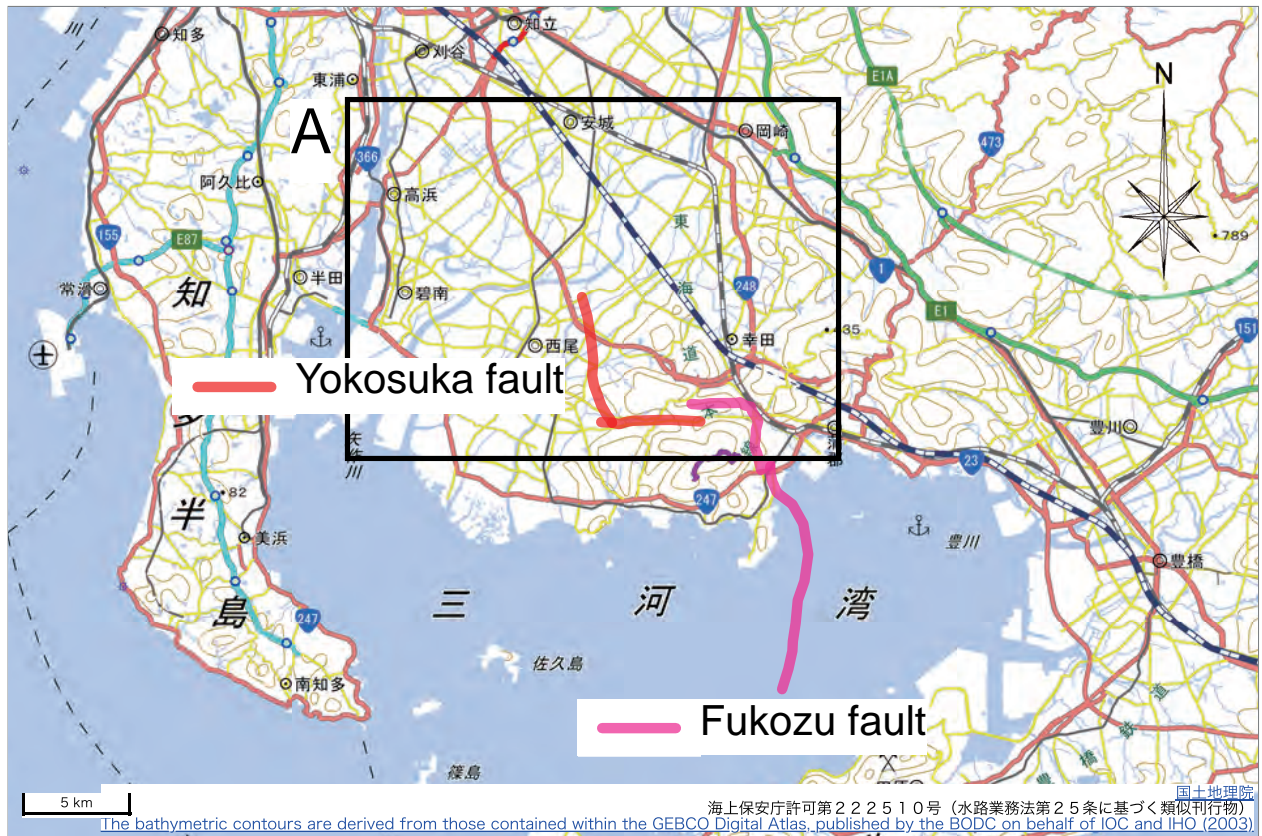
浜田(1987)は、三河地震の余震が北西-南東方向に分布することを示し、本震の初動の押し引き分布も概ね説明できることから、震源断層は北西-南東の走向をもつ左横ずれ断層であるとした。彼はこの震源断層でも地殻変動が定性的に説明できることを示した。

Kikuchi *et al.* (2003)は、地震波形インバージョンにより震源モデルを推定している。彼らの手法は、仮定した断層面上のすべりの時空間分布を求めるものである。しかしながら、三河地震についてはいくつかの断層面が提案されている。そこで彼らは傾斜角を30°に固定し、複数の走向をもつ断層面を仮定してインバージョン解析を行った。その結果、浜田(1987)が地殻変動や余震分布等から推定した、N135°Eという走向を持つ断層面がデータをもっとも良く説明できるとした。このことは、逆に、地震波形記録と余震分布は断層の地表トレースの示す走向(N180°E)をうまく説明できないということの意味している。

## \*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, Research Institute of Geology and Geoinformation)

2 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 地球・環境資源理工学専攻 (Department of Earth Sciences, Resources and Environmental Engineering, Creative Science and Engineering, Faculty of Science and Engineering, Waseda University)



第1図 横須賀断層及び深溝断層の概略位置図。活断層データベースによる。基図は国土地理院タイルを使用している。図中の矩形 A で示した部分が第2図の範囲である。

Fig. 1 Location map of the Yokosuka and the Fukozu Faults. They are referred from Active fault database of Japan. Base map is provided by the Geospatial Information Authority of Japan. A rectangular lettered in "A" indicates the area corresponding to the Fig. 2.

杉戸・岡田 (2004) は、深溝断層から横須賀断層に至る一連の地表変位の記録を丹念に精査した。彼らは、Ando (1974) が指摘するように横須賀断層の南北走向区間が二次的な地変である可能性に言及しつつも、地震を発生させた震源断層が地表に到達したもの、すなわち地表地震断層である可能性が高いとしている。また、一連の地表地震断層は、Kikuchi *et al.* (2003) による震源断層モデルとは不調和であると述べている。

このように、三河地震の震源断層についての理解は定まっていない。大雑把にまとめると、地表変位の記録からは南北走向の2つの断層を東西走向の断層がつながり形状が支持され、本震の震源過程や余震分布からは北西南東の走向をもつ断層が支持され、地殻変動データはいずれの形状も説明できるということになる。この隔たりを埋めるには、地表に見られる変位が深さとともにどのように変化するかを把握することが有効で、各種物理探査が有効な手段となりうる。我々は反射法地震探査や VSP 探査、重力探査、掘削調査等を実施することにした。

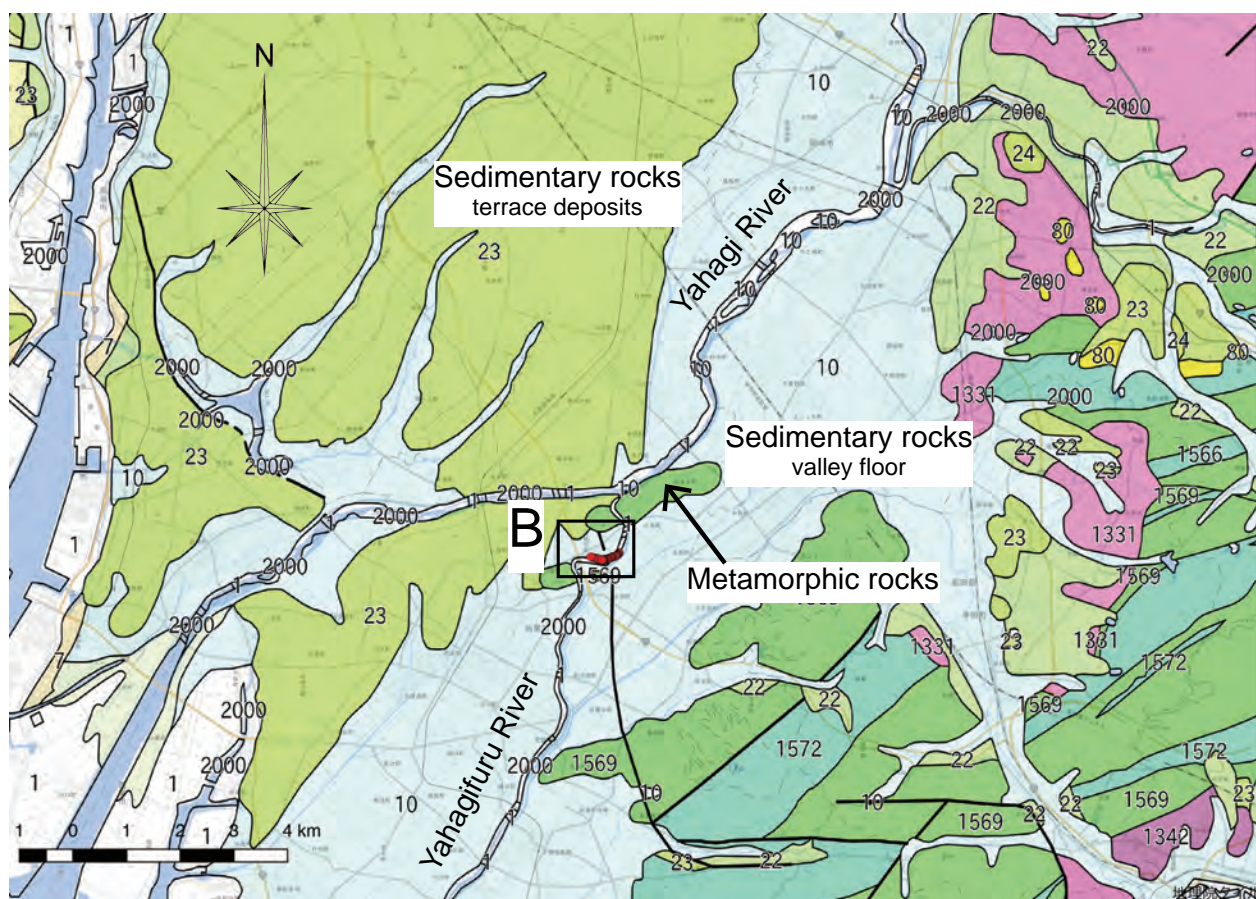
調査地は愛知県西尾市内である。西尾市は岡崎平野

の一部である (第2図)。岡崎平野の北西部は<sup>へきかい</sup>碧海台地となっており、後期更新世の段丘堆積物で覆われている。一方、岡崎平野の南東部は谷底平野となっており、完新世の堆積物で覆われている。西尾市は、碧海台地と谷底平野の境界に位置している。谷底平野のほぼ中央部を北東から南西に向けて<sup>やはぎふるかわ</sup>矢作古川が流れている。一方、現在の矢作川の本流は、西尾市北部で矢作古川と別れ、碧海台地を貫くように流れている。矢作川と矢作古川が分かれる場所の周辺には、領家変成岩からなる小規模な丘陵が見られる。地表での領家変成岩の分布から、谷底平野の下部には領家変成岩が広く分布していると考えられる。

我々は西尾市北部の谷底平野部分で調査を実施することにした。本報告では反射法地震探査を実施して取得したデータについて述べる。

## 2. 反射法地震探査の詳細

反射法地震探査は、ボーリングデータと比較可能な分解能が求められるため、S波探査とした。



第2図 岡崎平野周辺の地質。シームレス地質図による。背景地図は国土地理院タイルを使用している。図中の矩形Bで示した部分が第3図の範囲である。

Fig. 2 Geology around the Okazaki Plain. They are referred from the Seamless Geological Map. Base map is provided by the Geospatial Information Authority of Japan. A rectangle lettered in "B" indicates the area corresponding to the Fig. 3.

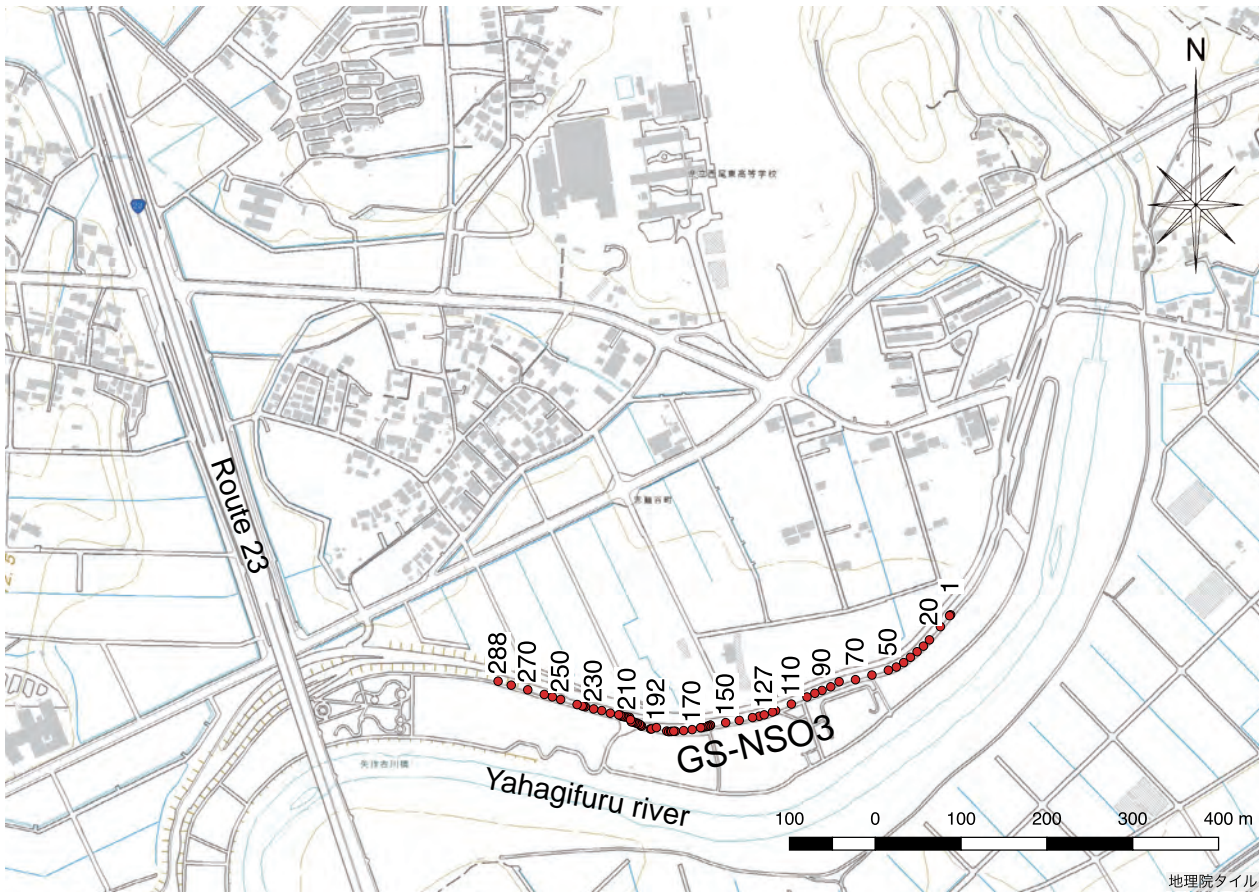
調査は、2019年2月18日から20日までの3日間に実施した。本件調査の前の2月12日から17日には別件で愛知県碧南市の油ヶ淵周辺及び高浜川堤防沿いにおいて調査を実施しており、当該期間中に本件調査の事前測量等の準備を行っている。調査地は愛知県西尾市志籠谷町の古川緑地右岸側である(第3図)。矢作川は西尾市北部で東から西に流れるが、その矢作川から別れて南向きに流れるのが矢作古川である。矢作古川は徐々に西向きに流れを変えるが、その流れの向きを変えるあたりの右岸河川敷にこの緑地は設けられている。緑地の北側ないし西側にある堤防上を西尾市道八ツ面浅井線が通っているが、その道路下を通るアスファルト舗装された遊歩道に沿って調査を実施した。

測点間隔は2 m、総測点数は288点、従って測線長はおよそ570 mである。受振器はGeospace社製のGS-32CT(固有周波数10 Hz)を内蔵した水平動シングル受振器96個、及び3成分受振器96個の水平動1成分を併用した(第1表)。後述する震源装置の性能と周辺の雑振動の状況から、同時展開受振点数は96点で十分

であると考えていたが、展開移動作業の回数を減らすために測線中央部の96点に3成分受振器を展開し、結果的に同時展開受振点数は192点となった。

データ収録には、サンコーコンサルタント社製のテレメトリ型地震探査システムであるDSS-12を使用した。サンプリング間隔は1 ms、記録長は2秒とし、SEG-2形式で記録した。

発震は地球科学総合研究所所有の小型の衝撃型震源であるJMS-Mini65-2を使用した。JMS-Mini65-2の総重量は2.2 t、打撃エネルギーは2,000 Jである。JMS-Mini65-2はS波を発震するために、ピストンの軸を進行方向右側に最大60度傾けることができる。発震点間隔は受振点と同じ2 mとした。発震は測線東部の発震点1~96においては各点5回を基本とした。測線中央部の発震点97~192においては各点10回の発震を基本としたが、これは測線西方に位置する国道23号線の交通に伴う雑振動の影響を考慮したものである。測線西部の発震点193~288では各点7回の発震を基本としたが、発震回数を減らしたのはこの部分で横須賀断



第3図 調査位置の詳細. 基図は国土地理院タイルを使用している. 受振点のうち, GNSS 測量で測定した点を赤丸で示した.  
Fig.3 Detailed map around the survey area. Base map is provided by the Geospatial Information Authority of Japan. Red circles are receiver points of which positions are surveyed by GNSS.

第1表 発震回数及び受振器のタイプの一覧.

Table 1 Repeat number of shots and receiver type for receiver and shot points (PEG ID).

PEG ID	1 - 96	97 - 192	193 - 288
Repeat Number of Shots	5 + 5	10 + 10	7 + 7
Receiver Type	horizontal	3-components	horizontal

層が測線を横切っている可能性は低いと判断したためである (第1表).

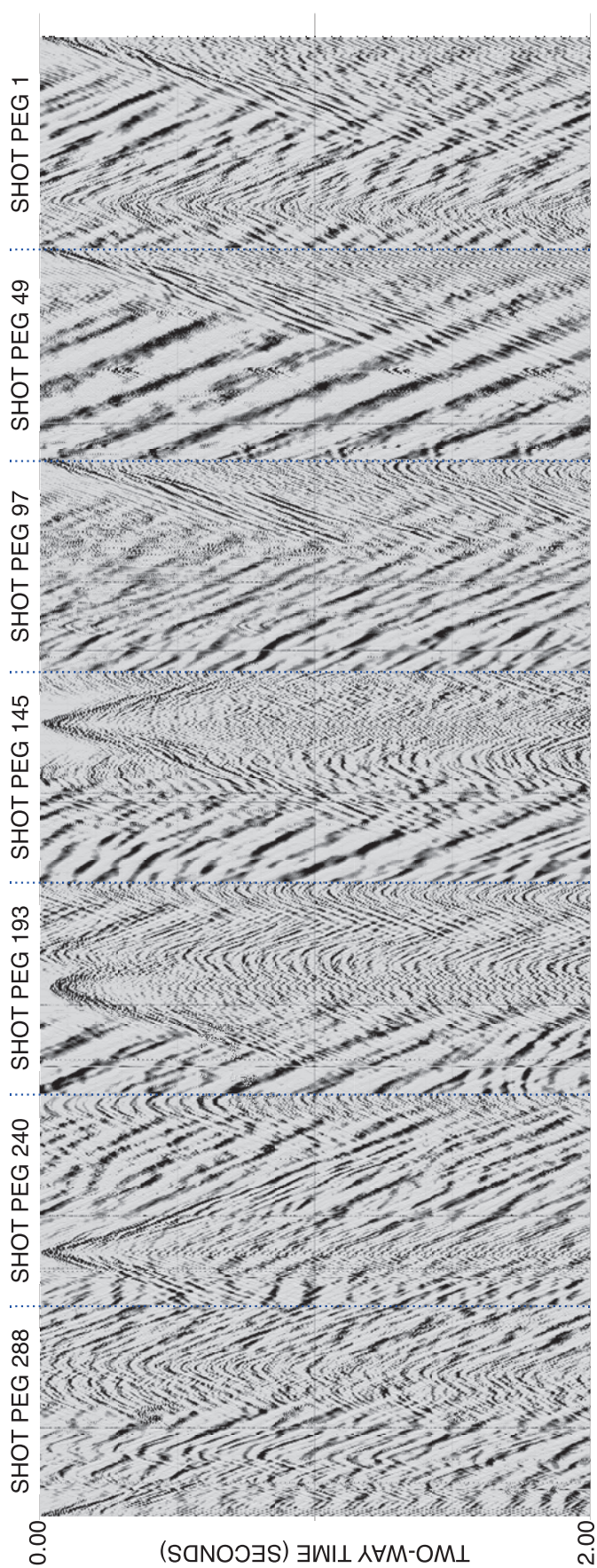
発震パターンは, 発震点1~192においては48点ずつに区分し, それぞれの区分で発震点番号の小さい方から大きい方へ震源車を移動させながら, その進行方向右側から打撃した (以下では「右打ち」と呼ぶ). 48点分を打撃し終えたら震源車の方向を変え, 同じく進行方向右側から, すなわち発震点番号の小さい方から大きい方を見た際の左側から打撃した (以下では「左打ち」と呼ぶ). 発震点193以降については固定展開となるため, 発震点193~288の96点についてまとめて往復して打撃した.

測点測量は, VRS方式のネットワーク型RTK法で受振器の位置を測定した. 概ね10点おきに測定し, それ以外の測点については内挿することとした. 内挿が適切でないと思われるような著しく屈曲した部分については細かく測定した (第3図). また, 発震位置については, 発震作業の際に受振器からのオフセットを計測して記録した.

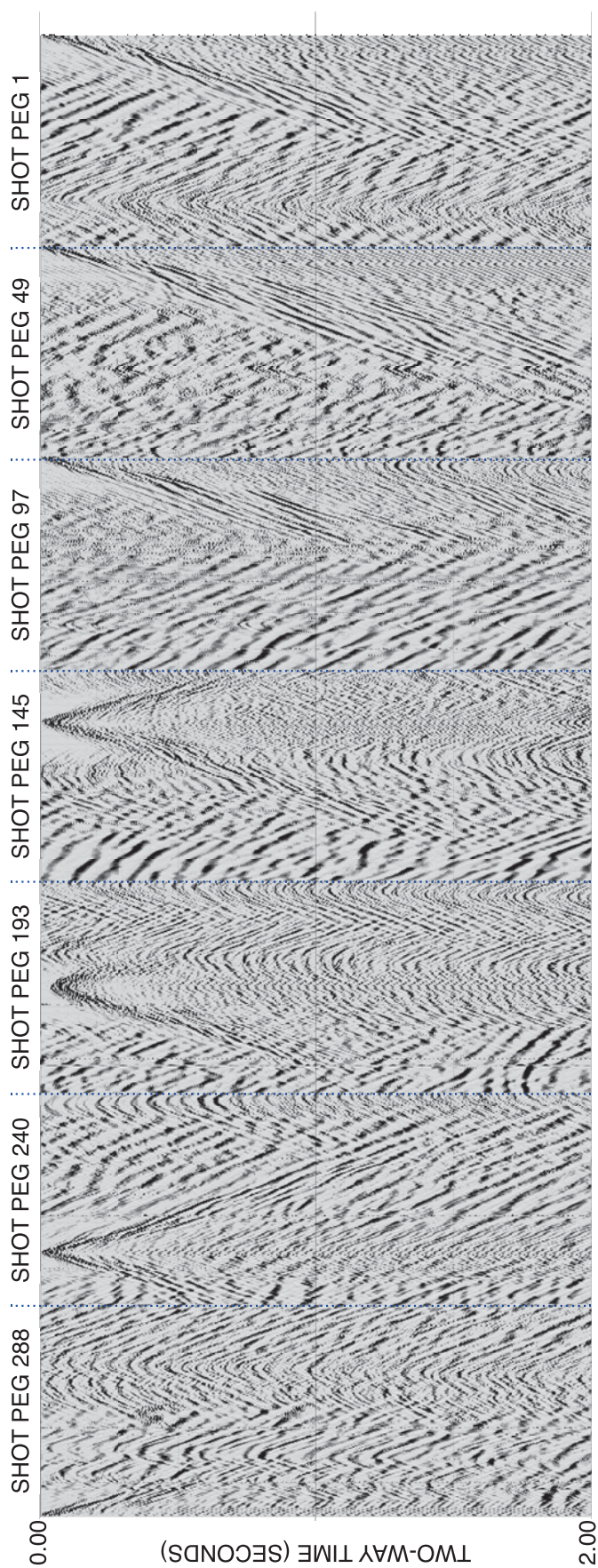
### 3. 取得データ

得られた発震記録の例を示す.

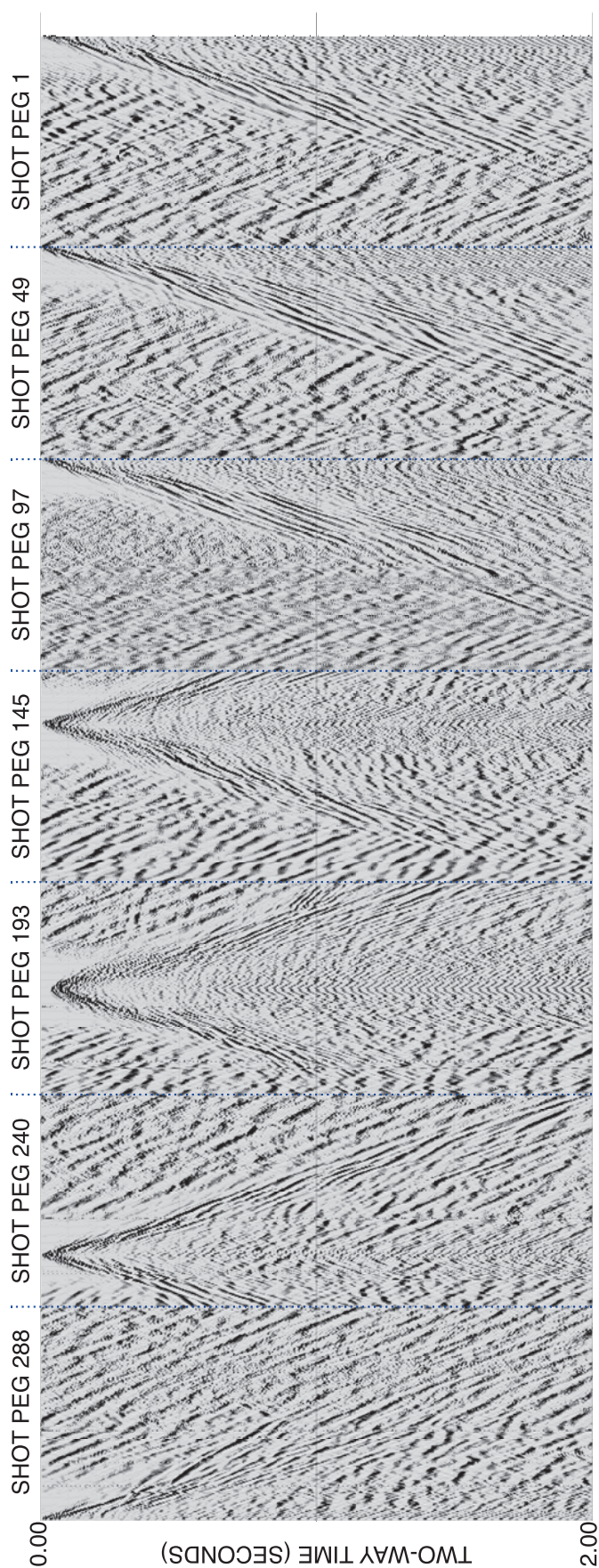
第4図は発震点1, 49, 97, 145, 193, 242, 288の



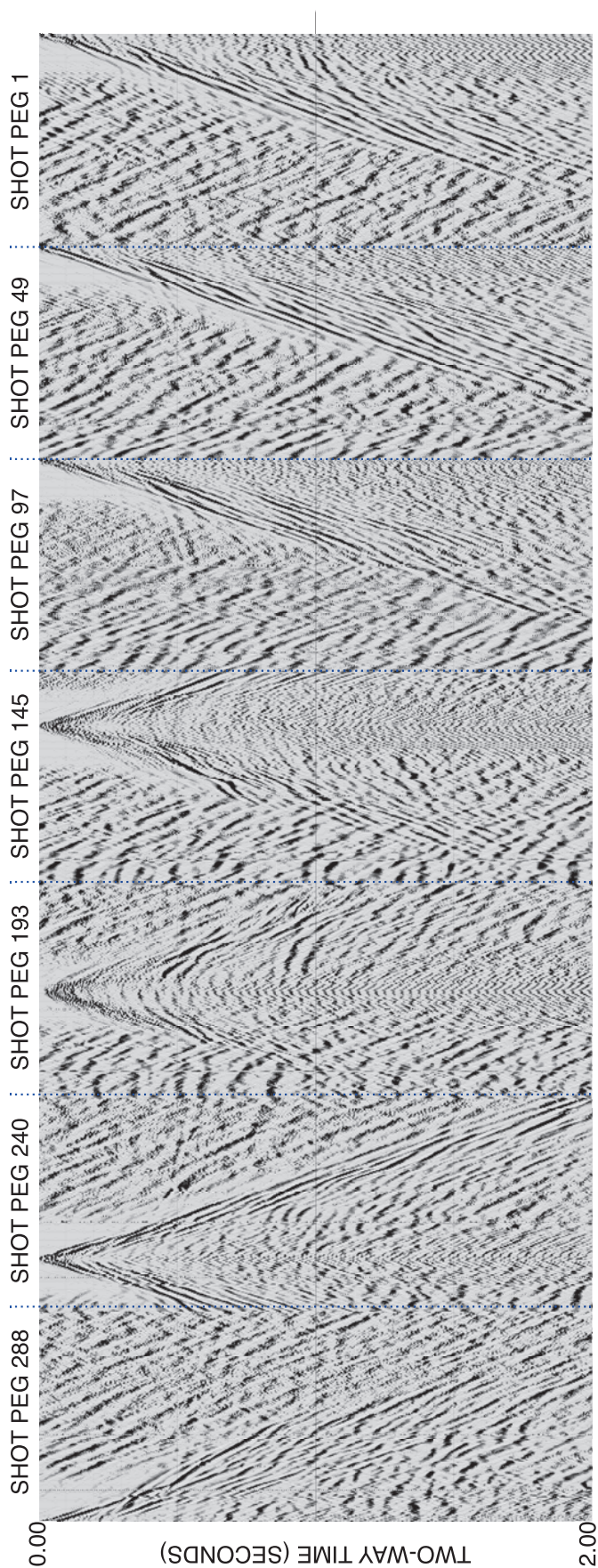
第4図 発震記録の例. AGCを施したのみで, 垂直重合はしていない.  
Fig. 4 Examples of shot records. They are processed with AGC without vertical stack.



第5図 発震記録の例. バンドパスフィルタ及びAGCを施したもので, 垂直重合はしていない.  
Fig. 5 Examples of shot records. They are processed with band pass filter and AGC without vertical stack.



第6図 発震記録の例。右打ちした記録を垂直重合した後、バンドパスフィルタ及びAGCを施した。  
Fig. 6 Examples of shot records. They are processed with band pass filter and AGC after vertical stack for records that are produced by hitting only one direction.



第7図 発震記録の例。垂直重合した後、右打ちの記録と左打ちの記録の差をとり、バンドパスフィルタ及びAGCを施した。  
Fig. 7 Examples of shot records. They are processed with band pass filter and AGC for differences between one and the opposite direction hitting records after vertical stack.



発震記録に AGC のみを施したものを右から並べたもので、各発震記録の右側が東、左側が西である。測線の西方（左側）に位置する国道 23 号線からの長周期の振動が顕著である。初動は国道からの振動に埋もれてしまい、各展開の端まで追跡することは困難である。また、測線の中央付近で放物線状の振動が見られるが、これは矢作古川右岸の堤防の北側で実施されていた工事によるものと考えられる。

第 5 図は、オリジナルの発震記録に 10 Hz ~ 180 Hz のバンドパスフィルタをかけた後に AGC を施したものである。国道からの振動がある程度抑制されて、かろうじて全 192 チャンネルで初動が追跡できるようにも見える。当初予定していた 96 チャンネルの範囲では、十分に初動を追跡することが可能である。

第 6 図は、オリジナルの発震記録について、右打ちの記録のみを垂直重合した後に、10 Hz ~ 180 Hz のバンドパスフィルタをかけ、AGC を施したものである。重合数は、発震点 1, 49 については 5 回、発震点 97, 145 については 10 回、発震点 193, 242, 288 については 7 回である。重合したことにより、測線中央付近に見られた放物線状の振動が抑制されており、それらの振動で隠されていた部分については信号が明瞭となった様子を見ることができる。

第 7 図は、右打ちと左打ちの垂直重合記録の差をとったものに、10 Hz ~ 180 Hz のバンドパスフィルタをかけた後に AGC を施したものである。左右からの打撃による記録の差をとることにより S 波は 10 回、20 回、14 回の発震を重合したことになる一方、P 波による振動が除去されることを期待したものである。しかしながら、その効果はあまり明瞭には認められない。右打ちの記録である第 6 図を見直すと、そもそも P 波による明瞭な信号が認められない。ただし、ここに示した記録例だけから、すべての記録に P 波の信号が認められないと断言することはできない。たとえその効果が限定的であっても、左右からの打撃による記録の差をとっておくことが無難である。

#### 4. 議 論

第 7 図に見られる特徴について議論する。

発震点 145, 193, 241 の記録を見ると、往復走時 0.4 ~ 0.5 秒付近に反射波が見られる。S 波の平均速度を 150 m/s と仮定すると、深度は 30 m 余りとなる。これは、この付近の基盤である領家変成岩の上端の深度と概ね一致する。ただし、他にも反射波を生成することが期待できる地層境界が存在することから、領家変成岩の上端に起因すると断定することはできない。今後の処理と、掘削コアとの比較、VSP 探査との比較が待たれる。

発震点 1 の記録を見ると、往復走時 0.9 ~ 1.0 秒付近に反射波らしきイベントが見られる。他の発震点の記録を見ると、発震点 49, 93, 145 では同程度の位置に明瞭な反射波は認められないが、発震点 193 では往復走時 0.9 ~ 1.0 秒付近に反射波らしきイベントが見られる。S 波の平均速度を 150 m/s と仮定すると、深度は 70 m 程度となる。離れた 2 つの発震点だけでしか見られず、これらが連続しているか否かはこの記録からは判然としない。

また、発震点 193 の記録では、前述した反射波の往復走時である 0.4 ~ 0.5 秒のおおむね 2 倍となっており、多重反射である可能性も否定しきれない。仮に発震点 1 に見られる往復走時 0.4 ~ 0.5 秒付近のイベントの起源である地層境界が、前述した 0.4 ~ 0.5 秒付近の反射波の起源である地層境界と対比されるとすると、その傾向は、東落ちであると考えられている横須賀断層の傾向と一致するものの、その落差は 30 m 以上にもおよぶことになり、既存の調査結果とは一致しない。このことから、これら 2 つのイベントの起源となる地層境界は、同一の起源を持つものであるとは考えにくい。

発震記録だけから横須賀断層に関連する構造を見いだすことは不可能で、反射法の処理を進める必要がある。

#### 5. ま と め

横須賀断層の北端部を横切ると考えられる、愛知県西尾市の矢作古川右岸において、測線長約 570 m、発震・受振点間隔 2 m の S 波反射法地震探査を実施した。発震記録は雑振動が大きいものであったが、処理によりある程度抑制することができた。測線中央部から西部にかけての発震記録には、往復走時 0.4 ~ 0.5 秒付近に反射波が見られた。S 波の平均速度を 150 m/s と仮定すると、その深度は 30 m 余りとなり、領家変成岩の上端と概ね一致する。往復走時 0.9 ~ 1.0 秒付近に反射波らしきイベントが見られるが、連続性に乏しく、発震記録だけからではその起源は判然としない。また、発震記録だけからは、明らかに横須賀断層に関係すると考えられるイベントは見いだせなかった。横須賀断層に関連する構造を見いだすためには、反射法の処理を進める必要がある。

謝辞：調査地である古川緑地右岸を管理されている愛知県西三河建設事務所西尾支所、西尾市建設部土木課及び公園緑地課には調査に関して多大なご協力と有益な助言を頂いた。また、調査機材の一時保管については、愛知県知立建設事務所ならびに公益財団法人愛知県都市整備協会油ヶ淵水辺公園管理事務所にご協力を頂いた。

た。記して感謝の意を表す。

## 文 献

- Ando, M. (1974) Faulting in the Mikawa Earthquake of 1945. *Tectonophysics*, **22**, 173-186.
- 浜田信生 (1987) 日本列島の内陸部に発生した被害地震に伴う地震活動の再調査とその地震学的意義. 気象研究所報告, **38**, 77-156.
- 飯田汲事・坂部和夫 (1972) 三河地震における深溝断層の延長部について. 地震第2輯, **25**, 44-55.
- Kikuchi, M., M. Nakamura, and K. Yoshikawa (2003) Source rupture processes of the 1944 Tonankai earthquake and the 1945 Mikawa earthquake derived from low-gain seismograms. *Earth Planets Space*, **55**, 159-172.
- 杉戸信彦・岡田篤正 (2004) 1945年三河地震の地表地震断層. 活断層研究, **24**, 103-127.
- 津屋弘達 (1945) 深溝断層 (昭和20年1月13日三河地震の際現れた一地震断層). 地震研究所彙報, **24**, 59-75.