

大阪湾における反射法深部構造探査

横倉隆伸*・加野直巳*・山口和雄*・宮崎光旗**・井川 猛***・太田陽一***・川中 卓***・阿部 進***

Takanobu YOKOKURA, Naomi KANO, Kazuo YAMAGUCHI, Teruki MIYAZAKI, Takeshi IKAWA, Yohichi OHTA, Taku KAWANAKA and Susumu ABE (1998) Seismic profiling of deep geological structure in the Osaka Bay area. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 49 (11), p. 571-590, 10 figs., 1 table.

Abstract: On January 17, 1995 the Kinki district, southwest Japan, was struck by a disastrous earthquake of magnitude 7.2, named as the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. Around the epicentral region, no large earthquake had occurred since 1596 earthquake of magnitude 7.5. Geologically, however, it is well known that many active or inactive faults are densely distributed around this region. The basement structure in this region shows the following zonal arrangement from north to south: the Tanba zone (Paleozoic-Mesozoic sedimentary rocks), the Ryoke zone (Cretaceous gneissose granitic rocks), the Izumi zone (upper Cretaceous sedimentary rocks), the Median Tectonic Line, and the Sanbagawa zone (Jurassic-Cretaceous crystalline schists). The zonal arrangement was severely disturbed by late Cretaceous acidic volcanic activities, later granitic intrusions, and neotectonic activities. Such activities produced the complex geological setting: Rokko Mountains and Awaji Island have been uplifting and Osaka Bay has been subsiding. The uplifting areas mainly consist of late Cretaceous granitic rocks. Cretaceous acidic pyroclastic rocks are distributed in the mountainous region to the north of Rokko Mountains. These basement rocks are partly covered by the Kobe Group (Paleogene sediments) and the Iwaya Formation (early Miocene-middle Miocene sediments). The Osaka Group (Pliocene-Pleistocene soft sediments) is thickly distributed in the Osaka Bay and adjacent areas.

In order to clarify deep structures of this geologically complex region, we conducted seismic surveys along 12 survey lines on land, in shallow water, and at sea which are about 260km long in total. In this paper we discuss the results of six survey lines located in the Osaka Bay area. Sources used were two airguns of about totally 700in³ (about 11l, or $1.1 \times 10^{-2} \text{m}^3$) at the pressure of 1800psi (about 120atm, or $1.2 \times 10^7 \text{Pa}$). Receivers were 48-channel streamer cables of 12.5m interval. Sources were shot at standard intervals of 25m. Common-mid points were set at 12.5m intervals. The standard CMP fold number was 24. This region is one of the largest economical centers in Japan, and therefore many types of ships and boats are sailing densely. We had to use short streamer cables, which mean small number of channels or CMP folds. The lack of CMP folds sometimes cannot suppress many types of multiples in a seismic section.

After overcoming many types of difficulties and applying many noise-suppression methods, we could get relatively clear images. The processing results indicate: 1) The basement depth of the Osaka Bay is deeper than 3000m at the eastern side of the Osaka-wan Fault. 2) The eastern part of the basement is monoclinically declined to the northwest. 3) There are a few inactive faults in the eastern part of the Osaka Bay, while there are many reverse faults in the western part. 4) Almost all of these faults in the western part extend to near surface or are accompanied by flexures in the Osaka Group and overlying layers, and they are considered to be active faults. 5) The Osaka-wan Fault extends to the northeast, and branches off in three directions. One of them is the Wada-misaki Fault, which may extend to the Kobe city area, and others to the north of the Rokko Island. 6) The Osaka-wan Fault produces a large vertical displacement in the basement which is more than 1000m at the midst of the Osaka Bay. 7) The vertical component of its average slip rate is about 0.5-0.6m/ky and is nearly constant since 1Ma. 8) The total length of the Osaka-wan Fault may reach to 40km. 9) The extension of the Suma Fault has been found at the mouth of Akashi Strait. 10) The extension of the Kariya Fault and two other new reverse faults have been found between Awaji Island and the

* 地殻物理部 (Geophysics Department, GSJ)

** 企画室 (Research Planning Office, GSJ)

*** (株)地球科学総合研究所研究部 (R & D Department, JAPEX Geoscience Institute Inc., 1-5-21, Ohtsuka, Bunkyo, Tokyo, 112-0012 Japan)

Keywords: 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, seismic reflection method, Osaka Bay, active fault, Osaka-wan Fault, Osaka Group, Median Tectonic Line, deep structure, basement, airgun, streamer cable

Osaka-wan Fault. The two new faults make a depression zone along the Awaji Island. 11) As the regional stress in this area is of E-W compression, these faults may have large strike-slip components which cannot be estimated from seismic sections only. Particularly the Osaka-wan Fault may have the degree A of fault activity in consideration to its strike-slip component. 12) There are many faults off the east coast of the central Awaji Island. Their continuities are not known. 13) There is a small sedimentary basin surrounded by faults to the east of Tsuna-cho. 14) The basement rock around the southern coast of the Osaka Bay may be different from the granites in the northern part. 15) The Median Tectonic Line (MTL) has been clearly imaged in the south of Kitan Strait. 16) A synclinal structure of the Izumi Group has also been imaged in the north of the MTL. 17) There is no notable active fault in the south of the MTL.

要 旨

1995年1月17日に明石海峡周辺で発生した兵庫県南部地震は近年まれに見る甚大な被害をもたらした。我々は当地域周辺の地下深部構造を解明するため、陸域・浅海域・海域にまたがる12の測線において、反射法地震探査を実施した。本論文ではこのうちの大阪湾における6測線の探査結果について詳述する。使用した震源は2機のエアガンで、その容量は計700in³(約111; $1.1 \times 10^{-2} \text{m}^3$)、圧力は1800psi(約120気圧; 約 $1.2 \times 10^7 \text{Pa}$)である。受振器は12.5m間隔の48チャンネルのストリーマーを使用した。発震間隔は標準25mである。CMP間隔は12.5mとした。標準CMP重合数は24である。探査結果をまとめると以下ようになる。1)大阪湾の基盤深度は、大阪湾断層の東側で3000mを超える。2)大阪湾断層以東では、北西に緩やかに傾斜する単斜構造を呈する。3)大阪湾断層以東では、小規模な古い断層がわずかに存在するだけであるが、大阪湾断層以西では、多くの逆断層が存在している。4)大阪湾断層以西の諸断層は、地表近くまで達しているか、あるいは地表付近にまで撓曲を引き起こしていることから、多くのものが活断層であると考えられる。5)大阪湾断層は北東方向へ延び、和田岬沖において3つに分岐し、ひとつは和田岬断層に、他は六甲アイランド方面へと続く。6)大阪湾断層は、大阪湾中部において1000m以上の落差を有する。六甲アイランド付近より北では、その基盤落差は小さくなり、大阪層群に大きな変形は与えていない。7)大阪湾断層の一部は過去1Maの間0.5-0.6m/kyというほぼ一定の平均変位速度(鉛直成分)を有している。8)大阪湾断層はその総延長が40kmにも及ぶ長大な断層あるいは断層帯である。9)明石海峡の入口に須磨断層の延長部が認められる。10)淡路島と大阪湾断層との間に、仮屋断層の延長部と二つの新しい逆断層が発見された。この新断層により、淡路島沿いに沈降帯が生じている。11)広域的な応力場は東西圧縮であるため、これら諸断層は大きな水平成分を有するものと考えられる。特に大阪湾断層の一部は、水平成分を考慮するとA級の活動度を有することになる可能性がある。12)淡路島中部の東方沖には多くの断層が存在する。ただしその連続性は不明で

ある。13)津名町の東方に、断層で囲まれた小さな堆積盆が存在する。14)大阪湾の南岸付近の基盤は、北部の花崗岩類とは異なるものである可能性がある。15)紀淡海峡の南に明瞭な中央構造線(MTL)が認められる。16)MTLのすぐ北に和泉層群の向斜構造が認められる。17)MTLの南側には活断層は認められない。

1. はじめに

1995年1月17日に明石海峡周辺で発生した兵庫県南部地震は近年まれに見る甚大な被害をもたらした。兵庫県南部地震を引き起こした活断層を含む六甲・有馬-高槻断層系およびその周辺地域は、広域的に見れば瀬戸内剪断帯とでも言うべき(佃, 1992)、変形集中域内にある。この広域的な変形構造を知ることは、当該断層系およびその周辺地域の活動史の解明において本質的な重要性を有している。

当地域の断層は基盤露出部において、地質調査により良くトレースされているものの、その理解は表層にとどまっており、地下深部でのこれら断層の形状に関する情報はきわめて乏しい状況である。一方潜在的な断層の存在が想定される、沖積層分布域・海陸境界部・海域などの堆積物に覆われた部分においても、基盤の状況は十分に把握されるに到っていない。近年、六甲アイランド、ポートアイランドなどの大規模土木工事に伴うボーリング調査などが広く行われているが、これも一部を除き、浅部のみ情報を与えるに過ぎない。

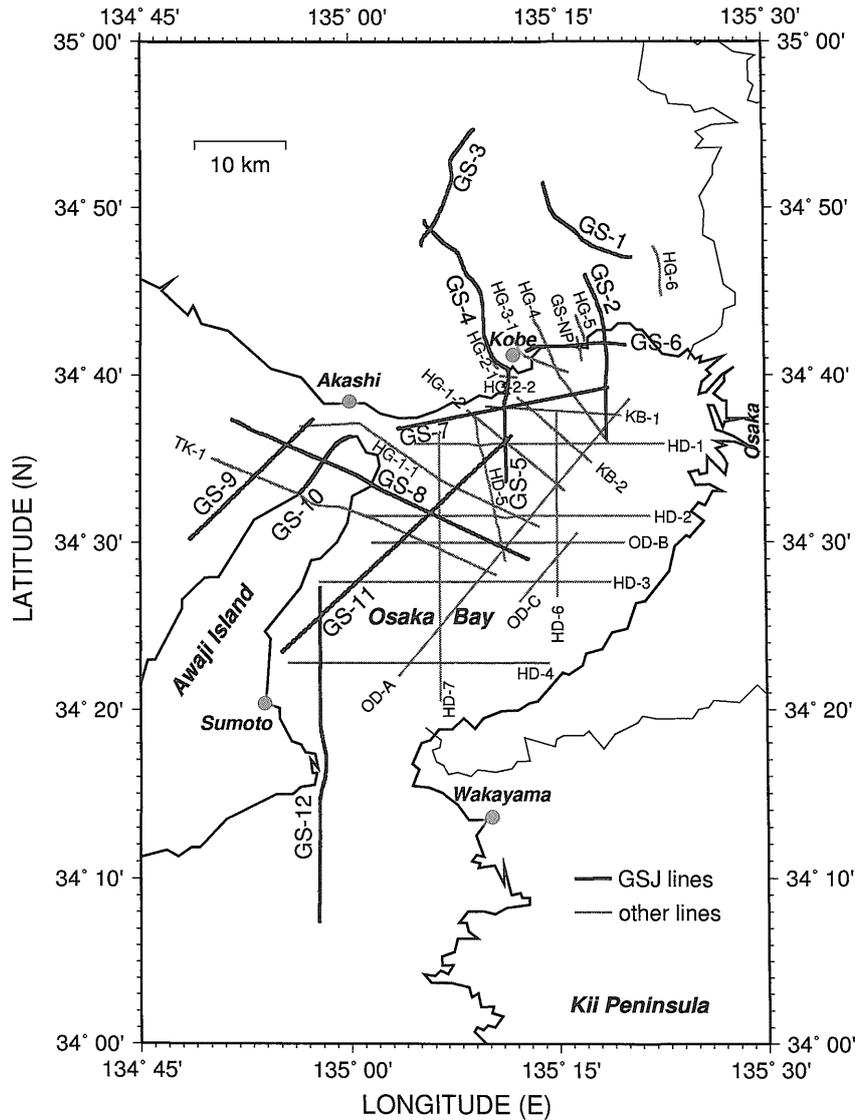
当該地域の従来の探査では、陸上探査と海上探査は別個に行われてきた。そのため探査仕様の違い、海陸境界部でのデータの空白、またそれ以上に反射法探査の数がそもそも極端に少ないこと、などの理由により、本断層系ならびにその周辺地域の統一的理解を得るには到っていない。特に、当該地域の海陸境界部には断層の存在が想定されるところが多いため、海と陸を接合する探査を行うことが必要である。またこれら探査データを接合した反射法処理断面を得ることが重要となる。従って本研究は、当該地域の陸域・海陸境界部・海域にまたがった連続的な、また互いに交差する測線に沿って、統一的な反射法弾性波探査を実施し、地下数kmまでの深部

構造を広域的に解明することを目的としている。

当地域では兵庫県、神戸市、大学などの他機関もほぼ同時期に同様の探査を行うことになっていた。そのため各機関が連携し、測線の重複を避け、互いに相補うような測線配置とした。これにより、海苔の養殖、漁船操業、船舶の航路等からくる制約を除いて、全体として効率の良い測線配置となったと考えられる。これら探査のあとに海上保安庁水路部も大阪湾内において同様の探査を行うことになっていたため、測線情報を提供しここでも重複を避けるよう配慮した。このようにして設定された測線を第1図に示す。なお以下の図中ならびに本文中の測

線名に付いている英字 L, B, M はそれぞれ陸域、浅海域、海域を意味する略号である。また同様に E, W, S, N はそれぞれ東西南北を意味する。

これら測線をいくつかのグループに分け、探査結果を順次発表して行く予定である。本論文では大阪湾における探査結果について発表する。既に探査あるいは処理結果の一部についての概報を発表している(横倉ほか, 1996b; 井川ほか, 1996)が、紙数の関係で、データを利用する上で必要となる測線・探査・処理等についての詳細を述べるができなかった。本論文および今後に予定されている一連の論文(横倉ほか, 1998 および準備



第1図 測線インデックスマップ。陸域および浅海域では共通反射点位置(CMP)を、海域測線では発震点位置(SP)を示す。GS, TK, HG, KB, HD, NP はそれぞれ地質調査所、東京大学地震研究所、兵庫県、神戸市、海上保安庁水路部、動力炉・核燃料開発事業団の測線であることを示す。

Fig. 1 Index map of survey lines. Common-mid points(CMP) and shot points(SP) are shown for the land and bay survey lines and for marine ones, respectively. GS, TK, HG, KB, HD, and NP are abbreviations for Geological Survey of Japan, University of Tokyo, Hyogo Prefecture, Kobe City, Hydrographical Department, and Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, respectively.

中)では、探査結果、それに基づく解釈、得られた基盤構造、新知見の呈示が大きな目的であるのはもちろんであるが、それ以外にもこれら探査結果が広く利用可能となるよう、上記の測線・探査・処理の詳細を記述し、かつ可能なかぎり大きな断面図を呈示することも目的のひとつとしている。

2. 大阪湾周辺の概要

当地域の基盤構造は、北から丹波帯(中-古生界堆積岩類)、領家帯(白亜系片麻状花崗岩類)、和泉帯(上部白亜系堆積岩類)、中央構造線をはさんで三波川帯(ジュラ-白亜系結晶片岩)からなる帯状配列を基本としている。この帯状配列は、後期白亜紀の酸性火山活動、その後の花崗岩の貫入、さらには新規の造構造活動により大きく擾乱をうけた。その結果として複雑な地質構造を呈するにいたった。六甲山塊や淡路島は現在も隆起を続け、大阪湾は沈降を続けている。これら隆起域にはおもに後期白亜紀の花崗岩類、白亜紀の酸性破碎岩類が露出し、また部分的に神戸層群と岩屋累層により覆われている。神戸層群と岩屋累層は従来中新統とされてきたが、最近の研究では神戸層群は古第三系とされている(尾崎・松浦, 1988; 尾崎ほか, 1996)。神戸層群はおもに隆起域の北西側に、また一部大阪湾側に取り残されたように分布している。岩屋累層は淡路島の一部に分布している。大阪湾およびその周辺域には鮮新-更新統の大阪層群が堆積し、その上を更新統、完新統の堆積物が覆っている。大阪湾の中心部では大阪層群の層厚は3000 mを超える。大阪層群およびその上位の堆積物中にはMa-1, Ma 0, Ma 1, ..., Ma 12と名付けられた顕著な海成粘土層が含まれ、各種の広域テフラとともに、当地域全体の地層対比を行う上で大きな役割を果たしている。

第1図に示した探査域は上記の丹波帯の南部から三波川帯の北部におよんでいるが、その主体は領家帯内にある。海域探査全体は第1図に示したように、大阪湾内の西宮市、神戸市、明石市沖から淡路島東岸沖にかけての海域と播磨灘東部の淡路島北部西岸沖海域および友ヶ島水道から紀伊水道に及ぶ測線からなる。本論文ではこれらの測線のうち、第2図に示した大阪湾周辺における探査結果を呈示する。

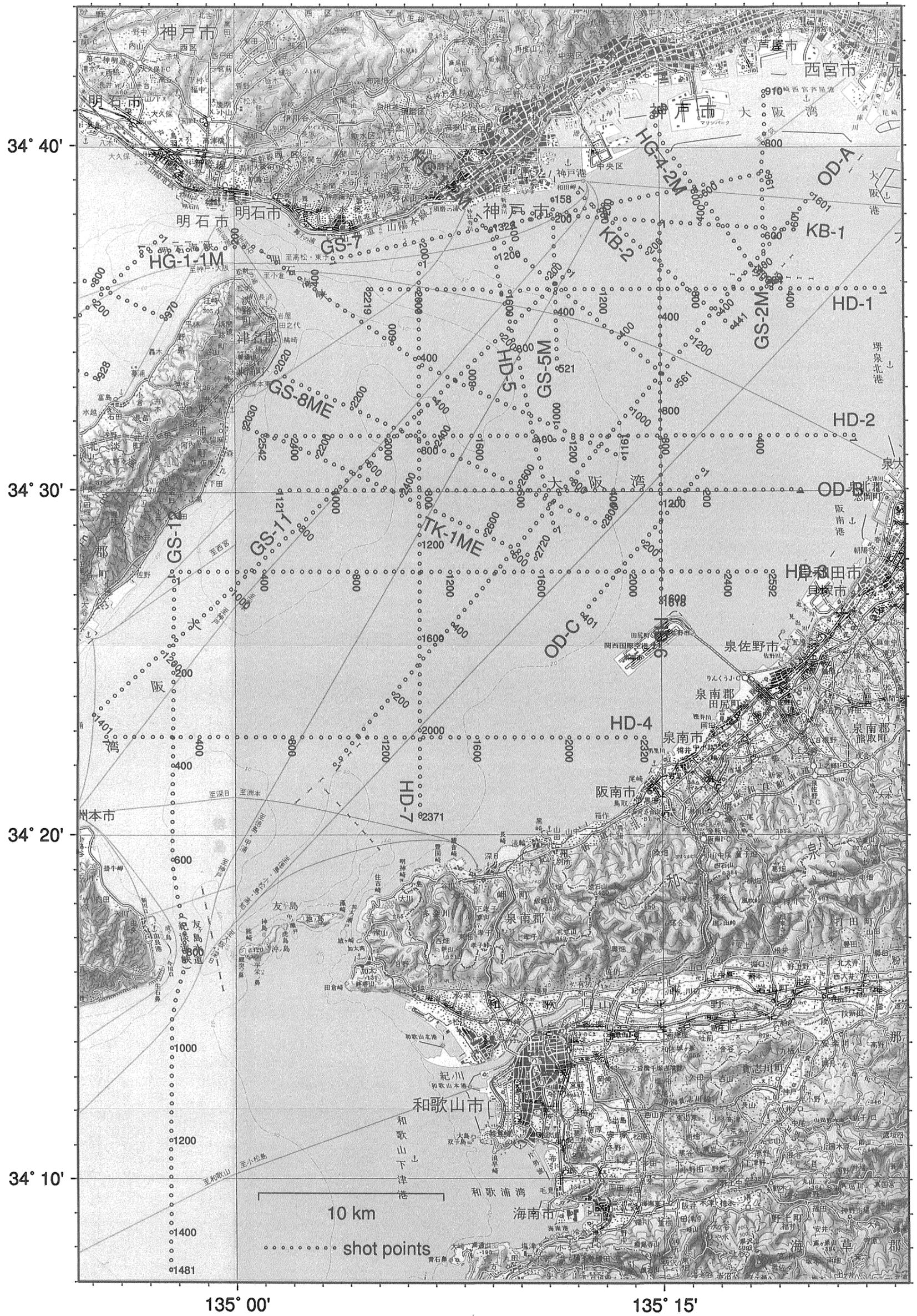
大阪湾は北東-南西方向に長軸を持つきれいな楕円形の沈降部であり、その北西側を限る六甲・淡路という隆起域との対比は著しく、構造的にきわめて興味のあるところである(藤田, 1966)。隆起域の調査は古くから数多く行われてきており、その集大成として例えば、藤田・笠間(1982, 1983)、藤田・前田(1984, 1985)、市原ほか(1986)、水野ほか(1990)、高橋ほか(1992)、宮田ほか(1993)などの地域地質研究報告(5万分の1図幅)がある。沈降域の調査は困難を伴うため容易には行われなかった

が、スーパーカーを利用した音波探査により(伊崎・金子, 1960; 早川ほか, 1964; 藤田・鎌田, 1964; 藤田, 1966)、表層に関する多くの知見が得られるようになった。また最近では海上保安庁水路部により、高密度のスーパーカー調査が行われ、大阪湾内の断層分布図も描かれるようになった(海上保安庁水路部, 1995; 岩淵ほか, 1995)。しかしこれらは表層100 m程度までの情報を与えるに過ぎず、基盤構造に関する情報は少ない。

基盤構造を目指したものとしては、鳥海ほか(1990)や香川ほか(1990)の発破観測による地下構造の研究がある。しかしこれはいずれも大阪平野部のデータである。このように大阪湾の深部構造に関する知識はきわめて少なかったが、最近行われた岩崎ほか(1994)の反射法探査によって多くのことが明らかにされた。これによれば、大阪湾内の基盤は西北に傾く単斜構造を基調とし、この上位には粘土層と砂礫層との互層からなる厚い堆積物が分布する。また淡路島寄りの海底に新たに落差1 kmに達する逆断層が発見され、大阪湾断層と名付けられた。本研究では、この大阪湾断層の連続性、陸域断層の海への延長の有無、新たな断層の有無、詳細な大阪湾の基盤構造の解明を目指している。

当地域の堆積物の主部をなすのは鮮新-更新統の大阪層群である。上述のように大阪層群には多くの特徴的な海成粘土層や火山灰が挟在されており、地層の対比が容易である。大阪層群の海成粘土層は下からMa-1, Ma 0, Ma 1, ..., Ma 10と名付けられている。大阪市港区で実施された深部ボーリングOD-1では完新統までを含めると、Ma 0からMa 12までの海成粘土層が同定され(例えばIkebe *et al.* (1970)), その後Ma-1が追加された。OD-1は大阪港周辺の標準的な層序を示すものと考えられている。最近行われた東灘の1500 mボーリングでもこれらの海成粘土層がすべて同定されている(衣笠・水野, 1996; 小林ほか, 1996)。また神戸層群が東灘ボーリングでは認められていないため、大阪湾直下には分布していない可能性がある。これらの情報をもとに、ボーリング孔に近接する測線から順次指標となり得る反射面を同定できれば、そのおよその年代を決定することが可能となる。

大阪層群の区分については異なった2つの見解があり(たとえば、藤田・笠間(1983)と市原ほか(1986)との違い)、地質学を専門としない者にとっては混乱の元となる。以下では極力、上・下・最下部層、上・中・下部層群等の区分を使用せず、対比できた海成粘土層の名称を使用して議論するつもりである。区分を使用する必要がある場合は、最近松浦ほか(1997)が大阪湾周辺地質図のデジタル化に際して使用した上部層・中部層・下部層という区分を用いることにする。



第2図 海域測線詳細図。測線名については第1図参照。国土地理院の1/200,000地勢図「京都及大阪」,「和歌山」,「姫路」,「徳島」を使用。

Fig. 2 Detailed map of marine survey lines. As for line names, see the explanation in Fig. 1. Maps: 1/200,000 scale regional maps "Kyoto and Osaka", "Wakayama", "Himeji" and "Tokushima" published by Geographical Survey Institute.

3. 反射法探査測線

大阪湾内の海域測線は以下の6測線である。各測線の第1発震点と最終発震点の座標を第1表に示す。

測線 GS-2 M

芦屋市の陸域および浅海域測線 GS-2 L, GS-2 B(尼崎西宮芦屋港内)に接続する南北測線であり、中間で GS-7 測線と、南端で岩崎ほか(1994)の既存測線 A(OD-A)と交差する。測線長は約 10 km である。測定は南から陸に向かって北上しながら実施した。次節で述べるように、ケーブル深度は通常 10 m であるが、尼崎西宮芦屋港内では水深が浅いためケーブル深度を 6-8 m とした。

測線 GS-5 M

神戸港内から和田岬沖へと続く浅海域測線 GS-5 B に接続する測線である。測線長が約 9 km の南北測線である。北端部で GS-7 と、中間部で GS-11 と交差する。神戸港内での作業は、一般船舶の少ない日曜日のみに制限されたため、測線を分割し 2 日にわたって探査を実施した。測定は南から陸に向かって北上しながら実施した。

測線 GS-7

明石海峡東部から尼崎西宮芦屋港沖に至る WSW-ENE 方向の測線で、測線長は約 24 km である。東端で GS-2 M と、中間部で GS-5 M と交差する。明石海峡付近においても、作業が日曜日のみに限定されたため、

第1表 測線の第1発震点・最終発震点の座標。

Table 1 Coordinates of the first and last shot points for each survey line.

測線名	SP	緯度 (N)	経度 (E)
GS-2M	504	34° 36' 04.65"	135° 18' 37.71"
	910	34° 41' 33.86"	135° 18' 39.27"
GS-5M	158	34° 38' 27.83"	135° 11' 14.44"
	521	34° 33' 33.32"	135° 11' 22.77"
GS-7	1	34° 36' 43.28"	135° 03' 26.85"
	961	34° 39' 14.92"	135° 18' 48.43"
GS-8ME	2020	34° 33' 26.67"	135° 01' 26.91"
	2800	34° 28' 57.97"	135° 12' 59.26"
GS-11	1	34° 36' 21.23"	135° 11' 48.77"
	1401	34° 23' 27.68"	134° 55' 03.87"
GS-12	1	34° 27' 24.08"	134° 57' 51.11"
	1481	34° 07' 20.86"	134° 57' 42.24"

測線を分割し、2日にわたって探査を実施した。測定は西側では西に向かって、東側では東に向かって実施した。航路と平行しているため航行船のノイズがやや大きかった。

測線 GS-8 ME

淡路島北端部をほぼ WNW-ESE 方向に横断する GS-8 測線のうち、淡路島東側の海域部を占める測線である。淡路島東浦町沖から関西国際空港沖へと続く。測線長は約 20 km である。中間部で GS-11 と、東端で測線 OD-A に接続する。測定は沖から淡路島に向かって実施した。

測線 GS-11

淡路島東岸の安乎町沖から神戸市沖に至る NE-SW 方向の測線である。測線長は約 35 km で、GS-5 M, GS-8 ME, GS-12 と交差する。測線長が大きいため、測線を分割し 2 日にわたって探査を実施した。測定は北から南に向かって実施した。

測線 GS-12

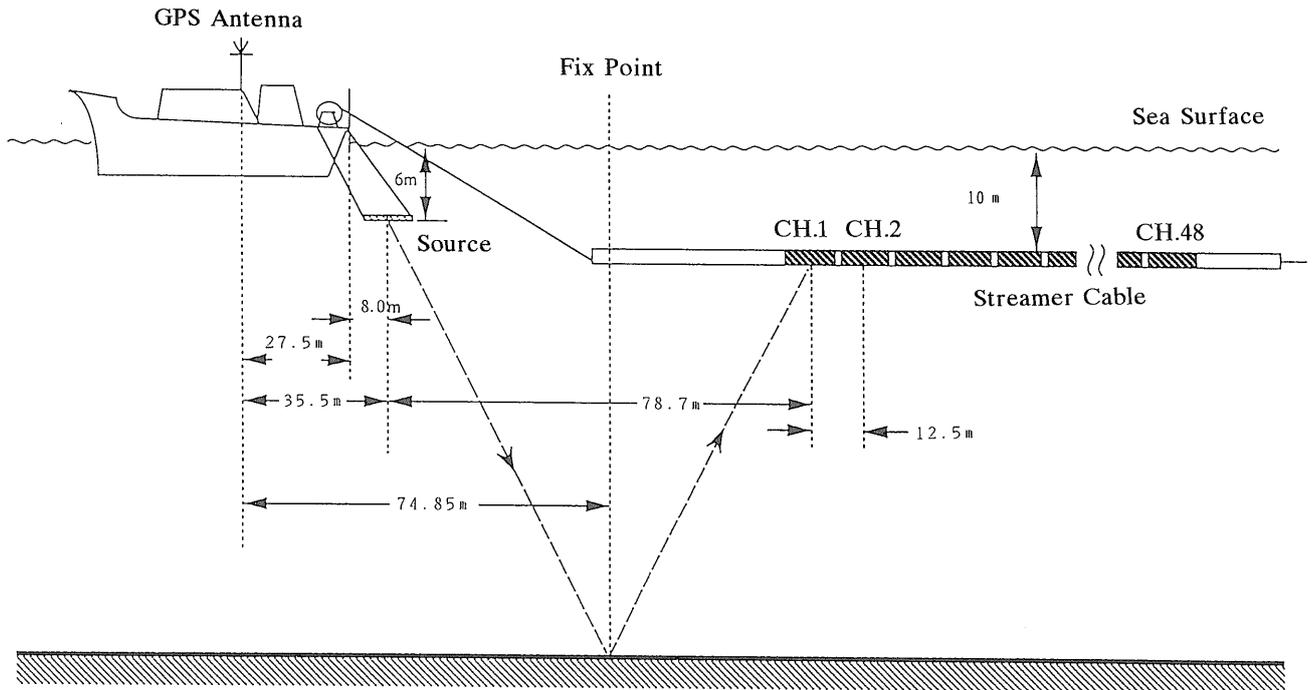
淡路島津名町沖から友ヶ島水道を経て紀伊水道に至る南北測線である。測線長は約 37 km で、北端部で GS-11 と交差する。北端から南に向かって測定を実施したが、友ヶ島水道付近で強い追潮となりケーブル深度が大きくなり過ぎたため作業を中断し、日を改めて測線南端から北に向かって測定を実施した。

4. 探査仕様

エアガンおよびストリーマーカーケーブルを船尾から曳航しながらデータ取得を実施した。エアガンは約 25 m ごとに発震し、ストリーマーカーケーブルには 12.5 m 間隔のものを 48 チャンネル分使用した。データは船上に装備したデジタル探鉱器で記録した。エアガンは深度 6 m に、ストリーマーカーケーブルは平均 10 m の深度で曳航した。測定ジオメトリを第 3 図に示す。深部構造を対象とするためにはできうる限り長大なストリーマーカーケーブルを使用することが望ましい。しかし本地域は日本でも有数の船舶の往来の激しいところであり、ケーブル長は約 700 m に制限された。

本探査での位置決定には、陸上に基点を設けたディファレンシャル GPS 電波測位システムを使用した。船上で受信した GPS 測地情報を基点から無線で送られるデータにより補正し、リアルタイムで正確な船位を決め、これにより観測船の誘導を行うとともにエアガン発震位置(以下 SP と記す)を決定した。基点は淡路島の東浦と六甲の摩耶山においた。また探査にあたって、通常 4 隻の警戒船を配置したが、明石海峡付近では警戒船を 5 隻とした。第 1, 2 図および第 1 表の発震点位置は実際のエアガンの位置に補正してある。

以下に各測線の探査仕様の詳細を列挙する。



第3図 海域反射法探査のジオメトリ。
Fig. 3 Geometry of marine seismic surveys.

[震源]

エアガン容量	500+200 in ³ [GI type] (約 11 リットル; 1.1×10 ⁻² m ³)
エアガン圧力	1800 psi (約120気圧; 1.2×10 ⁷ Pa)
発震深度	6 m
発震点間隔	25 m
発震点数	407: GS-2 M (SP. 504-910) 397: GS-5 M (SP. 158-521) 981: GS-7 (SP. 1-961) 781: GS-8 ME (SP. 2020-2800) 1421: GS-11 (SP. 1-1401) 1798: GS-12 (SP. 1-1481)

(実際の発震点数が SP 数よりも多いのは、「反射法探査測線」の項に述べた分割測線を接合するため、重複して発震したからである。)

[受振ケーブル]

チャンネル数	48
受振器間隔	12.5 m
ケーブル深度	10 m: 標準 6 m: GS-2 M (SP. 830-910) 8 m: GS-2 M (SP. 504-829)
ケーブル長	600 m

[レコーディング]

探鉱機	DFS-V システム
フォーマット	SEG-B

サンプリング間隔	2.0 ms
記録長	8.0 sec
標準重合数	24
極性	compression positive
ゲインモード	IFP
プリアンプゲイン	36 dB
フィルター	ローカット: 8 Hz/18 dB/oct ハイカット: 128 Hz/70 dB/oct

5. 反射法データ処理

海域データの処理は第4図に示されるような流れに従って実施した。以下に各処理について述べる。

(1) データ編集

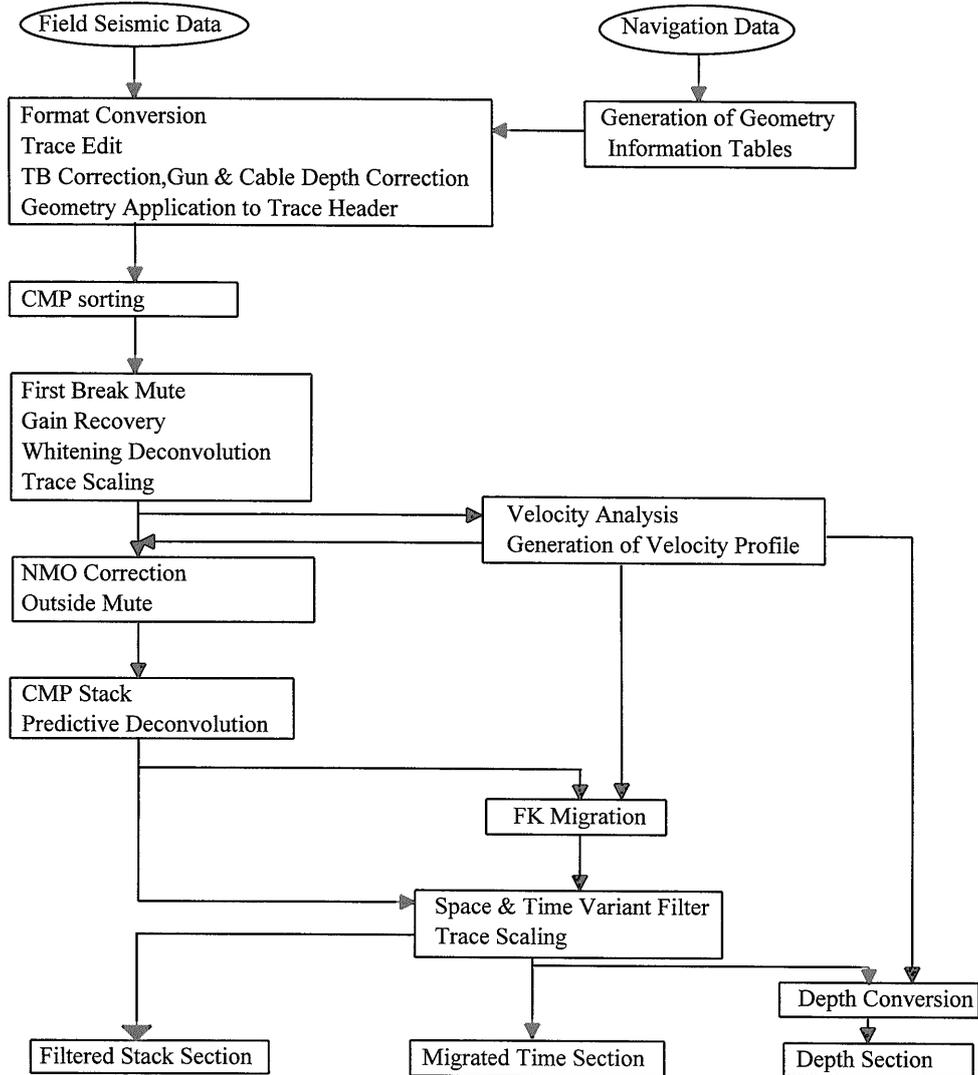
同一時間で編集されたマルチプレックスフォーマット (SEG-B) からトレース単位の SEG-Y フォーマットへの変換を行なった。さらに、原データはコンプレッションがポジティブで記録されているため正負の極性を反転させた。

(2) TB 補正, エアガン深度補正およびケーブル深度補正

探鉱機のタイムブレイク (TB) は発震時刻より 15 ms 早くなっているため、発震時間の補正として -15 ms を適用した。さらに、エアガン深度 (6 m) とケーブル深度 (約 10 m) の補正として +11 ms を適用した。

(3) CMP 編集

測定配置図および測量データをもとに CMP 編集を実



第4図 海域反射法データ処理フロー。
Fig. 4 Data processing flow for marine seismic data.

施した。CMP間隔は12.5 mとした。標準重合数は24重合である。分割して実施したGS-5 M, 7, 11, 12測線はCMP編集時に1本の測線に編集した。

(4) 振幅回復

幾何減衰を補償するために、以下の指数関数 $G(t)$ を適用した。係数 α, β, γ, N は振幅減衰解析結果をもとに決定した。

$$\log G(t) = \log(\alpha t^N + \gamma) - 20(t^N + \beta)$$

(5) デコンボリューション

テストの結果オペレーター長 340 ms, ウィンドー長 3000 ms のホワイトニングデコンボリューションを実施した。

(6) 振幅調整

ウィンドー長 800 ms の AGC により振幅を調整した。

(7) 速度解析

定速度重合法により速度解析を行ない、測線ごとに速

度プロファイルを作成した。解析は標準 1 km 間隔で実施し、構造変化の大きい部分で解析を追加した。速度解析の結果は Appendix に示されている。

(8) NMO 補正およびミュート

上記速度解析により求めた速度関数を用いて NMO 補正を実施した。その後、初動付近の波形歪の大きな部分をミュートにより除去した。

(9) CMP 重合

標準 24 重合の CMP 重合を行なった。

(10) 重合後デコンボリューション

重合後のデータにオペレーター長 400 ms, ウィンドー長 3000 ms, 予測距離 12 ms のプレディクティブ・デコンボリューションを実施した。

(11) FK マイグレーション

周波数-波数領域での時間マイグレーションを実施した。マイグレーション速度は速度解析結果を水平方向に

平滑化したものを使用した。実際に使用したマイグレーション速度はテストの結果、この速度値を90%にしたものを使用した。

(12) バンドパスフィルター

CMP 重合後およびFK マイグレーション後のそれぞれの記録に対し、オペレーター長280 msecで、4-70 Hz, 4-60 Hz, 4-50 Hz, 4-40 Hzという4種類の周波数レンジのバンドパスフィルターを、時間が大きくなるにつれて狭帯域になるようにして適用した。各フィルターの境界は構造変化に対応させながら水平方向にも変化させた。基盤付近で4-50 Hzのバンドパスフィルターを適用した。

(13) 深度変換

時間マイグレーション後の記録に対し、マイグレーション速度(速度解析結果を水平方向に平滑化した速度)を用いて深度に変換した。

6. 反射法データ処理結果のおもな特徴と解釈

本探査では、前述のようにケーブル長約700 mという短いストリーマーを使用しているため、基盤などのように比較的深い部分では一般に反射波と多重反射波の分離がむずかしく、断面上で多重反射波が顕著な部分もある。海水面と海底間からの多重反射波に代表される比較的短周期のものは、かなりの部分が重合後のデコンボリューションによって除去され、大阪層群中の層界面や不整合面および基盤境界が明瞭に識別できるようになった。

P波速度について見ると、浅部から深部に向かって1.6 km/sから徐々に増加し、基盤面直上で、深度にもよるが、2.5-3.5 km/s程度を示し、典型的な大阪層群の速度分布を示していると考えられる(鳥海ほか, 1990; 香川ほか, 1990)。基盤岩の速度は反射法では一般に求めることができないが、爆破地震等の情報を参考にしてここでは4.5-5.0 km/sを仮定している。

各測線とも基盤上位の堆積層の分布と断層およびそれに伴う撓曲等が明瞭に分かる。基盤の判定は、

- 1) 強振幅で、5-20 Hzの低周波成分が卓越し、10-40 Hzの周波数成分を持つ上位の大阪層群の反射波ときわだった違いがあること。
- 2) 上位の成層構造を持つ堆積層が起伏のある基盤境界を反映した反射面に対しアバットしていること。
- 3) 上位の堆積層が比較的平坦な基盤反射面に対しダウンラップしていること。

などにより、探査域のほぼ全域で可能である。

また東灘で掘削された1500 mボーリングの結果ならびにそこで実施されたVSP、反射法探査(衣笠・水野, 1996; 小林ほか, 1996)と本反射法探査結果との対比も行った。第1図に見られるように、関係諸機関の海域部

測線はすべてどこかで交差するように設定されているため、東灘ボーリングと接続されているGS-NP測線を介して、すべての測線において特徴的な反射面を追跡することができる。大阪層群の海成粘土層のうち、Ma-1, Ma 3, Ma 6, Ma 10はその直下に振幅の大きい反射面が存在していることにより、各測線にわたって追跡可能であった(横倉ほか, 1998)。

上記の処理結果のうち時間マイグレーション断面、深度断面、解釈図を以下に示す。時間断面は縦横比がほぼ2対1となるように表示した(正確には速度が2.5 km/sのときに2対1となる)。深度断面は縦横比が2対1となるように表示した。

以下の議論では、「逆断層」という言葉を多用している。当地域は東西圧縮応力により形成された様々な走向を有する断層が存在しており、ほとんどが横ずれおよび縦ずれの両方の成分を有している。2次元反射法からは横ずれ成分の議論はできないため、以下では断面上に見えるままの「逆断層」という言葉を便宜上使用する。しかし実態は、野島断層で見られたように、横ずれ成分が卓越する断層が多いものと考えられる。

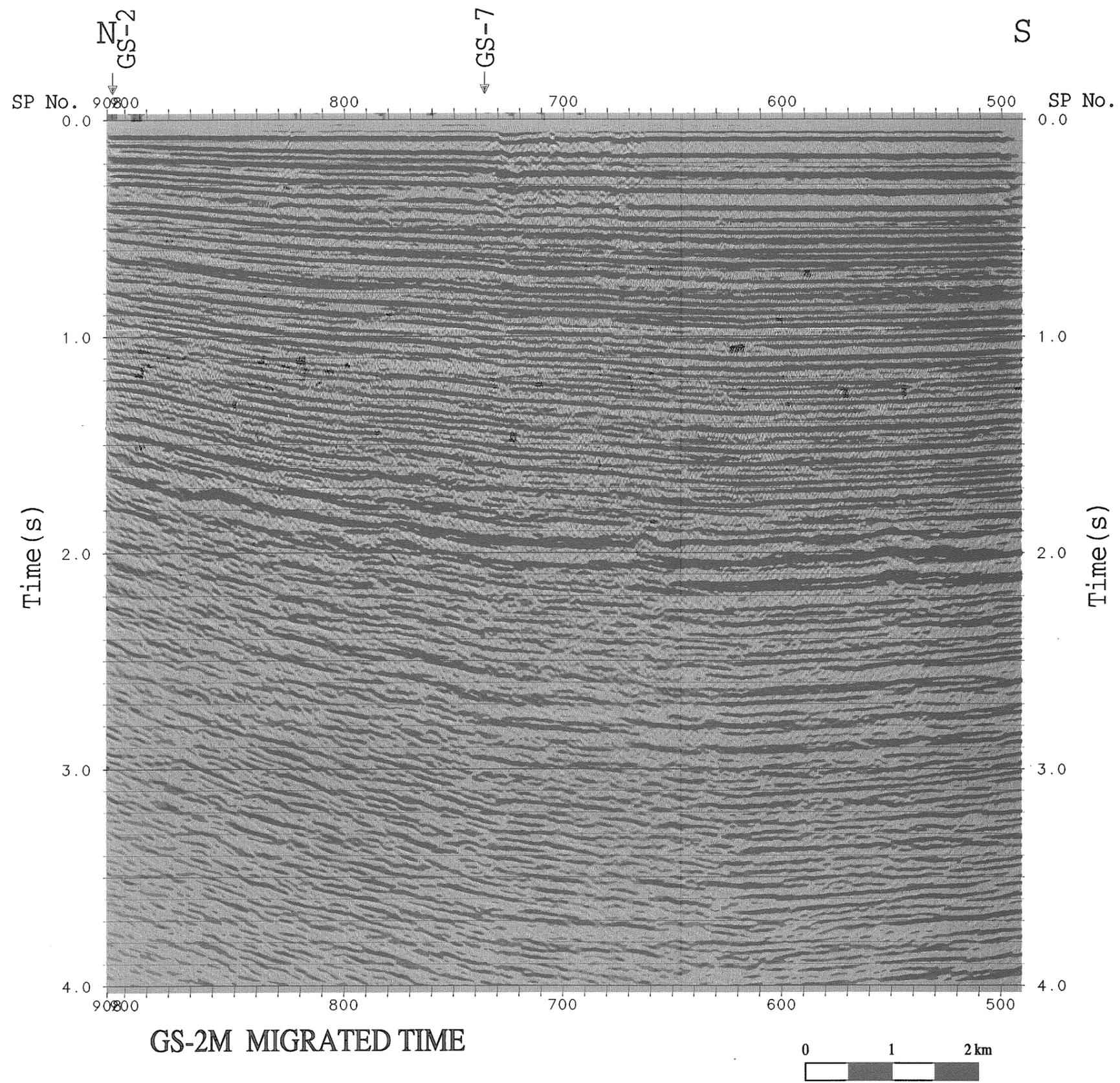
測線GS-2 M

GS-2 Mの時間マイグレーション断面と深度断面をそれぞれ第5図(a)と第6図(a)に示す。基盤は陸域-浅海域測線GS-2(横倉ほか, 1996 b, 1998)から緩やかに深くなり、およそ2.0秒(約2200 m)まで達する。その上位の大阪層群も緩やかに層厚を増していく。この間のSP. 780とSP. 660付近の基盤に小さな逆断層が存在し、直上の堆積層にゆるい撓曲構造を引き起こしているが、それ以外に顕著な断層は存在しない。Ma 10は北端の約0.2秒(約160 m)から南端の約0.35秒(約260 m)へと緩やかに層厚を増す。同様にMa 6, Ma 3, Ma-1もそれぞれ0.4秒(320 m)から0.55秒(450 m)付近へ、0.55秒(470 m)から0.7秒(610 m)付近へ、0.8秒(690 m)から0.95秒(860 m)付近へと層厚を増す。解釈図を第7図(a)に示す。

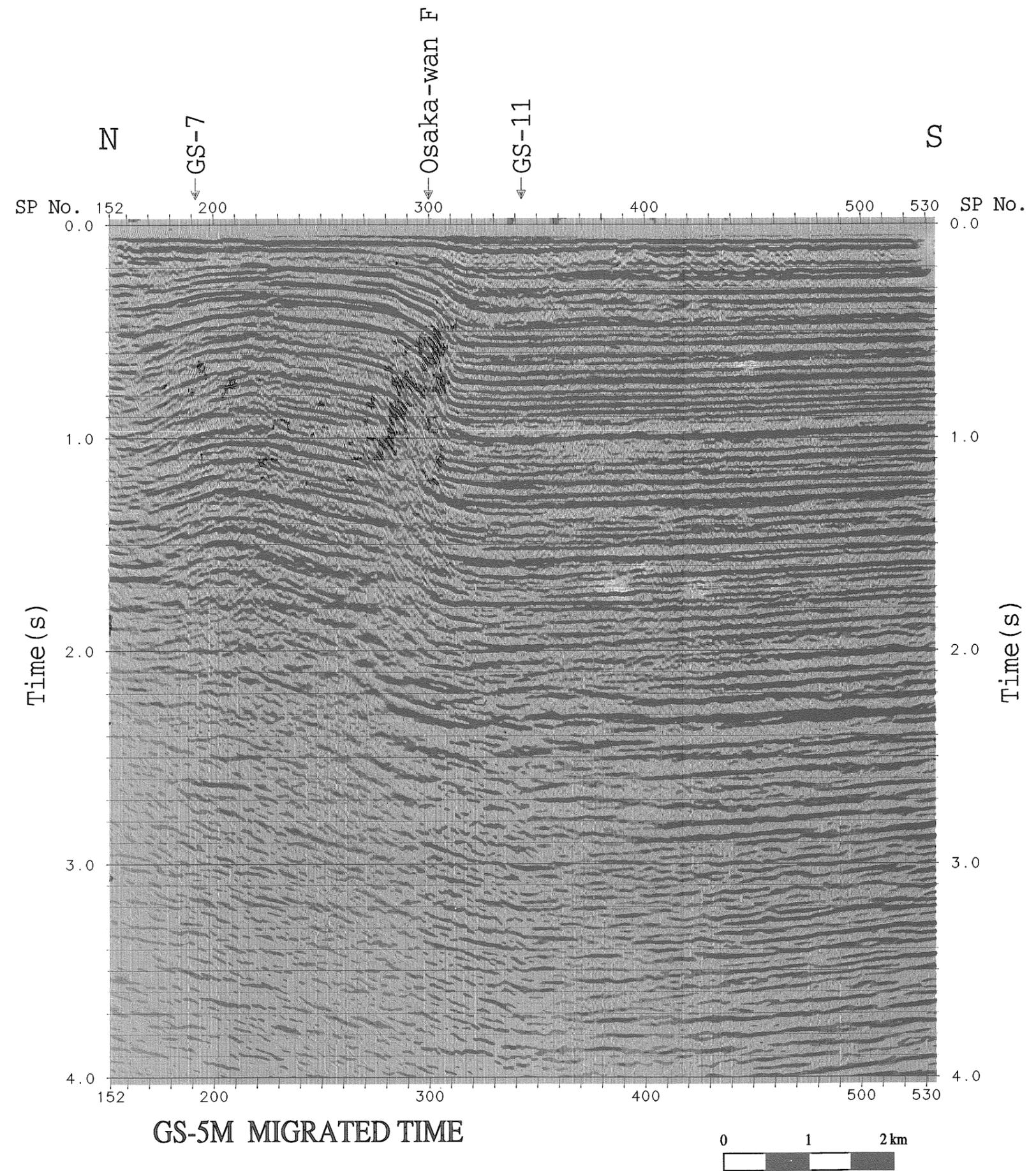
測線GS-5 M

GS-5 Mの時間マイグレーション断面と深度断面をそれぞれ第5図(b)と第6図(b)に示す。この測線で最も顕著なものは、SP. 280-310の逆断層である。これは大阪湾断層の延長であると考えられる。落差は往復走時で約0.6 s(約1 km程度に相当)である。測線GS-5 MとGS-7の交点付近(SP. 220)に基盤の盛り上がりが存在する。南半部でMa 10, Ma 6, Ma 3, Ma-1, 基盤はそれぞれ約0.45秒(380 m), 0.7秒(600 m), 0.9秒(800 m), 1.2秒(1120 m), 2.3秒(2700 m)付近に存在する。大阪湾断層以北の基盤盛り上がり部では浅くなりそれぞれ0.2秒, 0.3秒, 0.45秒, 0.55秒, 1.5秒付近に存在する。解釈図を第7図(b)に示す。

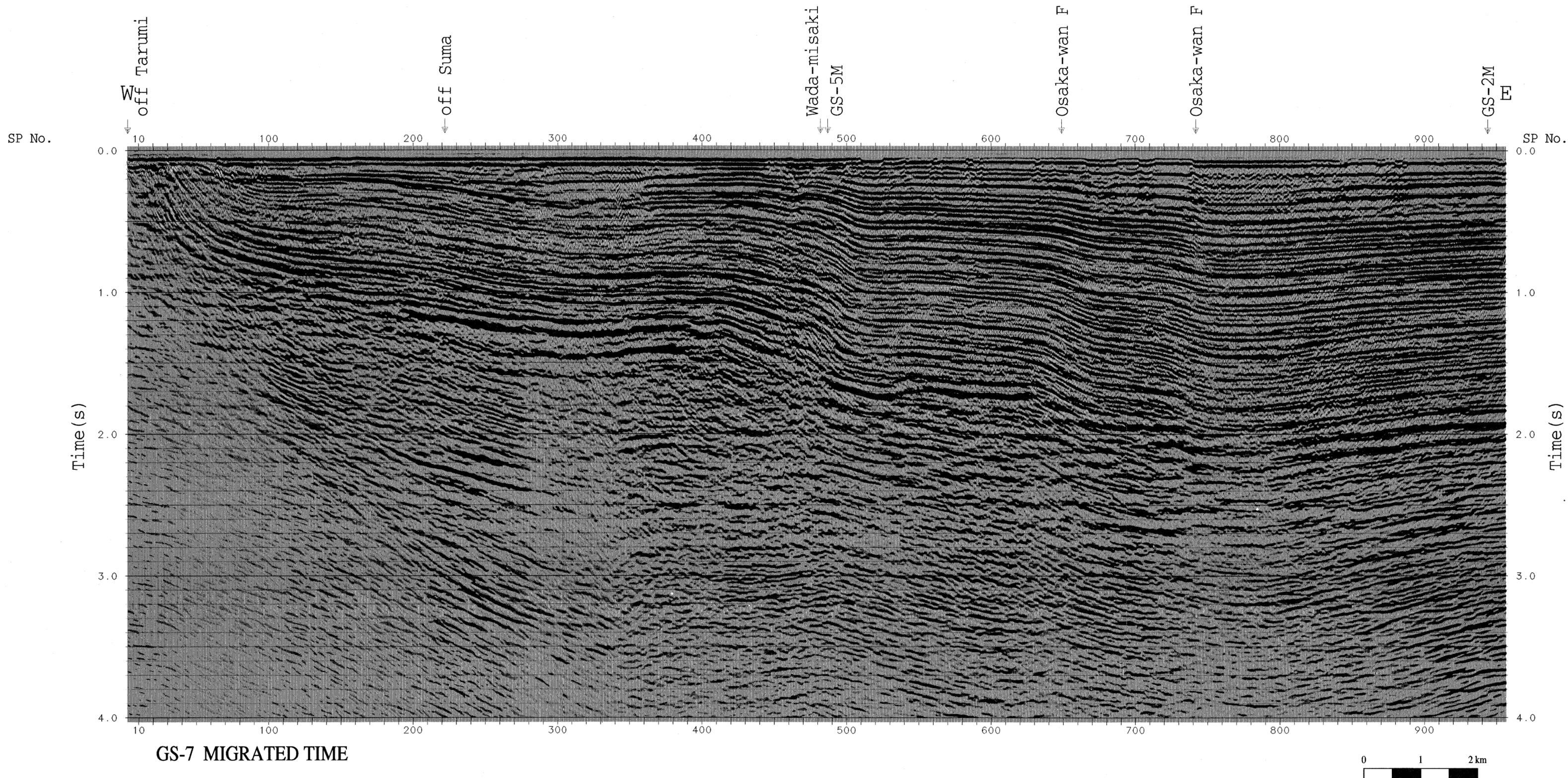
測線GS-7



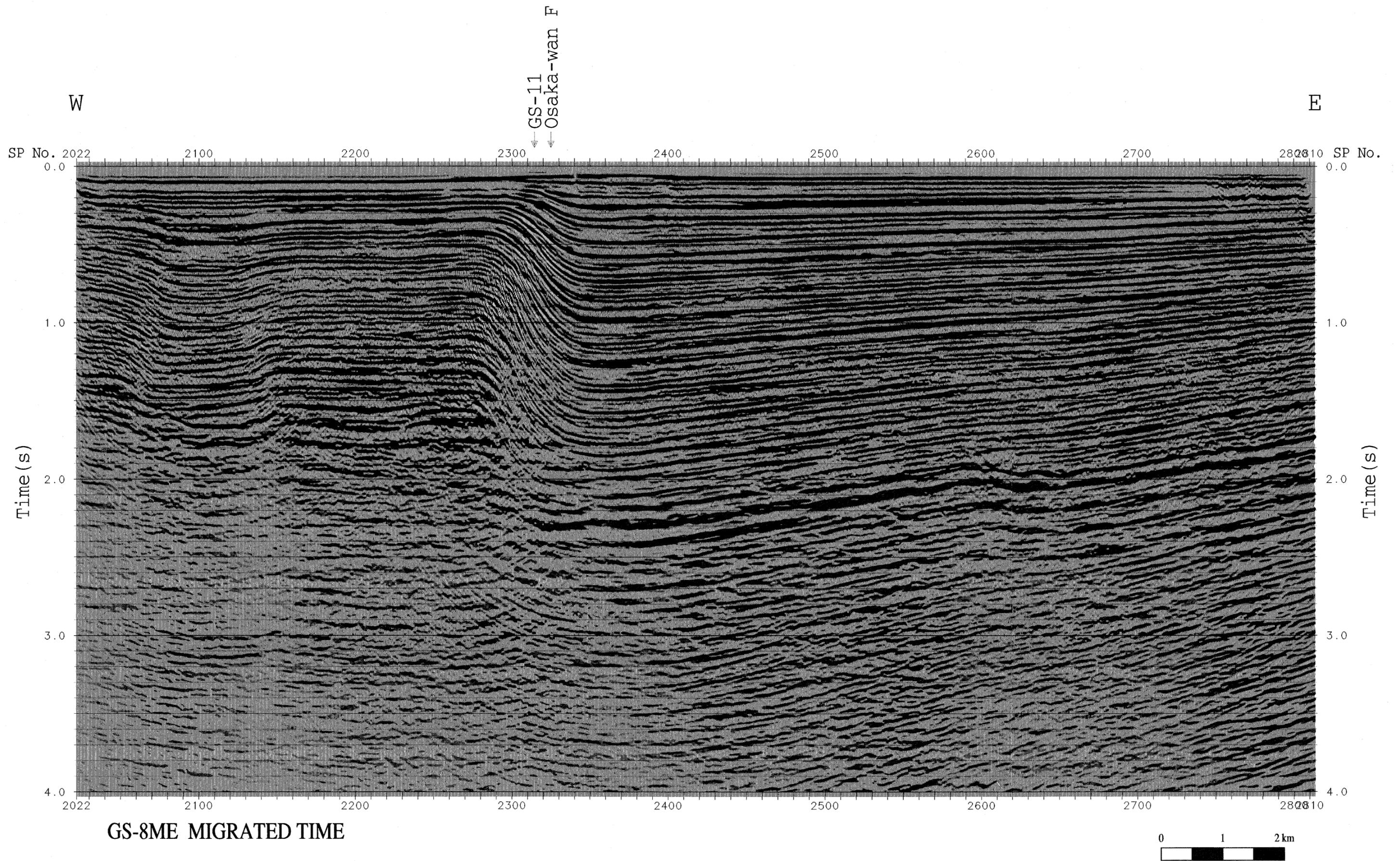
第5図 (a) 時間マイグレーション断面. 測線 GS-2 M.
 Fig. 5 (a) Time sections after migration. line GS-2M.



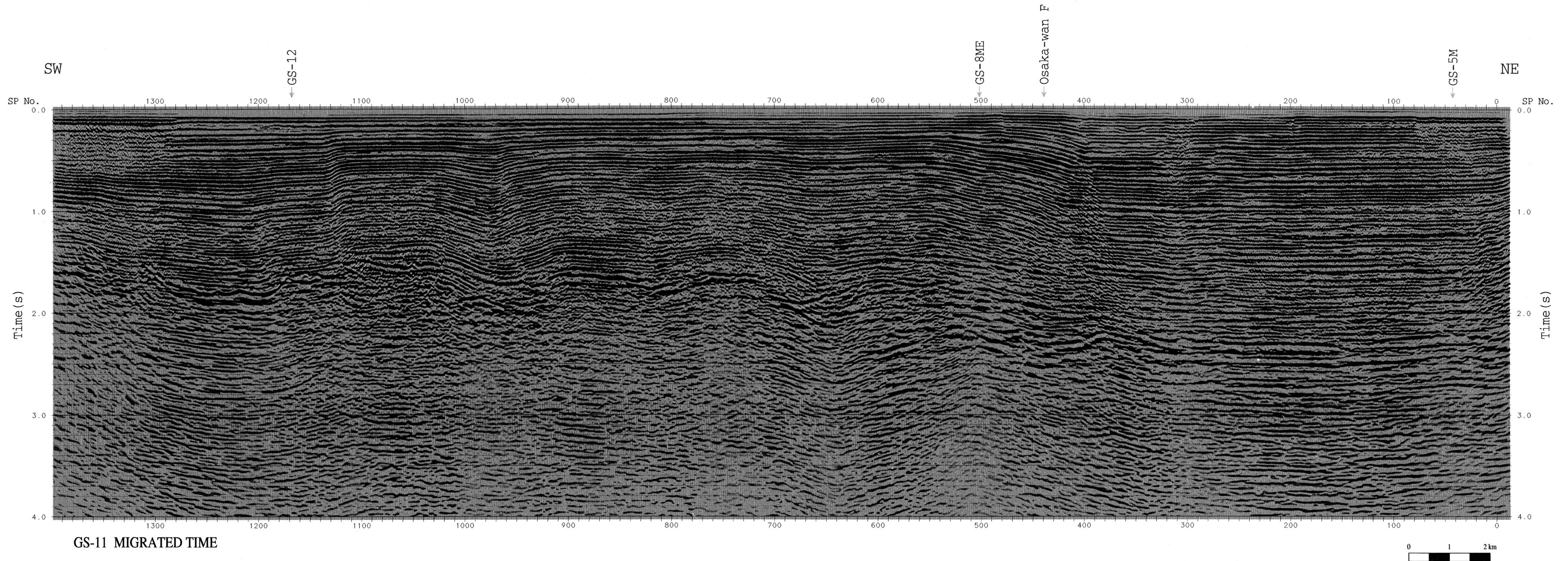
第5図 (b) 時間マイグレーション断面。測線GS-5M。
 Fig. 5 (b) Time sections after migration. line GS-5M.



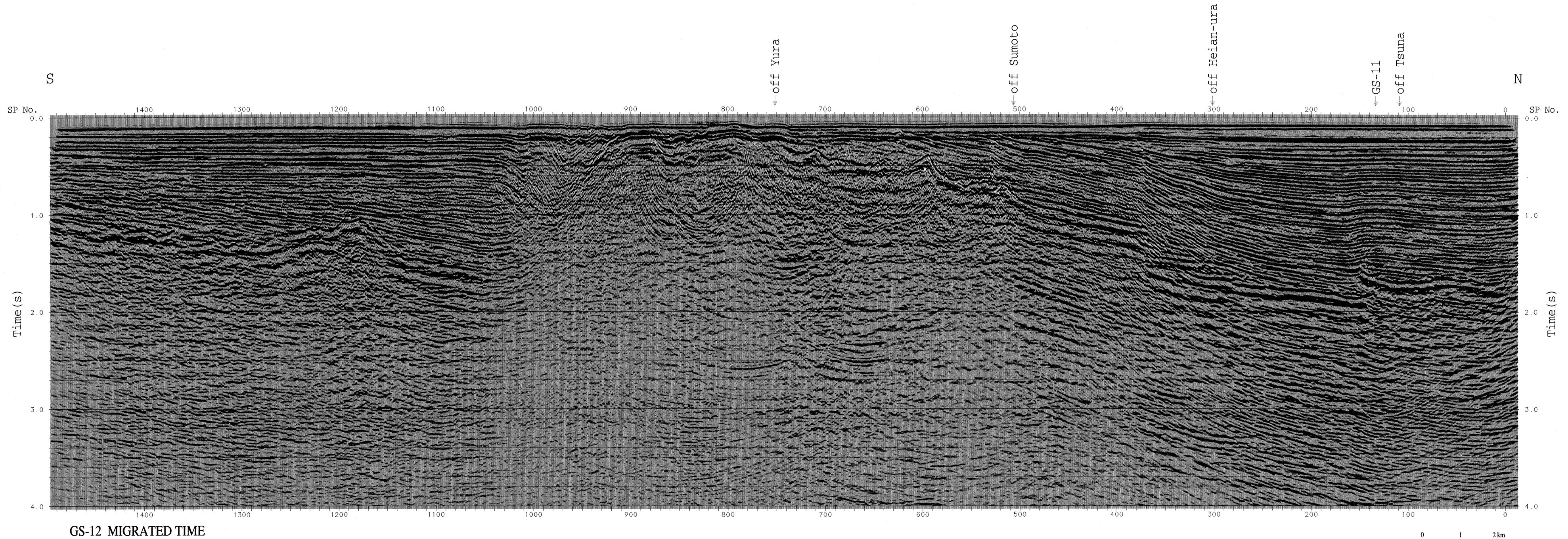
第5図 (c) 時間マイグレーション断面, 測線GS-7.
 Fig. 5 (c) Time sections after migration. line GS-7.



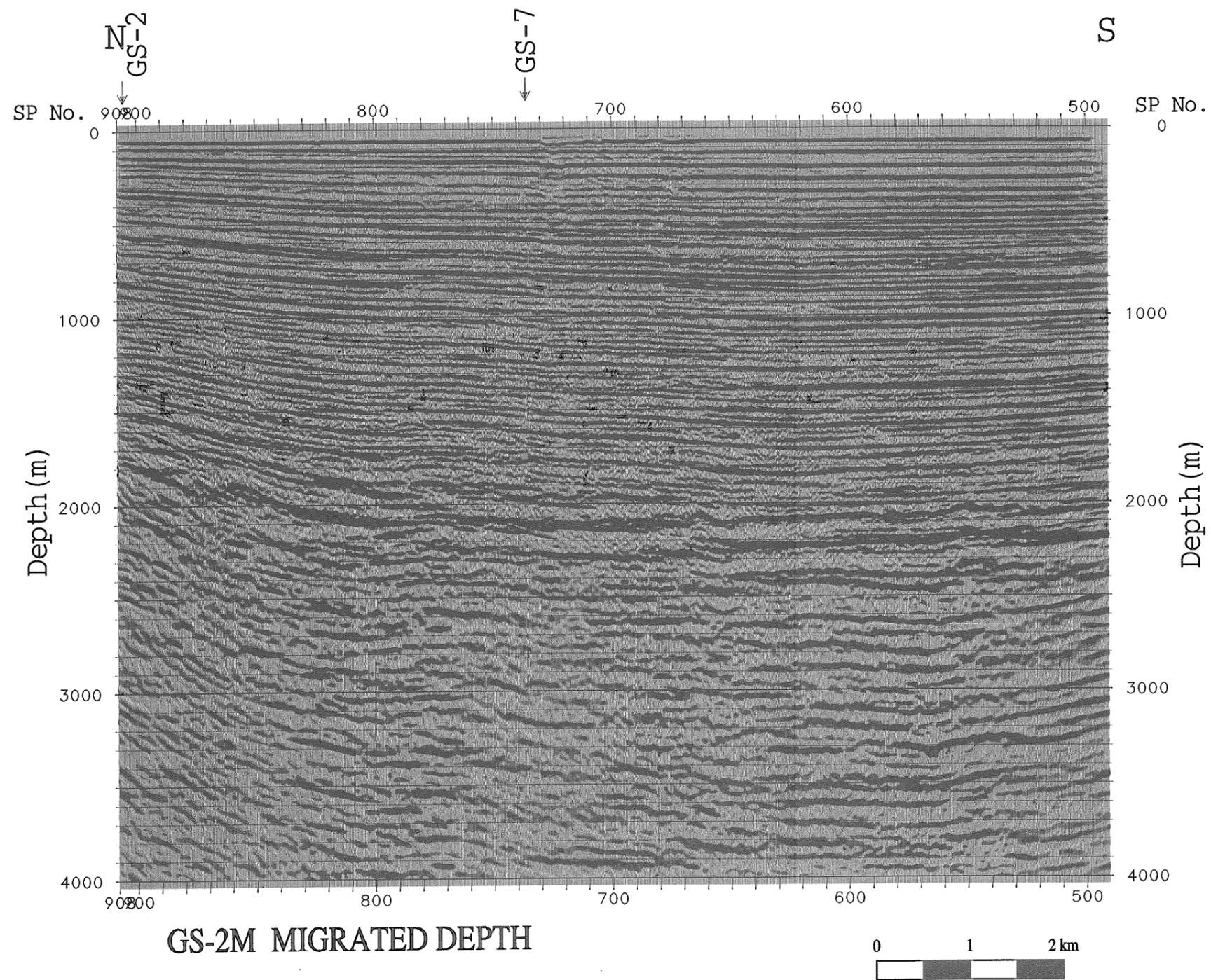
第5図 (d) 時間マイグレーション断面. 測線GS-8 ME.
 Fig. 5 (d) Time sections after migration. line GS-8ME.



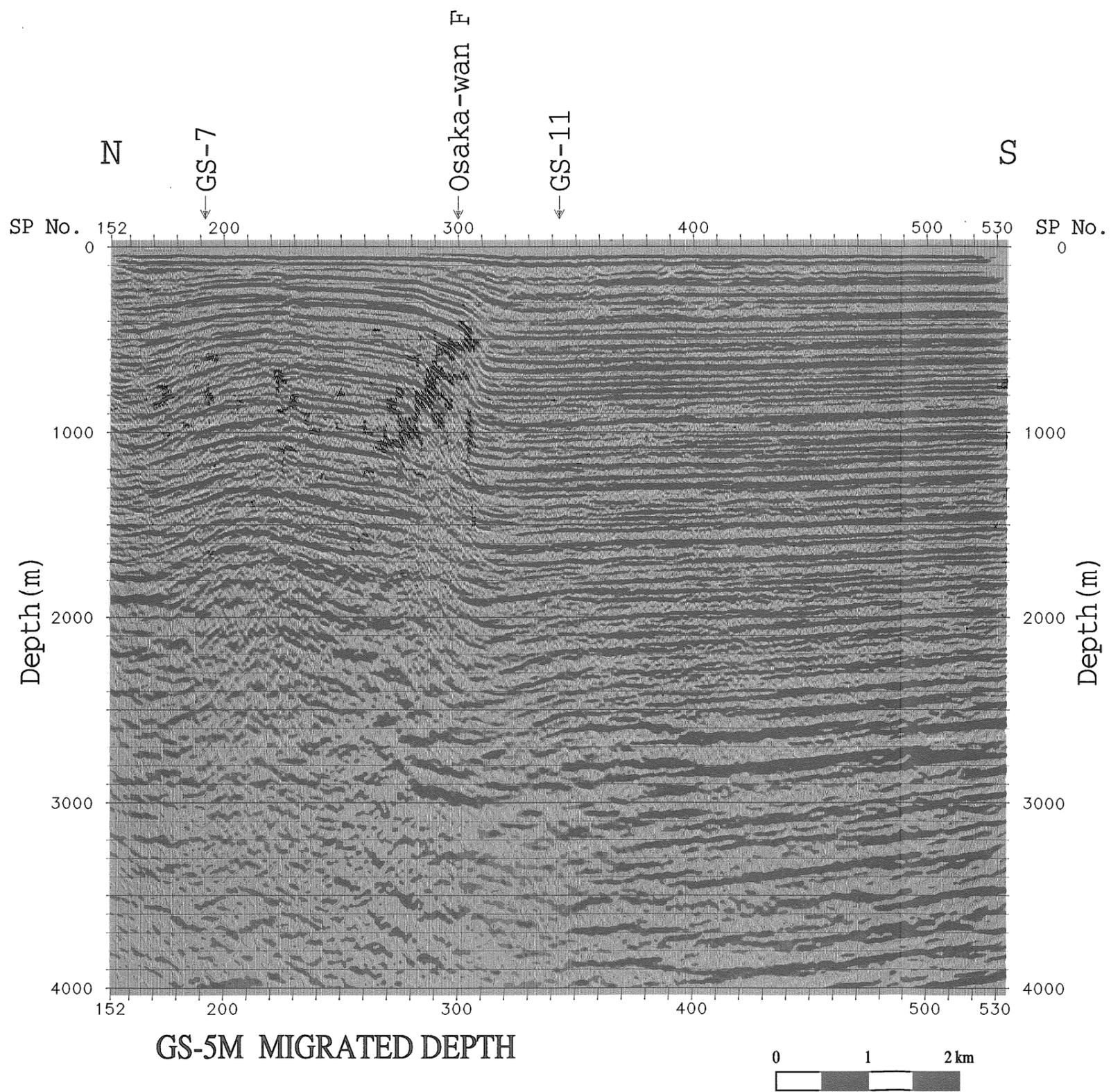
第5図 (e) 時間マイグレーション断面、測線GS-11。
 Fig. 5 (e) Time sections after migration. line GS-11.



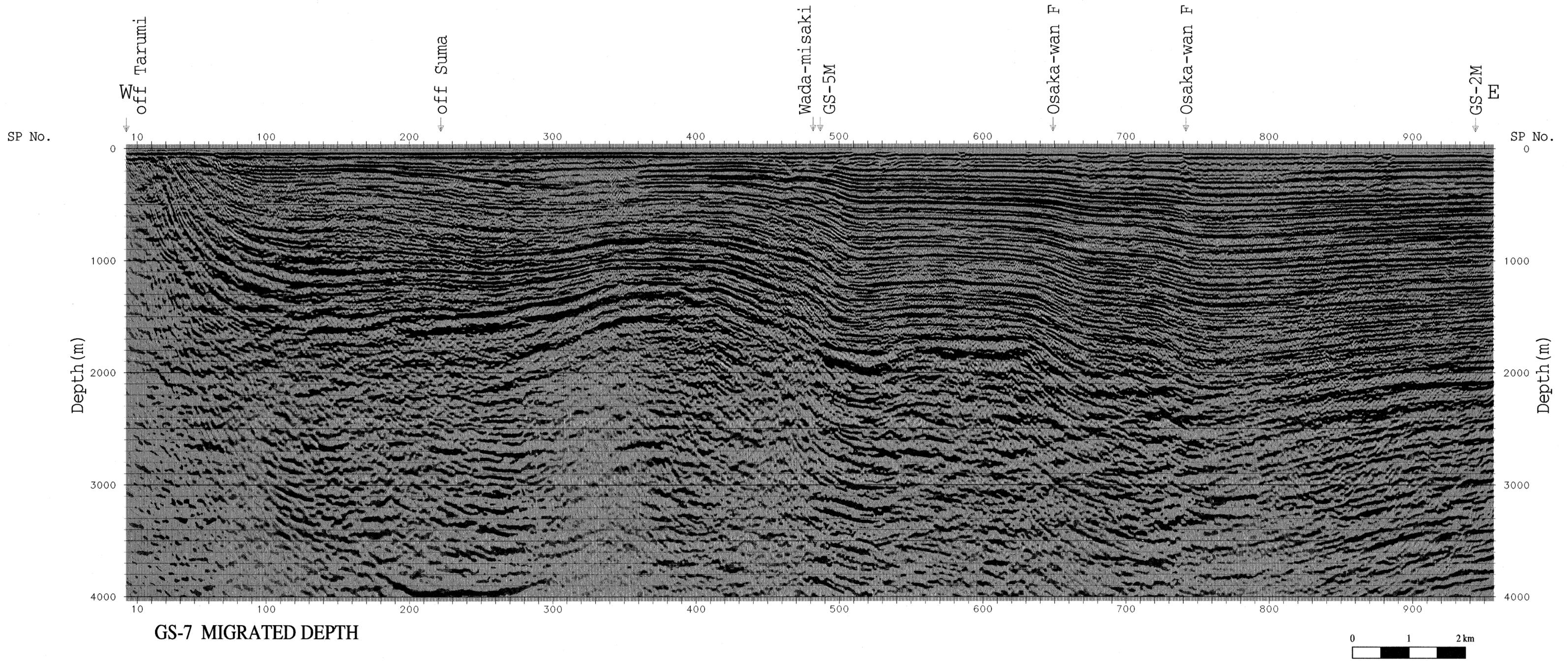
第5図 (f) 時間マイグレーション断面. 測線GS-12.
 Fig. 5 (f) Time sections after migration. line GS-12.



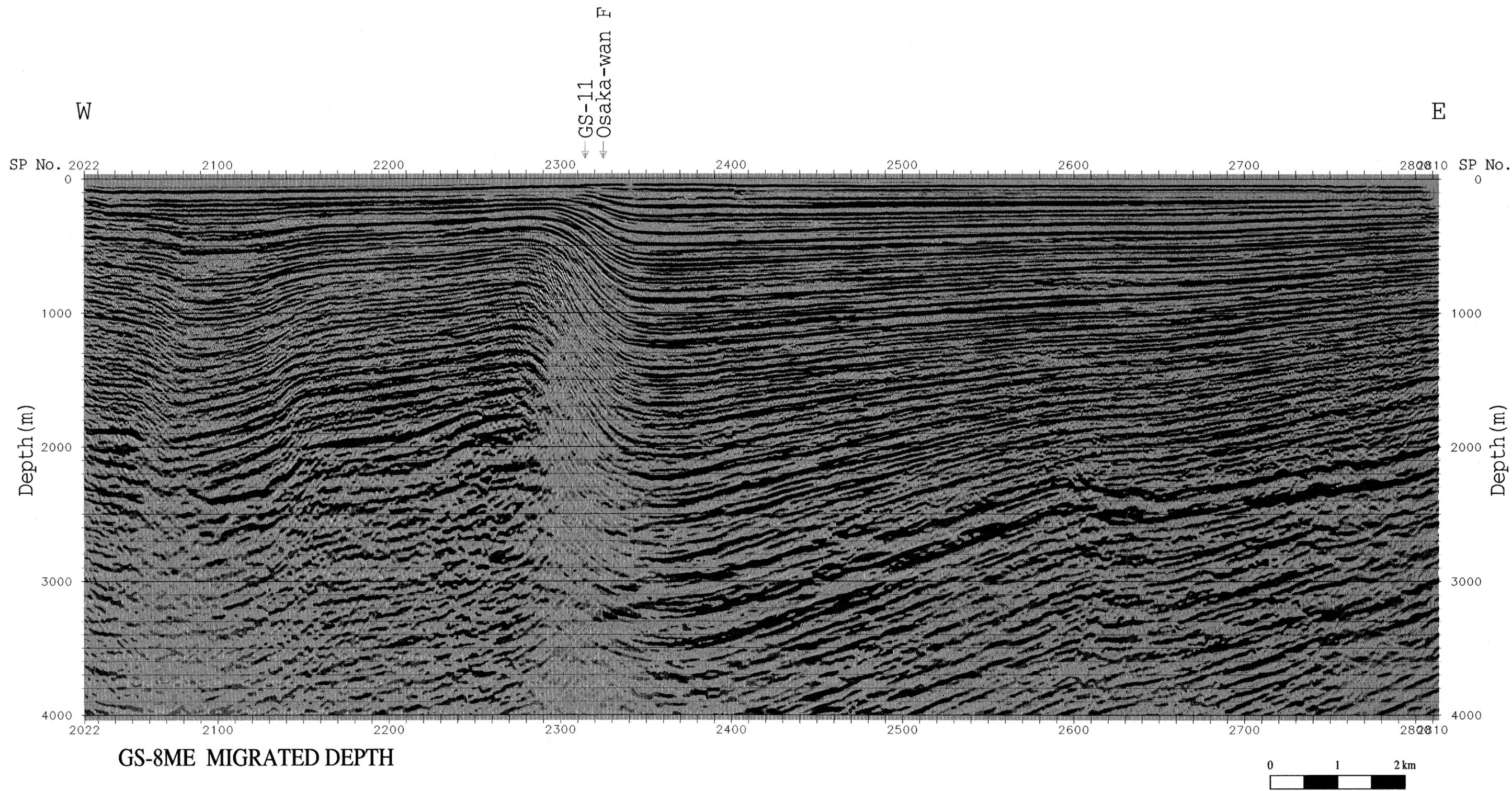
第6図 (a) 深度断面。測線GS-2M。
 Fig. 6 (a) Depth sections. line GS-2M.



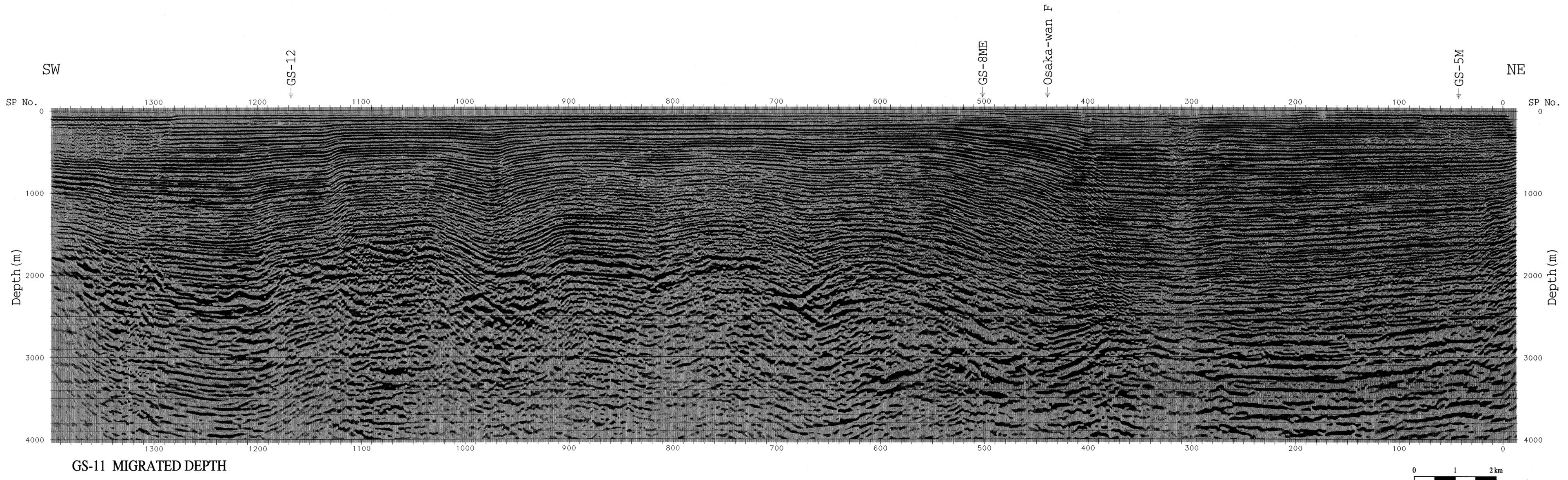
第6図 (b) 深度断面. 測線 GS-5 M.
 Fig. 6 (b) Depth sections. line GS-5M.



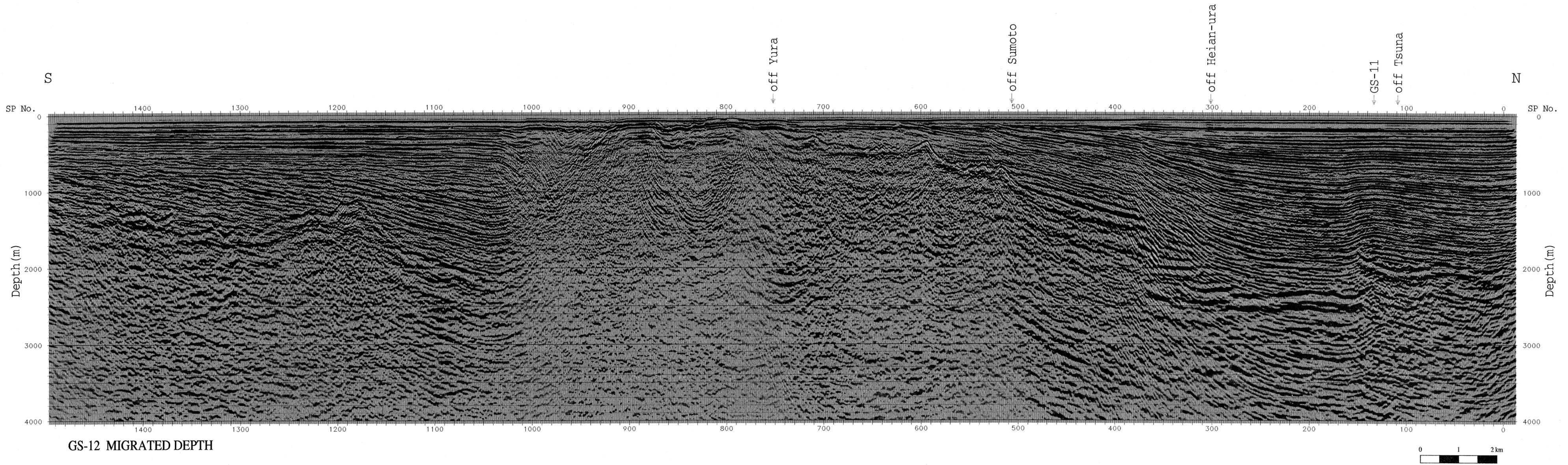
第6図 (c) 深度断面, 測線GS-7.
 Fig. 6 (c) Depth sections, line GS-7.



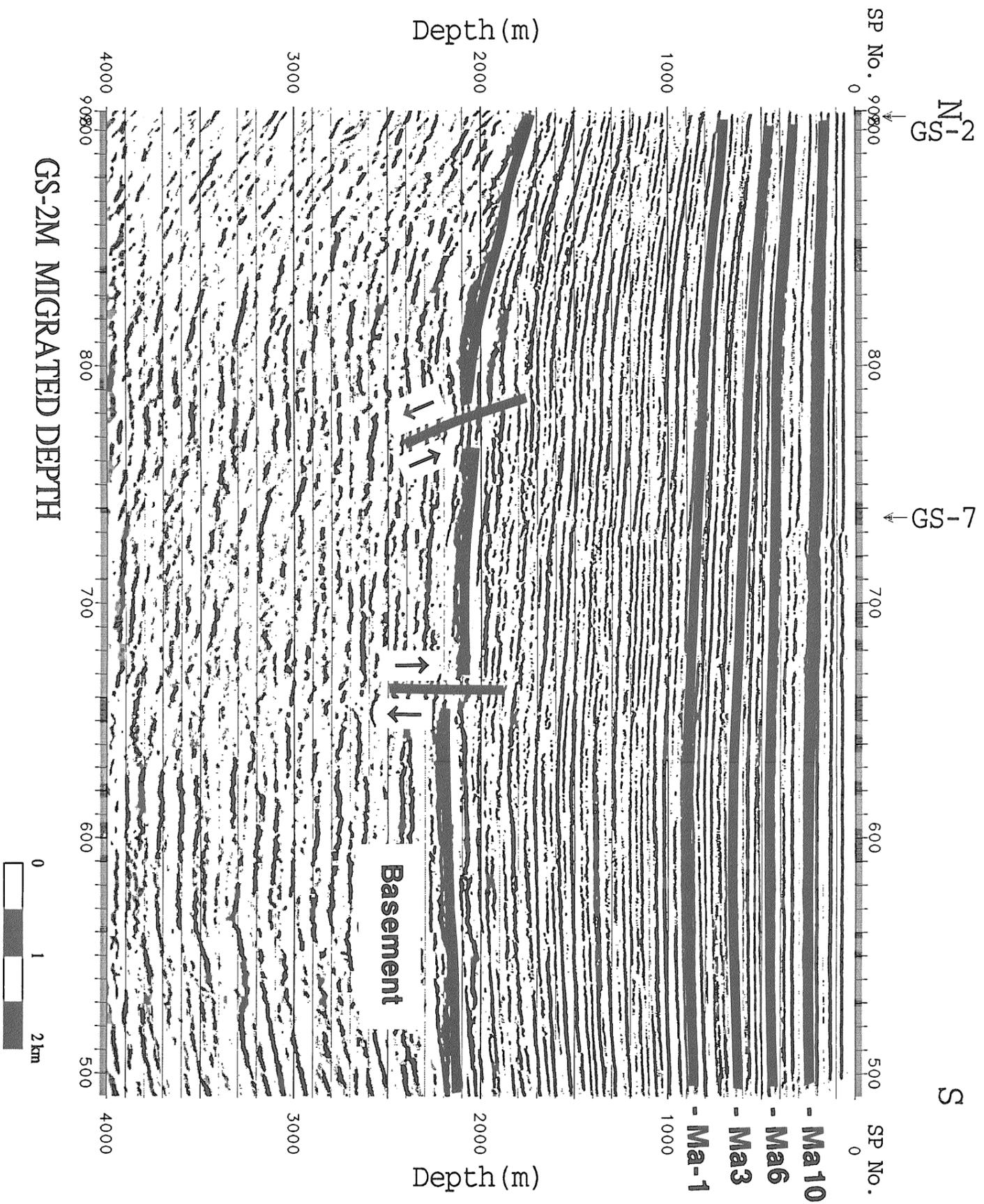
第6図 (d) 深度断面. 測線 GS-8 ME.
Fig. 6 (d) Depth sections. line GS-8ME.



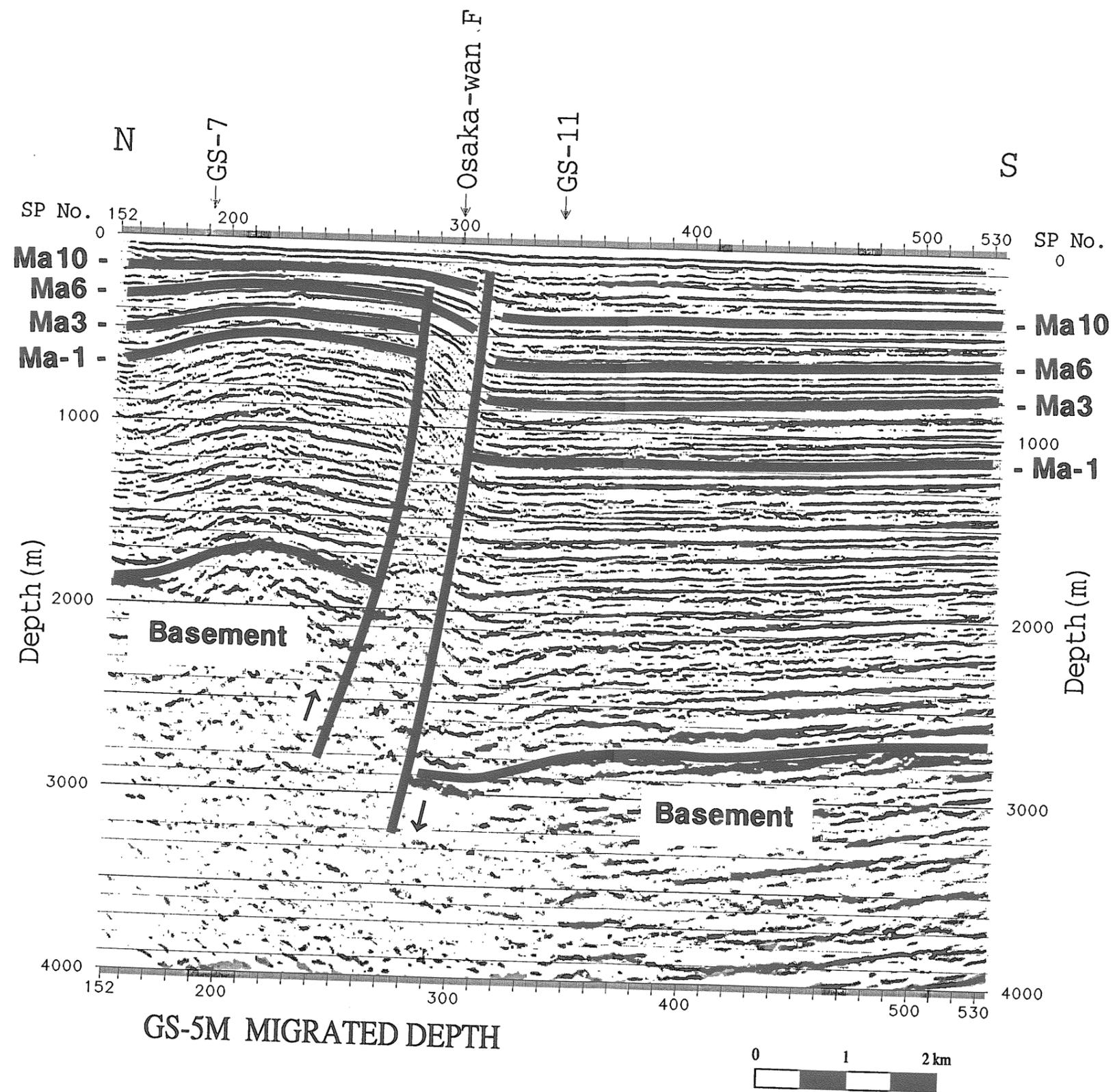
第6図 (e) 深度断面. 測線GS-11.
 Fig. 6 (e) Depth sections. line GS-11.



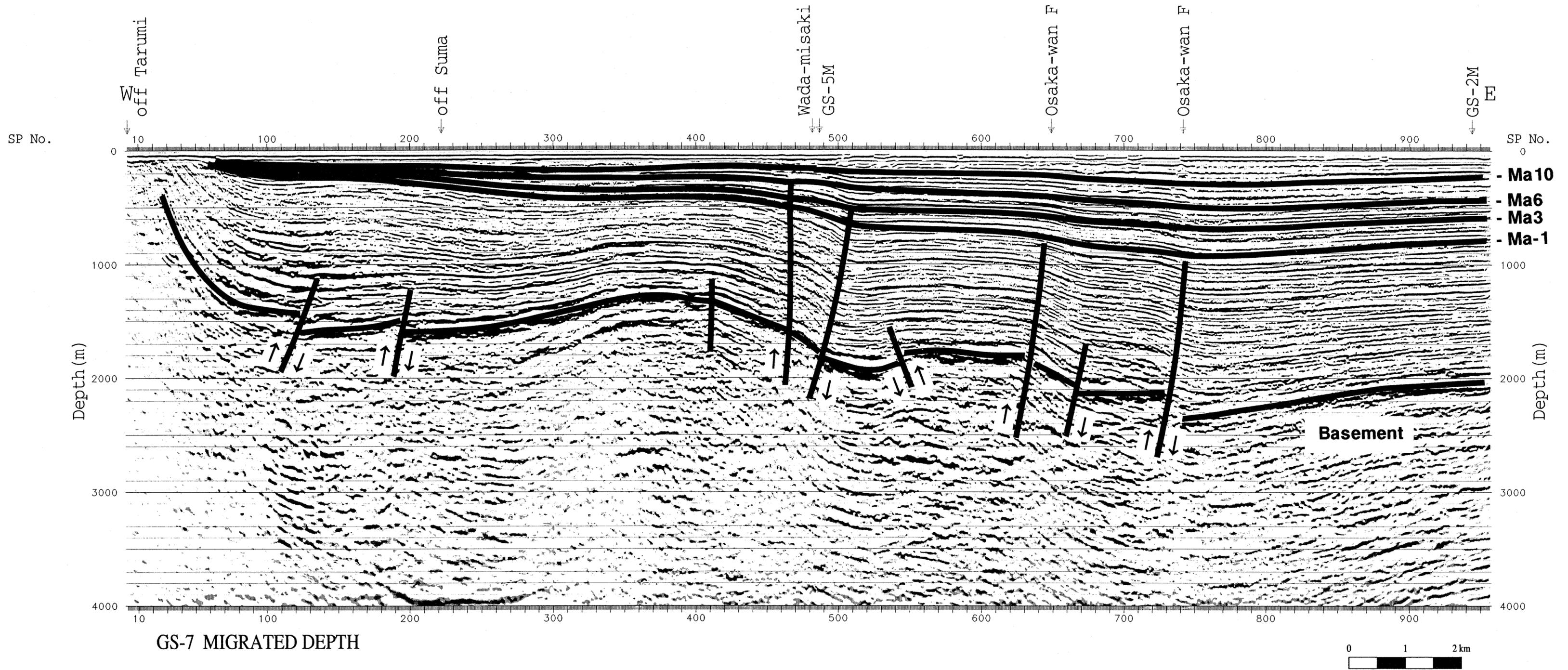
第6図 (f) 深度断面. 測線GS-12.
 Fig. 6 (f) Depth sections. line GS-12.



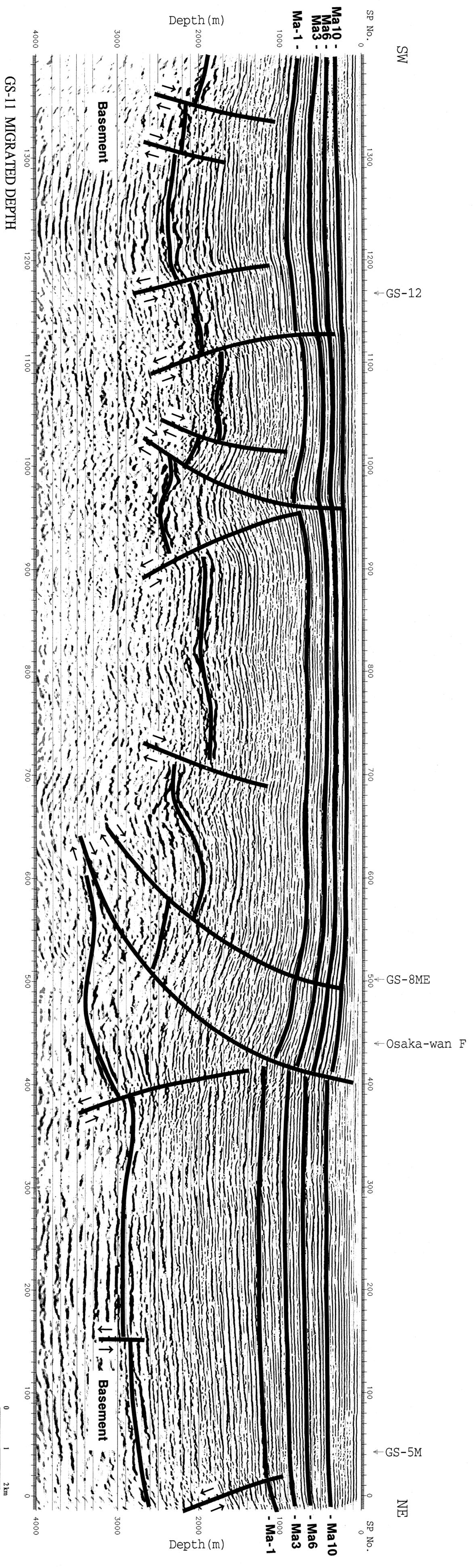
第7図 (a) 解釈図(深度断面). 断層, 基盤, 大阪層群の海成粘土層 Ma-1, Ma 3, Ma 6, Ma 10 などを示した. 湖線 GS-2 M.
 Fig. 7 (a) Interpretation results for depth sections. Faults, basement, marine clay beds Ma-1, Ma3, Ma6, Ma10 in the Osaka Group, and so on, are shown. line GS-2M.



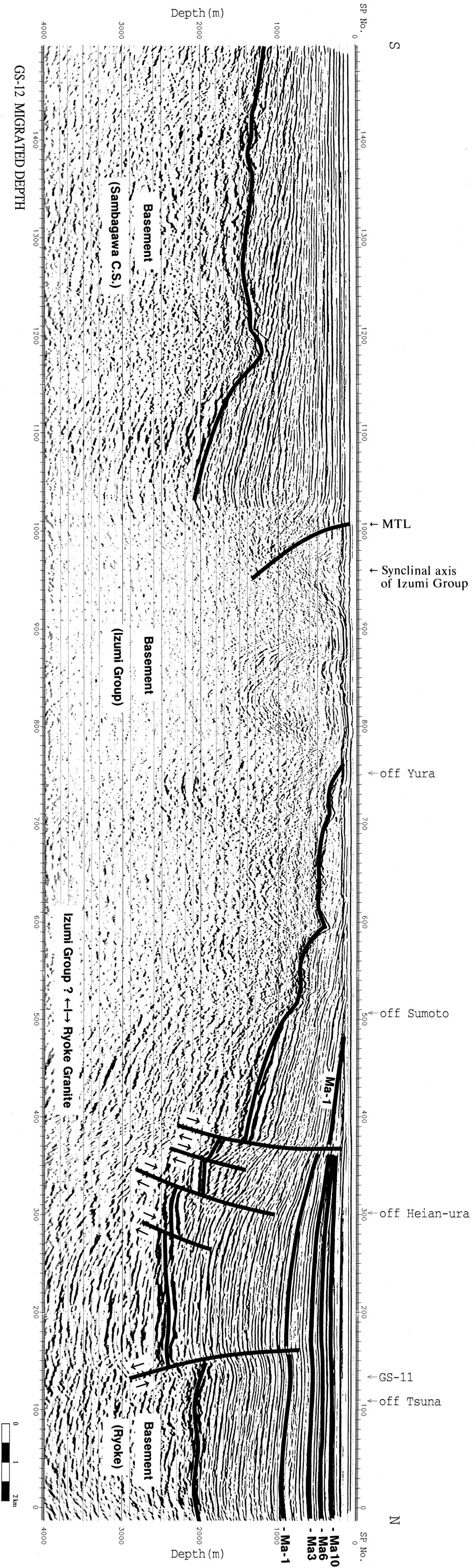
第7図 (b) 解釈図(深度断面)。断層，基盤，大阪層群の海成粘土層 Ma-1, Ma 3, Ma 6, Ma 10 などを示した。測線 GS-5 M.
 Fig. 7 (b) Interpretation results for depth sections. Faults, basement, marine clay beds Ma-1, Ma3, Ma6, Ma10 in the Osaka Group, and so on, are shown. line GS-5M.



第7図 (c) 解釈図(深度断面)。断層、基盤、大阪層群の海成粘土層 Ma-1, Ma 3, Ma 6, Ma 10 などを示した。測線 GS-7。
 Fig. 7 (c) Interpretation results for depth sections. Faults, basement, marine clay beds Ma-1, Ma3, Ma6, Ma10 in the Osaka Group, and so on, are shown. line GS-7.



第7図 (e) 解釈図(深度断面). 断層, 基盤, 大阪層群の海成粘土層 Ma-1, Ma3, Ma6, Ma10などを示した. 測線GS-11.
 Fig. 7 (e) Interpretation results for depth sections. Faults, basement, marine clay beds Ma-1, Ma3, Ma6, Ma10 in the Osaka Group, and so on, are shown. line GS-11.



第7図 (f) 解釈図(深度断面)、断層、基盤、大阪圏群の海成粘土層 Ma-1, Ma-3, Ma-6, Ma-10などを示した、測線GS-12。
 Fig. 7 (f) Interpretation results for depth sections. Faults, basement, marine clay beds Ma-1, Ma-3, Ma-6, Ma-10 in the Osaka Group, and so on, are shown. line GS-12.

GS-7の時間マイグレーション断面と深度断面をそれぞれ第5図(c)と第6図(c)に示す。明石海峡入口の、基盤が急激にその傾斜を増すCMP. 20付近はちょうど須磨断層の延長に相当する。SP. 130, SP. 200, SP. 410, SP. 460-500, SP. 640-670, SP. 740付近に東落ちの断層が、またSP. 550付近に西落ちの断層が存在する。SP. 460-500の断層が、大阪湾断層から分岐した和田岬断層に相当する。またSP. 640-670, SP. 740が大阪湾断層の東方への分岐に相当する。一部を除きこれら断層は浅部まで達していないが、上位の堆積層の浅所にまでこれらの断層は撓曲を引き起こしている。基盤は東に向かい、須磨沖で急激に深まり約1.0秒(1500 m)程度まで達する。その後凹凸を繰り返しながら徐々に深くなり、大阪湾断層延長部の東で最深の約2.1秒(2400 m)に達する。その後緩やかに浅くなり東端で約1.9秒(2000 m)となる。Ma 10, Ma 6, Ma 3, Ma-1は測線東端でそれぞれ0.3秒(230 m), 0.5秒(400 m), 0.7秒(580 m), 0.95秒(800 m)付近にあるが、西へ向かうにつれ撓曲を繰り返しながら浅くなり、須磨沖のSP. 60-70付近で尖滅する。解釈図を第7図(c)に示す。

測線GS-8 ME

GS-8 MEの時間マイグレーション断面と深度断面をそれぞれ第5図(d)と第6図(d)に示す。淡路東岸より約8 km沖合いの地点(SP. 2300)に大阪湾断層が存在する。大阪湾断層はここでは往復走時約0.7秒(約1200-1300 m程度)の東落ちの基盤落差を示す。また同じく約3 km(SP. 2140), 2 km(SP. 2060)の地点付近に二つの新たな逆断層が存在することが判明した。約3 km地点の断層は0.1-0.2秒の西落ちの、また約2 km地点の断層は約0.3秒の東落ちの、基盤落差をそれぞれ示す。ここは断層で囲まれた向斜構造となっている。ここでは示していないが、淡路東岸陸上部の花崗岩類露出地域の下位に、大阪湾からつづく明瞭な基盤と大阪層群の成層構造が延びている(横倉ほか、準備中)。このことは仮屋断層がかなり低角の逆断層であることを示している。大阪湾断層より東側では、基盤に小規模な断層が存在し、直上の大阪層群にゆるい撓曲を引き起こしているが、全体としてなだらかに西方へ傾き下っていく。これは岩崎ほか(1994)の測線Bと同様な様相を呈している。Ma 10, Ma 6, Ma 3, Ma-1, 基盤は測線東端でそれぞれ0.35秒(260 m), 0.5秒(400 m), 0.6秒(500 m), 0.85秒(750 m), 1.8秒(2200 m)付近に、大阪湾断層の東方の最深部でそれぞれ0.5秒(400 m), 0.7秒(630 m), 0.9秒(810 m), 1.2秒(1150 m), 2.4秒(3400 m)付近に、断層西方ではそれぞれ0.25秒(200 m), 0.35秒(290 m), 0.45秒(360 m), 0.6秒(520 m), 1.6秒(1850 m)付近に存在する。解釈図を第7図(d)に示す。

測線GS-11

GS-11の時間マイグレーション断面と深度断面をそ

れぞれ第5図(e)と第6図(e)に示す。この測線は他の多くの測線を結び付ける重要な測線である。ただし様々な探査上の制約のため、主要な断層と斜交する方向に探査が行われた。そのため断層での回折波がマイグレーションにより十分抑制されないなどの理由により、解釈がむずかしい面もある。しかし測線と断層が斜交する場合見られる基盤の二重性(横倉ほか, 1996 b)などを考慮することにより、解釈が可能となる。SP. 400-470付近で浅部にまで達している逆断層が大阪湾断層である。その下位の基盤周辺では一部に基盤が三重に見えている。また基盤の落差はここでも約0.7 s程度である。SP. 910-1020の逆断層で囲まれた部分は、測線GS-8 MEに見られた向斜状の構造の南方延長であると考えられる。そのほか、淡路島中部の東方沖には多くの断層が存在する。ただしその連続性は不明である。特に津名町の東方に、逆断層で囲まれた堆積盆が存在する。Ma 10, Ma 6, Ma 3, Ma-1, 基盤は測線東部ではほぼ一定でそれぞれ0.5秒(400 m), 0.7秒(650 m), 0.95秒(900 m), 1.25秒(1200 m), 2.3秒(2900 m)付近に、大阪湾断層部を経て浅くなり、測線中央部SP. 750でそれぞれ0.3秒(250 m), 0.4秒(310 m), 0.5秒(410 m), 0.75秒(660 m), 1.7秒(1900 m)に、SP. 1210付近でやや深くなりそれぞれ0.4秒(300 m), 0.55秒(450 m), 0.65秒(580 m), 0.95秒(900 m), 1.85秒(2350 m)付近に存在し、淡路島に向かうにつれ緩やかに浅くなる。解釈図を第7図(e)に示す。

測線GS-12

GS-12の時間マイグレーション断面と深度断面をそれぞれ第5図(f)と第6図(f)に示す。友ヶ島水道に向かって、いくつかの逆断層により大阪湾の基盤深度は急激に浅くなる。それにともない大阪層群の上層部は急激に尖滅していく。Ma 10, Ma 6, Ma 3, Ma-1, 基盤は測線北端でそれぞれ0.4秒(300 m), 0.5秒(450 m), 0.65秒(600 m), 0.95秒(950 m), 1.95秒(2100 m)付近にあるが、南に向かって浅くなり、SP. 380付近でMa 10(おそらくMa 6も)が、またSP. 470付近でMa-1がそれぞれ尖滅する。またSP. 510付近より南では、北側に分布する花崗岩質と思われる基盤とは反射の様相が異なり、ここを境に基盤岩が変化している可能性がある。紀淡海峡南部に中央構造線が明瞭に認められる。しかし海峡部海底地形や断層構造などに起因する様々なノイズを十分に抑制しきれていないため、その深部構造はそれほど明らかではない。従って中央構造線の深部が高角であるか低角であるかは現在のところ不明である。今後詳しい処理を行う必要がある。また中央構造線のすぐ北側に和泉層群の向斜構造が認められる。一方中央構造線の南側には顕著な断層は存在しないが、約0.5秒付近を境に傾斜不整合が存在する。この上側の地層はおそらく大阪層群上部層相当層の一部から完新統までを含むものと考えられ

る。また下側の地層は大阪層群下部層相当層であると考えられる。解釈図を第7図(f)に示す。

7. 考 察

以上の結果に基づいて、当地域で想定されるいくつかの問題について、ここで考察を加える。

大阪湾断層の延長問題

断面上には多くの断層が認められるが、ここでは大阪湾断層の連続性について簡単にまとめる。海上保安庁水路部のスーパーカー調査の結果(海上保安庁水路部, 1995; 岩淵ほか, 1995)によれば、この断層は少なくとも、和田岬方面と六甲アイランド南西端方面へと分岐して続いていくと推定されている。これら調査結果は浅部の撓曲構造のみに基づいたものであるが、今回の深部反射法の探査結果はこのことをさらに裏付けるものとなった。大阪湾断層は、岩崎ほか(1994)の測線 B から、東大地震研究所測線 TK-1(平田ほか, 1996; 津村ほか, 1996), 測線 GS-11・GS-8 ME, 兵庫県測線 HG-1-1 M・HG-1-2 M(藤田, 1996; 横倉ほか, 1996 a), 測線 GS-5 M, 神戸市測線 KB-1・KB-2(神戸市, 1995), 測線 GS-7, 兵庫県測線 HG-2(藤田, 1996; 横倉ほか, 1996 a)などに認められる。測線 HG-1-1 M 以南ではいずれも基盤落差は 1 km 内外と大きい。和田岬南方約 5 km では往復走時にして約 0.6 秒(約 900 m)程度、ポートアイランド(二期工事部分)南端付近で約 0.4 秒(約 600 m)程度、ポートアイランドと六甲アイランドの間付近で約 0.1-0.2 s(約 150-300 m)となる。GS-7 と HG-2 の中間で断層の存在を示すものとしては、ボーリング資料(藤田・前田, 1984)がある。このように大阪湾断層は北に向かって、徐々に基盤落差が小さくなる。また和田岬方面への分岐については別途述べる予定である(横倉ほか, 1998)。

南方に向かっては、水路部測線 HD-3(岩淵ほか, 1997)までは少なくとも続いている。海底重力探査の結果(駒澤ほか, 1996)を参照すると、HD-3 M 以南で尖滅しているとも考えられるが、岩淵ほか(1997)は測線 HD-4 以南へと続いていると考えており、途中のデータがないため明らかではない。

第8図に、以上のことを総合して、大阪湾断層およびその他の断層の基盤部分における連続性の推定図を示す。図の作成にあたっては、岩崎ほか(1994)、東大地震研測線(平田ほか, 1996; 津村ほか, 1996)、兵庫県測線(藤田, 1996; 横倉ほか, 1996 a)、神戸市測線(神戸市, 1995)、水路部測線(岩淵ほか, 1997)や公表されている資料を参考にした。また神戸・芦屋市街および港湾部については、横倉ほか(1998)に詳述する。大阪湾断層よりも東側の断層は小規模であり、また古いものと考えられる。大阪湾断層以西には多くの断層が存在するが、これ

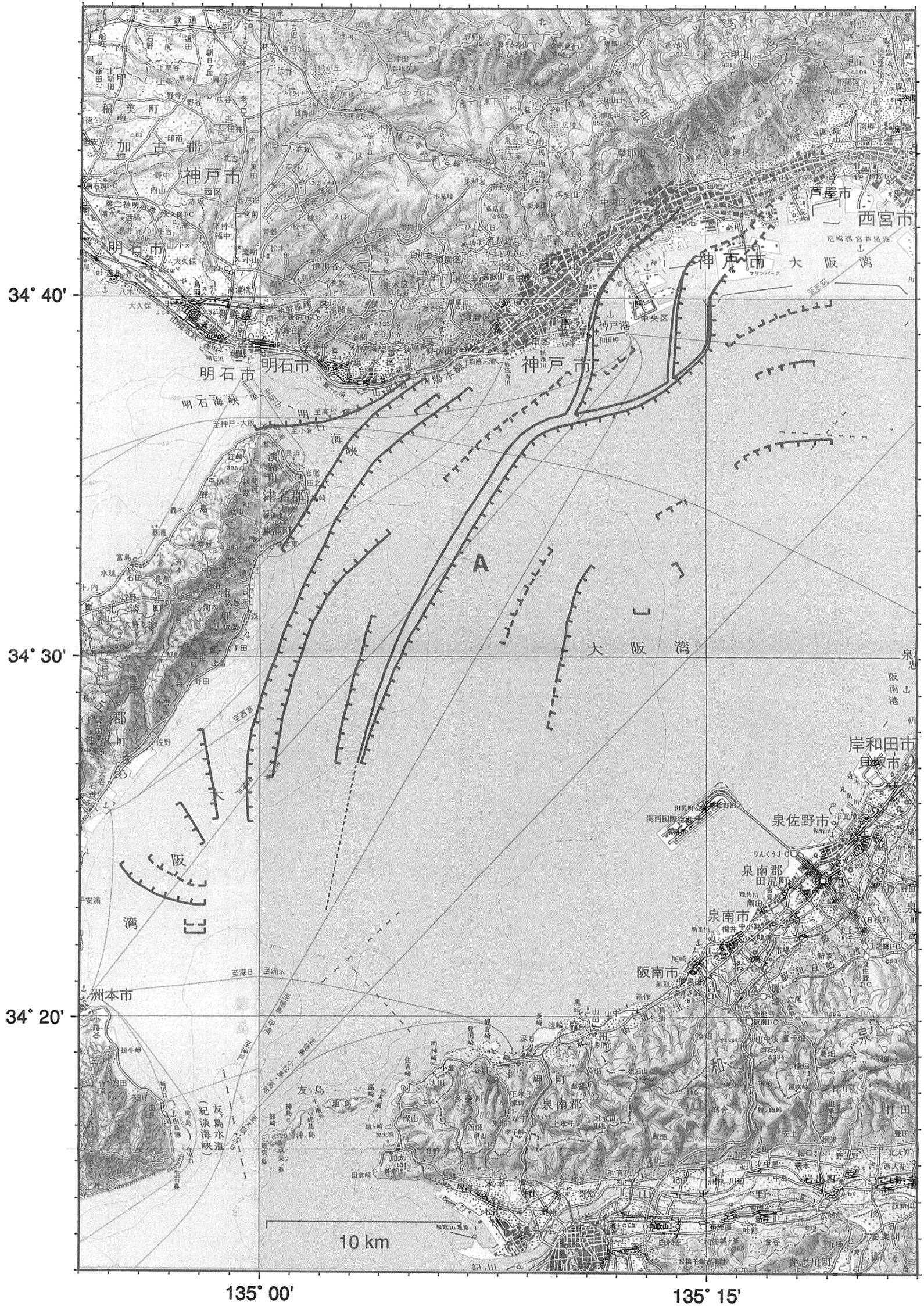
らのほとんどは変位の累積性を示し、基盤での段差に比して上位へ行くほどその段差が減じていく。海底付近まで断層が達していない場合でも、多くは撓曲構造を示している。したがって多くの断層が活断層であると考えられる。また前述のように、反射法では基盤の垂直方向の変位量は良く分かるが、水平方向の変位量は一般に分らない。しかし当地域周辺では横ずれ成分が卓越するため、垂直変位量が小さいことがただちに活動量の低いことを意味するわけではない、ということ強調しておきたい。

大阪湾断層の活動史

次に大阪湾断層の活動史について考える。先に述べたように、東灘で掘削された 1500 m ボーリングの結果ならびにそこで実施された VSP, 反射法探査(衣笠・水野, 1996; 小林ほか, 1996)のデータから、第1図のGS-NP 測線を介して、すべての測線において、Ma-1, Ma 3, Ma 6, Ma 10 の海成粘土層を同定した。これらの海成粘土層と年代の知られている火山灰との層位関係をもとに、およその年代を決定することが可能である。断層をはさんだ同一層準の埋没深度を比較することにより、断層の活動史すなわち変位速度(鉛直成分)の時間変化を追跡できる。

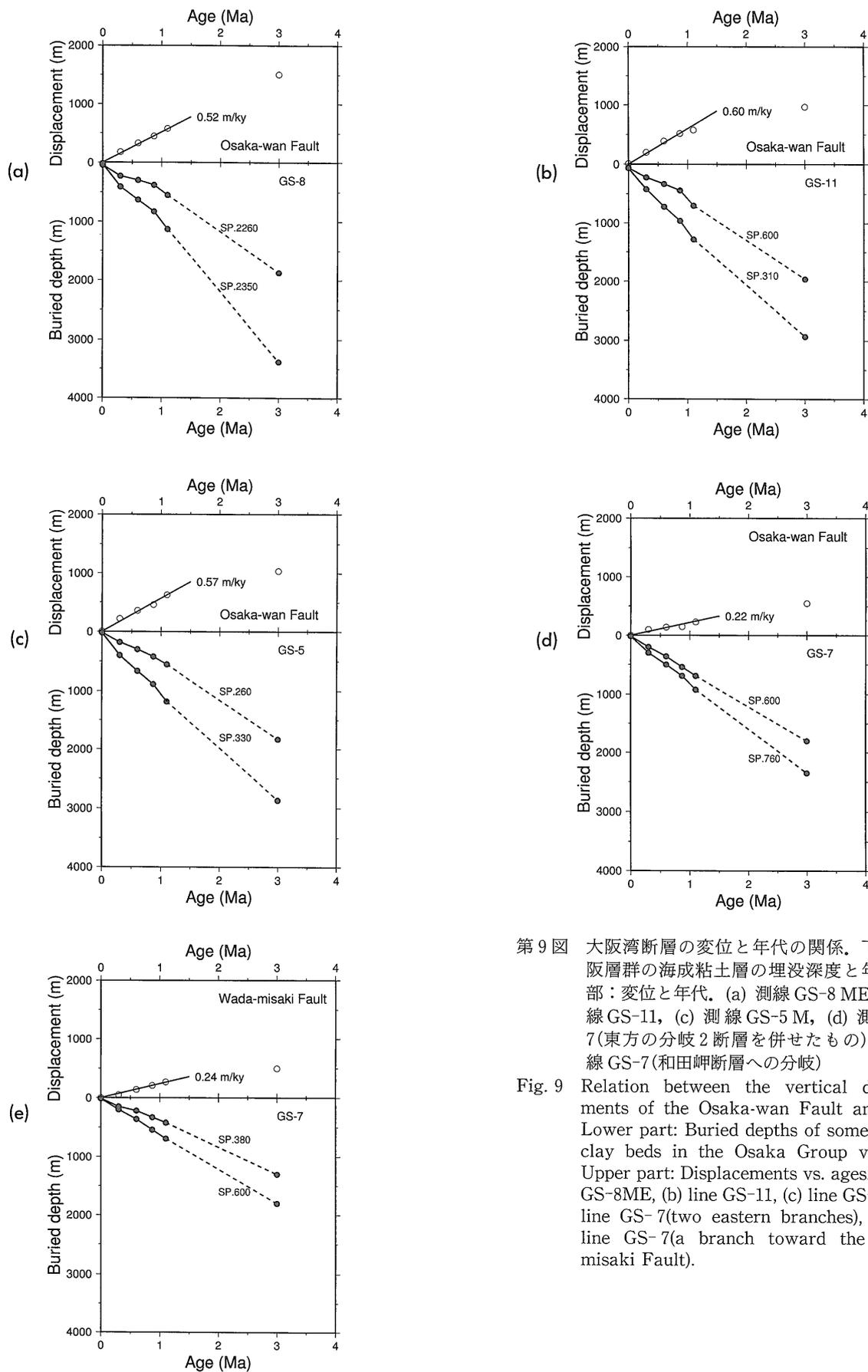
市原ほか(1986)によれば、Ma-1 は下位イエロー火山灰(1.06 Ma)の下位にあり、千石橋III火山灰(1.24 Ma)の上位にある。そのためここでは Ma-1 の年代を 1.1 Ma と仮定した。Ma 3 は大阪層群の中で最も有名なアズキ火山灰(0.87 Ma)をはさんでいるため、ここでは年代を 0.87 Ma とした(早川, 1995)。Ma 6 は 0.54 Ma という年代(早川, 1995)を持つサクラ火山灰の下位にあり、八丁池火山灰の上位にある。後者の年代が不明であるが、ここでは Ma 6 の年代を 0.6 Ma と仮定した。水野・吉川(1991)によれば、Ma 10 の上位および下位にあるとされる八田火山灰、和田火山灰はともに約 0.3 Ma の年代を持つので、Ma 10 の年代をここでは 0.3 Ma とした。これらの年代に対する、断層の両側の埋没深度と断層の変位をまとめたものが、第9図である。変位を求める時には堆積間隙・地層削剝を考慮すべきであるが、データがないため、ここでは無視した。さらに圧密により層厚が変化していると考えられるが、厳密な補正ができないためここでは無視した。従って以下の結果は第1近似の議論である。また大阪層群の底部に関しては、年代が場所により異なるはずであるし、深度の精度も悪いが、全体の傾向を見るための参考として、ここでは年代をすべて 3 Ma と仮定して図示している。

これらから大阪湾断層は最近 1 Ma の間に 0.5-0.6 m/ky という平均変位速度を有していることが分かる。深部の年代の不確かさから確定的には言えないが、GS-8 では大阪層群の堆積初期からほぼ一定の変位速度を有



第8図 大阪湾における基盤上の断層分布図。A：大阪湾断層。実線：鉛直落差100 m以上の断層。破線：鉛直落差100 m未満の断層。点線：想定される大阪湾断層の延長部。ケバ：断層の沈降側。国土地理院の1/200,000地勢図「京公司及大阪」、「和歌山」、「姫路」、「徳島」を使用。

Fig. 8 Fault distribution at the basement in the Osaka Bay area. A: Osaka-wan Fault. Solid line: faults with vertical displacements greater than 100m. Dashed line: faults with vertical displacements are less than 100m. Dotted line: possible extension of the Osaka-wan Fault. Ticks: subsiding side of a fault. Maps: 1/200,000 scale regional maps "Kyoto and Osaka", "Wakayama", "Himeji" and "Tokushima" published by Geographical Survey Institute.



第9図 大阪湾断層の変位と年代の関係。下部：大阪層群の海成粘土層の埋没深度と年代。上部：変位と年代。(a) 測線GS-8 ME, (b) 測線GS-11, (c) 測線GS-5 M, (d) 測線GS-7(東方の分岐2断層を併せたもの), (e) 測線GS-7(和田岬断層への分岐)

Fig. 9 Relation between the vertical displacements of the Osaka-wan Fault and ages. Lower part: Buried depths of some marine clay beds in the Osaka Group vs. ages. Upper part: Displacements vs. ages. (a) line GS-8ME, (b) line GS-11, (c) line GS-5M, (d) line GS-7(two eastern branches), and (e) line GS-7(a branch toward the Wadamisaki Fault).

していた可能性がある。これとは別にGS-5, GS-11では、およそ1 Ma 前後に断層活動が活発になったらしいことが分かる。北部へ分岐している和田岬断層で0.24 m/ky, 東方への2分岐ではあわせて0.22 m/ky と小さくなる。しかしこの3者を併せると0.46 m/ky となり、大阪湾中心部での値と近くなるのは興味深い。

ここで注意しなければならないのは、これはあくまでも鉛直方向のみの変位速度であるということである。大阪湾断層あるいはその分岐断層は、断面上で「逆断層」を呈している。しかし大阪湾周辺は東西圧縮の応力場に支配されており、大阪湾断層の走向を考慮すると、水平成分が卓越していると考えられる。兵庫県南部地震の際に地表での変位が確認された野島断層と同様、右ずれが卓越していると考えられるべきであろう。段丘面の対比によれば、野島断層の平均変位速度は鉛直方向に0.4-0.5 m/ky, 右ずれ方向に0.9-1.0 m/ky とされており(水野ほか, 1990), 右ずれ成分が約2倍となっている。また兵庫県南部地震時にも、右ずれが卓越し、やはり右ずれ成分が約2倍となる変位分布が得られている(栗田ほか, 1996)。このことからすれば、大阪湾断層も1 m/ky 程度の右ずれの変位速度成分を有するものと考えられる。したがって大阪湾断層は(少なくともその一部は)A級に相当する活動度(活断層研究会, 1991)を有する断層であると言ってよいであろう。またその総延長は40 kmにも達するかもしれない、長大な断層(あるいは断層帯)である。最近杉山・寒川(1996), 杉山(1997)が示した上町断層の総延長に匹敵するものである。今後、大阪湾断層の最新活動期、あるいはセグメント構造などを特定することが、当地域周辺の地震防災にとって重要な課題となると考えられる。

大阪湾の基盤構造

先にも述べたように当地域の基盤からの反射波は強振幅であり、低周波成分が卓越することから、比較的容易に同定可能である。それに基づいて推定した基盤の形状を第10図に示す。基盤構造は大略的には大阪湾中央部を沈降域とする盆状構造をしているが、大阪湾中央部や西よりに北東-南西走向で発達する大阪湾断層の東側で最深となる。最深部では深度3000 mを越える。大阪湾断層の東側には断層が少なく、基盤が比較的平坦で、緩やかに北西に傾斜している。大阪湾断層の西側では、淡路島に向かいいくつかの逆断層により切られながらも徐々に上昇する。さらに淡路島沿岸で急激に上昇し、淡路島においては陸上に露出するようになる。これらの断層はすべて大阪湾断層とほぼ同様の走向を持つ。基盤の落差の大きい部分は、大阪湾断層周辺ならびに淡路島東岸にある。特に大阪湾断層では大きいところで0.7 s 程度(深度差で1200-1300 m 程度に相当)の落差がある。また淡路東岸の基盤は沖合いすぐのところまで深度約

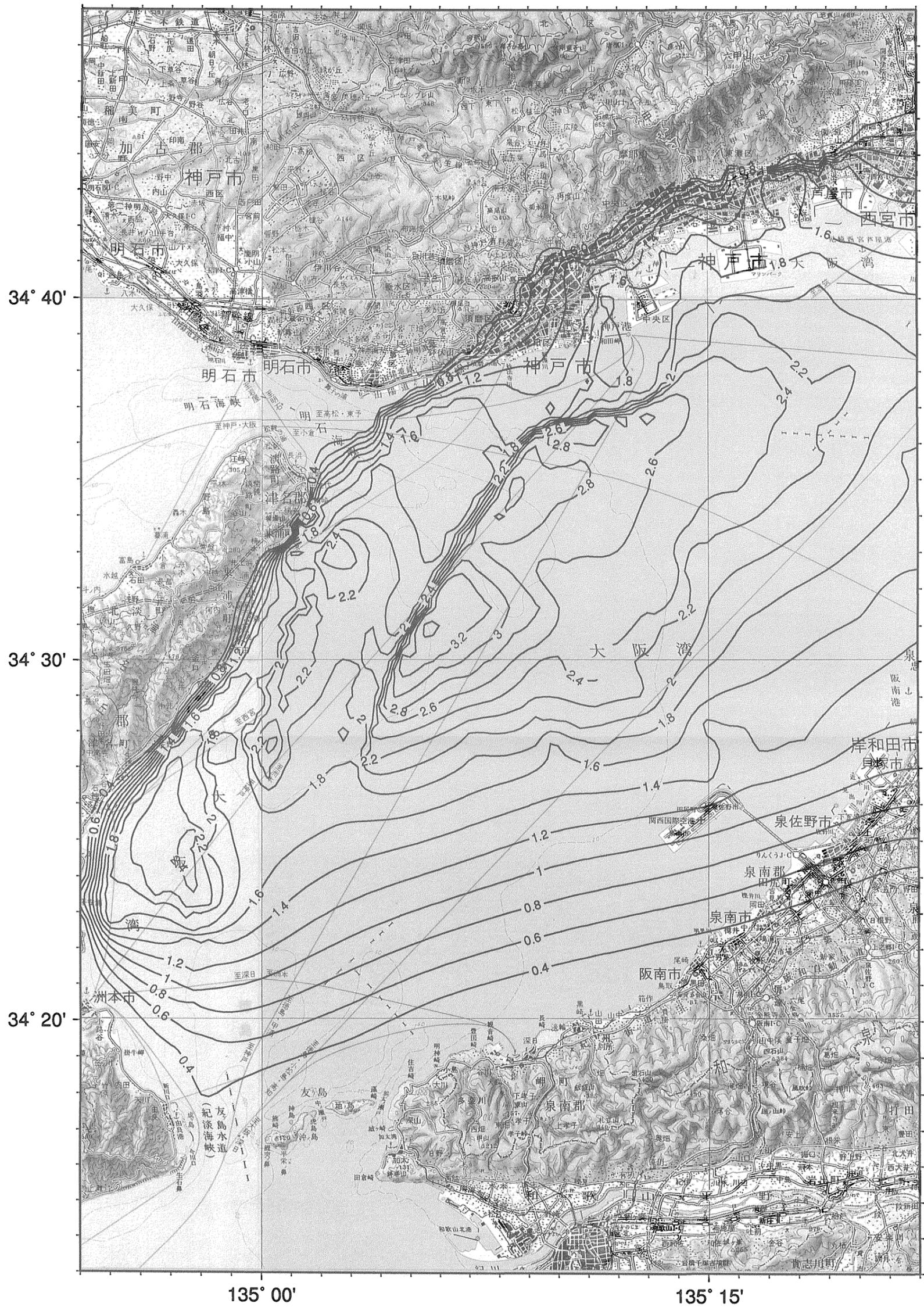
1500-2000 m に達する。この結果は海底重力計による探査結果とも整合的である(駒澤ほか, 1996)。大阪湾の南西部では、津名町東方に断層で囲まれた沈降域が存在する。さらに南方へはいくつかの断層により急激に上昇し、友ヶ島水道付近では海底付近にまで達している。基盤深度分布のパターンは大局的に藤田(1966)の沖積層層厚分布図とよく似ており、このことは大阪層群の堆積開始以後(あるいは少なくとも大阪湾断層の活動の活発になった1 Ma 以後)、定性的な断層活動の様式がそれほど変化していないことを意味するのであろう。

大阪湾南部の基盤が北部と同じ花崗岩質のものであるかどうかは判断がむずかしいところであるが、GS-12の断面の説明に述べたように、北部の基盤反射面がきわめて滑らかなのに対し、SP. 510以南の友ヶ島水道周辺の基盤は凹凸が激しい。したがって南部の基盤は北部とは異なる可能性がある。淡路島ではSP. 510のちょうど西方にあたる部分が和泉層群の北限となっていることから、SP. 510以南は和泉層群が基盤として見えていと解釈することもできる。また別の解釈としては、市原ほか(1986)の図幅に見られる泉南流紋岩類に相当するものである可能性もある。いずれであるかは別としても、岩崎ほか(1994)の測線Aの南端部、岩淵ほか(1997)のHD-4の東半部、HD-6の南端部、HD-7の南半部などにも、同様の基盤の凹凸を認めることができる。また香川ほか(1990)は発破観測から、OD-1井より南側の基盤速度が北側より有意に大きいことを示している。従って大阪湾の南岸に沿った広い範囲にわたって、北部の花崗岩類とは異なる基盤が存在する可能性がある。

8. ま と め

以上のことを簡単にまとめると以下ようになる。

- 大阪湾の基盤深度は、大阪湾断層の東側で3000 m を超える。
- 大阪湾断層以東では、北西に緩やかに傾斜する単斜構造を呈する。
- 大阪湾断層以東では、小規模な古い断層がわずかに存在するだけであるが、大阪湾断層以西では、多くの逆断層が存在している。
- 大阪湾断層以西の諸断層は、地表近くまで達しているか、あるいは地表付近にまで撓曲を引き起こしていることから、多くのものが活断層であると考えられる。
- 大阪湾断層は北東方向へ延び、和田岬沖において3つに分岐し、ひとつは和田岬断層に、他は六甲アイランド方面へと続く。
- 大阪湾断層は、大阪湾中部において1000 m 以上の落差を有する。六甲アイランド付近より北では、その基盤落差は小さくなり、大阪層群に大きな変形は与えていない。



第10図 大阪湾の基盤深度図。単位：km。コンター間隔200m。国土地理院の1/200,000地勢図「京都及大阪」,「和歌山」,「姫路」,「徳島」を使用。

Fig. 10 Contour map of basement depth in the Osaka Bay area. Unit: km. Contour interval: 200m. Maps: 1/200,000 scale regional maps "Kyoto and Osaka", "Wakayama", "Himeji" and "Tokushima" published by Geographical Survey Institute.

- ・大阪湾断層の一部は過去1 Maの間0.5-0.6 m/ky というほぼ一定の平均変位速度(鉛直成分)を有している。
- ・大阪湾断層はその総延長が40 kmにも及ぶ長大な断層あるいは断層帯である。
- ・明石海峡の入口に須磨断層の延長部が認められる。
- ・淡路島と大阪湾断層との間に、仮屋断層の延長部と二つの新しい逆断層が発見された。この新断層により、淡路島沿いに沈降帯が生じている。
- ・広域的な応力場は東西圧縮であるため、これら諸断層は大きな水平成分を有するものと考えられる。特に大阪湾断層の一部は、水平成分を考慮するとA級の活動度を有することになる可能性がある。
- ・淡路島中部の東方沖には多くの断層が存在する。ただしその連続性は不明である。
- ・津名町の東方に、断層で囲まれた小さな堆積盆が存在する。
- ・大阪湾の南岸付近の基盤は、北部の花崗岩類とは異なるものである可能性がある。
- ・紀淡海峡の南に明瞭な中央構造線(MTL)が認められる。
- ・MTLのすぐ北に和泉層群の向斜構造が認められる。
- ・MTLの南側には活断層は認められない。

謝辞 探査を行うにあたって、兵庫県阪神・淡路大震災復興本部土木部土木復興局、神戸市震災復興本部総括局、第5管区海上保安本部水路部監理課、同・大阪湾海上交通センター、神戸海上保安部、大阪海上保安部、田辺海上保安部、東播磨海上保安部、神戸市港湾局管理部、神戸港航行安全情報センター、大阪湾水先区水先人会、阪神水先区水先人会、内海水先区水先人会、神戸旅客船協会、神戸フェリー協議会、兵庫県漁業協同組合連合会、大阪府漁業協同組合連合会、関係漁業協同組合、などの多くの機関・団体のご協力を得た。また地質調査所研究調査官岸本清行氏の丁寧な査読により、原稿の不備が大いに改善された。上記の皆様に対しここに心からの感謝の意を表す。

文 献

- 栗田泰夫・水野清秀・杉山雄一・井村隆介・下川浩一・奥村晃史・佃 栄吉・木村克己(1996) 兵庫県南部地震に伴って淡路島北西岸に出現した地震断層。地震, 49, 113-124.
- Gravity Research Group in Southwest Japan (1994) A Bouguer gravity map in central Japan. Rept. Geol. Surv. Japan, no. 280, 29-36 and appended map.
- 早川正巳・森 喜義・鎌田清吉・藤田和夫(1964) 放電式音波探査による大阪湾地質構造の研究。地調月報, 15, 1-26.
- 早川由紀夫(1995) マスターテフラによる日本の100万年噴火史編年。火山, 40, 特別号, S1-S15.
- 平田 直・伊藤谷生・佐藤比呂志・岩崎貴哉・篠原雅尚・吉井敏尅・池田安隆・嶋本利彦・村田明広・山北 聡・宮内崇裕・狩野謙一・飯高隆・酒井慎一・津村節子・吉本和生・荒井良祐・関根真弓・朴 成実・浅沼俊夫・蔵下英司・三浦誠一・一ノ瀬洋一郎・酒井 要・橋本信一・荻野 泉・井川 猛・清水信之(1996) 淡路島横断反射散乱法地震探査(TASP) (2)。地球惑星科学関連学会 1996年合同大会予稿集, 38.
- 藤田和夫(1966) 大阪湾の地質構造的意義。松下進教授記念論文集, 133-142.
- 藤田和夫(1996) 阪神地域活断層調査について。大阪湾の深部構造を考える《資料集》, 1-10.
- 藤田和夫・鎌田清吉(1964) 大阪湾の地質。大阪湾音波探査委員会, 1-62.
- 藤田和夫・笠間太郎(1982) 大阪西北部地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 112p.
- 藤田和夫・笠間太郎(1983) 神戸地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 115p.
- 藤田和夫・前田保夫(1984) 須磨地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 101p.
- 藤田和夫・前田保夫(1985) 大阪西南部地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 103p.
- 市原 実・市川浩一郎・山田直利(1986) 岸和田地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 148p.
- 井川 猛・川中 卓・清水信之・阿部 進・横倉隆伸・加野直巳・山口和雄・宮崎光旗(1996) 1995年兵庫県南部地震震源域の深部反射法調査について。物理探査, 49, 420-434.
- Ikebe, N, Iwatsu, J. and Takenaka, J. (1970) Quaternary geology of Osaka with special reference to land subsidence. J. Geosciences., Osaka City Univ., 13, 39-98.
- 伊崎 晃・金子徹一(1960) 明石瀬戸東部の音波探査とその解析。物理探査, 13, 36-45.
- 岩淵 洋・春日 茂・穀田昇一(1995) 兵庫県南部地震による海底変動の調査。地質ニュース, no. 490, 44-49.
- 岩淵 洋・西川 公・春日 茂・宮野正実・飯村

- 忠(1997) 大阪湾の基盤構造と大阪湾断層. 地球惑星科学関連学会 1997年合同大会予稿集, 48.
- 岩崎好規・香川敬生・澤田純男・松山紀香・大志万和也・井川 猛・大西正純(1994) エアガン反射法地震探査による大阪湾の基盤構造. 地震, **46**, 395-403.
- 香川敬生・澤田純男・岩崎好規・江見 晋(1990) 発破実験より推定される大阪湾堆積盆地構造. 地震2, **43**, 527-537.
- 海上保安庁水路部(1995) 明石海峡及び大阪湾. 海底地質構造図, 1/100,000.
- 活断層研究会(1991) 新編 日本の活断層一分布図と資料一. 東京大学出版会, 437p.
- 衣笠善博・水野清秀(1996) 神戸地域の地下地質. 兵庫県南部地震の地質学的背景. 第11回地質調査所研究講演会資料, 77-80.
- 小林啓美・衣笠善博・長谷川明生・井川 猛・大西正純・溝市茂治(1996) 神戸市東灘区における反射法探査. 日本地震学会講演予稿集 1996年度秋季大会, A38.
- 神戸市(1995) 神戸空港に係わる地震対策調査委員会報告書. 78p.
- 駒澤正夫・太田陽一・渋谷昭栄・熊井 基・村上稔(1996) 大阪湾海底重力調査とその構造. 物理探査, **49**, 459-473.
- 松浦浩久・吉岡敏和・宮地良典・水野清秀(1997) 大阪湾周辺地域の地質図の編纂. 地調月報, **48**, 13-16.
- 水野清秀・服部 仁・寒川 旭・高橋 浩(1990) 明石地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 90p.
- 水野清秀・吉川清志(1991) 中期更新世テフラ, Ng-1火山灰の広域性の検討. 第四紀研究, **30**, 435-438.
- 宮田隆夫・牧本 博・寒川 旭・市川浩一郎(1993) 和歌山及び尾崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 68p.
- 尾崎正紀・松浦浩久(1988) 三田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 93p.
- 尾崎正紀・松浦浩久・佐藤喜男(1996) 神戸層群の地質年代. 地質学雑誌, **102**, 73-82.
- 杉山雄一・寒川 旭(1996) 大阪平野に伏在する上町断層の反射法弾性波探査. 地質調査所研究資料集 No. 259(平成7年度活断層研究調査概要報告書), 57-62
- 杉山雄一(1997) 上町断層系の反射法弾性波探査. 地質調査所研究資料集 No. 303(平成8年度活断層研究調査概要報告書), 105-113.
- 高橋 浩・寒川 旭・水野清秀・服部 仁(1992) 洲本地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 107p.
- 鳥海 勲・竹内吉弘・大場新太郎・堀家正則・井上豊・馬場研介(1990) 大阪平野の地下構造—北港発破実験(1988年)による—. 地震2, **43**, 373-378.
- 佃 栄吉(1992) 西南日本弧のアクティブテクトニクス—前弧スリバーの西進運動にともなう変形像—. 地質学論集, **40**, 235-250.
- 津村節子・平田 直・伊藤谷生・佐藤比呂志・岩崎貴哉・篠原雅尚・吉井敏尅・池田安隆・嶋本利彦・村田明広・山北 聡・宮内崇裕・狩野謙一・飯高 隆・酒井慎一・吉本和生・荒井良祐・関根真弓・朴 成実・浅沼俊夫・蔵下英司・三浦誠一・一ノ瀬洋一郎・酒井 要・橋本信一・荻野 泉・井川 猛・清水信之・足立幾久・太田陽一(1996) 淡路島横断反射・散乱法地震探査(TASP)による地質構造解明(速報). 地球惑星科学関連学会 1996年合同大会予稿集, 39.
- 横倉隆伸・井川 猛・横田 裕(1996 a) 1995年兵庫県南部地震震源域周辺の深部反射法探査について. 大阪湾の深部構造を考える《資料集》, 11-25.
- 横倉隆伸・加野直巳・山口和雄・宮崎光旗・井川猛・太田陽一・川中 卓(1996 b) 1995年兵庫県南部地震震源域周辺の断層・基盤構造について(概報). 物理探査, **49**, 435-451.
- 横倉隆伸・山口和雄・加野直巳・宮崎光旗・井川猛・太田陽一・川中 卓・阿部 進(1998) 神戸・芦屋周辺地域における反射法深部構造探査. 地調月報, **50**, 投稿中.

(受付: 1998年6月29日; 受理: 1998年9月7日)

APPENDIX

VELOCITY FUNCTION FOR LINE GS-2M

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 50 (515) | 150 (565) | 250 (615) | 350 (665) | 450 (715) |
| T(ms) V(m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
250 1560	254 1590	252 1610	248 1590	230 1550
490 1660	484 1650	434 1650	478 1650	496 1650
636 1700	640 1700	642 1700	640 1700	620 1700
856 1810	886 1810	880 1810	882 1770	820 1770
1074 1860	1084 1860	1084 1860	1076 1860	1050 1870
1304 1900	1320 1900	1340 1900	1310 1900	1258 1950
1606 2050	1654 2050	1650 2050	1610 2050	1590 2050
2010 2250	2068 2250	2068 2250	2030 2250	2020 2250
2510 2844	2568 2832	2568 2832	2530 2840	2520 2842
4510 3948	4568 3931	4568 3931	4530 3942	4520 3945
8000 4948	8000 4926	8000 4926	8000 4941	8000 4945

CDP. No (SP. No)	CDP. No (SP. No)	CDP. No (SP. No)
550 (765)	650 (815)	750 (865)
T(ms) V(m/s)	T(ms) V(m/s)	T(ms) V(m/s)
2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500
226 1560	216 1550	192 1540
412 1600	410 1650	410 1650
590 1700	552 1710	510 1710
800 1770	790 1770	718 1770
1000 1870	948 1870	872 1870
1210 1950	1178 1950	1046 1950
1524 2050	1450 2050	1320 2050
1934 2250	1854 2210	1680 2210
2434 2861	2354 2854	2180 2900
4434 3971	4354 3986	4180 4043
8000 4979	8000 5005	8000 5073

VELOCITY FUNCTION FOR LINE GS-5M

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 50 (508) | 150 (458) | 250 (408) | 350 (358) | 450 (308) |
| T(ms) V(m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
300 1600	300 1600	350 1600	300 1600	300 1650
600 1700	600 1700	700 1850	600 1750	450 1800
800 1800	800 1800	842 1940	850 1900	620 1900
1032 1910	1000 1900	1070 2000	1080 2000	780 2000
1320 2010	1350 2000	1400 2150	1420 2100	1000 2100
1700 2100	1720 2100	1750 2300	1780 2200	1300 2250
1980 2250	2020 2250	2220 2400	2000 2350	1600 2350
2220 2400	2260 2400	2720 2902	2300 2450	1900 2500
2720 2902	2760 2896	4720 3930	2800 2923	2400 3027
4720 3930	4760 3920	8000 4886	4800 3924	4400 4045
			8000 4861	8000 5020

CDP. No (SP. No)	CDP. No (SP. No)
550 (258)	650 (208)
T(ms) V(m/s)	T(ms) V(m/s)
2 1500	2 1500
100 1500	150 1550
290 1570	270 1600
348 1610	380 1700
510 1700	500 1750
690 1750	600 1810
900 2050	800 2050
1120 2150	1000 2150
1600 2300	1500 2270
2100 2975	2000 2988
4100 4090	4000 4119
8000 5111	8000 5146

VELOCITY FUNCTION FOR LINE GS-7

CDP. No (SP. No) 50 (27) T(ms) V(m/s) 2 1500 88 1550 138 1650 174 1950 206 2100 304 2220 804 3802 2804 5305 8000 5766	CDP. No (SP. No) 150 (77) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 110 1550 186 1650 232 1700 262 1750 296 1840 366 1950 570 2100 850 2220 1350 3256 3350 4382 8000 5382	CDP. No (SP. No) 250 (127) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 118 1550 222 1650 290 1700 332 1750 370 1840 442 1950 700 2100 972 2220 1472 3183 3472 4324 8000 5338	CDP. No (SP. No) 350 (177) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 114 1540 222 1650 296 1700 338 1750 386 1840 442 1950 758 2100 1100 2220 1600 3117 3600 4267 8000 5291	CDP. No (SP. No) 450 (227) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 126 1550 252 1650 338 1700 378 1750 416 1840 548 1950 816 2100 1154 2220 1654 3092 3654 4244 8000 5271
CDP. No (SP. No) 550 (277) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 116 1550 280 1650 380 1700 430 1750 512 1840 620 1950 890 2100 1218 2220 1718 3064 3718 4217 8000 5247	CDP. No (SP. No) 650 (327) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 122 1530 322 1650 372 1700 462 1750 524 1840 678 1950 912 2100 1228 2240 1728 3070 3728 4217 8000 5245	CDP. No (SP. No) 750 (377) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 120 1530 254 1650 366 1710 430 1750 502 1840 670 1980 864 2100 1228 2240 1728 3070 3728 4217 8000 5245	CDP. No (SP. No) 850 (430) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 148 1530 254 1640 370 1700 412 1750 492 1840 672 1980 900 2100 1298 2240 1798 3042 3798 4189 8000 5219	CDP. No (SP. No) 950 (480) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 156 1550 270 1640 368 1700 464 1750 590 1820 776 1980 1026 2100 1500 2270 2000 2988 4000 4119 8000 5146
CDP. No (SP. No) 1050 (530) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 134 1550 368 1640 502 1700 578 1750 800 1820 1016 1910 1220 1980 1650 2130 2150 2862 4150 4036 8000 5077	CDP. No (SP. No) 1150 (580) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 160 1550 386 1660 504 1710 554 1750 858 1820 1014 1870 1230 1950 1678 2110 2178 2842 4178 4022 8000 5064	CDP. No (SP. No) 1250 (630) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 180 1550 408 1660 510 1710 590 1760 870 1820 1072 1880 1292 2000 1730 2150 2230 2851 4230 4013 8000 5048	CDP. No (SP. No) 1350 (680) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 242 1550 484 1660 600 1710 708 1760 1044 1820 1230 1890 1538 2010 1920 2200 2420 2833 4420 3963 8000 4979	CDP. No (SP. No) 1450 (730) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 252 1560 510 1660 660 1710 752 1750 1064 1820 1300 1890 1666 2020 2050 2230 2550 2822 4550 3931 8000 4931
CDP. No (SP. No) 1550 (780) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 268 1560 544 1660 710 1710 952 1760 1164 1820 1424 1900 1730 2030 2210 2270 2710 2818 4710 3897 8000 4873	CDP. No (SP. No) 1650 (830) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 262 1550 534 1660 670 1710 892 1760 1114 1820 1346 1980 1676 2120 2100 2270 2600 2838 4600 3927 8000 4916	CDP. No (SP. No) 1750 (880) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 252 1570 488 1650 660 1710 870 1740 1082 1840 1332 1930 1646 2040 2074 2260 2574 2837 4574 3932 8000 4925	CDP. No (SP. No) 1850 (930) T(ms) V(m/s) 2 1500 100 1500 240 1550 492 1650 628 1710 844 1760 1050 1870 1258 1950 1600 2050 2020 2250 2520 2842 4520 3945 8000 4945	

VELOCITY FUNCTION FOR LINE GS-8ME

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 50 (2787) | 150 (2737) | 250 (2687) | 350 (2637) | 450 (2587) |
| T (ms) V (m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	120 1500	100 1500	100 1500
280 1550	260 1600	286 1590	292 1610	300 1610
408 1600	420 1650	490 1700	488 1650	492 1660
600 1700	620 1700	660 1750	736 1750	750 1750
800 1800	850 1800	900 1850	920 1850	1000 1900
1020 1900	1100 1950	1150 1950	1150 1950	1200 2000
1200 1950	1250 2050	1320 2000	1400 2050	1400 2100
1410 2100	1580 2200	1650 2250	1700 2250	1750 2250
1800 2450	1820 2450	1920 2450	1950 2450	2000 2450
2300 3016	2320 3012	2400 2975	2500 3022	2500 2975
4300 4061	4320 4055	4400 4024	4500 4025	4500 4004
8000 5051	8000 5044	8000 5011	8000 4986	8000 4977

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 550 (2537) | 650 (2487) | 750 (2437) | 850 (2387) | 950 (2334) |
| T (ms) V (m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
122 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
308 1610	316 1600	320 1600	300 1600	300 1700
506 1690	500 1700	550 1700	550 1800	522 1790
742 1810	744 1800	800 1800	820 1900	820 1900
1000 1900	1010 1980	1050 1900	1100 2000	1100 2000
1250 2000	1300 2050	1320 2000	1400 2100	1400 2150
1480 2100	1500 2100	1580 2100	1650 2200	1600 2200
1800 2250	1900 2300	1990 2300	2050 2350	1850 2300
2080 2450	2100 2500	2150 2450	2220 2500	2050 2500
2580 2960	2600 2990	2650 2948	2720 2970	2550 2999
4580 3981	4600 3990	4650 3963	4720 3959	4550 4003
8000 4946	8000 4945	8000 4919	8000 4900	8000 4964

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1050 (2287) | 1150 (2237) | 1250 (2187) | 1350 (2137) | 1450 (2087) |
| T (ms) V (m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	110 1500	100 1500	100 1500
252 1600	250 1550	260 1550	250 1550	290 1550
300 1625	300 1575	330 1600	350 1600	350 1600
400 1650	400 1600	420 1650	400 1650	450 1625
706 1740	632 1710	590 1700	600 1700	600 1670
830 1800	820 1800	700 1750	700 1750	750 1700
1350 2000	1300 2000	830 1800	800 1850	900 1850
1600 2200	1500 2200	1300 2000	1300 2000	1400 2050
2100 2917	2000 2948	1550 2200	1500 2200	1555 2200
4100 4069	4000 4104	2050 2932	2000 2948	2050 2932
8000 5102	8000 5140	4050 4086	4000 4104	4050 4086
		8000 5121	8000 5140	8000 5121

CDP. No (SP. No)
1550 (2037)
T (ms) V (m/s)
2 1500
100 1500
250 1550
330 1600
550 1650
650 1750
800 1850
1300 2050
1400 2200
1900 2982
3900 4142
8000 5178

VELOCITY FUNCTION FOR LINE GS-11

CDP. No (SP. No) 50 (14) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 300 1550 670 1750 900 1850 1050 2000 1370 2150 1720 2300 1980 2450 2180 2550 2680 3011 4680 3984 8000 4922	CDP. No (SP. No) 150 (64) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 360 1680 618 1820 868 1960 1180 2100 1420 2150 1762 2200 2040 2350 2250 2450 2750 2931 4750 3936 8000 4881	CDP. No (SP. No) 250 (114) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 300 1650 620 1800 850 1850 1100 1950 1400 2020 1800 2100 2050 2250 2300 2400 2800 2889 4800 3910 8000 4855	CDP. No (SP. No) 350 (164) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 320 1650 630 1800 900 1900 1100 1950 1400 2050 1800 2175 2090 2250 2300 2400 2800 2889 4800 3910 8000 4855	CDP. No (SP. No) 450 (214) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 300 1650 600 1800 880 1920 1130 1960 1420 2050 1750 2200 2100 2275 2300 2400 2800 2889 4800 3910 8000 4855
CDP. No (SP. No) 550 (264) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 320 1600 600 1700 850 1900 1100 1975 1400 2100 1720 2150 2150 2300 2300 2400 2800 2889 4800 3910 8000 4855	CDP. No (SP. No) 650 (314) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 350 1600 600 1700 880 1880 1150 1980 1400 2050 1780 2100 2150 2300 2350 2400 2850 2881 4850 3897 8000 4835	CDP. No (SP. No) 750 (364) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 350 1650 600 1750 850 1850 1100 1960 1400 2050 1700 2100 2000 2300 2200 2400 2700 2905 4700 3935 8000 4894	CDP. No (SP. No) 850 (414) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 280 1650 480 1750 700 1850 900 1950 1100 2100 1200 2150 1680 2300 1850 2400 2350 2974 4350 4034 8000 5027	CDP. No (SP. No) 950 (464) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1580 390 1680 550 1770 700 1850 950 1950 1200 2100 1650 2350 1850 2500 2350 3038 4350 4060 8000 5038
CDP. No (SP. No) 1050 (514) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 180 1560 330 1700 500 1800 650 1850 880 1980 1100 2075 1500 2400 1780 2550 2280 3085 4280 4093 8000 5069	CDP. No (SP. No) 1150 (564) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1570 300 1630 400 1680 580 1780 850 1870 1100 1990 1350 2100 1700 2400 2200 3009 4200 4080 8000 5083	CDP. No (SP. No) 1250 (614) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 250 1550 310 1600 500 1650 650 1700 950 1850 1150 1950 1400 2050 1800 2300 2300 2923 4300 4025 8000 5036	CDP. No (SP. No) 1350 (664) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1550 330 1600 440 1650 670 1750 850 1800 1180 1900 1450 2000 1950 2300 2450 2888 4450 3978 8000 4978	CDP. No (SP. No) 1450 (714) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1550 280 1580 430 1650 600 1725 850 1800 1100 1900 1350 2050 1800 2400 2300 2985 4300 4049 8000 5046
CDP. No (SP. No) 1550 (764) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1550 300 1625 400 1650 600 1700 850 1760 1000 1800 1320 2000 1780 2400 2280 2990 4280 4055 8000 5053	CDP. No (SP. No) 1650 (814) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1560 350 1620 430 1650 620 1700 880 1800 1100 1900 1350 2050 1900 2400 2400 2962 4400 4019 8000 5008	CDP. No (SP. No) 1750 (864) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1560 362 1610 440 1660 600 1710 820 1750 1060 1850 1300 2000 1900 2400 2400 2963 4400 4019 8000 5008	CDP. No (SP. No) 1850 (914) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1550 378 1650 430 1665 576 1690 820 1800 1030 1850 1300 2000 1800 2400 2300 2985 4300 4049 8000 5046	CDP. No (SP. No) 1950 (964) T (ms) V (m/s) 2 1500 100 1500 200 1550 400 1600 480 1650 690 1750 930 1850 1200 1950 1420 2050 1900 2400 2400 2963 4400 4019 8000 5008

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2050 (1014) | 2150 (1064) | 2250 (1114) | 2350 (1164) | 2450 (1214) |
| T (ms) V (m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
200 1550	200 1550	200 1550	250 1600	250 1550
400 1650	350 1650	350 1650	380 1650	400 1650
550 1700	520 1700	480 1700	600 1775	590 1750
650 1750	680 1750	650 1750	750 1850	880 1900
900 1820	880 1850	830 1920	1000 2000	1020 2000
1180 2000	1120 1950	1130 2050	1300 2150	1280 2050
1400 2100	1300 2150	1380 2200	1600 2350	1600 2150
1700 2400	1600 2400	1500 2400	1780 2500	1800 2400
2200 3008	2100 3035	2000 3063	2280 3053	2300 2985
4200 4080	4100 4113	4000 4146	4280 4080	4300 4049
8000 5083	8000 5121	8000 5157	8000 5064	8000 5046

CDP. No (SP. No)	CDP. No (SP. No)	CDP. No (SP. No)
2550 (1264)	2650 (1314)	2750 (1364)
T (ms) V (m/s)	T (ms) V (m/s)	T (ms) V (m/s)
2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500
200 1550	230 1600	220 1600
420 1700	550 1750	480 1800
600 1800	650 1800	620 1900
850 1950	800 1950	800 2000
1050 2050	1000 2150	1000 2150
1320 2150	1300 2350	1200 2300
1600 2300	1500 2450	1400 2350
1800 2400	1700 2500	1500 2400
2300 2985	2200 3071	2000 3063
4300 4049	4200 4104	4000 4146
8000 5046	8000 5093	8000 5157

VELOCITY FUNCTION FOR LINE GS-12

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 50 (14) | 150 (64) | 250 (114) | 350 (164) | 450 (214) |
| T (ms) V (m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
268 1590	250 1600	266 1600	280 1600	280 1600
450 1750	450 1700	480 1700	420 1700	400 1650
610 1850	610 1800	620 1775	650 1800	620 1800
880 2000	900 1950	820 1900	820 1900	800 1900
1100 2150	1080 2050	1100 2050	1070 2050	1020 2050
1330 2250	1320 2150	1290 2150	1320 2150	1290 2150
1650 2400	1600 2350	1600 2350	1600 2350	1500 2350
1780 2450	1700 2450	1770 2500	1900 2500	1800 2500
2280 3021	2200 3040	2270 3055	2400 3028	2300 3049
4280 4067	4200 4092	4270 4083	4400 4045	4300 4074
8000 5059	8000 5088	8000 5068	8000 5020	8000 5057

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 550 (264) | 650 (314) | 750 (364) | 850 (414) | 950 (464) |
| T (ms) V (m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
270 1600	210 1600	200 1550	200 1550	200 1550
400 1650	400 1700	310 1650	284 1600	328 1740
600 1750	650 1850	450 1825	400 1700	568 1930
800 1900	800 2050	600 2000	550 1800	950 2300
950 2000	1000 2150	900 2200	680 1900	1450 3232
1200 2100	1170 2250	1200 2500	1050 2300	3450 4345
1400 2350	1500 2500	1700 3219	1550 3181	8000 5349
1750 2500	2000 3122	3700 4275	3550 4301	
2250 3060	4000 4168	8000 5273	8000 5314	
4250 4089	8000 5166			
8000 5075				

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1050 (514) | 1150 (564) | 1250 (614) | 1350 (664) | 1450 (714) |
| T(ms) V(m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
180 1550	176 1550	250 1600	220 1600	200 1550
300 1700	300 1700	450 1950	524 1950	400 2000
450 1900	550 1950	950 3197	1024 2800	700 2350
700 2150	700 2050	2950 4126	3020 3640	1000 2900
1200 3337	1200 3300	8000 5037	8000 4534	8000 4332
3200 4450	3200 4439			
8000 5433	8000 5430			

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1550 (764) | 1650 (814) | 1750 (858) | 1850 (908) | 1950 (958) |
| T(ms) V(m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
192 1590	300 1700	300 1650	210 1550	300 1700
320 1700	430 1750	456 2000	300 1650	600 2050
600 2400	950 3300	956 3206	400 1750	800 2250
950 3250	8000 4830	2956 4498	900 3551	1100 2750
8000 4826		8000 5152	2900 4599	1600 3395
			8000 5533	3600 4360
				8000 5325

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2050 (1008) | 2150 (1058) | 2250 (1108) | 2350 (1158) | 2450 (1208) |
| T(ms) V(m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1550	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
300 1700	200 1600	200 1550	200 1550	200 1600
500 2000	380 1650	360 1650	400 1650	320 1650
800 2450	520 1750	500 1750	500 1750	500 1700
1300 2750	670 1775	700 1850	700 1820	700 1750
1800 3330	900 1950	900 1950	890 1950	800 1850
3800 4291	1300 2200	1150 2200	1050 2200	1050 2000
8000 5258	1500 2400	1350 2400	1250 2400	1200 2200
	1600 2500	1500 2500	1450 2500	1320 2400
	2100 3096	2000 3122	1950 3137	1820 3121
	4100 4136	4000 4168	3950 4185	3820 4211
	8000 5130	8000 5166	8000 5184	8000 5223

| CDP. No (SP. No) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2550 (1258) | 2650 (1308) | 2750 (1358) | 2850 (1408) | 2950 (1458) |
| T(ms) V(m/s) |
2 1500	2 1500	2 1500	2 1500	2 1500
100 1500	100 1500	100 1500	100 1500	100 1500
200 1550	200 1550	200 1550	200 1550	200 1550
380 1650	380 1600	400 1650	300 1650	300 1600
700 1750	530 1650	550 1700	500 1700	500 1650
800 1850	700 1750	700 1750	700 1750	700 1700
980 1950	820 1800	820 1950	850 1850	800 1750
1250 2200	950 1950	950 2050	1100 2200	900 1950
1350 2400	1200 2200	1150 2250	1300 2400	1200 2200
1850 3111	1400 2400	1300 2400	1800 3128	1350 2400
3850 4120	1900 3094	1800 3128	3800 4218	1850 3110
8000 5181	3900 4181	3800 4218	8000 5230	3850 4199
	8000 5193	8000 5230		8000 5212