

上町断層系の補足調査(その1) - 石津川沿い沖積低地における P波及びS波反射法地震探査 -

Complementary study of the Uemachi fault system in the Osaka Basin (1) -P-wave and S-wave seismic reflection survey in the alluvial lowland along the Ishizu River-

杉山雄一¹・七山 太²・北田奈緒子³・竹村恵二⁴・横田 裕⁵・末廣匡基⁶

Yuichi Sugiyama¹, Futoshi Nanayama², Naoko Kitada³,
Keiji Takemura⁴, Hiroshi Yokota⁵ and Masaki Suehiro⁶

¹活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSI/AIST, sugiyama-y@aist.go.jp)

²海洋資源環境研究部門 (Institute for Marine Resources and Environment, GSI/AIST, nanayama-f@aist.go.jp)

³財団法人地域地盤環境研究所 (Geo-Research Institute, kitada@geor.or.jp)

⁴京都大学附属地球熱学研究施設 (Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University, takemura@bep.vgs.kyoto-u.ac.jp)

^{5,6}株式会社阪神コンサルタンツ (Hanshin Consultants Co., Ltd., yokota@hanshin-consul.co.jp, suehiro@hanshin-consul.co.jp)

Abstract: We conducted 1,140m-long P-wave and 340m-long S-wave reflection surveys in the 1km-wide alluvial lowland along the Ishizu River in Sakai City, Osaka, in order to image the Uemachi fault system and estimate the latest growth timing of the associated flexures. The seismic reflection surveys revealed that an NE-striking flexure is concealed beneath the alluvial lowland. This result indicates that the N-S-trending flexure along the western scarp of the Uemachi terrace extends southwestwards to the flexures in the same N-S direction, on the Pleistocene terraces in the Izumi district, gently delineating a Z-shaped curved trace. Several angular unconformities were imaged at the depth correlative to middle and late Pleistocene sequences. However, a 10m-thick subsurface zone, which is correlative to Holocene deposits, shows a nearly horizontal reflection structure without any evidence of flexure deformation. Based on the result, we conclude that the latest growth of the flexure beneath the Ishizu-river lowland completed before the deposition of Holocene beds although no age data was obtained for the deposits.

キーワード: 上町断層系, 反射法地震探査, 伏在断層, 撓曲

Keywords: Uemachi fault system, seismic reflection survey, blind thrust, flexure

1. はじめに

上町断層系は大阪市街地を南北に縦断する活断層であり, その全長は 40km 以上に達する. 1995 年兵庫県南部地震以降に実施された反射法地震探査 (大阪市, 1996; 杉山, 1997; 大阪府, 1999 など) や高精度の空中写真判読 (中田ほか, 1996; 岡田ほか, 1996; 池田ほか, 2002 など) の結果, 上町断層系は複雑に分岐・雁行する撓曲構造からなることが明らかにされた. 大阪市と堺市の境界に当たる大和川沿いでは, あべの筋の遠里小野(おりお)橋付近と, 阪神高速 4 号湾岸線の大和川橋付近に, 約 3km の間隔を置いて, 2 つの撓曲構造が分布する. このうち東側の遠里小野橋付近の撓曲は, 低位段丘面上の撓曲崖として南南西に追跡され, 仁徳天皇陵 (大仙古墳) の西縁付近を通過して, 石津川流域に達する (第 1 図). 石津川より南の地域で確認されている撓曲構造の分布を考え合わせると, 石津川付近において, 撓曲構造が逆 S 字状に大きく屈曲する可能性がある.

しかし, 石津川沿いの沖積低地では撓曲崖は認められず, これまで地下構造探査も行われていないため, 1km 以上にわたって上町断層系に関する情報が欠如している. また, 上町断層系の完新世における活動履歴については, 新淀川北岸 (上町断層: 三浦ほか, 2002) と大和川南岸 (住之江撓曲: 七山ほか, 2001) を除いて, データが得られていない. そこで, 撓曲構造の連続性と完新世における断層活動の検証を目的として, 石津川沿いの沖積低地において, P 波及び S 波による反射法地震探査を実施した.

2. 反射法地震探査の内容

2.1 探査測線

P 波反射法地震探査の測線は, 堺市浜寺船尾町西 ~ 同市神石市之町間の西北西 - 東南東方向の道路に設定した. また, S 波反射法地震探査の測線は, P 波探査測線の東部から北へ分岐するかたちで, 堺市浜

寺船尾町東の北北西 南南東方向の道路に設定した CMP (共通中点) の位置を付した両測線の配置を第 2 図に示す。P 波探査の測線長は 1,140m, S 波探査の測線長は 340m である。

なお S 波探査測線の設定に当たっては、撓曲変形が完新統に及んでいる可能性の検討を探査の主目的として、P 波探査結果、ノイズなどの探査環境、既存の地形地質及びボーリング資料を総合的に検討した。その結果、撓曲部のノイズがやや大きな P 波探査の測線を用いるよりも、第 2 図に示す別の道路を測線として用いる方が探査の目的を達成する可能性が高いと判断した。また、この測線で探査を行うことにより、撓曲構造の延びの方向を検証することを併せて目指した。

2.2 探査諸元、使用機器及び探査実施時期

1) P 波反射法地震探査

探査目標深度は 500m 以上とし、標準発震点間隔 5m, 受震点間隔 5m, 標準垂直重合数 9~10, 標準同時収録チャンネル数 100, 標準水平重合数 50, 収録記録長 2 秒, サンプリング間隔 1 ミリ秒の仕様で探査を行った (第 1 表)。

震源には地球科学総合研究所製の油圧インパクト JMI-200 を用いた。受震器には、I/O Sensor 社製の固有周期 30Hz のジオフォン SM-11 を 0.8m 間隔で 6 個直列に繋いだジオフォングループを用いた。収録装置には、株式会社地球科学総合研究所製のデジタルテレメトリー型探鉱機 GDAPS-4 を使用した。探査作業は平成 14 年 9 月 9 日~12 日に実施した。

2) S 波反射法地震探査

探査目標深度は 100m 以上とし、標準発震点間隔 1m, 受震点間隔 1m, 標準垂直重合数 20~30, 標準同時収録チャンネル数 100, 標準水平重合数 50, 収録記録長 2 秒, サンプリング間隔 1 ミリ秒の仕様で探査を行った (第 1 表)。

震源には阪神コンサルタンツ社製の油圧式 S 波震源を用いた。受震器には上述した SM-11 を 0.3m 間隔に 3 個直列接続したジオフォングループを使用した。収録装置には、P 波探査と同じく、株式会社地球科学総合研究所製の GDAPS-4 を使用した。探査作業は平成 14 年 10 月 15 日~19 日に実施した。

2.3 データ処理

探査データの処理は、通常の CMP 重合法による処理手順に従って実施した。時間断面の作成後、速度解析結果に基づいて F-K マイグレーションを行い、マイグレーション後時間断面を作成した。さらに、平均区間速度を用いて往復走時を深度に変換し、深度変換断面を作成した。なお、S 波探査データの処理においては、S 波初動走時の読み取りが困難なため、静補正を行わなかった。

3. 探査結果

3.1 P 波反射法地震探査

重合後時間断面を第 3 図、マイグレーション後時間断面を第 4 図、深度変換断面を第 5 図にそれぞれ示す。

各反射断面には東上がりの撓曲構造が明瞭に認められる。撓曲構造 (非対称向斜) のヒンジに当たる各反射面の最大曲率部は、測線西端を基点とする距離程 600~700m 付近にある。マイグレーション後時間断面と深度変換断面では、最大曲率部は深い反射面ほど東に位置する。これは、今回検出された撓曲構造が地下に伏在する東傾斜の逆断層の活動によって形成されたことを示唆する。

距離程 900m 以東ではノイズが多く、反射断面の品質が低いため、確定的ではないが、撓曲構造は距離程 1100m 付近にまで及び、幅 500m 以上に達すると推定される。

深度変換断面を見ると、相対的沈降側 (断面図左半部) の標高 -50m 以深の反射面が撓曲変形を被っているのは明らかである。しかし、標高 -50m 以浅の反射波構造は明瞭ではなく、撓曲変形が及んでいる上限深度・層準の特定は困難である。

3.2 S 波反射法地震探査

重合後時間断面を第 6 図、マイグレーション後時間断面を第 7 図、深度変換断面を第 8 図にそれぞれ示す。

各反射断面には、距離程 75m 付近 (CMP No. 150 付近) を下端とする緩やかな撓曲構造が認められる。

深度変換断面の相対的沈降側 (断面図左端部) の、標高 -60m 付近に認められる顕著な反射面と同 -20m 付近の反射面に挟まれる層準を隆起側 (南側) へ追跡すると、この層準の層厚が次第に薄くなっていることが分かる。

また、標高 -10m 以浅に認められる反射面は、深度変換断面の全域にわたってほぼ水平に追跡される。

4. 考 察

4.1 撓曲構造の連続性

今回の P 波及び S 波反射法地震探査の結果、石津川沿いの沖積低地に撓曲構造が伏在することが確認された。また、両探査測線で確かめられた撓曲構造下端の位置から、この撓曲構造は北東 南西方向に延びると考えられる。

今回の調査地域周辺では、平成 8 年度に、約 2km 北東方の仁徳天皇陵付近 (堺第 1 測線) と約 1.5km 南西方の浜寺公園~大鳥神社付近 (堺第 2 測線) で反射法地震探査が実施されている (杉山, 1997)。平成 8 年度の探査結果並びに低位段丘の撓曲変形の分布 (中田ほか, 1996) から、仁徳天皇陵付近に認められる撓曲が南西に延び、今回探査を行った石津川沿いの沖積低地下に連続すると推定される (第 9 図)。南の堺第 2 測線では、2 つの撓曲構造が確認されて

いることから、第9図に示すように、今回の探査測線より南西方の石津川低地下において、撓曲構造が南へ向かって二股に分かれている可能性がある。

4.2 反射断面の地質学的解釈

大阪地域で実施された反射法地震探査断面に認められる反射面と大阪層群の海成粘土層との対比（対応付け）は、土質工学会関西支部ほか（1992）、地質調査所資料（1996）、三田村ほか（2000）などによって行われている。これらの既存資料に基づいて、今回得られた反射断面（深度変換断面）に認められる反射面と海成粘土層との対比（対応付け）を試みた結果を第10図と第11図に示す。

この対比によると、Ma0層（約1.2Ma）～Ma6層（約0.6Ma）の層準は、相対的沈降側から撓曲部にかけて、層厚がほぼ一定している（第10図）。これに対して、Ma6層～Ma10層（約0.3Ma）の層準の厚さは、撓曲部において隆起側に向かって薄くなっている（第11図）。これは、今回の探査で検出された撓曲構造が、主として、Ma6層の堆積後に成長したことを示唆する。

既存のボーリングデータ（関西地盤情報活用協議会、2001など）を参照して解釈したS波反射法地震探査の深度変換断面を第12図に示す。既存のボーリングデータ（sk06:24Ac-06など）によると、S波探査測線付近の完新統の層厚は10m程度と推定される。このデータから、深度変換断面の右端（南端）に近いCMP No. 560～580付近において、標高約-6mに認められ、同断面の左方（北方）へ追跡される反射面を完新統の基底と見なした。

S波探査による深度変換断面のCMP No. 220、標高-16m付近や、CMP No. 420、標高-20m付近には、不整合と推定される反射面の斜交関係（下位の反射面が上位の反射面に切られる関係：トランケーション）が認められる。このような反射波構造は、Ma10層の堆積後にも撓曲構造が繰り返し成長したことを示唆する。

完新統に対比した深さ約10m以浅の反射面はほぼ水平に連続していることから、この層準は撓曲変形を被っていないと推定される。今回の調査では、完新統のコア採取と年代測定を行っていないため、撓曲の最新の成長を引き起こした断層活動の上限年代（完新統最下部の年代）は不明である。

5. まとめ

1) 上町断層系を構成する撓曲構造の連続性と完新世における活動の有無を確かめるため、石津川南岸においてP波及びS波による反射法地震探査を行った。その結果、石津川沿いの沖積低地下に、北東南西に延びる撓曲構造が伏在することを確認した。

2) この撓曲構造は北東約2kmの仁徳天皇陵付近に見られる撓曲の南西延長に当たると共に、南西約

2kmの浜寺公園付近に伏在する撓曲に連続すると推定される。また、この撓曲の分岐が大鳥神社付近の低位段丘上に見られる撓曲に連続する可能性がある。

3) 既存のボーリングデータを参照して、地表から深度約10mまでの部分を完新統に対比した。地表から深度10mまでの反射面はほぼ水平に連続することから、完新統に対比した層準は撓曲変形を被っていないと推定した。完新統に対比した層準からは年代データが得られていないため、撓曲の最新の成長を引き起こした断層活動の上限年代は不明である。

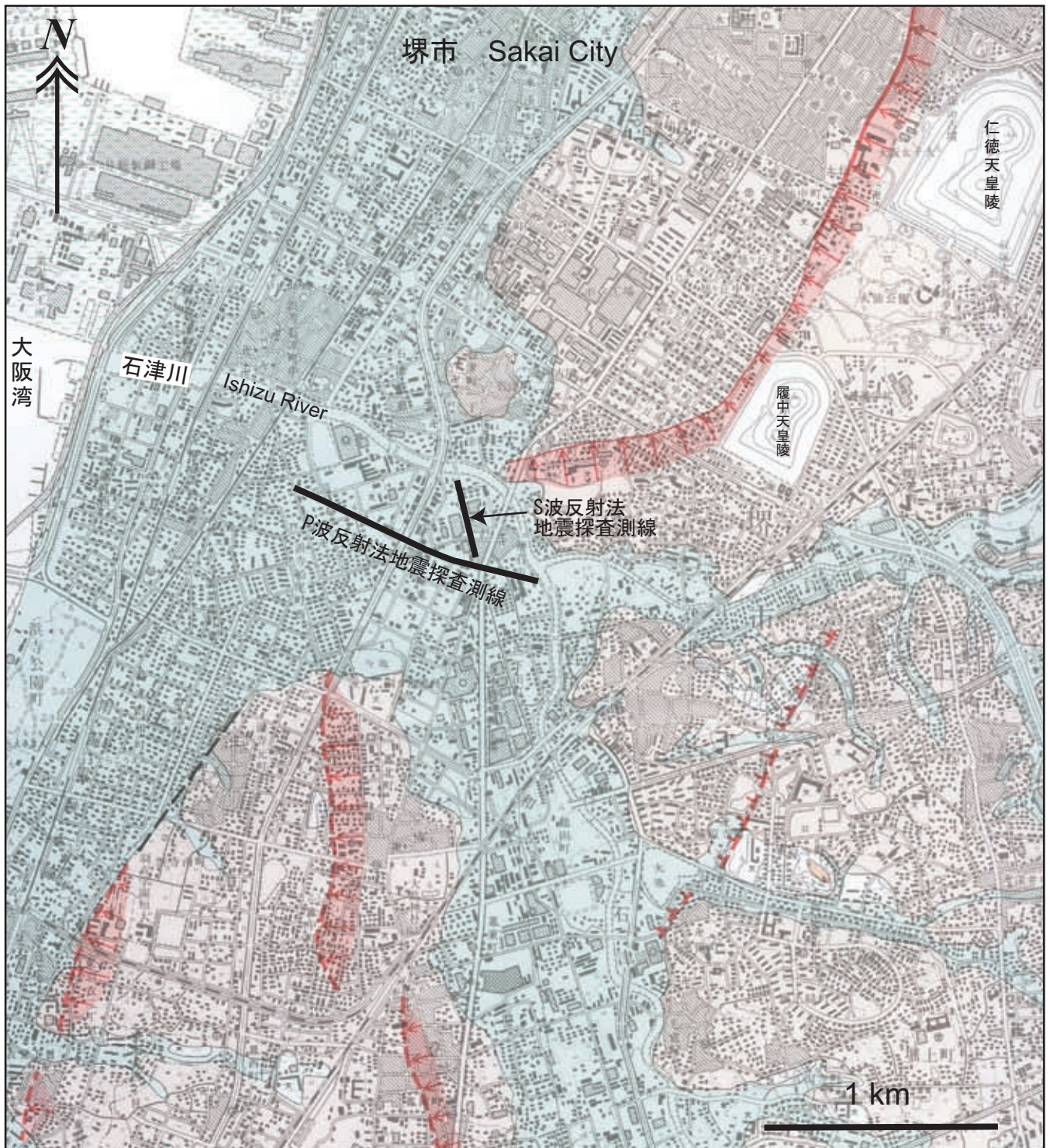
文 献

- 大阪市（1996）平成7年度地震調査研究交付金「上町断層帯に関する調査成果報告書」。大阪市，235p.
- 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.
- 大阪府（1999）平成10年度地震関係基礎調査交付金「上町断層帯に関する調査成果報告書（概要版）」。大阪府，39p.
- 中田 高・岡田篤正・鈴木康弘・渡辺満久・池田安隆（1996）1: 25,000都市圏活断層図「大阪西南部」，国土地理院技術資料D・1-No. 333.
- 岡田篤正・千田 昇・中田 高（1996）1: 25,000都市圏活断層図「岸和田」，国土地理院技術資料D・1-No. 333.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編（2002）第四紀逆断層アトラス。東京大学出版会，254p.
- 三浦健一郎・七山 太・内海 実・杉山雄一・安原盛明・横山芳春・北田奈緒子・竹村恵二（2002）新淀川群列ボーリングコアの高精度解析に基づく上町断層の完新世活動性評価。活断層・古地震研究報告，産業技術総合研究所地質調査総合センター，No. 2, 109-123.
- 七山 太・土井康裕・北田奈緒子・竹村恵二・杉山雄一（2001）大阪平野西部，上町断層系住之江撓曲の活動度評価とこれに基づく過去1万年間の海水準変動。地質学雑誌，107，215-221.
- 土質工学会関西支部「関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会」・地下空間の活用と技術に関する研究協議会（1992）関西地盤。土質工学会関西支部，212p.
- 地質調査所資料（1996）上町断層の断層長評価に係わる反射法弾性波探査役務報告書。
- 三田村宗樹・吉川周作・内山美恵子（2000）大阪平野における第四系海成粘土層の分布深度の規則性と反射法地震探査断面との対比への応用。地下水技術，42，no. 6, 14-24.
- 関西地盤情報活用協議会（2001）関西地盤調査情報データベース（CD-ROM）。

(受付 : 2003 年 7 月 28 日 , 受理 : 2003 年 8 月 21 日)

第 1 表 . P 波及び S 波反射法地震探査の主要諸元 .
Table 1. Main parameters for P-wave and S-wave reflection surveys.

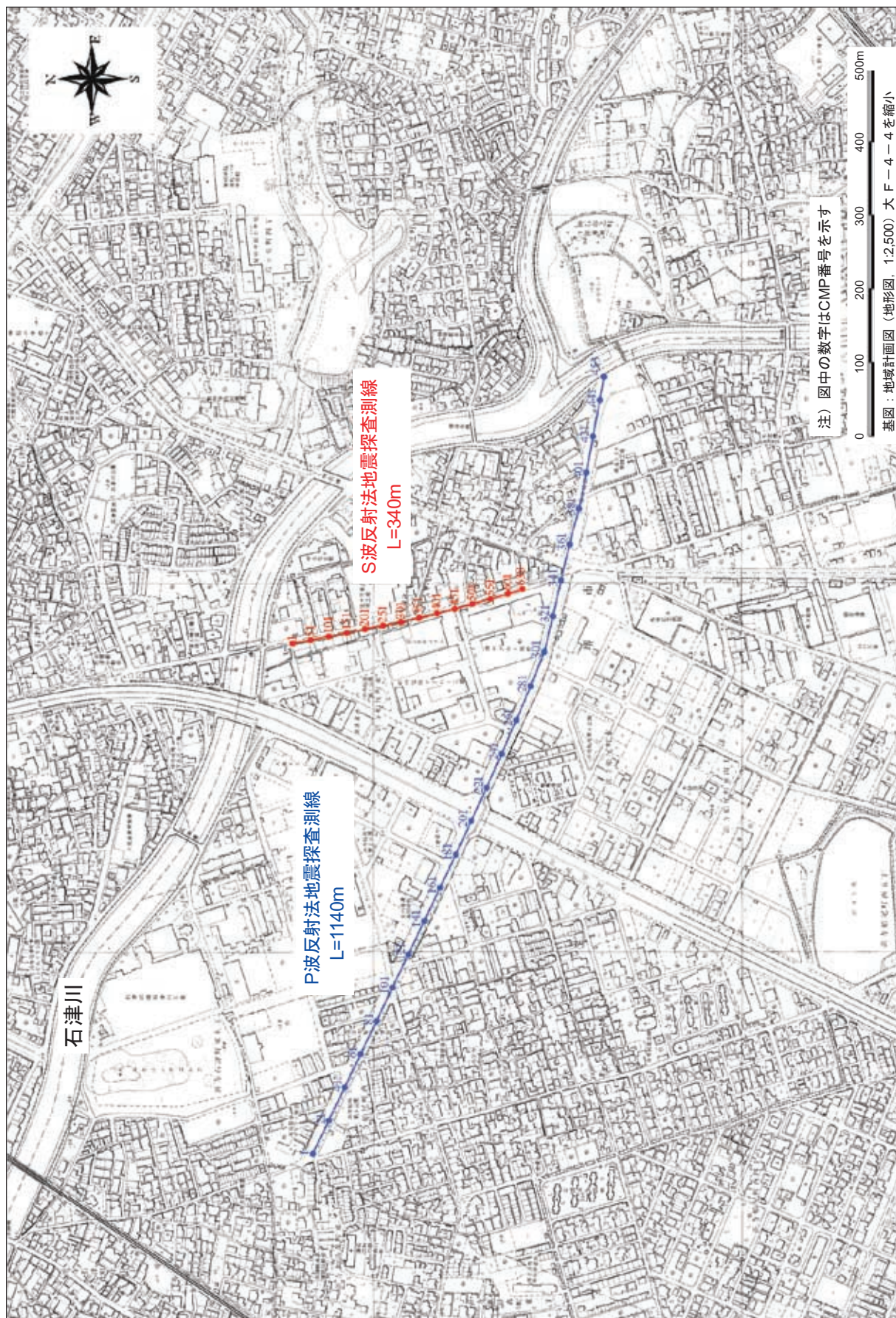
	P-wave survey	S-wave survey
Survey line length	1,140 m	340 m
Seismic source	Impactor (JMI-200)	Autohammer
Shot point interval	5 m	1 m
Standard times of shot at each shot point	9~10	20~30
Receiver	6-geophone (SM-11) array	3-geophone (SM-11) array
Natural frequency	30 Hz	30 Hz
Receiving point interval	5 m	1 m
Standard receiving channels	100	100
Maximum offset	500 m	100 m
Standard CMP fold	50	50
CMP interval	2.5 m	0.5 m
Recording system	G.DAPS-4	G.DAPS-4
Record length	2 s	2 s
Sampling interval	1 ms	1 ms



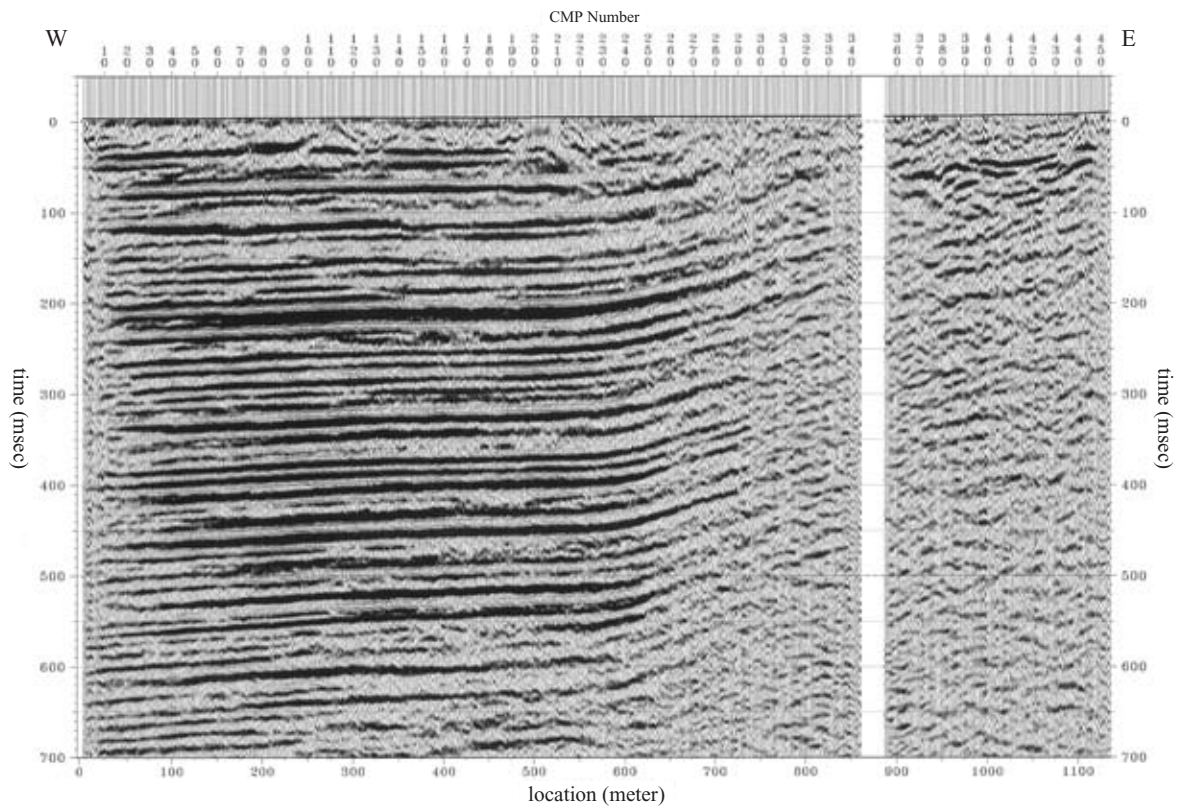
第1図. P波及びS波反射法地震探査の測線位置図.

基図は国土地理院発行の都市圏活断層図「大阪西南部」(中田ほか, 1996). 矢印を付した濃いピンク色の帯状部は活撓曲, 薄い緑色部は沖積低地, 薄いピンク色の部分は低位段丘面.

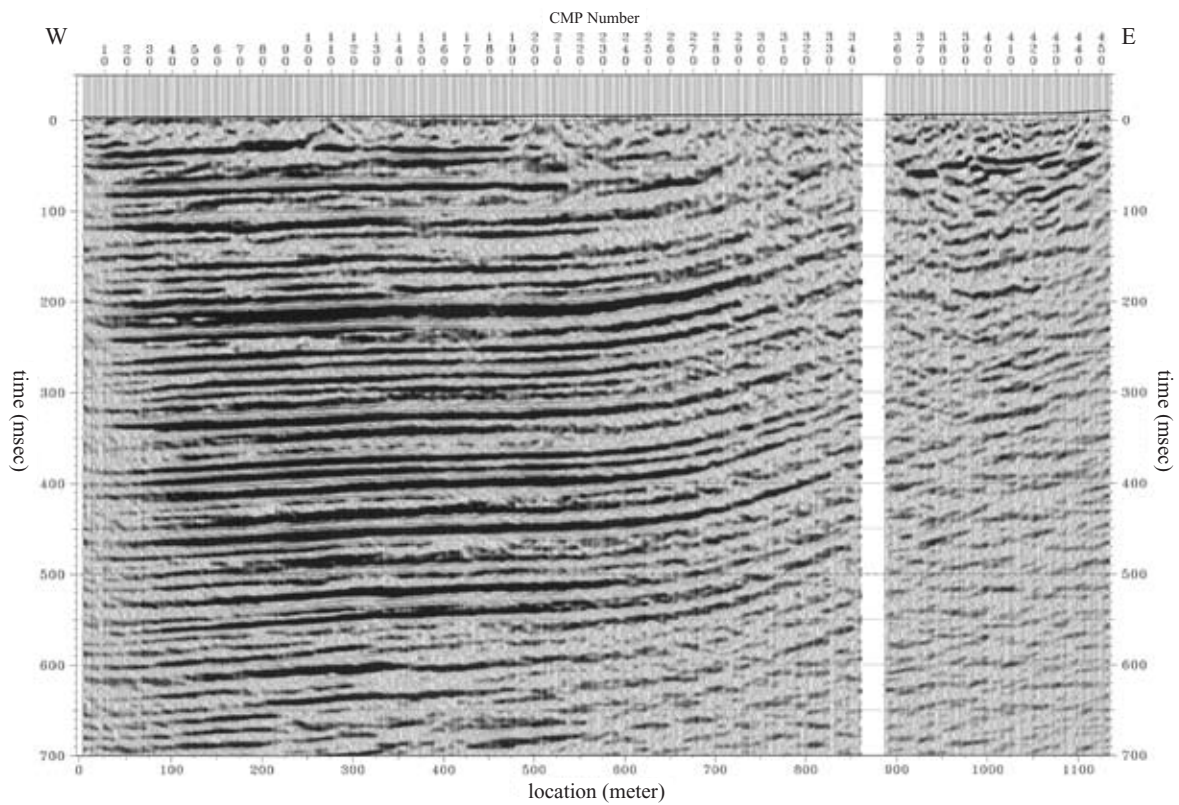
Fig. 1. Map showing P-wave and S-wave seismic reflection survey lines. Base map is 1: 25,000 Active Fault Map in Urban Area "Osaka seinanbu" (Nakata et al., 1996) published from the Geographical Survey Institute. Deep pink belts with red arrows are active flexures of the Uemachi fault system. Light gray and light pink areas are alluvial lowland and lower terrace surface, respectively.



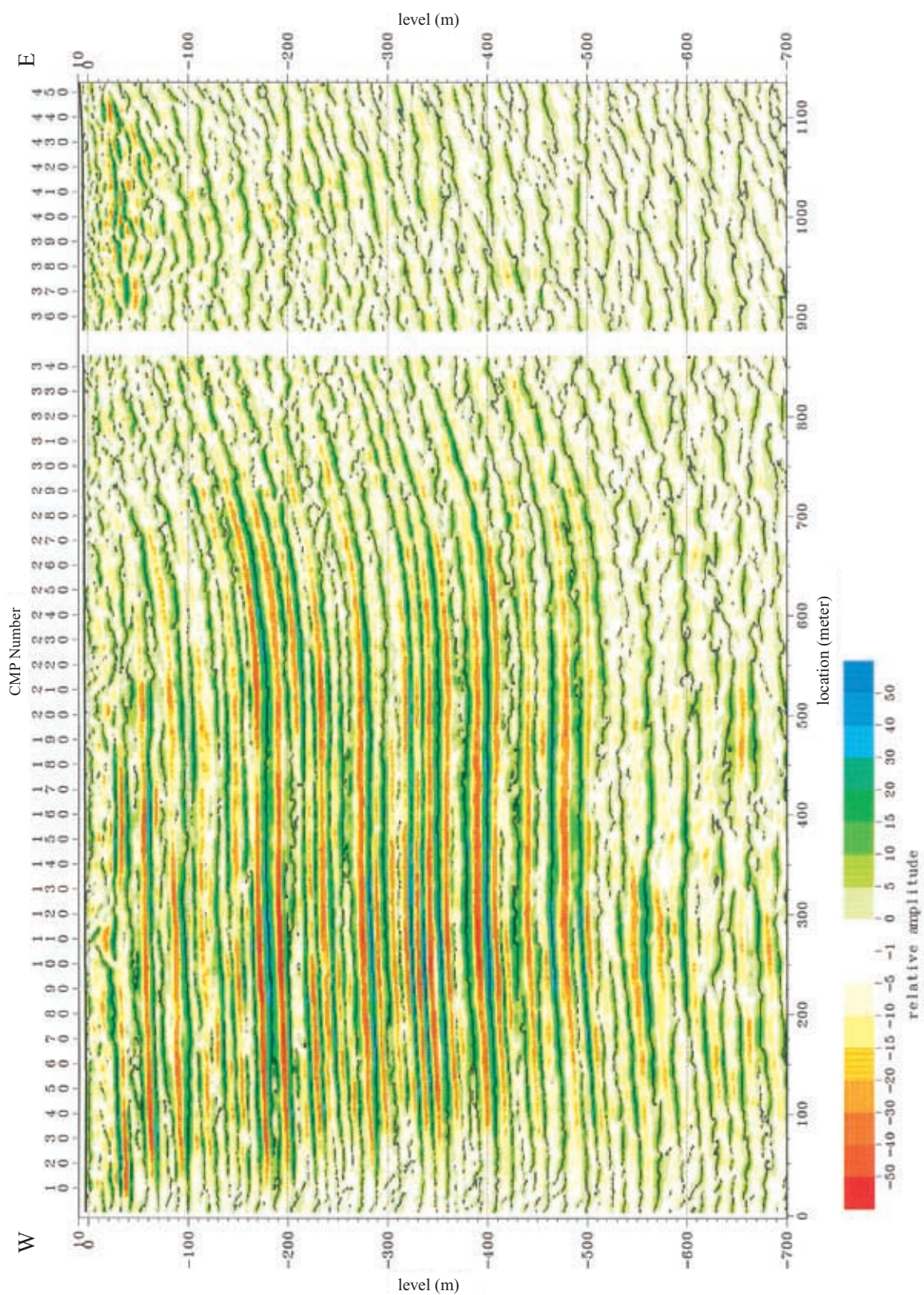
第2図. P波及びS波反射法地震探査の詳細測線位置図. 測線に付した数値はCMP (共通中点) 番号.
 Fig. 2. Detailed location map of P-wave and S-wave seismic reflection profiling lines in the alluvial lowland along the Ishizu River. CMP numbers are shown on each profiling line.



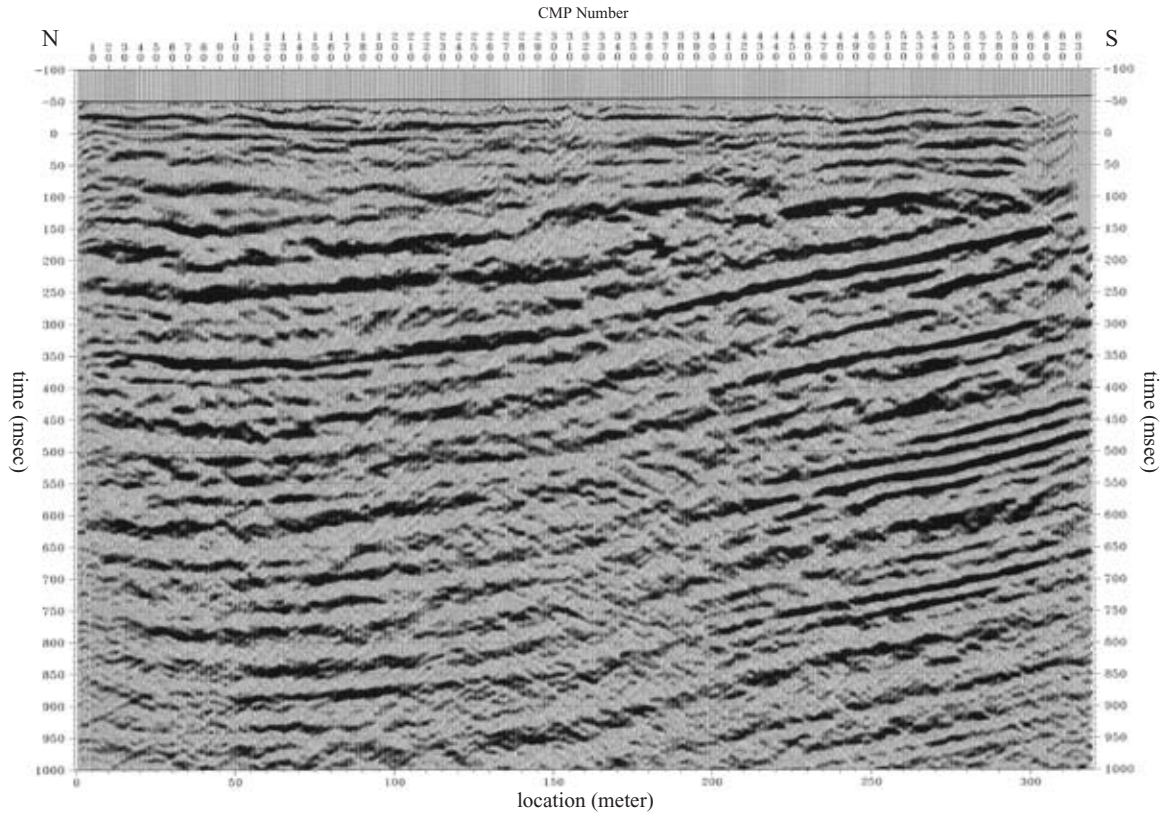
第3図. P波反射法地震探査結果（その1）：重合後時間断面図. 測線の位置は第1図，第2図を参照.
Fig. 3. P-wave seismic reflection profile (1): CMP stacked time section without migration.



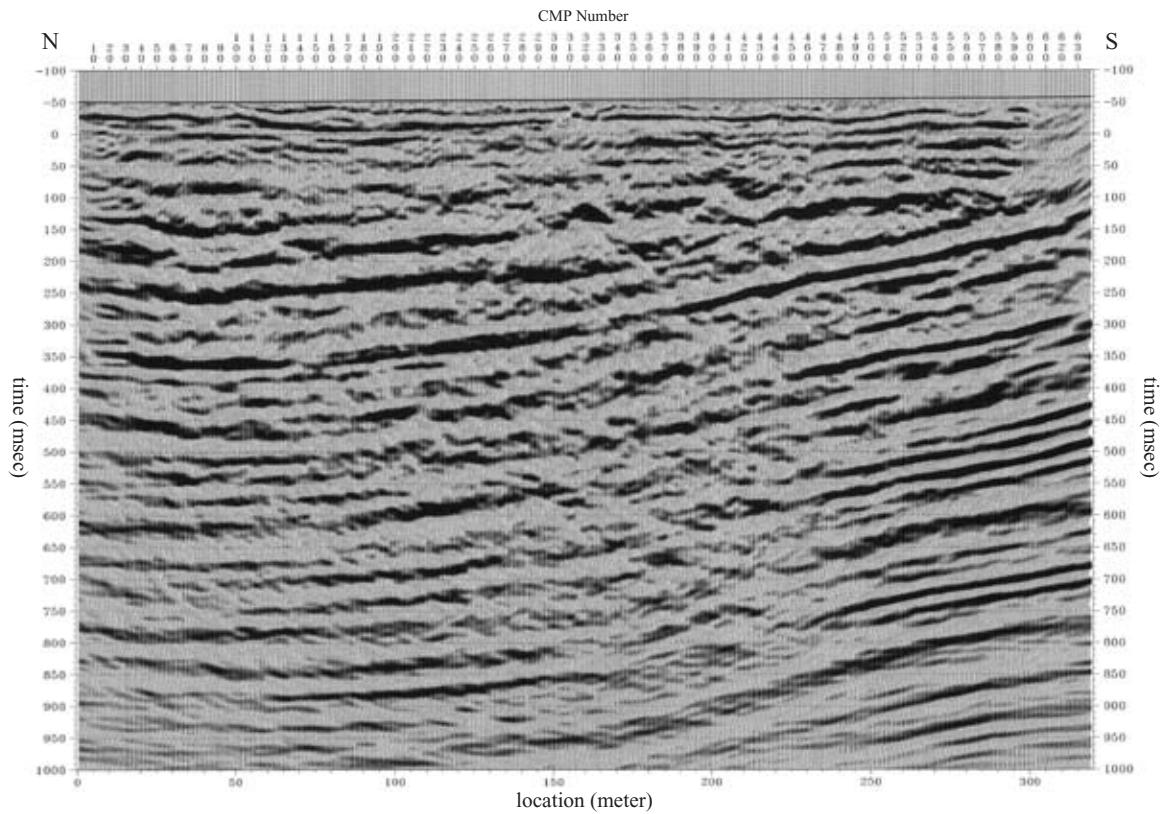
第4図. P波反射法地震探査結果（その2）：マイグレーション後時間断面図.
Fig. 4. P-wave seismic reflection profile (2): migrated time section.



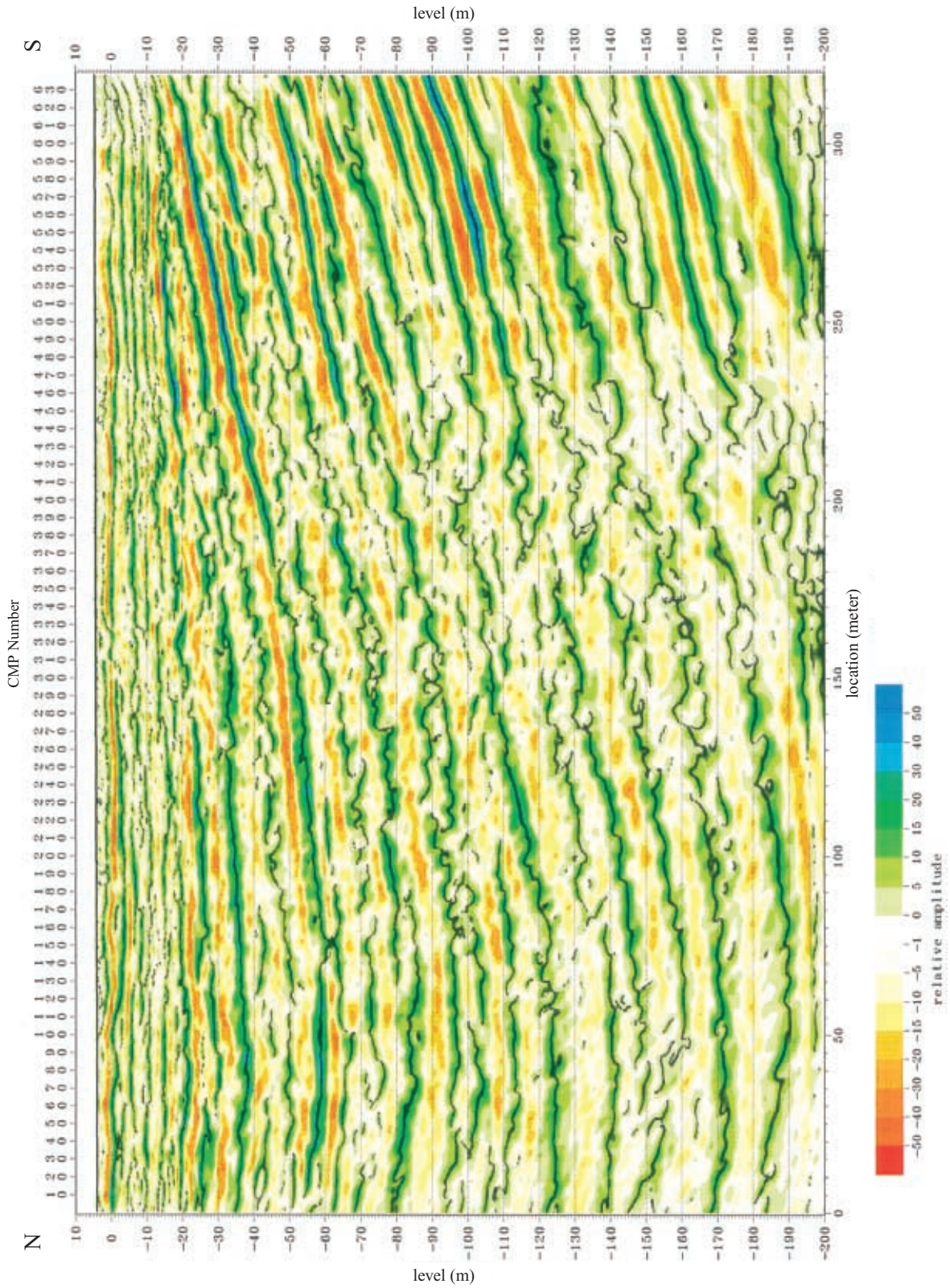
第5図. P波反射法地震探査結果 (その3) : 深度変換断面図. 測線の位置は第1図, 第2図を参照.
 Fig. 5. P-wave seismic reflection profile (3): depth-converted section with post-stack migration. See Figs. 1 and 2 for the profile location.



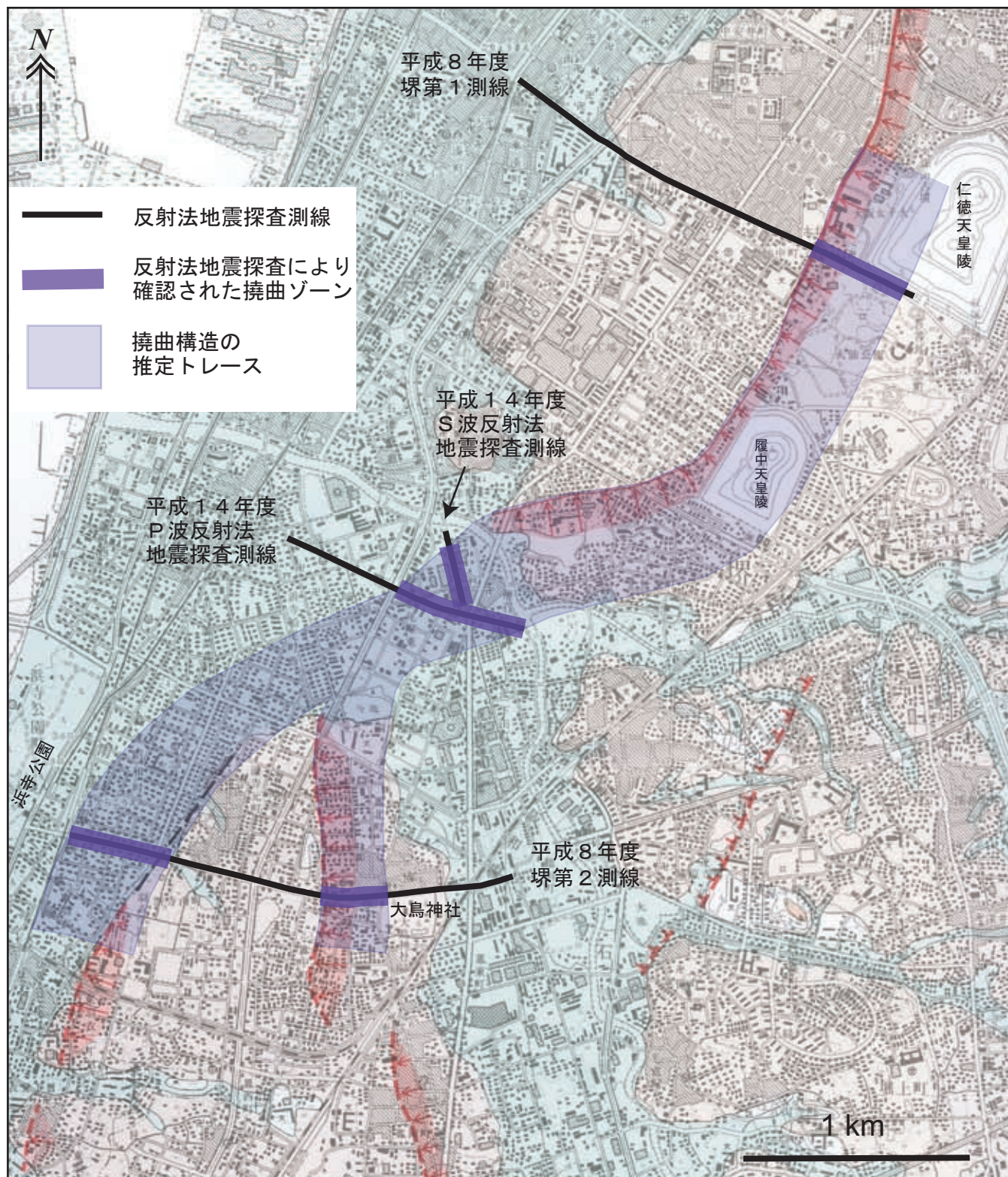
第6図. S波反射法地震探査結果（その1）：重ね後時間断面図. 測線の位置は第1図，第2図を参照.
 Fig. 6. S-wave seismic reflection profile (1): CMP stacked time section without migration.



第7図. S波反射法地震探査結果（その2）：マイグレーション後時間断面図.
 Fig. 7. S-wave seismic reflection profile (2): migrated time section.

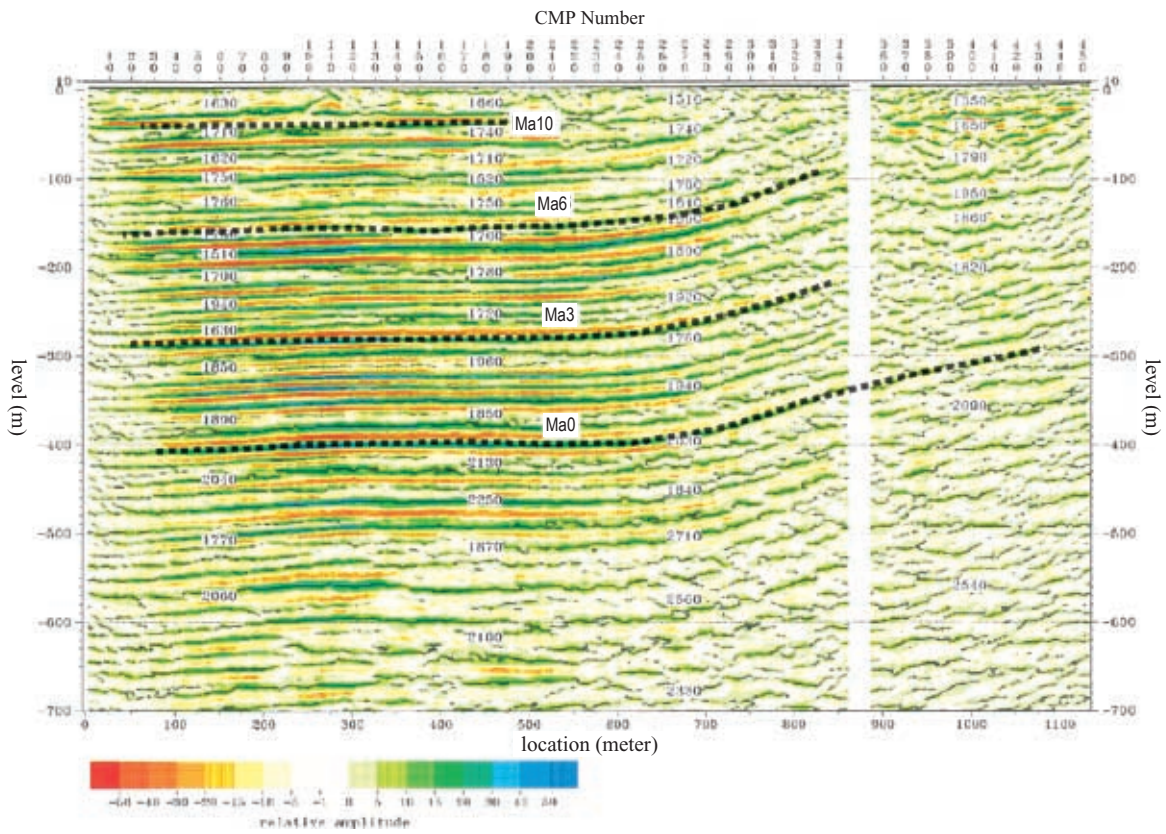


第8図. S波反射法地震探査結果 (その3) : 深度変換断面図. 測線の位置は第1図, 第2図を参照.
 Fig. 8. S-wave seismic reflection profile (3): depth-converted section with post-stack migration. See Figs. 1 and 2 for the profile location.

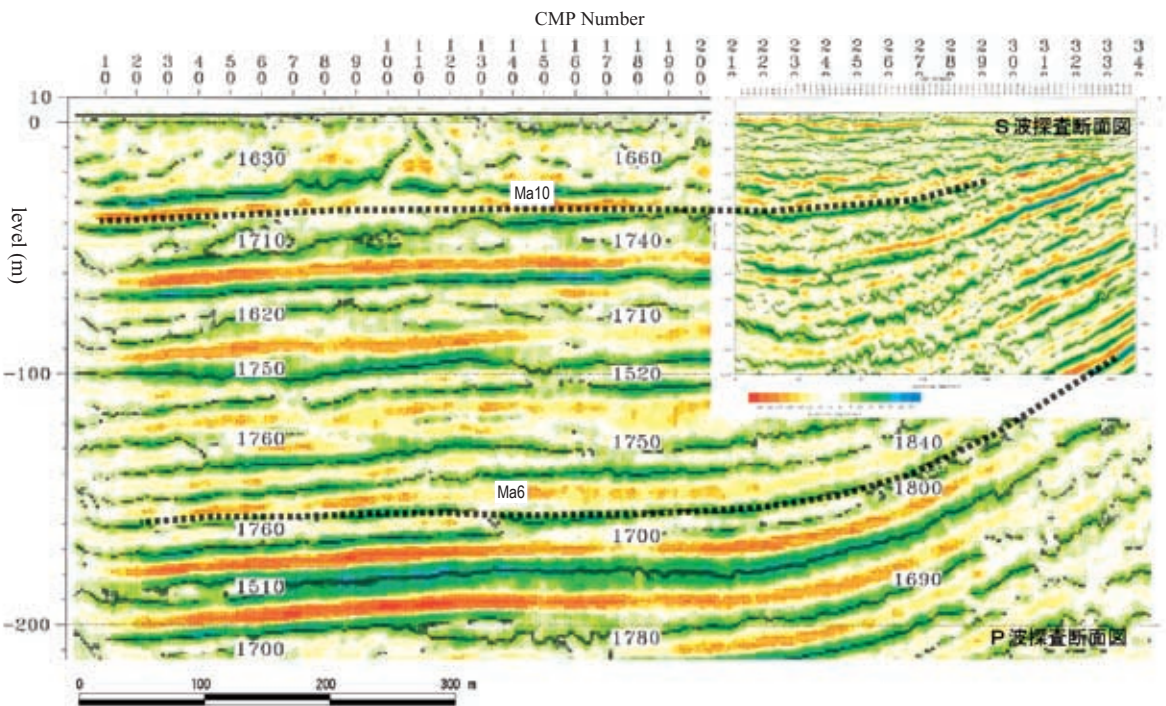


第9図. 反射法地震探査により確認された撓曲ゾーンの分布と推定される撓曲構造のトレース. 基図は国土地理院発行の都市圏活断層図「大阪西南部」(中田ほか, 1996). 矢印を付した濃いピンク色の帯状部は活撓曲, 薄い緑色部は沖積低地, 薄いピンク色の部分は低位段丘面.

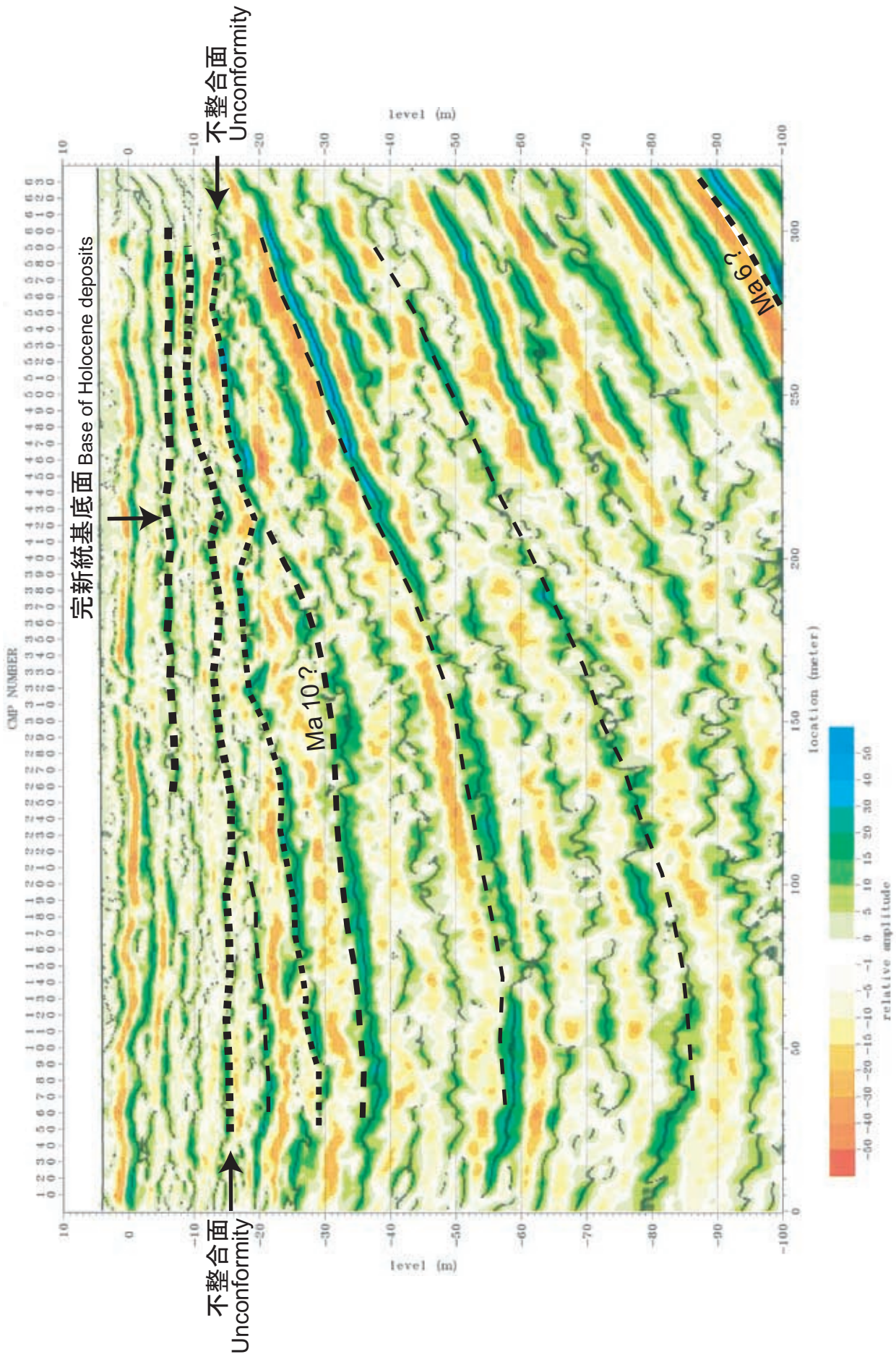
Fig. 9. Distribution of flexure zones (thick dark violet lines) confirmed by seismic reflection profiling and inferred trace of the flexure (pale violet belt). Base map: 1: 25,000 Active Fault Map in Urban Area "Osaka seinanbu" (Nakata et al., 1996) published from the Geographical Survey Institute. Light gray and light pink areas are alluvial lowland and lower terrace surface, respectively. Deep pink belts with red arrows are flexures on the lower terrace surfaces.



第10図. P波反射法地震探査による反射面と大阪層群の海成粘土層との対比.
 Fig. 10. Correlation of reflectors imaged by the P-wave reflection profiling with marine clay beds of the Osaka Group.



第11図. P波及びS波反射法地震探査による反射面と大阪層群の海成粘土層との対比.
 Fig. 11. Correlation of reflectors imaged by the P-wave and S-wave reflection profiling with marine clay beds of the Osaka Group.



第12図. S波反射法地震探査断面(鉛直誇張: 2倍)の地質学的解釈.
 Fig. 12. Geologic interpretation of the depth-converted S-wave seismic reflection profile (vertical exaggeration: $\times 2$).