

本報告書の構成について

本報告書は、(社)地盤工学会 阪神・淡路大震災調査委員会の活動の一環として、各部会で収集したデータを基に取りまとめた資料編である。既刊の解説編が大震災の全貌を簡潔に概説したのに対して、本資料編では収集したデータを出来るだけ網羅し、これからの研究に役立つ形で記録することを目的としている。

そこでデータの収集にあたっては、データの特性を簡潔に表現し分類するため、委員会で共通の「調査票」を作成した。収集したデータは1件ごとに調査票により該当項目のチェックを行っている。このため調査票データを利用すれば、データ全体の体裁の統一を図れるだけでなく、データの検索や利用が容易となっている。

資料は委員会の部会に従って章ごと分類されており、それぞれの章では最初に解説編の内容を再掲、続いて資料としてデータごとに調査票を付けて掲載している。また調査票の内容は別添のフロッピーディスクに収録されているので、必要に応じて簡易的な震災資料データベースを構築し、検索などに利用することができる。

ただし、基礎構造物(道路関係)の部会は、独自のフォーマットでデータを収集整理しているため、共通の調査票に関するデータは無く、別添のフロッピーにも収録されていないことをお断りしておく。

調査票データについて

調査票の内容・フォーマットについては以下の通りである。また別添のフロッピーディスクは DOS/V 用の 1.44M フォーマットで、調査票データは Microsoft 社の表計算ソフト Excel のワークシート (*.xls) およびタブ区切りテキスト (*.txt) として収録されている。

・部会 No :

資料を収集した部会名

・Ser No :

部会毎につけた連番

・記録日 :

データを記録した年月日。西暦により「950804」(‘95年8月4日)のように記入。日が特定されていない場合、「00」とする。また場合によってはハイフンで記録した期間を示しているものもある。

・対象物 :

対象物を以下のカテゴリーに分類。対象物が複数のカテゴリーに該当する場合は、カンマで区切って並記する。

建物(S造、RC造、SRC造、W造、その他)、橋梁(鉄道、道路、その他)、土構造物・盛土(鉄道、道路、その他)、河川、貯水池、灌漑施設、港湾護岸施設、ライフライン、地下構造物、人工島・埋立地、山地斜面、断層、亀裂、基礎構造物(杭、直接、その他)、その他

・被災形態【構造的(力学的)被害] :

程度に応じて「無、小、中、大」から選択。被害程度の定義は各部会による。

・被災形態【機能的被害】：

程度に応じて「無、小、中、大」から選択。被害程度の定義は各部会による。

・被災形態【地盤の状態】：

当該地点の地盤の状態を以下のカテゴリーに分類。複数のカテゴリーに該当する場合は、カンマで区切って並記する。

液状化、側方流動、沈下、地すべり、その他

・資料の種類：

資料の種類を以下のカテゴリーに分類。複数のカテゴリーに該当する場合は、カンマで区切って並記する。

被害状況データ（図、表、写真、その他）、地盤データ（土質柱状図、地質断面図、材料実験結果、その他）、地震動記録、常時微動記録、断面図・設計図（被災前、復旧時）、土地利用の変遷、被災前の状況（写真、その他）、その他

・特記事項【キーワード】：

データの性質を端的に示すキーワードを最大3つまで並記。

・特記事項【資料出典】：

今後の研究に利便を図るため、資料の出典を示す。

・特記事項【その他】：

その他研究上必要と思われるデータを自由なフォーマットで記載。

・位置【住所】：

該当地点の住所。複数地点の場合、カンマで区切って並記。なおこの項目のデータ長では情報が書ききれない場合、特記事項【その他】にも関連情報を追加して記入。

・位置【地図】：

該当地点が掲載されている地図の図葉名と縮尺。

・位置【形状】：

該当地点の形状を表すため、「点、線、面」のキーワードと位置表示点数を記入。例えば、該当地点が面状で8点の位置表示点数がある場合は「面8」。

・位置【読取り方法】：

該当地点の緯度経度の読取り方法を「目読、GIS、測量」から選択。

・位置【緯度経度】：

緯度経度を以下のフォーマットで記載。複数の位置表示点がある場合は、カンマで区切って並記。
(350425.1, 1340935.2) は北緯 35 度 04 分 25.1 秒、東経 134 度 09 分 35.2 秒を示す。また秒を用いない表記法 (3505.65, 13409.10) も許し、この場合は北緯 35 度 05.65 分、東経 134 度 09.10 分を意味する。さらに度以下を小数で表す表記法 (35.0825, 134.8910) 北緯 35.0825 度、東経 134.8910 度も許す。今回の地震による被害範囲を念頭におけば、これらの表記法の併用により誤解が生じる可能性は少ない。

・記入者：

データの記入者を「氏名・所属」で示す。複数の記入者にわたる場合は、特記条項【その他】にも記入者に関する情報が書き込まれることがある。

(社)地盤工学会 阪神大震災調査委員会は、同 阪神大震災特別委員会(委員長:吉見吉昭 地盤工学会会長)と同調査部の指導のもと、平成7年1月25日に足立紀尚 京都大学教授を委員長として発足した。発足の経緯については、学会誌「土と基礎」平成7年3月号に詳しい¹。

委員会活動としては、以下に示す活動を行って来た。

第1回委員会:	平成7年1月25日(於 京都大学工学部土木工学科)
第2回委員会:	平成7年2月21日(於 関西文化サロン)
第3回委員会:	平成7年4月12日(於 建設交流会館)
主査会議:	平成7年5月17日(於 大阪市立大学文化交流センター)
第1回連絡幹事会:	平成7年6月28日(於 地盤工学会関西支部)
主査委員・特別委員合同会議:	平成7年7月5日(於 関西文化サロン)
第4回委員会:	平成7年7月19日(於 大阪市立大学文化交流センター)
第2回連絡幹事会:	平成7年9月13日(於 地盤工学会関西支部)
第5回委員会:	平成7年10月25日(於 大阪市立大学文化交流センター)
第6回委員会:	平成8年3月19日(於 大阪弥生会館)

また調査活動によって得られた調査成果については、下記の機会を通じて最新の成果を学会員諸氏に還元してきた。

- 地盤震害第1回ワークショップ:(本委員会主催)
 - 平成7年4月25日 建設交流会館グリーンホール(大阪)
 - 平成7年4月26日 大阪厚生年金会館 中ホール(大阪)
- 報告会「地盤震害の全容と教訓」:(阪神大震災特別委員会主催)
 - 平成7年5月24日 中央大学駿河台記念館 2階ホール(東京)
- 土質工学研究発表会 特別セッション「都市直下型地震と地盤工学的諸問題」:(本委員会主催)
 - 平成7年7月12日 金沢市文化ホール 大ホール(金沢)
- シンポジウム「阪神・淡路大震災のそこが知りたい」
 - 「震災がもたらした地盤工学的諸問題と被害の全体像」:(関西支部主催)
 - 平成8年3月18、19日 毎日新聞ビル オーバルホール(大阪)
- シンポジウム「阪神・淡路大震災」
 - 「震災がもたらした地盤工学的諸問題と被害の全体像」:(中部支部主催)
 - 平成8年3月22日 名古屋市工業研究所(名古屋)
- 阪神大震災報告会「地盤震害の教訓と今後の対応」:(阪神大震災特別委員会と共催)
 - 平成8年3月27日 早稲田大学 国際会議場 井深大記念ホール(東京)

活動の成果を取りまとめた出版物として、調査結果を簡潔に整理して解説した「阪神・淡路大震災調査報告書(解説編)」(平成8年3月発行)と、そのバックグラウンドとなる調査データを収録した「阪神・淡路大震災調査報告書(資料編)」(本報告書)を発行している。

特に本報告書は、調査データをできるだけ盛り込もうとしたところに意義があり、各委員の献身的なご助力や関係機関のご協力なくしては実現し得なかったものである。ここに改めて御礼申し上げる次第である。

¹ 足立紀尚:「阪神大震災調査委員会の発足にあたって」、土と基礎、第43巻、第3号、pp.1-2、1995。

調査活動に御協力下さった特別委員，主査委員，委員，ワーキンググループ委員の名簿は以下の通りである。

(社)地盤工学会 阪神大震災調査委員会 委員会名簿(50音順)

委員長：足立紀尚(京都大学)

アドバイザー：柴田 徹(福山大学)、中堀和英(中堀ソイルコーナー)

副委員長：佐藤忠信(京都大学)

総務担当主査：関口秀雄(京都大学)

調査部委員：村松正重(大成建設、H7.1～H7.9.)、上野孝之(大林組、H7.10.～H8.3.)

特別委員：

安藤雅成(大阪府土木部)、石田昌弘(川崎製鉄)、伊藤文平(神戸市、H7.1.～H.7.9.)、

遠藤禎一(関西地質調査業協会、H7.4.～H8.3.)、柏井善夫(関西地質調査業協会、H7.1.～H7.3.)、

堺 義一(大林組)、佐々木良作(兵庫県)、霜上民生(建設省)、

菅野安男(関西地質調査業協会、H7.4.～H8.3.)、杉木孝行(西日本旅客鉄道)、鈴木雅夫(NTT)、

竹内孝光(日本道路公団)、中島一夫(大阪ガス)、橋本孝正(大阪市)、松村正一(建設省国土地理院)、

松本正毅(関西電力)、南 兼一郎(運輸省)、森田悠紀雄(関西地質調査業協会、H7.1.～H7.3.)、

山縣 守(本州四国連絡橋公団)、山田耕一郎(神戸市、H7.10.～H8.3.)

主査委員：

安藤雅孝(京都大学)、伊勢村邦郎(日建設計)、井上 豊(大阪大学)、入倉孝次郎(京都大学)、

岩崎好規((財)大阪土質試験所)、尾池和夫(京都大学)、大西有三(京都大学)、岡 二三生(岐阜大学)、

岡田篤正(京都大学)、岡本 厚(京都大学)、小野紘一(鴻池組)、亀田弘行(京都大学)、

嘉門雅史(京都大学)、軽部大蔵(神戸大学)、日下部 馨(神戸大学)、櫻井春輔(神戸大学)、

佐々恭二(京都大学)、高田至郎(神戸大学)、高田直俊(大阪市立大学)、龍岡文夫(東京大学)、

田中 豊(地殻力学研究所)、中川康一(大阪市立大学)、西 勝(神戸大学)、長谷川高士(京都大学)、

長谷川博幸(パスコ)、林 春男(京都大学)、藤田 崇(大阪工業大学)、松井 保(大阪大学)

委員：

赤松純平(京都大学)、阿部信晴(大阪大学)、安藤 進(鹿島建設)、井合 進(運輸省)、

枝村俊郎(摂南大学)、大島昭彦(大阪市立大学)、岡田勝也((財)鉄道総合技術研究所)、

沖村 孝(神戸大学)、小田和広(大阪大学)、勝見 武(京都大学)、岸田 潔(京都大学)、

北 勝利(京都大学)、北浦 勝(金沢大学)、木村 亮(京都大学)、清野純史(山口大学)、

高武秀年(神戸市)、国生剛治(電力中央研究所)、小林俊一(京都大学)、小林育夫(鴻池組)、

澤 孝平(明石工業高等専門学校)、澤田純男(京都大学)、沢藤尚文(大成建設)、末岡 徹(大成建設)、

杉戸真太(岐阜大学)、高橋嘉樹(不動建設)、建山和由(京都大学)、田中 誠(京都大学)、

田中泰雄(神戸大学)、谷本親伯(京都大学)、田村 武(京都大学)、東田 淳(大阪市立大学)、

東畑郁生(東京大学)、中須 誠(日本道路公団)、中平明憲(建設技術研究所)、西田一彦(関西大学)、

橋本邦俊(三洋テクノマリン)、橋本 正((財)大阪土質試験所)、服部 進(福山大学)、

濱田政則(早稲田大学)、松尾 修(建設省)、松山紀香((財)大阪土質試験所)、三浦昭爾(大林組)、

水戸義忠(京都大学)、三村 衛(京都大学)、三宅達夫(東洋建設)、望月秋利(大阪市立大学)、

八嶋 厚(岐阜大学)、安田 進(東京電機大学)、山下隆男(京都大学)、吉田信之(京都大学)

ワーキンググループ委員：

会田武彦（住友金属工業）、青柳計太郎（銭高組）、芥川真一（神戸大学）、
朝倉俊弘（（財）鉄道総合技術研究所）、荒木繁幸（ダイヤコンサルタント）、安藤増実（かんこう）、
池田忠幸（神戸市）、石川 裕（清水建設）、石倉 修（銭高組）、伊東太作（奈良国立文化財研究所）、
岩崎哲雄（ソイルコンサルタント）、上出定幸（梶谷エンジニア）、上野淳一（鴻池組）、
碓井照子（奈良大学）、渦岡良介（間組）、内田 修（アジア航測）、内山 伸（清水建設）、
馬渡裕二（間組）、太田 順（阪神コンサルタント）、大谷仁志（トプコン）、大保直人（鹿島建設）、
岡田純治（中堀ソイルコーナ）、岡本成夫（梶谷エンジニア）、小川安雄（大阪ガス）、
小野 徹（京都大学）、小野 諭（中央開発）、表 源太郎（奥村組）、角本 繁（日立製作所）、
勝井秀博（大成建設）、加藤 満（鴻池組）、金氏 眞（鹿島建設）、兼島方昭（神戸市）、
釜井俊孝（日本大学）、鎌田敏正（NTT）、岸田隆夫（東亜建設工業）、北 一郎（佐伯建設工業）、
工藤博正（大成建設）、久野典男（熊谷組）、久保田耕司（基礎地盤コンサルタント）、熊谷弘一（熊谷組）、
黒田修一（建設企画コンサルタント）、小池 武（川崎製鉄）、古関潤一（東京大学）、小林範之（フジタ）、
近藤三明（東洋地質調査）、斉藤勲雄（鹿島建設）、坂井清貴（日本技術開発）、坂本 哲（兵庫県）、
佐野正人（サンコーコンサルタント）、塩見忠彦（竹中工務店）、篠崎 亘（建設企画コンサルタント）、
志波由紀夫（大成建設）、嶋村貞夫（鴻池組）、末富岩雄（佐藤工業）、角南 進（日建設計）、
瀬在 武（日本道路公団）、関口宏二（NHK）、高浜洋治（トプコン）、田口洋輔（大成建設）、
竹内篤雄（京都大学）、竹脇尚信（清水建設）、田尻 勝（神戸市）、舘山 勝（（財）鉄道総合研究所）、
田中幸久（電力中央研究所）、谷口時寛（神戸市）、田村 保（五洋建設）、丹田雄次郎（浅沼組）、
辻上修士（清水建設）、鶴ヶ崎和博（神戸大学）、出羽克之（清水建設）、土岐晃生（浅沼組）、
中岡史男（熊谷組）、中川裕康（清水建設）、中村 晋（佐藤工業）、中村卓二（銭高組）、
中山 学（奥村組）、楠部義夫（大林組）、南部光広（応用地質）、西村 明（国際航業）、楡井 久（千葉県）、
八谷 誠（中央復建コンサルタント）、浜口俊雄（京都大学）、濱野隆司（鴻池組）、
林 栄一（（社）全国解体工事業団体連合会理事）、檜垣貫司（大成建設）、東尾啓司（鹿島建設）、
廣部康治（佐藤工業）、福岡 浩（京都大学）、福田 雅（土質工学研究所）、福島伸二（フジタ）、
藤原照幸（神戸大学）、堀田 光（建設企画コンサルタント）、前阪進二（神戸市）、牧野定夫（パスコ）、
増川 晋（農林水産省）、松岡清一（銭高組）、松島光三（応用地学研究所）、松田 博（山口大学）、
松田 隆（大林組）、松本伸介（高知大学）、丸岡正夫（竹中工務店）、三田村宗樹（大阪市立大学）、
宮島昌克（金沢大学）、村上 章（京都大学）、森 伸一郎（飛島建設）、森尾 敏（奥村組）、
保駕康史（鴻池組）、安田岩夫（八州）、矢野博彦（積水化学工業）、山本保則（応用地学研究所）、
横山俊治（川崎地質）、吉岡祐仁（大成建設）、吉田 健（神戸市）、吉田 望（佐藤工業）、
吉武美孝（愛媛大学）、吉村 洋（鴻池組）、李 黎明（大阪市立大学）

編集後記

あの平成7年1月17日未明の兵庫県南部地震から早くも2年になろうとしております。震災で不幸にして命を落とされた6000余名の方々に対して想いを起こし、心よりご冥福をお祈りするとともに、ご親族、ご友人の方々に心よりお悔やみ申し上げる次第であります。また大きな困難を乗り越えて復興に向け全力を尽くされている被災者の方々および支援の方々に対して、心から敬意を表します。

本委員会は地震直後の平成7年1月25日に発足して以来、さまざまな調査活動を行ってまいりましたが、これも主査委員、特別委員、委員、WG委員各位の献身的なご助力の賜物であると認識しております。ここに深く感謝申し上げます。また調査に際しましては、多数の関係機関のご理解とご協力を賜りました。ここに改めまして厚く御礼申し上げます。本調査委員会では、すでに震災の全体像を簡潔に取りまとめた調査報告書「解説編」を平成8年3月に刊行しており、本「資料編」の刊行を以って全ての活動を終了するものであります。本「報告書」の刊行が予定よりも随分と遅れましたことをお詫び申し上げるとともに、辛抱強くご協力下さった関係者の方々に御礼申し上げます。

本調査報告書「資料編」は解析の用に足るような詳細なデータを出来るだけ盛り込み、今後の地震工学、防災工学に資することを目的としております。震災の全体像を簡潔に取りまとめた既刊の調査報告書「解説編」と合せてご利用下さい。なお既刊の調査報告書「解説編」は幸いにも多くの方々にご利用頂き、現在は品切れとなっております。そこで、本「資料編」にデータを収録している部会に関しましては、あわせて「解説編」の報告内容を再掲することにいたしました。そのためページ数が増加してしまいましたが、事情をご賢察の上、ご了承下さい。

最後になりますが、震災調査成果を直接・間接的に社会に還元し、地震災害軽減に貢献することは各々の地盤工学者に課せられた社会的責務であります。阪神大震災調査委員会、調査報告書「解説編」ならびに「資料編」が積極的に活用されますことを期待しております。

2.4 大阪盆地の地下構造と地盤特性

中川 康一 (大阪市立大学理学部)

佐野 正人 (サンコーコンサルタント K.K.)

2.4.1 はじめに

大阪盆地は、西に大阪湾をいだき、周囲を標高数 100 ～1,000m 級の山地（北に六甲山地・北摂山地、東に生駒山地・金剛山地、南に和泉山地）に囲まれた典型的な盆地地形を呈している。当盆地は、沖積低地を中心として周囲に段丘が、さらに山地との間には標高 100～200 m 程度の丘陵地が発達している。

各々の地形は、それを構成している地質と非常によく対応しており、盆地周辺の山地が大阪盆地の基盤をなす花崗岩類などから構成されているのに対して、丘陵地が大阪層群、段丘が上部洪積層の分布地域にあたっている。一方、大阪湾や大阪平野の地下には基盤岩を覆って最大 3,000 m に達する新第三紀鮮新世末期（およそ 300 万年前）以降の未固結堆積層（大阪層群、上部洪積層、沖積層）が分布していることが知られている^{1),2)}。さらに未固結堆積層は大小の断層によって様々に変位・変形を受け、そのうち規模の大きな断層は概ね地形境界に対応するといった特徴があげられる。

このような現在みられる地形や地質構造は、主に第四紀以降の広域応力場のもとに進行した地殻変動によって形成されたものであり、したがって活断層運動や地震活動とも密接にかかわるものである。兵庫県南部地震の際、明瞭な地震断層として現れた野島断層もこのような活断層のひとつであり、この現象が現在の地殻変動の一側面をあらわしていると考えることができる。

現在、大阪盆地周辺の地質構造は、山地から丘陵地周辺を中心に概ね明らかにされてきており、さらに最近、反射法地震探査や深層ボーリング調査が広く行われるにおよんで、地下に伏在している構造についても次第に明らかにされつつある。今後地震予知あるいは防災対策をすすめるにあたって、第四紀に形成された地質構造の解明は、基本的かつ有効な情報となる。

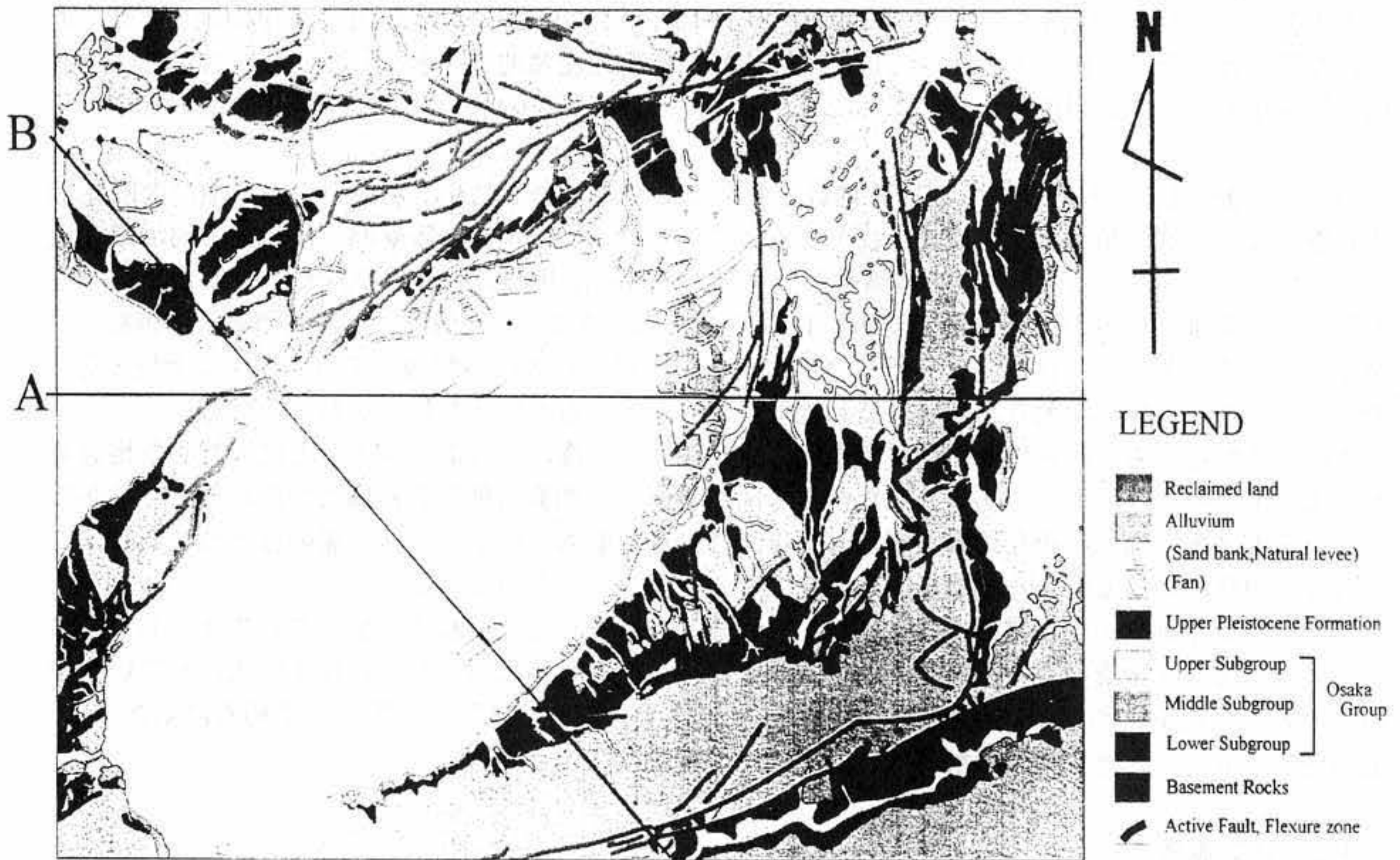
2.4.2 地質概要

大阪盆地周辺は、これまで多くの研究者により様々な見地から地質調査が行われてきた。これらのうち、主な研究成果に基づいて地質図、地質断面図を作成した（第 2.4.1, 2 図）。

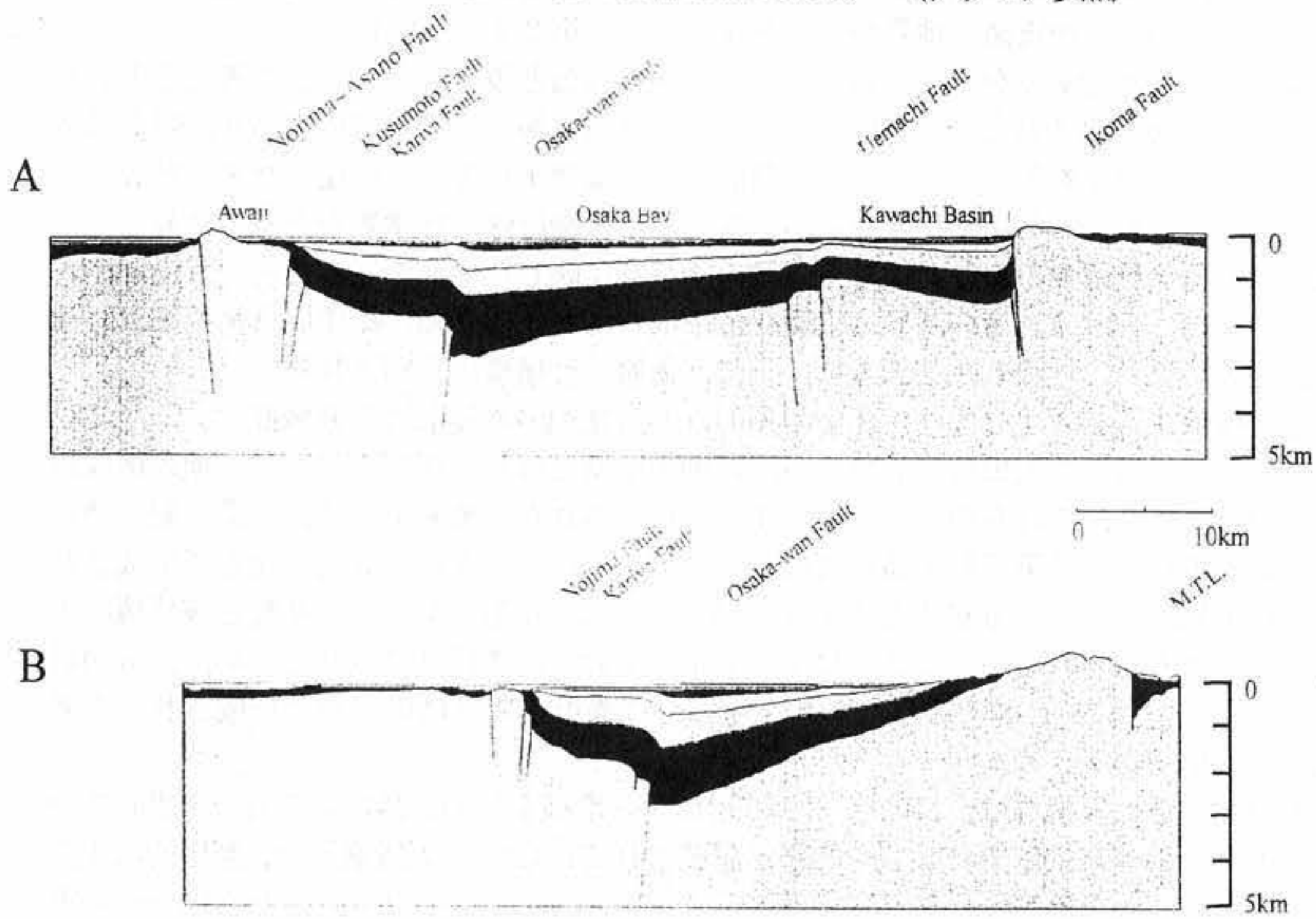
当地域の地質は、現在の地殻変動を念頭においた場合、基盤岩類と被覆層に大別して考えるとわかりやすい。ここでは、基盤岩類は過去の造構応力場で形成された地層あるいは岩体であり、現在は固結して岩石となっているものを対象とする。一方被覆層は、基盤岩上を覆って堆積した未固結ないし軟岩状の地層であり、力学的にみた場合、基盤岩が造構応力を直接反映した挙動をとるのに対して、被覆層には直接造構応力が作用するわけではなく基盤の挙動を反映した変形をうけるという違いがある。このような目で分けると、当地域の基盤は白亜紀に形成された花崗岩類、被覆層は第四紀（正確には新第三紀鮮新世末）以降に堆積した大阪層群、上部洪積層、沖積層に大別される。

大阪盆地の基盤を構成する岩石としては、花崗岩類のほか、盆地の北側には丹波層群（ジュラ紀付加体）や有馬層群（白亜紀後期の火山砕屑岩類）が、盆地の南側には和泉層群（白亜紀末期の海成堆積岩）が分布している。また、これら中生代白亜紀までに形成された基盤岩上には、古第三紀に神戸層群（海成～淡水成の堆積岩）、新第三紀中新世には二上層群（火山岩・火山砕屑岩）などが形成されたが、現在これらの地層は断片的に分布するにすぎない。このような第三紀層は、基盤と被覆層の中間的な性質を持つものと考えられるが、ここでは第四紀地殻変動を浮きぼりにさせるため、大阪層群堆積開始時期との時間間隙が約 1,000 万年もあり、現在とは異なった造構応力場で形成されたと考えられる第三紀層を基盤岩類に含めた。

基盤岩を覆って分布する大阪層群は、およそ 300 万年前から堆積を始めた地層であり、千里丘陵をはじめ当層群のほとんどの分布地域では詳しい層序が研究されている³⁾。大阪層群は、層序的に上位から大阪層群上部、下部、最下部に区分されている⁴⁾。一方で、テクトニックな観点からは三つの亜層群（下部亜層群、中部亜層群、上部亜層群）に分けられている⁵⁾。活断層問題を取りあげるにあた



第2.4.1図 大阪盆地周辺の地質図。(グラビア参照)



第2.4.2図 大阪盆地周辺の地質断面図。(グラビア参照)

っては、後者のほうが適切であると考え、ここでは亜層群による区分を用いた。さらに、大阪層群の上には段丘を構成する地層として段丘層、沖積低地から河川ぞいの低地を構成する地層として沖積層が分布する。段丘層については、高位、中位、低位に分けられていることが多いが、高位段丘層とされているものの多くは大阪層群上部亜層群の可能性が高く⁹⁾、また中・低位段丘についても全ての地域で層序的な対比が十分できていないわけではない。そのため、ここでは高位段丘層を大阪層群上部亜層群に含め、中・低位段丘層は一括して上部洪積層（上部更新統）として区分した（第 2.4.1 表）。

第 2.4.1 表 大阪盆地周辺の被覆層

地質時代			絶対年代 (万年)	地質区分	地 質 の 特 徴		
第 四 紀	完新世		1	沖積層	軟弱な粘性土層，ゆるい砂・砂礫層からなり，沖積低地，微高地（砂堆，砂州，自然堤防など），扇状地などを形成する。その他，大阪湾岸を取り囲むように人工の埋立地が形成されている。		
			(2)				
	更新世	後期	13	上部洪積層	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互にあらわれる。 砂・砂礫層は通常構造物支持層となる。		
		中期	(20)				
			前期	(60)	上部 亜層群	大 阪 層 群	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互にあらわれる。山地に近い地域では全体的に砂礫層が優勢となる一方で，現在の堆積盆地より外側（内陸地域）にまで広く分布している。
				70			
			前期	(120)	中部 亜層群		海成の粘土・砂層と淡水成の砂礫・砂・粘土層が交互にあらわれる。 現在山地となっている基盤の小起伏面上にまで海成粘土層が分布している。
		170					
鮮新世		下部 亜層群	淡水成の砂礫・砂・粘土の互層からなり，海成層はみられない。粘性土は一般に固く締まり軟岩状を呈する。 現在山地となっている基盤の小起伏面上にも，わずかながら残存している。				
				(300)			
大阪層群堆積以前は，基盤岩類が長期にわたって浸食され，小起伏面を形成していた。							

大阪層群下部亜層群は、淡水成の堆積層のみから構成されているが、中部亜層群以上の地層は、淡水成の地層の中に周期的に海成の地層が挟まれている。海成粘土層は、下位から Ma-1, Ma0, Ma1, …… , Ma13 と命名されており、Ma-1 層の堆積時期がおよそ 120 万年前であり、以後 10 万年程度の時間間隔をもって Ma13 層まで順次形成されてきた。このうち、Ma-1～Ma5 までは中部亜層群、Ma6～Ma10 までは上部亜層群、Ma11～Ma12 までは上部洪積層、Ma13 が沖積層に相当する。

大阪層群は、第 2.4.1 図、第 2.4.2 図に示すように盆地周辺の丘陵部では地表に顔を出しているが、大阪盆地では地下に伏在し上部洪積層、沖積層に覆われている。また、上部洪積層が直接地表にあらわれているところは段丘地形を形成している。このような地形・地質の分布は、次の項で取りあげる活断層運動と密接にかかわっている。

2.4.3 活構造の特徴

大阪盆地周辺は、鮮新世末期以降の広域応力場で極めて大きな変動をこうむってきた。その結果、大阪湾は沈降し 3,000 m に達する厚い堆積物がたまり、一方では六甲山が 1,000 m 近い山地となっ

た。このような変動を受け持ってきた最も大きな構造要素が活断層である。

大阪盆地周辺には、第2.4.1図に示したように多くの活断層が存在している。そのうち淡路島から六甲山地、北摂山地につながる北東－南西方向の山地と大阪盆地との境界付近は、最も活断層が集中したゾーンといえる。この地域に位置するおもな活断層としては、野島断層、仮屋断層、須磨断層、諏訪山断層、五助橋断層、甲陽断層、有馬－高槻構造線などがあげられる。これらの断層は、第2.4.2図にも示されているように何れも逆断層であるが、同時に右横ズレ成分を持つものが多い⁶⁾。六甲山地の断層系をはさんで西側（明美丘陵）では、全体にゆるやかに西側に傾動する構造となり、六甲山地南東側とは際立った違いがみられる。

大阪盆地の東側、生駒山地との境界には南北性の生駒断層がある。この断層は、垂直変位量が2,000 mに達する逆断層であり、生駒断層をはさんで隆起した東側（奈良盆地側）にも、規模の小さな南北性逆断層がほぼ等間隔で発達している。このうち、生駒断層は大阪層群上部亜層群を大きく変位させているのに対して、奈良盆地側の活断層では大阪層群上部亜層群の変位はほとんどみられなくなる（写真2.4.1）。このことから、生駒断層は現在でも活動的であるのに対して、奈良盆地側の活断層は現在は活動が停止したかあるいは活動性が極めて低くなっていると考えられる⁷⁾。

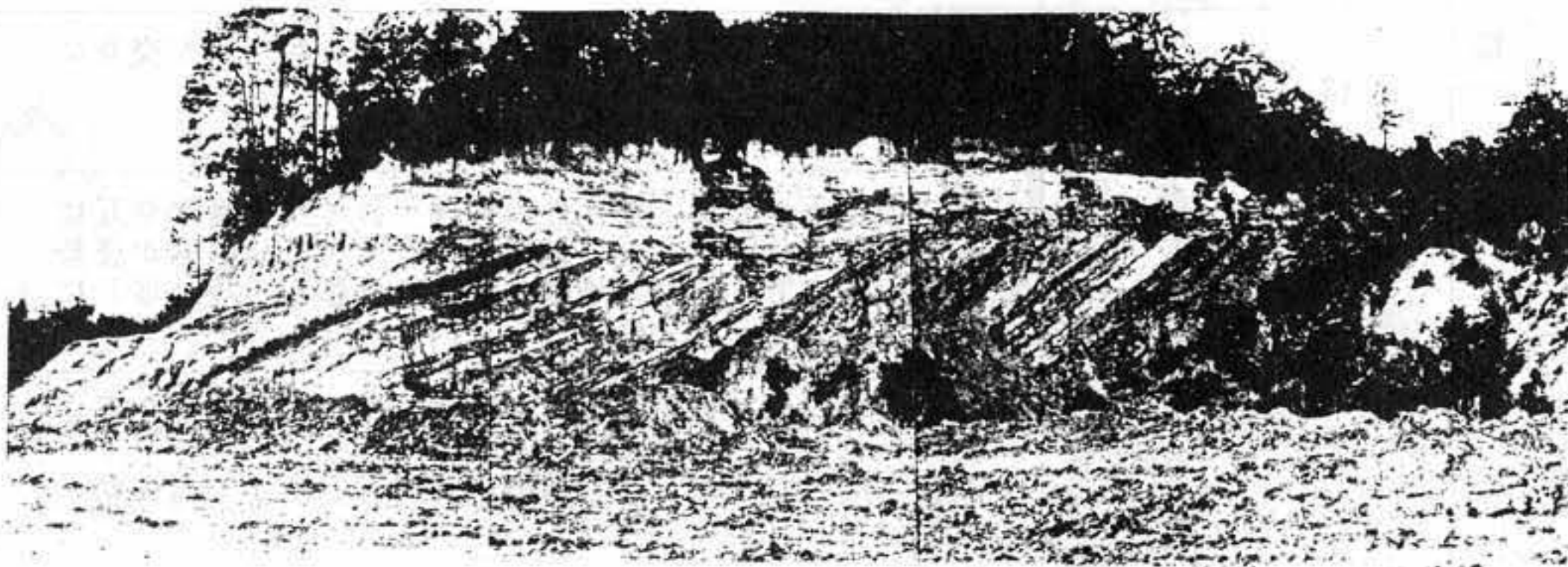


写真1 大阪層群中部亜層群と上部亜層群との傾斜不整合（奈良盆地側の活断層露頭、奈良県僧坊）
大阪層群中部亜層群（Ma1層をはさんでいる）は30°前後傾斜しているが、その上位にのる大阪層群上部亜層群はほぼ水平であり断層変位はみられない。

大阪盆地の南側には、大阪層群が分布する丘陵、上部洪積層が分布する段丘が広がっている。さらに、丘陵の南側には和泉層群からなる和泉山脈が東西にのびている。当地域でも、基盤と大阪層群の境界あるいは大阪層群中に活断層は発達しているが、いずれも変位量はそれ程大きくはない。この地域の特徴は、第2.4.2図のB断面に示されるように、基盤表面、大阪層群とも大阪湾断層に向かって見事に北西側に傾動している点があげられる。

以上は大阪盆地周辺に見られる活構造の特徴であるが、大阪湾あるいは大阪盆地の地下にも大規模な活構造が伏在している。現時点ではまだその詳細が明らかにされたとはいいがたいが、ほぼその全体像は浮かび上がってきた。そのひとつは、淡路島から六甲山地にかけての活断層系と平行して走る大阪湾断層である。

反射法地震探査により、この断層が大阪層群の見事な撓曲構造を伴い、基盤岩の落差が1,000 mに達することが明らかにされた⁸⁾。基盤中の断層の詳しい形状までは読み取れないが、基盤の断層と被覆層の変形を論じた実験結果⁹⁾を参考にすると、大阪層群の撓曲パターンからみて基盤岩では高角度（70～80°程度）の逆断層であろう。被覆層である大阪層群の変形は基本的に撓曲構造であり、断層で切られて大きく変位している様子は見受けられない。このような大規模な大阪湾断層であるが、その南西側及び北東側（神戸・阪神地域側）への連続性については、現在のところ詳しくはわかっていない。第2.4.1図の断層トレースは、ボーリングデータ¹⁰⁾や、音波探査結果¹¹⁾を参考に推定したものである。

もうひとつは、大阪市内の真中を南北に走る上町断層であり、これも落差800 mに達する逆断層であり、大阪湾断層と良く似た形態を示している^{12), 13)}。これらの断層はいずれも、大阪層群上部亜層

群を大きく撓曲させ上部洪積層、沖積層にまで影響を及ぼしており、現在なお活動的な断層であるといえる。

2.4.4 第四紀地殻変動

大阪層群の基底すなわち基盤表面は、概ね平坦といってよいほどの小起伏面を形成していたことは、これまでの地質調査や大阪湾の反射法地震探査の結果からも明らかである⁸⁾。

それでは新第三紀末期以降、大阪盆地はどのような過程を経て厚い被覆層を堆積させ、また現在見られる起伏の大きな地形を形成させたのであろうか。以下、藤田・笠間⁶⁾を参考に、第四紀の地殻変動の特徴についてとりまとめる。

1) 鮮新世末～更新世前期の前半（およそ 300 万年～ 120 万年前）

——東西性の基盤褶曲と大阪層群下部亜層群の形成——

新第三紀鮮新世の後半になると、南北圧縮の広域応力場が支配的になり東西性のゆるやかな基盤褶曲運動がはじまり、大阪盆地を含む領家帯一帯はほぼ東西に延びる沈降地域となり広大な淡水域が出現した。

この時期を通じて沈降運動はゆるやかに進行し、最大 1,000 m 以上にも達する大阪層群下部亜層群が継続的に堆積した。

2) 更新世前期の前半～更新世中期初頭（およそ 120 万年～60 万年前）

——南北性の基盤褶曲と大阪層群中部亜層群の形成——

更新世前期の前半になると、広域応力場が南北から現在につながる東西圧縮に変わった。そのため、これまで東西性の沈降地域であった大阪盆地周辺地域には、新たに南北性の基盤褶曲運動が生じ、これまでの沈降地域のなかにも隆起に転じる所とさらに沈降が継続する所がわかれてきた。また、この頃から周期的に海域が広がるようになり、海成層を挟む大阪層群中部亜層群が堆積した。

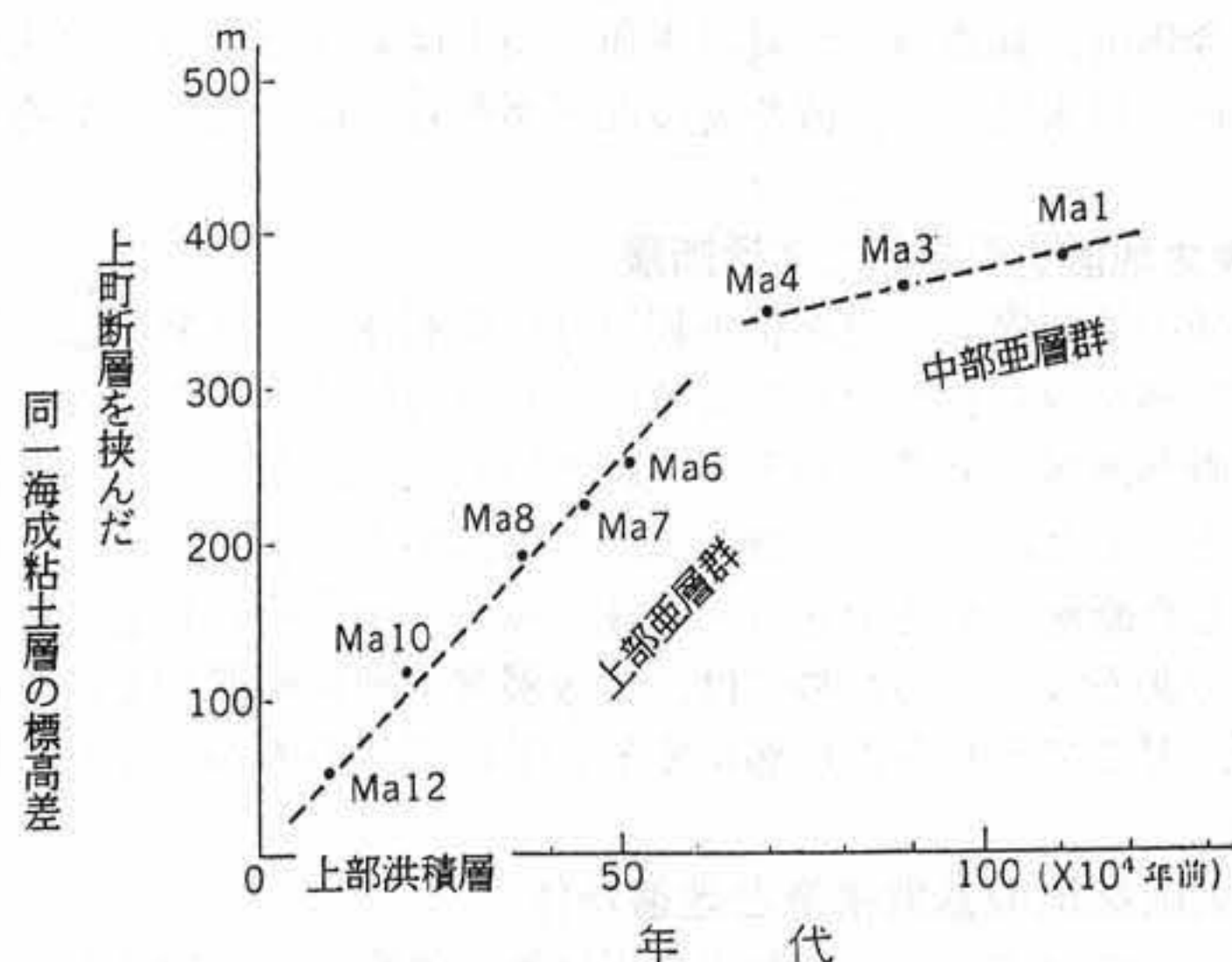
淡路島をはじめ、六甲山地や生駒山地など現在みられる大阪盆地周辺の山地は、この頃から隆起を始めた。活断層もこの頃に活動を始めたとみられるが、変動は比較的ゆるやかに進行し、断層変位はそれ程大きくなかった。

3) 更新世中期以降（およそ 60 万年前～現在）

——大阪層群上部亜層群の形成と断層地塊運動——

更新世中期以降も引き続き東西性の広域圧縮応力場が支配的であるが、南北性の褶曲的な要素の大きな変動から断層変位の卓越する変動（断層地塊運動）へと変化してきた。

上町断層を例にとると、断層を挟んでの海成粘土層の変位量から、Ma6 堆積時以降急速に変位速度が大きくなったことがわかる（第 2.4.3 図）。この頃（およそ 60 万年前以降）から、上町断層、大阪湾断層や大阪盆地周辺の活断層が顕在化し、六甲山地をはじめとする大阪盆地周辺



第 2.4.3 図 上町断層の変位の推移（藤田・笠間）⁽⁹⁾。

山地の隆起が著しくなり、現在見られる地形・地質構造が形成された。

2.4.5 大阪盆地周辺における活断層問題

兵庫県南部地震は、大阪盆地周辺の第四紀地殻変動の一端があらわれた現象であり、この現象を正しく評価することが、第四紀地殻変動の解明のみならず今後の地震予知、地震対策をたてる上でも重要である。

この地震では、様々な測地学的手法を用いた地震時の変動の様子が明らかにされおり、地震によって淡路島北部は概ね南方へ、六甲山地は北東へ移動していることが示された¹⁴⁾。

これは、野島断層－六甲山地南麓の活断層系が活動したことを示すものである。しかし、地震断層として現れ、しかも断層変位が詳細に把握できる野島断層はともかく、被害の集中した神戸側すなわち六甲山地周辺の活断層系については、地下に伏在してるものも含め数多くある活断層のうち、どの断層が活動したのか現時点でははっきりと解明されたわけではない。その理由としては、地下で生じた断層変位が地表まで達しなかったのか、断層上を未固結層が厚く覆っていたため地表に明瞭な断層変位が生じなかったのか、などがあげられる。一方、地震による被害は、“震災の帯”と称される狭いゾーンに集中している。このゾーンは、六甲山地南麓部と臨海部に挟まれた細長い地域であり、地形的には上部洪積層の分布する段丘の南端から完新世扇状地にあたっており、沖積層の厚くなる海岸地域には及んでいない。震災の帯の原因についても諸説があり、主なものとしては、直下に伏在する活断層が活動したとする説、地下構造（伏在する活構造など）が原因とする説、表層部の地盤特性が原因とする説に大別される。実際にはこれらの要因が複合したものと考えられるが、今後の防災対策を講じる上でもさらに詳しい原因の解明が望まれる。

地震予知あるいは防災対策に向けて必要な地質情報としては、大地震を引き起こす活断層自体にかかわるものと、地震波を伝える媒体としての地盤の特性にかかわるものに大きく分けられる。その中で活断層にかかわる情報は、直下型大地震を引き起こす活断層の位置のほか、活動時期や活動規模が予測できる情報、一方、地盤特性にかかわる情報としては、地下構造と地盤の動的特性があげられる。ここでは、大阪盆地の地質構造の締めくくりとして、大阪盆地周辺の活断層にかかわる問題点を整理する。

1) 地下に伏在している活断層

当地域には大阪湾断層、上町断層など地下に伏在する活断層が知られている。しかしこの他にも、今回地震被害を被った神戸市街地直下にも活断層が伏在している可能性が高い。この位置を第6図の断面で示すと淡路島から六甲山地にかけて延びる活断層系と大阪湾断層の間にあたる。これらについては、今年度、兵庫県、地質調査所、海上保安庁などが反射法地震探査やボーリング調査を実施しており、近い将来にその位置や規模などが明らかにされるであろう。

2) 今後大地震を引き起こす活断層

当地域の活断層は、更新世中期以降に断層運動が活発化した断層と、更新世中期以降はほとんど活動した形跡がみられないものに分けられる可能性がある。大阪湾断層や上町断層は前者であり、今回動いた野島断層も前者である。生駒断層も前者にあたるが、奈良盆地周辺の断層の多くは後者にあっている。したがって当地域では、将来大地震を引き起こす活断層は、更新世中期以降に断層運動が活発化した断層に限定できる可能性が高い。現在その判別の出来ていない断層についても、今後解明すべきであろう。そのためには、大阪層群上部亜層群や上部洪積層などの層序区分の精度を高めるとともに、どこでそれらの地層が変形を受けているのかを詳しく調べる必要がある。

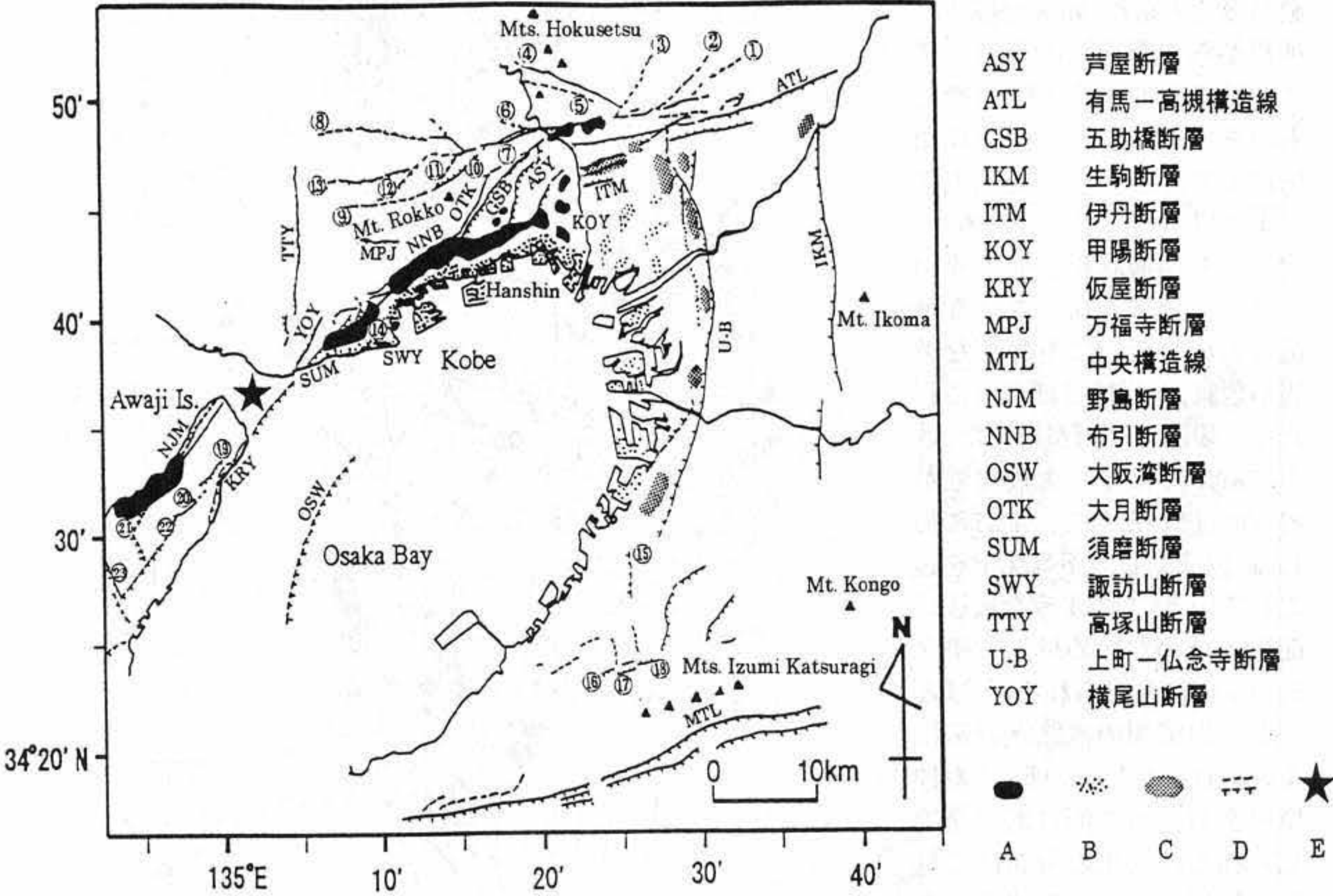
2.4.5 大阪盆地の基盤構造と地盤特性

近畿地方のテクトニックな応力場は微小地震の発震機構や地山応力の解析からほぼ東西であることが分かっているが、新しい時代の断層の動きはこの応力場に規制されたものとなっている。主要な断

層の方向はN-S, NE-SW, ENE-WSWであるが、この地域においてはN-S方向が特徴的であり、逆断層を形成している。これらの断層の多くは沖積低地と丘陵・山地の境界部にあり、地形や地質構造の形成と非常に大きく関わっている。

今回の地震では地震被害分布が地質構造と大きく関連しているらしいことが明らかにされつつあるが、地震災害という観点からは、2種類の地質構造特性を把握する必要がある。そのうちの1つは能動的な場としての地質構造、すなわち地震を発生させる可能性のある活断層の位置と活動に関する特性（活動度や発震機構など）である。もう1つは地表面の応答に関する地下構造特性で、深部地下構造からごく表層の地盤構造までのいわゆる波動伝搬を規制する物性分布構造である。第2.4.4図には断層、震度VII、液状化被害の分布の他、構造物被害の特殊な帯状の分布などを示した。

近畿地方で現在みられる基盤構造の形成時期についてはその萌芽を中中新世（約1500万年前）に求めることができるが、地形にも反映した、現在みられる基本的な構造は今から約50万年前に最盛期を迎えた「六甲変動」によって形成されたと考えられている。先新第三紀（約2600万年以前）の基盤はこの変動によって大きく変位し、多くの場所でその特徴的な形態を観察することができるが、平野



第2.4.4図 活断層、液状化・側方流動、震度VII（気象庁）などの分布。
A: 震度 VII の分布（気象庁）、B: 液状化および側方流動化被害の分布、C: 周りに比べて構造物の被害が著しかった所、D: 活断層および撓曲帯、E: 兵庫県南部地震の震央。断層の名称、1: 馬場断層、2: 箕面断層、3: 五月山断層、4: 十万辻断層、5: 中山断層、6: 名塩断層、7: 六甲断層、8: 有野一淡河断層、9: 山田断層、10: 湯槽谷断層、11: 射場山断層、12: 古々山断層、13: 柏尾谷、14: 会下山断層、15: 坂本、16: 神於山断層、17: 内畑断層、18: 若樫断層、19: 楠本断層、20: 東浦断層、21: 育波断層、22: 妙見山北西、23: 志筑断層。

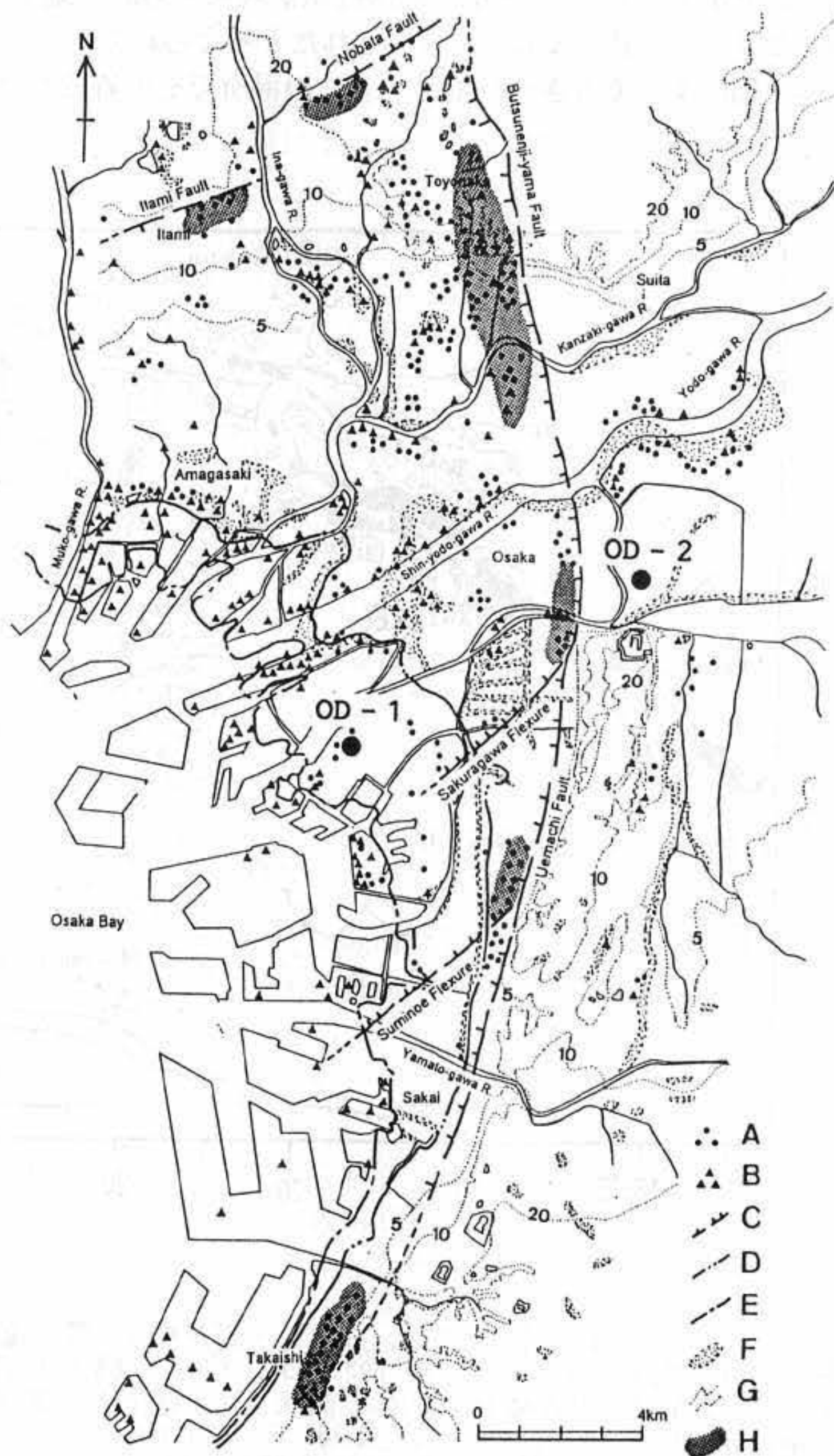
や丘陵の地下では不明となっている場合が多い。

今回の地震では淡路島や神戸・阪神地区では広域にわたって、甚大な液状化の被害がもたらされたが、特にポートアイランドや六甲アイランドの人工島ではおびただしい沈下や岸壁の流動破壊が目立った。

マスコミの報道では、その大部分が特に震害の著しかった神戸・阪神地区に集中し、その周辺部の被災状況はあまり知られていない。大阪とその周辺域もまた典型的な都市地盤であるが、神戸・阪神地区に比べると被害の程度はかなり低かったものの、それでも大阪湾岸部一帯、特に明治以降の埋立地や、神崎川および淀川の堤防、河川敷などでは噴砂や沈下などを伴って観察された(第2.4.5図)。被害が集中した所の地盤条件としては、海岸や河川沿いの軟弱地盤、干拓地、旧河川や池の埋立地、盛土、断層沿いなどが挙げられる。大阪では一般に、家屋や構造物の損壊は比較的大きな規模の液状化や側方流動などの地盤被害に付随して生じているが、これらとは全く無関係に分布している場合もある。

海岸部では液状化や側方流動が多くみられ、顕著な被害は神戸から大阪湾岸の北部一帯にかけて分布している。軽微なものまで含めると、南は、岸和田市まで追跡できる。淀川の河口より以北の湾岸部は尼崎、西淀川一帯が液状化と側方流動の著しい地域となっているが、淀川の河口付近にも顕著な被害が現れ、左岸はほぼ2kmにわたって堤防の破損が続いた。さらに右岸では十三大橋付近が約500mにわたって、北方に約40cm位流動し、不等沈下を起こしている。このような被害は淀川大橋の北詰め付近や中之島の東部にも見られるが、ほとんどが旧淀川の流路と非常によく一致を示している。また神崎川や旧淀川の河口部一帯で見られる液状化の分布はこれらの河川によって形成されたデルタ部に対応している。淀川左岸堤防の大規模な崩壊はちょうどこのデルタの縁にあたっている。

淀川より南の湾岸部では、港区の築港に大きな被害が見られ、天保山では、大規模な液状化・側方流動被害が大きく現れた。さらに大正区では鶴町に、



第2.4.5図 大阪とその周辺の被害の分布 (大阪市立大学阪神大震災学術調査団, 1995)。A: 液状化地域, B: 家屋損壊地域, C: 断層, D: 江戸期(1680年前後)の海岸線, E: 明治18年(1885年)の海岸線, F: 旧河川跡, G: 地形等高線, H: 液状化・側方流動によらない家屋の損壊ゾーン。

住之江区では南港の一部で流砂現象が認められた。

家屋の損壊による被害は大阪でもかなり多く見られた。宝塚市周辺は被害の非常に大きい地域であったが、これらはまた川西市や池田市へと東の方にも分布している。特に震源から遠く離れている豊中市でも全壊家屋が多く見られ、その倒壊数は500軒を越えた。大阪ではこの地区の被害が最も大きい。これらの被害の集中している部分は特に南北方向に伸びているという特徴がある。

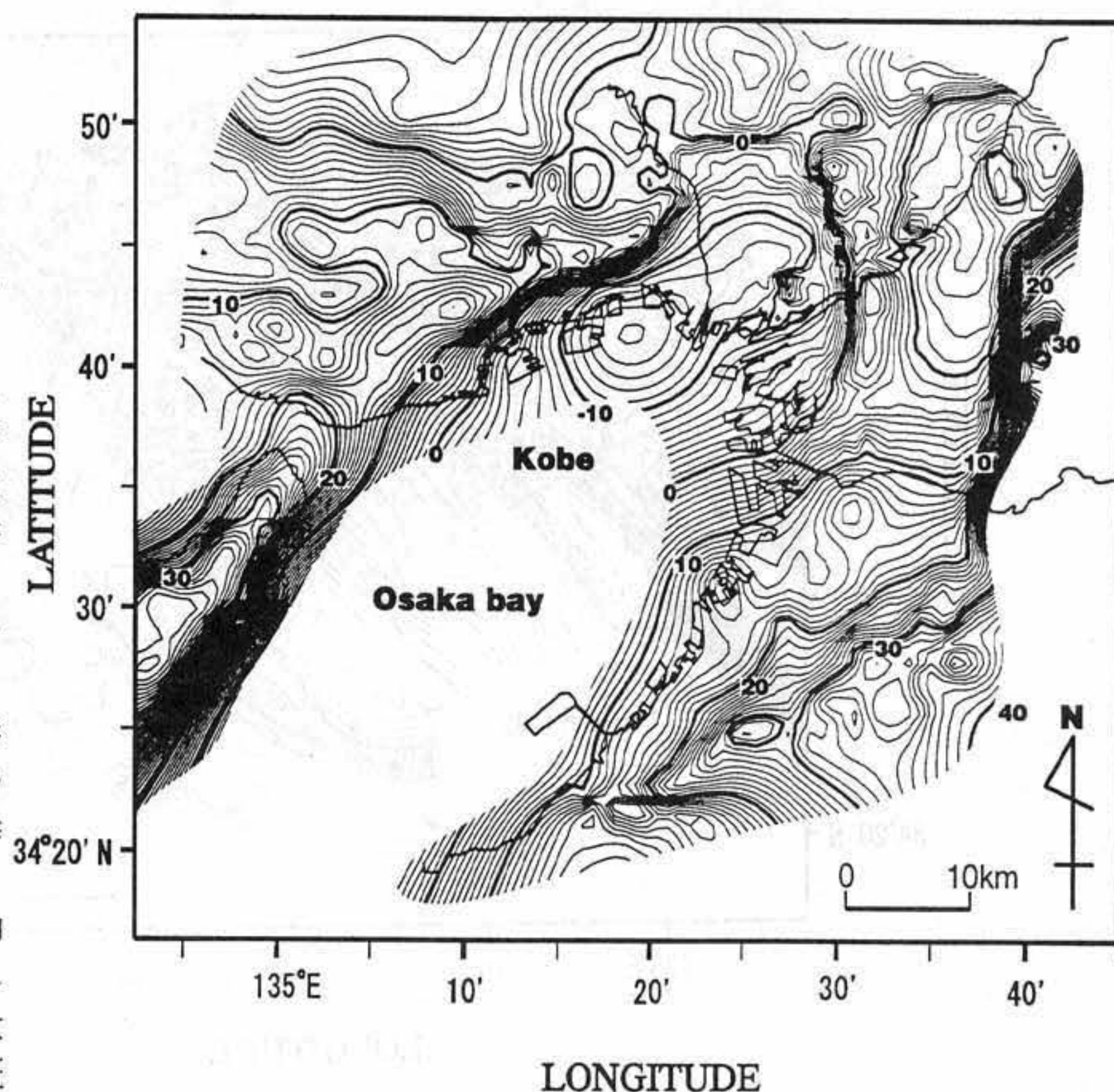
大阪市内では、液状化や側方流動等の地盤変状と直接関係のない家屋の損壊はそれほど多くはないが、堺筋の一部に南北に細長く伸びた被害集中域が存在する。三越ビルが柱や壁などに大きな被害を受け、使用不能となったほか、外壁や大きなガラスが割れる等の被害が軒並み1km位にわたって見られ、道路も数cm沈下した所が何カ所も見られた。このような変状はすぐとなりの御堂筋や谷町筋、その他の所では見られていない。

上町台地では地震による被害はほとんどなく、棚の上のものもほとんど動かなかったようである。さらに南の方では堺市や高石市に全壊家屋こそなかったもののかなりの被害が出た。これより以南では、泉大津市・岸和田市でも若干の家屋の被害が認められたが軽微であったといえる。堺方面ではやはり南北方向に被害が目立ち、浜寺船尾町あたりから東羽衣を経て加茂に至る北北東-南南西の細長いゾーン（巾2~300mで長さ約3kmにおよぶ）に被害が集中した。しかし、隣の段丘堆積物上にある家屋にはほとんどその被害が見られていない（第2.4.5図参照）。今回の地震による液状化の被害は図に示されるように、ほとんどが埋立地に代表される人工地盤域に集中していて、自然地盤域にあまり観察されていない。

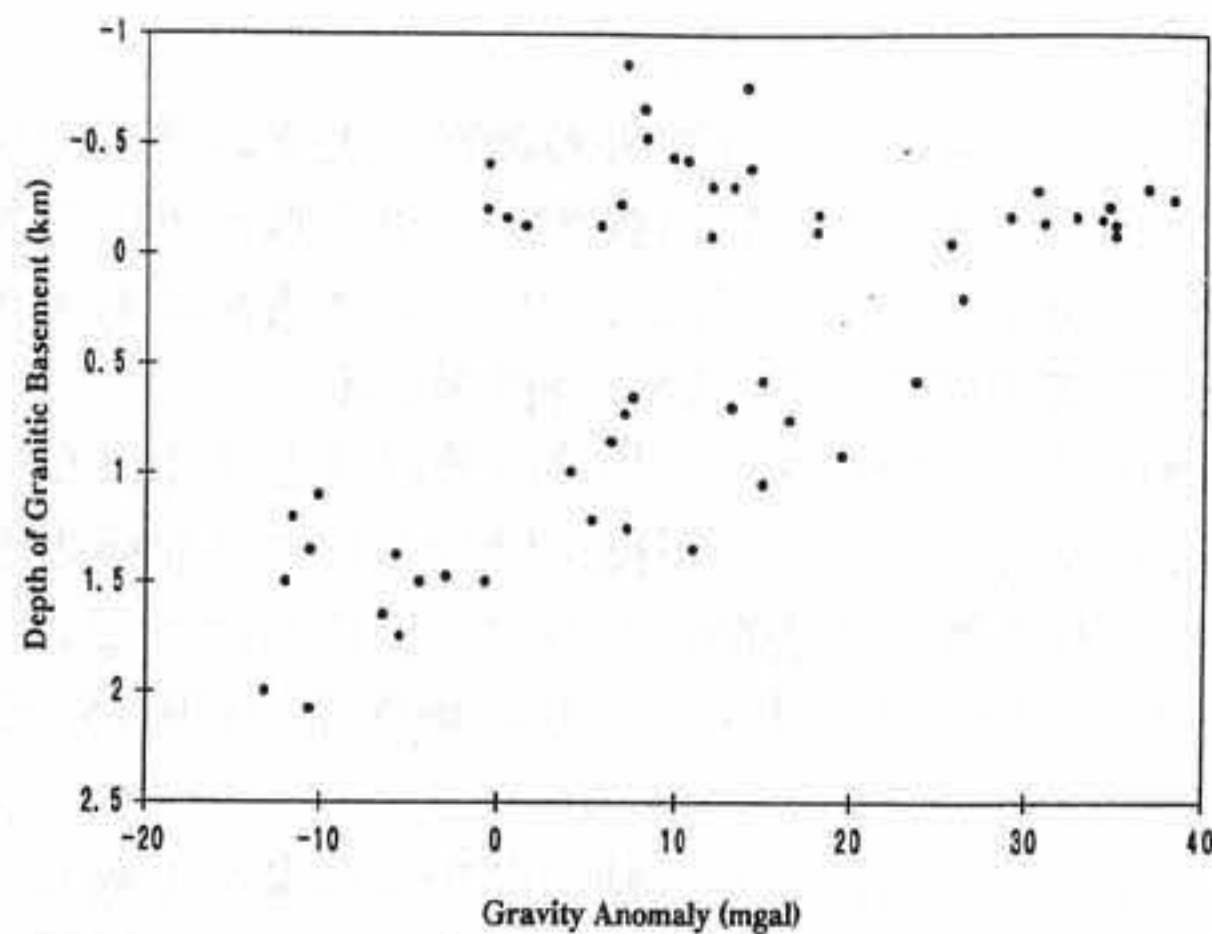
今回の地震被害におけるもう一つの特徴的な分布として、断層近傍に被害が集中していることが多くの地点で観測されている。既存の複数の活断層が活動したというみかたもあるが、被害の多くは断層直上よりも、相対的に落ち込んでいる側に多い。第2.4.4図や第2.4.5図に示されるように大阪やその周辺において、建造物の被害が周りに比べて特に大きかった所が細長く帯状の分布を示しているが、これらの被害分布を説明する可能な原因として、堆積層と基盤の形態に起因する地震波の屈折と反射の効果を挙げることができる。

基盤構造の概略を知る手がかりの1つとして重力異常図がある。大阪平野の基盤構造の概略が最近重力異常から見積もられている¹⁷⁾。

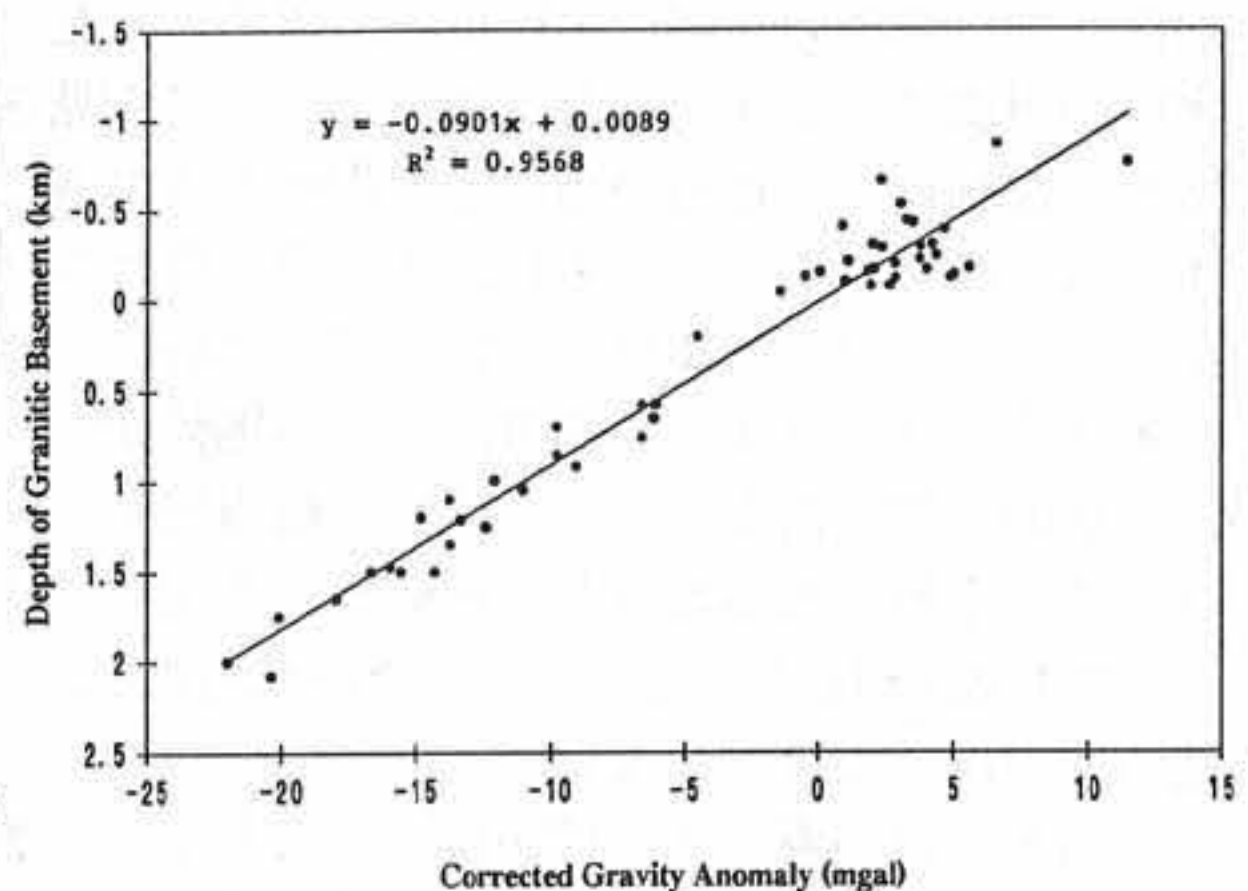
第2.4.6図は大阪平野を中心とした地域のブ



第2.4.6図 大阪盆地周辺のブーゲ異常の分布図（コンターの間隔は1mgal）。



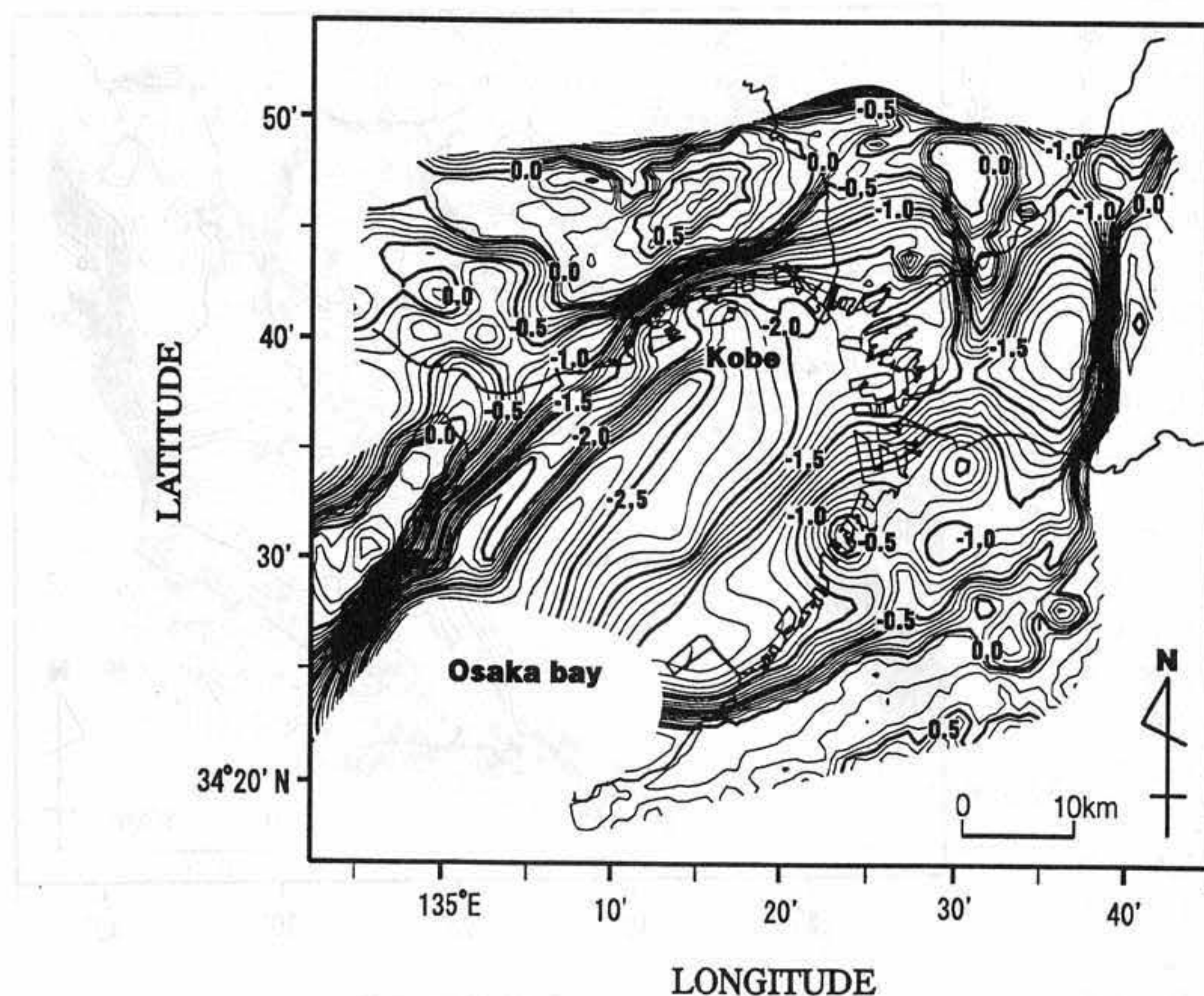
第 2.4.7 図 基盤岩の深度とブーゲ異常の関係。



第 2.4.8 図 基盤岩の深度と広域的影響を除いた後のブーゲ異常値との関係。

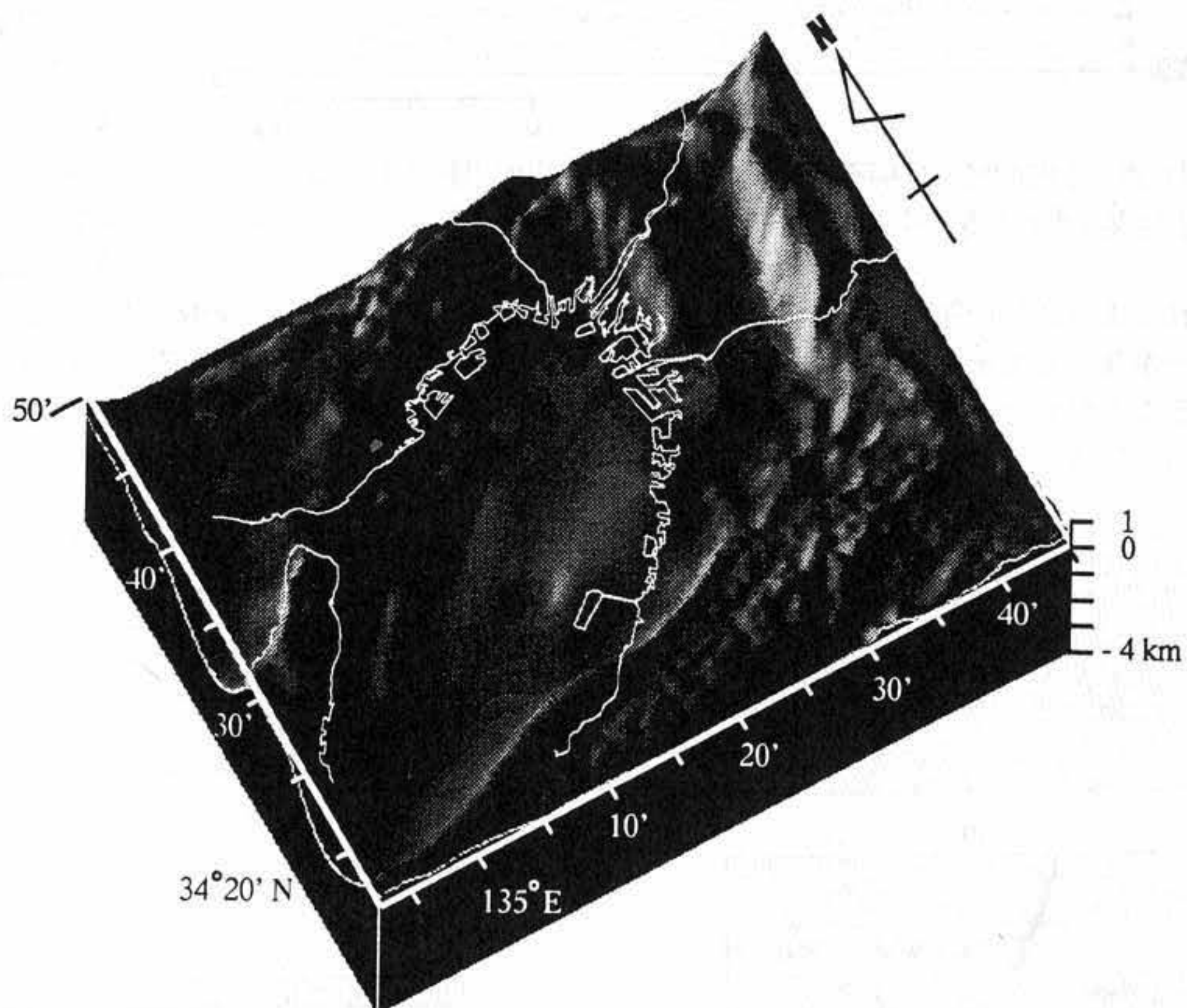
ーゲ異常図である。この図でコンターの混んでいるところは断層、主として活断層に一致していることに注意する必要がある。ブーゲ異常は地下の密度構造を反映するが、一般的な手法では重力異常図から地下構造を推定するには自由度が多く、一義的に構造決定することはできない。

しかしながら、前述したように、近畿トライアングルの地質構成はそれほど複雑ではなく、大阪平野地下の先新第三紀からなる基盤の主要な部分は花崗岩であって、多くの場合その上に 300 万年前以



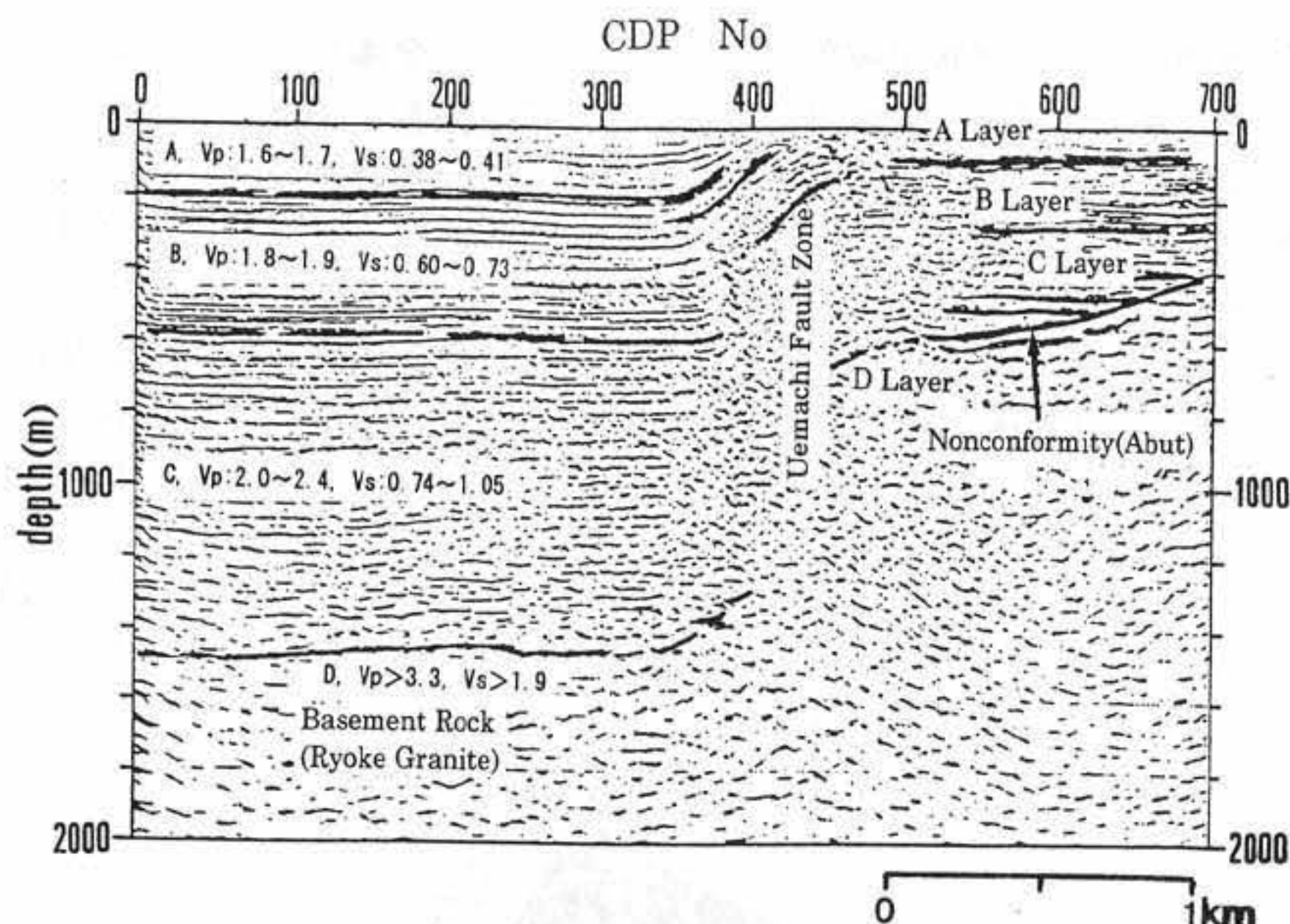
第 2.4.9 図 大阪堆積盆地の基盤岩深度分布（単位は k m）。ボーリング資料，反射法地震探査および地表調査のデータを用いて重力異常値から計算。

降の比較的軽くて軟らかい堆積物からなる地層が被覆されているために、全体として2層構造モデルを適用できることが期待される。これまで多くの反射法による地下構造探査や深層のボーリング掘削が行われて、基盤深度に関する情報がかなり得られている。これらのデータおよび地表にみられるデータと重力異常（ブーゲ異常）との間の関係は第2.4.7図に示されるようになりかなりばらつきがあるが、これらのばらつきの大部分はより深いところの広域的な構造を反映していると考えられるために、これらのばらつきが最小になるようにして、広域的な異常を見積もった。ブーゲ異常から広域の異常を差し引けば被覆層の厚さによる異常が得られるのでこの関係を第2.4.8図に示した。したがって、通常行われる重力解析を経ずして基盤岩深度分布を得ることができるが、内捜法として実用価値があるであろう。このようにして得られた基盤岩深度分布図を第2.4.9図に示そう。なお、大阪湾内には使える重力測定値はまだない。第2.4.10図は鳥瞰図によるイメージである。ここで得られた図は断層構造を考慮していないので実際にはこれらのデータは重力3次元解析の初期モデルとして用いられることによってより信頼性のある3次元地下構造図が得られることになる。



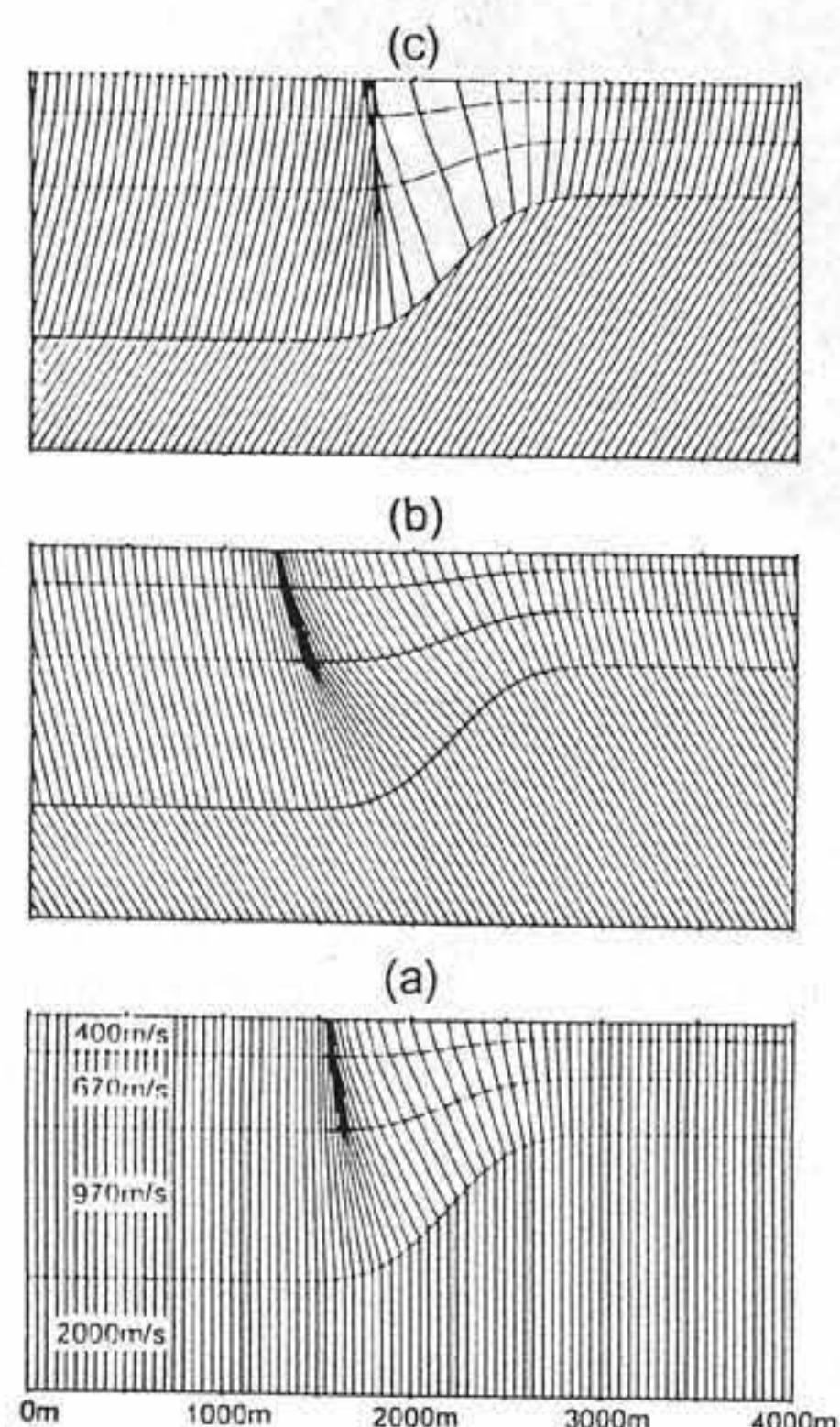
第2.4.10図 大阪堆積盆地の基盤岩深度分布のレリーフイメージ。

断層近傍の基盤岩形態に関連して、上町断層を横切る淀川の河川敷におけるP波とS波の反射法地震探査実験が行われている^{17),18)}。第2.4.11図はこれらの結果について、P波断面を基に解釈を加えたものである。断層による基盤の正確な変位形態がわからないので適当に形を仮定した。第2.4.12図はその反射断面をモデルに入射角 α を0度、または ± 30 度のS波を入射した場合のフォーカシングの効果をみたものである¹⁹⁾。いずれも断層帯の西側に波線の集中するゾーンがあることがわかる。P波の場合においてもあまり違いがなく、地震波は光の場合と同様に、速度が変わる境界面であたかもレンズのように屈折する。第2.4.13図は基盤にある角度で入射したSH波が被覆層内でどのように屈折するかをやゝ定量的に計算した結果を示したものである。(a)は同様の地下構造のモデルに、明石海峡の地下10km付近から地震波が到来したと考え、基盤への入射角を 40° （鉛直方向から）とした場合のSH波の伝播経路を直線群で示している。境界面が湾曲していることがレンズのような働きをして、断層の西側に波線の集中するゾーンが、真上ないしすぐ東側では波線のまばらな領域ができているこ



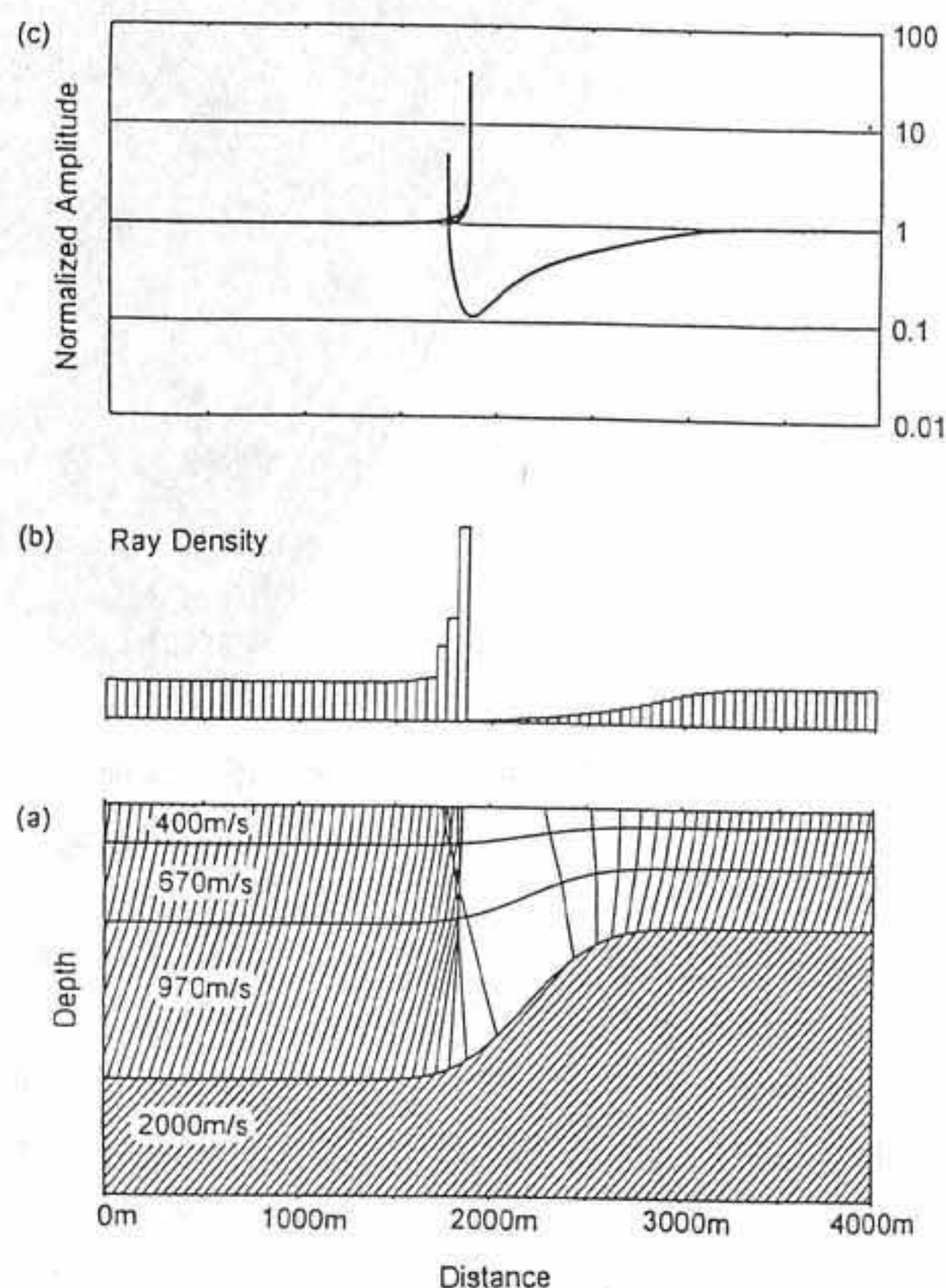
第 2.4.11 図 上町断層を横切る深度断面解釈図（淀川河川敷における P 波と S 波の反射法地震探査の結果から）。

でみられるように狭い領域に集中したり，広い領域に拡大したりする。波線の集中するところではエネルギーが集中して振幅が大きくなる。逆に，波線が広がるところでエネルギーが拡散して振幅が小さくなることがわかる。なお，これらの効果は波長が被覆層の厚さに比べて十分に小さい場合（高周波に相当）に成り立つものである。

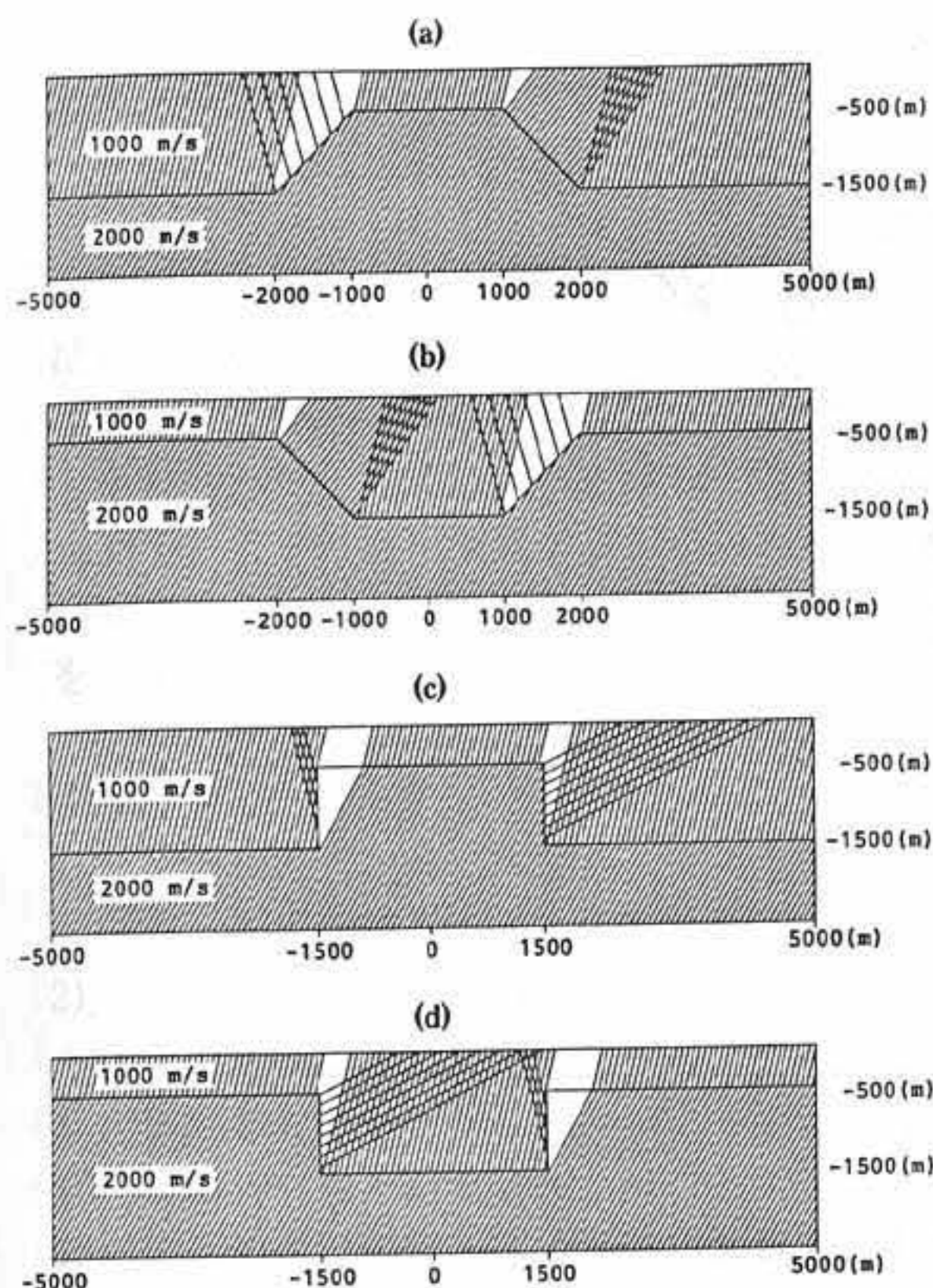


第 2.4.12 図 屈折 S 波の波線経路。速度構造は (a) に示す。入射角は (a) : $\delta = 0^\circ$, (b) : $\delta = -30^\circ$, (c) : $\delta = 30^\circ$ 。

とがわかる。(b)は地表に到達する波線の粗密の程度を棒グラフで示したものである。図の両端の部分では一様であるが，断層のすぐ西側で極端な波の集中がみられる。その東側では広い範囲にわたって波の到着の少ない領域がみられる。SH 波の振幅の結果を (c) に示すが，ここでは多重反射の効果は計算されていない。基盤側で一定面積を横切る波線群は，(a)



第 2.4.13 図 基盤入射角が 40° の場合の SH 波が入射した場合の (a) : 波線経路，(b) : 波線密度，(c) : 正規化された振幅。



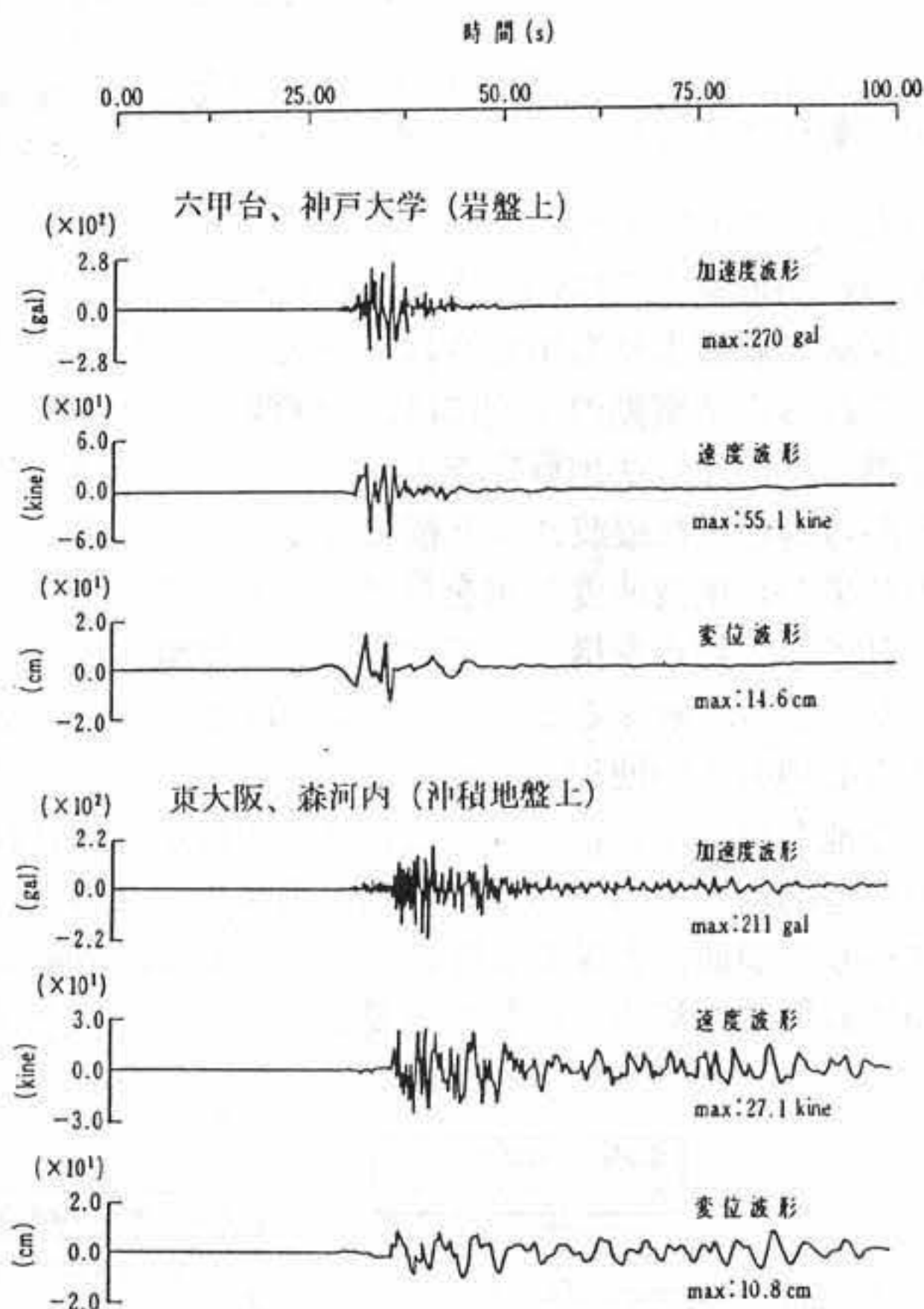
第 2.4.14 図 地溝状構造の場合の波線の集中と分散。基盤入射角:40°。

2.4.6 都市の震害特性

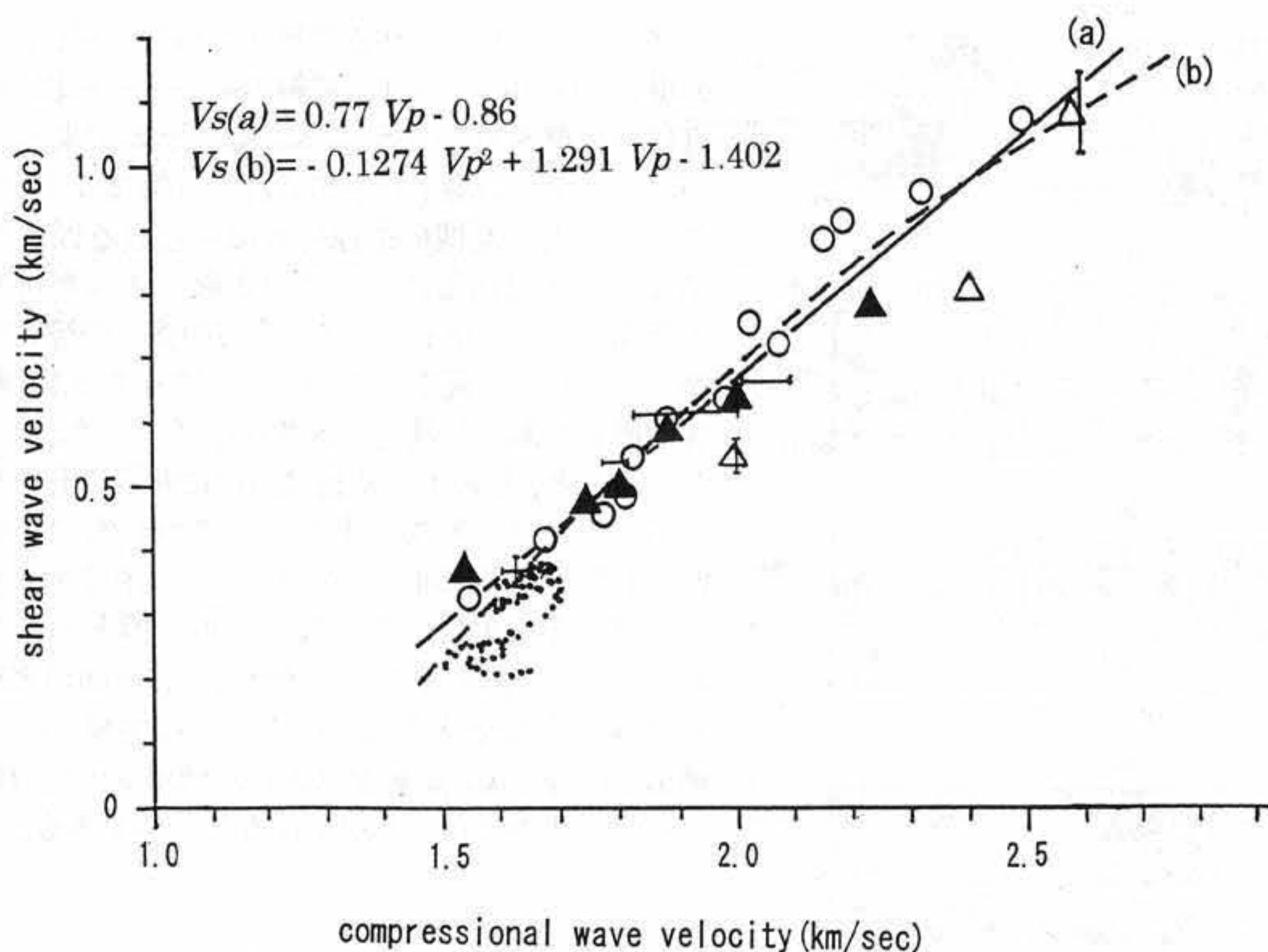
日本の主要な都市の大部分は、沖積低地と呼ばれる新しい軟弱な地層の上に形成され発展してきた。そこは都市が立地するための多くの条件が備っているからである。水平で平坦な土地、農耕に適した土壌、豊富な水資源、交通の便等が産業都市の形成に必要な要素となっていたであろう。わが国の都市地盤の大きな特徴は、日本列島自体がプレート境界に隣接していることから常時巨大地震の発生にさらされていること、隆起・沈降等の構造運動の激しい活動的な場となっており、平野内あるいは平野と丘陵・山地との境界にある活断層の活動によって、直下型地震の発生頻度も高いことが挙げられる。

大都市を載せている沖積低地は分厚い軟弱地盤からなっていて、地震工学的には地震動増幅、レンズのように地震波が集中するフォーカシングや長周期表面波による地震動が持続するなどの深刻な問題がある。さらに、旧河川の堆積物や三角州、海岸の砂からなる地盤では液状化や側方流動等の地盤災害問題が挙げられる。第 2.4.15 図は岩盤上における地震動と軟弱地盤上

グラーベンと呼ばれる凹地状の構造の場合、いずれの場合も凹地の中央部に波線の集中がみられ、特に垂直に近い壁をもつグラーベンではその中央部に激しいエネルギーの集中が予想される(第 2.4.14 図)。これは有馬-高槻構造線付近にみられる顕著な被害がこのような効果によって引き起こされた可能性が大変高いことを示している。今回の多くの被害は活断層付近に沿って集中しているように見えるが、特に被害が激甚であった低地の震度Ⅶのゾーンは、重力異常からみると、その下の基盤は海側に非常に急な角度で傾斜しており、断層である可能性が非常に高い(第 2.4.4、2.4.10 図参照)。このゾーンの形成がフォーカシングや全反射による影響もその一因として考えられる。ここでは重要なまとめとして、今回の地震では特に埋立て地や盛土などの人工的な地盤と深部地下構造と関連して、断層をはさんだ低地側の近傍に多くの被害が集中したことを挙げるができる。



第 2.4.15 図 岩盤上と軟弱地盤上の地震波形のちがい(関西地震観測研究協議会)。

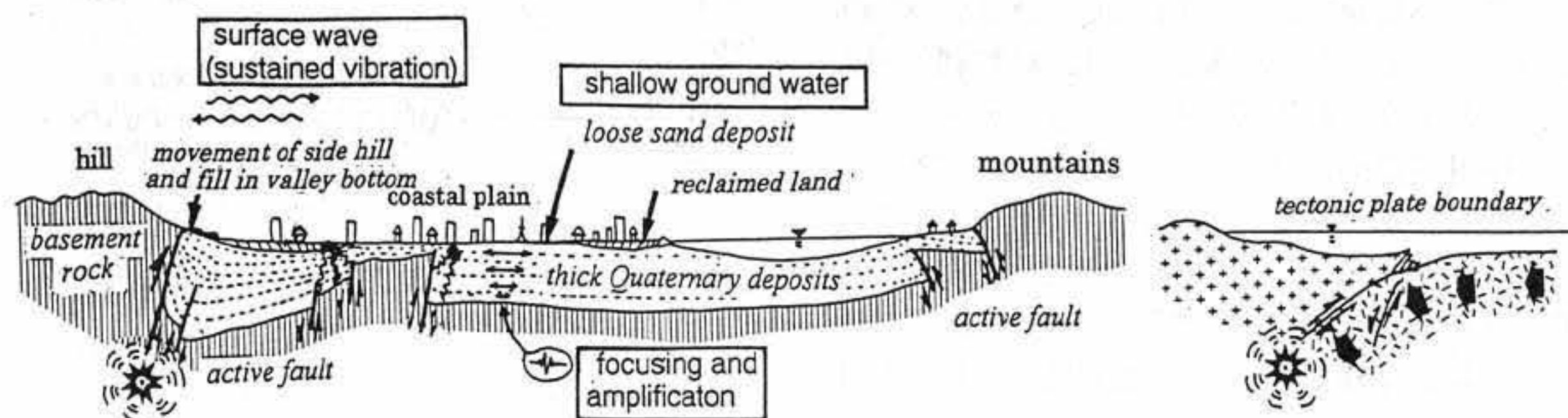


第 2.4.16 図 大阪平野における P 波速度と S 波速度の関係丸印と三角印は反射法による速度解析，線分は反射法による P 波速度と微動計測からのレイリー波逆解析による S 波速度，点は P・S 検層のデータ。

のものとの違いの例を示す。岩盤上の波形は大変単純で，短時間で振動が終わるのに対し，平野中央部の軟弱地盤上ではいつまでも振動が続いているという性質があると同時に，地震動そのものの振幅が深部の岩盤よりも増幅されて増大するという特性を持つ。

これらの地震動の予測には，地震波速度を含めた地層の物性分布が不可欠となる。陸上部でこれまで得られた反射法地震探査の結果，レイリー波の分散からの逆解析^{20), 21)}および精密 P-S 検層の結果²²⁾から得られた縦波速度と横波速度の関係を第 2.4.16 図に示した。通常の P 波による反射法地震探査の結果から横波速度分布を見積もるときに参考になるであろう。

日本の大都市を構成している自然の地盤は大きな地震災害に見舞われやすい性質があることを述べたが，今回の地震では，さらに人工的な地盤に重大な被害が集中した。都市が発達すると人口が増え，住み心地のよい便利な土地が不足するために，多くの土地が造成されてきた。海や湖が干拓され，河川や池も埋立てられ，さらに丘陵や山地が開拓され広い盛土地盤が形成されてきた。阪神地区はこれの典型的なところである。今回の地震ではこのような人工地盤におびただしい液状化，側方流動，地すべりや崩壊，大規模な亀裂の発生，振動の増幅などによるいろんな地盤災害が集中した。第 2.4.17 図に典型的な都市地震動被害要素についての例²³⁾を模式的に示す。



第 2.4.17 図 都市地盤構造と震害要素⁽²⁵⁾。

2.4.7 おわりに

「阪神・淡路大震災」は典型的な都市直下型地震によって引き起こされたものである。地震そのものはごく普通のものであったが、都市特有の地盤構造と都市の構造そのものによって、未曾有の都市災害につながっていったと結論づけられる。今回の地震によって、日頃の防災意識の高揚をはじめ、活断層及び地盤構造の詳細な調査、各種構造物の設計基準の的確な見直しなどが最重要な課題となって浮かび上がってきた。関西地方では平成元年頃より、全国でも珍しく、自治体、公営企業、大学などが協力して、地下に関する情報の収集にのりだし、都市防災のための貴重なデータベースや地震動観測ネットワーク・システムが構築されている。さらに、これを活用するための各種の研究協議会が結成され、地道な活動が続けられるなか、多くの価値ある成果が得られている。この度の貴重な教訓を今後の都市計画や都市防災に十分に活かすことが現代に生きる私たちの責務であろう。

引用文献

- 1) 中川康一 (1990) : 関西の大深度地盤調査—大阪平野を中心にして—, 関西の大深度地盤特性講演シンポジウム, 土質工学会関西支部, pp.63-88.
- 2) 岩崎好規・松山紀香・香川敬生・澤田純男 (1992) : 大阪盆地構造とその形成史, 関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム発表論文集, 土質工学会関西支部, pp. 119-126.
- 3) 市原実 編著 (1993) : 「大阪層群」, 創元社 340p.
- 4) 市原実 (1991) : 大阪とその周辺地域の第四紀地質図, アーバンクボタ, No. 30.
- 5) 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.
- 6) 佐野正人 (1980) : 奈良盆地北部の地質構造, 奈良～京都地域の開発と応用地質学的諸問題, 日本応用地質学会関西支部, pp. 13-25.
- 7) 活断層研究会 (1980) : 「日本の活断層」, 東京大学出版会, 439p.
- 8) 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, 2 輯、46 巻, pp. 395-403.
- 9) Tsuneishi, Y. (1978) : Geological and Experimental Studies on Mechanism of Block Faulting, Bull. Earthq. Res. Inst., vol. 53, pp. 173-242.
- 10) 大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会 (1995) : 「海底地盤—大阪湾を例として—」, 406p.
- 11) 岩渕洋・春日茂・打田明雄・穀田昇一・沖野郷子・志村栄一・長田智 (1995) : 兵庫県南部地震震央域周辺の活断層と海底変動, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, pp. 85-90.
- 12) 吉川宗治・町田義之・寺本光雄・横田裕・長尾英孝・梶原正章 (1987) : 反射法地震探査による大阪市内の深部構造調査, 地震学会講演予稿集, No. 2, B31, pp. 114-119.
- 13) 関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会 (1992) : 関西地盤の地質構造と土質特性に関する最近の知見シンポジウム発表論文集, 土質工学会関西支部, 160p.
- 14) 多田堯 (1995) : 1995 年兵庫県南部地震の地殻変動と測地学的断層モデル, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, pp. 7-10.
- 15) 三田村宗樹・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団 (1995) : 1995 年兵庫県南部地震による地盤被害と地形の人工改変, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, pp. 209-214.
- 16) Inoue, N., Nakagawa, K., Senda, S., Ryoki, K., and Shichi, R. (1995): Basement structure of Osaka sedimentary Basin inferred from gravity anomaly, abstract, Tech. Prog., on Int. Assoc. Math. Geol., 1995 Ann. Conf., pp. 245-247.
- 17) 山本栄作・中川康一・三田村宗樹・戸田茂・西田智彦・寺田祐司・宇田英雄・横田裕 (1992) : 大阪平野中央部における反射法地震探査 I—淀川 (十三～柴島) 測線—, 平成 4 年度研究発表会

講演論文集, 日本応用地質学会, 185-188.

- 18) 中川康一・三田村宗樹・原田俊之・白方邦博・横田 裕(1993): 大阪平野におけるS波バイブロサイス地震探査, 物理探査学会第88回学術論文集, 418-423.
- 19) Shiono, K., Nakagawa, K., Mitamura, M., Masumoto, S., and Irikura, K. (1995): Focusing of seismic ray along the Uemachi fault, - Damages in Osaka area caused by the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquakes and subsurface geologic structure, Jour, Phys. Earth(submitted).
- 20) Horike, M. (1985): Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the s-wave velocity structure down to the basement in urbanized area, Jour. Phys. Earth., Vol. 33, pp. 59-96.
- 21) 青木義彦・尾崎昌弘・辻本厚詞・堀家政則・竹内吉弘 (1990) : 大阪平野のS波速度構造推定, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 341-344.
- 22) Iwasaki, Y., (1988): In-situ seismic velocity and its relationship with soil characteristics in Osaka Bay, Earthquake Engineering and Soil Dynamics II, Geotech. Special Pub. No. 20, ASCE, pp. 290-304.
- 23) Nakagawa, K., Mitamura, M. and IWASAKI, T.Y. (1995) : Influence of ground characteristics on shaking and liquefaction resistance in major cities in Japan.-Geological condition and geotechnical problem of subsurface formation and their relation to seismic hazard in the alluvial Plain-, Outline of papers of the 4th Japan/United States Workshop Urban Earthquake Hazard Reduction , pp.259-262.

調査票		地盤工学会阪神大震災調査委員会	
部会No:	地下構造	Ser No:	1
記録日:			
対象物:	その他（震災域の深部地下構造）		
被災形態			
構造的（力学的）被害:		機能的被害:	
被災形態（地盤）:			
資料			
資料の種類:	地盤データ（地質断面図、その他（地質図など））		
キーワード:	活断層、深部地下構造、重力異常		
資料出典:	阪神地域活断層調査委員会、1996. ほか		
特記事項:	グラビア参照		
位置			
住所:	大阪湾岸域とその周辺		
使用地図:		位置読取り法:	
該当範囲形状:			
緯度・経度:			
記入者: 中川康一（大阪市立大学理学部）			

地質および地盤調査の概要

中川康一（大阪市立大学理学部）

佐野正人（サンコーコンサルタント（株））

調査の項目

神戸・阪神地域では、兵庫県南部地震以後、様々な機関で震災関連の調査が実施されている。主なところを取りあげても、兵庫県、神戸市、通産省地質調査所、文部省（東大・京大など）、建設省（土木研究所、国土地理院、近畿地建）、阪神道路公団、海上保安庁、科学技術庁などの多くにわたる。

そのうち地質構造（活断層を含む）や地盤に関する調査は、激震地をはじめ大阪湾や播磨灘東部を含む広い範囲が対象となっており、この範囲を中心に反射法地震探査や掘削深度が数100m～2,000mに達する大深度のボーリング調査が行われている（図1-1）。

反射法地震探査は、人工地震によって生じた反射波を用いて地下構造を調べる調査である。人工震源により地表で発生した波は、地下に入射するとそのうちの一部は地層境界（速度や密度の異なる地層の境界）で反射して地表に戻ってくるので、この性質を利用することによってビジュアルに地質構造断面を捉えることができるほか、速度構造に関する情報も得られるという利点がある。

しかし、反射法地震探査によって、地下の物性分布の形態がわかっても、それを構成している地層が具体的に、これまで知られている地層のどれに対比されるかは必ずしも明らかにできるわけではない。これを明らかにするためにはボーリング調査を実施すればよい。ボーリング調査により、反射法地震探査で得られた反射断面に地質情報（岩相や形成時期）を重ね合わせることが可能となり、特に未確認の伏在活断層の活動性に関する重要な情報をも提供することになる。

兵庫県では、1995年5月に阪神地域活断層調査委員会（委員長：藤田和夫大阪市立大学名誉教授）が組織され、1年間にわたり上記調査を中心に活動が続けられてきた。1996年3月にその成果が委員会総括として報告されているが、これにより今までよく知られていなかった神戸・阪神地域の地下構造の全容、特に伏在する活断層の様子がいち早く明らかにされた（図-1～7）。また広域的な大阪堆積盆地の基盤構造に関しては重力異常の解析がかなり有力となるため、いくつかの機関により重力測定が行われている。これらの結果を図-8～12に示す。

一方、今回の震災に直結したものとして、活断層や深部構造とともに地盤の特性も大きな比重を占めていると考えられることから、今後の防災対策には、地域の地盤情報が必要不可欠となってくる。神戸・阪神地域（海岸地域を除く市街地）では、これまで深度20～30m程度の浅いボーリング情報しかなく、地盤構造も詳しくわかっていなかった。その上、地震動に対する地盤の挙動を予測するための情報（S波速度など）も極めて少なかった。そのため、神戸・阪神地域では、深度50～100m級を含む調査ボーリングが数多く実施あるいは計画されており、地震時の被害予測などに活用できる地盤図の作成が進められている。

引用文献

阪神地域活断層調査委員会(1996)：阪神地域活断層調査報告書、兵庫県。

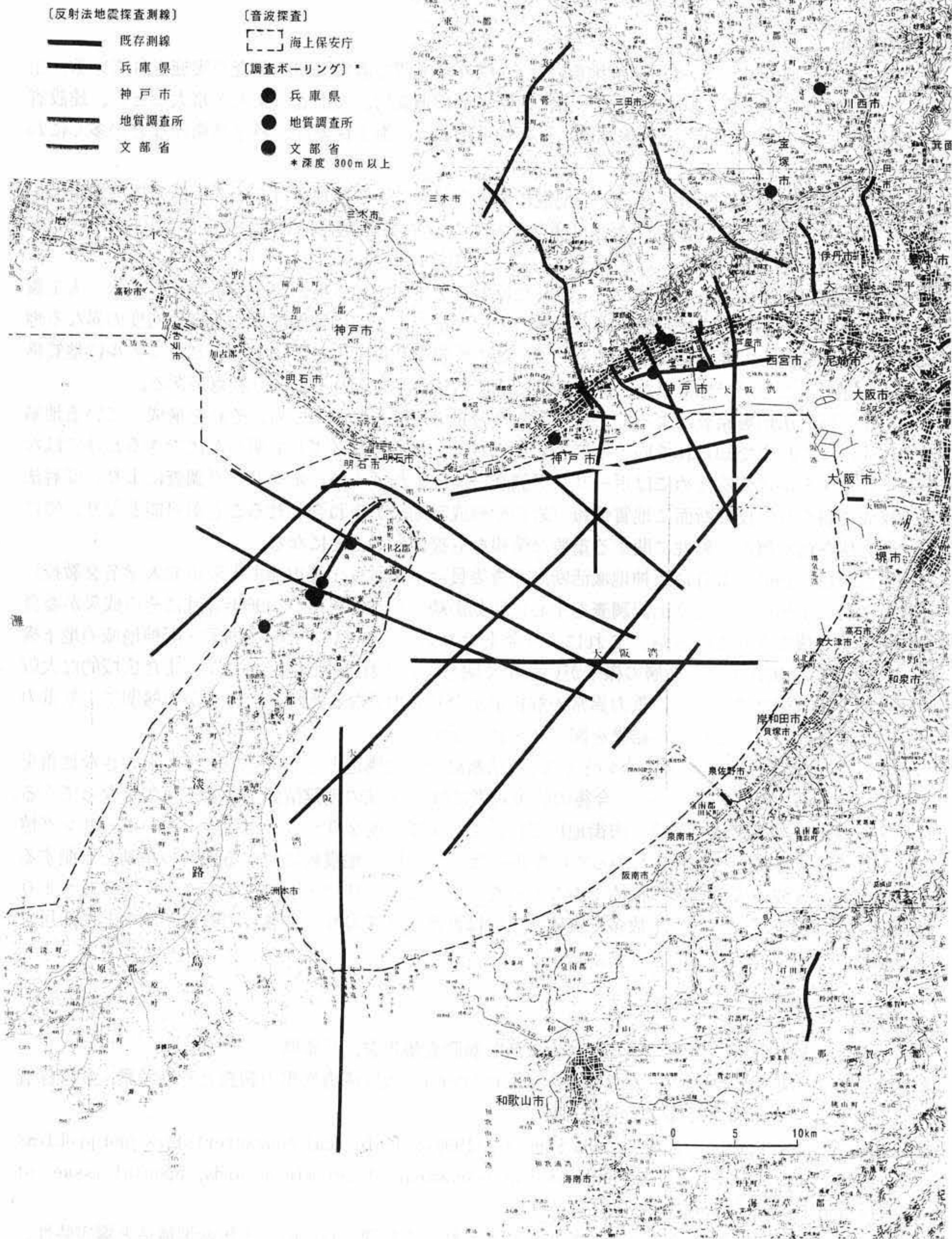
駒澤正夫、太田陽一、渋谷昭栄、熊井基、村上稔(1996)：大阪湾海底重力調査とその考察、物理探査学会第94回学術講演会論文集、430-434。

Nakagawa K., Shiono K., Inoue N. and Sano M., (1996): Geological characteristics and problems in and around Osaka Basin as a basis for assessment of seismic hazards, Special issue of Soils and Foundations, 15-28.

中川康一、塩野清治、井上直人、千田智志、領木邦浩、志知龍一(1996)：大阪盆地構造と震害特性、物理探査学会第94回学術講演会論文集、16-21。

吉川宗治、町田義之、寺本光雄、横田裕、長尾英孝、梶原正章(1987)：反射法地震探査による大阪市内の深部構造調査、第77回物理探査学会講演予稿集、114-119。

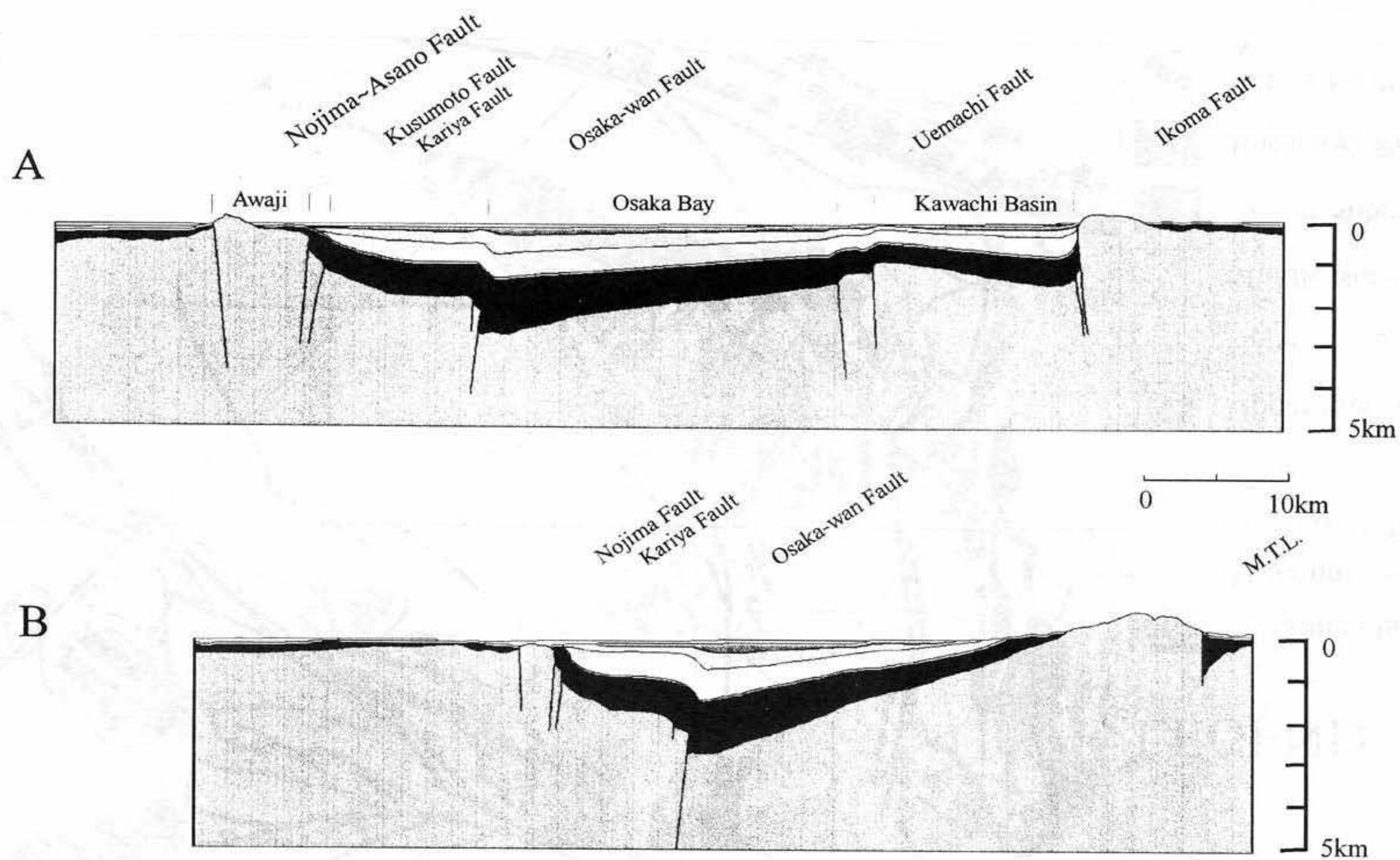
神戸・阪神地域及びその周辺地域を対象とした
地震・地下構造・活断層関連調査

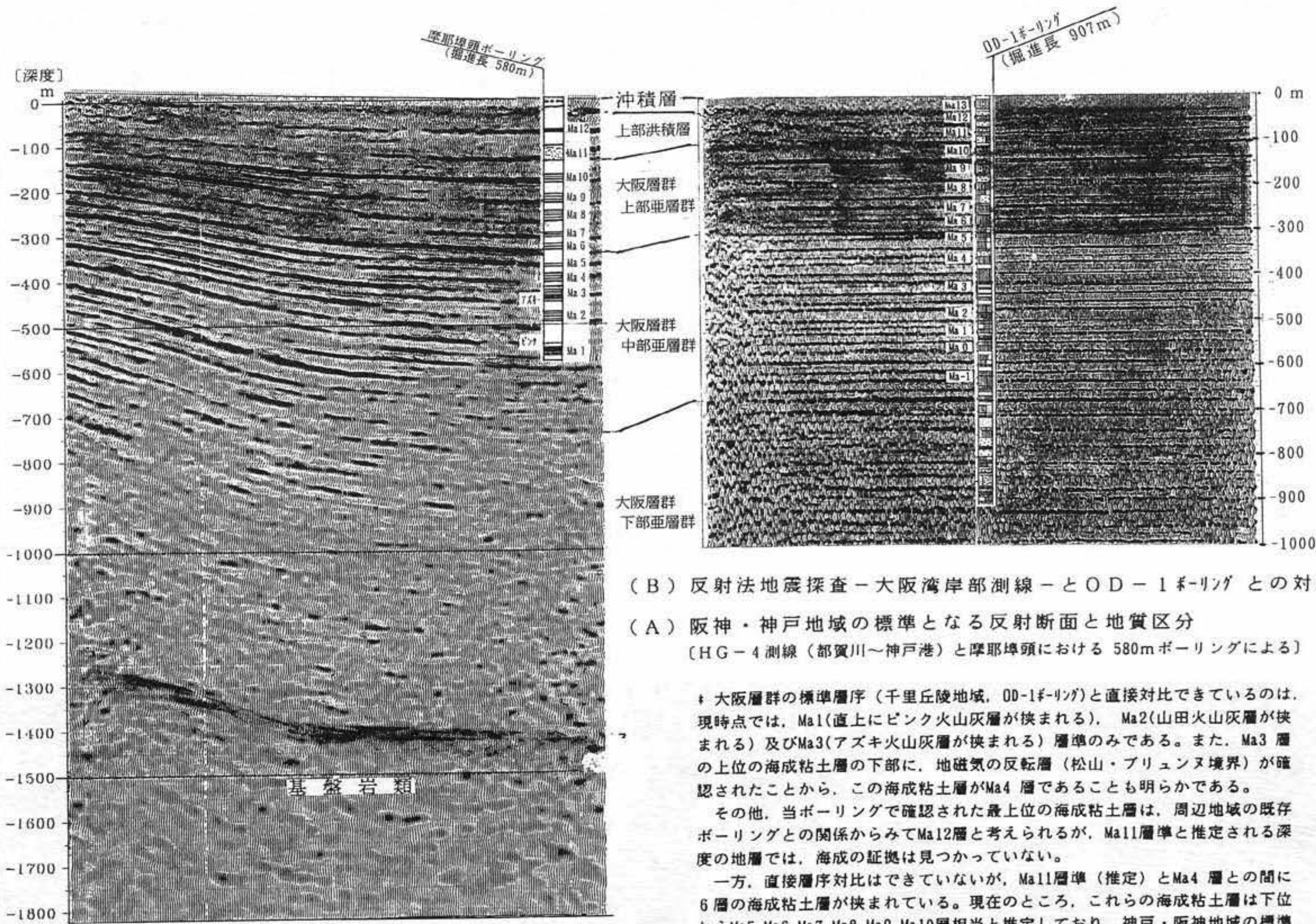


図－１．神戸・阪神地域及びその周辺地域を対象とした主な震災関連調査の位置（阪神地域活断層調査委員会、1996）



図-2. 大阪平野の地質図と地質断面図 (Nakagawa et al., 1996)





(B) 反射法地震探査－大阪湾岸部測線－とOD-1ボーリングとの対応
(A) 阪神・神戸地域の標準となる反射断面と地質区分
(HG-4測線(都賀川～神戸港)と摩耶埠頭における580mボーリングによる)

※大阪層群の標準層序(千里丘陵地域、OD-1ボーリング)と直接対比できているのは、現時点では、Ma1(直上にピンク火山灰層が挟まれる)、Ma2(山田火山灰層が挟まれる)及びMa3(アズキ火山灰層が挟まれる)層準のみである。また、Ma3層の上位の海成粘土層の下部に、地磁気の反転層(松山・ブリュンヌ境界)が確認されたことから、この海成粘土層がMa4層であることも明らかである。

その他、当ボーリングで確認された最上位の海成粘土層は、周辺地域の既存ボーリングとの関係からみてMa12層と考えられるが、Ma11層準と推定される深度の地層では、海成の証拠は見つかっていない。

一方、直接層序対比はできていないが、Ma11層準(推定)とMa4層との間に6層の海成粘土層が挟まれている。現在のところ、これらの海成粘土層は下位からMa5、Ma6、Ma7、Ma8、Ma9、Ma10層相当と推定しており、神戸・阪神地域の標準となる反射断面と地質層序でも、この考え方に基づいて層序区分をおこなっている。

図-3. 神戸・阪神地域における標準断面と地質区分
調査委員、1996)と大阪湾岸の断面(吉川他、1987) -

神戸・阪神地域市街地直下の基盤は、主に六甲山地に露出している白亜紀の花崗岩類から構成されていると見られる。その上を新第三紀鮮新世末(およそ300万年)以降に堆積した大阪層群などの未固結の堆積層が厚く覆っている。これら未固結堆積層は基盤に対して被覆層として位置づけられる。灘区の都賀川に沿う反射断面とその近傍で実施されたボーリング調査の結果、神戸の地下は、図(a)のように地層区分できることがわかった。一方、大阪地域では、すでに図(b)のような反射断面と大阪層群など未固結堆積層との対比ができており、両者を比較すると、未固結堆積層の各層準の反射の特徴や層厚が、極めて良く一致することも判明した。

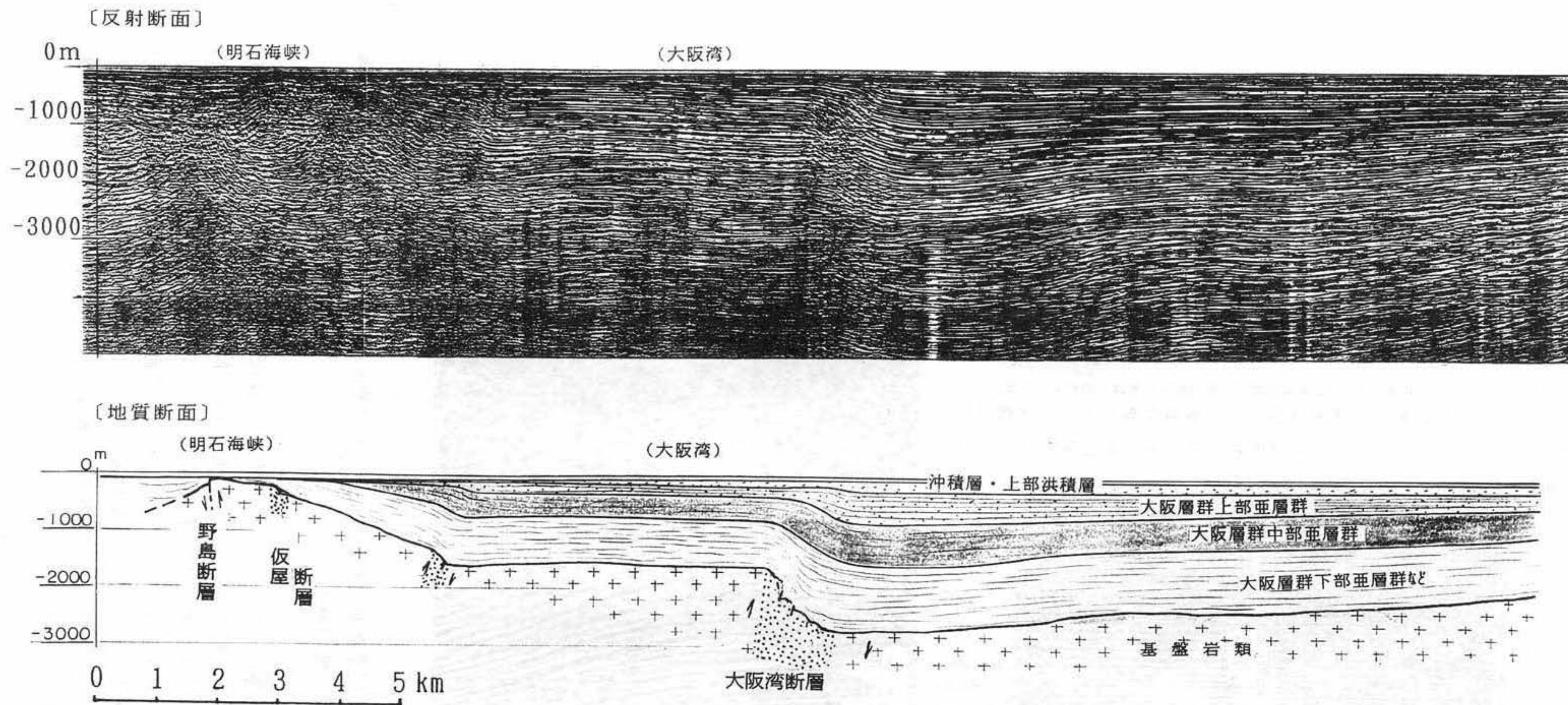
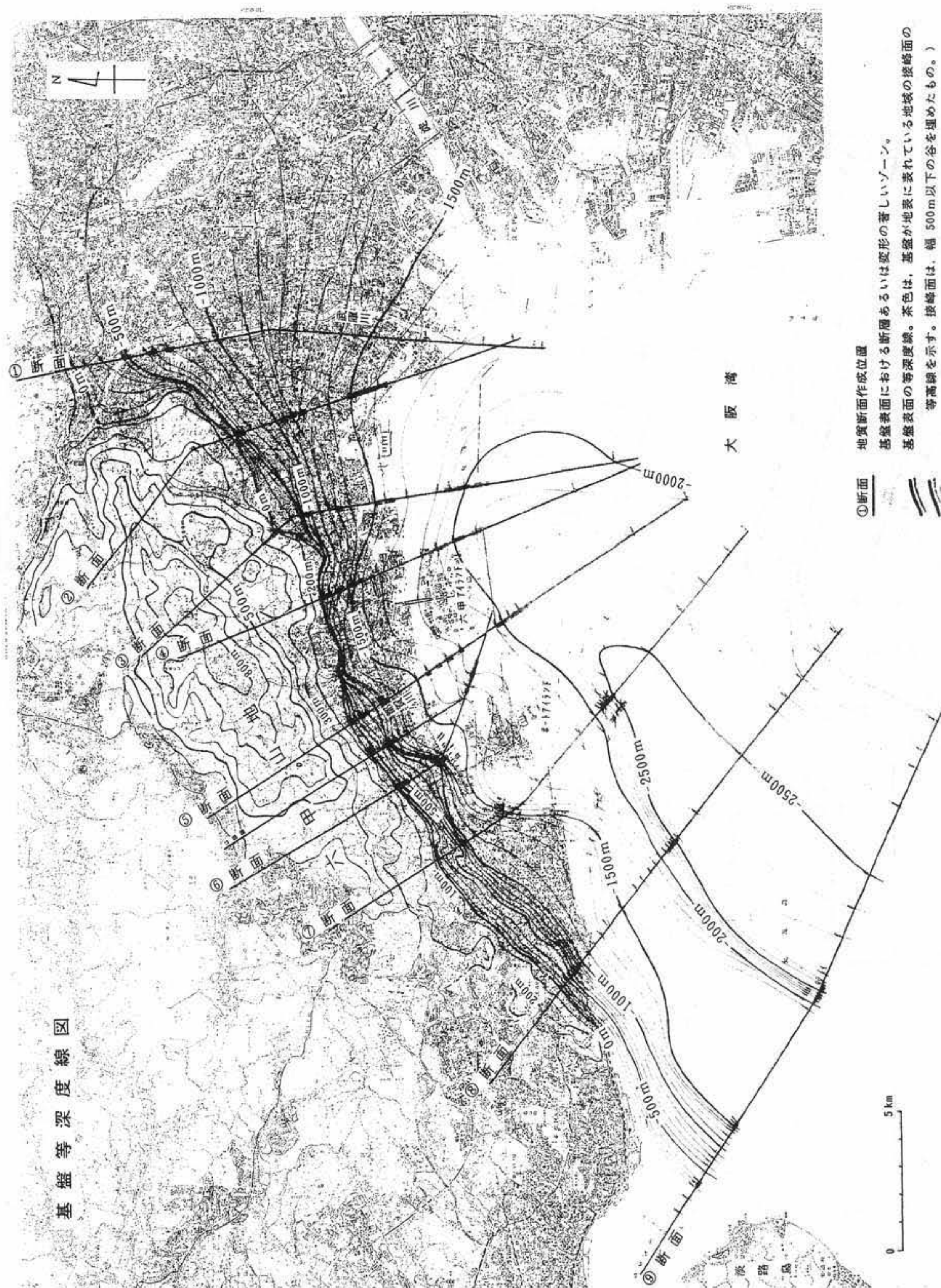


図-4. 調査結果の例—明石海峡から大阪湾中央部こいたる測線— (阪神地域断層調査委員会、1996)

明石海峡東部の断層 (仮屋断層) や大阪湾断層など伏在する活断層の様子が鮮明にとらえられている。この測線では、基盤上を覆っている大阪層群をはじめとする未固結の地層は、最大 3000 m 近くに達している。

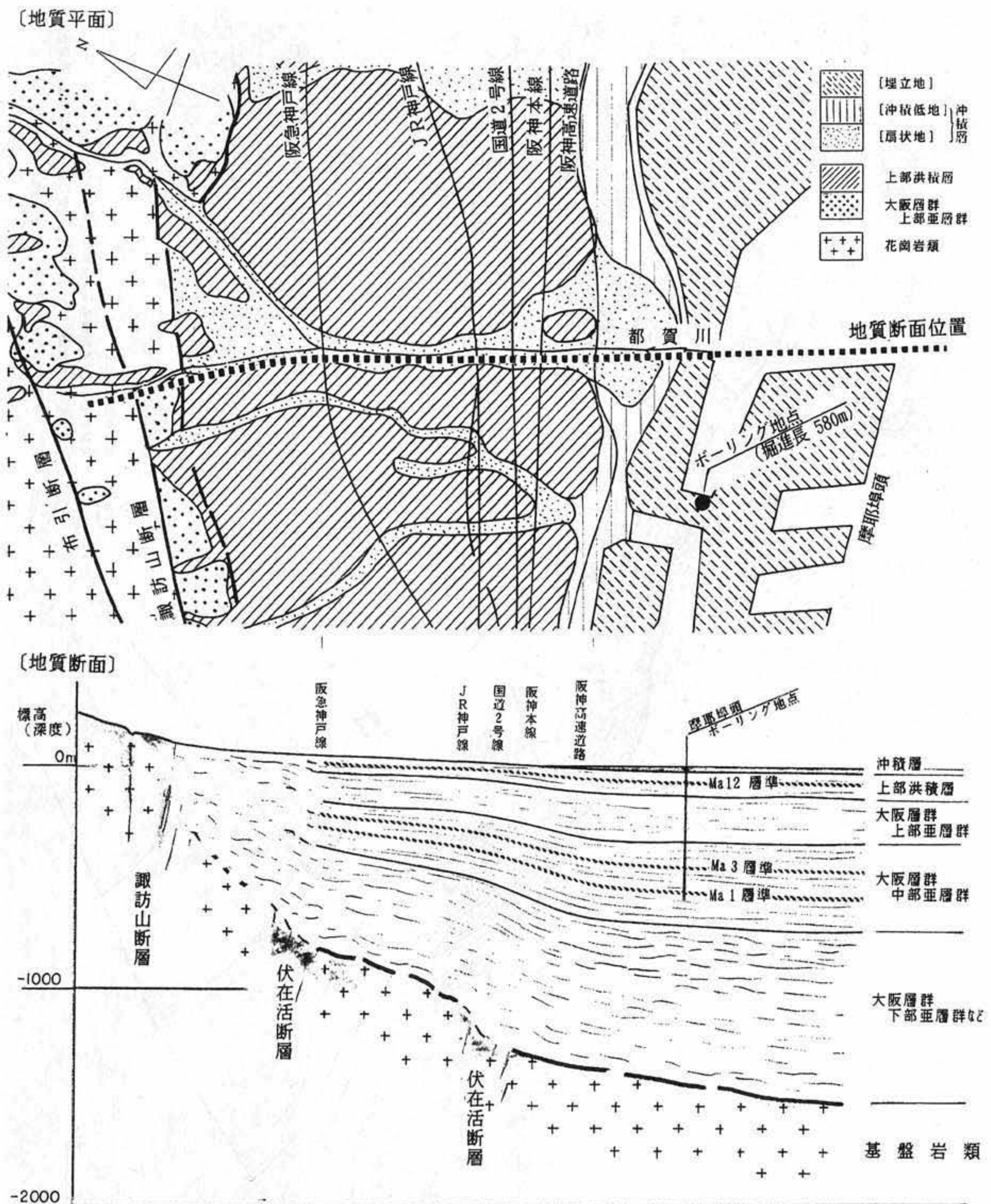
この測線でとらえられた大阪湾断層は、基盤の落差およそ 1000 m に達する大断層である。断層近傍の基盤の形状は複雑であり、基盤中には複数の断層が存在すること、褶曲的な要素を含む変形をこうむっていることなどを示唆している。基盤上を厚く覆った未固結堆積層は、断層でシャープに切れることはないが、基盤の変形・変位と調和した幅広い撓曲構造を呈している (地表でもよく見られる大阪層群中の撓曲構造と同じパターン)。

一方、明石海峡東方の仮屋断層付近では、基盤表面が“傾動”し、その上の大阪層群もこれと同調するように傾斜する様子が読み取れる。このように、基盤と大阪層群などの被覆層の構造は調和的であるが、被覆層の変形の度合い (垂直変位の大きさに対応) は、下位に位置する古い地層程大きく、断層運動が地層を堆積しながら継続的に進行してきたものであり、その運動は現在にまで及んでいることを示している。



図－5．反射法地震探査の結果を用いて作成された基盤岩表面の等深度線図（阪神地域断層調査委員会、1996）

図に示された深度から地表までは、大阪層群をはじめとする鮮新世末以降に堆積した未固結堆積層が潜在している。したがって、神戸・阪神地域の地下には、六甲山地山麓付近で400～1000m程度、海岸線付近では1200～1900mに達する堆積層が潜在していることがわかる。さらに大阪湾にかけ大阪層群が堆積しはじめた頃には、六甲山地から大阪湾にかけた一帯は、基盤岩が露出する準平原面が広がっていたとみられることから、六甲山地の最高点（およそ1,000 m）と大阪湾の最深部（およそ3,000 m）との高度差4000mは、主に第四紀の変動によってもたらされたものであることがわかる。

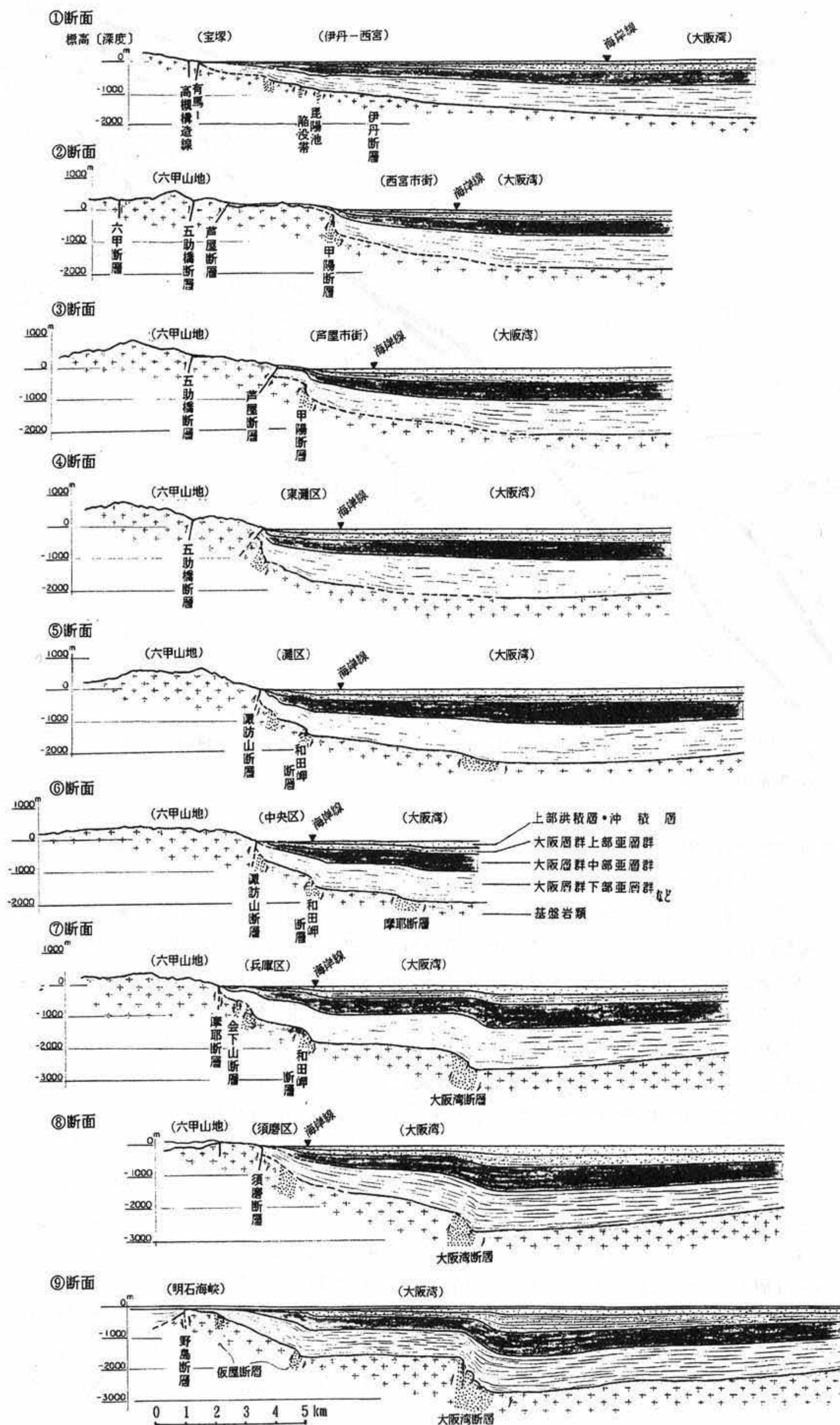


図－6．伏在する活断層と地表地形との対応－灘区の都賀川沿いの測線－（阪神地域活断層調査委員会、1996）

市街地直下には 1,000mを越す堆積層が潜在しており、これらの未固結の地層は2か所にみられる伏在活断層のところでは撓み曲がった構造を示し、地表近くに位置するおよそ10万年前後の地層であるMa12層準にいたっては、極めて緩やかに変形している程度である。

活断層が伏在している箇所を地質平面図と比べてみると、海側に位置する活断層を境に、これより山側では地表に分布していた上部洪積層が地下に没し、海側の地表には沖積層が出現するようになる。これは、活断層による変位が地表まで影響を及ぼしていることを示唆しているとみられる。しかし、空中写真や現地踏査で判別できるほどの明瞭な変位地形（低断層崖や地形面の彎曲など）として表われていないのも事実である。したがって、このような伏在する活断層を、平面図に線で表現することは困難であり、また不適切であるといえよう。

〔伊丹台地西端～明石海峡にかけての神戸・阪神地域地質横断図〕



〔主な活断層系の概念図〕



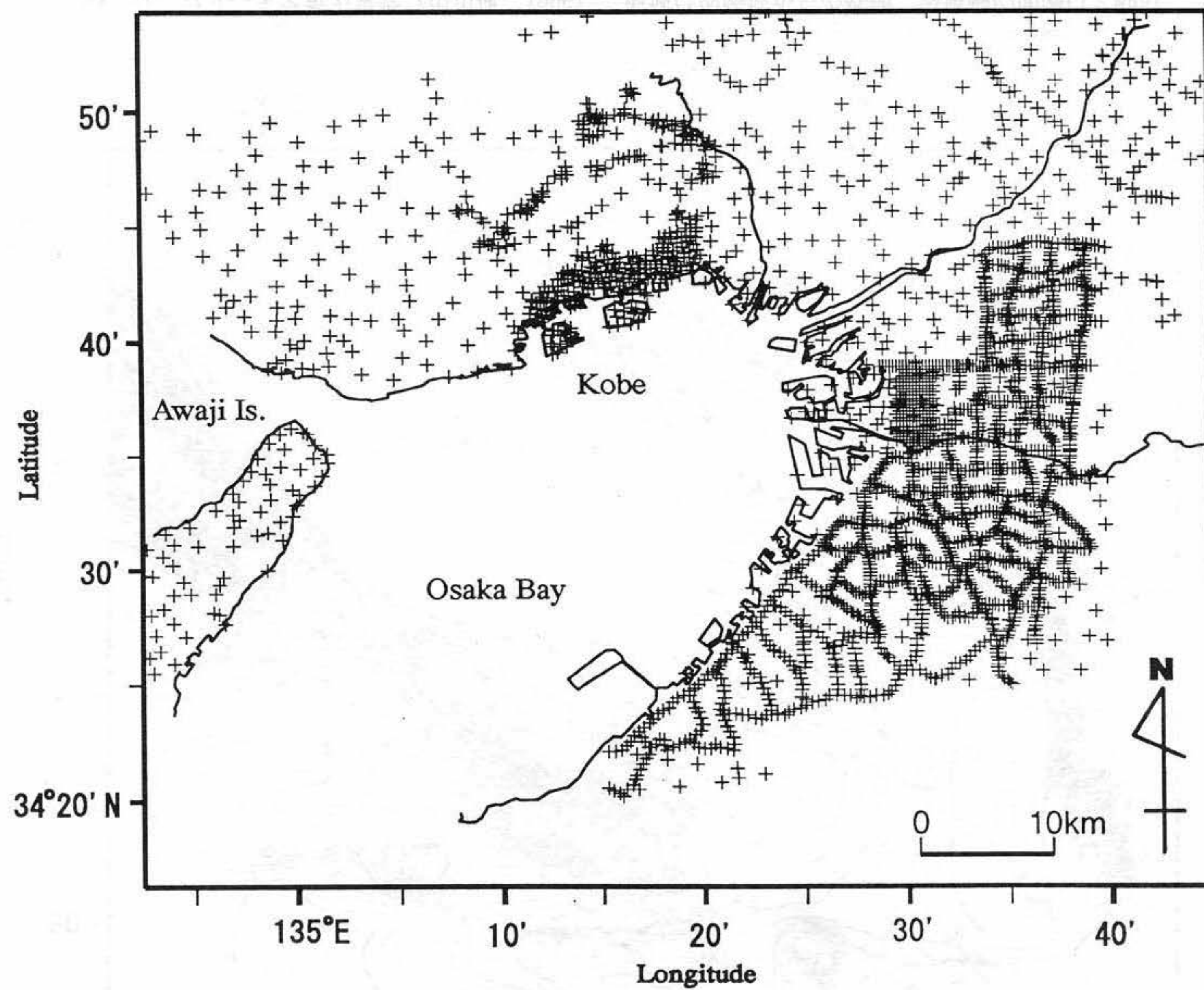
図-7. 伊丹台地西端～明石海峡にかけての神戸・阪神地域地質横断図と主な活断層系の概念図（阪神地域活断層調査委員会、1996）

伊丹台地西端～明石海峡にかけ神戸・阪神地域市街地を横断する形で作成した地質断面図をならべてみると、この地域の地下構造の特徴が良く読み取れる。

当地域の地質構造は大きくみると、六甲山地から市街地直下の広い範囲で傾動を伴いながら、その中に複数の活断層が存在する北西側の断層系（須磨断層、諏訪山断層など既知の活断層を含む）と、その南東側およそ5 kmをこれに平行して延びる大阪湾断層系に分けられる。また、両者の間には北北東－南南西方向の和田岬断層やほぼ南北方向とみられる摩耶断層が存在する。

大阪湾断層の北東延長部は、六甲アイランド沖で不明瞭になり、これより北東へは延びていない可能性がある。一方、六甲山麓の断層系は、東灘付近では山麓部に垂直変位が集中する形へと変化し、

さらに北東部では甲陽断層へ続くようである。さらに東部の武庫川付近～伊丹台地にかけては、全体にゆるやかに傾動するパターンとなり、この地域に位置する伊丹断層や昆陽池陥没帯ともそれ程大きな垂直変位が見られない。以上、活断層・地下構造の概要は掴めてきたが、既知の断層（たとえば五助橋断層や甲陽断層）の延長問題、断層の詳細な連続性については、現在のところ断定的な結論づけはできていない。ここに示した主な活断層の系統図は、現時点での予察的なものであるが、全体の傾向は概ね反映していると見てよい。なお、この図では伏在する活断層も模式的に線であらわしているが、図－6でも言及したように、伏在する活断層は実際には線で表現することが適切でないことに留意する必要がある。なお、現時点では、活断層をはじめ変動像が主に垂直のものに限られ、これが評価対象となっているが、今後は六甲山麓の断層系にみられる横ずれを含めた検討も必要と考えられる。



図一8. 重力観測地点 (中川他、1996)

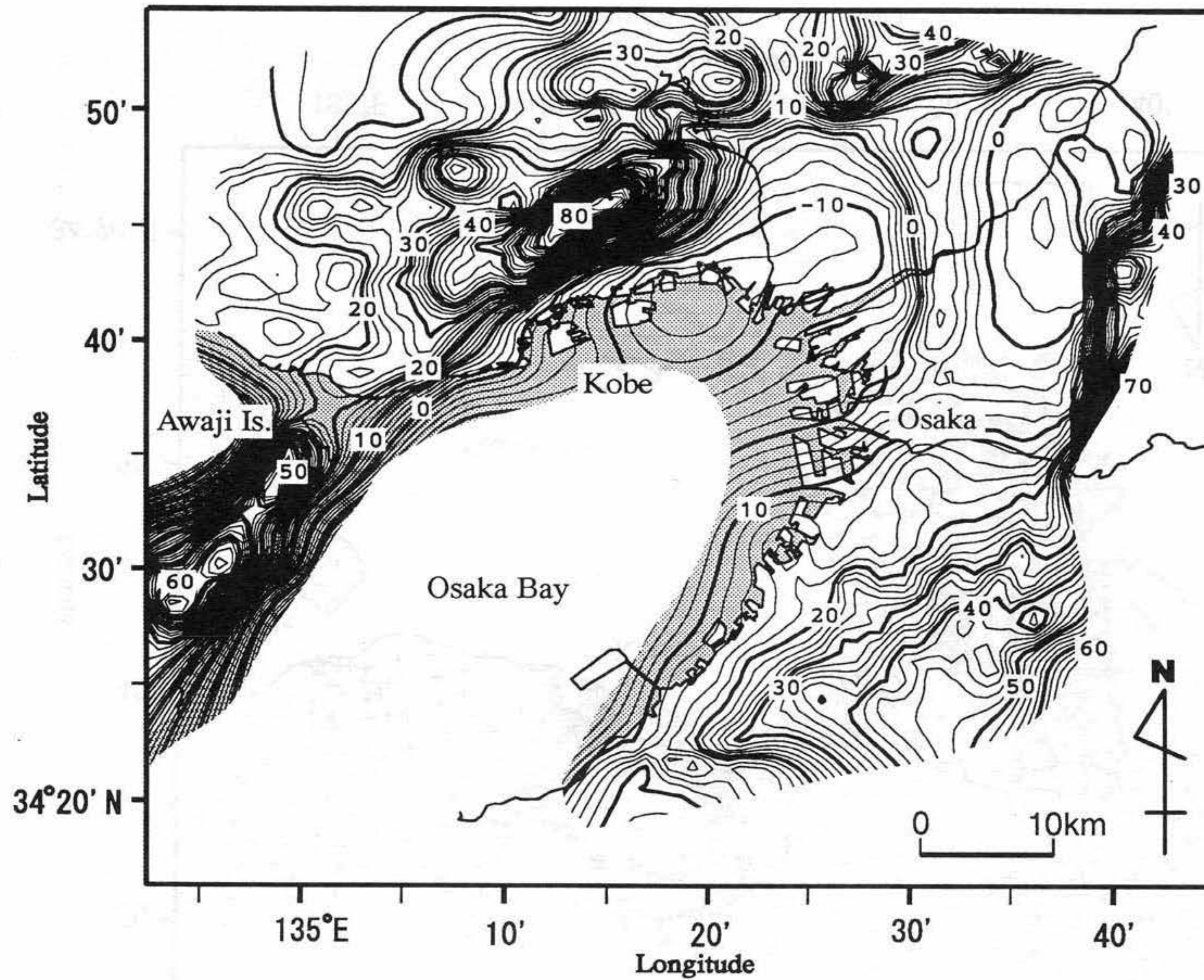


図-9. フリーエア重力異常 (中川他、1996)。海域は内陸域からの外挿、等値線の間隔は2 mgal

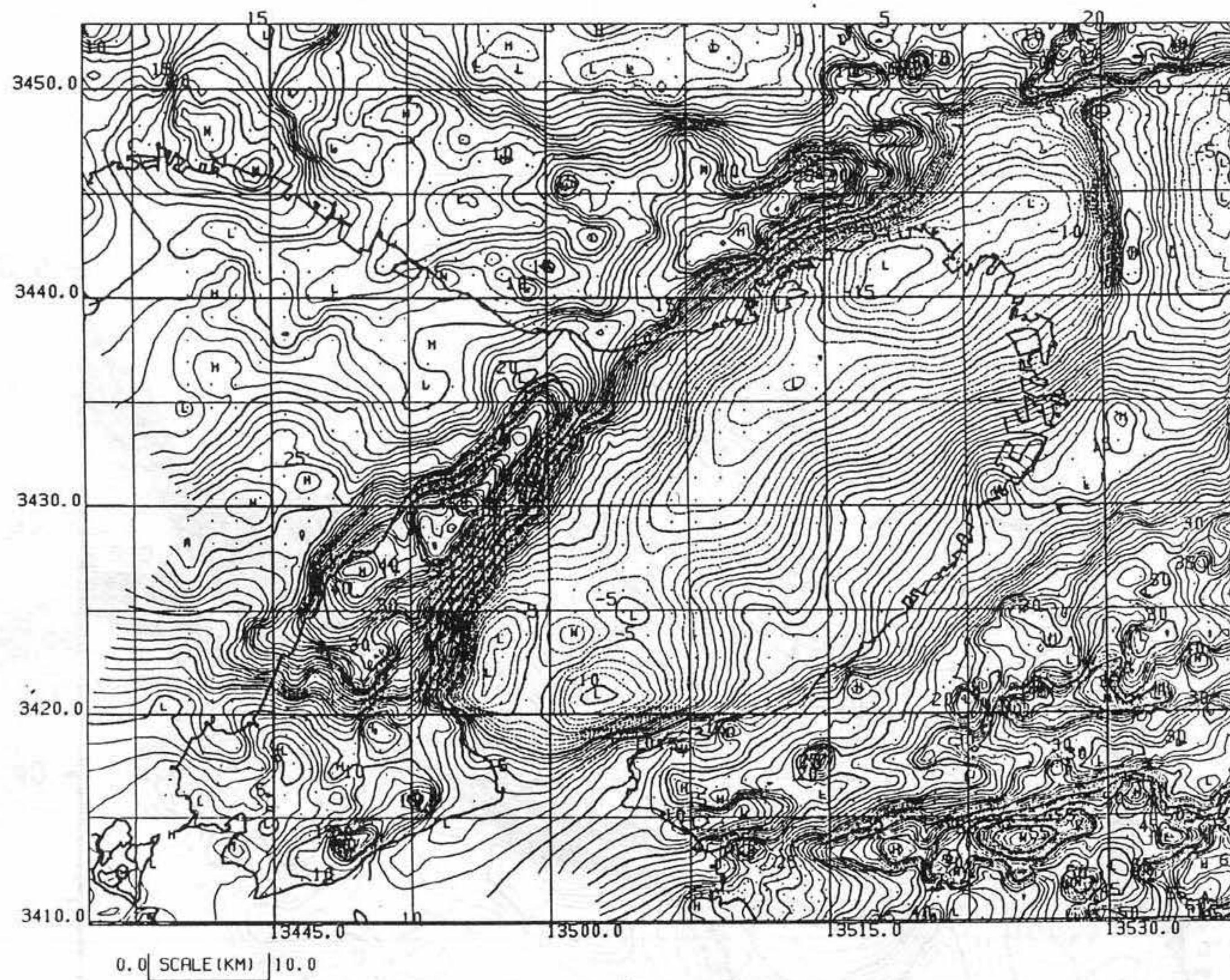


図-10. 大阪湾およびその周辺域のブーゲー異常（駒澤他、1996）。大阪湾の測定（総計408点）が新しく追加された。測定点をドット、等値線間隔を1mgalで示してある。

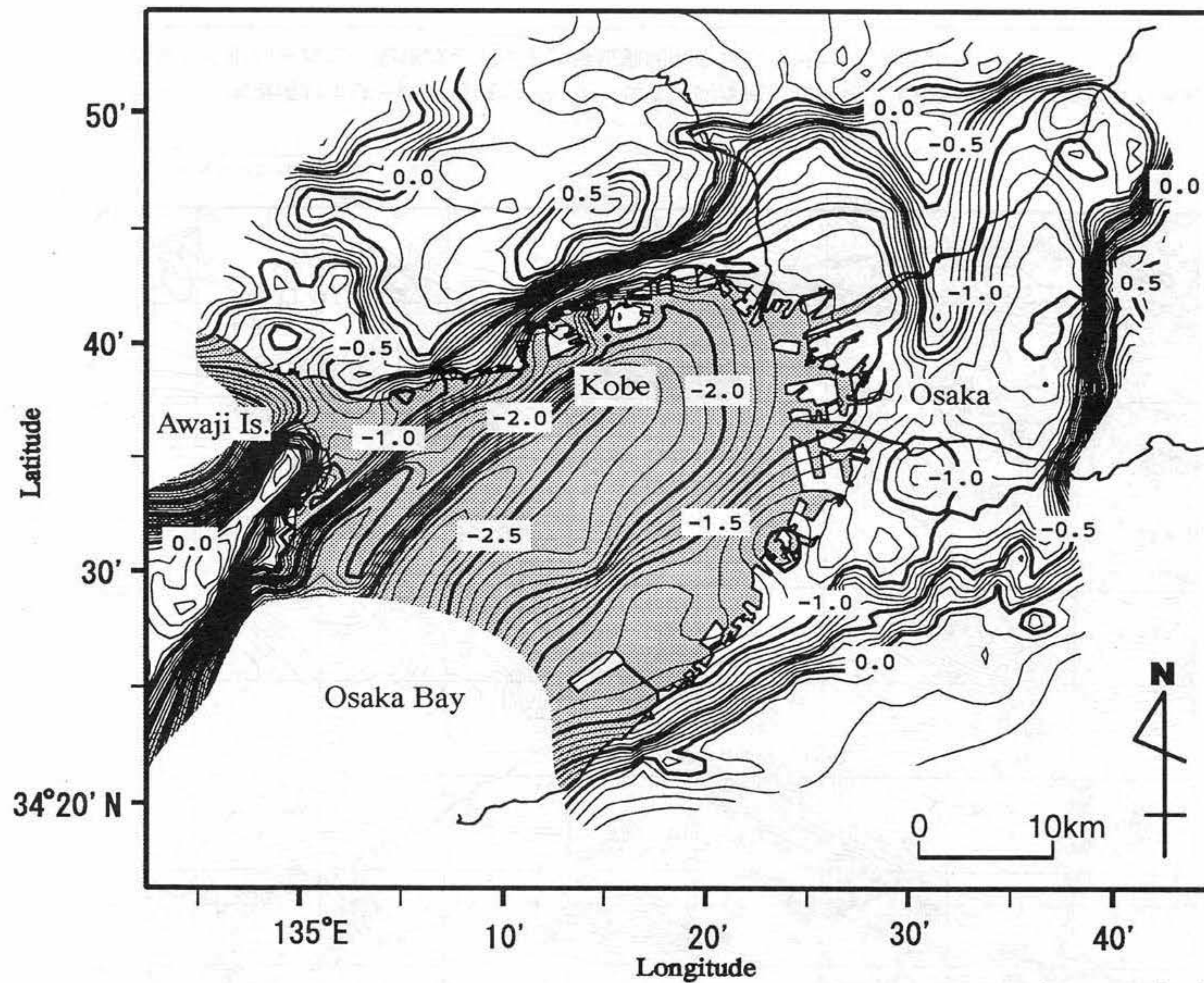


図-11. 大阪盆地の基盤深度分布（中川他、1996）。反射法地震探査、深層ボーリング調査および地表踏査などのデータからフリーエア重力異常を用い、内挿法によって解析。数値は基盤深度（km）、等値線の間隔は100m。

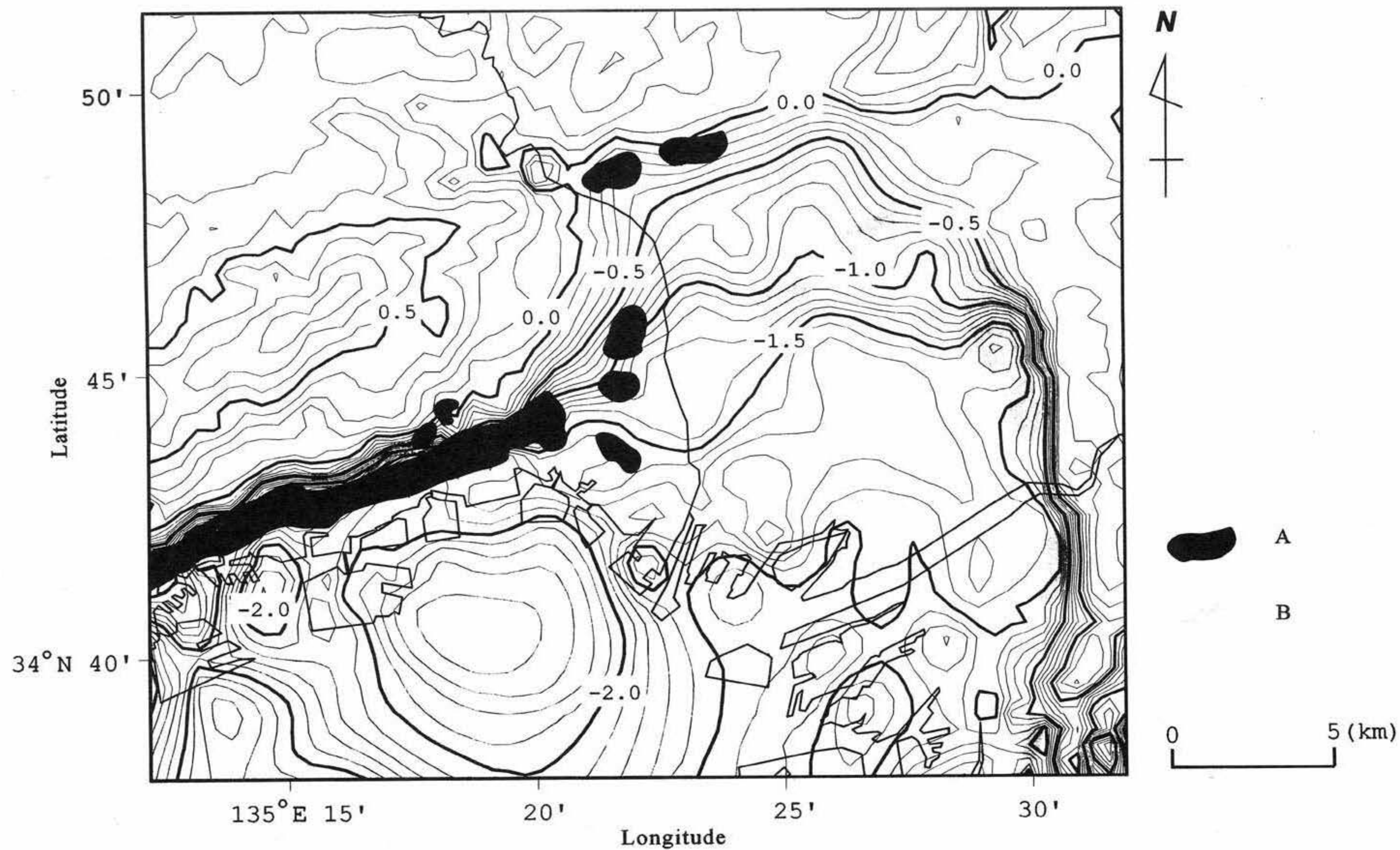


図-12. 三次元の重力逆解析によって得られた基盤岩深度の分布（中川他、1996）。数値は基盤深度（km）、等値線の間隔は100m。A：震度Ⅶのゾーン、B：液状化と関係のない構造物の被害がまわりより大きかった地点