

1995 年兵庫県南部地震に伴う神戸・阪神地区の 被害と六甲断層系の活動

吉岡敏和*・宮地良典*・寒川 旭**・下川浩一***・粟田泰夫***
水野清秀***・奥村晃史***・井村隆介***・佃 栄吉***・松山紀香†

YOSHIOKA Toshikazu, MIYACHI Yoshinori, SANGAWA Akira, SHIMOKAWA Koichi, AWATA Yasuo, MIZUNO Kiyohide, OKUMURA Koji, IMURA Ryusuke, TSUKUDA Eikichi and MATSUYAMA Noriko (1996) Damage in the Kobe and Hanshin urban areas during the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake, and relation to the Rokko active fault system. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.47(1), p.5-22, 12 figs., 1 table.

Abstract : The 1995 Hyogoken-nanbu earthquake caused severe damage to numerous buildings and houses in the Kobe and Hanshin urban areas and in Awaji Island. The most intense damage in Kobe and Hanshin occurred in intermittent areas along a <2 km wide belt (not parallel to the nearby the Rokko active fault system) located between the Rokko Mountains and Osaka Bay. Much of the damage appears to be controlled by topography. For example, most of the houses destroyed between Motoyama-nakamachi and Mori-minamimachi and in the area surrounding Rokkomichi station were located on marshy land between alluvial fans or in shallow valleys that dissect old alluvial fans. By contrast, less-damaged houses and buildings in the area between Hanakumacho and the Minatogawa station were located on alluvial terraces.

Surface ruptures in the damaged area along the faults of the Rokko active fault system was restricted to landslides and liquefaction. The geodetic and seismological data collected indicate the seismogenic fault in the Kobe area is deeper and smaller than the Nojima fault.

要 旨

1995 年兵庫県南部地震は、兵庫県南部地方から大阪府北部、京都府南部にかけての広い範囲に被害をもたらしたが、その中でも六甲山地と大阪湾に挟まれた神戸市から西宮市・宝塚市にかけての市街地は、特に大きな被害を受けた。被害の集中した地域は、神戸市の須磨区から西宮市にかけての長さ約 20 km にわたって、幅 500 m-2

km の帯状に延びるが、この位置は六甲断層系の活断層のトレースとは一致しない。この帯状の地域の中では、局所的に被害程度に差が見られた。たとえば、東灘区本山中町から森南町にかけての地域や、JR 六甲道駅から石屋川にかけての地域のように、数 100 m 四方程度の範囲で特に被害が集中する地域が島状に分布する。一方、鉄筋建造物の被害は三宮駅や六甲道駅周辺などのビル街で、中間階の崩壊や建物全体の剪断破壊などの被害が顕著で

* 地質部
** 大阪地域地質センター
*** 環境地質部
† 元・(勲)大阪土質試験所

Keywords : Hyogoken-nanbu earthquake, damage, active fault, Rokko active fault system, Kobe, Hanshin area

ある。これに対し、中央区花隈町から神戸電鉄湊川駅にかけての地域では、相対的に被害が軽微である傾向が認められた。

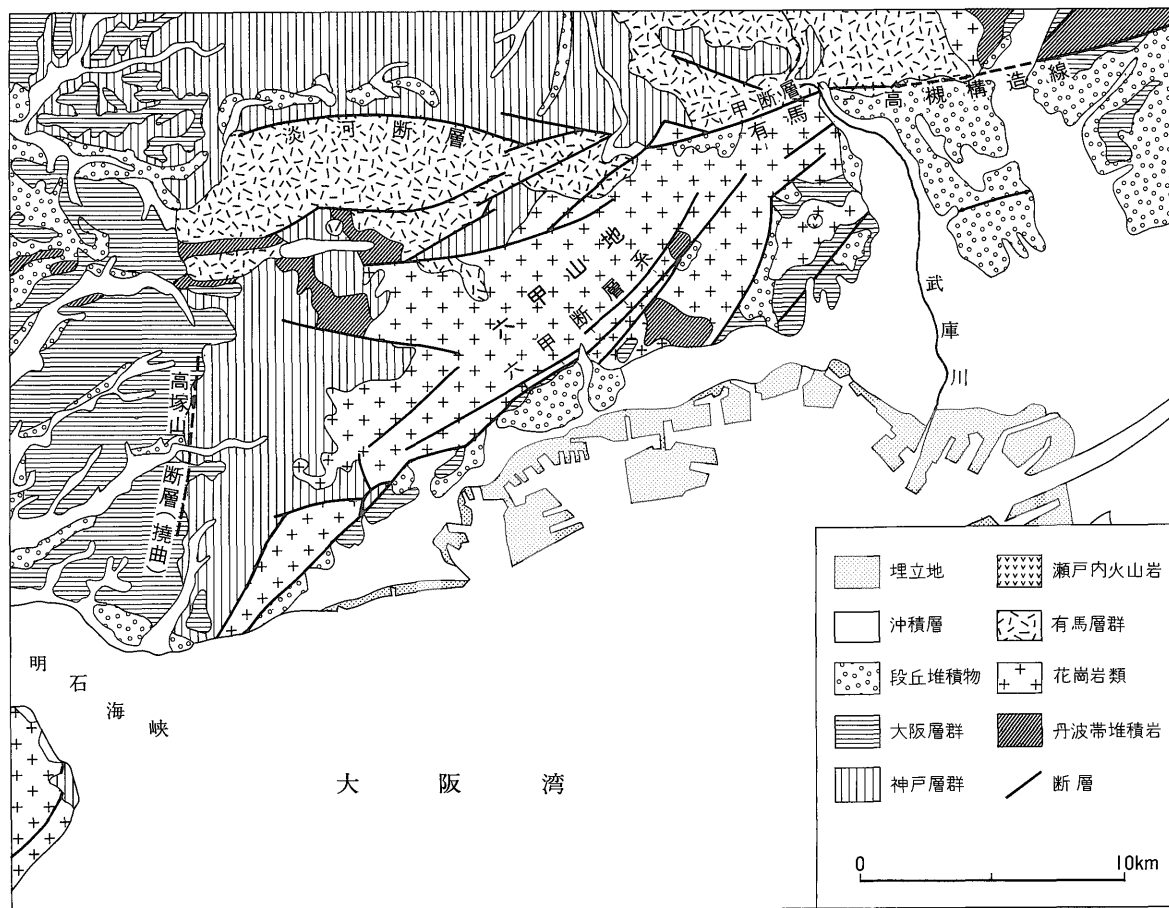
六甲断層系の各活断層については、少なくとも地表にずれを伴う断層変位は認められなかった。特に諏訪山断層や五助橋断層南西部では、家屋や路面の被害もほとんど見られなかった。また、神戸・阪神地区の市街地で見られた路面や斜面の擁壁の亀裂等についても、地表地震断層と認められるものはなかった。これらの地表での観察結果と、これまでに公表された測地学的・地震学的データを考え合わせると、六甲山麓での震源断層は、野島断層に比べてやや深いところに位置し、変位量も比較的小さかったため、破壊が地表に達しなかったと考えられる。そして、被害が六甲山麓の帯状の地域に分布した要因としては、断層破壊の伝播速度と破壊の加速度から考

えて、伏在断層の活動によるとは考えにくく、地下地盤構造の影響による可能性が高い。また、局所的な被害程度の差は、地形条件の影響を大きく受けており、表層地盤による地震波の増幅によるものと考えられる。

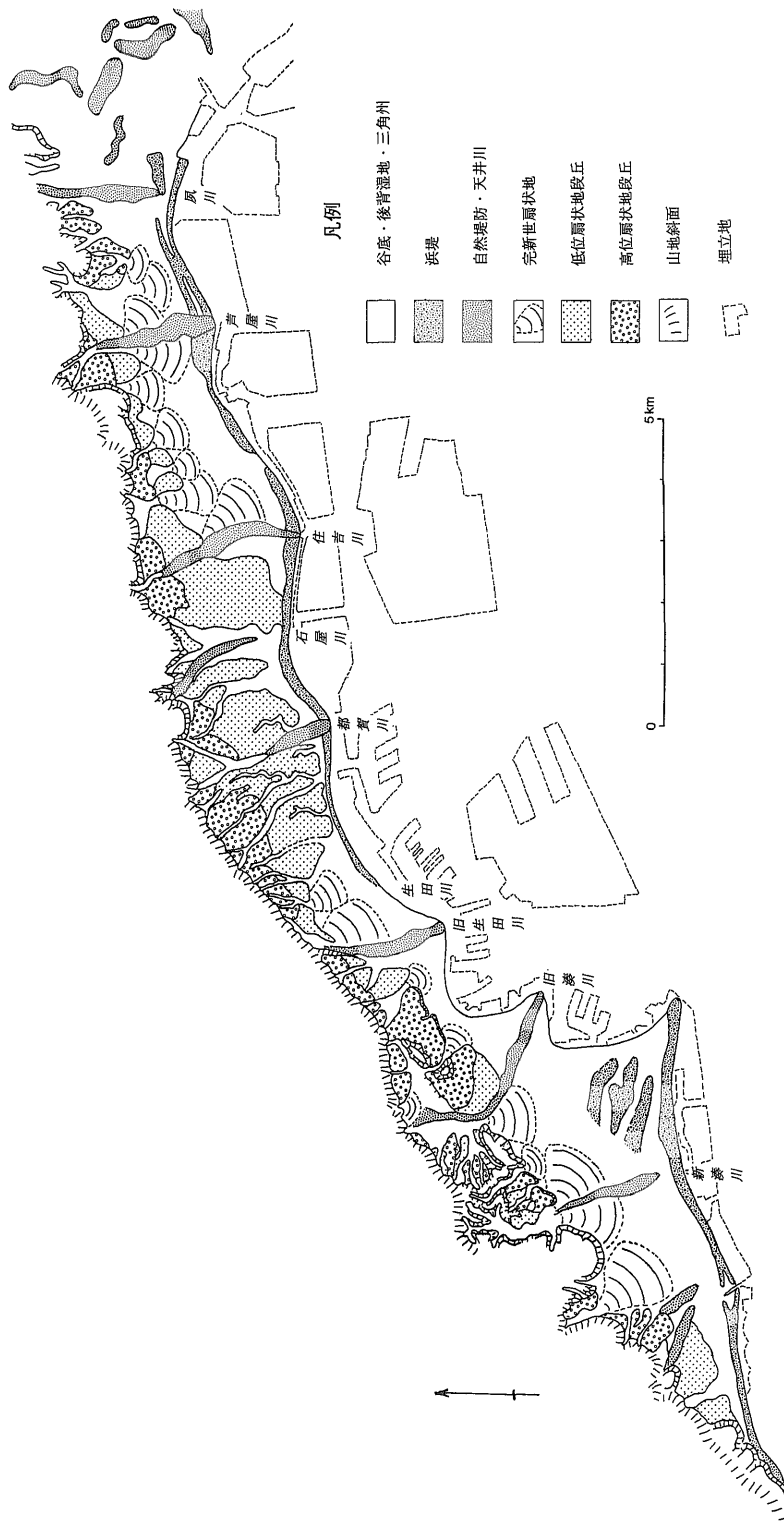
1. はじめに

1995年1月17日午前5時46分、明石海峡付近を震源として発生した兵庫県南部地震は、近畿地方中部の兵庫県南部地方から大阪府北部、京都府南部にかけての広い範囲に被害をもたらした。その中でも神戸市から西宮市、宝塚市といった阪神地区の都市地域においては、多くのビルや木造家屋が倒壊したほか、鉄道や高速道路などの大規模構造物も大きな被害を受けた。

地質調査所では、地表地震断層の出現の有無および地質災害としての被害の実態把握のため、地震発生の翌日



第1図 六甲山地周辺の地質図 河田ほか (1985) を簡略化



第2図 六甲山地南麓の地形分類図 (吉岡ほか, 1995)

から緊急現地調査を開始した。本報告はこの緊急現地調査の結果をもとに若干の考察を加えたものである。なお、本報告の一部は、速報として吉岡ほか (1995) に記載されている。

2. 地形・地質および活断層の概要

2.1 六甲山地とその周辺の地形・地質

今回の地震において大きな被害を受けた淡路島から六甲山地周辺の地域は、近畿地方の中部、大阪湾の北西に位置する。この地域の地質は、主として山地を構成する花崗岩類および中生界からなる基盤岩と、主に丘陵部および平野地下に分布する、第三系の神戸層群の堆積岩類および第四系の大阪層群の未固結ないし半固結の堆積物からなる (第1図)。大阪層群は、主として非海成の礫・砂・シルト層からなり、その上半部には数枚の海成粘土層がサイクリックに挟まれる。大阪層群の上位には段丘・扇状地などを形成する上部更新統や完新統が分布する。

六甲山地は、山地の東寄りに位置する標高 931.3 m の六甲山を最高峰とし、比較的なだらかで一部に小起伏面を残す山頂面と、その周囲の急斜面で構成される、台地状の山地である。平面的には北縁を有馬-高槻構造線の六甲断層および淡河断層、西縁を高塚山断層 (撓曲)、南東縁を六甲断層系で限られたほぼ直角三角形を呈する。山地は主として花崗岩類からなるが、北部には白亜系の有馬層群の火砕岩類が、西部には神戸層群の堆積岩類が分布する。山地の南東縁の六甲断層系に沿っては、大阪湾沿岸の低地との間に比高 500 m 以上の急崖が発達するが、北方と西方に向かっては徐々に高度を減じる。

大阪湾に面する南東側の山麓には、花崗岩類からなる山地から流出するいくつかの河川によって扇状地が発達する。第2図の山麓地域の地形分類図に示されるように、この地域の扇状地は、更新世後期に形成され現在は離水している高低2面の扇状地段丘と完新世扇状地に区別される。大阪湾沿岸には浜堤が微高地を形成して分布し、主な河川は人為的な河道の固定によって天井川となっている。

六甲山地のように、直線状の山麓線を持つ山地の麓に扇状地が発達する場合、扇状地は山地からの谷の出口を扇頂として、横一列に発達し、合流扇状地を形成する。しかし、この時、山麓線上の扇頂と扇頂の間は、山地からの碎屑物は直接供給されないで、しばしば地形的な窪みとなり、比較的細粒の地層が堆積する場が形成されている。また、扇状地と扇状地の間や扇状地と浜堤の間など、河川からの碎屑物が供給されにくい場所には湿地が発達し、細粒で軟弱な堆積物が分布する。

2.2 六甲活断層系の活断層

六甲山地の南東縁には六甲断層系に属する活断層が分布する。六甲断層系は、兵庫県宝塚市付近で有馬-高槻構造線から分岐し、六甲山地の南東麓を通り、明石海峡から淡路島に連続する、北東-南西方向の一般走向を持つ活断層系である (第3図)。断層系は平行ないしやや斜交する数本の断層トレースで構成される。変位成分は右横ずれを主体とし、ほとんどの断層で北西側隆起成分を伴う。1本ずつの断層の活動度はB級 (平均変位速度 0.1-1 m/10³年) と推定されているが、断層系全体ではA級 (平均変位速度 1-10 m/10³年) に相当する活動度を持つ (活断層研究会, 1991) と見積もられている。

六甲山地と大阪湾岸の低地との間は、五助橋断層、芦屋断層および甲陽断層などによって階段状に変位を受け、その比高は、大阪層群の基底と山頂部の小起伏面との間で、2,000 m 以上に達する。また、五助橋断層、大月断層、諏訪山断層などに沿っては、明瞭な右横ずれ屈曲河谷が系統的に認められ、これらの断層が累積的な右横ずれ変位を持っていることを示している。

これらの活断層が花崗岩類中を通過する部分では、花崗岩類は著しく破碎され、幅数十 m 以上の軟弱な破碎帯を形成している。また、会下山断層に沿っては、大倉山北方の兵庫区馬場町付近において、更新世後期に形成されたと推定される高位扇状地段丘面を変位させる北向きの低断層崖が認められ、これらの活動が後期更新世以降も連続していることが示される。

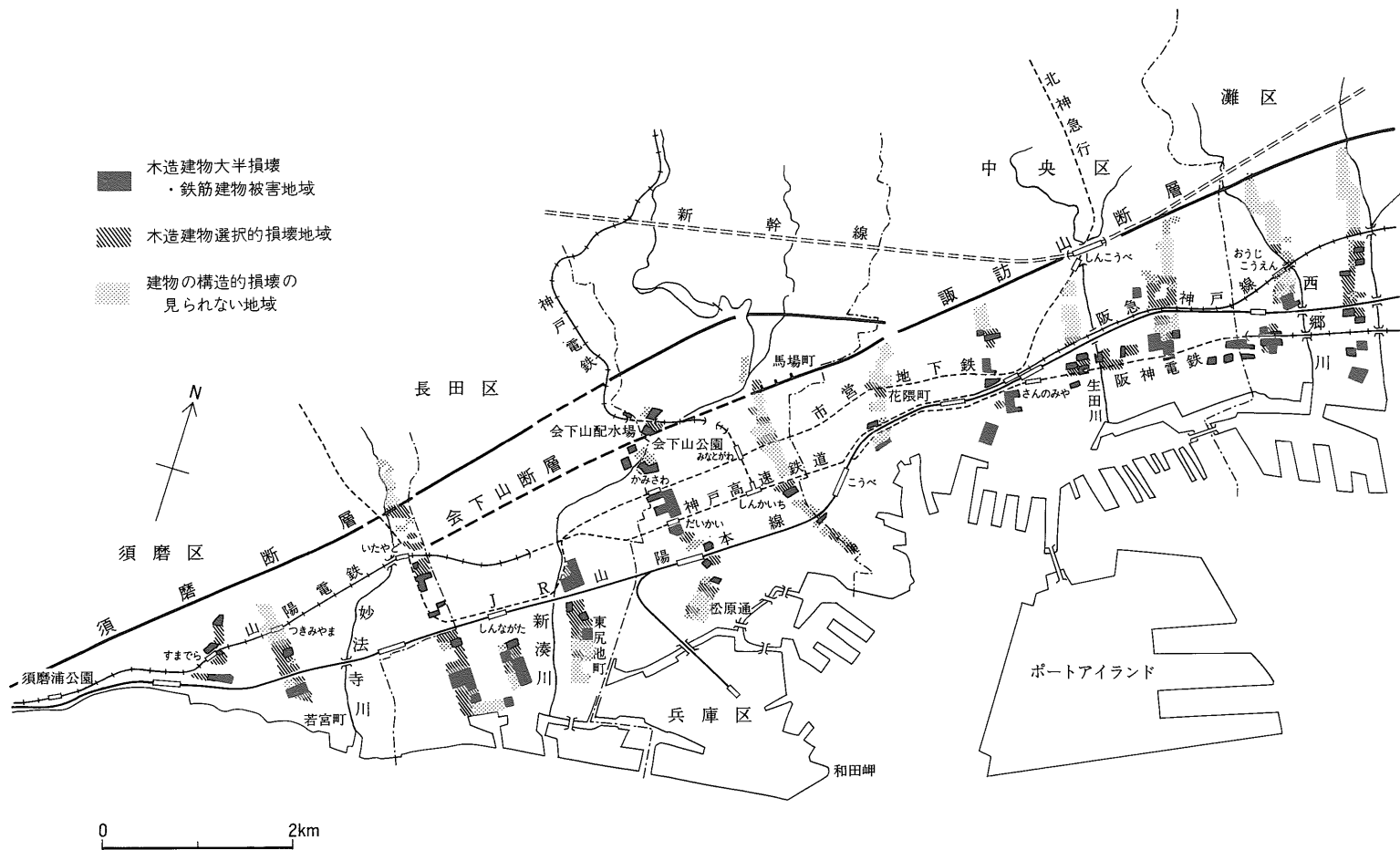
六甲断層系の歴史時代における活動については明確な証拠は得られていないが、神戸市内の遺跡の発掘調査からは、古墳時代および中世ないし近世の地震に伴うとみられる液状化現象の痕跡が検出されており (寒川, 1992)、それぞれ六甲断層系の活動による可能性がある。

3. 調査方法

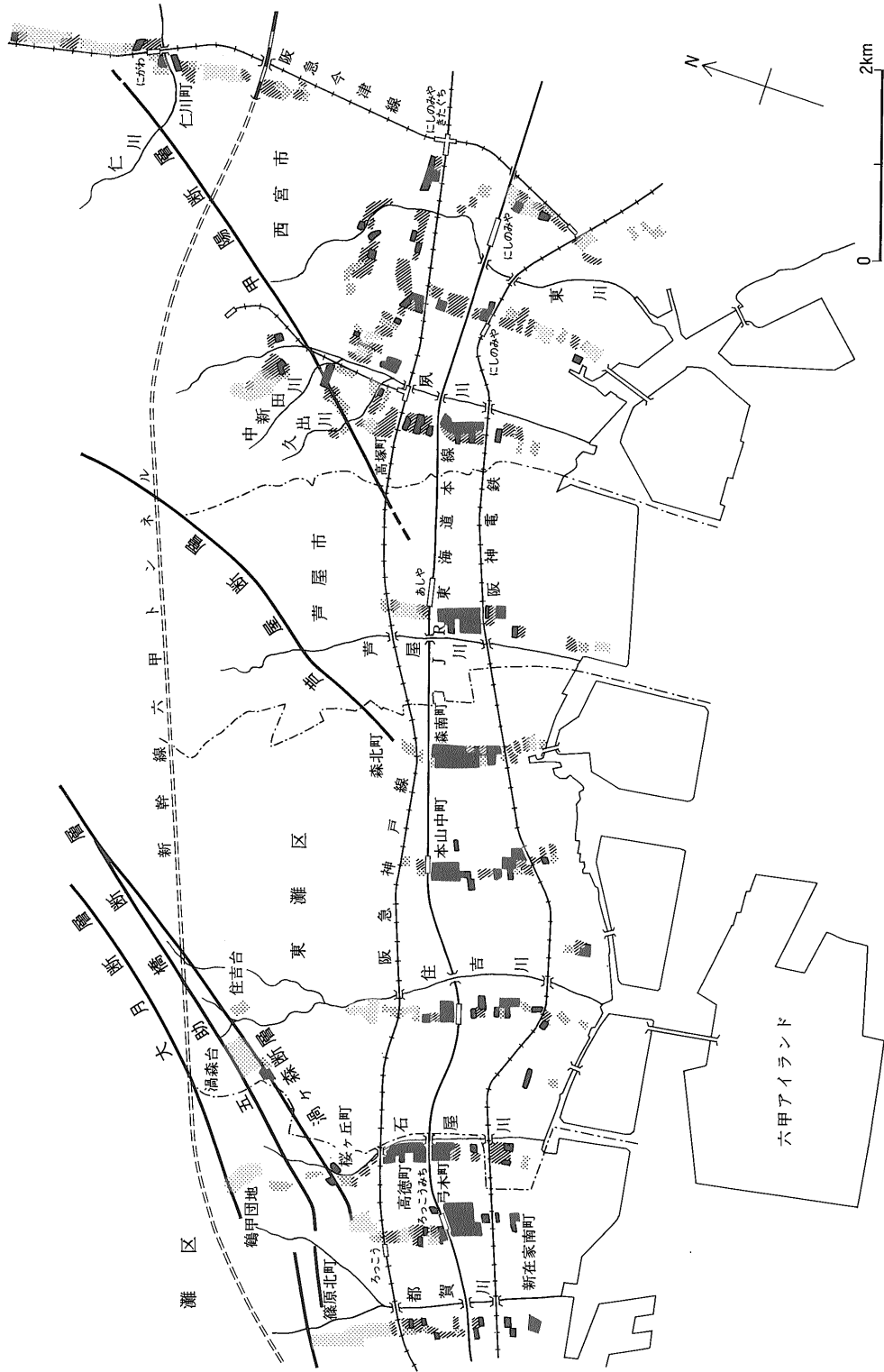
地震発生当初、地震の被害範囲やその規模から、六甲断層系の活断層が活動し、地表に地震断層が出現した可能性が考えられた。そのため、緊急調査では既知の活断層の変位の有無について重点的に調査するとともに、活断層と地震被害との関係を把握するため、その他の地盤被害や市街地の建造物被害の分布調査を行った。

3.1 調査範囲

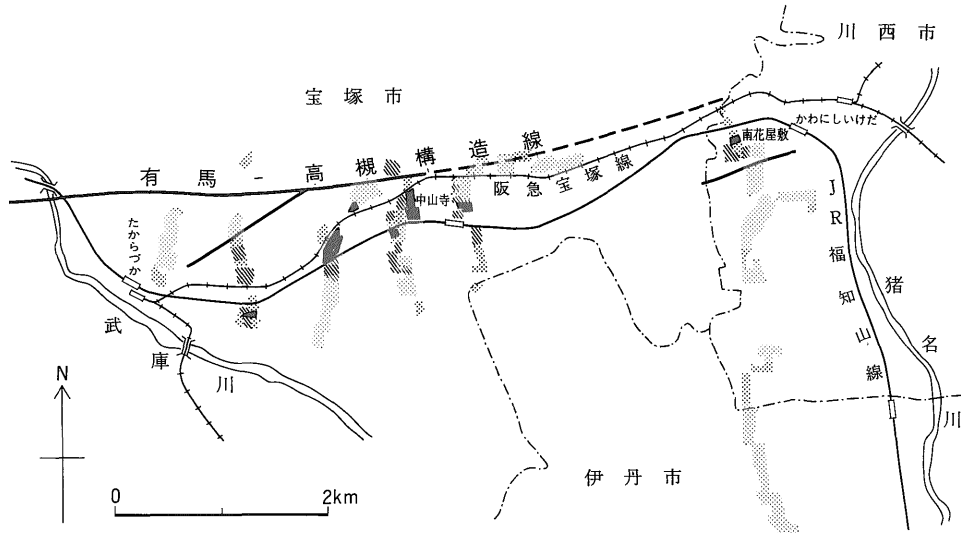
調査範囲は、被害が大きかった神戸市須磨区から西宮市までの平野部全域と、宝塚市、伊丹市、川西市の一部で、市街地を横断して海岸から山麓に至る 21 本のルート、



第4図 神戸市須磨区-灘区西部の被害分布



第5図 神戸市灘区東部-西宮市の被害分布
凡例は第4図と共通



第6図 宝塚市-川西市の被害分布
凡例は第4図と共通

および阪急今津線・宝塚線沿線の数ルートを設定して、すべて徒歩により調査を進めた。埋立地は原則として調査範囲には含めていない。活断層が存在する場合は、その断層線を横切るようにルートを設定して、地表の状況について特に精査した。調査は、地震発生後2週間は連日継続して行い、その後も適宜追調査を行った。調査にあたっては、原則として2名以上で行動し、できるだけ均一なデータを収集するように努めた。

3.2 調査内容

地震断層の出現の有無についての調査は、地表面や斜面の擁壁の亀裂、ずれ、段差などの変形を中心に記載した。現地を確認された亀裂についてはその末端まで追跡し、全体の変形・移動状態を把握するように努めた。そして、周辺の地形状況を加味して、その原因を判断した。被害分布については、建造物を木造・非木造に区分した上で、被害程度を全壊・半壊・構造的被害なしに分類した。ただし、本調査での全壊の基準としては、柱が倒れるまたは折れるなど、構造的に原型をとどめない場合に限った。この分類はあくまでも外観からの判断であり、建築の専門家による評価は行っていない。被害調査の結果は、一辺100m程度の街区ごとに、木造建物大半損壊・鉄筋建物被害地域、木造建物選択的損壊地域、建物の構造的損壊の見られない地域、の3つに区分して図示した(第4-6図)。更に、代表的な3つのルートについては、元データのルートマップを示した(第7-9図)。

4. 市街地の被害状況

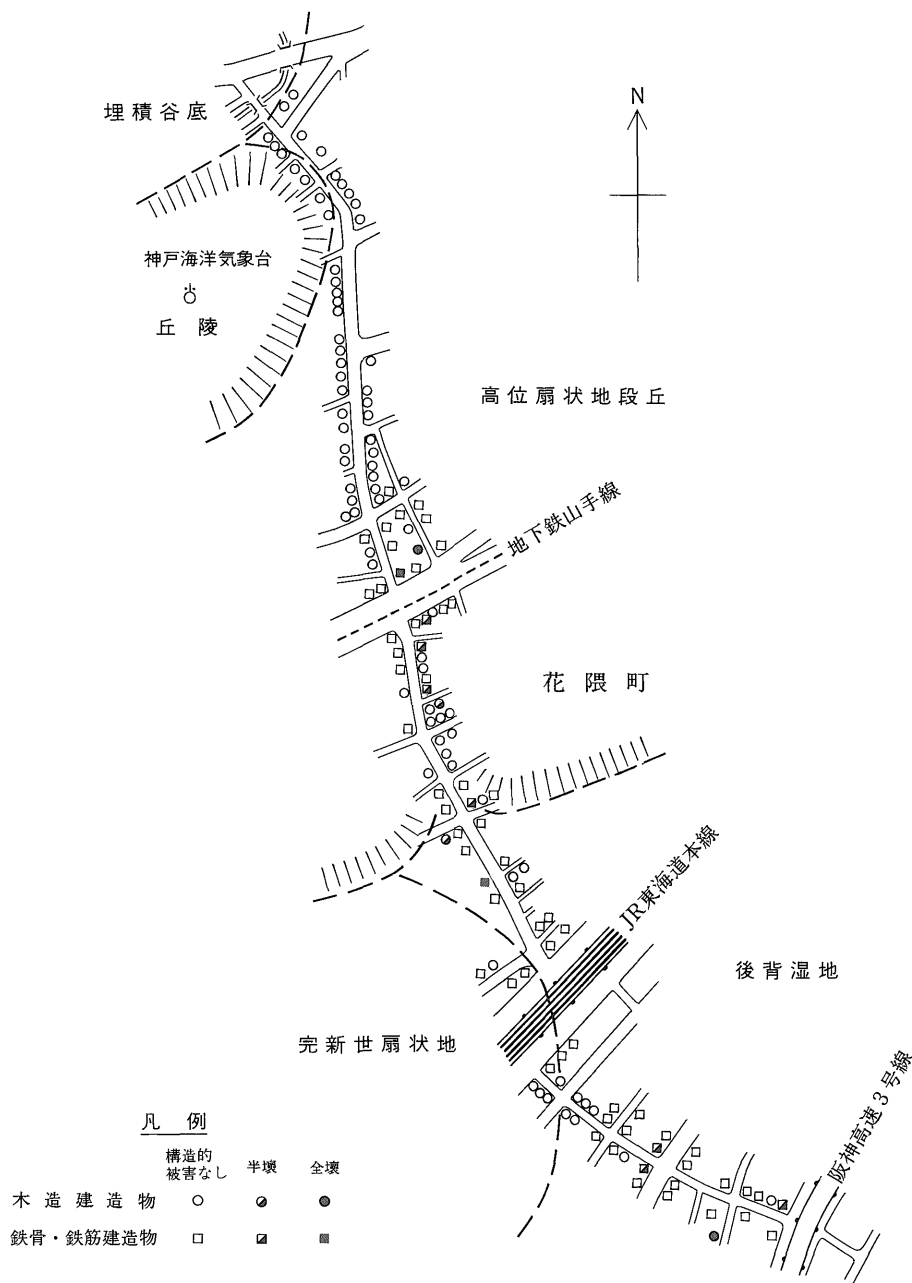
調査地域全体の被害分布を概観すると、気象庁によって震度7とされた神戸市須磨区から西宮市にかけての帯状の地域における被害が目立つ。第1表に各自治体の集計による住家の損壊棟数と、地震前世帯数に対する比を示す。棟数には集合住宅も含まれているため、実際の家屋の損壊率はこの数字よりかなり大きくなると思われるが、被害程度の傾向は表現されているものと考えられる。この数字から、神戸市の北部および西部(垂水区、西区、北区)の損壊率は、六甲山地の南側にあたる他の地域より有意に小さいことがわかる。

以下に各地区ごとの被害の特徴を述べる。

4.1 神戸市須磨区-長田区

須磨区から長田区にかけての地域では、海岸と丘陵の間の低地で大きな被害が見られた(第4図)。この地域の地形は、ほぼ東西に延びた海岸線と、北東-南西方向に延びる須磨断層に沿う断層崖との間に低地が分布する。断層沿いには大阪層群からなる丘陵と、更新世後期の扇状地段丘が分布する。須磨断層は須磨浦公園付近で海岸線と交わり、これから西では山地が直接海岸に面している。

須磨区での建造物の被害は、海岸線からやや内陸に入った付近で倒壊家屋が特に顕著に見られたほか、山陽電鉄須磨寺駅付近でも倒壊家屋が集中した。長田区ではJR山陽本線と山陽電鉄の間の地域が最も大きな被害を受

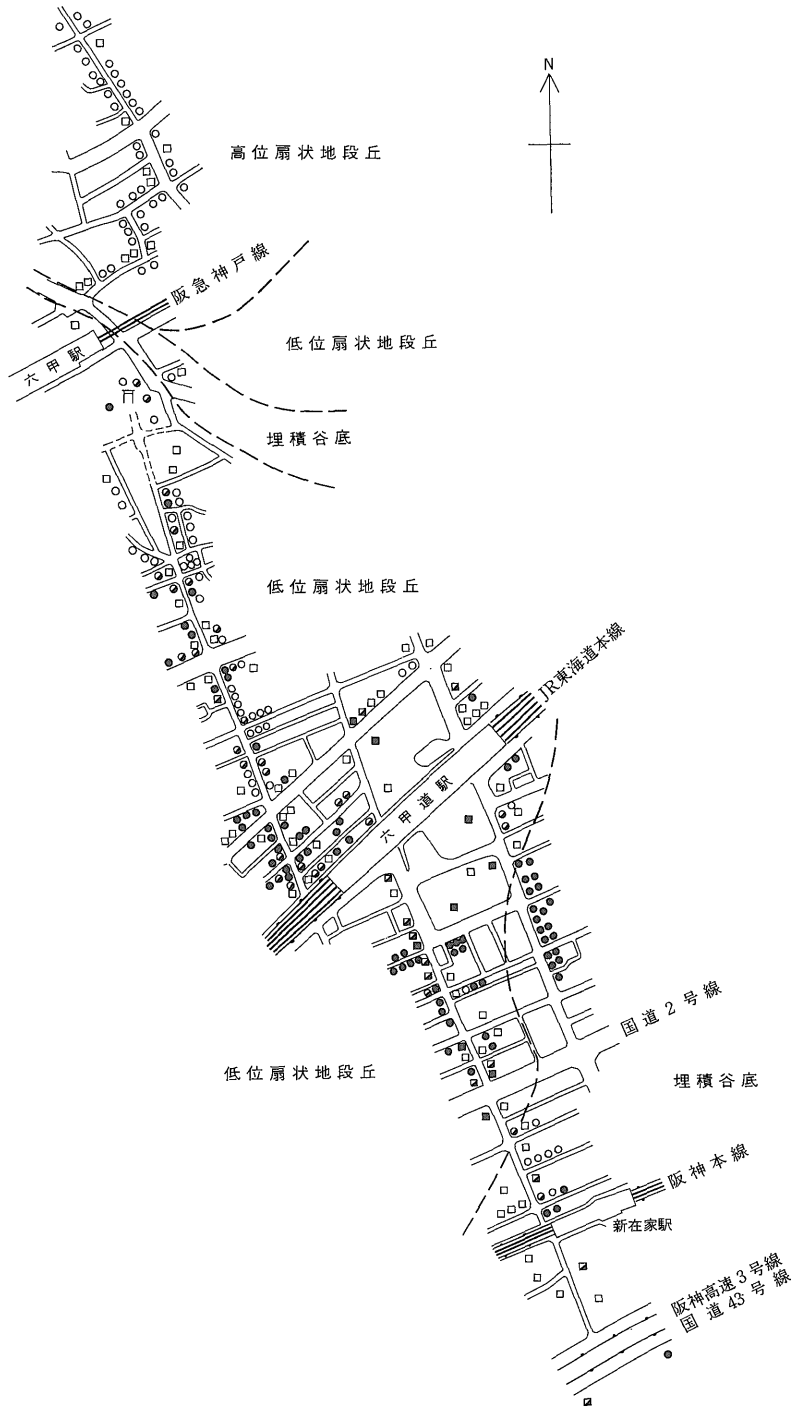


第7図 神戸海洋気象台-花隈町ルートマップ

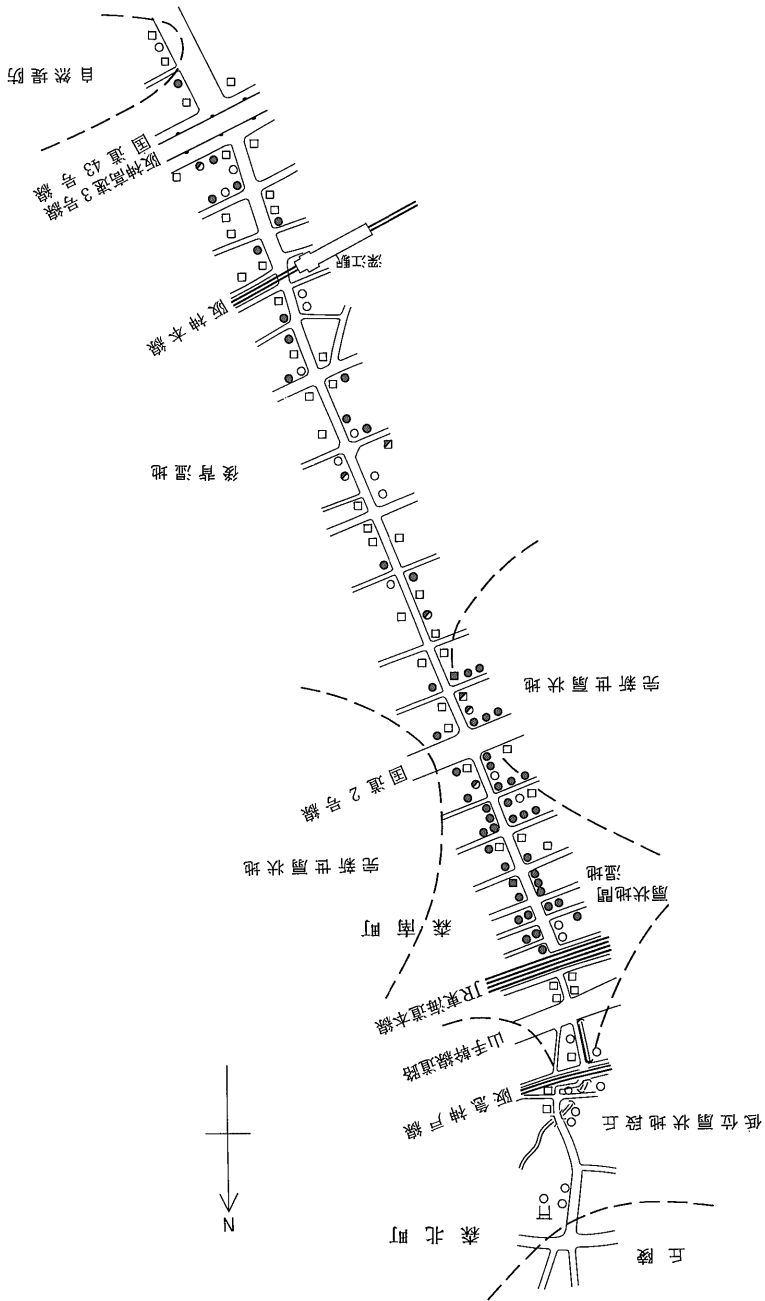
けた。これらに対し、山陽電鉄月見山駅周辺や板宿駅から北方では、比較的軽微な被害にとどまっている。また、和田岬に近い長田区東尻池町や松原通でも、比較的全壊家屋が少ない傾向がある。

地盤被害としては、JR 新長田駅周辺を中心に、低地の広い範囲で路面の亀裂・変形などが見られた。また和田

岬先端付近では、一部に地盤の液状化による噴砂現象が認められた。一方、丘陵地では、長田区内の丘陵斜面を刻む浅い開析谷で、コンクリート塀や擁壁の傾斜、建物の基礎部の変形など、地震動による表層のゆるみ・すべりによると思われる被害が見られた。



第8図 阪急六甲駅-阪神新在家駅ルートマップ



第9図 森北町-阪神深江駅ルートマップ

第1表 各自治体別の住家の損壊棟数と世帯比

	全壊家屋		半壊家屋		一部損壊家屋		地震前世帯数 (H7.1.1現在)
	棟数	世帯比	棟数	世帯比	棟数	世帯比	
神戸市	54,949	9.5%	31,783	5.5%	-	-	580,012
東灘区	11,171	14.5%	3,098	4.0%	-	-	77,296
灘区	11,693	21.1%	3,559	6.4%	-	-	55,332
中央区	4,947	9.5%	3,420	6.6%	-	-	52,118
兵庫区	8,374	15.7%	4,422	8.3%	-	-	53,255
長田区	12,515	23.5%	4,994	9.4%	-	-	53,247
須磨区	6,042	9.1%	4,093	6.2%	-	-	66,384
垂水区	90	0.1%	5,520	6.3%	-	-	87,400
西区	0	0.0%	1,500	2.4%	-	-	63,669
北区	117	0.2%	1,177	1.7%	-	-	71,311
芦屋市	4,711	13.9%	4,045	11.9%	4,618	13.6%	33,916
西宮市	19,500	11.9%	16,500	10.1%	32,300	19.7%	163,785
宝塚市	3,800	5.2%	8,881	12.1%	12,999	17.8%	73,119
伊丹市	1,364	2.0%	7,156	10.7%	18,295	27.3%	66,992
淡路島	3,426	6.6%	5,322	10.2%	15,721	30.3%	51,959
洲本市	17	0.1%	656	4.4%	1,809	12.1%	14,902
津名町	603	10.7%	893	15.8%	4,090	72.4%	5,647
淡路町	330	13.0%	690	27.1%	1,592	62.6%	2,542
北淡町	1,016	30.9%	1,192	36.3%	894	27.2%	3,287
一宮町	778	25.9%	754	25.1%	1,651	54.9%	3,006
五色町	186	6.0%	268	8.7%	2,552	82.7%	3,086
東浦町	316	11.4%	459	16.6%	1,633	59.1%	2,761
緑町	17	0.9%	49	2.7%	304	16.9%	1,804
西淡町	136	3.6%	173	4.6%	479	12.7%	3,771
三原町	18	0.4%	119	2.6%	355	7.7%	4,609
南淡町	9	0.1%	69	1.1%	362	5.6%	6,519

各自治体の集計による。

神戸市の数字は平成7年2月5日現在、淡路島の数字は平成7年4月25日現在

4.2 神戸市兵庫区-中央区

兵庫区から中央区にかけては神戸市の中心部にあたるが、この範囲では地域により被害状況に大きな差が見られた(第4図)。まず、兵庫区では、旧湊川の流路(現在の神戸電鉄湊川-新開地駅間に相当)を境に東西で顕著な被害差が見られた。すなわち、旧湊川の西側にあたる市営地下鉄上沢駅周辺や神戸高速鉄道大開駅周辺では、地下鉄トンネルをはじめ鉄筋・木造建造物に大きな被害が出たのに対し、東側の神戸電鉄湊川駅から大倉山を経て中央区花隈町に至る地域の周辺では、一部の鉄筋建造物に被害が見られたものの、多くの木造家屋は倒壊をまぬがれた(第7図)。また旧湊川の西側でも、JR山陽本線の南東を通る国道2号線の南東側から和田岬周辺にかけての地域では比較的被害が小さく、全壊家屋も少ない傾向にある。

中央区ではビルの集中する三宮付近で著しい被害が見られた。ビルの被害としては、市役所旧庁舎に代表されるような、5-10階建のいわゆる中層ビルの中間階の崩壊が顕著であった。また、特に大規模建造物や地下構造物の多い三宮駅南部を中心に、路面の亀裂・変形が数多く観察されたが、それらの方向やずれの成分等に系統性は見いだせなかった。また、液状化については、沿岸部の埋立地で顕著であったが、内陸の市街地では、少なくとも噴砂現象は見られなかった。

なお、大阪層群からなる丘陵頂部に位置する兵庫区会下山公園および会下山配水場周辺では、特に谷頭斜面において、斜面上部に開口性の円弧状亀裂と、斜面下部に圧縮性の路面変形を伴う小規模な地すべりが認められ、これに伴う家屋の被害が見られた。

4.3 神戸市灘区-東灘区

灘区から東灘区にかけての地域は、六甲断層系による断層崖が最も高くなる範囲にあたり、山麓の前面に大規模な扇状地が発達する。この地域での建造物被害は、これらの扇状地上を約1 kmのはばで東西に帯状に広がった（第5図）。

一般的な木造家屋の被害に着目すると、東灘区森南町および本山町周辺、灘区高德町からJR六甲道駅周辺にかけての地域などで全壊家屋が集中する傾向が見られる（第8, 9図）。このような被害の集中域とそうでない地域との境界は、ある線を境として急激に変化することがしばしば認められた。たとえば、灘区の阪急六甲駅から王子公園駅にかけての地域では阪急の線路をほぼ境にして、また東灘区ではJR東海道本線のすぐ北側を通る山手幹線道路をほぼ境にして、いずれも北側ではほとんど建物被害が見られないのに対し、南側では多くの建物に被害が見られる。更に、東灘区では海岸近くを通る国道43号線の南側で、再び被害が軽微になる傾向が認められた（第9図）。これらの建造物被害のほか、海岸に近い灘区新在家南町や、内陸部でも石屋川右岸の灘区弓木町三丁目付近などでは、液状化に伴う路面の亀裂と噴砂現象が見られた。

4.4 芦屋市-西宮市

神戸市の東に隣接する芦屋市から西宮市にかけての地域では、六甲山地と海岸沿いの低地との間に大阪層群からなる丘陵が分布する。被害を受けた家屋は、低地上に広く分布するほか、丘陵内の浅い谷地形に沿っても点在する（第5図）。

低地上の被害では、神戸市内から連続する帯状の被害分布の連続と、西宮市南部の広い範囲に被害の集中域が点在する。被害の帯はJR東海道本線と阪神電鉄に挟まれた幅500 m-1 kmの範囲に狭まり、阪神西宮駅付近で不明瞭になる。この帯とは別に、西宮駅から北ないし北東方向に比較的被害の大きい地域が広がり、阪急西宮北口駅周辺、阪急今津線仁川駅周辺などに被害の集中域が見られる。これらの集中域の位置は、特にある線上にのるということはない。

西宮市・宝塚市の境界付近を流れる仁川の周辺では、丘陵部の斜面崩壊による被害のほか、阪急今津線に沿うような形で、丘陵斜面直下で比較的大きな被害があった。丘陵上での家屋被害は比較的軽微であるが、市街地の北西、甲断層に沿う地域の大坂層群からなる丘陵部では、夙川支流の久出川および中新田川の両岸の造成地斜面などで小規模な地すべりが見られ、家屋等に被害が生じて

いる。また、夙川や久出川の埋積谷底では、液状化に伴うとみられる噴砂現象が確認された。

4.5 宝塚市-川西市

宝塚市から川西市にかけての地域では、有馬-高槻構造線に沿って直線的に延びる山地と平野の境界付近で大きな被害が見られた。建造物の被害は、JR福知山線と阪急宝塚線に沿う地域で特に顕著で、最大500 m程度の幅で帯状に分布する（第6図）。

全体的な被害の分布は、地下水位の高くなる扇状地の扇端部やため池を埋め立てた場所などで被害が大きくなる傾向が認められたが、JR・阪急宝塚駅北方周辺では段丘上においても全壊家屋が見られた。

宝塚市中山寺一丁目では、天井川化した2河川に挟まれた低地に位置する住宅地で、鉄筋コンクリート造マンションが倒壊するなど局所的に大きな被害が見られた。また、路面の損傷も著しく、一部では液状化に伴う噴砂現象も確認された。有馬-高槻構造線に沿う地溝状地形の内部にあたる川西市南花屋敷四丁目などでも、液状化に伴うとみられる家屋の損傷が見られた。

5. 活断層に沿う地表面の変状

六甲断層系の各活断層沿い、およびその他の地域における地表面の変状について、野外調査の結果を以下に示す。

(1) 須磨断層

須磨断層に沿う地表面の変状としては、須磨浦公園前の国道2号線に沿って、約300 mの区間に道路を横切る約10本の亀裂が観察された。亀裂の走向はN10°EからN30°Wで、これらの亀裂のうち半数以上に1-数cmの右横ずれ変位が見られた。それぞれの亀裂には上下成分・開口成分はほとんど認められない。また、これらの亀裂が確認された範囲はすべて沖積扇状地上であり、道路から北側の公園内への連続は認められなかった。周辺にはこれらのほかにも擁壁のはらみ出しや、それに伴う開口亀裂が多数確認されたが、いずれも変位成分は斜面前方への移動が主で、系統的な変位は見られなかった。一方、第四紀における累積変位が認められる活断層としての須磨断層は、基盤岩が露出する山地と段丘の境界部を通過するが、この断層線上では亀裂、変位等は確認されなかった。

(2) 横尾山断層

垂水区塩屋町付近から北東に延びる横尾山断層に沿って、断層線上に位置する造成地や自然斜面にいくつかの右ずれを伴う開口割れ目が報告された（櫻井, 1995）。

また、断層南西端の JR 塩屋駅周辺の沖積平野上では家屋被害の集中が見られた。しかし、それぞれの割れ目は連続せず、割れ目の方向も全体のトレースと斜交することから、櫻井(1995)は、地表地震断層かどうか判断できないとしている。

(3) 会下山断層

会下山断層沿いでは、長田区と兵庫区の境界付近に位置する大阪層群からなる丘陵地において、谷頭部を中心に開口亀裂、擁壁のはらみ出し等の地表変形が見られ、それに伴う家屋被害が集中した。しかし、断層線を挟んでの系統的な変位を確認することはできなかった。また、大倉山北方の兵庫区馬場町付近の更新世後期の高位扇状地段丘を変位させる逆向き低断層崖付近では、地震に伴う亀裂等は確認できなかった。

(4) 諏訪山断層

諏訪山断層に沿っては、市街地が断層崖直下まで広がっているが、断層付近の家屋等に特に顕著な被害は見られず、路面の亀裂、斜面の崩れ等も認められなかった。また、断層をまたいで建設された新幹線新神戸駅には大きな被害はなく、断層を横切る北神急行電鉄のトンネルや道路トンネルにも断層変位によるずれ等は認められなかった。

(5) 大月断層

大月断層は鶴甲団地の造成中に露出し、崖錐角礫層を変位させる露頭が確認された(藤田・笠間, 1983)が、今回の地震に際しては、断層の近辺や、その周辺においても、建物被害や地面の亀裂等は見られなかった。

(6) 五助橋断層

五助橋断層に沿う地域では、芦屋市北部の奥池付近において、アスファルトのすべりによる路面の変形や、斜面の押し出しによる擁壁や道路側溝の亀裂が見られたものの、断層を挟んでの変位は確認することができなかった。奥池地区の北西(中井・須内, 1995)では、断層を

横切る道路に沿う高さ約2mのコンクリート製擁壁の2箇所に、それぞれ0.5-1.5cm、2-2.5cmの右ずれを伴う開口亀裂が生じた(第10図)。しかし、この地点は谷地形の出口の縁にあたり、谷を挟んで反対側ではゆるやかではあるが道路が左ずれに変形していることなどから、このずれは、道路・擁壁が全体に谷の上流部から押し出されるように変形したものと解釈することができる。なお、断層の南西部は神戸大学学内を通過し、灘区篠原北町地内に連続すると推定される(松山・岡田, 1991)が、この範囲では建造物や斜面の擁壁等に顕著な被害は見られない。

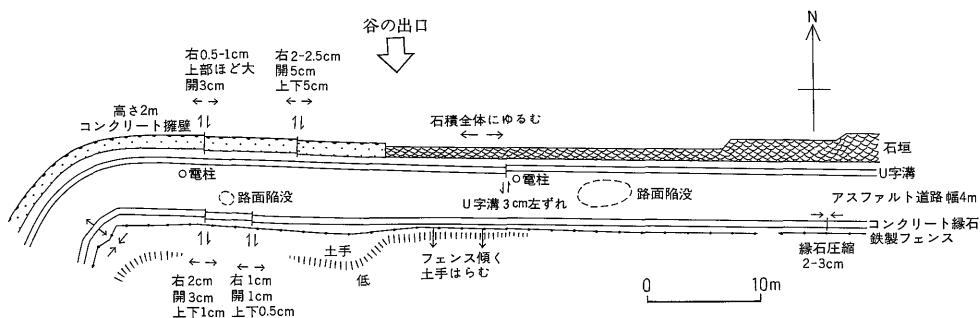
(7) 渦ヶ森断層

花崗岩からなる山地を造成して宅地化された東灘区渦ヶ森台二丁目および住吉台周辺では、渦ヶ森断層が通過する付近の造成地内で斜面の押し出し、擁壁のはらみ出しなどが見られたが、断層露頭には変位・亀裂等は認められなかった。また、断層の近辺では斜面の崩壊が多く発生したが、断層変位との関係は確認されなかった。

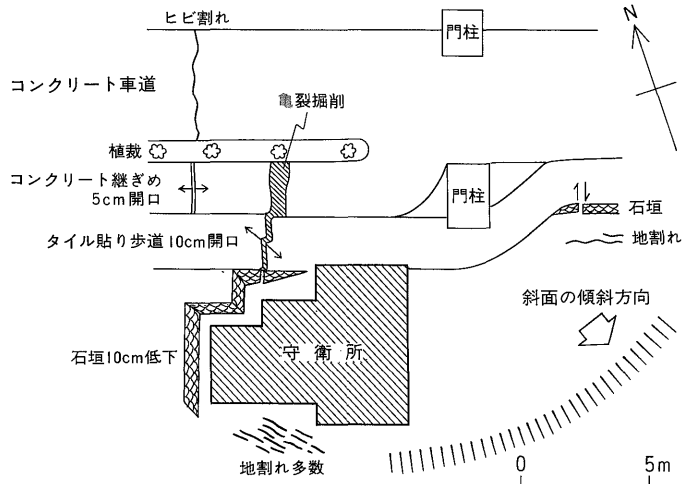
渦ヶ森断層上にあたる灘区桜ヶ丘町付近で建造物の被害が集中したが、被害家屋の多くは石屋川の谷底および谷壁に位置し、谷壁斜面では地面の開口亀裂を伴っている例が多いことから、斜面表層の下方移動に伴う被害と考えられる。

(8) 芦屋断層

芦屋断層に沿っては、南西端に近い芦屋市森北町の甲南女子大前で開口亀裂(第11図)が確認された。この亀裂は平野・藤田(1995)によって報告されたものと同一である。亀裂は道路に対して斜交して発生したため、見かけ上約15cmの右横ずれ変位を有するよう見えるが、同時に約10cmの開口成分を持っており、変位のベクトルはほぼ亀裂方向に直交する。更に、このベクトルの方向は斜面の傾斜方向とほぼ一致する。したがって、この亀裂は断層変位ではなく、斜面の移動によるものと考え



第10図 芦屋市奥池北西の五助橋断層付近の地表変状見取り図



第11図 甲南女子大学前の亀裂見取り図

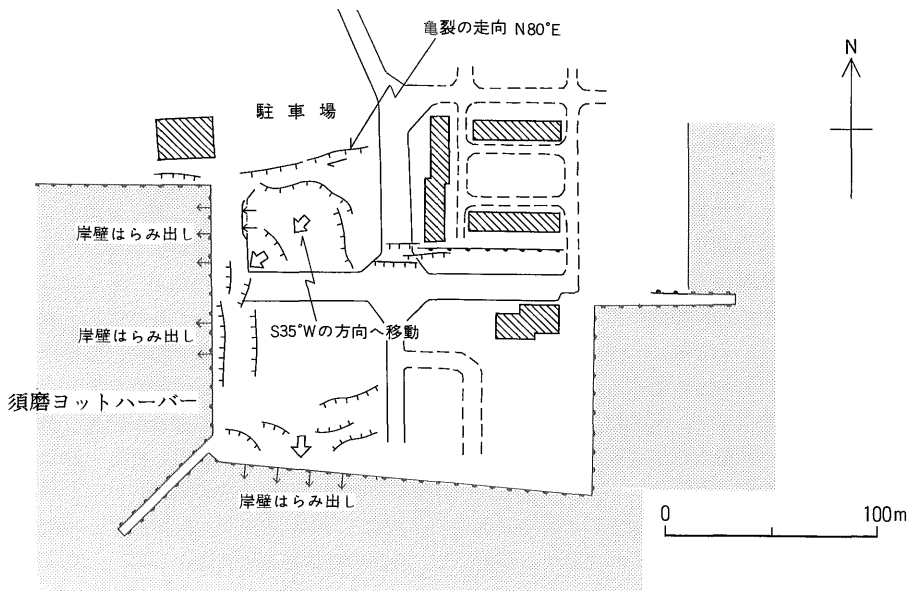
られる。また、この亀裂に沿って地震直後に道路の掘削が行われたが、埋設されていた水道・ガスの配管には、被害・変位は見られなかった。

(9) 甲陽断層

甲陽断層が露頭によって確認されている西宮市高塚町付近では、地震に伴って落差約 1 m の開口亀裂が発生した。亀裂は斜面の途中に発生しており、その下方には圧縮性の高まり（モルトラック状）が見られた。また、

亀裂を挟んで建設された鉄筋コンクリート造マンションの基礎部分には変形が見られなかったことから、この亀裂は斜面表層の地すべりによるものと考えられる。一方、断層露頭付近には変位・亀裂は見られなかった。

仁川南岸にあたる西宮市仁川町では、道路・テニスコート・住宅を横切り、右横ずれ 30-40 cm の変位を持つ直線的な亀裂が、東北東-西南西方向に約 300 m にわたって連続するのが確認された。この亀裂の位置は地質学的に



第12図 須磨ヨットハーバー付近の亀裂見取り図

認められる甲陽断層から約500-600m南東にあたり、走向は断層線に対し約30°斜交する。また、亀裂の西端は南北方向の開口亀裂で、東端は圧縮性の地表変形でそれぞれ収束し、阪急今津線以東には連続しない。亀裂の北側は仁川の後背湿地に盛り土をした住宅地で、この亀裂は盛り土部分が下流方向に側方移動したことによるものと考えられる。

(10) その他市街地での亀裂

神戸市中央区、三宮駅南方のフラワーロードに隣接する東遊園地(公園)には、中央の広場とタイル張りの歩道に右横ずれ最大10cm、上下変位最大30cmの亀裂が生じた。亀裂は地下に埋設された駐車場の輪郭に沿うような形で連続するが、フラワーロードを横切って東側には連続しない。このほかにも三宮近辺では、JR線路の南側を中心にビルの周囲の路面等に亀裂や圧縮性の変形が観察されたが、その方向や変位の成分に系統性は見いだせなかった。

須磨区若宮町の須磨ヨットハーバーでは、駐車場とその周辺の路面に第12図に示すような亀裂群が発生した。亀裂はほとんどが開口成分と上下成分を持ち、海側にはらみ出した岸壁にほぼ平行に延びる。最も陸側に位置する亀裂はN80°Eの走向で右横ずれ成分を持つが、これは、亀裂の南側で、基礎を持つ建物のない西側の岸壁が大きく海に向かって張り出したため、南側のブロックが西方に移動した結果と考えられる。

これらのほかにも市街地各所に路面の亀裂や変形が見られたが、断層変位によると考えられる地表面の変状は確認することができなかった。

6. 考 察

6.1 震源断層の規模と破壊範囲

上述のように、これまでに知られていた六甲断層系のいずれの活断層においても、地表調査の結果からは少なくとも目視できる断層変位は認められず、活断層に沿って十分に連続する地面の亀裂等を確認することもできなかった。また、市街地で見られた路面の亀裂・変形や斜面における擁壁のずれ等は、部分的に右横ずれ変位が認められる亀裂であっても、これらに囲まれたあるブロックの回転・水平移動によるもので、面的に見るとその変位はある範囲で収束し、一定距離以上連続する系統的な変位は認めることはできなかった。これらのことから、今回の地震に際して六甲断層系の活断層上およびその延長上には、少なくとも地表面に達するずれを有する断層は出現しなかったと考えられる。

国土地理院による三角点および水準点の測量結果(橋

本, 1995)によれば、GPSを用いた三角点測量結果で、六甲山地と神戸市和田岬、芦屋市打出および西宮市甲山の間で、20-40cm程度の相対的右ずれ変位が計測された。しかし、この値は、野島断層を挟んだ淡路島江崎山と六甲山地間で計測された1m以上の移動量に比べて、はるかに小さい。一方、兵庫県高砂市から大阪市に至る国道2号線沿いの水準路線の改測では、1990年の測量結果と比較して、垂水-須磨間で最大27cmの垂直変位が計測された。局所的には液状化や斜面のはらみ出しなどによる異常があるが、大局的に見て須磨断層付近を境にして、相対的に西側が隆起したと見ることができる。また、地球観測衛星ふよう1号の合成開口レーダーによる干渉画像(橋本ほか, 1995)を見ると、六甲山地周辺で小さい変位が広い範囲に広がり、特に変位の集中する境界は認められない。

一方、気象庁による余震の観測結果(大阪管区気象台・気象庁地震予知情報課, 1995)を見ると、余震の発生域は淡路島の北部から六甲山地中軸部へほぼ直線状に延びるが、淡路島側と比較して、神戸側ではより深いところに余震の集中が見られる。更に、地球規模の範囲の遠地実体波から断層の破壊過程を推定した菊地(1995)のモデルにおいては、神戸側での破壊のエネルギーは、野島断層の破壊の半分程度とし、破壊範囲も小さく見積もっている。

以上のような測地学的・地震学的観測データは、いずれも地表での調査結果と調和的であり、したがって、神戸側での震源断層は、その規模や変位量については明確でない点もあるが、やや深い場所で発生したため、破壊が地表に到達していないと見るのが妥当と思われる。

6.2 被害分布とその地質学的要因

今回の地震による被害は、淡路島北部から六甲山地南麓で最も甚大であったが、更に北東方向の大阪府北部や京都府南部地方にも被害が広がった。また、震源から南西方向にあたる淡路島の南部でも、局所的ではあるが家屋等に被害が見られた。これに対し、震源から北西方向にあたる兵庫県加古川市・姫路市方面や、南東方向に当たると大阪府南部地方では、被害はほとんど見られなかった。このことは、断層の破壊が震源(破壊の始まり)から野島断層と神戸側に進化したとすると、震源断層の破壊の停止端(伝播方向の先端)方向で被害が広がるという宮武(1984)のモデル計算結果と調和的である。

今回の地震被害の特徴としては、被害が一部地域に集中したことが挙げられる。すなわち、顕著な被害は六甲山地と大阪湾に挟まれた神戸市の須磨区から西宮市南部

にかけての帯状の地域に集中する。この帯は、先に述べたように、500 m-2 km の幅で膨縮しながら山麓線と海岸線の間を延び、少なくとも従来より知られていた六甲断層系の各活断層の位置・方向とは一致しない。そして、この帯の中でも特に被害の著しい地域が点在する。このような被害分布と、第2図の地形分類図と被害分布を比較すると、いくつかの地域で地形と被害との間に関係がみられる。

たとえば、吉岡ほか (1995) でも述べたように、神戸市の中央区花隈町から神戸電鉄湊川駅にかけての地域では、被害の帯状分布が見かけ上途切れるように見える。この地域は高位扇状地段丘が大きく張り出す地域とほぼ一致し、段丘上では一部の鉄筋コンクリート造ビルに損壊が見られたものの、大多数の家屋には顕著な被害は見られない。これに対し、大きな被害が集中した JR 六甲道駅から石屋川にかけての地域は、低位扇状地段丘を開析した浅い谷と、扇状地と石屋川の自然堤防および浜堤の間の後背湿地におおむね一致する。更に、東灘区本山中町から森南町にかけての地域は、他の地域より高位・低位の扇状地段丘の張り出しが小さく、扇状地段丘を刻むの開析谷や完新世扇状地に囲まれた低地が山麓に近いところに分布する。同様に、大きな被害を受けた長田区 JR 新長田駅周辺も、完新世扇状地と浜堤に挟まれた低湿地にあたる。

一方、淡路島内の被害分布では、野島断層に近い北淡町の海岸沿いの地区に被害が集中したが、それ以外にも、一宮町郡家や、野島断層から 10 km 以上離れた津名町志筑でも多くの建物が倒壊するなどの被害が出た。野島断層沿いでは、断層の直上において、断層の変位による建物のねじれ、引き裂かれによる建物の倒壊が見られるが、その近辺の大阪層群、神戸層群が分布する地域では、建物被害は概して小規模である。被害が集中するのは、断層の直上よりむしろ海岸沿いの低地で、地震断層の南西端から更に南西方向に被害の大きな地域が延びる。また、海岸沿いのそれぞれの集落の中では、一般的に浜堤上は比較的被害が少なく、その後背湿地で被害が大きくなる傾向が見られる。このように地震による被害分布が局所的な地形条件に影響されることは、既に宮城県沖地震 (東北大学理学部地質学古生物学教室, 1979) や、福井地震 (小笠原, 1949) の例で確認されており、宮城県沖地震では、浜堤上と後背湿地上で明らかな被害程度の差が観察されている。

しかしながら、その一方で被害が六甲山地と大阪湾に挟まれた帯状の地域に集中したことを、地形との関係だけで説明することはできない。この要因として挙げられ

る説の1つに、震災の帯の真下に伏在する未知の活断層が存在するという説 (嶋本, 1995) や、六甲山地のいくつかの活断層の延長が市街地の地下に延びていて、それらのすべてが活動したという説 (宮田ほか, 1995; 平野・波田, 1995) がある。しかし、一般的に言って、断層変位の伝播速度は、地震波の速度に比べて遅く、震源からある程度 (数 km 以上) 離れた地域では断層の変位より地震波が先に到達する。また、地表での断層変位の加速度は、多くの場合数十ガル (小出ほか, 1979) と見積もられているので、地震断層をまたいで構築された建造物以外に、断層変位が直接被害を与えることは非常に考えにくい。また、宮田ほか (1995)、平野・波田 (1995) が断層変位とした亀裂は、著者らの調査ではいずれも液状化や地すべりに伴う表層の水平移動によるものと判断される。以上のことから、市街地直下に伏在する断層の活動によって帯状の被害集中域が形成されたという説は妥当ではないと考えられる。更に、本震発生後に帯状の被害地域を横断するように設置された観測点での観測結果を見ると、本震で震度7に相当する被害を受けた地域に位置する観測点では、1月25日に発生したマグニチュード4.7の余震で、その南北に位置する観測点よりはるかに大きい加速度が得られている (入倉, 1995)。

以上のことを考え合わせると、帯状地域への被害の集中は、震源の位置や震源からの経路、地震波の性質によるのではなく、その地点固有の条件に大きく影響されていると考えられる。この条件としては、急激に基盤岩が浅くなる地質構造による地震波の干渉・増幅や、山地の基盤岩での波のはねかえりによる、いわゆる「なぎさ現象」、市街地下に伏在する断層に沿う地震波の伝播など、いくつかの要因が考えられるが、これらが複合して影響した可能性が最も高い。

7. ま と め

今回の兵庫県南部地震に伴う神戸・阪神地区の被害および六甲断層系の活動について、地震後の現地調査の結果、判明したことは以下の通りである。

1. 今回の地震では、六甲断層系の活断層において少なくとも目視できる断層変位は認められなかった。また、神戸・阪神地区の市街地で見られた亀裂等について、地表地震断層と認められるものはなかった。測地学的・地震学的データ等と考えあわせて、六甲山麓での震源断層はやや深いところに位置したため、破壊が地表に達しなかったと考えられる。

2. 神戸・阪神地区では、六甲山地と大阪湾に挟まれた帯状の地域で特に被害が集中した。被害が帯状に分布

した要因としては、断層破壊の伝播速度と破壊の加速度等から考えて、伏在断層の活動によるとは考えにくく、地下地盤構造の影響による可能性が高い。また、局所的な被害の分布は地形の影響を大きく受けており、表層地盤による地震波の増幅によって被害が集中したものと考えられる。

文 献

橋本 学(1995) 兵庫県南部地震による地殻変動と断層運動の推定. 地質ニュース, no.490, p.33-40.
 ——・多田 堯・村上 亮・藤原 智・斉藤 隆(1995) 兵庫県南部地震前後の地殻変動. 地質ニュース, no.490, 口絵.
 平野昌繁・藤田 崇(1995) 1995年阪神大震災に伴う地盤災害—とくに断層に沿う変位地形について. 地球科学, vol.49, p.77-81
 ——・波田重熙(1995) 神戸市街地西部の断層の活動と変位地形. Proceedings of Symposium on the Great Hanshin-Awaji Earthquake and its Geo-environment, Committee of Environmental Geology, Geol. Soc. Japan, p.79-84.
 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地質図幅), 地質調査所, 115 p.
 入倉孝次郎(1995) 1995年兵庫県南部地震による強振動. 1995年兵庫県南部地震—近代都市直下に起こった大地震の報告—, 月刊地球, 号外, no.13, p.54-62.
 活断層研究会(1991) 新編 日本の活断層—分布図と資料. 東京大学出版会, 437 p.
 河田清雄・宮村 学・吉田史郎(1985) 1:200,000地質図 京都及大阪. 地質調査所.
 菊地正幸(1995) 兵庫県南部地震の震源過程モデル—遠地の地震波解析速報—, 地質ニュース, no.486, p.12-15.
 小出 仁・山崎晴雄・加藤碩一(1979) 地震と活断層の本. 国際地学協会, 124 p.
 松山紀香・岡田篤正(1991) 空中写真判読による六甲山

地南麓部の活断層詳細図—試作例—. 活断層研究, no.9, p.69-92.

宮田隆夫・洪 景鵬・前田保夫(1995) 神戸市街地の隠れた活断層. Proceedings of Symposium on the Great Hanshin-Awaji Earthquake and its Geo-environment, Committee of Environmental Geology, Geol. Soc. Japan, p.45-48.
 宮武 隆(1984) 断層の破壊過程と被害分布. 地震, vol.37, p.257-267.
 中井卓巳・須内寿男(1995) 五助橋断層周辺に表れた変状. Proceedings of Symposium on the Great Hanshin-Awaji Earthquake and its Geo-environment, Committee of Environmental Geology, Geol. Soc. Japan, p.69-74.
 小笠原義勝(1949) 福井地震の被害と地変—特に地震と断層運動について. 地理調査所時報・特報, 13 p.
 大阪管区气象台・気象庁地震予知情報課(1995) 1995年兵庫県南部地震とその余震活動. 地震予知連会報, vol.54, p.584-592.
 櫻井 孝(1995) 兵庫県南部地震によって現れた横尾山断層近傍の地山変状状況. 応用地質, vol.36, p.167-172.
 寒川 旭(1992) 地震考古学. 中公新書, no.1096, 251 p.
 嶋本利彦(1995) “震災の帯”の不思議. 科学, vol.65, p.195-198.
 東北大学理学部地質学古生物学教室(1979) 1978年宮城県沖地震に伴う地盤現象と災害について. 東北大学地質学古生物学研究邦報, no.80, p.1-97.
 吉岡敏和・宮地良典・寒川 旭・下川浩一・奥村晃史・水野清秀・松山紀香(1995) 兵庫県南部地震に伴う阪神地区の被害分布と微地形. 地質ニュース, no.491, p.24-28.

(受付:1995年10月9日;受理:1995年11月29日)