

地震動と被害特性

神戸大学 高田至郎 沖村 孝
李 騰雁

1、地震の概要

1995年1月17日5時46分頃にマグニチュード7.2の地震が発生した。「兵庫県南部地震」と名付けられた。本地震における被害は兵庫県を中心として阪神地域一円に広がり、特に震源地に近い淡路島北西部や、神戸市、芦屋市、西宮市等において甚大な被害をもたらした。この地震に関してこれまでに知られた緒元は以下のようなものである。

- 1)発生日時：1995年1月17日5時46分頃
- 2)震源：淡路島北端、北緯34.6度、東経135.0度、内陸直下型
- 3)震源深さ：14km、
- 4)地震規模：マグニチュード(M)7.2
- 5)各地の震度：7(神戸市、西宮市など)、6(洲本など)、5(京都など)

図1.1は震度7の分布図である。震度7の分布は須磨断層、諏訪断層、五助橋断層の南側に沿い須磨区から西宮市まで帯状分布となっている。震度7は1948年福井地震の後に木造家屋の倒壊率30%以上をもたらす揺れの強さとして定められたもので、その適用は今回が初めである。

この地震による人的被害は3月11現在死者は5472名に達している。全壊建物は約83,536戸、半壊建物は約68,761戸である。火災件数は258件で、火災による焼失面積は671,253m²にのぼっている。被害総額は9兆円以上になると予測されている。

2、地震動の特性

兵庫県南部に発生したマグニチュード7以上の地震としては、今回の地震は868年に播磨に発生した地震以来である。1916年11月26日に今回地震とほぼ震源位置を同じくする場所でマグニチュード(M)6.1の地震が発生したが、被害は少なかった。それ以来この断層系で発生した大地震がないと考えられている。図2.1は近畿地方における活断層と震源位置を示している。震源位置は淡路島の北端に位置する北淡町で、約1000年前に動いた形跡のある野島断層が今回震源と考えられている。断層のずれは右横ずれで、地表面に現れた断層面は右ずれで約1.2mの食い違いを示している。本断層は六甲有馬高規構造線へと延伸し、須磨断層・諏訪山断層・芦屋断層・甲陽断層・伊丹断層に組み込まれるものである。菊地¹⁾は米国や東南アジアなど24ヶ所で観測された地震波を分析した結果から野島断層の中ではほぼ中央にある震源から南西および北東方向に破壊が進み、断層が右横ずれしたことを示している。また、帯状となった震度7の地域の地下に活断層が存在する可能性もあると推論されている。海洋底の調査によって大阪湾海底にも野島断層と並行位置の断層亀裂が見つかった。

たことが報告された。

図2.2は1月19日以降における余震のマグニチュードの大きさを示している。最大余震は本震から約2時間後に発生したマグニチュード4.9である。図2.3は余震の震源位置の分布を示している。淡路島中部から神戸市南部さらに西宮市の北部へと帯状に広がっていることが分かる。また、余震観測と常時微動計測の結果から、概ねP-S時間が短く、震源に近いほど、水平動に対する上下動の比が大きくなる傾向にあり、水平動と上下動のスペクトル形状がよく似ていること、近い地震ほど高振動数成分が、遠い地震ほど低振動数成分が卓越することを示している調査グループもある²⁾。地盤卓越振動数と構造物固有振動数が構造物被害に対する影響(共振影響)の大きいことも知られている。図2.4は気象庁震度階の分布を示している。最大震度階は6である。計測震度計で算出される震度は震度6までであるが、この震度階は地震3日後に現地調査によって神戸市、西宮市などで7に修正されている。本震度階の分布は神戸から北東に位置する京都や彦根まで、断層の伸びる方向とも符合している。瀬戸内海や大阪湾沿岸の軟弱埋立地盤では震度階は必ずしも大きくなっておらず活断層の影響がきわめて大きいことを示唆している。

図2.5は神戸の海洋気象台で気象庁87型電磁式強震計によって記録された加速度波形と加速度応答スペクトルである。最大加速度値はNS(南北方向)818gal、EW(東西方向)617gal、UD(上下方向)332galである。海洋気象台は六甲山麓の丘陵・台地に位置している。上下動は水平動より若干先に始まっているが、大きい横揺れまでの時間はわずか2秒しかない。今回の最大加速度値は1993年釧路沖地震とほぼ同じであるが、変位は1.5~3.0倍程度大きい。しかしながら、地震動の継続時間は加速度記録でみると約半分ぐらい以下、変位記録でもやや短い傾向がある。加速度波形の卓越周波数は、東西・南北の水平動では1~2Hz、上下動では1Hz前後である。加速度応答スペクトルからは、水平動については南北・東西の2方向とも、0.3~0.4秒で最大値を持ち、0.7~0.8秒の固有周期をもつ構造物の応答がこれに次ぐ。上下動については、0.25秒前後の固有周期をもつ構造物の応答加速度が大きい³⁾。図2.6(a)は人工島ポートアイランドの地盤面の地震計で記録された加速度波形で、最大加速度値はNS(南北方向)341.2gal、EW(東西方向)284.4gal、UD(上下方向)555.9galである。図2.6(b)はポートアイランドの地下83m洪積層に設置された地震計で記録された加速度波形で、NS(南北方向)678.8gal、EW(東西方向)302.6gal、UD(上下方向)186.6galである。水平方向と比べて、いずれも上下方向の初期微動はほとんどない。地表面に記録された上下方向最大加速度は水平方向の1.6倍となるのに対して、地中洪積層に記録された水平方向最大加速度は上下方向の3.6倍となっている。また、地中から地表への増幅特性については、水平動1.9倍、上下動0.33倍であり、水平動における増幅が著しい。表2.1には各機関で得られた最大加速度の一覧を示した。また、図2.7には最大加速度分布を示す。神戸市から宝塚まで震度7幅広い地域においては水平最大加速度は600~800gal程度であり、上下最大加速度は300~400gal程度である。また、多くの観測地で、上下動と水平動の比率は1/2を超え

ていることが知られる。

3、震害特性

(1)建物被害分布

神戸大学土木系教室の緊急調査グループで実施された建物被害状況およびGISによって地質図とレイヤー化した結果を図3.1、図3.2と図3.3に示す。神戸市から西宮市に至る地域の顕著な被害は阪急線と国道43号線に挟まれた帯状地域に集中している。さらに被害地域を詳細に見ると、島状に分布し、複合扇状地上に集中していることが分かる。伊丹市では地盤条件がよかったにもかかわらず、被害が大きいことは伊丹断層の影響が強いと考えられる。被害分布の特徴としては以下のことが指摘される⁴⁾。

1)神戸市域を中規模地形分類に従って六甲山地、山麓部の段丘、それに続く複合扇状地域、旧沿岸域ならびに埋立地域と大きく分類すると、建物全壊の被害分布は複合扇状地域に分布する。これは地質分類では中～低位段丘層ならびに沖積層に相当する。

2)この複合扇状地域内での被害分布をさらに詳しくみると、高位の山麓段丘域に近いところでは被害は少ない。

3)複合扇状地域の下位に出現する旧沿岸域でも被害の分布は少ない。

4)埋立地域では地盤の液状化がみられるが、木造家屋建物の被害は比較的少ない。

5)被害分布をマクロ的にみると六甲山麓に沿って0.7～1.2km程度幅で帯状に南西から北東に分布している。

6)この帯状分布域の中でも被害密度の大きな地域と小さい地域が分布する。この原因は地形あるいは地盤条件に起因するものと思われる。

7)西宮地域に入ると帯状をした被害分布は夙川付近からやや北に角度を変えて阪急今津線甲東園駅の東の方へと変化する。

8)宝塚市内、伊丹市内の断層と構造線付近に大きな被害の分布域がみられる。

9)淡路においては、北淡町、一宮町で被害が大きく、今回の震源に最も近い淡路町ではこれら2町と比較すると被害は少ない。

(2)道路・鉄道の被害分布

図3.4と図3.5は今回地震における道路・橋梁と鉄道の被害位置分布を示す。同図中にはこれまでに知られている断層位置も示している。いずれも高架橋部分が広範囲にわたって被害を受けている。盛土崩壊も目立ったが、地域的集中は認められない。阪神電鉄が石屋川駅付近で甚大な被害を受けたのに対して、阪急電鉄は夙川駅付近に被害が集中している。この地域の地盤特性と断層位置が被害に影響すると見られる。被害状況を分類すると以下のようなものである。

1)落橋(橋脚完全倒壊や橋桁が橋脚からはずれるものなど)

2)コンクリート橋脚のせん断、曲げ、座屈破壊

- 3) 鋼橋脚や鋼桁の座屈、脆性破壊あるいは変形
- 4) 液状化など地盤の破壊による橋脚の傾斜
- 5) 盛土崩壊

(3) 液状化地域分布

液状化の分布は図3.6に示している。家屋の被害分布と違って、液状化の分布は神戸市を中心とし、須磨から新淀川付近まで海岸線に沿っている。埋め立て地または海岸線に近い地盤では液状化が発生している。液状化の程度が最も著しいのは、ポートアイランドであり、次いで芦屋浜シーサイドタウン、六甲アイランドの順である。ポートアイランド全島にわたって茶褐色の噴砂が生じた。N値5～10程度の埋立礫混じりまさ土が液状化と見られている。島全体は液状化により数十cm沈下したが、建物は顕著な被害が見られない。これは多くの建物が杭基礎で洪積層に支持されているためである。一方、震源地から遠く離れている堺市の埋立地においても噴砂が確認された。大阪府此花区における淀川の堤防も液状化で崩壊された。液状化によって湾岸施設が多くの被害を受けて、せり出し、エプロンの陥没などが発生している。液状化による地盤の被害形態は沈下、側方流動、噴砂などである。

(4) 電柱の倒壊分布

図3.7は電柱など配電設備支持物の被害分布図を表している⁵⁾。同図中には既知断層位置も記入している。建物の被害分布と類似していることがわかる。新長田、六甲道付近に被害が集中している。須磨以西、西宮以东には被害が少なかった理由として、電柱の倒壊は地盤や活断層の影響だけではなく、家屋の倒壊や敷設密度などによって左右されているためである。六甲アイランドとポートアイランドは配電線の地下化が進められているため、被害はない。

参考文献

- 1) 朝日新聞1月27日朝刊
- 2) 鹿島建設(株)、平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書(第1報)、1995年2月1日
- 3) 大成建設(株)、阪神大震災調査速報、1995年2月8日
- 4) 神戸大学工学部土木系教室、兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報)、1995年2月17日
- 5) 関西電力資料

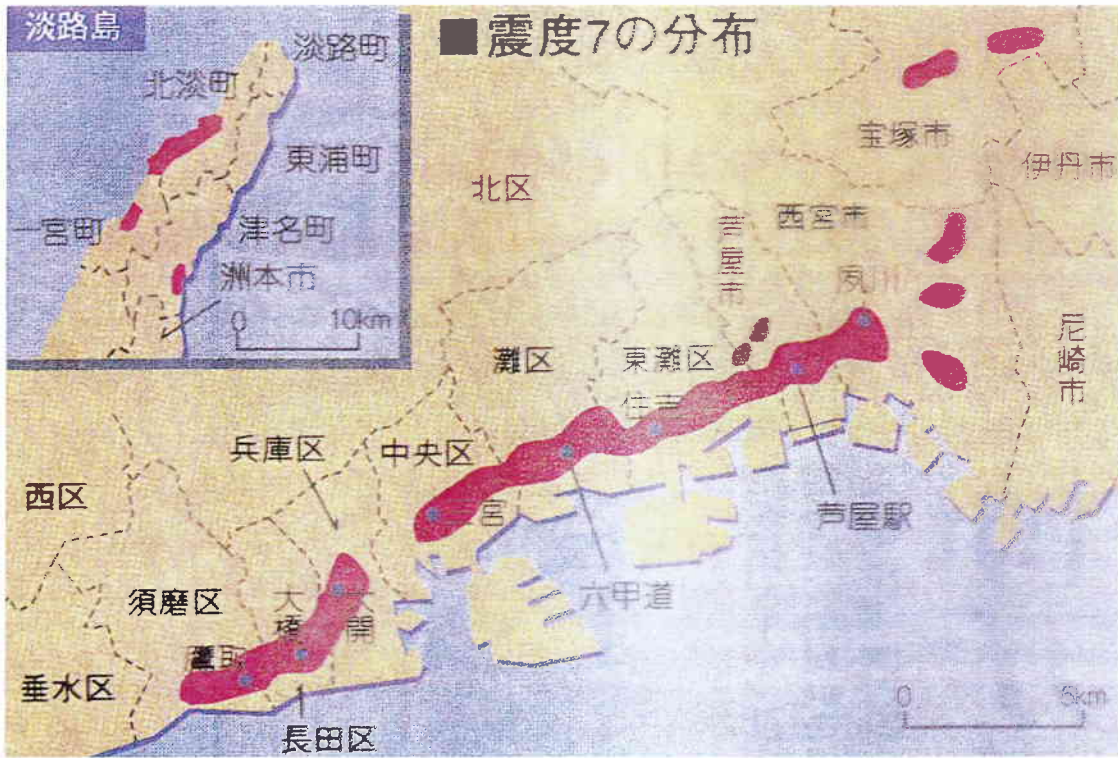


図1.1 震度階Ⅶ(7)の地域分布

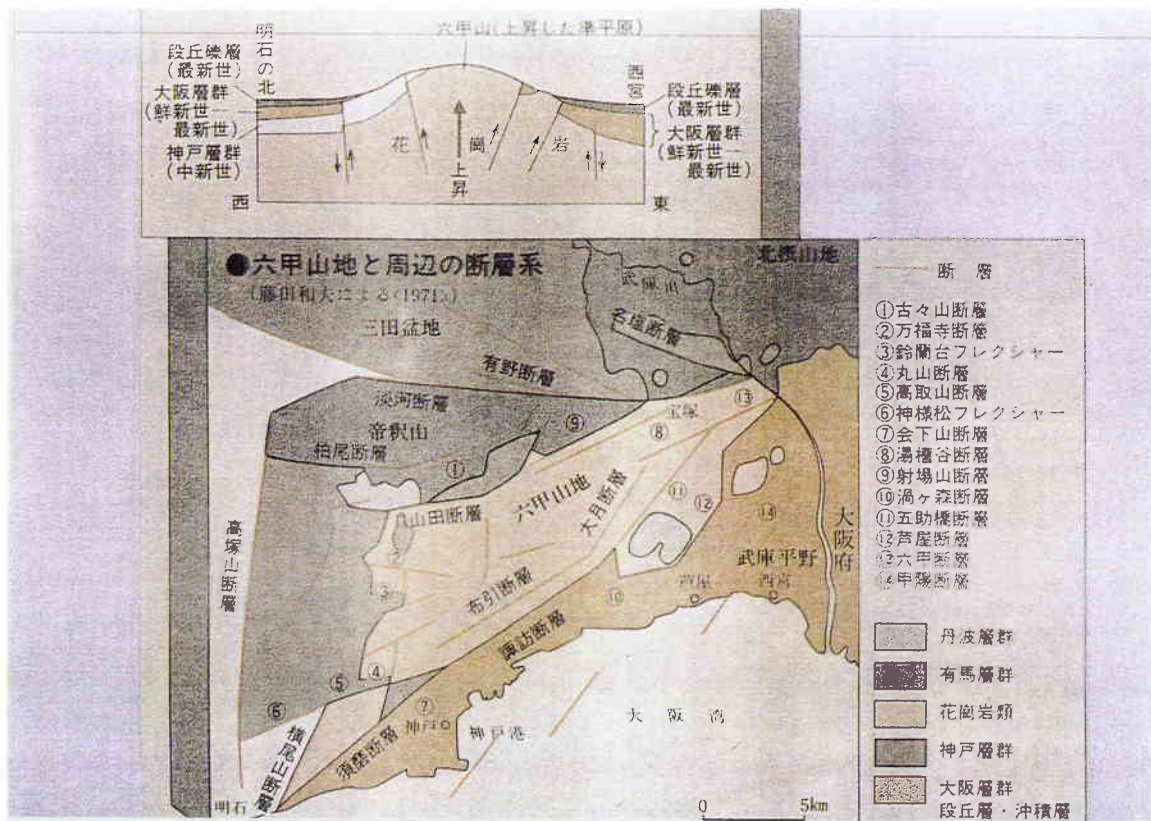


図2.1 神戸周辺における活断層系

M-T DIAGRAM OF AFTERSHOCKS
detected by ABUYAMA OBSERVATORY
1/19 0:0 - 1/27 4:50

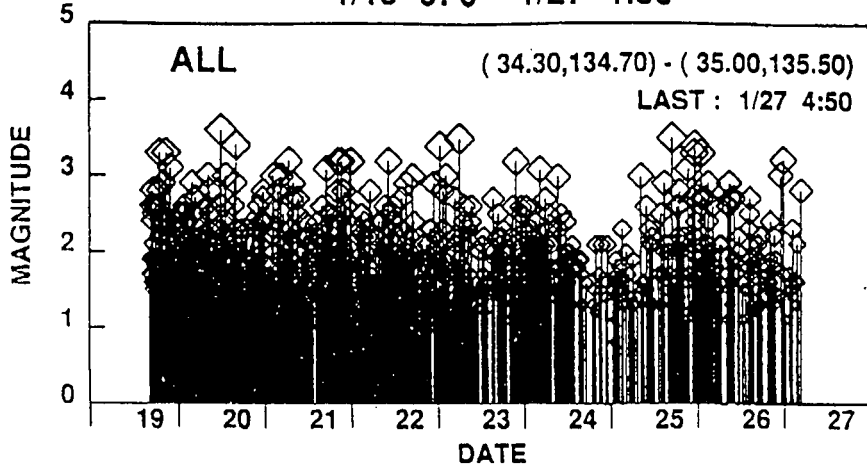


図2.2 余震の推移とマグニチュード

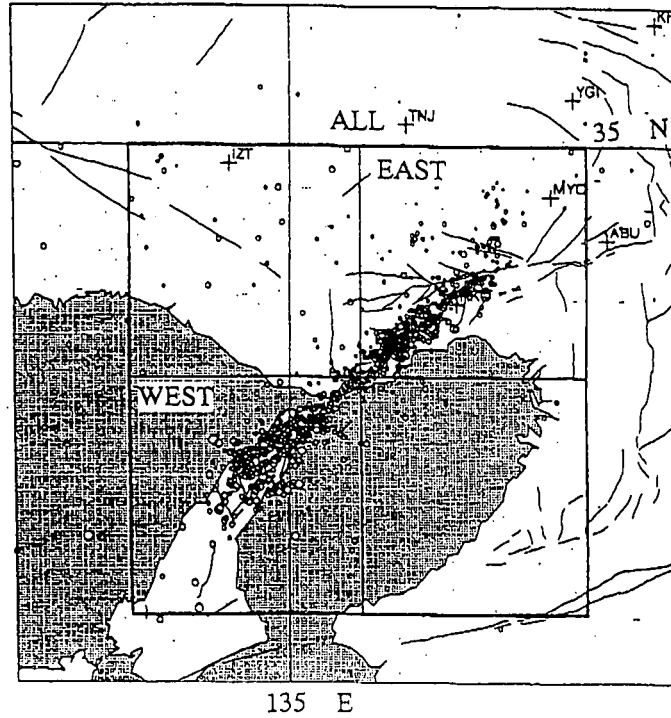


図2.3 余震の分布(京大防災研地震予知センターによる)

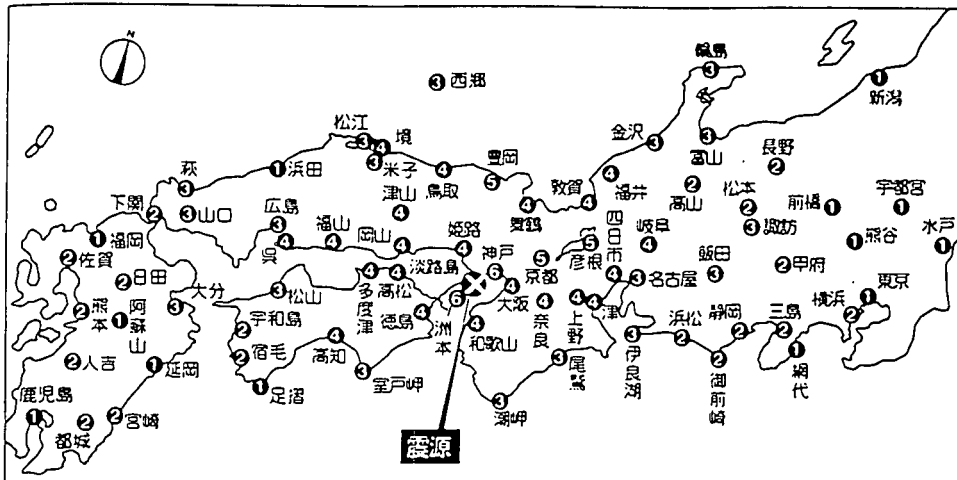


図2.4 各地の震度階

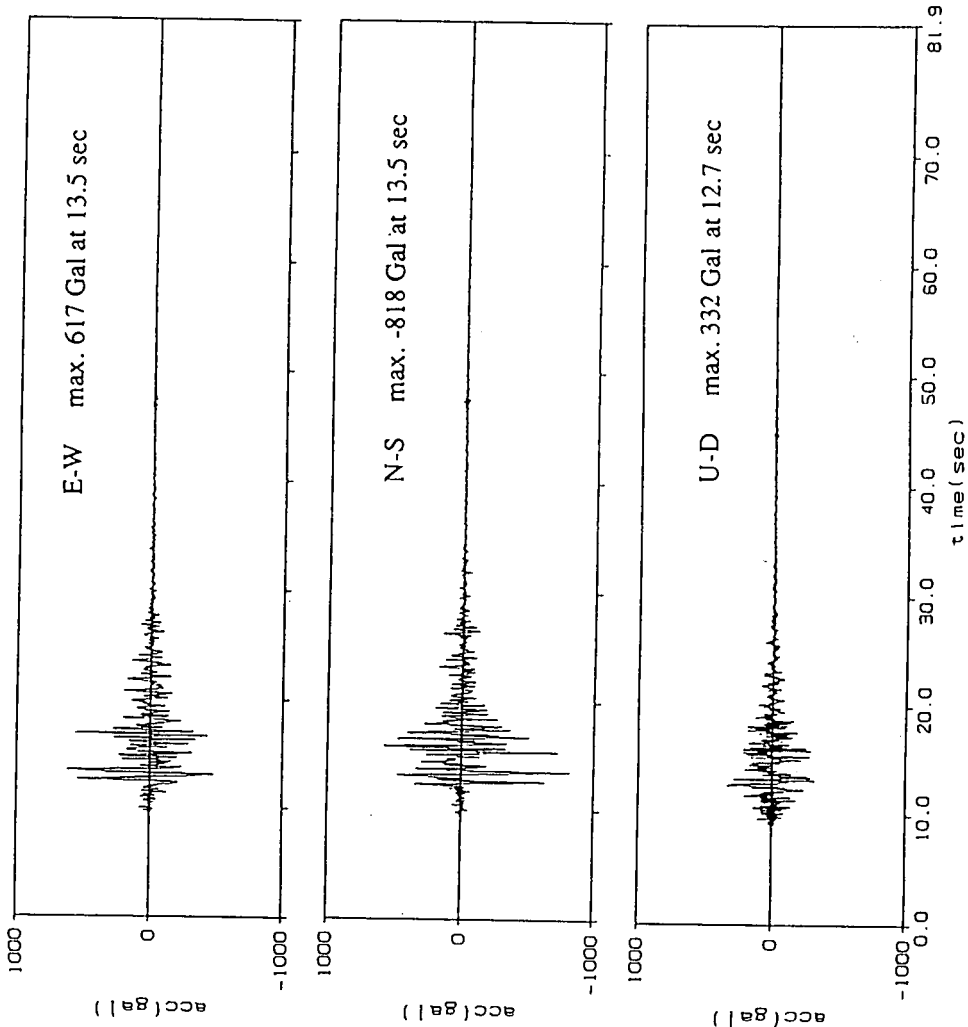
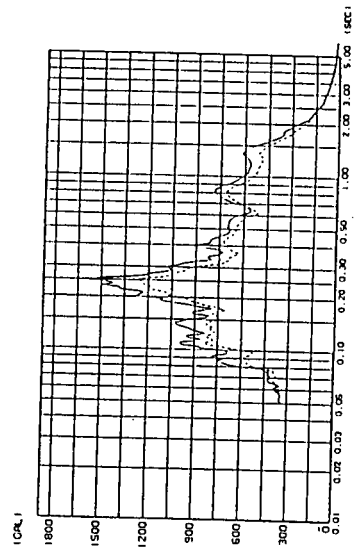
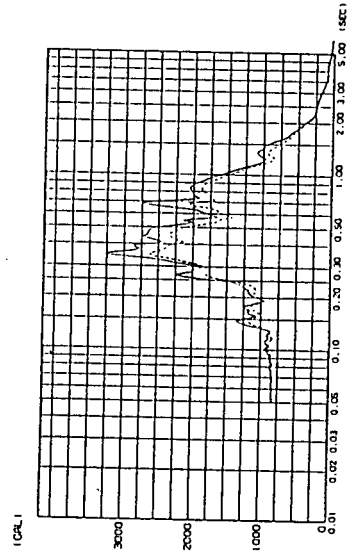
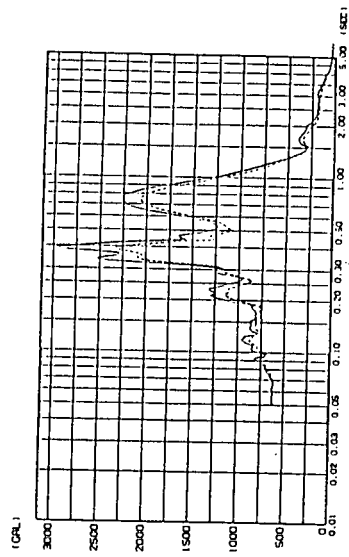


図2.5 神戸海洋気象台における加速度波形と
 応答スペクトル(神戸海洋気象台観測) 減衰定数3%
————— 減衰定数5%



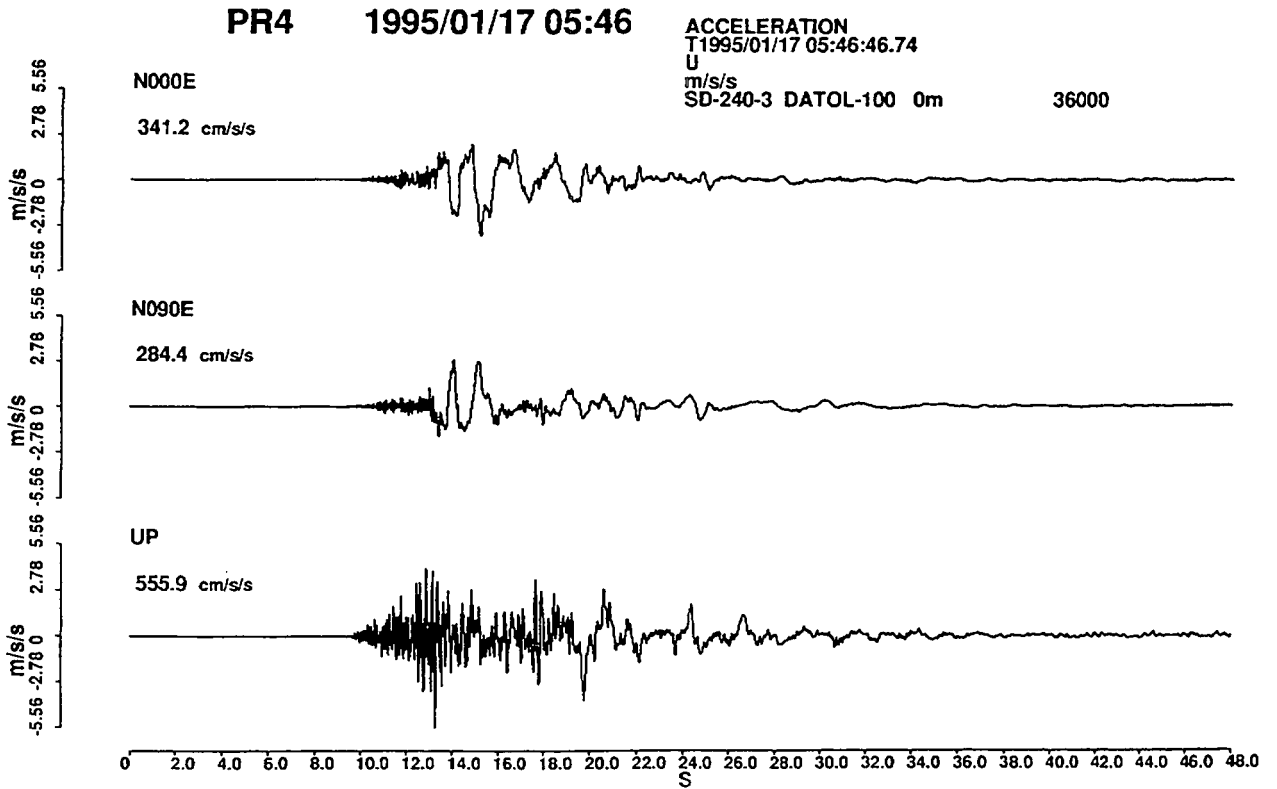


図 2.6(a) 人工島ポートアイランドにおける観測波形

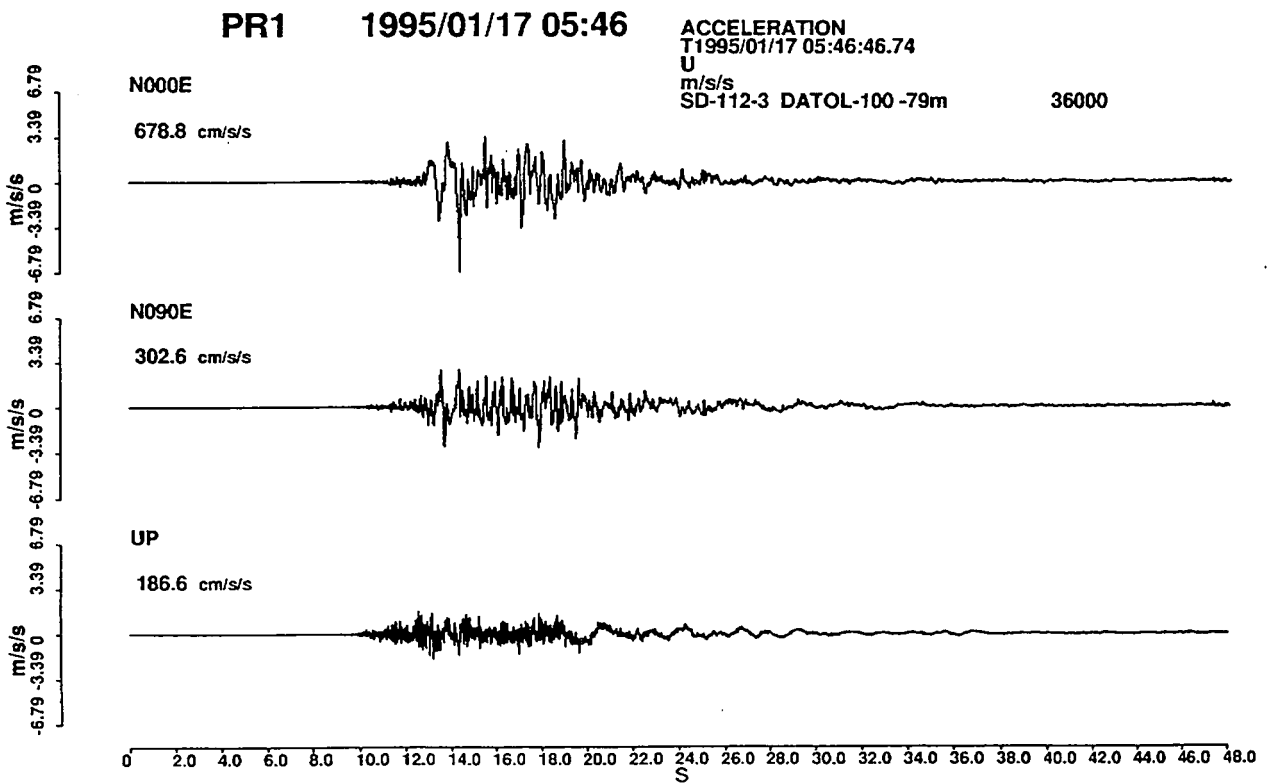


図 2.6(b) 人工島ポートアイランドにおける観測波形

表 2.1 各機関で計測された最大加速度値

Organization	Location	最大加速度			備考	地図中 番号
		N-S	E-W	U-D		
関西地震動観測 研究協議会	神戸大学 (岩盤)	269.8	305.3	446.5?	?傾斜	1
	神戸本山	421.0?	774.9?	379.3?	?振り切れ	2
	尼崎	271.4?	321.5?	327.9?	?振り切れ	3
	福島	180.0	211.5	194.8		4
	森河内	210.1	123.3	158.8		5
	弥栄	154.7	144.9	127.1		6
	阿倍野	217.4	226.4	136.2		7
	堺	150.2	124.7	100.3		8
	忠岡	290.4	190.1	136.5		9
	千早	90.6	108.6	73.6	岩盤点	10
関西電力	山崎実験センター (同上)	131	92	GL-0.7m (盛土盤) GL-30.0m (壁孔内)		
	高砂発電所 (同上)	191	198	182 地表 (埋立盤)		
	(同上)	103	107	65 GL-25m (砂礫層)		
	(同上)	86	109	82 GL-100m (卵石層)		
	須磨発電所					
	五色発電所					
	総研管内	299	507	205 地表 (沖積層)		11
	(同上)	(312)	(648)	(228) () は最大加速度表示器による値		
	(同上)	181	239	162 GL-24.9m (洪積層)		
	(同上)	294	320	199 GL-97.0m (大阪層)		
	南港発電所 (同上)			取水口付近 (埋立盤)		
	(同上)			本館付近 (埋立盤)	振り切れ	
	(同上)			煙突付近 (埋立盤)		
	八尾変電所 (同上)	133	141	88 地表 (沖積層)		12
	(同上)	148	139	82 地表 (沖積層)		
	(同上)	123	140	67 地表 (沖積層)		
借責発電所 (同上)	42	45	27 GL-1m (盛土盤)		13	
(同上)	22	20	11 GL-22m (岩盤)			
(同上)	25	20	10 地表 (切取岩盤)			
南大阪変電所 (同上)	122	84	90 地表 (沖積層)		14	
(同上)	144	145	93 地表 (沖積層)			
(同上)	146	105	92 地表 (沖積層)			
多奈川変電所			地表 (切取岩盤)			
海南港変電所 (同上)	98	128	92 地表 (埋立盤)			
(同上)	71	60	39 GL-25m (沖積層)			
(同上)	26	25	21 GL-100m (岩盤)			
湯崎変電所	16	19	8 地表 (切取岩盤)			
建築研究所	大阪第3合同庁舎 (同上)	90.2	82.5	108.8 地下3階 412.3 209.4 地上18階		15
	舞鶴市役所 (同上)	84.7	69.9	19.3 地上1階 153.4 148.7 34.8 地上5階		
	松坂総合庁舎 (同上)	69.8	63.5	34.3 地上1階 173.8 132.6 51.2 地上7階		
	米子市役所 (同上)	26.3	21.9	6.5 地下1階		
	広島第2合同庁舎 (同上)	17.2	19.3	5.2 地下1階		
	石川県庁 (同上)	75.2	85.6	9.1 地上1階		
	大分市役所 (同上)	13.5	13.2	8.2 地下2階		
	(同上)	34.9	24.4	8.9 地上5階		
	(同上)	7.1	7.2	2.9 地上1階		
	(同上)	37.6	15.2	3.5 地上9階		
	神戸市中央区	818	617	332		16

大阪ガス		JR		建設省	
神戸市中央区基合	833	神戸市・新神戸	561	JR尼崎	300
西宮市今津	792	灘取	616	尼崎	273
大阪市此花区西島	266	兵庫県・宝塚	601	六甲ア・イランド	475
大阪市西区岩崎	185	西明石	481	神戸市北区	274
大阪府吹田市	312	加古川	229	松村組	319
大阪府高槻市柱本	251	姫路	125	伏見	206
大阪府東大阪市	177	篠山口	195	京橋	263
大阪府四条壱市	224	福知山	110	千早	111
大阪府八尾市	169	豊岡	24		
大阪府藤井寺市	149	生野	59		
大阪府堺市	173	大阪府・新大阪	245		
大阪府堺市	178	新高槻	323		
大阪府堺市	240	東岸和田	149		
奈良県奈良市平城	142	和歌山県・御坊	170		
神戸市・新神戸	561	奈良県・奈良市	113		
兵庫県・宝塚	601	京都府・東山	113		
西明石	481	二条	84		
加古川	229	園部	163		
姫路	125	西舞鶴	87		
篠山口	195	滋賀県・栗東	67		
福知山	110	五箇荘	128		
豊岡	24	新米原	227		
生野	59	岐阜県・新岡ヶ原	106		
大阪府・新大阪	245	羽島	57		
新高槻	323	三寶島・柘植	97		
東岸和田	149	福井県・小浜	74		
和歌山県・御坊	170				
奈良県・奈良市	113				
京都府・東山	113				
二条	84				
園部	163				
西舞鶴	87				
滋賀県・栗東	67				
五箇荘	128				
新米原	227				
岐阜県・新岡ヶ原	106				
羽島	57				
三寶島・柘植	97				
福井県・小浜	74				
JR尼崎	300	273	307	毎日1/24朝刊	36
尼崎	475			毎日1/24朝刊	
六甲ア・イランド	319		507	朝日1/26朝刊	37
神戸市北区	274			日経1/24朝刊	
松村組	206				
伏見	263				
京橋	263				
千早	111				

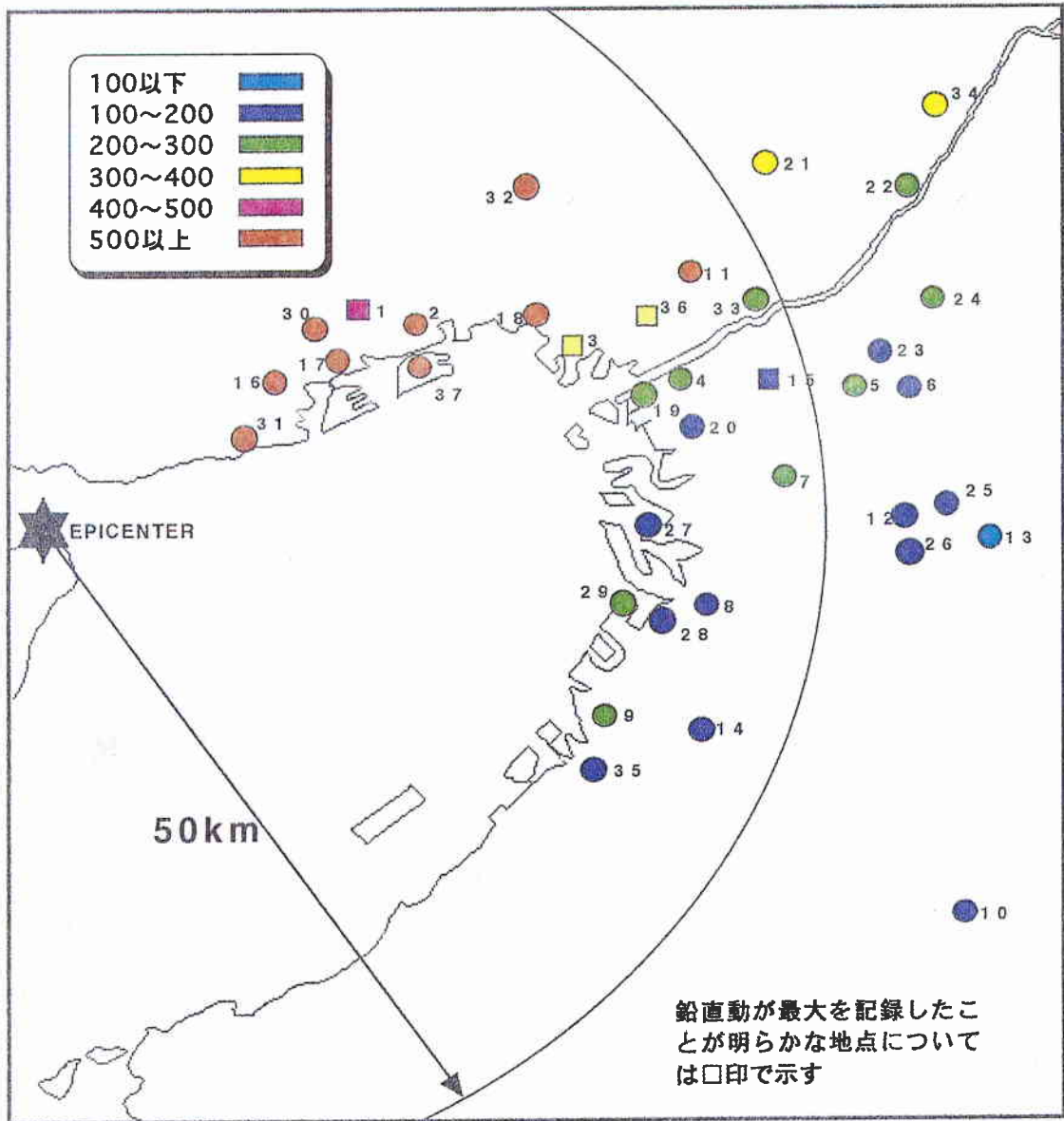


図2.7 最大加速度分布図

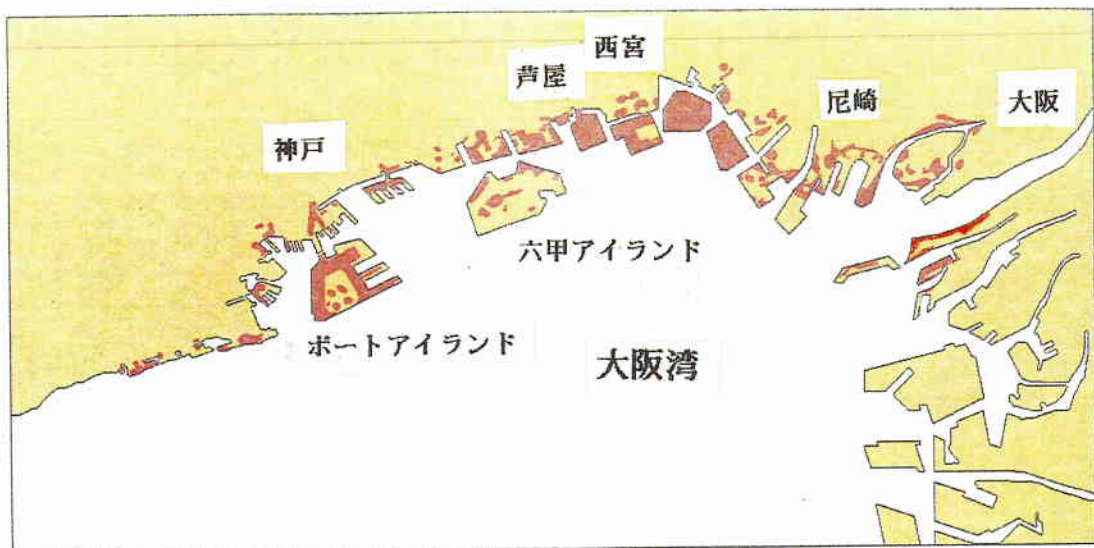


図3.6 地盤液状化の分布（大阪府を除く）



図3.1 淡路島における建物被害分布と地質図
(赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

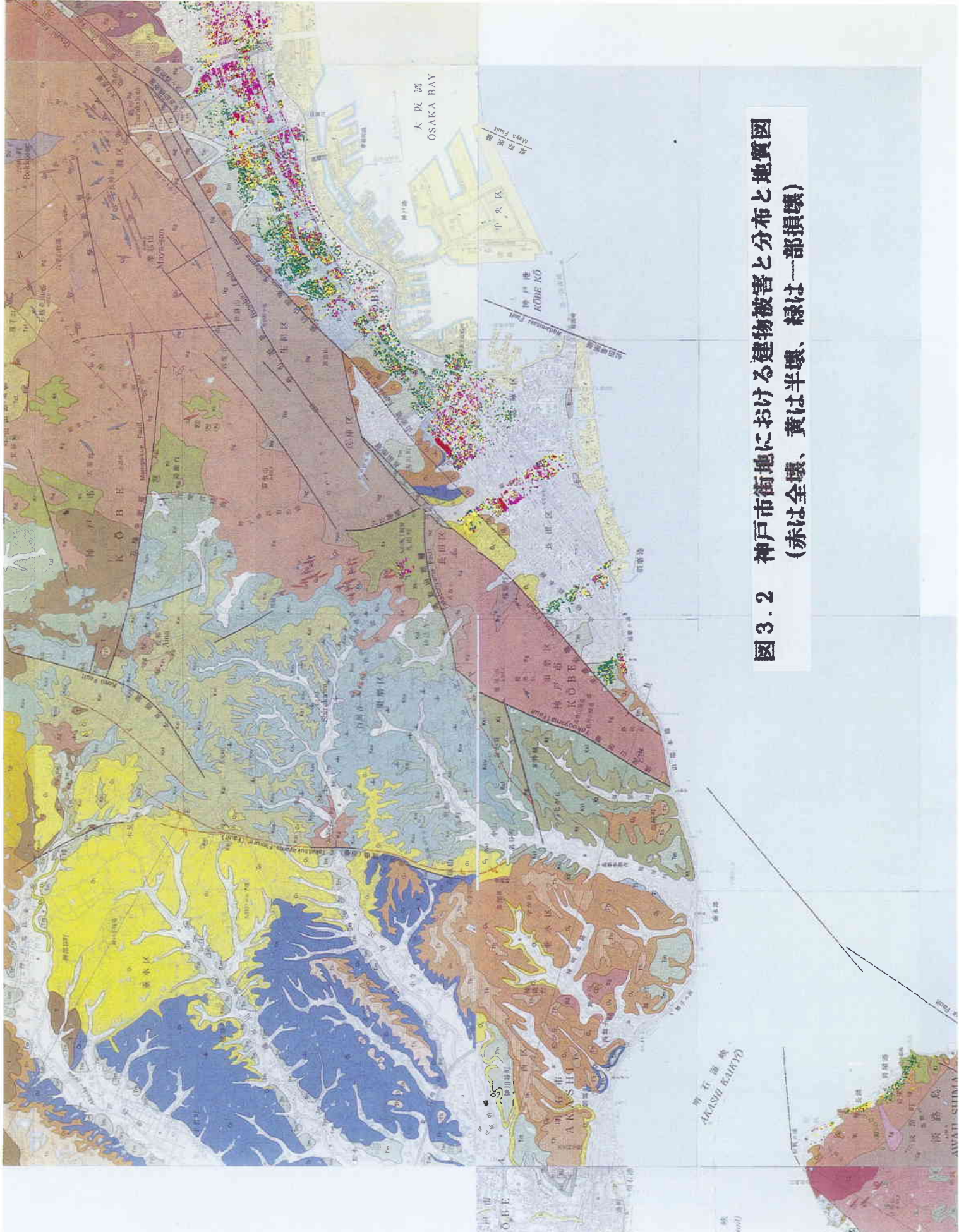


図3.2 神戸市街地における建物被害と分布と地質図
 (赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

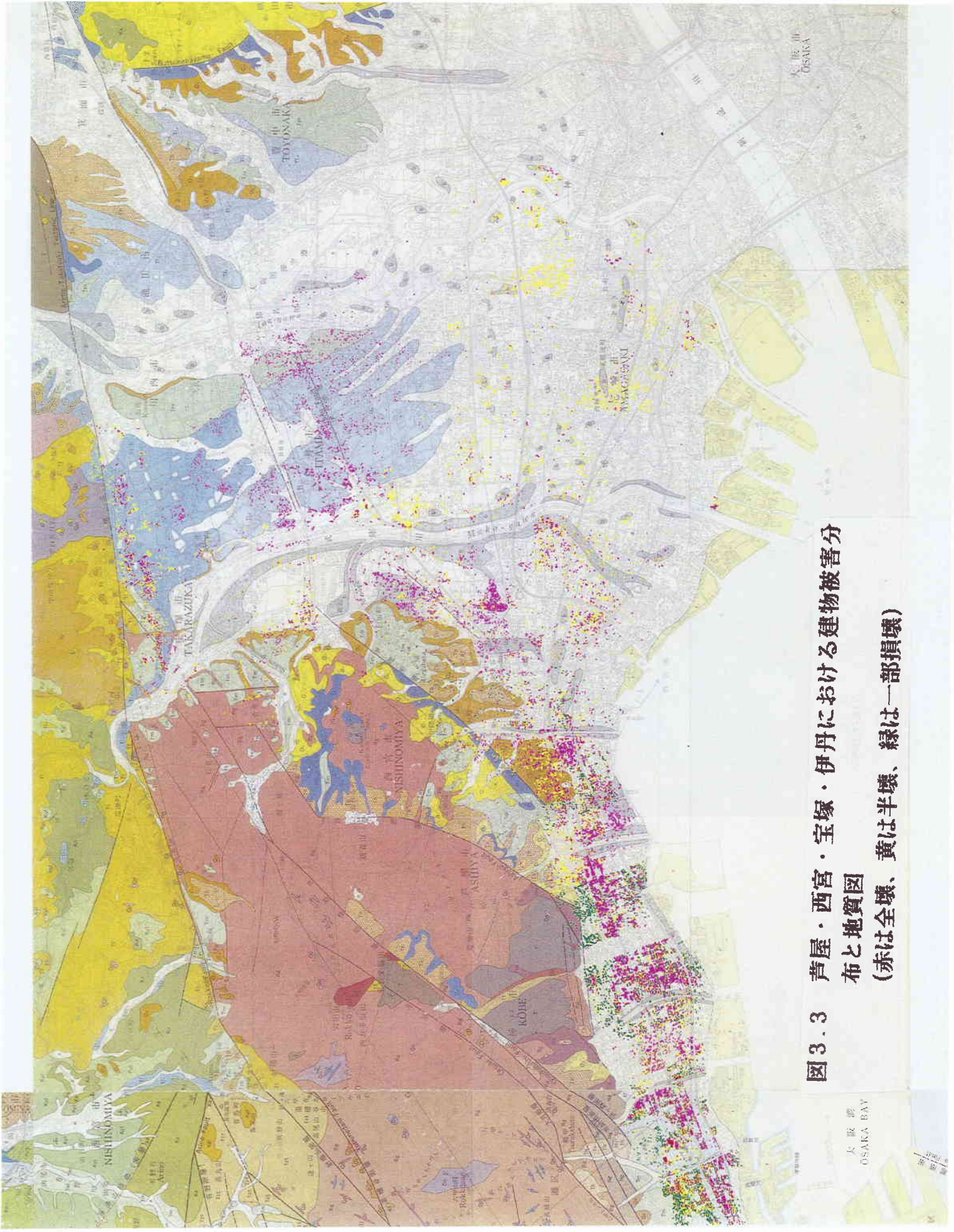


図3.3 芦屋・西宮・宝塚・伊丹における建物被害分布と地質図
 (赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

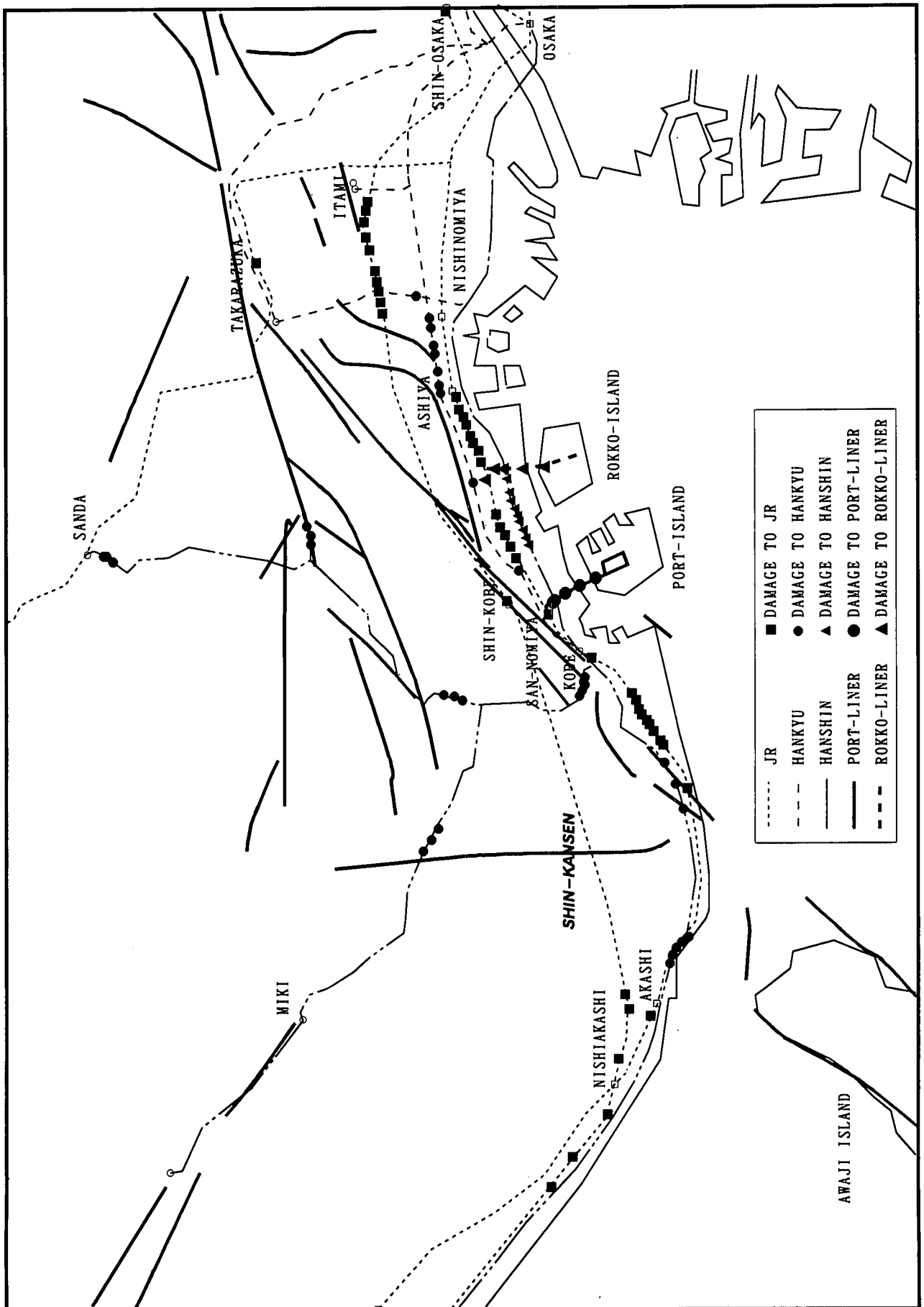


図3. 4 鉄道施設の被害と断層位置

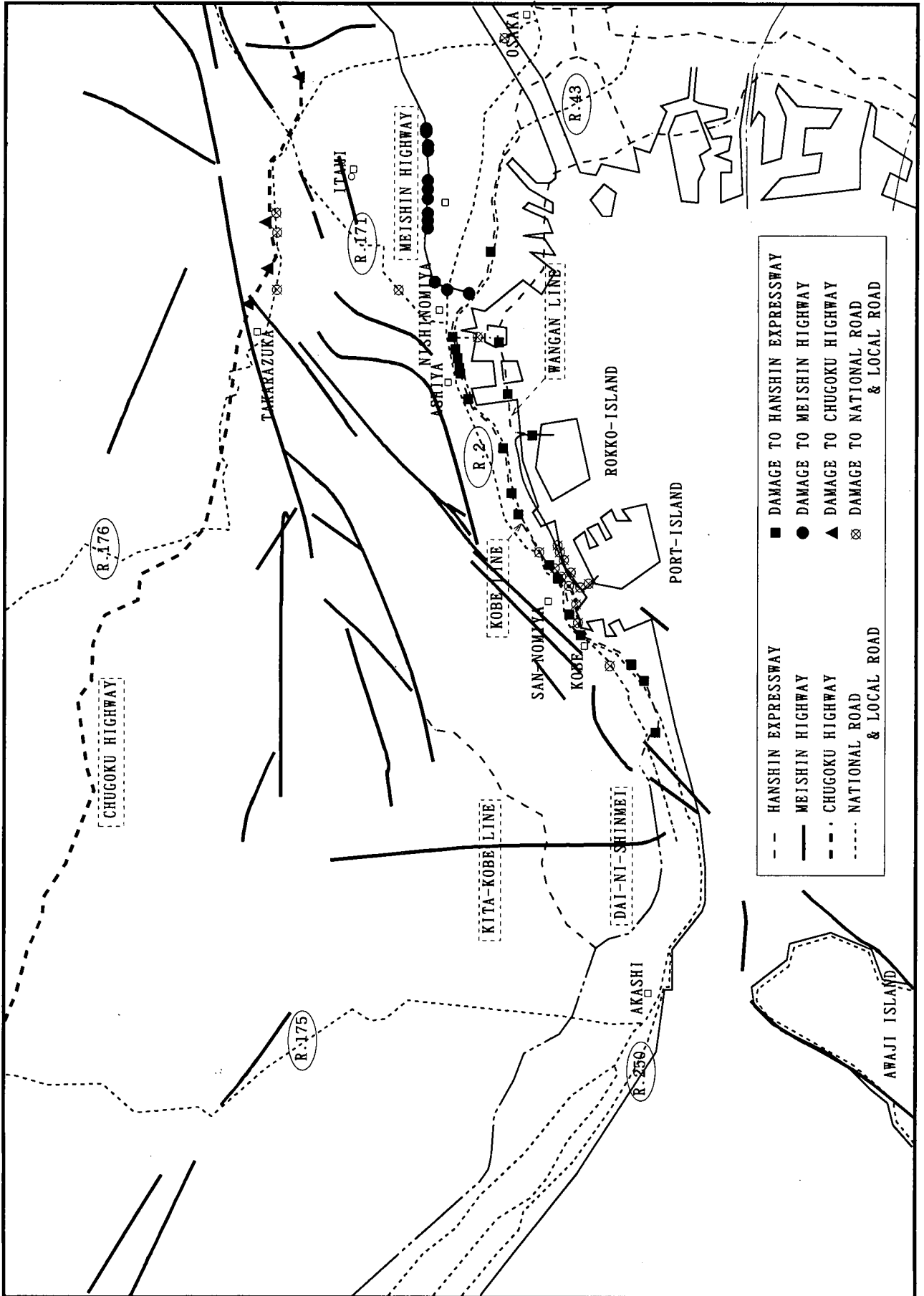


図 3. 5 道路・橋梁被害と断層位置

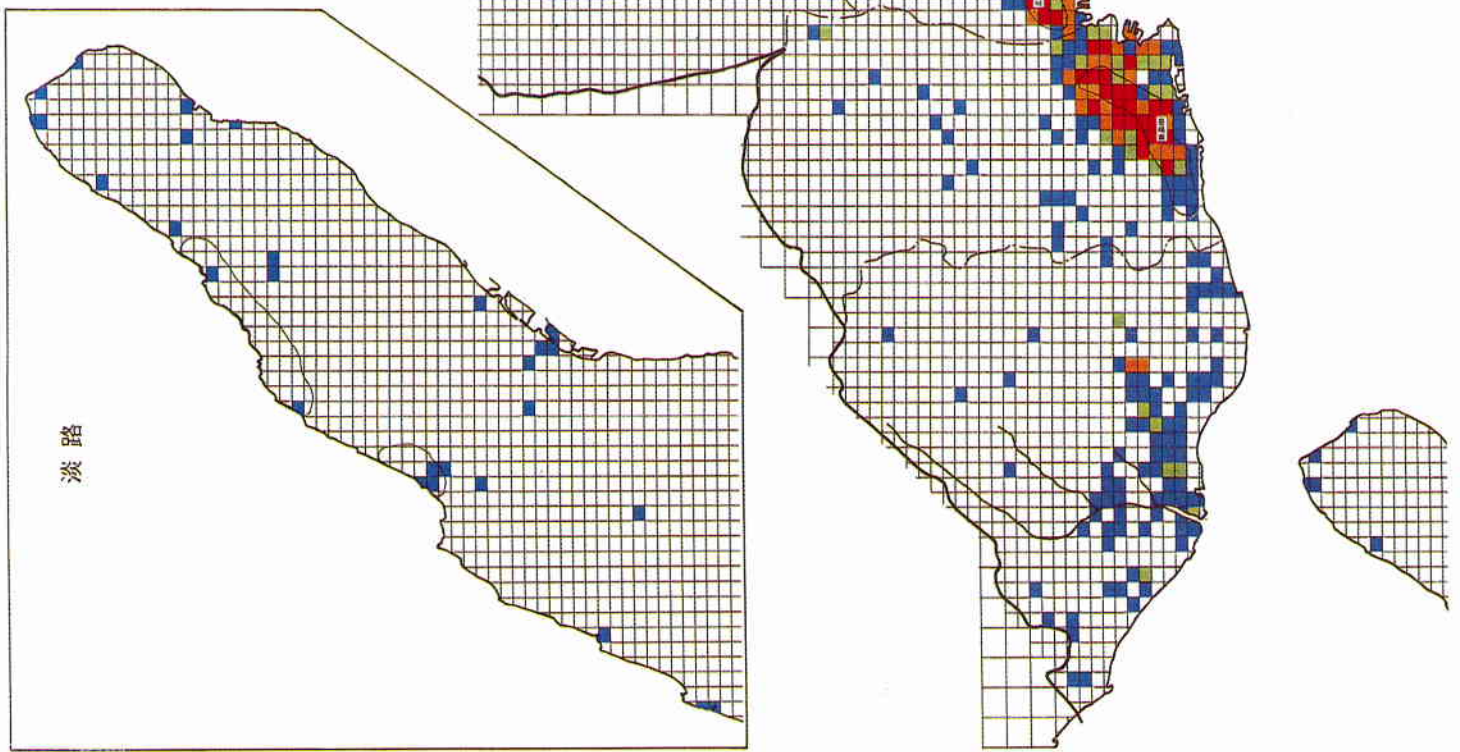


図3.7 配電設備支持物の被害分布