

地震動と被害特性

Strong Ground Motion and Damage Features

正会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科

高田 至郎 Shiro TAKADA

正会員 理博 神戸大学助教授 工学部土地造成工学研究施設

沖村 孝 Takashi OKIMURA

正会員 工博 神戸大学助手 大学院自然科学研究科

李 騰雁 Teng Yan Li

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」と命名された。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、とく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である。

- ① 震央位置：淡路島北端、北緯34.6度、東経135.0度、内陸直下型
- ② 震源深さ：14 km
- ③ 地震規模：マグニチュード (M) 7.2
- ④ 各地の震度：7 (神戸、西宮など)、6 (洲本など)、5 (京都など)

図-1は震度階7の分布図である。震度7は須磨断層、諏訪山断層、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。兵庫区では震度階7の分布が途切れているが、この地域では六甲山系花崗岩の中位段丘層が海岸近くまで迫ってきており、硬い地盤の影響で被害が少なくなったものと考えられる。

本地震による兵庫県内の人的被害は5月18日現在死者は5480名に達している。また、倒壊家屋は19万2706棟である。火災件数は258件で、火災による焼失面積は67万1253m²にのぼって

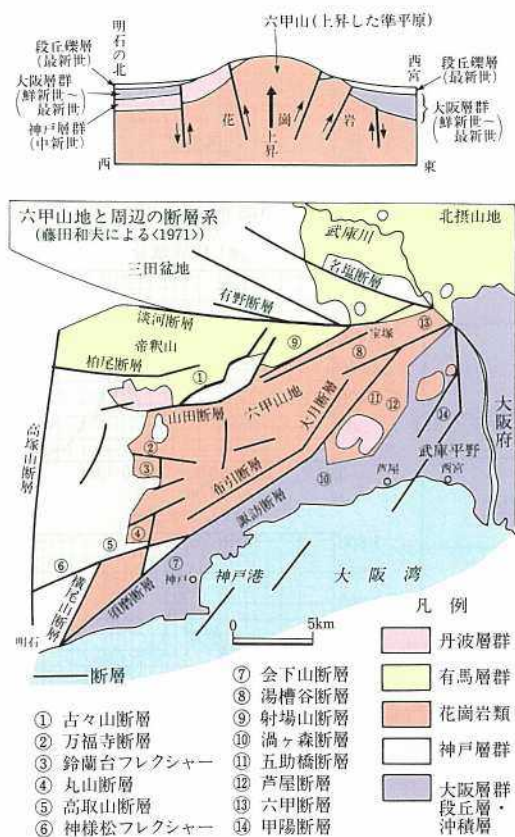


図-1 震度階Ⅶ (7) の地域分布

いる。被害総額は10兆円以上になると予測されている。

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、868年に播磨に発生した地震以来である。1916年11月26日には今回の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6.1の地震が発生しているが、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はないと考えられている。図-2は神戸周辺における活断層系を示している。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の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



れで最大約 1.8 m の食い違いを示している (写真-1)。本断層は六甲有馬高構構造線へと延伸し、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 カ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、带状となった震度 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。

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-3 は余震の震源位置の分布を示している²⁾。淡路島中部から神戸市南部さらに西宮市の北部へと带状に広がっているこ



写真-1 野島断層 (水平移動 1.8 m)

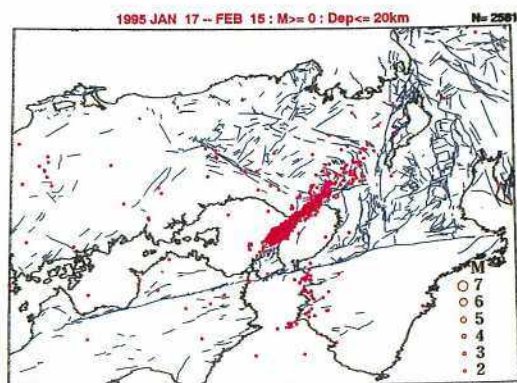


図-3 余震の震源位置の分布

とがわかる。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が知られている。高い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-4 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) 818 gal, EW (東西方向) 617 gal, UD (上下方向) 332 gal である。本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

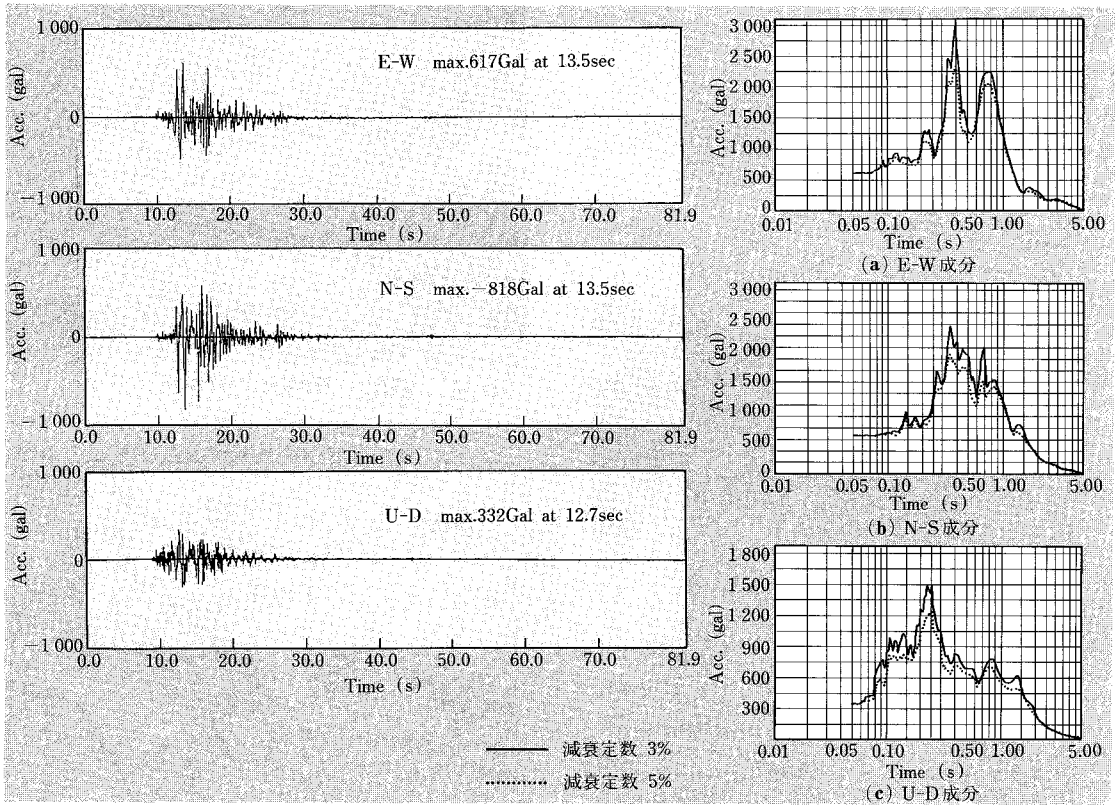


図-4 神戸海洋気象台における加速度波形と応答スペクトル (神戸海洋気象台観測)⁴⁾

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秒しかなく、最大加速度1~2秒後で生じており衝撃的な地動であったことが伺われる。今回の最大加速度値は1993年釧路沖地震とはほぼ同じであるが、最大速度は2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、速度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1~2 Hz、上下動では1 Hz前後である⁴⁾。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秒の周期がこれに次ぐ。上下動については、0.25秒前後でピークをもっている⁴⁾。

図-5 (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) 341.2 gal, EW (東西方向) 284.4 gal, UD (上下方向) 555.9 galである。図

-5 (b) はポートアイランドの地下83 m 洪積層 (Ma 12) 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) 678.8 gal, EW (東西方向) 302.6 gal, UD (上下方向) 186.6 gal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水平方向最大加速度は水平方向の0.6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0.5倍、上下動3.0倍であり、上下動における増幅が著しい。地表層の液状化によってせん断波動の増幅がなく、P波成分のみが増幅しているものと考えられる。表-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-6には最大加速度分布を示す。神戸市から塚塚市まで震度7の幅広い地域においては水平最大加速度は600~800 gal程度であり、上下最大加速度は300~400 gal程度

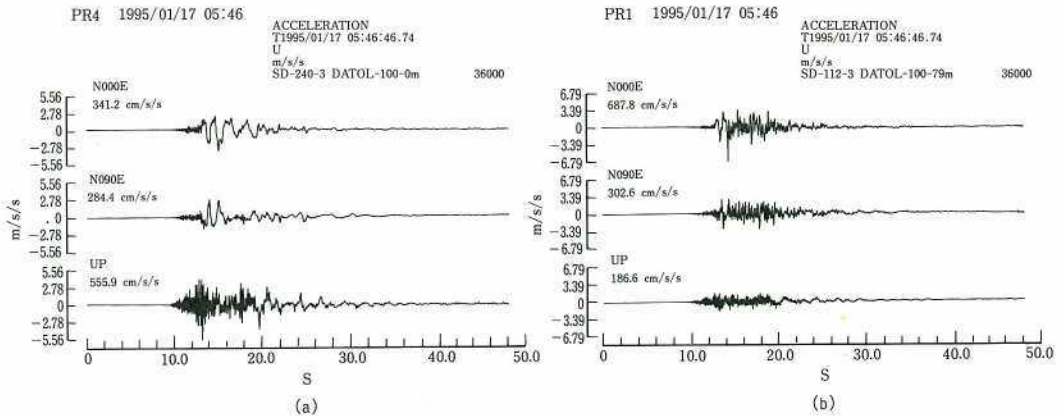


図-5 人工島ポートアイランドにおける観測波形

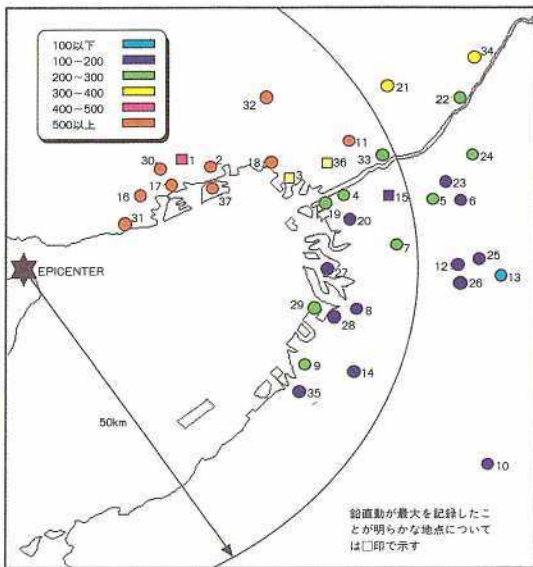


図-6 最大加速度の分布

である。また、多くの観測地点で、上下動と水平動の最大振幅比率は0.5を超えている。

地震特性

(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-7、図-8と図-9に示す。神戸市から芦屋市に至る地域の顕著な被害は山麓と旧沿岸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、被害密度は

島状に分布し、これらは沖積地と低位段丘上に分布していることがわかる。西宮市、宝塚市、伊丹市で被害が大きいことは、甲陽断層、有馬高槻構造線、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⁵⁾。

- 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、最終氷河期後半（約1.5万年前）までに形成された山麓に近い扇状地では被害は少ない。
- ③ 複合扇状地域の下位に出現する旧沿岸域の砂洲でも被害の分布は少ない。これは木造家屋そのものの分布が少ないためかも知れない。
- 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0.7～1.2 km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。この原因は地質、地形および地盤条件に起因するものと思われる。

表-1 最大加速度の一覧

Organization	Location	最大加速度			備考	地区番号
		N-S	E-W	U-D		
関西地震観測研究協議会	神戸大学(岩盤)	269.8	305.3	446.3?	?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	131	92		GL-0.7 m(盛土盤)	
	(同上)	34	32	29	GL-30.0 m(竖孔内)	
	高砂発電所	191	198	82	地表(埋立盤)	
	(同上)	103	107	65	GL-25 m(砂礫層)	
	(同上)	86	109	82	GL-100 m(卵石層)	
	須磨発電所					
	五色発電所					
	總研構内	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-24.9 m(洪積層)	
	(同上)	294	320	199	GL-97.0 m(大敷層)	
	南港発電所				取水口付近(埋立)	
	(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	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)	
	信貴変電所	42	45	27	GL-1 m(盛土盤)	13
	(同上)	22	20	11	GL-22 m(岩盤)	
	(同上)	25	20	10	地表(切取岩盤)	
南大阪変電所	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	98	128	92	地表(埋立盤)		
(同上)	71	60	39	GL-25 m(沖積層)		
(同上)	26	25	21	GL-100 m(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	90.2	82.5	108.8	地下 3階	15
	(同上)	412.3	316.3	209.4	地上 18階	
	舞鶴市役所	84.7	69.9	19.3	地上 1階	
	(同上)	153.4	148.7	34.8	地上 5階	
	松坂総合庁舎	69.8	63.5	34.3	地上 1階	
	(同上)	173.8	132.6	51.2	地上 7階	
	米子市役所	26.3	21.9	6.5	地下 1階	
	広島第2合同庁舎	17.2	19.3	5.2	地下 1階	
	(同上)	75.2	85.6	9.1	地上 11階	
	石川県庁	13.5	13.2	8.2	地下 2階	
	(同上)	34.9	24.4	8.9	地上 5階	
	大分市役所	7.1	7.2	2.9	地上 1階	
	(同上)	37.6	15.2	3.5	地上 9階	
	神戸海洋気象台	神戸市中央区	818	617	332	
大阪ガス						17
神戸市中央区震合				833		
西宮市今津				792		18
大阪市此花区西島				266		19
大阪市西区岩崎				185		20
大阪府吹田市				312		21
大阪府高槻市柱本				251		22
大阪府東大阪市				177		23
大阪府四条畷市				224		24
大阪府八尾市			169		25	
大阪府藤井寺市			149		26	
大阪府堺市			173		27	
大阪府堺市			178		28	
大阪府堺市			240		29	
奈良県奈良市平城			142			
JR	神戸市・新神戸			561		30
	廣取			616		31
	兵庫県・宝塚			601		32
	西明石			481		
	加古川			229		
	姫路			125		
	篠山口			195		
	福知山			110		
	豊岡			24		
	生野			59		
	大阪府・新大阪			245		33
	新真槻			323		34
	東岸和田			149		35
	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・実東			67		
五個荘			128			
新米原			227			
岐阜県・新岡ヶ原			106			
羽島			57			
三重県・柘植			97			
福井県・小浜			74			
建設省	JR 尼崎	300	273	307		36
	尼崎			475		
竹中工務店	六甲アイランド	319		507		37
松村組	神戸市北区	274				



図-7 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)

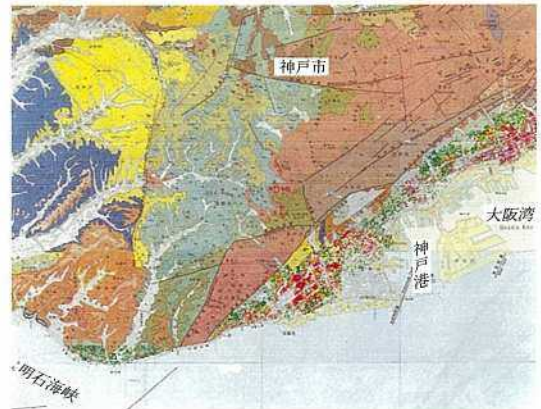


図-8 神戸市街地における建物被害分布と地質図
(赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

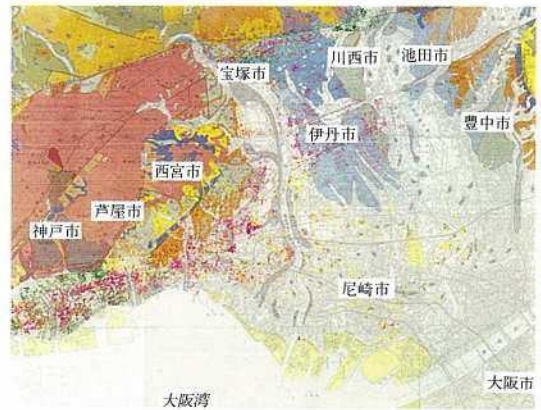


図-9 芦屋・西宮・宝塚・伊丹における建物被害分布と地質図
(赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

- 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、次いで津名町、東浦町に多く、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-10と図-11は今回の地震における道路・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

液状化の分布を図-12に示している。家屋の被害分布とは異って、液状化の分布は神戸市埋立地または海岸線に近い地盤を中心とし、須磨から新淀川付近まで海岸線に沿っている。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

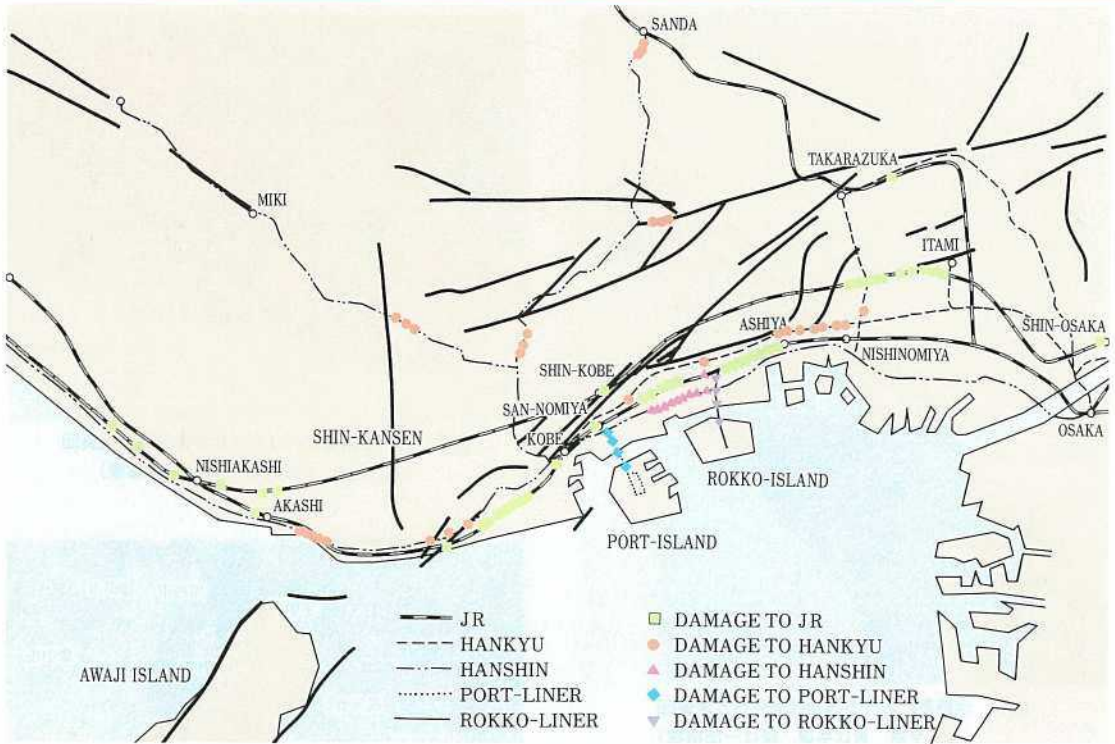


図-10 鉄道施設の被害と断層位置

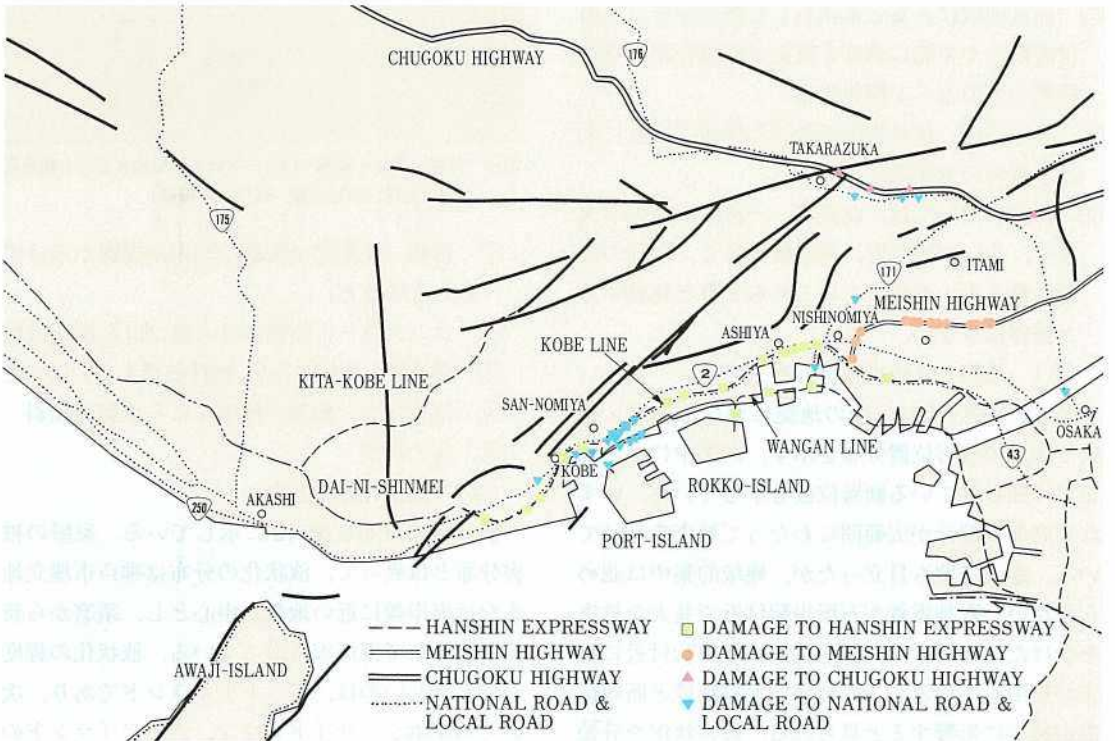


図-11 道路・橋梁被害と断層位置

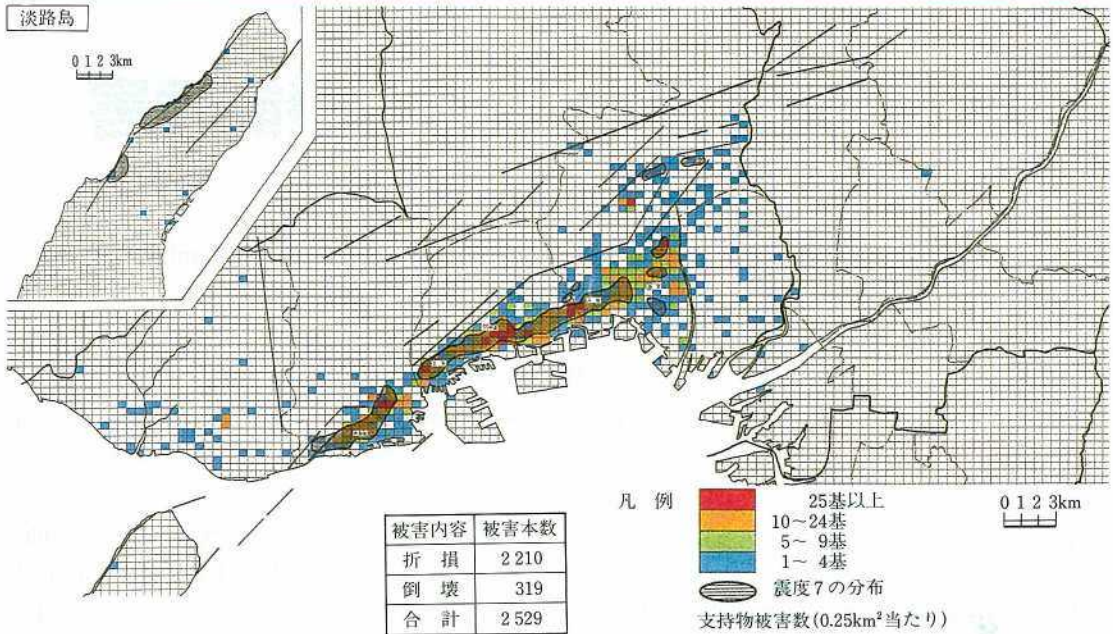


図-12 地盤液状化の分布（大阪府を除く）



図-13 配電設備支持物の被害分布（折損・倒壊）

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したと見られている。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ている。大阪市此花区における淀川の堤防も液状化で崩壊した。液状化によって港湾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-13は電柱など配電設備支持物の折損・倒壊分布図を表している⁶⁾。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、西宮以東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) 兵庫県防災会議：気象庁資料
- 3) 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
- 4) 大成建設(株)、阪神大震災調査速報、1995年2月8日
- 5) 神戸大学工学部土木系教室（代表：高田至郎）：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書第1報、1995年2月、第2報、1995年3月
- 6) 関西電力資料、1995年3月