

阪神大震災・ウォーターフロントの地盤災害

まえがき	1
第1章 神戸の自然と都市化の軌跡	6
ー平成7年兵庫県南部地震発生まで	
1.1 地形・地質・土質の概要	6
1) 地形の概要	6
2) 地質の概要	7
3) 土質の概要	12
1.2 都市基盤形成の軌跡	16
第2章 兵庫県南部地震による神戸市の被災概要	22
2.1 地震の概要	22
2.2 神戸市の被災概要	25
第3章 地盤の液状化と地盤改良	28
3.1 液状化と噴砂現象	28
3.2 液状化の発生要因	29
3.3 埋立地盤の液状化現象	31
1) ポートアイランドの噴砂・噴水現象	31
2) 液状化地点の分布特性	37
3) 埋立材料	40
4) 地震時の過剰間隙水圧の計測値	43
3.4 地盤改良工法とその効果	46
1) 埋立地盤における一般的問題	46
2) 地盤改良工法の概要	48
3) 地盤改良工法の液状化防止効果	52
4) 改良地盤で支持杭を用いない構造物基礎の実施例	54

第4章 ウォーターフロント地域の被害	58
4.1 地震動と神戸港域の被害	58
1) 港湾地域の地震動の概要	58
2) 岸壁の変状	59
3) 橋梁・高架橋の被害	65
4) 地盤の変状	66
4.2 神戸港の被害復旧の例	69
1) その1	69
2) その2	69
3) その3	71
4.3 神戸港以外の埋立地の被害	72
1) 芦屋浜	72
2) 西宮浜	75
3) 甲子園浜	75
4) 鳴尾浜	75
第5章 地震による埋立地盤の強度特性の変化	79
5.1 標準貫入試験のN値による検討	79
1) ポートアイランド（無処理地区）	80
2) ポートアイランド（改良及び無処理地区）	83
3) 六甲アイランド（無処理地区）	84
5.2 規準化N値による検討	84
5.3 地盤の弾性波速度分布による検討	87
あとがき（要約）	94
付録－1 兵庫県の被害地震	99
付録－2 気象庁震度階級	100

阪神大震災・ウォーターフロントの地盤災害

まえがき

平成7年兵庫県南部地震は、阪神・淡路地域を中心に広く周辺地域に被害をもたらしたが、中でも神戸市に壊滅的被害を与えた。この震災は、国内だけでなく国外においても、専門家だけでなく多くの一般の人々の注目を引いた。その最大関心事の1つは都市の安全性、特に都市の基盤施設の耐震性であると思われる。今後、安全都市を構築するための資料として、不十分ではあるが、この震災の苦い経験を書き残しておきたい。

ここでは主として神戸大震災の様相、特にウォーターフロント（臨海地域）の地盤災害について記すが、本書は専門分野の論文あるいは報告の類いではなく、著者自身のノートのつもりである。しかし、若い建設技術者や一般の人々の関心をいただければ幸いである。

忘れもしない平成7年1月17日、いつものように、朝まだき午前5時過ぎに目覚めてまとまりない物思いにあったとき、突如ベッドを突き上げるような衝撃——爆発でも落雷でもないような——続いて激しい振動に、地震だと感じたが、天井の揺れと本棚からの落下物の音の交錯のため起き上がることもできず、揺れの減衰とともにようやく安堵した。後で判明した主要動の20秒程度がその時ほど長く感じられたことはなかった。これが、東灘区の山手、有名な活断層—大月断層と五助橋断層—の狭間に住む著者が感じたところである。

停電の中で、先刻の物音は何であったか、落下したもの・転倒したものがあったのではと感じた。ペンライトを頼りに確かめた後、屋内から外周を見て廻った。幸にも家屋本体に損傷らしい処はなさそうであった。ほどなくして明るくなり、近所の人々が戸外に現れて、家族や家屋には特に異常がないとのことであった。しかし、折から山麓の方より、警笛交じりの騒然とした空気とともに火災らしい煙が上昇し、大惨事が発生したのではと不安になったわけである。

その後次第に判明してきたように、兵庫県南部地震は、関東大震災（1923）

以来、最大の被害を引き起こし、阪神・淡路大震災として国内・国外の人々に衝撃を与えた。以来、早くも3年が経過し、その間に多くの調査・研究が行われた。その成果は学術雑誌、単行本、講演会あるいは新聞、テレビ、ラジオなどで広く報道されてきた。

この地震によって、多くの人的被害をうけるとともに、交通・輸送の途絶、電気・電話・水道・下水道・ガスなどライフラインの寸断など、住民生活・救援活動・復旧作業のほか一般社会活動に及ぼす深刻な影響は計り知れないものがあり、その後遺症は現在もなお続いている。

社会施設に対する被害状況は、住宅・各種ビルの倒壊と火災、鉄道・道路の高架橋桁・橋脚の倒壊と座屈、港湾・河川の岸壁・護岸構造物の転倒と破壊、造成地盤の沈下、斜面崩壊など各種の災害となって地域に大打撃を与えた。

このような大震災が起こった原因は何処にあるだろうか。多くの人々はそれぞれの意見を述べる。まず、ハードの施設の被害については、①近代都市の直下型地震であった、②活断層地帯に接近し、規模（マグニチュード7.2）も十分大きいものであった。③地形・地質によって地震動が増幅され震度6⁺～7を記録した。また、地震直後のソフト的対応について、④情報伝達の不備、⑤救援態勢・消火活動など一連の対策に欠けていた。要するに、地震に対する備えがなかったという。

しかし、神戸市においては、地震対策のための検討とそれに必要な調査は、十分とはいえないまでも従来から実施されてきた。臨海埋立関係に限ってみても、約20年あるいはそれ以上にわたって実施されてきた。著者は過去の被害地震の資料を参考にして神戸においても震度5以上の地震に見舞われることはあるものと予想していた。というのは、1596年（慶長元年）の京都および畿内地震の際には、神戸の震度は5⁺～6⁺の程度であったと思われるからである。しかし、神戸では、地震の心配はない、あるいは地震があるとしても今すぐではなかろう、という妙な風評あるいは迷信があったことも事実である。そんなことから、検討や調査の実績にかかわらず、本格的な対策はとられなかった。そのような中で、埋立地の地盤改良あるいは施設・構造物の耐震設計を実施したところは、被害が全くないか軽少であった。もちろん、従前においては兵庫県南部地震級の地震を想定することはできなかったが、それでも耐震的配慮をすることによって効果があったことが認められた。

震災後、神戸市において策定された復興計画の中で、壊滅的被害を受けた都市基盤の復旧を図り、震災の教訓を生かした災害に強い都市づくりを1つの柱とすることが明記されている。この教訓は入念な被害調査から得られるものと思われるが、復旧工事が優先する現地では、調査工事はままならない状況である。しかし、現在までの資料からみても、各種施設・構造物の被害は地形・地質に関係があるように思われる。言いかえると、地盤災害が構造物被害に結び付いているようである。この意味で地盤災害の実態を検証することは被害特性を解明するうえで重要である。

(以下数枚の写真は地震直後に自宅の近所から撮影したもの)



写真-01 高台より東灘区の青木・魚崎を見る
(95. 1. 17本震災直後、写真-05 まで同じ)



写真-02 高台より住吉・御影・六甲アイランドを見る



写真-03 高台より六甲アイランド・灘区東部を見る



写真-04 高台より中央区・兵庫区方向を見る



写真-05 給水停止のため、千丈谷ダム横の地下水汲みに並んだ長蛇の列

第1章 神戸の自然と都市化の軌跡

—平成7年兵庫県南部地震発生まで

兵庫県南部地震における激震地域のうち、神戸市の表六甲地域は主として六甲山地の南麓に沿う丘陵地・台地と海岸平野で形成されている。その地形・地質・土質などの自然環境と都市基盤形成のあとを眺めてみよう。

1.1 地形・地質・土質の概要

1) 地形の概要

六甲山地は図-1.1¹⁾の接峰面図に示されるように、東六甲から須磨に延びる山嶺が北東から南西にわたり、さらに明石海峡を経て淡路島に続いている。山塊は東に高く西に低い。東部は多数の断層に切られて起伏が著しいが、西部は数段の南北方向の僅かな地形的段差が見られる。



図-1.1 六甲周辺の接峰面図 (Fujita et al.)

図-1.2²⁾の地形図に示すように、六甲山地の南麓は一部を除いて丘陵地に

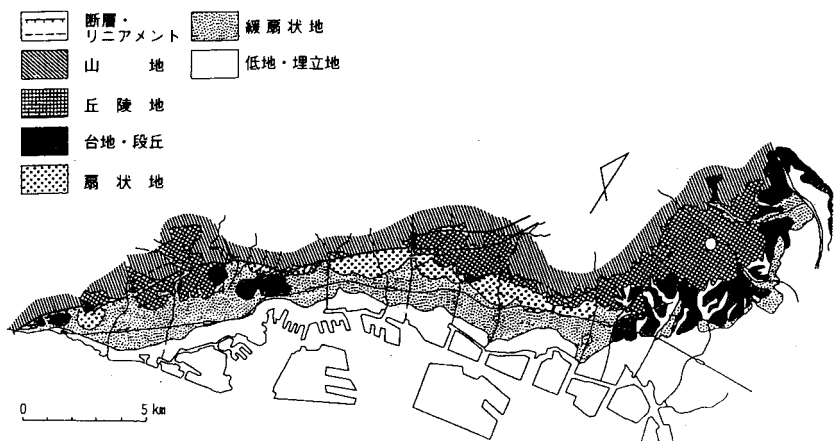


図-1.2 神戸市周辺の地形（関口ほか）

接続し、西宮市仁川～芦屋川、住吉川～石屋川、神戸市街～会下山の各地域において、台地地形が丘陵地にへばりつくように分布している。それ以外は六甲山地から大阪湾に流入する御手洗川・夙川・芦屋川・住吉川・石屋川・都賀川・生田川・新湊川・妙法寺川から流出した碎屑物が山麓扇状地や緩扇状地を形成し、さらに低地・埋立地及び小三角州と複合した海岸平野に続いている。

2) 地質の概要

神戸地域の地質総括表は表-1.1³⁾のようであり、おおむね「基盤岩類」とそれを薄くおおう「被覆層」に大別される。ここで、地質時代名と地層名とは本来区別されているが、建設工学の分野では地層名が用いられてきている。

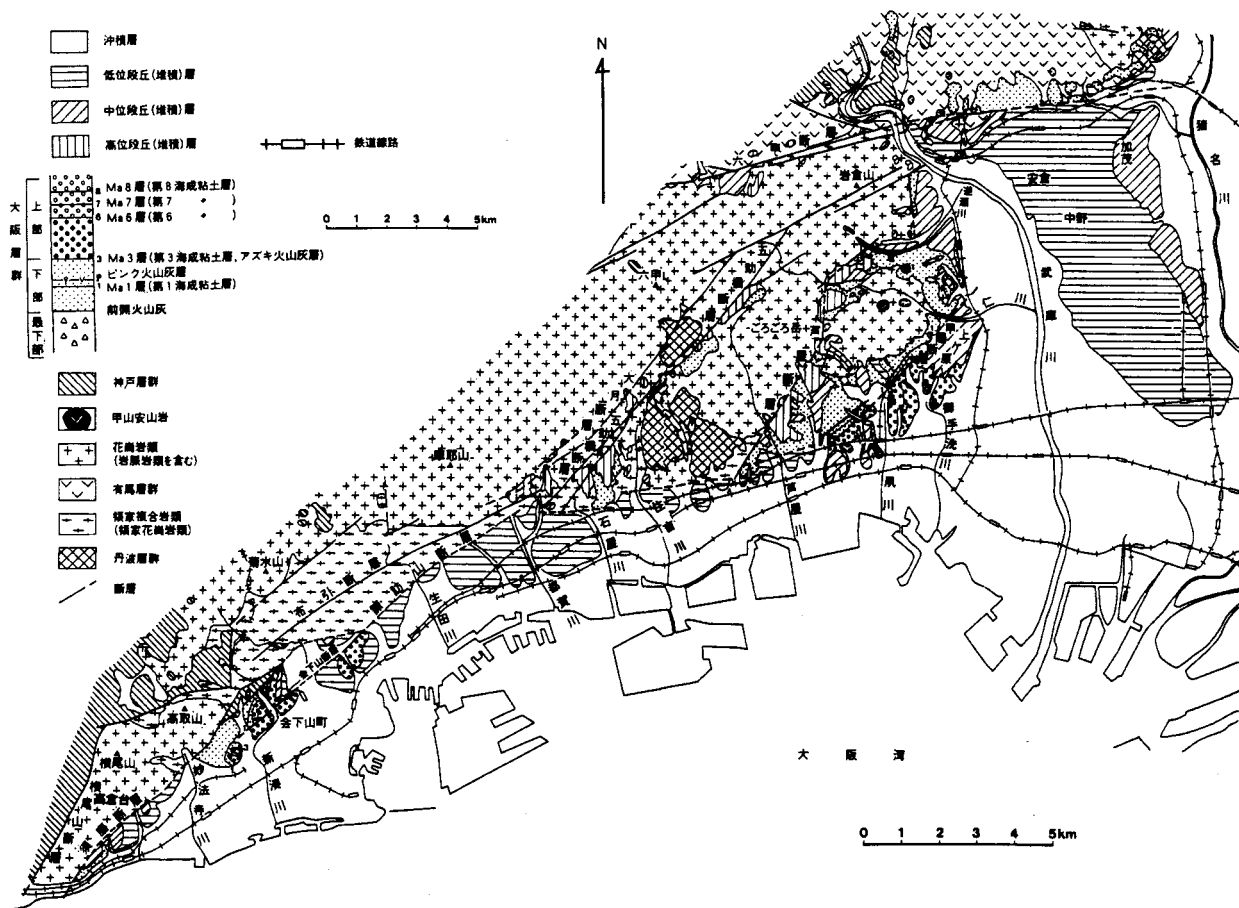
六甲山地及び南麓地域の地質分布は図-1.3⁴⁾のようである。基盤岩類はこの地域に残存する丹波層群、白亜紀の酸性凝灰岩類（有馬層群）および花崗岩類（六甲花崗岩と布引花崗閃緑岩）である。被覆層は古いものから神戸層群（第三紀）、大阪層群（鮮新世～更新世）、段丘堆積物（更新世）および沖積層（完新世）である。

神戸層群は、これまで新第三紀中新世の堆積層といわれてきたが、最近になってそれを覆すような研究成果によって、古第三紀始新世末期～漸新世初期で

表-1.1 神戸地域の地質総括表

地質時代			地質区分	年代 (100万年)	海成 粘土層
新 生 代	第 四 紀	完新世	沖積層	0.01	Ma13
		更新世	低位段丘 上部洪積層 中位段丘	0.20	Ma12
			高位段丘		Ma11
					.
			上部垂層群	1.00	.
			大阪層群 { 中部垂層群		Ma 3
			下部垂層群		⋮
				1.70	Ma 1
	新 第 三 紀	鮮新世			
		中新世			
中 生 代	古 第 三 紀	漸新世	神戸層群 { 上部累層 中部累層 下部累層	24	
		始新世			
		暁新世			
				65	
	白 亜 紀		六甲花崗岩 有馬層群 布引花崗閃緑岩		
			丹波層群	143	
				247	

図-1.3 六甲山地山麓部の地質図 (市原)

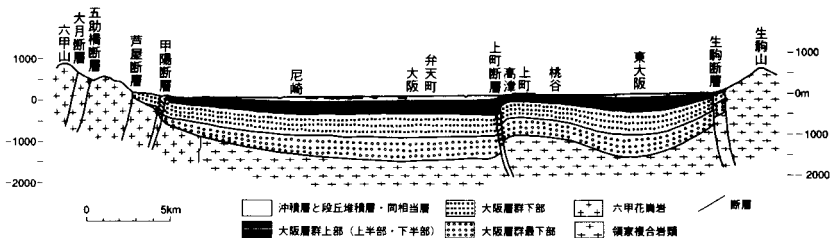


あることがわかったきた⁵⁾。三田盆地から神戸西部および周辺地域で見られるが、海面変動ののち古神戸湖の時代にできた淡水性の堆積物で、砂岩・礫岩・泥岩・凝灰岩などで構成され、所により亜炭の薄層を挟んでいる。従来から神戸層群とされてきた淡路島北部の岩屋累層（海成層）は神戸層群よりも若い地層であることが明らかにされている。

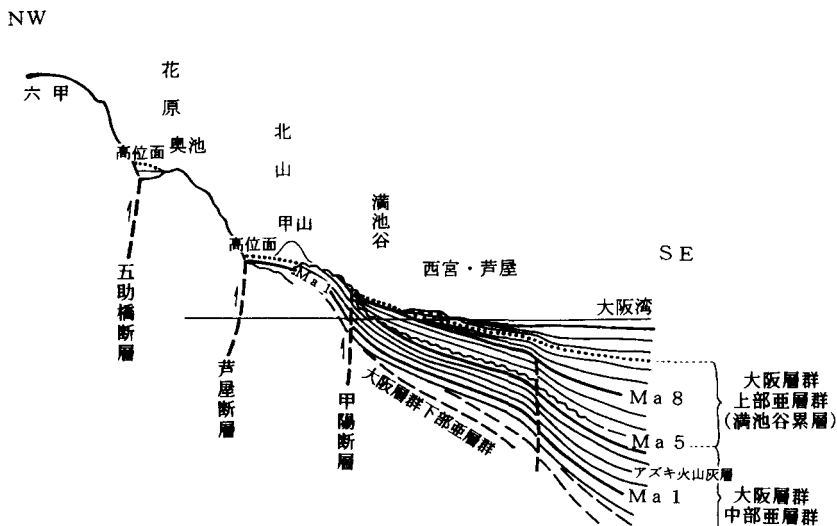
第四紀層は未固結の堆積物を生成した時代の産物である。一般に、平野部の表層を形成するので、建設工学の分野ではその特性の研究は重要である。

その中で最も古い大阪層群は、六甲山南側の市街地から大阪湾域にかけて地下に厚く潜在分布し、その一部が山麓部に露出している。主として砂・礫層であるが、その中に海成粘土層や火山灰層を挟んでいる。大阪湾の海底に堆積している状況は、図－1.4⁶⁾から知ることができる。これは六甲山から尼崎・大阪を経て生駒山までの大阪盆地の断面図で、深い基盤岩の上に大阪層群が直接に厚く覆っていることを示している。大阪層群中の海成粘土層については、大阪港付近の深層ボーリング調査研究（OD－1、深さ907m）によって、まず下位から Ma1, Ma2……Ma12と名付けられた12層が明らかにされ、後に Ma 0, Ma-1が追加された。これらの粘土層は大阪盆地全域でほぼ連続していることも認められている。また、何枚かの火山灰層の発見とその絶対年代の決定によって、100万年間に六甲山側の500m以上の隆起と大阪湾側の500mの沈降があり、1000m以上の垂直変動が生じたという。図－1.5⁷⁾は西宮・芦屋付近の浅層断面図である。図中にみられる山地傾斜部の階段状地形は、隆起による破断面としての断層が不連続的に生じた結果である。

高位段丘堆積物は、断層に沿う地域では花崗岩の巨礫を含む崖錐性の砂礫層



図－1.4 大阪盆地の地質断面図（市原）



図一.15 六甲—大阪湾模式断面図（藤田ほか、兵庫県）

で、大阪層群を不整合に覆い、層厚は20～50mである。中位段丘堆積物は、一般に層厚10m未満の砂礫層からなり、丘陵地の上面および丘陵地を開析する河川に沿って分布し、模式地である西宮市上ヶ原台地にみられる上ヶ原礫層は主にこぶし大の花崗岩の礫から構成されている。低位段丘堆積物は、石屋川から生田川さらに西方にかけて、神戸市街地の主部を占めて発達し、六甲山南麓では主に浅海性の砂層でできている。一般に層厚は数m程度で、標高10mの地点がその末端にあたると考えられている。

この地域には多くの断層が発達しているが、主な活断層として大月断層・布引断層・五助橋断層・渦ヶ森断層・芦屋断層・甲陽断層およびこれらと方向を若干異にする諏訪山断層・須磨断層がある。

今回の地震を契機として、市街地の変位地形の調査から活動した断層を発見したということで、マスメディアを騒がせたものがあつた。それらの中には地表の亀裂あるいはクラックの規則性のみを根拠としたものもあり、その後の周辺の調査から単に盛土と切土の境界であつたり、構造物周囲の埋戻し土であつたという結末に至つたものもあつた。

一方、多くの機関によってボーリング調査・トレンチ調査、その他、弾性波

反射法による地下深部探査も実施され、それらの成果を総合して地下構造と活動断層が解明されつつある。

3) 土質の概要

地質情報を参考にして、土地利用に関係する工学的諸問題—例えば斜面の安定、構造物の設計・施工など—を検討する場合、表層地盤に関わる物理的・力学的性質を知る必要がある。六甲山の南麓においては地盤を構成する材料は、大部分は六甲花崗岩および布引花崗閃緑岩（領家花崗岩類）を起源とするもので、ほかに大阪層群と段丘層を構成する土質であると考えられる。それ以外のものとして盛土・埋立土・建設残土などの搬入土があるが構成比は小さいであろう。従って、風化花崗岩やまさ土（真砂土）、あるいは土石流によって運ばれた砂質土や細粒土などの特性を知る必要がある。

第四紀において、気象の変化による大きい海面変動があった。約6万年前から1万5千年前までにわたって地球は寒冷な気候下にあり、この気候はウルム氷期といわれたが、現在は最終氷期と名付けられている。1万5千年前に始まる温暖化により地球の北部をおおっていた氷床は後退し、海域は拡がりとともに海面は上昇（海進）をはじめ、6千年前にはほぼ現在の高さまで上昇してきた。日本列島の周辺海域では、斎藤によって仙台湾沖の調査が行われ、図-1.6⁸⁾に示す海面変動曲線が得られた。これから1万3千年前から6千年前までにわたって海面はほぼ等速度で上昇したことが明らかにされている。従来から縄文海進、有楽町海進などは1万年以後の海面変動をさしていたが、上記のように数千年さかのぼることになる。約6,000年前の海面の最高位は現在の海面よりいくらか高く、その後の小さい変動を経て現在に至っている。神戸における縄文海岸線は図-1.7⁹⁾のように推定されている。

海岸に近い平地部の表層は山地から流下する河川による運積土で、花崗岩を母岩とする破碎岩やまさ土のような粗粒土が多い。地盤の土質特性は、材料の成因、地盤形成の履歴などによって地点ごとに変化する。砂質土については密度および含水状態により、粘性土については構成する粘土鉱物および堆積後の圧密履歴などによって力学的性質は変化する。これらに関しては、土質工学または地盤工学の分野において多くの研究がある。

最後に神戸港の土質について記しておきたい。神戸港の発展に伴って、港湾

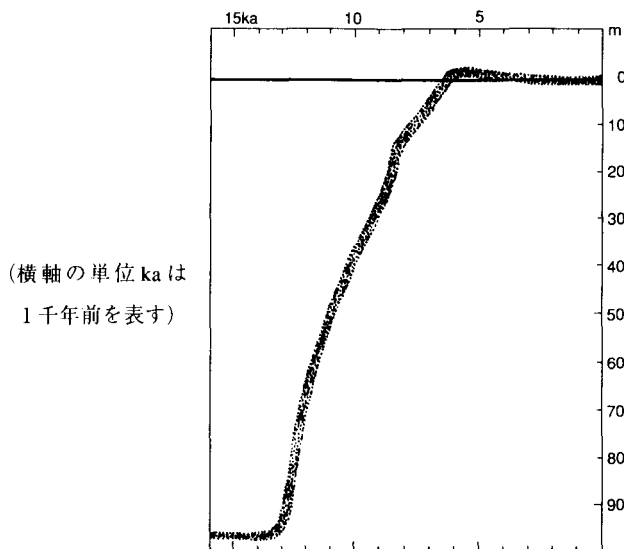


図-1.6 海水準変動カーブ (Saito)

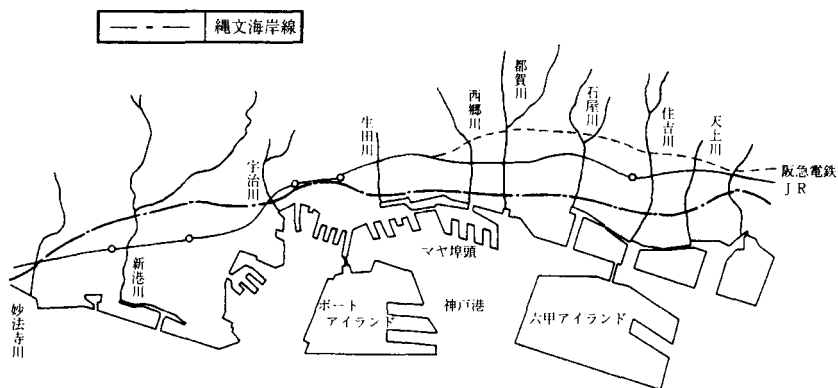


図-1.7 縄文海岸線 (岩見)

地域の施設整備・増設のために埋立工事が実施された。図-1.8¹⁰⁾は1980年代の調査位置の1例を示している。その後、六甲アイランドにおける調査結果の1例は図-1.8の右側に示されている。その地盤構成を見ると、海底面は沖積

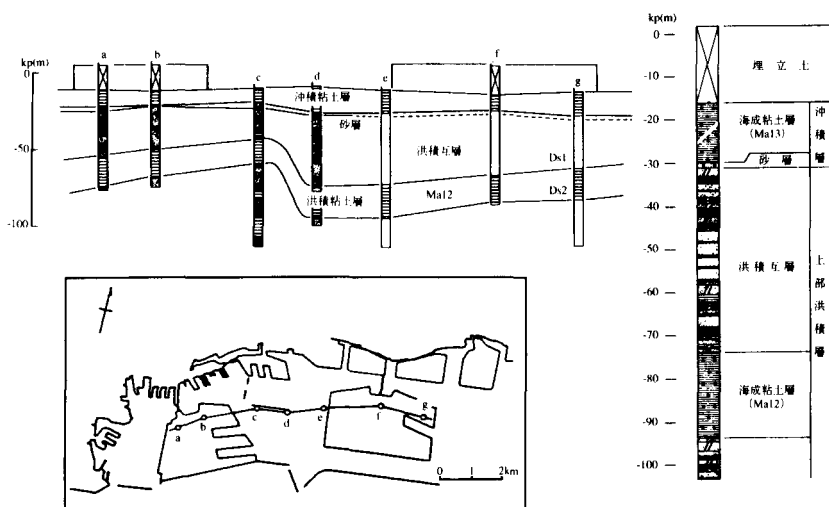


図-1.8 神戸港の地盤断面図

粘土・沖積砂層で、その下位に洪積砂礫層・洪積粘土と続いているが、この地層断面は港内の他の調査地点にも共通している。

ポートアイランド、六甲アイランドに引き続いて、ポートアイランド第2期の建設の過程で調査ボーリング KH-1 が実施された。この調査は試錐工・サンプリング・原位置試験・地質試験・土質試験を総合した基準ボーリングに位置付けられるものである。得られた層序区分は図-1.9¹¹⁾のようである。この調査から、従来まで神戸港においては明らかでなかった中期更新世の洪積粘土 Ma 9 層下限までの各層について、堆積環境の変遷、他地域との地層対比に役立てる資料、地盤工学的特性などの知見が得られた。さらに、ボーリング孔(本孔および2副孔)を利用して沈下および間隙水圧の観測が開始された。

図-1.10¹²⁾は大阪湾沿岸部の KH-1 から関西国際空港までの地層対比図である。対比の指標は各海成粘土層である。大阪港の OD-1 においては、Ma 11(2)層および Ma11(3)層は欠如するか、あるいは薄層の状態であろう。沖積層の上限から Ma 9 層下限までの層厚を比較すると、KH-1 では223m であって、関西国際空港 (57-6) の約2.25倍、OD-1 の約1.35倍、甲子園沖の1.16倍であり、神戸沖に近づくにつれて各海成粘土層の伏在深度が大きくなる傾

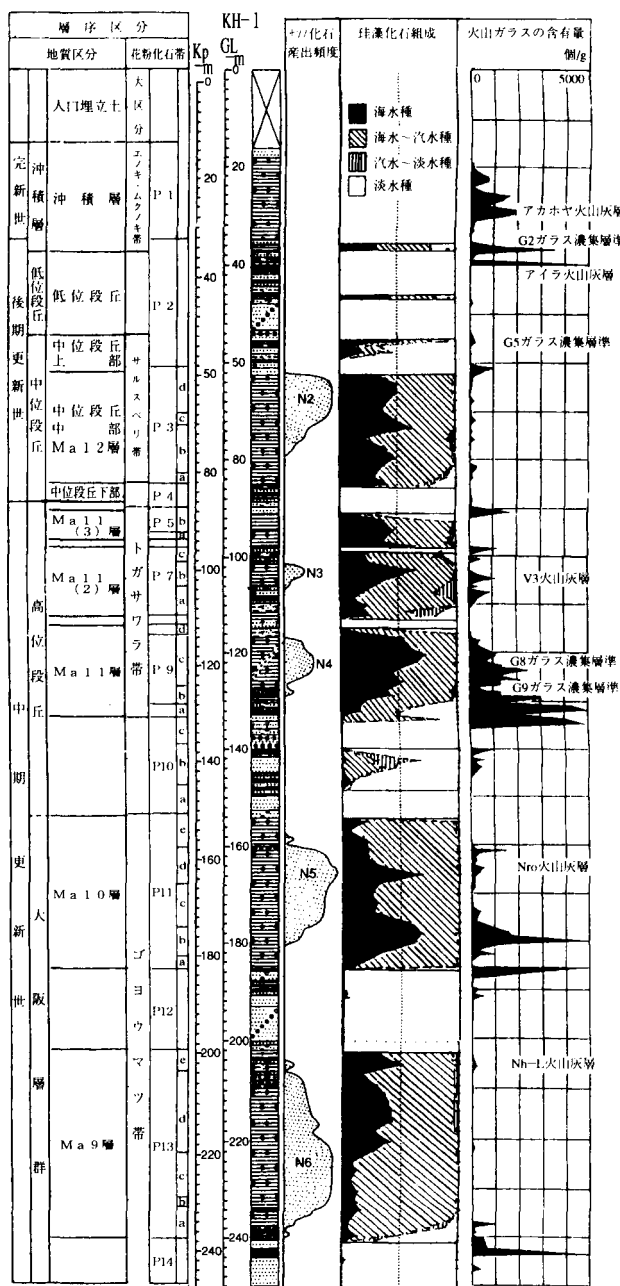
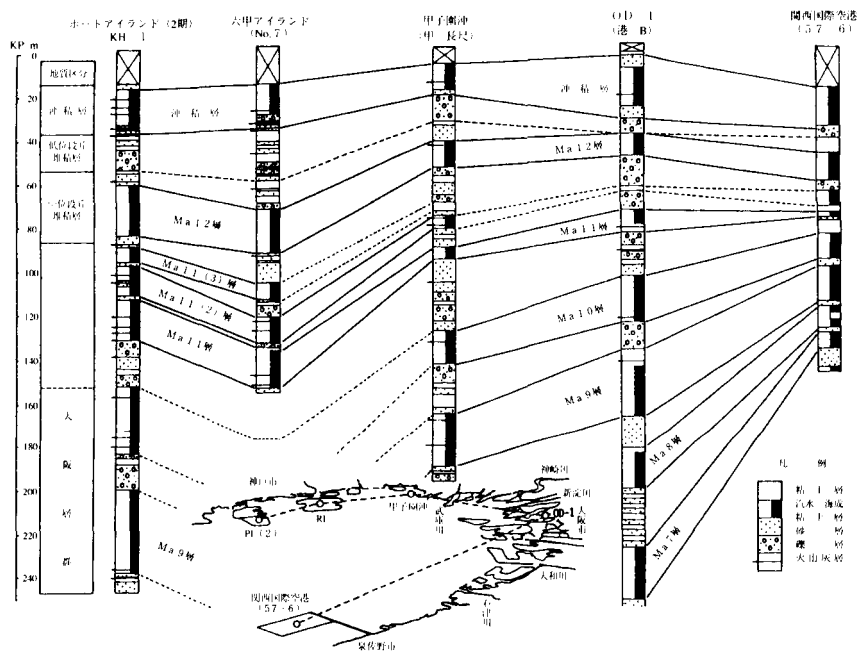


図-1.9 KH-1の層序・堆積環境



図一1.10 大阪湾沿岸部の地層対比図

向がみられる。特に、Ma12層を含む中位段丘堆積層と低位段丘堆積層から成る後期更新世において、神戸沖の造盆地運動が著しかったことが認められる。

1.2 都市基盤形成の軌跡

神戸は古くより対宋貿易における大和田の泊，対明貿易における兵庫津など、大陸との貿易交通の門戸として栄え、1868年（1月1日、旧暦慶応3年12月7日）の兵庫開港当時の人口は約2万数千人、それから約20年後の1889年（明治22年）の市政施行の際は13万人と急激な人口増加がおこっている。以後、海運・貿易・商工業都市として次第に発展し、市域の西・東・北への拡大を伴いながら、国際交流・文化・観光の面での近代化も著しく、1993年（平成5年）には人口が150万人を突破した。

次の図一1.11¹³⁾は、江戸時代末期の表六甲地域の様子を想像した絵図の一部

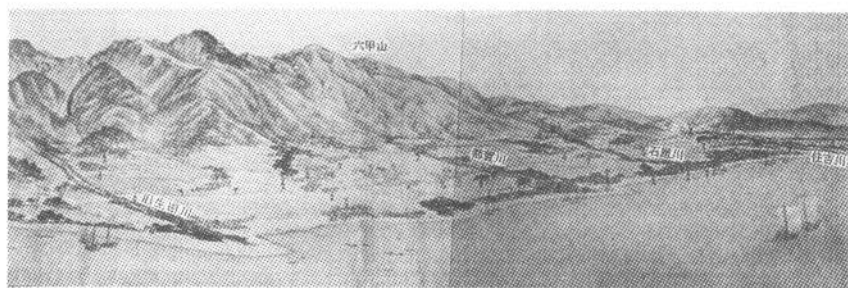


図-1.11 江戸時代末期の表六甲地域の様子（絵図）

で、現在の中央区（一部）・灘区・東灘区からはるか芦屋市を見渡している。この図によれば、六甲山は荒廃した秃げ山で、山麓地域は六甲山からの流失土砂による扇状地を形成し、急傾斜から緩傾斜へと移りながら海岸の砂浜に続いている。地域内には西より旧生田川・都賀川・石屋川さらに住吉川が望めるが、あちこちに離散した村落あるいは集落を除いて一面に農耕地が広がっている。六甲山の荒廃の様子は識者の指摘するところであった。その1例として、植物学の研究を志して上京途次にあった牧野富太郎が、1881年（明治14年）4月に船上から六甲山を眺めて、はじめは雪が積もっているのかと思ったと記している。

図-1.12¹⁴⁾は1885年（明治18年）頃の地形図で、図-1.11と比較してみると、生田川の付け替え、鉄道・道路の建設などが認められる。1889年（明治22年）には市制施行のほか、官営・東海道線（東京新橋－神戸）が全通、翌年私営・山陽鉄道（神戸－岡山）が開通している。1900年には第1期水道工事－布引貯水池が完成し、1905年には旧湊川整地・新開地誕生、阪神電鉄（岩屋－大阪）開通、1907年には下水道工事や第1期港湾修築工事が着工された。1913年（大正2年）には第1突堤（現4突）・第4突堤（現1突）が完成、以後、市街電鉄・電灯・電力事業が市営になり、1920年には阪神急行電鉄（上筒井－梅田）が開通し、神戸海洋气象台が設立された。関東大震災があった1923年（大正12年）に神戸港が重要港湾に指定され、1926年（大正15年、昭和元年）には阪神国道工事が完成している。

明治以来、自治体による海面埋立事業が行われてきたが、神戸市が港湾施設



図-1.12 明治18年頃の表六甲地形図

整備を含めた本格的ディベロッパーとして踏み出した第一歩は、昭和28年から着手した第1期海面埋立事業であった。この事業の特徴は、六甲山系より採取した用土を、市中の一般交通に悪影響を与えることなく、地下のベルトコンベヤーあるいは川中道路を利用して埋立地まで運搬したこと、一方において土取跡地を住宅団地とする方式を採用したことである。

この事業に続いて第2期事業としてポートアイランド計画が具体化し、港湾機能と都市機能を備えた人工島が建設され、さらに六甲アイランド・ポートアイランド（第2期）の建設整備が進められている。

表-1.2¹⁵⁾は海面埋立事業の総括表である。この事業の進捗とともに港湾施設その他が整備されたが、その変革は図-1.13¹⁶⁾にみることができる。また大規模埋立のポートアイランドおよび六甲アイランドの用途別地区と構成比は表-1.3¹⁵⁾のようである。

都市基盤の形成過程において多くの障害に遭遇した。以上でも述べたように、江戸末期までに荒廃した六甲山は降雨に際して侵食され、山麓地域に土石流・洪水・破堤の被害を与えてきた。現在の住吉川や石屋川の河床が格別に高いの

表-1.2 海面埋立事業總括表

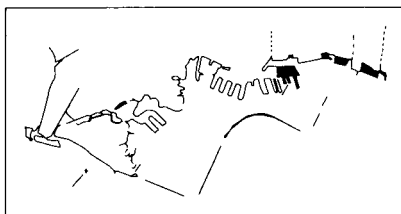
● 1 期事業

地 区 名	埋立面積 (ha)	埋立土量(万 m ³)	土砂源	護岸延長 (km)	施行年度	総工事費(億円)	
西部海面埋立	第 1 工区	38	286	高倉山	3.6	昭和32～42	29
	第 2 工区	19	225	〃	1.7	昭和38～43	16
	第 3 工区	47	379	高尾山	2.7	昭和35～41	44
	小 計	104	890	—	8.0	—	89
東部海面埋立	第 1 工区	114	1,081	鶴甲山	5.8	昭和28～42	56
	第 2 工区	88	1,084	〃	5.4	昭和35～43	70
	第 3 工区	116	1,480	渦 森	6.3	昭和36～43	101
	第 4 工区	121	1,727	高倉山	5.8	昭和39～45	113
	小 計	439	5,372	—	23.3	—	340
計	543	6,262	—	31.3	—	429	

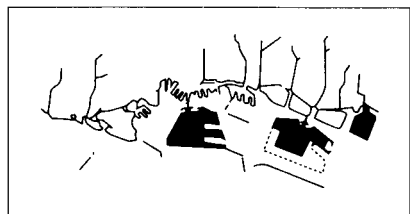
● 2 期事業

ポートアイランド	436	8,000	高倉・横尾	13.9	昭和 41～55	2,300
六甲アイランド	580	12,000	横尾・名谷 流通・学園	12.5	昭和 47～52	5,400
ポートアイランド (第 2 期)	390	9,200	流通・学園 複合産業	8.3	昭和 61～68	5,200
計	1,406	29,200	—	34.7	—	12,900

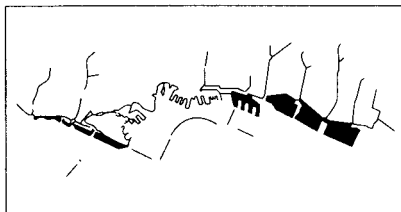
(註) 土砂源の地質 ○ : 神戸層群、□ : 神戸層群+大阪層群
 〃 : 花崗岩



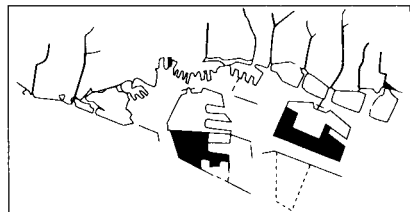
昭和34年 (1959年)



昭和58年 (1983年)



昭和42年 (1967年)



平成 8年 (1996年)

図-1.13 神戸港の変遷

表一.1.3 大型埋立地の用途別面積

ボートアイランド

用 途	面積(ha)	構成比(%)
公 園 ・ 緑 地	24	5.5
コミュニティスクエア	23	5.3
インターナショナルスクエア	32	7.3
市街地サービス地区	9	2.1
流通業務地区	19	4.3
加工サービス地区	5	1.2
公共公益施設用地	8	1.8
埠 頭 用 地	137	31.5
港湾機能用地	96	22.0
道路護岸等用地	83	19.0
合 計	436	100.0

六甲アイランド

用 途	面積(ha)	構成比(%)
埠 頭 用 地	161	27.7
港湾関連用地	138	23.8
産業基盤用地・都市再開発用地	44	7.6
都市機能用地	131	22.6
緑 地	36	6.2
道 路 用 地	70	12.1
合 計	580	100.0

はこれを物語っている。明治の末期近くより植林計画の制定と砂防工事の着工があり、緑の六甲山が蘇ったのは大正末期であった。

昭和の年代に入って、太平洋戦争（1941―45）の末期における3回にわたる大空襲によって壊滅的打撃を受けた。また自然災害である室戸台風災害（1934, 昭和9年）、阪神大水害（1938, 昭和13年）、梅雨前線降雨災害および第2室戸台風災害（1961, 昭和36年）、集中豪雨災害（1967, 昭和42年）などを経験した。これらの苦い経験から、水害対策が重要な課題になってきた。

一方、地震については関西における歴史的被害地震は少なくないが、神戸に与えた被害の記録は極めて少ない（付録－1）。そのうち最も大きい影響を与えたのは京都および畿内の地震（伏見地震、1596, 旧慶長元年）であったと思われる。文献¹⁷⁾には、「大阪・神戸でも潰家きわめて多く、有馬温泉で湯屋・民家破壊、熱泉に变ず、須磨寺の本堂など崩れ、兵庫で一軒残らず崩れ出火という。」と記されている。また別の文献¹⁸⁾において、ほぼ同様の記述のほか、「兵庫県の在所が出火し、ことごとく燃え、死者は数知れず。」さらに「兵庫では震災をこうむり、津波も襲って、ほとんど全滅した。」とある。当時の建物・施設などは簡素であったと思われるが、壊滅的な被害をうけている。兵庫

よりも京都の被害が大きかったことを併せ考えると、この地震で放出された巨大エネルギーに驚かされる。しかし、大地震の起こる頻度は極めて低いためであらうか、防災検討において、地震対策よりも水害対策が重視されてきたことは否定できない。

(第1章) 参考文献

- 1) Huzita,K., Kasama,T., Hirano,M., Shinoda,M. and Tanaka,M.: Geology and Geomorphology of the Rokko Area, Kinki District, Japan – with special reference to Quarternary techtonics – Jour. Geosci. Osaka City Univ., 14, pp.71–124, 1971.
- 2) 関口辰夫・堀野政勝ほか：兵庫県南部地震の災害現況図と地形特性について，1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会記録，日本第四紀学会，pp.53–54，1995.
- 3) 藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質，地質調査所，1983. および兵庫県建設技術センター：兵庫の地質，地質図凡例，1996. を参照。
- 4) 市原 実：大阪層群，創元社，pp.42–43，1993. (一部加筆)
- 5) 兵庫県建設技術センター：兵庫の地質，地質図解説書・地質編，pp.172–173，1996.
- 6) 上記4)，p.340.
- 7) 藤田和夫・笠間太郎：大阪北西部の地質，地質調査所，p.74，1982. (一部加筆)
- 8) Saito Y.: Fundamental study of sequence stratigraphy of the latest Pleistocene–Holocene sequence on the Pacific side of Northeast Japan. Doctoral theses, Kyushu Univ. 1993.
- 9) 岩見義男：神戸のまちと地盤，p.68，1987.
- 10) Tanimoto, K.: Performance of improved ground during the 1995 South Hyogo Earthquake, 建設工学研究所報告，38–B, 1–12，1996.
- 11) 谷本喜一・竹山征治：ポートアイランド（第2期）の地質構成，関西地盤の地質構成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. 113–118，1992.
- 12) 谷本喜一・竹山征治・吉井 真：ポートアイランド（第2期）の地質構成，第28回土質工学会研究発表会論文集，pp. 159–162，1993.
- 13) 若林秀岳：武庫連山海陸古覧，神戸市中央図書館所蔵
- 14) 参謀本部陸軍部測量局
- 15) 神戸市開発局事業ガイドー1993版（一部加筆）.
- 16) 神戸市港湾整備局；神戸港大観ー平成8年港湾統計，pp. 1–349，1995.
- 17) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，pp. 44–45，1996.
- 18) 尾池和夫：史料による近畿中部の地震と震災の調査，阪神・淡路大震災調査報告書，地盤工学会，pp. 22–23. 1996.

第2章 兵庫県南部地震による神戸市の被災状況

2.1 地震の概要

平成7年（1995年）1月17日未明に阪神・淡路地域を襲った兵庫県南部地震は、近代的都市の直下型地震で、概要は次のとおりである。

- * 発生日時 1995年01月17日 午前05時46分
- * 震 源 淡路島（北緯34°36′，東経135°03′）
- * 震源深さ 約14km
- * 規 模 マグニチュード7.2
- * 震 度 震度6（一部地域で震度7）
- * 特 徴 横揺れと縦揺れが同時に発生

この地震における各地の震度は図-2.1¹⁾のように、広域的な影響がみられる。特筆されるのは、図-2.2²⁾に示される帯状領域において震度7という激烈な地震動が発生したことである。

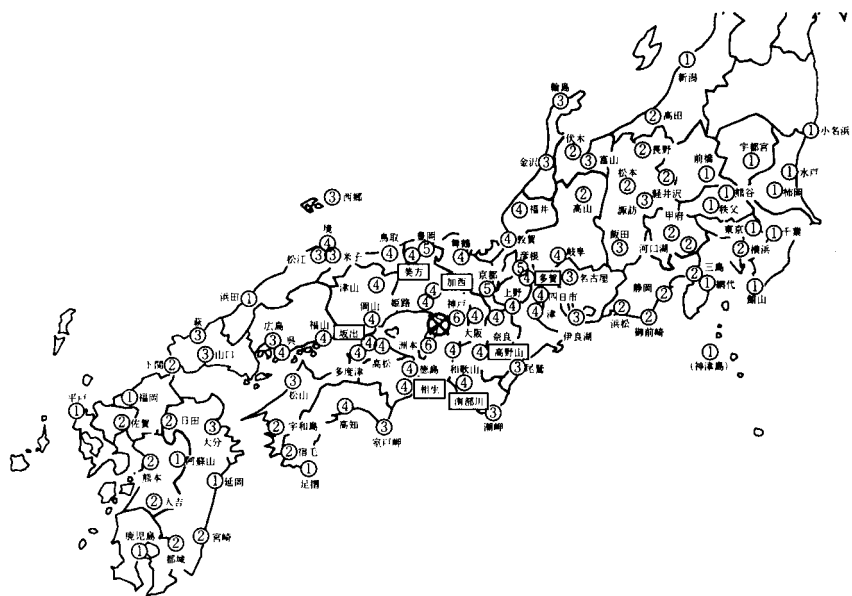


図-2.1 各地の震度

この地震における地震動はどの程度であったか。図-2.3³⁾は大阪湾周辺の強震計観測点と最大水平加速度 (gal, cm/sec^2) , 一部は最大水平速度 (cm/sec) の分布を示している。次に、図-2.4⁴⁾は岩盤上の記録を除く最大水平加速度の広域的な分布を示し、併せて概略的な加速度一定のコンターを記入している。

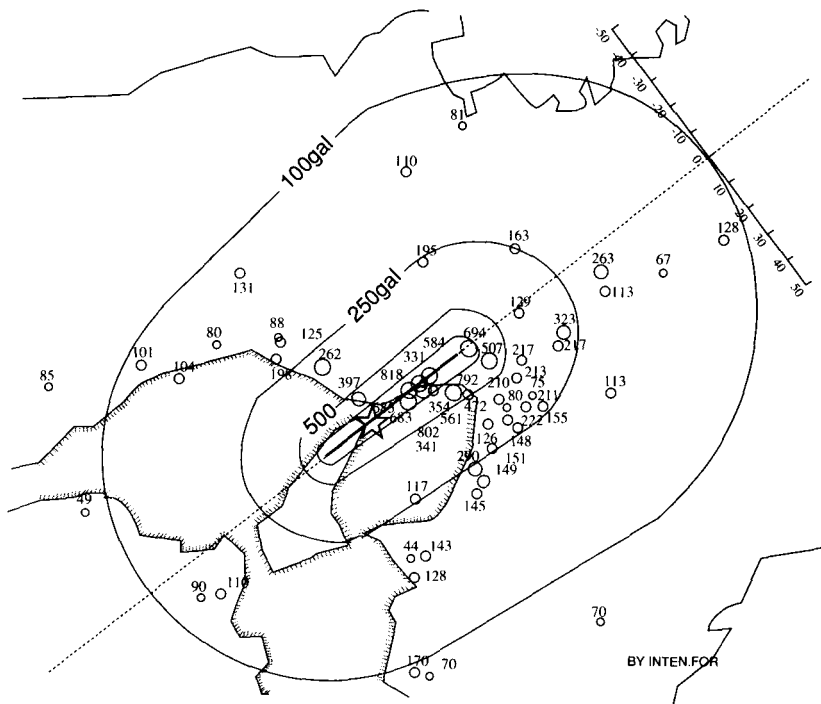


図-2.4 震源域近傍の最大水平加速度値分布

以上の図によれば、地震波動の伝播方向と断層破壊の伝播方向とが一致していることが認められる。さらに断層破壊進行領域における地震動の大きさについて検討が加えられた。その結果、地震動の断層直交方向／平行方向(ほぼNSとEWに相当)による振幅に違いが認められた。その比率は6つの観測点を平均して、加速度で1.58倍、速度で2.01倍であった。このように、震源域の地震動は断層直交方向の成分が卓越していて、構造物被害に方向性を与える可能性があることを示唆している。

本震に続いて数多くの余震が発生した。大きい余震は、本震で弱化した構造物に大きい被害を与える恐れがある。余震活動の推移に注目していた観測結果によれば、1月25日にM4.3、2月18日に最大余震M4.9が発生している。これらを含めて市民に不安を与えた余震は少なくなく、最大震度4の余震が10回、最大震度3の余震が42回あった。それらが構造物や斜面の亀裂を拡大し、被害を増幅したことも間違いない。

2.2 神戸市の被災概要

この地震は多くの人命を奪っただけでなく、建築物・都市基盤施設などの破壊と復旧の過程で市民生活や産業に未曾有の大打撃を与えた。人的被害と都市基盤施設の被害の概要はつぎのとおりである。

① 人的被害

平成9年12月現在：

死亡者：4,567人，行方不明者：1人，

負傷者：14,679人

なお、区・別の死亡者数とその人口比は

東灘区1,470人（0.65%），灘区934人（0.63%），

長田区 917人（0.51%）の順になっている。

『平成9年7月現在において兵庫県全体では，

死亡者：6,394人，行方不明者：2人，

負傷者：40,071人である。』

ピーク時：

避難者：236,900人（避難所：599箇所）

② 建築物の被害

全壊：67,421棟，半壊：55,145棟

全焼：6,975棟，半焼および部分焼：341棟

③ ライフラインの被害

電 気 市内全域停止

電 話 約25%停止

水 道 ほぼ全域停止

工業用水道 全域停止

ガ ス 約80%停止
下水道 管渠・ポンプ場破損,処理場の機能停止(3箇所)
クリーンセンター 全センターの運転停止

④ 交通ネットワークの被害

阪神高速道路3号神戸線・同5号湾岸線の倒壊
路面陥没・高架構造物の落下・建築物倒壊による道路普通
鉄道の寸断
海上都市へのアクセスの寸断
港湾施設がほとんど全て使用不能・港湾幹線道路の寸断

⑤ その他

埋立地の液状化と地盤変状
河川護岸,小橋梁,接続斜面の崩壊
治山・砂防など緊急復旧を要するもの多数
公園の擁壁崩壊・舗装陥没・地割れなど

以上のような各種施設の全面的な被害は,直下型地震の規模の大きさと地震動の激しさによることはいうまでもない。僅か20秒間で,写真-2.1,2.2にみる想像を絶する破壊を与えた地震のエネルギーに今更ながら驚かされる。

(第2章)参考文献

- 1) 気象庁:災害時地震・津波速報,平成7年(1995年)兵庫県南部地震,1995.
- 2) 気象庁:地震概況,日本地震学会ニュースレター,Vol.6, No.6, p.25, 1995.
- 3) 阪神・淡路大震災調査報告書,第4章液状化と地盤変状,地盤工学会, p.189, 1996.
- 4) 上記3), 第3章地震と地震動,強震記録(岩崎好規), p.111, 1996.



写真-2.1 東灘区深江において延長635mにわたって転倒した高速道路
(神戸新聞, 95. 2. 23)

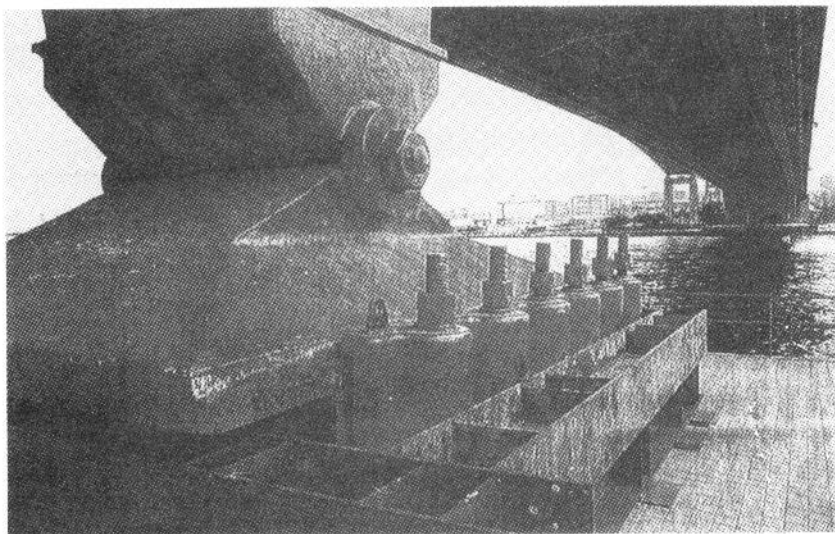


写真-2.2 橋体の可動支承部が北側(手前)へ60cmズレた神戸大橋
(神戸新聞, 95. 2. 26)