

2. 地震被害調査

2.1 地震と地震動

2.1.1 平成7年兵庫県南部地震の概要

気象庁発表による平成7年兵庫県南部地震の諸元は以下の通りである。

発震時：1995年1月17日 5時46分52秒

震央：淡路島 北緯34°36' 東経135°03'

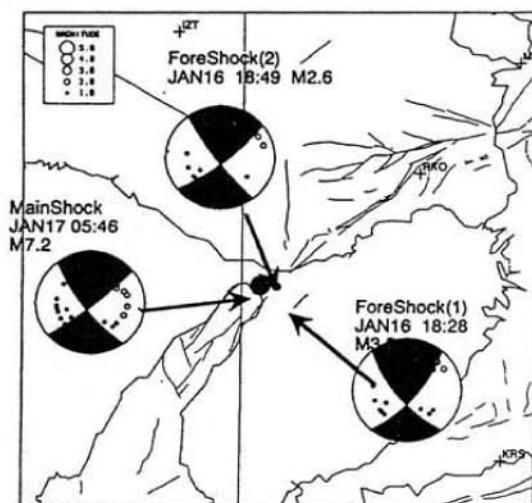
深さ：14km

マグニチュード：7.2

京都大学防災研究所によって特定された本震と前震の震源メカニズム解は図2.1.1のようになっている¹⁾。また、気象庁の長周期地震計による観測結果によれば、今回の地震メカニズムの全体像は図2.1.2のようであり、地震の断層形式は右横ずれ型である²⁾。横浜市立大学の菊池教授³⁾は、世界各地で観測された地震記録から今回の断層のずれは、3つの断層破壊が連続的に起きたものであると解析している(図2.1.3)。

各地の震度を図2.1.4に示す²⁾が、関西を中心に北は新潟から南は鹿児島まで広範な地域で地震の揺れを感じている。今回の地震により多くの家屋が損傷したが、地震直後の気象庁の現地調査により、震度Ⅶの地域が新たに特定された。その地域を図2.1.5に示す²⁾。なお、震度Ⅶ(激震)とは、「家屋の倒壊が30%以上におよび、山くずれ、地割れ、断層などを生じる」程度の地震の揺れとして定義されている。震度Ⅶが判定されたのは気象庁震度階が定義されて以来初めてのことである。

兵庫県南部地震は活断層による直下型地震であったことが大きな特徴であるが、近畿・中国・四国地域において判明している活断層をマップした図を図2.1.6に示す⁴⁾。



黒が引張り、白が圧縮領域

図2.1.1
1995年兵庫県南部地震の本震と前震の震源メカニズム
(DPRI News Letter¹⁾より転載)

本震発生後、多くの余震が観測されているが、図2.1.7にその余震分布を示す²⁾。余震の発生域は地震の震源域を示しているが、余震分布の図から、震源域は淡路島北部から神戸市をぬけるほぼ50kmの範囲に及んでいることがわかる。

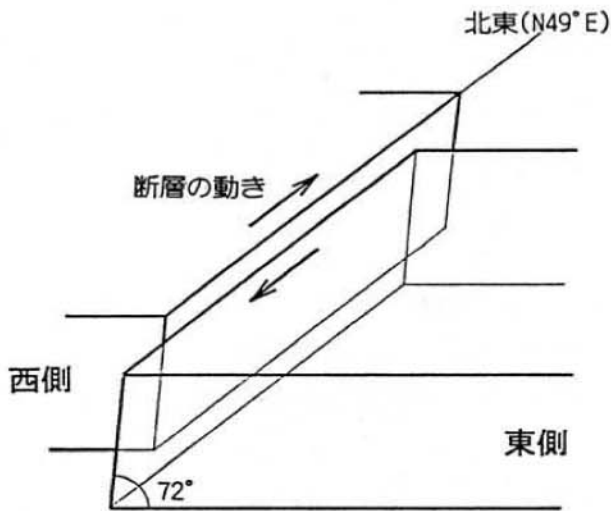


図2.1.2 気象庁長周期地震計の解析結果による断層の模式図（気象²⁾から転載）

兵庫県南部地震の発生メカニズム。黒丸が破壊の開始点（淡路島北端付近）。下の図はモーメント速度関数と呼ばれるもので、破壊の大きさの時間経過を示す

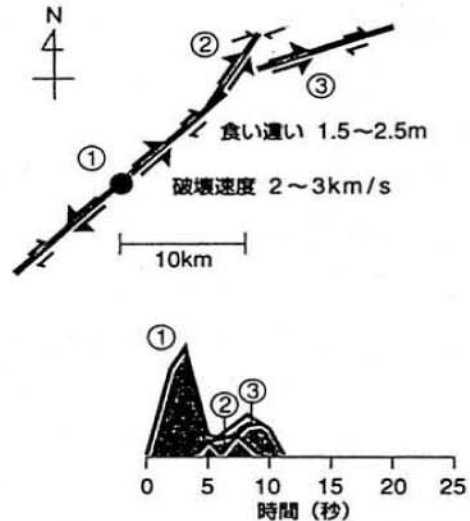


図2.1.3 横浜市立大学菊池教授による断層領域における破壊の進行様式（科学朝日³⁾から転載）

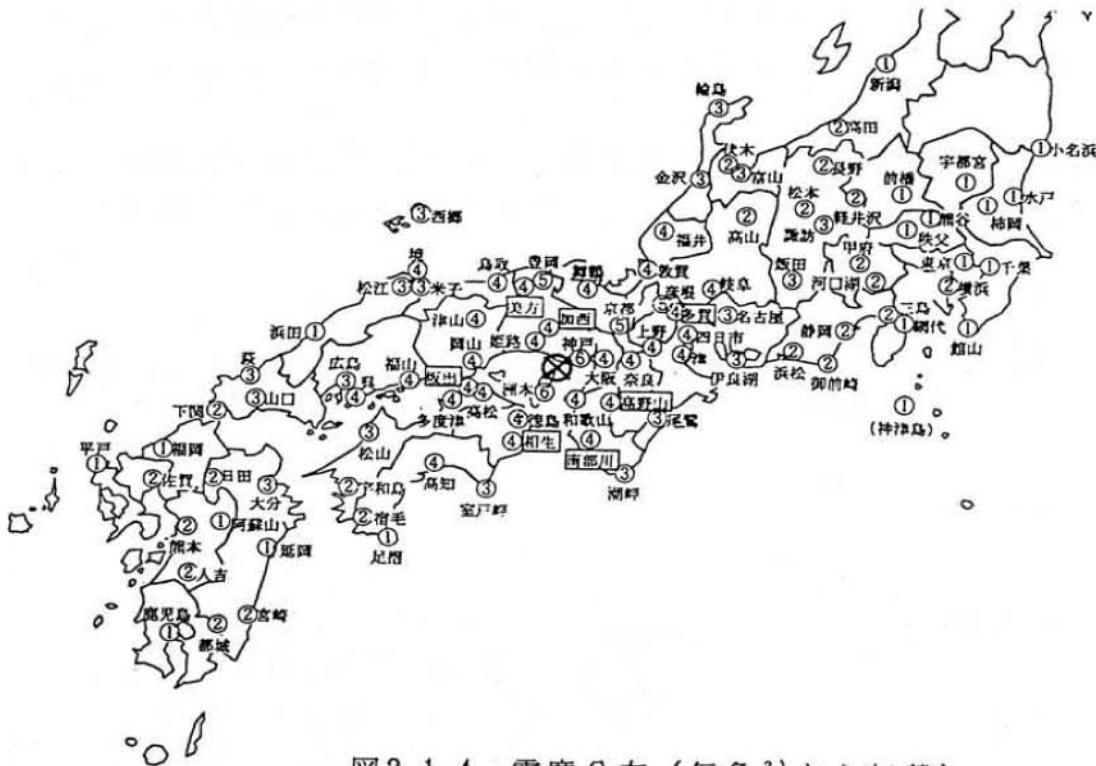


図2.1.4 震度分布（気象²⁾から転載）

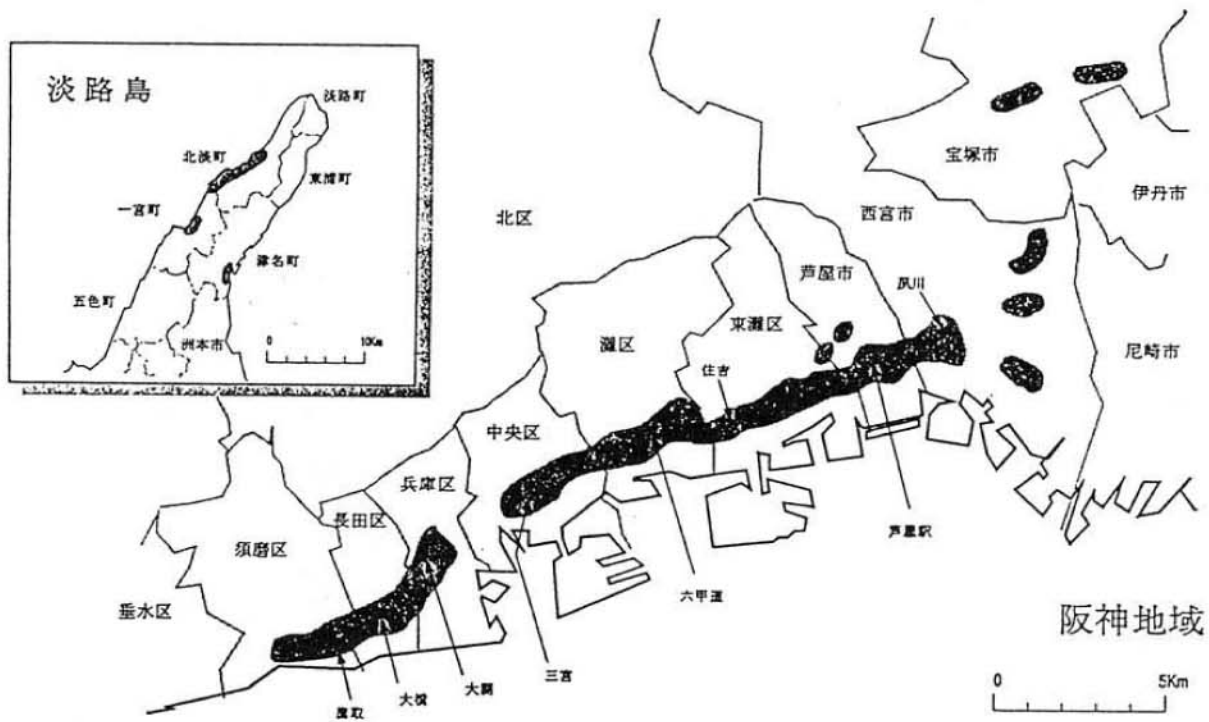


図2.1.5 震度Ⅶの分布（気象²⁾から転載）

近畿・中四国の活断層と1961年1月～1994年9月の地震分布。明石海峡から神戸付近の地震活動空白域では地震活動は少なかった



図2.1.6 近畿・中国・四国地方の活断層と1961年1月～1994年9月の震央分布（科学朝日⁴⁾から転載）

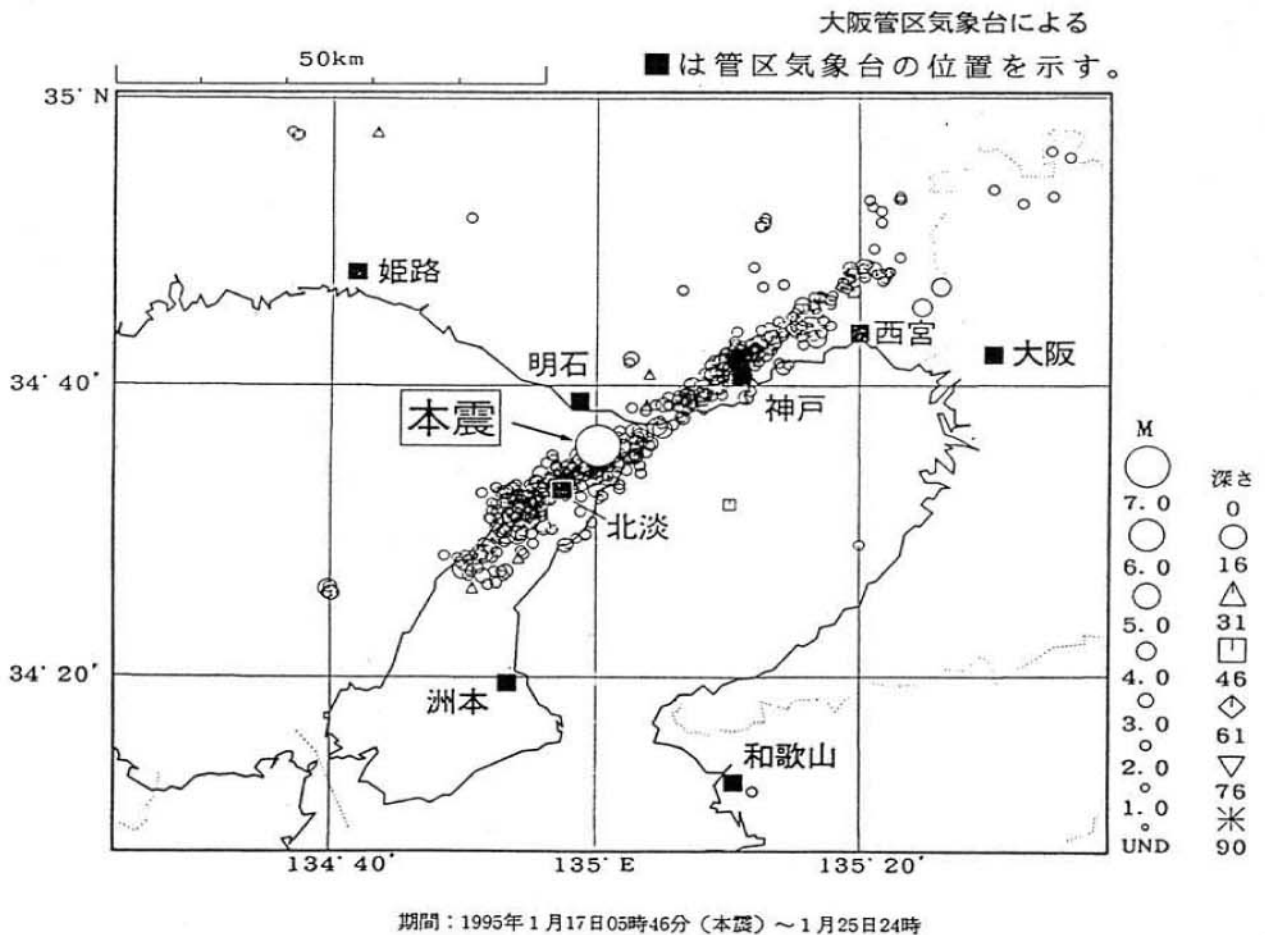


図2.1.7 本震および余震の震央分布（気象²⁾から転載）

2.1.2 地震動

兵庫県南部地震の地震記録が各機関により得られているが、図2.1.8に地表レベルでの加速度記録の最大値をマップにしたものを示す⁵⁾。この図から、神戸市や西宮市、宝塚市において大きな加速度が発生しているのがわかるが、これらの地域は震度Ⅶの地域に一致している。また、淀川沿いに比較的大きな揺れが生じていたことがわかる。

表2.1.1には気象庁管区气象台で観測された最大加速度値の一覧を示す²⁾。管区气象台の位置は、図2.1.7の余震分布図に記されている。特に神戸市中央区の神戸海洋气象台での加速度記録は、南北方向では818gal、東西方向では617gal、上下方向では332galと極めて大きな値を示している。この記録からも神戸地域ではかなり大きな揺れが生じたことが推定される。図2.1.9に、神戸海洋气象台で観測された記録波形を示す。また、この記録の応答スペクトルを図2.1.10に示す。この応答スペクトルによると今回の地震動は、0.4秒，0.7～1秒付近に勢力を持つ波形であり、ちょうど、在来構法による木造家屋や中層建築物の固有周期と一致する帯域に勢力のある波形になっている。

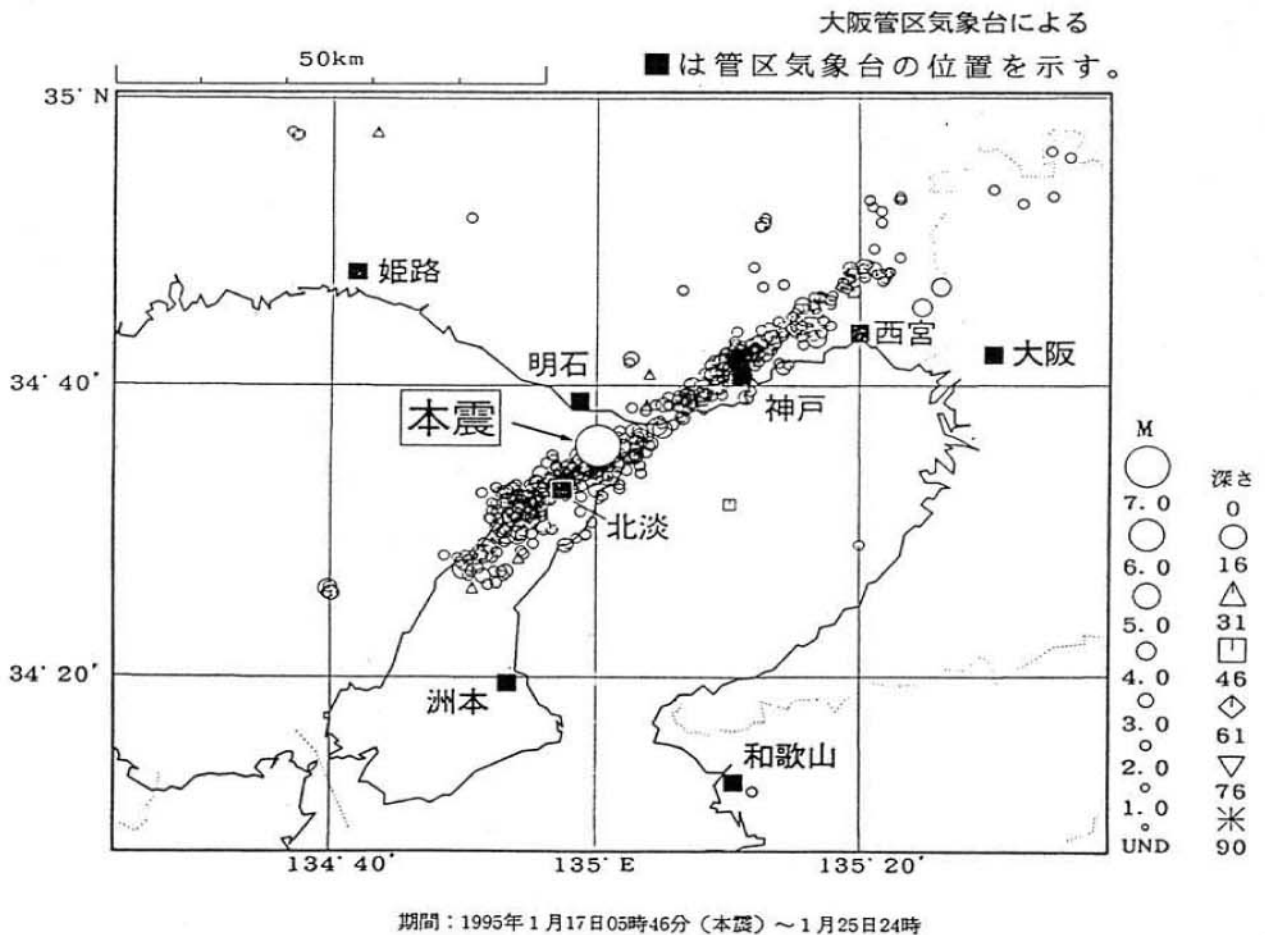


図2.1.7 本震および余震の震央分布（気象²⁾から転載）

2.1.2 地震動

兵庫県南部地震の地震記録が各機関により得られているが、図2.1.8に地表レベルでの加速度記録の最大値をマップにしたものを示す⁵⁾。この図から、神戸市や西宮市、宝塚市において大きな加速度が発生しているのがわかるが、これらの地域は震度Ⅶの地域に一致している。また、淀川沿いに比較的大きな揺れが生じていたことがわかる。

表2.1.1には気象庁管区气象台で観測された最大加速度値の一覧を示す²⁾。管区气象台の位置は、図2.1.7の余震分布図に記されている。特に神戸市中央区の神戸海洋气象台での加速度記録は、南北方向では818gal、東西方向では617gal、上下方向では332galと極めて大きな値を示している。この記録からも神戸地域ではかなり大きな揺れが生じたことが推定される。図2.1.9に、神戸海洋气象台で観測された記録波形を示す。また、この記録の応答スペクトルを図2.1.10に示す。この応答スペクトルによると今回の地震動は、0.4秒，0.7～1秒付近に勢力を持つ波形であり、ちょうど、在来構法による木造家屋や中層建築物の固有周期と一致する帯域に勢力のある波形になっている。

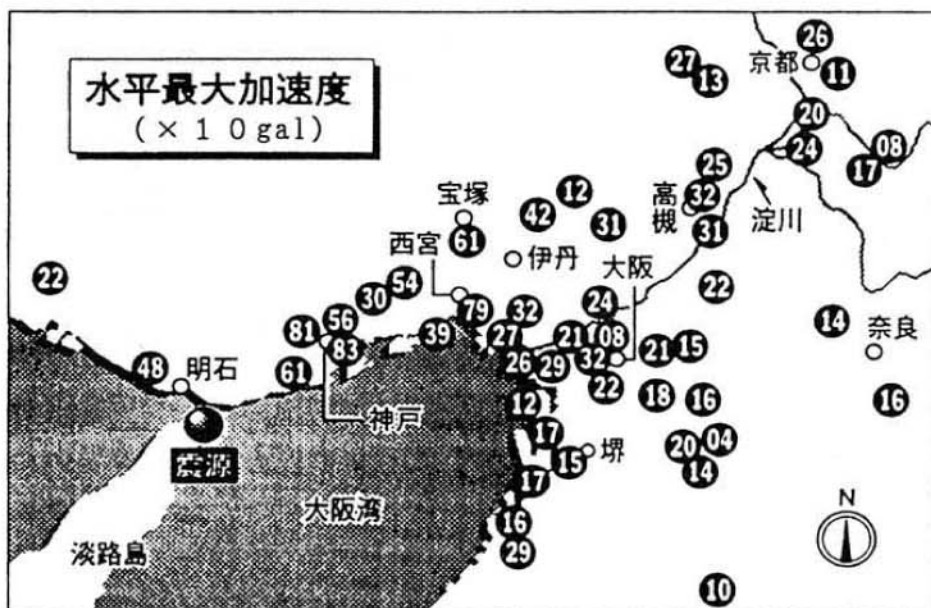


図2.1.8 水平最大加速度分布
(日本経済新聞2月17日夕刊⁵⁾から転載)

表2.1.1 気象庁管区气象台における最大加速度値
(気象²⁾から転載)

官署名	所在地	最大加速度(gal)		
		南北	東西	上下
神戸海洋气象台	神戸市中央区	818	617	332
大阪管区气象台	大阪市中央区	81	66	65
舞鶴海洋气象台	舞鶴市字下福井	67	52	39
岡山地方气象台	岡山市桑田町	77	59	36
鳥取地方气象台	鳥取市吉方	77	74	15
彦根地方气象台	彦根市城町	137	147	39
津地方气象台	津市島崎町	71	60	26
福井地方气象台	福井市豊島	33	42	10

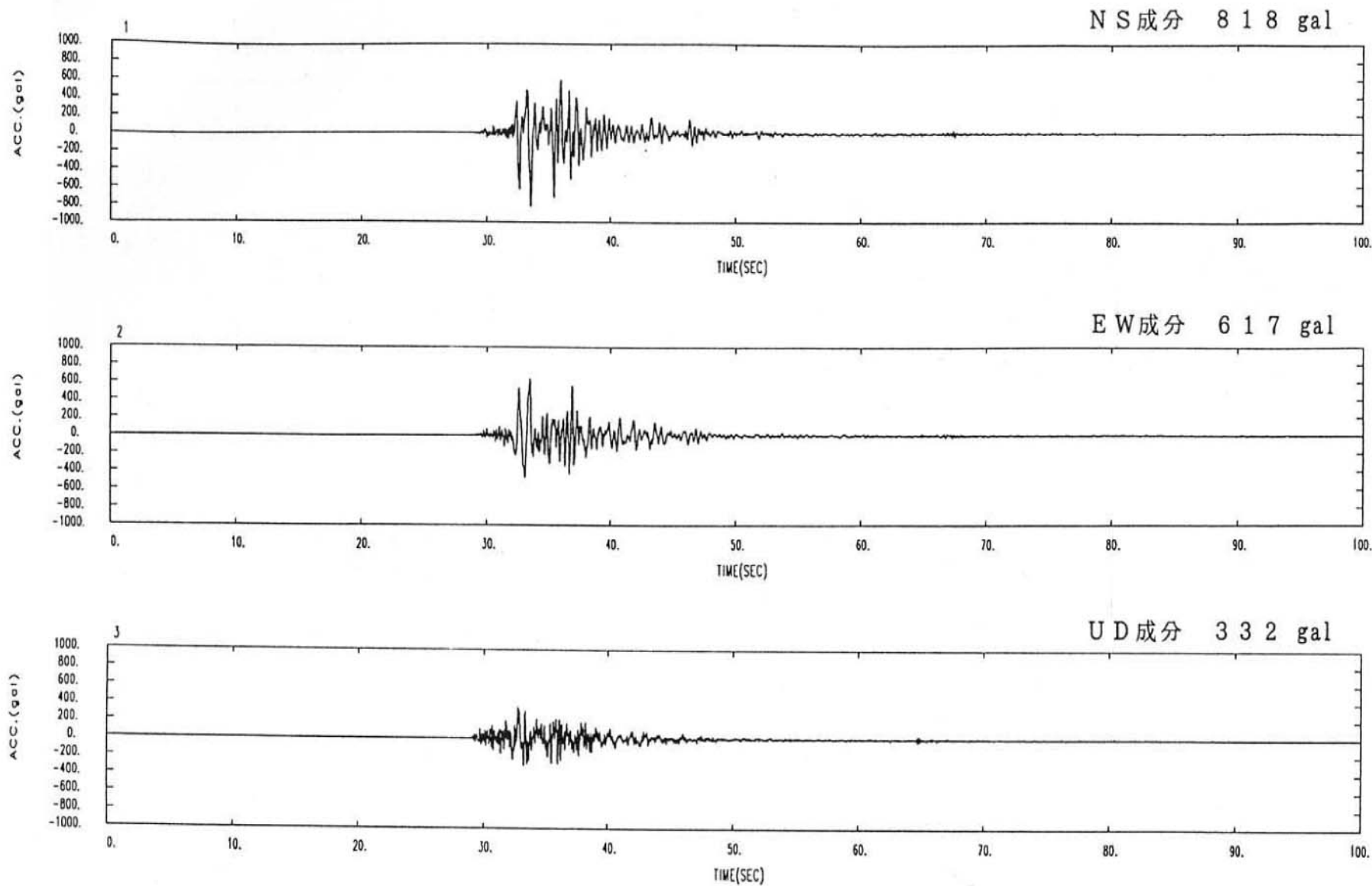


図2.1.9 神戸海洋気象台で観測された加速度記録
(気象庁87型電磁式強震計波形データによる)

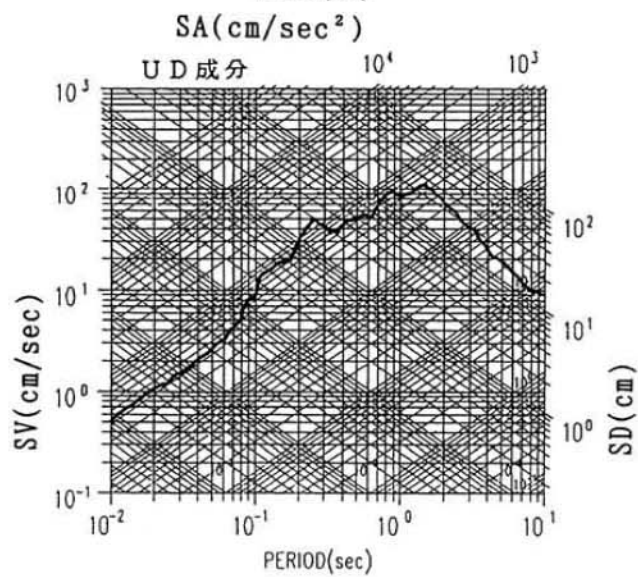
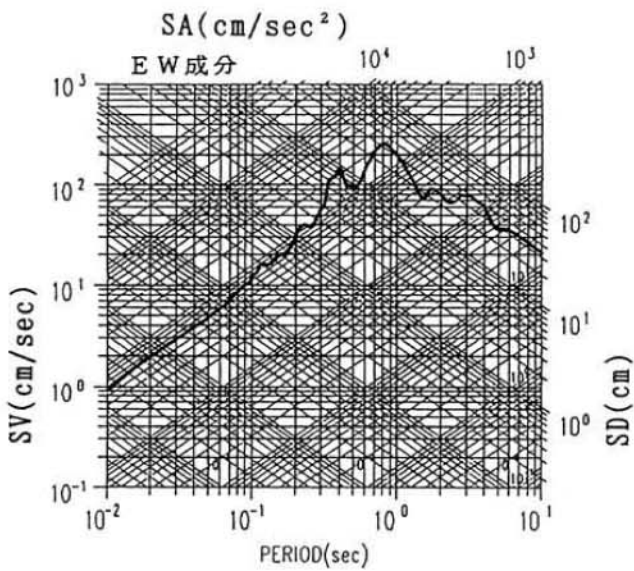
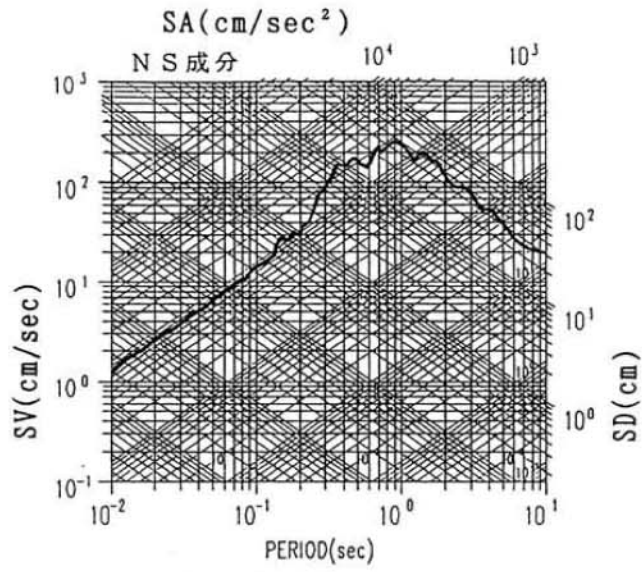


図2.1.10
神戸海洋気象台で観測
された加速度記録の応
答スペクトル
(減衰定数5%)

2.1.3 地震被害と地震動

被害の大きかった地域は東西に長い帯状になっている(図2.1.5)。この地域はちょうど洪積層と沖積層の境目になっており、地盤や地形の不整形性が地震動を増幅させ、被害がこの地域に集中した可能性が高いことが指摘されている。図2.1.11に京都大学防災研究所による木造家屋の被害調査結果を示す⁶⁾。この調査は、神戸大学がある地点から六甲アイランドまで南北に道路2ブロック幅で行われた木造家屋の被害調査である。ちょうど、阪急線とJR線の間から阪神線までの地域に木造家屋の被害が多く出ているのがわかる。京都大学防災研究所では、神戸大学から六甲アイランドまでのこの地帯に南北に沿って地盤上に16個のセンサーを配置し常時微動を計測し、神戸大学の岩盤上の記録を基準記録として地盤震動の増幅率を求めている。この結果を図2.1.12に示す⁶⁾。これらの結果から、被害の大きかった地帯での震動増幅率は、洪積層の比較的硬い地盤における増幅率に対し、10倍以上も大きな値になっていることがわかる。このことは、被害の集中した地域では、地盤の影響で地震動が大きく増幅され、その結果大きな力が建築物に加わり被害が生じたことを強く示唆している。

以上、地震被害と地震動の関係をまとめると、下記の事項に要約できる。

- ①平成7年兵庫県南部地震は、都市部を直撃した直下型地震であり、距離による地震動の減衰がほとんどない状態で神戸市を中心とした地域に大きな震動が伝わった。
- ②阪急線と阪神線の間帯状の地域では、地質や地盤の不整形性による影響で震動が大きく増幅され、その結果この地域に大きな被害が生じた可能性が高い。
- ③神戸市中央区の神戸海洋気象台で観測された加速度記録の応答スペクトルからは、この地震動は0.4秒付近、0.7~1秒付近に勢力を持つ波形であることがわかる。この周期帯はちょうど在来構法による木造家屋や中層建物の固有周期と一致する帯域であり、もしこの周期特性が神戸市の他の地域にも存在していたと考えると、主要動の継続時間は短かったものの(4~5秒)、これらの建物が共振した可能性が高い。

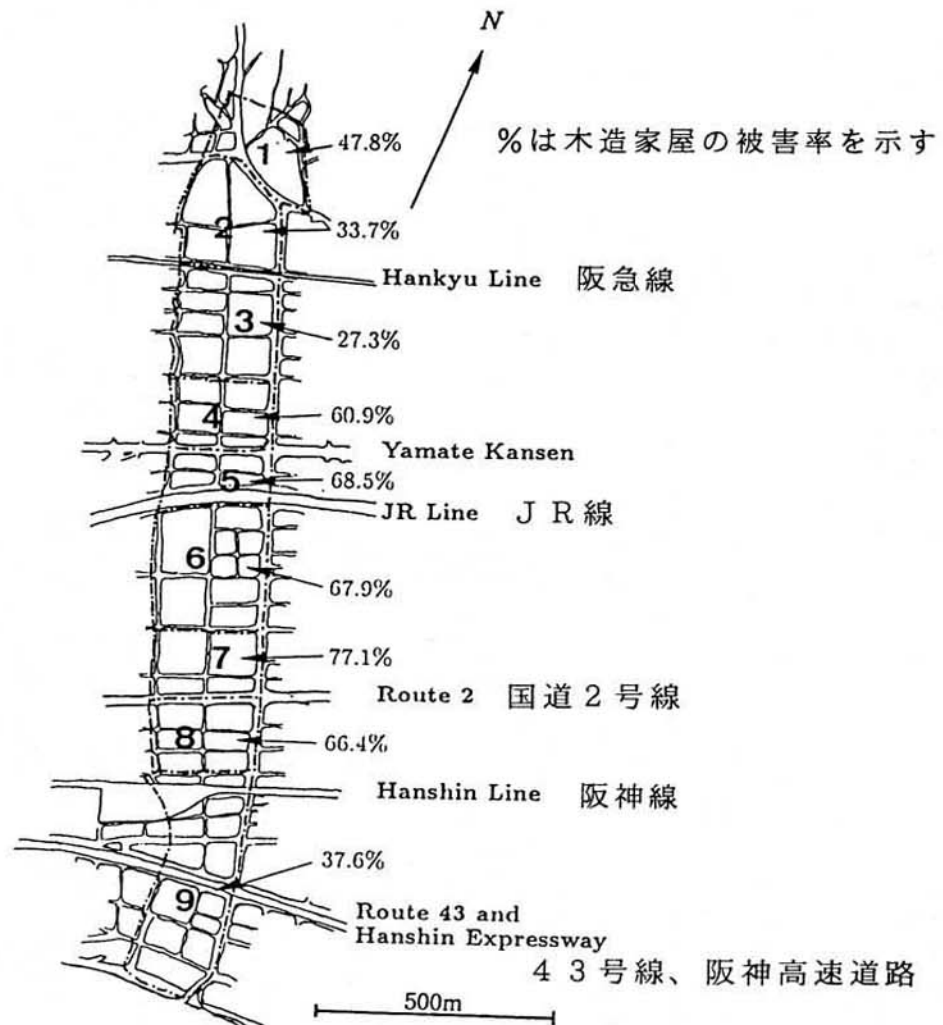
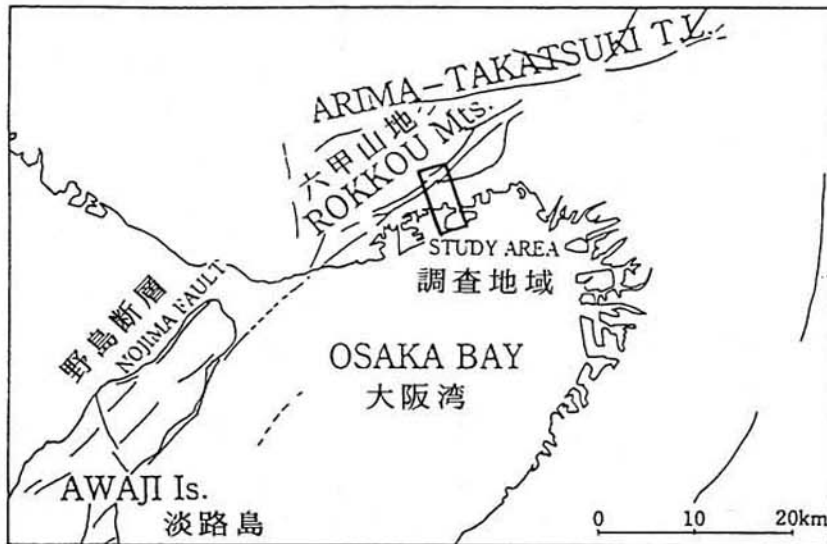
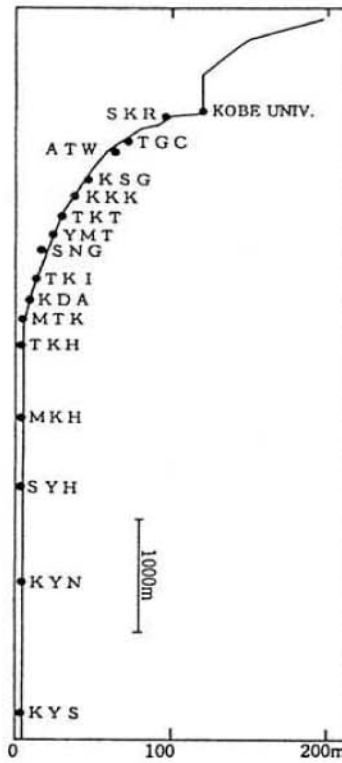
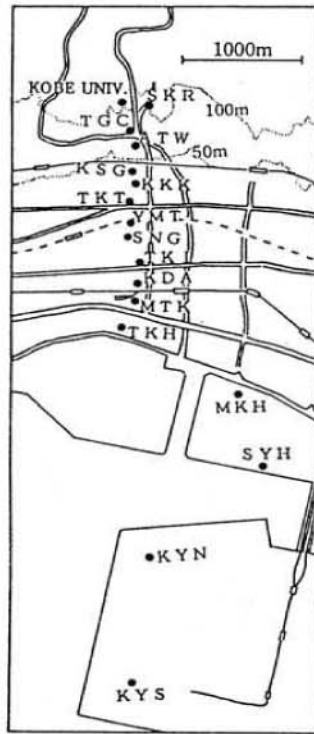


図2.1.11 調査地域と木造家屋の被害率
(DPRI News Letter⁶⁾より転載)



震動増幅率

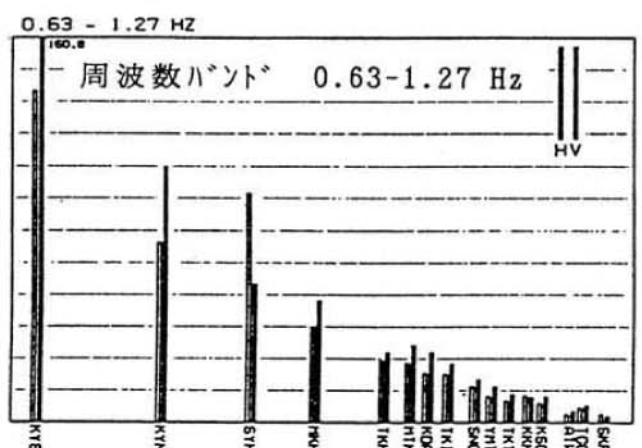
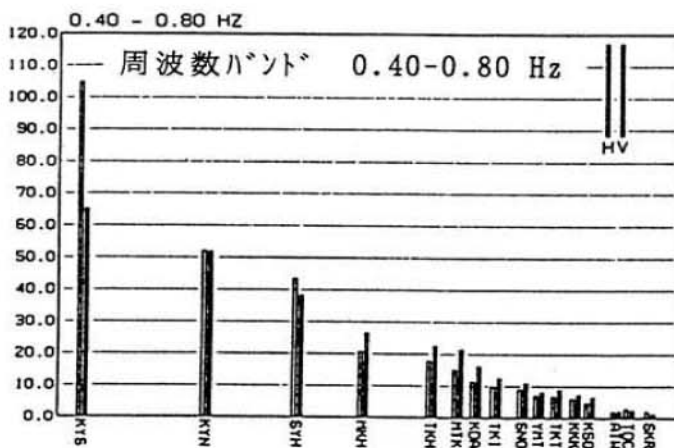
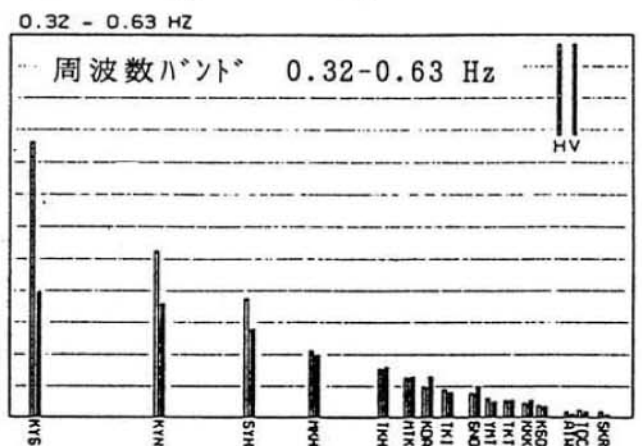
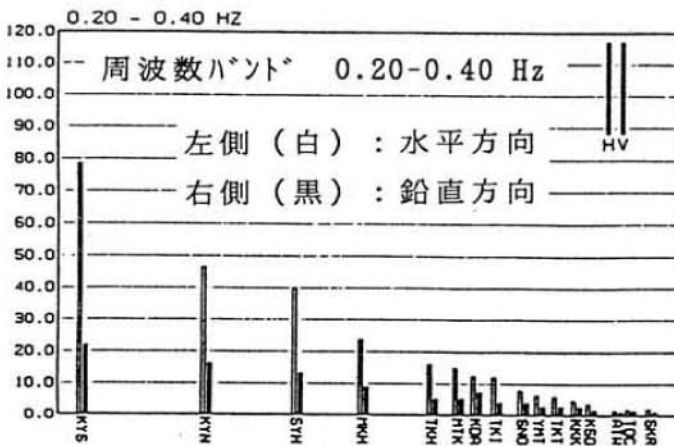


図2.1.12 常時微動の観測点と地盤震動の増幅率
(DPRI News Letter⁶⁾より転載)

参考文献

- 1) Research Center for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University: A Preliminary Report of Investigations on Southern Hyogo Prefecture Earthquake, Preliminary Report on the Great Hanshin Earthquake of January 17, 1995, DPRI News Letter, Special Issue, February, 1995, pp. 1-8.
- 2) 小泉岳司：平成7年(1995年)兵庫県南部地震(速報)、気象、1995年3月、日本気象協会、pp. 4-11.
- 3) 菊池正幸、科学朝日、1995年3月、pp. 9-10.
- 4) 石川有三、科学朝日、1995年3月、p. 8.
- 5) 日本経済新聞、2月17日、夕刊.
- 6) Akamatsu, J., H. Morikawa, H. Saitou, and M. Jidou: A Relation between Distribution of Damages Caused by The 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake and Ground Vibrational Characteristics Inferred from Microtremors, Preliminary Report on the Great Hanshin Earthquake of January 17, 1995, DPRI News Letter, Special Issue, February, 1995, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, pp. 24-33.

2.2 地盤等の被害

2.2.1 神戸地域の地盤概要

神戸の市街地は、ほぼ東西に走る六甲山地を背後に控え、この山地南側で深く落ち込んだ急峻な崖上に厚く堆積した洪積および沖積地盤の上に発達している。このため、市街地の地形は、山地側から、山麓扇状地、海岸平野、埋立地に分類され、これらの地形的な境界は、地質的な境界とも一致している。東灘区における木造家屋の倒壊率は、山側から海側にかけて急変しており、その原因として、この地域の不整形な地盤構成とそれに起因する地盤震動の違いを指摘する報告もなされている^{1) 2)}。

図2.2.1には、新神戸駅からポートアイランドに至る南北方向の地盤構成断面³⁾を示した。六甲山地は主に花崗岩からなり、それらの多くは六甲変動を受けた断層破碎帯となっている。また、表層付近は風化によるマサ土化が進んでおり、これまでも豪雨による斜面崩壊や土石流が頻発している⁴⁾。今回の地震でも、六甲山地東側にあたる西宮市仁川で斜面崩壊が生じ、30名以上の人命が失われた。

山麓扇状地は、六甲山地の南斜面を急傾斜に流下する多数の中小河川によって土砂が堆積した地域であり、比較的密な砂と砂礫で構成されている。山麓扇状地南側の海岸平野は、狭い沖積低地で、地表面付近は主として砂質土が分布している。また、今回液状化による被害が多発した埋立地は、明治時代の旧海岸線よりも海側部分に位置する。芦屋浜、六甲アイランド、ポートアイランドなどは、軟弱な粘性土層が厚く堆積した海底地盤の上に、六甲山地から産出されるマサ土を海上投棄やまきだし浚渫によって埋立てた地盤である⁵⁾。

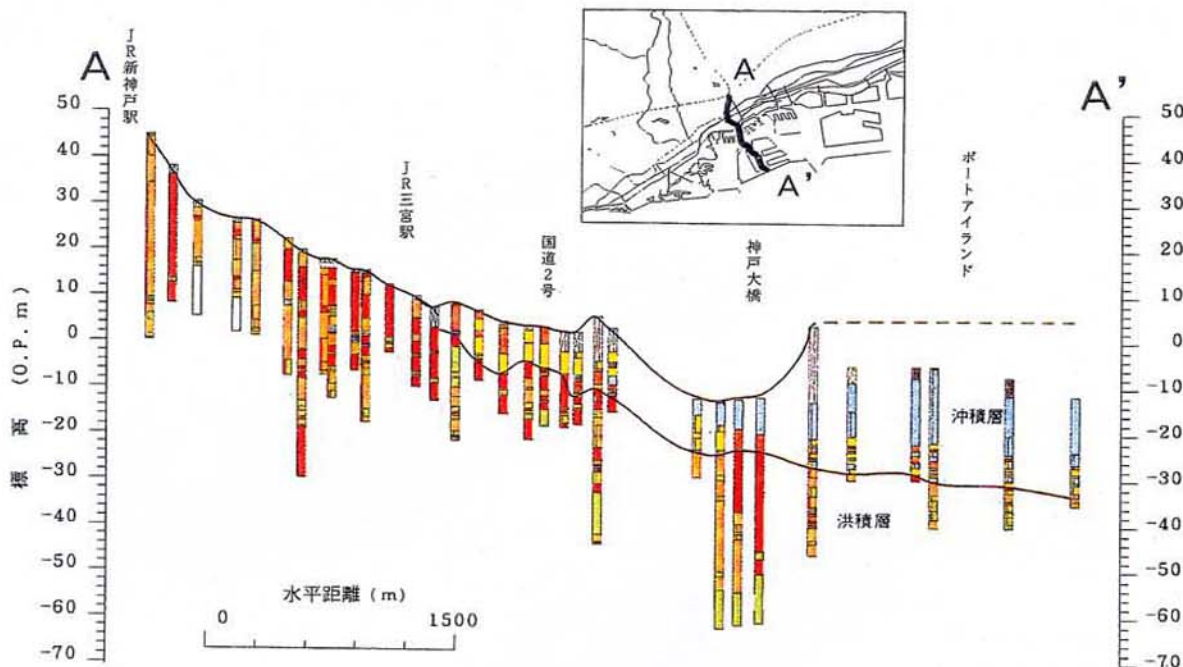


図2.2.1 神戸地域の地盤構成断面（新神戸駅～ポートアイランド）
（土質工学会関西支部編 「関西地盤」³⁾ より転載）

2.2.2 液状化

建設省国土地理院近畿地方測量部では、被災地の航空写真から液状化の発生状況を読み取り、1/10000の地図にカラーで表わしている。今回の地震では、ポートアイランドや六甲アイランドを含む沿岸の埋立地盤が広範囲に液状化し⁶⁾、過去最大規模の現象であったことが米科学財団の専門家によって指摘されている⁷⁾。

今回の液状化による被害は、平坦な沖積・埋立て地域における地盤沈下と沿岸部の地盤の側方流動に大別できる。地盤の液状化現象は、ライフラインなど埋設物の破断、橋脚の損傷、護岸の移動や傾斜、港湾施設の倒壊という構造物の被害要因となっている。また、神戸市の臨海コンビナートでは、415基の石油タンクのうち、約4割が傾いたり変形した⁸⁾（写真2.2.1）。これらは、主に地盤の液状化が原因と考えられている。

西宮浜埋立地区を除き、これら液状化発生地点のほぼ全域を対象とした現地踏査(2月3～6日)の結果を以下に述べる。図2.2.2には、重点調査を行った埋立て地の位置を示し、また、表2.2.1にはこれらの埋立て地の概要を示す。

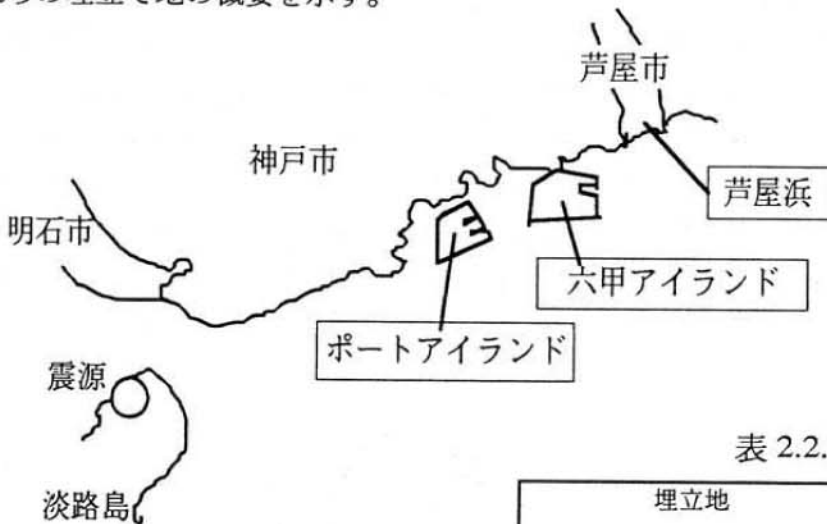


図 2.2.2 埋立て地の位置

表 2.2.1 埋立て地の概要

埋立地	埋立期間		面積
	着手	完成	
芦屋浜第一工区（宮川以西）	昭和44年	昭和49年	57ha
芦屋浜第二工区（宮川以東）	昭和44年	昭和50年	68ha
神戸ポートアイランド一期	昭和41年	昭和56年	436ha
六甲アイランド	昭和47年	平成4年	580ha

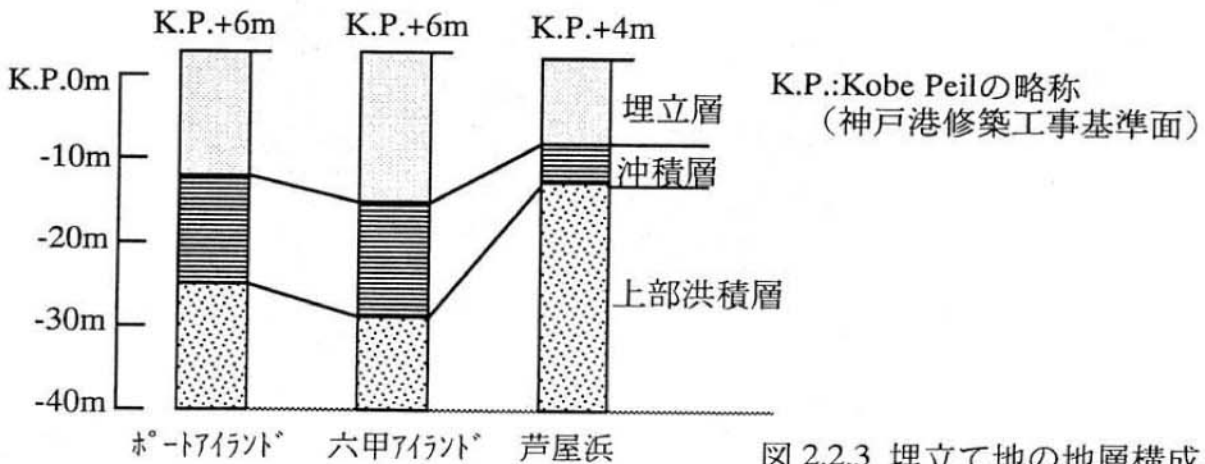


図 2.2.3 埋立て地の地層構成

大阪湾岸の地盤は、地殻変動と海水面変動との関係の中で水中で地層が堆積し、14層の海成粘土層が砂層との互層を形成している。各埋立て地は、これらの層のうち最も浅い沖積粘土層の上部を埋立てて形成されている。図2.2.3にはそれぞれの代表的な地盤柱状図を示す。現地踏査時点での主な被害状況の分布を図2.2.4に、1月20日撮影の航空写真⁹⁾から道路面の噴砂を判読したものを図2.2.5に示す。

宮川以東の浜風町東側では、尼崎港護岸が崩壊し、その際を通る道路は相対で60cm程度の段差ができ、道路の下には空隙が見られた(図2.2.4- 図中①、写真2.2.2)。また、その道路付近上空を横断する歩行者用橋梁では、その取付道路との段差が60cm程度あり、構造物の支持方法の違いによる沈下の差が顕著であった(図2.2.4-②)。住宅地においては、宮川以東の浜風町(図2.2.5-③)と宮川以西の緑町(図2.2.5-④)、潮見町(図2.2.5-⑤)で噴砂量の違いが顕著であった。浜風町と潮見町ではこの時点でまだ道路に噴出した砂がいたるところに集積されていた(写真2.2.3)。また、戸建住宅のガレージ(床:モルタル)の壁には、砂を含んだ泥水が、道路レベルより30cmほど上昇したと思われる汚れが見られた(図2.2.4-⑥)。さらに、液状化による地盤の支持力低下で、大きく傾斜した建物(図2.2.4-⑦)もあった。これに対して、緑町では道路に数cm幅の地割れがあった(図2.2.4-⑧)が、土が露出している庭にも噴砂等の跡は見られず、これは航空写真からも判読できた。この辺りは、淡路の山砂と一部岡山産の海砂で埋立てられた地盤で、その層厚は13~15m、N値が5~20となっている。埋立て土層の下部は、N値3~5の沖積粘性土が堆積している。

図2.2.6に埋立当時の付近のボーリング柱状図¹⁰⁾を示す。これによると、D,EはA,Bに比べて粘性土層上部の砂層が厚く、そのN値も小さいことが分かる。さらに文献¹⁰⁾には、「埋立て土層中にはG.L.-5m付近に、N値10前後の海砂層を介在するところが部分的にあり、地下水位がG.L.-3.5mの深さにあるので、液状化現象が予想され、地震時の地盤の安定性の検討を要した。」と記され、液状化を想定していたことが窺える。

- 相対沈下大 (30cm以上)
- 相対沈下小 (30cm未満)
- ▲ 歩道盛上
- 地割れ
- ◇ 不同沈下

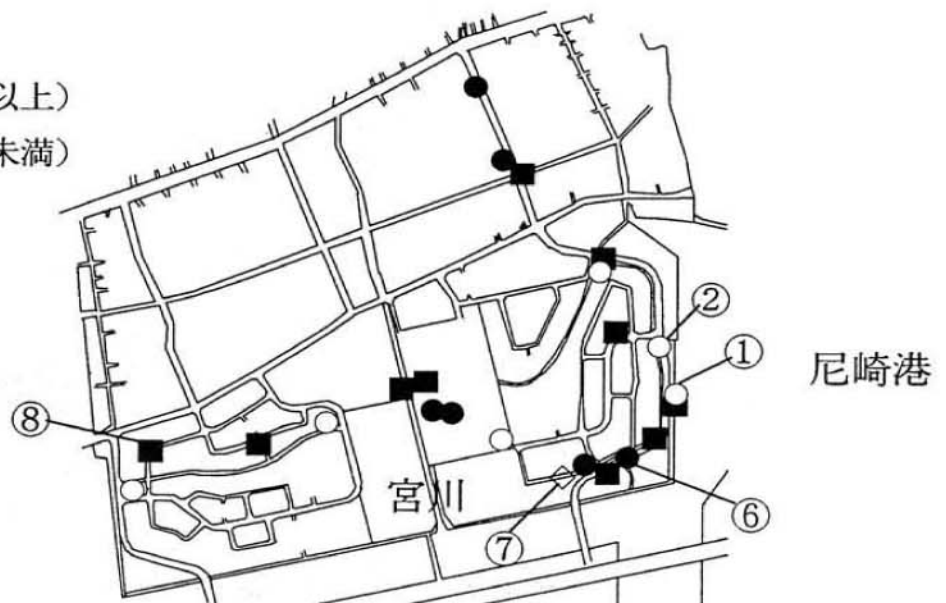


図 2.2.4 芦屋浜被害状況分布

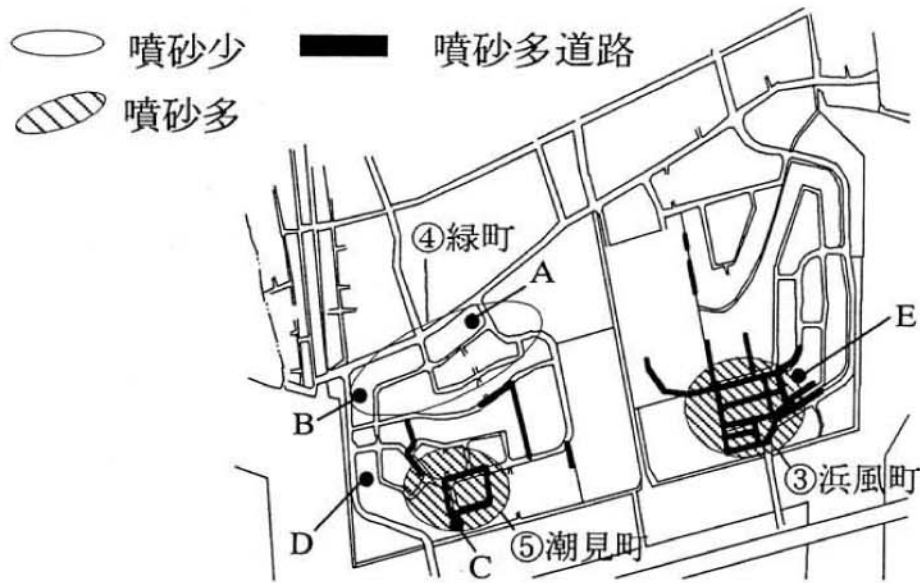


図 2.2.5 芦屋浜の噴砂状況（踏査と航空写真による）
およびボーリング位置

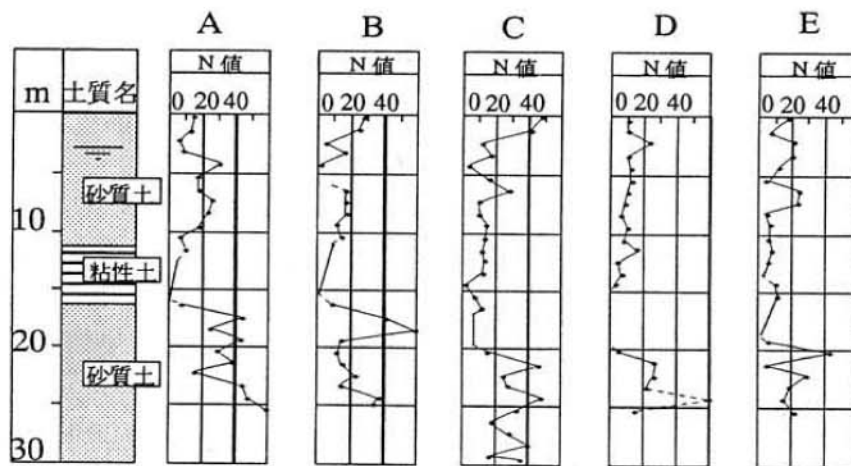


図 2.2.6 芦屋浜のボーリング柱状図¹⁰⁾

図2.2.7に六甲アイランドの被害状況の分布、図2.2.8に噴砂状況を示す。六甲アイランドは、島の中心に「まち」、その周囲に「みなと」がゾーニングされている。「まち」ゾーンは高層建物が多く、負の摩擦力(NF)低減対策を施した支持杭が採用されており、建築物の支持機能を損なうような被害は見られなかった。ただし、南北を走る新交通システムの支柱基礎や駅の周辺が沈下し、階段などに段差が生じていた(図2.2.7-⑨)。なお、その相対沈下量は30cm以下であった。噴砂については島内で顕著な違いが見られた。「まち」やその南西地域では、ほとんど噴砂がなかったが、北西地域では地割れ等から広域にわたり噴砂が見られた。文献¹¹⁾¹²⁾によると、図2.2.8-⑩では地盤改良を行わなかったのに対し、図2.2.8-⑪はサンドドレーン工法、図2.2.8-⑫ではサンドコンパクションパイルが用いられたとされ、これらの改良効果を実証されたと言える。また図2.2.8-⑬の建物では、摩擦杭(節杭)を採用していることが報告¹³⁾されているが、地盤面と建物の相対変位は見られなかった。

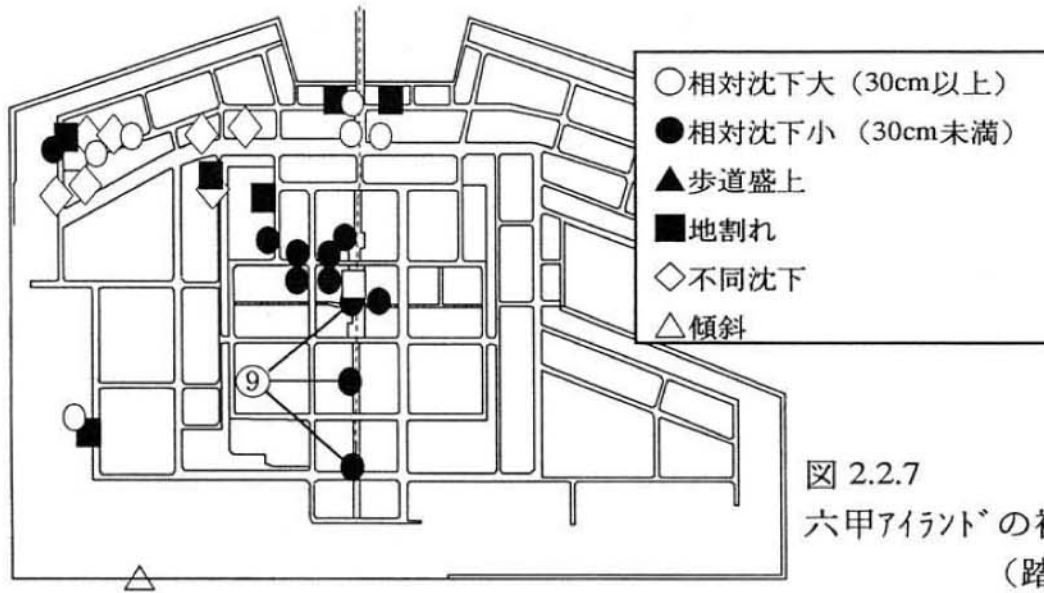


図 2.2.7
六甲アイランドの被害状況分布
(踏査は西半分)

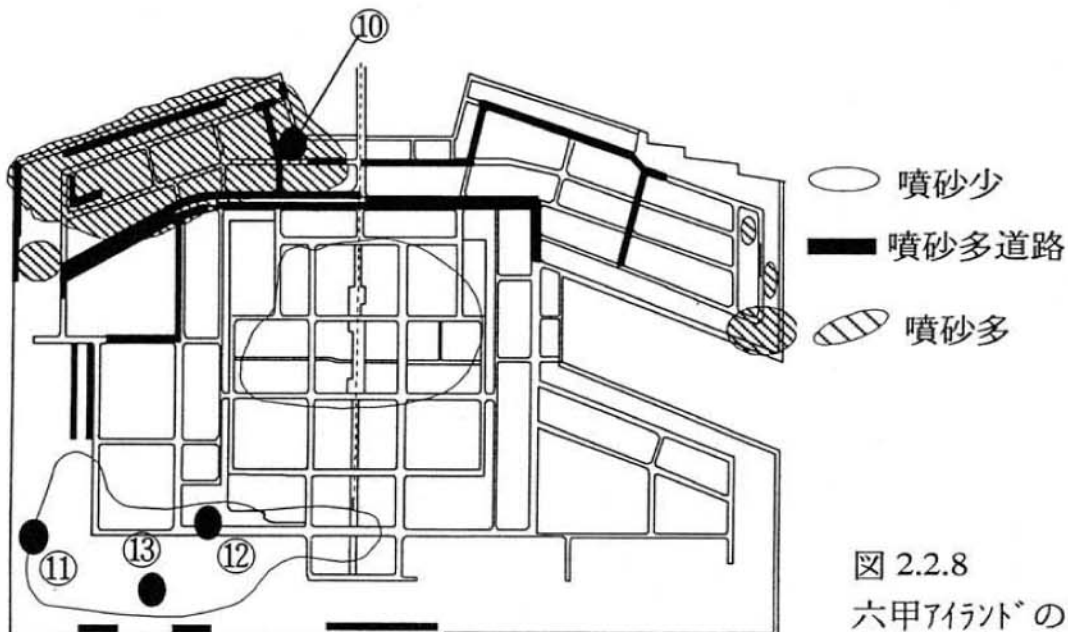


図 2.2.8
六甲アイランドの噴砂状況
(踏査と航空写真による)

三宮の市街地から神戸大橋を渡ったポートアイランドでは、特に、地盤改良がなされていない「みなと」ゾーンに近いところほど噴砂が多く、杭基礎建物の多くは、周辺地盤から30～60cm程度拔上がっていた。建物と地盤の相対沈下が顕著であったのは、病院の本館建物（写真2.2.4）で、地表の噴砂量はそれほど多くなかったが、隣接する駐車場との相対沈下が1m近くあった。しかし、平屋建ての駐車場管理棟に相対沈下は認められなかった。また、ポートアイランド東側の倉庫事務所棟（鉄筋コンクリート造2階建て、直接基礎）は、周囲に多量の噴砂が認められたにもかかわらず、著しい不同沈下はなく、安定していた。この他にも、杭基礎を使用していない軽量の建物の多くは、外見上、周辺地盤との相対変位がほとんど認められない状況であった。

ポートアイランドの西岸壁や東岸壁などのコンテナバースでは、岸壁のケーソンが数メートルにわたって海側に押し出され、ケーソンの内陸側が大きく陥没する被害が顕著であった。これは、過去の地震でもよく見られたタイプの被害ではあったが、今回は、液状化による埋戻し土の土圧増大と地震時の衝撃力の大きさによって、過去に例を見ない規模の被害となった。

ポートアイランドの東岸壁に近い、港島六丁目では、埋立てに使用されたマサ土（褐色）とは明らかに異なる貝殻まじりの噴砂（暗青色）が認められた（写真2.2.5）。これは、旧海底部分の比較的新しい沖積層か、または、浚渫時の埋立て土砂に相当する砂である可能性が高く、米国科学財団の専門家による指摘⁷⁾とも対応する興味深い現象である。なお、この噴砂に対する粒度試験結果は、細粒土含有率が1%、 $D_{50}=0.302$ 、均等係数1.82で、非常に液状化し易い粒度配合であることが確認された。

わが国では、1964年新潟地震を契機に、砂地盤の液状化現象の解明やその対策工法の開発が積極的に行われてきた。これまでの研究では、主にねじりせん断的な繰返しを受ける土質材料の液状化特性が検討されてきた。しかし、今回の被害を見ると、大きな上下動で、かつ数少ない振動を受けた時の過剰間隙水圧の上昇によって、地盤が液状化したのではないかと懸念される。いわゆる、水枕（地下水で飽和された地盤）を手で叩いた（上下方向慣性力が作用した）状況である。たとえば、直立型の岸壁は、水枕の留め金が緩くはじけた様に側方に大きく変形していた（写真2.2.6、写真2.2.7）が、消波ブロックや全面が砂浜からなる基礎部分の強固な護岸は、後背地の液状化にもかかわらず、側方への大きな変状は認められなかった。

これまで、過去に液状化した砂地盤は密な状態となるため、再度の液状化は生じにくくなるのか、あるいは、繰返して液状化する可能性が高い地盤であるとかいう諸説があった。しかし、釧路港など北海道東部の港湾施設では、1993年釧路沖地震（M7.8）に続き、1994年北海道東方沖地震（M8.1）によっても再び液状化による被害を受けており、これらの地盤では、液状化が再発する可能性が高いと考えられる。

今回の地震による埋立て地盤の液状化現象は、港湾施設を中心に過去最大規模の被害をもたらした。今後、これらの施設の復旧工事や耐震補強工事に際しては、沖積層・埋立て層厚と地震動増幅率の関係や上下動による地盤の液状化特性の解明、さらには、神戸地域の埋立て地盤における再液状化の可能性など、きめ細かな検討と現実的な対策工法の提案が必要である。

2.2.3 杭基礎

杭基礎の被害は、上部構造の被害のように目視観察できないため、被災後の耐力診断が難しい。今回の調査でも、側方流動で無くなった地盤の隅から建物の基礎梁が露出したり、杭頭フーチングと基礎梁の一部が破損している建築物や荷揚げクレーンなどを確認したが、それらの杭全長にわたる被害状況はわからない。

埋立て地よりも内陸側の旧海岸地域では、比較的古い建物があり、杭工法の年代的な変遷を考えると、これらの建物に採用されている杭基礎の特定をすることは難しい。特に古い年代の杭基礎では、下杭が無筋であったり、杭頭がフーチングに固定されていないものも多く、水平抵抗の増強や液状化対策が施されているものは少ないと考えられる。

基礎または周辺地盤が建物の傾斜に影響したと推測される稀な事例としては、建物北側に盛土を有する高層マンション（芦屋市大東町、鉄骨鉄筋コンクリート造11階建て：写真2.2.8）と護岸に近接した低層建物（東灘区深江南町、鉄筋コンクリート造3階建て：写真2.2.9）があった。高層マンションの傾斜は、背面の盛土から建物に片土圧が作用したためと推測される。また、摩擦杭を使用していると推察される低層建物は、背後のグラウンドに多数の噴砂が認められ、建物前面の護岸が海側にせり出していた。

沿岸の沖積地盤地域では、支持層の深さや建物規模から判断して、支持杭を採用していると考えられる建物が多く、それらの建物周辺では、特に南北方向の地盤や舗装面が大きく変状していた。これは、杭基礎頭部やフーチングなどが周囲の地盤に強制的な変形をもたらした可能性が大きく、地震動の方向性とも関連する。

一般に、建築物の杭基礎の水平抵抗は、上部構造に作用する地震力を杭頭の水平力として設計されているが、この方法では、地盤が液状化すると非常に不利な設計となる。しかし、杭頭部の表層地盤が液状化した場合には、免震的になり、上部構造の地震応答が基礎固定の状態よりも小さくなるという実験結果¹⁴⁾もある。今回の地震では、沖積層や埋立て土層の液状化によって、杭基礎がせん断耐力的に救われたということも考えられるが、反面、地盤の側方流動などによって、地盤の深いところで杭体が曲げ破壊している可能性もある。今後、復旧工事や各種の耐震補強工事が進むにつれ、杭基礎の被害が明らかになるものと予想される。ただし、古い年代の杭基礎を含めて、今回損傷した杭基礎が支持力的には十分機能しており、上部の建物が傾斜や変形などの被害を免れた場合には、その調査や補修が難しい。今後は、杭基礎の非破壊検査技術に加え、基礎構造物の被害が上部構造の耐震性に与える影響を解析的に検討する手法など、現実的な復旧・耐震補強技術が求められる。

また、低層建物（3～5階程度）の基礎地業として採用実績の多いソイルセメントコラムを施した建物の被害調査（66件）によれば、全て無被害であったとの報告¹⁵⁾がある。この工法は、セメント系固化材液を地盤に注入しながら、土と混合攪拌することによって、柱状体を形成するもので、基礎の根入れ深さや側方拘束の増大、あるいは、柱状体による水平抵抗の分担などが効を奏したものと考えられる。

2.2.4 斜面崩壊

今回の地震では、六甲山の東部を流れる中小の河川にそった傾斜地で多くの斜面崩壊が生じた。特に西宮市仁川百合野町では、写真2.2.10に示すような200m以上の範囲にわたる大規模な斜面崩壊が生じて30名以上の人命が失われた。この斜面崩壊の原因については、現時点で明らかになっていないが、円弧状に滑りが生じていることから、地盤のせん断抵抗力の低下および過大な水平力の作用が原因と考えられている。また、この他にも芦屋市の住宅地では、地震後の降雨による崖崩れの危険性のために、いまだに避難を余儀なくされる状況が続いている。

参考文献

- 1) 日本建築学会兵庫県南部地震災害調査緊急報告会資料：社団法人日本建築学会、1995.2
- 2) Akamatsu, J et.al.: A Relation between Distribution of Damages Caused by The 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake and Ground Vibrational Characteristics Inferred from Microtremors, DPRI News Letter, Special Issue, Kyoto University, pp.24-33, 1995.2
- 3) 関西地盤：社団法人土質工学会関西支部、1992
- 4) 日本の地質6 近畿地方：共立出版株式会社、1989
- 5) 谷本喜一：兵庫県の地盤特性と基礎、基礎工、VOL.15、NO.6、PP.28-37、1987
- 6) 阪神大震災被害調査緊急報告資料：社団法人土木学会、1995
- 7) 読売新聞2月6日夕刊3版 米科学財団 イドリス代表に聞く
- 8) 神戸新聞2月5日朝刊
- 9) 国土地理院関東地方調査部
- 10) 福井 實「浅い基礎の支持力と変形に関する理論とその適用、
5 各種構造物の設計法比較」土と基礎：講座、1983.3
- 11) 三宅、福井「埋立地盤における摩擦杭基礎の設計例・その3」日本建築学会大会、1986
- 12) 村井「埋立地盤に建設された直接基礎建物の設計と挙動観測結果」、
第32回土質工学シンポジウム、1987
- 13) 「六甲アイランド・神戸ポートアイランドにおけるHC-TOPパイルの施工実績集」(株)武智工務所、1990
- 14) 風間、佐治；液状化時における杭-建物連成系の地震応答(その1)、
日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)B構造I, 1992.8、
- 15) 阪神大震災震害調査 テノコラム基礎建造物調査報告(速報)、テノコラム協会、1995.2



写真 2.2.1 コンテナのタンク傾斜
(神戸市長田区南駒栄町)



写真 2.2.2 護岸地盤の側方流動
(芦屋市尼崎港)



写真 2.2.3 住宅街の噴砂
(芦屋市浜風町)



写真 2.2.4 支持杭建物の抜上がり
(ポートアイランド)



写真 2.2.5 貝殻混じりの噴砂
(ポートアイランド東)



写真 2.2.6 側方流動による護岸のはらみ出し
(六甲アイランド北)



写真 2.2.7 側方流動による地割れ
(ポートアイランド北)



写真 2.2.8 盛土に近接した高層住宅の傾斜
(芦屋市大東町)



写真 2. 2. 9 護岸に近接した低層建物の傾斜
(神戸市東灘区深江南町)



写真 2. 2. 10 マサ土斜面の崩壊
(西宮市仁川町)

2.3 建築物の被害

2.3.1 被害の概要

建築物の被害程度により震災後に判定された「震度Ⅶ」の地域は、東西方向では西宮市武庫川あたりから神戸市須磨区までの間約25kmの帯状に分布しており、南北方向の幅は0.5km～1.0kmとなっている。神戸市灘区では、南北方向の幅は、北側を走る阪急神戸線と南側を走る阪神電鉄本線の間範囲とほぼ一致している（図2.3.1参照）。

神戸市南部の地形は、ほぼ東西に延びる六甲山地の南側に急斜面の丘陵ないし台地があり、更に南側に低地ならびに埋立地が広がっている（図2.3.2参照）。

図2.3.1に示す「震度Ⅶ」の分布は、図2.3.2に示す「低地」の分布とほぼ一致している。これらの地域は、いわゆる地形あるいは地層構成の変動の著しい不整形地盤域であり、急傾斜に海側に沈み込む硬質地盤により地震動が増幅させられたことが推定されている（「2.1.3 地震被害と地震動」参照）。

被災地の東側の地域では、西宮市南部を通り東北東にのびる帯域、宝塚市から西宮市方面への南北に続く帯域、宝塚市から川西市へと東西に伸びる有馬・高槻構造線に平行な帯域の3つの帯域での被害が大きくなっている。建築物の被害状況については、西宮市では、鉄筋コンクリート造建築物の1階が層崩壊しているものや中高層建築物の中間階が層崩壊している建築物が点在している。芦屋市では、超高層建築物に被害を生じており、鉄骨造のボックス形柱、H形筋かいの破断および梁の座屈がみられる。

神戸市東灘区・灘区では、多くの建築物が被害を受けている。阪急電鉄神戸線から国道43号線にかけての帯状の区域に被害が集中しており、その被害状況は1階のピロティ一部分が層崩壊しているものが多い。その他、壁の偏りにより、ねじれ振動に伴う破壊が生じた被害、また木造住宅では、倒壊した建築物や2階建て住宅の1階部分が層崩壊している被害がみられる。

神戸市中央区ではJR東海道本線の元町、三ノ宮駅周辺で被害が集中しており、阪急三宮駅の北側0.3km、南側0.5kmの範囲で特に被害が大きい。その北側である山の手、南側である海側では建築物の被害程度は比較的小さい。一方、国道2号線より南に位置する国道43号線沿いの建築物の被害は、国道2号線沿いと比較するとやや小さい傾向がある。その被害状況は、中高層建築物の中間階が層崩壊しているものが目立っている。また、1階のピロティ一部分が層崩壊しているものも多く、その他、1階柱の柱頭での破壊、接合部のせん断破壊、境界梁のせん断破壊などがみられる。建物高さに対する幅が小さい建築物では、柱脚部に目立った被害がみられる。

神戸市兵庫区・長田区・須磨区では、JR須磨駅から東北東方向に伸びるJR線に沿って、神戸高速鉄道の新開地駅へと至る線上に多くの被害が出ている。その被害状況は、1階部分が層崩壊している建築物が多く、その他、中間階が層崩壊している建築物がみられる。

淡路島では、淡路県民局の調査（平成7年3月28日現在）によれば、全壊は全棟数の



② 木造住宅の倒壊



① ピロティの崩壊



(朝日新聞社「報道写真全記録」¹⁾より転載)



⑤ 1階部分の層崩壊



③ 境界梁のせん断破壊



⑥ 中間階の層崩壊



④ 鉄骨造の柱脚部の破損

図2.3.1 震度Ⅶの分布および建築物の被害状況

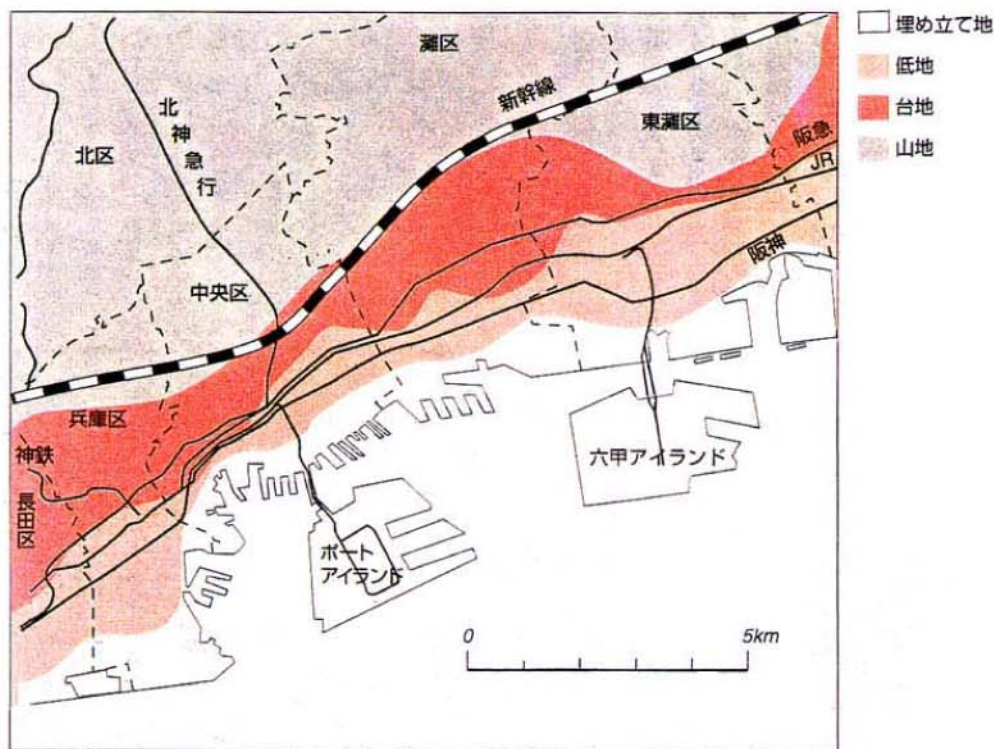


図2.3.2 神戸市の地形分布図(科学朝日²⁾より転載)

0.2%である。また、震源からの距離の違いによって、被害の程度に歴然とした差がみられ、淡路島北部の北淡町では全壊21%、半壊9%、一部損壊24%にも及ぶ被害を受けている。一方、淡路島南部に位置する南淡町、三原町、西淡町、緑町および洲本市では、被害は少なかった。被害の状況は、本瓦葺き屋根をもつ古い木造住宅の1階部分の層崩壊が目立っている。鉄筋コンクリート造および鉄骨造の建築物では大きな被害は少なく、壁の剥落およびせん断ひび割れがみられる程度である。

表2.3.1は、地域別の鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造および鉄骨造建築物の被害戸数を示している（平成7年2月20日現在、(社)日本建築学会³⁾による）。神戸市中央区の被害が顕著であり、鉄筋コンクリート造建築物または鉄骨鉄筋コンクリート造建築物では、倒壊または大破の建築物が200棟を超えている。図2.3.3に三宮

表2.3.1 地域別の被害戸数

地 域		RC, SRC造	S造	倒壊	大破	中破	小破	軽微
西宮市・尼崎市 伊丹市・宝塚市	RC, SRC造	39	19	65	---	---	---	---
	S造	21	32	29	---	---	---	---
芦屋市	RC, SRC造	---	22	21	45	---	---	---
	S造	---	38	27	37	---	---	---
神戸市	東灘区・灘区	RC, SRC造	88	104	85	175	97以上	---
		S造	65	113	68	113	47以上	---
	中央区	RC, SRC造	81	126	175	339	922	---
		S造	56	94	183	298	412	---
兵庫区・長田区 須磨区	RC, SRC造	146	43	71	---	---	---	
	S造	78	35	23	---	---	---	

RC, SRC造：鉄筋コンクリート造，鉄骨鉄筋コンクリート造（被害戸数は(社)日本建築学会³⁾による）
S造：鉄骨造

駅周辺の外観調査を行った建築物の位置を示す。また、震源地に近い神戸市兵庫区・長田区・須磨区では、鉄筋コンクリート造建築物または鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の倒壊または大破の被害戸数は、ほぼ150棟となっている。

建築物の被害戸数の総数は、全壊 82,091棟、半壊 68,043棟、一部損壊 33,902棟（平成7年2月20日現在、(社)日本建築学会³⁾による）となっており、建設年度の古い建築物の被害が顕著である。

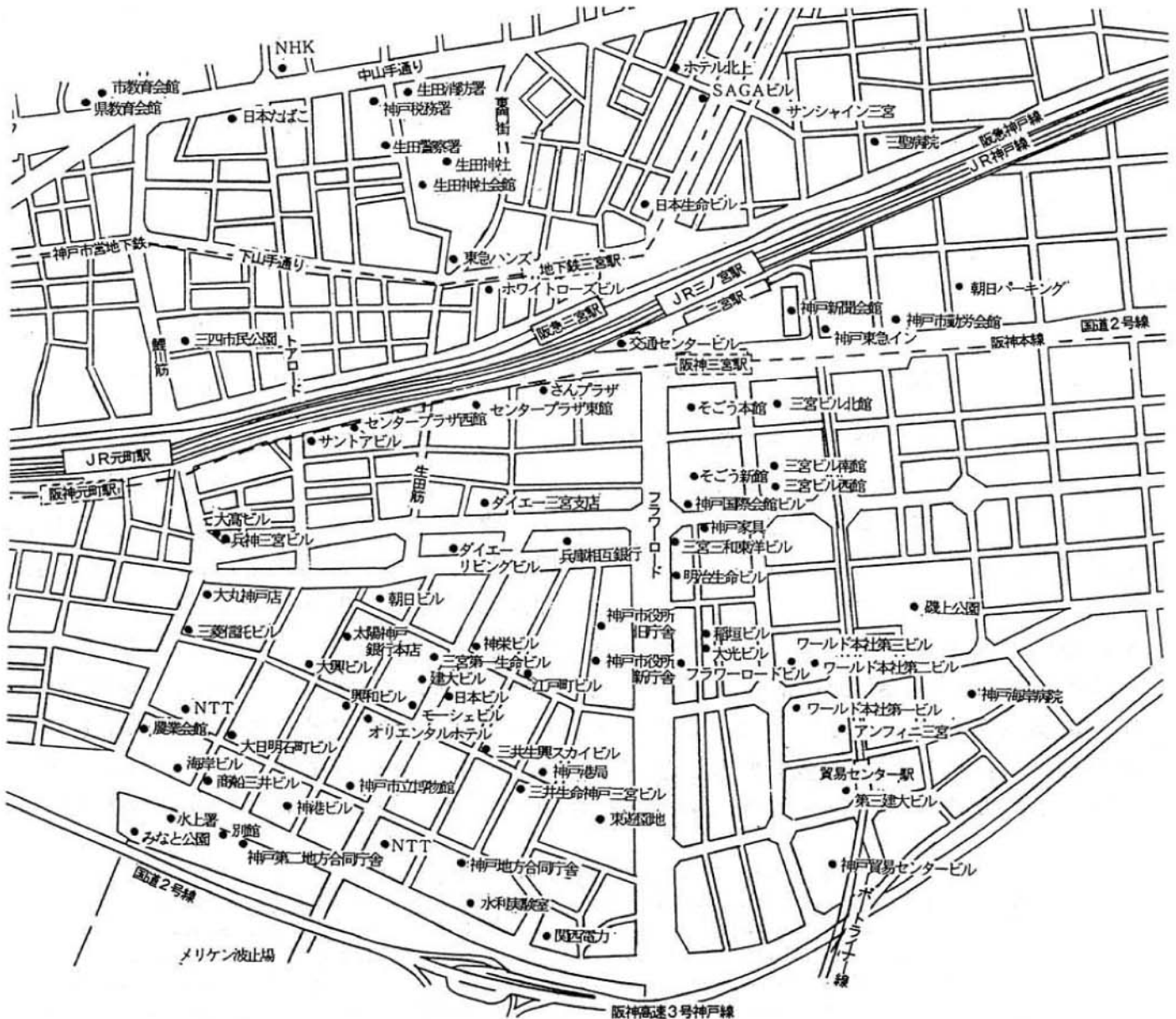


図2.3.3 三宮駅周辺の外観調査を行った建築物

参考文献

- 1) 報道写真全記録阪神大震災：朝日新聞社、1995.3
- 2) 科学朝日緊急増刊：朝日新聞社、1995.3
- 3) 1995年兵庫県南部地震災害調査速報：社団法人日本建築学会、1995.3

2.3.2 鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造建築物

(1)被害の概要

鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の主な被害形態を以下に示す。

1)ピロティー形式の建築物を主とする1階部分の層崩壊

比較的多い被害として、ピロティー形式の建築物や壁の少ないラーメン構造の建築物では、1階の層崩壊が見られる。ピロティー形式の建築物では、剛性の不連続により、剛性の低い1階に被害が集中したと考えられる。建築物の被害状況は、主として柱にせん断破壊が生じており、被害の程度は大きくなっている。

2)中高層建築物での中間階の層崩壊

今までの日本の地震被害ではあまり例のない被害形態として、中高層建築物の中間階の層崩壊が挙げられる。この原因として考えられる主な内容を以下に示す¹⁾。

①特定の層で柱の強度・剛性が急変する。あるいは、鉄骨鉄筋コンクリート造から鉄筋コンクリート造に変化するなど構造形式の不連続部分がある。

②構造的に梁よりも柱が弱くなっている層崩壊型の建築物は、どの層でも壊れる可能性がある。ある層の柱が壊れ始めるとその層の柱が連続して壊れ、他の層では壊れない。

③設計地震荷重は、新耐震設計法以前では、高さ方向に一様な分布形を使っていた。新耐震設計法では、上層部ほど大きくなるように設計地震荷重が与えられている。

④上下動が非常に大きかったことも一つの原因と考えられる。鉄筋コンクリート造の柱の曲げ強度とせん断強度は、軸力によって変化する。

⑤地盤から入射した波が建築物上部に伝わっていき、最上階で反射した波とさらに下から入射した波が重なり合って大きな力が中間階に作用する。

3)壁の偏在に伴うねじれによる破壊

壁配置の偏っている建築物では、地震力が働くと建築物にねじれ振動が生じる。これに伴い、隅角部およびその近傍の柱が破壊している被害がある。被害の程度は大きく、建築物が傾いたり、層崩壊を生じている。

4)袖壁・垂れ壁などの付いた柱のせん断破壊

袖壁・垂れ壁などの付いた柱は、これらの部材と柱間にスリットを設けていないと短柱となり、せん断破壊が生じているものがある。

5)その他の被害

耐力壁の少ない建築物の柱のせん断破壊、柱梁接合部のせん断破壊、柱の圧壊、境界梁のせん断破壊などがある。

参考文献

- 1) 1995年兵庫県南部地震災害調査速報：社団法人日本建築学会、1995.3

(2)被害状況

用 途：共同住宅

所 在 地：神戸市東灘区

階 数：7階



写真2.3.1

1階がピロティー形式
となっており、1、2
階が層崩壊している。



写真2.3.2

1、2階の柱のせん断
破壊の詳細。

用 途：店舗、共同住宅
所 在 地：神戸市中央区
階 数：10階



写真2.3.3
1階が層崩壊している。
1階は店舗として使用
されており、ピロティ
ー形式の構造となっ
ている。



写真2.3.4
層崩壊に伴い、建物全
体が東側に傾斜してい
る。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：7階



写真2.3.5
1階が層崩壊している。



写真2.3.6
柱鉄筋（丸鋼）の付着の低下により、1階柱にせん断破壊が生じている。
せん断破壊に伴い、柱主筋も座屈し、層崩壊に至っている。

用 途：事務所、店舗
所 在 地：神戸市中央区
階 数：5階



写真2.3.7

1階が層崩壊している。
下山手通り一带は、倒壊あるいは大破以上の建築物が多い。



写真2.3.8

層崩壊により、建物全体が北西側に傾斜している。

用 途：店舗、共同住宅
所 在 地：神戸市中央区
階 数：6階



写真2.3.9
2階が層崩壊している。
1～3階まで店舗、4
階以上が住宅である。
4階以上は、1～3階
に比べ壁量が多いと思
われる。



写真2.3.10
2階が層崩壊しており、
建物が北西側に傾斜し
ている。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：12階



昭和46年竣工

写真2.3.11

5階が層崩壊しており、
西側に傾斜している。



写真2.3.12

層崩壊に伴い、ガラス
が破損している。
6階の損傷も著しい。

用 途：店舗
所 在 地：神戸市中央区
階 数：6階



写真2.3.13
4階が層崩壊している。



写真2.3.14
3階に比べ4階の柱が
小さい。
PCカーテンウォール
が脱落している。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：8階



写真2.3.15
4階が層崩壊している。



写真2.3.16
南面の2本の柱が、3階の柱頭および4階の柱脚で破壊している。南東の4階の柱では、70~80 cm ずれている。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：9階



昭和40年竣工

写真2.3.17
5階が層崩壊している。



写真2.3.18
カーテンウォールが脱落しかけており、ガラスが破損している。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：12階

昭和47年竣工



写真2.3.19
4階が層崩壊している。



写真2.3.20
ガラスが破損、タイルの一部は剝落している。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：11階

昭和31年竣工

写真2.3.21

7階が層崩壊し、ガラスは破損、外装材は一部脱落している。



写真2.3.22

層崩壊により、上層部が北側に傾斜している。



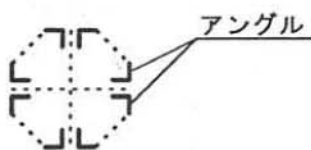
用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：6階



写真2.3.23
鉄骨鉄筋コンクリート
造6階建てであり、4
階が層崩壊している。



写真2.3.24
4階以上は、北西側に
移動している。4階柱
の破断面から、鉄骨形
状はアングルを用いた
組立て断面となってい
る。



用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：8階



昭和32年竣工

写真2.3.25

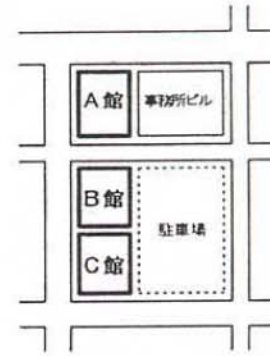
6階が層崩壊し、6階
以上は北側に移動して
いる。



写真2.3.26

柱の鉄骨は5階の柱の
中央高さまで設けられ
ており、6階以上は鉄
筋コンクリート造とな
っている。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：8階，9階



昭和40年竣工

写真2.3.27

A館は、3階が層崩壊しており、その他の階の外装材等の損傷は大きくない。



写真2.3.28

B館は、1階が層崩壊しており、2階以上の外装材の損傷は大きくない。



写真2.3.29

C館は、層崩壊を起こしていないが、外装材等の損傷は、全面に渡って著しい。

用 途：共同住宅

所 在 地：神戸市東灘区

階 数：8階



写真2.3.30

2階南側がピロティー、
北側には壁が入っている。
偏心によるねじれ
により、1階北側（左
側）構面の柱が崩壊し、
建物が傾斜している。



写真2.3.31

北側構面の破壊した柱
の詳細。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：5階



写真2.3.32
1階が層崩壊しており、
建物全体が傾斜してい
る。



写真2.3.33
偏心により1階が層崩
壊している（東側）。

用 途：学校
所 在 地：芦屋市宮川町
階 数：4階

写真2.3.34
垂れ壁、腰壁の付いた
柱がせん断破壊をして
いる。

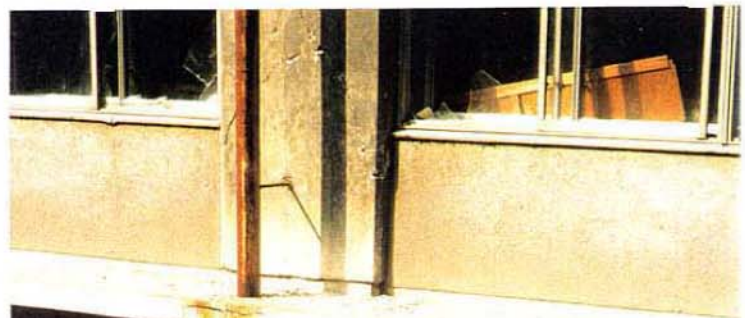


写真2.3.35
柱のせん断破壊の詳細。



用 途：店舗
所 在 地：神戸市中央区
階 数：7階

写真2.3.36

東面の損傷状況。
ガラスの破損が見られ、
外装材の変形から、2
～4階で建物中央部が
沈下していると推定さ
れる。



写真2.3.37

東面2階柱のせん断破壊の
詳細。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：10階



写真2.3.38
東面の損傷状況。
梁には腰壁、垂れ壁が
取り付いており、柱は
短柱となっている。



写真2.3.39
2、3階の柱梁接合部、
柱にはせん断ひび割れ、
非構造壁にはせん断破
壊が生じている。

用 途：店舗
所 在 地：神戸市中央区
階 数：7階，9階



昭和44年竣工

写真2.3.40

建物中央左の外装材の破断面を境に、右側が7階建て鉄筋コンクリート造であり、左側が9階建て鉄骨鉄筋コンクリート造である。



写真2.3.41

9階建て鉄骨鉄筋コンクリート造は、柱にせん断ひび割れを生じており、7階建て鉄筋コンクリート造は、写真のように柱が圧壊し、それに伴い、主筋が座屈している。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：12階

平成2年竣工

写真2.3.42
西面の損傷状況。



写真2.3.43
東面の損傷状況。
境界梁にせん断破壊を
生じている。



用 途：共同住宅
所 在 地：神戸市中央区
階 数：8階



写真2.3.44

南面の損傷状況。
建設年代は平成に入ってからであり、外観からの損傷は小さい。
また、建設地は三ノ宮駅から北側へ至近な位置にある。
南北面に配置された耐震壁が有効であったと推定される。



写真2.3.45

玄関ロビー内は、耐震壁に微細なせん断ひび割れが見られ、1階の柱頭には曲げひび割れが見られる。

三ノ宮の海岸通り以南には、建設年代の古い鉄筋コンクリート造建築物が建っているが、総じて外観からは被害が見られない。



用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：3階

写真2.3.46



用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：4階

写真2.3.47



用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：4階

写真2.3.48

2.3.3 鉄骨造建築物

(1)被害の概要

鉄骨造建築物の主な被害形態を以下に示す。

1)昭和30年代に建設された建築物の被害

昭和30年代に建設された中低層建築物（5階程度以下のアパートや店舗併用住宅、事務所など）では、柱と梁は薄肉の箱形断面やH形断面材、ラチス組立材、格子組立材等を用い、外壁をモルタル仕上げとしているものが多く見られる。これらの建築物には、柱、梁に経年劣化による多くの発錆が観察されるものもあり、経年劣化が被害の要因の一つと考えられる。

2)柱梁接合部における溶接部の破断

柱梁接合部において、梁端の溶接部が破断していたり、柱頭部の溶接部で破断しているものが見られる。これらの中には、端部に開先を設けていなかったり、裏当てがねを設けていないなど溶接の不備により破断していると思われるものがある。溶接部の破断により、鉄骨が本来有している塑性変形能力を発揮する以前に倒壊してしまったと考えられる。

3)柱脚部の被害

建築物の高さに比べて幅の小さいペンシルビルでは、アンカー部のコンクリートの破壊、アンカーボルトの軸降伏による伸びや切断など柱脚部の被害が多く見られる。また、筋かいの付いた場合には、筋かいが接合されている箇所において柱が破壊している例も見られる。

4)筋かいの被害

筋かいが被害を受けている事例は多い。主な被害としては、筋かいの交差部におけるプレートの破断、細長比の大きい筋かいの座屈、筋かいと柱の接合部のガセットプレートの破断等である。

5)上階部分の大変形

上部階およびペントハウスにおいて、大きな水平変形が生じたため、モルタルなどの外装材の剝落やALC版外壁の損傷を受けている事例がある。

6)厚肉箱形断面の柱の脆性破断

超高層建築物では、厚肉箱形断面の柱が脆性破断している事例がある（「2.3.6 超高層建築物」参照）。

7)その他の被害

その他の被害として、特定階が耐力不足のため変形が集中しているもの、増築部を鉄骨造とした建築物では、柱脚部が破断しているものが見られる。

(2)被害状況

用 途：共同住宅
所 在 地：芦屋市伊勢町
階 数：3階



写真2.3.49

東面の損傷状況であり、外装材の剝落が見られる。

昭和30年代に建設されたと推定される共同住宅で、経年劣化による鉄骨の発錆が著しい。建設地である芦屋市伊勢町は、国道43号線の南側（海側）に位置しており、古い木造住宅以外の建築物の被害は、比較的少ない地域である。



写真2.3.50

薄肉断面の形鋼を用いた柱および梁に著しい発錆が観察される。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：7階



写真2.3.51

箱形断面材を柱に用いたラーメン構造のペンシルビルで、梁間方向1スパン、桁行方向2スパンの建物である。1階柱脚部では、周辺コンクリートの破壊、石貼り壁の剝落、ALC帳壁の一部破損が生じている。2階以上は外装仕上げ材に僅かなひび割れが生じている。

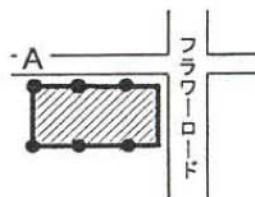


写真2.3.52

A柱のアンカーボルトは12cm程度引き抜かれている。

用 途：店舗
所 在 地：神戸市中央区
階 数：6階



写真2.3.53

下山手通り沿いにある
ラーメン構造の建築物。



写真2.3.54

剛性および耐力不足に
より1階部の変形が大
きくなっている。

用 途：店舗
所 在 地：神戸市中央区
階 数：7階



写真2.3.55

東面の損傷状況。
筋かい（東面X形筋かい、西面K形筋かい）に座屈を生じ、外壁の50%以上が剥落している。

柱：角形鋼管
梁：ラチス
筋かい：H形鋼



写真2.3.56

X形筋かいは、ガセットプレートに破断が見られる。

用 途：駐車場
所 在 地：神戸市中央区
階 数：5階



写真2.3.57
西面の損傷状況。
K形筋かいを用いており、梁の座屈およびブレース端部の破断が観察される。
梁の筋かいが取り付く位置には縦スチフナーがない。



写真2.3.58
南面の損傷状況。
損傷状況は、西面に比べてあまり目立たない。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：3階

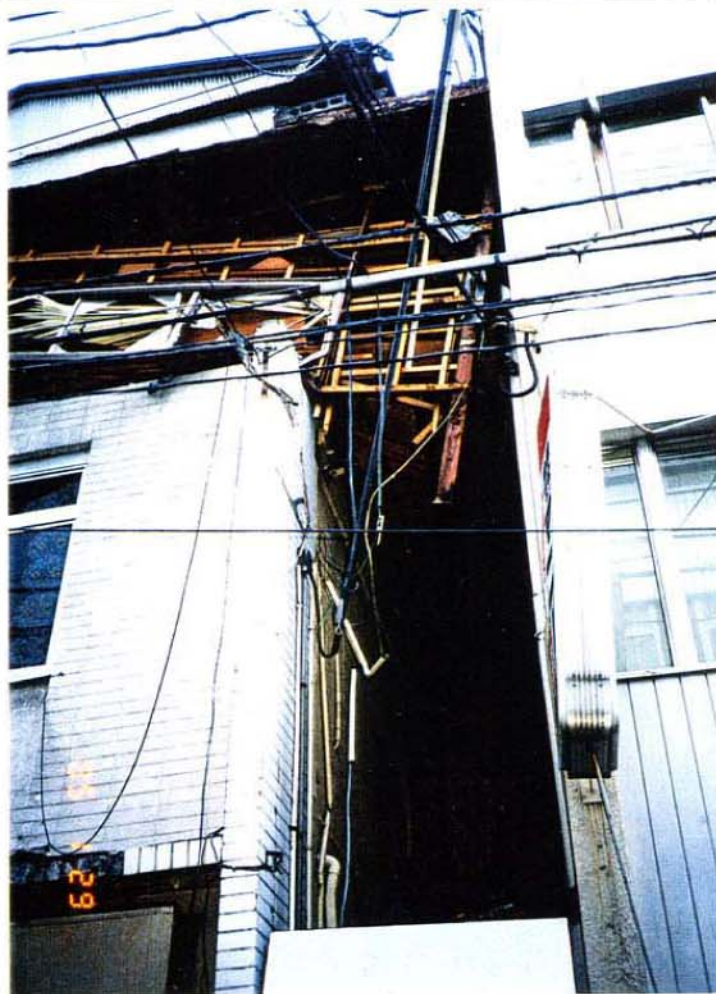
写真2.3.59

鉄筋コンクリート造2階建ての上部に、平屋の鉄骨造が建築されている。



写真2.3.60

鉄骨造の柱脚部が破壊しており、北側に移動している。



用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：5階



写真2.3.61
東面の損傷状況。
3階以下の外装材の損傷が著しい。

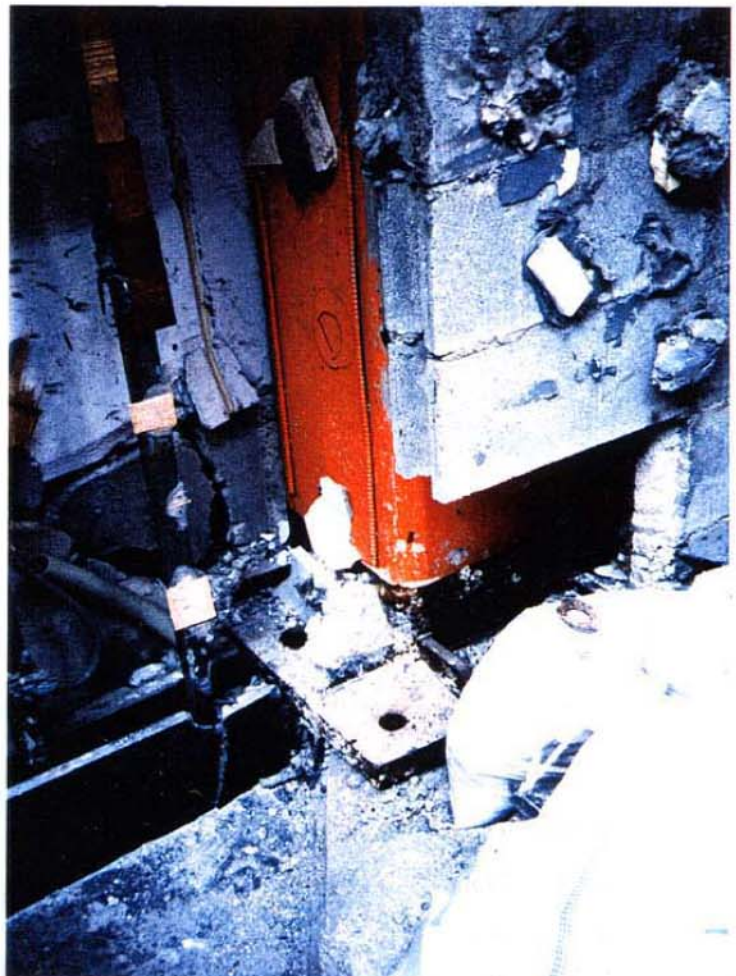


写真2.3.62
1階柱脚部の損傷状況。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：7階

写真2.3.63

桁行方向は筋かい形式の構造であり、梁間方向はラーメン構造である。建物が桁行方向に大きく変形している。



写真2.3.64

X形筋かいが破断している。



2.3.4 木造建築物

(1) 被害の概要

木造建築物は、様々な時期に建てられた建物が広範囲にわたって分布しており、その被害状況は、その地域にどのような木造建築物が分布するかに大きく左右される。

各地域の共通の特徴として、古い瓦葺きの木造建築物の倒壊が目立つ一方で、建設年代の比較的新しいものや、プレハブや2×4などの工法による建物は小被害にとどまっているものが多い。

木造建築物の主な被害形態を以下に示す。

①全体崩壊

老朽化の激しい建築物に多く見られた建物全体の崩壊。

②層崩壊

1階部分に過大な層間変形を生じ、最終的に自重により1階部分が崩壊に至る。

③倒壊

1階部分の崩壊で横倒しとなったもの。

④傾斜、外装材の脱落

建物全体もしくは外壁が傾斜しており、外装のモルタルが大きく剥落しているものもある。

⑤無被害

軽微もしくはほとんど被害のないものの多くは、築後浅く壁量も十分なものであった。

(2) 被害の要因

木造建築物の被害の主な要因を挙げると以下のようなものになる。

①老朽化して耐力低下による被害

大きな被害を受けた木造建築物の多くは建築後かなりの年数を経ており、基礎や柱の腐食などの老朽化が見られた。

②瓦葺き屋根の重量

比較的古い建築物では、葺き土を使用して瓦を葺いていたため、屋根重量が重くなり、地震動時に作用する荷重が大きくなった。

③筋かいの不足

筋かいが設けられていない、または設けられていても設置方法が適切でない建築物が多く見られた。

④不均衡な壁配置

南面に設けた大開口や連続した開口、また店舗併用住宅では1階道路側に設けた大開口により、その構面の壁量が極端に少ない場合が見られた。このような建物では耐力壁が不均衡に配置されることになり、1階部分が大変形を起こしたり、ねじれ変形を生じさせる原因となっていた。

⑤接合部、補強金物の不備

柱と横架材の引き抜き防止の補強金物が使用されておらず、柱が土台から引き抜けた例も見られた。

(3) 耐震性向上の要因

木造建築物の耐震性を向上させるには適切な構造計画が必要であり、その留意点としては以下のような項目があげられる。

- ①スレート葺き等により屋根重量を軽くする。
- ②筋かい・面材を多く使用し、水平抵抗要素を確保する。
- ③壁の適正な配置により建物にねじれなどが発生しないようにする。
- ④地盤条件を配慮した適正な基礎工法を採用する。

(4) 被害状況



写真 2.3.65
一階部分の傾斜と
外壁モルタル落下
宝塚市武庫川沿いの
住宅



写真 2.3.66
一階部分の傾斜
宝塚市栄町の商店



写真 2.3.67
一階部分の層崩壊、瓦
屋根の落下
宝塚市栄町の商店



写真 2.3.68
一階部分の層崩壊、屋
根落下
東灘区魚崎北町



写真 2.3.69
一階部分の破損
東灘区魚崎北町



写真 2.3.70
竣工間際の共同住宅で
無被害
東灘区魚崎北町

2.3.5 プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物

(1) 被害の概要

社団法人プレハブ建築協会（中高層部会／中高層技術委員会）では、地震発生直後の1月18日に学識経験者を含む「震災対策特別委員会」を、また1月19日には、同協会・関西支部中高層部会に「阪神大震災災害対策本部」を設置し、プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の被害調査を実施した。

調査対象建築物は、災害救助法適用地域内に分布するプレキャスト鉄筋コンクリート造の集合住宅で、調査総数は2,032棟（約55,000戸）に達しており、その約85%が公共事業主体の発注である。また、規模および構造種別は、5階建て以下の壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造がその99%を占めている。

調査結果によると、建築物の被害は、全壊および半壊などの大破以上は無く、中破程度のやや大きな被害を受けたものが7棟、小破以下の軽微な被害を受けたものが30棟の計37棟（被害率1.8%）であった（表2.3.2）。いずれも耐震補強は必要とせず、補修により機能の回復が可能としている。被害を受けた建築物の建設地の内訳は、神戸市20棟、西宮市9棟、宝塚市4棟、伊丹市2棟、明石市1棟、大阪市1棟となっている。また、死亡などの人的被害は皆無であった。

表2.3.2 プレキャスト鉄筋コンクリート造集合住宅の被害状況
（社）プレハブ建築協会の調査結果による）

被災度	棟数	被害率(%)
倒壊・大破	0	0
中破	7	0.3
小破・軽微	30	1.5
無被害	1,995	98.2
合計	2,032	100

被害率：調査総数に対する被害棟数の比率

また、東急工建(株)が関西地区で設計・施工を行ったプレキャスト鉄筋コンクリート造の集合住宅について調査を行っている。調査総数は、161棟(2,544戸)で、その構造種別は、壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造が155棟、プレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート造が6棟となっている。調査結果によると、被害を受けた建築物は7棟であり、被災度は小破以下となっている（表2.3.3）。

表2.3.3 プレキャスト鉄筋コンクリート造集合住宅の被害状況
（東急工建(株)の調査結果による）

被災度	棟数	被害率(%)
倒壊・大破	0	0
中破	0	0
小破・軽微	7	4.3
無被害	154	95.7
合計	161	100

[註]プレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート造を含む

プレキャスト鉄筋コンクリート造の被害の特徴は、以下のとおりである。

- ①造成地における盛土地盤の移動および沈下、埋立て地における砂地盤の液状化など、地盤の変形により建築物の主要構造部以外が被害を受けたものがその大半を占めていた。
- ②壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造の被害は、階段室の床スラブと壁パネルの接合部、水平雁行した建築物の雁行部分の鉛直接合部、増築した建築物の既存部分とのエキスパンションジョイント部など、接合部に集中していたが被害は軽微であり、特にプレキャスト部材自体には損傷はほとんど見られなかった。
- ③プレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート造で被害の見られた部位は、全て非構造壁などの非構造部材であり、耐震要素である柱、梁、耐震壁などは健全であった。なお、この建築物は神戸市中央区のポートアイランドに建設された地上14階建ての6棟であり、前記のプレハブ建築協会の調査対象からは除外されている。
- ④全調査建築物を新耐震設計法の施行前と施行後に分類すると、およそ同数の割合となっている。一方、被害を受けた37棟について分類するとほぼ同じ割合となり設計法の違いによる被害状況の相違は明確には見られない。

(2)被害状況

所在地：神戸市東灘区

階数：5階

構造種別：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造



写真2.3.71

建築物周辺の盛土地盤の沈下により、階段室入り口の土間コンクリートに約10cmの開きが生じている。

建築物本体は、杭に支持されており、無被害である。

所在地：神戸市垂水区

階数：5階

構造種別：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造



写真2.3.72

バルコニー部分の床スラブ相互の接合部に約30mmの目開きが生じている。

プレキャスト部材に損傷は見られない。

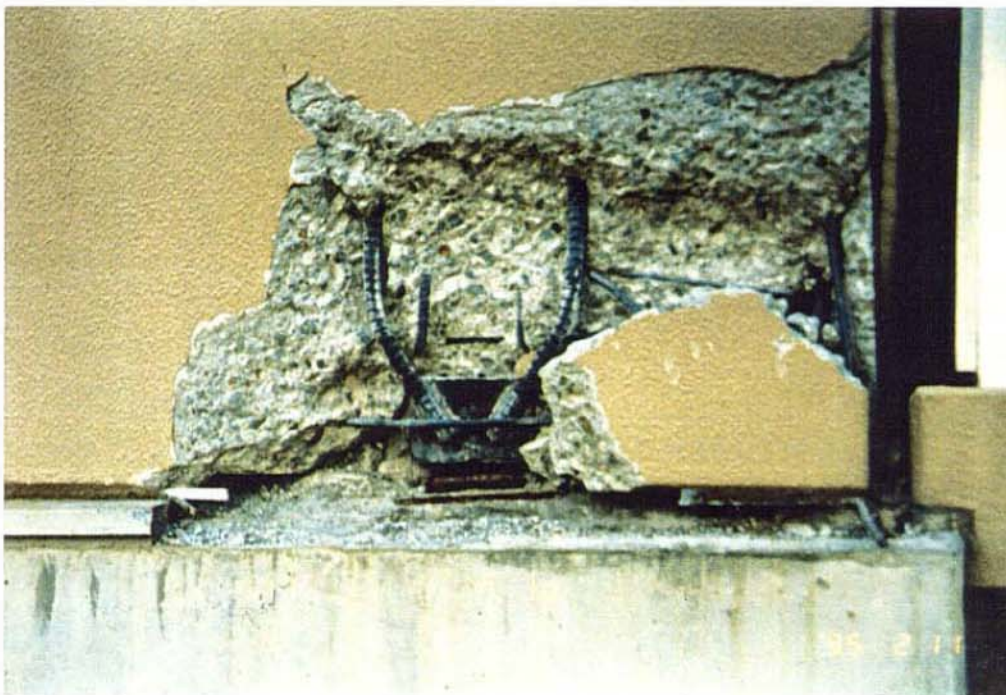


写真2.3.73

壁の水平接合部（セッティングベース）に局部破壊が生じている。鋼板溶接部とアンカー筋に破断は見られないが、面外方向の曲げによるコンクリートの圧壊が生じている。

所在地：西宮市

階数：5階

構造種別：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造



写真2.3.74

水平雁行した建築物の入隅部分において、鉛直接合部に目開きが生じている。

建築物内部の床スラブ相互の接合部にも同様の目開きが見られる。

所在地：神戸市中央区

階数：14階

構造種別：プレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート造



写真2.3.75

廊下とバルコニー側の非構造壁にせん断ひび割れが生じている。

柱（鉄骨鉄筋コンクリート）と大梁（鉄骨の廻りに、コンクリートを耐火被覆として打設したもの）は無被害である。

2.3.6 超高層建築物

(1) 被害の概要

兵庫県内における(財)日本建築センターの高層建築物構造評定を取得した超高層建築物の構造種別および建設地を、兵庫県南部地震における震度Ⅶの地域と重ねたものを図2.3.4に示す。

超高層建築物の建設地をみると、三宮周辺、ハーバーランド周辺、ポートアイランドおよび六甲アイランドに集中しており、そのうち三宮周辺が、震度Ⅶの地域である。超高層建築物の構造種別は、ほとんどが鉄骨鉄筋コンクリート造または鉄骨造となっている。また鉄筋コンクリート造の超高層建築物は、建設中のものを除くと震度Ⅶの地域から離れたところ(神戸市西区および神戸市北区)に建設されている。

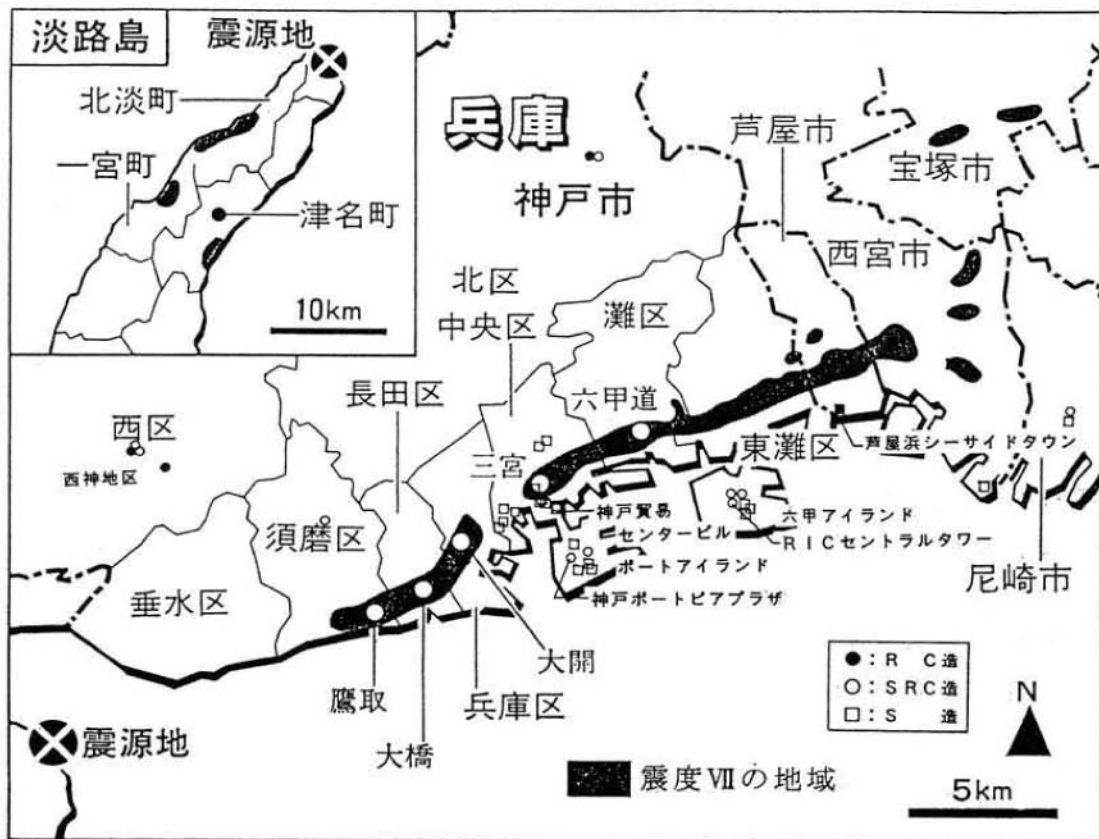


図2.3.4 兵庫県内の超高層建築物の建設地（「阪神大震災」全記録¹⁾より転載したものに加筆）

超高層建築物の被害の特徴としては、以下があげられる。

- ①建設地および構造種別によらず、被害の生じた建築物は限定されている。
- ②ほとんどの被害は、外装材などの非構造部材である。
- ③主要構造部の被害が報告されているのは一件である。

震度Ⅶの地域であり、中層建築物の倒壊が多かった三宮周辺においても、超高層建築物の主要構造部の被害は報告されていない。三宮に建つ公共建築物では、8階建ての旧庁舎では中間階が崩壊したのに対し、35階建ての新庁舎に被害は生じず、災害復旧の拠点として、あるいは被災者の避難場所としての機能を果たした（写真2.3.76）。その他、同地域に建つ他の超高層建築物でも主要構造部の被害は報告されていない（写真2.3.77、写真2.3.78）。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：35階
構造種別：鉄骨造

写真2.3.76

手前の8階建ての旧庁舎は、中間階が崩壊しているのに対し、35階建ての新庁舎に外観から被害は見られない。



なお、外壁などの非構造部材および外装材についての被害が、いくつかの超高層建築物において生じている。例えば、

- ①プレキャスト板の壁のせん断ひび割れ（写真2.3.79、写真2.3.80）
- ②ガラスの破損（写真2.3.81、写真2.3.82）
- ③タイルの剝落（写真2.3.83、写真2.3.84）

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：18階
構造種別：鉄骨造



写真2.3.77

震度Ⅶの三宮の超高層
建築物。外観から被害
は見られない。

用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：26階
構造種別：鉄骨造



写真2.3.78

震度Ⅶの三宮の超高層
建築物。外観から被害
は見られない。

用 途：共同住宅
所 在 地：神戸市中央区
階 数：25階
構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート造

写真2.3.79

ポートアイランドの超高層建築物。右から2列目の窓の左側において、外壁（非構造壁）がせん断ひび割れしている。



写真2.3.80

プレキャスト板の外壁が、せん断ひび割れしている。この壁は、柱から離れた位置にあるため、柱、梁に損傷を与えてはいない。



用 途：事務所
所 在 地：神戸市中央区
階 数：26階
構造種別：鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造



写真2.3.81
三宮の超高層建築物。
手前では、ポートライ
ナー線の橋げたがずれ
ている。



写真2.3.82
外壁のガラスが割れて
おり、ブルーシートや
テープで補修している。

用 途：共同住宅、店舗
所 在 地：神戸市東灘区
階 数：25階
構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート造

写真2.3.83

六甲アイランドの超高層建築物。外壁のタイルの剥落以外に被害はみられない。



写真2.3.84

外壁のタイルが、ところどころで剥落している。



(2) 主要構造部に被害を生じた建築物

唯一主要構造部に被害が生じたのは、芦屋市に建つ鉄骨造による集合住宅の超高層建築物群である。以下にその被害の詳細について述べる。

同建築物群は、芦屋市の埋め立て地に建設された14階建て、19階建て、24階建て、29階建ての住棟からなる、計52棟、総戸数3400戸のマンモス団地である。同建築物群は、昭和49年に日本建築センターの評定を取得し、昭和54年に完成している（写真2.3.86）。

建築物の骨組概要を図2.3.5に示す。本建築物は、高層住宅の持つ快適性と工業化工法の採用によるローコスト化を目指して計画された建築物で、耐震架構は、階段部分を柱とし7階から5層ごとに設けた共用階を梁とする剛接トラス構造を用いたメガストラクチャーとし、住戸部分は共用階にはさまれる4層のプレキャスト鉄筋コンクリート造としている。メガストラクチャーを採用したことにより、主架構と住戸部分を分離することができ、住戸部分の標準化および集約化を行っている。また、剛接トラス構造は、純鉄骨造で、弦材として柱には箱形断面材を、梁にはH形鋼を、斜材には鋼管およびH形鋼を用いている。

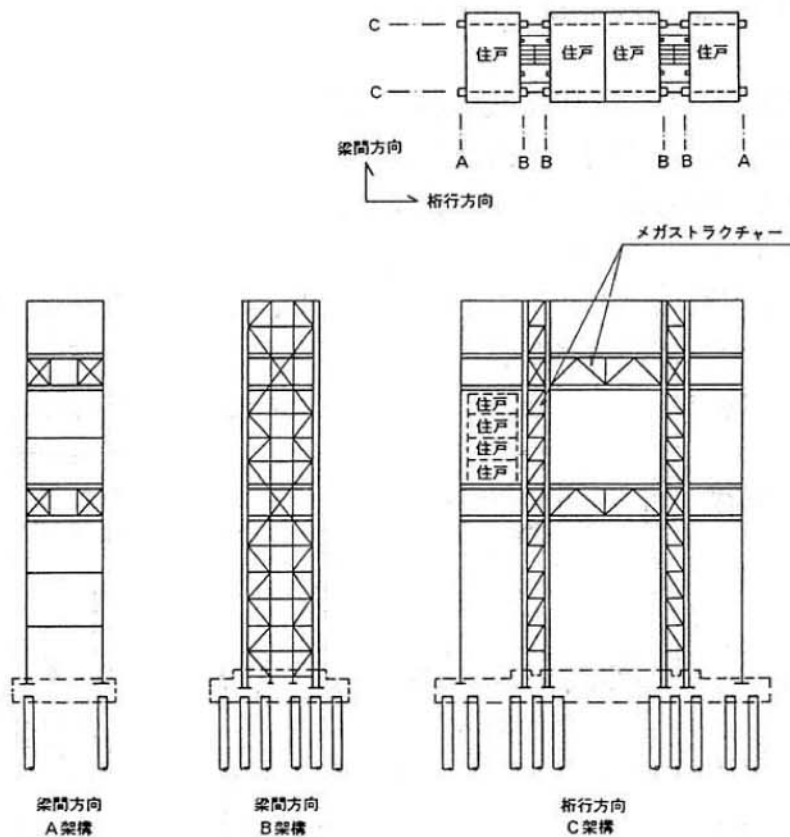


図2.3.5 建築物の骨組概要

これらの建築物群では、柱53ヶ所、梁19ヶ所、斜材6ヶ所において部材の破断が生じたことが報告されている²⁾。

破断した柱は、溶接組立をした箱形断面材で、断面は50cm角、板厚は50mm程度である（図2.3.6）。柱は、母材または溶接部で引張破断しており、柱の破断が斜材に達している箇所もある（写真2.3.85、写真2.3.87、写真2.3.88）。また、破断部には延びた様子はみられず脆性破断している。このような破断性状は、今までに例がなく、原因については不明な点が多い。

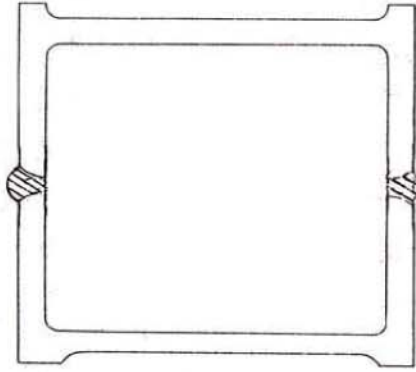


図2.3.6 柱の断面図

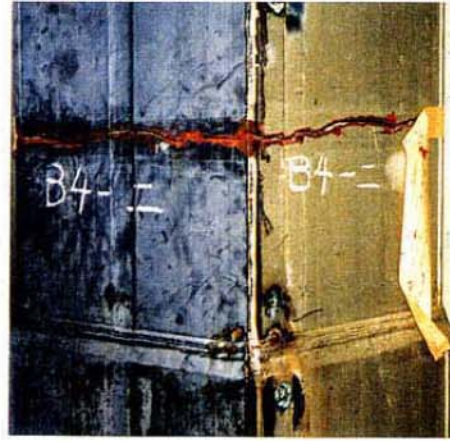


写真2.3.85 柱の破断形状

また、建築物の階数と柱の損傷個数の関係を見ると、被害が目立つのは24階建てと19階建ての住棟で、逆に最も高い29階建ておよび最も低い14階建ての住棟では比較的被害が少なかったことが報告されている。また、梁間方向が南北を向いている住棟の外柱に被害が多かった。

柱破断部の補強の詳細を図2.3.7に示す。補強は、柱の破断面を溶接した後、厚肉の鋼材を縦リブ方式で二面から破断部をまたぐように溶接している。縦リブは、合わせると柱の断面積と同等以上の断面積となるようにしている（写真2.3.89）。

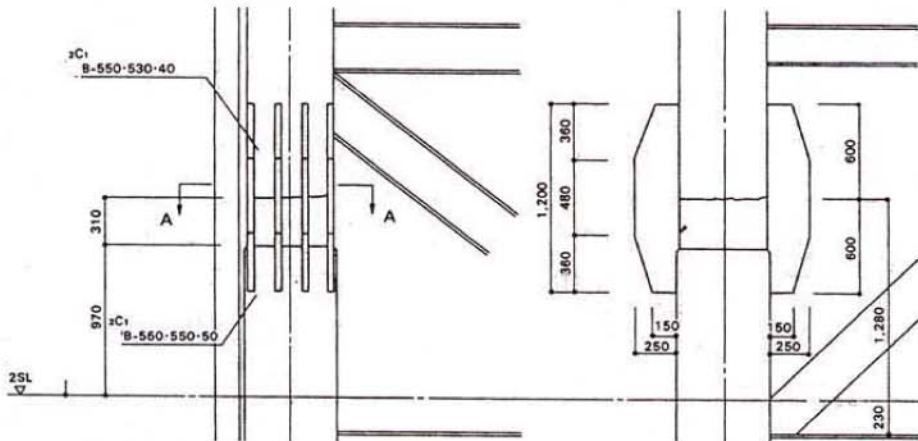


図2.3.7 柱破断部の補強方法（日経アーキテクチャ²⁾より転載）

参考文献

- 1) 神戸新聞社：「阪神大震災」全記録
- 2) 日経BP社：日経アーキテクチャ 1995年2月27日号

用 途：共同住宅
所 在 地：芦屋市高浜町、若葉町
階 数：14, 19, 24, 29階
構造種別：鉄骨造



写真2.3.86

階段部分を柱とし、7階から5層ごとに設けた共用階を梁とした鉄骨の剛接トラス構造によるメガストラクチャーである。



写真2.3.87

メガストラクチャーの柱において、弦材に相当する箱形断面材が母材で引張破断している。また、溶接部が破断している箇所もある。



写真2.3.88

柱の弦材に相当する箱形断面材の破断が、斜材のH形鋼まで貫通している。

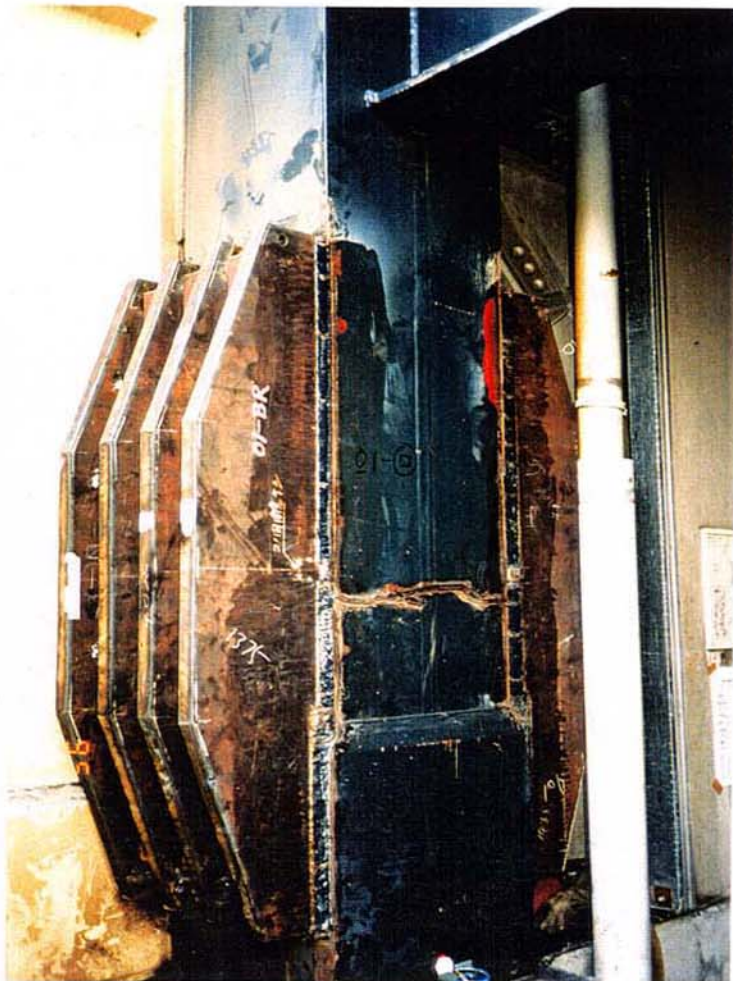


写真2.3.89

柱の破断箇所を補強している。補強は、破断面を溶接した後、厚肉のプレートを縦リブ方式で2面に溶接している。

2.3.7 免震建築物

日本国内で建設された免震建築物は七十数棟であり、そのほとんどが関東地方に集中している。神戸市内には2棟の免震建築物が建設されており、今回の地震でその安全性が実証されている。2棟の内、免震建築物のデータが公表された建築物について紹介する。建築概要は表2.3.4に示すように、鉄筋コンクリート造3階建ての事務所で延べ面積は480m²である。1階平面図、断面図、免震装置配置図を図2.3.8～図2.3.10に示す。免震装置は高減衰積層ゴムを8基用いており、水平方向の等価固有周期は設計用せん断歪み150%時に2.4秒で、鉛直方向は13.0 Hz以上に設定している。

同免震建築物および隣接する3階建て鉄骨造建築物（耐震構法）で今回の地震動が観測されている。耐震構法の建築物および免震建築物の屋上で観測された最

表2.3.4 建築物概要

用途	事務所
建築面積	160m ²
延べ面積	480m ²
階数	3階
構造種別	鉄筋コンクリート造
免震装置	高減衰積層ゴム

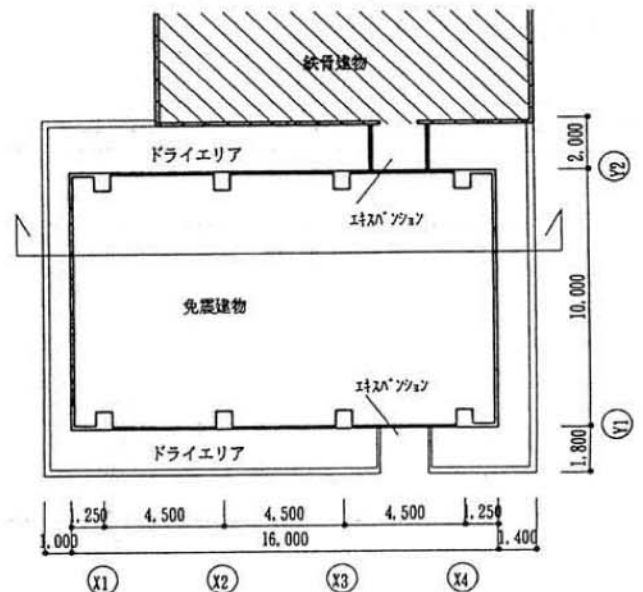


図2.3.8 1階平面図
(ビルディングレター¹⁾から転載)

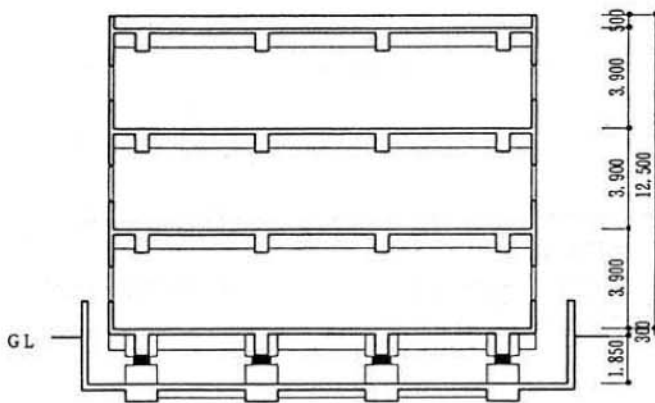


図2.3.9 断面図
(ビルディングレター¹⁾から転載)

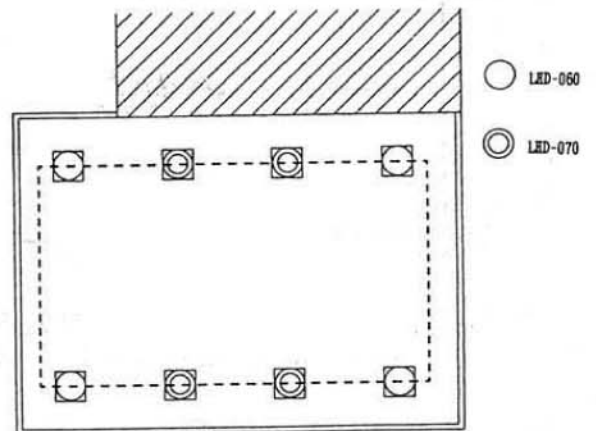


図2.3.10 免震装置配置図
(ビルディングレター¹⁾から転載)

大加速度を表2.3.5に、加速度波形を図2.3.11に示す。同免震建築物は震央から北東方向に約30km離れた所に位置しているが、免震建築物の地表（基礎）の水平方向における最大加速度は約270gal程度で震度VIに相当している。

地震観測結果によると免震建築物の屋上では南北方向が169.0gal、東西方向が270.3galであり、耐震構法の建築物の屋上では南北方向が970.5gal、東西方向が674.3galであった。この2棟の最大加速度を比較すると、免震建築物は耐震構法の建築物に比べ、南北方向で1/5に、東西方向で1/2程度に減少していることがわかる。

表2.3.5 最大加速度（単位:gal）
（MENSIN²）から転載）

	南北	東西	上下
地表（基礎）	274.4	261.9	233.3
免震棟 1階	145.3	250.8	267.8
屋上	196.0	270.3	336.1
耐震構法屋上	970.5	674.3	371.7

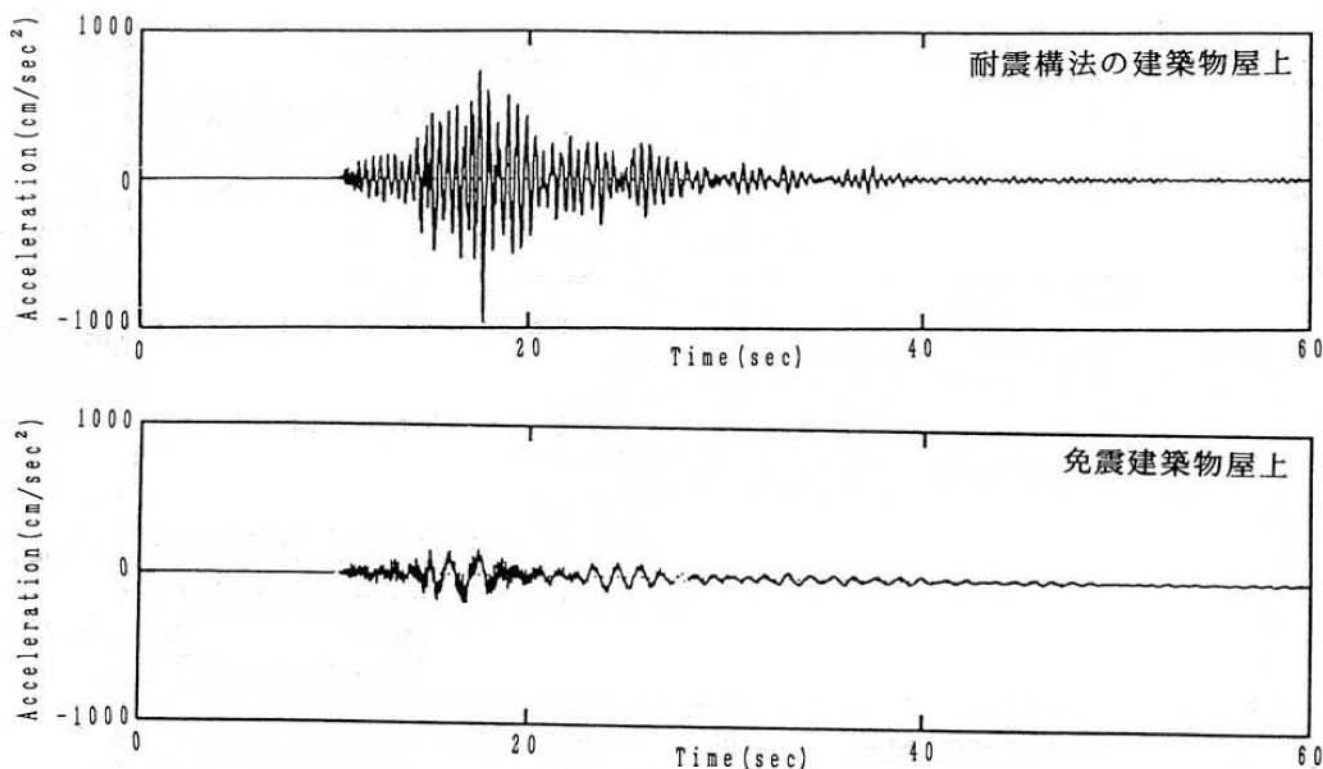
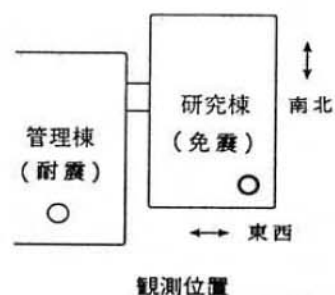


図2.3.11 耐震構法の建築物および免震建築物の屋上で観測された南北方向の加速度波形（兵庫県南部地震1995年1月17日、MENSIN²）から転載）

参考文献

- 1) ビルディングレター、日本建築センター、pp.14-20、1994年12月
- 2) MENSIN、日本免震構造協会、pp.19-20、1995年、No.7 冬号

2.3.8 火災による被害

(1)地震と火災

今回の火災の特徴は、地震が早朝（5時46分頃）に発生したにもかかわらず、多数の火災が同時に発生したことである。また、地震発生後しばらくしてからも多くの火災が発生したことも特徴的である。以下に、日経BP社発行の「阪神大震災の教訓」¹⁾より抜粋したものを示す。

「早朝にもかかわらず、多数の火災が発生した。地震直後の1時間で、少なくとも神戸市内では55件、尼崎、西宮、芦屋、宝塚、伊丹、川西の6市を含めると90件の火災が発生している。地震に関連すると思われる火災は、地震直後だけでなく当日の午後から夕刻、さらに翌日、翌々日にも多数発生している。地震後の3日間で、大阪府下の20数件を含めて、200件を越す火災が発生した。」

今回の火災発生の原因として、神戸大学工学部室崎教授¹⁾は以下の項目をあげている。

- ① 新聞販売店や、豆腐屋などの早起き型の施設からの出火
- ② 予想を上回る地震の激しさが、火元点検、初期消火活動を阻んだ
- ③ 電気復旧による発火（出火原因調査から分かった原因の半分を占める）
- ④ ガス漏れによる発火（ブロック遮断の遅れ、表2.3.6参照）
- ⑤ その他

表2.3.6 大阪ガスの供給停止時刻（「阪神大震災の教訓」¹⁾より転載）

午前11時50分	神戸2, 3ブロック	（芦屋市の一部、東灘区～長田区、須磨区の一部）
午後4時30分	大阪北ブロック	（猪名川町および豊能町の全域、川西市、伊丹市、宝塚市、西宮市、池田市の一部）
午後7時30分	神戸1ブロック	（芦屋市の残り、西宮市の大部分、宝塚市の一部）
午後9時00分	神戸4ブロック	（垂水区の大部分、明石市の一部、西区の半分）

(2)消火活動

火災発生後の消火活動について毎日新聞によれば、「古い建物が多いことや、貯水槽^{注)}から比較的遠いことなどの悪条件も重なり、延焼をくい止めるのに精一杯。中には、消火栓から水でないところもあり、消火作業が追いつかない状態。神戸市消防局は、貯水槽を含め、防災施設は消防庁の基準を満たしていたと説明しているが「火災が未明に同時多発したことは予想を超えた」と認める。断水などのため十分な水量が確保できないため、沿岸部では海水を使用しているほか、長田区や須磨区内では、土のうを積み上げて川をせき止め消火活動をした。」¹⁾

以上のように、多数の火災が同時発生したこと、消化用水が不足したこと、また、家屋の倒れ込みや車の渋滞によって消防車の駆けつけが遅れたことなど、様々な要因が重なって延焼し、火災による被害が大きくなったと考えられる。

注) 消防庁は大規模地震対策特別措置法に基づき、1972年度から地中埋設型の耐震性貯水槽を全国

的に整備している。一般の防火水槽より一回り大きい60-100tonの貯水槽で、自治体に補助金を交付し、昨年度までに全国で約六万三千基を設置している。兵庫県内には約二千基あり、神戸市など沿岸部に集中している。¹⁾

(3)火災による被害の概要

表2.3.7³⁾に火災数と焼失家屋数を示す。図2.3.12、図2.3.13⁴⁾に建設省建築研究所の調査により判明した火災区域の位置を示す。兵庫県南部地震の震度分布と照らし合わせると、震度の大きかった地域に沿って、神戸市須磨区から西宮市の間までの市街地にほぼ均等に火災が発生している。しかし、大規模な火災は神戸市灘区以西に多いことが分かる。

この火災による焼失面積は1,000,000㎡に昇るといわれている。このような大火災が発生した原因は、木造家屋が集中していたためと考えられる。「長田区などは戦災を免れたため、復興区画整理などが行われておらず、木造の建ぺい率60%以上、平均隣棟間隔2m未満という超過密地区であった」（日経BP社発行の「阪神大震災の教訓」¹⁾）。

今回の火災は、市街地大火としては比較的延焼速度が緩やかであった。その理由として、木造家屋の倒壊が一種の破壊消防の役割を果たしていたと考えられる。しかし、木造家屋の倒壊は飛火等による火災範囲拡大の役割も果たした。木造家屋の破損や倒壊によって、モルタルがはがれたり、屋根瓦が落下したりして、木地の部分が露出してこの飛火着火が容易になったと考えられる。

公園などの樹木のある場所で火災の拡大を抑えられたり、耐火構造物があったことで延焼が止まった例もある。ただし、地震によって倒壊した耐火構造物では、ガラス窓が割れるなどして建物内部に飛火し、延焼を抑えられなかった例もある。

これらの教訓から、炎上をまぬがれた木造家屋を十分に調査することで、どうしたら延焼を防止することができるかがわかる。樹木などのある空き地があれば火災が防げること、耐火構造物の開口部が防護できれば延焼が防げることなどがわかる。

表2.3.7 火災数と焼失家屋数（朝日新聞、阪神大震災1ヶ月特集より³⁾）

火災数：531件
家屋焼失：7,456棟
東灘区：392棟 中央区：597棟 兵庫区：1,071棟 長田区：4,017棟 須磨区：1,172棟
垂水区：7棟 西区：1棟 北区：1棟 芦屋市：15棟 西宮市：52棟 尼崎市：8棟
伊丹市：1棟 宝塚市：2棟 淡路島：1棟

参考文献

- 1) 日経アーキテクチュア編：阪神大震災の教訓、日経BP社発行、pp.85～89
- 2) 毎日新聞、1995年1月18日、朝刊より一部抜粋
- 3) 朝日新聞、1995年2月17日、阪神大震災1ヶ月特集より
- 4) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査報告（速報）、平成7年2月、pp.194～195より一部修正抜粋



図 2.3.12 調査火災区域図 (明石市, 神戸市須磨区～神戸市灘区)

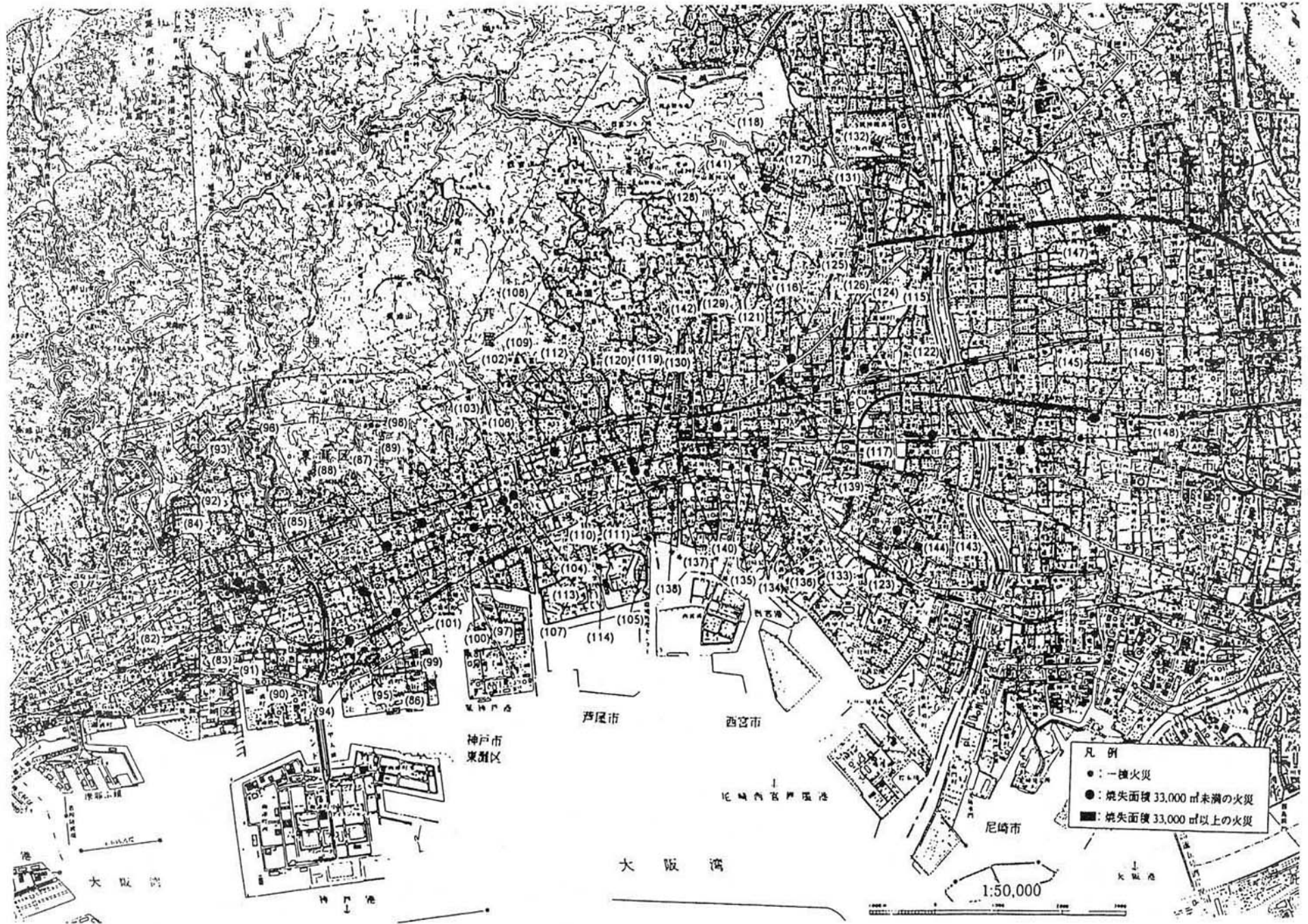


図 2.3.13 調査火災区域図 (神戸市灘区～尼崎市)