

3. 地震の被害

3. 地震の被害

3.1 地盤

3.1.1 神戸の地盤概要

神戸市の市街地は東西に走る六甲山地の南側に位置し、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上に形成されている。このため、市街地の地形は六甲山地側から、山麓扇状地、海岸平野、埋立地に分類され、これらの地形的境界は地質的な境界とも一致している。

六甲山地は主に花崗岩からなり、六甲変動を受けた断層破碎帯が多く存在している。また、表層付近は、風化によるまさ土化が進んできている。

山麓扇状地は、六甲山地の急峻な南斜面を流下する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。

海岸平野は、山麓扇状地南側の狭い沖積低地で、地表面付近は主として砂質土が分布している。

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地域で、今回、地盤の液化が多く見られた芦屋浜、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を主に六甲山地のまさ土、神戸層群の泥岩系砂岩などで埋め立てた地域である。

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を図3.1.1に、阪神地域の活断層および第四紀の地質を図3.1.2に示す。

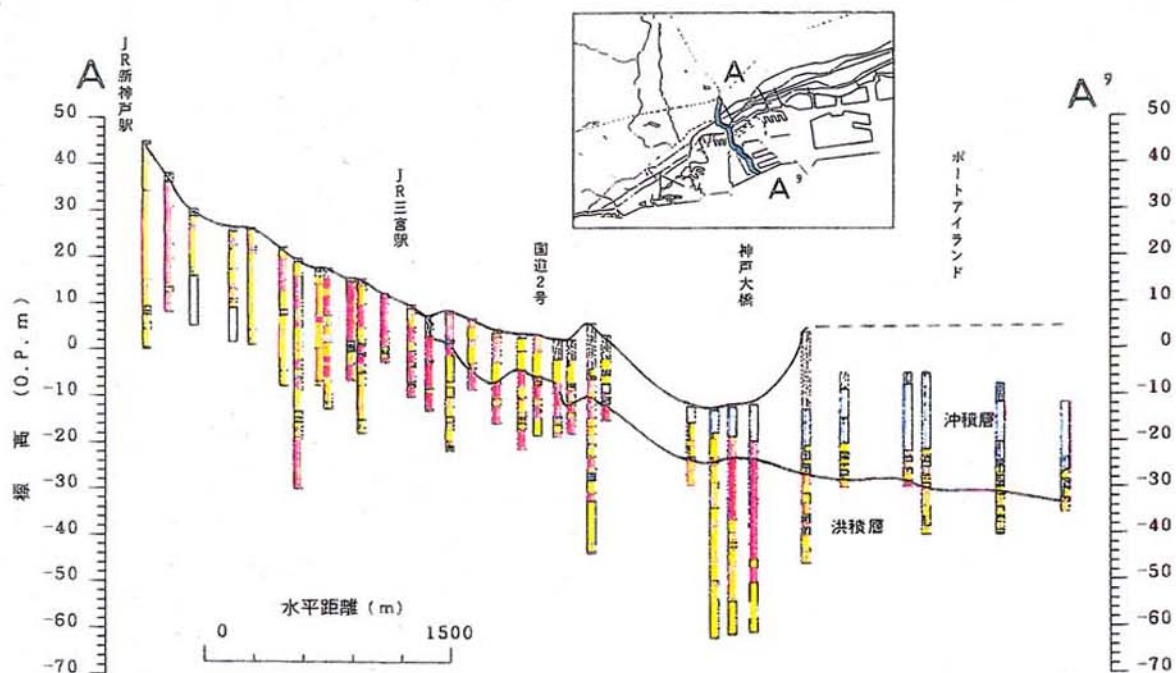


図3.1.1 神戸地域の地盤構成断面（新神戸駅～ポートアイランド）
（土質工学会関西支部編「関西地盤」¹⁾ より転載）

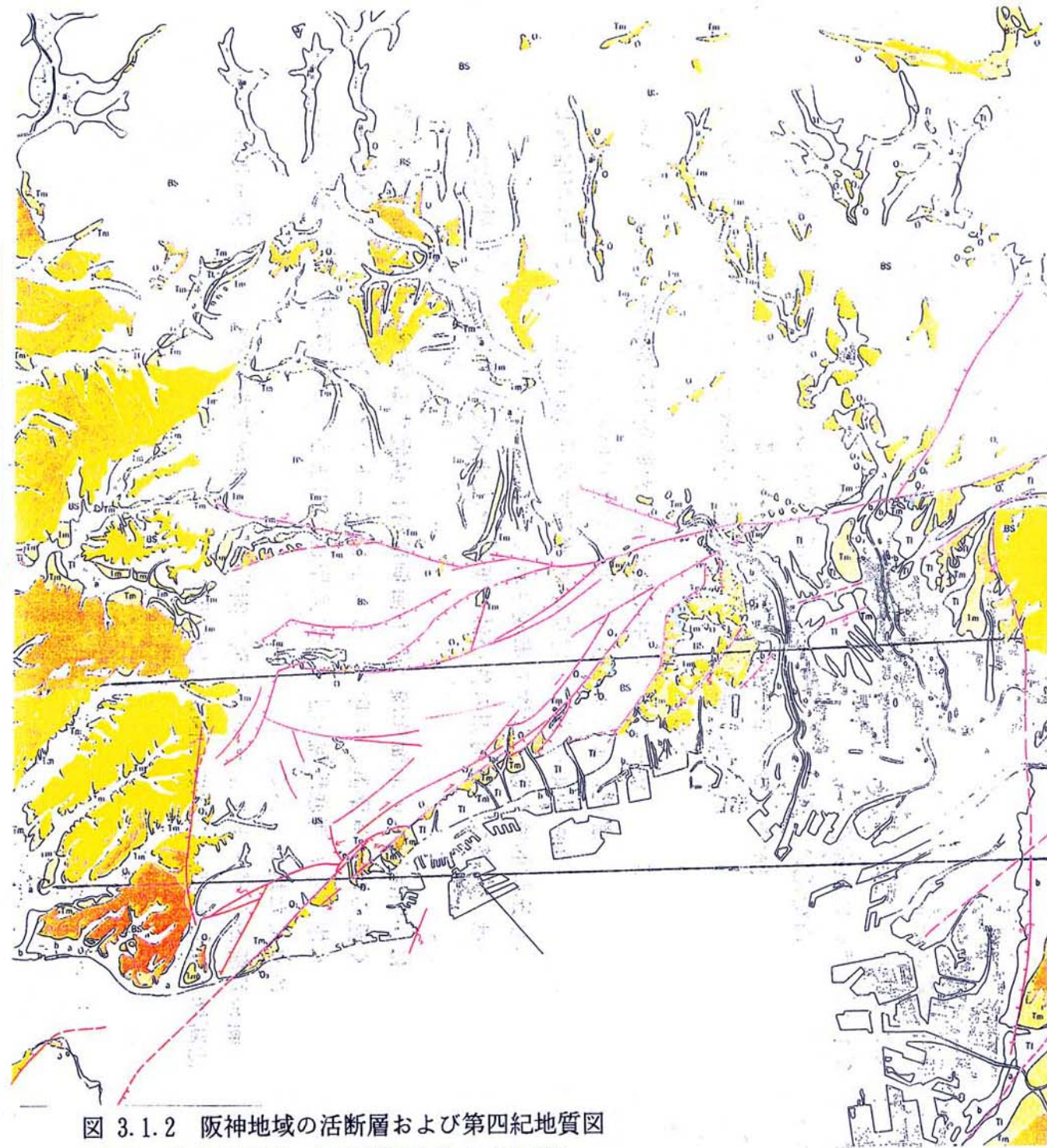
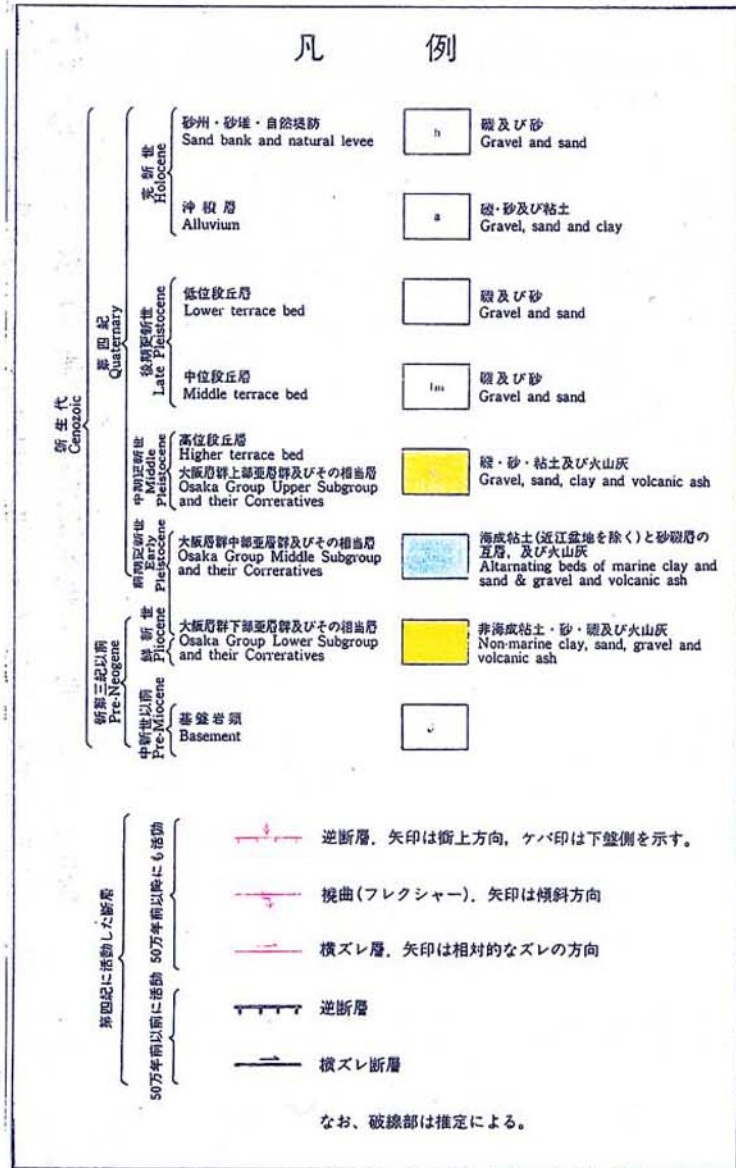


図 3.1.2 阪神地域の活断層および第四紀地質図
(土質工学会「新編 大阪地盤図」²⁾ より転載)

3.1.2 液状化

地盤の液状化は、西宮市南部、芦屋浜、六甲アイランド、ポートアイランド等を含む沿岸の埋立地盤で広範囲に生じている。液状化の被害は、平坦地における地盤沈下と沿岸地域における地盤の側方流動に大別できる。地盤の液状化現象は、ライフライン等の埋設部の破断、橋脚の損傷、護岸の移動や傾斜および港湾施設の倒壊という構造物の被害要因となっている。

今回液状化による被害の大きかった芦屋浜、ポートアイランド、六甲アイランドの位置を図3.1.3に、その埋立の概要を表3.1.1に、また、各埋立地の代表的な地盤の柱状図を図3.1.4に示す。

ポートアイランドは、昭和42年～昭和56年にかけて主に六甲山地から搬出されたまさ土系の土砂によって、六甲アイランドは、昭和48年～平成4年にかけて主に神戸層群の泥岩系砂岩により埋め立てられた。両島の埋立前の平均水深は12m～15m程度であり、埋立層の厚さは約20mに達している。また、埋立に用いられた材料は、図3.1.5に示すまさ土系土砂に見られるよう平均粒径20～50mmのレキからシルトまで広範囲な粒径で構成されており、その粒径分布から今まで液状化しにくいと考えられてきたものである。

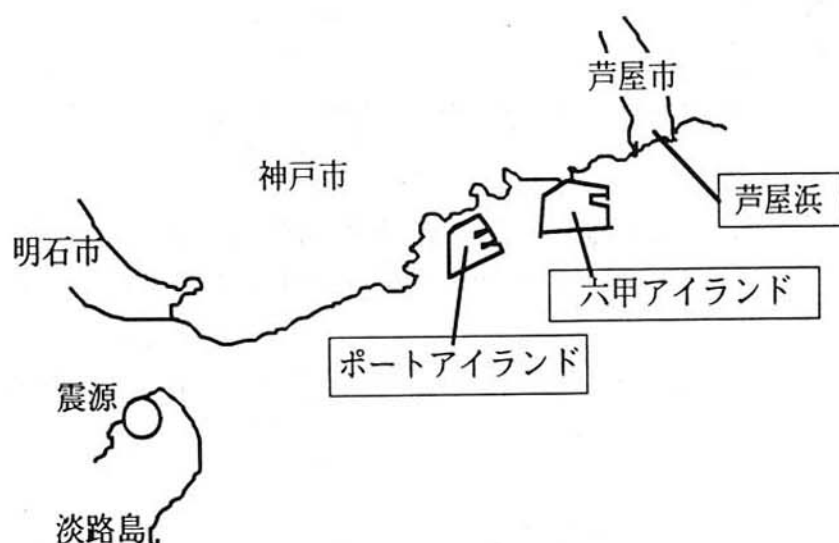


図3.1.3 埋立地の位置

表3.1.1 埋立地の概要

埋立地名称	工 期		埋立面積
	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

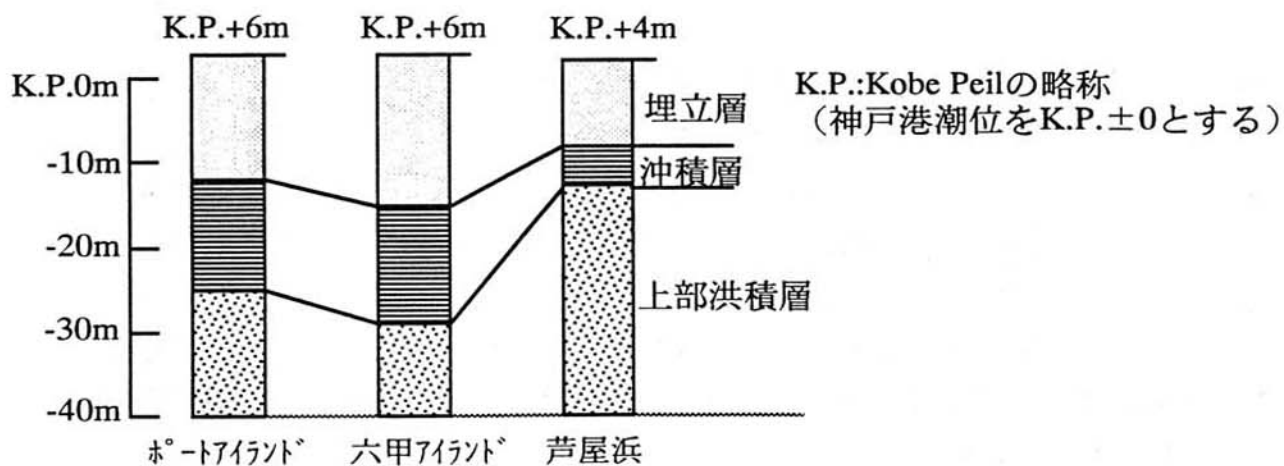


図 3.1.4 代表的な地盤柱状図

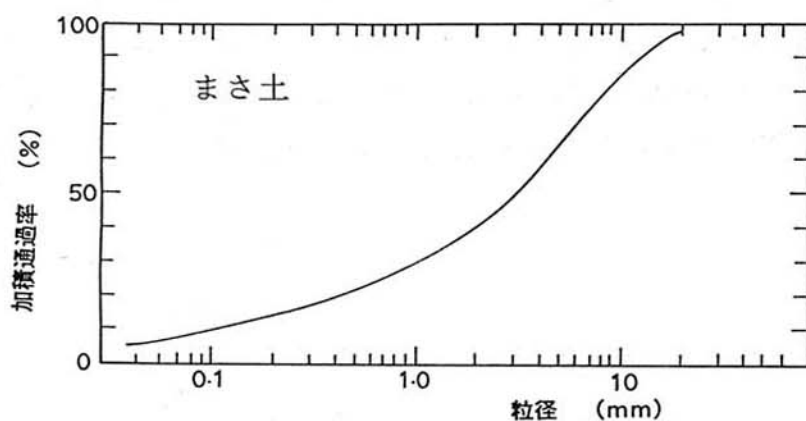


図 3.1.5 代表的な埋立土の粒径加積曲線 (ポートアイランド)
(土木学会「阪神大震災被害調査緊急報告資料」⁵⁾より転載)

(1) 芦屋浜

芦屋浜の主な被害状況の分布を図3.1.6に、航空写真から道路面の噴砂を判読したものを図3.1.7に示す。

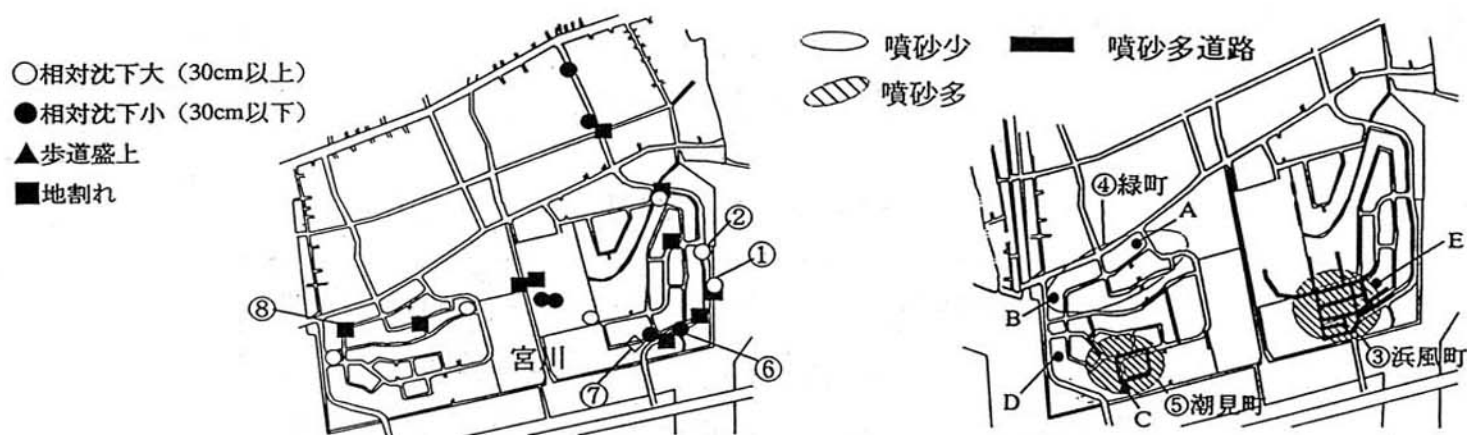


図3.1.6 芦屋浜被害状況分布

図3.1.7 芦屋浜の噴砂状況
およびボーリング位置

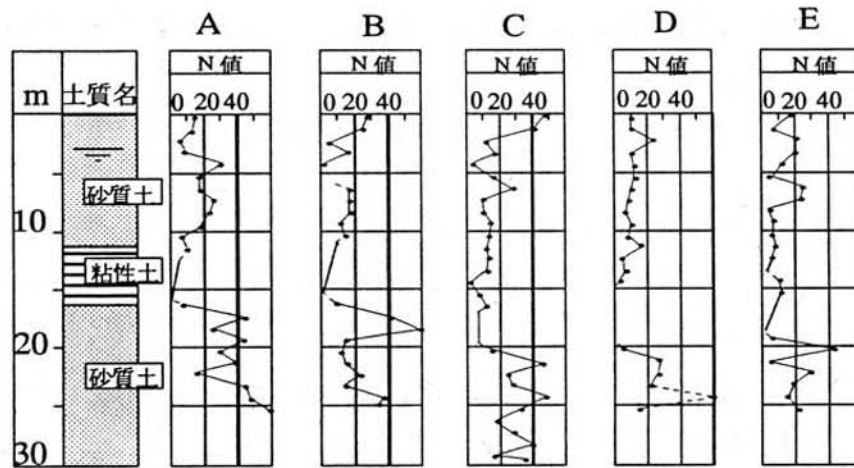


図3.1.8 芦屋浜のボーリング柱状図

(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」⁶⁾ より転載)

宮川以東の浜風町東側の尼崎港護岸は崩壊し、その脇を通る道路とは相対で60cm程度の段差を生じ舗装の下には空隙が見られた(図3.1.6.①)。また、その付近の横断歩道橋では、支持形式の相違からか道路と60cm程度の段差を生じていた(図3.1.6.②)。

住宅地においては、浜風町(図3.1.7.③)・潮見町(図3.1.7.⑤)と緑町(図3.1.7.④)との噴砂の違いが顕著であった。浜風町では、砂質土を含んだ間隙水と考えられる泥水が、道路高から30cm程度上昇した跡が各所で見られ(図3.1.6.⑥)、液状化による不等沈下から傾いた建物も見られた(図3.1.6.⑦)。

緑町付近(図3.1.7.④)は、主に淡路の山砂で埋立てられており、その層厚は13m～15m、N値は5～20であり、道路に数cm幅の地割れ(図3.1.6.⑧)が生じた程度で噴砂等は認められなかった。

(2) ポートアイランド

ポートアイランドの被害は、大別して内部の地盤沈下と周辺部の港湾岸壁の破壊とに分けられる。

内部の地盤沈下は、中央部を南北に走る新交通モノレールの基礎周辺の地盤に見られるよう、かなり広範囲に渡り20cm～50cm程度の沈下を生じている。

周辺部の港湾岸壁の被害は、埋戻し土の液状化による土圧の増大および地震時の衝撃力が原因となり、西側のコンテナバース、東側のコンテナバース、ライナーバース等では、岸壁ケーソンが2m～3m海側へ押し出され、背後のエプロン部分が幅5m～10m、深さ2m～4m陥没する被害を生じている。

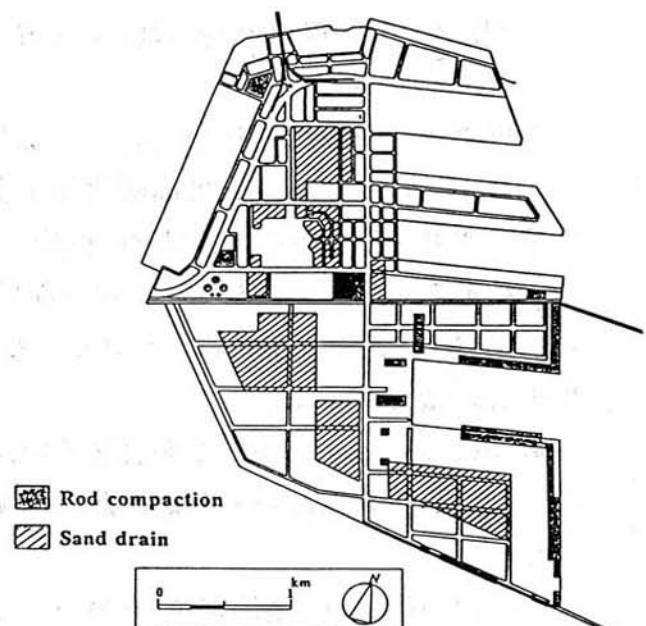


図3.1.9 補助工法施工地域

(土木学会「土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料」⁷⁾ より転載)

また、重力式岸壁についてはほぼ全てのものが海側へ移動するとともに沈下、傾斜を生じている。

一方、図3.1.9 に示す液状化対策工（ロッドコンパクション工）および圧密促進工（サンドドレーン工）がなされた地域では、路面のひび割れや若干の沈下が認められる程度であり、被害は外周の港湾施設地区に比べ軽微であった。特に、液状化対策としてロッドコンパクション工が施された地区ではその効果が顕著に認められた。

なお、東岸壁に近い港島6丁目では、埋立に用いられたまさ土（褐色）とは明らかに異なる貝殻混じりの噴砂（暗青色）が認められた。粒度試験の結果、細粒土含有率が1.0%、 $D_{50}=0.302$ 、均等係数1.82と非常に液状化し易い砂であることが確認されている。

(3) 六甲アイランド

六甲アイランドの主な被害状況の分布を図3.1.10 に、噴砂状況を図3.1.11に示す。

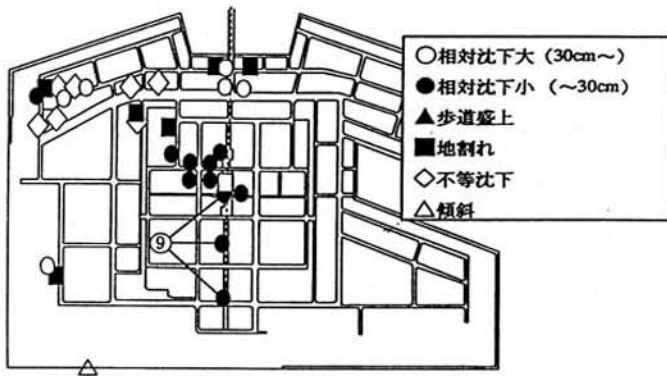


図3.1.10 六甲アイランド被害状況分布

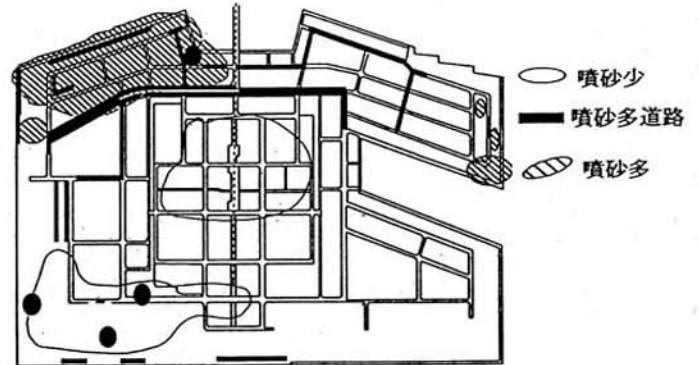


図3.1.11 六甲アイランド噴砂状況

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、NF対策（負の摩擦力低減）を施した支持杭が採用されているが、建物の機能を損なうような被害は見られなかった。しかし、南北に走る新交通システムの支柱基礎周辺（図3.1.10.⑨）に見られるよう、地域によっては30cm程度の沈下は確認された。ただし、島の中央部は大規模な液状化は発生せず被害も軽微であった。

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見られなかったが、北西地域では地割れなどから広域にわたり噴砂が見られた。

周辺部の被害は、南側の岸壁の一部を除きほぼ全周にわたり生じていた。その崩壊の形式はポートアイランドとほぼ同様であり、岸壁が海側へ移動するとともに沈下・傾斜を生じている。



写真3.1.1

ポートアイランドの液状化



写真3.1.2

六甲ライナー橋脚周辺
の地盤沈下



写真3.1.3
地盤沈下(内部)



写真3.1.4
地盤沈下(周辺部)



写真3.1.5
岸壁の移動・破壊



写真3.1.6
ケーソン式防波堤
の移動・破壊

3.1.3 斜面

(1) 山腹斜面

六甲山の東部を流れる中小の河川に沿った傾斜地で多くの斜面崩壊が生じている。崩壊の原因について現時点では明確に示されていないが、地盤のせん断力の低下および過大な水平力の作用によるものと考えられる。

崩壊の特徴としては、

- ・全体的に小規模な崩壊が多い
- ・急斜面での発生が多い
- ・崩壊の発生は遷急点付近が多い
- ・流下・削剥域は小さい
- ・不安定岩塊の崩落
- ・露頭崖からの崩落
- ・崩壊の方向と既存の断層との相関性

などがあげられる。

東六甲地域の山腹斜面の崩壊は、全体としてほぼ2本の帯状に分布しており五助橋断層、芦屋断層に平行な位置関係で出現していることが推定される。このことは今回の崩壊が、

①断層の動きに起因したもの

②全体として同じ地震エネルギーを受けたが、断層地形として出現する急斜面のみ崩壊したもの

③上記①、②に起因していたもの

などが考えられる。崩壊の原因が不明なため明言は出来ないが、今回の地震による山腹斜面の崩壊発生場所および崩壊方向は、現存の断層と深く関わっているものと考えられる。

(2) 宅地造成斜面

山腹部の宅地造成地における被害は、従来の震災に較べて少ない（土木学会阪神大震災調査 第二次報告会資料）と言われながらも、造成された宅地および取付け道路の崩壊、法面保護工の破壊等、宅地造成斜面の崩壊が生じている。

宅地造成地内の斜面崩壊は、局所的なものと面的なものに大別できる。局所的被害としては、擁壁単体の亀裂・倒壊あるいは局所的な道路のひび割れ・破壊などがある。面的な被害としては、断層に起因していると思われる帯状に分布する被害や局所的被害が連続し崩壊滑落崖状になっているものなどがあげられる。

宅地造成斜面の崩壊の特徴としては、地山と盛土との境界付近で変形や破壊を生じていることが多いことがあげられる。これは、地山と盛土の動的応答特性が異なるためと考えられる。また、芦屋市岩園町の地すべり箇所に見られるよう、住宅地として開発される前の旧地形（谷地等）が原因と推定される場合も多い。

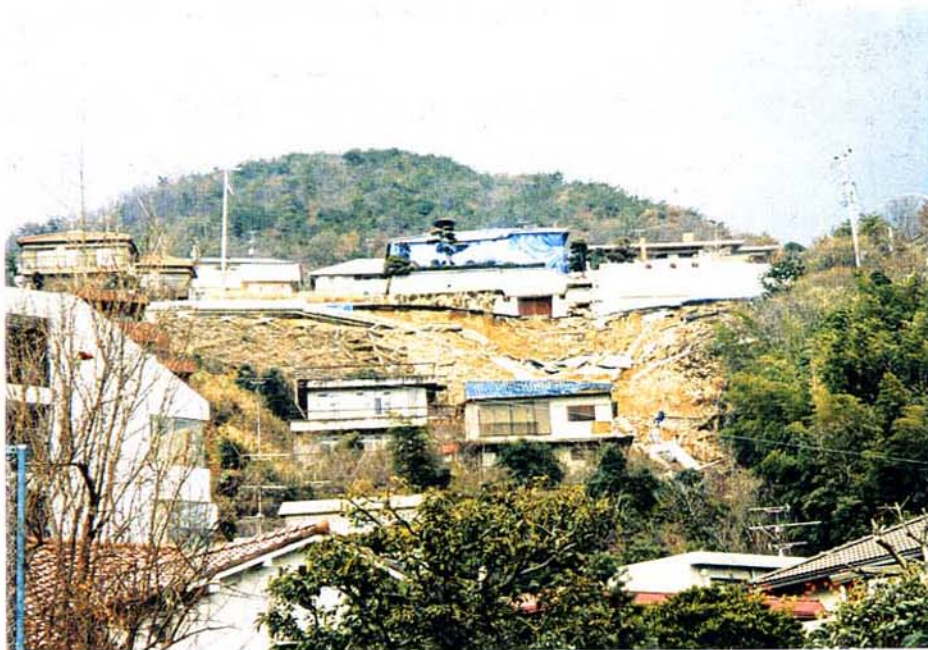


写真3.1.7
盛土の崩壊

3.2 道路

道路被害は、阪神高速道路公団神戸線、湾岸線における落橋、倒壊をはじめとして、いたるところで発生した。

構造物関連の被害では、単柱式円形橋脚の比率が高い（約80%）阪神高速道路公団神戸線の被害が著しく、図3.2.1に示すように深江、浜中、京橋、湊川付近に大きな被害が集中した。

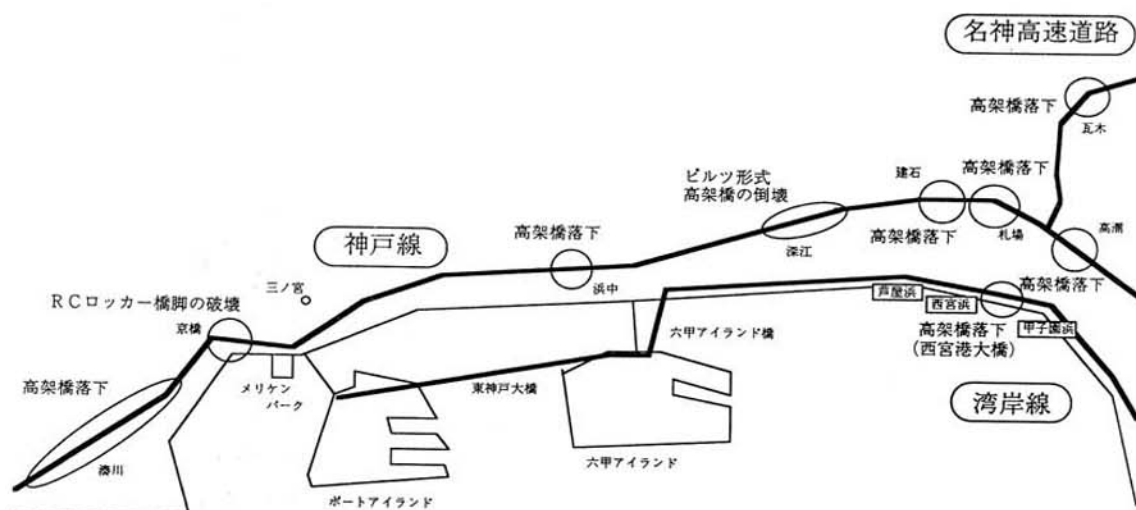


図3.2.1 道路施設と主な被害位置

（土木学会「阪神大震災被害調査緊急報告資料」⁶⁾ より転載）

とりわけ、深江出路付近の鉄筋コンクリート橋脚は約600mにわたり橋軸と直角方向に倒壊転倒に至った。倒壊した部分はビルツ形式と呼ばれる連続高架橋であり、円形断面のT形橋脚が鉄筋コンクリート桁に剛結合された構造であった。土木学会では脚柱のひびわれ発生から倒壊に至るまでの過程を次のa)～e)のように想定している（図3.2.2）。

- a) 曲げモーメントによるひびわれが円周方向に発生する
- b) これらのひびわれのどれかを起点として斜め方向のせん断ひびわれが発生する
- c) せん断ひびわれの終端付近のコンクリートが圧壊する
- d) コンクリートの圧壊により、重ね継手で定着されていた帯鉄筋が、せん断力分担及び内部コンクリート拘束といった機能を失い、コンクリートの圧壊が断面内部の深い部分にまで及ぶ
- e) 倒壊にいたる

また、神戸線で被害を受けた橋脚には、せん断破壊先行型の短柱も見られる。一般に鉄筋コンクリート橋脚の破壊形態は、橋脚高さ h と断面有効高さ d の比であるせん断スパン比の影響が大きく、 h/d が3以下の場合にはせん断破壊が先行しやすく、3以上の場合には曲げ破壊が先行しやすいとされているが、せん断スパン比以外に、鉄筋量、コンクリート強度、衝撃的な荷重作用、変位速度なども破壊形態に大きな影響を及ぼしたものと考えられる。

一方、破断面が脆性的破面となっている鋼製橋脚の座屈やコンクリート充填鋼管橋脚の鋼管の局部座屈も確認されている。

その他、落橋防止装置のウェブやピンの破断、合成桁の破壊、可動支承の橋軸直角方向への移動による桁固定端の過大変形、橋脚主鉄筋圧接部の脆性的破断、帯鉄筋のはらみ出し、化粧板の変形等が多数確認されている。

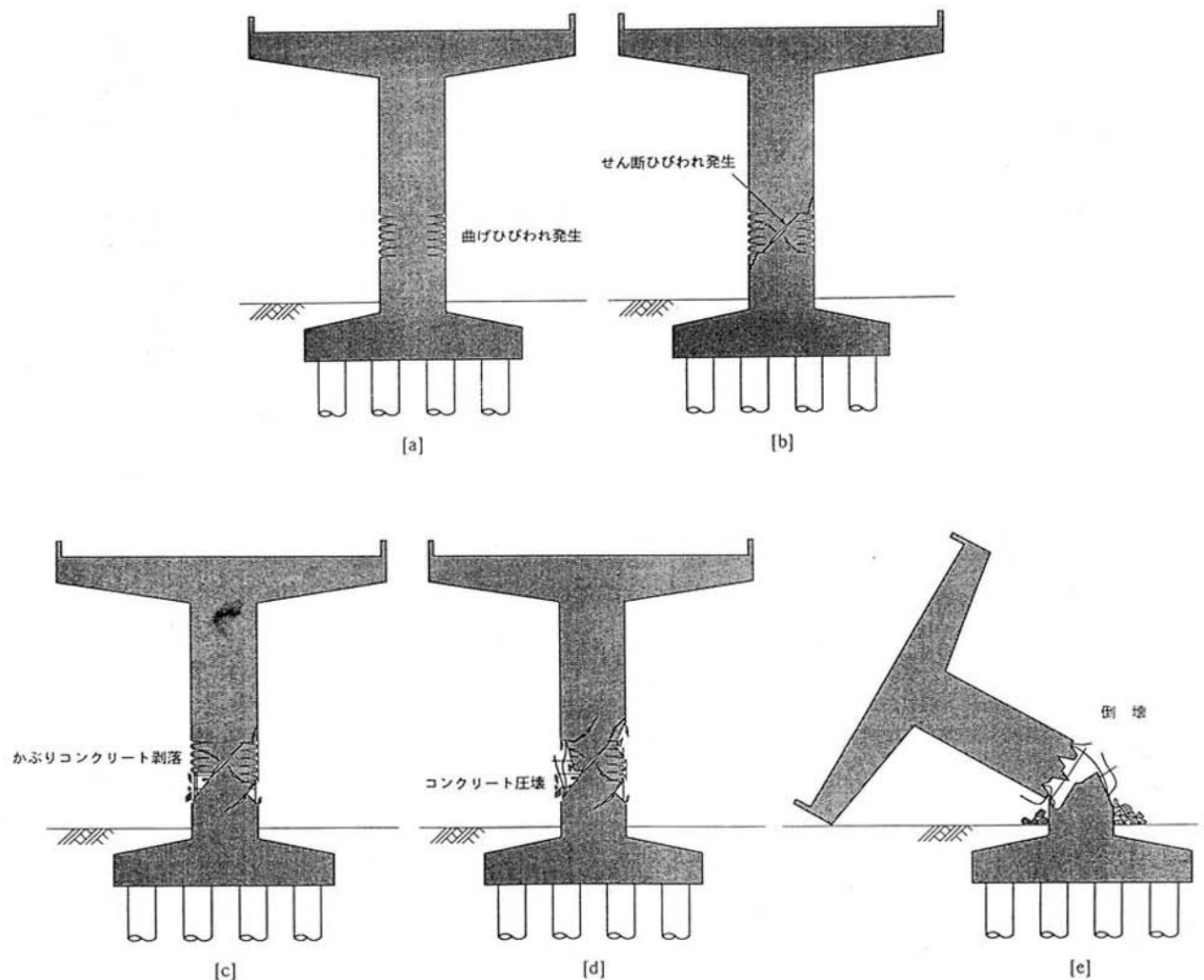


図3.2.2 ピルツ形式連続高架橋倒壊過程

阪神高速道路湾岸線では、その殆どが埋立地を通る路線であるにも拘らず大部分の構造形式がラーメン構造であることから今回の震災の被害は軽微であった。これは今回の震災による地震動がほぼ橋軸直角方向に作用したためと考えられる。具体的には、ラーメン構造では橋軸方向は地震力によって断面が定まるが、橋軸直角方向は地震力では断面が定らず、上部構造からの荷重によって断面が定るのが一般的であり、その結果として、橋軸直角方向の地震力に対しては十分に余裕のある設計となっていたと思われる。

国道2号線、国道43号線についてみると、路面の陥没、段差、クラックがかなりの箇所で見られたものの被害は相対的に軽微なものであり、阪神高速道路公団神戸線の損

壊箇所撤去にともない通行可能な状態となった。

地域内の幹線街路に関しては、立体交差している鉄道や幹線道路の橋桁倒壊等による通行止め箇所以外軽微な損傷が大部分であり、通行にあまり支障をきたすようなものはなかった。また、地区道路についても舗装のひびわれ、歩道の隆起あるいは沈下程度であった。



写真3.2.1

倒壊した阪神高速道路
神戸線(深江出路付近)



写真3.2.2

主鉄筋段落とし部で
破壊した橋脚



写真3.2.3
提灯座屈した橋脚

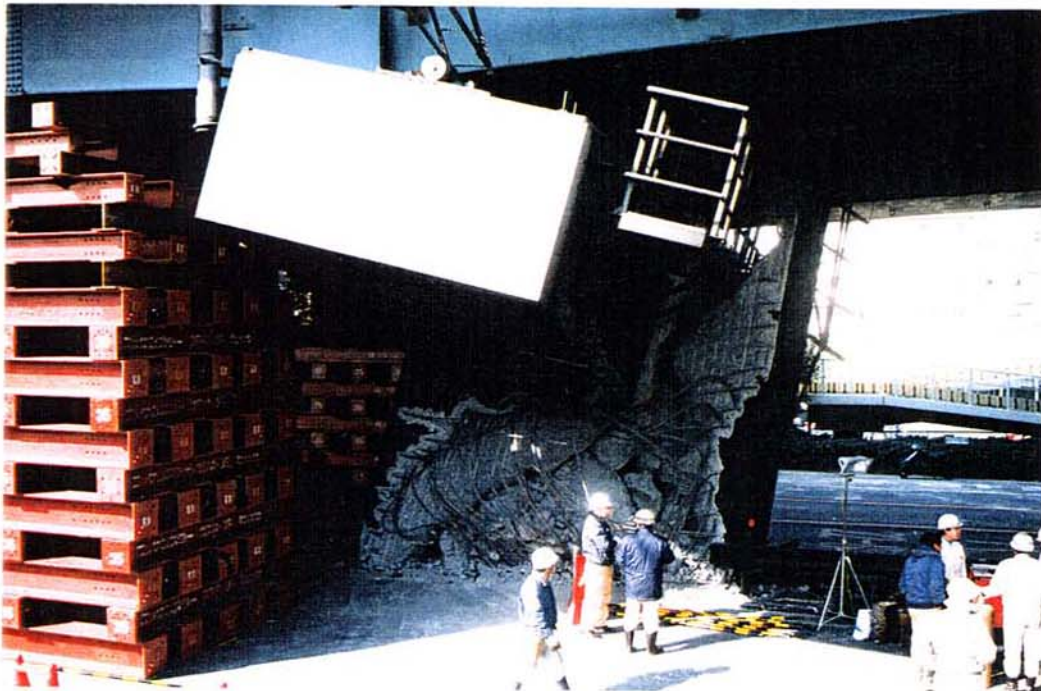


写真3.2.4
短柱のせん断破壊



写真3.2.5
座屈したT形鋼製橋脚



写真3.2.6
落橋



写真3.2.7
落橋防止装置のピン破断



写真3.2.8
合成桁の破壊



写真3. 2. 9
桁固定端の過大変形



写真3. 2. 10
橋脚主鉄筋圧接部の破断

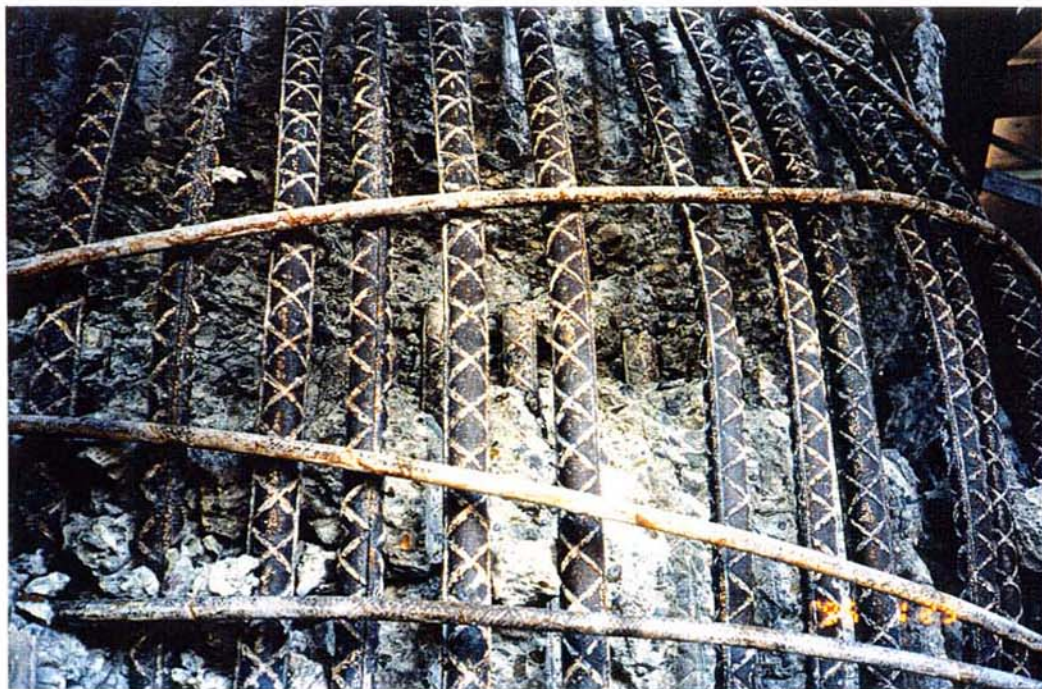


写真3. 2. 11
橋脚主鉄筋段落とし部の破壊
(帯鉄筋のはらみ出し)



写真3. 2. 12
化粧板の変形

3.3 鉄道

兵庫県南部の鉄道網は海岸に近い平野部に集中しており、国土の東西交通の主軸である山陽新幹線、JR 在来線（東海道本線・山陽本線）をはじめ、大阪と神戸を結ぶ大手私鉄（阪急・阪神）やそれらと山陽電鉄を結ぶ神戸高速鉄道、南北方向を補完する神戸市交通局（地下鉄）や神戸電鉄など多くの路線が存在している。

これらの鉄道網は兵庫県南部地震により、甚大な被害を受け、全線が即時に運転不能に陥った。ただし、地震の発生が早朝（新幹線始発前）であったことが幸いし、鉄道施設や車両が受けた被害の割には旅客・乗員等人的被害は少なく幸いであった（旅客：負傷41名、高架下勤務者・居住者：死亡3名・負傷1名）。

鉄道施設の被災状況の概況を図3.3.1、表3.3.1にまとめる。

3.3.1 新幹線（写真3.3.1～16）

東海道・山陽新幹線は、地震の発生と同時に全線で運転見合わせとなった。そして被害を免れた区間について、東京ー京都と岡山ー博多にて当日夜までに運転を再開した。

東海道新幹線は京都ー新大阪間で摂津市を中心に12箇所にて高架橋支柱（RC）が損傷した。

山陽新幹線は大部分がトンネル区間ではあったが、被害は大きく、高架橋の落下が9箇所、橋脚の損傷は非常に多く708本（交通新聞2/14）にも及んだ。また神戸・六甲両トンネル内壁にもクラックの発生が多数（100箇所以上）確認された。

以下に被害の概要をまとめる。

[ラーメン高架橋の倒壊]

被害の発生は六甲トンネルよ手前の尼崎市～西宮市の区間（全9箇所 中8箇所）に集中している（写真3.3.1）。

被害の内容は崩壊から損傷・亀裂まで多種多様であるが、これまで地震に強いと言われてきた新幹線の土木構造物に生じた被害だけに、社会に与えた衝撃は多大であった（写真3.3.2）。

図3.3.2に山陽新幹線の高架橋（ラーメン構造）の一般図を示すが、床版高さが高い場合（長柱）には、橋脚の中間に梁を用いた2層ラーメン構造となっている。比較的損傷の軽いラーメン構造に多く認められたのが、ハンチ下（柱 部材上端部）のコンクリート打継ぎ面における損傷である（写真3.3.3～4）。

大きな破壊を受けた橋脚は、以下のようなメカニズムにより破壊に至ったと思われる（写真3.3.5～6）。

曲げせん断破壊：地震時の水平力による曲げモーメント（左右に反復）により水平方向にひび割れが発生（柱部材が曲げ降伏）し、そのひび割れを起点に斜め方向にせん断ひび割れが派生し、かぶりコンクリートが剥落、せん断ひび割れ終端部のコンクリートが圧壊し、桁などの荷重に耐えられなくなり、内部コンクリートの圧壊、橋脚の倒壊に至る。

曲げ圧縮破壊：水平力（地震）による曲げモーメントに対して、圧縮を受けた鉄筋（既に引張により降伏していた）が座屈し、コンクリート（引張によりクラックが発生していた）は圧縮破壊に至る。

直接せん断破壊：軸方向（上下方向）圧縮力により、主鉄筋が帯鉄筋を破断に至らせかぶりコンクリートが剥離、内部コンクリートの圧壊、柱軸のずれ、倒壊へ進む。2層ラーメン構造の場合、中間梁自体は比較的損傷が軽微で、下層橋脚の上端部もしくは上層橋脚の上端部に大きな損傷（曲げ圧縮・曲げせん断）が見られる事が多かった（写真3.3.7～8）。

[PC 桁の落下]

阪急今津線をまたぐPC橋梁がRCラーメン橋台の倒壊により落橋した（写真3.3.9）。しかしながら、PC桁には損傷が認められなかったため、復旧時に再利用されている（写真3.3.10～11）。

RCラーメン橋台の崩壊メカニズムは次のように推定される。PC桁の支承直下で橋台にせん断ひび割れが発生、発達し、PC桁等の重量に耐えられなくなり、支えているPC桁の方へ傾斜、崩壊し、PC桁は落下した（写真3.3.12～14）。

[小判型橋脚]

武庫川橋梁のRC橋脚は曲げ圧縮破壊と思われる損傷を受け、帯鉄筋は破断し、かぶりのコンクリートも剥落している（写真3.3.15～16）。

主鉄筋が降伏したと思われるにもかかわらず、崩壊を逃れたのは橋脚断面における鉄筋比が低かったことと、橋脚内部のコンクリートが圧縮力やせん断力に抵抗し得たからだと思われる。

[鋼橋支峯破損]

[新神戸駅・西明石駅損傷（ホーム・駅舎内装）]

[トンネル内壁損傷]

目視検査にて亀裂が多数発見された。ただし、線路には異常は認められなかった。

表 3.3.1 鉄道施設の被災状況一覧表

事業者	路線	区 間	被 害 概 要
J R	山陽新幹線	新大阪－姫路	高架橋9箇所倒壊・支柱708本損傷・トンネル内壁損傷・新神戸駅損傷
	東海道線	甲子園口－芦屋	芦屋駅損傷・高架柱倒壊
		芦屋－住吉	住吉駅ホーム損傷
		住吉－灘	高架橋倒壊・六甲道駅崩壊
		灘－神戸	高架橋損傷・三ノ宮駅ホーム損傷
	山陽線	神戸－須磨	新長田駅ホーム陥没
		兵庫－和田岬	電柱倒壊
阪 急	神戸線	西宮北口－夙川	高架橋崩壊
		夙川－王子公園	高架橋落下・盛土崩壊・マンション軌道敷内倒壊
		王子公園－三宮	三宮駅損傷（駅ビル崩壊）
	伊丹線	新伊丹－伊丹	伊丹駅崩壊
	今津線	門戸厄神－宝塚	国道落橋・新幹線落橋
	甲陽線	全 線	高架橋倒壊
阪 神	本 線	甲子園－青木	高架橋倒壊
		青木－御影	高架橋倒壊
		御影－元町	高架橋3km倒壊（落橋8箇所）・石屋川車庫崩壊・地下水流入（岩屋－三宮）
	武庫川線	全 線	架線切断
神戸市交通局	山手線	全 線	トンネル損傷（支柱233本損傷：新長田駅・上沢駅・三宮駅）
	西神線	新長田－板宿	
神戸新交通	ポートアイランド線	全 線	高架橋橋脚破壊、軌道桁宙づり、桁ずれ・沓破損多数
	六甲アイランド線	全 線	住吉駅軌道桁・連絡通路落下・六甲大橋側径間落下・高架橋損傷
神戸電鉄	有馬線	湊川－長田	土留め壁崩壊
		長田－鈴蘭台	線路沈下
		有馬口－有馬温泉	のり面崩壊
神戸高速	東西線	新開地－元町	電気設備損傷
		神戸高速－三宮	高架橋PC桁落下（鋳鋼管柱脆性破壊）、電気設備損傷
		新開地－西代	大開駅崩壊
	南北線	全 線	大被害なし
山陽電鉄	本 線	西代－霞ヶ丘	線路崩壊陥没
		霞ヶ丘－山陽明石	架線切断

3.3.2 在来線（JR・私鉄・地下鉄（公営・三セク））

兵庫県南部の在来線は立体化が進んでおり、高架（RC・PC・盛土）や地下の区間が大部分をしめる。本地震により、これらの土木構造物は多大なる被害を被った。その内容を列挙すると以下ようになる（崩壊のメカニズムは新幹線を参照）。

[在来線自身の被害（写真3.3.17～3.3.39）]

- ・ラーメン高架橋の崩壊（写真3.3.17～3.3.21）
- ・PC桁の落下（写真3.3.37）
- ・単純桁・単版の落下（写真3.3.25）
- ・盛土の擁壁の倒壊、傾斜（写真3.3.24）
- ・軌道破壊（写真3.3.26、27）
- ・橋脚の損傷、破壊（RC・鋼）

神戸高速鉄道においては铸鋼管柱の脆性破壊が確認された（写真3.3.38）。

- ・地下鉄の陥没（支柱、側壁の圧壊による天井崩落）、支柱損傷（開削施工）

従来地下構造物は地震に対して安全だと思われてきたが、神戸高速鉄道は大開駅の崩壊（図3.3.3、写真3.3.34～36）という大きな被害を受け、同様の構造を有する他の地下鉄にその補強の必要を迫ることとなった。

また、神戸市営地下鉄も構内に損傷を受け、駅が一時使用不可になった（図3.3.4、写真3.3.39）。

- ・駅舎、車両基地の崩壊

阪神電鉄新在家駅崩壊（写真3.3.22、23）

阪神電鉄石屋川車庫崩壊（写真3.3.28）

JR西日本芦屋駅損傷（写真3.3.29、30）

JR西日本六甲道駅崩壊。（写真3.3.31）

[他の施設の倒壊による線路支障]

- ・道路橋（国道）の落下
- ・新幹線PC桁の落下（前述）

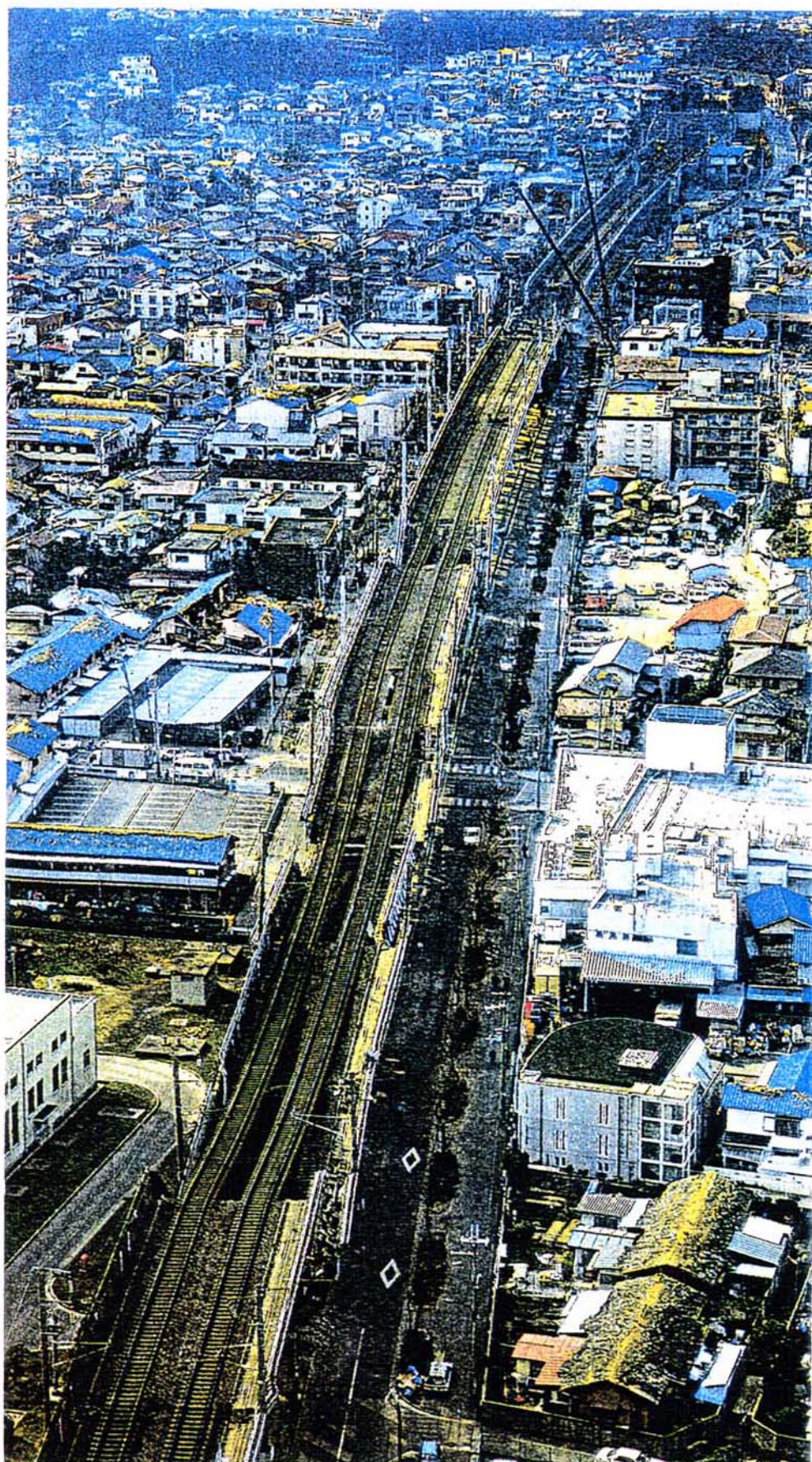


写真 3.3.1 山陽新幹線被災状況「日経コンストラクション」
(1995. 2. 24 撮影：三島 徹氏)

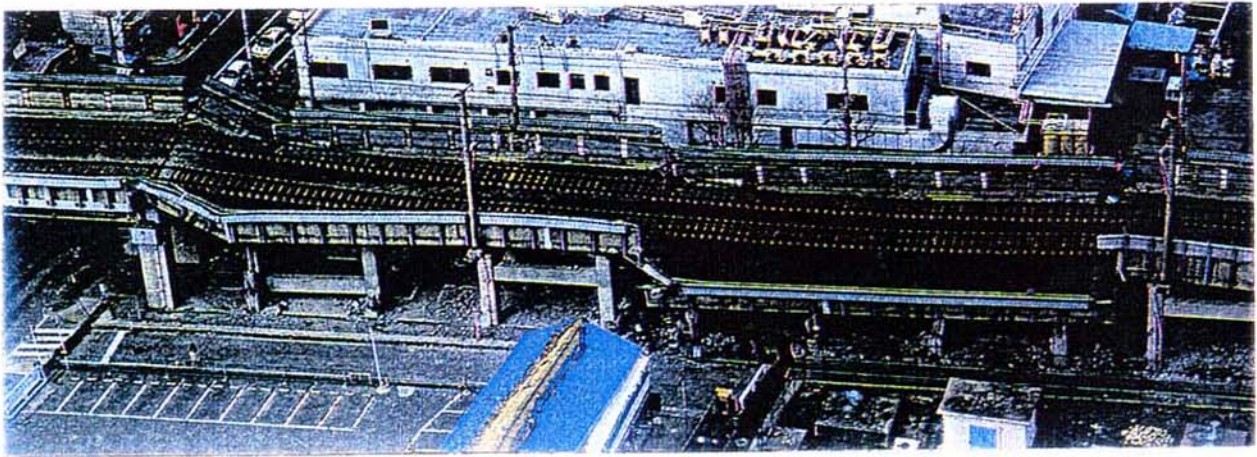


写真 3.3.2 山陽新幹線高架橋 崩壊状況
「日経コンストラクション」(1995. 2. 24 撮影：三島 勲氏)

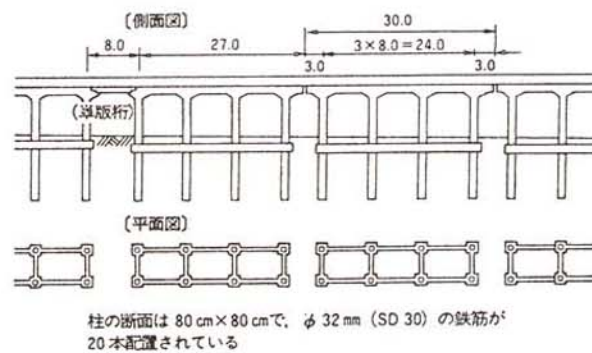


図 3.3.2 山陽新幹線高架橋 ラーメン構造 一般図
「日経コンストラクション」(1995. 2. 24)



写真 3.3.3
山陽新幹線 ラーメン高架橋
ハンチ下コンクリート打継部



写真 3.3.4
同 上



写真 3.3.5
山陽新幹線
RC 橋脚破損状況



写真 3.3.6
同 上
RC 橋脚圧壊状況



写真 3.3.7
山陽新幹線
2層ラーメン高架橋
倒壊状況
(橋脚中間梁以下にて破壊)



写真 3.3.8
同 上
(橋脚中間梁上にて破壊)



写真 3.3.9
山陽新幹線PC桁
ラーメン橋台崩壊により
阪急今津線上に落下
「日経コンストラクション」
(1995.2.24 撮影：三島 勲氏)



写真 3.3.10
山陽新幹線PC桁
阪急今津線上に落下
再使用のため仮置状況



写真 3.3.11
山陽新幹線PC桁
阪急今津線上に落下
再使用のため仮置状況



写真 3.3.12
山陽新幹線
RC ラーメン橋台崩壊状況



写真 3.3.13
山陽新幹線
RC ラーメン橋台の崩壊
により単純PC 桁落下



写真 3.3.14
山陽新幹線（武庫川橋梁）
PC 桁・RC ラーメン・単版桁
崩壊（落下）状況
「日経コンストラクション」
（1995.2.24 撮影：三島 勲氏）



写真 3.3.15
山陽新幹線（武庫川橋梁）
RC 橋脚破損状況

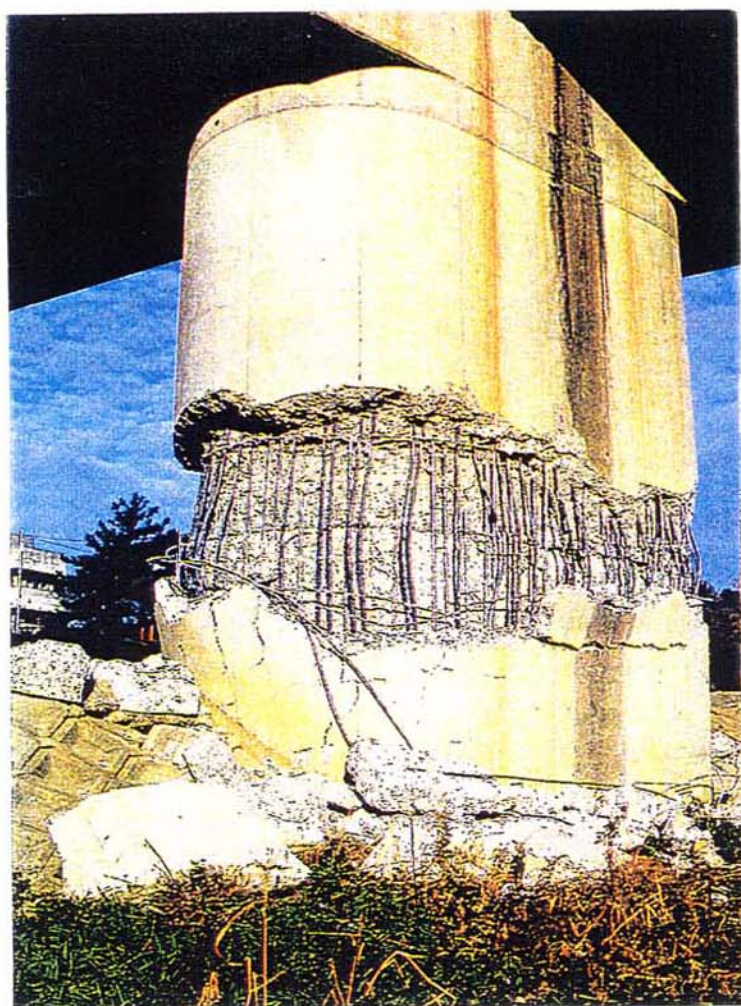


写真 3.3.16
同 上
「日経コンストラクション」
(1995. 2. 24)



写真 3.3.17
阪神電鉄
高架被災状況



写真 3.3.18
阪神電鉄
RC ラーメン高架橋
崩壊状況



写真 3.3.19
阪神電鉄
RC 橋脚破壊状況



写真 3.3.20
同 上
高架橋崩壊状況



写真 3.3.21
阪神電鉄
RC 橋脚破壊状況



写真 3.3.22
阪神電鉄新在家駅
被災状況
(落下橋梁撤去済)



写真 3.3.23
阪神電鉄新在家駅
高架橋崩壊状況



写真 3.3.24
阪神電鉄
土留め擁壁崩壊
(擁壁撤去中)
(被災車両撤去済)



写真 3.3.25
阪神電鉄
落下橋梁撤去中



写真 3.3.26
同 上
軌道破壊状況



写真 3.3.27
阪神電鉄
軌道崩壊状況



写真 3.3.28
阪神電鉄 石屋川車庫
高架崩壊状況



写真 3.3.29
JR 西日本
芦屋駅ホーム 崩壊状況



写真 3.3.30
同 上
全 景



写真 3.3.31
JR 西日本 六甲道駅
高架橋崩壊状況
(架線柱撤去済)
「日経コンストラクション」
(1995.2.24 撮影：玉井強志氏)



写真 3.3.32
JR 西日本
架線柱破損状況
および被災車両



写真 3.3.33
同 上

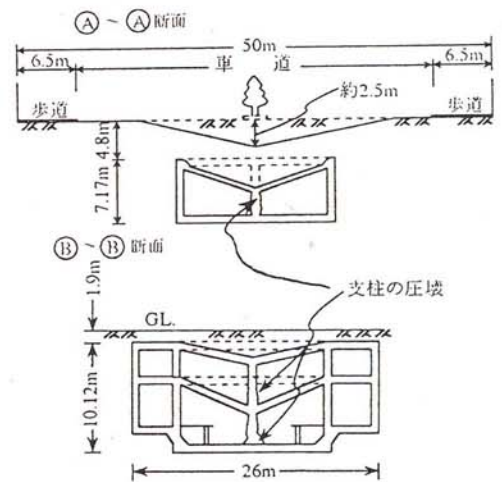
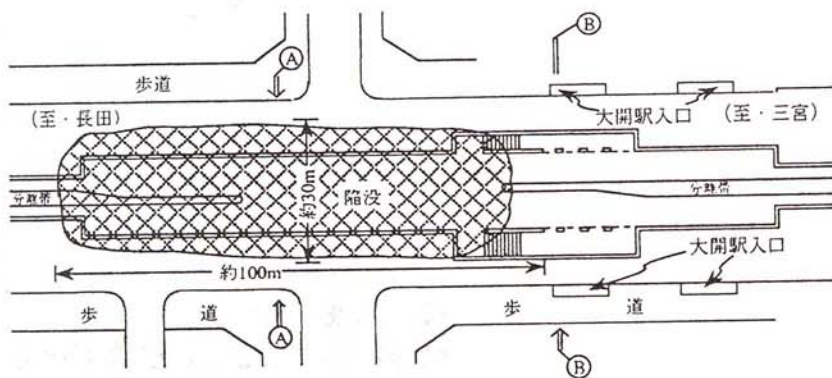


図 3.3.3

神戸高速鉄道 大開駅崩壊状況

「土木学会阪神大震災震災調査 第二次報告会資料」(1995. 3. 30)

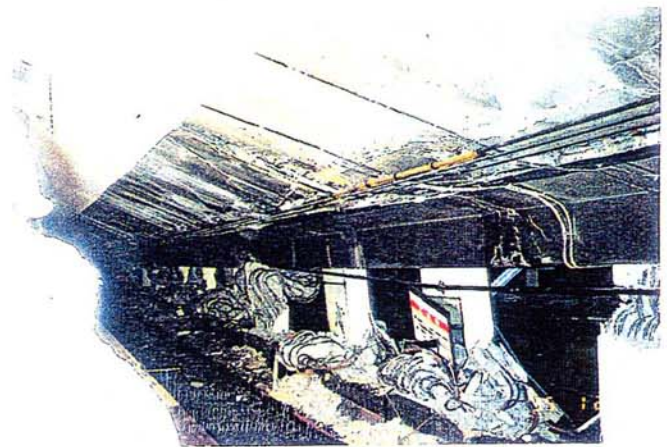


写真 3.3.34 (左), 35 (右)

神戸高速鉄道 大開駅 (左: B1, 右: B2) 崩壊状況

「土木学会阪神大震災震災調査 第二次報告会資料」(1995. 3. 30)



写真 3.3.36

同 上

道路面陥没状況



写真 3.3.37
神戸高速鉄道
軌道破壊およびPC桁落下状況
「日経コンストラクション」
(1995.2.24)



写真 3.3.38
神戸高速鉄道
鋳鋼管柱脆性破壊
「日経コンストラクション」
(1995.3.10 撮影：家田 仁氏)

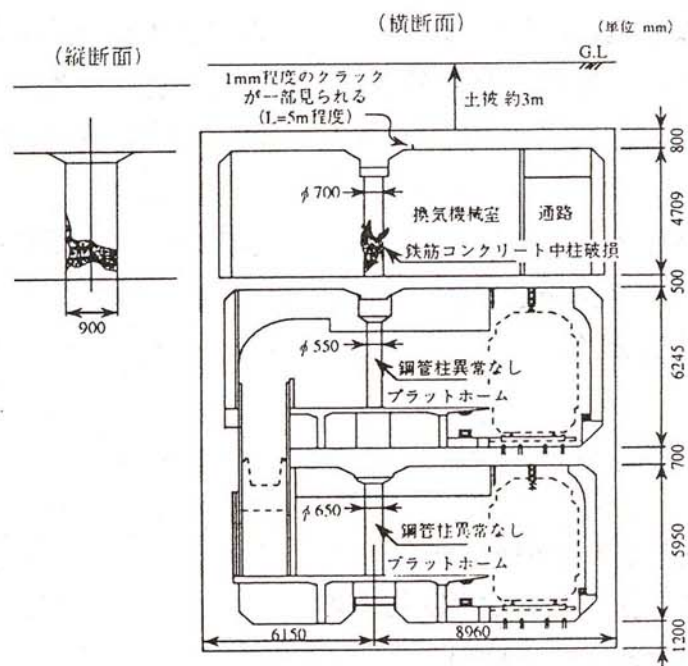


図 3.3.4
神戸市交通局（地下鉄）
三宮駅被害状況
「土木学会阪神大震災震災
調査第二次報告会資料」
(1995. 3. 30)

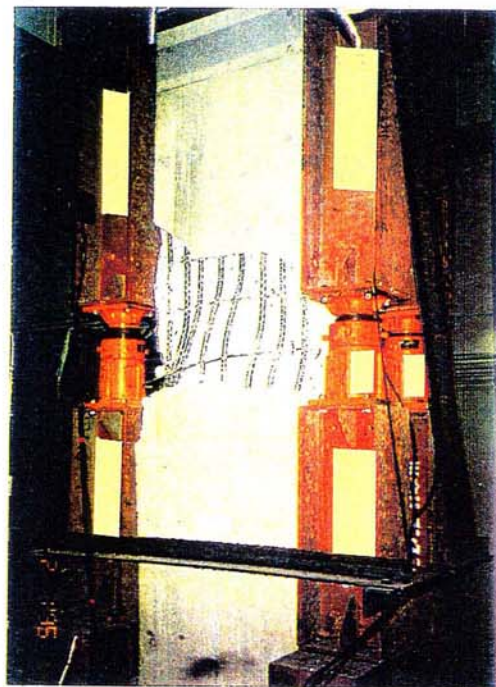


写真 3.3.39
同 上

3.3.3 新交通システム

地震発生当時、神戸新交通の2路線（ポートライナー・六甲ライナー）は既に運行を始めており、始発列車がそれぞれ被災した。両路線とも重大な損害を受け、軌道桁の落下もあったが、運行中の列車は幸いにも脱線程度の被害に留まり、負傷者は出たが、死亡者は出さずに済んだ。

両路線とも車両基地を除いて全線高架となっているが、鋼桁もしくはPC桁を用いており、鉄道高架橋のようにラーメン構造は用いられてはいない。

以下路線毎に被災状況をまとめる。

[ポートライナー（写真3.3.51～52）]

- ・三宮駅内部損傷
- ・コンクリート橋脚破壊（写真3.3.51～52）
- ・鋼製橋脚傾斜、桁宙づり、桁ずれ、支沓破損多数
- ・ポートピア大橋取付部桁ずれ、支沓破損
- ・ポートアイランド島内液状化（地盤沈下）による基礎突出

[六甲ライナー（写真3.3.53～62）]

- ・住吉駅軌道桁、連絡通路落下（写真3.3.53～54）
- ・鋼製橋脚傾斜、鋼製橋脚座屈、阪神高速桁落下による支障
- ・桁ずれ、支沓破損多数（写真3.3.55～58）
- ・魚崎駅、南魚崎駅破損
- ・六甲大橋側径間（六甲アイランド側）落橋（写真3.3.59～60）
（原因：橋脚基礎周辺地盤の側方移動による橋脚移動）
- ・六甲アイランド島内液状化（地盤沈下）による基礎突出（写真3.3.61～62）
- ・アイランド北口駅傾斜



写真 3.3.40
神戸新交通
ポートアイランド線
RC 橋脚破壊・落橋状況
貿易センター付近

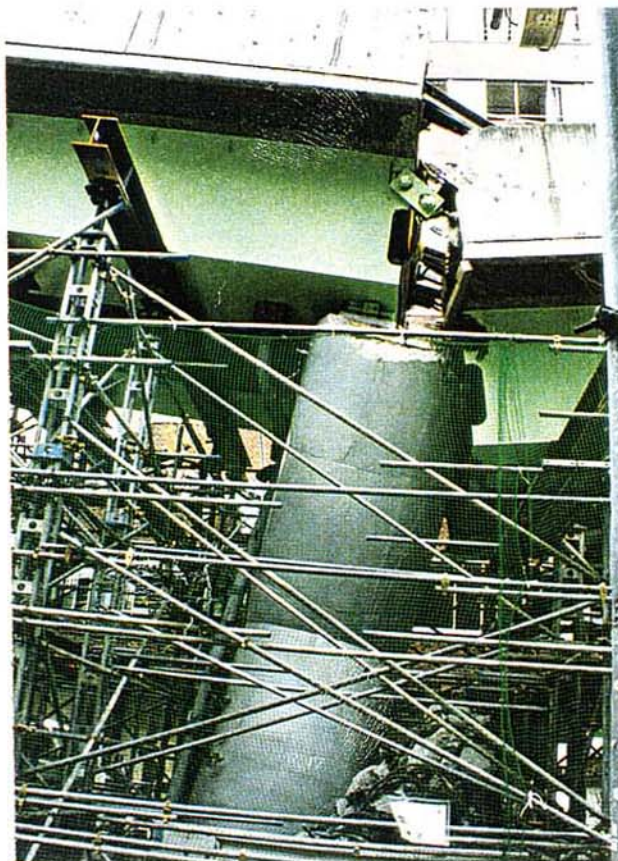


写真 3.3.41
同 上



写真 3.3.42
神戸新交通
六甲ライナー 住吉駅
軌道桁・連絡通路落下
(落下桁撤去済)



写真 3.3.43
同 上



写真 3.3.44
神戸新交通 六甲ライナー
軌道桁移動・衝突・損傷

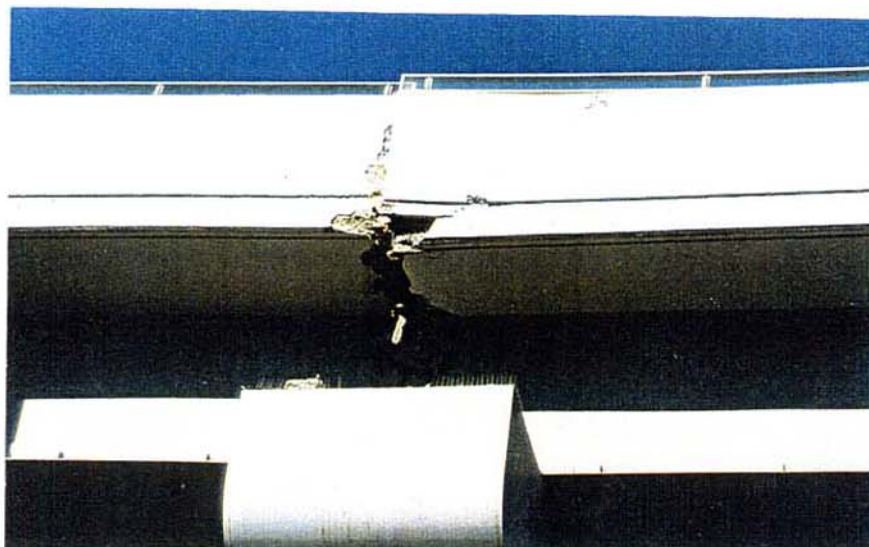


写真 3.3.45
同 上



写真 3.3.46
神戸新交通 六甲ライナー
軌道桁移動・衝突・損傷
主桁落下防止装置有効に作用

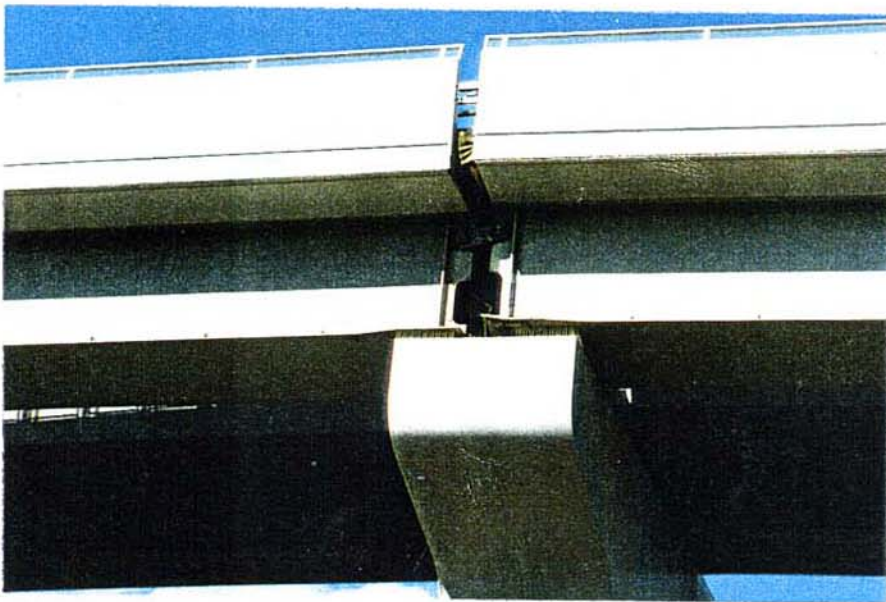


写真 3.3.47
同 上



写真 3.3.48
神戸新交通 六甲ライナー
六甲大橋側径間
(六甲アイランド側)
鋼製橋脚変位により落橋



写真 3.3.49
同 上



写真 3.3.50
神戸新交通 六甲ライナー
六甲アイランド内
地盤の液状化による沈下
に伴う橋脚基礎部突出状況



写真 3.3.51
同 上

3.4 港湾

3.4.1 被害状況

兵庫県南部地震による港湾・海岸施設の被害は甚大であり、特に神戸港の損傷は大きく、摩耶埠頭第一突堤などの耐震岸壁3バースを除きほぼ全施設で被害を被った。神戸港は、日本の外易コンテナの約3割を担う国際貿易の重要な拠点であり、港湾・荷役施設の機能マヒにより経済活動への波及が懸念される。港湾施設については、コンテナバース23バースを含む大型岸壁および23km以上にものぼる護岸構造物のほとんどが被災し、被害の大きいところでは護岸が倒壊して土砂が流出した。被害の小さいところでもクラックや目地開きが点在しているなどほぼ全域で防潮機能を失った。また、荷役施設である上屋、荷役機械、民間倉庫のほとんども使用不能となった。さらに、臨港交通施設も一部を除き通行不能となった。

被害状況は、以下の通りである。

表 3.4.1 港湾・荷役施設の被害

施設の種類		被害状況
係留施設	コンテナ埠頭	・岸壁本体の滑動・傾斜 ・エプロン舗装の破損・陥没 ・クレーン基礎の破損 ・地盤の液状化による舗装面の破損・沈下
	フェリー埠頭	・岸壁本体の滑動・傾斜 ・エプロン舗装の破損・陥没 ・地盤の液状化による舗装面の破損・沈下
外郭施設	防波堤	・本体の沈下・傾斜
	護 岸	・本体の沈下・傾斜 ・背後の舗装部の破損
荷役施設	上 屋	・沈下・傾斜・崩壊
	荷役機械	・クレーン基礎の破壊 ・ケーソン移動による破壊
公共施設	緑地・公園	・護岸の滑動・崩壊 ・舗装面の沈下・陥没
海岸施設	堤 防	・堤防本体の滑動・傾斜・目地開き

3.4.2 耐震岸壁

今回の注目すべき点として、耐震岸壁は被害を受けなかったことが挙げられる。神戸港は、3つの耐震岸壁を備えており、そのうちの摩耶埠頭の第一突堤西岸壁は、既存のセル型岸壁のエプロンを鋼管杭で棚を支える形式に拡張し、設計震度（設計水平震度）が、他の岸壁では0.18のところを0.25まで高めて耐震強化を図っており、全く被害を受けていない。これに対し、耐震強化を実施していない第一突堤東側岸壁では、岸壁の破壊・上屋の水没・エプロン舗装の液状化による陥没等が起きている。

3.4.3 液状化

地震時のように、急速に荷重が加わるような場合には、飽和した砂の内部から水が自由に入出力できないので、せん断変形に伴う体積収縮が生じて間隙水が排出されようとしても、自由に排出されないため、間隙水圧が高まることになる。

すなわち、有効応力が減少して強度・剛性が低下し、有効応力がゼロとなった場合には液状化になる。この現象を砂の液状化現象といい、砂の締め具合と土被り圧の大きさに支配される。

1966年から埋め立て工事が始まったポートアイランド（第1期分、面積436ヘクタール）や、1972年に着工した六甲アイランド（面積580ヘクタール）の北側では、六甲山系から削りとられた「まさ土」と呼ばれる風化花こう岩の土砂が厚さ約20mの埋め立てに使われた。埋立土層は、N値5-10、細粒分含有率が10%以下で、レキ分から細粒分まで含む粒度配合の良い土で、砂だけの地層以上に結合力が強く液状化は起きにくいと考えられていた。しかし両アイランドとも液状化が発生し、全体的に20～60センチ沈下した。側方流動も起き、岸壁や護岸を数メートルも海側へ押しやった。また液状化現象は、上部の土の自重により、これまで15～20mまでが発生限界の深さとされていたが、ポートアイランドの地下28メートルに設置されていた地震計のデータを解析した結果、液状化の発生が確認されている。これは、埋立層より下のレキ層の大きな石が吹き出す「噴石現象」とも一致し、今後の港湾計画の検討課題とされることが予想される。

3.4.4 これまでの耐震対策と今後の対応

1980年以降、主要な施設に対し液状化対策がとられてきたが、ビルや道路、石油タンク、護岸・岸壁など対象構造物によって別々の耐震設計基準により進められてきた。

しかし、各設計基準で液状化対策の対象となっているのは、主に粒径2ミリ以下の砂層であることは共通しており、今回の「まさ土」による液状化現象は、既存施設への危険性を示唆している。

今後の神戸港での港湾計画は、既存の摩耶埠頭地区耐震強化岸壁3バースに加えて、新たに新港突堤東地区など3バースを増強する予定になっている。

コンテナターミナル



写真 3.4.1
倒壊寸前のガントリークレーン（六甲アイランド）



写真 3.4.2
ケーソンの移動により座屈したケーソンの仮置き作業

外郭施設



写真 3.4.3
防波堤移動

護 岸



写真 3.4.4
崩れ落ちた階段式護岸
(メリケンパーク)



写真 3.4.5
メリケンパーク

護 岸



写真 3.4.6
陥落した岸壁背後のエプロン
(摩耶埠頭第一突堤)



写真 3.4.7
ポートアイランド

護 岸



写真 3.4.8
ポートアイランド北公園
所々噴砂によるレンガの散乱
が確認できる



写真 3.4.9
ポートアイランド

一般公共埠頭



写真 3.4.10
兵庫第一突堤の先端部
エプロン部が水没



写真 3.4.11
新港第五突堤の先端部も
水没している

フェリー埠頭



写真 3.4.12
エプロン部に亀裂が入り水没
している
中突堤旅客ターミナル



写真 3.4.13
メリケン波止場

漁港・フィッシャリーナ



写真 3.4.14
渡り栈橋の落下
垂水フィッシャリーナ



写真 3.4.15
垂水・須磨地区でも被害が
みられる
防波堤が港内側に移動している

液状化による被害



写真 3.4.16
液状化による噴砂で
覆われている



写真 3.4.17
砂が一面に吹き出し地盤の
沈下を確認できる。

3.5 河川

兵庫県南部地震により被害を受けた河川は、高羽川、天神川、住吉川、天上川、夙川、武庫川、淀川、中島川、左門殿川、神崎川、正蓮寺川など直轄河川6水系8河川77ヶ所、大阪府下で12河川34ヶ所の多数に上っている。これらの河川での被害状況は、堤防における堤体の崩壊・沈下・破損などがあり、また、のり面の堤内・堤外側で亀裂や崩壊が確認されている。これらの河川は、兵庫県と大阪府の沖積地内を流れる河川であり、軟弱地盤上の構造物が被害を受けたことになる。

河川区域の被害状況は以下の通りである。

表 3.5.1 河川施設の被害

施設の種類	被害状況
堤防	・堤体の崩壊、沈下、破損 ・堤防天端の亀裂 ・のり尻の崩壊 ・地盤の液状化による舗装面の破損・沈下 ・護岸のはらみ出し

液状化は埋立地のみならず河口付近の扇状地などの軟弱地盤を有している地域でも発生しており、今回の被害もそれらの地域で大きくなっている。被害の原因として、図-1, 2に示すように、軟弱地盤上に築造された堤防が地震動による液状化と堤体内土砂の側方流動によるものと考えられる。しかし、淀川右岸西島水門付近では、水門の沈下対策として地盤改良が行われており、その地区での被害規模は小さいと報告されていることから地盤改良の効果が確認されている。

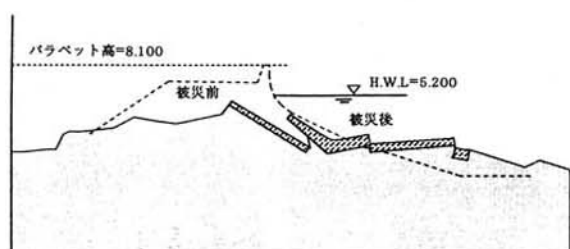


図 3.5.1 淀川西島地区での堤防の破壊形状
(建設省近畿地建淀川工事事務所資料)

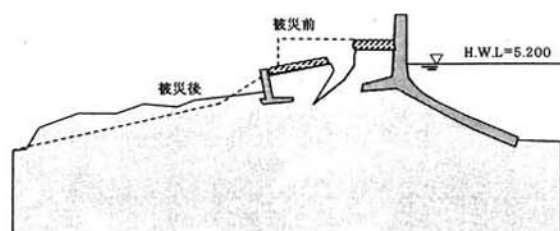


図 3.5.2 淀川西島地区での堤防の破壊形状
(建設省近畿地建淀川工事事務所資料)

また、河川堤防は、たとえ1ヶ所でも破損していれば治水機能を失うため、壊滅的な損傷を受けないようにしなければならず、河川堤防の崩壊は、堤体本来の機能喪失に加え、堤防付近の住民への被害も引き起こす。今後都市部では、堤防際の住宅地や産業用施設に対する地盤の検討と液状化の対策が必要と考えられる。

3.6 地下線状構造物（ライフライン）

地下線状構造物は、ガス、水道、電気、通信等の共同溝や通信用のとう道のようにライフラインにかかわるものが多い。これらは、開削トンネルやシールドトンネルが多い。

今回の地震によるこれらの被害は、開削トンネル部に比較的多いもののほとんどがエキスパンション部であり、構造体としての機能は損なわれてない。また、シールドトンネル部は、坑口部のアーチ天端にクラックがみられた程度でほとんど被害は認められず、今回の地震力に対しても十分構造体としての機能を維持している。

しかしながら、全線のライフライン（電気・通信・ガス等）の機能が維持されたかは別で、今回の震災における末端部分の被害は甚大なものとなっている。

地震発生直後に神戸市を中心に100万所帯が停電、断水し、ガスの供給も約85万所帯がストップした。電話はケーブルの損傷によって約30万回線で障害があった。下水道も兵庫県下で1600ヶ所で破損し、下水処理場も半数近くが損害を被った。

これによって、市民生活が根底から破壊されたばかりでなく、災害時の情報収集、消火活動、被災者救援、応急復旧への支援活動に大きな障害となった。

これは、ライフラインの末端部分の地上設備、あるいは比較的地下の浅い所にある小規模の配管設備や地上設備との接続部に被害が大きかったことが原因で、今後共同溝の整備を促進し、水道、ガス、電気、通信の施設の地中化と末端部分の耐震性能の向上を計画的に行っていく必要がある。



写真 3.6.1
軒並み倒れる配電柱



写真 3.6.2
折損した配電柱



図 3.6.3
破損した送水管

3.7 タンク

地震後2日目にLPGタンクのバルブ部分からLPGガスが漏洩し、周辺の住民が避難するという事態があった。タンクは、貯蔵物の質、量および輸送方法などから沿岸の埋立地に建設されている場合が多く、直接基礎形式のタンクは地盤変位に伴う傾斜・移動が著しい。

また、タンクから貯蔵物が流出しているものも幾つか確認された。



写真 3.7.1
タンクから流出した石油



写真 3.7.2
動植物油タンクの傾斜

参考文献

- 1) 関西地盤：土質工学会関西支部、昭和 67 年
- 2) 土質工学会関西支部関西地質調査業協会：新編 大阪地盤図、昭和 62 年 11 月
- 3) 日本の地質 6 近畿地方、共立出版株式会社
- 4) 国土地理院関東地方調査部
- 5) (社) 土木学会：阪神大震災被害調査緊急報告資料、平成 7 年
- 6) 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、昭和 58 年
- 7) (社) 土木学会：土木学会阪神大震災震災調査 第二次報告会資料、平成 7 年