

4 構造物被害

4.1 災害マップ

新聞等の情報および当社の現地調査結果に基づいてまとめた阪神大震災による災害マップを図4.1.1に示す。各項目毎に概況をまとめると以下のようなになる。

(1) 断層と災害との関係

阪神大震災による災害の多くは、神戸市北部に分布する断層群の南側の市街地に集中している。

(2) 家屋の倒壊の著しい地区

家屋の倒壊の特に著しい地区は、神戸市須磨区から西宮市にかけての市街地および宝塚市の一部であり、断層群の南側に分布している。神戸大学工学部の高田至郎教授、沖村孝助教授らのグループの調査によると、全壊した木造家屋の多くが、扇状地の上にさらに堆積物が積み重なってできた「複合扇状地」と呼ばれる地形の上に集中していると報告されている。

(3) 火災

火災は家屋の倒壊の著しい地区に発生しているが、特に西部の長田区、兵庫区に集中している。

(4) 新幹線の被害

新幹線の被害は、六甲トンネルの東側の西宮市から尼崎市にかけての高架部分に集中している。また、須磨トンネルの西側の西区においても一部落橋がある。

(5) 新幹線以外の鉄道の被害

新幹線以外の鉄道の被害は、家屋の倒壊の著しい地区上にはほぼ均等に分布している。

(6) 道路の被害

道路の被害は、家屋の倒壊の著しい地区上の高速道路の高架部分の被害の他、六甲山系西部を通る阪神高速北神戸線にも路面陥没等の被害が報告されている。

(7) 港湾の被害

港湾の被害は、神戸港、東神戸港において多く報告されている。神戸港の防波堤も海中に沈んだものがある。

(8) 地盤の液状化

地盤の液状化は、ポートアイランドから西宮市にかけての埋立地において多くみられる。特にポートアイランドにおいては広範囲にわたって生じている。

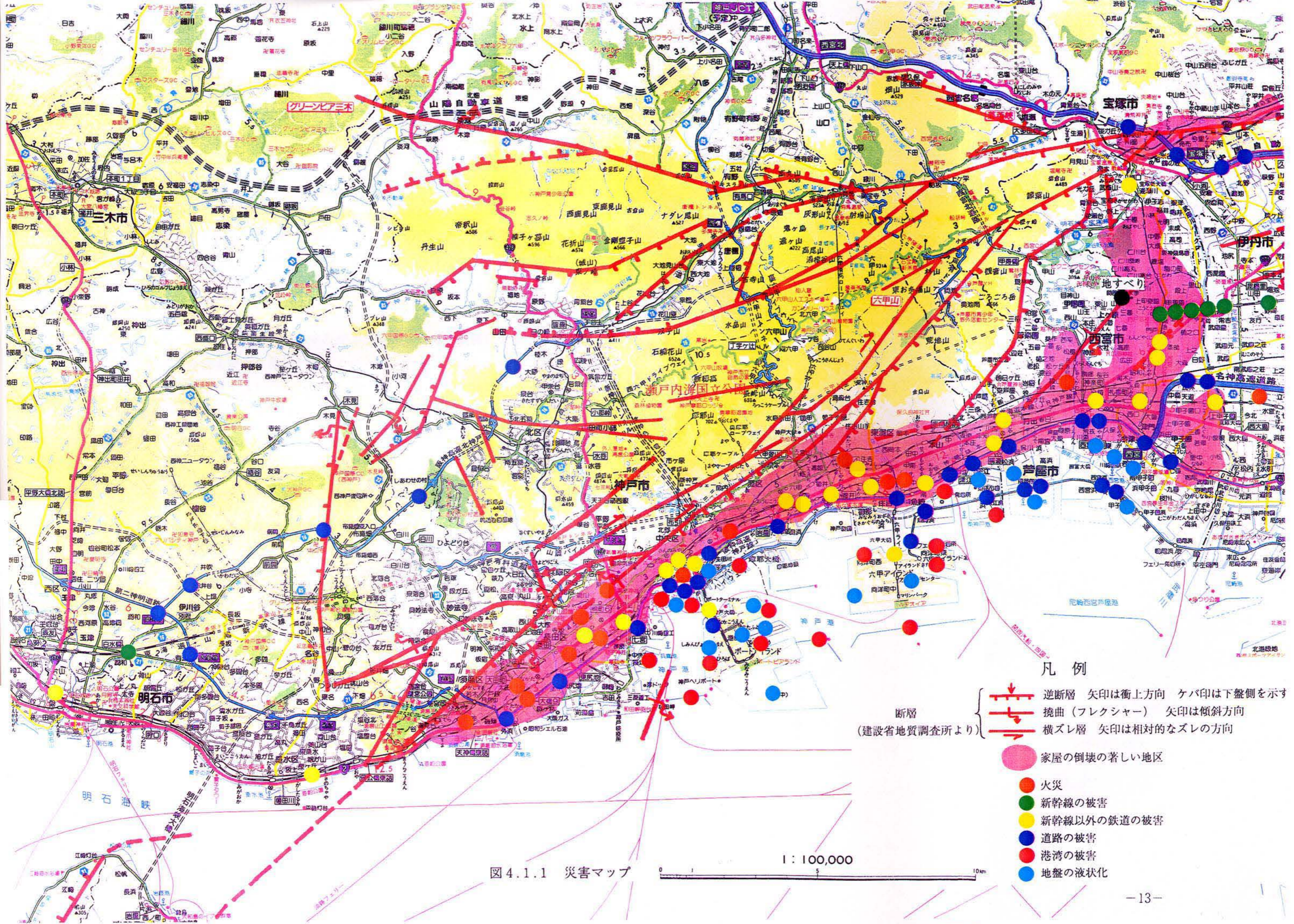






図 4.1.1 災害マップ

1 : 100,000
0 5 10 km

凡例

-  逆断層 矢印は衝上方向 ケバ印は下盤側を示す
-  撓曲 (フレクチャー) 矢印は傾斜方向
-  横ズレ層 矢印は相対的なズレの方向
-  家屋の倒壊の著しい地区
-  火災
-  新幹線の被害
-  新幹線以外の鉄道の被害
-  道路の被害
-  港湾の被害
-  地盤の液状化

4.2 道路橋

道路橋の被害は神戸市、芦屋市、西宮市の3市を中心に、尼崎市から伊丹市、宝塚市に及ぶ広い範囲にわたって報告されている。この内、落橋したものは、前記3市の比較的海岸線に近い位置にある高架橋に集中しており、落橋に至るパターンは次の2ケースに大別できる。

- ① 橋脚が破壊され落橋に至ったもの
- ② 橋桁が橋脚からはずれ落橋に至ったもの

①に関しては1本柱橋脚のものが多く、破壊形態は現象、方向ともに多種多様である。また、②に関しては連続桁形式または単純桁形式のものが多く、はずれた方向は橋軸方向、直角方向ともに見受けられた。なお、今回調査した範囲では、主桁自身の破壊が原因となり落橋したケースは見当たらなかった。

部分的に破損したものの、落橋にまでは至らなかった橋梁のうち、橋脚に大きな損傷を生じた件数は非常に多く、原因も簡単に推測し得るものから、従来の一般的な設計概念では説明がつかないと思われるものまで多岐にわたっている。また、桁にのみ部分的な破損を生じた橋梁は、外観調査の範囲では、下部工の損傷に比較して件数が少ない。ただし、このことが上部工の耐震性の高さを証明したと一概に解釈することは危険であり、下部工破壊によるエネルギーの散逸をも含めて詳しく検討を行う必要があるものと思われる。

支承およびその近傍、落橋防止装置、耐震連結装置等の破損は非常に多く、これらの強度、変位追随性などの性能如何によっては②の崩壊パターンを食い止めることも可能であるため、入念な調査と検討に基づく改良が重要課題の一つとなろう。

歩道橋の崩壊も数例報告されているが、道路橋に比較すると被害件数は少ない。



写真1

橋脚が下端付近で崩壊し、600m以上にわたり橋軸直角方向に倒壊



写真2

壁式橋脚の中間部がX字に破壊し、鉄筋がはらみ出している



写真3

鋼桁の中間部が橋軸方向に座屈

4.3 鉄道橋の被害

鉄道構造物の被害は土構造部分よりも高架橋部分に顕著である。また、鉄道高架橋の被害はかなりの広範囲にわたっており、顕著な地域的集中は認められない。また、ラーメン構造、一般橋梁とも被害を受けており特定の構造型式への被害集中は認められない。ただし、その被害はほとんどが橋脚に生じており、下部工被害による落橋以外には上部構造自体に顕著な被害は認められない。

以下、構造物タイプ別にコメントする。

- (1) 高架橋には立体ラーメン構造型式のものが多く、被害はほとんど橋脚（柱）部分に集中しており、上部工自体には顕著な被害はほぼ認められなかった。被害を受けた区間に隣接して全く同型式の構造でありながら、ほぼ無傷の区間があった。特にラーメン部を変電所等で利用するために構造体ではない壁がラーメン部材間に存在する場所では、隣接部が大きな被害を受けているものの外見上の被害は認められなかった。橋脚の破損形態は水平方向のものと斜めのものが認められる。
- (2) 中間横梁のない1層ラーメン構造の場合、その被害の多くが橋脚上端部に集中している。その破損状況は数十センチの幅でかぶりコンクリートが剥落しており、内部コンクリートがほぼ水平に破断していると思われる。
- (3) 中間横梁のある2層ラーメン構造の場合、横梁の直上、直下のいずれにも被害を受けており、どちらかに被害が集中していることはなかった。この場合、被害を受けた側の柱が圧壊したため高架橋全体が落下した区間があった。また、ごく一部ではあるが中間横梁に顕著な被害を生じた場合があった。
- (4) 一部区間は橋軸方向（線路方向）に連続したラーメン構造となっており、その部分は山側（大阪行）の高架橋が約1 kmにわたり山側に橋脚中央部から倒壊していた。この区間では一部に下部工が土中に沈下しているのが確認された。転倒を免れた片線も橋脚上端部がかなりひどい損傷をうけている。
- (5) 鉄道が道路と上空交差する場所において中間に鋼製支柱を用いている場合、鋼製の上部工が移動したため部材としてはほぼ健全でも構造全体として不安定となったものがあった。



写真1

ラーメン高架橋橋脚上
端部の破損



写真2

2層立体ラーメン構造
高架橋の橋脚破壊によ
る高架橋全体の落橋。



写真3

軸（線路）方向ラーメ
ン構造高架橋の倒壊

4.4 新交通システム

神戸市内の新交通システムは、ポートアイランドとJR三ノ宮駅を結ぶ「ポートライナー」と、六甲アイランドとJR住吉駅を結ぶ「六甲ライナー」の2路線がある。それぞれの概要は以下の通りである。

路線名	ポートライナー	六甲ライナー
建設延長	6.4km	4.5km
駅数	9駅	6駅
平均駅間距離	800m	900m
工事着手年月日	S53.3.7	S61.9.2
開業年月日	S56.2.5	H2.2.21
路線形式	側方案内軌条式	側方案内軌条式
車両長	8.0m	8.0m
定員（人/両）	75人	60人

(1) ポートライナー

ポートアイランド島内は、地盤の液状化が激しく地盤沈下量も10～50cm程度あるもののポートライナーの路線及び橋脚に外観上損傷は無く、ほぼ健全な状態であるように見受けられる。

島と内陸を結ぶポートピア大橋部分においては、鋼製橋梁の両端部の橋脚のうち神戸側橋脚の地盤が島から離れる側（北方向）に変位したような破損状態が見受けられた。

港湾部の第四突堤上においては、ポートターミナル駅より北側で延長約150m程度にわたって橋脚の根元より西側に3～5° 傾斜している。

市街地部の路線は、貿易センター駅の南側の浜辺通5丁目において、桁が水平移動し、かろうじて橋脚天端に桁上面が引っかかっている。

小野柄通6丁目においては、コンクリート橋脚の支柱部が崩壊し、桁の支承部も崩落して落橋している。

(2) 六甲ライナー

住吉駅～魚崎駅の住吉川河川際の区間では、外観上損傷は無い。

六甲アイランド島内の向洋町西1丁目において、橋桁が隣の橋桁から押し出される形で支承から外れて落橋している。



写真1

長大橋部（赤い塗装）
とポートアイランド側
の桁との間が開いてい
る。

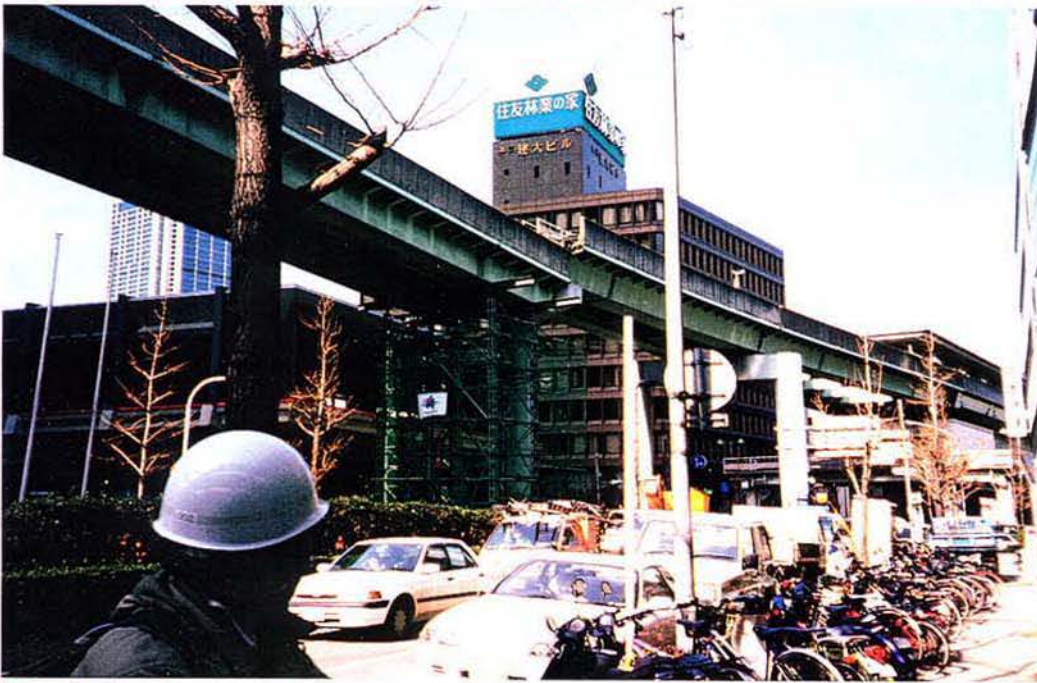


写真2

桁の水平変位によると
思われる落橋。橋脚支
柱部には損傷は見られ
ない。



写真3

コンクリート橋脚の支
柱部が崩壊し桁の支承
部も崩落して落橋して
いる

4.5 地下・地中構造物

(1) 地下街

地上のビルが軒並み大きな被害を受けた三宮において、三宮地下街（通称「さんちか」）ではショーウインドーのガラスが割れ、壁や床のタイルの一部がはがれるなどの被害がでたが、構造を支える柱などに異常は見つかっていない。（1/28朝日新聞朝刊より）

(2) 地下鉄

神戸高速鉄道東西線の大開駅ホームにおいて、トンネル天井部を支える支柱が破壊され、天井や地上の国道28号が最大約3mも陥没した。大開駅ホームは、1963年11月に完成したもので、地下約10mの地点に線路が通り、駅天井までの高さ約5m、幅約15.5m、長さ約120mの箱形で、上下線の軌道間にRC製支柱（縦約1m、横約40cm、高さ約4.5m）計約35本が2.5m間隔で建てられ天井全体を支えていたが、このうち30本以上の支柱が内部の鉄筋ごとつぶれた。（1/23毎日新聞朝刊より）

また、神戸市営地下鉄山手線の三宮駅において、ホームやコンコースは無事だったが、地下1階中央の電気室などに被害が集中し、計約30本あるRC製柱（長さ4.7m、90cm角）が、ところどころコンクリートがはげ落ち、鉄筋がむきだしになった。（1月29日朝日新聞朝刊より）上沢駅周辺や長田～新長田間の線路でも、RC製の柱計140本に被害が出ている。（1/29日本経済新聞朝刊より）

これらの被害のあった地下鉄は、いずれも開削工法と呼ばれる、地上から掘削してトンネルを構築した後天井直上を土で埋め戻すという工法で造られており、土被りが2～5mと非常に浅い。このため、トンネル直上の埋め戻した土とトンネル下部の比較的硬い地盤とが異なる揺れ方をした可能性があり、特に強い縦揺れにより地下鉄の駅舎の支柱に大きな被害を及ぼしたことが考えられるという。神戸市営地下鉄三宮駅では地下1、2階の柱約30本が破壊したが、地下3階には目立った損傷はなかったこと、神戸高速鉄道では土被りの深い湊川駅（地下8m）では被害がなかったことなどから、土被りの深さも関係があるものと見られる。（1/27朝日新聞夕刊より）

(3) トンネル

山陽新幹線の新大阪～西明石駅間にある六甲トンネル（16,250m）と神戸トンネル（7,970m）の内壁などに、今回の地震により亀裂が100ヶ所以上も入った。六甲トンネルでは、長さ数十mにわたるものが3ヶ所あり、神戸トンネルでも、長さ数mの亀裂が1ヶ所見つかったが、両トンネルとも、線路には異常はなかった。損傷の程度が特にひどい六甲トンネルは「六甲断層系」を横切る形でつくられ、数本の活断層を貫いている。（1/23朝日新聞朝刊より）



写真1

三宮では震度7の激震で中層ビルが軒並み被害を受けたが、地下街の被害は軽微の模様



写真2

地下鉄ホームの支柱の破壊により、地上部の道路が最大約3m陥没

4.6 港湾構造物

ポートアイランド（1期）、六甲アイランド、摩耶埠頭のコンテナクレーン岸壁では、ケーソンが前面へ移動し沈下が発生している。また背面エプロン部は大きく陥没し、クレーンは倒壊、傾斜、鉄骨脚部の座屈が発生し、荷役は不可能な状態である。

兵庫突堤、中突堤、新港突堤、摩耶埠頭（第1埠頭A、B、Cを除く）の岸壁は前面への移動と沈下、背面エプロン部は陥没が発生し、特に突堤先端部及び突堤と突堤に挟まれた部分の被害が著しく、岸壁が消失している部分も見られる。また岸壁上のクレーンは基礎から傾き、倉庫は柱や壁が破壊したり全体が傾くものも見られる。

摩耶埠頭のうち耐震対策を行っている第1埠頭A、B、Cバースは、他の岸壁に比べ法線のずれ及び沈下が少ない。しかしながら背面エプロン部には陥没が生じていた。

西部第1～3工区の海側に面した消波ブロックが設置された護岸では、外見上の被害は見られなかった。一方、港の入口側の消波ブロックが設置されていない護岸には、前面への移動や傾斜が見られた。

東部第1～4工区は、岸壁が傾いたり前面棧橋の杭の損傷が発生し、アンローダーやベルトコンベアーの倒壊や損傷が見られた。

(1) 岸壁・護岸

ケーソン式岸壁では、ケーソンが前面に移動し法線にずれが生じ、岸壁全体の沈下が発生している。突堤の先端部及び突堤と突堤に挟まれた部分の損傷は特にひどく、消失している岸壁も見られた。一方、鋼管矢板式岸壁と鋼板セル式岸壁では、ケーソン式に比べて、前面への移動、法線のずれ及び沈下量が少ない。

公園付近の傾斜護岸では、護岸が海側に移動傾斜し、背面に陥没、亀裂が生じている。

(2) エプロン部

岸壁（ケーソン等）の背面のエプロン部は、液状化により沈下、ケーソンの移動により海水による砂の吸い出しが発生し、1m～2mの舗装の陥没が見られる。

(3) 荷役設備・倉庫

コンテナクレーンでは、本体が倒壊したもの、ケーソンが海側に移動したため海側脚が座屈したもの、背面レール基礎が直接基礎のため沈下し陸側に傾斜したものがあつた。

アンローダーは海側に倒壊したものが数基あつた。また、固定クレーンは基礎から傾いたり、岸壁ケーソンの移動・傾斜により傾いたものがあつた。

倉庫は、杭基礎のものは比較的損傷が少ないが、直接基礎のものは全体が傾き沈下している。新港突堤第7、8突堤の倉庫は、コンクリート柱が座屈破壊しクレーン基礎も倒壊している。



写真1

六甲アイランド岸壁
ケーソンが前面に移
動、沈下し、法線がず
れる



写真2

六甲アイランド岸壁
ケーソン式岸壁背面の
エプロンが2m程度沈
下



写真3

六甲アイランド岸壁
コンテナクレーンが倒
壊

4.7 プラント構造物

プラント施設の主な構造物は地上タンク、防油堤、パイプラック、油水分離槽、構内道路等で、大半が埋め立て地に立地している。全体的に地盤の液状化に伴う構造物の損傷が目立つ。以下、個別に破壊形態を示す。

(1) 地上タンク

タンクヤード地盤の液状化によるタンクの不等沈下、タンクの動揺によるアニュラー部の基礎へのめり込み、犬走り部の舗装の亀裂、剥離等が主な破壊形態である。タンク本体の破損は液状化現象が発生していないヤードにおいて水タンクが下端で座屈し、水が流出したものが一例ある。

(2) 防油堤

地盤の液状化に伴う沈下・倒れ、地震動による目地部コンクリートの剥離、目地の開き等が主な破壊形態である。特に防油堤のコーナーや屈曲部での損傷が目立つ。

(3) パイプラック

配管の水平動によるパイプラック基礎の損傷及びパイプラックの変形。

(4) 油水分離槽

液状化に伴う湯水分離層の浮き上がりとこれに伴う配管接続部の破断。

(5) 構内道路及び土間コンクリート

液状化に伴う舗装、路盤の沈下・浮き上がり及び亀裂。

なお地域的には神戸地区及び堺地区の被害が大きい様である。

4.8 土構造物

兵庫県、大阪市域で広範囲に渡り盛土、堤防、護岸、擁壁などの土構造物の崩壊、崖崩れが発生した。これらには、以下の破壊形態が含まれる。

(1)地下水の伏流層などの弱層にそった破壊

西宮市仁川百合野町では、幅100m、高さ20mに渡る大規模な崖崩れが発生し、多くの人命が失われた。この地区は、甲陽断層の真上にあたる。県西宮土木事務所によると、地滑りの現場の地下12mに地下水の伏流水層があり、これが弱層を形成しすべりが発生したとのことである。崩壊現場の上部には、甲山浄水場があり、下方には仁川が流れている。

(2)急峻な斜面の崩壊

芦屋市から有馬温泉に通ずる芦有ドライブウェイでは、斜面崩壊、落石が多数カ所発生し、奥山貯水池から以北は通行止めであった。この地域は、自然の急峻な斜面をもった溪谷である。今回の地震で直径1m以上ある落石も多数あった。

(3)重力式擁壁、石垣、護岸の崩壊

鉄道施設の重力式擁壁、宅地造成の石垣、港湾施設の重力式護岸等の破壊がめだった。破壊後の擁壁、護岸等はほとんどが、頂部の方が大きく傾斜していることが特徴であった。

また、石垣がくずれ、頂部のコンクリートパラペットが破壊しているものも多く見られた。

(4)液状化による堤防の被害

大阪市内を流れる淀川河口で河川堤防が左右岸合わせて3kmに渡って崩壊している。割れたパラペットのコンクリートの中から砂が吹き出しており、液状化によって堤防が破壊したものであると言われている。被災後直ちに仮復旧が行われた。

今回の地震による土構造物の被害形態の特徴の一つに、大きな地盤振動により、土構造物のコンクリート部分が局部的に大きく破壊していることがあげられる。特に、躯体の頂部の破壊が目立つ。



写真1 地滑り

幅100m高さ20m
渡る大規模な地滑り



写真2 崖崩れ

急峻な自然斜面の崩壊



写真3 重力式擁壁の
移動

4.9 建築構造物

建築構造物には、鉄筋コンクリート造や鉄骨構造のビル、学校、病院、工場、駅舎、また木造の住宅や店舗、アパート、神社・寺院等、多くの種類のものがある。今回の地震によって多くの建築構造物が被災したが、特に住宅の倒壊が人的被害を大きくした。

今回の地震による建築構造物の被害の特徴を述べると以下のとおりである。

- (1) 被害地域は、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、淡路島等のかなり限られた地域である。これは、地震が活動層で発生した直下型であるためと考えられる。
- (2) 古い瓦屋根の木造家屋を中心に倒壊が多く、火災も300箇所以上で発生し、多くの人命が失われた。
- (3) 1981年の建築基準法、いわゆる新耐震設計法以後建てられた建物には、倒壊やガラス窓破壊等の被害が比較的少なかった。
- (4) 鉄筋コンクリートや鉄骨構造の建物が倒壊した地点は、神戸市の須磨海岸から西宮市に至る約25kmの間で幅が200～300mの帯状の地域であり（日本建築学会近畿支部調査）、これまでわかっている活断層の南約500m～1kmに位置する。
- (5) 地震による液状化は、ポートアイランド、六甲アイランド、旧埠頭の埋立地を中心に発生したが、人工島の高層建築は基礎杭が強固な地盤まで打設してあり、比較的被害は少なかった。
- (6) 古い基準で建てられたと思われるコンクリート造建物の中には、5、6階部分が完全に押しつぶされたものがある。
- (7) 芦屋市を中心とした高層建物の中で鉄骨部分が破断しているものがある。
- (8) 超高層建物の大きな被害は現在のところ報告されていない。



写真1

建築物の破壊



写真2

建築物の破壊

4.10 ライフライン構造物

ライフライン構造物としては水道管、ガス管等がある。

(1) 水道

1980年以降の耐震基準に基づいた水道管の耐震継ぎ目（7～8cmの伸縮変位に耐えられる）が、今回の地震により大きく破損した。神戸市では、市内のいたる所で水道管の継目が破損したが、これらの中には80年以降に設置された耐震継ぎ目が多く見られた。西宮市でも、耐震継ぎ目を採用した水道管は半数以上にのぼるとみられているが、現在わかっているだけでも903ヶ所の水道管が漏水、耐震継ぎ目の破損もひどく、継目が20cmもはずれてしまった所もあるという。（1/30朝日新聞朝刊より）

(2) ガス

大阪ガスの調査で、ガス管（低圧導管：直径5～30cm）の破損はほとんどが「ねじ込み式」と呼ばれる旧式の接合部に集中していることが明らかになった。大阪ガスでは「ねじ込み式」を別の方式に変えていたが、まだ30%残ったままだった。日本ガス協会によると、「ねじ込み式」では、地震で周りの地盤が管に沿って3cm程度ずれても耐えられない。鋼管の「溶接方式」やゴムなどでつなぐ「メカニカル継手方式」は、20～40cm程度のずれに耐え、ポリエチレン管同士を熱で溶かしてつける最新の「融着方式」では、4mずれても外れないという。（1/28朝日新聞朝刊より）



写真1

水道管と思われる埋設管が破断、アスファルト舗装も壊れている



写真2

道路の沈下とともに水道管と思われる地下埋設管が破断

4.1.1 液状化

海と山に囲まれた狭い市街地で形成された神戸市は、都市開発用地拡大の必要性から、図3.2に示したように、海岸部全域において埋立が行われているとともに、埋立による人工島としてポートアイランドおよび六甲アイランドが建設されている。また、今回の地震で大きな被害が発生している芦屋市から西宮市にかけての海岸線も埋立地で形成されており、これらの埋立地の随所で噴砂が確認されたことから、埋立地全域にわたって液状化が発生していると考えられる。一方、大阪府堺市の埋立地においても噴砂が確認されており、大阪府此花区における淀川の堤防崩壊も液状化に起因するものと考えられる。

液状化現象が最も激しかったのはポートアイランドであり、ほぼ全島にわたって茶褐色の噴砂が生じ、杭基礎によって支持された橋脚あるいは建物の周囲の地盤には数十cmの沈下が生じていた。ポートアイランドの埋立は、六甲山系の背山を土取場とした花崗岩の風化残積土（まさ土）を主体にして行われており、N値5～10程度の礫混じりまさ土が液状化したものと言える。それに対し、同様にまさ土を埋立てた六甲アイランドにおいても液状化による噴砂は確認されたが、ポートアイランドに比べると噴砂量は少なく、全体的な液状化の程度はポートアイランドよりも小さかった。しかし、ポートアイランドでは見られなかった六甲ライナー橋桁の落下およびクレーン脚部の座屈による倒壊という被害が生じていた。

現在埋立が行われているポートアイランドおよび南芦屋浜では、護岸に平行に数列の亀裂が確認され、液状化による側方流動が生じていると思われる。

人工島に比べると埋立年代の古い海岸部の噴砂は、比較的細粒分の少ない灰色の砂が多かったように思われ、市街地部から発生した砂質の建設残土あるいは山砂が液状化したものと判断される。ただし、山砂とまさ土の液状化強度にはほとんど差はないことが報告されている。一方、堺市の埋立地における噴砂は、釧路沖地震の際の釧路港および北海道南西沖地震の際の函館港と同様のシルト分を多く含む細砂であり、浚渫土砂が緩く堆積していたものと推察される。

埋立地以外でも、三宮駅南側の埋立地と旧海岸線の境界付近において若干の噴砂が確認された。また、神戸駅付近の大きく傾いていた建物は、周辺に噴砂は確認されなかったが、本体に被害が無いことから液状化による不同沈下の可能性が高いと考えられる。したがって、特に大きな地震動が作用したと推定されている地域では、自然堆積地盤においても液状化が発生していると思われる。

神戸市街地地質図



(Pa)	古生層
(R)	花崗岩
(K)	神戸層群
(O)	大塚層群
(Ss)	砂・粘土層
(Ss)	大塚層群・花崗岩
(Tt)	花崗岩・段丘層
(Ss)	玉石地帯
(C)	粘土多質地帯
(S)	砂層
(F)	埋立地
(B)	B 古海岸線(岡崎海岸線)
(C)	C 沖積粘土層(7-10'厚さ以上)
	沖積粘土層(7-10'厚さ以下)
	断層線

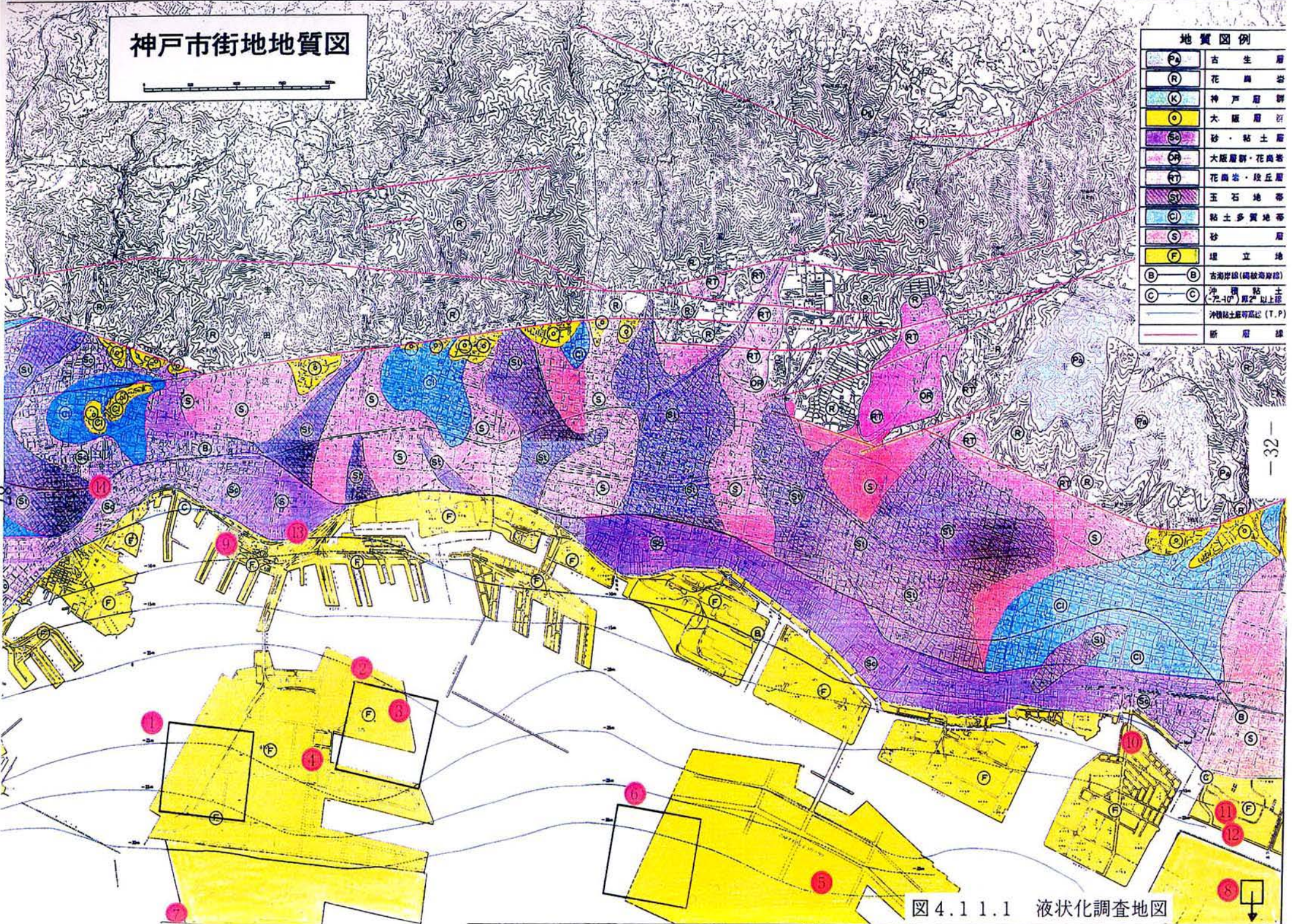


図 4.1 1.1 液状化調査地図



写真1
液状化による噴砂と
電柱の傾斜



写真2
埋立地における液状化
による噴砂
高速道路の橋脚が見え
ている



写真3
ポートアイランドにお
ける液状化による噴砂
と道路の凸凹