

はじめに

土木学会は、1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震によって土木構造物ならびに各種都市機能が甚大な被害を受けたことを極めて深刻に受けとめ、その原因の究明と今後の耐震、防災対策に資することを目的に即刻調査団を組織し、現地へ派遣いたしました。まず、地震発生翌日には、田村重四郎耐震工学委員会委員長（日本大学教授）を団長に、耐震工学、構造力学の研究者を主とする第1次調査団を派遣し、土木構造物全般の被害状況を緊急に調査いたしました。つづいて、1月22日には中村英夫（東京大学教採）を団長とする第2次調査団を組織し、鉄道、道路、港湾、ライフライン等の各種施設や機能を総合的に調査いたしました。これら第1次・第2次調査団の調査結果の概要に関しましては、2月8日の東京における学会本部主催の緊急報告会を皮切りに、全国の学会支部主催の報告会において報告して参りました。

学会は引き続き第3次・第4次調査団を派遣いたしました。第3次調査団は、これまでの調査を補完するために、地盤、河川、地下構造物、コンクリート構造物、ライフライン等の専門家によって組織され、松尾稔名古屋大学教授を団長として2月1日より調査を行いました。さらに、地震発生後約1ヶ月を経過した2月15日には、今後の復旧・復興に向けての調査と提言を行うために、高田至郎神戸大学教授を団長とする第4次調査団を派遣いたしました。

本報告会は、これら第3次・第4次調査団の調査結果の概要を報告するものであります。地震発生後の時間の経過により、これまでの緊急報告会よりもさらに調査・分析の進んだ報告も多くあろうかと思われそうですが、震災は極めて広範にわたっており、今後の一層の詳細な分析なくして結論づけられないことも多々あることは言うまでもありません。本報告会で示される見解の多くも、調査団の個々のメンバーの独自の意見であります。今後、学会は、より詳細かつ体系的な調査・分析を進め、これらを集大成して『阪神大震災調査報告書』としてまとめ、国内外に公表したいと考えております。

土木学会は、会員の総力を挙げ、この度の震災の復旧、復興事業、ならびに今後の地震災害の軽減に寄与すべく、最大限の努力をする決意であります。各位のご理解、ご支援の程を、切にお願い申し上げます。

1995年3月30日

土木学会会長

中 村 英 夫

目 次

第3次調査団報告（団長 松尾 稔 名古屋大学教授）

コンクリート構造物被害

岡村 甫 (東京大学)	
長滝 重義 (東京工業大学)	
堀井 秀之 (東京大学)	
久田 真 (東京工業大学)	3

地下構造物被害

足立 紀尚 (京都大学)	
日比野 敏 (電力中央研究所)	
木村 亮 (京都大学)	
伊藤 洋 (電力中央研究所)	19

構造物基礎被害

松井 保 (大阪大学)	
小田 和広 (大阪大学)	29

地盤災害

松尾 稔 (名古屋大学)	
落合 英俊 (九州大学)	
森川 高行 (名古屋大学)	
梅村 順 (日本大学)	37

河川被害

福岡 捷二 (広島大学)	
神田 徹 (神戸大学)	
日比野忠史 (広島大学)	
道奥 康治 (神戸大学)	45

上・下水道施設被害

渡辺 義公 (北海道大学)	
小林 三樹 (北海道大学)	53

ライフライン被害

高橋 和雄 (長崎大学)	
山中 稔 (長崎大学)	67

道路舗装被害

福田 正 (東北大学)	
遠藤 孝夫 (東北学院大学)	73

道路ネットワーク機能

稲村 肇 (東北大学)	
石田 東生 (筑波大学)	79

廃棄物処理

松井 保 (大阪大学)	
石田 東生 (筑波大学)	93

地震工学

東原 紘道 (東京大学)	99
--------------	----

第4次調査団報告（団長 高田 至郎 神戸大学教授）

地震動と被害特性

高田 至郎（神戸大学）	
沖村 孝（神戸大学）	
李 騰雁（神戸大学）	109

道路・鉄道（その1）グループ報告

川原 睦人（中央大学）	
檜山 和男（中央大学）	
平野 廣和（中央大学）	125

道路・鉄道（その2）グループ報告

長 尚（信州大学）	
中川 真治（信州大学）	133

海岸港湾施設グループ調査報告

河田 恵昭（京都大学）	
田中 泰雄（神戸大学）	
角南 進（日建設計）	141

下水道の被害とその復興状況 瓦礫の処理・処分について

市川 新（東京大学）	
津野 洋（京都大学）	
細井 由彦（鳥取大学）	
天野 耕二（立命館大学）	
高原 伸兒（京都大学）	147

ライフライン（ガスと電気通信施設）の復旧状況と復旧戦略

高田 至郎（神戸大学）	
篠塚 正宣（プリンストン大学）	
北浦 勝（金沢大学）	
上野 淳一（鴻池組）	
森川 英典（神戸大学）	
田中 聡（早稲田大学）	
池本 敏和（金沢大学）	159

山腹斜面・宅地造成斜面の災害

沖村 孝（神戸大学）	163
------------	-----

（表紙・各地点の水平最大加速度（提供・京都大学 土岐憲三））

第3次調査団団員名簿

	氏 名	所 属	専 門	補助員氏名	補助員所属
団 長	松尾 稔	名古屋大学教授	地盤工学		
団 員	足立 紀尚	京都大学教授	岩盤力学 トンネル工学	木村 亮	京都大学
	稲村 肇	東北大学教授	土木計画学	石田 東生	筑波大学
	岡村 甫	東京大学教授	コンクリート工学	堀井 秀之	東京大学
	落合 英俊	九州大学教授	地盤工学	梅村 順	日本大学
	神田 徹	神戸大学教授	水工学	道奥 康治	神戸大学
	高橋 和雄	長崎大学教授	構造工学 災害工学	山中 稔	長崎大学
	長滝 重義	東京工業大学教授	コンクリート工学	久田 真	東京工業大学
	東原 紘道	東京大学教授	地震工学		
	日比野 敏	電力中央研究所参事	岩盤力学 地下空間	伊藤 洋	電力中央研究所
	福岡 捷二	広島大学教授	河川工学 水理学	日比野忠史	広島大学
	福田 正	東北大学教授	道路工学	遠藤 孝夫	東北学院大学
	松井 保	大阪大学教授	土質基礎工法	小田 和広	大阪大学
	渡辺 義公	北海道大学教授	衛生工学 上下水道	小林 三樹	北海道大学
幹 事	森川 高行	名古屋大学助教授	土木計画学		
	為国 孝敏	土木学会			

第 4 次調査団団員名簿

	氏 名	所 属	専 門	補助員氏名	補助員所属
団 長	高田 至郎	神戸大学教授	構造力学 耐震工学	上野 淳一	鴻池組
団 員	市川 新	東京大学助教授	下水道学	天野 耕二	立命館大学
	河田 恵昭	京都大学教授	自然災害論	角南 進	日建設計
	川原 睦人	中央大学教授	応用力学	檜山 和男 平野 広和	中央大学 中央大学
	北浦 勝	金沢大学教授	地震防災学	池本 敏和	金沢大学
	篠塚 正宣	プリンストン大学教授	耐震工学	田中 聡	早稲田大学
	田中 泰雄	神戸大学助教授	土質力学	森川 英典	神戸大学
	長 尚	信州大学教授	構造設計学	中川 真治	信州大学
	津野 洋	京都大学助教授	水質工学	高原 伸兒 細井 由彦	京都大学大学院 鳥取大学
幹 事	沖村 孝	神戸大学助教授	斜面条件学	田中 輝彦	鹿島建設
	岩西 伸介	土木学会			

コンクリート構造物被害

東京大学工学部

岡村 甫(報告担当者)

堀井秀之

東京工業大学工学部

長瀧重義

久田 真

1. まえがき

第1次および第2次の調査によって既に被害の概要が明らかにされているので、この調査では、(1)構造形式によって被害に差があるか、あるとすればその理由、(2)コンクリート構造は鋼構造よりも被害が大きかったか、そうだとすればその理由、(3)構造細目などに関する現行の土木学会コンクリート標準示方書の規定に不備はないか、(4)コンクリート構造の常識に反する現象はなかったか、(5)現行の道路や鉄道に対する耐震設計基準で想定している地震動と今回の地震動との相違、などを解明する手掛かりを得ることを目的とした。したがって、被害を受けた構造物にのみ目を向けるのではなく、同じ設計基準に依って設計された構造物で、被害を受けなかったものにも着目して調査したのである。

この観点から、調査は

(1)山陽新幹線の阪急今津線西側から武庫川橋梁まで

(2)阪神高速道路3号神戸線のピルツ橋脚より西側、柳原出口付近まで

(3)阪神高速道路5号湾岸線の西宮大橋付近

(4)ハーバーハイウェイの摩耶大橋付近

に絞って行った。その他被害の特に大きい地点、神戸高速鉄道大開駅、JR東海道本線六甲道駅付近、阪神電鉄新在家駅付近などをも調査した。この報告は、調査した範囲のうち、コンクリート橋脚に的を絞って考察した結果を述べたものである。なお、調査時点で既に撤去されたり、補修中であつたりして直接観察することができなかったものも、第2次までの調査による写真を参照して考察を加えた。

2. 山陽新幹線(阪急今津線西側～武庫川橋梁)の被害

(1) 中間ばりを有する3径間連続ラーメン高架橋(写真S1)

この区間で最も多い構造であり、ラーメン橋台について被害が大きかったものである。この構造は、曲げ抵抗に比してせん断抵抗に余裕がないために崩壊した例が多かったものと思われる。なお、3径間のうち、中央の径間には中間ばりが配置されていなかったが、その影響を解明する必要がある。

(a)上ばりまたは中間ばりの直下で、せん断ひびわれが生じ、それが発達したもの(写真S2)、

(b)その結果、桁などの重量に耐えられなくなり、その部分から上が橋軸直角方向北側にずれて落下したもの(写真S3)、

がそれぞれ相当数見受けられた。

(2) 中間ばりを有しないラーメン高架橋

(a) 柱の上端ハンチ直下で曲げ降伏を起こしたもの(写真 S4)、および、

(b) 曲げ降伏後に、せん断ひびわれが生じ、それが発達したもの(写真 S5)、
がそれぞれ相当数見受けられたが、被害の軽微なものも多かった。また、中間ばりを有する場合とは異なり、崩壊した例は見受けられなかった。曲げによる外力と抵抗力の比が同じ場合には、柱の長い結果として、せん断抵抗に余裕が生じたためと思われる。なお、ハンチの下側の水平打継目は、水平せん断抵抗がほとんどない程度のもの(写真 S5)が見受けられた。

(3) ラーメン橋台

この構造は、道路を横断する場合などスパンの大きい箇所に用いられている P C 単純桁を支えると同時に、自らも列車荷重を担うものであって、高さの高いはりが設けられていた(写真 S6)。調査した区間にあるラーメン橋台は崩壊しており、P C 桁が落下していた。柱の長さが短くなっており、曲げ降伏に比してせん断破壊に対する抵抗力が小さく、靱性が乏しかったものと思われる。その崩壊は、以下の経過をたどったものと推定される。

(a) P C 桁の支承直下で柱にせん断ひびわれが生じ、それが発達し、

(b) P C 桁などの重量に耐えられなくなり、支えている P C 桁の方向にずれて傾き(写真 S7)、

(c) P C 桁が落下した。

(4) ラーメン橋脚

この橋脚は、P C 桁を支えるところに用いられており、4 橋脚すべてがほとんど被害を受けていなかった(写真 S8)。橋軸方向の地震動には、一本の柱で抵抗する必要がある、ラーメン高架橋の柱断面(90×90cm)よりも大きい断面(160×160cm)となっており、橋軸方向のせん断耐力は曲げ耐力よりも著しく大きいとは思えないのである。しかし、地震力はほぼ橋軸直角方向に作用し、その方向の水平力に対しては十分に余裕のある構造であったため被害を受けなかったと思われる。もし今回の地震力が橋軸方向に作用したならば、被害を受けた可能性があると思われるのである。

(5) 小判型橋脚

武庫川橋梁は P C 桁を小判型橋脚で支えている(写真 S9)。この橋脚は橋脚の中程の水平打継目の約 30cm 上で鉄筋が段落としされており、西側の一脚を除いてすべて、そこで引張りを受けた軸方向鉄筋が降伏して伸び出し、反対側に変位した時に、その鉄筋が圧縮を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせていた(写真 S10)。しかし、崩壊に至ったものはなかった。コンクリート断面に比して軸方向鉄筋量が少なく、曲げ抵抗に比してせん断抵抗が大きいために、曲げ降伏をした後に相当大きな変形を生じて、崩壊に至らなかったと思われる。一番西側の一脚は、橋脚下端の南東側において、鉄筋が僅かに降伏していた(写真 S11)。

この橋脚より西側の相当長い区間は、被害の著しかった更に西側の区間に比べて作用地震力が小さかったと思われ、中間ばりを有するラーメン高架橋がほとんど被害を受けていなかった(写真 S1)。武庫川橋梁には、地盤の関係でそこより西側にあるラーメン高架橋よりも大きな地震力が作用したか、または、この構造がラーメン高架橋よりも地震に対して弱い、あるいは、その両方であるかを明らかにするには、解析による検討が必要である。なお、100 mほど北側にある国道 171 号線の鋼桁を支えているほぼ同じ形式の橋脚の被害は軽微であった(写真 S12)。

3. 阪神高速道路 3 号神戸線(ピルツ橋脚より西側柳原出口まで)の被害

(1) 単柱式円形橋脚(写真 K1)

この形式の橋脚が最も一般的であった。

(a) 橋脚の下端付近で、橋軸直角方向に水平にひびわれが発生したもの(写真 K2)、

(b) 更に進んで鉄筋の降伏が認められるもの(写真 K3)、

(c) 2 段配筋の内側鉄筋の段落とし位置において、軸方向鉄筋が引張り降伏して伸び出し、逆方向に変位した時に、それらの鉄筋が圧縮力を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせたものの、

がいずれも数多く見受けられ、ほとんど被害が認められないものも僅かではあるが存在していた。

段落とし位置の近くで、外側の鉄筋の半分がガス圧接継手となっている場合がほとんどで、ガス圧接継手の多くは、鉄筋の降伏が充分進展する前に圧接位置で破断したと思われ、座屈してはいなかった。なお、継手部で破断しなかった鉄筋は、局部座屈していた(写真 K4)。しかし、崩壊した例は見受けられなかった。この形式は、コンクリート断面に比して軸方向鉄筋量が少なく、曲げ抵抗に比してせん断抵抗力が大きいために、曲げ降伏をした後に相当大きな変形を生じて、一般に崩壊に至らなかったものと思われる。

(2) 単柱式矩形橋脚(写真 K5)

道路を横断する場合などスパンの大きい場所に用いられており、したがってその断面積は円形橋脚よりも大きい。被害の状況は円形断面の場合とほぼ同様であるが、被害の程度ははるかに大きかった。調査した範囲では、崩壊した例は見受けられなかった。しかし、ピルツ橋脚より東側では、更に大きい断面のこの形式の橋脚が存在し、せん断ひびわれが発生したもの(写真 K6)や、せん断破壊して崩壊したもの(写真 K7)も見受けられる。柱の断面に比して長さが相対的に短いと、せん断破壊を誘発する可能性が高くなるのである。

(3) ピルツ橋脚(写真 K8)

上部構造と一体となった橋脚で、全部で 17 脚が連続して配置されていた。この形式の橋脚全部が橋脚直角方向北側に倒壊しており、調査の段階では既に撤去されていた。倒壊した場合には、その観察によって倒壊の過程を明らかにすることは難し

く、地震応答解析結果などと比較した後に、倒壊した理由などを報告したい。

(4) ラーメン橋脚(写真 K9)

出入口など、幅員が大きい場所に、この形式の橋脚が用いられていた。今回の地震による被害をほとんど全く受けていなかったことに、最初とまどいを感じたが、それは間違いのない事実である。この構造形式は、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まらず、上部構造の荷重によって断面が定まるのが一般である。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。今回の地震動が橋軸ほぼ直角方向に作用したことが、被害を受けなかった主たる理由と考えられる。このことは、僅かではあるが存在していた鋼ラーメン橋脚にも、そのまま当てはまることである。

4. 阪神高速道路 5 号湾岸線(西宮大橋付近)の被害

調査した範囲の橋脚は、大部分がラーメン構造であった。ラーメン構造は、既に述べたように、RC 構造(写真 K10)、鋼構造(写真 K11)共に、今回の地震による被害をほとんど受けていない。今回の地震は、橋軸ほぼ直角方向に地震動が作用したために、被害を受けなかったものと思われる。新しい基準によって設計されたこの種の橋脚に、橋軸方向に地震力が作用した場合、どのような被害を受けるかについては、現時点では不明である。多くの被害例のある RC 単柱や立体ラーメン構造についての詳細な解析を行い、被害の状況と対比して検討し、その挙動を解析的に明らかにできた後に、この検討を行う必要があると思われる。

5. ハーバーハイウェイ(摩耶大橋付近)の被害

(1) 単柱(壁)式二層ラーメン橋脚(写真 H1)

(a) ラーメンに取りつくやや下側で、北側または南側の連続鉄筋が降伏したもの(写真 H2),

(b) 更に反対側に変位した時に、その鉄筋が圧縮を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせたもの(写真 H3),

(c) この状態が橋脚の全周に広がり、鉄筋の座屈が顕著になったもの(写真 H4), などがいずれも相当数認められた。なお、被害のほとんどないものもかなりの数存在していた。

損傷を受けた箇所では、2 段配筋の内側の鉄筋が段落としされており、その近傍で外側の鉄筋の半分がガス圧接継手となっていた。鉄筋の降伏が充分進展する前にガス圧接継手の多くが圧接位置で破断したと思われ、一般に座屈してはいなかった。この位置で鉄筋を止めるのは、この構造を 2 次元的に見ると頷けない。上部のラーメン構造は橋軸直角方向には強く、被害が認められなかった。また、この形式の構造で崩壊した例はなかった。この形式の橋脚は、コンクリート断面に比して軸方向鉄筋量が少なく、曲げ抵抗に比してせん断抵抗が大きいために、曲げ降伏をし

た後に相当大きな変形を生じて、崩壊に至らなかったものと思われる。なお、同様な形式の鋼製の橋脚もあり、ほとんどが被害を受けていなかった。しかし、柱の下から 1/3 程の位置で、北側の鋼板が局部座屈していたもの一例を確認した(写真 H5)。たまたまこの前後にある同形式の RC 橋脚は被害が認められなかった(写真 H6)のが印象的であった。

(2) 単柱式矩形橋脚

- (a) 橋脚の下端または少し上部で鉄筋の段落とし位置(写真 H7)において、引張りを受けた軸方向鉄筋が降伏して、伸び出した程度のもの、および、
 - (b) さらに反対側に変位した時に、その鉄筋が圧縮力を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせたもの(写真 H8),
- が見受けられた。

2 段配筋の内側の鉄筋が段落としされ、その近傍で外側の鉄筋の半分以上がガス圧接継手となっていた。ガス圧接継手の多くは圧接位置で破断しており、大部分は座屈していなかった。この形式の橋脚は被害が認められないものが最も多く、崩壊したものはなかった。高さが高いもの(写真 H7)あるいは軸方向鉄筋比の小さいものが多く、曲げ抵抗に比してせん断抵抗が大きいために、曲げ降伏をした後に相当大きな変形を生じて、一般に崩壊に至らなかったものと思われる。

(3) 壁式橋脚

この形式の橋脚は多くはないが、以下の 3 例は他に見られない特徴的な被害であった。なお、この形式の橋脚が設けられていた位置は、海の傍であり、周りの地盤は数 10cm ほど沈下していたが、橋脚の基礎はしっかりとしていた(写真 H9)。

- (a) 一断面で外側に配置されている主鉄筋の 1/2 がガス圧接継手となっており、そのほとんどが圧接部で引張り破断し、その断面から約 1 メートル離れた断面で、残りの鉄筋がガス圧接継手となっており、そのほとんどが圧接部で破断していた(写真 H10)。2 つの継手位置は鉄筋軸方向には 1 メートルほど離れているが、この橋脚の断面厚さに比べれば、この程度の距離は同一断面と考えられるものであって、継手を離す距離に断面寸法を考慮する必要のあることを示している(写真 H11)。なお、この断面で外側の鉄筋はほとんどすべて破断していたにもかかわらず、橋脚は崩壊を免れていた。
- (b) スパンの大きい鋼箱桁連続桁橋である第二摩耶大橋を支えている橋脚には、奇妙なひびわれが発生していた(写真 H12)。鋼桁はこの橋脚上で固定支承となっており、支承は橋脚にしっかりと固定されていた。桁は東隣の支承あたりから北側に大きく曲線を描いており、東隣の可動支承上で南側の桁は支承上にあったが、北側の桁は支承から外れて橋軸直角方向北側に数 10cm 移動していた(写真 H13)。その結果、橋脚上面には北側桁の支承から水平力が橋軸直角方向北方向に作用し、そこから曲げひびわれが発生し、下に向かって伸展し、最後に北に曲がったものと思われる。相当に多い帯鉄筋の存在によって、橋脚の崩

壊は免れ、したがって落橋しなかったものと思われる。このような力は設計では考慮されていないものであり、この経験を今後に生かす道を慎重に検討する必要がある。

- (c) 第二摩耶大橋のもう一方の橋脚(写真 H14)には、D 22 の主鉄筋が 2 段配置されているが、内側の鉄筋は外側の鉄筋量の約 1/5 であって、鉄筋量がやや少ない印象を受けた。水平打継目の約 30cm 上で、内側の一段が止められている。この断面で残りの鉄筋のほとんどが引張り破断しており、そのため橋脚北側の一部、水平打継目より下側が地表まで落下していた(写真 H15)。

(4) ラーメン橋脚

この形式がほとんど被害を受けていないのは、既に述べた高架橋の場合と同様であった(写真 H16)。同じ形式の鋼ラーメン橋脚もほとんど被害を受けていなかったが、上部隅角部南側内側コーナーより亀裂が水平に走っていた例が認められた(写真 H17)。溶接部に沿った脆性破壊と思われる。また、その北側の柱では局部座屈が認められた。

6. まとめ

(1) ピルツ橋脚は 17 脚すべてが倒壊していた。コンクリート構造の被害は、ラーメン高架橋と単柱式橋脚に多く見られ、ラーメン橋脚にはほとんど見受けられなかった。鋼構造の場合も、被害は単柱橋脚に多く見られ、ラーメン橋脚にはほとんど被害が生じていなかった。また、単柱式橋脚の場合でも、細くて長いものは比較的被害が小さく、太くて短いものは被害が大きい傾向が認められた。これらのことは、構造形式によって耐震性能に相違があることを示すのではなく、今回の地震の特性、設計時に想定した地震力の大きさ、設計詳細、設計者や施工者の技術力などの相違によるものである。

(2) ピルツ橋脚、ラーメン高架橋および単柱式橋脚は、橋軸方向と橋軸直角方向の地震動両方に対して、ほぼ同程度の抵抗力を持つように設計されているものである。今回の地震によって、これらの相当多くのものが鋼材の降伏する以上の力を受けており、今回の地震が静的水平震度が 0.2 程度で許容応力以内に納まる程度の大きさのものではなかったことは確実である。しかし、せん断破壊を起こさなかったものの大多数は崩壊に至っていない。せん断補強が現行の学会基準を満足している程度であれば、今回程度の地震動に対して崩壊を免れる可能性は高いと思われる。

(3) 倒壊あるいは崩壊し、橋脚の損傷が落橋の原因となったものの多くは、主鉄筋が曲げモーメントによって降伏した後に、せん断破壊を起こし、その結果上部構造を支えきれなかったものと思われる。この場合、橋脚が対称に造られていなかったものを除いて、ほとんどすべての橋脚が橋軸直角方向北側に倒れていたのが特徴である。この原因は、地震動の特性によるものと思われるが、特に、鉛直方向地震動の影響である可能性があると思われる。

(4) ラーメン橋脚が、鋼構造、コンクリート構造共に被害が極めて軽微であった

理由は、今回の地震が、ほとんどの橋脚に対して、橋軸直角方向に作用したことによるものと思われる。ラーメン橋脚は、橋軸直角方向の地震動には著しく強いが、橋軸方向に対しては単柱式橋脚と大差ないものである可能性が高い。今回調査した橋の橋軸方向は大部分が東西方向であり、地震動が主として南北方向であったことは、ラーメン橋脚にとって幸運であったと言えよう。同じ構造形式の場合には、鋼構造とRC構造とで被害に本質的な相違はなかったといえる。

(5) コンクリート橋脚における構造細目については、土木学会の現行規定で基本的に問題はないと思われる。しかし、支承から橋脚に伝わる力について、桁が支承からはずれた場合についても考慮しておくことが望まれる。なお、構造細目について、設計者に分かりやすいマニュアルを作成する必要性を痛感した。

7. 今後の課題

以下の目的を達成すべく、土木学会コンクリート委員会は総力を挙げて取り組む必要がある。それが、今回の大きな犠牲に少しでも報いる道である。この調査報告は、今後の詳細な調査研究を進めていく第一歩に位置づけられるものである。

(1) 阪神大震災で被害を受けたコンクリート構造物の状況を詳細に調査すると共に、それらの構造物の解析ならびに必要ながあれば実験を行って、コンクリート構造物の耐震性について研究する。

(2) その結果を学会の耐震設計法に反映し、今後のコンクリート構造物の設計施工に役立てる。なお、必要に応じて、既設構造物の補強にも役立てる。

(3) 遅くとも1年後までに、これらの調査研究結果を公表し、国内講習会や国際セミナー等を通じて、多くの技術者の理解を求める。

参考資料「土木学会コンクリート標準示方書の耐震に関する規定」

土木学会コンクリート標準示方書設計編は、昭和61年に限界状態設計法に全面的に移行したが、同時に、耐震に関する検討方法も、最近の知見を取り入れて全面的に改定され、平成3年版でも基本的にそれを踏襲している。参考のため、以下にその概要を述べる。

耐震設計は、地震時の安全性および地震後に要求される構造物の供用性能に基づいて行うのを原則とし、被災の程度を、健全維持、軽微な損傷、中程度の損傷およびかなりの損傷に分類し、地震時の最大応答変位が降伏変位のそれぞれ1, 2, 3および4倍に相当するとしたのである。中程度の損傷の場合には、被災後の適当な時期に補修をしたり、あるいは点検をしながら供用することが可能である程度を想定しており、かなりの損傷となる場合には、なるべく早い時期に補修、補強することが想定されている。なお、一般の土木構造物の場合には、公共性、経済性、地震後の供用性、耐用年数等から考えて、設計想定地震による被害を「軽微な損傷」以下とするのがよいとしている。

設計で想定する地震は、一般に、建設時点において耐用期間中に1回程度発生す

る規模としている。構造物に作用する慣性力は、構造物の重量とその負載重量に設計震度を乗じたものであり、設計水平震度は、標準水平震度 0.2 を、地域、地盤、構造物の固有周期、被災後の供用性能、および計算上考慮しない部材の耐震効果を入れて補正したものである。例えば、地震活動が低い地域で、岩盤上にあり、構造物の固有周期が 0.1~0.7 秒であり、主要部材以外の耐震効果を期待できない構造で、かなりの損傷を許す場合の設計水平震度は 0.10 となるのに対し、同じ条件で軟弱地盤上で健全維持をしようとする、設計水平震度は 0.48 となる。

曲げモーメントの安全照査に用いる安全率は総合して 1.15 であるが、せん断力に対する安全率はコンクリートに対して 1.8、帯鉄筋に対して 1.38 とし、部材接合部から柱幅の高さの範囲では、更に、それぞれの 1.25 倍の安全率を見込むことによって、曲げ降伏後にもせん断破壊を防ぎ、柱の靱性を高めることによって、想定地震以上の地震に対しても崩壊しないように配慮しているのである。

耐震構造細目としては、帯鉄筋の端部は 135° 以上折り曲げて内部のコンクリートに十分定着するか、あるいは連続したらせん鉄筋形式とするとし、帯鉄筋比を 0.2% 以上とすることを要求している。また、引張主鉄筋の引張部定着、いわゆる鉄筋の段落としては、同一断面では全引張主鉄筋の 1/2 以下とし、計算上不要となる点から部材の有効高さを延長し、そこから必要な定着長以上を延ばす必要がある。その間の設計せん断耐力は、設計せん断力の 1.5 倍以上としなければならない。しかし、鉄筋の継手位置については、できるだけ応力の大きい断面を避けるものとするにとどまっており、具体的な規定にはなっていない。

最近の道路橋示方書(平成 2 年)では、従来から行われている許容応力度の照査に加えて、新たに、脆性的な破壊を生じないように、鉄筋コンクリート橋脚の保有耐力を土木学会標準示方書の想定地震よりも相当大きな地震に対して照査することが望ましいこととなった。曲げ破壊がせん断破壊に先行すると判断された場合には、終局変位をコンクリート圧縮縁ひずみとその終局ひずみ(0.0035)となる時として、安全係数 1.5 を用いて許容塑性率を求め、これに基づいて等価水平震度を算定している。ただし、地震力を大きく想定していることもあって、保有耐力の算定に用いるせん断耐力に対する安全率は、土木学会標準示方書よりも相当に控え目な値となっている。なお、耐震構造細目は、基本的には、土木学会標準示方書と同様である。

平成 4 年に作られた鉄道構造物等設計標準における想定地震は、道路橋示方書の保有耐力の照査に用いる地震と本質的に同じである。設計で設定した靱性率を確保するための帯鉄筋量を部材細長比、鉄筋比、作用圧縮応力度、部材高さの関数として求める計算式が与えられているのが特徴である。この帯鉄筋を、橋脚には下端から断面高さの 2 倍まで、柱には部材接合部から柱の断面高さの 2 倍まで、はりには部材接合部からはりの断面高さの 1.5 倍までに配置することを原則とし、所要の靱性率を確保するとしている。その他の構造細目は、基本的には、土木学会標準示方書と同様である。



S 1 中間ばりを有するラーメン高架橋



S 2 中間ばり直下のせん断ひびわれ



S 3 上部が橋軸直角方向北側に落下



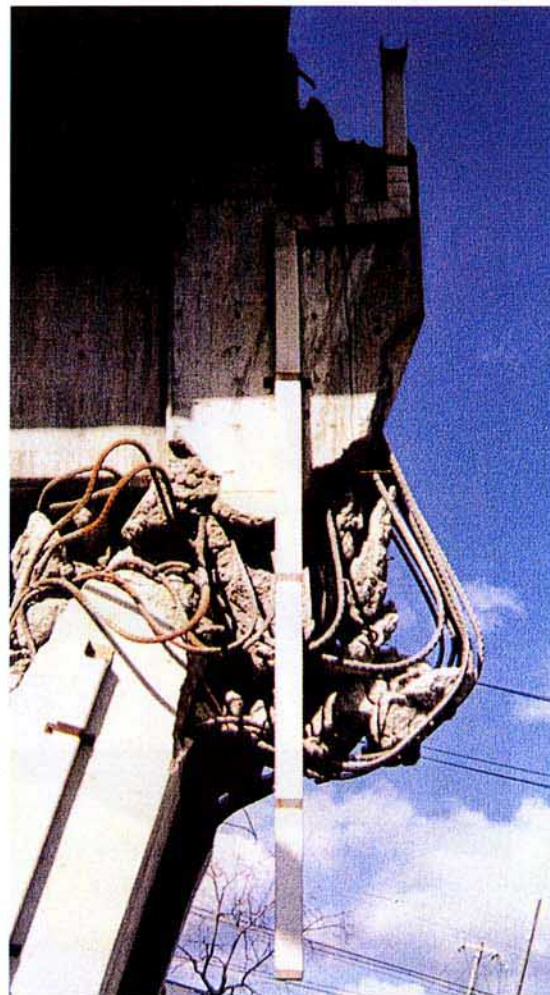
S 4 中間ばりを有しないラーメン高架橋
ハンチ直下での曲げ降伏



S 5 曲げ降伏後のせん断ひびわれ



S 6 ラーメン橋台に用いられている
高さの高いはり



S 7 ラーメン橋台支承直下のせん断破壊
PC 桁は落橋



S 8 PC 桁を支える健全なラーメン橋脚



S 9 武庫川橋梁小判型橋脚の全景



S 10 段落とし部における
鉄筋の曲げ降伏後の局部座屈
かぶりコンクリートの剥落
ばらけた帯鉄筋
真ん中に水平打継目



S 1 1 橋脚下端の曲げ降伏



S 1 2 軽微な被害の国道 171 号線の橋脚



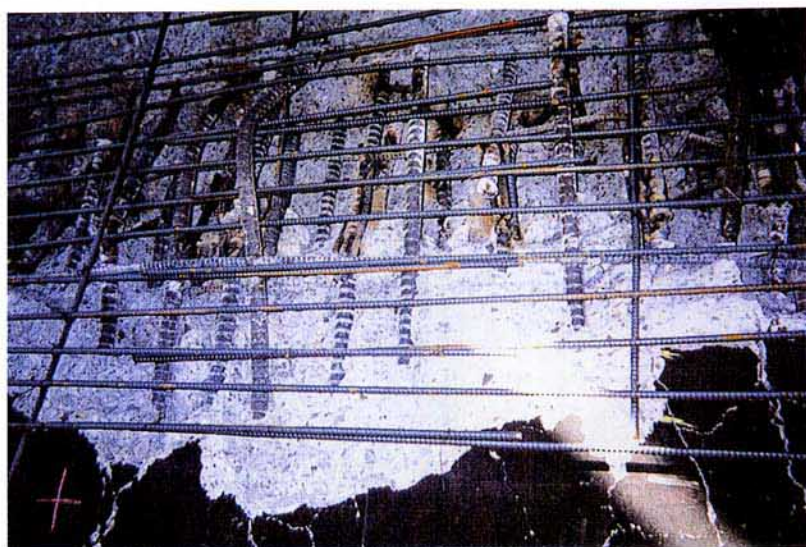
K 1 阪神高速の単柱式円形橋脚



K 2 曲げひびわれ



K 3 鉄筋の降伏



K 4 圧接継手の破断
破断していないものは局部座屈



K 5 矩形断面の橋脚
曲げ降伏



K 6 セン断ひびわれ



K 7 単柱式矩形橋脚の崩壊



K 8 ピルツ橋脚の倒壊



K 9 健全なラーメン橋脚



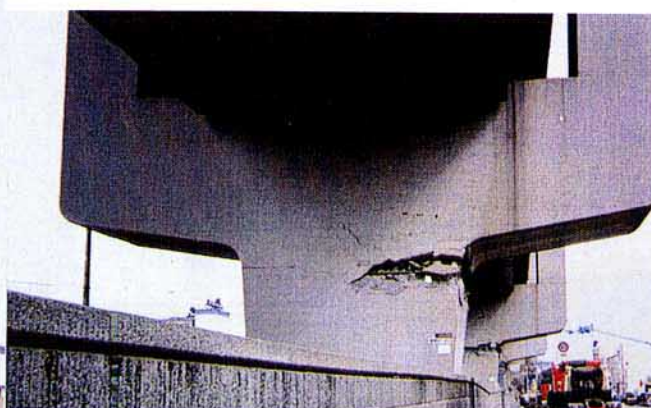
K 1 0 健全な湾岸線のRCラーメン橋脚



K 1 1 健全な湾岸線の鋼橋脚



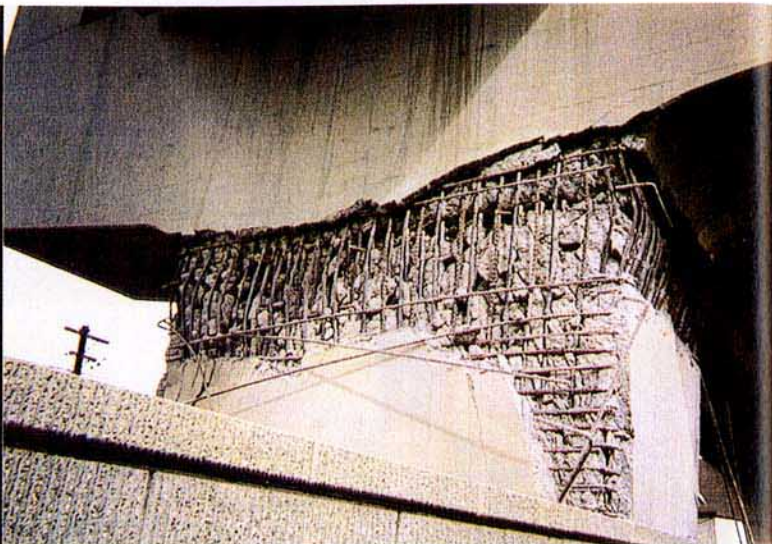
H 1 単柱(壁)式二層ラーメン橋脚



H 2 段落とし部における鉄筋降伏



H 3 曲げ降伏後の鉄筋の局部座屈



H 4 水平打継目、鉄筋段落とし、
ガス圧接継手の破断、
不十分な帯鉄筋の定着



H 5 局部座屈の認められた鋼橋脚



H 6 隣にある健全なRC橋脚



H 7 高さの高い単柱式橋脚の被害
段落とし部での鉄筋降伏



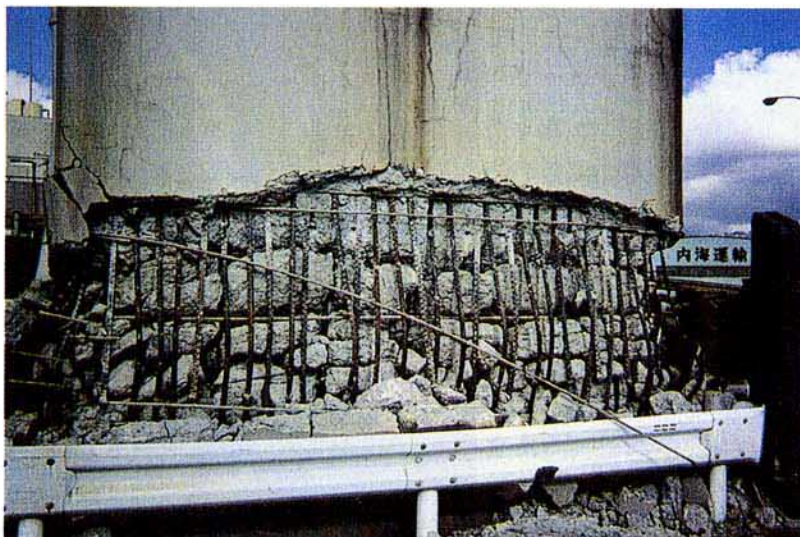
H 8 ガス圧接継手の破断、
不十分な帯鉄筋の定着



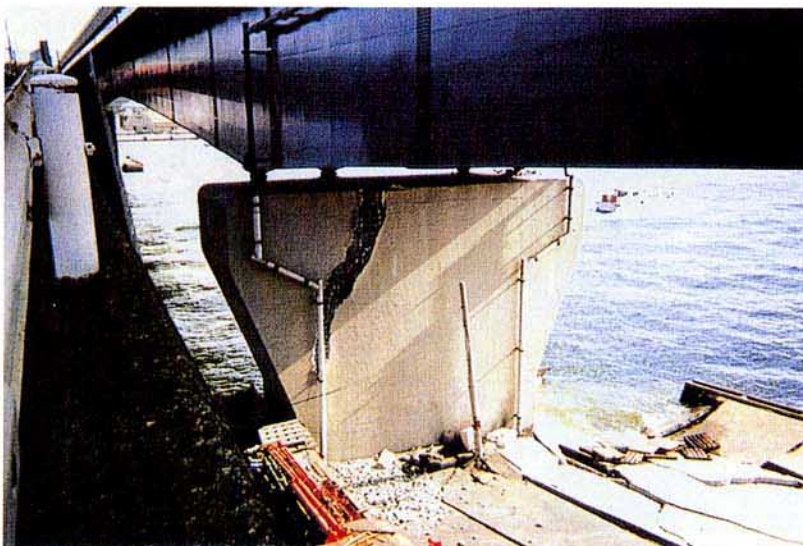
H 9 健全なフーチング
周囲の土は陥没



H 1 0 離れた位置における圧接部の破断



H 1 1 二つの位置でのガス圧接継手と
橋脚の断面寸法の関係



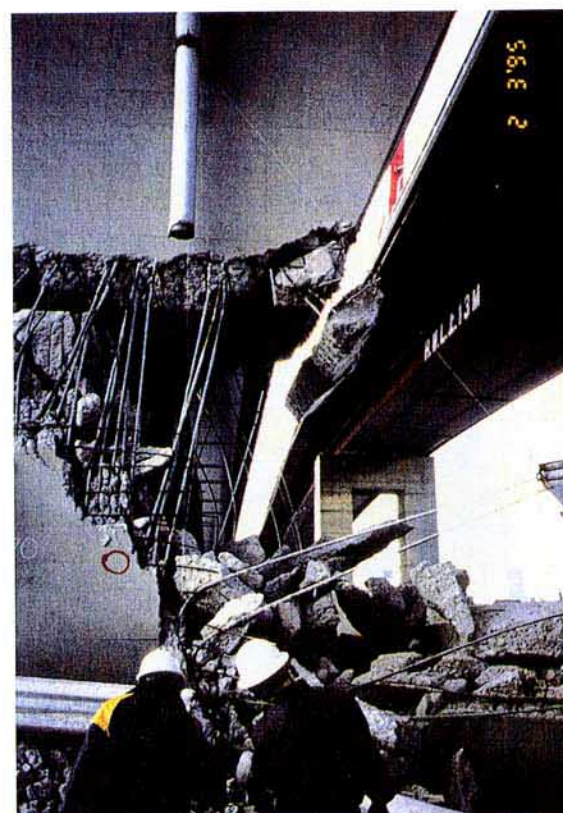
H 1 2 第二摩耶大橋の橋脚に見られた
奇妙なひびわれ



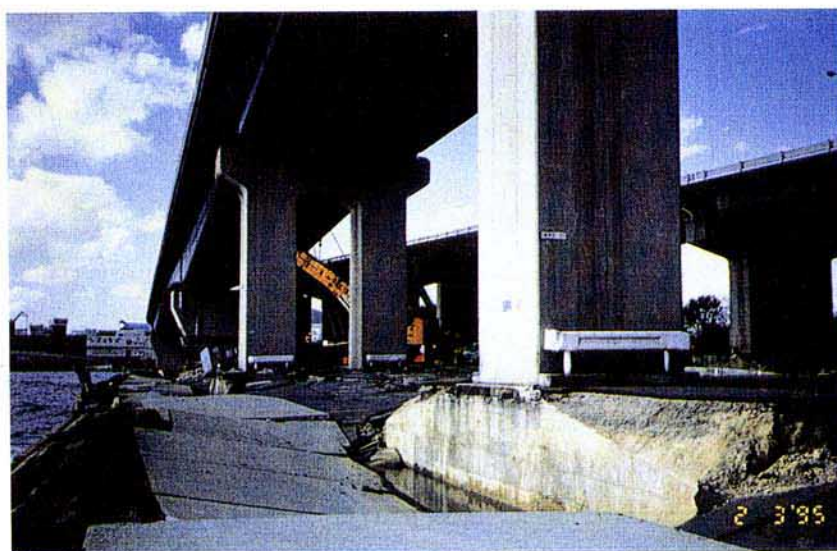
H 1 3 支承上における鋼桁の横ずれ



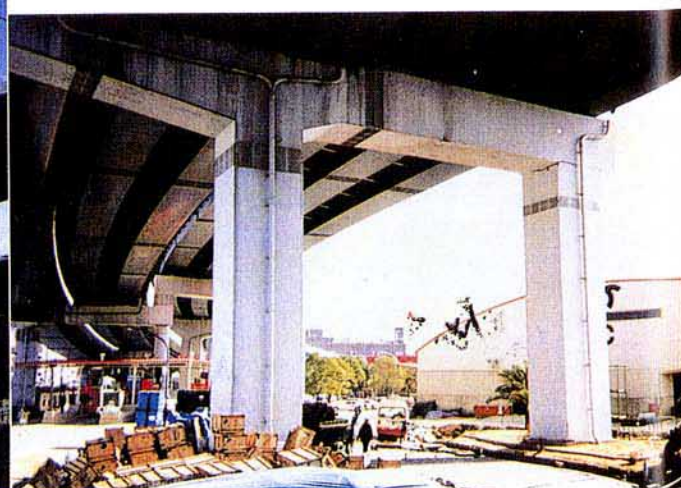
H 1 4 水平打継目と鉄筋破断



H 1 5 鉄筋破断とコンクリートの落下



H 1 6 健全なラーメン橋脚



H 1 7 鋼橋脚に見られた亀裂

地下構造物被害

調査メンバー：足立 紀尚（京都大学工学部土木工学科教授：地盤工学）

木村 亮（京都大学工学部交通土木工学科助教授：地盤工学）

日比野 敏（(財)電力中央研究所参事：地盤工学）

伊藤 洋（(財)電力中央研究所地質地盤部研究主幹：地盤工学）

1. 調査方針と調査箇所

今般の直下型地震による震災において、各種地下構造物の震害調査と耐震性に関する検討が必要となった。この際、破壊したあるいは損傷を受けた構造物のみならず、無傷の構造物に対しても、地震動（特に直下型特有の衝撃的上下動）、地形、地盤（地下構造）、構造物の形状、寸法、材質、土かぶり等を考慮した総合的な分析が、地下構造物の耐震を含めた設計規範の再検討には重要である。

そこで、平成7年2月1日～2月3日の3日間にわたり、対象構造物を地下鉄（駅舎とトンネル部）、地下街、共同溝、とう道等として調査を実施した。調査箇所を以下に示す。

- | | |
|-------------|----------------------|
| ・神戸高速鉄道(株) | 大開駅舎 |
| ・新港第四突堤 | ポートターミナル共同溝 |
| ・神戸市中央区 | NTT神戸とう道 |
| ・神戸市営地下鉄 | 三宮駅～県庁前駅の駅舎ならびに地下鉄線路 |
| ・神戸市中央区三宮駅前 | さんちか街 |
| ・神戸市中央区 | 関西電力磯辺通シールドトンネル |

2. 調査内容

2-1 神戸高速鉄道(株)大開駅舎の被害状況

(1) 駅舎の概要

当駅舎は、神戸市兵庫区に位置し、昭和39年1月31日に竣工した地下2階鉄筋コンクリート構造である。

図-1に駅舎の構造図を示す。図-2および図-3には建設当初に路線に沿って実施された、駅舎近くの地盤調査の概要を示す。駅舎底部はGL. -12 mに位置し、土被りは地下1階部で約1.9 m、地下2階部で約4.8 mとなっている。図に示されるように、地盤は沖積層の砂、砂質ローム、砂礫、粘性土からなり、N値は約10程度から50以上と幅広く、地下水位は地表面下約3～4 mと思われる。

なお、駅舎ならびに線路部はいずれも開削工法にて施工されたものである。

(2) 被害状況

駅舎地下1階の中央コンコースの中央に位置する鉄筋コンクリート支柱（幅70 cm×奥行き40 cm×高さ約2.6 mの角柱）の1本が破壊し、残り数本がコンクリート部の一部が剥離し鉄筋が露出していた。また、側壁部分にもクラックが水平ならびに斜めに発生していた。写真-1にその破壊状況を示す。

さらに、地下2階は駅舎中央の鉄筋コンクリート支柱（幅100 cm×奥行き40 cm×高さ約4 mの矩形柱）約25本以上がほぼ完全に破壊し、駅舎地下2階中央付近が線路に沿って押しつぶされた状況を呈していた。写真-2、3にはその破壊状況を示す。写真に示される様に中央近くの支柱は完全に押しつぶされ、線路

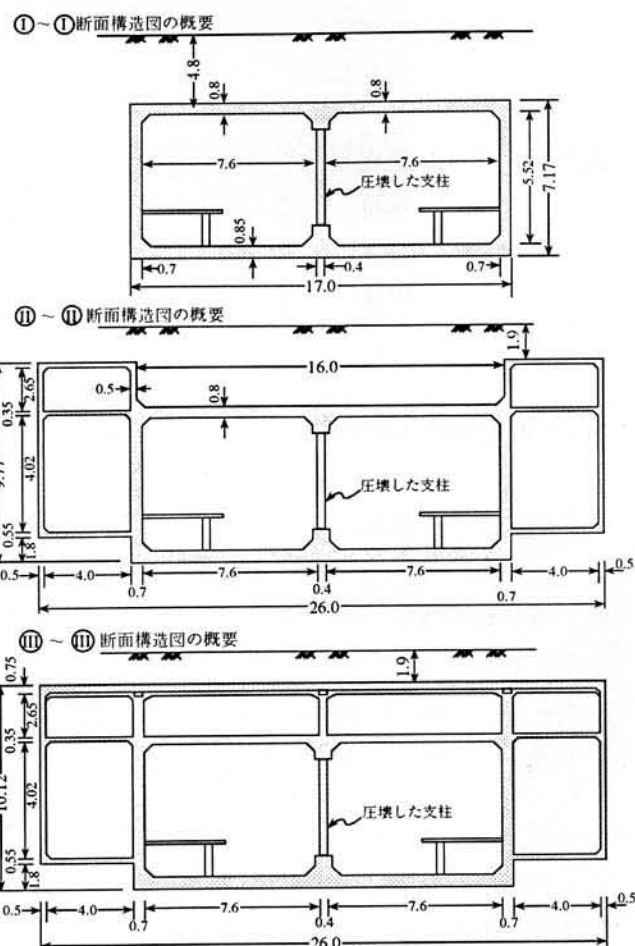
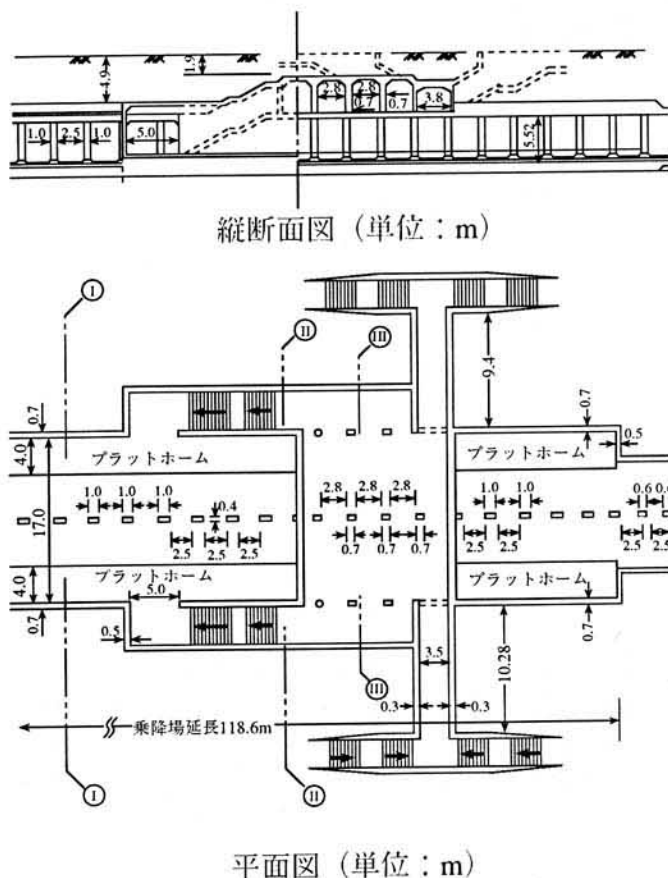


図-1 神戸高速鉄道(株)大開駅(地下鉄部)の概略構造図

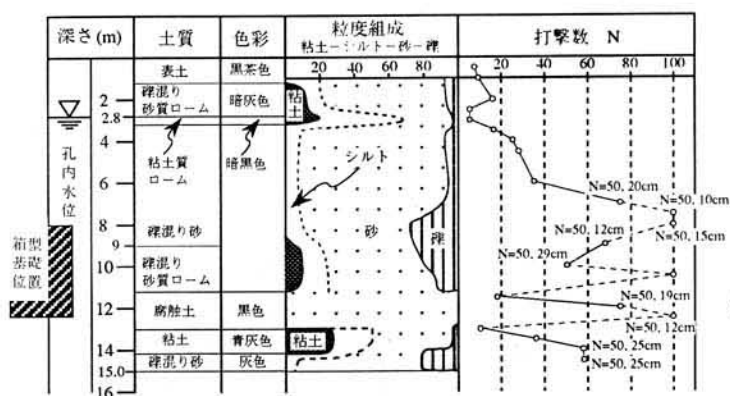


図-2 大開駅東側線路沿いの地盤構造の一例

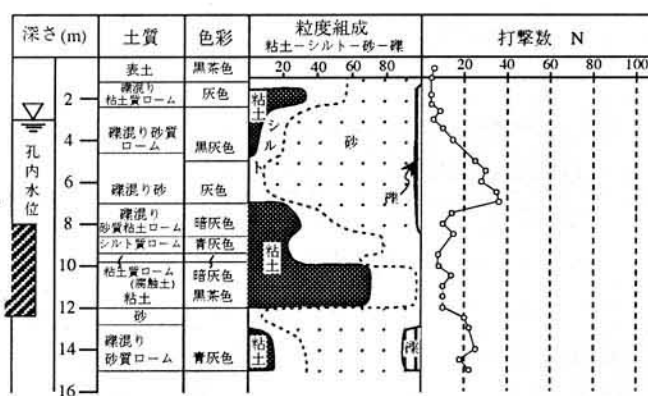


図-3 大開駅西側線路沿いの地盤構造の一例

方向と直角方向に軸鉄筋が大きくふくれて露出し、かつ帯鉄筋も完全に破断されたものが多かった。これら鉄筋コンクリート支柱の破壊箇所は、支柱の足元で膨れるものと支柱の頭部付けねで膨れるものと大きく2つに分けられる。この傾向は数本づつが交互にでているようにも思われた。ただし、側壁4隅の隅角部は中央支柱の破壊により2次的にクラックが生じたものと思われ、中央支柱の崩壊状況に比べ破損の程度は小さいものであった。なお、地下部での湧水は、特に多かった形跡は認められなかった。



写真-1 大開駅地下1階の被害状況



写真-2 大開駅地下2階の被害状況（長田方面側）



写真-3 大開駅地下2階の被害状況（三宮方面側）



写真-4 大開駅地表面の道路陥没状況

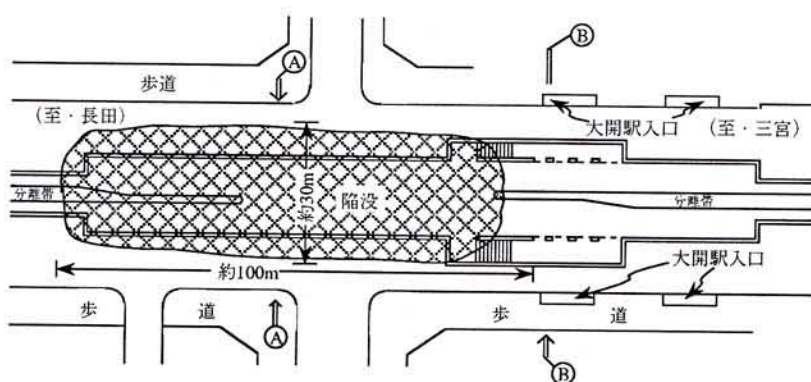
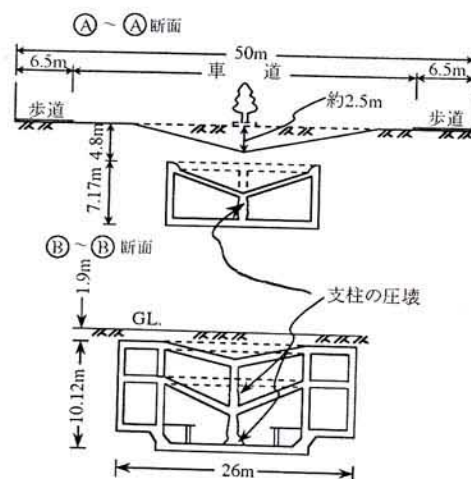


図-4 大開駅地表面の陥没状況



一方、地下2階の破壊の影響により、地表面の国道28号線が長さ約100 m、幅30 mに亘って最大3～4 m 陥没していた。この範囲以外にも地表面には線路方向に沿う連続したクラックが長いもので数十mに亘って観察されたが、中央分離帯の縁石の直線性は保たれほとんど変状がなかった。図-4ならびに写真-4は地表面の変状状況を示したものである。

(3) 考察

上述したように、縦横比が約7.2 m：17 mと大きな空間を持つ地下の箱型構造であること、ならびに箱型



図-5 新港第4突堤ポートターミナル～ポートアイランド内の共同溝敷設ルート

4 隅近傍のせん断破壊よりも中央支柱の破損が主な破壊形態であることなどの状況から判断し、駅舎全体が上向き「く」の字状に鉛直に持ち上げられ、その反動としての下向きの荷重の作用により駅舎上部の床版（厚さ約80 cm）を下向き「く」の字になるように押しつけ、その荷重を中央支柱が支えきれないところに過大な水平動の影響も加わり、破壊したものでないかと考えられる。すなわち、今後の地震動の観測記録の解析等を待たなければならないが、当初設計で考えられていた水平および上下方向の荷重よりもかなり大きい荷重が作用したことが考えられる。

2-2 新港第四突堤ポートターミナル共同溝の被災状況

(1) 共同溝の概要

調査の対象とした共同溝は図-5に示される神戸市中央区新港町新港第四突堤とポートアイランドに敷設された総延長約1 kmのうち、第2共同溝部である。図-6に第2共同溝の一般構造断面図と共同囲壁部概念図を示すが、本共同溝はガス、NTT、水道、送電ならびにOMPの5種類のケーブル、導管を埋設したものである。共同溝の土かぶりは約2～3 m程度と思われる。なお、共同溝の地盤は当該地域の地盤構成から想定し沖積砂、砂質ロームまたはシルト層、あるいは砂礫層からなるものと考えられるが、基礎の地盤処理については不明である。

(2) 被災状況

今回の地下部の調査は、神戸大橋付近の第2共同溝入り口と立坑の共同囲壁部の約15 mについて行った。共同溝のコンクリートボックス自体には特に大きな変状や被害が認められなかった。ただし、共同溝入り口付近斜向部ではケーブル固定金具の支持ガイシの一部脱落が認められた。また、コンクリートボックスのジョイント部の開口によると思われる地下水の湧水等により、写真-5のようにコンクリートボックス床面に水深10～20 cm程度の水がたまっていた。共同溝の湧水量は不明であるが、作業員によると150 m先は共同溝内が満水となっており、調査不能とのことであった。

なお、調査した共同溝付近の地表部はターミナル駐車場となっており、しかも神戸大橋の橋脚ならびにアプローチのための取付道路橋が構築されていたが、甚大な被害を受けていた。すなわち、写真-6には駐車場の波打つような陥没状況を示す。しかしながら、共同溝に沿う直上部の駐車場地面や第4突堤内の地面はほとんど変状がなかった。



写真-5 共同溝湧水による浸水状況



写真-6 共同溝敷設上部付近駐車場の被害状況

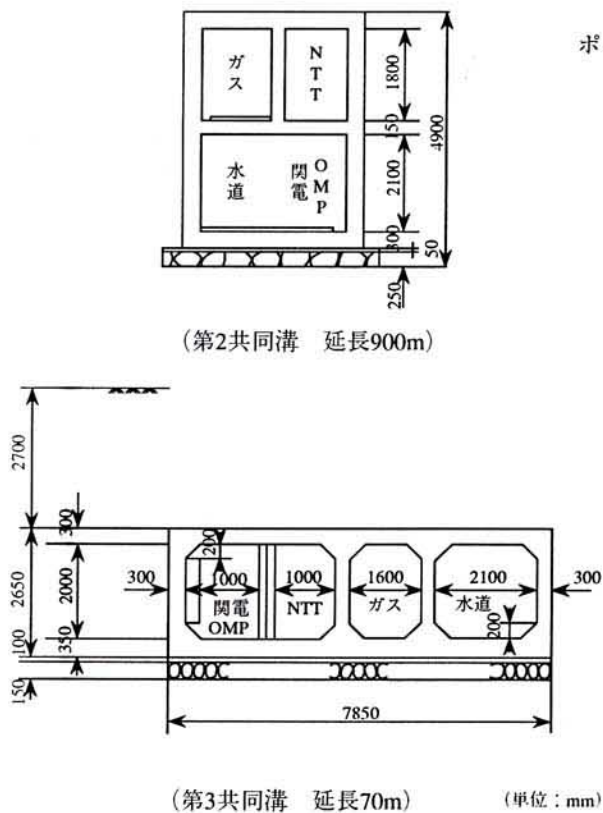
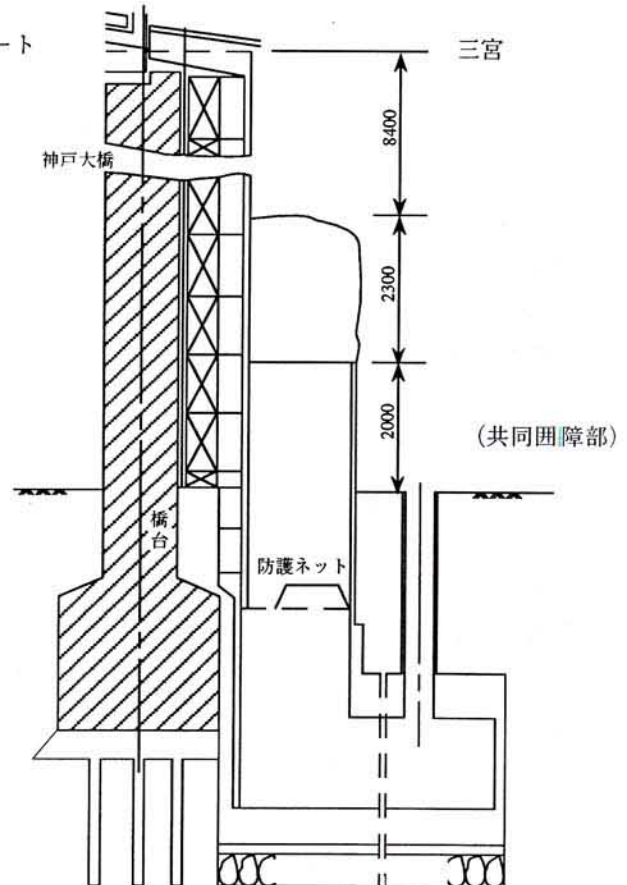


図-6 共同溝の一般構造図の概要



(3) 考察

上述したように、共同溝は地上の大きな被害に比べ、ほとんど被害を受けていない。しかも、共同溝直上の地表面もほとんど変状が認められないことから、共同溝直下の基礎地盤は共同溝に沿って何らかの地盤改良、補強対策などの基礎処理がなされていたことが考えられる。共同溝入り口付近の支持ガイシの脱落は共同囲壁部の立坑と共同溝のトンネルとの地震時の振動性状の違い、あるいはコンクリートボックスと溝内のケーブルの振動性状の違いなどにより破壊されたものと考えられる。

なお、ケーブルの損傷の有無は不明である。

2-3 NTT神戸とう道の被害状況

(1) 神戸とう道の概要

当該とう道は葎合とう道、三宮とう道、山手とう道の三系統からなり、各系統とも一部南北方向に敷設されているものの基本的には東西方向を主体とする総延長約8 kmのとう道である。とう道本体は開削し構築された断面約2.5 m×1.5 m程度の矩形トンネルと、直径約4 mのシールドトンネルで構成されている。なお、とう道の敷設された地盤は周辺地盤から想定し、砂礫、砂、粘性土からなる沖積層、段丘層からなるものと推察され、矩形とう道の土かぶりは約2~3 m程度、円形とう道では10 m程度である。

(2) 被害状況

今回の調査では神戸支店付近の立坑基地、シールドトンネル、矩形トンネルの数十mについてそれぞれ行った。立坑部については特に目だった被害がなく、シールドトンネルでも坑口部にアーチ天端を主体としたクラックが発生していた以外は本体に顕著な被害は認められなかった。矩形トンネルについては、写真-7に示すようにエキスパンションジョイント部のズレあるいは開口等が数カ所において生じており、地下水の漏水も認められたが、従来の排水設備に若干の水中ポンプを増設し対処していた。このようなジョイント部の動きは、特にビルとの取り付け部や断面の変わる部分で顕著であった。いずれにしても調査箇所で見える限り、地下とう道としての機能を大きく損なわせるものではなかった。

なお、関係者によると、上記とう道区間において収容ケーブルの全てに異常はないものの下記のような被害が見受けられるとのことであった。

- a) 矩形トンネル部においては、エキスパンション部が動き湧水している箇所が十数カ所あり、また、本体構造物にクラックが発生し構造物としての耐力低下が懸念されると思われる箇所が2~3箇所ある。なお、湧水量は10~50 l/min程度である。
- b) シールドトンネル部においては数カ所の坑口に若干のクラックが認められ、湧水があるものの、本体には何等被害はない。湧水量は約10~20 l/min程度である。
- c) 三宮地区にあるとう道基地では、マンホール取り付け部や打ち継ぎ目にクラックが発生し若干の漏水のほか、液状化現象の発生により地盤沈下、地盤隆起が生じている。

(3) 考察

上記のように、とう道の被害は三宮、長田地区の地上構造物、道路路盤の甚大な被害に比べると、かなり少なく、比較的軽いことがわかる。また、被害は矩形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、当初設計以上の地震力の作用により、損傷すべきところが損傷したもので構造物としては機能しているものと考えられる。一方、シールドトンネル部は今回の地震力に対しても十分構造物としての機能を維持・発揮したものと考ええる。

なお、とう道の被害は南北方向のものに比べ、東西方向に敷設されたものに比較的多いとのことであるが、断層の動き、地震動特性、地盤構造などの観点から総合的に検討・分析する必要がある。



写真-7 エキスパンションジョイント部の
開口破損状況

2-4 神戸市営地下鉄三宮駅~県庁前駅の駅舎ならびに地下鉄線路の被害状況

(1) 三宮駅舎の概要

当駅舎は神戸市中央区に位置し、昭和60年6月18日に開通した市街地函型トンネル地下3階鉄筋コンクリ

ート構造である。駅舎延長約310 m、幅はホーム部で約15 m、高さ約20 mで、地下1, 2ならびに3階は一体構造となっている。地下1階には電気室ならびに換気用の機械室があり、東行ホーム、西行ホームがそれぞれ地下2階および3階に位置している。地盤構造は地下1階部分では沖積砂質土層と砂礫層が卓越するが、それ以下では主に洪積砂質土層と粘性土層の互層である。土被りは駅舎部で約3 mで、駅舎ならびに線路はいずれも開削工法にて施工されている。

(2) 被害状況

駅舎地下1階換気機械室、西電気室および地下2階換気機械室において、鉄筋コンクリート支柱（幅0.9 m×奥行き0.7 m×高さ4 mの角柱）が約30本が破損している。図-7に破損状況の一例を示す。これら破損の状況はいずれも、一部軸鉄筋が屈曲しコンクリートと軸鉄筋、帯鉄筋が分離し、一部はコンクリートが剥離し鉄筋が露出していた。ただし、支柱の破損は支柱の頭部付けねであったり、足元であったり、または支柱中ほどとか、いろいろの箇所に数本づつまとまって認められた。破損したコンクリート支柱は、写真-8に見られるようなH鋼とジャッキによる仮設の補強を実施中であった。

一方、駅舎地下2階、3階の直径0.55 mおよび0.65 mの鋼管柱の箇所の被害は無かった。しかも地下水の湧水も特に無かった。図は省略したが、破損したコンクリート支柱の各階における分布には興味深いものがあり、今後十分な検討・考察が必要である。

また、三宮駅舎から西隣の県庁前駅舎まで（片道約1 km）地下鉄線路の状態を調査した。地下鉄線路間の鉄筋コンクリート函は損傷を受けておらず健全で、県庁前駅舎のコンクリート柱は無傷であった。

(3) 考察

上述のように、三宮駅舎全体は縦横比が約20 m : 15 mの地下1, 2および3階一体となる鉄筋コンクリート函構造である。しかしながら、各階の縦横比が4 m : 15 mの構造形態であること、函側壁の天端4隅のせん断破壊よりも支柱が破損されていることなどから、これらの鉄筋コンクリート支柱の破損が、曲げあるいは水平の荷重によるせん断によるものよりも、支柱が一軸的に圧縮されせん断破壊あるいはブリットルな破壊を呈したことが考えられる。すなわち、前述の大開駅の場合と同様、今後の詳細な解析を待たねばならないが、当初設計で想定した以上の水平および上下方向の荷重がかなり大きく作用したものと考えられる。

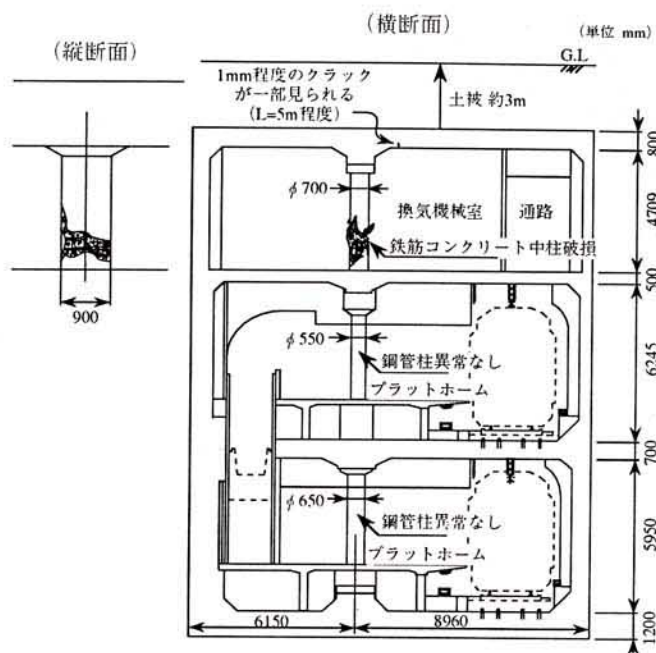


図-7 神戸市営地下鉄三宮駅舎の被災状況の一例



写真-8 神戸市営地下鉄三宮駅舎の中柱の補修状況

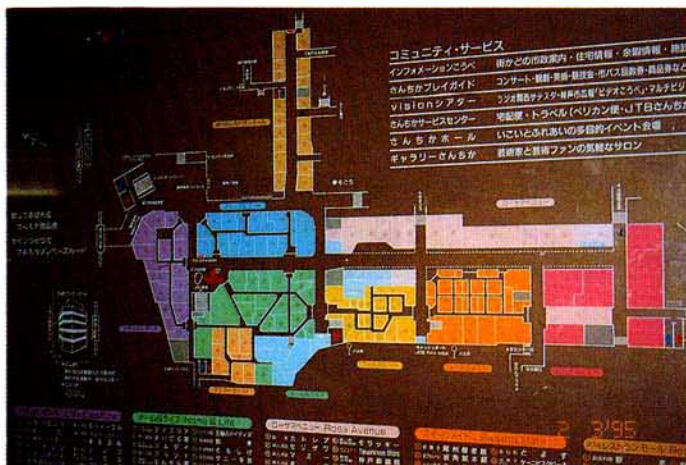


写真-9 さんちか街の平面図



写真-10 さんちか街の状況

2-5 三宮駅前さんちか街の被災状況

(1) さんちか街の概要

さんちか街は、30年前の昭和40年に東京駅八重洲地下街と時を同じくして、最も古い地下街として旧河川上に建設された。写真-9に示すように、地下街は地下1階に位置し、シティエレガンス、ホーム&ライフ、ローザアベニュー、スイーツメイト、グルメスクエアーと名付けられたセクションに分割されており、中央左部分の地下2階部に阪神電車三宮駅舎がある。

(2) 被災状況および考察

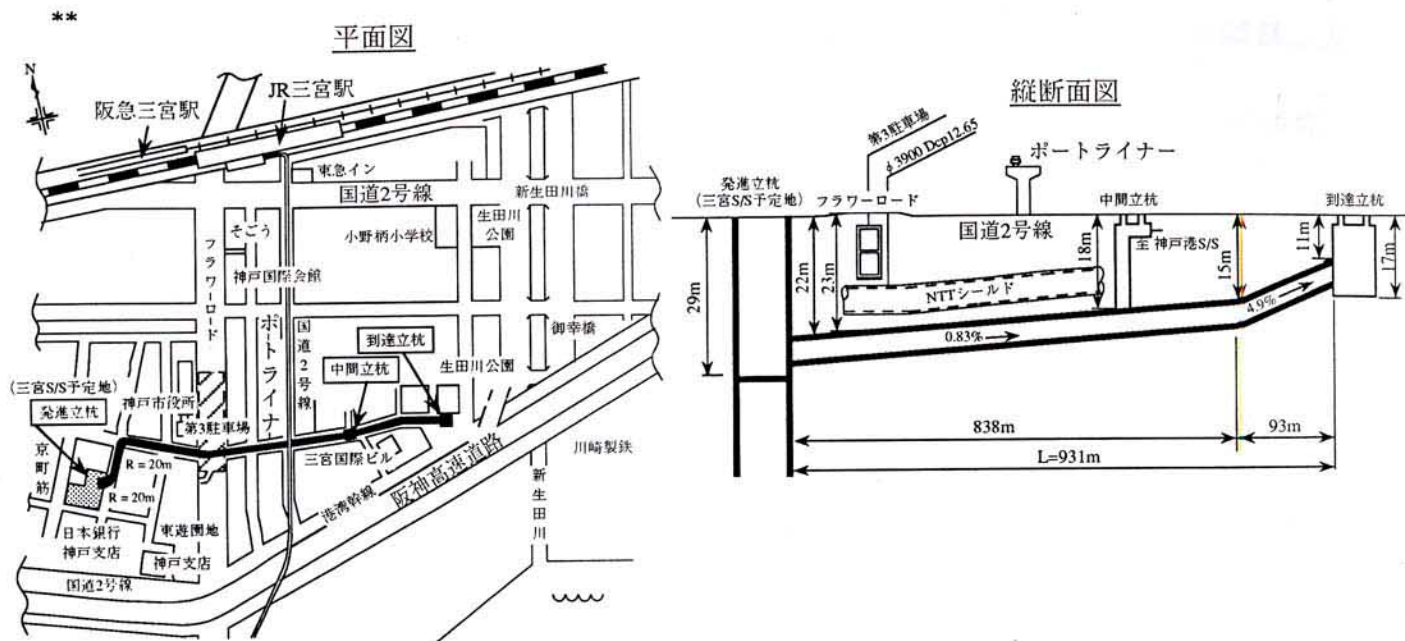
本地下街の被害は、ガラスが2枚程度破損しただけで写真-10に示すように無傷であった。もともと水平震度0.1で設計されていたことや、柱はすべて鋼管柱（直径約60 cm）でコンクリートが中詰されていたことが主な理由と考えられる。さらに、写真-9の中央部から左側は新たに増設されたもので、写真上下方向に中壁が存在し、この中壁が耐震壁の機能を果たしたと推測される。阪急三宮駅南側のフラワー通り地下1階に本地下街は位置しており、地上部の被災状況と比較して、階段を20段程度降りたさんちか街が無傷であったのを目の当たりにして、改めて地下構造物の強さを認識した。

本地下街は構造上は問題のないものの、水の供給がなくスプリンクラー設備が機能しないとの理由で、2月3日現在オープンされていなかった。

2-6 関西電力磯辺通シールドトンネルの被災状況

(1) シールドトンネルの概要

関西電力では、神戸市中心部（三宮、兵庫地区）の電力需要増加対策として中央区江戸川町に三宮変電所（全地下変電所）を新設し、同変電所へ27.5万ボルトの地中送電線を導入する工事を計画した。これに先立ち三宮変電所予定地から中央区磯上通り二丁目まで地中電線路を敷設するため、トンネルを泥水土圧式シールド工法で建設中であった。トンネルの建設は平成4年5月より始まり、地震発生時には既に全線掘削・セグメントの組立は終了し、トンネル部では二次覆工を施工する状態（インバート打設時）で、到達立坑は厚さ1 mのコンクリートを地表面下5 mまで打設した状態であった。なお、トンネルの諸元は掘削径4.95 m、セグメント厚20 cmである。また、到達立坑の土留め工法としてソイル柱列式（φ550 mm、長さ約23 m）工法が採用されており、形状寸法は幅8.0 m×長さ9.3 m×深さ約18.5 mである。地盤は主にN値が50以上の洪積砂礫層で、地下水位は地表面から2～3 mの位置にある。シールドは同時裏込め注入で施工されたが、地盤が堅かったこともあり定量通り注入できた。



図－8 関西電力磯辺通シールドトンネル

(2) 被災状況および考察

調査は図－8に示す到達立坑と到達立坑から約300 mのシールドトンネル部に対して実施された。調査したシールドトンネルの土被りは11 m～15 mであった。立坑に0.2 mmのクラックが約90 cm生じたことと、セグメントリング間のセグメントの角が剥離した部分が若干ある程度で、構造は写真－11に示すように無傷であった。担当者の話では、地震発生後、現場周辺部では建物の倒壊や10 cm程度の地盤沈下と地割れが発生しており、トンネル内に入るまでは何らかの被害があると思ったそうである。地震発生直後の点検項目は、1)ガス、特にメタンガスの検知、2)セグメントのボルトのゆるみとクラックであった。



写真－11 関西電力磯辺通シールドトンネルの状況

図－8に示すように、本トンネル上部にNTTのシールドトンネルがあり、施工中は上方のNTTトンネルの変状を調査するために、NTTトンネルで計測（主に沈下計測）が実施されていた。地震発生時に計測が継続されていたかは調査段階で確認はできなかったが、一断面でもセグメントの応力等が計測されていたとすれば貴重なデータとなりえると考えられる。

以上、全壊または一部破損した構造物があることは直視するものの、総合的には地下構造物が地上構造物に比較して、耐震安定性には優れていることは間違いないと言える。しかしながら、前述の考えに立ち、物理的イメージを有する解析により、破壊また健全な構造物の耐震性を検討することが、現行規準の可否の判定には不可欠である。

3. 結論および今後の検討課題

調査の結果，以下の知見が導かれた。

- 1) 地下構造物は地上構造物より耐震性には優れている。
- 2) 直下型地震に対しては，被災の事実を直視し，調査・解析検討を加え，設計・施工の規範（あるべき姿）を提言することが必要である。

今後の検討課題として，モデルの構築と解析，震災との比較検討，現行規準の可否（設計規範の提言）が挙げられる。

構造物基礎被害

調査メンバー：松井 保（大阪大学工学部教授：土質基礎工学）

小田和広（大阪大学工学部助手：土質基礎工学）

1. 調査の目的

兵庫県南部地震は、高度に発達した近代都市直下において発生した最大規模の都市直下型の大地震である。この地震の特徴は、土木学会阪神大震災第1次および第2次調査団等の報告にもあるように、短時間に集中してこれまでの予想を上回る激しい横揺れと縦揺れが生じたことである。このため、土木構造物に限ってみても、高速道路、鉄道、港湾施設等をはじめとする社会基盤に大きなダメージを与える結果となった。

一般に、構造物は地盤に支えられているが、土木構造物はそのほとんどが重量構造物であるため、上部構造物を支える基礎構造物は重要な役割を担っている。したがって、健全な構造物とは上部構造物のみならず下部構造としての基礎を含むものでなければならない。また、今回のような最大規模の直下型地震では、上部構造と下部構造が一体となった構造物全体としての地震時挙動の解明が重要な視点になると思われる。

今回の地震による構造物被害において、直接視認できる損傷のほとんどは上部構造において発生している。しかし、直接視認できない基礎構造にも、場合によっては損傷があり、上部構造の損傷の原因になっていることは大いに考えられる。本調査は、上記の視点から地盤中の構造物基礎に焦点を当てて、構造物基礎の周辺地盤の被害、すなわち地盤の液状化現象や側方流動現象などとの関連も含めて、構造物基礎の被害実態を把握するとともに、地盤工学的見地から推定される構造物の損傷原因を明らかにすることによって、今後の詳細調査の一助とすることを目的としている。なお、今回の調査では、時間および地域的な制約から、地盤工学的に問題も多く、構造物基礎にとっても厳しい条件下におかれるであろう埋立地の水際線構造物（道路橋）にのみ調査対象を絞った。

2. 調査対象

今回調査を行った橋梁は以下の通りである。

阪神高速道路湾岸線：A. 西宮港大橋、B. 新夙川橋、C. 新芦屋川橋、D. 東神戸大橋、E. 六甲アイランド大橋

人工島の連絡道路：F. 六甲大橋、G. 神戸大橋

ハーバーハイウェイ：H. 摩耶大橋、第二摩耶大橋、I. 灘浜大橋

さらに、上記橋梁に接続している高架橋についても同時に調査を行った。図-1は、今

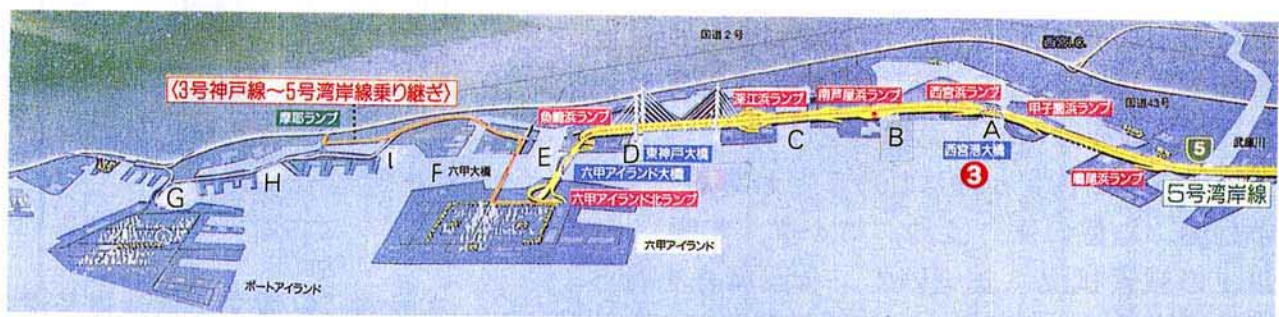


図-1 調査対象の橋梁の架設地点

回調査を行った橋梁の架設地点を示している。いずれの橋梁も埋立地の間に存在する水路を跨いでおり、水際線構造物である。

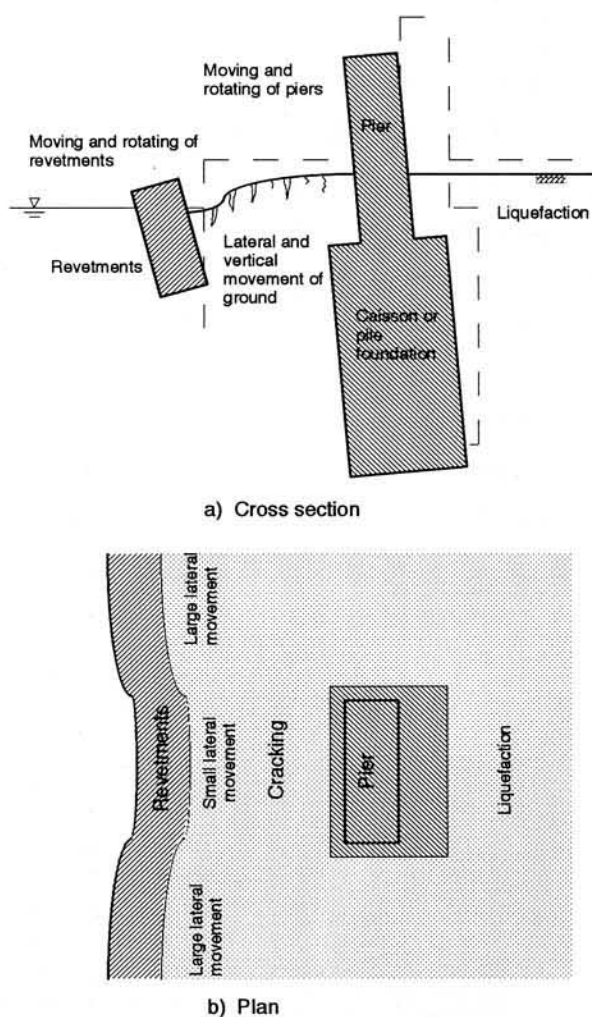
3. 水際線構造物に関する被害状況と損傷原因

表－1は、今回調査を行った各橋梁および被害状況の一覧を示している。同時に、周辺地盤の液状化の状況、護岸から橋脚までの距離および護岸の被害状況も示している。表－1より、橋桁に関する被害は、支承部分に集中していることがわかる。橋桁は、橋軸方向にのみ移動するのではなく、橋軸直角方向にも移動しているものもあった。また、その原因となる橋脚の水平移動、沈下および傾斜が目視でも確認できるものもあった。さらに、被害は水路を跨ぐ高架橋、すなわち水際線構造物に集中しており、それよりさらに陸側に位置する高架橋では入出路部分を除き、大きな被害がほとんど認められなかった。また、橋脚が海中に設置されている場合にもほとんど被害が認められなかった。

図－2は、水際線に位置する構造物基礎の一般的な被害状況を模式図として示している。図－2 a) に示すように、構造物基礎の位置する埋立地では、ほとんどの護岸が海側に移動するとともに沈下している。護岸の崩壊のため、護岸背面の地盤に著しい変状が生じ、時には陥没が生じている。地盤変状は、一般に、護岸から30m~40m程度の範囲で、時には70~80m程度の陸域にまでおよんでおり、ほとんどの場合、護岸に平行に伸びるひび割れの存在が確認された。また、液状化現象によるものと考えられる噴砂の痕跡は、内陸域において大規模な痕跡が確認される場合が多かったが、護岸近傍の地表ではほとんど確認されなかった。しかし、このことは護岸の崩壊が液状化現象によらないことを必ずしも意味しない。この点については、今後、地盤中あるいは海底における確認が必要であろう。

一方、構造物が護岸から20~30mしか離れていない場合、図－2 b) に示すように、構造物付近の護岸は、他の部分の護岸に比べ、水路側への移動量が小さくなっていた。これは、構造物基礎によって地盤が水路側へ移動することが妨げられたためであると考えられる。このことは、基礎構造から見れば、構造物基礎は地盤から側方流動圧を受けたことになり、地震時の構造物基礎の変形にとってより厳しい条件下におかれたことを意味している。このような条件下におかれた杭基礎は、地震時に側方流動を受ける杭、すなわち「地震時受働杭」と呼ばれることがある（土質工学会編：地盤の側方流動、第4章、参照）。

以上の被害状況に基づいて、今回調査を行った構造物基礎に水平移動、沈下、傾斜などの変状



図－2 水際線に位置する構造物基礎の一般的な被害状況

表－１ 調査対象橋梁および被害状況の一覧

調査地点	被害状況	周辺地盤の液状化	護岸から橋脚までの距離	周辺護岸の崩壊
A. 西宮港大橋（甲子園浜）	端部に連結する桁の落下	△	△	△
A. 西宮港大橋（西宮浜）	支承の破損	○	△	△
B. 新夙川橋（西宮浜）	支承の破損，橋脚の傾斜	△	○	△
B. 新夙川橋（芦屋浜）	支承の破損	△	○	△
C. 新芦屋川橋（芦屋浜）	支承の破損，橋脚の傾斜	○	×	△
C. 新芦屋川橋（深江浜）		△	海中	○
D. 東神戸大橋（深江浜）		△	○	○
D. 東神戸大橋（魚崎浜）	支承の破損	○	海中	○
E. 六甲アイランド大橋背後の高架橋（魚崎浜）	支承の破損	△	○	△
E. 六甲アイランド大橋背後の高架橋（六甲アイランド）	支承の破損	△	○	○
F. 六甲大橋背後の六甲ライナー高架橋（六甲アイランド）	桁の落下，橋脚の傾斜	○	○	○
G. 神戸大橋（神戸港）	支承の移動，破損	×	○	○
G. 神戸大橋背後の高架橋（神戸港）	支承の破損 橋脚の破損，沈下，傾斜	○	×	－
G. 神戸大橋（ポートアイランド）		○	○	○
H. 摩耶大橋（小野浜）	支承の破損，桁の傾斜・移動	△	○	○
H. 第二摩耶大橋（小野浜）	橋脚の破損	△	○	○
H. 摩耶大橋（摩耶埠頭）	支承の破損，桁の傾斜・移動	○	○	○
H. 第二摩耶大橋（摩耶埠頭）	橋脚の破損および移動	○	○	○
H. 第二摩耶大橋背後の高架橋（摩耶埠頭）	橋脚の橋軸直角方向への移動	○	○	○
I. 灘浜大橋（摩耶埠頭）	端部における桁の移動，連結の破損	○	海中	○
I. 灘浜大橋（灘浜側）	端部における桁の移動	○	海中	○

※ 1. 周辺地盤の液状化：○→地盤の沈下，ひび割れ，噴砂の痕跡が顕著，△→噴砂の痕跡がある，×→認められない

2. 護岸から橋脚までの距離：○→護岸近傍，△→護岸から30～40mの範囲，×→護岸から40m以上，海中→海中に位置している

3. 周辺護岸の崩壊：○→護岸の移動および背面の陥没が顕著，△→護岸の移動のみ

を起こさせ、ひいては水際線構造物に損傷を与える原因を地盤工学的見地から総合的に推定すれば、以下のように分類できる。

- ① 液状化現象と側方流動現象（護岸の崩壊による）との相乗作用
- ② 側方流動現象のみ
- ③ その他

液状化現象によっては、構造物基礎の水平抵抗力が低下するとともに、周辺地盤の沈下によって鉛直支持力の低下が生じることが考えられる。一方、側方流動現象によっては、大規模な場合には側方流動圧が、比較的小規模な場合には偏土圧が構造物基礎に作用し、いずれも構造物基礎の水平方向変形を増大させることになる。また、その他の原因としては、基礎の形状および下部構造と上部構造との構造物全体としての3次元の挙動などが考えられよう。



写真-1 西宮港大橋の甲子園浜側における桁の落下現場



写真-2 橋脚の前面の護岸の状況

4. 被害の具体例

ここでは、特に変状が顕著であった水際線構造物の被害状況を2, 3の被害例として具体的に示すことにする。

4. 1 西宮港大橋

写真-1は西宮港大橋の甲子園浜側における桁の落下現場を示している。西宮港大橋に連続する本線の桁が、西宮大橋との接続部分において落下している。写真-2および3は橋脚の前面の護岸の状況および周辺護岸の変状をそれぞれ示している。橋脚前面の護岸の位置と比較して周辺の護岸が水路側により大きく移動している。すなわち、護岸は橋軸の直下を中心として全体的に凹型に変状し（写真-3, 図-2参照）、そのへこみ量は70~80cm程度である。

図-3は西宮港大橋の橋脚の位置している周辺の



写真-3 周辺護岸の変状

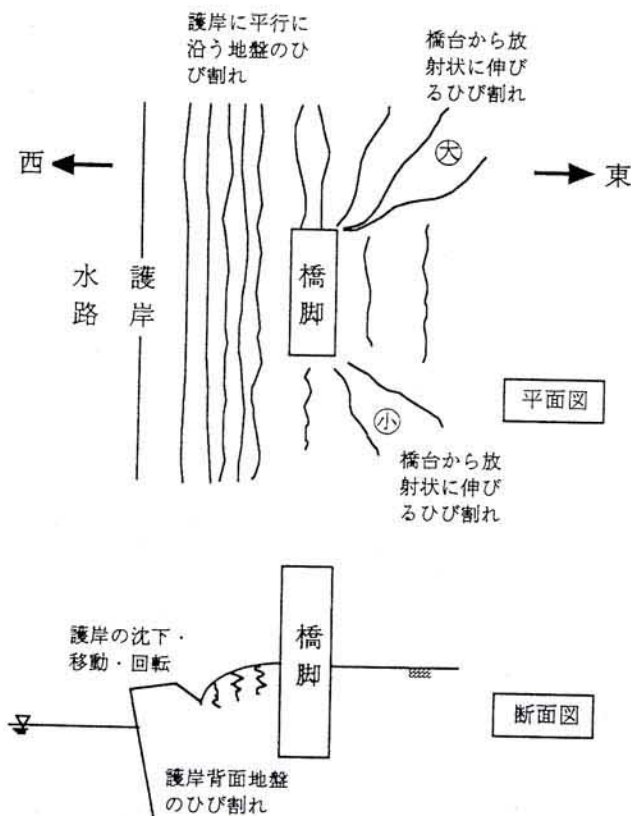
地盤状況を示している。橋脚は護岸から約 23m 離れた地点に位置している。橋脚と護岸との間には、護岸に平行に無数のひび割れが生じており、ひび割れ幅が 50cm 程度に達しているものもある。また、陸側の地盤では、橋脚から放射状に伸びる無数のひび割れが存在し、最も広い部分の幅が約 1m、長さが 50m 以上に達するものもあった（写真－4）。ただし、地表面での液状化の痕跡は大規模なものではなかった。図－3 に示すような橋脚から放射状に伸びるひび割れは、橋脚が内陸方向（東、大阪方向）に移動する場合、もしくは、地盤が水路側（西、神戸側）に移動する場合に生じる。桁が落下したことを考え合せると後者の可能性が高いと考えられる。

4. 2 新夙川橋（西宮浜）

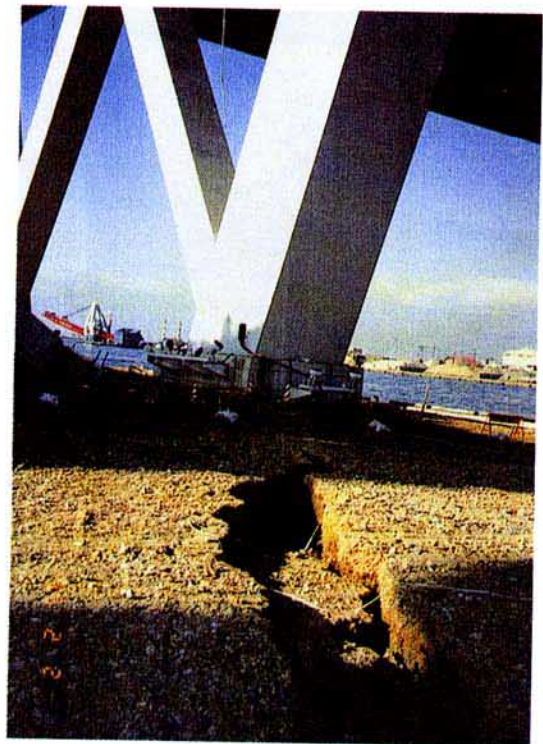
写真－5 は新夙川橋の西宮浜側の橋脚を示している。写真の左側に水路が位置している。橋脚は水路に向かって傾いているのが分かる。写真－6 は橋梁端とそれに連続する桁との連結部分を示している。連続する桁は橋脚の上にかろうじて載っており、落橋を免れている。また、支障は破損し、桁間に段差がついている。写真－7 は、護岸と橋脚の間の地盤の状況を示している。橋脚前面の地盤が水路方向に滑動し、陥没している。この周辺地盤には顕著な噴砂は認められなかった。したがって、橋脚の傾斜は、護岸の崩壊に伴う橋脚前面地盤の滑動により、基礎の水路方向への移動に対する抵抗力が減少したことと共に、地盤全体の水路側への移動による側方流動圧によると考えられる。

4. 3 神戸大橋およびそのアプローチ高架橋（神戸港・第四突堤）

写真－8 は神戸大橋の神戸側の支承を示している。橋台が 60cm 程度水路側に移動している。本橋の橋台部分を除き、突堤突端の護岸は水路側に 1.5~2.0m 移動するとともに



図－3 西宮港大橋の橋脚周辺の地盤状況



写真－4 橋脚から放射状に伸びるひび割れ

1～1.5m程度沈下し（写真－9），橋台背面は広範囲にわた1～2m程度陥没している（写真－10）。したがって，突堤突端部の崩壊にともなう側方流動圧により，橋台が移動したのと考えられるが，シューの移動量にはポートアイランド側橋台の移動によるものも含まれていると思われる。ただし，橋台周辺において噴砂の痕跡は認められなかった。

写真－11は，神戸大橋へのアプローチ高架橋の橋脚を示している。桁を支持する梁を支えている橋脚のうち，右側の橋脚が沈下するとともに，傾斜している。また，橋脚の根元付近に液状化による噴砂の痕跡が認められた。このアプローチ高架橋はほとんどの橋脚が沈下しており，地盤の液状化により基礎の鉛直支持力が減少したためと思われるが，橋脚沈下のメカニズムは今後の課題であろう。

4. 4 第二摩耶大橋およびそれに連結する高架橋

摩耶埠頭西側突堤には中央部分に摩耶大橋とそのアプローチが位置し，それよりも北側（陸側）には緑地帯が，南側（海側）には，第二摩耶大橋とそのアプローチ高架橋が位置している。写真－12は突堤の南側の根元から突端を望んでいる。突堤の護岸が海側に移動しており，崩壊しているものもある（写真－13）。そのため，第二摩耶大橋に連結するアプローチ高架橋の基礎（フーチング）がむき出しとなり，杭頭付近まで地盤がえぐれているものもあった（写真－14）。

突堤の先端に位置している第二摩耶大橋を支えるRC製の橋脚は大きな損傷を受けている（写真－13）。また，第二摩耶大橋に連続する突堤上のアプローチ高架橋は，橋脚の位置と比較して陸側（北）に移動して



写真－6 橋梁端とそれに連続する桁との連結部分



写真－5 新夙川橋の西宮浜側の橋脚



写真－7 護岸と橋脚の間の地盤状況

いた。これは、地震動によって桁自身が陸側に移動したか、もしくは突堤南側護岸の崩壊により基礎に側方流動圧が作用し、基礎が海側（南）に移動したことが考えられる。

5. まとめと課題

本調査では、埋立地に位置している水際線構造物基礎を対象とし、その被害について構造物基礎の周辺地盤との関連も含め調査・検討を行った。その結果、いくつかの橋脚では、目視による観察だけでも水平方向移動、沈下および傾斜が生じていることが明らかに認められた。これらの構造物基礎は、何らかの被害を受けていることが想定される。このような被害を生じさせた原因を地盤工学的見地から総合的に推定した結果、地盤の液状化現象と側方流動現象が大きな役割を果たしているとは結論できる。

最後に、今回の調査に基づいて考えられる2、3の技術的課題について要約する。



写真-9 突堤突端の護岸の変状



写真-8 神戸大橋の神戸側の支承



写真-10 神戸大橋（神戸側）橋台背面地盤の変状



写真-11 神戸大橋に連続する高架橋の橋脚



写真-12 突堤の南側護岸の崩壊



写真-13 突堤の護岸の崩壊



写真-14 第二摩耶大橋に連続する高架橋の基礎

- 1) 被害が想定される構造物基礎はもちろん、目視による観察では被害が認められなかった構造物においても、その基礎の健全性の検討の必要性が指摘される。被害調査の結果だけでなく、写真-14 第二摩耶大橋に連続する高架橋の基礎種々の地盤条件や基礎の形式なども含めて総合的に検討することにより、今後の補修対策法や耐震設計法を確立する必要がある。
- 2) 水際線構造物を計画・設計する際には、構造物と護岸との位置関係に配慮する必要がある。例えば、護岸から陸側に十分距離をとった位置あるいは海中に構造物を設置することである。一方、もし構造物が護岸に近接して陸側に設置しなければならない場合には、構造物基礎と護岸との系統的な設計が必要となる。
- 3) 構造物基礎と護岸との系統的な設計に関して、杭基礎では「地震時受働杭」として、定常的に側方流動圧を受ける受働杭の設計法が応用できよう。一方、ケーソン基礎では、これまでの設計法には側方流動圧が考慮されておらず、今後の課題である。
- 4) フェイルセーフおよび緊急時のライフラインの確保の観点から、桁落下は最低限避けなければならない。この点をより確実にするためには、上部構造と下部構造（基礎）との構造物全体の耐震性の整合性ある検討が重要なポイントになるだろう。

地 盤 災 害

調査メンバー： 松尾 稔（名古屋大学教授，地盤工学）
 落合 英俊（九州大学教授，地盤工学）
 森川 高行（名古屋大学助教授，交通計画学・土木計画学）
 梅村 順（日本大学工学部，地盤工学）

1.はじめに 平成7年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震では，各種土木構造物や都市施設の被害が大きかったが，地盤に関わる被害も甚大であった。本文は，第三次調査団地盤災害担当班として2月1日～3日に調査した埋立地・人工島，宅地造成地・急傾斜地，鉄道盛土・切土，および河川・貯水池堤防の被害の概要について報告する。

2.調査概要 今回調査を行ったのは，神戸市内5箇所，芦屋市内2箇所，西宮市内2箇所，および大阪市内3箇所である。図-1にこ

表-1 調査地一覧

分 類	記号	調 査 地 点
埋 立 地 ・ 人 工 島	I-1	神戸市ポートアイランド
	I-2	大阪北港ヨットハーバー
	I-3	大阪市港区天保山
宅地造成地・急傾斜地	H-1	神戸市東灘区岡本六丁目
	H-2	神戸市東灘区西岡本七丁目
	H-3	西宮市仁川百合野町
鉄 道 盛 土 ・ 切 土	R-1	神戸市東灘区岡本町三丁目JR神戸線（東海道本線） （摂津本山駅から住吉駅方向300m付近）
	R-2	神戸市東灘区御影塚町阪神本線石屋川駅西側
	R-3	芦屋市岩園町阪急神戸線 （夙川駅から芦屋川方向1km付近）
	RL-1	芦屋市葉平町JR神戸線（東海道本線）芦屋川トンネル
河 川 ・ 貯 水 池 堤 防	L-1	大阪市此花区・西淀川区新淀川河川堤防
	RL-1	芦屋市葉平町JR神戸線（東海道本線）芦屋川トンネル
	L-2	西宮市満地谷町ニテコ池堤防

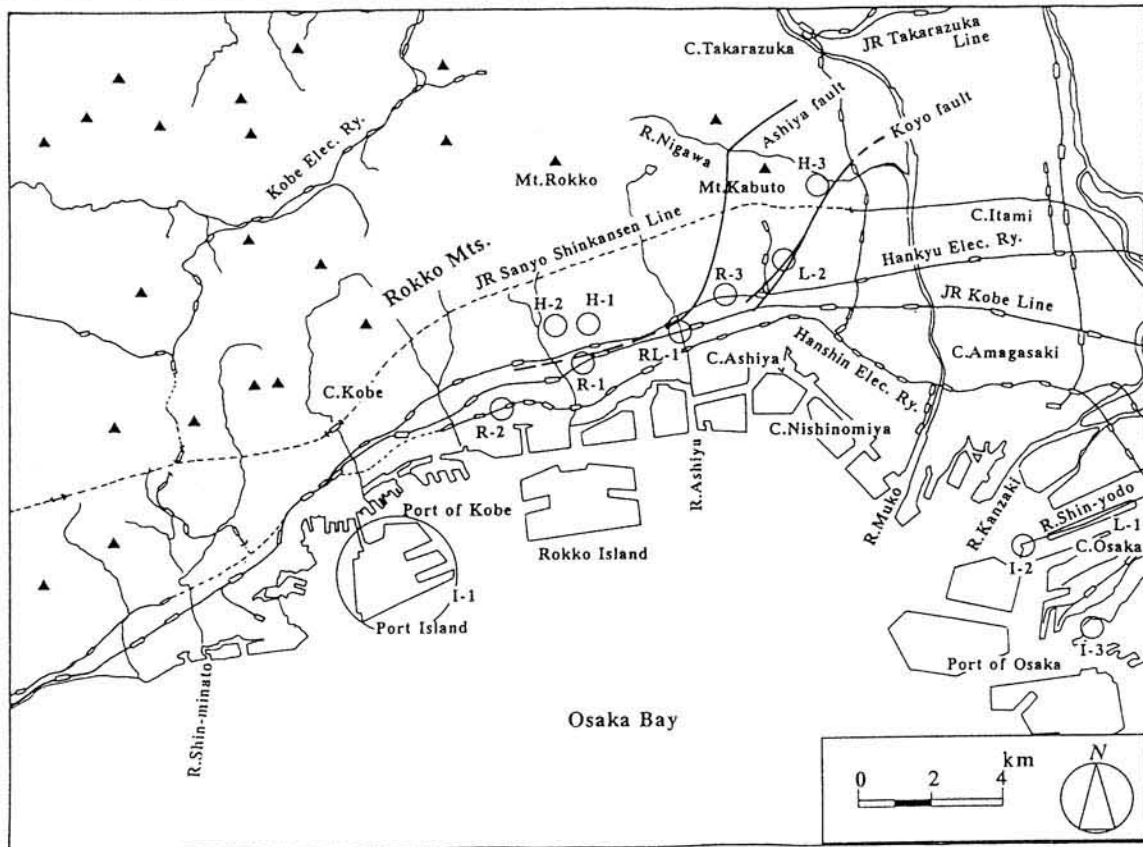


図-1 調査地案内図



写真-1 ポートアイランドでの噴砂痕

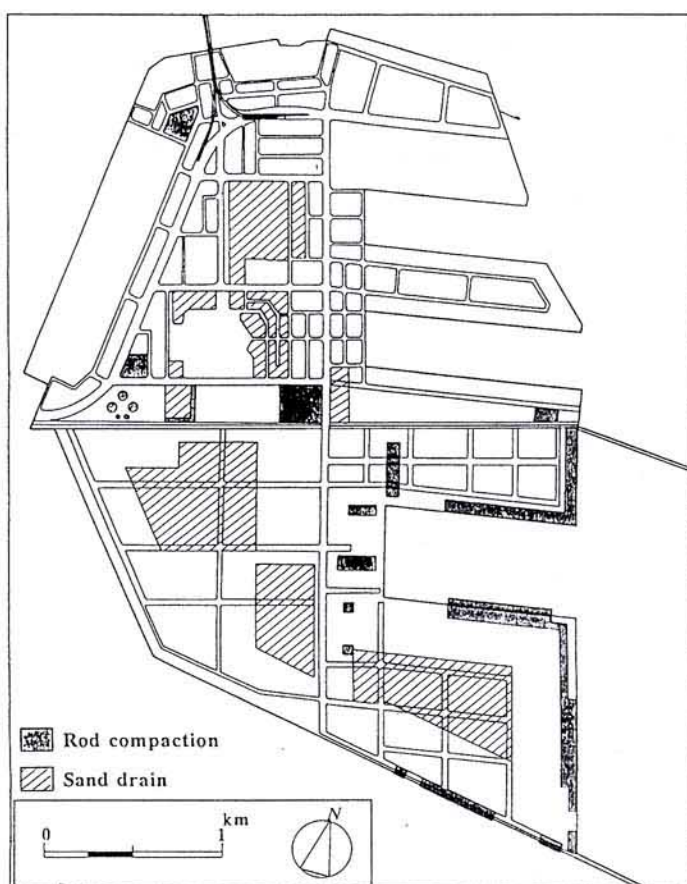


図-2 ポートアイランド案内図

範囲に発生し、かつ、重力式岸壁が移動・沈下して大きな被害を生じており、これらを確認した。

図-2は、ポートアイランドの地盤改良工施工区域の案内図で、北側の一期工事部については全ての施工区域を、南側の二期工事部については把握できた一部の施工区域を示した。調査は主として北側の一期工事部で行ったが、液状化現象は、倉庫・コンテナバース地区で顕著に認められた。液状化が顕著であった地区では、地表部の殆どがアスファルトやコンクリートで覆われているため、噴砂痕は、道路植栽帯や重力式岸壁が移動して生じた隙間等到大規模に認めら



写真-2 基礎の浮き上がり

これらの箇所の案内図、表-1にこれらを分類して示した。

3. 埋立地・人工島の被害 埋立地・人工島では、地震時に地盤の液状化の被害が予想されることから、各種液状化対策工が施工されていた。今回の調査では、対策工の種類による液状化被害の差異を調べることに主眼を置いた。

3.1 ポートアイランド ポートアイランドでは報道や第一次および第二次調査団で報告されているように、液状化現象が広

れた。特に重力式岸壁の背後では移動して生じた隙間から、裏込めに用いられていたと考えられる最大径50cm程の礫が多量に噴出しており、液状化時の間隙水圧の凄じさを示している（写真-1）。また、島全体が液状化に伴って沈下したために、支持杭を用いている島内の建造物は浮き上がってしまったように見える状況であった（写真-2）。



写真-3 天保山の地すべり

ポートアイランドの住民の話では、噴砂は約1時間続いたとのことである。

図-2のように、島内では中央部の住宅地を中心に、ロッドコンパクション工やサンドドレーン工等の液状化対策工や圧密促進工が施されている。これらの地区では地震動で生じた路面のひび割れや若干の沈下が認められるものの、供用に殆ど差し支えない状態で、被害は外周の港湾施設地区に較べて軽微であった。このように、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。また、本来、液状化対策工ではないサンドドレーン工が施された地区でも効果が認められた点は注目に値する。

なお、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共に沈下・傾斜しており、耐震性の検討が必要である。

3.2 大阪北港ヨットハーバー この地点は新淀川の河口にあり、1~3km上流側では河川堤防の液状化による被災が認められたが、この地点は無被害であった。この地点の地盤は、サンドコンパクションパイル工で地盤が改良されており、この対策が効果を発揮したことが示唆される。

3.3 大阪市港区天保山 天保山は比高10m程の人工的に築かれた小山で、周囲一帯は公園となっている。この小山の南側斜面に地すべりが見られ、高さ約1.2mの滑落崖が生じていた（写真-3）。すべり土塊の中央部および周囲の公園には噴砂痕、沈下が認められ、このすべりが液状化に伴って生じたことはほぼ確かである。この公園の周辺の道路、家屋等には何等変状が認められず、公園だけに液状化が生じた原因を、今後調査する必要がある。

4. 宅地造成地・急傾斜地の被害 神戸市は平野部が狭く、背後の六甲山山腹まで住宅地が広がっている。従来震災では、このような山腹部の宅地造成地に多くの被害が見られたが、今回の地震では従来のものに較べて少なかった。

4.1 神戸市東灘区岡本六丁目 取付け道路の崩壊、コンクリート吹付け工の崩壊が見られた。

取付け道路の崩壊は、道路を作るために盛られた土が、その背後の切土との境界面から剥がれて崩落した（写真-4）。このような被災ケースは、従来の震



写真-4 岡本六丁目盛土崩壊

災で多く認められており、切土と盛土を一体化する対策が必要である。また、コンクリート吹付け工を施した斜面ではコンクリートがめっちゃめっちゃに割れたり（写真-5）、崩壊した。コン



写真-5 コンクリート吹付け工の破壊状況



写真-6 西岡本七丁目の斜面崩壊状況

クリート吹付け工はまさ土斜面の侵食防止対策工として設けられたと考えられるが、地震時には効果がないことを示している。

4.2 神戸市東灘区西岡本七丁目 急傾斜地に作られた道路が幅約10m、長さ約100mにわたり崩壊（写真-6）し、路面に無数のクラックが認められた。崩壊した部分は岡本六丁目の場合と同様、道路を取付けるために盛られた部分を主とし、一部地山部も含まれていた。本崩壊地は勾配が大きく、また、写真-6の右下のように崩壊地以外にもすべり面が生じており、原形復旧は困難と考えられるが、梅雨を迎える前に、崩壊防止対策が必要である。

4.3 西宮市仁川百合野町 今回の地震で30数名もの死者を出し、人的被害の大きかった場所である（写真-7）。崩壊した斜面は仁川の右岸部で、残斜面から、崩壊前の斜面の勾配は15~20度程度の緩斜面であったと推定される。斜面上部には阪神水道企業団の浄水場があり、また、斜面先部には、仁川の谷線に沿って延びている住宅地の先端となっていた。

地形図（図-3）によれば、崩壊した斜面を横断するように石積みで作られたクリークがある。また、1932年測量の地形図で上ヶ原浄水場付近は沢沼地であったことから、この斜面周辺では地下水位が比較的高かったと推察される。また、崩壊地の地質は、六甲花崗岩の上位に非海成粘土、砂、礫層からなる大阪

層群が堆積している。一方、崩壊地は今回の地震で動いたといわれている甲陽断層の北西数100mの場所に位置（図-1）しており、しかも、斜面の崩壊方向は、断層の変位方向とされている北東方向とほぼ一致しているため、土塊の滑動方向への加速度が特に大きかったのではないかと推察される。

以上のような崩壊の素因と誘因が絡み合って今回の崩壊が生じたのではないかと考えられるが、さらに詳細な調査が必要である。なお、崩壊土砂が仁川河道に堆積しており、梅雨や台風時には危険であるので、早急な撤去が必要である。

5. 鉄道盛土・切土の被害 鉄道は高架部が多く、盛土そのものが少なかったため、その被害箇所は少なかった。

5.1 JR神戸線（東海道本線）

摂津本山駅付近 高さ約5mの盛土で、石積みの盛土壁が崩壊しているものの、線路は異常なく、被害は軽微であった（写真-8）。中込土はまさ土で、緻密に締め固められていた。盛土の崩壊は盛土体内に留まっており、地表に変状は認められなかった。

5.2 阪神本線石屋川駅西側

盛土壁がコンクリート製垂直壁であったが、この壁が転倒するような破壊モードで上部が両側に開き、盛土内にすべり破壊が生じ、土砂と共に線路が崩落した（写真-9）。このような変



写真-7 仁川の地すべり崩壊全景



図-3 仁川の崩壊地付近の地形（国土地理院1万分の1地形図から抜粋）



写真-8 摂津本山駅付近の盛土崩壊状況



写真-9 石屋川駅の盛土崩壊

状は、両側のコンクリート垂直壁の上部を連結させておけば防止できたと思われる。タイロッド工やアンカーによる連結工等を利用して、供用しながらの施工法の開発が望まれる。



写真-10 岩園町の地すべり状況

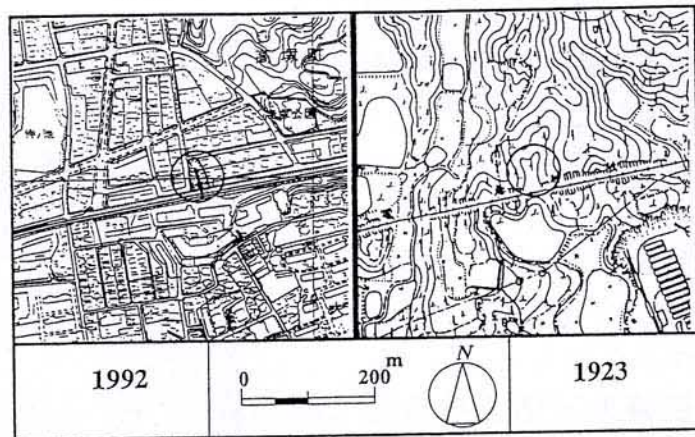


図-4 岩園町の地すべり地と旧地形の関係
(国土地理院1万分の1地形図から抜粋)

5.3 芦屋市岩園町阪急神戸線 住宅地となっている緩傾斜地で切土方向への滑動が生じ、すべり土塊上にある住宅・マンションが傾斜している。切土壁面にははらみが認められ、線路が土塊のすべりによって曲がり、すべり面先端の位置に地盤の膨れが2箇所認められた(写真-10)。1923年の地形図(図-4)によれば、この場所は以前、谷であったことから、この滑動は、住宅地として開発される前の旧地形の影響が大きな原因と考えられる。

5.4 JR神戸線(東海道本線)芦屋川トンネル 芦屋川(天井川)の下を抜けるためのトンネルの入り口付近の切土斜面は、高さ10m、傾斜約60度であるが、今回の地震では被害がなかった。この場所は扇状地堆積物からなると推定され、この堆積物は砂礫が混合した強度の大きい土であるために、地震動に耐えたと考えられる。

6.河川・貯水池堤防の被害

6.1 新淀川河川堤防 左岸堤防が約1.8km、右岸堤防が約200mにわたって潰壊した(写真-11)。堤防周辺には多くの噴砂痕が認められ、堤防基礎地盤が液状化したために、堤体がすべり破壊したと推定される。左岸部では堤防下に12m以上のN値2~3の砂層、右岸部では3m以上のN値が4程度の細粒均質な砂層があり、これらの層で液状化が生じたことはほぼ間違いないと考えられる。堤

防のすべりは、多くの場所で堤外地側に起こっているが、左岸堤防の河川敷がある部分や右岸部の堤外地側が消波ブロックで覆われているところ等では堤内地側にすべっており、堤防沿いにある家屋に傾斜、ひび割れ等の被害が認められた。都市部では堤防際まで住宅地となっており、このような堤内地側への堤防のすべりは大きな被害を生じることが予想されるので、堤防基礎地盤の液状化対策を含めた地盤改良対策が必要である。

6.2 JR神戸線（東海道本線）

芦屋川トンネル 天井川となっている芦屋川の下をJR神戸線が通過する地点では、芦屋川の護岸と芦屋川の跨線橋との接合部に被害を生じた。調査時には接合部分は撤去されていたため、その詳細はわからないが、芦屋川の護岸が煉瓦積み、跨線橋がコンクリート製であったために、それぞれの振動モードが異なり、接合部が破壊したと考えられる。

6.3 西宮市満地谷町ニテコ池

堤防 ニテコ池は2つの中仕切り堤防で分けられた3つの池からなり、今回の地震で、北側から東側にかけての護岸が大規模に崩壊し、中仕切りの堤防が2基とも決壊した（写真-12）。護岸および堤防はまさ土で作られており、いずれも脚部からすくわれたように崩壊し、それぞれの脚部には、まさ土が液状化したような痕跡が残っていた。

地震動に伴って水位以下の部分が液状化し、そのために崩壊したと推定される。さらに、1923年の地形図（図-5）によれば、以前、北から東側にかけて



写真-11 淀川堤防の被災状況



写真-12 ニテコ池堤防の被災状況

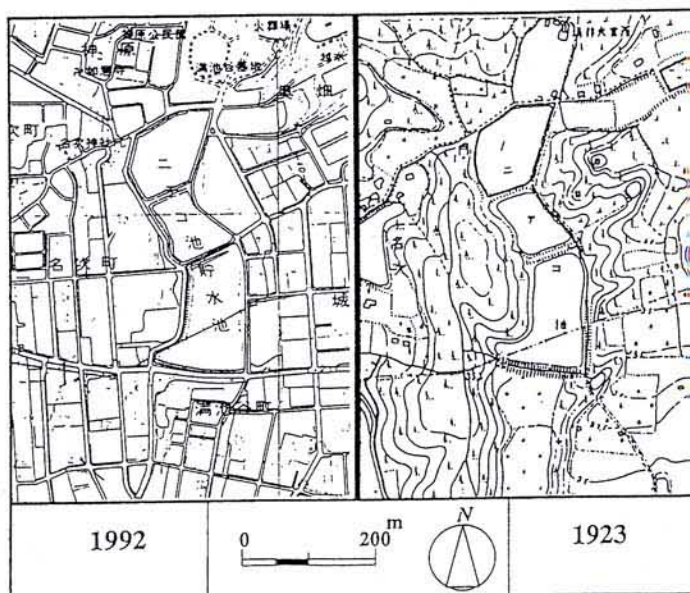


図-5 ニテコ池付近の旧地形
（国土地理院1万分の1地形図から抜粋）

池に向かって開いた谷地形が多くあったことがわかる。北から東側の護岸が全面的に崩壊した原因はこの旧地形に起因していると考えられる。

7.まとめ

1)埋立地・人工島

液状化対策工を施した地区とそうでない地区の、液状化被害の差が顕著に現れ、液状化対策工の効果が明らかであった。

2)宅地造成地・急傾斜地

宅地造成地では、切土、盛土境界部での崩壊が多かった。これらの一体化対策の確立が望まれる。また、これら宅地造成地は急傾斜地にあり、原形復旧は困難であるが、雨季には極めて危険な状態になることが予想されるため、早急な対策が必要である。

仁川百合野町の斜面崩壊は、詳細な崩壊メカニズムの解明とともに、断層運動との関係について検討する必要がある。また、仁川河道に堆積している崩壊土砂は、二次災害の恐れがあるので早急な撤去が望まれる。

3)鉄道盛土・切土

都市部では用地の問題から垂直盛土壁とならざるを得ないが、壁の上部が両側に開く形態での崩壊が多く見られた。これら垂直壁の両側上部をタイロッド工やアンカーによる連結工等を利用した、供用しながらの施工技術の開発が望まれる。

緩傾斜地の切土部の崩壊は、旧地形がその一因となっていたと推測される。

4)河川・貯水池堤防

河川・貯水池堤防の被災地では、液状化現象が大きな原因の一つであった。堤防基礎地盤の、液状化対策を含んだ地盤改良が必要である。

なお、仁川百合野町からJR芦屋川トンネルに至る北東－南西方向の一連の地盤災害は、右横ずれ変位をしたといわれている甲陽断層沿いに生じており、この断層の動きによって旧地形の弱点箇所が崩壊したものと推測される。

神戸地方は扇状地が多く、古くは水不足のため、多くのため池が存在した。しかし、都市化に伴って、これらため池の大部分が埋め立てられた。このような埋め立て地盤が多く分布すること、今回の震災を拡大した一因になったと考えられる。このような地域における土木・建築構造物は、地盤を含めた一つのシステムとして構造物を設計することが大切である。また、地盤災害は、地盤に関わる現象が人命、財産、あるいは社会活動を脅かし、損失を与えたときに生じることから、その防止、軽減のためには人文社会科学的施策との相互理解が不可欠である。

河 川 被 害

調査員：福岡捷二(広島大学工学部)、神田徹(神戸大学工学部)
道奥康治(神戸大学工学部)、日比野忠史(広島大学工学部)

1. 被災の概要

兵庫県南部地震において河川堤防に大きな被災を受けたのは大阪湾から10km以内にある兵庫県と大阪府の沖積地内を流れる河川である。沖積層は、2万年程前から現在までにできた新しい地層であり、いわゆる軟弱地盤を形成している。今回の地震では、こうした軟弱地盤上に築造された堤防に大きな被害が集中している。

図1は大きな被災を受けた主要な堤防区間を示している。調査を行った地区は13箇所であり、淀川、正蓮寺川、猪名川、藻川、神崎川、佐門殿川、中島川である。それらの地区の被害の形態は地震動の強さ、地盤の状態及び堤防の構造によって異なっていた。特に淀川本川河口域の高潮堤は、軟弱地盤上に造られており、甚大な被害となっている。震源地に近い武庫川や住吉川(神戸市内河川)では、堤防天端の亀裂、沈下、すべり、高水敷の地割れ等の被害が起こったが、堤体の崩壊には至っていない。調査の時点(1995年2月1日～3日)では、大きな被災箇所は出水期の洪水に備えて緊急に復旧がなされていた。

2. 調査河川堤防の被害状況

(1) 淀川本川

淀川本川直轄区間で災害復旧を要する被災箇所は18ヶ所で、中でも規模の大きい被災箇所は図1の①②③に示す次の高潮堤防区間である。

- ①西島地区(左岸河口0.2km～2.0kmの区間)
- ②西島地区(右岸河口1.1km～1.9kmの区間)
- ③高見地区 (左岸河口2.5km～2.7kmの区間)

1) 淀川左岸西島地区(図1の①)

この地区は今回の地震で最も堤防被害の大きかった区域である。液状化と堤体内土砂の側方流動(写真1(d))によって大規模な堤体の崩壊、沈下、破損および護岸のはらみ出し等が見られ、パラペットの最大沈下量は3mにも達していた(図2と写真1(a),(c))。ここでの砂層の厚さは約10mである。

2) 淀川右岸西島地区(図1の②)

堤防天端には大きな亀裂が縦断方向に走り、川裏側への堤防のはらみ出し及びのり尻崩壊(図3と写真2(a))等が見られた。西島水門の取り付け部で特殊堤(高潮堤防)の天端から裏のり面にかけて被災があったが、水門には変状は認められなかった。この地区

では、軟弱地盤の地盤改良が西島水門の沈下対策として実施されていたこともあって、左岸の西島地区に比べると被災規模は小さい。

3) 淀川右岸高見地区(図1の③)

この地区ではパラペット部と堤防天端間のズレ、天端亀裂、護岸及び裏のり裾部破損、堤防裏のり面の堤内地側へのはらみだし、堤内地道路の盛り上がりが見られる。

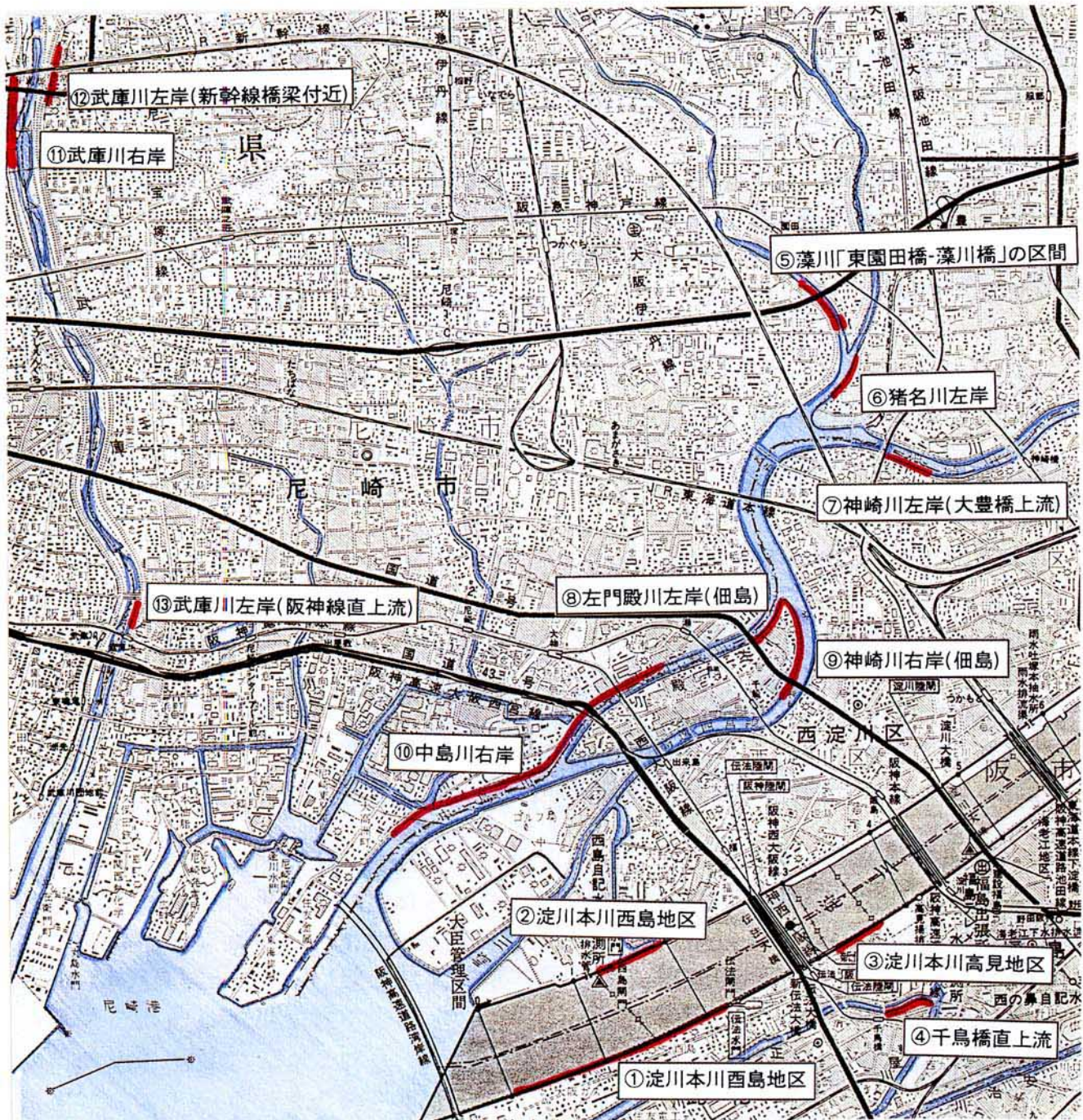


図1 今回の地震で大きな被災を受けた主要な堤防区間
(太実線は被災区間を示している。)

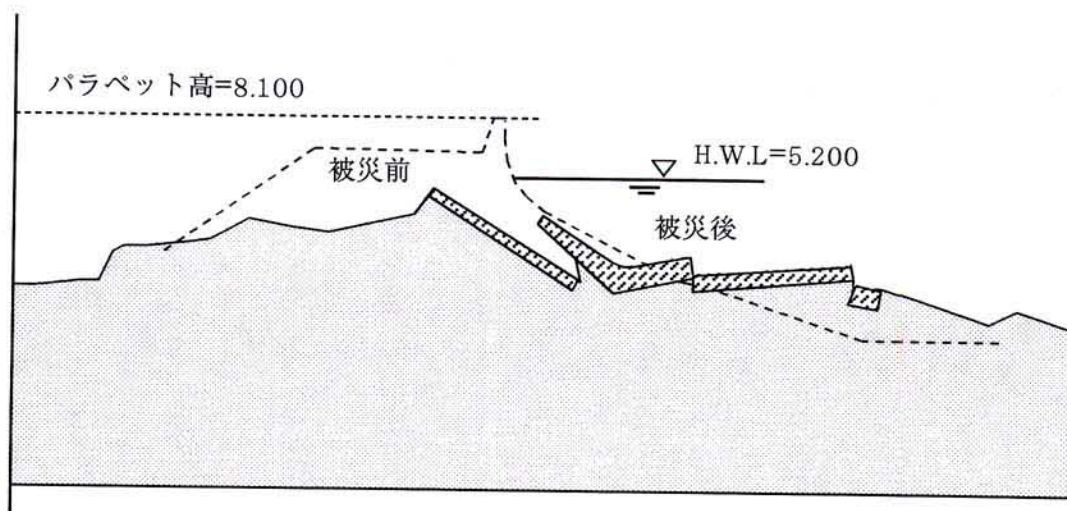


図2 淀川西島地区での堤防の破壊形状(建設省近畿地建淀川工事事務所資料)



(a) 特殊堤の崩壊



(b) 緊急復旧

(青シートの高さは被災前の堤防天端高さ(O.P.6.5m)まで緊急復旧したものである。)



(c) 特殊堤の崩壊



(d) 堤体内からの土砂の流出

(堤体内の土質が地震動により側方流動し、パラペット及び天端が陥没した。写真(d)ではのり先が水平方向に最大で20m程度移動しており、液状化も同時に起こっている。)

写真1 淀川西島地区(左岸1.3km)

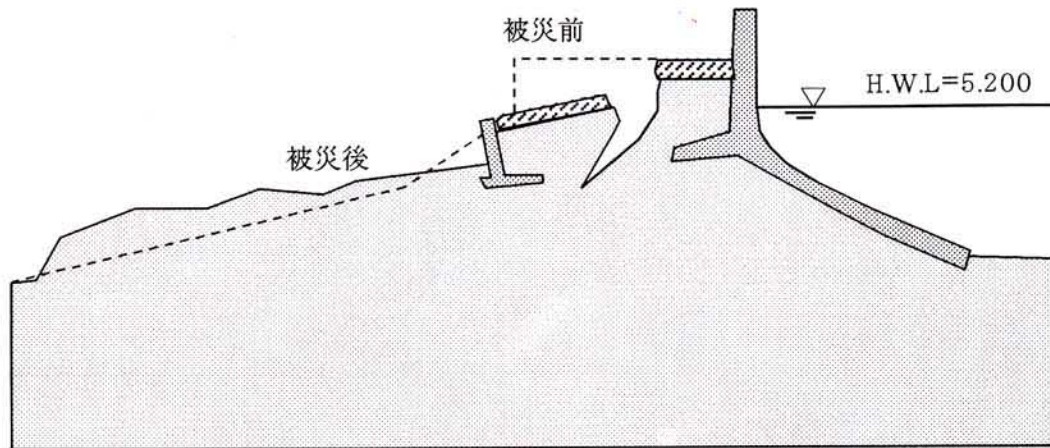


図3 淀川西島地区での堤防の破壊形状(建設省近畿地建淀川工事事務所資料)



(a) 裏のりの崩壊(滑り)



(b) 緊急復旧後の堤防天端の状況

写真2 淀川西島地区(右岸1.8km)

(2) 正蓮寺川、猪名川、藻川、神崎川、佐門殿川、中島川

主な被災箇所は図1の④～⑩に示す次の7高潮堤防区間である。

- ④正蓮寺川左岸(千鳥橋直上流)
- ⑤藻川(藻川—猪名川合流点0.4-0.6km地点、「東園田橋—藻川橋」の区間)
- ⑥猪名川左岸(高潮特殊堤)
- ⑦神崎川左岸(左岸10km付近(加島))
- ⑧左門殿川左岸(佃島の左門殿—神崎川分派点)
- ⑨神崎川右岸(佃島の左門殿—神崎川分派点より下流に向かう地点)
- ⑩中島川右岸(2km～6km)

1) 正蓮寺川左岸(図1の④)

L型パラペットの堤内地側の天端に縦亀裂が生じた。現在、被災天端箇所をハツリ、土砂を入れ緊急復旧中である。L字型パラペットの顕著な沈下が見られない。パラペットの基礎は松杭で支持されている。天端裏のり面は昭和36年の第2室戸台風の復旧で造られたブロック張りのり面が残っている(写真3)。

2) 藻川(図1の⑤)

猪名川の派川である藻川では、天端の縦横断亀裂、川表と川裏のり面のクラック、低水護岸の破損、高水敷での噴砂等がみられる。藻川橋左岸では堤防の法線形がゆがんでいる。堤防被災場所にある樋管には変状は認められなかった。

3) 猪名川左岸(特殊堤、図1の⑥)

堤体コンクリート護岸にはクラックが全断面スケールで発生しているところがある。低水護岸の川側へはらみ出しがみられる。対岸の矢板護岸(根入れ12~13m程度)には、顕著な被災はみられない。

4) 神崎川左岸(図1の⑦)

L型パラペットの堤防天端で縦亀裂、陥没が発生している。裏のり面のブロック(六角形/円形)はらみ出し、堤内地道路の盛り上がり、噴砂等が観察された。天端のコンクリートをはがし土砂の盛り直しをする緊急復旧工事中であった。



写真3 正蓮寺川(天端の破損)



写真4 神崎川(天端の亀裂、沈下)

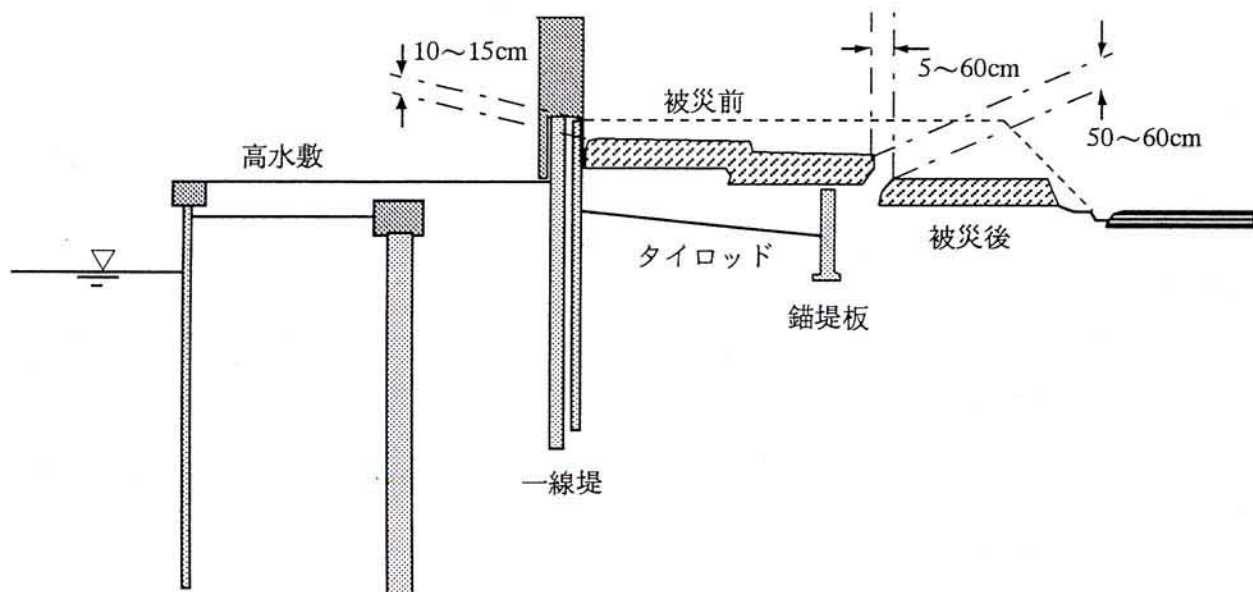


図4 神崎川(佃島)での堤防破損模式図(大阪府資料)



(a) 矢板による緊急漏水防止対策



(b) 水防工法

写真5 中島川右岸

5) 左門殿川左岸(図1の⑧)

図4に示すように「一線堤—タイロッド—錨堤板」が地震動により一体的に動いて堤防天端に段差が発生した。被害延長は約300mであり、堤内地側で液状化がみられる。一線堤の重力式擁壁も約0.15m沈下しているところがあった。剣先部のパラペットが堤内地側へ傾斜し、擁壁間でずれと段差が生じている。この地域は0m地帯である。

6) 中島川右岸(図1の⑩)

パラペットのずれ、天端の陥没、のり面・のり肩の亀裂、漏水等が主な被害であった。漏水約1kmにわたっては主に堤防の裏のり尻から生じたが、写真5(a)にみられるように堤防前面に緊急的に矢板が打設され、漏水は停止していた。道路が取り付いている箇所や架橋部で堤防の被災が顕著であった。

(3) 武庫川

被害箇所は、図1に示す次の⑪⑫⑬区間である。

⑪右岸(国道171号線より下流右岸)

⑫左岸(JR新幹線橋梁からやや上流までの区間)

⑬左岸(阪神線の直上流)

1) 武庫川右岸(図1の⑪)

武庫川右岸の堤防では規模の大きい亀裂が多く見られた(写真6(a))。緊急復旧工事前の調査では、天端の亀裂は最も深いものでもH.W.Lまでは達していなかった。その他、堤防の沈下、のり面のすべり、路肩の亀裂等が見られる。この区間では裏のり面には顕著な被害は見られなかった。高水敷には複数の縦亀裂が発生していた(写真6(b))。堤防材料は河床を浚渫したマサ土である。



(a) 堤防表のり面の亀裂



(b) 高水敷の地割れ

(堤防を横断するように亀裂が入り、高水敷の地割れへと続いている。道路と兼用である堤防天端には沈下陥没がみられる。地割れは河川及び堤防にほぼ平行に生じている。)

写真6 武庫川(右岸8km付近)



(a) 堤防天端の波打ち



(b) 堤防裏のり面の亀裂

写真7 武庫川(左岸8km付近)



(a) 石積み護岸の崩落



(b) 低水護岸、床止め工の破損

写真8 住吉川(神戸市内河川(0.7-1.7km))

2) 武庫川左岸(図1の⑫)

堤防天端は沈下し、波打っているのが見られた(写真7(a))。裏のり面では天端の沈下に伴うはらみ出し、亀裂、噴砂が見られた(写真7(b))。約800m毎に造られている床止め工には変状はみられなかった。

(4) 住吉川(神戸市内河川(0.7-1.7km))

住吉川は家屋、道路等に大きな被害を受けた灘区と東灘区の境を流れる都市河川である。低水路幅は7m程度であり、3m程度掘り込まれ、護岸は石積み形式である。強い地震動を受けた割には掘り込み河道のためか、調査区間の被害の規模はそれほど大きくなく、高水護岸の崩落とそれに伴う道路の陥没箇所があった(写真8(a))。

3. まとめ

地震による堤防災害は、極めて広範囲、大規模なものであった。堤防被災の多くは低地で地盤条件の悪いところに発生している。洪水期の前までに、堤防被災箇所について地震の外力、被災形態、地盤特性、堤防構造を十分に調べ、同様な災害を生じないよう堤防の復旧方式について十分検討する必要がある。

長期的には、堤防の下、高水敷、河川区域に接している住宅地等の地盤構造のボーリング調査を行い、地質分布図をつくり、これらと堤防、護岸の被災履歴、被災形態等について河川毎のカルテをつくり、堤防管理のための資料を整理、充実していくことが望まれる。

上・下水道施設被害

北海道大学工学部 渡辺 義公
小林 三樹

1 調査対象と被害の概要

2月1日午後にJR京都駅からJR大阪駅を経由して、阪神梅田駅から青木駅までを電車、青木から三宮までのシャトルバスを利用して神戸市役所に到着した。水道局と下水道局が入っていた市役所第二庁舎は水道局があった六階が完全に潰れて、下水道局があった五階も危険で出入り不能となっていた（写真－1）。水道局と下水道局は被害が無かった第一庁舎に移転していたが、いわば着の身着のまま資料も何もない状態であった。そんな状況ではあったが、関係者から上・下水道施設の被害状況を聞き、現場調査カ所を決めた。表－1は1月28日現在の神戸市の下水道処理場とポンプ場の被害状況である。表－1を参考にして、2月2日には最も被害の大きかった東灘下水処理場と殆ど被害を受けなかったポートアイランド下水処理場を中心に下水道施設を調査することとした。表－2は神戸市の水道施設の被害状況である。1月26日に厚生省水道環境部が発表した水道施設の被害状況によれば、神戸市の650,000戸のうち359,600戸で断水していた。同日までに、全国41都道府県の424水道事業体から応急給水の緊急支援として、給水車その他の車両521台、ポリタンク約7万個、人員約1,410人、水運搬用ポリ袋約18万枚の派遣・提供があった。このような状況を考慮して、水道施設についての直接的被害調査を行わず、2月3日に緊急給水の実態と水道被害が市民生活に及ぼす影響を被災地を歩いて調査した。

2 東灘下水処理場とポートアイランド下水処理場

図－1が東灘下水処理場の平面図と被害ヶ所の概要である。埋立地運河擁壁が側方流動（滑動）して、対岸の魚崎ポンプ場から処理場へ下水を送る流入管が写真－2、3、4、5に示すように破損した。運河南側の擁壁が2m程せり出して、処理場北側の施設群が滑動＋沈下し（写真－6は階段の基礎部分が2m程運河南側に滑動したとを示している）、最初沈殿池流入渠（1.5m x 3m）が Expansion joint面で50 cm程ずれていた。このためポンプ場は稼働可能であったが、下水処理は全く行えない状態となった。そのために、運河を閉め切って仮設沈殿池とし塩素消毒して放流することとした。写真－7は閉め切り工事の様子である。処理施設は杭基礎で、大阪海成基層部にPC, CC, ベノート杭で指示されていた。運河に近い施設ほどExpansion jointが変位を受けきれず破断している箇所が多い。下水処理施設も水槽壁面のJointが写真－8のように破断しそこから水が抜けた。写真－9は最初沈殿池の汚泥かき寄せ機で翼部がずり落ちている。運河の反対側（南側）は上部を交通局バスターミナルとしたmassiveな構造物（写真－10）であったため、全く無損傷であった。

一方、埋立地に建設されたポートアイランド処理場は十分な液状化対策を施し

ていたため全く無損傷であった。ここでは、地盤改良（置換、サンドドレーン、1年間載荷盛土）を行い、荷重条件の異なる施設群（機械棟、管理棟、処理棟）を独立施設とし、浮基礎とした。写真－11は機械棟と管理棟をつなぐ渡り廊下、写真－12は処理棟の上屋であるが、いずれも無損傷である。同処理場隣接地はいたる所で液状化していた。例えば、旧堤防脇の道路は写真－13のようであった。平常時に日量1万トン进行处理していた同処理場には地震後にも日量4千トンの下水が流入していた。市内とポートアイランドを結ぶ橋梁の基礎が地震でずれてそこに設置してあった水道管も破損したため、ポートアイランドには水道水の供給は止まっていた。給水車による緊急給水はあったものの、日量4千トンもの下水が処理場に流入した理由は処理場流入下水管が破損して塩分濃度の高い地下水が混入したと考えられる。処理された日量4千トンの下水の一部を砂ろ過した水はタンク車輸送により、市内避難施設の水洗トイレ用水や、液状化粘土ではこりが立つアイランド内路面の散水用水として利用されていた。写真－14、15がタンク車による輸送風景である。

3 下水管渠

神戸市の平成5年度末の下水管渠の総延長は、污水管：3315 Km、雨水管：484 Kmである。神戸市が1月17日から22日にかけて行った調査によると、下水管路施設の被災状況は表－3のようである。下水管の被災調査は先ず溜まり水を抜いて（写真－16）マンホールから中を見る（写真－17、18）方法、管内にTVカメラ（写真－19）を入れて調査する方法がある。しかし、水道が復旧して家庭や工場からの下水が出てこない間は、下水管渠の被災状況の詳細はつかめない。建物との取り付け管のような末端枝管のほとんどは破損していると考えられる。写真－20は東灘区のアパートで取り付け管の勾配が逆になり下水を排除できなくなったので、住人が修理している様子である。近くの福池小学校のプールの水（写真－21）を水洗トイレに使っているが、敷地内から下水を排除できないため、修理中の取り付け管の水洗トイレ洗浄水（希釈し尿）を敷地内に穴を掘って貯めている（青いビニールシートの場所）。冬季であったが、福池小学校のプールには水があり、消火用水として使用されたため、この地区には火災の被害は最小限でくい止められた。その後、プールは雑用水の貯留スペースとなっている。

4 水道の断水による市民生活への影響

神戸市の水道水の5/6は淀川の河川水を阪神水道企業庁の所有する浄水場で処理したものである。淀川から各浄水場への導水管に一部が破損してものの、神戸市にある119の配水池への浄水場からの一部送水は行われていた。25の主な配水池には震災時に配水池から水道水が漏水しないように、緊急遮断弁が設置されていた。地震時に25の遮断弁は中央からの無線により作動し、給水車への水源として機能した。写真－22、23は神戸市水道局東灘低層配水場における給水車への積み込みの様子である。給水場となっている小学校では、大型給水車からポリタンク

へ分水後（写真－２４）または小型給水車から直接（写真－２５）、市民が受水している（写真－２６、２７）。また、東灘低層配水場では配水池からポンプで直接給水していた（写真－２８、２９）。給水車による緊急給水活動は、積み込み－運搬－給水の過程で多くの人力が必要で、しかも交通渋滞による行動の鈍さから、市民に必要最低限の飲み水を配給できる程度であった。市民は突然湧き出した地下水（写真－３０、３１、３２）や漏出した水道管の溜まり水（写真－３３、３４）、近くの都市河川水（写真－３５）を雑用水として利用していた。

５ むすび

今回は２つの基本的視点から調査した。（１）土木構造物としての上・下水道施設の耐震性、（２）都市ライフラインとしての上・下水道システムの在り方。

浄水場、配水池、下水処理場といった上・下水道基幹施設は、立地条件が悪かった東灘下水処理場が極めて大きな被害を受けた以外はおおむね健全であった。特に、地盤の液状化を予想して万全の耐震設計を施したポートアイランド下水処理場と岩盤上に建設された垂水処理場が軽微の損傷であったことから考えて、良好な地盤に処理場用地を確保したり、不良地盤の改良を行うことにより、土木構造物としての上・下水道基幹施設の地震時の安全性は保ちうると推論した。しかし、基幹施設の一部の損傷や、建築物との取り付け管等の末端枝管の破損は避けられないことと、地下部分の破損箇所の発見と修理にかなりの時間を要し、市民生活に重大な影響が出ることから、現行のフロー型の都市ライフラインとしての上・下水道システムの在り方を、ストック機能を組み込んだシステムに再構築すべきと考える。神戸市の場合は、山側の上水道配水池に水が確保されており、海側の下水処理場にも大量の水があるにもかかわらず、中間部も市街地に水のストックが無く、フローを受け持つ管路の破損により輸送機能を失ったことが、地震時の火災や神戸市民の水不足をもたらした。

神戸市民の不幸な経験を生かして、地震にも強い都市水代謝システム（広義の上・下水道システム）の在り方として以下のような提案をしてむすびとする。

（１）めり張りのある施設整備：最重要施設（浄水場、導水管、配水池、幹線配水管、下水処理場、幹線下水管渠、等）は高度の耐震設計を行い、万一の破損に備えて、複数の配水池をつなぐ連絡管や、複数の下水処理場へ下水を輸送できる遮水管をつける。その他の施設（末端取り付管、等）は破損箇所の発見と修理を迅速に行える設計とする。

（２）破損箇所の修理の期間、市民が身近に水源を確保できるストック型の機能を持つシステムの構築：小学校等に地下水を水源とする緊急用井戸を常備する。そのためには、質・量両面からの地下水の保全が必要である。

（３）消火用水、トイレ用水、洗濯用水等の雑用水源としての”水のストック”を都市内に高密度に配置するシステムの構築：幹線下水管渠から再利用のための下水を必要量だけ取り出し、高度処理水を公園や学校のグラウンドの地下に貯留するための、小規模で高度な下水処理場（Scalping plants）を都市内に配置する。

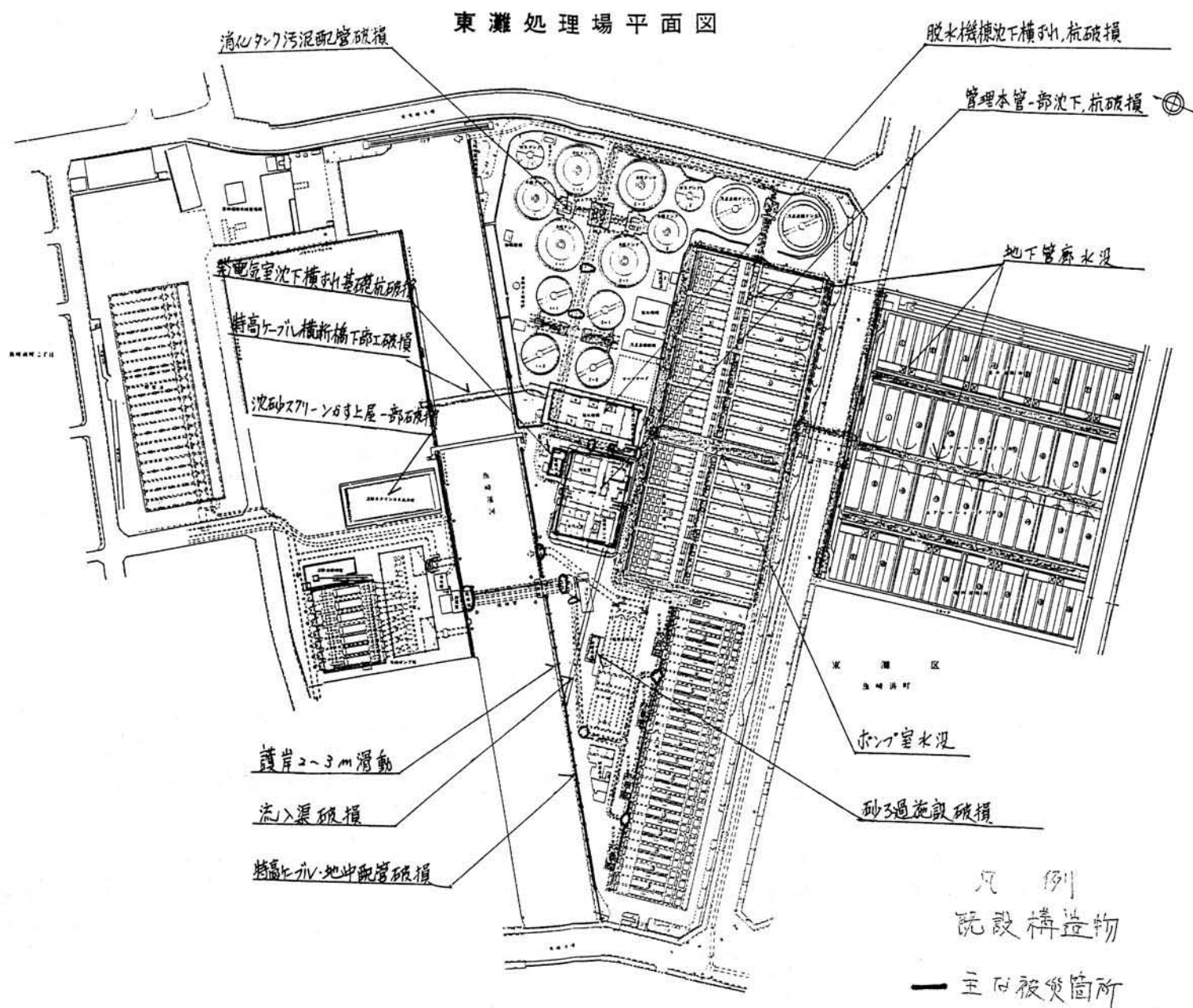


図 - 1 東灘下水処理場平面図と主な破損箇所

表 - 1 神戸市下水道施設の被災状況

兵庫県南部地震被災状況調査（処理場・ポンプ場）

処理場名・ポンプ場名 （能力）	主な被害状況または復旧工事内容
東灘処理場 （225,000m ³ /日）	流入水路破損、エアタンクき手部漏水、管理棟・脱水機棟の傾斜、運河護岸崩壊、場内舗装大破、濾過地保料 水処理ポンプ類補修、汚泥かき寄せ機補修、砂濾速復取り替え、脱水機移設・再据え付け、盤類取り替え・補修
ポートアイランド処理場 （20,300m ³ /日）	場内舗装沈下・破損、エキスパンション部目開き・段差、壁面クラック、換気ダクト破損
鈴蘭台処理場 （43,825m ³ /日）	エレベータ棟のずれ・クラック、場内舗装
中部処理場 （77,900m ³ /日）	場内舗装破損、エアタンク覆蓋スラブ破損、終沈壁クラック、終沈不等沈下、連絡通路破損、地下管廊大量漏水 脱臭ダクト補修
西部処理場 （161,500m ³ /日）	エアタンク流入水路・エアタンクエキスパンション部・放流渠破損、場内舗装大破、次亜塩素酸料 汚泥かき寄せ機・ポンプ類・配管補修、混気タンク再据え付け、汚水ポンプ・電動機補修
垂水処理場 （133,890m ³ /日）	護岸ケーソン滑動・越波水路破壊、エキスパンション部クラック、舗装・側溝沈下 汚泥配管補修
玉津処理場 （75,000m ³ /日）	場内舗装破損・沈下、クラック、目地破損 汚泥脱水機・配管補修
東部スラッジセンター （600t/日）	場内舗装破損 海水取水設備設置
小 計	

兵庫県南部地震被災状況調査（処理場・ポンプ場）

処理場名・ポンプ場名 （能力：m ³ /分）	主な被害状況
本庄ポンプ場 （汚水29.0、雨水644.6）	発電気室クラック、エキスパンション部クラック 発電設備移設・再据え付け
深江大橋ポンプ場 （汚水15.4）	場内道路破損
魚崎ポンプ場 （汚水338.7、雨水1,763.3）	運河水管橋半倒壊、吐出口き手部破損、しき洗浄機傾斜、 スクリーンかすコンベア・汚水ポンプ・雨水ポンプ補修、斜脚盤取り替え
大石ポンプ場 （汚水81.6）	地下室クラック、門扉・外壁破損 発電設備移設・再据え付け
向洋ポンプ場 （汚水50.0）	場内舗装破損
P I 第一ポンプ場 （汚水13.0）	場内舗装破損、北側門扉破損 高圧引き込みレーブル補修
P I 第二ポンプ場 （汚水1.0）	場内舗装破損 水位計取り替え
P I 第三ポンプ場 （汚水1.0）	建物傾斜、場内舗装・コンクリート擁壁破損 発電機補修
宇治川ポンプ場 （雨水116.9、雨水313.2）	場内舗装（インターロッキング）破損
湊川ポンプ場 （雨水417.0）	擁壁破損 ポンプ室天井クレーン補修

表－２ 神戸市水道施設の被災状況

水道施設（浄水場・配水池等）の主な被害状況及び現在の状況

	被害の状況	現 状
1. 貯水地		
(1) 布引貯水地	堤体天端歩廊の手すり部にクラック。 管理橋橋脚部に被害、本格的な修理が必要。	被害箇所を含めた貯水池の安全性調査を予定
(2) 烏原貯水地	堤体端部表面に微小な縦クラック１ヵ所 管理道路の石積みが崩れる	被害箇所を含めた貯水池の安全性調査を予定
2. 浄水場		
(1) 上ヶ原浄水場	緩速ろ過地 — 躯体にクラックが数カ所発生 急速ろ過地 — 伸縮ジョイント部損傷、漏水あり。 急速ろ過地洗浄水槽 — 配管部から漏水あり。 排水処理施設 — 躯体、配管、機械類等に多数の被害あり。応急修理中。 場内各種配管、各所法面、電気・機械施設等で被害あり。	浄水場全体として修理方法を調査予定
(2) 本山浄水場	洗浄水槽への入水管が破損、洗浄水槽（ＲＣ）にクラック発生	修理方法を調査中
3. 配水地	全市で１１９カ所ある配水地の被害は殆どなかったが、会下山低層配水地で接合井への接合部が損傷し漏水するとともに、池内伸縮ジョイント部で縦クラックがあった。なお、場内舗装・石積み等の被害は１０カ所程度になる。	会下山低層配水地の応急的な修理を完了し、供用を開始。
4. その他の施設		
(1) 送水管	上ヶ原浄水場内送水管（φ1200×100m）、会下山中層送水管（φ500×10m）等１０数カ所で漏水が確認された。送水管の他、烏原トンネル坑内送水ポンプが水に漬かりストップする等の被害があった。 なお、主要な送水施設である六甲山を貫く２本の送水トンネル（40km×２本）には大きな漏水がなく被害は軽微であると思われる。	会下山中層送水管修理完了 烏原送水ポンプ修理完了
(2) 給水管	全市給水戸数約６５万戸に対し、給水管漏水は宅内宅外を含め数万カ所以上に上がるものと推定される	応急修繕工事を進めている。
(3) 庁舎	水道局本庁舎（市役所２号館６階）が圧潰、東部営業所（１，２階）の上部（３階）が圧潰したため避難。西部センター庁舎一部類焼、垂水センター増築部破壊、その他数カ所庁舎で宮繕工事が必要。	修理方法を調査中

表－３ 神戸市下水管路施設の被災状況

下水道管路施設の被災状況 (１次調査 1/22現在)

被災の内容	汚水管			雨水幹線			合計
	23日まで	24日	計	23日まで	24日	計	
A：マンホールの異常(溢・洩・汚物の流れなど)	672	0	672	138	0	138	810
B：路面の異常	289	25	314	57	1	58	372
C：管渠の破損・閉塞	76	0	76	57	0	57	133
D：溢水	0	0	0	0	0	0	0
E：土砂の流入・堆積	41	0	41	4	0	4	45
F：その他	44	0	44	10	0	10	54
計 (単位：件)	1,122	25	1,147	266	1	267	1,414



写真－1 被害を受けた神戸市第二庁舎



写真－2 東灘下水処理場の被災現場



写真－3 東灘下水処理場の被災現場



写真－4 東灘下水処理場の被災現場



写真－5 東灘下水処理場の被災現場



写真－6 東灘下水処理場の被災現場



写真-7 運河の閉め切り工事

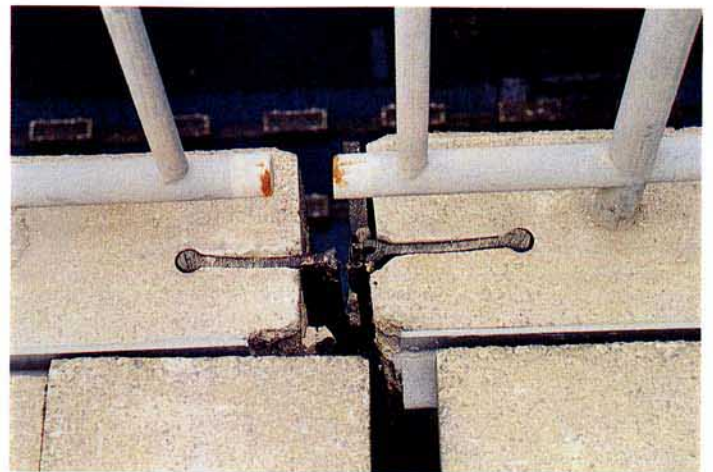


写真-8 水槽壁面のJointの破損

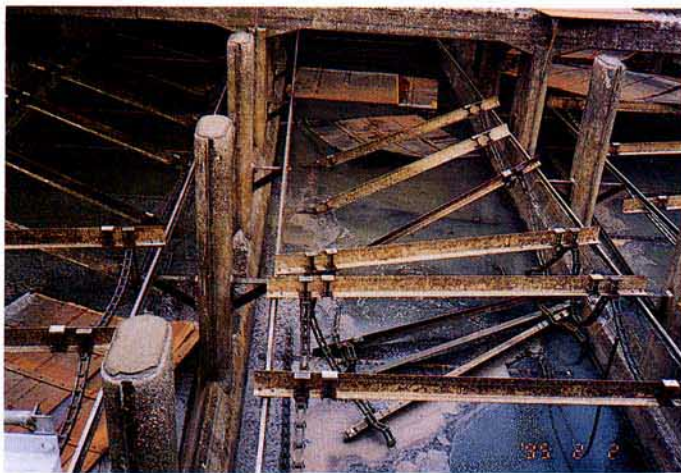


写真-9 最初沈殿池の汚泥かき寄せ機

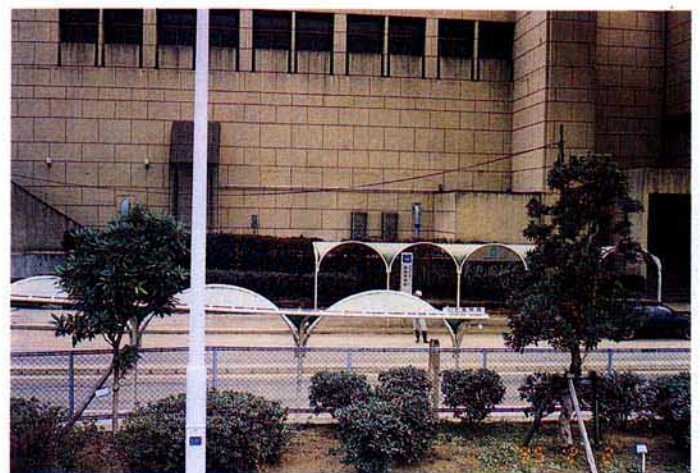


写真-10 健全な南側処理施設



写真-11 ポートアイランド下水処理場



写真-12 ポートアイランド下水処理場



写真-13 ポートアイランドの液状化



写真-14 下水処理水の搬出



写真-15 下水処理水の搬出



写真-16 下水管の調査



写真-17 下水管の調査



写真-18 下水管の調査



写真-19 下水管調査用TVシステム運搬車

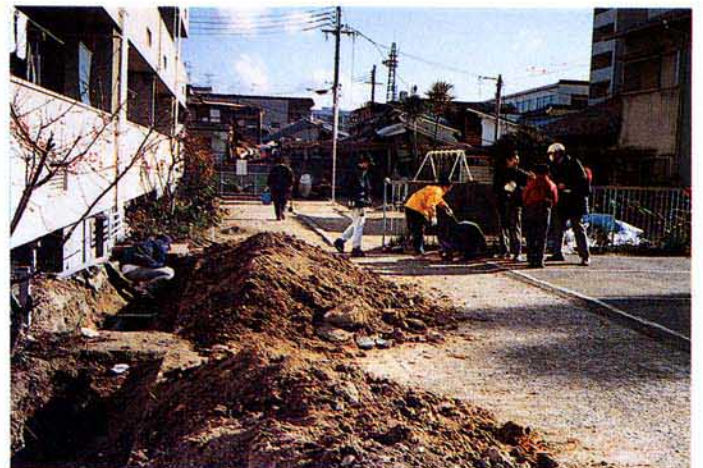


写真-20 アパートの下水管工事風景



写真-21 小学校のプール

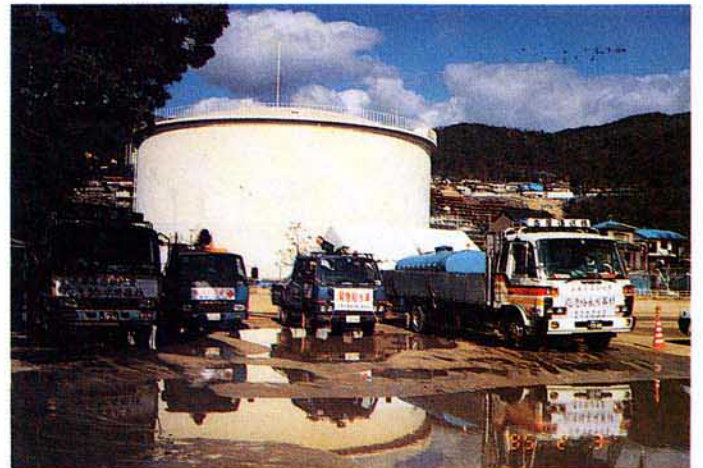


写真-22 配水場での給水車への水の搬入



写真-23 配水場での給水車への水の搬入



写真-24 給水場の風景



写真-25 給水場の風景



写真-26 給水場の風景



写真-27 給水場の風景



写真-28 配水場での給水



写真-29 配水場での給水



写真-30 地下水を汲む市民



写真-3 1 地下水を汲む市民



写真-3 2 地下水を汲む市民



写真-3 3 水道管からの漏水を汲む市民

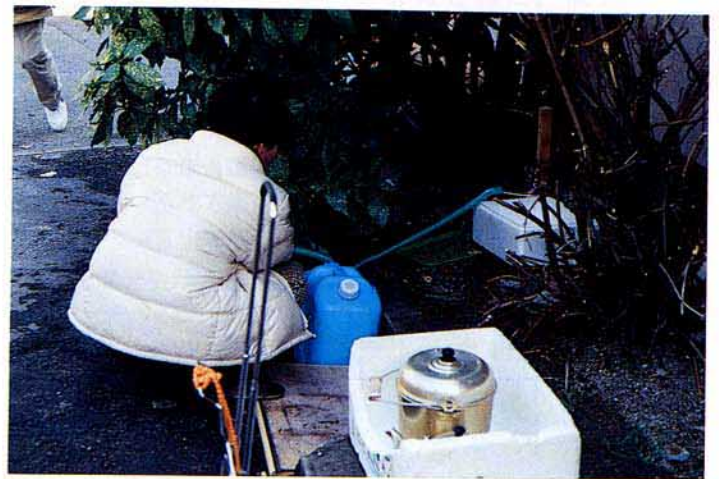


写真-3 4 水道管からの漏水を汲む市民



写真-3 5 住吉川の風景

ライフライン被害

調査団メンバー： 高橋和雄（長崎大学工学部社会開発工学科 防災工学）
 山中 稔（長崎大学工学部社会開発工学科 土質工学）

1. まえがき

阪神・淡路大地震では、災害応急対策および災害復旧過程においてライフライン、交通機関などの巨大化した都市の活動を支えるシステムの被害が大きく、多方面に深刻な影響を及ぼした。ライフライン、交通機関の障害は、市民生活を根底から破壊したばかりでなく、災害時の情報収集、消火活動、被災者応急復旧への支援などに対する障害となった。ライフラインのうち、電力と電気通信の応急復旧はすみやかであったが、水道および都市ガスの復旧は遅れている。これまでの地震や風水害の被害による教訓をもとに震災対策はかなり進んでいたと考えられていたが、今回の震災では想定規模を上回る地震力によって供給停止になったばかりでなく、復旧に時間を要している。

本調査班は、ライフラインのうち、電力、通信および都市ガスの被害と応急復旧状況を調査した。調査は現在のところ予備調査の段階であり、ライフラインの管理者が広報用に作成した資料をもとに被害状況、復旧状況を調査するとともに、各ライフラインの広報係を窓口ヒアリング調査をした。これより、施設の被害、仮復旧および本復旧に関する情報を得た。調査報告では、ライフラインの施設の被害および電力施設の仮復旧に関する調査結果、ならびに課題と教訓を紹介する。

2. ライフラインの防災計画

（1）被害想定 平成6年度版の神戸市地域防災計画地震対策編によれば、震度階級Ⅴ（強震）の地震が襲った場合の被害を想定している。これは、神戸市に被害を与えたと推定される有史以来の地震の記録である震度階級Ⅴを根拠としている。図-1に想定地震位置を、表-1に被害の概数を示す。これらの被害は、市内域での地震加速度、地質条件、木造建築率、隣棟間隔、発生時気象条件等を考慮して、最悪の条件下で一定の方式で調査の上、推定したものである。今回の震災は、この想定をはるかに上回る震度Ⅵ、Ⅶの地震が市街地を襲った。震度Ⅴに対しては、電力施設、都市ガス施設および電気通信施設は十分耐えうように設計・施工がなされているので、被害は発生しないと計画ではされていた。土砂崩れ、地盤変動、建物の倒壊等による電柱の傾斜ならびに断線の被害、地盤変動によるガスの低圧導管の継手部の緩み、電気通信施設についても、軟弱地盤地域では地盤変動によって地中線路設備の弱体管路箇所が被害が想定されているのみであった。つまり、

震度Ⅴの被害想定では、ライフラインは安全で、ほとんど被害は発生しないと想定されている。この地域防災計画では、各機関は新たな投資を必要としないようになっている。新聞報道によれば、神戸市には活断層があり、地域防災計画の策定にあたっては震度Ⅵも議論されたが、ラ

（1）規模 震度階級Ⅴ（強震）の強

（2）震源 ① 南海道沖（神戸市から南180km,M8.4）
 ② 枚方周辺（神戸市から北東70km,M7.0）
 ③ 山崎周辺（神戸市から西50km,M7.1）

（3）地震発生時 冬の食事時

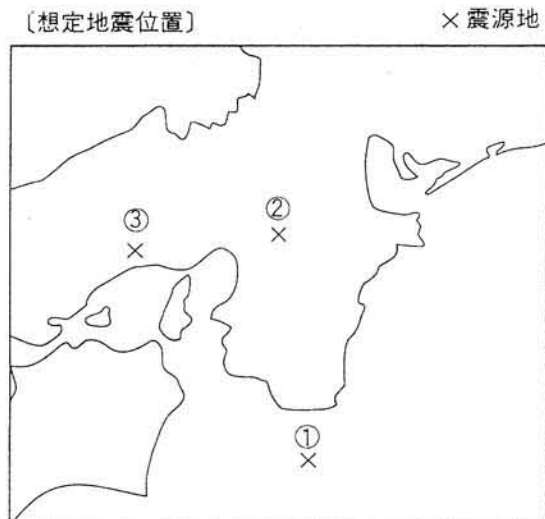


図-1 神戸市の地震の想定

表-1 地震による被害想定

	南海道沖地震	枚方周辺地震	山崎周辺地震	兵庫県南部地震
木造建物全壊棟数	500 棟	1,500 棟	3,000 棟	26,000 棟
炎上出火件数	30 件	70 件	110 件	358 件

イフラインのみならず、各施設に多くの投資が必要なために見送られたとされている。

(2)災害予防および復旧計画 地域防災計画書には、災害予防計画が述べられるとともに、ライフラインなどの地下埋設物の災害防止には共同溝が有効とし、他の耐震工法とも併せ、投資効果等を考慮し、条件が整ったところから共同溝の建設促進を図るとしている。さらに、災害復旧計画の施設復旧計画では、災害復旧を促進するため、神戸市をはじめ、地域防災機関、報道機関、道路管理者、交通管理者、埋設物管理者、地域団体と緊密な連携をとり、各機関との協力体制のもとに地震災害対策を推進すると記載されている。しかし、被害想定をもとに具体的な形では計画されていない。

表-2 電力施設の被害

関西電力

3. 電力

(1)被害の状況 地震発生直後、神戸市、尼崎市、伊丹市、西宮市、宝塚市、芦屋市、大阪市を中心に広範囲の地域で停電が発生し、約100万世帯に達した。第二次大戦後の地震による停電は、1968年の十勝沖地震が約105万世帯、1978年の宮城沖地震が約68万世帯となっている。今回の停電は、十勝沖地震と並ぶ最大規模の停電となった。今回の地震では、西神戸、新神戸、神戸、淀川、北大阪お

設備名	被害状況	備考
火力発電所	10台	ボイラチューブ漏れ 地盤陥没等
変電所	275KV系 10ヶ所 154KV系 6ヶ所 77KV系 32ヶ所	
送電線路	275KV系 4線路 154KV系 7線路 77KV系以下 27線路	
配電線路	446回線	
保安通信設備	9系統	通信ケーブル断線

よび伊丹の275KWの変電所、西大阪および西島の154KWの変電所が全面停止した。水力発電所ならびに原子力発電所には異常がなかった。電力設備別の被害は、表-2に示すとおりで、火力発電所、変電所、送電線路、配電線路が被害を受けた。この他、強い揺れやビルの倒壊、地盤変動によって、電柱が多数倒壊、折損した。

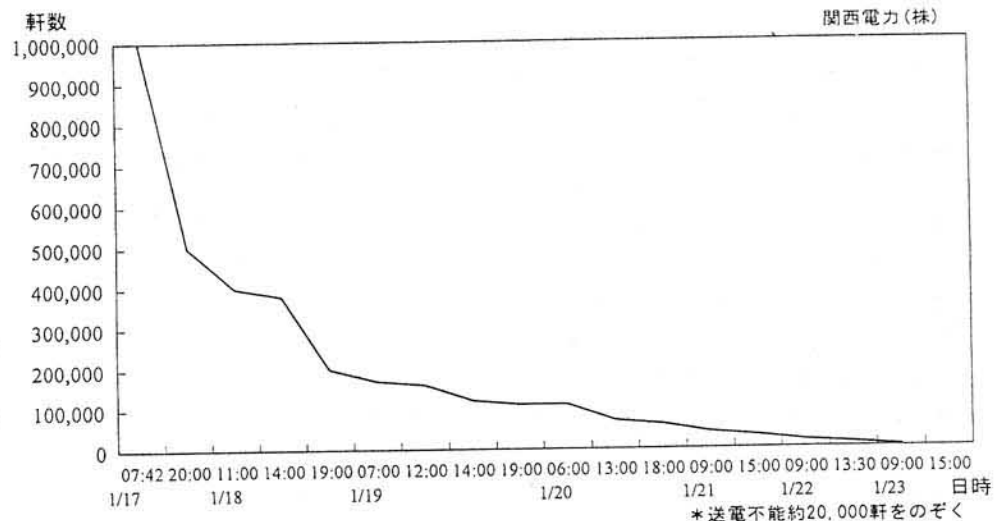


図-2 停電の回復状況

(2)復旧 関西電力では、1月17日午前7時30分に本店、神戸支店、大阪北支店および京都支店に非常対策本部を設置し、被害の把握および早期復旧に取り組んだ。復旧にあたっては、東北、中部、北陸、中国、四国、九州の電力6社から移動発電機車46台をはじめ、復旧用資材、支援物資の支援、復旧作業員の協力を得て、関西電力社員および協力社員あわせて、1月18日3,000人、1月19日から1,000人増やし4,000人、さらに1月21日から700人増やして4,700人体制で復旧にあたった。火災による焼失や道路途絶で復旧に入れない地域については、発電機車による緊急送電を行い、次いで、仮設の設備による送電をした。

停電世帯数の経時変化は図-2のとおりで、家屋倒壊などにより送電不能な約20,000軒を除いて6日ぶりに1月23日15時に復旧した。1983年日本海中部地震時の半日、1993年釧路沖地震時の1日、1978年の宮城県沖地震時の1日半での復旧¹⁾に比べて時間を要している。それでも

地震による電力の復旧は、この災害でも他のライフラインに比べると一番早い。関西電力によれば、この地震災害による損害は、配電施設960億円、送電施設550億円、火力発電所350億円など計2,300億円に達した。

(3)電力の復旧過程における課題 これまで景観重視の観点から、配電線の地中化が行われてきたが、今日の地震では、被害を受けると地中線は復旧に時間がかかることが判明した。このため本復旧を後回しにして、架空線による応急復旧をした。電線の地中化は、被害を受けた場合の対応を考えておく必要がある。1993年8月の鹿児島県水害でも地中化部分のコントロールボックスが冠水して、停電の原因となっている。

関西電力では、1月18日から、「垂れ下がった電線には触れないで下さい」、「送電が回復した家庭での電気の使用時には、コンロ、ストーブ、コタツなど調べて漏電、感電のおそれがないよう注意して使用して下さい」とマスコミを通じて広報活動も行った。今回の震災の復旧過程で、通電に伴う屋内配線のショートや電気機器の加熱による通電火災が発生したことが確認された。通電火災は、1994年1月のノースリッジ地震で社会問題になったといわれているが、今回の震災で日本でも確認されたことになる。神戸大学工学部の室崎教授の調査および神戸市消防局の調査で明らかにされている。大規模災害の場合、一軒ごとの電線のいたみや機器の電源のオフを確認してから通電するには、時間を要するため、この通電火災の問題が生じたと思われる。電力の早期復旧が、生活、災害復旧、通信の確保、交通の確保の前提となることや電力に代わるエネルギーがないことを考慮すると、地震時に電気が自動的に遮断される開閉器の開発や配電レベルの顧客管理などのシステムがないと解決しない課題である。

4. 都市ガス

(1)ガスの供給停止 大阪ガスは近畿地区を8ブロックに分け、さらに、55の中ブロックに分けて供給している。地震発生後、ガス漏れの通報が相次ぎ、ガス漏れによる爆発などの二次災害を防ぐために、大阪ガスは阪神間の5供給ブロックで中圧管を閉鎖した。また、その周辺でも、ガス漏れが確認された地域で供給をストップした。この結果、85万7千戸数のガスが供給停止となった。過去の地震による供給停止実績によれば、1978年の宮城沖地震の13万5千戸、1983年の日本海中部地震の約2,600戸、1993年釧路沖地震の9,301戸となっており、今回の件数はきわめて大規模である。今回の地震では、被害が大きかった神戸市、芦屋市などを含む中ブロック5について、ブロック全体が供給停止になった。大阪ガスでは、大ブロックまでは遠隔操作可能であるが、中ブロックは手動となっている。地震計の設置や震度に基づく被害想定などの地震対策がシステム化していない。このため、中ブロックの遮断は被害状況を把握したうえで、社員が手作業でバルブを閉める管理システムとなっている。一度ガスの供給をストップすると再開までに時間がかかるので、遮断には決断を要する。大阪ガスでは社長が判断を下し、地震発生6時間後の午前11時50分に遮断したとされている(1月19日朝日新聞)。通常は、地震発生後1時間程度で遮断されている過去の事例からすると対応が遅いといえる。大規模災害では、情報途絶や交通混乱がつきもので、責任者に報告し、判断をおおぐためには時間がかかる。ポケットベルや携帯電話の活用はもちろん、自動的に遮断できるシステムにしておくべきである。各戸ごとのガスの遮断には、マイコンガスメーターが導入されつつある。大阪ガスの普及率は72.2%である(1994年10月末)。

マイコンガスメーターは、メーター内に地震の感知装置を備え、震度V以上の地震があった時の他、多量のガスがもれた時、ガス器具をうっかり消し忘れた時、ガスの圧力が以上に低くなった時など通常のパターンとガスの流れが変わった場合にガスの供給を自動遮断する装置である。火災、爆発、ガス中毒などの二次災害を防ぐのに有効である。また、ガス漏れの無い地区ではユーザーが手動でマイコンメーターの復帰ができる利点もある。復旧が速やかにできるため、大阪ガスではマイコンガスメーターの取り付けを進めている。

大阪ガスでは、1月18日の夕刊から新聞各紙にガスの供給停止のお知らせ、ガス漏れ時の注意事項、マイコンガスメーターの復帰操作についての広報を行った。今回の地震では震度Vを越えているが、マイコンガスメーターが作動せず、種火がついたままの状態があったことが確認されている。通電後のガス漏れによる火災発生も指摘されており、今後の詳しい調査が必要

である。

5. 電気通信

表-3 電気通信の施設の被害

N T T 関西支社

(1)被害状況 N T T 関西支社の被害状況は、表-3に示すとおりである。家屋の倒壊、火災などで加入者の通信ケーブルおよび専用回線が切断したほか、デジタル化の進んだ交換機がストップした。交換機本体の耐震性は十分で障害はなかったが、商用電源の停止とバックアップ電源の損壊、バックアップ電源の自動切り替えが作動しないことなどがストップの原因となった。また、

項 目	内 容	復 旧
通信サービス		
交換機の故障	商用電源の停電とバックアップ電源の損壊 28万5000加入	移動電源車出動による回復
加入者系		
通信ケーブル	19万3000回線	ほぼ復旧
中継系伝送路		迂回ルートへの自動切替
専用回線	3170回線	2730回線復旧
ふくそう	通常ピークの50倍(1/17) 通常ピークの20倍(1/18)	5000回線増設 通話のふくそう規制
特設公衆電話	2700台(FAX約350台を含む)を被災地内 約760ヶ所に設置 衛星車載局・ポータブル衛星通信装置	
電報の受付・配達	地域避難場所へ 避難者を対象	
建物・鉄塔		
建物	3(御幸ビル 使用不能)	本格復旧を行う計画
鉄塔	2基(神戸ビル 大開ビル屋上)	応急措置

1月17日の夜にかけてバックアップ電源が容量不足となって停止したため、神戸市内の中央区、東灘区の交換機がストップした。通常の場合、停電は数時間で復旧するという前提条件でバックアップの電源が備えられており、今回のような長い停電は想定していない。交換機のストップで約26万5千加入(神戸地域144万加入)が故障した。N T Tは移動電源車を11台を投入して、復旧を図った。

中継伝送路は影響を受けたが、迂回ルートへの自動切り替えにより実害はなかった。局施設については、神戸市内の3ビルが被害を受け、屋上の貯水槽の被害や壁に亀裂が発生した。これらのうち、事務局舎の1つの建物は使用不能となったが、業務に支障はなかった。市内の2つの局舎上の高さ60mのアンテナ鉄塔が2基とも部材が座屈して傾いた。建物の周辺に避難勧告が発令された。これらはいずれも倒壊防止の応急措置の後、撤去された。

(2)電話の輻輳 災害が発生し通話が全国から集中すると、電話の輻輳が生ずる。通常の話量の1.5~2倍の通話が集中すると、その地域に対する通話に自動的に受信規制が行われる。1月17日には神戸方面に対して通常ピーク時の50倍、18日には20倍程度のコールが集中し、輻輳が発生していた。市外番号078の地域では緊急連絡用の電話と、公衆電話からの通話を優先させる規制を1月21日まで実施した。N T Tは兵庫県出入りの回線に5,000回線を増設した。また、衛星車載無線(5台)、ポータブル衛星通信装置(12台)などを用いて非常時の通信を確保した。その後、神戸方面のトラフィック量が平常の2倍となっているが、疎通はおおむね確保された。電話の輻輳は地震のみならず、風水害、噴火災害の際にいつも生じている。輻輳をなくすためのさまざまな工夫がなされてきたが、限界があり、電話回線以外の通信手段が望まれる。今回もテレビ、ラジオを活用した安否情報の放送、パソコン通信、インターネット、企業の専用回線無線の移動電話(携帯、自動車電話)が注目された。携帯電話の利用者がまだ少ないので、一般加入電話と比べて集中度が低く、今回はかかりやすかったと判断される。携帯電話の利用が今後増えれば輻輳することも考えられる。電話機も停電に弱い機種があり、多機能電話、F A Xは停電時には使用できない。また、テレホンカードも使えなくなる。

6. 阪神・淡路大震災の被害の教訓と課題

電力、都市ガス、電気通信の被害と仮復旧の状況を述べたが、今回のような大規模な災害に

直面してこれまで蓄積してきた防災計画の限界を痛感するとともに、多くの教訓が得られた。これらをまとめると次のようになる。

(1) 防災計画

- ① 中枢部の耐震性の強化：今回の震災では、神戸市役所の庁舎、電気通信の局舎、病院、電力会社の社屋、新聞社、NHKの放送局などの災害応急対策や復旧対策にあたる中枢の部分が大きな被害を受けた。一部は使用不能となった。災害時の拠点となる建物の耐震性を高めることが望まれる。
- ② ライフラインとの連携の強化：電力、都市ガス、電気通信は、災害時、復旧時に重大な問題となるにもかかわらず、行政機関と民間企業は別組織であるため、地域防災計画作成にあたって十分な協議が行われていない側面がある。災害予防、災害応急対策および災害復旧計画の作成時にライフラインの担当者を加え、災害時に情報が十分交換できる体制が必要である。
- ③ 災害復旧時の情報交換体制：市や消防局の災害復旧とライフラインの復旧にあたって緊密な情報交換、復旧戦略を立案できるシステムが必要である。たとえば、「水道が復旧した地域からガスの復旧をする」、「解体する家屋や建物では電話などの復旧をしない」「通電火災を減らすために、電力会社と消防局が立ち会う」、「建物解体時に地下埋設物の安全確保対策を協議する」など多くの課題が挙げられる。
- ④ 都市計画部門との連携：地震に対する地域防災計画書を防災の部門だけで作成するには限界がある。また震災の場合、都市施設の配置、建物、土地利用などの都市構造に密接に関係する。都市計画部門、建築部門と十分に協議することが必要である。

(2) 災害復興・振興計画

- ① ライフラインも一体整備を：災害復興の策定が今後行われるが、地域インフラ整備と歩調を合わせたライフラインの整備が行われるべきである。そのためには、計画の策定にライフラインの管理者が参画すべきである。
- ② 共同溝の整備：地上の施設の被害に比較して地中の施設の被害は一般に少ないことが確認されている。共同溝の整備を促進し、水道、ガス、電力、電気通信の施設の地中化を計画的に行う。

(3) ライフライン

- ① 復旧情報：大規模災害時は、県や市といった行政単位を越えて発生する。ライフラインの管理ブロックは市や町の行政単位とは異なるために地区ごとの復旧情報が出せない。前もって行政区画と合わせた情報が出せるようにしておくことが望まれる。
- ② 新しい課題とその対策：今回の災害で、電力の復旧に伴う通電火災やマイコンガスメーターが地震時に確実にガスを遮断しないことが証言され、調査されている。これらについて詳しい調査と対策が必要である。
- ③ 大規模災害時の通信の確保：災害時には、一般加入電話は輻輳によりかかりにくくなる。災害時に電話がかかりにくいことを前提とした対策が望まれる。阪神大震災では、携帯電話、衛星通信、電話以外のメディアとしてパソコン通信、インターネットが有効であった。また、FAXは多量の情報を一度に送れ、かつ目で確認できるため、誤報の原因とならない特徴を持つ。安否情報や避難所への連絡などへ積極的に使うべきである。また、日頃から災害時や停電時に多機能電話、公衆電話などがどのような障害を受けるかをもっと市民に知ってもらう努力が必要である。
- ④ バックアップ電源の耐震性確保：商用電源が停電となった場合、自家発電機や蓄電池が代替として備えられている。今回の地震では、自家発電機や蓄電池が被害を受け、使用できなかったケースが報告されている。災害時には中枢となるべきもので代替手段の耐震性を十分確保しておくべきである。
- ⑤ 都市ガスの復旧：都市ガスが災害で一度遮断されると供給開始まで1ヶ月以上を要している。地震対策が行われれば被害が軽減するのは明らかであり、ガスの自動遮断、耐震性が高いガス管の接合などを進めるとともに代替ガスの開発・活用も必要であろう。
- ⑥ ライフラインの復旧に公的助成を：大規模災害では、ライフラインの復旧費は1,000億、

2,000億といった多額になる。当事者が負担できなかった場合には、公的な助成制度が不可欠である。

謝辞

本調査を行うにあたって、神戸市災害対策本部、兵庫県災害対策本部、N T T 関西支社、大阪ガスおよび関西電力の関係者の皆様の協力を得たことを感謝します。調査団のメンバー派遣にあたって、長崎大学工学部後藤恵之輔教授の協力を得たことを付記する。本調査をまとめるにあたって、朝日新聞、産経新聞、日本経済新聞、毎日新聞および読売新聞の大阪版、京都新聞、建設通信新聞、震災こうべの記事を参考にしたことを付記する。

参考文献

- 1) 山崎文雄：地震と産業被害、日本損害保険協会、1994.3

道路舗装被害

東北大学 福田 正
東北学院大学 遠藤孝夫

1. 概況

今回の地震による道路舗装の被害は、周辺の建造物の被害と比較すれば軽度であった。これは舗装は地盤上に被覆された層構造物であること、特にアスファルト舗装の場合には、たわみ性があることなどによるものであろう。埋立地における港湾舗装の場合には、地盤が液状化で崩壊したので大きな被害を受けたようであるが、道路舗装の場合には、局地的に地盤条件が悪い場合の事例を除いて全般的に被害は軽い。

2. 調査地点

本調査は、地震が発生してから約2週間後の平成7年2月1日～4日の期間に実施した。調査地点は、西宮、深江、青木、ポートアイランド、三宮、大開の各地区である。これらの調査地点は、今回の地震によって道路沿線の建造物の損壊が特に大きい地域の中から選んだ。調査当日は交通状況が極度に悪く、また調査時間の制約もあったことから、道路舗装の被害全体の中での部分調査ではあるが、今回の地震被害の特徴は把握できたように思われる。

3. 破損の事例

道路舗装の破損に関して、その特徴的な事例を挙げると次のようである。

(1) 橋台背後の段差

地震によって橋梁の橋台背後の地盤が沈下して、舗装路面に20～40cmの段差が生じた。このために橋梁の前後で通行が不能になったり、または困難になったりした。この緊急処置として、土砂、木材などを段差部に仮置きするなどして車は通行したようである。

アスファルト混合物による応急的な路面のすり付け作業は、国道などの重要な幹線道路では地震発生後の当日のうちに実施されたが、その他の幹線道路ではこのような応急作業を実施するまでに、10日以上の日時を要したケースもあった

ようである。写真 1 は、アスファルト混合物によるすり付け後の橋台背後の路面状況である。

（２）路面の波状変形

埋立地の若令地盤において液状化現象が発生し、これによって地盤が沈下した。このために、高架構造の高速道路に並行して地表に設けられた一般道路では、路面の沈下が高架構造の基礎によって抑えられ、舗装路面に大きな波状の凹凸が発生した（写真 2、3）。

（３）交差点周辺のひびわれ

交差点の枝線の付け根部に、幅数 mm から数 cm に及ぶひびわれが生じている事例が数多く見られた（図 1 及び写真 4、5）。これは今回の地震の特徴である地表面の大きな変位による舗装のねじれによって、交差点の枝線付け根部にひびわれが集中的に発生したものであろう。これらのひびわれは特に交通に支障になるものではない。

（４）簡易舗装、歩道舗装の破損

今回の地震では、幹線道路の車道舗装の被害は比較的少なかった。これと対照的に通路、住宅地などの簡易舗装、歩道舗装などのように薄い層構造の舗装の場合、表層がひびわれで破断された破損が目立った（写真 6、7）。

（５）地下構造物による損壊

道路の地下占用物である地下鉄の崩壊によって、大規模に舗装が陥没する事故があった（写真 8）。

4. 今後の対策について

今回の地震による道路舗装の被害は上記の通りである。道路は地震発生直後の緊急輸送路としてきわめて重要な施設である。したがって、道路構造は耐震的であり、さらにまた損壊した場合に復旧用の材料が緊急に供給可能であることが必要である。特に 3.（１）に述べた破損事例に対しては、次のような対策を検討しておく必要がある。

（１）踏掛版の設置

踏掛版は鉄筋コンクリート版であって、橋台背後の盛土部の沈下による路面の段差を防止するためのものである。このような踏掛版は、地震による橋台背後の

路面の段差の防止にも効果がある。しかしながら、この踏掛版の設計はセメントコンクリート舗装要綱¹⁾に記述されているために、アスファルト舗装の場合に踏掛版を施工している例は少ないようである。橋台に接続するアスファルト舗装においても、段差防止のためにその下層構造に踏掛版を設置すべきであろう。

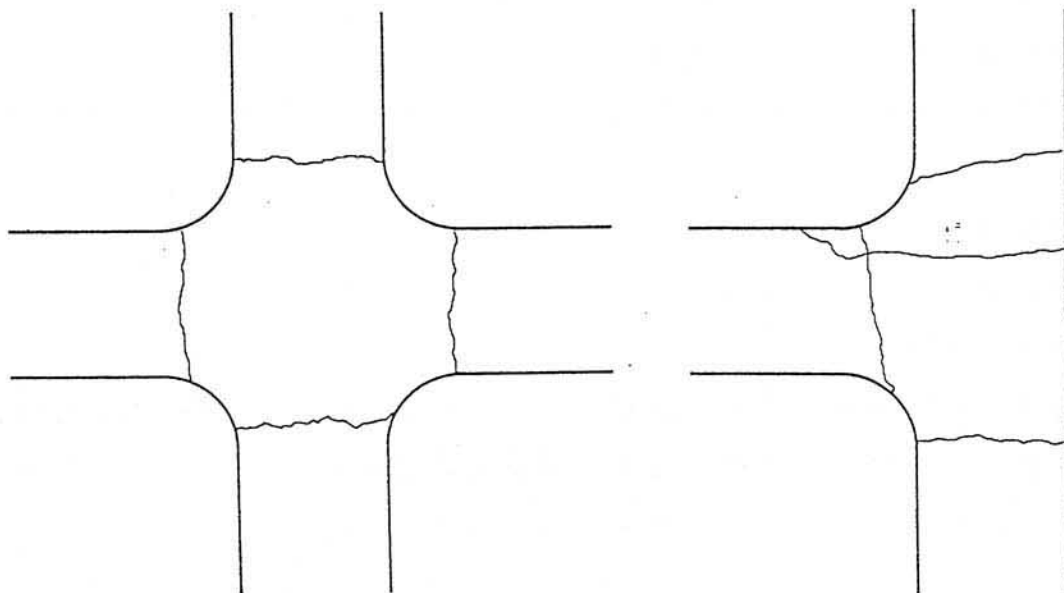
(2) 緊急時の補修材料

地震の際には、停電によってアスファルトプラントは稼働できなくなる。したがって、復旧用の補修材料に加熱アスファルト混合物は使用できない場合が多い。災害復旧のための補修材料として、アスファルト乳剤やカットバックアスファルトによる常温混合物を常備しておくことが望まれる。

これらの常温混合物は、袋詰めによって1～3ヶ月の保存が可能であり、また日常的な舗装の維持管理にも使用することができる。アスファルト舗装要綱²⁾には、「常温混合物は加熱混合物と比較すると、初期の安定性や耐久性に劣り、養生期間が必要であるが、大型車交通量の多い道路にあっても緊急性を要する場合には暫定的に使用するとよい」と明記されている。

参考文献

- 1) セメントコンクリート舗装要綱、日本道路協会、昭和61年
- 2) アスファルト舗装要綱、日本道路協会、平成4年



図一1 交差点周辺のひびわれ



写真1 橋台背後の路面すり付け状況



写真2 路面の波状変形（その1）



写真3 路面の波状変形（その2）



写真4 交差点周辺のひびわれ（その1）



写真5 交差点周辺のひびわれ（その2）



写真6 歩道舗装の破損（その1）



写真7 歩道舗装の破損（その2）



写真8 陥没による損壊

道路ネットワーク機能

担当者 東北大学 稲村 肇

筑波大学 石田東生

1. はじめに

阪神大震災は神戸、芦屋、西宮、淡路島を中心に莫大な被害を与えた。道路、鉄道、港湾といった交通機関も例外ではなく、その被害は空前のものである。交通機関の損傷の影響はその復旧に要する費用のみの問題ではなく、災害直後の救援活動、生活支援物資の輸送のみならず、現在必死に続けられている復旧活動にも大きな影響を与えている。

交通渋滞が現在の最も大きな問題の一つであることは論を待たない。被災地およびその周辺における交通渋滞は生活支援物資の輸送、復旧のための災害廃棄物の輸送、復旧関連物資の輸送の大きな障害になっているばかりか、被害が軽微な産業の操業再開あるいは操業継続の妨げとなっている。こうしたことから交通渋滞の緩和が焦眉の課題であり、このための交通計画が今求められている。

分断された交通ネットワークの復旧は他の分野において大きな努力がなされているため、ここでは所与とされる日々変化する交通ネットワークの下でいかに効率よく交通需要を満たしてゆくか、すなわち適切な交通管理計画・交通規制計画が課題であり、目的となる。いま神戸市の港湾は全力を尽くして復旧中であるが、一般貨物の流動面からはあまり期待できないため考慮の対象からのぞく。

2. 道路交通の現状

2. 1 調査の目的

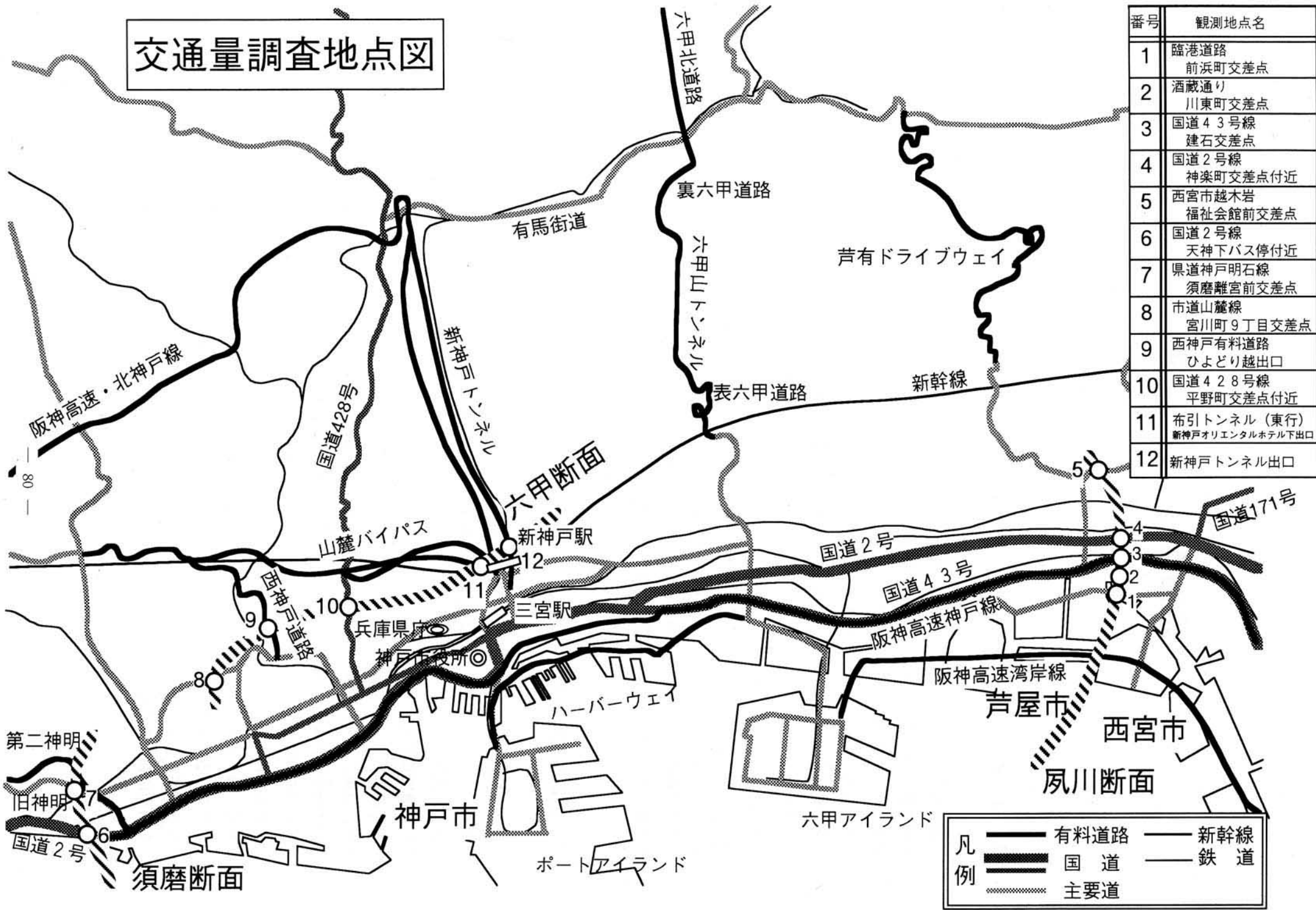
上記の目的を果たすためには、まず交通管理・交通規制の対象地域を設定し、交通の現状を把握する必要がある。

1) 対象地域の設定

被災地は上記のように極めて広いが復旧の障害となっている交通渋滞が生じている地域は神戸市の須磨区以東、西宮市以西、六甲山脈以南の東西25km、南北5km程度の帯状の地域である。これらの地域を包含し、かつ道路交通のネックを含むラインは現地踏査によれば東が夙川に沿った南北のライン（これを以下、夙川断面と呼ぶ）、西は妙法寺川に沿った南北のライン（以下、須磨断面と呼ぶ）および神戸・芦屋・西宮を北から覆う六甲山脈を越える東西のライン（以下、六甲断面と呼ぶ）である。繰り返すが震災被害はもちろんこの範囲に限定されているわけではないが、交通計画上問題を生じている地域の最大の広がりという観点からの地域の設定である。（以下、この地域を交通管理地域と呼ぶ）交通管理地域が図-1に示されている。

各断面における道路車線数と通行可能状況が表-1に示されている。

交通量調査地点図



番号	観測地点名
1	臨港道路 前浜町交差点
2	酒蔵通り 川東町交差点
3	国道43号線 建石交差点
4	国道2号線 神楽町交差点付近
5	西宮市越木岩 福祉会館前交差点
6	国道2号線 天神下バス停付近
7	県道神戸明石線 須磨離宮前交差点
8	市道山麓線 宮川町9丁目交差点
9	西神戸有料道路 ひよどり越出口
10	国道428号線 平野町交差点付近
11	布引トンネル(東行) 新神戸オリエンタルホテル下出口
12	新神戸トンネル出口

凡例

有料道路

新幹線

国道

鉄道

主要道

図-1

表－１ 交通管理地域境界の道路車線数と通行可能状況

交通断面	道路名	車線数	通行可能車線数
夙川断面	阪神高速道路湾岸線	4車線	通行不可
	臨港道路	2車線	通行可
	阪神高速道路神戸線	4車線	通行不可
	国道43号線	8車線	4車線のみ交通可
	国道2号線	4車線	通行可
	芦屋宝塚線	2車線	通行可
	小計	24車線	12車線通行可
六甲断面	表六甲ドライブウェイ	2車線	
	新神戸トンネル	4車線	
	布引トンネル	4車線	
	西神戸有料道路	4車線	
	国道428号線	2車線	
	市道山麓線	2車線	
	小計	18車線	18車線通行可
須磨断面	第二神明道路	4車線	
	県道神戸明石線	4車線	
	国道2号線	4車線	
	小計	12車線	12車線通行可
総計		54車線	42車線通行可

表－２ 交通特性調査

交通断面	道路名	観測地点	時間
夙川断面	阪神高速道路湾岸線	―――	
	臨港道路	前浜町交差点（平面）	20分
	酒蔵通り	河原町交差点（平面）	10分
	阪神高速道路神戸線	―――	
	国道43号線	建名交差点（歩道橋）	20分
	国道2号線	神楽町交差点西（階段）	20分
	芦屋宝塚線	武木岩福社会館交差点（平面）	10分
六甲断面	表六甲ドライブウェイ	未調査	
	新神戸トンネル	トンネル出口	20分
		新神戸駅開口部（入口）	20分
	布引トンネル	トンネル出口	20分
		Op e r 出口	20分
		新神戸駅開口部（上記とMix）	――
	西神戸有料道路	ひよどり出口（歩道橋）	20分
	国道428号線	平野町交差点付近（公園）	15分
須磨断面	市道山麓線	宮川町9丁目交差点	15分
	第二神明道路	交通止	
	県道神戸明石線	離宮西町交差点（歩道橋）	20分
	国道2号線	天神下バス停付近（歩道橋）	20分

2. 2 交通調査の考え方

交通管理・交通規制のために我々が知りたい最大限の情報は以下の2点である。

- ①地域別車種別OD交通量および走行経路
- ②全てのリンクの車種別交通量

しかし、こうした情報を広い交通管理地域全体に関して知ることは不可能である。従って、最小限度の調査で最大限の情報を得るための調査法を考える。

- 1) 域内の混雑の原因を他地域からの流入交通を主因と考え地域境界線の交通管理、交通規制を考える。この際は
 - ①地域境界線における断面交通の交通特性の解析を行えば最低限の提案は可能と思われる。
- 2) 交通混雑の原因の究明と改善策の提案のためには
 - ②路側OD調査
 - ③交通の発生・集中量の推計が、必要となる。路側のODサンプル調査およびその交通目的別の発生集中交通量が把握できれば、交通管理地域内の外部から交通の影響はほぼ把握が可能である。
- 3) 地域内のみで流動する交通は非常に多いと予想され、その把握は非常に困難である。ただし廃棄物の輸送や復旧工事に従事している交通を把握することは以下の調査により部分的に把握が可能と考える。
 - ④廃棄物処理拠点におけるOD調査
 - ⑤廃棄物の分布と処理場の分布調査
 - ⑥車種別車両数および平均トリップ長調査
- 4) その他、業務交通、私用交通は
 - ⑦路側OD調査
 - ⑧断面交通量調査から推計する必要がある。

2. 3 交通調査の方法

ここでは現地で実際行った地域境界線における断面交通調査および交通特性の解析法について述べる。調査対象地点は2. 1の目的で述べた道路の交通状況を把握すべく、具体的には表-2に示す地点で行った。

観測時間は10分から20分と非常に短い。調査はビデオによる観測である。

短時間による観測のため、断面交通量を十分に把握できない場所が存在する。それらは以下の通り。

- 1) 臨港道路前浜町交差点
- 2) 国道43号線建名交差点
- 3) 新神戸トンネル出口
- 4) 布引トンネル出口
- 5) 市道山麓線宮川町9丁目交差点

調査目的は断面交通量を知ると共に渋滞改善策の提案にある。したがって、断面交通は以下のような分類で解析する必要がある。

1. 自転車, バイク — 使用道路面積が少ない
2. 乗用車, バン — 交通の障害となる
3. 小型トラック (2 t 以下) — 改善の余地あり
4. 中型トラック (4 t 以下) — 車両数が多い. 細街路に入れない
5. 大型トラック (5 t 以上) — 効率はよいが細街路に入れない
6. 工事用車両, 清掃車 — 復旧に不可欠

2. 4 調査結果

表-3, 表-4 はそれぞれ交通管理地域内への交通の流入, 流出のビデオによるカウントの結果を示している. 臨港道路からの流入, 43号線の流出入, 六甲断面新神戸出口, 布引出口, 山麓線宮川町からの流入は交通渋滞によって明らかに交通量が低下している. したがって, 本調査における交通量の推定に大きな誤差が生じることは明らかである.

2. 5 考察

こうした交通量調査の結果を平常時交通量と比較をすれば以下の通りである.

	平常時	2月1日	残存率	2月8日*
阪神高速道路湾岸線	24,000台	0台		
阪神高速道路神戸線	86,000台	0台		
国道43号線	65,000台	11,000台	17%	14,200台 22%
国道2号線	28,000台	30,000台	107%	25,600台 91%
酒蔵通り	---	2,700台	---	
臨港道路	---	9,500台	---	13,900台
芦屋宝塚線	---	3,400台	---	
4幹線	203,000台	41,000台	20%	39,800台 20%
+臨港道路	---	50,100台	---	53,700台

* 関西5大学共同調査 (11時間調査)

本調査は前記の通り, 極めて短い時間の調査結果を12時間交通量に拡大したものであり, 多く述べることはできない. しかし, いずれにしても車線数は22車線から10車線に45%となったにも関わらず, 交通量は20%程度 (かなり不確実である) に減少している. これは道路規格の相違と共に渋滞による影響と考えられる (酒蔵通り, 芦屋宝塚線は乗用車が多いことと, 路線が途中で幹線道路に合流していることから考察から削除した). しかも, この夙川断面においては交通規制の結果90%以上が緊急車両として許可を得た車であることが観測からわかっている. たとえ残された10車線だけでも, 適正な交通量管理とある程度の交差点の改良によって, あと15,000台程度の交通量の増加すなわち主要2幹線と臨港道路で断面容量を65,000台程度にあげることは可能と思われる.

また, 識別可能なオープンタイプのトラックだけの比較であるが, トラック総数972台に対し空車が394台と実に40%に達している. 有蓋車も同様と考えれば交通容量の減少している現在, 空車の削減は大きな課題といえる.

この表からまた明らかなことは, 規制のない須磨断面や六甲断面西部において乗用車が非常に多いことである. これが山手幹線をはじめとする神戸中心部の交通混雑の大きな原因の一つとなっていることが窺われる.

表－3 調査結果（交通管理地域への流入）

交通断面 道路名	自転車	バイク	乗用車	2t以下トラック、ワゴン			4t以下トラック			5t以上トラック			工事 清掃	4輪 合計
				有蓋	無実	無空	有蓋	無実	無空	有蓋	無実	無空		
夙川断面 西行き														
臨港道路前浜町	16	23	51	17	8	5	8	4	4	12	5	5	4	123
酒蔵通り河原町	4	4	19	2	2	0	1	0	1	0	0	0	0	25
43号線建名	1	20	23	10	6	8	5	5	5	6	4	6	19	97
2号線神楽町西	59	59	130	67	13	8	18	15	17	26	17	20	21	352
芦宝福祉会館	3	9	51	5	1	4	0	0	1	3	0	0	0	65
小計	83	115	274	101	30	25	32	24	28	47	26	31	44	662
六甲断面 南行き														
新神戸出口	0	3	50	9	9	1	10	4	3	5	1	0	3	95
布引出口	0	6	38	5	1	0	21	1	1	8	6	3	4	88
Oper出口	0	13	77	9	1	5	3	2	1	0	0	0	1	98
西神戸ひよどり	0	14	126	24	11	5	3	1	2	2	0	0	0	174
428号平野町	0	37	338	28	17	32	9	2	8	7	3	5	5	454
山麓線宮川町9	1	18	103	11	11	11	1	0	0	0	0	0	3	140
小計	1	91	732	86	50	54	47	10	15	22	10	8	16	1049
須磨断面 東行き														
神戸明石線離宮	0	51	242	38	23	16	3	7	6	9	11	11	6	372
2号天神下バス	35	201	282	31	17	18	10	3	6	2	6	7	18	400
小計	35	252	524	69	40	34	13	10	12	11	17	18	24	772
総計	157	458	1530	256	120	113	92	44	55	80	53	57	84	2484

表－4 調査結果（交通管理地域からの流出）

交通断面 道路名	自転車	バイク	乗用車	2t以下トラック、ワゴン			4t以下トラック			5t以上トラック			工事 清掃	4輪 合計
				有蓋	無実	無空	有蓋	無実	無空	有蓋	無実	無空		
夙川断面 東行き														
臨港道路前浜町	10	15	81	20	11	5	6	6	2	0	5	3	0	139
酒蔵通り河原町	1	2	9	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	13
43号線建名	5	76	66	13	15	11	26	11	15	19	11	5	27	219
2号線神楽町西	68	134	237	80	44	18	26	27	8	11	13	7	22	493
芦宝福祉会館	0	10	83	12	4	4	2	2	1	1	0	0	0	109
小計	84	237	476	126	76	39	60	46	26	31	29	15	49	973
六甲断面 北行き														
新神戸駅開口部	0	62	341	48	41	11	20	21	12	5	16	3	11	529
西神戸ひよどり	0	18	142	18	7	3	6	8	1	0	0	0	0	185
428号平野町	1	31	207	13	20	8	9	14	3	3	7	1	4	289
山麓線宮川町9	3	26	72	7	13	4	3	1	0	0	0	0	2	102
小計	4	137	762	86	81	26	38	44	16	8	23	4	17	1105
須磨断面 西行き														
神戸明石線離宮	1	27	137	14	7	11	2	7	4	4	9	1	5	201
2号天神下バス	10	39	159	30	25	16	15	11	2	5	3	9	17	292
小計	11	66	296	44	32	27	17	18	6	9	12	10	22	493
総計	99	440	1534	256	189	92	115	108	48	48	64	29	88	2571

2. 6 被災地に対する提言

今回の地震で最も被害を受けたのが神戸中心部および東部の芦屋市、西宮市であった。交通機関は東部・中心部で壊滅的な被害に遭い、神戸港の壊滅と共に住民生活のみならず、経済活動に重大な打撃を与えた。交通機関の復旧はもちろん緊急の課題であるが、その復旧が相当の長期に亘ることが明らかになった現在我々がなすべきことは残された施設を最大限に利用し、その被害の拡大を押さえることである。緊急調査の限界から現時点で提言できる政策に限界があることは残念であるが、若干の勇気を絞って個人的な提言を記したい。もちろんこの提言から生じる一切の責任は著者にあることをここに明記する。

1. 最も重要な夙川断面において、緊急自動車のみで交通渋滞が生じていることが明らかとなった。これは全ての物資が不足した当初の3日間またはそれ以降の通行許可が全国各都道府県の公安委員会、警察署で交付されたためと思われる。2週間を過ぎた現在現地の状況は安定し夜間の交通量は減少している。夜間の交通容量を活用するために通行許可を含め緊急車両の見直しが是非必要である。大胆に言えば交通管理地域を定め、そこに出入りする車両に対して以下のような基準が考えられる。

夜間のみでよい車両

生活支援物資輸送車、復旧工事用車両、復旧物資輸送車（緊急度の低い物資）、報道用車両

緊急度の高い車両

警察、消防等通常の緊急車、復旧物資輸送車（緊急度の高い物資）、通常の生産活動・商業活動に不可欠な物資の輸送車、バス

2. 宝塚芦屋線、須磨断面、六甲断面西部において乗用車に比率が非常に高くこれが市内の渋滞に拍車をかけていると考えられる。したがって、それら道路のかなり強い乗用車の制限およびバスサービスの充実が必要と考えられる。
3. 全断面においてトラックの空車率が非常に高い。これは物資輸送車の帰り便、廃棄物輸送車の帰り便等、必然的な空車と思われる。しかし、限られた交通容量を有効に使うためには以下のような政策によって空車率を下げることが提案される。

空車が通過する管理地域の外縁部近傍に復旧材料のストックヤードと荷役機械を置き、空車による進入を減少させる。

空車が発生する管理地域内の近くに廃棄物等搬出物資の集積場所を設置し、空車による流出を減少させる。

4. 製造業・商業等の倒産を防ぐためには、こうした産業に必要な物資の輸送が何にも増して優先されるべきである。したがって、復旧工事にあたっては工事によって健全な道路の利用を妨げないような配慮が必要となる。例えば、阪神高速道路神戸線の復旧は3年ほどかかると想定されている。3年間、工事用に国道43号線の4車線を利用することは是非避ける必要がある。たとえ復旧が遅れても、高架下の43号線の8車線を生かしたまま復旧工事を進める方法を考えるべきだろう。物流が減少したら神戸市の産業も減少してしまう、これは取り返しのつかない問題である。

同様に港湾でいえば外貿コンテナバースの復旧より、内貿のフィーダーバース、廃棄物積み出し用岸壁、復旧材料受け入れ岸壁の整備が優先されるべきと考える。

5. 先に示したように阪神高速道路神戸線は86,000/日の交通を受け持っていた大動脈である。この復旧を3年待つわけにはいかない。阪神高速神戸線の復旧よりも代替ルートの新規建設を優先すべきと思われる。(復旧見通しについては章末参照)
6. 道路の交通容量は主として交差点容量によって決まってくる。全面復旧が早急に見込めない現在、既存の道路の交通容量を交差点の改良によって少しでも上昇させることをは緊急の課題であるといえる。当面の緊急に容量増加が望まれるのは国道43号線、国道2号線、および臨港道路である。どの道路の交通容量を上げるのが最も容易か、またどの交差点を改良すべきかを決定することは容易ではない。しかし、緊急に調査を実施し早急な提言を行うことは肝要である。ただし、交通のボトルネックは連続している場合が多いため渋滞を隣接交差点に移すに止まることは避けなくてはならない。

補注)

上記の提言で通常の生産活動・商業活動に不可欠な物資の輸送車のプライオリティーが高いことに不審をいだく関係者もいるかもしれない。しかし、このことは以下の考察によるものである。

報道も少なく、一般に忘れ去られているように感じられるのが生産用一般材料および製品の輸送である。しかし、これこそが神戸の復興の鍵になることを考えるべきである。神戸市内の産業の殆ど全てが直接的、間接的に神戸港あるいは夙川断面の道路に頼っているはずである。上記のように港湾は殆ど壊滅し、夙川断面における交通量も極めて楽観的に見ても震災前の約1/3に低下している。しかも道路の復旧予想や上記の復旧物資の輸送を考えたとき、この状況は少なくとも1年程度は大きな改善は見られないことが予想される。神戸市内の産業は被害を受けた産業はもちろんのこと被害のなかった産業もこうした交通状況の中で100%操業ができるとは思えない。1年の操業停止で生き残れる企業は皆無だろう。この交通状況でどれだけの産業が復活できるだろうか？これの答えは交通施設の早期復旧もあるが、残された交通施設をいかに効率的に運用するかに係っている。製造業や運輸業の衰退は失業を招き、失業は人口減少を招き、人口減少は商業の衰退を招く。こうした被害をいかに減少させるかが交通に係っている。

先に述べたように夙川断面においては、震災前は幹線20車線で20.3万台/12hの交通量があった。神戸港では1年間に9.2万隻の船が出入りし、830万人の人と1.7億トンの貨物が扱われていた(1991年)。これによって神戸市の経済が支えられていたのである。

2. 7 今後の交通計画に対する提案

今回の震災は交通面からは最悪の都市で最悪の場所を襲ったといつて良い。これは以下の3点からいえる。

- 1) 神戸は南を海、北を六甲山脈に囲まれた東西に長い都市であり、交通体系が東西方向に集中していた。
- 2) 神戸は阪神工業地帯の一角をなし、特に東の大阪、京都との関係が強くその東断面を災害が直撃した。
- 3) 神戸は札幌・仙台・福岡といった同規模の都市に対し、港湾と道路に特に依存する二次産業が多く立地していた。

今回の震災を交通面から特徴づけると高架・橋梁部分の被害が大きいのに対し平面道路の被害は相対的に小さかった。直下型地震であったため带状に狭い地域の被害が甚大であった。こうしたことから今後の交通計画に対し、以下のことが提案される。

- 1) 高架道路と平面道路は地震の特性によって著しく被害が異なるため、両方のシステムをバランスよく持つことが道路の残存量を高める、いわゆる災害に強い交通体系となる。

(神戸の東断面は交通量の約3/4(20万台/日のうち15万台/日)を高架道路(阪神高速)および高架下道路(43号線)に頼っていた)

- 2) 被害の大きい直下型地震の被害は狭い地域に集中するため同じ複数の高架道路でも地理的に離れた地点に建設することにより、残存可能性は高くなる。
- 3) ある断面が破壊された時の迂回路の確保が重要である。この場合迂回長を最小に出来るのが環状道路である。環状道路を複数持てば残存する道路を有効に利用することが可能となる。
- 4) 港湾に関しては震災に強い耐震岸壁の整備が望まれるが、代替港の整備が重要となる。代替港からのアクセス道路の重要性はいうまでもない。

上記の提案は神戸の場合は地形上ほとんど不可能であった。しかし、その他の都市に関しては出来るかぎり、こうした交通ネットワークを整備することが災害に強い都市づくりとなると考える。

3. 物資流動の現状

3. 1 調査の目的

被災地の生活支援、災害復旧にとって物資の輸送は根本的問題である。物資輸送が効率化されることによって被災者の生活は安定が期待されるし、復旧工事も円滑に進むことになる。これはまた被災地内の交通渋滞の緩和にも寄与することが期待される。被災地内にとって重要な物資は以下のように分類される。

- 1) 生活支援物資、2) 廃棄物、3) 復旧関連物資、4) 生産用一般原材料・製品

これらの全てが重要であるが、今回は特に現在重要と思われる生活支援物資の流動を把握することにした。

3. 2 調査の考え方と調査方法

神戸市を例に取れば生活支援物資の流れは大きく分けて次のように分類される。

- ①全国の団体・個人から神戸市役所を通して住民に流れる救援物資
- ②神戸市が直接調達して住民に配布する物資
- ③全国の団体・個人から各区役所に直接輸送され住民に配布される物資
- ④全国の個人から個人に輸送される物資

これらの物資の流れは震災の当初から現在に至るまで急速に変化している。調査時点の2月1, 2, 3, 4日においては既に2週間を経過しており、緊急時における流れを追うことは不可能であるし、また今後の施策にとって重要性も低いと考えられる。したがって、過去のことは知りうる限りのことに限定して現在の流れについて出来る限りの調査を行う。

上記のように生活支援物資の流れは複雑であるが、その多くは市役所、区役所といった行政体を通して行われているため、ここでは各行政体の担当者に対するヒアリングを中心とし、それを確認する意味で物流の拠点、物流の最終目的地である緊急避難所等で調査を行うこととした。

3. 4 調査結果

前記のように生活支援物資の流れは日々変化しているため、神戸中央区役所(今村地域福祉課長)および神戸市役所(鍋島民生局国民年金係長)の話を中心にまとめる。

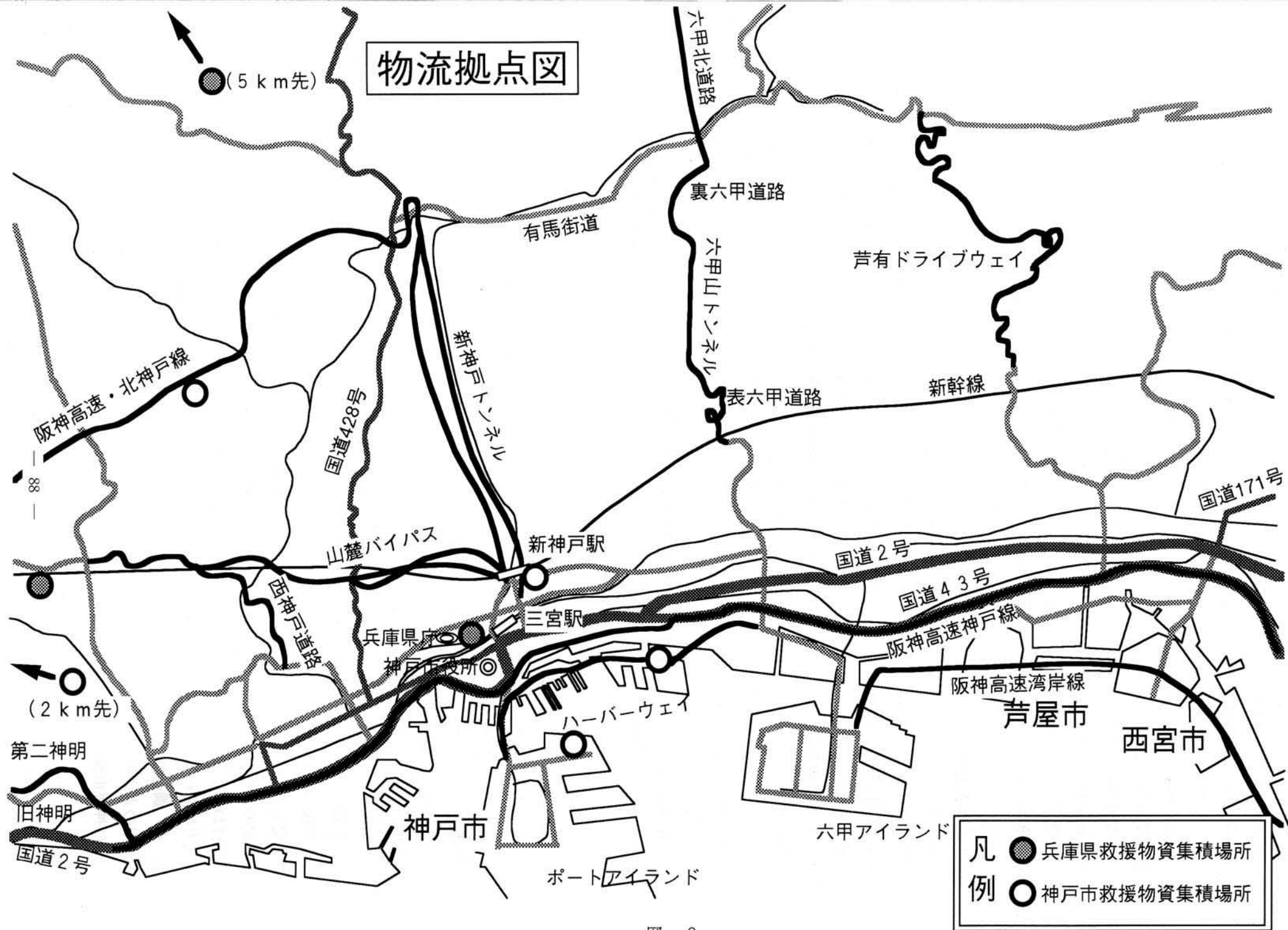


図-2

(1) 緊急時－3日まで

震災直後から神戸市は少しでも早く物資を末端まで流通させるために各団体、個人からの救援物資を区役所に直接輸送させた。中央区の場合、区内を葺合北、葺合南、生田北、生田南の4ブロックに分割し4班構成で80あまりの避難所を中心とし物資の輸送にあたった。1月17、18日は食料、衣料、毛布といった緊急物資が全く不足しており、この供給体制は成功したといえる。しかし物資の積み卸し、配送を区役所職員およびボランティア（地元土木会社による安全協力会）に頼っており、更に物資は24時間間断なく到着するため徐々に限界に達してきた。19日（3日目）に入ると物資があふれだし、区役所地下駐車場はもとより、前面歩道から国道の歩道までに溢れ、荷卸し、配送すらが困難になった。それと共に地域差はあるものの基本的に食料は充足し、必要な物資も多様化してきた。

(2) 2週間まで

上記の状況をふまえ、神戸市は4日目から物資の配送拠点を設けた。それらは以下の5カ所である。

- ①摩耶埠頭倉庫 ②新神戸駅 ③シルバーカレッジ（北区） ④グリーンアリーナ（須磨区）
⑤ 六甲アイランド、のちポートアイランド第6コンテナ埠頭倉庫（PC6）に変更（図-2参照）

この頃からの救援物資の受け付けは、受け付け票によって神戸市役所厚生年金課で一括して行ない、各配送拠点に運び込まれることになった。このデータは地域福祉課の管理下でボランティアによってデータベース化がされている。その後すぐに、物資量の増大、輸送距離の増大により市役所職員およびボランティアによる物資の仕分け、配送は限界に達した。そこで神戸市はそれらの業務を外注することとした。2月3日現在の人員・車両配備計画は以下の通り。

人員・車両配備計画（2月3日現在）

1. 民生局（物資搬入、本庁－区・拠点間）					
安全協力会	トラック23台	夜間5台	12人（24時間／3交代）		
島根県		10台（2t-10t）	29人（昼間のみ）		
日産ジーゼル		2台			
三星			19人（昼間のみ）		
計	35台		93人		
2. 区役所（物資搬入、区役所－避難所）2／1現在					
		市職員	2人×3交代		
東灘区	134カ所:54,585人	日通2台、ヤマト2台、矢作1台、西濃3台	計	8台	
灘区	93カ所:40,394人	日通2台、ヤマト5台、矢作1台、赤帽4台	計	12台	
中央区	85カ所:37,062人	日通1台、フットワーク2台	計	3台	
兵庫区	92カ所:22,255人	日通1台、赤帽4台、ヤマト3台、矢作2台	計	10台	
北区	19カ所: 947人	赤帽1台	計	1台	
長田区	79カ所:54,040人	日通1台、建築協力会3台、山九3台、トナミ3台 赤帽3台、ヤマト3台、安藤建1台	計	17台	
須磨区	49カ所:19,810人	フットワーク3台	計	3台	
北須磨	17カ所: 515人	日通1台	計	1台	
垂水区	30カ所: 2,076人	日通1台	計	1台	
西区	13カ所: 515人	日通1台、矢作1台、白石2台	計	4台	
3. 物流拠点					
①摩耶埠頭倉庫	配送エリア：東灘区、灘区	（配送：日通）	60台,64人	夜間19人,7台4台	
②新神戸駅	配送エリア：中央区、兵庫区、長田区	（配送：佐川急便）	40台,120人（24時間）		
③シルバーカレッジ	配送エリア：北区	（配送：日立物流）	28台,58人		
		安全協力会45人, 渋沢10人, 中高年組合, 昼, 夜10人			
④グリーンアリーナ	配送エリア：垂水区、須磨区	（配送：ヤマト運輸）	3台,12人.		
		安全協力会7人（2交代）			
合計			131台, 348人		

4. 倉庫

- | | | |
|---------|-------------------|-----------------------|
| ⑤ K-ACT | すぐに配送の予定のない物のストック | 港湾土木協力会20人, フォーク4台 |
| ⑥ PC6 | すぐに配送の予定のない物のストック | イノウエ30人(24時間), フォーク1台 |

5. 郵便小荷物の配布(西体育館)

安全協力会 トラック5台 16人, 大阪市 トラック4台 4人 (2月4日以降 外語大学)

6. 小包み集配(堺市役所)

外語大学 トラック1台, 軽トラ2台 6人

7. 衛生局(医療班)

近畿タクシー 10台 マリントタクシー マイクロ1台

8. 環境局(路上荒ゴミ収集)

中高年企業組合 5台 県建設業協会 34台

9. 経済局

土木協力会 ライトバン1台

10. 長田区

赤帽1台

総計 2月3日 284台 549人 フォーク13台
(参考 2月2日 294台 547人 フォーク13台)

(3) 2週間以降

1) 生活支援物資

食料は主食は神戸市が外注し、製造工場から各避難所に朝夕2食、弁当を運んでいる。副食(お菓子等)、日用品等は各物流拠点から配送しているが、必要物資量はかなり減少している。すなわち、毛布や衣料はほぼ行き渡っており、風呂の設置に伴う灯油やシャンプー、その他が輸送されている。避難所では多くのボランティアが働いている。

(避難所におけるヒアリングによる)

2) 廃棄物

家庭廃棄物の収集が滞っていることは、被害地を歩いて観察される 災害廃棄物は未だ殆ど手が付いておらず(1%以下と思われる)、市内を走る廃棄物運搬車はわずかである。廃棄物処理に関しては十分な調査ができなかった。

しかし、災害廃棄物処理は今後重要となってくることは確かである。災害廃棄物の量は1千万トンとも言われている。もし、この廃棄物を4トントラックで輸送すると仮定すれば250万台ということになる。現在の夙川断面の交通量がわずか2万台/日ということを考えればいかに莫大な量であるかが想像できるだろう。もちろん災害廃棄物のかなりの部分は木材等可燃物であり、現在すでに埋め立て地における焼却が始まっているように被災地を南北に走る交通であり、大きな問題となっていない。しかし不燃物の量も莫大であり、これは交通管理地域の内外で埋め立て処分等がなされる必要がある。港湾の壊滅はこの点から致命的であるといえる。廃棄物をこの夙川断面を通過させることは殆ど不可能であり、廃棄物積み出し用の港湾の早期暫定復旧、および早急な交通需要の把握と輸送方法を検討する必要がある。

3) 復旧関連物資

復旧関連物資の物流も調査時間の不足により、調査できなかった。しかし、ラフに考慮し損壊した物を全て復旧すると考えれば災害廃棄物とほぼ同じ量の復旧資材が必要となることは明らかであろう。復旧物資の荷姿は災害廃棄物とは異なり、かつ大型車が使用できることから交通に対する負荷は同じ1千万トンでも異なってくる。しかし、こうした交通需要も夙川断面を使用することは困難であり、港湾の復旧が待たれる。建設資材に関してはできる限り港湾を利用するにしても、なお陸上輸送に頼る部分が多い点も否定できない。したがって、これに関しても早急な需要予測と輸送手段の検討が不可欠だろう。

4) 生産用一般原材料・製品

残念ながら本調査においてはこれら生産用一般原材料の流動を知ることはできなかった。しかし、10兆円といわれる直接被害に増して先の補注で述べたように生産物資の流動を通しての間接被害が広がるのはこれからである。官民学が一体となった早急なる調査と対応策の検討が望まれる。

4. まとめ

今回の調査は準備期間の不足と調査時間の不足により、有効な政策提言につながる、科学的根拠を必ずしも明確に出来なかった。特に後段の物資流動に関しては生活支援物資の流動の一部をとらえたに過ぎず、旅客流動に関しては触れることさえ出来なかった。具体的な提案はもちろん交通・物流・人流の全てを十分に把握した後なされなければならないことは当然である。しかし、事態の深刻さ、事態の緊急性に鑑み、あえて2.6に若干の大胆な提言を記した。異論・反論も多々あると思われ、著者の認識の過ちもあるかと思われる。しかしそれらは全て著者自身の責によるものであり、調査団あるいは学会にないことをここに明記する。更なる具体的な提案は十分な調査とその解析結果を待つ必要があります。全国の関係者、ボランティアの皆様のご協力を期待するものであります。

5. 今後の調査方針

5.1 交通調査

前記のように調査時間の制約により、道路によっては十分な結果が得られていない。しかし、今回の結果はあくまでもプレ調査であって、概況を把握するに止まっている。今後はこの調査を継続的に行ってゆく必要がある、幸い関西の諸大学の協力体制が出来つつあるため今後は以下の調査を行ってゆくつもりである。

①地域境界線における断面交通の交通特性の解析

- ・時間変動が激しいため12時間の連続調査の実施
- ・曜日変動が激しいため1週間の連続調査の実施
- ・長期的動向を把握するための継続調査

当初3カ月――週一回の継続調査

その後半年――月一回の継続調査

可能であれば、主要渋滞箇所における、断面交通量調査

- ・渋滞箇所は航空写真から判読する。

②路側OD調査

地域境界線における車種別の路側OD調査

③交通の発生・集中量の推計

可能であれば、主要渋滞箇所における路側OD調査

④廃棄物処理拠点におけるOD調査

行政における生活廃棄物および災害廃棄物の処理計画の把握（ヒアリング）

廃棄物処理場における運転手に対する聞き取り調査

⑤廃棄物の分布調査

災害廃棄物の分布は倒壊家屋、破壊構造物の分布を行政体から収集する。

⑥工種別車両数および平均トリップ長調査

復旧工事に従事している全車両を各組織毎に把握し、活動範囲から平均トリップ長を推計する。

例：水道工事、土木工事

5. 2 物資流動調査

今回の調査は生活支援物資の輸送を中心にして調査を行った。これらは緊急時（3日間－1週間）はその重要性は高いが、少なくとも交通面からはその重要性を失いつつある。生活支援物資輸送に関して今後必要な調査は以下の通り。

①神戸市地域福祉課のデータベースを入手しその物資の流動特性を解析する。

②兵庫県の取り扱い分に関して同様の調査を行う。

③芦屋市・西宮市に関して同様の調査を行う。

災害廃棄物は焼却可能な量の推計と他地域へ輸送する量の交通需要予測が第一となる。

④焼却廃棄物と地域外輸送廃棄物の発生量とその分布

⑤廃棄物の種類別処理施設の分布と処理可能量の調査

時系列の交通負荷を知るためには

⑥災害廃棄物の発生地における処理能力の調査

⑦交通経路の解析

復旧物資の集中量と輸送量、輸送手段は

⑧復旧計画の把握と復旧物資の輸送計画

によって可能である。

生産用一般原材料・製品の流れはまず、

⑨産業別の被害状況とその分布

を知る必要がある。各産業の必要物資は以下のデータの解析によって可能と考える。

⑩阪神都市圏物資流動調査

⑪全国幹線貨物純流動調査

⑫陸上出入り貨物調査

⑬神戸市産業連関表

こうした解析と交通施設の復旧状況、一般貨物に割り当てられる交通容量により、神戸市の産業の復旧と被害を最小限に押さえるための交通政策の提言が可能になると考える。

廃棄物処理

担当者 大阪大学 松井 保、筑波大学 石田 東生

1. はじめに

阪神・淡路大震災によって1000万トンとも2000万トンともいわれるがれきが発生した。これらのがれきの多くは本来的には、「建設副産物」であり、建設副産物の再資源化の目標を定めたリサイクルプラン21にしたがって適正に処理されることが要請されるが、今回はがれきが極めて限定された地域において一時に大量に発生したものであり、処理については多くの困難性・問題点を有している。処理の緊急性・がれきの量を考慮すると、再資源化の道は非常に困難であり、本来的には原材料としてのポテンシャルを有している「建設副産物」ではあるが、その大部分は廃棄物として適正に処理せざるを得ないと考えられる。したがってここでは、「がれき」を「災害廃棄物」として捉え、その現状、問題点、等について述べる。

補注： 「建設副産物」とは建設工事に伴い副次的に得られる物品であり、そのまま建設工事の原材料ともなりうる建設発生土、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊のように再生資源として利用可能なもの、及び原材料として利用不可能な廃棄物に分類できる。

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物法）」によれば、「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃えがら、汚でい、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物または不要物である。また事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃えがら、汚でい、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類その他政令で定める19種の廃棄物を「産業廃棄物」、それ以外を「一般廃棄物」と呼んでいる。またこのうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康または生活環境に関わる被害を生ずる恐れのあるものを「特別管理廃棄物」という。廃棄物の処理を定めた廃棄物法における廃棄物の種類はこれだけであり、阪神・淡路大震災に関していわれる「災害廃棄物」は定義されていないが、廃棄物法22条には災害その他のときに特に必要になった廃棄物の処理を行うために要する費用の一部を国は補助できる旨を定めてあるので、これを意識して慣用的に災害廃棄物といわれている。したがって、この報告では震災によって破壊された土木構造物、建築構造物（家屋、ビル等）の「がれき」のことをいう。

2. 調査方法

調査は関係機関へのヒアリングと廃棄物仮置き場の現場調査ならびに主要道路での運搬状況の観測から構成される。

訪問先：神戸市廃棄物対策本部、西宮市倒壊家屋処理対策室、建設省建設経済局事業調整官

仮置場：甲子園浜、西宮浜、魚崎浜、灘浜

道路：西宮市夙川断面（国道2号線、国道43号線、臨港道路等）

：須磨区妙法寺川断面（国道2号線、県道須磨明石線等）

：六甲断面（国道428号線、新神戸トンネル等）

3. 廃棄物の現状

3. 1 災害廃棄物

(1)災害廃棄物の量と分布

災害廃棄物の総量と分布は一次的推計値が公表されている。1月26日に厚生・建設・運輸の3省連絡会が公表したところによると住居・建築物からのものが500万 m^3 /600万トン程度、道路・鉄道・港湾等公共施設系からのものが300万 m^3 /500万トン程度となっている。また2月4日に兵庫県が公表したところによると住宅・建築物系の破損によるものが650万 m^3 /780万トン程度、鉄道等公共施設系（道路、河川は含まない）からが300万 m^3 /500万トン程度である。これらはいずれも構造物の倒壊・破損量に原単位を乗じて推計したものである。兵庫県の公表値が3省連絡会のそれよりも大きいのは、被害の把握程度が深化したことによると思われる。今後の処理計画の策定にまず正確な災害廃棄物の量と分布の把握が望まれる。

(2)撤去

災害廃棄物の撤去は始まったばかりであり、多くの廃棄物が放置され街路の通行等を妨げている状況も散見される（写真－1）。住居・建築構造物系の災害廃棄物には、木質系・金属系・コンクリートがら等が含まれ、またさらに家具・什器、日常生活用品や書類までも含んだ混合廃棄物となっている。これらはその性状や処理の方法が異なるので、分別したのちに処理することが重要であるが、発生地ではわずかに鉄骨・鉄筋などの金属系が分別されているにすぎず、混合された状況で仮置き場へ輸送されている例が多い（写真－2, 3）。また、上水道が十分には復旧していないため、散水等の粉塵飛散の防



写真－1 倒壊した駐車場ビルにより通行不能な街路（JR芦屋駅前）



写真－2 建築系災害廃棄物の撤去現場

（十分な分別や散水等は行われていない。長田区内）

止措置が執られていないことも問題の一つとして指摘できる。早急な処分が必要であり、処分基準の厳格な適用よりは弾力的な運用が求められることはいうまでもないが、できる範囲での配慮が必要である。

(3) 仮置き場と分別

発生地からの早急な撤去が要請されること、発生地での分別が必ずしも十分でないこと等から災害廃棄物はひとまず仮置き場へ搬送されている。しかし2月上旬までに兵庫県内で確保できた仮置き場は22カ所で約60haのみであり、十分とはいいがたい。港湾施設が壊滅的状况でありコンクリート塊等の埋立処分場への搬出ができないこと、焼却場も冷却水不足のためフルに稼働されていないため木質系の焼却減量化が進まないことが、仮置き場からの搬出の速度を低下させ、滞留量を増加させている。このため分別作業が十分には行えない状況も出始めている。復旧への要望とともに搬入の需要は、今後ますます高まることは容易に想像でき、このまま推移すると事態は非常に深刻なものとなろう。一部では木質系等の可燃物の焼却が開始されているが、野焼きを余儀なくされているため、環境への悪影響が懸念される。仮置き場のさらなる確保と廃棄物の破碎・分別・再資源化のための移動プラントの搬入設置が必要である(写真-4、5、6)。

4) 最終処分と再生資源化

焼却灰およびコンクリート塊等は海面および内陸において埋め立て処分され、金属系はスクラップとして再利用が図られる。表-1に示すように周辺の公共大規模処分場の残余容量は災害廃棄物の推定量



写真-3 災害廃棄物の運搬

(布施畑仮置き場への輸送。西神戸有料道路)



写真-4 災害廃棄物仮置き場（西宮市甲子園浜）



写真-5 木質系の仮置き場（高さ10m近くになっている）

写真-6 コンクリート系

（一応分別されているが、木質系なども混入している）

表-1 周辺公共大規模処分場残余容量

処分場名	残余容量（百万m ³ ）
フェニックスセンター（尼崎沖埋立処分場）	400
フェニックスセンター（泉大津沖埋立処分場）	1100
神戸市（布施畑埋立処分場）	800
神戸市（淡河埋立処分場）	700
大阪港北港南地区	200
堺泉北港堺7-3区	40
合計	3240

よりもはるかに大きく一応受け入れ可能のように見える。しかし、一般廃棄物の受け入れとの競合もあり、分別・焼却による減量化とさらなる容量の確保の重要性は指摘するまでもない。廃棄物の輸送も大きな問題であり、可能ならば発生地から近距離に最終処分場を確保することが必要であろう。さらに木質系や家具・什器・書類などの埋立処分場への投入は、それらの腐敗・分解に伴うガス発生・地盤沈下や強度の低下等が懸念され、埋立地の跡地利用にも影響を及ぼしかねない。この点からも十分な分別の必要性が強調される。

1994年4月に建設省から公表されたリサイクルプラン21によれば、コンクリート塊は現時点でも48%が再生利用され、2000年までには再生利用率90%を達成することが目標に掲げられている。今回の大震災では、被災地という狭い範囲に大量かつ一時に災害廃棄物が発生したため、再生利用を図る上での需給バランスが大きく崩れており、費用的制約や時間的制約等を考慮すると埋立処分が最適と考えられるが、リサイクルプラン21に謳われているとおりコンクリート塊は立派な資源であり、できる限りの再生利用が図られるべきである。需給バランスの範囲を大きくとる、すなわち広域処理の可能性を探るべきであろう。

(5)運搬

交通計画分野の調査報告によると、主要道路の渋滞が甚だしく救援物資運搬・復旧関連の緊急車両の通行に支障がでているとともに、緊急車両そのものが渋滞の原因となっていることが指摘されている。災害廃棄物・生活ごみとも自区内処理（自市町村内の処理）が原則であり、かつ現在の所は仮置き場への輸送が中心であるため相対的に見て南北方向の交通流動が中心であり、渋滞の激しい東西方向幹線道路への負荷は大きくないと想像される。しかしコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊の最終処分は海面埋め立てが中心である。最終処分場として想定されるフェニックス計画処分場（尼崎、泉大津）への運搬には、交通計画分野の調査報告にあるように西宮市夙川断面を陸上で通過させることはほとんど不可能であり、海上輸送が中心となる。廃棄物積み出し用の岸壁・埠頭の早期暫定復旧が緊要である。廃棄物積出港の効率的使用、それに向けての輸送方法の検討を行政界を越えた広域的観点から早急に実施すべきであろう。復旧の進展に伴い廃棄物輸送の需要は急増することは確実であり、また復旧に伴う日常的交通の需要も急増する。限られた道路交通容量を効率的、かつ有効に利用する交通計画・交通管理計画の確立が焦眉の課題である。

また廃棄物運搬中の粉塵等の飛散も大きな問題となることが予測される。シートによるカバーの義務づけ等も検討されるべきであろう。

3. 2 一般廃棄物

生活ごみの処理も大きな問題である。生活ごみの収集と処分が滞っていることは、被災地ならびに仮置き場で観察される（写真－7）。生活ごみの焼却処理を行っている神戸市クリーンセンターでは、ガスと上水道が不通のため2月3日現在5基中3基が運転されていない。このため仮置き場に搬入しているが、仮置き場の面積不足のため分別作業はもとより一時保管のためのスペースも不足を来している（写真－8）。被災地内でも比較的被害が軽微であった地区においては、復旧の進展によって急速に生活・経済活動が回復しつつあり、ごみの量も増加しつつあることが推測でき、今後生活ごみの滞積が懸念される。

4. 若干の提言

限られた時間での調査であり、十分なデータも解析結果もなしに政策提言を行うことは、拙速の謗りを免れないが、廃棄物の処理（撤去、仮置き、分別、最終処分、再資源化、運搬）は焦眉の緊急課題であるとの認識から、個人的な意見・提言を若干以下に述べたい。もとより、これらは筆者の個人的見解であり、これから生じる一切の責任は筆者に属することを明記しておく。

①仮置き場の効率的使用と分別の実施

既に述べたように仮置き場の面積が不足しており、搬入と搬出のペースが現在のまま推移すれば満杯になるのは時間の問題である。仮置き場の確保をさらに進めると同時に、仮置き場を効率的利用する方策、要するに回転率を上げる方策を講ずるべきである。これらは、移動式の破砕機・分別機の導入という仮置き場の整備に関わるもの、焼却場の復旧、積出港の仮復旧と輸送システムの確立等の廃棄物処理



写真-7 歩道をふさぐ生活ごみ



写真-8 生活ごみの仮置き場（神戸市魚崎浜）

システム全体に関わるものに大別できる。

②輸送システムの確立

道路交通需要は今後増加することが予測される。これらは復旧工事の本格化、災害廃棄物の撤去の本格化、商店・事業所活動の再開の本格化、日常生活への復旧の本格化等が相次ぐからである。幹線道路の復旧による容量増加が短期的には困難であることを勘案すると、道路混雑・渋滞は悪化することが懸念される。これを防ぐためには規制の強化と規制・誘導による交通需要の時間的平滑化、交通運用の改善が必要である。このような全体スキームの中で、廃棄物運搬をどのように位置づけるかが議論されなくてはならない。廃棄物輸送車は夜間のみの走行を条件とするというような大胆な提案も検討されるべきであろう。また、海上輸送のための岸壁の仮復旧が緊急に必要である。これに関して積み出し地への輸送ルートの確保と規制、海陸輸送の連携なども検討されなければならない。

③再資源化への努力

今回の災害廃棄物に関しては、分別・減量化後の埋立最終処分が合理的であろう。しかし本格復旧・復興とともなって、骨材等の資材が大量に需要され、また建設発生土その他の建設副産物が大量に発生しよう。これに備えるためにも、コンクリート塊に関してはやはり再資源化に向けて最大限の努力をすることが重要である。

④広域処理の必要性

分別・破砕施設の有効利用、建設副産物の再生利用のための需給バランスの確保、運搬の効率化のためには、解を広域に求める発想も必要であろう。また、一般廃棄物の処理についても当面、広域的に処

理を行う発想も必要であろう。

⑤災害廃棄物処理計画・プログラムの策定

上の①から④は相互に密接に関連している。このことはこれらを有機的効率的に関連させ、相互の整合性を確保するプログラムの策定が重要であることを意味する。各自治体にはそれぞれ対策室・対策本部がすでに設置され、懸命の努力がなされているが、関連する分野との調整ならびにプログラムの一元的な管理と実施の必要性は強調してもしすぎることはない。

仮置き場の面積制約のため発生地から災害廃棄物を一度に撤去できないとすれば、撤去プログラムの策定も重要である。個人住宅、マンションや中小企業の建築物については撤去プログラムに則った撤去については公費負担が決定されている（撤去プログラムより早い撤去についてはとりあえず自費負担とされているが、負担については流動的である）。撤去プログラムの策定には、輸送能力、分別能力、2次的被害（粉塵飛散等）の最小化等の配慮が重要であるが、重要であると思われる要因の一つとして復興計画の策定、面整備との関連性も挙げておきたい。

地 震 工 学

東京大学地震研究所 東原紘道

1. まえがき

被害地震は、震源の運動→波動の放射→表層の地震波→構造物の応答→構造物の損傷→被害→対応、と連なる一連の時系列であって、地震工学はその全体像の把握をめざすものである。しかし、ここでは対応の段階には言及しない。今回の経験のうち都市計画に関係することがらについては別の機会に論じる予定である。

震源と被災地の距離が離れている場合には、震源から放射される波動と被災地に入射する波動との関連は弱く、震源過程または放射される波動に関する情報の多くは、被害の予測の直接の役にはたたない。これを前提に標準的耐震規定が組み立てられている。しかし、今回のような直下地震では、震源の性質と被害とが強い関係にあるので、それを正面に据えたアプローチが必要である。そのためにはまず、地殻運動に関する地球科学上の多様な事実と意見を相互に整合的に説明できるモデルを作り、次にこれを構造物の損傷に至るまでの過程の耐震工学上の事実と大きな矛盾なく統一することが必要である。ここに筆者の関心をおく。

地震直後でなければ消滅する重要な事実や現象の観察、復旧計画の策定（設計コードの点検等を含む）のための情報収集は、救援活動に次いで緊急度の高い重要な調査である。しかし、この目的は概ね第1次および第2次調査団によって達成されたものと考えられるから、第3次調査団の役目は、先行した調査の結果等を踏まえて、より本格的な解析を進めることである。そこでそのための手がかりを拾っておくことが現地調査の目的となる。ただし、この報告では、この現地調査以外で得られた知見も織り込んで、論点を整理することにしたい。これらの論点は今後の調査で結論を与えられ、あるいは修正されることになる。

2. 調査対象となる地域と施設の被害

（1）今回の調査対象および主な被害の態様

- (a) J R 西日本・山陽新幹線 武庫川と六甲トンネル東入り口の間 [コンクリート高架橋橋脚の損傷]
- (b) J R 西日本・東海道本線 住吉駅と六甲道駅の間 [コンクリート高架橋橋脚の損傷]
- (c) 地下鉄・神戸高速鉄道 大開駅 [中央のコンクリート柱の損傷]
- (d) 名神高速道路 西宮料金所北側地域 [コンクリート橋脚の倒壊]
- (e) 中国自動車道 宝塚インターチェンジ北側地域 [コンクリート橋脚の損傷と沈下]
- (f) 阪神高速道路・湾岸線 摩耶大橋東端から J R 神戸駅南部までの間 [コンクリート橋脚の損傷、鋼橋脚の損傷、鋼桁の支承の損傷など]
- (g) 同 神戸線 都賀川以西 [コンクリート橋脚の損傷]
- (h) 灘区、東灘区および芦屋市の市街地 [コンクリート建物の損傷]
- (i) 仁川百合野町 [斜面の崩壊]

このうち、(e)を除く(a)から(h)までは、本調査団のコンクリート構造班に合流した。調査時および事後に、コンクリートの専門家の分析方法と結論づけを聞き、討論をすることにより、被害そのものの分析結果だけでなく、コンクリート構造についての最新の知識を得るためである。被災地域は、道路・鉄道のコンクリート高架構造が広く分布していて、しかも相当に被害を受けていることから、入力地震動の程度の比較考量の指標として最適なのである。この調査は筆者にとって得るところが大きく、地震研究所において理系の研究者との学際的な議論を日常事としている者として、土木工学内部の学際的研究の意義をあらためて認識させられた。

(2) その他の調査対象と主な被害の態様

なお本調査は筆者にとっては第2次調査にあたる。別の調査において、次の地域を調査した。そこでの知見も利用する。

- (a) 淡路島北部および明石海峡周辺地域〔家屋の損傷と軽微な地変〕
- (b) J R 西日本・東海道本線 神戸駅周辺および三宮駅周辺〔土木・建築構造物の損傷〕
- (c) 阪神電鉄 石屋川駅と新在家駅の間〔コンクリート橋脚の損傷〕
- (d) J R 西日本・山陽新幹線 六甲トンネル〔コンクリートの軽微な損傷〕
- (e) 国道43号線 三宮と芦屋川の間〔コンクリート高架橋の損傷と家屋の損傷〕

3. 被害の状況

(1) 事後観測網の展開状況

地震発生と同時に、全国の研究者たちは、地球物理・化学観測網を展開するとともに断層の調査を精力的に開始した。地震研究所(地震予知情報センター)は、専用のメールボックスを設け、これら研究者間の情報交換を支援した。盛時には1日300に及ぶ学術情報が流通した。外国からの登録申請もかなりあった。メールの中味の一部が報道機関に流れ、不正確な報道になったとして情報提供を中断した機関も出るなど、新しい試みにつきもののトラブルはあったものの、研究者は分刻みで更新される最新の学術情報(各研究班の所在位置や交通事情なども含む)の補給を受けつつ行動することができた。(このシステムは画期的な可能性をもつもので、土木学会でも検討に値する。)

観測または調査項目は多岐にわたっているが、そのうち工学的に重要と思われるものについて以下に述べる。観測網として大規模なものは、地震観測とGPS測地である。このうち国立大学の観測点を図1に示す。地震観測の対象にはこの他に強震動がある。さらに多数の地質学者達によって地表および海底の活断層の探索が行われた。

(2) 対象地域の広域地殻活動

まず大域的な事実を確認しておく。一般的に言って大域的なデータの分解能(どこまで局所的な事実を語れるか)には大きな制約がある。例えば広域地殻変動は、工学的に重要な局地的地殻変動をほとんど規定できない。同様に大域的な震源メカニズムは、最大加速度などの工学的に重要な強震動特性をほとんど規定できない。しかし大域的な事実は安定している(存在する多くのデータが相互に背反しない)ので、すべての考察の基礎となる重要な情報である。

そのうち地表の変形データが量的に豊富である。このソースにはGPSデータおよび合成開口レーダー画像の干渉処理データがある。いずれも人工衛星からのマイクロ波を利用

しているものである。これによると次の事実がある：

- (a) 神戸市周辺では相対的に山側（北側）が隆起し、海側が沈降している。
- (b) 淡路島西岸では相対的に山側（南東側）が隆起し、海側が沈降している。

前者は、六甲山系生成のこれまでの歴史と調和的であり、後者は、野島断層の地表面でのずれの調査結果と調和的である。またいずれも、地下での断層を反映する重力分布とも整合的である。そこでこれを基礎事実と考えることができる。

（３）本震イベントと起震断層の同定

国際的に展開された広帯域地震計の記録の長周期成分を用いたCMT解析によれば、本震は３個の主要イベントに分離される。いずれもほぼ純粋な右横ずれであり上下成分は小さいとされる。しかし別に熟練した地震学者は、第２と第３のイベントの地震波から、震源運動が顕著な上下成分をもつことを読みとっているので、変位で見れば小さいものの加速度的大きな上下運動が生じていたと考えられる（これはCMT解析の分解能では捕捉できない）。

第１のイベント（モーメントマグニチュード6.8）は淡路島西岸の野島断層のすべりに対応するものと考えられている。第２、第３（モーメントマグニチュード6.3と6.4）は本州の断層運動と考えられるが、これらをいずれの断層に同定すべきかの情報を与えるだけの位置の精度はない。

特に大きな被害を与えた第３の断層運動の位置標定については、大きく二つの見解がある：

- (a) 既往の活断層群よりも海側（後述の激甚被災ベルト地帯の直下あたり）に、これまで認定されていなかった有力な断層が存在し（提言者に倣って神戸・西宮未確認断層と呼ぶ）、これが今回運動した。
- (b) 神戸市北方の六甲山系に存在する既知の断層系の運動である。

未確認断層の有無は、今後の都市計画に重要な違いをもたらすもので、検討を要する。地震予知連絡会は、(a)の神戸・西宮未確認断層が震源となった可能性を否定した。その主な根拠は、神戸大学でのGPS観測記録の水平移動が数cmしかなく、神戸・西宮未確認断層が（CMT解その他の地震学的資料が示す）1mオーダーのすべりをしたとすれば生じるであろう地表の変動量はこれと整合しないということのようである。また余震の震源がすべて既往の六甲断層系の位置に集中していることも論拠とされている〔図2〕。

しかし、地殻内のすべりによる地表面変位の計算には強い仮定が含まれており、断層面の曲率など３次元構造をもっと正確に把握する必要がある。余震の震源位置と断層位置の関係にも同じことが言えるので、工学の関心からすれば、未確認断層の仮説を棄却するのはなお危険であると考えられる。なお地質学者らは確実な証拠を得るために地盤の音波探査を計画している。

（４）構造線と余震分布

対象地域に次の３つの構造線（活断層系）を考えることができる〔図2参照〕。

- (a) 淡路島西岸の野島断層の線
- (b) 淡路島東岸の楠本断層－本州の会下山断層から六甲断層系（諏訪山断層、五助橋断層等）を結ぶ線

この二つは概ね平行である。また現在のところ情報が十分ではないが、今回の運動およ

び今後の活動に注目すべきものとして、

(c) 六甲断層系の北東端を画する有馬・高槻構造線 がある。

このうち(b)の線は、途中の海底でも断層が認められているから、連続な線であるのに対し、(a)は淡路島北端で切れていて、それ以上の北上の線は確認されていない。一般に断層の端部は応力の集中が予想され、複雑な地殻活動が予想されるところであるが、対象地域では、淡路島北端および宝塚市周辺がこれに該当する。

余震は深さ10km前後の浅いものがほとんどであり、ほぼ上掲の(a)と(b)に沿っている。ただし、(b)沿いの余震は神戸市の兵庫区－東灘区に集中している。また宝塚市西部の狭い地域にも余震が多数発生している。

(5) 明石海峡の地殻活動

本章の(2)で述べたとおり、対象地域の広域地殻変動は表面に＜そり＞(warping)を生じているが、この鞍部(理論的には特異点)に当たる明石海峡の地域の地殻活動は以下のように活発であり、警戒が必要である：

(a) 兵庫県南部地震の本震そのものが発生した。

(b) 1916年11月にマグニチュード6.2の地震が発生した。

(c) 比較的大型の余震が淡路島北側で多数発生した。

(d) 明石海峡大橋の本州側基礎と淡路島側基礎が、1m前後の水平移動および上下動を含む大きな相対運動をした。

明石海峡を上述の二つの断層線のオフセットと見る考えもある。これによると明石海峡の海底は張力場であるとの説が成り立つ。その証拠として正断層型の震源メカニズムを示す地震がここで発生していることがある。明石海峡の海底の断層については現在音波探査がなされている。(断層は確認できなかったとの報告も既にある。) このように、明石海峡は広域地殻変動の特異点であって複雑な応力場をなしており、今回の地殻運動も単純な平面断層のすべりでは現象の全体を説明することはできていない。これについては今後詳細な検討を進める予定である。

ところで淡路島北端(明石海峡大橋アンカレイジ周辺)では、明石海峡の基盤をなす和泉層群花崗岩が露出している。これのふるまいの計測をすることによって明石海峡の地殻活動をモニターできる可能性が高い。そこで筆者らは、まず緊急調査として高感度傾斜計による連続観測を開始した。現象の現れ方次第では、高精度の地震観測および測地を組み合わせた複合的な計測システムによって、地殻活動を常時監視することを考えなければならない。また明石海峡の地殻活動の将来予測の可能性を探ることを目的として地震研究所内の学際チームで討議を進めている。

(6) 北東部の地殻活動

コンクリート構造班と別動してここを調査したのは、上述(4)の理由からこの地域の地震運動が重要であると考えたためである。専門家による断層調査は現在進行しており、いずれ断層の精査の進展と共にこの地域の地震動の源泉が解明されるものと期待される。仁川百合野町の斜面崩壊と断層運動との関係もが浮かび上がる可能性もある。地震地質学的には、今回の地震に伴う断層運動が有馬・高槻構造線に沿う地殻応力にどのような影響を及ぼすかが議論されている。

この地域の調査の目的は2. (1)の(e)と(i)の観察にあったが、住宅の被害率の高さ

は予想外であった。ここでは中国自動車道の破壊の態様について述べる。被害は上記の有馬・高槻構造線の南側の、売布ガ丘（宝塚市）の南斜面で発生した。橋脚が橋軸方向（南東－北西）、特に南東向きの地動によってせん断破壊をした（桁の落下はなかった）。この損傷モードは橋脚高さが低いことから説明がつく。神戸市内で多く見られた曲げ破壊と違って、内部の鉄筋はほとんど損傷が見られなかった。この地域で破壊したのはこのごく狭い範囲に限られているが、これには、斜面による地震動の増幅および斜面そのものの移動が関与したものと考えられる。その理由は次のとおりである：

(a) 当該斜面は北上がりの大阪層群の斜面上に軟弱な礫・砂・粘土の段丘層がのっており、地震時に側方流動しやすいと考えられる。事実、側方流動に対応する残留変位をもった橋脚が見られた。

(b) 当該地点の300mほど南では、橋脚が沈下している。

なお、この地点は有馬・高槻構造線の分枝である清荒神断層（上述の五助橋断層の延長線上にもあたる）の直上であるので、地震時挙動についてはなお慎重な分析が必要である。

（7）強震動の特徴

神戸海洋気象台および神戸大学の強震計記録が早期に公表され、研究に資するところが大きかった。振幅が大きいだけでなく、ゆっくりした運動であったことが今回の地震の特徴である。これは最大加速度が高々1G以下であったのに対し、最大速度が90cm/secを越えたことから予想されていた。応答スペクトル計算によっても、近年の大地震（米国のNorthridge地震や日本の釧路沖地震など）と比較すると、周期1秒以下では小さいのに1－2秒範囲では抜群に大きい。

いずれの記録においても、主要動の波形は6個程度の波からなる非常に単純なものである。水平南北成分が特に大きく、中でも南向きに二つの大きなピークがある。すなわち、北向き速度から南向き速度に一気に変化し、その速度変動は100cm/secに達しているのである。神戸大学の記録では二つのピークの大きさはほぼ同じであるが、気象台データでは第一のピークをなす二つの波の方が大きく、その速度変化は140cm/sec（北向き50cm/secから南向き90cm/secへ変化）に達している。この地動のむきは北→南→北→南と続くが、この第2波の北側最大変位と南向き最大加速度が同期しており、これが最大打撃力となったものと解される。コンクリート橋脚においては、この1サイクルで鉄筋が降伏・伸長→座屈の履歴を経験し、一気に断面抵抗力を喪失したと考えられる。

マスコミ等では大きな上下動加速度が報道されたが、これはデータ処理に疑問があり信頼できない。多くのデータはむしろ従来言われている水平動の半分程度という考えを支持している。なお以上の知見は、調査で同行したコンクリート構造班の分析所見と調和的である。ただその報告書の6.（3）では、多くの橋脚の倒壊方向の一致（北側）の原因を上下動の寄与に求めているが、その必要はないと考えられる。

このような特徴的な周波数特性の波動の発生メカニズムの解明は今後の課題である。特に、主要動の南北方向卓越が一般的に言えることであれば、東西方向に走る幹線交通路の高架構造等の設計にとって重要な価値がある。

（8）激甚被災ベルト地帯の存在

地質学者らの調査などで、激甚被害は神戸市須磨区から西宮市にかけての海岸沿いの幅約3kmのごく細長いベルト状地域に集中していることが報告され、これは気象庁による

震度7の地域認定で裏付けられた形になっている。問題はこの激甚被害の集中の原因をどう考えるかである。この被害の主要な原因については、既に述べた起震断層の位置論争に対応して次の二つの見解がある：

(a) 被災ベルト地帯の直下で神戸・西宮未確認断層が運動した。

(b) 被災ベルト地帯直下に特別な断層運動はなく、地盤構造と入射波動の関係から大きな増幅が生じた。

(b) の考えでは、被災ベルトの強震動は、地震波が伝播する過程で増幅されたと考える。この増幅現象は各地の余震の振幅比較によって確認されている。本震でも相当の増幅があったことは自然であるし、この増幅現象を数値計算で再現することも比較的容易である。ただしそれを以て増幅現象が説明されたとすることはむずかしい。それを再現できる条件が一意でないからである。増幅現象を再現できるパラメータの組み合わせは非常に多く、また組み合わせの微妙な違いが結果に大きな差をもたらす（モデルのパラメータ敏感性）から、その中から真実を取り出すのが困難なのである。

上記(a)と(b)のいずれの場合にも、地震動の特徴を定性的に整合的に説明できることが重要である。墓石の運動の詳細な調査には、直下断層の寄与を示唆するものもあるが、なお確定していない。

工学的には、東西方向のベルト地帯発生 of 因果関係の説明だけでは不十分である。それは、ベルト地帯内部の被害状況にもなおまだ模様が見られるからである。会下山断層西端部（夢野町－上沢通）、三宮周辺、JR六甲道－阪神電鉄新在家周辺、住吉川東側地域などにおいて特に被害の甚大な帯状地域が南北に走っている。これについては今後の課題としたい。

4. 被害の要因

(1) 防災対策の不足と警報システム

報道によれば、本地震の被災地（以下では簡単のために神戸地域と呼ぶ）では大地震に対する準備が不十分であったとされている。地元自治体の行政責任を指摘する声もある。たしかに神戸地域が有数の断層系が発達している地域であることはよく知られており、かつ地震の危険について警告を発する地質学者もいた。しかしこれを否定する見解もあり、結果として地震の危険性について有効な警告とはなりえなかった。（ここで“有効な”とは、地域の行政機関や住民が適切な水準の地震防災対策を講じる必要を認めるだけの説得力をもつことである。）

内陸部の活断層の地震の発生周期は一般に千年のオーダーを有しているから、例えば神戸地域のように、確実度Ⅰの断層が多数存在しても、活動度がB級ということであれば、それだけでは地震発生の原理的な可能性を述べるだけで、どの程度に切迫したものであるかの情報を与えない。他方、地震活動や地殻変動のデータは、“特に大地震発生を疑わせるような異常な変化はない”とされるのが普通である。これまでに得られたデータに見る限り、この異常を事前に検出しようとする手法は無効であったようである。（今回の地震を予見したと言う研究者は、その予見の具体性のレベルとその推論を示す義務がある。）

大地震の短期予知を前兆現象の観測に求める試みは、一層精力的に進める必要がある。しかし、今回の地震は、都市計画その他の防災対策のためには、十年単位の中期的な予測

もまた極めて重要な価値をもつことを明らかにした。この種の警報は、警戒宣言を伴う直前の地震予知とは、自然科学的にも政策科学的にも異質なものであり、独自の方法論を見いだす必要がある。これについては今後、地震工学と土木計画学の共同研究が不可欠である。

地震学その他の地球科学的観測の方法で異常を監視する方法が当面有効でない以上、活断層の情報を精密にし、これを基礎にして地震対策をたてる必要がある。そのためには活断層とりわけ地下に隠れた重要な断層を高い分解能で検出できるテクノロジーの開発が必要である。地質学者による活断層調査は表面に表れたもののみを認識する。広域の測地や重力異常には、表層近くではあるが地下の情報が反映される。音波探査でも地下の不連続面を検出できる。安政江戸地震の元凶と目されている活断層は、東京の厚い沖積層の下にあって現在の技術水準では検出できないとされている。しかし、ボアホール観測技術は着実に進展している他、非破壊型のアクティブ弾性波探査技法などが研究されており、探査の空間分解能が大きく向上する可能性は大きい。

(2) 耐震設計の規定について

”日本の土木構造物は、1923 関東地震に耐える”という命題が一人歩きした、というより一人歩きしていたことが露呈した。事実上は、土木構造物はこの”想定関東地震レベル”より遙かに強い地震に耐えられるが、一方で、真実の関東地震の強震動もこの”想定地震レベル”よりかなり大きかったと考えられる。この意味で”想定関東地震レベル”という表現は実質を失っている。そこで耐震規定の性格を正しく見直すことが必要である。

構造物の耐震設計の規定においては、まず想定する地震動に対する安全性の保証が最重要であるが、この想定地震動は真の関東地震に対応したものではない。次に真の関東地震に対応する”想定外の激震”環境での耐久性については、入力地震動のばらつき（統計的に言えば極値分布のせいである）や破壊時の通性である構造物のパラメータ感性があるため、想定地震動への対応とは異なった考え方が必要である。これについては別に論じる予定である。

本報告書においてコンクリート構造班は、まとめ意見として、構造細目の重要性、さらにその基礎となる技術力の重要性を指摘している。筆者も概ね同意見であるが、ただ若干の意見を提起しておきたい。

- (a) 構造形式の選択の得失を、技術力一般に帰する前に整理する必要がある。
- (b) 構造細目についても、技術力への依存をへらし、フルプルーフ設計を増やす余地はないか。もちろん筆者も技術力の意義を重視し、技術格差の厳存を認めるものではあるが、知力と経験に加えて想像力が必要な激震時対応のできる技術力が量的に限られていることを深刻に考える必要がある。（例えば私見では鉄筋の段落とりの処理には相当の問題がある）。
- (c) 部材間の強度バランスを激震時まで想定して検討する必要がある。（強すぎる落下防止装置が構造本体に大きな被害を与えたり、高い剛性の中間ばりが無事で橋脚本体が大被害を受けている。）

(3) 地下鉄

地下鉄の問題はほとんど手つかずで残っている。長田区を東西方向に走る地下鉄・神戸高速東西線の大開駅の構内中央のコンクリート柱の断面直角方向（南北方向）の破壊につ

いては現時点で因果関係が見つけられていない。一部に上下動の影響とする見解があったが、それで合理的な説明がつくのかどうかは疑問である。調査地点での破壊モードが、柱の上端または下端近傍の断面内曲げ—せん断破壊であることから、当初は天井の剛性不足および天井と側壁の結合部の剛性不足を疑ったが、他の地点では側壁自体が破壊しているとのことであり、簡単な説明ではすまないことになった。いずれにせよ異常に大きな地盤の変形が生じた可能性が高く、それを説明できる入射地震動を見つけることが必要である。

図 1
広域の事後観測態勢
(図はいずれも地震
研究所の吉井教授
の編集による)

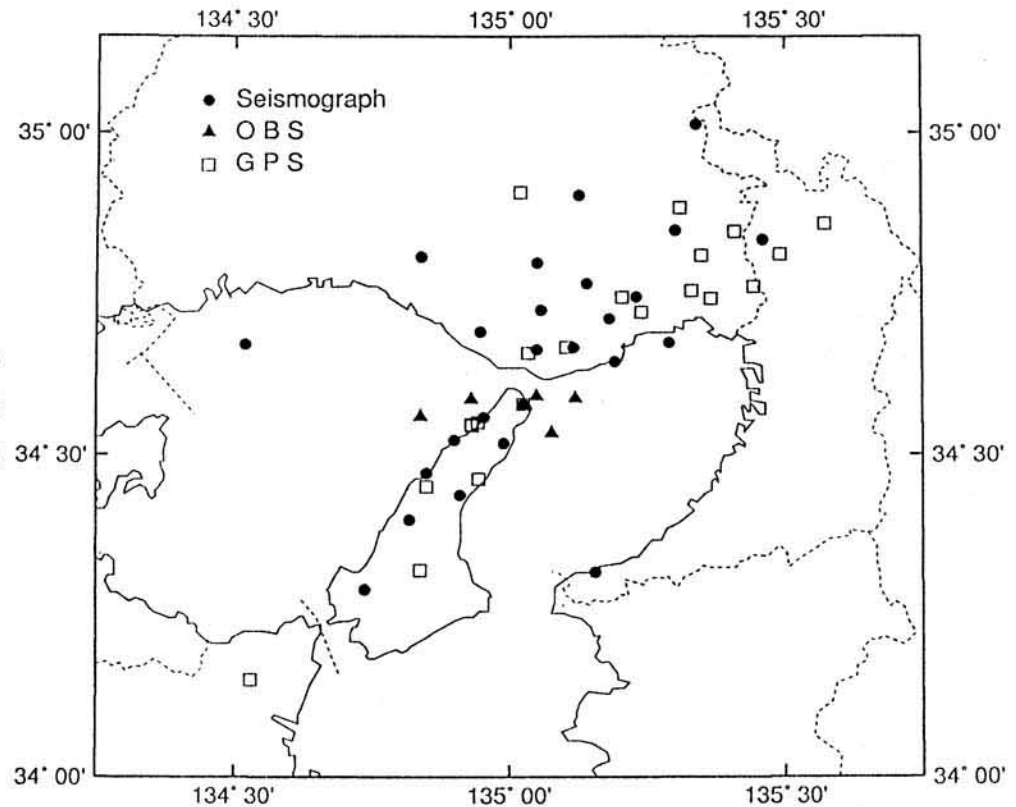
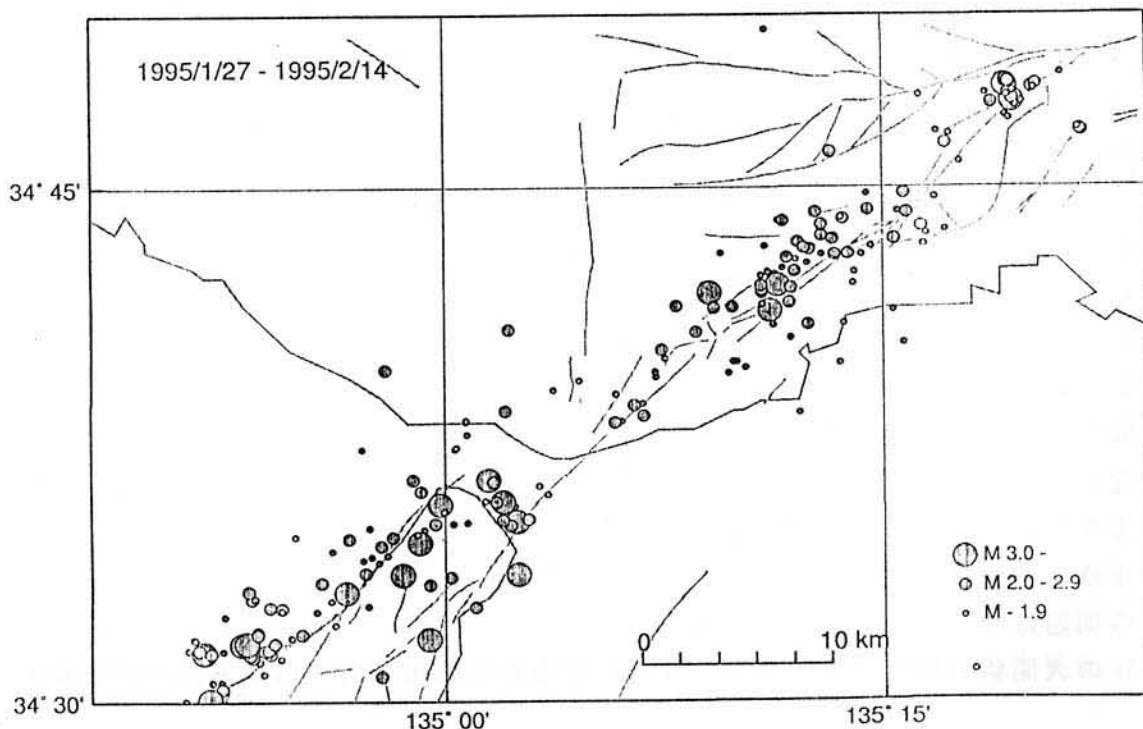


図 2 余震分布



地震動と被害特性

神戸大学 高田至郎 沖村 孝

李 騰雁

1、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」と名付けられた。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、特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) 発生日時：1995年1月17日5時46分頃
- 2) 震源：淡路島北端、北緯34.6度、東経135.0度、内陸直下型
- 3) 震源深さ：14km、
- 4) 地震規模：マグニチュード(M)7.2
- 5) 各地の震度：7(神戸市、西宮市など)、6(洲本など)、5(京都など)

図1.1は震度7の分布図である。震度7の分布は須磨断層、諏訪断層、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。震度7は1948年福井地震の後に木造家屋の倒壊率30%以上をもたらす揺れの強さとして定められたもので、その適用は今回が初めである。

この地震による人的被害は3月11現在死者は5472名に達している。全壊建物は約83,536戸、半壊建物は約68,761戸である。火災件数は258件で、火災による焼失面積は671,253m²にのぼっている。被害総額は9兆円以上になると予測されている。

2、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、今回の地震は868年に播磨に発生した地震以来である。1916年11月26日に今回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(M)6.1の地震が発生したが、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がないと考えられている。図2.1は近畿地方における活断層と震源位置を示している。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約1.2mの食い違いを示している。本断層は六甲有馬高規構造線へと延伸し、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ヶ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、帯状となった震度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。

たことが報告された。

図2.2は1月19日以降における余震のマグニチュードの大きさを示している。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2.3は余震の震源位置の分布を示している。淡路島中部から神戸市南部さらに西宮市の北部へと帯状に広がっていることが分かる。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を示している調査グループもある²⁾。地盤卓越振動数と構造物固有振動数が構造物被害に対する影響(共振影響)の大きいことも知られている。図2.4は気象庁震度階の分布を示している。最大震度階は6である。計測震度計で算出される震度は震度6までであるが、この震度階は地震3日後に現地調査によって神戸市、西宮市などで7に修正されている。本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2.5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)818gal、EW(東西方向)617gal、UD(上下方向)332galである。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秒しかない。今回の最大加速度値は1993年釧路沖地震とほぼ同じであるが、変位は1.5~3.0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、変位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1~2Hz、上下動では1Hz前後である。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秒の固有周期をもつ構造物の応答がこれに次ぐ。上下動については、0.25秒前後の固有周期をもつ構造物の応答加速度が大きい³⁾。図2.6(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)341.2gal、EW(東西方向)284.4gal、UD(上下方向)555.9galである。図2.6(b)はポートアイランドの地下83m洪積層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)678.8gal、EW(東西方向)302.6gal、UD(上下方向)186.6gal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上下方向最大加速度は水平方向の1.6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1.9倍、上下動0.33倍であり、水平動における増幅が著しい。表2.1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2.7には最大加速度分布を示す。神戸市から宝塚まで震度7幅広い地域においては水平最大加速度は600~800gal程度であり、上下最大加速度は300~400gal程度である。また、多くの観測地で、上下動と水平動の比率は1/2を超え

ていることが知られる。

3、震害特性

(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3.1、図3.2と図3.3に示す。神戸市から西宮市に至る地域の顕著な被害は阪急線と国道43号線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、島状に分布し、複合扇状地上に集中していることが分かる。伊丹市では地盤条件がよかったにもかかわらず、被害が大きいことは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⁴⁾。

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、高位の山麓段丘域に近いところでは被害は少ない。

3)複合扇状地域の下位に出現する旧沿岸域でも被害の分布は少ない。

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0.7～1.2km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。この原因は地形あるいは地盤条件に起因するものと思われる。

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、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3.4と図3.5は今回地震における道路・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ようである。

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

液状化の分布は図3.6に示している。家屋の被害分布と違って、液状化の分布は神戸市を中心とし、須磨から新淀川付近まで海岸線に沿っている。埋め立て地または海岸線に近い地盤では液状化が発生している。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た。大阪府此花区における淀川の堤防も液状化で崩壊された。液状化によって湾岸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3.7は電柱など配電設備支持物の被害分布図を表している⁵⁾。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、西宮以东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) 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
- 3) 大成建設(株)、阪神大震災調査速報、1995年2月8日
- 4) 神戸大学工学部土木系教室、兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報)、1995年2月17日
- 5) 関西電力資料



図1.1 震度階Ⅶ(7)の地域分布

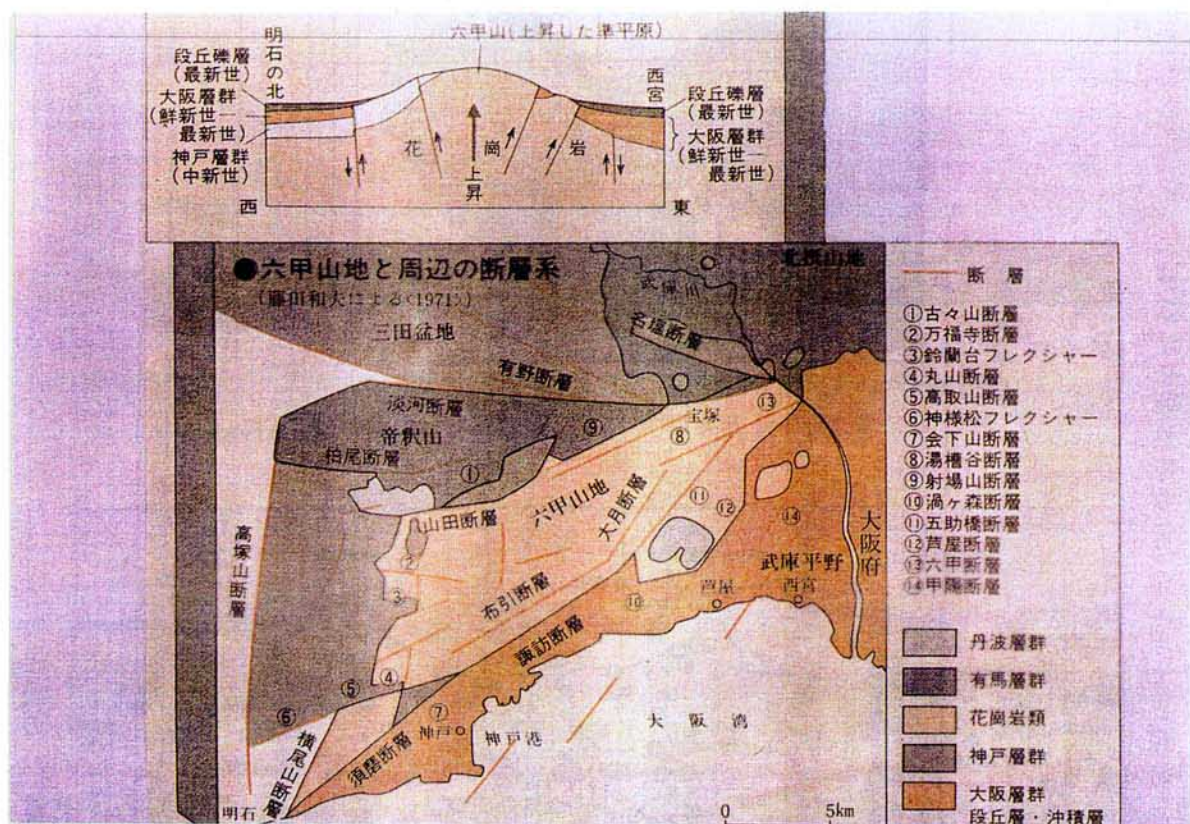


図2.1 神戸周辺における活断層系

M-T DIAGRAM OF AFTERSHOCKS
detected by ABUYAMA OBSERVATORY
1/19 0:0 - 1/27 4:50

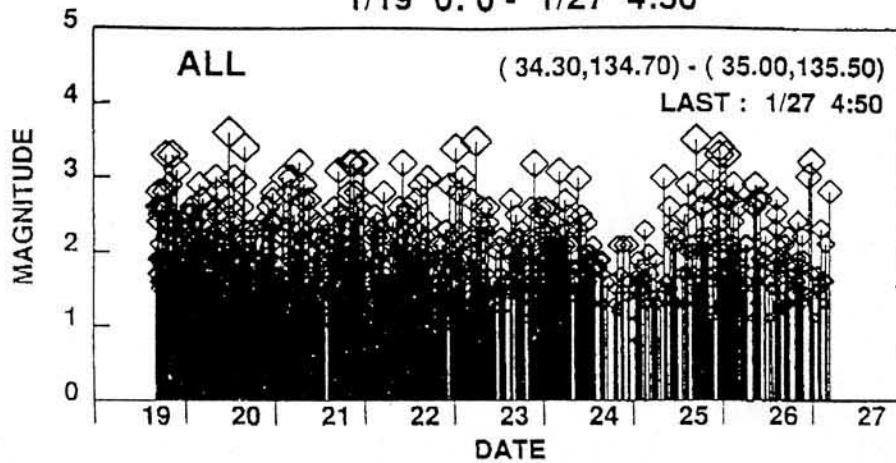


図2.2 余震の推移とマグニチュード

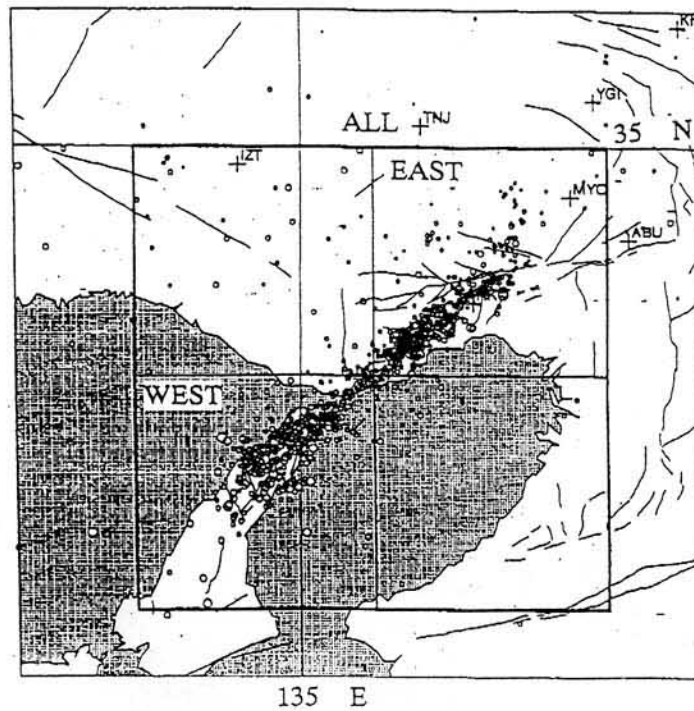


図2.3 余震の分布(京大防災研地震予知センターによる)

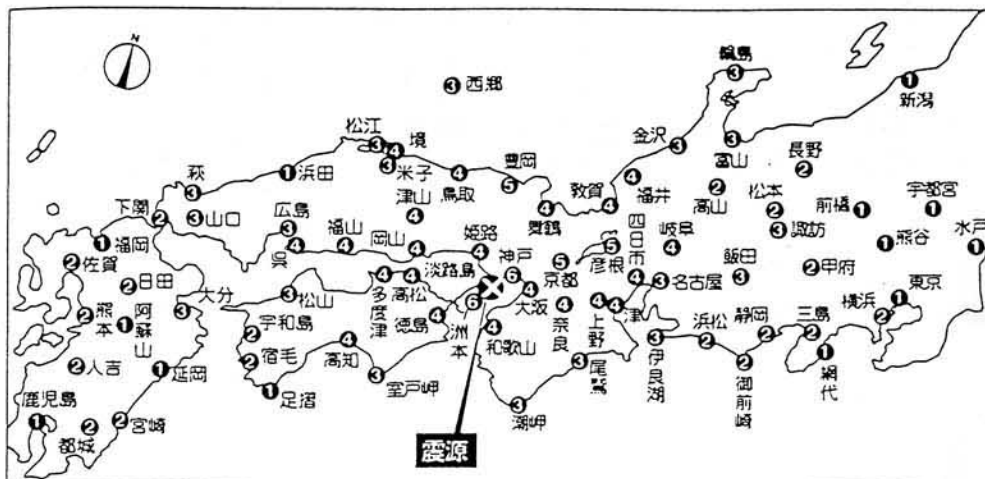


図2.4 各地の震度階

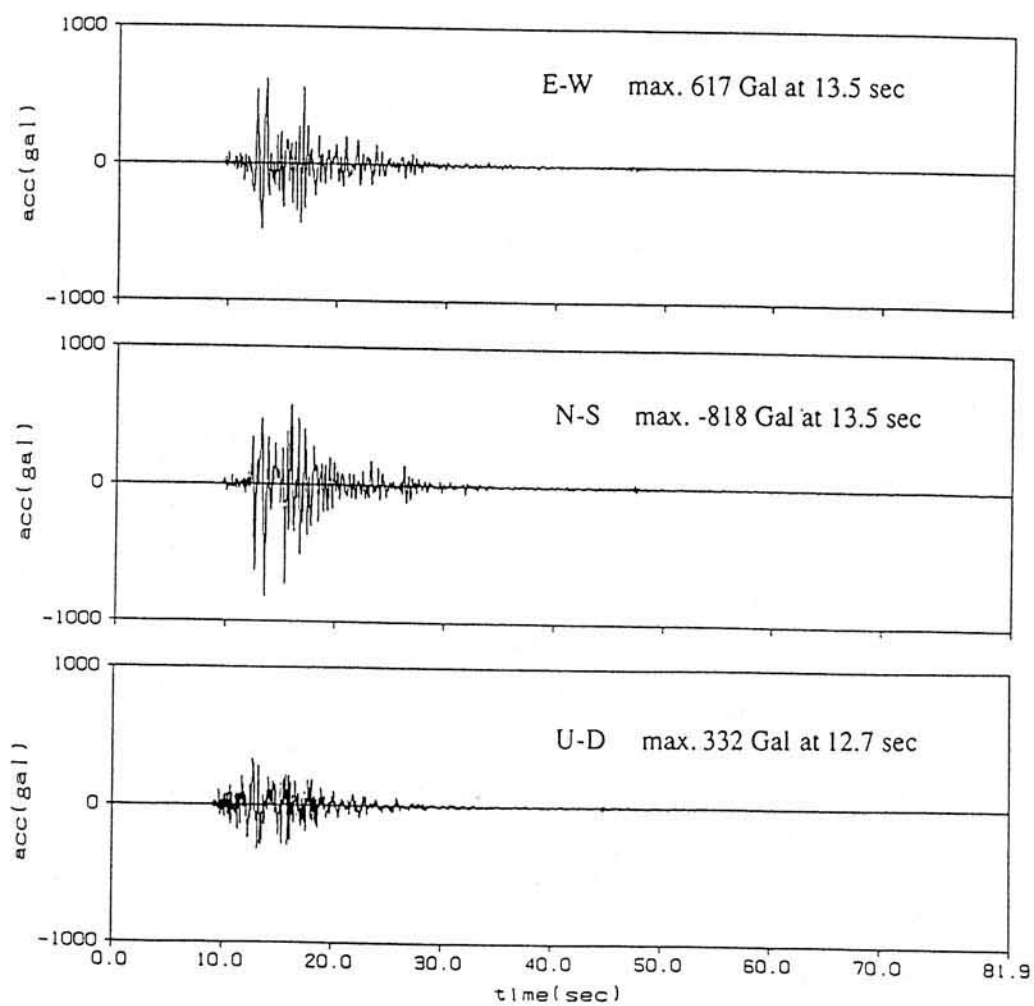
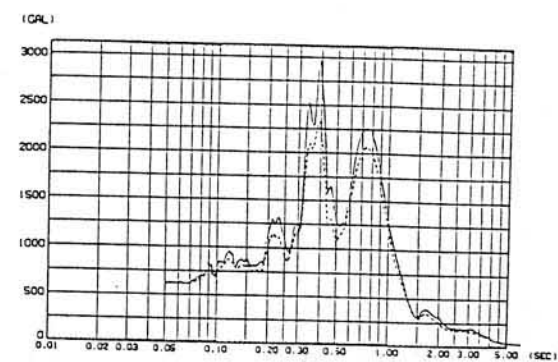
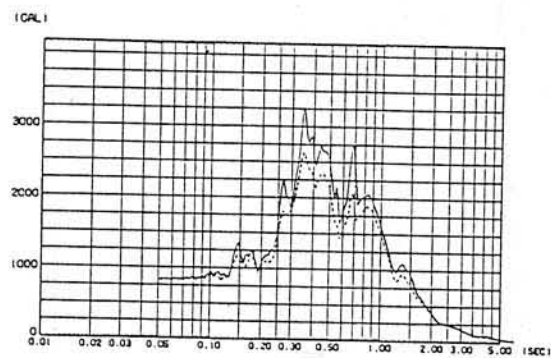


図2.5 神戸海洋気象台における加速度波形と
応答スペクトル(神戸海洋気象台観測)

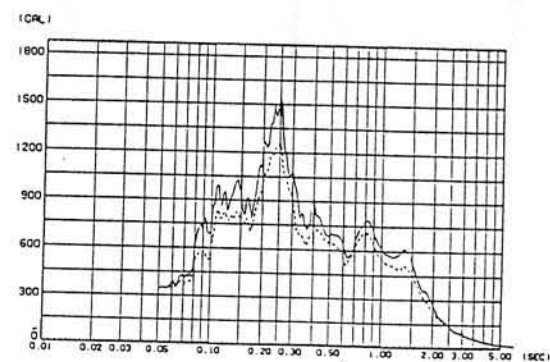
———— 減衰定数3%
 減衰定数5%



(a) E-W 成分



(b) N-S 成分



(c) U-D 成分

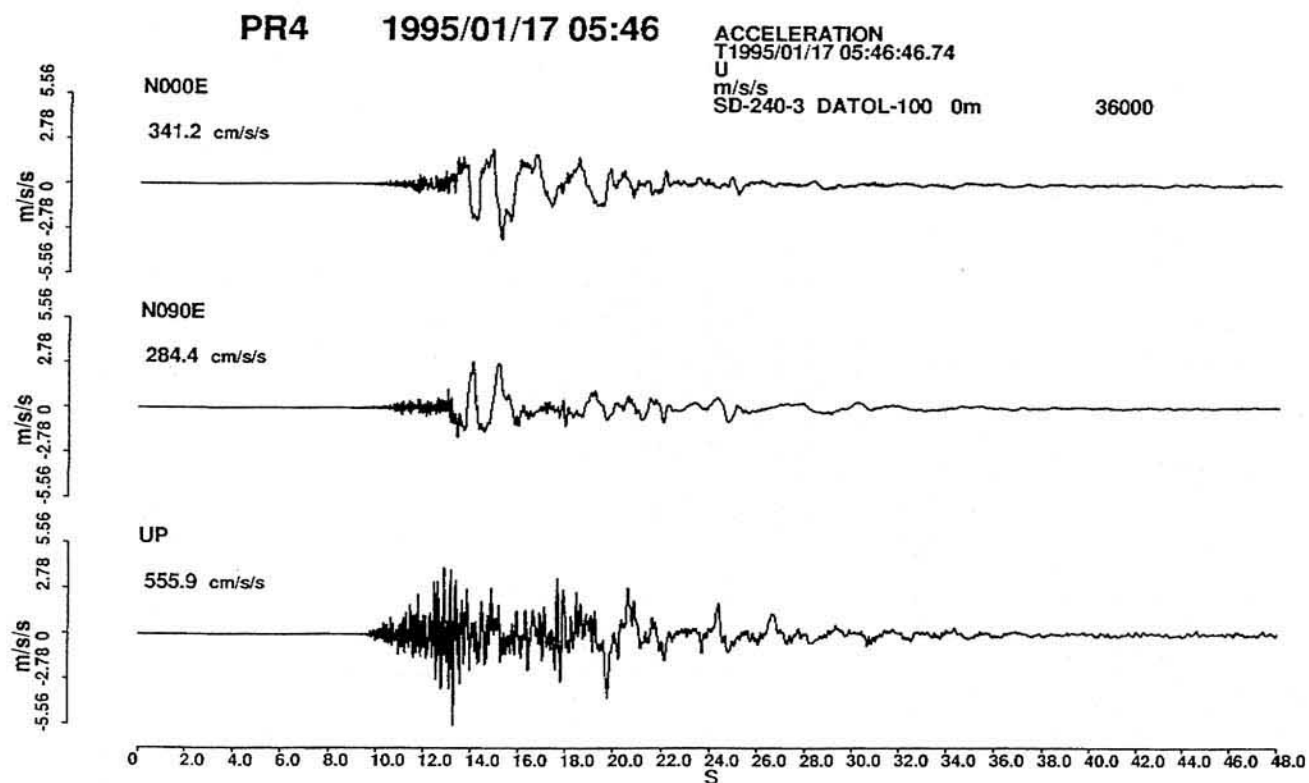


図2.6(a) 人工島ポートアイランドにおける観測波形

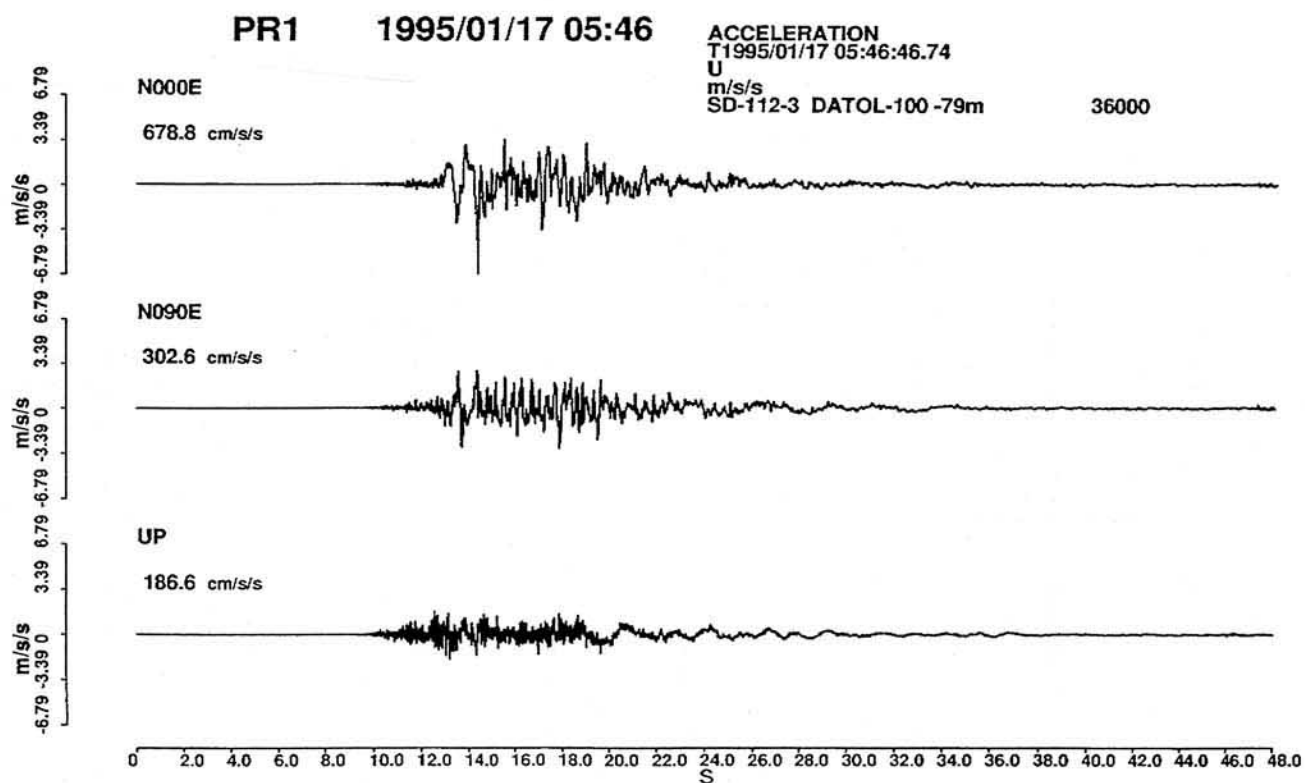


図2.6(b) 人工島ポートアイランドにおける観測波形

表 2.1 各機関で計測された最大加速度値

Organization	Location	最大加速度			備考	地図中 番号
		N-S	E-W	U-D		
関西地震動観測 研究協議会	神戸大学 (岩盤)	269.8	305.3	446.5?	?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 (同上)	131 34	92 32		GL-0.7m (盛土盤) GL-30.0m (堅孔内)	
	高砂発電所 (同上)	191 103	198 107	182 65	地表 (埋立盤) GL-25m (砂礫層)	
	(同上)	86	109	82	GL-100m (明石層)	
	須磨発電所					
	五色発電所					
	総研構内 (同上)	299 (312)	507 (648)	205 (228)	地表 (沖積層) () は最大加速度表示器による値	11
	(同上)	181	239	162	GL-24.9m (洪積層)	
	(同上)	294	320	199	GL-97.0m (大阪層)	
	南港発電所 (同上)				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)	
	八尾発電所 (同上)	133 148	141 139	88 82	地表 (沖積層) 地表 (沖積層)	12
	(同上)	123	140	67	地表 (沖積層)	
	信貴発電所 (同上)	42 22	45 20	27 11	GL-1m (盛土盤) GL-22m (岩盤)	13
	(同上)	25	20	10	地表 (切取岩盤)	
	南大阪発電所 (同上)	122 144	84 145	90 93	地表 (沖積層) 地表 (沖積層)	14
	(同上)	146	105	92	地表 (沖積層)	
	多奈川発電所				地表 (切取岩盤)	
	海南港発電所 (同上)	98 71	128 60	92 39	地表 (埋立盤) GL-25m (沖積層)	
	(同上)	26	25	21	GL-100m (岩盤)	
	湯崎発電所	16	19	8	地表 (切取岩盤)	
建築研究所	大阪第3合同庁舎 (同上)	90.2 412.3	82.5 316.3	108.8 209.4	地下3階 地上18階	15
	舞鶴市役所 (同上)	84.7 153.4	69.9 148.7	19.3 34.8	地上1階 地上5階	
	松坂総合庁舎 (同上)	69.8 173.8	63.5 132.6	34.3 51.2	地上1階 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 (同上)	17.2 75.2	19.3 85.6	5.2 9.1	地下1階 地上11階	
	石川県庁 (同上)	13.5 34.9	13.2 24.4	8.2 8.9	地下2階 地上5階	
	大分市役所 (同上)	7.1 37.6	7.2 15.2	2.9 3.5	地上1階 地上9階	
	神戸海洋気象台	818	617	332		16

大阪ガス	神戸市中央区葺合	833			17		
	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		
	鷹取	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		
	新高槻	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・栗東	67					
	五箇荘	128					
	新米原	227					
	岐阜県・新聞ヶ原	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	毎日1/24朝刊	36
		尼崎	475			毎日1/24朝刊	
竹中工務店	六甲アイランド	319		507	朝日1/26朝刊	37	
松村組	神戸市北区	274			日経1/24朝刊		
読売1/23夕刊	伏見	206					
読売1/23夕刊	京都	263					
読売1/23夕刊	千早	111					

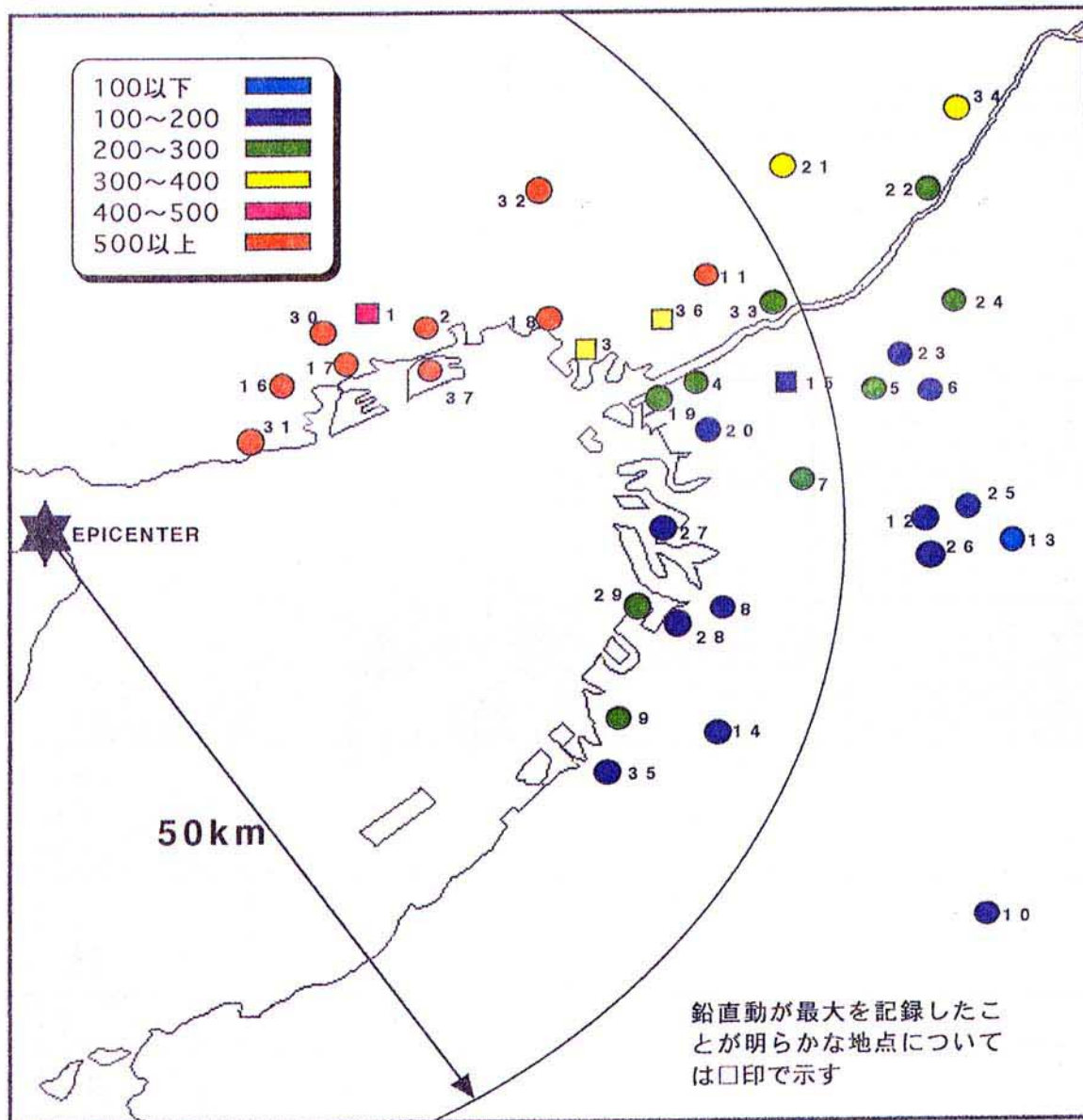


図2.7 最大加速度分布図

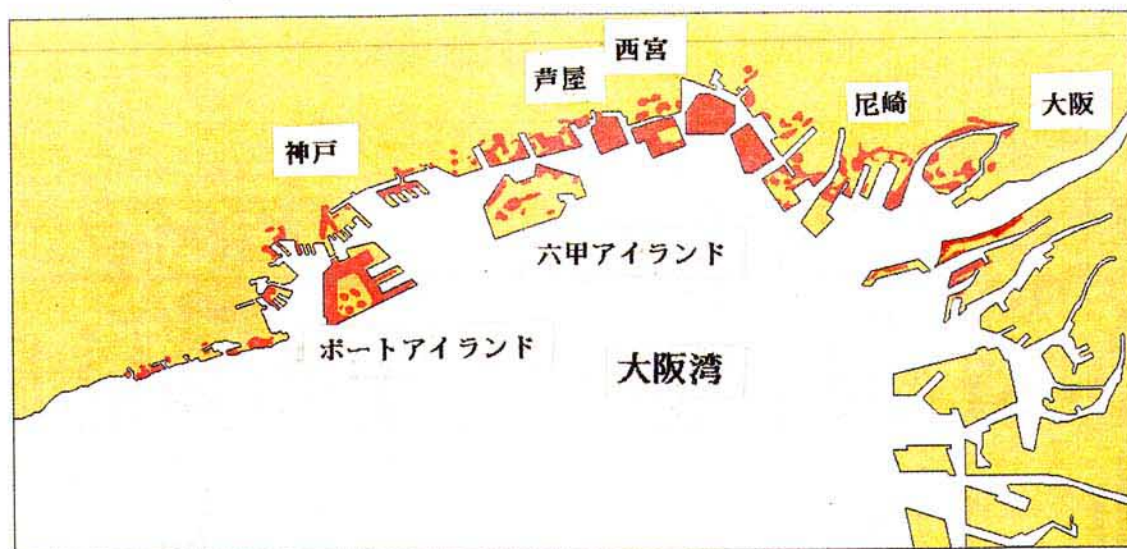
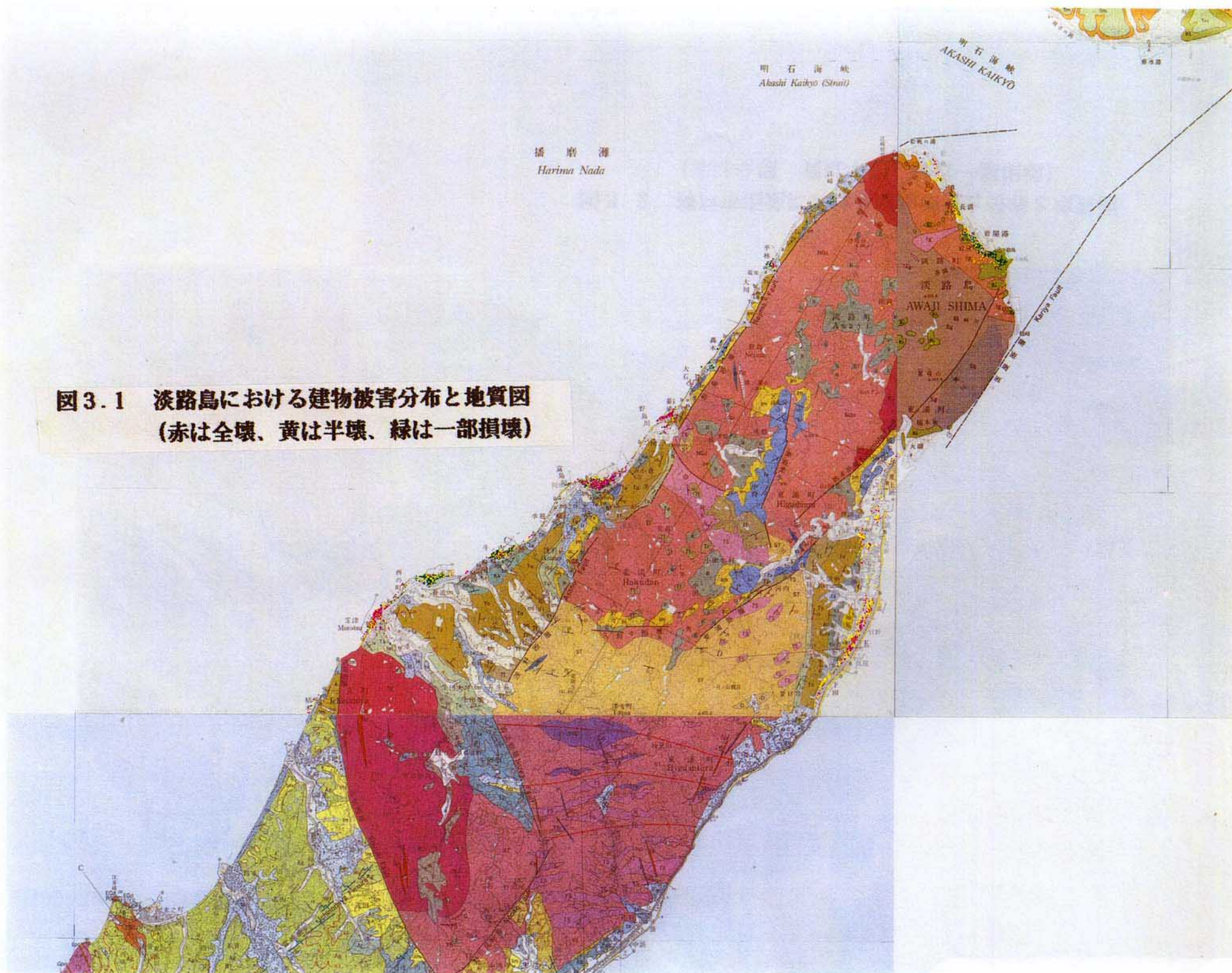


図3.6 地盤液状化の分布（大阪府を除く）

図3.1 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)



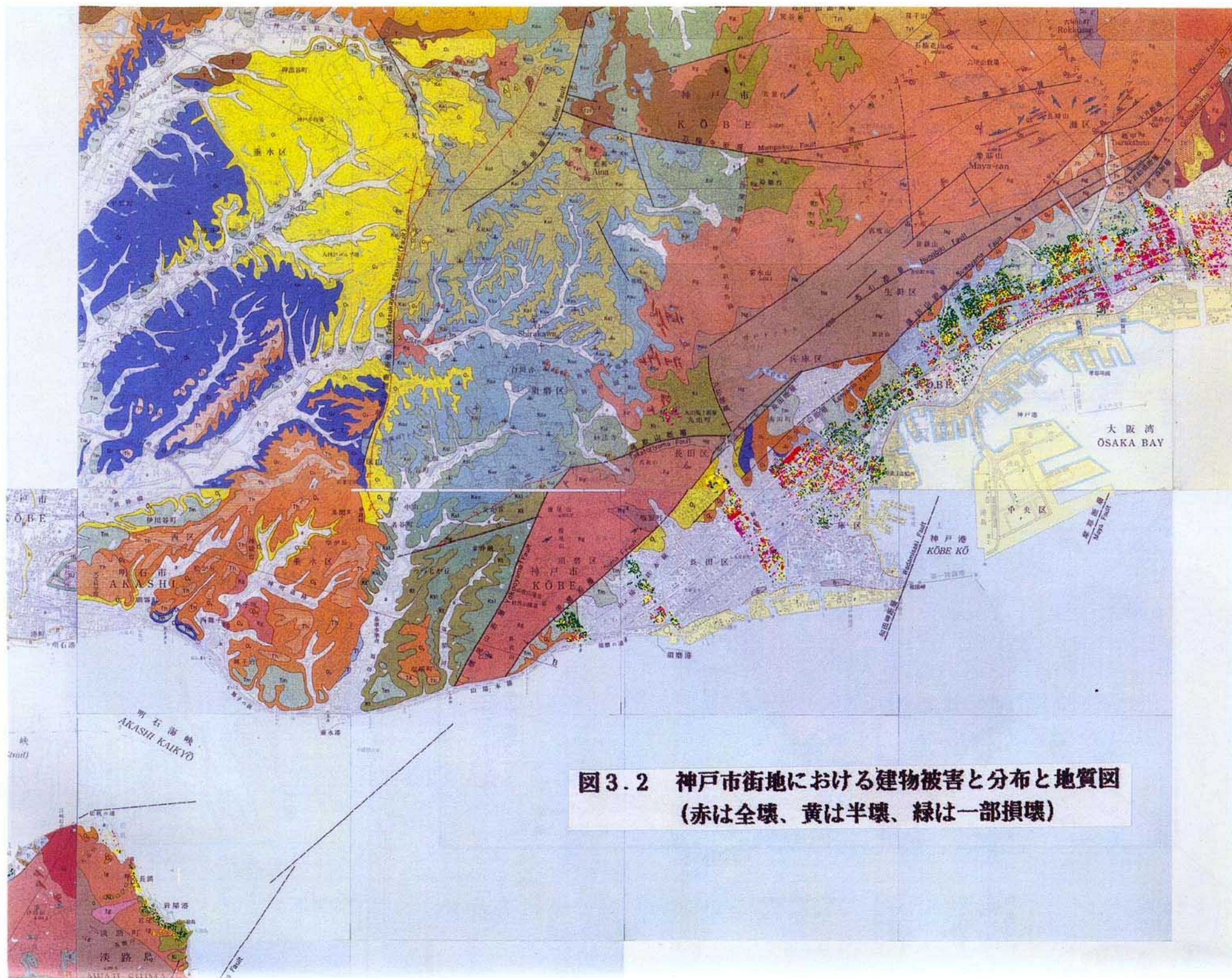


図3.2 神戸市街地における建物被害と分布と地質図
(赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

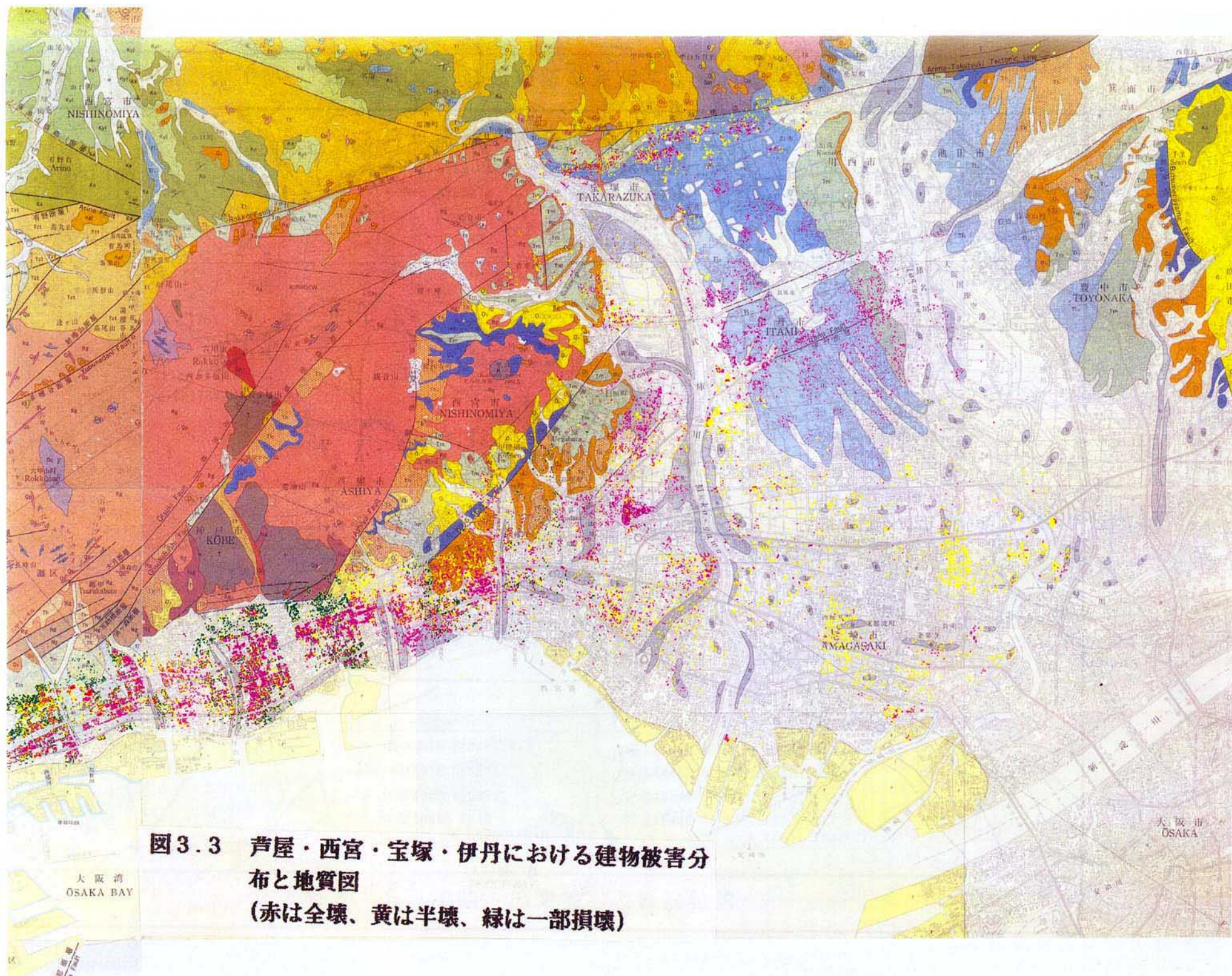


図3.3 芦屋・西宮・宝塚・伊丹における建物被害分布と地質図
(赤は全壊、黄は半壊、緑は一部損壊)

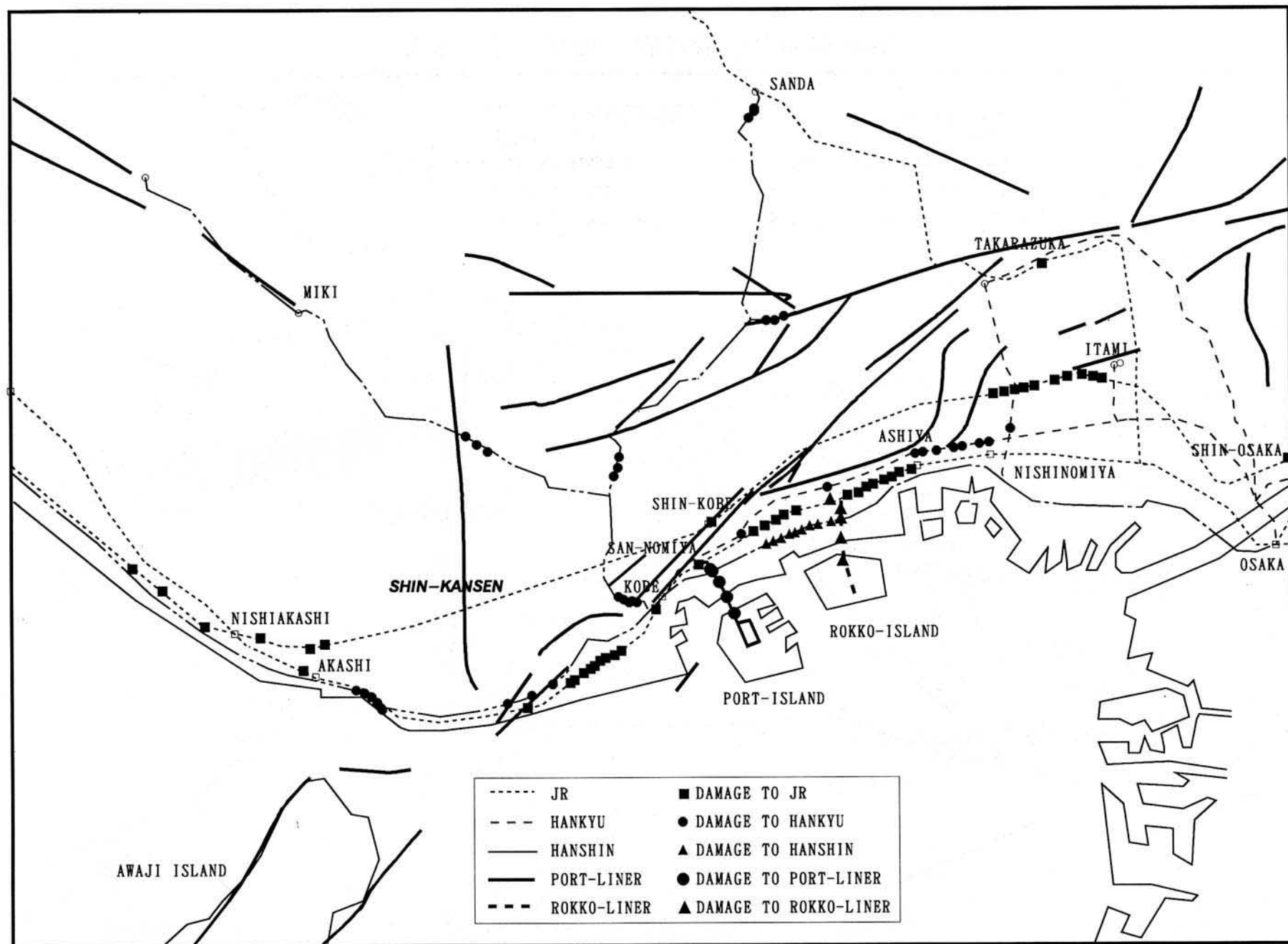


図 3. 4 鉄道施設の被害と断層位置

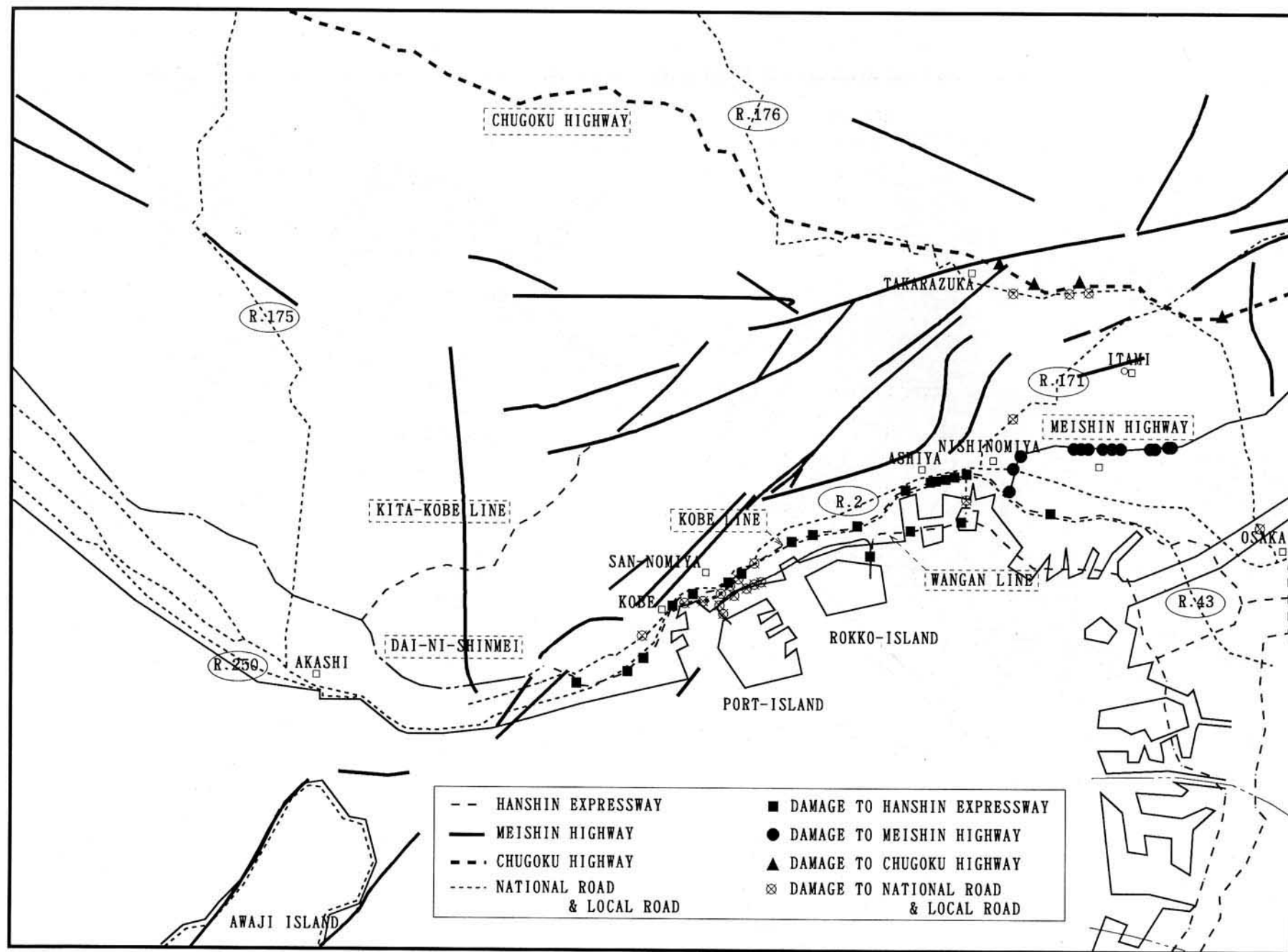


図 3. 5 道路・橋梁被害と断層位置

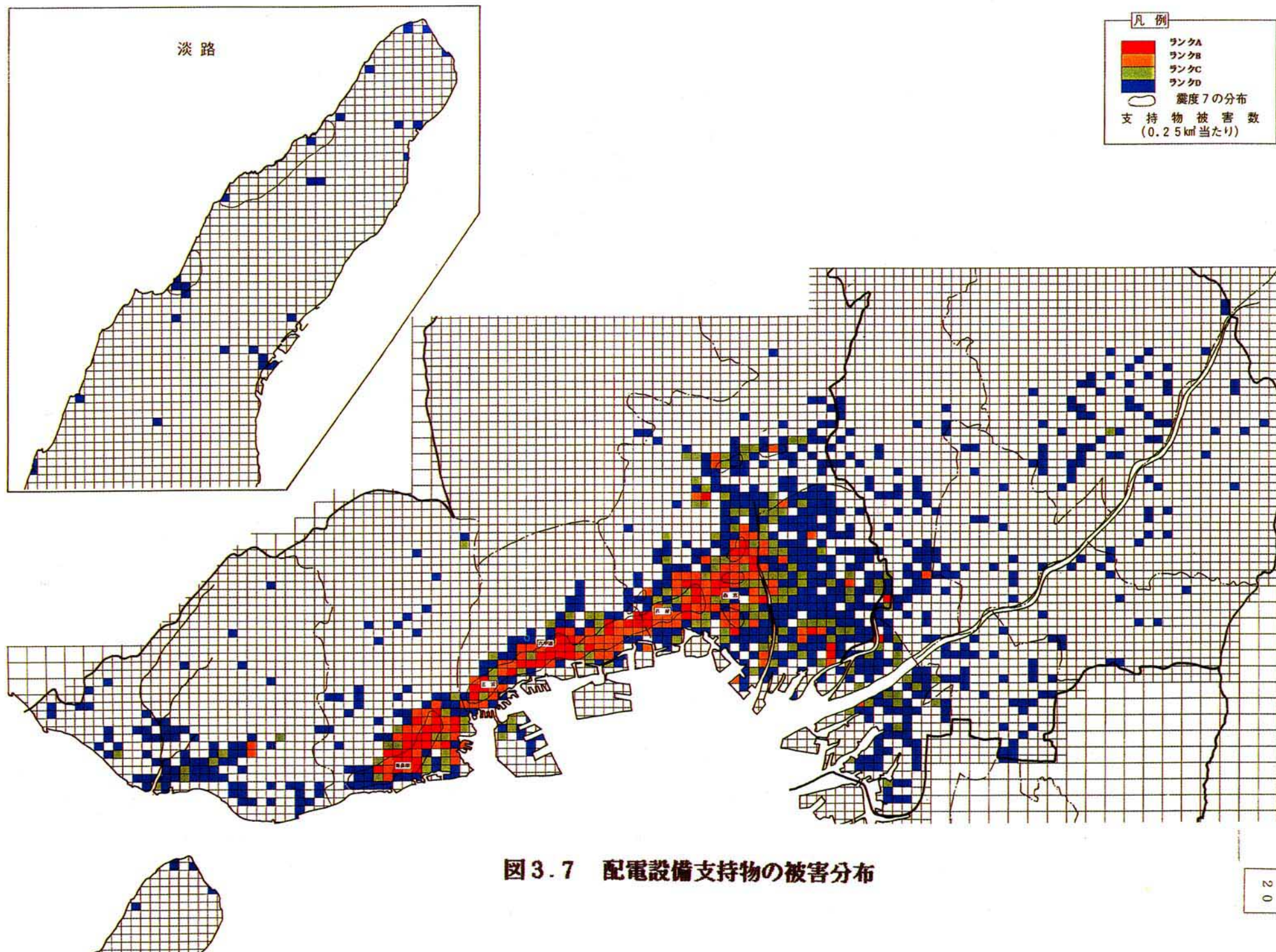


図3.7 配電設備支持物の被害分布

道路・鉄道（その１）グループ報告

調査メンバー：川原睦人（中央大学教授、応用力学）

檜山和男（中央大学助教授、応用力学）

平野廣和（中央大学専任講師、防災科学）

1. 調査対象地域

阪神高速道路（神戸線、湾岸線、大阪市内線、池田線）、中国自動車道、湾岸幹線道路（ハーバーハイウェイ）、一般国道（43号線他）、神戸市営地下鉄の諸施設

2. 被害状況・復旧状況

（１）阪神高速道路神戸線

神戸線では、2次災害を防止することを目的として復旧作業が進行中である。鋼製橋脚が崩壊し上部の鋼桁が落下した西宮市荒戒町、社家町などの高架橋、神戸市東灘区の横転したビルツ構造の東灘高架橋、RC橋脚が倒壊し上部の鋼桁が落下した神戸市中央区海岸通り的高架橋などは、いずれも十日間程度で撤去され、国道43号線の交通が確保されている（写真1）。現在、これらの地点では、基礎の支持力の調査が行なわれている。

神戸線は、国道上に建設されたこと、高架橋の圧迫感を極力減らすこと等から、単柱形式の橋脚により上部の桁を支持する構造が多く存在している。この単柱形式の橋脚に多くの損傷箇所が見られたが、現在、これらの修復が順次進行している。コンクリート橋脚では、軽微な損傷箇所は、写真2のようにクラックに樹脂を注入することにより補強している。橋脚損傷部の補強には、写真3のように倒壊防止のため桁や橋脚を支保工で支持した後、橋脚に鋼板を巻付け、この中にコンクリートを打設する方法がとられている。損傷が大きく鉄筋が露出している場合には、倒壊防止のため桁を支保工で支持した後、露出部にモルタルを吹き付ける方法（写真4、5）やコンクリートで固める方法がとられている（写真6）。鋼製橋脚においては、写真7のように補剛材を付けて剛性を高める処置がとられている。

西宮ランプ付近では、橋脚の側方への移動により上部工の落橋の危険が高い箇所がある。ここでは、写真8のように支保工により桁を支持し、落橋の危険性を防いでいる。また、湊川出入り口付近では、連続桁の固定支点の橋脚が水平移動し、上部工が落橋し支間の中央部付近で垂れ下がっている。ここでは、写真9のように補強支持して、今後の対応策を待っている。これらの処置は、余震による危険が予想されたため応急にとられた対策である。

（２）阪神高速道路湾岸線

湾岸線は、その殆どが埋立地を通るにもかかわらず、被害の程度は比較的軽微であった。

南芦屋浜料金所付近の3径間連続桁橋では、写真10のように支承が損傷し路面に段差が生じた。このため、現在、一般車両の通行は不能となっている。

西宮港大橋では、側径間の取付け桁橋が落橋した。この付近は埋立地であるので不等沈下が予想されたため単純桁橋が採用された。しかし、地盤の側方流動により橋脚が橋軸方向に移動し落橋を招く結果となった。ここでは、橋脚の健全度を調査し、橋脚の天場を一部拡幅して、桁端部を補修した桁を吊り上げて元に戻す方法がとられている。現在、落橋した桁部分の舗装と床板を撤去し、桁を吊り上げる作業が進行中である（写真11、12）。

東神戸大橋は、3径間斜張橋である。この橋梁には、耐震ダンパーが取付けられていたため、支承が一部損傷したが本体には被害が無かった。神戸側側径間のペンデル支承のピンが飛び（写真13）、神戸側側径間が浮き上がり、伸縮装置が破損して路面に写真14のような段差が生じた。このため、一般車両は通行不能となっている。復旧作業としては、側径間にカウンターウエイトを載せて浮き上がっている桁を押し下げ、ピンを入れ直す作業を行う予定である。ただし、ピンが特注であることから製作に時間が掛かっている。復旧開通は、4月下旬が見込まれている。

六甲アイランド大橋は、総重量が1万トンを超えるダブルデッキのローゼ橋である。ここでは、六甲アイランド側の橋脚上で橋軸直角方向に桁が大きく移動し、支承からはずれて、弦材が橋脚より外側にはみ出ている（写真15）。しかし、本体は上横構水平材と斜材の一部に座屈変形が生じた程度で大きな損傷は見られない。現在、橋脚の正規の位置に支承を設置し、我国の最大級のフローティング・クレーン船3隻を用いた一括吊りによる修復作業計画が進行中である。しかし、吊り上げるためには本来の橋梁の応力状態と全く異なった応力状態になるため、部材の補強が必要となる。また、熔接による吊りピースでは危険が伴うので、ディテールについては詳細な検討が現在なされている。六甲アイランド大橋の復旧開通は、10月頃が見込まれている。

（3）阪神高速道路大阪市内線

大阪市内線では、支承に損傷が見られたものの、桁本体ならびに橋脚の被害は殆ど無く、全体的に被害は概ね軽微であった。復旧に際しては、桁をジャッキにより持ち上げてから支承の交換が行われた。このため、桁が外見上無事であるかにも見えても復旧開通には時間を必要とした。

（4）阪神高速道路池田線および中国自動車道

池田線の豊中南インターチェンジ付近では、古い桁橋を補修して連続構造とし、免震支承を用いることにより耐震性を向上させる試み、いわゆるノージョイント工法が実施されていた（写真16）。この実施区域には全く異常が認められていない。ただし、桁端部が橋脚に衝突した形跡があり、水平変位は相当大きかったものと推察される。また、中国自動車道の生瀬高架橋においても同じ工法が用いられていた（写真17）。これらの補修工の効果は大きかったものと推察される。よって、既存の橋梁の耐震性の向上の一つの方向を示すものと考えられる。

（5）湾岸幹線道路

摩耶大橋は、2径間斜張橋である。全面通行止めにもかかわらず、バイクや歩行者は

通行している（写真18）。橋梁の本体に被害が及んでいるため、撤去の方向で検討されている。これに隣接する第2摩耶大橋は、3径間連続箱桁橋であるが、支承や橋脚の損傷（写真19、20）はあるものの橋梁の本体には被害は及んでいない。橋梁形式や被害の程度により、復旧の方法に差異が生じる一例と言えよう。

（6）神戸市営地下鉄

神戸市交通局地下鉄山手線の上沢駅及び駅西側線路部約260メートル区間では、市街地函型トンネル構造の鉄筋コンクリート製中柱が破損している。コンクリートが破壊し鉄筋が露出している（写真21）。一部では、軸方向鉄筋が屈曲してコンクリートと鉄筋が分離している。中柱をサポートを用いて応急に支持している。変位計により変位を常時計測しているが、特に異常は認められていない。現在、車両の運行は開始しているが、復旧工事に支障をきたすため駅の旅客扱いは中止している。安全面を十分考慮の上、復旧工事終了後に旅客扱いを再開する方針とのことである。



写真1 国道43号線（深江付近）



写真2 コンクリート製橋の樹脂注入による修復



写真3 コンクリート製橋脚の修復



写真4 コンクリート製橋脚のモルタル吹き付け



写真 5 コンクリート製橋脚の倒壊防止(1)



写真 6 コンクリート製橋脚の倒壊防止(2)

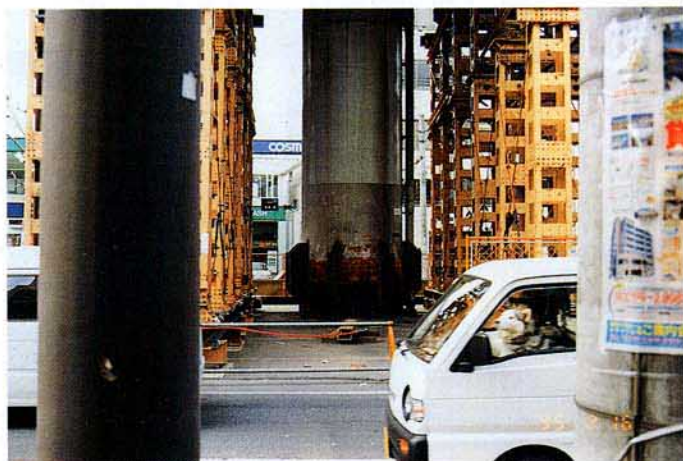


写真 7 鋼製橋脚の修復



写真 8 上部工の落橋防止(1)

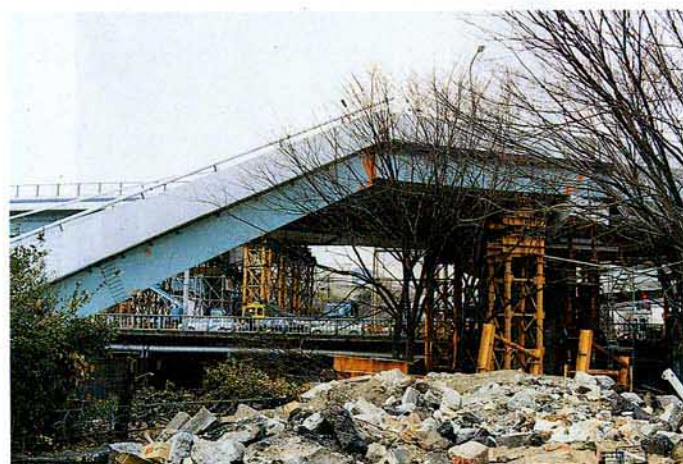


写真 9 上部工の橋脚防止(2)



写真 10 南芦屋浜料金所付近の路面の段差



写真 11 西宮港大橋の側径間の修復状況



写真 12 西宮港大橋の側径間部の床版の撤去



写真 13 東神戸大橋の支承の損傷



写真 14 東神戸大橋の路面の段差



写真 15 六甲アイランド大橋の橋軸直角方向の移動



写真 16 豊中南インターチェンジ付近(ノージョイント工法)



写真 17 生瀬高架橋の免震支承



写真 18 摩耶大橋

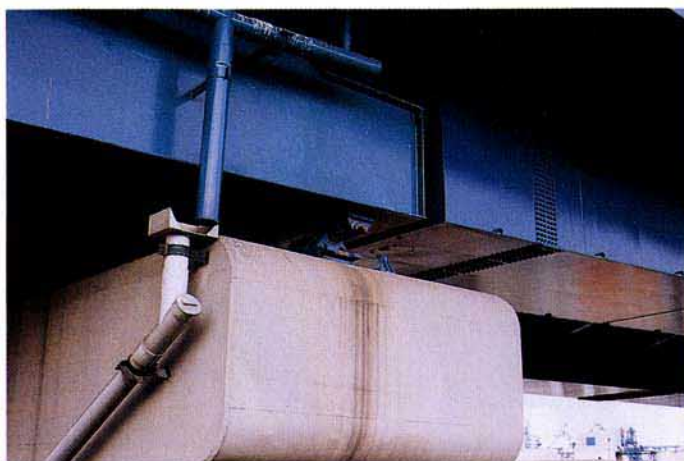


写真 19 第2摩耶大橋の支承の損傷



写真 20 第2摩耶大橋の橋脚部の修復

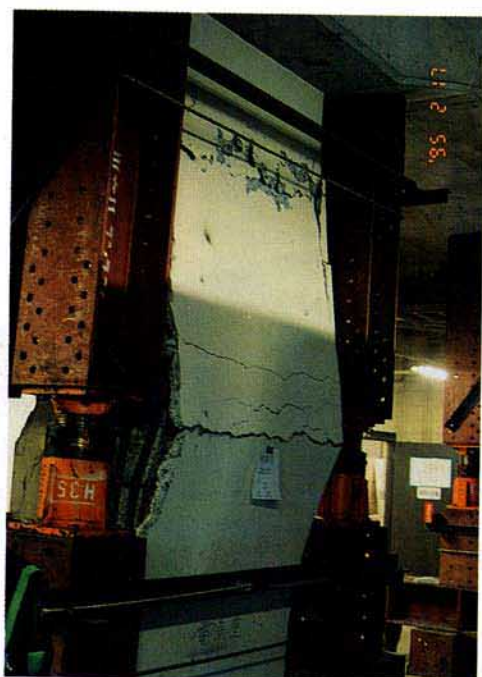


写真 21 神戸市営地下鉄上沢駅構内の中柱

3. 将来計画的な視点からの意見

調査の結果得られた知見を纏めると以下のようなになる。

- 1) 入念に検討を加えられた上部工（例えば、ローゼ橋、ニールセン・ローゼ橋、ラーメン橋、斜張橋等）は損傷が少ない。桁橋では、単純桁橋の一部が落橋した。落橋を防止するという意味においては、連続桁構造が好ましいと言える。
- 2) 桁と桁とを連結する耐震連結板は、一部は損傷したものの、桁の落下を防止したと判断されるものが多数見られた。この意味で、効果があったものと考えられる。耐震連結板が構造物の被害をより大きくした可能性もあるが、これは上部工が連結していることを前提として設計することで解決できるものと考えられる。これまでは、線構造が多用されていたが、今後面構造への検討が期待される。
- 3) 桁橋においてはコンクリート製の橋脚に損傷が多く見受けらる。これは、コンクリート構造が地震の変位に追従できなかったことによるものと考えられることから、コンクリート製の橋脚はじん性(ductility)の増大を図る必要があろう。
- 4) 鋼製の橋脚は、一部を除いて概ね致命的な損傷が少ない。しかし、阪神高速神戸線の西宮近くには倒壊した鋼製の橋脚がある。この原因の究明が急がれるところである。阪神高速神戸線大阪市内の中之島西出入口付近に、コンクリート橋脚に鋼板を巻き付け樹脂を注入することにより補強した橋脚がある。このような補修工法や、コンクリートと鋼の両者の特性を生かした合成橋脚などが今後注目される。
- 5) 多くの橋梁で、支承が損傷した場合が見受けられる。これは、いわば、支承が電気のヒューズの役割を果たしたものと考えられる。すなわち、支承が損傷することで、橋梁本体や橋脚の損傷を免がれているものである。ただし、支承や変位制限装置などがぜい性破壊していることを考えると、鋳鉄に代わるより粘りのある材料による製品の開発が期待される。
- 6) 損傷した支承の一部にアンカーボルトが浮き上がっているものがある。鉛直上向きに力が作用したことが推察される。現在の支承は、鉛直上向きの力には弱い構造となっているので、鉛直震度を考慮するか否かは別の議論として、浮き上がりに対する対策の検討が必要であろう。
- 7) 支承が弱点になることから、上部構造と下部構造が一体となった構造が今後更に検討されるものと考えられる。例えば、5径間連続ラーメン橋の灘浜大橋には全く被害が生じていない。
- 8) 地盤の側方流動による橋脚の移動によって、上部工が落橋したであろうと思われる場合がある。今後、側方流動に対する対策が慎重にたてられる必要があると考えられる。
- 9) 積層ゴムを用いた免震支承は効果があったと考えられる。ただし、変位が非常に大きくなることに対する対策、地震時における破断強度の保証、耐久性の確保などの問題点もある。このため、ゴムそのものの材料としての改良を含め、今後の検討が期待される。
- 10) ダンパー等の制震構造は効果があったと考えられる。今後、改良を加えより良い製品の検討が期待される。

1 1) 今後、積極的な振動のアクティブ制御の検討が期待される。ただし、制御装置なしで耐震構造となっていることが重要であり、当面、損傷をより少なくする目的で導入されるべきであろう。

1 2) 復旧の時点において、作業員の宿舍の確保の問題がある。作業員宿舍が遠隔地にしか確保できないために、通勤に大幅な時間を要している。さらに、余震に対する安全の問題もある。作業員の安全衛生と休養を確保する必要がある。

以上、調査を実施して考えたことの一部を報告した。これらが、諸賢のこれからの議論の材料として資するところとなれば幸甚である。

道路・鉄道(その2)グループ報告

調査メンバー：長 尚（信州大学工学部；構造設計学）
中川真治（信州大学工学部；交通計画）

1. 調査対象地域、施設の概況

（1月23日～25日に行われた鉄道建設公団の調査に随行した。その時の調査も含む。）
山陽新幹線（六甲トンネル入口以東約8km、西明石駅付近約4km）
JR在来線（住吉～六甲道間）
神戸高速鉄道（元町～高速長田間）
阪急電鉄（夙川～西宮北口間）
阪神電鉄（石屋川車両基地付近）
阪神高速神戸線、国道43号線（西宮市内約3km、深江～岩屋間）
名神高速道路（武庫川橋梁付近約4km）
中国自動車道（宝塚市売布付近）

2. 被害状況

山陽新幹線、JR在来線、阪急電鉄

☆鉄筋コンクリートラーメン高架橋の柱のせん断破壊による桁・スラブの落下

☆鉄筋コンクリートラーメン高架橋・橋台の柱のせん断破壊

☆鉄筋コンクリート橋脚のせん断破壊

☆鉄筋コンクリートラーメン高架橋の曲げ破壊

☆鉄筋コンクリート・PC単純桁のずれによる落下

神戸高速鉄道

☆PC単純桁のずれによる落下

☆PC単純桁のずれ

☆鉄筋コンクリートラーメン橋台の柱のせん断破壊

☆地下駅の鉄筋コンクリート柱のせん断破壊とこれに伴う道路の陥没

☆地下の鉄筋コンクリート柱のせん断破壊と曲げ破壊

☆地下の鉄筋コンクリート柱の曲げ破壊

☆鋳鋼管のせん断による水平破断

☆沓の破損、桁の沓からの外れ

阪神電鉄石屋川車両基地

☆鉄筋コンクリート1層ラーメン高架方式の車両基地の柱のせん断破壊による桁・スラブの落下

阪神高速神戸線

☆鉄筋コンクリート橋脚のせん断破壊

☆鉄筋コンクリート橋脚の曲げ破壊

☆単純桁のずれによる落下

☆沓の破損、桁の沓からの外れ

名神高速道路

☆桁落下

☆鉄筋コンクリート壁式橋脚のせん断破壊

☆桁の沈下・損傷

中国自動車道

☆鉄筋コンクリート橋脚のせん断破壊

☆鉄筋コンクリート橋脚の曲げ破壊

☆鉄筋コンクリート橋脚の傾斜

☆桁の沈下・損傷

☆桁の沓からの外れ

3. 鉄筋コンクリート柱、橋脚のせん断破壊について

ここでは今回の破壊の中で、そのメカニズムが説明しにくい、鉄筋コンクリート柱、橋脚のせん断破壊（建物の下層、中間層の潰れも同じ）についての私見を述べる。

写真-1は新幹線の鉄筋コンクリートラーメン高架橋の柱がせん断破壊している例で、これが更に進行して、ずれ面が滑ると写真-2のような状態となり、もっとひどいものは柱が完全に崩壊してしまっている。写真-3は新幹線の武庫川の鉄筋コンクリート橋脚のせん断破壊例、写真4、5は神戸高速鉄道の大開駅（地下）の鉄筋コンクリート柱のせん断破壊例である。このようなせん断破壊は柱、橋脚の上下方向の位置を問わない（ただし柱の上下端に近いものが数としては多い）で、鉛直方向から15度～35度傾いた方向で起きている。

コンクリートの破壊はモールの破壊説に基づく破壊曲線を用いて説明できる。これによるとコンクリートの破壊はせん断破壊と引張破壊の2種類である。コンクリートのテストピースの圧縮試験では側方圧のない状態でのせん断破壊時の、加えた力に直角の面の圧縮応力度を圧縮強度としているのである。帯鉄筋があると、垂直力の作用によりコンクリートが側方に膨張しようとする（ポアッソン比とダイレタンシーで説明できる）のを帯鉄筋が拘束するために側方圧が生じ、応力状態が破壊曲線内になり、破壊するためにはさらに垂直力を増やす必要が生じる。これが垂直力の耐荷力を増進させる帯鉄筋の効果である。

ところで通常の状態では、柱の応力状態は圧縮強度レベルの応力度より遥かに低い。地震時にかなりのせん断応力度が働くとしても、垂直力でせん断破壊するためには、圧縮強度近くの応力度になるような大きな垂直力が必要となる。概算してみて、上下方向の異常な力は、支えている重量の5倍以上、場合によっては10倍にも達するという結果が出た。これは余りにも異常過ぎる。今回の地震の上下方向の加速度がたとえ1gだとしても、2倍にしかならず、5～10倍は説明できないからである。

今回の地震のように、異常な水平力が（コンビニエンス・ストアのビデオ記録では揺れが回転しているし、鉄道総研で行われた記録に基づく変位解析でも回転しているから、ねじりモーメントも）作用すると、コンクリートの中には引張破壊応力度付近の応力度状態がせん断応力度を伴って発生する。その場合は、極端にコンクリートのずれ抵抗が弱くなり（破壊曲線が急激に下がって）、X状にせん断破壊する可能性が生まれ、その面も鉛直方向からある角度を持つことがモールの応力円から理論的に説明できる。またこれに上下方向の力が加わると、ずれ面の方向が鉛直方向に近くなることもモールの応力円を用いて説明できる。このメカニズムによると、せん断強度の一番低い所（強度は一樣ではない）で起きるので、結果として柱のどの位置でも起こり得る。ただしずれる位置として柱の上下端に近いものが数としては多いのは、曲げによる引張応力度の発生が絡んでいるからだと考えられる。



写真-1 矢印の先の柱がこの方向の面でせん断破壊している。



写真-3 矢印の先の橋脚がこの方向の面でせん断破壊している。



写真-2 写真-1の状態が進行してずれ落ちた状態



写真-4 矢印の先の柱がこの方向の面でせん断破壊している。



写真-5 写真-4の状態が進行してずれ落ちた状態

新幹線の高架橋について、ざっと数値的に試算してみると、このような現象が起きるために必要な異常な水平力は、加速度で言うところと2g程度で（力の集中で結果としてそうなする場合もあるし、ねじりや衝撃が加わると2g相当以下でも）、ずれの面の方向も実際（鉛

直方向から15度～35度傾いた方向) とほぼ一致した。

なおこのようなせん断破壊に対する帯鉄筋の効果は次のように説明できる。コンクリートがある面でずれるためには体積膨張(ダイレタンス)が必要で、これを帯鉄筋が拘束する。そのためにずれにくくなる。このことを破壊曲線によって説明すると次のようになる。帯鉄筋の拘束により圧縮応力度が水平方向に発生し、全体としての応力度を圧縮側に寄せ、応力状態を破壊曲線に近付きにくくする。つまり壊れにくくして、急激に起きるせん断破壊を起きにくくするから、結果としてじん性が増すのである。

本来このせん断破壊に関する説明は破壊曲線を用いてきちんと説明すべきであるが(図-1に概念図だけ示した)、それをするだけの時間的な余裕が今はない。いずれ別に発表するつもりなので御容赦願いたい。なお私自身はまだ確認していないが、ずれ面が鉛直から45度より水平に近い場合も若干あるようである。これは引張軸力が働いた可能性がある。

さてこのような説明に対して若干問題点がない訳ではない。

その一つは、鉄筋の存在によるせん断破壊抵抗の問題である。鉛直方向から15度～35度傾いた方向のせん断に対して有効な鉄筋はこれと直角の方向のものであるが、そのような鉄筋はない。柱の主鉄筋はずれ方向に対して角度が薄く、その効果は余り期待できない。また場合によっては鉄筋の周囲が鉄筋に平行にずれ、これが全体として斜め方向に繋ることも考えられる。帯鉄筋は比較的効果的だが、量が非常に少ない。このようなことから、ここで説明したよ

うなせん断破壊に対して鉄筋は十分働かないのではないかと考えられる。なお現在帯鉄筋の計算に用いられている式は、基本的には斜め引張に対するもので、ここで述べたようなせん断破壊を直接に対象としたものではない。この際帯鉄筋の算定式について再検討する必要があるように思う。

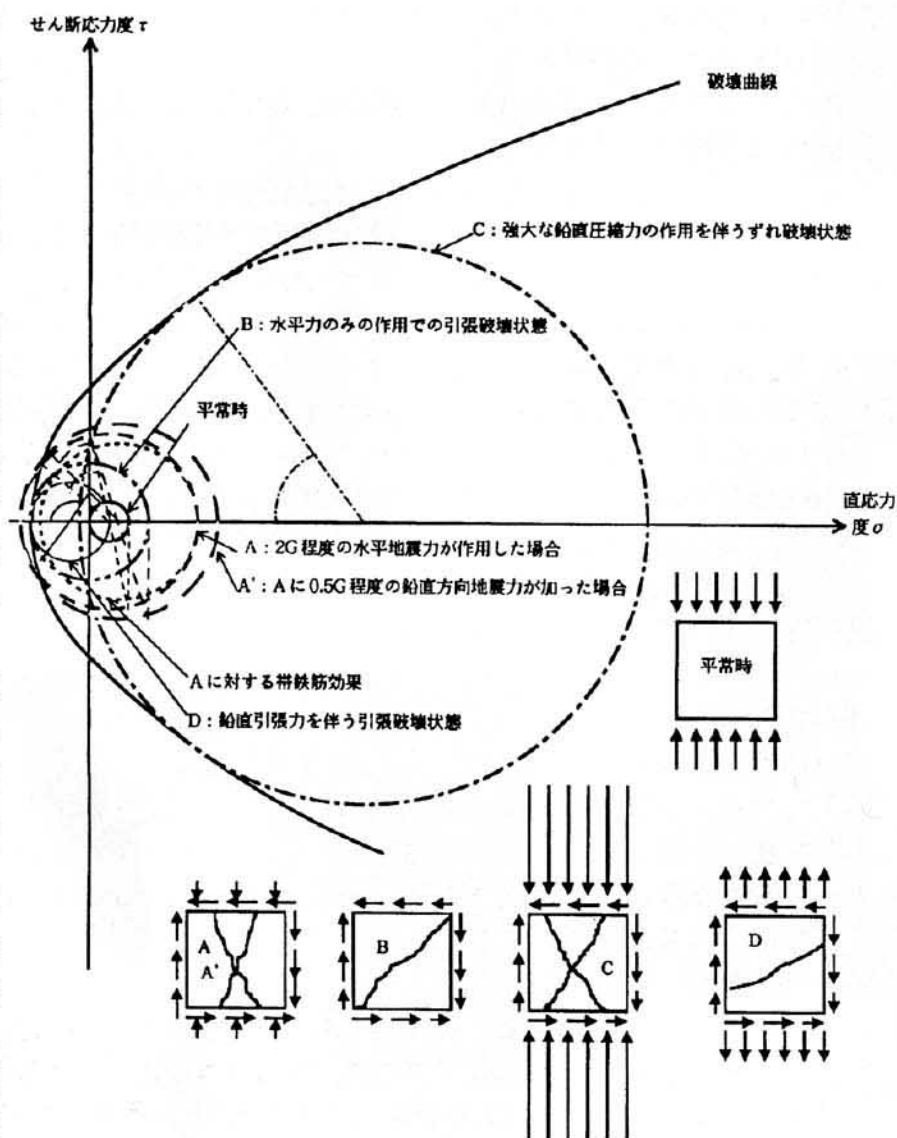


図-1 コンクリートのせん断破壊の説明(概念図)

もう一つは、曲げの影響を受けたせん断破壊も沢山見受けられるにしても、曲げ破壊が先行しそうなものまで、何故せん断破壊が起きるのかという問題である。これまで力と応力でせん断破壊を説明してきたが、正確に言うと、力や応力に見合う変形とかひずみにコンクリートが達して破壊したと考えるべきである。曲げ破壊とせん断破壊の根本的な違いは、前者はかなり構造物が変位しなければ起きないが、後者は余り変位しなくても急激に起きる点にある。したがって、力や応力に見合う変形とかひずみが限界に達するのは、曲げより、せん断の方が先だと考えられる。柱の途中でせん断破壊が起きると、そこで地震エネルギーは破壊エネルギーや音エネルギーで消費されて、下まで力は伝わらなくなる。そうすれば、大きな曲げモーメントも生じなくなり、曲げ破壊は起きにくくなると考えられる。また曲げ破壊に必要な変位を起こす前に逆な力が作用して曲げ破壊が起きないことになることも考えられる。

以上のようなメカニズムだとすると、この状態を実験室の静的な試験で確認することはかなり難しい。その意味で土木学会の第2次調査団の団長中村英夫会長が述べた「研究室の実験でもそのような破壊を再現しようもない程の…」という表現は問題の本質を見据えた名言のように思う。

なおどちらかと言うと、細い柱の方が完全にずれ落ちたケースが多いように見受けられる。この原因は太いものに比べてせん断抵抗が相対的に小さいことにあると考えられる。阪神高速の一本足の高架橋では、せん断破壊と曲げ破壊が同時に起きているように見える。この橋脚の断面は比較的大きく、せん断抵抗が大きいために下までエネルギーがかなり伝わったのかも知れない。あるいは一部のものがせん断破壊してずれて落ち、それがその他を道連れにしたのかも知れない。目撃者の証言によると、東端が地震で落ち、その他はその後これに引きづられて次々に倒れたそうである。そうすると、東端はせん断破壊しており、その他は曲げ破壊が主因となっていることが説明できる。

最後に、ここでは鉄筋コンクリート柱、橋脚のせん断破壊について考察しているのであって、曲げ破壊がなかったということを言っているのではないことをお断りしておく。勿論条件によっては、曲げ破壊と考えられるものも見受けられる。

4. 復旧状況

山陽新幹線、JR在来線、神戸高速鉄道（地上部）

落下した桁・スラブで利用できるものは利用し、柱も利用可能な部分は利用し、必要に応じて新しい鉄筋で接合し、鉄板で巻いて注入する方針のようである。また柱・はり等の比較的軽微な亀裂に樹脂モルタルを注入中のものもあった。利用不可能なものは新しく造り直す作業が進行していた。

名神高速道路、中国自動車道

桁を持ち上げ、沓を補修し、橋脚は鉄板をあてて注入する方針と見受けられた。

以上の補修は、いずれも緊急でやむを得ない状況では許せる限度一杯の措置であると考えられるが、供用開始日程が優先した無理な復旧行程にならないようにして頂きたい。また十分な技術者を配置できない状況での復旧作業であるから、施工管理に可能な限りの配慮を望みたい。

なお応急復旧であるから、仮復旧後、必要に応じて適切な措置が必要であろう。

5. 問題点とこれからの対応に関する私見

今回の阪神大震災について、学者・専門家とジャーナリズムが色々な見解を述べ、議

論を展開しているのは当然としても、安易な決めつけ、思い込み、期待（思いたい気持ち）からの議論が多過ぎるように思う。結果として、間違った結論が独り歩きし、今後の対応が見当違いな方向に走ることを極めて憂慮する。

まずお互いに、予見、予断、期待などを極力排除し、事実をできるだけ冷静に見つめることである。そうすれば、どんな立場にある者でも、俄かに説得力のある説明ができない事実と直面したり、納得できない説明を沢山聞かされていることに気付く筈である。

俄かに説明ができない主なものを私なりに次に挙げ、若干のコメントを述べたい。

①今回の異常さの原因は何か？

現象としては局部的な何本かの線に近い一帯が、想像を絶する揺れをし、それに絡んだ構造物が大きな被害を受けたように推定される。では想像を絶する揺れを科学的にどのように説明できるというのだろうか。従来、構造物に影響を与えるものとして、力したがって地震の加速度と共振に関連した周期が注目されてきた。今回はこれだけでは説明できないので、速度とか縦揺れの同時発生等が言われているが、説得力ある説明はまだなされていない。確かに速度が異常に大きいようである。したがって衝撃エネルギーは質量と速度の2乗の積に比例するから、今回の破壊に大きな関係があることは間違いないであろう。もう一つの側面として、私は個人的に、以前から周期が関係する（共振との絡みからではない）と思っている。いずれにしても、この最大の問題点をはっきりしないのに、学者・専門家が色々な現象とか対策について結論的な見解を述べるのは拙速に過ぎるように思う。

②学者・専門家は見込み違いをしていたのか？

「新基準で設計されたものは比較的致命的な被害を受けていないから、大幅な基準の見直しをしなくて良い」というような見解を述べる学者・専門家がいますが、これには3つの点で問題がある。

①今の段階で「新基準で設計されたものは比較的致命的な被害を受けていない」と果たして言い切れるのか。

②「新基準で設計されたものの被害」は果たして予想していたようなものだったのか。

③日頃からこのようなことが起きると一般の人に説明していたのか。

私の印象では、いずれもノーと言わざるを得ない。学者・専門家も想像を絶する揺れだったに違いないと思う。関東大震災の評価を間違えていたのかも知れないが、もう1つの原因はこれまでかなりの加速度（今回程度の）が日本国内で観測されていても、被害が軽微（少なくとも土木構造物では）であったため、地震の影響の評価をどういう形で設計に反映させ、取り入れるか（ある特定の力の作用として扱い、殆どダメージを受けないようにするかある程度のダメージは許すか、またどの場所のどんな構造物を対象とするか等）は別として、地震をうかつにも、見くびり、傲慢になっていたと言って良いと思う。

勿論私を含めて、どんな場合でも大丈夫だとは思っていなかったとしても、最大級の地震の影響はほぼこの程度であろうとした判断が誤っていたことは間違いないと思う。このような反省がまず関係者になればならないであろう。

なお私は以前から関係者が余りに安全ですよと言過ぎる、もっと正直に言うべきであると主張しているが、事実が起きてから、実は致命的なことに至らないように配慮していたと言う（本当に自信を持ってそう言えるのか？）のはまやかしだと受取られても仕方がないであろう。

③各種の破壊形状を科学的にどう説明できるのか？

今回大規模な土木構造物に様々な破壊形状が現れているが、中でも専門的に説明しにくいのが鉄筋コンクリートの柱、橋脚のせん断破壊であろう。私はあるメカニズムについて検討すべきであると世に問うている（3項で説明）が、これの解明が急務である。

④帯鉄筋は何故じん性を向上させるのか？

帯鉄筋がコンクリートのじん性を向上させる（急激に起こるせん断破壊を起こりにくくする）のは事実である。しかし一般の人には意外かも知れないが、その理論の解明はこれまで十分に行われていない。今回せん断破壊のメカニズムを説明する段階で、私はある程度明確にできたと思っている。いずれにしても、帯鉄筋を多く入れればじん性が増すというような定性的な説明ではなく、帯鉄筋をどれだけ入れればどのような現象にどれだけ効果があるかをはっきり説明できなければならない。

⑤同じ構造物が僅かの位置の違いで決定的な違いを見せているのは何故か？

現地踏査に出掛ける前にある期待を持っていたのは、被害を受けていないものから、今後の対策に関する何らかのヒントが得られるのではないかとということであった。勿論それが無かった訳ではない。しかし極めて異常な力を受けて崩壊したと思われる構造物があり、それと全く同じ構造物がすぐ隣ではほぼ健全で、ある区間全滅とか、徐々に被害が軽微になるといった様相は全く見られなかった。したがって構造物自身の耐震性の差もさることながら、極めて異常な力の発生は地盤とか断層に関連して、極めて局部的なのではないか、地震動の大きさはほんの僅かな位置の違いで極端に変わるのではないか（極めて異常な揺れが稲妻状に何本か走った）という印象を強く受けた。だとすれば被害を受けなかった構造物から、必ずしもヒントは得られないことになる。いずれにしても、極めて異常な揺れをしたのはごく限られた局部的な何本かの線に近い一帯であり、その他の所は大変なものであったことは事実だが、この一帯とはかなり違った揺れであったと考えなければならないように思う。

したがって、比較的健全なものから普遍的な結論を出すにはかなりの限界があるという目で分析をしないと、とんでもない結論を出してしまう危険性がある。つまり今回被害を受けた全地域が同じ揺れの地震力を受けたとして扱うのは極めて危険であり、統計解析は特にこの点に留意して行われなければならない。被害がないか軽微で済んだものがあるからということで、軽々にある種の結論を出したり、大幅な基準の見直しはしないで良いと軽率に言ってはならない。

⑥このような地震はどの程度の頻度で起き、果たしてこれが最大級と言えるのか？

これまで私を含めて関係者は、関東大震災でこれ位のものだろうと推定したものが最大級かそれに近いと思い込んでいた。しかしそれを遥かに越す影響を与える地震があることが現実を示された。ひょっとして、関東大震災とか福井地震等で今回程度の地震が局部的にはあったのかも知れないと考える方が妥当なのかも知れない。だとするとある地点では数千年に一回のことでも、日本全体では、かなりの頻度で今回程度の地震が発生するとしなければならなくなる。また今回ののがほぼ最大級と言えるのかという疑問もある。頻度は極めて小さいが、今回を越すものがあるとした方が自然のようにも思える。

さて、今回様々な施工ミス、施工不良が指摘され、私自身も現地踏査でその多くを目の当たりにしてきた。こうしたことについては、日頃から個人的には指摘していたし、今回の災害の主原因かどうかの議論とは別に、技術者は謙虚に大反省しなければならない。「施工ミス、施工不良がないとは言えません。しかしそれが破壊の主因ではありません。」という高飛車な説明は、やはり不遜で、一般の人に対する説得力に欠けるどころか、却って不信感を抱かれると思う。心からの反省と今後の取り組みへの決意を表明した上

で、冷静に個々の施工不良が破壊の主因かどうかの議論をしなければならない。

例えば“新幹線高架橋の柱のコンクリートの打継ぎ目の施工不良が崩壊の原因だ”という意見もある。しかし破壊の形状からと簡単な数値的な計算から、打継ぎ目の施工不良が今回のような新幹線の柱のずれ破壊の原因だという結論は出てこない。またずれ破壊が全て打継ぎ目付近で起きている訳でもない。ただこれを指摘された方はコンクリートの施工方法の問題点について、日頃から指摘されており、今回施工不良が白日のもとに晒されて、ついそのような発言になったことと思う。しかし事実はやはり正確に、冷静に、かつ科学的に分析されなければならない。

勿論施工不良が原因で破壊したものが全くないとは言いきれないであろう。しかし施工がきちんとされていれば、こんな致命的な被害が出なかったとはとても言えそうにない。施工不良が破壊の主因であれば、設計は間違っていなかったことになるから対応も容易なのだが、それだけで済ませたら、またかなりの被害を繰り返す危惧の方が遥かに大きい。誤った結論を感情的に出してはならない。

いずれにしても、様々な未解明な問題があるような状況では、一般の方々も学者・専門家に性急な結論と対応策を催促しないで欲しい。また関係者も「今回の地震に余裕を持って耐えられる基準」を安易に提示しないで欲しい。現状では応急復旧に限って基準を作成し、その後のきちんとした議論で、見直しをするという対処しかないように思う。

最後に今後の対応に絡む根本問題について触れておく。

今回の厳粛な経験で、最大級の地震の影響の評価について大幅に見直されることは間違いないであろう。先にも触れたように、基本的には現在の基準で十分で、大幅な見直しは不要という見解もあるが、まずそういうことにはならないと思う。

さて見直しをして基準を改めれば、すぐ今回のような破壊が避けられるようになるかと言えば、そうではない。大変な経費と時間を要し、全てについて今回のような地震を想定して補強し、建設することは現実問題として不可能であろう（大したコストアップにならないという見方が一部にあるようである。できればそう願いたい、そうならない可能性の方が遥かに高い）。そこで今回のような千年に1回起きる異常な地震にまで耐えるような基準は作っても現実が伴わないという考え方もある。しかし先にも述べたように、日本全体ではかなりの頻度でこのような地震の発生があり得るかも知れないので、今回の地震を対象に考えた基準を設定し、やれる範囲内でやるしか他に道はないと思う。安全のレベルはこうあるべきだからということだけで、すぐそうなるというものではないのである。残念ながら、あるべきレベルよりかなり低いレベルを結果として強いられるのである。このことを私はこの10年近く訴え続けてきたが、孤立無援という事情もあって、殆ど理解されていない。

それはともかく、この際社会全体がこのことを冷静に受け止めなければならない。そのためには、学者・専門家が正直に事実を言うことが大前提である。その上で、社会全体でどう対処するかを議論しなければならない。これまでは、設計基準などはその道の学者・専門家に任せておけば、安心だとされていた。実はそこところが間違っていたのである。学者・専門家に限らず、誰も絶対安全を保証できないのである。それなのに学者・専門家ができると安易に言い、世間もそれを信じさせられていたのである。

今回図らずも、安全は絶対ではないことが厳粛な事実として示された。人知を遥かに越える自然の営みに比べて、人間の社会活動の限界（知恵、財力、社会、政治等の結果としての）の余りの低さに、呆然とせざるを得ない。しかし諦める訳にはいかない。現実的な対応をして、リスクをできるだけ少なくすることしか方法はないのである。

海岸港湾施設グループ調査報告

調査メンバー：河田 恵昭（京都大学防災研究所教授、自然災害論）
田中 泰雄（神戸大学工学部建設学科助教授、土質工学）
角南 進（日建設計）

1. 調査対象地域、施設の概要

調査対象地点は図－1 に示すとおりである。

- | | |
|-------------|------------|
| ①淀川左岸、 | ②尼崎港、尼崎閘門、 |
| ③西宮ヨットハーバー、 | ④南芦屋浜埋立地、 |
| ⑤東部第4工区、 | ⑥六甲アイランド、 |
| ⑦摩耶埠頭、 | ⑧第5～8突堤、 |
| ⑨ポートアイランド、 | ⑩兵庫港、 |
| ⑪長田港、 | ⑫須磨海岸 |

調査方法としては、陸域からの踏査と海上からの視察の2つである。

この他に、兵庫県（港湾課、漁港課、企業庁）と神戸市（港湾局）を訪問し、情報収集を行った。

2. 被害状況及び被害の主要因

神戸港内の主要港湾施設（ポートアイランド、六甲アイランド等）の被害状況については、土木学会第1、2次調査で報告されている。

ここでは、これまであまり調査報告のない地点の被害について述べる。

淀川河口付近における被害

淀川河口地域には緩い沖積砂が下部の軟弱沖積粘土を覆って広範囲に堆積しており、このためこの地域では中程度の震度によっても地盤の液状化が発生し、構造物が被害を受けている。

例えば、淀川左岸堤防の崩壊（第2次調査参照）や、昭和32年建設の尼崎閘門構造物の被害がその典型である。淀川左岸堤防については、堤体盛土の安定性も検討が必要であるが、尼崎閘門での液状化は写真-1から明らかなように、暗黒色の沖積砂が噴砂を生じており、写真-2のように付近の護岸構造物が沈下している。このような護岸構造物の沈下は、従来より地盤標高が低い河口低地の防潮対策には極めて深刻な問題であり、早急に対策を講じるべきである。

なお、隣接する新設の尼崎閘門には被害は見られなかった。また、尼崎港内の火力発電所荷揚げ用クレーンも地震動により倒壊している（写真-3）。

西宮・芦屋臨海埋立地での被害

西宮埋立地及び南芦屋浜埋立地は、主に良質なまさ土を用いて造成され、下部には軟弱な沖積粘土層が堆積する。なお、沖積粘土層の下部には沖積砂層があり、さらにその下は洪積砂層と粘土層の互層となっている。今回は、まさ土などを用いた埋立造成地が液状化の被害を受けたが、この液状化は先の緩い沖積砂地盤の場合とは異なり、非常に大きな地震動が作用したために埋立層が液状化したと考えられる。

この地域における埋立地及び護岸の被害については、先の第1・2次調査で報告されており、埋立土の液状化と護岸の側方流動が重なって、特に護岸付近の橋

梁基礎に大きな被害を与えている。

臨海埋立地の護岸構造には種々な形式が採用されているが、南芦屋浜埋立地では図-2に示すようにな主に3種類の護岸形式が用いられている。

いずれの護岸形式においても、沈下あるいは側方移動が確認される（例えば形式B護岸：写真-4、5）。

南芦屋浜埋立地の北部には、阪神高速道路湾岸線が建設されているが、人工島の東部及び西部護岸近傍に設置された大型橋梁基礎が人工島の側方流動の影響を受けている。このため、上部橋梁桁と橋梁基礎との取付けに問題が生じている（写真-6、7）。

ポートアイランド2期埋立護岸での被害

ポートアイランド2期埋立造成地は現在埋立が進行中であり、南部での埋立標高は低い。護岸としては図-3のような構造である。ここでも護岸構造物は被害を受けており、背後に埋立土の無い南西隅部においても地盤の水平移動とケーソン護岸の沈下が見られる（写真-8）。また付近の防波堤も沈下を生じている（写真-9）。このような護岸構造の変状はケーソン下部における置き換え砂の支持力低下によるものと考えられ、調査が必要である。

兵庫港・長田港での被害

神戸港域の西部に位置する両港でも護岸構造物に被害が見られた。この地域の地盤では、潮流や河川からの砂質系の自然堆積物が多い。このため、このような地域では、淀川河口と同様に中程度の震度で液状化することが考えられる。両港の防波堤は、ポートアイランドと同様に、傾斜あるいは沈下しており（写真-10）、ケーソン下部の置き換え砂の調査が必要である。

また、港に近接して小型石油タンクが設置されているが、地盤の液状化により傾斜などの被害を受けている（写真-11）。また、近傍の人工河川でも地盤の液状化による側方流動により、コンクリート河床が破壊している（写真-12）。

3. 復旧状況

震災後一ヶ月が経過し、ポートアイランドと六甲アイランドなどの主要港湾施設では、緊急物資荷揚げ用の対応策が取られている。その他の港湾施設では、復旧はあまり進んでいない。

兵庫県および神戸市の復旧方針としては下記のようなものである。

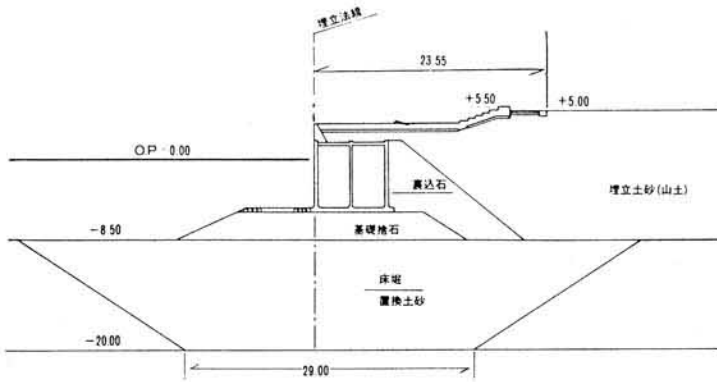
- ・3月中に仮復旧し、4月以降に本格的な復旧を実施する。
- ・神戸港内の使用可能バースを順次増やし、仮使用する。2年以内に完全復旧をめざす。

4. 助言・提言

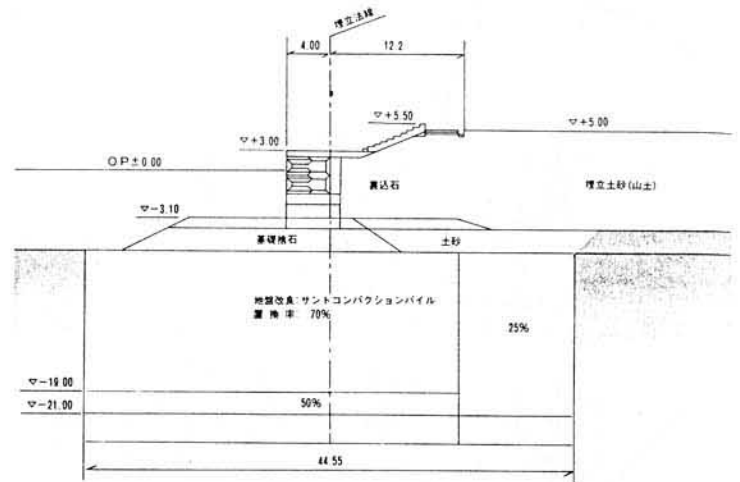
護岸、岸壁の復旧には重量ケーソンの他に栈橋形式など、耐振性を考慮して比較検討すべき。

今回の地震によって、護岸構造物と港湾施設が大きな被害を被ったが、これには埋立土の液状化や、護岸の側方流動、置き換え砂の支持力低下、軟弱沖積粘土の動的変形など種々な要因が考えられる。従って、本復旧の方法を策定する前に慎重に護岸被害のメカニズムについて調査・検討すべきであろう。

A 型護岸



B 型護岸



C 型護岸

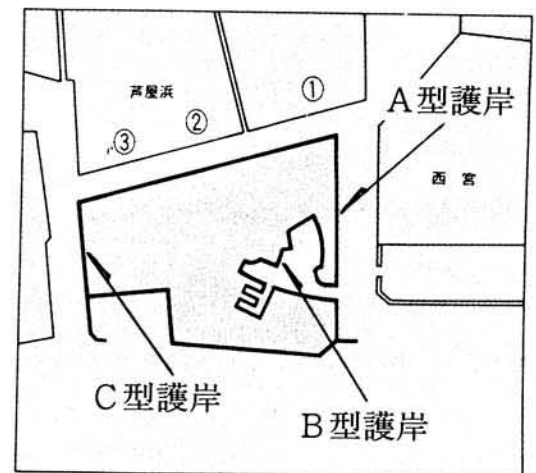
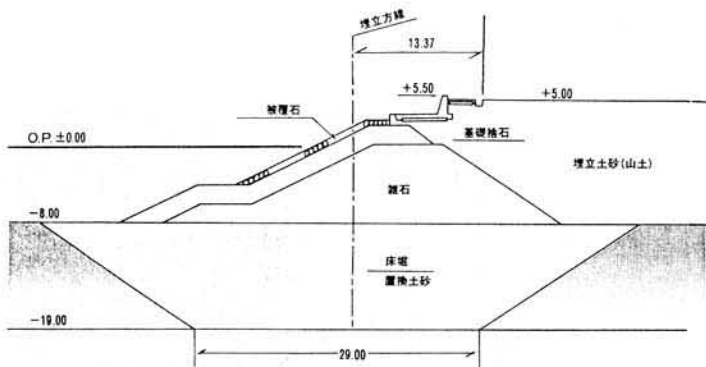


図-2 南芦屋浜埋立地における護岸形式

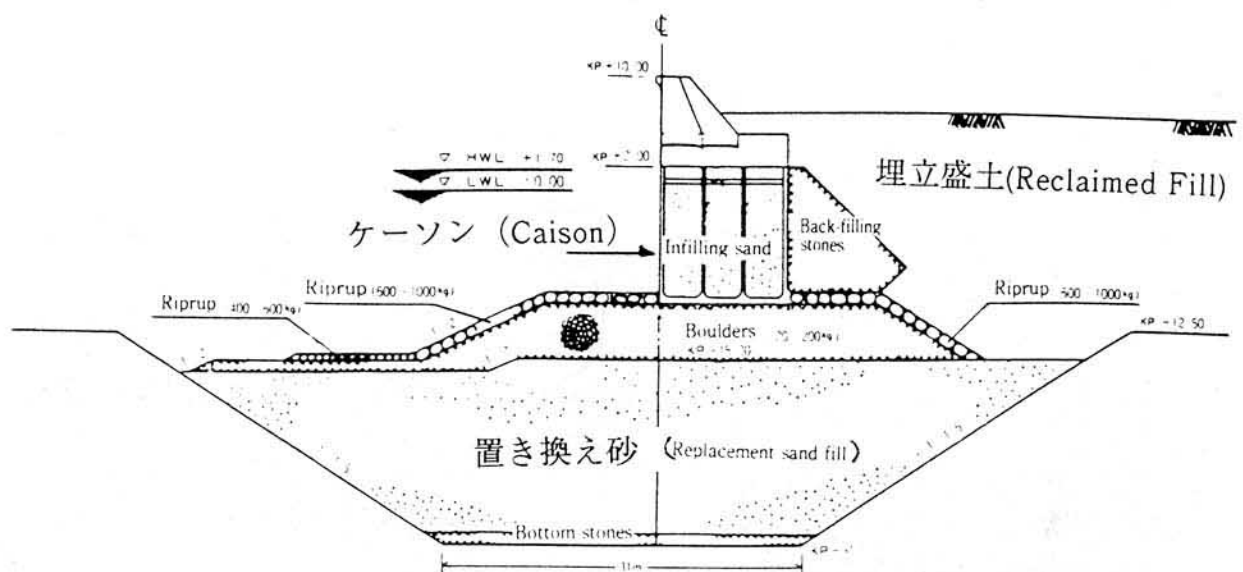


図-3 ポートアイランドにおける護岸形式



写真-1 尼崎閘門構造物付近の液状化

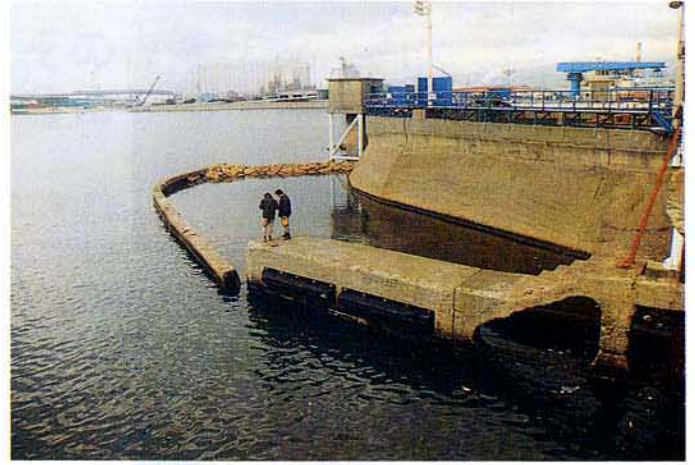


写真-2 液状化による尼崎閘門付近の沈下



写真-3 尼崎港内におけるクレーン倒壊



写真-4 南芦屋浜埋立地における
護岸沈下（護岸形式B）



写真-5 南芦屋浜埋立地における
護岸水平移動（護岸形式B）



写真-6 阪神高速湾岸線橋梁基礎の
水平移動（南芦屋浜埋立地東護岸）



写真-7 阪神高速湾岸線橋梁基礎の
水平移動（南芦屋浜埋立地西護岸）



写真-8 ポートアイランド2期埋立地の護岸変状



写真-9 ポートアイランド防波堤の沈下



写真-10 長田港防波堤の傾斜・沈下

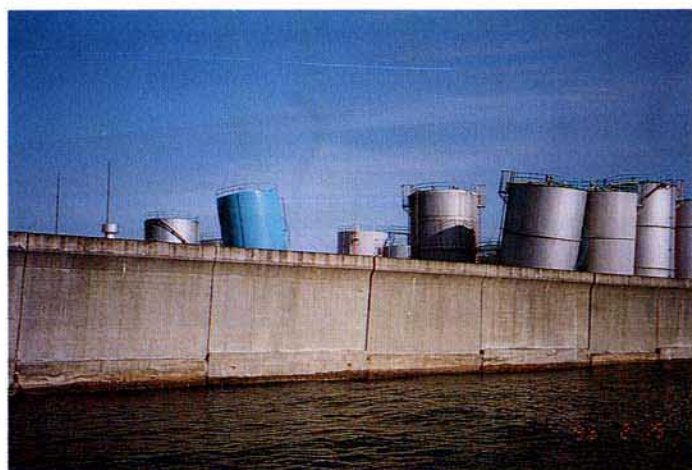


写真-11 長田港内小型石油タンクの傾斜



写真-12 長田港近傍人工河川の河床破壊

下水道の被害とその復興状況 瓦礫の処理・処分について

調査メンバー：市川 新（東京大学工学部都市工学科）

津野 洋（京都大学工学部衛生工学科）

細井由彦（鳥取大学工学部社会開発システム工学科）

天野耕二（立命館大学理工学部環境システム学科）

高原伸兒（京都大学工学部衛生工学科）

1. 調査地点

ヒアリング：兵庫県土木部下水道課、同保健環境部、同西宮土木事務所

神戸市下水道局企画課、同管路維持課、同宇治川ポンプ場

現地調査：神戸市東灘下水処理場、同ポートアイランド地区下水道関連施設

西宮市内被災地区、同瓦礫仮置き場

三宮－兵庫間のマンホール等下水道関連施設

2. 被害状況

既に第2・3次調査団により報告されていることと、建設省を中心とした関係機関により調査が進んでいるので、ここでは概況のみを述べることにする。

2-1 下水処理場：

被災地区に存在する43下水処理場のうち被害が報告されている処理場は8処理場であった（建設省調査結果）が、神戸市東灘処理場が最もひどい被害を受けている。東灘処理場を除く処理場の被害は、処理施設からの漏水、ポンプ室の浸水、吐き口を含む場内配管の一部損傷、汚泥掻き寄せ機の損傷、消化槽等の一部破損であった。

東灘処理場では運河及び海域に面した擁壁の大きな移動や沈下がおき、それに伴い施設に大きな影響を受け、場内の導水渠、最初沈殿池に入る地点での接続部、処理施設のエクспанションジョイント、脱水機場・管理棟等の建造物、地下回廊等の損傷が主なもので、処理を行えない状況であった（写真1）。

ただし、基礎杭の損傷については調査時点においては確認されていなかったが、今後過大な応力のかかった地点について調査する必要があると考えられた。

2-2 ポンプ場：

ポンプ施設そのものには大きな被害が発生したという報告は受けていないが、地震発生に伴う停電時にポンプの呼び水や、自家発電装置の運転に必要な冷却水が無く、発電等の機能を十分に発揮できなかったという事例が報告されている。一部のポンプ場では処理場の処理水（高度処理水）を利用して応急的な処置をとることが出来たとのことである。

2-3 下水管：

流域下水道幹線のような1m以上の口径を持つ大口径で、かつ地下5ないし8mに埋設された下水管については土砂の流入、亀裂の発生等の局所的な被害はあるものの、大きな被害は報告されていない。

口径 800 mm 未満の小口径の下水管の総延長は長い（神戸市だけで約 3,000 km である）ため、

山手幹線以南しか調査が行われていなくて全部の被害調査が行われていないので、断言することは出来ないが、これまでの調査結果から類推すると、大きな被害はないようである。しかし、いくつかの場所でマンホールの立ち上がりのズレ、管渠の亀裂や段差の発生、土木構造物の破損に伴う損傷、液状化に伴う泥の侵入等が確認されている。

例えば、東灘処理場においては大量の海水の混入が認められており、その流入箇所とその規模については必ずしも明確に把握されていない。これと同じ様な亀裂や管路の崩壊被害がどの程度あるのか調査は完了していない。そのため汚水の地下への浸透や、逆に地下水の下水への流入の危険性が完全に把握されていない。

しかし、宅地から汚水マスへの接合部、取付管（汚水マスから下水本管への接続部）のズレ、下水管の亀裂、勾配の変化等の局地的な被害が発生しており（写真2）、その全体像の把握に関係市町村は鋭意努力中である。

神戸市のポートアイランドにおいては周辺の地盤が沈下したことにより、マンホールが地表面より浮き出たような状況になっていたものが調査の結果明らかになった（写真2）。このようなマンホールは極めて少ないとの報告であったので、例外かもしれないが、下水管が地下構造物のため、被害状況を完全に把握することは極めて困難な状況である。

2-4 雨水管：

市街地区の雨水は下水管で排除されているが、神戸市の一部を除きほぼ分流式下水道であり、雨水管が設置されている。被災地区の多くは山が迫り、雨水は斜面を南北に流下し、直接海に放流されている。神戸市の場合では市全体で約 350 の吐き口がある。その結果、雨水管の総延長は污水管に比べると短い（神戸市の場合は約7分の1に当たる 500 km）が、開水路も多く残されている。暗渠部分は污水管の被害状況とほぼ同じであるが、開水路については倒壊家屋の瓦礫や土砂が堆積したり、側壁が破損したりしている部分が多数存在すると報告されている（写真3）。

また吐き口についても海に面したところにあり護岸の崩壊により被害を受けたところもあり（写真3）、一部応急的な対策がたてられているが、今後の雨期の集中降雨に対して、早急な対策が望まれる。

3. 復旧作業の進捗状況

3-1 下水処理場

東灘処理場を除く処理場においては応急処置を取ることで、平常通り的高级処理がなされているが、水道が断水しているため流入水が少ない状況である。

神戸市東灘処理場では、導水路の復旧が遅れており、現在処理は行われていない。現在4月末を目途に高级処理の開始を復旧目標としているが、完全復旧には多くの日数がかかるものと思われる。

しかし、下水が処理場内ポンプ場（魚崎ポンプ場）に流入してくるので、雨水ポンプを利用して魚崎運河に放流している。災害前の流入量（処理量）は日量 160,000 m³ であったが、訪問した日は 80,000 m³ と少なかった。これは処理区域の水道が断水していたことにもよるが、一方で流入水の塩素イオン濃度が高いため、大量の海水が混入していることがうかがわれた。同様に第4工区にある深江ポンプ場でも災害前の排水量が 3,000 - 5,000 m³ であったが調査日には 15,000 m³ に増加していた。この汚水も塩素イオン濃度が高く海水の混入が認められた。これらの事実は下水管の損傷により海水の流入があることを示している。

これらの流入下水を雨水ポンプを用いて魚崎運河に放流しているが、水質汚濁の危険性が指摘されたため、運河を締め切り（幅 40 m，長さ 300 m，深さ 3 m）沈澱池としての機能を持たせて処理し、自然放流している。しかし、好ましい状況とは言えず、早急な対策が望まれる。

3-2 下水管：

土砂の体積や大規模な損傷を受けた下水道施設については「仮管」、「共同溝を下水管のバイパスとして一時的に借用」するなどの応急処置が施された（写真4）。

また、地震発生直後から、政令指定都市を中心とした他都市、および下水道管路維持協会（遠山啓理事長）等の応援を受けて、大規模な管路点検が1月22日から2月10日にかけて行われた。

神戸市関係では、対象は山手幹線の南側（写真5）の市街地を中心とし、東灘区等の東部地区を東京都が、長田区・垂水区等の西部地区を広島市がそれぞれ中心となり、協力都市と共同で調査した。三宮を含む中央区・兵庫区やポートアイランド、北区・西区等を神戸市が受け持って調査した。

対象地域の下水管の総延長は約 1,000 km であり、全てのマンホールを開け、黙視し、更に中に入り、閉塞状況の目視を行った。その中の損傷を受けたと判断された下水管約60 km について、テレビカメラを下水管にいれて内部をテレビ撮影し、今後の改修計画の基礎資料にするよう、現在その調査結果を整理している（写真5）。2月10日までに撮影されたカセットは約600本（各カセットの録画時間は1時間50分である）に及んでいる。

これらのビデオの完全な解析を待たなければ正確な被害状況を把握することが出来ないが、概略的には、地表面の被害情況に比べると地下構造物の被害は軽微であり、大規模な損傷は認められていない。

しかし今日までの調査は市街地部分に限られ、今後山の手地域については未調査なので、早急に調査を行う必要がある。

3-3 雨水管：

雨水管については堆積土砂の排除、開水路の河床・護岸の損傷に対し、応急処置がなされており、一応雨水を流下させることが出来るような状況に修復されている。

地震発生から今日までは、降雨の少ない時期であり、大きな雨がなかったが、完全な修復がなされるまでに、雨期を迎えることが確実に見込まれているので、今からそれに対する対策を考慮しておく必要がある。神戸市の計画降雨は 50 mm/時 であるが、過去の記録によると 70 mm/時 をこすものも記録（昭和42年7月9日の降雨では最大 75.6 mm/時が記録されている）されており、今からそのような降雨に対する対策を考慮しておく必要がある。

3-4 水洗便所：

学校・公民館等に避難所や被災キャンプができたが、断水のこともあり水洗便所の利用が制限され不便を生じた。そのため、一部の地区では仮設トイレが設置されたが、その設置に時間を要したり数量的に不足して完全な解決にはならなかった。また、身障者や老人家庭等でも水洗用水を運ぶのに苦労が多かったと聞いており、その対策を緊急に行える体制をとっておく必要がある。

4. 提言

今回の地震の被害状況をみ、かつその復旧をほんの一部しかみることは出来なかったが、その経験から気のついたことをいくつか提言したい。

4-1 雑用水の確保

水洗用水、冷却水、ポンプの呼び水等の雑用水の不足については、今まで災害時にはとくには注目されていないものであった。しかし、今回のように水道と電気といった複数のライフラインが損傷し、被災の範囲が大きく、かつ復旧に時間がかかる場合には雑用水の確保は大きな問題となる。ポンプの冷却水とか呼び水が地震発生直後確保することができなくて、ポンプや自家発電が稼働できなかった事例が報告されている。その場合場内の回収水（高度処理水）を応急的に利用することにより事態の解決を計ることができたが、今後処理場内でこのような「バックアップ水（仮称）」を用意しておくことも必要である。

また、水道が断水したため、水洗便所が使用できなくなった例も報告されているので、防火用水やプールの水と連動できるような「貯めおきの水」を用意しておくことも必要である。

4-2 降雨の対策

地震発生が1月という太平洋側では降雨の少ない時期であったので、雨水による浸水被害は発生していないが、復旧に時間がかかることが予想される以上、雨期の集中降雨に対応できるようなシステムを早急に立てておく必要がある。具体的には、閉塞する原因物質の除去等の応急的な対策を行うことはもちろんであるが、そのほかにも小規模の水中ポンプを全国から集め、被害の発生の予測されるような場所に配置し、異常降雨に対して被災者がこれ以上の災害に遭わないように対策を立てる必要がある。

4-3 自治体間の協力体制の確立

下水道だけでなく全ての分野に共通する課題と考えられるが、施設の損傷に対し近隣の都市の協力体制が必要である。移動式施設や技術者の派遣等が迅速になされるように日頃から手配しておく必要がある。今回の地震に際しては全国の都市が全面的に協力し、下水管路の調査を始め災害の査定等を行い、復旧に貢献している。

4-4 情報の分散化

今回神戸市下水道局の事務所が潰れるという異常事態が発生したが、その結果として、管路網図等の重要な情報を早急に引き出すことが出来なかった。幸いコンサルタント会社にバックアップデータがあり、それを利用することにより被害を最小限にすることができたが、対応の若干の遅れの原因となった。このような事態は本当に万一の事態であるが、その様な事態を避けるために、地図等の保管を分散することやバックアップ体制を強化しておくことも検討すべき課題であろう。

4-5 護岸との関連

埋め立て地に設けられている護岸の多くが今回の地震により大きな被害が生じているが、それに伴う下水道施設の被害も多く報告されている。埋め立て地とはいえ、用地費が高いことから、用地の有効利用から護岸ギリギリに施設を作ることが多いが、それが結果論的に被害を大きくしている。将来の処理場施設としては、下水処理場周辺に空地を設け、植栽や散策路を設ける等をして護岸の被害の影響を極力少なくする必要がある。

4-6 処理場の地盤とその対策

下水道の持つ物理的特性から下水処理場は最下流に位置せざるを得なく、日本のように埋立が

広く行われている国においてはその立地が、埋め立て地にならざるを得ない状況である。ポートアイランドそのものも将来地盤沈下が予測され、そのための対策を立てているように、埋め立て地においては沈下は避けられないところである。下水処理場においてもこのような沈下に対し、対策を講じ、基礎杭を施工している。その結果ポートアイランド下水処理場においては周辺に大きな被害が生じているにも拘わらず、ほとんど無傷で、地震発生から比較的早期に高級処理を開始することが出来た（しかし一部のマンションでは取付管の接続部が損傷したため水洗便所の使用が禁止されたところがあったとのことである）。このことは地盤改良が如何に地震対策として有効であるかを検証するものである。

しかし、下水道は一般的にいうと一斉に建設されるものでなく、長年にわたり流域の下水道の普及に合わせて処理場施設を増設していくものである。そのため、採用される地盤改良対策に若干の差が出てくるのもやむを得ない状況である。又、地盤改良が施設、特に重要施設の地下だけに施工され、場内全体にはなされないことや、下水処理施設の底部が均一でないこと等により、地震発生時に受ける荷重が施設毎に異なり、それらを結ぶ導水渠等に被害が発生しやすい。実際、東灘処理場においては、導水渠そのものや、導水渠から最初沈澱池への入り口部の継手に損傷が起き、下水の流動を阻害しているケースが見られた。

将来の下水道建設に当たっては、今回のような被害を少なくするために、地盤強化対策法を連続的なものとして統一的行う必要がある。

下水処理場はいくつかのプロセスからなりそれらの間や、増築部と既設部をパイプでつないだりしなければならないが、これらの接続部において今回被害が多かった。この接続部における被害を少なくするために「可撓継手、」ないし「伸縮継手」を採用し、被害を最小限にする努力が必要である。

ポートアイランドの一部の高層ビルにおいては、取付管に伸縮継手を用いられていて被害を回避できたが、固定式の継手を用いて水洗便所の使用が不可能になってしまったものもある。

4-7 取付管及び接続管の充実

下水道は各家庭に直結して始めて効果を発揮するものであるが、今回の地震に際し個人と公共との負担区分において若干の整合のなさが、下水道施設の効用を減ずる結果となっている。各家庭の污水管は取付管と污水マスを経て下水管に接続されるが、この取付部分は各家庭の責任で各都市指定の工務店に依頼して工事が行われている。この取付管の工事とメンテに当たる会社との連絡を日頃から緊密にとっておくことは重要である。大規模マンションの場合取付管が損傷したときの影響が大きいので、可撓性取付管にするなどの工夫が特に必要である。

宅地内の排水管全てを公共が管理することは不可能であるが、マンションのような大規模の排水管を個人（デベロッパー）に任せておいていいものかは今後検討を要する課題として残された。上水道においてはマンション内の配水（貯留）タンクまで、水道法の適用範囲とし、公共が責任を持つように改正されており、下水道においても近い将来検討していく必要がある。

4-8 継手の改善：

下水道施設においては多くの継手を使用されているが、それが被害を受けていることが多く認められている。逆に継手が適切であり、被害を免れているものもあり、今後安全なそして効果的な継手のあり方を検討すべきである。

処理施設の中にエクспанションジョイントが用いられているところがあるが、施設によってはそれをなくし、剛接によって箱を直接結び付けたり、箱そのものの継手の必要でない程度の

大きさにする等の改良を行うことにより、エキスパンションジョイントを最小限にしていくことが試みられており、被害を少なくしている例も見られた。全体としてはエキスパンションジョイントをできるだけ少なくしていくことが必要であろう。

4-9 共同溝の促進：

下水管に被害が生じた場合その確認とその程度を把握するには大変な労力を必要とする。今回のような大規模な地震の場合、被害面積が大きくその点検は極めて困難であった。これは単に下水道だけでなく、上水道、ガス等の地下埋設物にも共通する問題である。実際には下水管の口径が小さい場合には無理であるが、幹線では西欧のように人が歩けるような断面にしたり、P字管のようなものにするなどの工夫を行い共同溝化する必要であろう。

これらの地下構造物の関係者が協力して共同溝を設け、それを集中的に管理することが出来れば、今回のような異常災害時の復旧に際しては、その効果は極めて大きいものがある。今後の過密大都市においては、共同溝は必須のものである。

4-10 管路監視システムの一層の開発

下水管を地下に埋設することはどうしても残されるが、それを監視・点検するシステムを早急に確立する必要がある。今回全国の自治体からの協力により応急的な対策（一次調査）が無事修了したが、将来を考えるとそのシステムのより一層の充実が望まれる。



写真1 東灘処理場の損傷状況



写真2 取付用マンホールおよび取付管の損傷例



護岸が横にずれて大きな損傷を受けているが、排水溝は横にずれただけで大きな損傷を免れる



道路側溝の破損例
(下山手通)



雨水排水渠の破損例
(ポートアイランド)

写真3 雨水管の破損状況の例



陥没箇所での仮管
(大開通)



下水管渠に留った泥の除去

写真4 応急措置の例



テレビカメラ調査区分図



テレビカメラ用車両の全景



テレビカメラの本体
(正面と頂部の2つのカメラを持っている)



管渠のクラックの例

写真5 テレビカメラによる下水管渠の調査

追記： 瓦礫の処理・処分について

本調査団においてわれわれに与えられた課題はライフラインの一部としての下水道の被災状況とその復旧状況及びそれらから今後の課題を抽出することであった。

しかし、現地に赴き土木学会の研究分野でありながら、まだ取り上げていない分野の問題として瓦礫の処理・処分があり早急に取り組む必要があることを痛感した。

瓦礫の処理・処分は日常的には廃棄物問題として取り扱われるものであるが、被災地において完全な対策が建てられているようには思われなかった。その最大の理由は、想像を絶するような大量の瓦礫が発生したことである。しかしそれを処理・処分しなければ復興作業が進まないため、その解決は緊急を要するものである。

通常の廃棄物行政は市町村の固有の業務として位置づけられ、今回も神戸・西宮・芦屋・尼崎等の市単位で計画が建てられているが、人的パワー不足と仮置き場を含めた処分場の確保が困難なこと、輸送手段とそのルートが確立されていないことから、処理・処分が立ち後れ、それが復興計画そのものの足を引っ張る結果となっている。

このような現状に危機をいだき、国では厚生省水道環境部地域計画室が中心になり運輸省（港湾局）、建設省（建設経済局）、陸上自衛隊（中部方面総監部）、兵庫県（保健環境部、土木部、都市住宅部）および兵庫県警察本部交通規制課が集まり、その他神戸市、尼崎市、西宮市、伊丹市、宝塚市、川西市、明石市、洲本市、三木市、津名町、北淡町等の関係市町村、ＪＲ西日本、阪急電鉄、阪神電鉄、山陽電鉄、神戸電鉄、神戸高速鉄道、の交通機関および大阪湾広域臨海環境整備センターからなる「災害廃棄物処理推進協議会」が設けられ情報の交換と統一的な処理・処分法の検討を行っている。

２月８日調査当時の災害廃棄物発生量の予測は住宅・建築物系のおもに倒壊家屋が 650 万 m^3 （780 万トン）、鉄道等公共施設系が 300 万 m^3 （500 万トン）と予測されていたが、最近の調査によるとその倍近くの瓦礫の発生が見込まれている。

これに対し、最終処分場としては大阪湾広域臨海環境整備センター（フェニックス計画）の尼崎沖（400 万 m^3 ）同泉大津沖（1,100 万 m^3 ）をはじめ神戸市（布施畑（800 万 m^3 ）淡河（700 万 m^3 ））、大阪北港（200 万 m^3 ）堺泉北港（40 万 m^3 ）企業庁埋め立て地（120 万 m^3 ）が確保されており、総量としては処分可能となっている。しかし、瓦礫の発生地点から直接これらの最終処分地に輸送することが困難なため、各市に「仮置き場」を設け、そこに一端収拾し、順次最終処分場に運ぶことになっている。

仮置き場として神戸市は東灘区魚崎浜をはじめとした４カ所、合計 17.6 ha、尼崎市は丸島地区 6.3 ha、西宮市は甲子園浜 8.0 ha、芦屋市は南芦屋浜 6.0 ha、伊丹市は敷紡跡地 3.0 ha、伊丹市は大阪採石場内他 2 箇所合計 4.0 ha、川西市は加茂 6 丁目公有地他 4 カ所合計 1.2 ha、淡路島内では企業庁佐野埋め立て地 17.0 ha がそれぞれ計画されており、調査日にはそれぞれの仮置き場において瓦礫の持ち込みが行われていた。なお、公共鉄道系の瓦礫については各管理者の責任で対応しているが、最終処分場への海上輸送に際して必要な仮置き場を甲子園地区の埋め立て地の中に 3.0 ha 確保することになっている。

しかし、発生源の倒壊家屋の近くの道路が瓦礫そのものや作業用車両により幅員が減少しているため、積み込み作業そのものが遅れている。そして、行政により計画的な処理・

処分計画が策定されておらず、各被災者が早いもの勝ちのように業者に委託しており、それが混乱を一層困難なものにしている。また仮置き場によりが臨海部に位置しており、発生源から仮置き場に運搬するには国道2号線、同43号線等の幹線を横断しなければならず、長時間の信号待ちを余儀なくされており、渋滞の大きな原因となっている。

また、仮置き場においても受け入れ体制が完全でないため、進入路そのものが満杯になり、数キロにわたって待ち行列が出来ている。

実際には、輸送に必要な車両（トラック）が不足していること、搬出の際の交通ルートが確保されていないため、渋滞に巻き込まれ、1台のトラックの実稼働回数は1日当たり1ないし1.5往復程度といわれており、作業効率はきわめて遅く上記の瓦礫を完全に処理・処分するにはかなりの期間かかることが予想され、ひいては復興の速度の制限因子になりかねない。

瓦礫は木材、土壁、コンクリート屑、プラスチック等混合しており、それを完全に分別することは不可能な状態である。しかし多くの最終処分場では可燃物は焼却灰にする事を義務づけており、一部の都市では「野焼き」を行って木材を中心とした可燃物の焼却を行っている。しかし、その結果煙が発生し、大気汚染の原因ともなっており、決して最善な方法とはいえない状況である。

倒壊家屋の処理費用についても公的資金による助成が行われるようになったので、一頃のような混乱はなくなったとのことであるが、瓦礫をしないから完全に除去するためにはかなりの日数がかかることが予想される。

提言：

1. 瓦礫処理・処分計画の作成：阪神地域全体の瓦礫の処理・処分計画を早急に作成し、それに基づき作業を行う必要がある。それには仮置き場を、新しい都市計画の広場・公開空地等設置するようにをうまく活用して復興計画に合わせる必要がある。
2. 仮置き場の増設：長崎大洪水の場合には市内各地に仮置き場が多数設置され、被害家屋の修理を早めに対応することが出来たとのことであり、阪神地区においても幹線道路を横切らなくてもすむような位置に仮置き場を確保する事が必要である。
3. 輸送ルートの確保：幹線道路にバスレーンが設置されたように瓦礫輸送専用レーンの設置（時間帯を決めるだけでも良い）し、瓦礫の輸送を効率的にする必要がある。
4. 瓦礫の登録性：西宮市が仮置き場を設置し、市民に解放したところ他府県ナンバーのトラックが「災害瓦礫」でない廃棄物が大量に搬入されたので、登録制に切り替えたとのことである。これは極端な例外かも知れないが、瓦礫の搬入に際しては4連符ないし5連符を作成し、発生者、運搬者、仮置き場、市、県等が記録を残すようにすることが必要である。

ライフライン（ガスと電気通信施設）の復旧状況と復旧戦略

調査団メンバー：高田至郎（神戸大）、篠塚正宣（プリンストン大）、北浦 勝（金沢大）、
上野淳一（鴻池組）、森川英典（神戸大）、田中 聡（早稲田大）、
池本敏和（金沢大）

1. ガス施設

1.1 復旧状況

（1）緊急対応と復旧経過

大阪ガスの総戸数570万戸から成る供給エリアは8つのスーパーブロック、55個のミドルブロックに分割されるが、地震発生から6時間後の午前11時半から当日の夕方までに、5個のミドルブロックにおいてガスの供給が停止した。このため、85万6千戸で供給停止となったが、2月17日までに29万5千戸が復旧した。図1.1¹⁾に供給停止戸数の推移を示す。復旧の速度は、釧路沖地震の際の釧路ガスの復旧速度と比較しても、また大都市型地震であること等を考えれば、決して遅いものではない。電気・電話などに比べ復旧が長引いている原因には、一度供給停止すると回復に時間を要するというガス供給の本来の性格の他に、次のような点が考えられる。

- ・ 上下水道から漏洩した水や液状化した土砂が低圧導管へ流入し、除去に手間取っていること。
- ・ 家屋損壊等による地表の障害物や悪化している交通事情が復旧作業の能率を低下させていること。

なお今回の地震で液状化が多発した人工島のポートアイランドでは、管路への泥の流入が見られたものの、50cmを超える地盤沈下に対して伸縮継手、二重管工法などの対策が有効に働き、管路の被害は軽微であった。

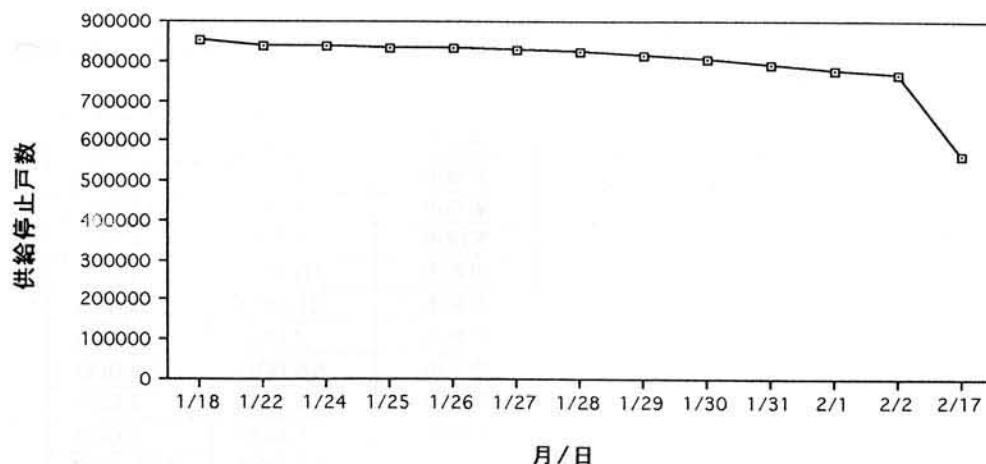


図1.1 ガス供給停止復旧推移図

(2) 復旧戦略

ミドルブロックを復旧のためにさらに小さくブロック分けし、漏洩状況、地震被害状況、交通状況、資機材調達状況などを考慮し、比較的被害の小さい部分から復旧を行った。全体的には、供給停止地区の東側から着手し、続いて西側さらに北側を、最後に神戸中心部を東西北側から攻めるという方針で復旧を行った。但し、病院、遺体焼却場、生ゴミ処理センター等の公共性の高い施設には、優先的に復旧あるいはプロパンを使った供給を行った。また中圧管からの仮設によるストレート供給なども行われた。ガスの復旧作業は、大阪ガスグループ約6,000人と日本ガス協会や他のガス事業者からの応援約1,800人の合計約7,800人の体制で、1月18日から開始された。高圧導管の点検終了後、中圧導管、低圧導管の点検、復旧作業を順次実施した。ガス製造所、高圧導管には被害はなかった。中圧導管Aは1月31日に、同Bは2月8日に復旧完了した。ネジ継手部に被害の集中した低圧導管は順次復旧中である。

復旧活動地域が拡大し、また、建物や道路などの被害が大きい神戸市中心部へ進むにつれ、先に挙げた2点に加えて被害箇所が増し、一軒一軒点検してまわらねばならないこと、地面を掘らねばならないことから、復旧活動は困難さを増していった。大阪ガスでは、2月1日から新たに全国のガス事業者約500人の応援を得て、約8,300人体制で復旧に当たっている。都市ガスの行政区ごとの復旧状況は表1.1のようである。

また大阪ガスは、1月22日から供給停止地区の自治体（市や町）にカセットコンロ1台とボンベ3本をセットで救援物資として配布した。合計でカセットコンロ118,000台、ボンベ551,500本が提供された（表1.2参照）。

表1.1 都市ガスの復旧状況（2/16現在）

行政区	全戸数	供給停止戸数	復旧率（%）
川西市	41,300	39,500	100.0
伊丹市	61,100	2,100	100.0
尼崎市	206,800	3,650	100.0
宝塚市	75,700	69,100	73.2
西宮市	172,500	170,400	38.9
芦屋市	37,600	37,600	5.6
猪名川町	5,200	5,200	100.0
神戸市	626,750	493,050	18.6
明石市	66,900	24,200	89.3
大阪市	1,308,800	61,500	100.0
豊中市	161,500	500	100.0
池田市	38,200	50	100.0
豊能町	5,900	5,900	100.0
合計	2,808,250	857,400	34.4

表1.2 大阪ガスのカセットコンロ貸与状況（2/2現在）

	コンロ	ボンベ
伊丹市	1,500	4,500
芦屋市	9,000	33,000
明石市	9,000	33,000
宝塚市	9,500	34,000
川西市	10,000	30,000
西宮市	21,000	78,000
尼崎市	2,000	9,000
神戸市	54,000	324,000
豊中市	1,000	3,000
豊能町	1,000	3,000
計	118,000	551,500

表1.3 兵庫県プロパンガス協会からの貸与状況（2/2現在）

カセットコンロ	400台 (神戸200台、淡路200台)
暖房用ストーブ	50台

兵庫県プロパンガス協会からの貸与状況は表 1.3 のようである。神戸市では当初、民家や避難所での火災を恐れて、これらの提供品の受け入れを保留したが、1月28日には半分を受け入れ、30日までに全部を受け入れた。また大阪ガスは2次災害発生防止の観点から、ガスの安全に関してマスコミを通じて注意を呼びかけるとともに、チラシをつくって配布した。

1.2 ガス施設の課題

- ・ ガスシステムの性質上、一旦供給を止めてしまうと復旧に時間がかかるため、耐震管路・継手への敷設替えにより漏洩を防ぐとともに、漏洩に備えての各需要家へのマイコンメータの完全普及、ミドルブロックでの遠隔遮断装置の設置という両面作戦が望まれる。原形復旧が多い水道などと比べて、破損個所を耐震継手、PE管に交換して改良復旧を行っていることは評価される。
- ・ 今回の地震は大都市型であったため、他のライフラインとの相関（例えば、交通渋滞・上下水道からの水の流入）が近年の釧路沖地震などのときより大きく、復旧に予想以上の時間がかかることが判明した。これらの問題に対処するため、自治体、各ライフラインが連携して効率的に復旧に当たれるよう支援するシステム構築の必要性があると考えられる。また地震動が非常に大きく、ある区画全域にわたり建物が壊れる事態が発生した。そのために区画がどのように再興されるかの青写真が明らかでなく、ガス供給施設を地震前の状態に戻して良いかどうかの判断に迫られた。このような、初めて得られた大都市を襲った大地震に関する知見を、今後のガス施設の地震対策に反映されることが切望される。

2. 電気通信施設

2.1 復旧の状況

地震直後から神戸支店の1,000人と他所管からの応援3,000人で復旧に当たった。洞道では、翌18日に全路線踏査され、全被害状況が把握された。被害が大きく止水機能を失ったジョイント部においては、新たにジョイントを設置し、樹脂モルタルで仕上げを行った。水が浸出するクラックなどには樹脂注入で補修を行った。現在のところ原形復旧は4月末を予定している。

管路埋設部の地表面のクラック、マンホール内への管路の突き出しなど目視で異常が発生された箇所について、パイプカメラ、封入空気圧測定などの方法を使って詳細な被害状況の調査を行っている。4月末には全路線の調査を終了する予定であるが、完全復旧には3～5年を要する見込みである。

図 2.1 に不通電話回線の復旧状況の推移を示す。NTTでは、17日午前8時30分に災害本部員を招集し、回線の点検・復旧を進めた。その後、移動用電源車などの導入によって18日には交換機が再始動したため、19日には不通回線数は約3分の1の85,000回線に減少した。その後、他社からの応援作業要員4,000人を含めた7,000人で復旧作業を進め、1月31日に家屋が全半壊したために復旧が実質的に不可能な38,000回線を除いて、不通回線が全面復旧した。復旧期間に投入した機材は移動用電源車11台、衛星車載無線6台、

ポータブル衛星通信装置12台などである。その他に、NTTでは神戸、尼崎、明石、西宮、洲本、芦屋、伊丹、加古川、宝塚、川西、三木などの公設避難所に無料の特設公衆電話を727箇所、2,255台設置、また耳の不自由な人のために公設避難所に臨時FAXを319箇所、361台設置した。その他、独自の通信システムを生かした災害対策サービスを行った。例えば、被災地の電話の基本料金の無料化、死亡者リストの無料紹介サービスや兵庫県内の市役所に対して災害対策用テレビ会議システムの導入や仮設住宅用の電話機3万台の寄付などである。これまでも地震のたびに輻輳状態への指摘があったが、今回も輻輳状態が発生したため、22日まで通話規制を行った。輻輳のピークは17日で、通常の50倍の通話が被災地域に殺到した。

2.2 電気通信施設の課題

- ・ 洞道ならびに地中管路は今回の地震に対しても、機能を喪失せず耐震性に優れていることが判明した。今後は出来る限り顧客の近傍まで中口径管などを採用し、耐震性を増すことが望ましい。ただし、一旦被害を受けると架空線路よりも復旧に時間がかかるので、応急復旧方法についても準備しておくことが必要である。また今回は地中施設への被害は少なかったが、万が一の時のために、もう1系統の洞道の幹線ラインを有するべきであると思われる。
- ・ 地中管路においては、マンホール間での被害箇所を速やかに特定するための方法を考案し、復旧速度を上げることが望まれる。洞道においては、ジョイント部、側壁部の被害箇所の所要断面積を減らすことなく復旧する方法の開発が望まれる。
- ・ 大都市の地震に際しては、これまでにない輻輳状態が発生することが明らかとなった。輻輳を回避できる電話システムの開発が急がれる。また鉄塔、アンテナなどのトップヘビーな施設の被害、通信施設を設置した建物自体の被害の可能性についても考えなければならないことが判明した。これらの施設の被害は多くの利用者に影響する可能性もあり、検討を要すると思われる。

参考文献

- 1) 神戸大学工学部建設学科土木系教室学術調査団：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書（第一報）、1995.2.17.

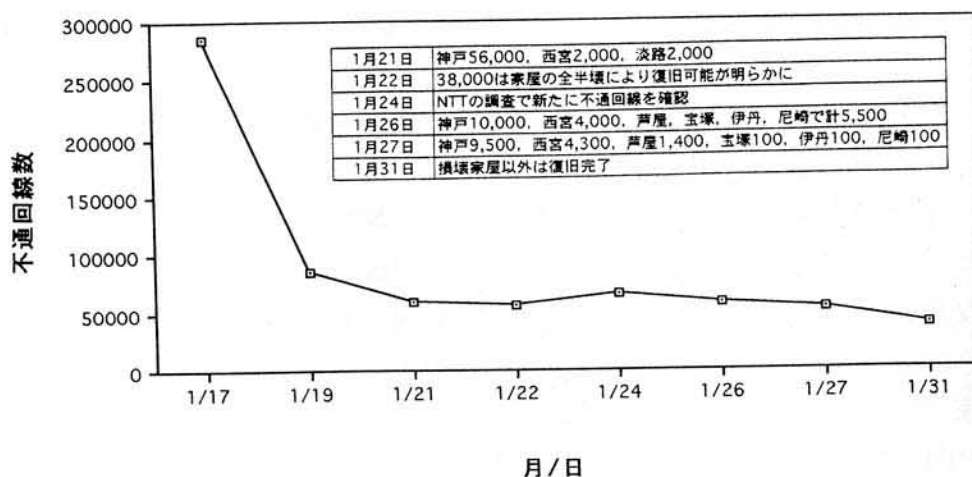


図2.1 不通回線復旧推移図

山腹斜面・宅地造成斜面の災害

沖村 孝（神戸大学助教授、山地防災工学）

1. 山腹斜面災害

1. 1 崩壊分布図

兵庫県南部地震による山地崩壊の分布を把握するため、空中写真（1995年1月20日アジア航測（株）撮影、縮尺1/8,000および1/4,000）を用いて、写真判読により崩壊分布図を作成した。基図には縮尺1/10,000の地形図を用いた。

崩壊の規模は二・三の斜面を除いて全体的に小規模である。また急崖に出現している崩壊も多かったため、一般的には豪雨による崩壊のそれに比して判読は困難であった。このため見落としは相当数になると思われるが、現在までに作成できた崩壊分布図を基に今回の地震による崩壊の特徴の一部を述べる。なお本節では山地斜面に限り、宅地等の人工斜面のそれについては次節で述べる。

1. 2 崩壊の特徴

今回の崩壊の崩壊の特徴としては、1)全体的に小規模な崩壊が多い、2)急斜面での発生が多い、3)流下・削剥域は小さい、4)平行（直線）型斜面や一部尾根型斜面での崩壊が見られる、5)崩壊発生位置は遷急点付近が多い、6)露頭崖からの崩落が見られる、等である。これらの特徴は大分県中部地震（1975）の報告や伊豆大島近海地震の調査結果¹⁾等から既に明らかにされている特徴と大きな違いはない。

そのほかの特徴としては不安定土塊の崩落が見られた。写真－1は六甲ケーブル土橋駅において発生した巨石崩落の結果である。その他、崩壊あるいは崩落までには至っていないが、大きな亀裂が発生した斜面もいくつか見られた。写真－2は写真－1の東側に隣接する斜面の様子である。当該斜面は尾根の形状を示し



写真－1 六甲ケーブル土橋駅の落石



写真－2 灘区鶴甲地区の斜面状況



図-1 東六甲地域の崩壊分布と断層
(国土地理院発行縮尺1/50,000「神戸」および「大阪西北部」の一部を使用)

ており、尾根筋は登山道として活用されている。急な場所にはコンクリート階段が施工されていたが、2ヶ所でこの写真に見られるような落差約1 mの滑落崖が出現した。当然コンクリート階段も破壊した。

1. 3 六甲山系全体からみた崩壊発生位置の特徴

今回作成した縮尺1/10,000の崩壊分布図を用いて縮尺1/50,000の崩壊分布図を作成した。しかしこの小縮尺地形図では崩壊形状が表現できないため、崩壊発生位置を赤丸印で示した。従ってこの印は崩壊の大きさを表してはいない。図-1はこのようにして得られた東六甲地域の崩壊分布図を示す。全体として2本の帯状に分布している様子がうかがえる。なおこの図には諏訪山断層、五助橋断層および芦屋断層²⁾のおよその位置をも示した。これによると今回の崩壊はこれらの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)断層の動きに起因するものか、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が崩壊したのか、3)あるいはその両方が

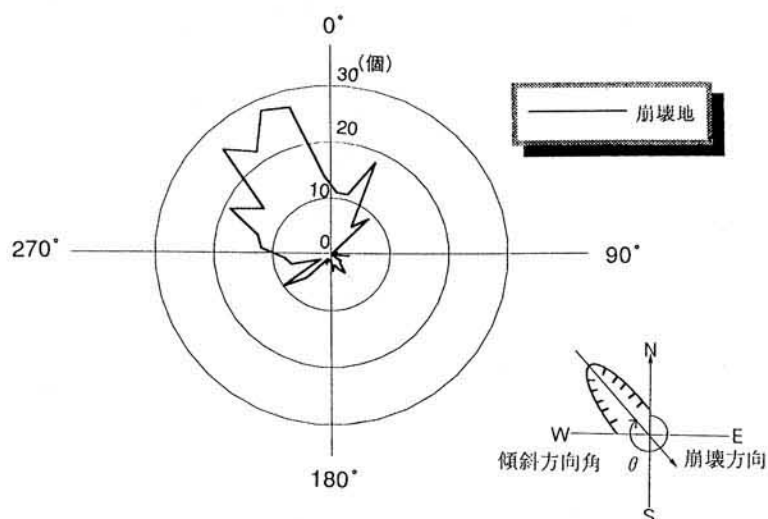


図-2 崩壊発生方位

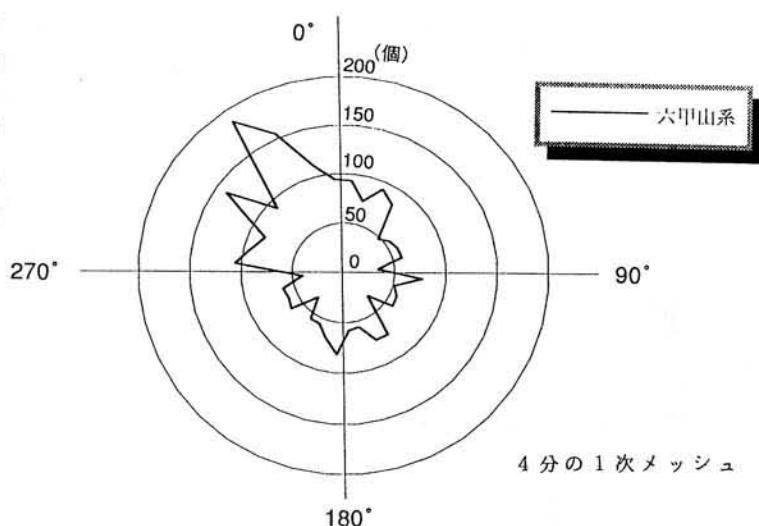


図-3 六甲山系の斜面方位

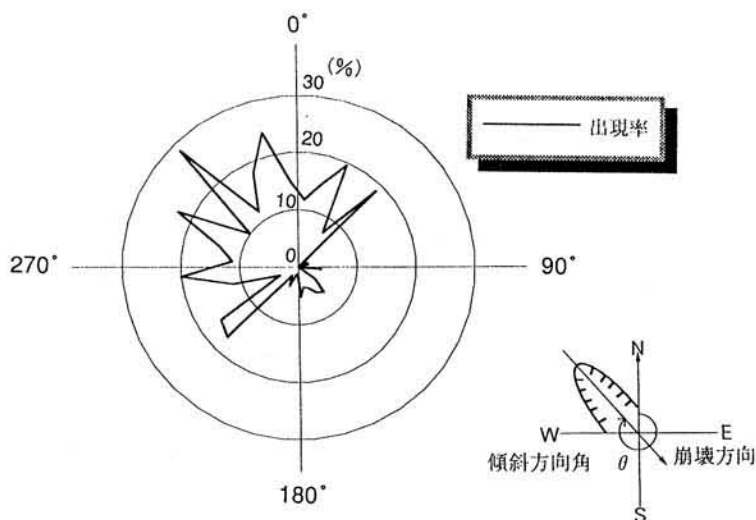


図-4 各方位の崩壊発生率

関係しているのか、等が考えられる。しかし現在ではその原因は不明であり、今後震度分布図等を参考にして更に検討を進める必要がある。

次に、今回得られた縮尺1/10,000の崩壊分布図を用いて崩壊の方向の検討を試みた。図-2は今回の崩壊の方位を示す。この図をみるとNW→SEへの崩壊が圧倒的に多いことがわかる。これはNE-SW方向で代表される表六甲山系の断層系と直交方向を示している。しかし、これは崩壊斜面のみを取り上げたものであり、バックグラウンドとして六甲山系全体の斜面の方位を明らかにする必要がある。このため、国土地理院発行の数値地図4分の1次メッシュを用いて、六甲山系の方位分布を求めた。六甲付近においては4分の1次メッシュは231×286mである。この分布を図-3に示す。六甲山系全体は大きく見るとNE-SW系の山稜が細長く分布しているためか、この図ではNW-SE系の斜面がNE-SW系のそれに比して多いことがわかる。この分布は今回発生した崩壊規模に比してかなり大きな斜面の方位を示しているため、今回の崩壊方位のバックグラウンドとしては妥当か否かの議論が残るが、図-2と図-3より今回の崩壊のそれぞれの方位の出現率を求めた。その結果を図-4に示す。この図によるとNW→SE系の崩壊がやはり多いことがわかる。加えて、これに直交するNE-SW系の崩壊発生率もピークを示している。前者はNE-SW系の断層に沿った三角末端面等の急斜面の崩壊、あるいはこの断層に直交する谷筋の谷頭部での崩壊が多いことを暗示しているものと思われる。一方、後者のNE-SW系の二つのピークは断層に直交する谷筋の谷壁面での崩壊の発生を暗示しているものと思われる。

1. 4 まとめ

今回の崩壊の特徴は従来から指摘されているものと同じ特徴を示し、急斜面での崩壊、尾根部特に痩せ尾根部での崩壊、遷急点付近での崩壊、露頭崖からの崩落、不安定岩塊の崩落等が小規模で発生していることが明らかになった。また、今回の崩壊発生場所ならびに崩壊方向は現存の断層と深く関わっていると思われる。

2. 宅地造成斜面

2. 1 現地調査

神戸市東灘区から兵庫区までの表六甲山麓に分布する宅地造成地斜面の被害分布を求めるため、第4次調査期間中に現地調査を12箇所を実施した。調査項目は擁壁のはらみ・亀裂・倒壊、舗装面の変状、側溝法線の変状、倒壊家屋等の分布である。調査結果は現地での観察事項を住宅地図あるいは縮尺1/2,500の国土基本図に書き込んだ。

2. 2 調査結果

宅地造成地内の斜面で発生した被害は大きくは局所に限られる被害と面的に分

布している被害に大別できる。局所被害は擁壁の亀裂・倒壊あるいは舗装の破壊である。一方、面的な被害は以下の３種類に分類される。(1)局所的な変形がある範囲に限られている被害：この場合の現象としては擁壁の倒壊・亀裂、舗装の破壊および家屋の倒壊がある。(2)断層に起因して帯状に分布する被害：この場合の現象としては帯状に局所的な被害が分布する。(3)マスムーブメントに起因する被害：この場合の現象としては局所被害が連続し、その形状が崩壊滑落崖状になったり、舗装が大きく変形を起こしている。

写真－３は石積み擁壁の倒壊、写真－４は石積み擁壁の縦方向亀裂、写真－５は二段積み擁壁のはらみ、写真－６は道路陥没に伴うコンクリート擁壁の転倒状況を示す。



写真－３ 石積み擁壁の倒壊



写真－４ 石積み擁壁の縦方向亀裂



写真－５ 二段積み擁壁のはらみ



写真－６ コンクリート擁壁の転倒

3. 復旧・復興に関する助言・提言

- (1)現状では自然斜面、宅地斜面ともに、変形・破壊が持続的に継続しているものは認められなかった。しかし変形、破壊を起こした斜面では今年の雨期や台風期の対策が問題となる。
- (2)斜面安定対策工は早急に完成できないので、特に大きな被害が予想される斜面では緊急斜面安定対策工の施工が期待される。それ以外の斜面では、住民による観察が特に必要となる。
- (3)大きな被害が予想される斜面を対象として変位を計測し、警戒システムを導入することが必要である。
- (4)今回の地震で生じた亀裂に雨水を入れないことが大切であるが、ある宅地では屋根からの排水管が地中に埋設され、この排水管が地震により切られている場合があったのでこの点にも注意する必要がある。
- (5)地震時に出現した変形あるいはすべり面がどのような形状になっているかを把握する必要がある。これは変形や崩壊メカニズムを考えるうえでも重要である。このためいくつかの斜面ではボーリングを含めた各種の調査が進められることが望ましい。
- (6)古い時代に造成された擁壁が多く破壊しており、これら古い擁壁の防災対策も重要であることが今回の被害から明らかになった。今後はハード面のみならずソフト面からもこれら古い擁壁に対応する必要がある。
- (7)地山と盛土は動的な応答特性が異なるため、その境界付近で変形や破壊を生じている場合が多い。今後、地盤と盛土を一体化するための方法が工夫される必要がある。
- (8)宅地内の石積み、コンクリート擁壁に発生した亀裂に対する安全度診断法を早急に開発するとともに亀裂に対する修復工法の基準案を策定する必要がある。

今後は個々の斜面を対象として、崩壊のメカニズムを明らかにしていく予定である。なお、一部の空中写真判読に際しては建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所の空中写真を使用させていただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献：1)安江朝光・仲野公章：地震に対する急斜面の危険度評価、土木技術、34, 8, 1979. 2)藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質、地質調査所、1983.

ご注意 当該資料の内容を複写したり他の出版物へ転載するような場合は、必ず土木学会の許可を得て下さい。

発行 平成7年3月30日 第一刷

発行所 〒160 東京都新宿区四谷一丁目無番地 社団法人 土木学会

電話 03-3355-3441 番(代表) Fax.03-5379-2969