

平成7年度

第13回神戸大学工学部公開講座

阪神・淡路大震災
— 新生神戸の復興を目指して —

神戸大学工学部

平成7年度

第13回神戸大学工学部公開講座

阪神・淡路大震災
— 新生神戸の復興を目指して —



00095044289

神戸大学工学部

受講に際しての留意事項

1. 講義は、工学部LR501教室で行います。
2. 受講証は、係員が呈示を求める場合がありますので、必ず携帯してください。
3. 出席カードについて（テキストの最後の綴じ込み）
 - （1）テキストを受領されましたら、出席カード（8回分）すべてに、受講番号及び氏名を事前に記入しておいてください。
 - （2）出席カードは、受講番号及び氏名の記入漏れがないかを確認し、受講する回の分を受付の箱に入れてください。
 - （3）出席カードの提出がなかった場合は、欠席の取扱いとなります。
4. 修了証書は、8講義中6講義以上受講された方に対して、7月22日（土）の閉講式で交付します。

目 次

はじめに

I. 建築物の被害と復興

1. 建物被害 地盤との関連・・・・・・・・・・日下部 馨・・・・・・・・ 1
 コンクリート系建造物の被害・・・・・・・・谷 明勲・・・・・・・・ 5
 鉄骨造建物の被害・・・・・・・・・・田淵 基嗣・・・・・・・・ 9
2. 阪神淡路大震災と都市火災・・・・・・・・・・室崎 益輝・・・・・・・・ 13
3. 建築設備・・・・・・・・・・松本 衛・・・・・・・・ 23
 住生活の復興・・・・・・・・・・塩崎 賢明・・・・・・・・ 29
4. 歴史的建造物の被害状況と保全・・・・・・・・足立 裕司・・・・・・・・ 35
 震災復興と街づくりー都市デザインの視点からー・・・安田 丑作・・・・・・・・ 41

II. 社会基盤施設の被害と復興

1. 道路・橋梁建造物と復旧・・・・・・・・・・宮本 文穂・・・・・・・・ 49
 鉄道被害と復旧・・・・・・・・・・李 騰雁・・・・・・・・ 73
2. トンネル・地下建造物・・・・・・・・・・櫻井 春輔・・・・・・・・ 83
 山腹崩壊・・・・・・・・・・沖村 孝・・・・・・・・ 95
3. 臨海埋立地・港湾・・・・・・・・・・田中 泰雄・・・・・・・・ 103
 河川建造物の被害・・・・・・・・・・道奥 康治・・・・・・・・ 109
 下水道施設被害・・・・・・・・・・神吉 和夫・・・・・・・・ 115
4. ライフライン施設の被害と復旧・・・・・・・・高田 至郎・・・・・・・・ 119
 災害後の運輸・交通・・・・・・・・・・黒田 勝彦・・・・・・・・ 123

工学部公開講座講師紹介・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 133

講義日程・題目及び講師・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 135

はじめに

平成7年1月17日早朝午前5時46分に突然襲ってきたマグニチュード7.2の兵庫県南部地震は、神戸市をはじめとする阪神間の都市を直撃し、未曾有の災害をもたらしました。「阪神間で大きな地震は発生しない」と、なんとなく信じていた多くの人々にとって、未だに信じられないような出来事でした。

例年の工学部公開講座は、工学部の全学科の教官が分担して、幅広い分野にわたる講義を行ってきましたが、今回は、地元大学として神戸大学工学部が、建設系の教官、職員及び学生を中心に、地震発生直後から精力的に阪神・淡路大震災に関する調査・研究を進めてきた結果、得られた成果を中心に「震災と復興」をテーマとして公開講座を開催することといたしました。

内容としては、「建築物の被害と復興」と「社会基盤施設の被害と復興」に分類し、前者では家屋、ビルディング等の建築物の被害と復興について建築系の教官が、後者では社会的インフラと呼ばれる道路、橋、トンネル、港及びライフライン等の被害と復興について土木系の教官が講義を予定しています。

本講座により、受講者の皆様の今回の震災に対する理解が一層深まり、今後の復興とさらなる飛躍への一助となることを願っています。

平成7年度工学部公開講座委員会委員長
金 田 悠紀夫

I. 建築物の被害と復興

建物被害

1. 地盤との関連

建設学科 教授 日下部 馨

1-1. 地震の規模

1995年1月17日5時46分52.0分に発生した平成7年(1995年)兵庫県南部地震(17日に気象庁命名)は、北緯 $34^{\circ}36.4'$ 、東経 $135^{\circ}2.6'$ 、深さ14.3kmを震源とし、マグニチュード $M=7.2$ の規模であり、気象庁の発表による各地の震度は図1(a),(b)の通りである。すなわち、震度VIIを発表したのは気象庁始まって以来のことで、如何に大きな被害をもたらした地震であったかが判る。

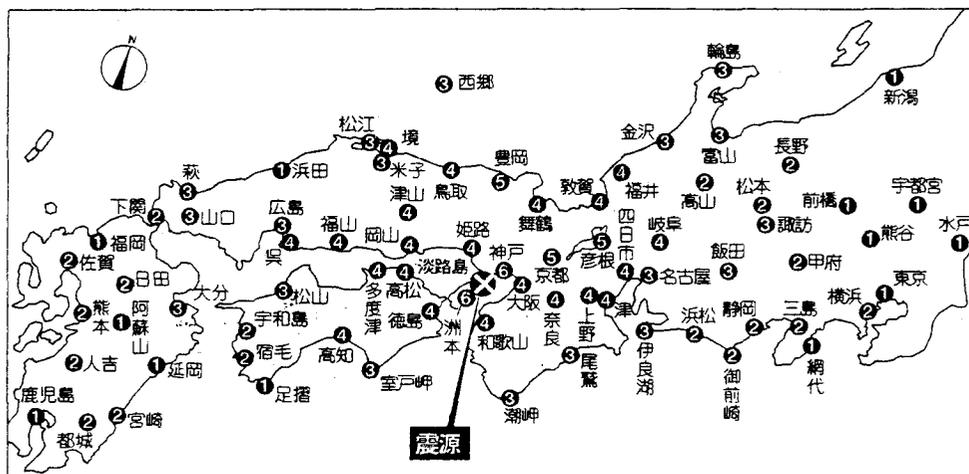


図1(a) 各地の震度

図2は、神戸市長田区の激震地に建つ高層建物(地上24階、塔屋2階、地下3階、SRC造純ラーメン構造、ベタ基礎)の地下1階で観測された加速度記録で、上から南北成分、東西成分および上下成分となっている。この波形では、南北成分の動きがずば抜けて大き

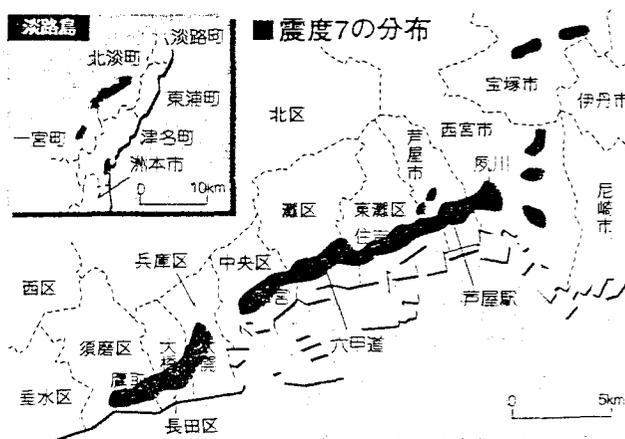


図1(b) 震度VIIの地域

く、最大加速度は315ガル (= cm/sec^2) で記録は頭打ちしており、それ以上であった。次いで、東西成分と上下成分の最大値はほぼ近い値となっているが、初期微動および高周波成分の存在で異なっている。南北成分の波形を観ると大きい波が3つ存在しており、このことからショックが3度生じたのであろうと推測される。

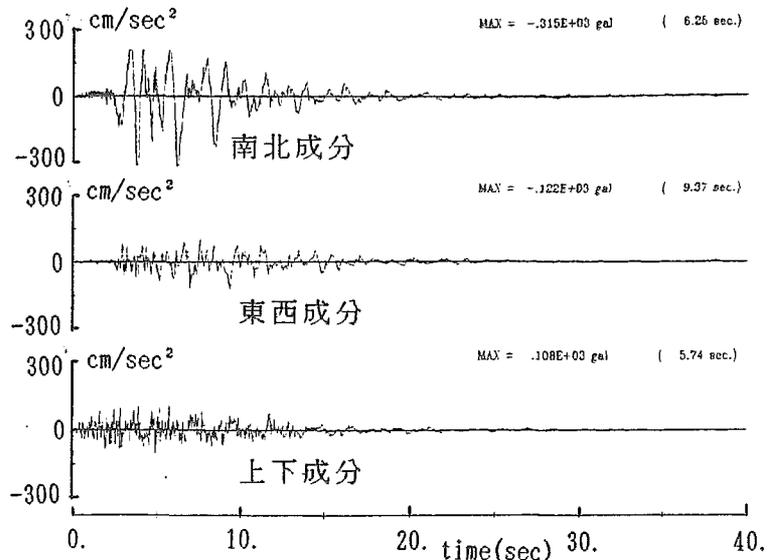


図2 某建物の地下1階で観測された地震動波形

1-2. RC造の被害分布

図3は、兵庫・長田区で倒壊または大破したコンクリート系建物の位置を明治19年に発行された神戸近傍図にプロットしたものである。震災域は、現在のJR須磨駅辺りからJR神戸駅辺りにかけ、幅500mから1kmの帯状に集中している。この帯状の震災域は元町・三宮を経てJR芦屋駅辺りに延長している。しかし、この帯状に沿って一様に連続して被害が存在するのではなく、被害の大きな所小さい所がある。図3には河川が示されているが、湊川は現在存在せず、新湊川として西の方に移されたことがうかがえる。この図から、建物の被害は100年近く前に旧河川域やため池を埋め立てた所に集中していると言える。



図3 兵庫・長田区のRC造建物の被災地域 (明治19年の神戸近傍図を使用)

所小さい所がある。図3には河川が示されているが、湊川は現在存在せず、新湊川として西の方に移されたことがうかがえる。この図から、建物の被害は100年近く前に旧河川域やため池を埋め立てた所に集中していると言える。

1-3. 地盤と震災との関連性

地震動による地盤の挙動としては、次の3つが考えられる。すなわち、①地盤の崩壊・流動・沈下、②液状化に伴う支持力の低下、③表層堆積地盤の増幅、等があげられる。

まず、①は、地盤自体の震災であり、断層のずれ、地滑り・山崩れ、擁壁・護岸・岸壁の傾斜崩壊による土の側方流動、地盤の沈下・陥没等がある。写真1は、左側に海があり、護岸が傾斜したため、敷地内の地盤が海側に流動・陥没し、RC造物置が不同沈下したも

のである。②は、水を含んだ細砂が激しく揺すられると、どろどろの液体状になり、支持力を失うと共に噴砂現象を呈し、細砂は水とともに地表に吹き出される。写真2は地盤の液状化により一戸建て住宅の敷地・門扉等が前面道路より50cm程度沈下した状態を示している。この地盤は、ボーリング調査によると、地表面からほぼ-15mまでは埋立て土で、途中、-4.5mから-8.0mまでは海砂となっており、海砂の部分が液状化を起したと考えられる。新潟地震では、液状化により多くの建物が傾斜したが、ほとんどが重いRC造建物であったのに対し、今回の地震では比較的軽い一戸建て住宅が液状化の被害を受けている。③は、比較的堅牢な基盤の上に厚さ一様な堆積層が覆っている成層地盤、または、堆積層の地表面は水平でも基盤が傾斜した不整形地盤に地震動が入射すると、地表面で地震動は増幅され、非常に大きな揺れとなり、建物を崩壊にいたらしめることがある。

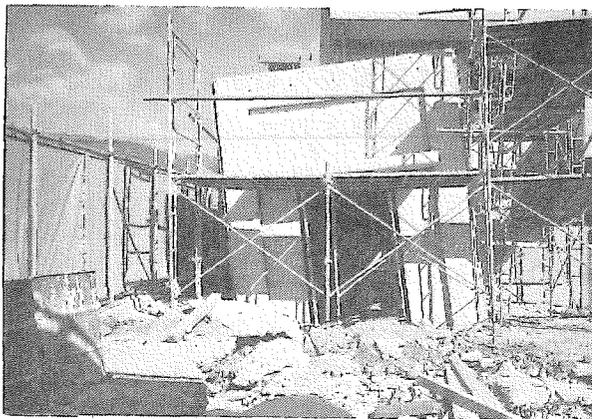


写真1 護岸の移動による物置の傾斜

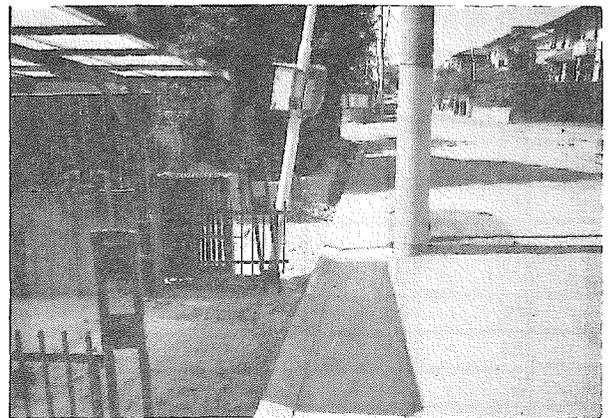


写真2 液状化による住宅敷地の沈下

1-4. むすび

兵庫県南部地震で多くの建物が被害を受けたが、健在な建物もそれ以上存在している。例えば、倒壊している建物の隣りで何事もなく建っているものもあれば、軟弱地盤の最たるポートアイランド、六甲アイランド等の臨海埋立地に建つ建築物はほとんど被害を受けていない状況である。今回の地震は都市の直下を地震断層が走った特殊なケースであるが、限られた地域に建物被害が集中しているので、その特徴を考えてみる。

- ① 地震断層の近傍。ただし、断層の真上とは言い切れない。
- ② 河川やため池、水田等を埋立てた所。軟弱な堆積層により、地震動が増幅される。
- ③ 建物の共振振動。建物の固有周期が地震動の卓越周期と一致すると、共振して建物の揺れは非常に大きくなる。

上の3つの条件が重なった場所で、構造的に弱かった建物または構造計画のまずかった建物が地震の被害を受けたと考えられる。したがって、これから建物を建てる時は、埋立地は出来るだけ避ける。やむを得ない場合は、構造的にバランスの良い設計、表層地盤での増幅を考慮した設計地震力の設定、杭を使うなどして基礎のしっかりした建物とすることを薦める。

メモ

2. コンクリート系建造物の被害

建設学科 助教授 谷 明勲

2-1 はじめに

我が国で建築によく用いられるコンクリート系の構造としては、鉄筋コンクリート構造（RC）と鉄骨鉄筋コンクリート構造（SRC）がある。RCは主として中低層の構造物に、SRCは中高層の構造物に用いられることが多いが、外観上に大きな差はなく、両者を併用した構造物も多いため、ここでは両者をコンクリート系構造物として、その被害をみていくこととする。

2-2 コンクリート系建造物の被害の概要 表2-1 RC, SRC建物の被害棟数¹⁾²⁾

日本建築学会では、近畿支部が中心となって兵庫県南部地震における構造物の被害調査を行っている¹⁾²⁾。その調査結果をRC, SRC構造物について集計したものを表2-1に示す。ここでRC, SRC建物で倒壊または大破したものは調査地域全域で609棟、中破の建物は346棟、小破または軽微の建物は1716棟となっている。

調査対象地域	倒壊・大破	中破	小破・軽微	
西宮市, 尼崎市 伊丹市, 宝塚市	39 (棟)	19 (棟)	65 (棟)	
芦屋市	25	24	47	
神戸市	東灘, 灘区	192	85	272
	中央区	207	175	1261
	兵庫区	69	23	16
	長田区	55	18	43
	須磨区の一部	22	2	12
合計	609	346	1716	

2-3 建築物の設計基準の変遷

以下に、我が国で発生した大地震と建築物に対する法規定の変遷を示す。

- 1923年：関東大震災。
- 1924年：市街地建築物法施工規則の中の構造に関する規定の改正。
- 1948年：福井地震。
- 1950年：建築基準法の制定。
- 1968年：十勝沖地震。
- 1971年：法改正、柱の帯筋間隔に対する規定の強化。
- 1978年：宮城県沖地震。
- 1980年：大幅な法改正（新耐震設計法）。

以上のように、我が国では大きな地震災害を契機に法の見直しが行われ、建築物の耐震規定が強化されてきている。しかし、この法は法制定以後に建築される建物についてのみ適用され、それ以前の建物には適用されないため、現存する建物の耐震性にはバラツキがあることになる。今回の地震では、1971年以前の比較的古い建物に被害が集中したこ

とが指摘されている。

2-4 R C, S R C 造建物の被害の特徴

ここでは、今回の地震における R C, S R C 造建物の特徴的な被害状況を、建物全体と各構造部材にわけて簡単に述べる。

まず、建築物全体の被害としては、以下の4つがある。

1) 1階部分の層崩壊

1階部分での層崩壊は、建物の規模にはよらず、1階部分が駐車場や店舗等になっているピロティ形式の建物で多くみられる。また、店舗等に利用するために耐震壁が偏在し、ねじれによって破壊した例もみられる。このような計画の建物に関しては、今後、構造計画を慎重に行う必要があると考えられる。

2) 中間層の層崩壊

この被害は今回の地震で大きく報道された崩壊形式で、我が国では従来あまりみられなかった崩壊形式である。外国では、1985年のメキシコ地震でみられた例がある。この原因に関しては種々の原因が指摘されているが、実際には多くの要因が絡み合っただけのものと考えられ、今後、詳細な検討が必要であると考えられる。

3) 建物の全層崩壊

今回の地震では、建物が全層にわたって崩壊した例もみられる。全層崩壊した建物では、構造の詳細がわからないため、原因を特定することは難しいが、各層の曲げ耐力やせん断耐力が小さいために柱が地震力によって破壊し、柱が上階の建物重量を支えられなかったことが原因の一つとして考えられる。

4) 建物形状が変化する部分での被害

建物形状が変化する部分では、建物の剛性が急激に変化するため、上階に大きな地震力が作用して、その境界部分で被害が生じる例がみられる。また、建物頂部のペントハウス（塔屋）等においても同様の被害が生じた例や、消防署の望楼が落下した例もある。

次に、各構造部材の被害としては、以下の4つがある。

5) 柱・はりの曲げ破壊

柱・はり部材が曲げ破壊を生じると、柱・はりの端部のコンクリートの引張亀裂や圧壊、鉄筋の引張降伏等を生じる。柱・はり曲げ破壊するかせん断破壊するかはせん断スパン比（ a/d ： a ：部材長さ、 d ：断面の有効せい）で判別され、せん断スパン比が大きいと曲げ破壊を、小さいとせん断破壊を生じる。

6) 柱・はりのせん断破壊

柱・はり部材がせん断破壊を生じると、部材に斜め、もしくはX型の亀裂を生じる。特に、柱にせん断破壊が生じると、柱の軸方向の耐力（上階の重量を支える耐力）を急激に喪失する場合があります。これは、柱にたれ壁やそで壁がとりつく場合

に生じやすく、大きな被害となる場合がある。

7) 柱・はりの付着割裂破壊

柱・はり部材に地震力が作用した場合、鉄筋に大きな応力が生じ、かぶりコンクリートを割り裂くような亀裂を生じることがある。これを付着割裂亀裂と呼ぶ。この亀裂が大きくなると、かぶりコンクリートが剥落する。

8) 壁の破壊

構造物に配される壁には大きくわけて耐震壁と雑壁がある。耐震壁は文字通り地震に対して抵抗する部材であり、雑壁は、構造計算上は抵抗要素としては算入されず、部屋の間仕切り壁やそで壁、たれ壁等がこれにあたる。また、中・高層の建物では、耐震壁を高さ方向に連続させた連層耐震壁が用いられることが多い。今回の地震では、壁にX型のせん断亀裂を生じた建物が多くみられるが、この壁が耐震壁か雑壁かで建物に対する被害の程度は大きく異なる。

この他、規模の大きな建物では、構造上建物をいくつかの棟に分割し、その間にエキスパンションジョイントを設ける例が多いが、今回の地震では、このエキスパンションジョイント部での被害も多くみられた。

2-5 おわりに

ここでは、兵庫県南部地震における鉄筋コンクリート（RC）、および、鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）建物の被害の概要を述べた。今回の地震では、過去に発生した大地震と比較して、被害を受けた建物の数が圧倒的に多い。また、古い建物でもほとんど被害がなかった例や、新しい基準で設計された建物でも被害が生じた例もある。今後は、被害が生じた建物と生じなかった建物の両者を詳細に検討することにより、より耐震的なRC、SRC建築を目指す必要があると考える。さらに、今回の地震では、学校や庁舎、病院等の緊急時に必要となる建物に被害を生じた例もみられ、古い基準で設計された公共性の高い建物の補強等も併せて考えていく必要があるのではないだろうか。

最後に、今回の地震被害の調査報告書を参考文献・資料として示す。

参考文献・資料

- 1) 日本建築学会：日本建築学会兵庫県南部地震災害調査緊急報告会資料，1995年2月10日。
- 2) 日本建築学会：1995年兵庫県南部地震災害調査速報，1995年3月。
- 3) 神戸大学工学部建設学科土木系教室：神戸大学工学部兵庫県南部地震緊急被害調査調査報告書（第1報），1995年2月17日。
- 4) 鹿島建設㈱：平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書（第一報），1995年2月1日。
- 5) 清水建設㈱技術絵研究所：1995年兵庫県南部地震調査報告書，1995年2月28日。
- 6) ㈱竹中工務店：「阪神大震災（兵庫県南部地震）」調査報告—第1報—，1995年1月31日。
- 7) ㈱竹中工務店：「阪神大震災（兵庫県南部地震）」調査報告—第2報—，1995年2月15日。

メモ

3. 鉄骨造建物の被害

建設学科 教授 田淵 基嗣

3-1 はじめに

我が国において、鉄骨造が建築の構造形式として本格的に採用されるようになってから以降これまでに幾つかの大地震が発生している。それらの地震により、多くの鉄筋コンクリート造の建物が深刻な被害を受けてきたが、鉄骨造建物の場合は、いわゆる不良設計・施工があった幾つかの建物に大破・倒壊が見られただけで、多層骨組における大きい被害は皆無と言ってもよかった。しかし、今回の地震では鉄骨造建物にも甚大な被害が生じており、地震入力が極めて大きかったことが改めて認識させられる。

本稿では鉄骨造建物の現行の設計概要を紹介した後、被害概要を述べる。

3-2 耐震設計の考え方

ここでは鉄骨造建物の被害状況を理解するための基礎知識として知っておく必要のある、耐震設計の基本的な考え方、骨組形式および標準的な接合部・柱脚の詳細を示す。

骨組が地震外乱を受けた場合、地震による建物への入力エネルギーを W_E 、骨組が吸収しうるエネルギーを W_S とすると、 $W_S > W_E$ の時この骨組は安全であると考えられる。ここで、 W_S は図3-1の荷重-変形関係で囲まれる部分の面積を示し、面積が等しい場合は、図3-1の(a), (b), (c)は同等の耐震性能を有している。したがって、大地震に対して建物は強度で抵抗することも可能であるが(図3-1(a))、多少の損傷を受けてもねばりによって地震入力エネルギーを吸収して倒壊しないように設計することも可能である(図3-1(b), (c))。後者の場合では、部材および接合部には十分な変形能力が要求される。

図3-2は一般的な多層骨組に採用される基本的な2種類の骨組形式を示す。ラーメン骨組では柱および梁の曲げ変形で、筋違付き骨組では主として筋違い材の軸方向変形でエネルギーを吸収するよう設計する。

図3-3は地震時における骨組の変形状態を示す。図(a)は各層が均等に変形する望ましい骨組であり、図(b)は特定の層に変形が集中し、その層に損傷が生じやすい骨組である。図(c)は接合部あるいは柱脚の強度が不十分で、部材が塑性変形する以前に倒壊した骨組である。

図3-4は慣用されている通しダイアフラム補剛形式の角形鋼管柱・梁接合部の詳細を、図3-5は露出柱脚の詳細を示す。

3-3 被害の概要

兵庫県下では1946年の南海地震以降は大きい地震を経験していないため、軽量鉄骨を主要構造に使用し、外壁をラスモルタル仕上とした古い構造形式の中低層建物が多数残っていた。これらの建物で、筋違いが不足していたもの、接合部および柱脚の強度が不足していたものの多くは接合部周辺および柱脚アンカーボルトの腐食が進行していたこともあ

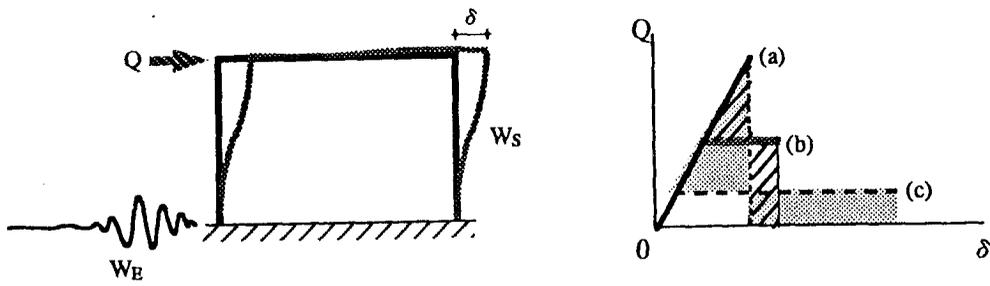


図3.1 耐震設計の基本的な考え方

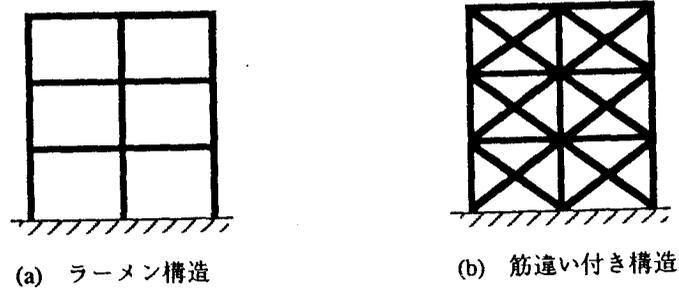


図3.2 骨組の形式

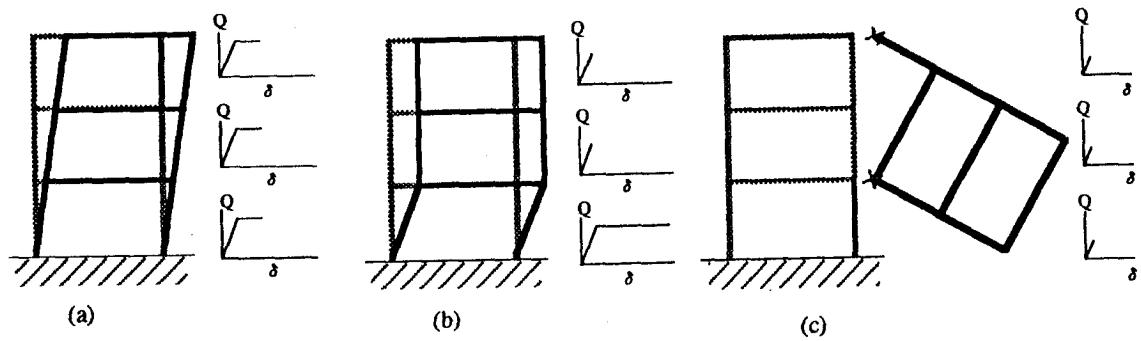
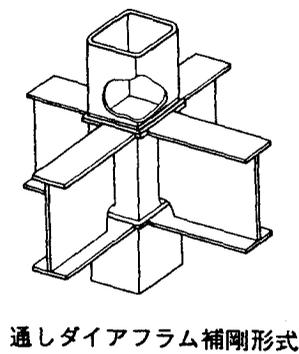
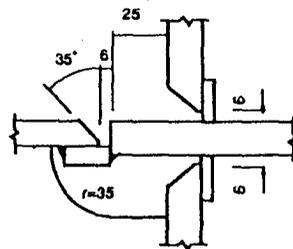


図3.3 骨組の崩壊形



通しダイアフラム補剛形式



一般的なスカラップ

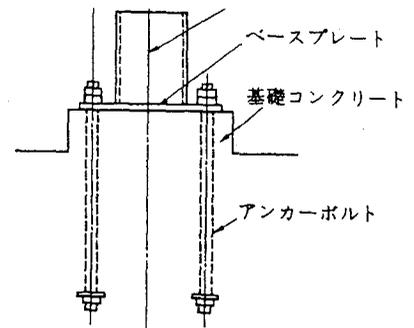


図3.5 露出柱脚

図3.4 柱・梁接合部の標準詳細

て、大破・倒壊している。しかし、これらの古い形式の建物でも維持状態が良く、構造計画が適切であったものは外壁のラスモルタルは剥落しているが、顕著な残留層変形もなく残っている。

日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会では軽量鉄骨造を除く建物について、可能な限り建物の内部に入った被害調査を行った¹⁾。小破以上の被害があった調査建物の合計は988件で、内訳は倒壊90件、大破332件、中破266件、小破300件である。

鉄骨造建物の被害の概要は以下の通りである。

- ・被害建物は中低層が多く、5階建以下が全体の約80%で、神戸市の鉄骨造建物の階数規模の分布（5階建以下の建物が全鉄骨造の約85%）にほぼ対応している。
- ・倒壊した建物は6階建以下の場合に限られており、3、4階建が全体の70%以上を占めている。
- ・角形鋼管柱ラーメン構造で、通しダイアフラムと柱の溶接部強度が不足していたものは図3-3(c)に示すように瞬時に倒壊している場合が多い。
- ・H形鋼柱を用いた場合はフランジの局部座屈を伴ったH形鋼の弱軸方向変形が生じている場合が多い。
- ・比較的軽微な筋違いを用いた骨組では筋違い材の破断、接合部のボルトあるいは溶接部の破断により大きい残留層変形を示すもの（図3-3(b)）や倒壊したものが多い。
- ・角形鋼管柱・梁溶接接合部において完全溶込み溶接されている場合でも梁端部での損傷が観察されている。この場合の残留層変形は小さく、外装材の被害も軽微な場合が多い。
- ・露出柱脚の被害例では、アンカーボルトの破断、ベースプレート下のコンクリートの破壊、柱とベースプレートの溶接部の破断などがみられる。これらの損傷は建物の倒壊につながっている（図3-3(c)）。また、多くの露出柱脚においてアンカーボルトの伸びが見られる。
- ・現行の設計基準に従い設計された骨組で施工状態が適切であったものには倒壊した例はなく、大地震時でも人命・財産を守るという設計の基本理念は守り得たと言える。

3-4 おわりに

今回の地震被害の特徴は、現行の基準通りに設計し、慣用されている接合部詳細を用いて施工された鉄骨造建物にも梁端溶接部周辺に損傷が生じていることである。また、柱の脆性破壊など、実験室でも観察されたことのない破壊現象も生じている。今後これらの破壊要因を分析し、今後の鉄骨造建物の設計・施工に反映させることが必要である。

〔参考文献〕

- 1) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：1995年兵庫県南部地震鉄骨造建物被害調査報告書、1995年5月、日本建築学会

阪神淡路大震災と都市火災

建設学科 教授 室崎 益輝

1. 地震火災の概況と特徴

まず、地震によって何が起きたのかを再確認する意味で、地震火災の概要を簡単に整理しておきたい。なお、ここでの概要は、私達の個人的な調査¹⁾²⁾にもとづいて記述しており、公式記録とは数値等で異なるところがある。

(1) 多数の火災が同時に発生した

地震直後から翌々日の19日までに、被災地域である兵庫県南部で約 180件の火災（出火件数ベースで算出）が発生している。阪神間の7市について出火件数をみたのが表1および図1である。これによると、灘、中央、長田の3区と芦屋市で人口あたりの出火が多かったことがわかる。ところで今回の火災の発生の一つの特徴は、地震直後だけでなく数時間後あるいは数日後にも地震と関連した火災が多数発生したことである。半数の火災は地震直後からの1時間に集中しているが、他の半数は1時間以上経過してから断続的に発生している（図2）。

表1 市・区別出火件数

地 区	総 計	世 帯 数	出 火 率
東灘区	20	72625	2.75
灘区	18	53530	3.36
中央区	22	50146	4.39
兵庫区	14	51726	2.71
長田区	22	52308	4.21
須磨区	12	61664	1.95
垂水区	5	80664	0.62
北区	1	61133	0.16
西区	1	46267	0.22
尼崎市	7	183842	0.38
西宮市	31	156671	1.98
芦屋市	14	32186	4.35
宝塚市	4	67357	0.59
伊丹市	7	62556	1.12
川西市	3	43906	0.68
総 計	181	1076581	1.68

消防活動との関係で問題になるのは、消火の必要な炎上火災が同時に何件発生したかである。大火が発生した神戸市について、少し詳しくみることにしたい。神戸市消防局の監視カメラの映像では、7時30分時点で市街地部に25件程度の炎上火災が確認されている³⁾。また、私達の研究室の聞き取り調査¹⁾の結果によると、地震直後には少なくとも約40件の炎上火災が発生していたことが明らかになっている。「灘区管内で直後に発生した17件の火災に対し初動時に対処できたのは4件にすぎなかった」³⁾という報告にも示されるように、公設消防の対応能力を越えた数の火災が同時に発生したことが、大火という悲劇の始まりであったことを確認しておきたい。

(2) 大規模な延焼火災が数多く発生した

今回の地震火災では、約70ヘクタールが焼失し、約 7,000棟が灰塵に帰している。1,0

00㎡以上焼失した火災は49件あり、そのうちの10件は33,000㎡（1万坪）以上焼失の大火となった。30棟以上焼失した大規模火災を表2と図3に示す⁴⁾。長田区や兵庫区などの下町（インナーシティ）で大規模な火災が数多く発生していることがわかる。こうした大火は、地震直後に出火したものが殆どで、当日の深夜あるいは翌朝まで燃え続けている。なお、1000㎡以上焼失した火災の約7割が地震直後に発生しており、直後の火災ほど消防力が手薄なため、大火になる危険が高かったといえる。

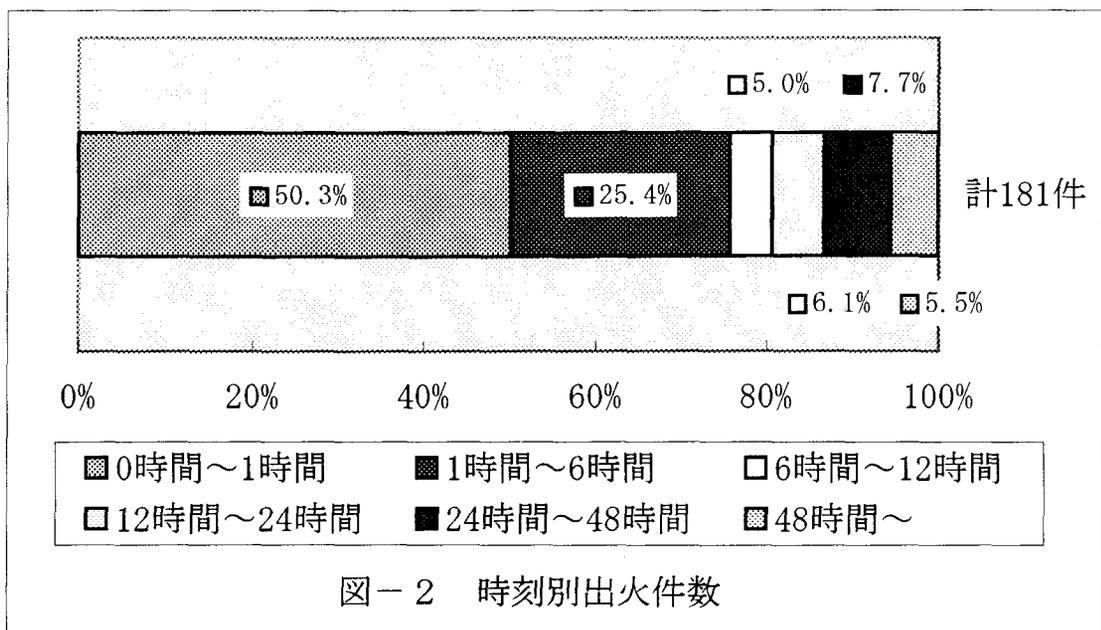
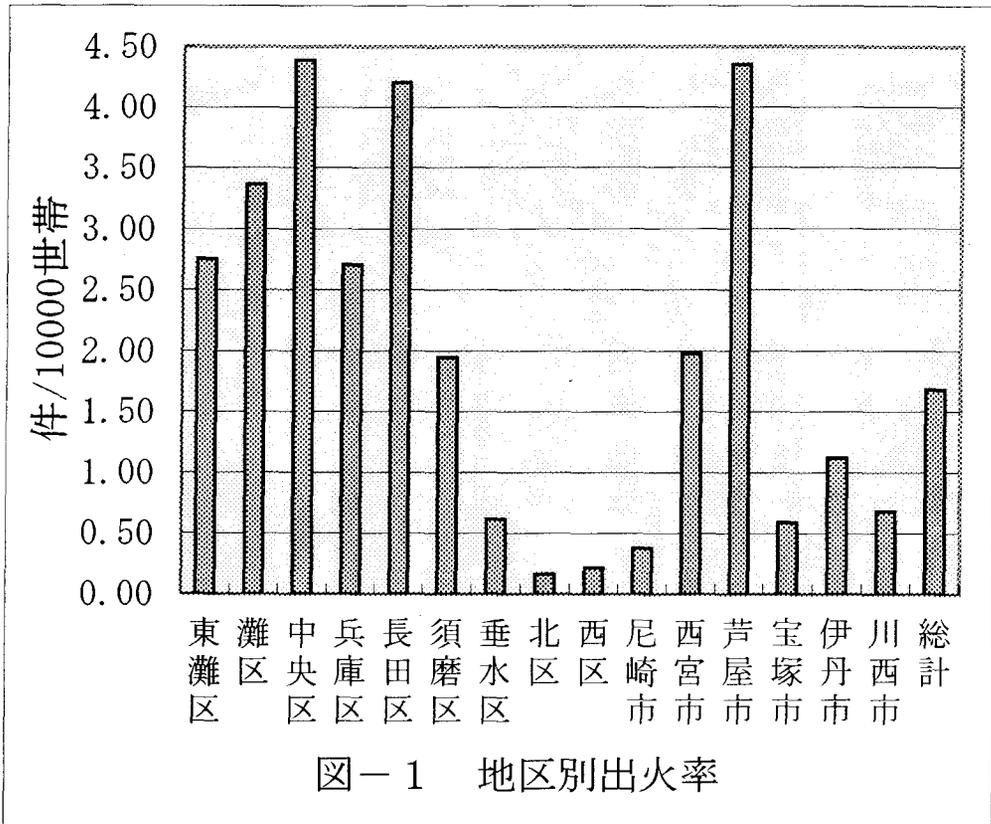


表2 大規模火災（30棟以上焼失）の概要

No.	出火時刻	出火場所	火元用途	原因（推定）	焼失面積	焼損棟数
1	17日/直後	東灘区魚崎南町	戸建住宅	不明	3,077㎡	34棟
2	17日/直後	東灘区青木町	店舗	不明	6,991	95
3	17日/直後	東灘区御影石町	共同住宅	不明	5,027	32
4	17日/14:30	東灘区魚崎北町	戸建住宅	石油ストーブ	10,388	97
5	17日/直後	灘区六甲町	共同住宅	不明	19,940	221
6	17日/直後	灘区琵琶町	共同住宅	不明	6,932	84
7	17日/直後	灘区新在家北町	共同住宅	ガス+着火	1,904	37
8	17日/直後?	灘区鹿ノ下通	店舗	不明	2,398	41
9	17日/7:30?	灘区篠原南町	併用住宅	その他電気	8,367	108
10	17日/直後	兵庫区湊川町	不明	不明	12,077	180
11	17日/直後	兵庫区中道通	併用住宅	不明	4,034	45
12	17日/直後	兵庫区笠松通	共同住宅	石油ストーブ	1,984	31
13	17日/直後	兵庫区上沢通	共同住宅	不明	7,991	77
14	17日/17:00	兵庫区上沢通	不明	不明	54,346	531
15	17日/直後	長田区菅原通	戸建住宅	不明	74,043	927
16	17日/直後	長田区大道通	共同住宅	不明	16,020	224
17	17日/直後	長田区東尻池町	併用住宅	石油ストーブ	3,344	41
18	17日/直後	長田区若松町	店舗	不明	39,570	434
19	17日/直後	長田区若松町	病院	不明	68,850	825
20	17日/直後?	長田区久保町	併用住宅	不明	35,100	361
21	17日/7:00?	長田区水笠通	戸建住宅	ガス+着火	106,241	1,164
22	17日/7:00?	長田区日吉町	不明	その他電気	3,072	52

焼失面積、焼損棟数は建築研究所の調査データによる

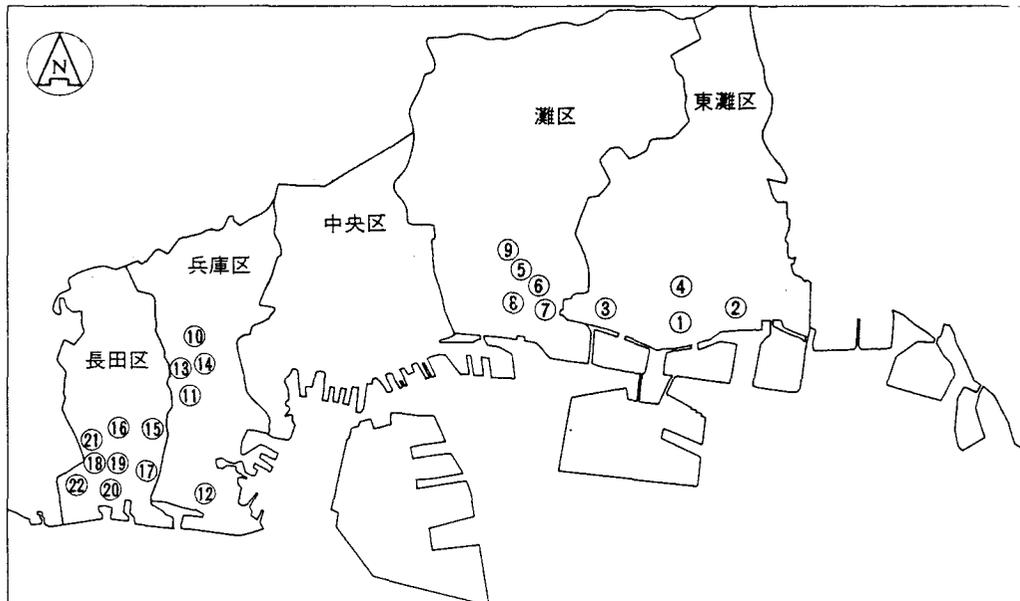


図-2 大規模火災の発生場所

大規模火災では、延焼速度あるいは火面規模が問題となる。それが避難の安全性と消火の容易性を左右するからである。ところで、今回の地震で概ねゆっくりと燃えており（局所的には急速に拡大した部分もあるが）、延焼速度は20～30m／時間程度（関東大震災の約1/10の速度）である。火面高さも概して高くなく数m程度である。このため、後述するように市民消火活動が組織され、また輻射熱で死傷する人もなかった、ということが出来る。なお、延焼速度が遅かった理由としては、耐火造等が普及していたこと、風速が殆どなかったこと（最高時4m/秒）に加えて、木造家屋が押しつぶされて破壊消防状態になっていたこと、などが考えられる。

ところで、大規模な火災が多数発生した反面、火元建物内で焼け止まった火災も少なくない。7市の181件の火災の規模別の内訳をみると、そのうちの97件が単体火災となっている¹⁾。マンション等の耐火造でも火災が多発（約70件発生）したが、その殆どが隣家に燃え移ることなく鎮火したこともあって、単体火災が多かったといえる。

(3) 飛火火災や再燃火災が発生した

過去の大火の場合と同様に、飛火火災が各所で発生した。神戸市全体で少なくとも20件以上の飛火火災が発生している。上沢通りや若松町などの大火では、飛火火災が数回に渡って発生しているが、そのたびに火災の範囲が大きく広がっている。この飛び火とともに、再燃火災が多く見られるのも特徴である。鎮圧したと見られたところでも、数時間後あるいは翌日になって再び燃え広がったものが少なくない。消防力が不足し転戦を余儀無くされたこともあるが、一瞬にして瓦礫の山となった倒壊状況と密接に関係しているものと推察される。このほか、長田区の千歳小学校付近の現場では、小規模であるが「火災旋風」も発生している。

なお、飛火火災との関係では、防火造の家屋で屋根瓦やモルタル壁が剥離したこと、耐火造の家屋でコンクリート壁や編み入りガラスが破損したことに、注目する必要がある。前者は飛火が着火しやすい状況をつくりだし、後者は飛火が発生しやすい状況をつくりだしたからである。耐火造は焼け止まり線を構成するなどそれなりの役割を果たしたが、その反面で延焼を助長したもののものもある。耐火造の一部は、激しく燃え上がって周辺に火の粉を拡散したことが確認されている。激しい地震により窓や壁が破壊され、空気が流入しやすくまた火災が入りやすい状態になって、耐火造としての性能を失った、とみることができる。

(4) 様々な消火活動障害が発生した

大火になった要因の一つに、消火活動障害が各所で発生し、迅速かつ有効な消火活動が初期に展開できなかったことがある。その最大のもは水利の不足である。消火栓が震度7という激しい振動のために損壊し全く機能しなかった。それに加え、防火水槽の多くが地震による破損漏水あるいは家屋の倒れ込みで使用できなかった。使用できた防火水槽で

もすぐに水が底をついて、川や海あるいはプールなどからの中継送水に頼らざるを得なかった。なおこの海からの中継も、ホースが通過車両に各所で引きちぎられ困難を極めていた。さらに、飲料水の確保が優先されたために、消防用水への給水が制約されたという問題もある。神戸市内の配水池では地震と同時に緊急遮断装置が作動して飲料水の確保がいちはやく図られたが、そのことが消火用水の不足をもたらしたことは否めない。

救助活動との板挟みも、消火活動障害の一つである。1万人をこす人々が家屋の下敷きになって救出が急がれたため、「消火よりも救助を優先せざるえなかった」ということである。火災現場に向かう消防隊は、助けを求める人々を放置できず救助しつつ駆けつけるという状態になった。そのため火災現場への到着が遅れたことを指摘しておかねばならない。この駆けつけの遅れでは、瓦礫で道路が覆われ通行不能になった、マイカーなどが道路を占拠して大渋滞になったことも、大きな障害として指摘できる。

消火活動の障害で忘れてならないことは、情報収集や情報伝達における混乱である⁵⁾。直ちに消防ヘリが飛び立てなかったこと、監視テレビが地震直後の一時期作動しなかったこと、電話が輻輳し必要な情報が入らなかったこと、119通報の半数近くが無音であったことなどにより、的確かつ迅速に火災の発生状況が把握できなかった。また、消防の全国共通波が1波しかないために通信が輻輳して、応援消防隊との通信に手間取る、さらにマスコミなどのヘリの騒音に隊員相互の指示伝達が妨げられる、といった問題も同時に発生している。

(6) 広範に市民消火活動が展開された

今回の地震火災で特筆すべきことは、市民や事業所の積極的な消火活動への参加がみられたことである。私達の研究室の調査²⁾によると神戸市内では77カ所の火災現場で市民消火活動を確認することができる。そのうち17カ所の現場では数十人から数百人規模の組織的な活動が展開されている。この市民消火活動により火元建物での初期鎮圧に成功、あるいは隣接街区への拡大阻止に成功したものも少なくない。消火活動の内容をみると、消火器による消火55件、バケツリレーによる消火47件、消防ホースによる消火19件などが主なものであるが、破壊消防も4件確認されている。

事業所の自衛消防隊が活躍した例もみられる。長田区の真野地区では地域の事業所の自衛消防隊の消火活動が功を奏し火災を鎮圧している。東灘区の御影浜地区では周辺の10事業所の自衛消防隊がプロパン漏洩による危険拡散を防止している。このほか、事業所の貯水槽の活用やホースの利用など様々な形で協力が得られている。

とはいえ、地震の最中あるいは直後においては、必ずしも積極的かつ有効な消火活動が行われたとはいいがたい状況にある。激しい揺れが火元点検をする行動の自由を奪い、生き埋めの多発が消火活動をする行動の余裕を奪ったからである。私達の調査²⁾では、地震の最中に火元点検をした人は約1割、直後に火元点検をした人は約3割という結果が得られている。地震後1～2時間の間に市民消火活動に参加した人は約3%で、救出活動に参

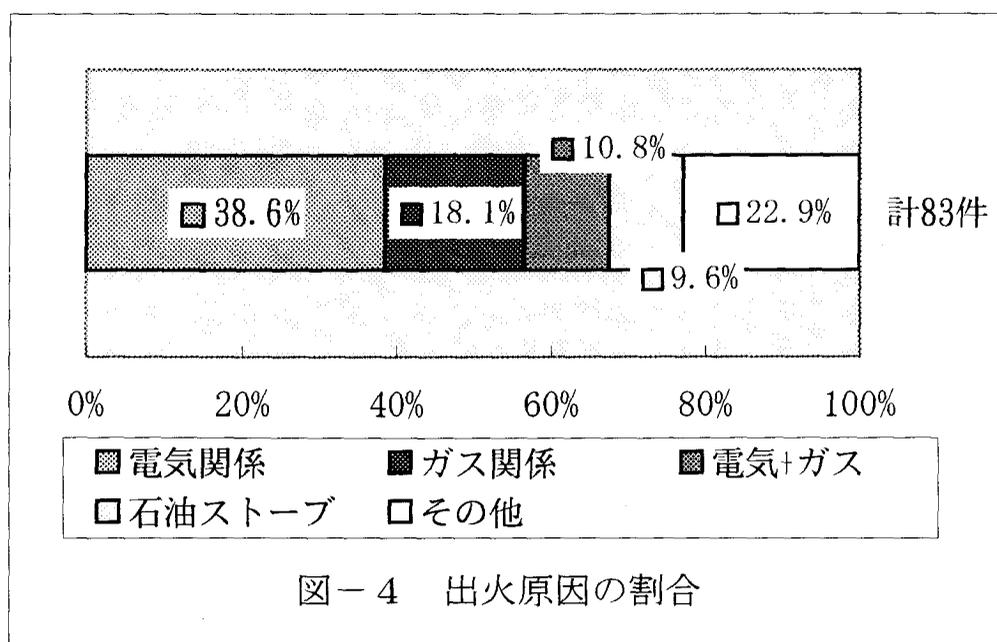
加した人の21%に比べ少なくなっている。こうした結果からは、初動期から市民消火をどう組織するかが問われている、といえよう。

地震出火の原因と問題点

今回の地震火災で私が痛感したことは、こんなに多くの火災が発生してしまっただけでは消防力ではどうにもならない、ということである。「出火件数を少なくすること」を、地震火災対策の原点におかなければならない、ということでもある。そこで、私たちの研究室では地震直後から、学生やボランティアの皆さんの協力を得て、地震火災の原因を明らかにする調査を開始した。出火時に最も近くにいた人を捜し求めてその証言をとる方法で行ったもので、400人をこえる人々から貴重な証言を得ることができた。この証言については、小規模な火災については確かで具体的な証言が得られるが、大規模な火災になると現場が消滅していることもあり原因の特定につながる証言が得にくい、という状況にある。参考までに、規模別の原因特定率をみると、単体火災では60%であるのに対し、3,300㎡以上焼失の大規模火災では19%に過ぎない。いずれにしろ、目撃証言によるもので不正確なところがあり素人的判断とのそりを免れないが、今後の出火防止対策を考える資料とするには、これで十分だと思っている。

(1) 火災原因の特徴

7市 181件の火災のうち、83件について大雑把ながら原因を特定することができた。その内訳を示したのが図4である。火源もしくは着火物にどのような火種あるいは火器が関わっていたのか、という視点からまとめたものである。電気関係の火災が約4割と多く、



次いでガス関係の火災が約2割と多くなっている。ガスと電気に関わったものが半数以上を占めているが、昨年のノースリッジ地震の際も、ガスの漏洩、危険物質、電気系統などによる火災が多発したことが報告されており⁶⁾、今回の地震でもそれと同じことが起きたといえ、近代都市型の出火の特徴が示されたといえる。

「電気関係」というものの中には、電気ストーブ等の電気器具が火源となって出火したもの、通電によるスパークやショートなどが火源となって出火したもの、グラファイト現象やトラッキング現象によって出火したもの、熱帯魚の水槽のヒーターの加熱によって出火したものが含まれる。また「ガス関係」というものの中には、ガスコンロ等のガス器具が火源となって出火したもの、ガス給湯器が転倒して出火したもの、滞留していたガスになんらかの火源（焚き火の火やエンジンカッターの火など）が引火して出火したものが含まれる。「電気+ガス」というのは、その両者に関係したもので、ガスが漏洩しているところに通電があって出火したと考えられるものを、ここでは別に扱っている。

石油ストーブについては8件の出火が確認されているが、旧式のストーブを使用していたもの、ストーブが転倒しても耐震装置が働かなかったもの、ストーブの上に可燃物が落ちてきたものなどがある。長田区などの現場では多数の旧式石油ストーブが確認されており、この8件以外にも石油ストーブによる火災があったものと推察されるが、目撃証言が得られないため、ここでの数字にはあられていない。そのほか、自動車からの出火4件、ローソクからの出火3件、煉炭や七輪からの出火2件、煙草からの出火1件、薬品からの出火3件、プロパンからの出火2件があり、さらに放火火災が2件確認されている。

火災原因の特徴をより詳しく見るために時間別あるいは火災規模別の傾向を整理したのが図5および表3である。電気火災が地震後1時間以降にも多発していることがわかる。また電気火災については、単体火災で止まったものが32件中27件と非常に多い。これについては、単体火災なので電気が原因と特定しやすかったのか、地震翌日以降に出火したもので単体火災で止まりやすかったのか、よくわからない。

表3 火災規模別出火原因

	単 体	小規模	中規模	大規模	合 計
ガス関係	9	2	3	1	15
電気+ガス	5	2	2	0	9
電気関係	27	1	2	2	32
石油ストーブ	2	2	2	2	8
その他	15	2	2	0	19
不明	39	26	11	22	98
合計	97	35	22	27	181

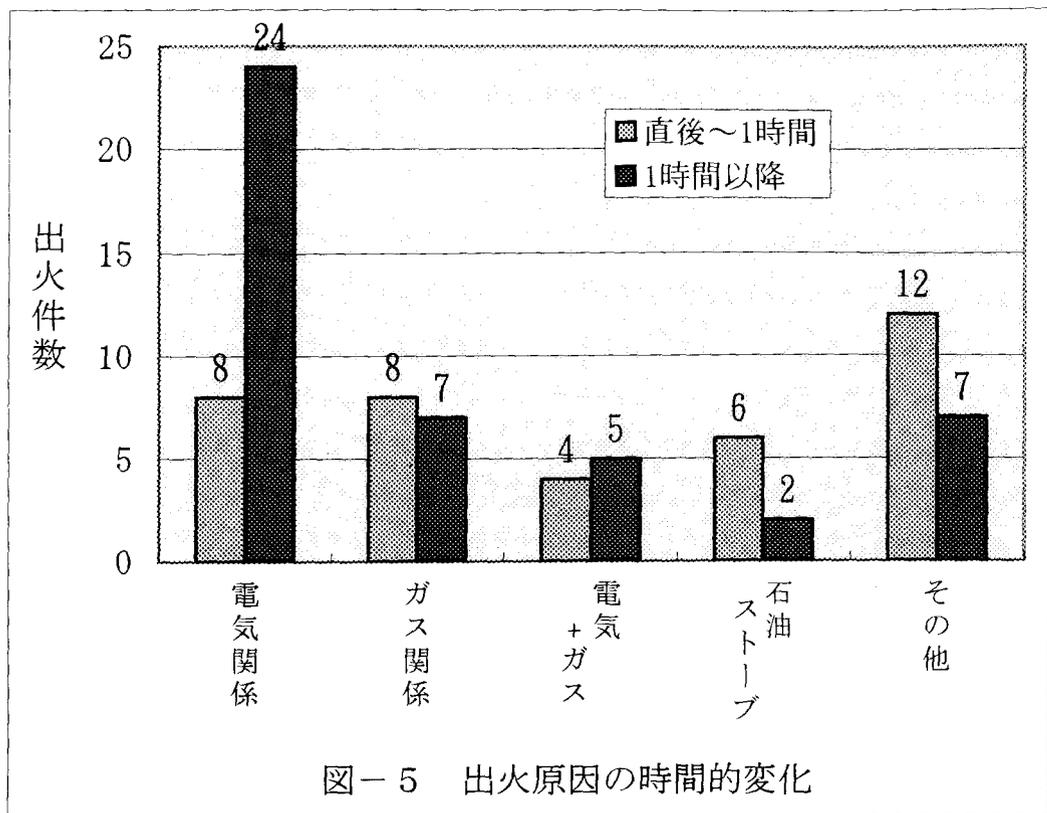


図-5 出火原因の時間的变化

(2) 今後の課題と教訓

以上の原因調査から、わたしは次のように問題点を整理している。

まず第1は、電気やガスの復旧のあり方についての再検討の必要がある、ということである。電気の復旧に関しては、情報を得るためにも生活の再開にも欠かせないものだけに、急いで復旧をはかる必要は認めるものの、ガスが漏洩している地域や留守にしている住宅への通電はひかえるべきであり、また地震時については自動回復システムを起動させないようにするべきであろう。アメリカのように、電気の復旧にガス会社が立ち会うといったシステムを採用することも検討していただきたいと思う。次に、ガスの復旧については、容易にかつ早期に復旧がはかれるシステムの構築が防火面からも必要だということである。復旧に手間がかかるということがガスの緊急遮断を躊躇させる結果となっているからである。ガスの遮断ブロックの単位をもう少し小さくすることなど遮断システムのあり方を、ラインの耐震化とともに検討いただきたいと思う。

第2は、安全装置の信頼性あるいは多重性の向上をはかる必要がある、ということである。安全装置が付いていない機器からの出火が多かったということでは、マイコンメーターや耐震装置付きのストーブの普及をはかり、その普及率を100%にすることが求められる。しかしそれだけで十分でない。マイコンメーターがついていた住宅から出火が認められたことや、耐震装置がついていた石油ストーブからも出火が認められたことから、安全装置必ずしも万全ではないということである。機器には故障がつきものであり、また死角もつきものだという事である。今回の調査では、微量のガスが使用されているケース

で緊急遮断が機能しないことが明らかになったが、まだまだ改善の余地があるということである。謙虚にその安全システムの見直しをはかる必要があるだろう。

第3は、地震時における出火防止知識の普及をはかる必要がある、ということである。今回の地震では、生活再開に伴っての出火も多かった。焚き火をしていて火災になった、古い石油ストーブをもちだして火災になった、ローソクで明かりをとろうとして火災になったことなどである。このなかには、ちょっとした注意で出火を防ぎえたと考えられるものが少なくない。このことから「避難するときにはブレーカーを切ってから」といった出火防止のための防災知識の普及をはかり、今後に備える必要があると思われる。

おわりに

震度7という激しい揺れは、市民の初期消能力を奪う、様々な安全装置を破壊する、耐火造を破壊して炎上せしめる、消防水利を悉く破壊してしまう、というように「思わぬ難題」を投げ掛けるものであった。今回の火災被害は、震度7あるいは直下型という地震の特性を抜きに語ることはできない、ということであろう。とはいえ、「震度7という篩い」にかけられることにより、現代都市の消防面での弱点が洗い出された訳であり、阪神・淡路だけの問題ではない。謙虚に教訓をくみ取り、次の地震に備えなければならないと思う次第である。

〔参考文献〕

- 1) 拙稿「阪神淡路大震災における地震火災に関する研究」、日本建築学会近畿支部研究報告集35号、1995年5月
- 2) 拙稿「阪神淡路大震災における市民消火活動に関する研究」、日本建築学会近畿支部研究報告集35号、1995年5月
- 3) 神戸市消防局「阪神淡路大震災における消防活動の記録」、1995年4月
- 4) 拙稿「なぜ大火災につながったのか」、日経アーキテクチュア 516号、1995年3月
- 5) 消防庁震災対策指導室「情報収集伝達」地震防災ニュースレター4号、1995年4月
- 6) 拙稿「火災および消防」、1994年ロスアンジェルス地震と都市機能障害の調査研究、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、1994年3月

〔注〕

大規模火災とは焼失面積 3,300㎡以上、中規模火災とは焼失面積 3,300㎡未満 1,000㎡以上、小規模火災とは 1,000㎡未満の火災をいう。

建築設備 その被害と対策

建設学科 教授 松本 衛

1. はじめに

建築設備（給排水、空調、電気等諸設備）は、今回の地震で多くの被害を受けた。しかし、建築設備は、建物のライフラインであり、被害の位置付けは、建物本体におけるものとは当然異なる。建物本体が破損してしまえば、設備機器が損傷の有無は意味がない。今回の地震のもたらしたものを、客観視し単純に教訓として見ることは、直接それに遭遇したのにとって、耐え難いものがあるが、何が重要なのか、安全性、信頼性についてどう考えるべきなのかについて、多くの貴重な教訓を与えてくれたことに違いはない。

建築設備機器の被害の有無の重要性は、地震の最中と共に、地震後の生活、人間活動と深く関わっている。設備機器の信頼性、対災害性についてもこのような視点からの評価が必要である。

ここでは、主に事務所ビル等比較的大規模で、空調設備等を設置した建物について述べることにする。

2. 被害の状況

今回の地震による建築設備の被害状況の把握は、建物本体の場合と異なり、手間がかかるので現在なを進行中であるため、全体的な被害状況の把握はまだ出来ていない。

以下では、統計的というよりも、むしろ事例的に被害の状況をまとめて報告する。以下のサンプルは、建物の応急処置の行われた建物、すなわち建物が損傷を受けていてもその後補修により使用できるあるいは使用しようとしている建物についての被害報告をまとめたものである。統計量は、種々の機関、会社を集計されたものを大まかにまとめたものであり、統計的な信頼性に付いては厳密ではない。また、対象としている建物についても網羅的ではない。

図1には、部位別の被害状況の頻度（総物件数で正規化して表現）を示したものである。被害件数については液体系の配管類の損傷が多いが、大破等重大な損傷（大破、転倒、変形、亀裂、浸水等）はタンク類に集中していることが判る。また被害は、給排水設備関係で多く発生していることが判る。地震後の生活、活動では、電気関係と共に給排水は重要度の高いものであり、この部分の安全性、信頼性向上が必要であることを示している。

システム全体として見た場合でも、給排水関係の被害が最も多く、電気関係設備の被害は、相対的に少ない。

3. 部位別の被害の特長

応急復旧工事を行った建物についての被害調査から、次のような特長があることが明らかとなった。

（A）引き込み部分の被害状況

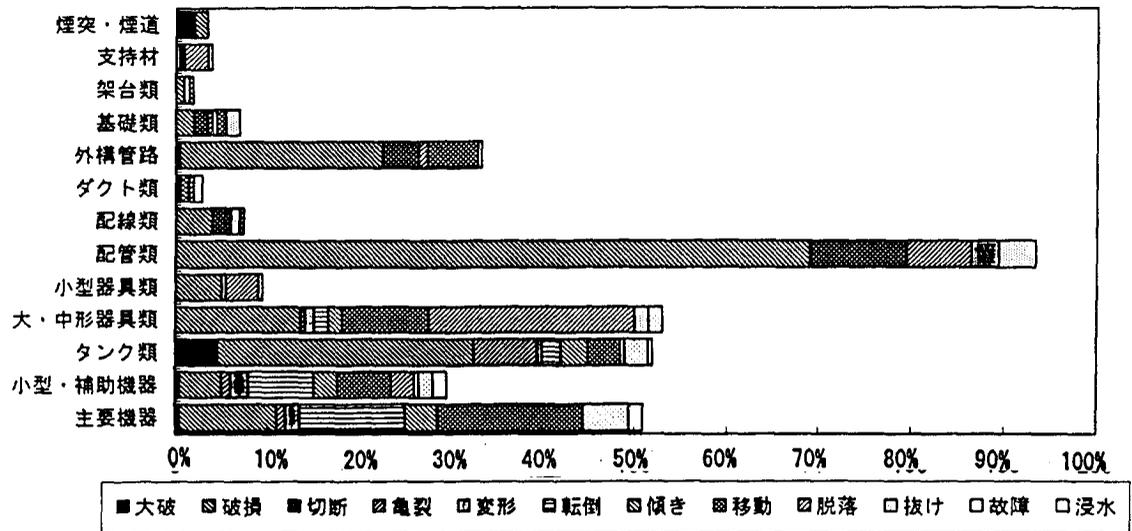


図-1 要素別の被害状況

電気、ガス、上水道および下水道等、いわゆるインフラの引き込み部分については、次のような特長があった。

公共施設から個々の建物への引き込み部分の被害については、圧倒的に給水系、配水系に被害が多く、ガスがこれに次ぎ、電気関係の被害が最も少なかった。特に電気関係では、高圧、特高受電の場合に多く見られる、地中引き込みの場合、エフレックス等フレキシブルな材料を多く使用しているため引き込み部分での被害は、非常に少ない。低圧一般引き込みの場合、地中引き込みでは、地中よりの立ち上がり部分での損傷が多く地中での損傷は少ない。空中引き込みでは、電柱の転倒、傾きや建物自体の変形等外部要因によるものが支配的であり、配管自体を原因とするものは少ない。給排水関係の損壊の多くは、地盤沈下、地盤の変形によるものが支配的であり、何らかの地盤沈下対策が必要なことを示している。

(B) 水槽類の破損

建築設備で最も顕著な被害は、受水槽、蓄熱槽等のタンク類に集中している。設備の被害はタンクとまで云われた。タンク類でも、地下室等下階に設置されたものの被害は非常に少なく、あっても軽微なものが多い。それに対して屋上等上層階に設置したものの被害数は非常に多い。高階部の振動振幅が大きかったことを示す結果と言える。某建設会社の調査の結果を一例として挙げると、図2のごとくであり、高架水槽の被害率の大きな事が

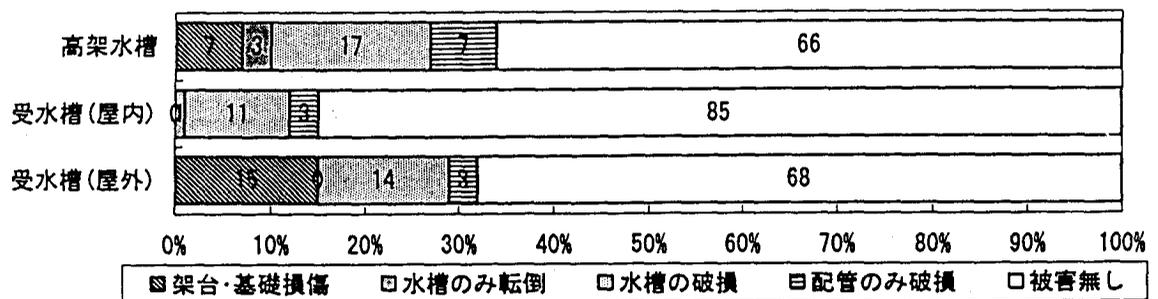


図-2 水槽類の要素別被害状況

示されている。高架水槽の被害の状況の内、水槽自体の破損の多いことが目立っている。その被害の過半は、天板の損傷、脱落であり、槽側壁の変形、損傷等も認められている。槽内の液体（水）の振動に依るものであり、水槽の強度についての再検討が必要なことを示している。なお、被害はFRP製に多い。水槽の基礎部への固定の弱さ（ボルト切れ等）に依る転倒での破損は少なく、基礎自体の移動、等による転倒破壊等も認められるたが、その比率は大きくない。またこれらの被害は、1982年の「建築設備の耐震設計指針」以前に建設された建物に集中している。

図2に示されるように、屋外に設置した水槽の被害も多い。これは地盤の変形、ゆるみによる基礎の破損および転倒等による水槽自体の破損となっている。

(C) 重機器類の破損

冷凍機、ボイラー、空調機、送風機等エネルギー関係機器、非常用発電機、受変電キュービクル等の電気設備については、いずれの場合も地下室等下層階に設置したものの被害は少ない。転倒、それによる損傷も認められるが設備機器の設置の仕方が原因というよりはむしろ建物自体の損壊によるものが多い。騒音対策、振動防止のための防震対策をしたものに被害が認められている。地震時を想定した防震設計が必要なことを示しており、防震ストッパー等の設置が必要である。キュービクルについては、水槽の場合と同様、屋外に設置したものに転倒等の被害が認められた。

(D) 配管関係の損傷

配管関係の被害は、全体に亘って生じているが、その大部分は、冷凍機空調機、水槽等重量機器との接続部に多く発生し、一般に重量機器の移動、転倒等が原因となっていることが多い。これらの機器の設置を耐震化する事によりその被害はかなり減少する。その他ふれ止め金具の強度不足、フレキシブル継ぎ手の許容変位量の不足等による被害が認められたが、その数は少なく、通常の配慮をすれば被害を避けることが出来ると考えられる。配管、タンクの損傷による2次的災害として、これらの事故による水の流出（水の不足）とこの水の電気配管、ボックス内への水の流入とそれによる絶縁不良、電氣的短絡等の事故、損傷が生じた。

ダクト等の空気関係の被害は大部分建物自体を原因とするものであり、全般的に云って被害は少ない。

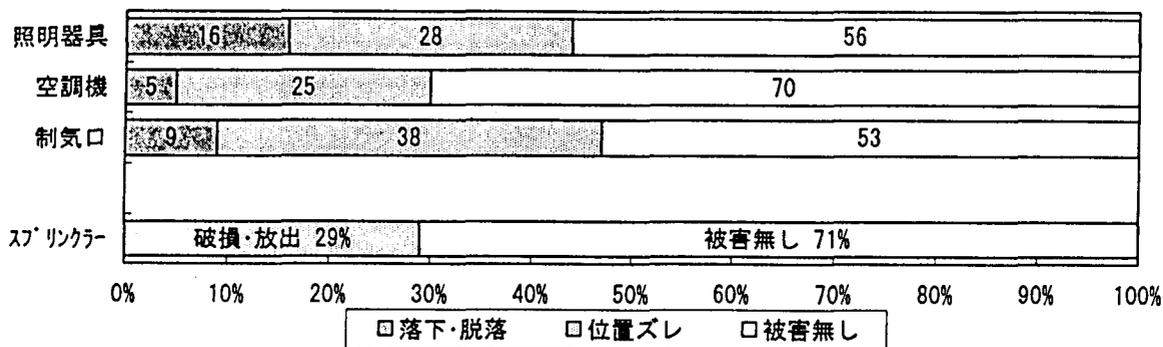


図-3 天井面における被害状況

(E) 天井面取り付け器具における被害

他の部位と比較して、比較的損傷の多かった部分である。天井吊り機器の落下は2次的災害の原因となる。

最も被害が顕著であったのは、吊下型重量照明器具（シャンデリアなど）やクリスタルガラスなどの天井飾り類であり、落下したものが多く、またそれによる損傷は、顕著であった。これらの取り付けに当たっては、今後十分な注意が必要と思われる。また工場などレースウェイにとりつけた機器が、レースウェイの切断で脱落、崩壊している。その他、ダウンライト、パイプペンダント器具など振れ止めのない天井吊り下げ照明器具にかなりの被害が認められた。これらは地下階、地上階いずれにおいても見られた。電気配線では、天井内のケーブルラックの脱落等の事例も認められた。

天井埋め込みの空調機関係では、空調機、天井ファン等が、その周辺の天井板を損壊しているケースがあったが、脱落、落下等による損壊は少なかった。

消火設備については、スプリンクラーヘッドが折れて放水したケースが目立っている。主として天井面の変位によるもので、取り付け方法に対策が必要である。

その他、空調空気の吹出口、吸込口の脱落、ダクト接続部の破断等がある。

(F) 冷却塔などの損壊

屋上階に設置された冷却塔の被害は顕著であり、高架水槽の損壊と共に地震による被害が最も顕著に生じた機器である。調査建物の約1/4で損倒壊、破損塔重大な損傷を受けており、軽微な損傷を含めれば30%以上の建物で被害が生じている。

(G) 被害全体の傾向

1981年施工の「新耐震設計法」、1982年の建築センターの「建築設備の耐震設計・施工指針」（重量機器の設置について、機器の固定金物について、配管、配線類の施工）以降に建設した建物での被害は、それ以前のものに比して明らかに少ない。特に多数の被害を生じた、高架水槽の損壊比率は、施行後の建物では、大きく改善されている。

4. 防災システムとしての設備について

地震後の被害として、断水による被害が多く発生している。防火用水は、当然必須であるが、それに加えて、その第1、トイレが使えないこと、第2、自家発電機、コンプレッサー、コンピュータの冷却水が使えないことの2点が顕著であった。雑用水の重要さが改めて認識されたと云える。雑用水は飲料水と異なり、その使用量が多だけに、設計時点で十分な配慮が必要なことが、改めて認識された。これらの対策として、水槽類の信頼性の向上と共に、非常用水源として蓄熱水槽の積極的利用、密閉型蓄熱井戸等の利用が積極的に考えられねばならない。

非常用電源としての自家発電機の重要性は、病院等の例で明らかなように、改めて認識された。自家発電機は、一般に地下階に設置されているために、今回の地震に於いても損壊した例は非常に少なく、数パーセント以下であった。しかし、冷却水不足、および燃料切れのために作動しなかったものが多い（兵庫県内被災地の病院で大略1/4）。冷却水不足は、殆ど屋上階に水槽を設置したためにその損壊または、屋上階から地階への冷却水

配管の破損によるものである。重要機器それ自体ばかりでなく、付属系への十分な配慮が必要なことを示している。燃料切れについても同様、別の場所に設置した燃料タンクと発電機間の配管損傷によるものである。これらの被害を避けるためには、冷却水不足による被害を少なくするためには、空冷型の採用が、燃料については「一体型」が望ましい。

自家発電機の容量についても、今回の様な地震災害時では、火災用電源を保安用電源として兼用できるような対策が必要と思われる。

今回の災害を通じて避難場所としての学校の重要性が改めて認識された。病院、官公庁、駅舎等に加え、学校も震災時における重要施設と考える事が必要であり、自家発電機等の緊急用の電力供給機器の設置が望まれる。機械的にこれを適用すると、社会的過剰投資となるので、地域センターとしてコジェネレーション等エネルギーの有効利用も含めた地域計画などが有効な方法であろう。また、発展が期待される太陽電池による太陽光発電の利用も考えられる。

5. ライフラインの信頼性と自律、自己完結型のシステムへ

電力、上水、下水、ガス、通信などのライフラインについてはここでは述べなかったが、いずれもかなりの損傷があった。むしろ壊滅的と言えるかもしれない^{/1/}。そしてライフラインの断絶がどれほど大きく生活に影響するかを端的に示した。特にガスに関しては、全て地中配管でかつ出火の危険性等もあり、その復旧にはかなりの時間を要した。

今回のような非常災害時にライフラインを完全に維持することは、殆ど不可能と考えられるので、可能な限りの信頼性向上、ローバスト性が必要となろう。配線、配管に関しては、可能な限りループ状、ネット状とする事が必要である。

さらに、可能な限り、自己完結型にすべきであろう。そのためには、エネルギーに関してはエネルギーの有効利用も考慮した、適当な規模のコジェネレーション、自己水源確保のための地下水、河川水の利用や排水の再利用システム等を考えるべきであろう。

今回の地震での共同溝（電力、ガス、上下水道、情報通信）の被害は殆どなかったことが報告されている。ライフラインの信頼性向上のために、都市のインフラストラクチャーとして、一層の推進が望まれる。共同溝では、仮に被害があったとしてもその補修は、通常の地下埋設と比較して格段に容易であり、復旧速度も速い。コストはかなり必要であるが、その重要さが改めて示されたと云えよう。

謝辞：本文中、今後の対策についての記述では、KK設備技研 早草 晋氏のPrivate CommunicationとDiscussionに依るものが多い。ここに謝意を表します。また、設計事務所（日建設計）、建設会社（大林組、竹中工務店、新井組、積水ハウス）設備会社（三機工業、ダイダン）各社の兵庫県南部地震被害調査報告書（内部資料を含む）を参照させていただき、統計量および事例として使用した。謝意を表したい。

引用文献

/1/ 神戸大学工学部建設学科土木系教室兵庫県南部地震学術調査団 兵庫県南部地震緊急被害調査報告書 P-60 1995年2月17日

× ㄗ

住生活の復興

神戸大学工学部助教授 塩崎賢明

復興の最重要課題はいうまでもなく住宅である。被災者の意見を復興計画に反映することを考えた場合、少なからぬ人々が、まだ避難状態にあることに直面する。このことは、実際に苦しい生活から人々を救出するという点で重要であり、同時に今後の復興計画を考える上でも大きな問題である。人は、食うや食わずの状態でも未来のことをまともに考えることはできないからである。現時点で、復興計画を真正面から検討していくには、3カ月たっても、少なからぬ人々が非人間的な避難状態にあることを問題にしないわけにいかない。復興計画という中長期的課題は緊急避難的課題と密接不可分に結びついており、後者の失策は前者の方向性を誤らせる危険性を内包している。

避難所には最大時30万人を越える人々がいた。現在はそれから大幅に減少したが、それでもまだ5万人の人々が公的避難所に寝起きしている。それ以外に、私的な避難所や市外転出の人々がいる。

現在は、緊急避難から応急仮設住宅に移行しつつある段階であり、本設住宅による復興への過渡期にある。この一連の移行はできるだけ速やかに行われるのがよいが、現実には多くの問題を抱えている。

(1) 避難生活の解消問題

そのひとつが避難所の解消である。避難所を早く解消すべき理由は、①災害救助法では1週間の施設とされており、法律の趣旨からすればとっくの昔に解消されていて当然である。②また、實際上、きわめて劣悪な生活条件であり、避難者の健康をまもるためにも、人道的見地からも、一刻も早く解消すべきである。③小中学校などの、避難所が置かれている施設の正常な運営のためにも、解消することがもとめらる。

神戸市には4月25日現在384箇所の避難所があり、40133人が生活している。神戸市は7月末までに避難所の解消のめどをつけることを目標として掲げたが、避難所の解消にはその前提として、避難所生活者のための住宅が用意されねばならない。はたして、それが避難所生活者に的確にフィットするかどうかの問題となる。この点は後述する。

避難生活の解消問題としてとらえた場合、公的避難所以外に暮らす人々の問題が浮かび上がる。もともと公的避難所に入れずに、溢れ出てしまった人々や何らかの理由で公的避難所に入らなかった人々が相当数存在する。そのボリュームは定かでないが、避難所に配達する給食数で見た場合、就寝者数の33%増しぐらいである。(4月10日現在)。これは、避難所周辺にいるテント村その他で給食を求めている人々の数であるが、私的避難

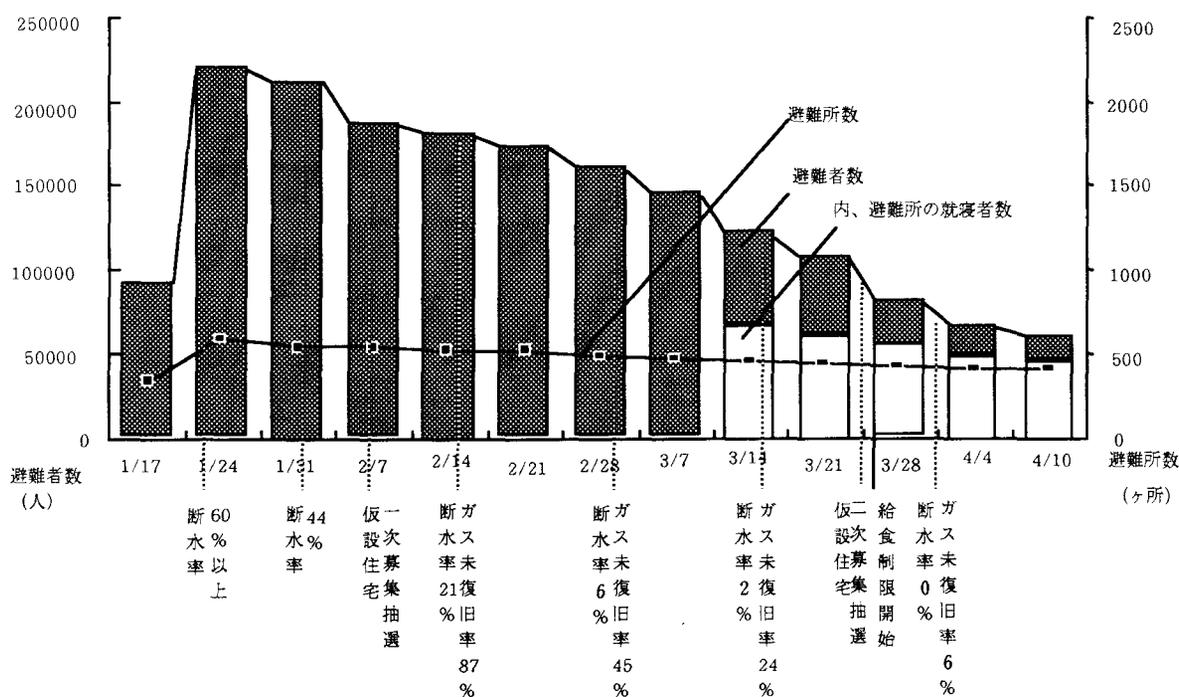


図 神戸市の避難所数と避難者数の推移

(注) 神戸市災害対策本部民生部の資料を基に阪東美智子作成
 ここでいう避難者数とは、避難所等における給食数である

所の人数と必ずしも同一ではないが、これに近い人数の人々がいることは間違いない。かれらの生活状態もまた、困窮をきわめており、早急に解消されなければならない。

(2) 仮設住宅の問題

兵庫県は4月末までに仮設住宅を4万戸建設する予定で、そのうち、神戸市分は2万3千戸である。神戸市が3月10日におこなった全市の避難所調査(回収数20613)では、住宅の被害が大きかった16807世帯(全体の84.5%)のうち86.9%の世帯が仮設住宅を希望している。神戸市の仮設住宅への第1次申し込み者は6万世帯であり、この戸数では明らかに足りない。神戸市はさらに8500戸の増設を県に要望し、県は国に対して5600戸(第1次分)の増設を要望している。しかし、仮設住宅の必要戸数は正確にはよくわからない。市外転出者やテント村など私的避難所生活者の仮設住宅希望数がかためていないからである。

	(戸)	%
東灘区	1130	7.7
六甲アイランド*	2090	14.3
灘区	311	2.1
中央区	260	1.8
ポートアイランド*	930	6.4
兵庫区	271	1.9
長田区	349	2.4
須磨区	112	0.8
ニュータウン*	715	4.9
西区	4325	29.6
北区	2861	19.6
垂水区	1265	8.7
計	14619	100
* はそれぞれの区の外数である。		
「応急仮設住宅所在地図(神戸市供給分)」		
神戸市民政局資料により作成		

仮設住宅は数量だけが問題なのではなく、立地や設備、居住性などの質的な問題も大きい。

立地についてみると、表のように、3月段階の神戸市供給分の仮設住宅（予定も含む）14619戸のうち、83%は北区、西区、垂水区など被災の少なかった周辺区および、ポートアイランド、六甲アイランド、須磨区のニュータウンで占められている。六甲山の裏側やいまだに半孤立状態にある人工島に立地する仮設住宅は、きわめて不便であり、特に高齢者などの被災地住民には入居のためらいが出るのは当然であろう。

実際、3月18日現在で、仮設住宅に当選しながら辞退したものが神戸市など7市で510件あることが報じられたが（読売、3月18日）、3月末現在神戸市で少なくとも7173戸の決定に対して住戸の鍵が渡されたのは5142戸であった。これらは、大部分が元の居住地から遠く離れた仮設住宅に入居希望しないものとみられる。

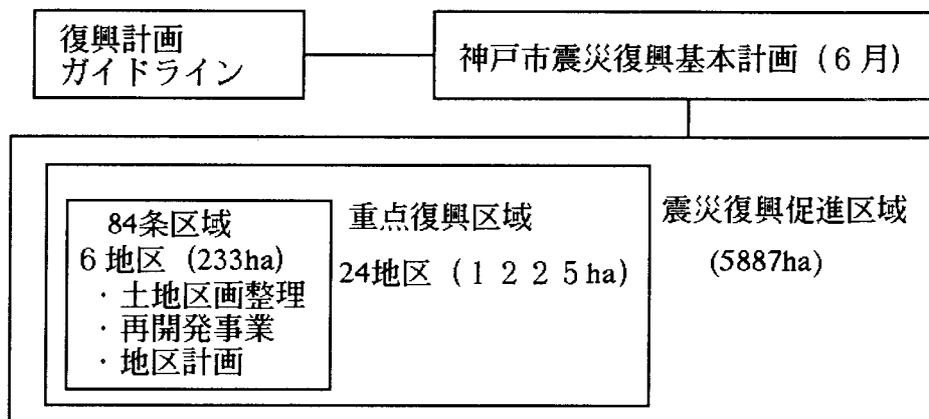
また、仮設住宅そのものの問題として、玄関の段差が高い、庇や土間がなく雨が降れば靴が雨ざらしになる、知らない人ばかりが集まっているのでなじめない、といった点が指摘されている（神戸新聞、4月5日）。

このほか、仮設住宅は実物給付であり、家賃はいらないが、食事などは個々人でまかなわなければならない。全く知らない土地で、かつ商店なども豊富にない地域であれば、暮らしていただくだけでも大きな負担となろう。逆に避難所は居住水準は低いが、ほとんどは自分の住み慣れた地域にあり、知り合いも多い。こうした点も、仮設住宅への入居を思いとどまる具体的な条件となろう。

（3）まちづくりの問題

仮設住宅から本設の住宅建設に向かうには多くの問題があるが、従前の道路状況や敷地面積の関係で、個々の地家主が自由に建築できない状況がある。また、借家人で借家権を失い、自分も家主も建設する力がないという例も多い。これらは住宅確保の前提として地域でまちづくりの合意形成が必要であることを示している。また、地域によっては、道路などの都市基盤施設が未整備で、防災や環境、都市機能の効率の面から整備を必要とする地域がある。いわゆる復興都市計画が必要となる所以である。

復興都市計画を策定し実施するには、震災後、個々人が思い思いに建築活動を



復興都市計画の枠組み（児玉善郎による）

開始することを制限する必要がある、同時に、計画案について広範な地元住民の合意を得る必要がある。そこでは、建築制限をできるだけ短期間にする必要と、住民合意を得るための一定の時間の必要という一見矛盾する要素が存在する。そのため、歴史的に見れば、ほとんどの場合、復興計画は行政当局者の強権発動によって行われてきた。しかし、近年わが国においても、都市計画への住民参加の必要性が唱えられており、参加のシステムを組み込んだ形で復興まちづくりを進めることは、今回の震災を教訓として生かすかどうかのひとつの試金石でもある。

兵庫県下で、3月17日に復興区画整理などの都市計画決定を行った。そのプロセスはあまりに性急であったため、各地で反発を招き、県や市は以後住民との話し合いを行って事業を進めることを表明した。各地域のまちづくりについては、これらの都市計画決定がなされた地区では結果として住民が集まり、核が形成された。しかし、実際に、話し合いが行われ、住民の意見が反映されるためには、いくつかの条件が必要である。

第1に、多くの地域で従前居住者が地域から離れている。話し合うためには、毎回電話や手紙で連絡を取らなければならない。7～8割の住民がいない地域では大変な労力である。逆に、多くの住民は地元に戻ることを望んでいる。しかし、帰って住む場所がないのである。このことが先の仮設住宅問題とリンクしてくる。仮設住宅に当たっても、地元から遠く離れた土地では、事情が把握できず、事実上まちづくりに参加できない。そこから、徐々にコンテナや簡易なプレハブなどの応急的住まいを共同で作り始めている。もともと、多くの人が民有地への仮設住宅建設を希望していたのであるが、個人補償をしない原則や公平性等の点から機械的な仮設住宅づくりに終始しているのである。この点は、まちづくりを進め、本設の住宅建設をうまく進める上でもネックとなってきており、何らかの方法で、民間共同による応急住宅建設を支援することが必要である。

第2に、地域で住民が自由に集まる場所がない。集会所は破壊されているか、または避難所などに転用されて使えない。人々が集まり、学習し、個々の意見を出し合うためにはそのための場所がある、ということは自明である。まちづくりが問題となっている全ての地区で、住民のための「復興まちづくりセンター」を、テントなりプレハブなりで、早急に用意することが求められる。

第3に、専門家の支援体制が必要である。この点では、広大な被災地に対して、専門家の数量は圧倒的に不足しており、無名の地域では、住民にとって何もわからない状態がつづいている。全国的規模で専門家の支援ネットワークが求められている。同時に、専門家が住民参加に正当に寄与するためには、住民が自由に選定する専門家に対して行政が財政的援助を行う仕組みがどうしても必要である。

事態が緊急避難から復興へと進んでいく中で、その基本方向を誤らないためには、被災者をまずベーシックなところで救う、具体的には、まず、いま落ちついて住む場所を確保するということの重要性を重ねて強調したい。

歴史的建造物の被害状況と保全

建設学科 助教授 足立 裕司

1. 被災概況

被災した建物を種別として分けると、神戸、阪神間に数多く点在する近代洋風建築、住宅を主とする近代和風建築、東灘から西宮に集中する酒蔵があげられる。近代洋風建築には北野の異人館などのように国指定の伝統的建造物群保存地区として保護されているものと、未指定のものがあるが、価値としては重要文化財に匹敵する未指定の名建築が数多く失われた。行政的な施策が及んでいないものがほとんどであり、今後さらに取り壊しが進むと予想される。

近代和風建築は、いわゆる洋館と呼ばれているものより、はるかに広汎かつ数多く震災地に分布しており、阪神間の住環境を面的に形成していた「地」というべきものであっただけに、今回の震災により歴史的な環境や景観の激変が懸念される。

灘五郷の酒蔵については、一部の酒蔵を除いて潰滅的な被害を被った。ごく僅かに残った酒蔵はもとより、再建も含めて検討しなければ、酒所としての地域性は消滅してしまう可能性がある。

明治以前の社寺については、阪神間の歴史的な形成からみても激震地である地域には分布が比較的少なく、結果としてやや周辺の宝塚、尼崎、大阪府下などにむしろ全・半壊の建物が多くみられた。民家についてはようやく明治以降まで掌握されつつあったが、激震地はもとより比較的震度の弱かったとみられる尼崎、宝塚、明石を含めて極めて深刻な被害があった。日本建築学会近畿支部歴史・意匠系4部会の研究者で行った震災調査では半減していることが明らかになっている。ただし、神戸北区に数多く点在する茅葺民家にはほとんど被害がみられなかった。

2. 近代洋風建築

近代洋風建築とは明治以降に建てられた西洋風の建物全般を言うが、被災の状況は建物種別によって大きく異なる。まず、近代建築（非住宅系）と近代住宅（住宅系）に分けられる。非住宅系としては、代表的なものとして公共建築、学校、事務所、宗教建築、駅舎などがある。住宅系としては旧居留地の商館、外国人が建てた住宅である異人館、日本人が外国の文化を取り入れて建てた西洋館などに区分される。

◇近代建築（非住宅系）

明治以降に建てられた近代建築は長い時間のなかで、その場所にとって掛けがえのない建物になっている。神戸の外向きの顔が異人館であるとするなら、居留地の近代建築は市民が親しんできた神戸の顔であったといえる。今回の地震でもっとも大きな被害のあった三宮に近接する旧居留地から栄町通を経て、神戸駅に至る地域はそうした建物が集中して

建つ場所である。

すでに撤去されたものとしては、日本の古典主義建築の最高峰の一つとされた第一勧業銀行神戸支店（長野宇平治、大正5年）、アメリカの事務所形式を基本としたといわれる旧村井銀行（吉武長一、大正7年）、都市部の教会としては最も古いものの一つである下山手教会（明治43年）、神戸を代表するランドスケープを形成していた栄光教会（曾禰中條建築事務所、大正12年）等、いずれも惜しんでもあまりある建物であった。この他、阪急会館、そごう百貨店など永く三宮の景観を形成してきた建物も取り壊された。

また、まだ取り壊されていないが、今後予断を許さないものに海岸ビル（大正7年、河合浩蔵）などがあるが、指定建築物ではないだけに行政的な保護が求められる。

◇異人館

北野町の他、塩谷町に残るいわゆる異人館には、旧トーマス邸などの例外を除き標準的な形式を有する。全体的に日本の伝統的な住宅に比して骨太であり、今回の地震にも柱、梁などの軸組が壊れることはなかった。一部、華僑総会のように柱の腐食による部分的な破壊もみられるが、あえて形式としての難点をいうなら目視でそうした腐食が確認できず、維持管理が難しいことがあげられよう。

異人館の被害を大きくしたのは煙突の落下であった。東天閣のように補強したもの以外、相当な数の煙突の被害がでている。移築されているハッサム邸、ハンター邸を含め、北野の門邸、華僑総会、旧キャサリン・アンダーセン邸などに煙突の落下による大きな被害がみられた。他の地域の西洋館でも共通する被害だけに、今後の洋風建造物の課題となろう。

◇西洋館

異人館と同様に西洋館も煙突の落下が被害を大きくしている。内部の漆喰壁の剥離、落下も同様である。西洋館は壁面の多い形式であり、在来の工法に比べると比較的丈夫であるはずだが、神戸東部から芦屋、西宮にかけての激震地では2割を越える全・半壊の被害を受けている。その理由として、異人館に比べて大きな柱間隔、外壁を分厚く塗るなど、壁の自重がかなり大きいことなどがあげられる。さらに重要な原因としては、やはり大壁の宿命として内部の腐食など傷みが外からは判らないために、適切な補修がなされていなかったことが考えられる。

◇煉瓦造の建物

濃尾震災や関東大震災など、何度かの地震によって判っていたことであったが、今回のような大きな地震になると、補強していない煉瓦造の建物はひとたまりもなかった。煉瓦造建築は濃尾大地震以後、耐震化の必要が認識されはじめたといわれているが、小泉製麻工場（明治23年以降）や旧辰馬酒造の煉瓦造の酒蔵（明治21年）などの古い建物に限らず、明治末から大正期のものまで全壊したものが多い。ただし、同じ設計者であっても旧東京倉庫兵庫営業所（曾禰達蔵、明治39年）は煉瓦にズレが生じ、旧三菱銀行神戸支店にはそれほど大きな被害がみられないといった差がみられることは、地震力とその備えとしての工夫が様々に複合しあって被害をもたらすことを示しているように思われる。

◇地震に耐えた近代建築

現代建築を含め、甚大な被害をもたらした神戸の中心部であったが、見事に耐えている建物もある。壊れた建物との相違は今後の検討課題であるが、代表的なものとしては御影公会堂、白鶴博物館、神戸税関、旧生糸検査所、商船三井ビル、チャータードビル、神港ビル、もうひとつの海岸ビルディング、ファミリア西館などがある。旧第一銀行、海岸ビル、石川ビルの保存は第一級の作品だけに是非とも必要であろう。

神戸以外では、震度の加減もあるのであるであろうが、近代建築は言われてきたより丈夫であり、保存率はよかったように思われる。芦屋警察署、旧甲子園ホテル、神戸女学院、関西学院など被害は比較的軽微であった。また、印象深いこととして、これまで耐震上問題があるとされてきた魚崎小学校や神戸高校などの多くの戦前の校舎が今回の地震に耐え抜いたことがあげられる。保存運動もあることから、取り壊しの再検討が望まれる。

3. 近代和風建築

異人館に目を奪われて被害があまり理解されていないものに近代和風建築がある。今回の地震でも東灘区から芦屋、西宮、宝塚にかけて数多く点在する主に大正期以降の和風建築が大きな被害にあった。洋風建築に並立しているものと和風単体のものに大きく分けられるが、特に後者は、研究に着手したばかりであり、調査としてはようやくリスト化まで進んだところで震災に遭遇してしまった。建築家があまり関与していない数寄屋大工の手によるものが多く、まだ体系的な研究がなされていないだけに、この分野での研究にとって大きな痛手となることは間違いない。代表的なものとしては、谷崎潤一郎旧居として知られる神戸のウェルメット邸、芦屋の旧平野一斎邸（小川安一郎、昭和14年）、島野邸（堀口捨己+西川一草亭、昭和10年）、宝塚の村野藤吾自邸などがあげられる。また、洋館と並立する和館も乾邸（渡辺節、昭和11年）、高嶋邸（清水栄二、昭和6年）などが全壊している。

被害の理由としては、永い間地震のなかった関西地方では、台風の被害に対する対策が優先されていたことが、まず第一に考えられる。南面に取られた大きな開口、薄い軒回りの処理にもかかわらず、比較的重い瓦屋根が採用されたのは、そうした関西の風土への適応とみられる。近代和風と呼ばれるこうした数寄屋風の住宅は東灘から西宮にかけて戦前までに多く建てられた。これらの住宅は、まるで繊細さを競うように、また開放性を競うように発展してきた。しかし、こうして地震に遭遇してみると、少ない壁量、配置の偏りなど地震に対しての防備に欠けていたことは否めない。

ただし、丹精な庭と植栽、門塀など奥ゆかしい町並みを形成してきたものである。今回の地震により全てを否定してしまうのも性急過ぎる。目立たないが、阪神間の住環境を広く形成してきたものだけに、甚大な被害を越えて保全していくことが望まれる。施策としては、なかなか難しいものがあるが、環境に与える影響の大きい石垣など外周りの保存だけでも検討していく必要があるだろう。

4. 社寺

近世の神社・寺院までは、これまでの調査によってほぼ実態が把握されているが、明治以降については調査が進んでいない状況にある。ただし、境内に一つでも指定文化財、あるいはそれに準ずる建物があれば、今回の調査の対象ではないとしても、ある程度の実態が掌握されている。指定建築物の被害が集中したのは、尼崎の寺町である。指定文化財として、長遠寺本堂（国重文）、庫裏（県重文）、客殿（県重文）に相当な被害がみられ、本興寺開山堂（国重文）にも一部被害がでている。この他、指定ではないが多くの寺院の門、塀などに被害がみられる。

神戸では、県指定の六甲八幡神社厄神本殿、同拝殿が大破したほか、福祥寺の近代の僧坊2棟の全壊が報告されている。比較的震度が弱いとみられた裏六甲の有馬温泉の温泉寺でも半壊程度の被害がみられ、原因の究明が望まれる。

宝塚では国指定重文の中筋の八幡神社が全壊した。比較的脆弱な覆屋が倒壊したのが原因であった。また、中山寺太子堂などにも大きな被害がみられた。

この他、芦屋の阿保山親王寺は隣のマンションの倒壊の道連れになり全壊しており、戦後の建立ではあるがJR住吉駅近くの本住吉神社拝殿など、激震であった地区には近代以降の社寺に多くの被害がみられる。

5. 民家

明治以降の建物でも、江戸時代の民家の形式を踏襲しているものは、近代和風建築と区別し、民家の範疇で扱うのが通例である。農家と町家に大きく分類できるが、地震の大きかった阪神間は都市化が進み、農家は勿論のこととして町家も激減している。近年の調査により、こうした都市部の民家についても研究が進んでいるが、ようやくリストアップまで進んだ建物の多くが今回の地震で大きな被害をうけた。

老朽化が原因と考えられるものもあるが、むしろ江戸時代の古い民家の方が堅固であったという報告も多く、震度のみならず建物一つ一つの作りと補修の仕方、増築の有無など複雑に影響しあっていると思われる。被害状況としては、明石から尼崎まで幅広い地域に及んでいる。特に地震力の比較的大きかった西宮の北部や宝塚などでは集落単位の大きな被害を受けた地域もあり、今後の復旧の方法が案じられる。

地震が比較的小さかった裏六甲には茅葺民家が多く点在しているが、茅屋根の荷重が小さいためか、あるいは地震力が小さかったためか、ほとんど被害らしい被害は受けなかった。

6. 酒蔵

神戸から西宮の海岸部には灘五郷として知られる酒蔵群が残っている。落ち着いた町並みを形成し、保存・修景が求められていた地域だけに残念である。この地域は単に激

震地であったというだけでなく、海岸地域だけに地盤も悪く、加えて、大空間を擁する酒蔵の構造そのものに内在する耐震力の不足という悪条件の重なりにより、潰滅的な被害となった。県重文指定を受けている沢の鶴酒造、菊正宗酒造、山邑酒造、西宮地区では記念館として利用していた白鹿記念酒造博物館の煉瓦蔵などの代表的な酒蔵が全壊した。

残っている酒蔵の保存は勿論のことであるが、今後、できるだけ地域性を考慮した復旧が望まれる。酒造会社は競争が厳しく、四季醸造など設備の近代化が求められていると聞くが、灘の酒のブランドを守る意味でも、できるだけ旧状に則した形状、スケールの配慮が求められる。特に、街路に沿った部分だけでも木造の酒蔵の形態を採り入れ、景観としての配慮をしていくことが望まれる。また、敷地の一部を記念館として利用するなど、内外を含めて、古い酒蔵のイメージを継承していくことも重要であろう。

7. 再生事例の状況

今回の地震は、古い建物の保存・再生を果たした建物にとって最初の試練であった。震災地には旧兵庫県庁舎、神戸郵船ビルを始めとして約10棟ほどの保存・再生事例があるが、[ROKKO 23] 以外はほぼ期待通りの結果がみられた。ROKKO 23は小泉製麻の工場を再利用し、レストランやインテリア・ショップとして活用していた。臨海部の工場跡地の先駆的な再生事例として注目され、また実際に周辺の活性化のために大きな役割を果たしつつあっただけに惜しまれる。

先に煉瓦造りは弱いと上で指摘したが、他方煉瓦レストラン（旧東京倉庫）のように内部を鉄骨で簡易補強をただけのものも震災に耐えている事例もある。今後の有効な補強の一つと考えられる。

この他、水の博物館、神戸地方裁判所、居留地38番館、市立博物館、芦屋図書館なども被害が少なく、良好な結果をみた。芦屋の淀川製鋼迎賓館（旧山邑邸）はやや被害はみられたものの、もし構造補強を行っていなければ確実に半壊以上の被害にあったと予想される。

8. 今後の対策

1. 指定文化財と未指定文化財の格差を縮めるために、文化財登録制を早急を実施する。
2. 残された歴史的建造物 — 震災地以外の地域を含めての補強について検討する。
3. 文化財登録制を実施した場合の管理のための地域に根ざした建築家の再教育。
4. 都市景観の立場から、阪神間の和風住宅などの何気ない町並みを再評価し、面的な保全のための補助や規制を行う。→文化財行政と都市景観行政の一層の協調と充実。
5. 保存のための行政的支援（税制、補助、規制、誘導）。→国、地方両面での整備
6. ナショナル・トラストやシヴィック・トラストのような市民が参加できる組織・基金の創設。

震災復興と街づくり

—都市デザインの視点から—

建設学科 教授 安田 丑作

1. はじめに

阪神・淡路大震災は、神戸から阪神間にかけての連担市街地の広い範囲に大きな被害をもたらした。とりわけ被害の集中した地域の多くは、市街地整備や居住環境上の課題を抱える古くからの密集市街地を形成しており、いわゆるインナーシティ問題の発生している地域と重なっているため、この震災の特色を「インナーシティ災害」と呼ぶこともできよう。それと同時に、業務や商業など都市機能や交通機能の集中・集積する神戸の都心地区も壊滅的打撃を受けた。

本講座では、被災市街地の復興・再生のための街づくりのあり方を都市デザインの視点から考察するとともに、神戸における住宅市街地の復興・再生と都心の復興・再生の基本方向を構想、具体的方策について提言してみたい。

2. 震災復興の街づくりと都市デザイン

震災復興をめぐるさまざまな論議があるが、その一つに都市復興の目標像（将来像）にかかわる課題がある。それらを大別すると、①災害に強い都市（都市基盤）、②活力のある都市（生活基盤・産業基盤）、③魅力のある都市（都市イメージ）の3つのテーマに分けられよう。しかし、ともすればこれらの課題が個別に議論されたり、あるいは課題相互をトレードオフ（二律背反）の関係としてとらえ不毛な議論に陥るケースも少なくない。

こうした陥穽から脱するためには、地域の実情に応じた即地的視点にたった具体的地域像を共有することが重要であり、そのためには都市デザイン的アプローチが有効である。ここで展開する都市デザイン的方法をやや現実ばなれした夢物語ととらえる向きもあろうが、震災後のこの時期にこそ21世紀の都市や地域のあり方を視野に入れた復興ヴィジョンの構想が必要であると考えからである。

なおここでいう都市デザインとは、広義には都市の視覚的環境を中心とする都市景観の保全、育成、創造などの行為または働きかけを意味し、狭義にはそのための空間的計画・設計技術を指す。

3. 住宅市街地の復興・再生のための都市デザイン（提案A）

被災市街地のうち集中的な被害を被った地区の多くは木造密集市街地であり、零細な敷地条件、狭隘な道路条件に、さまざまな規模・形式の住宅が混在しており、被災の状況も一様ではない。このような状況のもとで住宅市街地の計画的再建を図っていくためには、住宅の再建と市街地整備とを一体的に推進することが必要である。その基本となるのは、

街区単位での住まい・まちづくりであり、具体的には共同建替・協調建替が不可欠であろう。共同化・協調化による住宅市街地の復興・再生の方向を構想する上での枠組は次のようになる。

(1) 共同化・協調化の目標と方向

- ・木造密集住宅市街地の解消と防災住宅街区の創出
- ・多様で良好な都市型住宅住宅の供給
- ・地域福祉施策との連携による高齢化などへの対応
- ・魅力ある住宅市街地景観の形成
- ・住民主導のまちづくりの推進

(2) 街区共同再建の住宅イメージ

- ・下町街並み形成型住宅（復興型連続住宅）
- ・街区形成型中層共同住宅（中庭型）
- ・沿道環境形成型中層住宅

(3) 街区共同再建の促進のために

- ・住民による組織づくり（まちづくり協議会、街区再建協議会、共同・協調化組織）
- ・街区共同再建計画の策定
- ・共同・協調建替に対するインセンティブ、助成制度の創設
- ・街区整理（土地の交換分合）の事業制度の創設
- ・住民、行政、専門家（プランナー・建築家など）による推進体制の確立

4. 神戸都心の復興・再生のための都市デザイン（提案B）

今回の震災で壊滅的打撃を受けた神戸の都心地区の復興・再生は、都心機能の回復のみならず今後の都市構造全体にとって重要な意味をもつ。こうした都心地区の復興・再生の前提あるいは枠組となる都市構成と基盤整備のあり方を以下のように構想する。

- （提言1）都心道路体系を再編する
- （提言2）緑と水のネットワークを形成する
- （提言3）フラワーロードをモール化する
- （提言4）歩行者交通環境を改善する
- （提言5）個性と魅力ある街並みを形成する
- （提言6）ウォーターフロントを再編・活性化する

5. おわりに

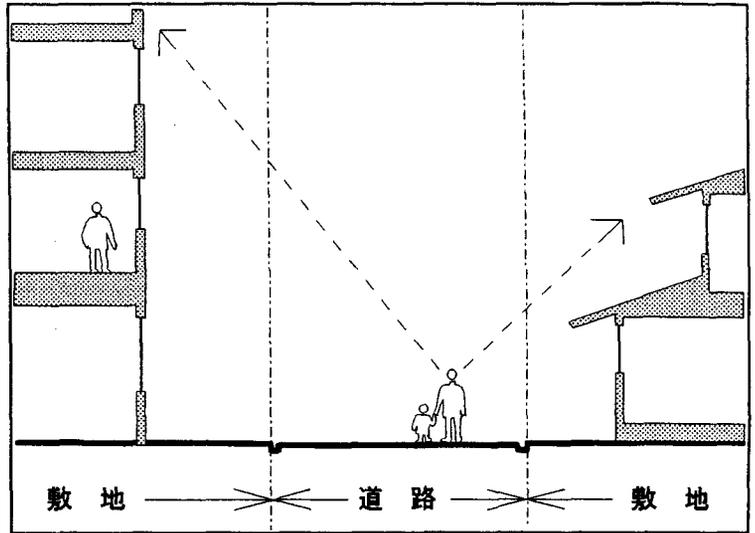
都市復興への都市デザイン的アプローチの究極の目的は、いかにして都市や地域のイメージの回復し、都市景観・都市文化の再生するかにある。そのためには、①環境・景観資源の再評価、②ランドマーク再生計画、③眺望回廊の形成、④特色ある公園・緑地のデザイン展開、⑤街並み景観のデザインコントロールなどの具体的取り組みが必要である。

いえなみ形成に配慮した住宅の建て替えを考える

1. いえなみをつくる要素

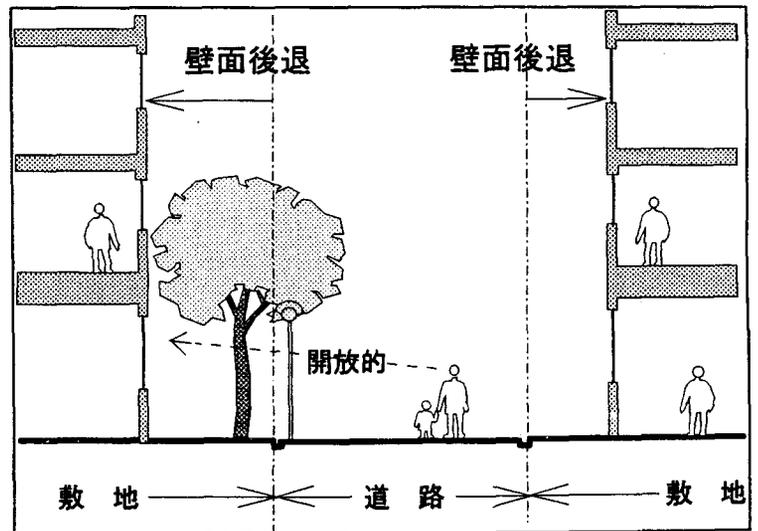
(1) 建物の高さについて

- ①通りの圧迫感をなくす
- ②日照条件や風害などの相隣環境を改善する
- ③下町らしい低層のまちなみを引き継ぐ



(2) 建物の壁面後退について

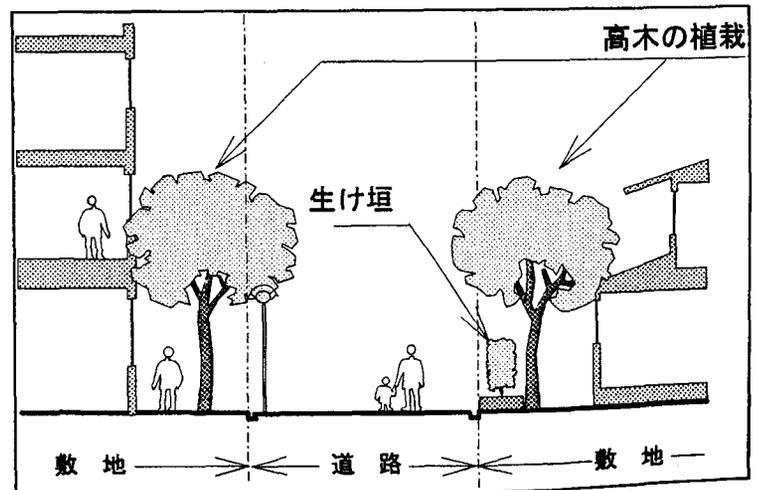
- ①通りの圧迫感をなくし、ゆとり（開放的なみち・ひろば）をつくる
- ②敷地に植栽のスペースや広場などのオープンスペースを確保する
- ③家屋倒壊による避難路の封鎖を防ぐ



(3) 通り沿いの緑化について

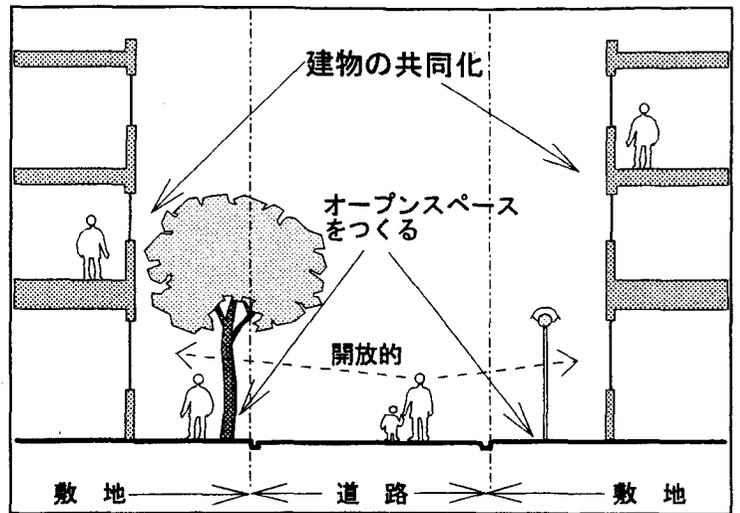
高木の植栽（シンボルツリー）や生け垣

- ①まちなみにうるおいを与える
- ②個性の演出
(防災の面から)
 - ①常緑広葉樹（生木）による延焼防止
 - ②高木による家屋倒壊防止
 - ③生け垣による避難路確保



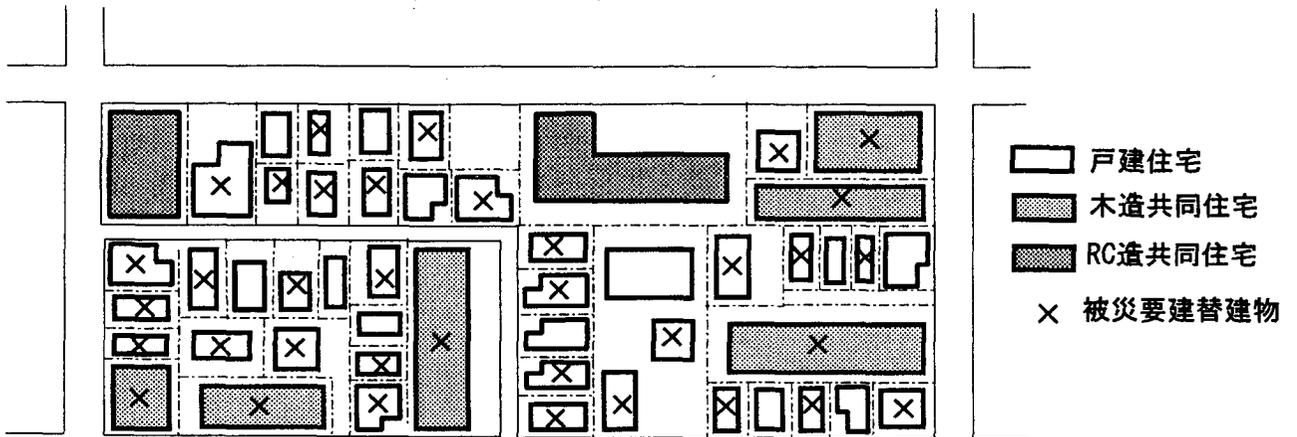
(4) 共同化・協調化について

- ①耐火・耐震性能を向上させる
- ②オープンスペースを確保する
- ③小規模・接道不良敷地を解消する
- ④居住性能（居住水準）の確保（住宅面積の増加）
- ⑤いえなみ・街路景観をすっきりさせる

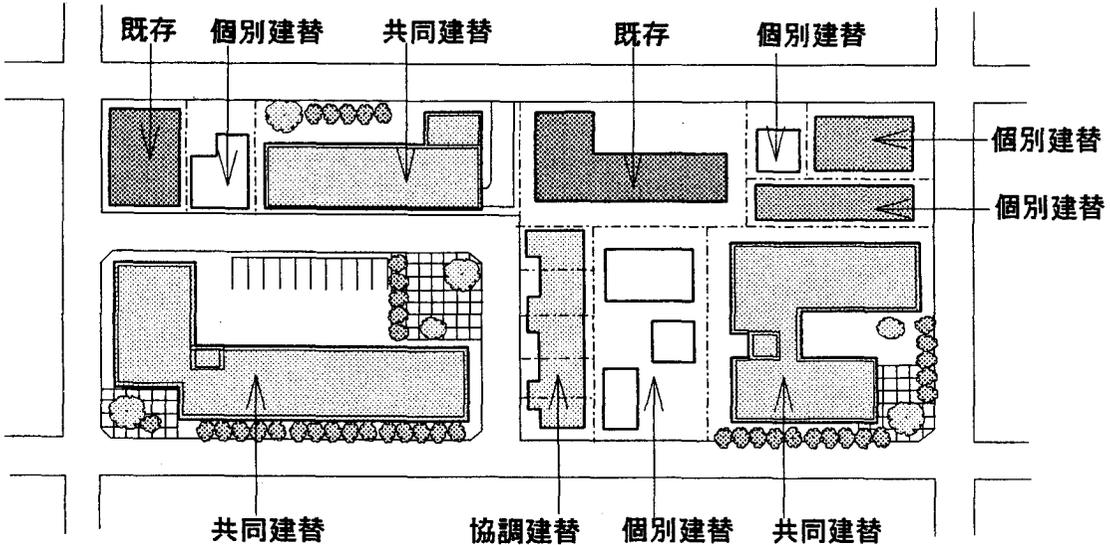


〈街区再建計画のモデル〉

・現況：被災建物の多くが小規模敷地、接道不良敷地

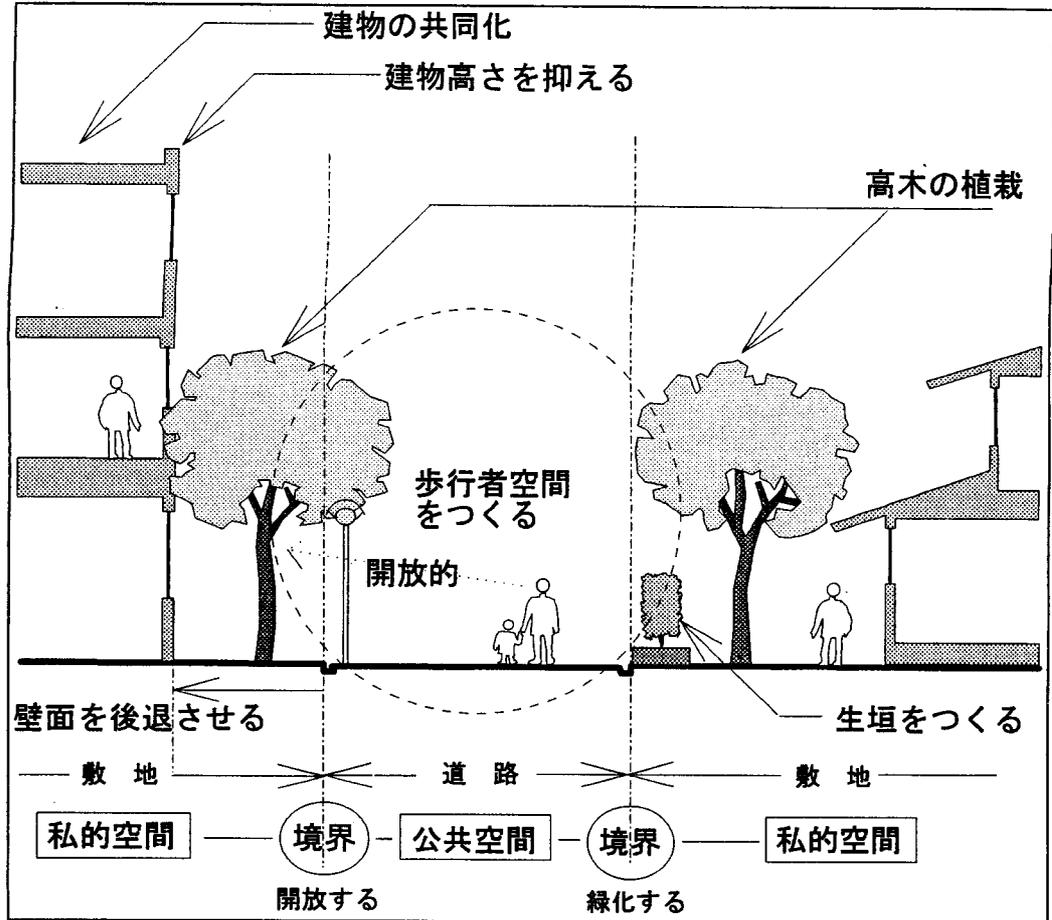


・計画：小規模敷地や接道不良敷地を共同・協調で建て替える。

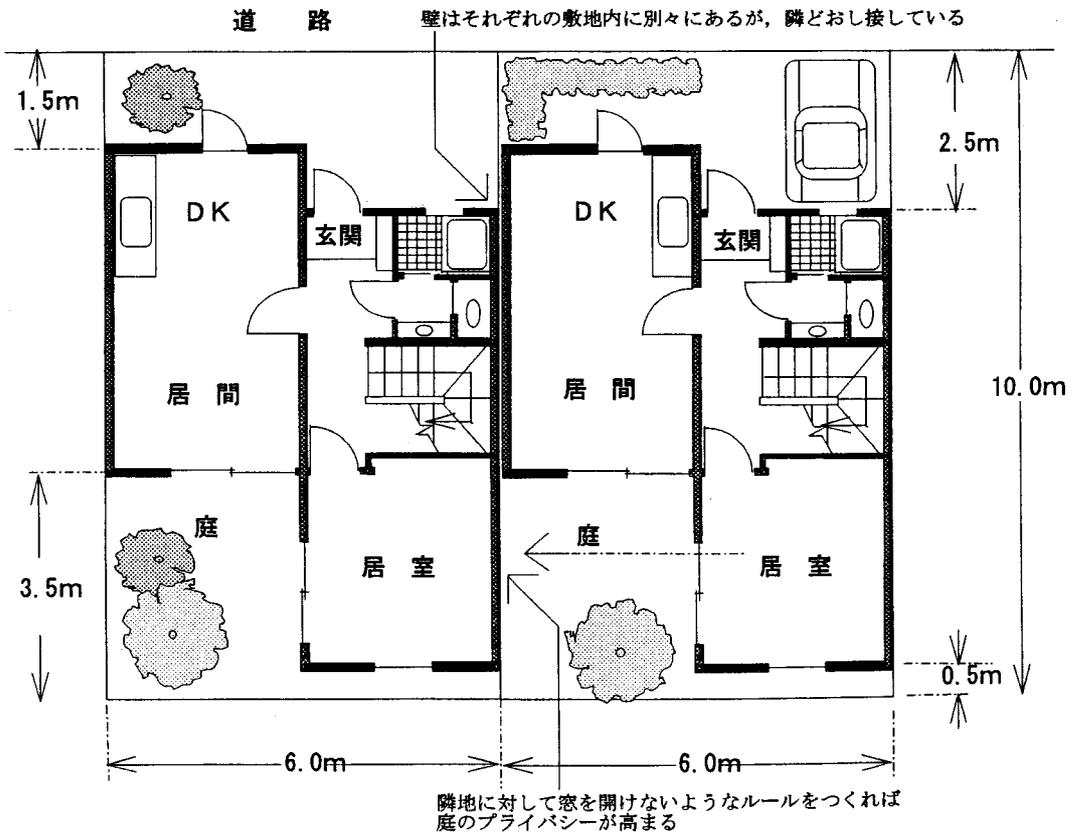


2. 通りのイメージ

(要素の総合化)



協調建替の例



(提案B) 神戸都心の復興・再生計画 (神戸都心再生研究会試案)



Ⅱ. 社会基盤施設の被害と復興

道路・橋梁構造物と復旧

山口大学工学部知能情報システム工学 教授 宮本 文穂
(元建設学科 助教授)

1. はじめに

今回の地震被害の調査が進むにつれて、道路・橋梁構造物には広範囲にわたり実に多様な損傷が発生していることが明らかになってきている。その中には、今回の地震が阪神地区でこれまで考えられてきた予想をはるかに超えるものであったこともあるが、損傷メカニズムの推定が困難で種々の要因の複雑な組み合わせを考慮しないと解明できないものが多い。ここでは、道路高架橋を主な対象とし、地震直後から実施した現地調査結果をもとに特徴的な損傷・破壊モードの形態分類を行うとともに、それらに対する被害原因などについても考察を加えてみたい。さらに、橋梁構造をシステムとしてとらえた場合、従来より比較的修復がし易いと考えられ、種々の耐震上の配慮がなされてきた支承、落橋防止装置などの上部構造と下部構造の連結部位に着目した損傷の整理を通して今後の復旧・復興に向けての考え方を示してみたい。

2. 道路高架橋被害の主要な損傷・破壊モードと形態分類

道路高架橋の全体構造をシステムとして考えると、主桁、横桁、対傾構、下横構などから成る「上部構造」と柱、梁などで構成される「橋脚」とフーチング、杭などで構成される「基礎」から成る「下部構造」に大別される。さらに、両者の間に位置し、上部構造に加わる種々の荷重を下部構造に伝達するとともに地震時の上部構造落下防止を目的とする、支承、移動制限装置、落橋防止装置などから成る「連結部位」がある。

2.1 被害分類

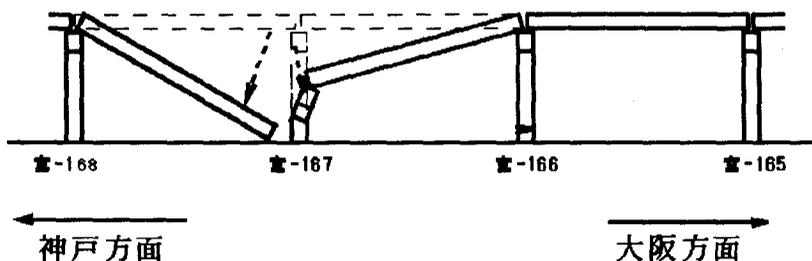
道路高架橋の主要な橋梁形式は、上部工形式、下部工形式、支承形式の組み合わせによって種々のものがあるが、それぞれには共通する特徴的な損傷・破壊モードが存在するようである。その主なものを単純形式、連続形式、その他および鋼、コンクリート、その他の組み合わせによって分類し、一覧表にまとめたものが表1である。

表1 道路高架橋被害の分類

上部工形式	下部工形式 (橋脚)	支承形式	特徴的な損傷・ 破壊モード	説明写真 (節)
①単径間単純プレートガーダー ②単径間鋼ボックス桁 ③3径間連続ボックス桁 ④6径間連続プレートガーダー ⑤ゲルバー桁 ⑥単径間単純PC桁 ⑦5径間連続RC中空床版 ⑧連続RC立体ラーメン	①RC製単柱式橋脚(丸柱, 角柱) ②RC製2柱式橋脚(丸柱, 角柱) ③鋼製単柱式橋脚(丸柱, 角柱) ④鋼製2柱式橋脚(丸柱, 角柱) ⑤ピルツ橋脚(丸柱)	①BP支承 ②ローラー支承 ③ロッカー支承 ④ピン支承 ⑤線支承	①【組合せ：上部/①, 下部/①】：RC製単柱式丸柱橋脚の橋軸方向せん断破壊による主桁の落橋 ②【組合せ：上部/②, 下部/①】：隣接する上部構造の形式の違いによる大きな連鎖変形に伴う可動支承の破損→落橋防止装置の破断→想定以上の桁移動が原因の主桁の落橋 ③【組合せ：上部/③, 下部/①】：RC製単柱式角柱橋脚の橋軸方向せん断破壊による3径間連続ボックス桁の不同沈下とボックス桁本体の局部座屈 ④【組合せ：上部/④, 下部/①】：ローラー支承の破損→橋軸直角方向(北側)への桁ずれ→橋軸直角方向の想定以上の桁移動による落橋寸前の状態	写真1参照 (2.2(1)) 写真2参照 (2.2(2)) 写真3および 写真4参照 (2.3) 写真5参照 (2.4)

2.2 落橋区間の被害分類

(1) 西宮市甲子園高潮町(橋脚No.宮-167)

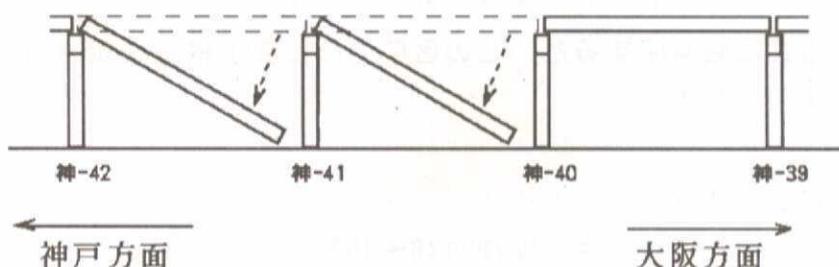


- ・ 橋梁形式：○上部／単純プレートガーダー橋（RC床版）、○下部／RC製単柱式丸柱橋脚
- ・ 推定落橋原因：橋脚が特に軟弱であろうと考えられる地盤上（河川近傍）に位置しており、まず橋脚が橋軸方向にせん断破壊後破壊面に沿って西側にすべり沈下し、支承が橋脚桁面から外れたためと推定される。
- ・ 状況写真：写真1参照。



写真1 落橋状況

(2)西宮市鞍掛町（橋脚No.神-40～42）



- ・ 橋梁形式：○上部／単純鋼ボックス桁橋（RC床版）、○下部／RC製単柱式丸柱橋脚
- ・ 推定落橋原因：隣接する上部工の構造形式が、東側ではゲルバー鋼ボックス桁、西側では3径間連続鋼ボックス桁と落橋区間の単純鋼ボックス桁と異なっている。隣接区間の上部工のこれらの構造形式の相違により橋軸方向（特に可動支承側）に桁がかりを越えるかそれに近い相対ずれが生じたものと考えられる。直接には沓座コンクリートの破損による桁端の支承部はずれが起こったものと考えられる。東側の10径間のスパンにわたって橋軸（西）方向への桁移動（桁押し）が見られる。その結

果、落橋径間の桁がかりは残余約30cmと押し込まれている。

・状況写真：写真2参照。



写真2 落橋状況

(3)神戸市深江南町（橋脚No.神-126～142／ピルツ橋）

- ・橋梁形式：○上部／ゲルバー桁（RC床版）、○下部／ピルツ橋脚（丸柱）
- ・連鎖倒壊について：この形式の橋梁では、何れか複数の個所が橋軸直角方向に先行して倒壊し、かつ既にある程度の破壊面が全ての橋脚で存在する場合には連鎖的に同一方向に倒壊するものと考えられる。なお、上部工の構造がその前後と著しく異なるため、隣接区間と振動モードが大きく異なり、かつ異種構造との境界近傍ではその影響を受けることも考慮すると、この区間での上部工構造の動きはかなり複雑であったものと考えられる。

2.3 幹線道路との交差点の被害分布

- 東灘区深江本町／深江交差点：橋脚No.神-148～152
- 東灘区青木町／青木交差点：橋脚No.神-168～172
- 東灘区御影本町／浜中交差点：橋脚No.神-238～241



d. 東灘区御影塚町／東明交差点：橋脚No.神-255～258

e. 長田区東尻池町／東尻池交差点：橋脚No.神-588～591

これらは南北方向の幹線道路との交差点であるため支間が比較的大きく、そのことから何れも上部工の構造は3径間連続鋼ボックス桁であり、橋脚はRC製単柱橋脚（a、c、d）、または鋼製複数柱橋脚（b、e）である。特に顕著な損傷例として、浜中交差点の場合を上図に図示したが、橋脚がRC製単柱橋脚（角柱）の場合（深江、浜中、東明交差部）ではこれらの区間の損傷に共通する点として、以下のような特徴が挙げられる。

①これらの区間で最も被害が著しい橋脚は、中央支間のどちらか一方が主として橋軸方向に対してのせん断破壊面を有する形で損傷を受けている（写真3参照）。



写真3 RC製単柱式角柱橋脚の橋軸方向せん断破壊状況

②橋脚のせん断破壊によって上部工全体が破壊面方向にずれ、その結果、支承のほぼ全個所に何らかの損傷（支承落ち、支承部桁陥没、ピン外れ等）が確認される。

③橋脚のせん断ずれが大きな場合には、桁の不同沈下が大きくなり、主桁本体の局部座屈にまで進展する（写真4参照）。

同様に南北方向の幹線道路との交差点でも、橋脚が鋼製ラーメン橋脚（複数柱）の場合（青木、東尻池交差部）には橋脚の損傷は比較的少なく、支承部のみの損傷（支承落ち、支承部桁陥没等）が顕著であった。

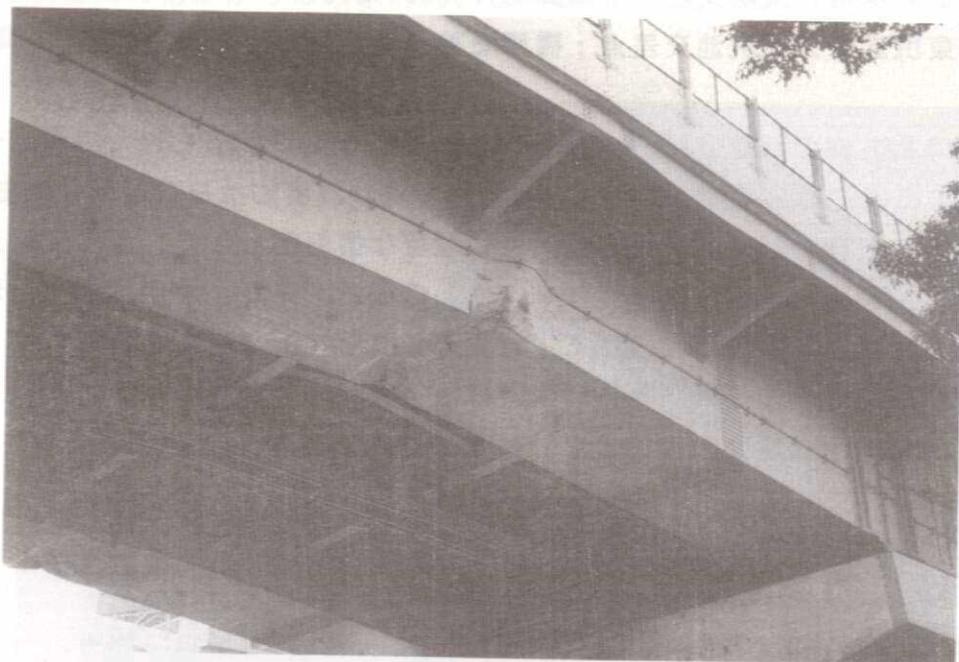
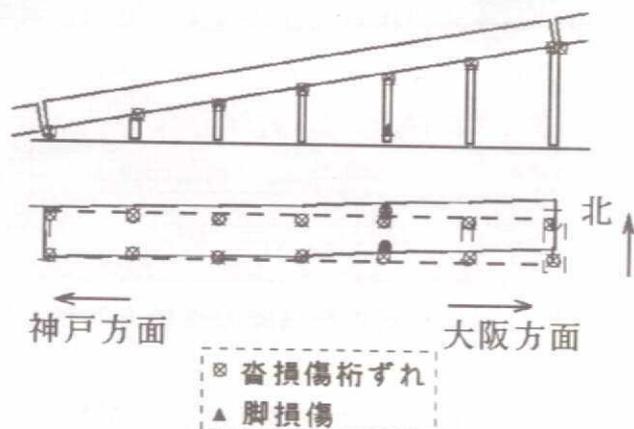


写真4 橋脚破壊に伴う不同沈下によるボックス桁の座屈状況

2.4 入出路部の被害分類

a. 芦屋市打出町付近／芦屋上り入路・下り出路線：橋脚No.芦入・出-1～7

・橋梁形式：○上部／6径間連続プレートガーダー橋（RC床版）、○下部：RC製単柱式丸柱橋脚



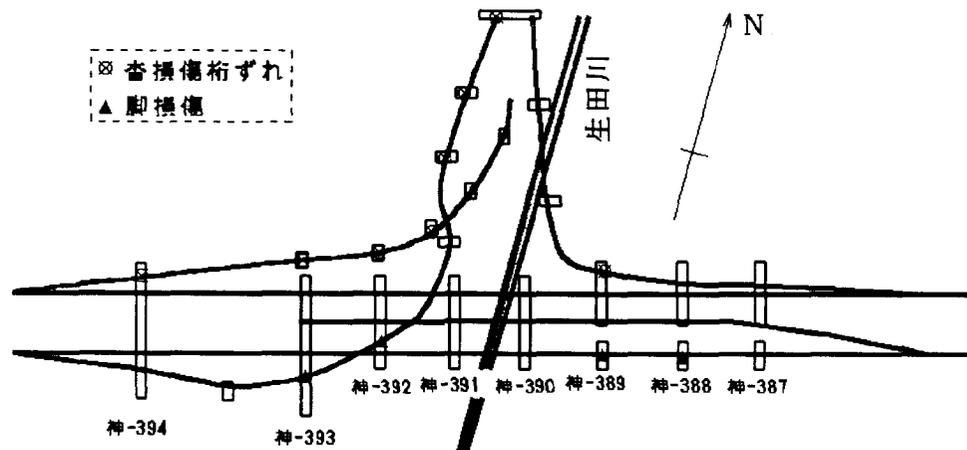
b. 東灘区魚崎南町／魚崎上り入路・下り出路線：橋脚No.魚入-1～7)

・橋梁形式：○上部／4径間連続プレートガーダー橋（RC床版）+ 3連単純プレートガーダー橋（RC床版）、○下部：RC製単柱式丸柱橋脚

c. 中央区磯上通／生田川入出路：橋脚No.神-387～394

・橋梁形式：○上部／連続曲線鋼ボックス桁橋（RC床版）、○下部／鋼製複数柱+鋼製

単柱式丸柱橋脚 + RC製単柱式丸柱橋脚



d. 長田区西尻池町 / 湊川入出路：橋脚No.神-606～611

- ・ 橋梁形式：○上部 / 2径間連続鋼ボックス桁橋（RC床版）、単純プレートガーダー橋（RC床版）、○下部 / 鋼製単柱式丸柱橋脚 + RC製単柱式丸柱橋脚 + 鋼製複数柱橋脚

これらの入出路では、損傷の形態から入出路のアプローチ部の配置によって次の2つのケースに分類される。すなわち、一つは、本線とほぼ平行に入出路が配置されている場合（a、b）であり、他は、本線とほぼ直交する形で配置されている場合（c、d）である。

前者のケースである本線と平行にアプローチ部が配置されている場合には、擁壁盛土区間を除くと何れも多径間連続桁とRC製単柱橋脚の組み合わせであり、以下のような特徴的な損傷形態が観測された。

- ① 連続桁区間では全て北側に支承部から外れる形で桁ずれし、落橋寸前の場合もある（写真5参照）。
- ② 橋脚は単柱式の基部付近が曲げにより破損、傾斜している。
- ③ 本線との合流区間では支承の面外方向損傷が観察される。

後者のケースである本線と直交する形でアプローチ部が配置されている場合には、上・下部工とも一般に複雑な構成となっているため、共通的な損傷形態は少ないものの以下のような特徴が挙げられる。

- ① 特に顕著な損傷個所はアプローチ曲線部であり、その区間にある橋脚（RC製単柱式橋脚）または支承部に著しい損傷（橋脚破壊、支承ずれ）が起こっている。
- ② 本線との合流区間では本線に対する面外変形の影響が著しく、アプローチ桁の面外ずれが多く観測される。

これらの特徴点を結論的にまとめると、入出路部では本線の地震時振動と異なったアプローチ部の応答振動によって、本線と位相の異なる振動モードが混在することによって、

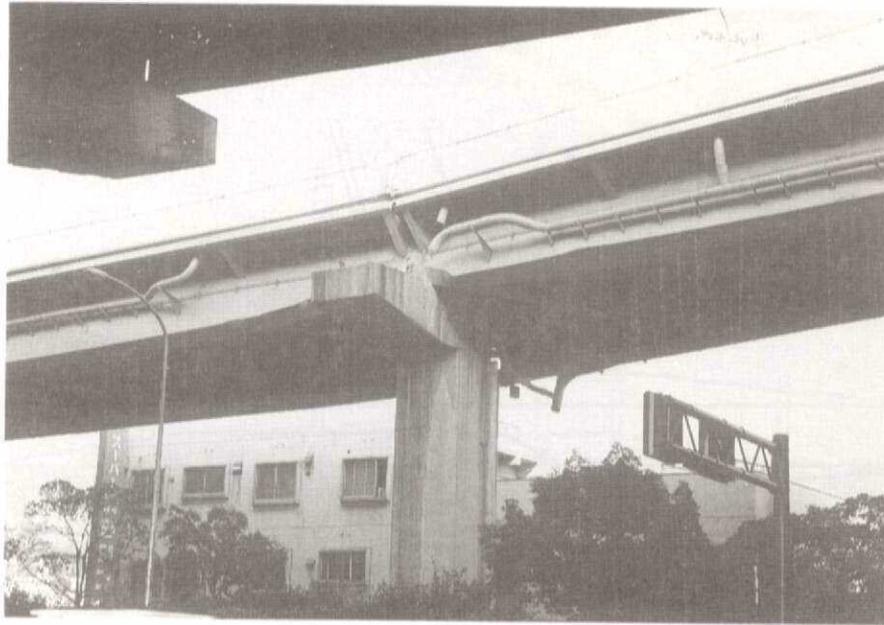


写真5 北側への桁ずれによる落橋寸前状況

通常の本線部のみに比べて複雑な動きが惹起されるため、桁ずれ、支承落ち等の顕著な損傷を被ることが考えられる。

2.5 その他の損傷事例

(1) 下横構の損傷

写真6は、2本主桁を有するプレートガーダーの下横構部の損傷である。支承から主桁が逸脱することで橋軸直角方向の桁移動およびねじれ変形が生じている。その結果、下横構に過大な圧縮軸力および引張り軸力が作用し、特に圧縮側ではガセット部位で大きな塑性変形が発生している。

(2) 主桁腹板のせん断座屈

写真7は、多径間連続梁の支点近傍の主桁腹板の損傷である。中間橋脚が破損し傾斜することで橋脚上の支点が連続桁の支持点としての機能を失い、その他の支持点として機能している支点近傍の腹板が負担するせん断力が増加した結果、垂直補剛材と水平補剛材で囲まれるパネル内でせん断座屈が生じている。

(3) 主桁の火災による損傷

写真8は、橋梁近辺で発生した火災により、外主桁外面の塗膜が損傷を受けている珍しい例であり、ウェブ全面にわたって塗装の剝離が見られる。

(4) コンクリート橋と鋼橋の境界部の損傷

写真9は、コンクリート桁と鋼桁境界部での桁遊間が殆どなくなっている例であり、橋軸方向に両主桁が衝突したものと考えられる。その結果、剛性の低い鋼橋（プレートガーダー）側の損傷が顕著である。

(5)鋼製単柱式丸柱橋脚の損傷

写真10は、鋼製単柱式丸柱橋脚の典型的な「ちょうちん座屈」である。このようなほぼ対称形の座屈が生じる現象の原因は明らかでないが、鋼製単柱式丸柱橋脚がフラフープを回す時のように大きく揺すられると現れるものと考えられる。

(6)基礎杭の損傷

写真11は、フーチングに剛結された場所打ち杭の頭部に生じた典型的な損傷状況である。杭頭部よりほぼ一定間隔で輪切り状に貫通する明確なひび割れの発生が見られる。このようなひび割れの発生は、その状態から推測して杭にコンクリートの引張強度を超える純粋な引張力が、何らかの原因で一時的にでもかかったものと考えられる。なお、このようなひび割れを含む基礎杭の損傷状態の検査には、全周撮影型ボアホールテレビカメラ¹⁾が有効であると考えられる。この検査状況を写真12に示す。

3. 支承および落橋防止装置の損傷状況

3.1 支承

(1)支承の概要

1)支承の機能

支承は、主桁（上部工）と橋脚（下部工）の接点に位置し、上部工に作用する様々な荷重を支持し、それを下部工に伝達する機能ならびに伸縮機能や回転機能を有している。また、地震時には上・下部構造間の過大な相対変位を防止し、落橋という最悪の事態を防ぐという重要な役目も担っている。

2)支承の種類

支承の種類には、構成する材料の相違によりゴム支承と鋼製支承があるが、ゴム支承は比較的小規模な橋梁やコンクリート橋に多く使われており、鋼製支承は比較的支間の大きい鋼橋への適用例が多い。

ゴム支承は文字どおりゴムと支圧耐力を上げるための金属製補強材より成っており、積層タイプとリングタイプがある。また、鋼製支承の主要部品には鑄鋼が使われており、線支承、支承板（BP）支承、ピン支承、ピボット支承、ローラー支承など多くの種類がある。

3)支承の設計

支承は、上部工自重の0.2倍程度の水平力および0.1倍の鉛直力に対して設計される。設計法は、鋼材伸びの比例限度までを考えた許容応力度設計法である。

(2)代表的な損傷状況

今回の調査では支承の損傷が多数見受けられた。特に、被害の大きかった高速道路の高架橋では、鋼製支承が多く採用されており、これらの損傷が目立った。ただし、支承は構造的に複雑で、また現時点では支承に作用した地震力も推定しえない状況であるため、詳



写真6
下横構の損傷例
(単純プレート
ガーダー橋)



写真7
主桁腹板のせん
断座屈の例
(多径間連続プ
レートガーダー橋)



写真8
火災による外主桁
外面の塗膜損傷例

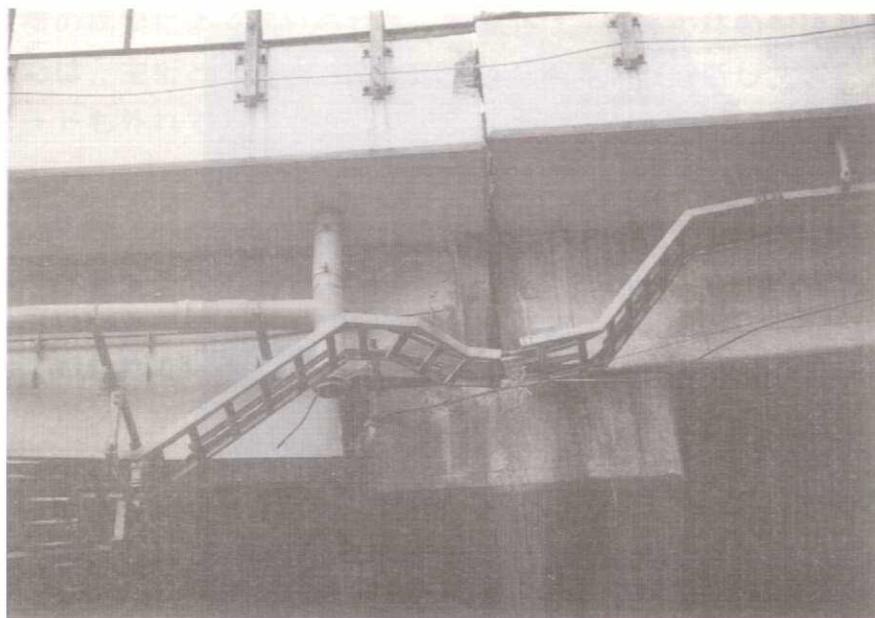


写真9 コンクリート桁と鋼桁境界部での損傷例

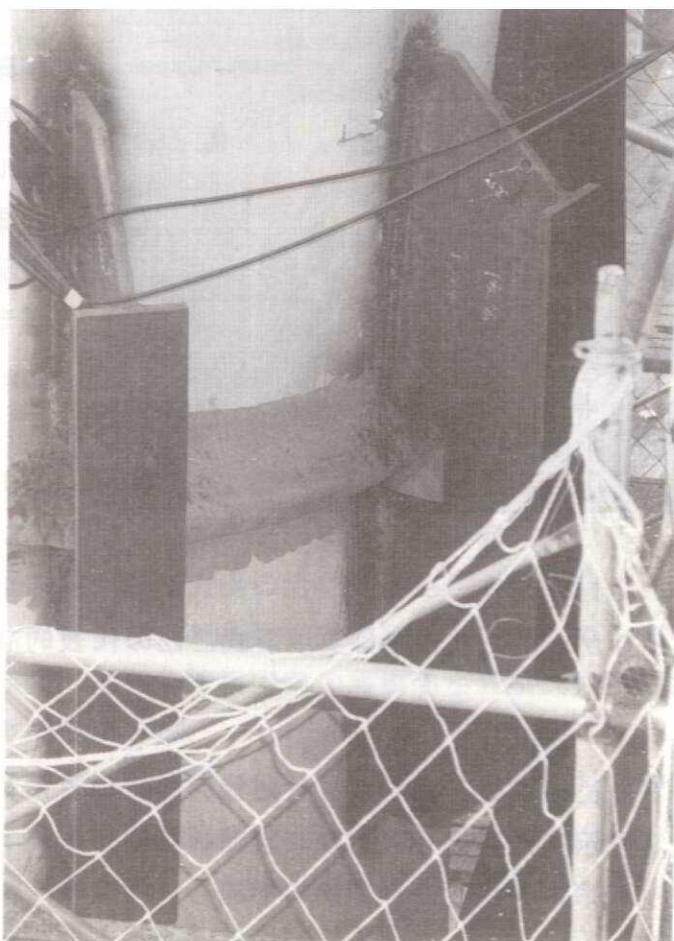


写真10 鋼製単柱式丸柱橋脚の座屈例（補強後の状況）



写真11
基礎杭のひび割れ
損傷例



写真12
全周撮影型ボアホ
ールテレビカメラ
を使用した基礎杭
内部損傷評価例
(モニタ画面)

細な原因調査までには至らなかった。ここでは支承形式ごとの代表的な損傷状況を紹介する。

1)線支承

線支承は、球面を持つ下沓に板状の上沓を載せただけの簡単な支承である。線支承の損傷例を写真13および写真14に示す。写真13は上沓が破断した例、写真14は浮き上がり防止用のピンチプレートのセットボルトが破断した例である。

2)支承板支承

支承板支承は、上沓と下沓の間に回転、移動機能を持つ支承である。プレートガード

橋などの中規模の橋梁によく用いられる。写真15は、上沓の移動制限装置が破損した例である。写真16では、主桁と上沓とをつなぐセットボルトが破断し、また浮き上がり防止用のサイドプレートも外れてしまっている。

3)ピン支承

ピン支承は、鋼ボックス桁など比較的大規模な橋梁の固定支点到に用いられる。構造的には、上沓と下沓の間に回転のためのピンを持つ支承である。写真17は、連続鋼ボックス桁の中間支点到に用いられたピン支承の損傷例である。ピンが破断して抜け落ち、上揚力に抵抗するキャップも外れている。また、写真18は、鋼製橋脚横梁とコンクリート製支柱の接点到に用いられたピン支承の損傷例である。この場合は、横梁と支承のセットボルトおよびピンが破壊されるとともに横梁本体にもかなり損傷を受けている。

今回の地震ではピン部付近が破壊され、主桁が橋軸直角方向にずれた例が数多く見受けられたが、落橋防止装置との関係も含め、今後構造的な検討が必要であると考えられる。

4)ローラー支承

上沓と下沓の間にローラーを設け、回転機能と移動機能を合わせ持った可動支承である。写真19は、連続桁の中間支点到に用いられたもので、浮き上がり防止用サイドブロックが破断するとともに、橋軸方向の移動が大きく上沓が脱落している。また、写真20は、鋼製橋脚横梁とコンクリート支柱との接点到に用いられたもので、サイドブロックが壊れ、横方向にかなり移動している。

(3)今後の方向

今回の地震では、本体構造物と同様、支承にも過去の例と比較にならないほど大規模な被害が生じた。これは地震の大きさを物語るものであるが、同時に支承自身の問題点も露呈することになった。今回の震災を踏まえて、支承の問題点ならびに今後の方向を以下に述べる。

①支承のセットボルト、ピンなどが破断し、上沓と下沓が外れてしまっているケースが多く見受けられた。これらの部品には衝撃力や予想外の力が作用する可能性があり、設計上の配慮が必要である。

②今回の調査では、プレートガーダー本体が横方向に曲げられ損傷している例が多い。プレートガーダーは本来、鉛直方向の力には強いが水平方向の力に対しては弱い。そのため、端横桁で補強しているが、支承近傍ではフリーになっている。今後、桁端部の面外強度、支承の横方向強度、さらには横方向の落橋防止装置（移動制限装置）も含めて、構造システムを検討する必要がある。

③鋼支承の主要材料である鋳鋼は、ねばりが少なく衝撃力に対するエネルギー吸収能力が小さい。今後、使用材料の見直しおよび破壊まで考えた設計法の導入が期待される。ただし、支承強度のみ上げると上・下部工本体に被害が生じる恐れがあり、やはり構造システム全体のバランスを考えた設計が必要である。

④今回のような直下型大地震では、落橋以外の部分的破損はやむを得ないと考えられ、



写真13
線支承の破損例
(上沓の破損)

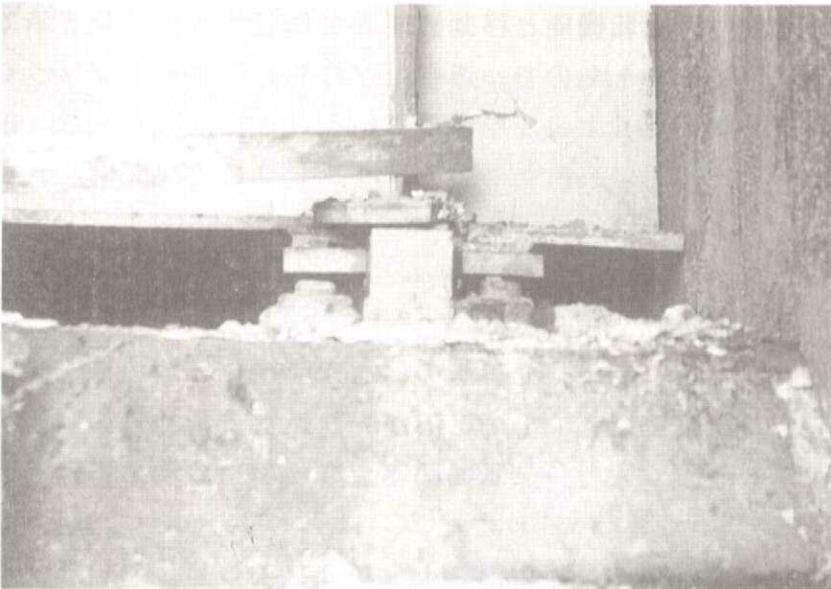


写真14
線支承の破損例
(セットボルトの破損)



写真15
支承板支承の破損例
(移動制限装置の破損)



写真16
支承板支承の破損例
(上沓セットボルト
の破損)

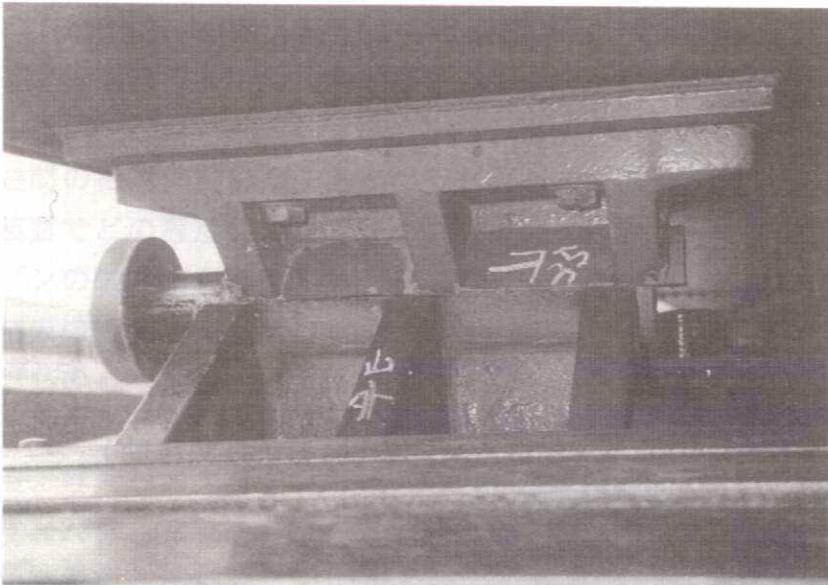


写真17
ピン支承の破損例
(ピン, キャップの破損)

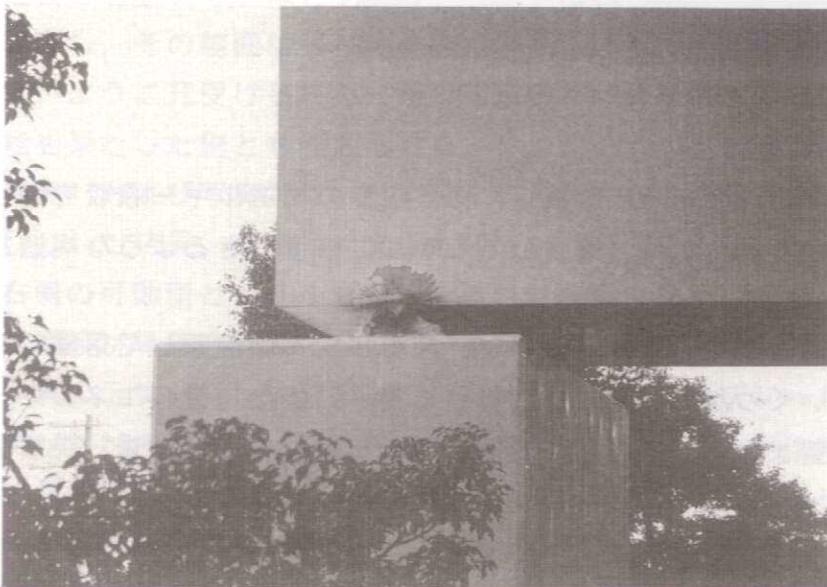


写真18
ピン支承の破損例
(ピン, 横梁本体の破損)

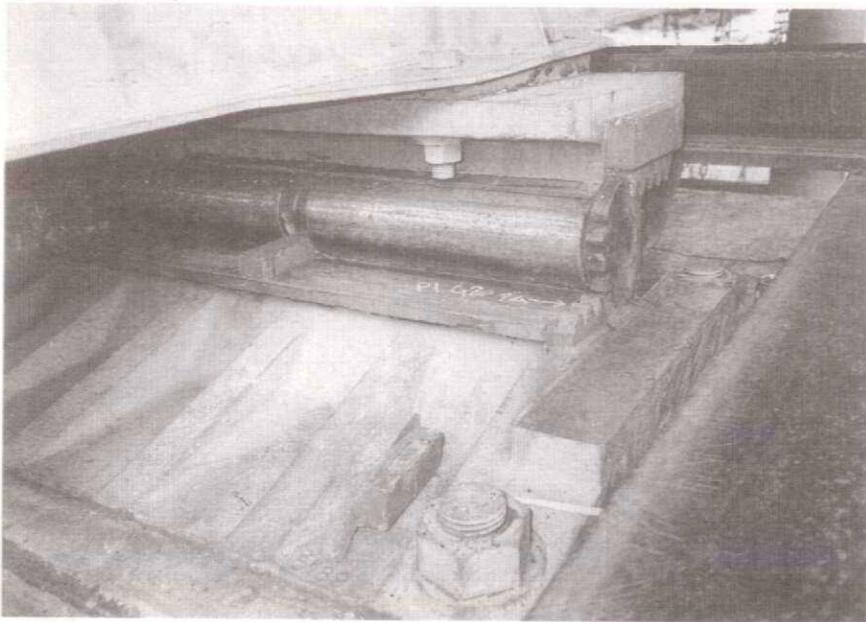


写真19
ローラー支承の破損例
(サイドブロックの破損
および上沓の脱落)

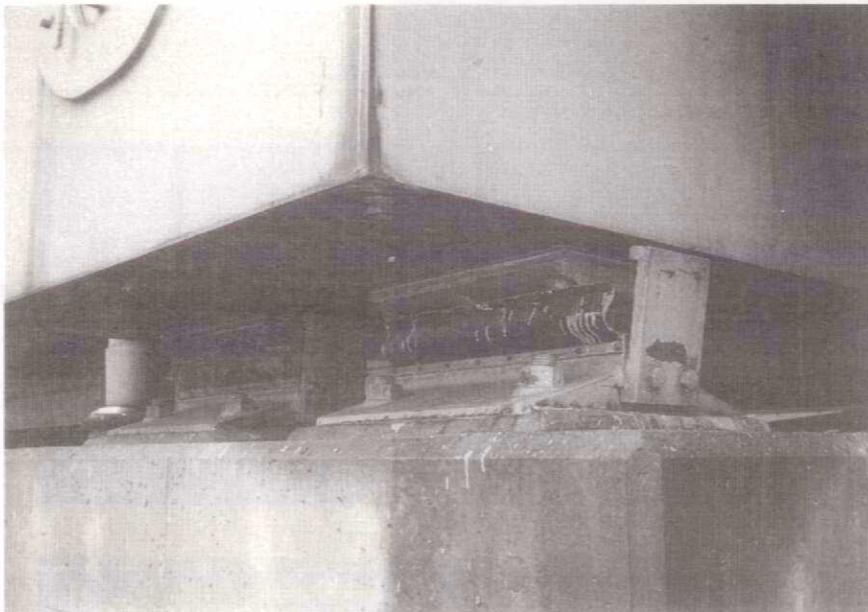


写真20
ローラー支承の破損例
(サイドブロックの破損,
および横移動)

構造本体に被害を及ぼさないためには支承が破損し、ある程度のエネルギー吸収を行うという考え方もできる。このような場合には、破損してもすぐに修復できるような構造とする必要がある。

⑤連続鋼ボックス桁橋の固定橋脚に地震力が集中し、橋脚がせん断破壊して落橋している例がある。今後は地震力をいくつかの橋脚に分散させる支承、また地震のエネルギーを吸収できるような支承構造が望ましい。そのための解決策として、反力分散沓、免震沓などの使用が考えられる。

3.2 落橋防止装置

阪神高速道路公団における落橋防止対策は、①支承の移動制限装置、②桁がかり長の確保、③桁間連結装置の設置により行われている。ここでは主に桁間連結装置の典型的な破損状況について検討するものである。阪神高速道路公団神戸線の桁間連結装置はタイバー形式（いわゆる眼鏡タイプ）のものが大部分を占めている。これは、桁遊間が広がる場合に対して隣接する桁の重量を利用して落橋を防止するよう設計されており、基本的な設計水平震度は0.25とし、さらに対象とする橋梁の立地条件により、水平力の割り増し係数を2.0から最大4.0まで考慮している。そして、材料選定においても、強度だけでなく、降伏点以降の変形能に留意し、なるべく低強度で降伏比の低い材料を使用するものとしている。

調査は、阪神高速道路公団神戸線のほぼ全線にわたって、落橋防止装置の損傷状態に着目した目視調査を実施した。なお、路面からの目視調査となるため、桁間部で損傷状況が確認できない箇所もあり、主に外主桁に取り付く桁間連結装置を調査対象とした。

(1) 代表的な損傷状況

調査範囲内における桁間連結装置の代表的な損傷事例を写真21～写真28に示す。

写真21～23は、前述のタイバー形式の損傷事例を示す。写真21は、橋軸方向（東西方向）桁遊間の相対移動量が非常に大きい例である。支承の移動制限装置が破損した後、桁間連結装置でどの程度のエネルギーを吸収したかは明確でないが、連結板面外の曲げ変形およびピンの破断がみとめられることから、衝撃的な荷重が橋軸および橋軸直角方向にかかり、連結板の面外変形およびピンの破断が生じた後、さらに桁間を広げる方向に上部工が移動したものと考えられる。写真22は、遊間の相対移動量がそれほど大きくない例である。ピンのみが破断しており、衝撃的な荷重によりピンがぜい性的に先行破断したものと考えられる。写真21および写真22とも、上部工は鋼ボックス桁どうしの取合い部である。

写真23は、プレートガーダーどうしの取合い部であり、橋軸直角方向（南北方向）の相対移動量が非常に大きい例である。連結板、ピン、補強板とも相当損傷を受けているが、連結板の切断あるいはピンの破断等の最悪の状態は免れている。桁端部の腹板は大きく塑性変形し、その範囲は張り出し部腹板全域にわたっているものの支間側腹板までは及んでいないように見受けられる。桁間連結装置が橋軸直角方向の移動制限装置として最低限の機能を果たした例とも考えられる。

写真24および写真25は、ピン形式の典型的な破損事例を示す。写真24は、桁遊間が狭まろうとした結果、連結板、支点上補剛材近辺の主桁腹板の損傷が生じたと考えられる。写真右側の可動側と考えられるピン取付け側張り出し部腹板が面外に塑性変形し、さらに支間側腹板が局部座屈をおこしている。写真25は、連結板の長孔縁端部が抜け落ちている破損事例を示す。ピンは破断していない。写真左側のプレートガーダーが落橋した結果、桁遊間が広がろうとし、その影響で非常に大きな水平力が作用し、ここでは連結板の長孔縁端部が抜け落ちたものと考えられる。写真24および写真25とも、上部工はプレートガーダー同士の取合い部である。

写真26および写真27は、鋼ボックス桁とプレートガーダーの取合い部であり、桁配置の関係上、プレートガーダー側にトラス形式の控え材を設けることで鋼ボックス桁部とタイバー形式で桁間連結を行っている箇所（図1参照）の損傷事例である。写真26では、桁遊間が広がろうとした結果、大きな水平力が控えトラスにかかり、軸方向圧縮力が作用するトラス部材が座屈し面外に変形している。写真27では、控えトラスの圧縮部材の座屈および控えトラス取付け部の主桁腹板の局部座屈が生じている。

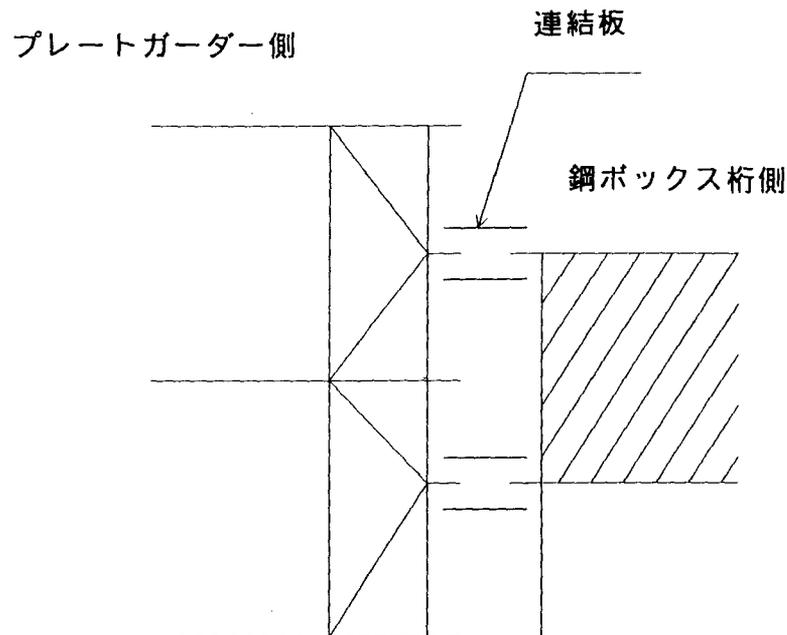


図1 連結例（写真26，写真27の参考図）

写真28は、桁がかり長を確保していたことで主桁の落橋を防止した事例を示す。支承が破損し、橋軸方向に上部工が相当移動したものの、桁がかり長を確保していた結果、落橋を免れている。

(2) 調査結果の概要

以上、調査対象箇所での代表的な損傷事例について示した。調査箇所は本報告書作成時点で約700箇所にあたり、大部分がタイバー形式の桁間連結装置であった。調査結果の概要を下記に示す。

- ①調査範囲内では、外見上健全なものが約70%程を占めていた。ただし、近接した目視調査でないため、今後さらなる詳細確認が必要である。
- ②桁間連結装置の機能が完全に失われた損傷としては、ピンの破断が圧倒的に多く、連結板が破断したものあるいは本体の腹板が破断したものは数例しか見受けられなかった。
- ③鋼ボックス桁とプレートガーダーの取合い部で、プレートガーダー側に控えトラスを

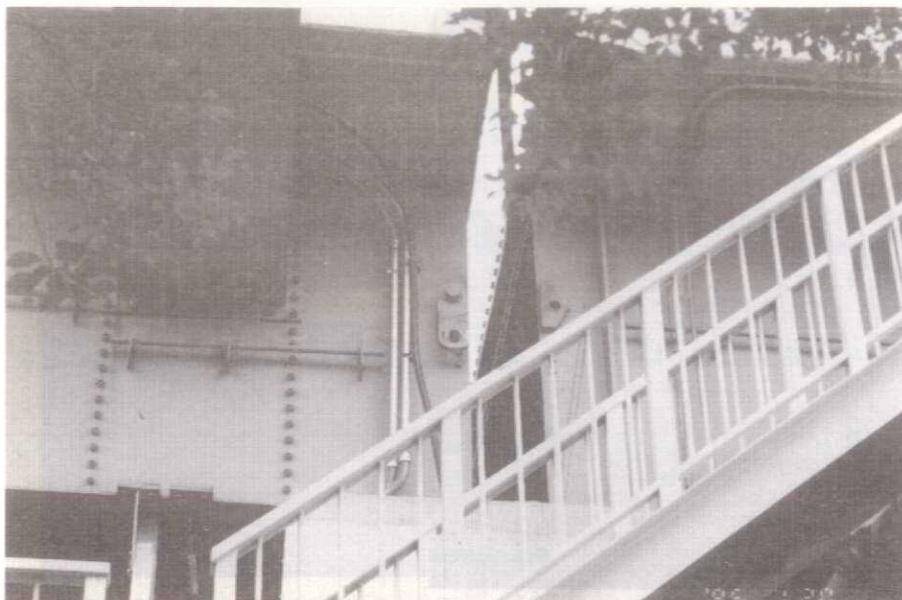


写真21
タイバー形式連結装
置の損傷事例（その1）

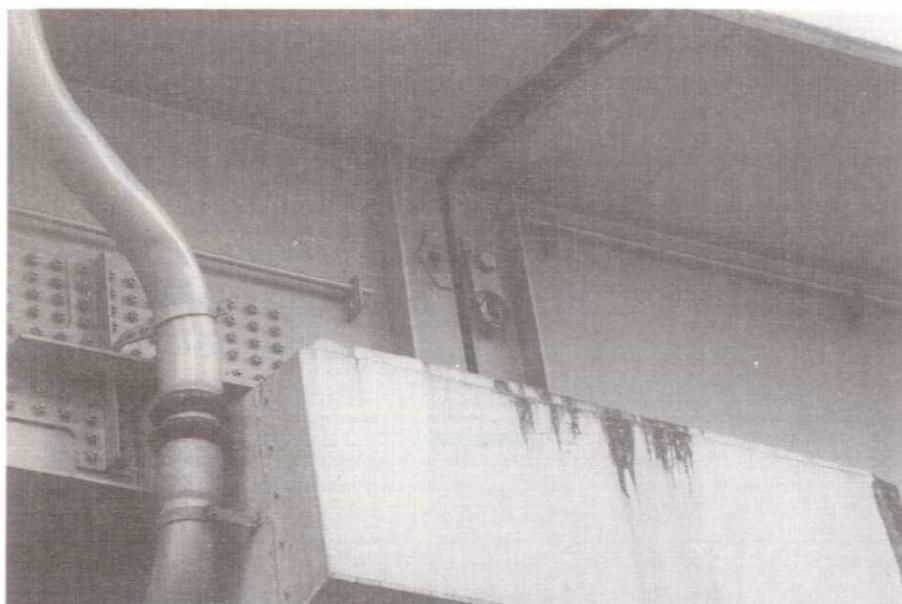


写真22
タイバー形式連結装
置の損傷事例（その2）



写真23
タイバー形式連結装
置の損傷事例（その3）

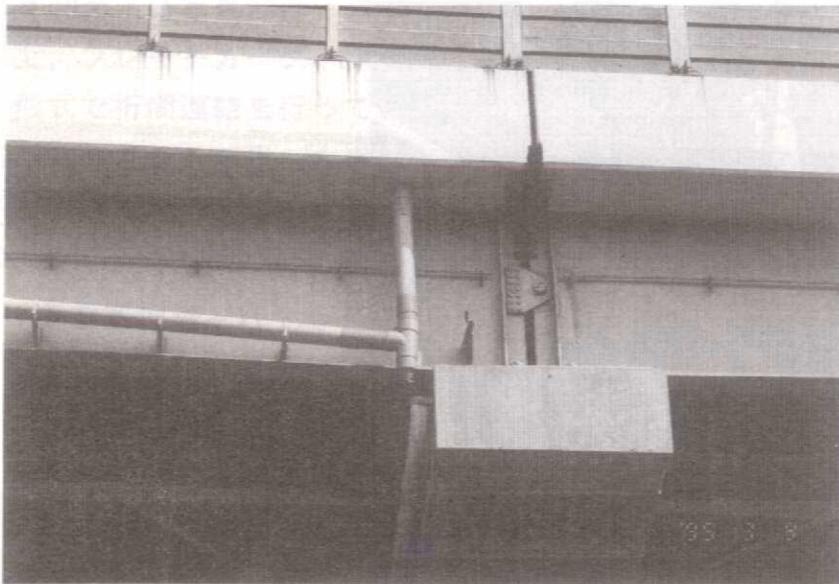


写真24
ピン形式連結装置の
損傷事例（その1）

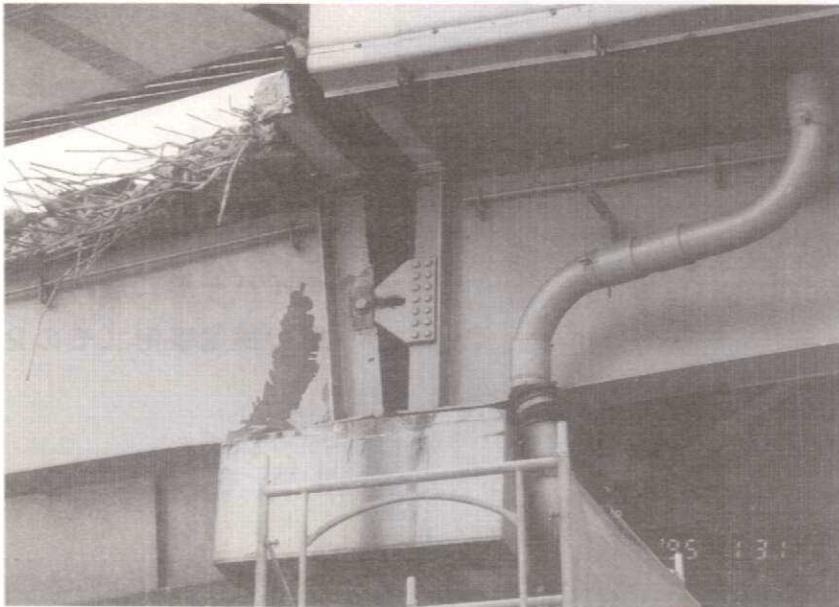


写真25
ピン形式連結装置の
損傷事例（その2）

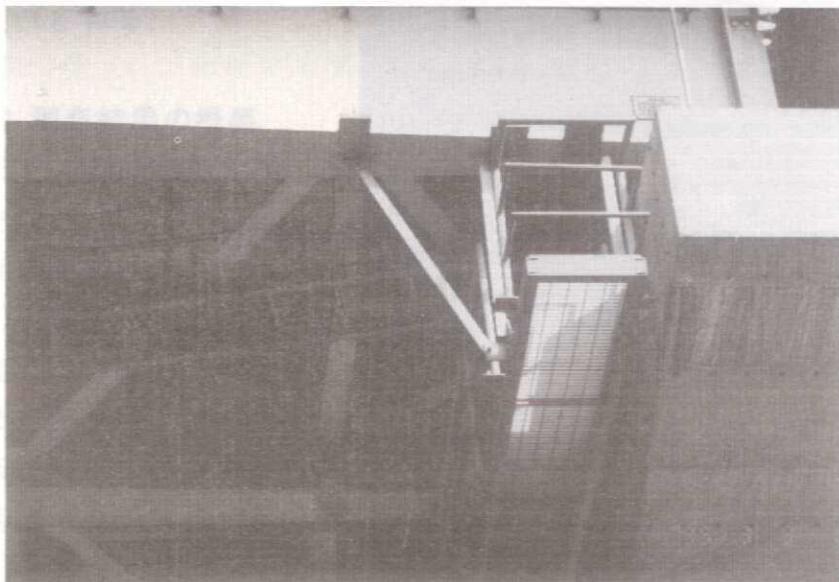


写真26
控えトラス形式連結
装置の損傷事例（その1）

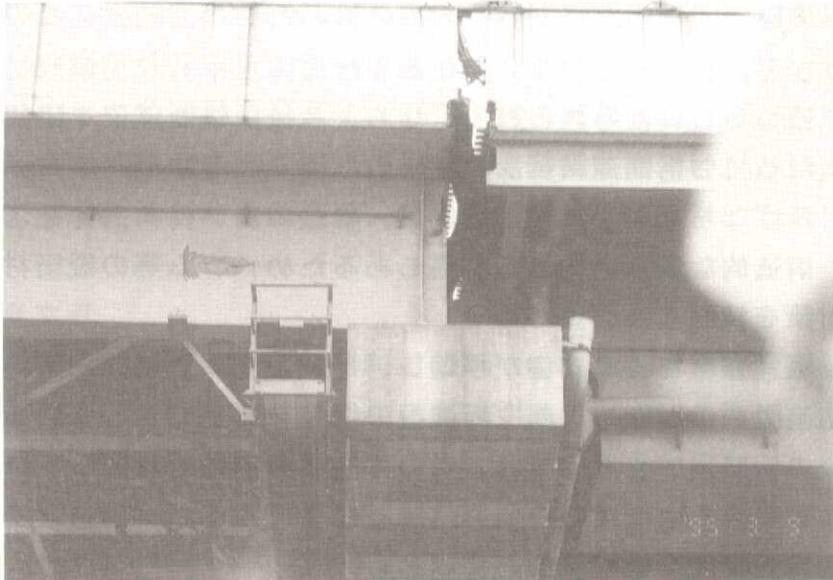


写真27
控えトラス形式連結
装置の損傷事例（その2）

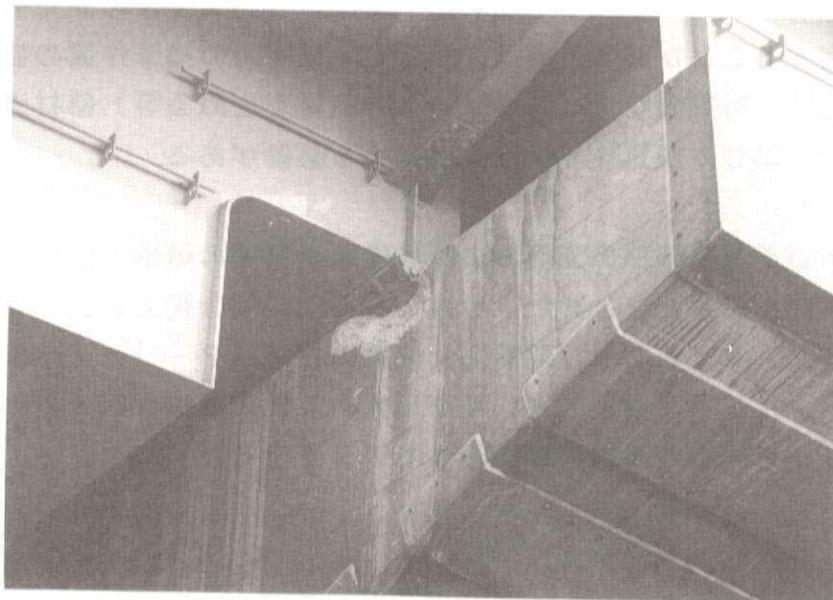


写真28
桁がかり部

設けて桁間連結装置を設置した箇所での損傷部位は、ほとんどが控え材側の桁間連結部、控えトラス部および取付け主桁腹板部であった。

④上部工に着目した場合、プレートガーダーどうしの取合い箇所より、プレートガーダーと鋼ボックスの取合い箇所および鋼ボックス桁同士の取合い箇所での桁間連結装置の損傷が多かった。

（3）今後の方向

今後、さらなる詳細調査および実験的検証が必要と考えられるが、現時点での調査結果に基づいた考察を下記にまとめる。

① 損傷事例の中で連結用ピンの破断・折損が特に目立ったのは、ピンと連結板孔との間に温度変化による桁移動を吸収するためのクリアランスがあるため、水平力が衝撃的に作用し、靱性の低いピンが先に破断したものと考えられる。なお、今後、破断部位を確認することが重要となるが、いずれにしても桁間連結装置の本来の機能を考慮した場合、連結用ピンの先行破断は避けなければならない。降伏比の低い、靱性の高い材料選定をこころがけることは当然であるが、構造的な取合いによる制限もあるため、ゴム等の緩衝材を桁間連結装置に付加する等の対策を検討する必要がある。

② 支承が破損することで橋軸直角方向に主桁本体が移動し、桁間連結装置に面外方向の外力が作用した結果、桁間連結装置および取付け部主桁腹板の損傷を引き起こしている箇所がかなり見受けられた。従来の桁間連結装置は橋軸方向の移動制限のみを意識していることから、橋軸直角方向の移動制限機能も従来の桁間連結装置に付加するか、別途、支承破損以降の橋軸直角方向の移動制限装置を検討する必要がある。

③ 桁遊間が広がる場合、狭まる場合それぞれについて、個々の落橋防止機構が地震動エネルギーを吸収する順序を再検討し、さらに、落橋を防止するという必須条件の基で桁間連結装置の終局限界状態を想定することが必要である。そして、損傷時の補修作業の容易さを意識した（例えば、損傷範囲を桁端張り出し側腹板や2次部材で止める等）部材決定、補強方法・範囲を終局強度設計に準じて決定する手法を検討する必要がある。

以上、兵庫県南部地震による道路橋高架部の支承および落橋防止装置の破損状況について目視調査した、主として定性的な結果をまとめた。今後、さらに詳細な調査を続行することで、① 調査結果の定量的考察、② 支承および落橋防止装置の損傷パターンと上下部構造との相関性の有無の確認、③ 上部工・下部工および基礎を含めた橋梁構造システムの中で支承、落橋防止装置が保有すべき機能の再検討等を行っていく予定である。

4 まとめ

今回の地震は大都市直下型といわれ、周期の短い縦揺れと周期の長い横揺れがほとんど同時に伝わり、振動というよりも一瞬の衝撃力が道路高架橋などに作用した結果、大被害を招いたのではないかと指摘もある。これが真実かどうかは今後の解明にゆだねるとして、橋梁構造物全体をシステムとしてとらえ、全ての構造部位・部材を強固に設計するのではなく、その中でも意識的に弱い部分を設けておき、予想外の強震時にはそこを壊すようにし、構造全体としての損壊をできるだけ小さく押さえるのが安全性、経済性の面からよいと考える。特に、基礎杭を含む下部工構造の損傷防止は、復旧作業の困難、長期化を考えると最優先させるべきことと考える。

この考え方を道路高架橋に適用する場合、従来より考慮されている、上・下部工の接点となる落橋防止装置および支承において、相対的に弱い部位・部材を設置し、2次的な落橋などの大被害を引き起こす事のないフェールセーフ構造の導入を徹底させる必要がある。

以上のような考え方に基づく今後の設計方針に関する私見として、免震支承（単純形式および連続形式橋梁）あるいは反力分散支承（連続形式）の採用とともに上部工構造の連続化によって橋梁構造システムに冗長性を付与することが必要と考える。さらに、重要な点として、橋脚への粘り構造の付与、橋軸直角方向桁がかり長の考慮などが挙げられる。

上述の議論が今後の復旧、復興の参考になれば幸いである。

参考文献

1) 沢田 隆，井筒庸雄，杉山了一，坂田文男：全周撮影ポアホールテレビカメラによる地山観察，土と基礎，Vol.41，No.9，pp.37-40，1993.9.

鉄道被害と復旧

建設学科 宮本文穂 森川英典
自然科学研究科 李 騰雁

1. 被害概要

震災地域を通る主な鉄道としては、JR山陽新幹線、東海道本線、阪急電鉄神戸線、阪神電鉄本線、六甲ライナー、ポートライナーなどがあるが、いずれも大きい被害を受けた。主な被害被害形態としては、高架橋や跨線橋などの落橋、桁ずれ、橋脚の崩壊と損傷、擁壁の崩壊、ホームの倒壊などである。図1は鉄道施設の被害状況と断層位置を示す。山陽新幹線の被害は伊丹付近に集中するに對して、東海道本線、阪急電鉄神戸線、阪神電鉄本線の被害は断層の南側に沿い、三宮から西宮までに集中している。運輸省鉄道局発表によると、鉄道施設の主な被害状況は以下の通りである。

(1) JR山陽新幹線：●新大阪～新神戸＝高架橋落橋9カ所，高架橋柱部損傷13カ所，高架橋桁ずれ6カ所，六甲変電所損壊，●新神戸駅＝ホームの桁ずれ1箇所，●新神戸～西明石＝高架橋の落橋1カ所，高架橋の桁ずれ5カ所，●西明石～姫路＝橋梁の落橋1カ所，高架橋柱部損壊36カ所，高架橋桁ずれ8カ所。

(2) JR東海道線：●芦屋駅＝橋上駅沈下，ホーム倒壊，●住吉～灘＝高架橋が約2キロにわたり落下・損傷，●六甲道駅＝橋上駅損傷，ホーム倒壊，●三ノ宮～神戸＝高架橋一部倒壊。

(3) 阪急神戸線：●西宮～夙川＝高架橋が200mにわたり落下，●夙川駅＝ホーム倒壊，●夙川～芦屋川＝ビル倒壊により上下線が損壊，●三宮駅＝駅舎損傷。阪急伊丹線：●伊丹駅＝駅舎損壊。阪急今津線：●西宮北口～門戸厄神＝国道171号線跨線橋落下，●門戸厄神～甲東園＝新幹線高架橋で外壁落下。阪急宝塚線：●中津～十三＝架道橋損壊，●十三～三国＝架道橋損壊。

(4) 阪神本線：●青木～御影＝高架橋が約2キロにわたり損壊・損傷，橋梁落下8カ所，●石屋川車庫＝全壊，●西灘駅など9駅＝損傷，●青木～魚崎＝擁壁損壊約1.2キロ，盛土崩壊約0.8キロ。

(5) 神戸新交通ポートアイランド線：●全線＝駅舎損傷，橋桁損傷多数，●三宮～中公園＝桁落下，●ポートターミナル～中公園＝桁ずれ。神戸新交通六甲アイランド線：●全線＝駅舎損傷，橋桁損傷多数，●住吉駅＝桁落下，アイランド北口駅＝北上り線で桁落下。

2. 主な被害と復旧

(1) JR山陽新幹線(西宮，尼崎，伊丹)の被害と復旧

(a)被害状況

図2は，西宮市，尼崎市，伊丹市におけるJR山陽新幹線の主な被害を，それぞれ地質図・断層図を示したものである。

まず，新幹線は，六甲トンネル出口付近から，阪急今津線跨線橋を経て上大市の阪神水道企業団事業所北側に至る約1kmの区間で高架桁が連続的に崩壊している(写真1～4)。ところが，それ以東，武庫川に至る区間については，同形式の高架桁にもかかわらず，損傷程度が全く

異なり、ひびわれ損傷程度が生じているのみである。地形的に見ると、六甲トンネル出口近傍は、緩斜面から平地への変化部であり、地震動が一般に増幅されやすい箇所であるといえる。また、被害地域は、震度7地区付近である。地質・断層図を見ると、被害箇所は、甲陽断層の南側にあり、また、被害の有無の境界にはリニアメントが存在している。さらに、被害を受けていない地区は武庫川周辺の沖積層であり、被害地域には新たな堆積砂層が存在し、これらの要因が地震動増幅特性に影響を及ぼしているものと考えられる。損傷した新幹線高架橋の形式は、3径間連続RCラーメン橋とRCラーメンアバット短柱橋脚であり、橋軸(東西)方向、橋軸直角方向へのせん断ずれ破壊が生じている。また、2層ラーメンの場合には、下層部が破壊しているもの、上層部が破壊しているもの様々であり、全体的に非常に複雑な振動形態を示したものと推察される。構造的には、国鉄の旧基準に基づいて設計されているため、帯鉄筋量が少なく、現行基準の半分程度(現行基準の靱性率4程度に対して靱性率2程度)になっている。したがって、想定地震動(関東地震クラス)を超える地震動を受けた場合、エネルギーが吸収しきれない状態になり得る。これは、当時帯筋は主としてせん断抵抗部材として考えられ、最大荷重後の靱性確保という観点でとらえられていなかったということによる。一方、地中梁については、損傷は軽微であり、また杭については、数カ所で検査されたが、大きな損傷は認められていない。

次に武庫川橋梁は、全橋脚にコンクリート剥落、主筋の張り出し損傷を受けた(写真5、写真6)が、これは、主筋の段落とし部が旧基準のまま存在したためであり、宮城県沖地震において生じた損傷と全く同一の形態であり、これが無ければ、大きな損傷は免れたものと推定される。

一方、武庫川以東の尼崎市における落橋(写真7、3径間連続(異径間)RC2層ラーメン形式)は、沖積層の低位段丘近傍で生じており、さらに東側の伊丹市における落橋(写真8、3径間連続RCラーメン形式)は、低位段丘上で生じている。これらの箇所は、ある一つの桁(3径間ラーメン)が破壊しており、その前後の桁は連続的にコンクリート剥落、鉄筋一部座屈損傷が生じているが、倒壊には至っていない。また、周辺の建物はほとんど倒壊といった大きな被害は受けていない(周辺で全壊数件程度)。倒壊桁のずれはN方向であり、地盤変位はS方向が主動であったと推察される。この破壊の要因を検討するためには、さらに詳細な地盤条件を把握する必要がある。たとえば、現場付近には、下水路(開水路)が存在しており、落橋箇所では、下水路が橋梁下を横断(幅約1m程度の暗渠)している(写真9)。また、フーチング掘削に際して、ある程度出水が生じ、排水処理が行われているため、地下水位についても考慮する必要があると思われる。また、この地区における他の損傷箇所についても、同様に、下水路が横断している場合が多い。つまり、新幹線建設前の地形あるいは、さらに以前の原地形の状態を詳しく調査する必要があると言える。たとえば、下水開水路が、自然河川をある程度利用して整備されてきた可能性もあり、その場合、周辺地盤は、旧河道であり、局部的に地盤が弱い、あるいは、地下水位が高いという特殊性を有することになる。また、この点に関する検討のためには、土質柱状図等のデータ採取が必須であることは言うまでもない。

(b)復旧状況

RCラーメン高架橋の復旧対策として、まず、橋脚の破壊・沈下程度の大きいものについては、橋脚鉄筋を切断し、破壊したコンクリートを取り除いて上部工と基礎を分離し、上部工を所定の位置にジャッキアップした状態で、橋脚の主鉄筋として、2本の鉄筋をそれぞれ上

部工およびフーチング上面鉄筋に圧接(熱間押抜き圧接)し、中間部の重ね部でフレア溶接を行っている(写真10～写真12)。さらに、6mm鋼板を橋脚全長にわたって巻立て、無収縮モルタルを打設している(写真13)。橋脚の沈下程度が小さいものについては、上部工をジャッキアップすることなく、損傷部に帯鉄筋を配し(写真14)、6mm鋼板を橋脚全長にわたって巻立て、無収縮モルタルを打設している。この際、予めチューブを損傷したコンクリート内部に設置しておき、鋼板巻立て、無収縮モルタル打設後に、このチューブを用いてコンクリート内部へ樹脂注入を行っている。橋脚・フーチング接合部の地中埋設部については、防錆処置として、さらにコンクリート巻立てを行っている(写真15)。また、鋼板のたたき検査を行い、充填不十分な箇所については、樹脂注入を実施している。また、上部工は、損傷が軽微な場合には、そのままの状態を用いているが、損傷がある場合には、ラーメン梁部にも鋼板接着工法(写真16)あるいはコンクリート増桁工法(写真17)により補強を行っている。

一方、武庫川橋梁については、主鉄筋の段落としての補強対策として、30cm厚のRC巻立てを行い(写真18、写真19)、さらに、その上に6mm鋼板巻立てを行う(写真20)という方法を採用している。これは、耐荷力・剛性補強と靱性補強の双方を考慮したものであり、新たに設定される耐震基準をある程度見通した処置であるといえる。ただし、この場合には、基礎への地震力負担を考慮しておく必要があると言える。

(2) 阪急電鉄(夙川～西宮北口)の被害と復旧

阪急電鉄の主な被害は夙川～西宮北口間での高架桁の倒壊と岡本～芦屋間での擁壁の崩壊である。夙川～西宮北口間の西側部分は震度7地区に含まれている。地質・断層図によると、夙川～西宮北口間の被害箇所は、甲陽断層の南側に位置し、地質としては、沖積層である。

夙川～西宮北口間の高架橋は、上り、下り単線ずつの独立したRC平面(橋軸方向)ラーメン形式であり、この形式は、敷地の制約上、高架化工事を単線ずつ行う必要性により採用されたものである。このうち、北側の桁が、傾斜あるいは倒壊するという被害が多く見られた(写真21)。つまり、独立した単線軌道桁がお互い接触する状態での相互作用が破壊に影響を及ぼしているものと考えられる。また橋軸直角方向における安定性に弱点を有する構造であるため、想定地震動を上回る地震動が作用して、橋脚の剛体運動的な倒壊が生じているものと思われる。このような点を踏まえて、阪急電鉄では、JRのように、上部工を利用するのではなく、橋梁全体を全面的に更新することによる復旧対策を決定し、高架橋全体の取り壊し作業を実施している。

(3) JR東海道線(六甲道駅東側)、阪神電鉄(石屋川～西灘)の被害と復旧

JR東海道線と阪神電鉄の主な被害はJR東海道線六甲道～芦屋間、阪神電鉄石屋川～西灘間である。被害が大きかった地域は、ほぼ震度7地区内にあることがわかる。つまり、建物倒壊の状況とほぼ同様の傾向を示している。地質図からみると、高架橋で被害が甚大な箇所は、低位段丘、沖積層上である。この地区の地盤は、まさ土堆積地帯である。六甲山麓は、大阪層群が被覆した花崗岩地帯であり、その南側には、六甲山麓からの砂や礫を中心としたまさ土が堆積した段丘地帯がある。海岸付近や河川付近では、粘土を含む沖積層によって覆われている。

JR東海道線は、複々線であり、上り複線と下り複線が独立の高架桁であり、主として3径間RCラーメン形式となっている。六甲道駅の東側の地区については、主として北側の上り

複線高架橋の被害の方が南側の下り複線高架橋よりも大きくなっている(写真22, ただし, 六甲道駅西側では逆のケースもある)。これは, お互いに接触した独立桁(上り, 下り)の相互作用に起因しているものと考えられる。

J R東海道線の復旧方針は, R Cラーメン形式高架橋に関して, 基本的に山陽新幹線と同じ手順で進められている。

阪神電鉄の石屋川車庫については, 写真23に示したように, 高架構造の車庫が南北に接触した構造形式となっており, さらに, その北側には, 阪神本線の高架軌道桁が接触している。崩壊形態は, 車庫南側桁が南側へずれ, 北側桁が北側にずれて高架軌道桁を北側に押し出している。南側車庫には車両がほぼ満載の状態であった。この箇所についても, それぞれ接触した高架桁どうしの相互作用が破壊形式に影響を及ぼしているものと考えられる。また, 阪神電鉄の高架軌道桁は, 複線のR C立体ラーメン構造であるが, 高架下は, 構造的に壁が一体化した商店街が存在しており, これが, 高架桁剛性に影響を及ぼすとともに, かなり複雑な破壊状況を呈している。たとえば, 連続ラーメン高架橋の高架下の一部が壁構造であり, 他の部分が壁のない駐車場である場合には, 平面内での回転(一端が南側ずれ, 他端が北側ずれ)が生じている。

3. 復旧, 耐震対策について

上述のように, 今回被害を受けた鉄道高架橋は, 早期復旧を目標に, 復旧工事がかなり進行している。このような場合, 復旧法としては, 第1段階として原形復旧を行い, その後に第2段階として改善対策が施される方法と, 早期復旧工事自体に改善対策が講じられる方法がある。後者の復旧方法は新たな耐震基準の設置前に改善対策を行うことになるので, 基本方針の予測を行った上で, 現状における知見, 過去の実績等を最大限に活用して, 最も適切と思われる方法を策定しなければならない。現在, J R山陽新幹線, 東海道本線の復旧は, 改善対策を考慮した形で進められており, 補強設計計算は簡易的な動的解析により行われているものと思われるが, 最終的には, 実験的検証が必要であり, その計画が検討されているものと思われる。特に, 橋脚の耐荷補強, 靱性補強を行う場合, たとえば, J R山陽新幹線のR Cラーメン高架橋の場合, 鋼板をフーチング接合部から上部工はり接合部まで, 橋脚全体に巻立て, フーチング接合部の地中埋設部については, 耐久性対策上, さらにその上からコンクリートを巻立てるという方法をとっている。J R山陽新幹線の武庫川橋梁の場合, コンクリート巻立ての後, さらに, 鋼板巻立てを行っている。このような場合に懸念されるのは, 橋脚の耐荷力, 靱性を大幅に改善したために, 基礎・杭に負担をかけることになり, 下部工全体系としては, 大幅な改善が期待できないことがあり得るということである。現に, 米国カリフォルニアにおける耐震補強では, これらのことが十分配慮されており, 鋼板の下端とフーチングの上面に約5cmの隙間を設けている事例がある¹⁾。また, 部分補強と称して, 発砲スチロールの上から鋼板を巻き, 鋼板が最初から橋脚を拘束するのではなく, 橋脚に損傷が生じてコンクリート剥離等によって, 外側に膨らみ始めると拘束するようにしている事例もある¹⁾。このことは, 今後必要となる既存橋脚の耐震補強に対しても十分考慮されるべき点であり, 実験的な研究に基づいてその方法を確立する必要がある。

参考文献

- 1) 川島一彦・岩崎敏男：米国における既設道路橋の耐震補強プログラム，橋梁と基礎，90-3，pp.38-42，1990.3.
- 2) 神戸大学工学部：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報，第2報)，1995

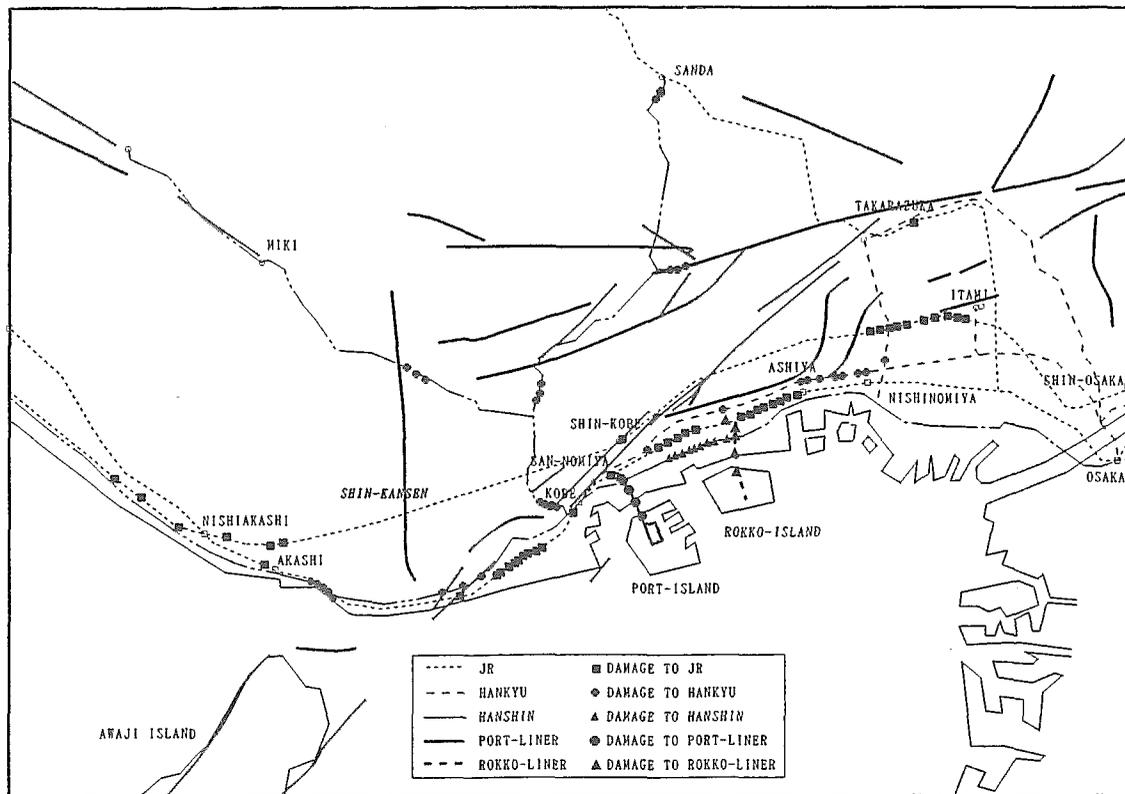


図1 鉄道施設の被害と断層位置

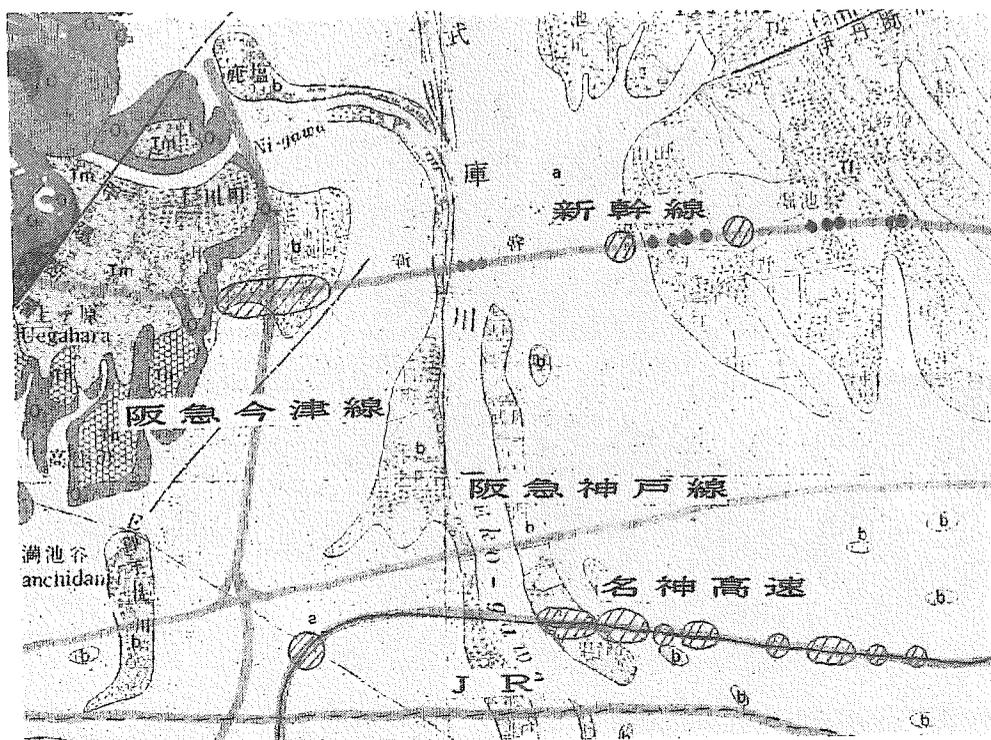


図2 JR山陽新幹線の被害(地質図・断層図)



写真1 JR山陽新幹線の被害(六甲トンネル出口付近)



写真2 JR山陽新幹線の被害(西宮市)



写真3 JR山陽新幹線の被害(西宮市)



写真4 山陽新幹線の被害(西宮市)



写真5 山陽新幹線の被害(武庫川橋梁)



写真6 山陽新幹線の被害(武庫川橋梁)

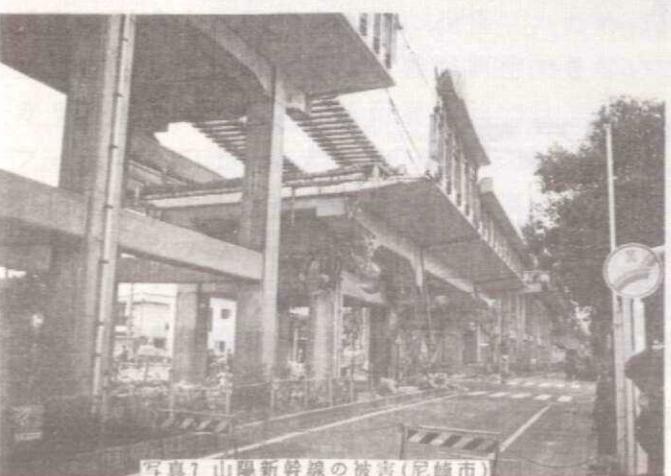


写真7 山陽新幹線の被害(西宮市)



写真8 山陽新幹線の被害(伊丹市)



写真9 山陽新幹線の被害現場付近の下水路(尼崎市)



写真11 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(鉄筋組立)



写真10 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(フォーミング掘削)

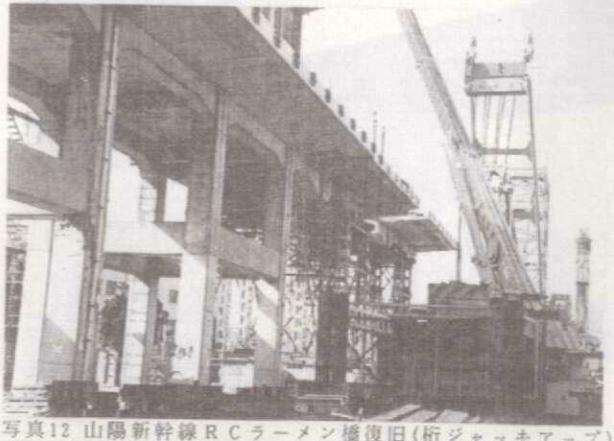


写真12 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(桁ジャッキアップ)

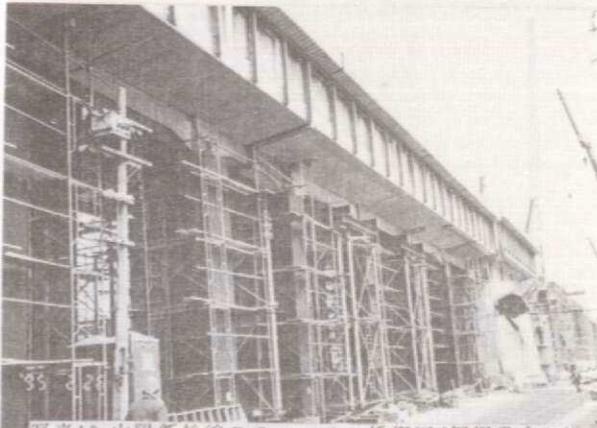


写真13 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(鋼板巻立て)



写真14 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(帯筋設置)



写真15 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(基部コンクリート巻立て)

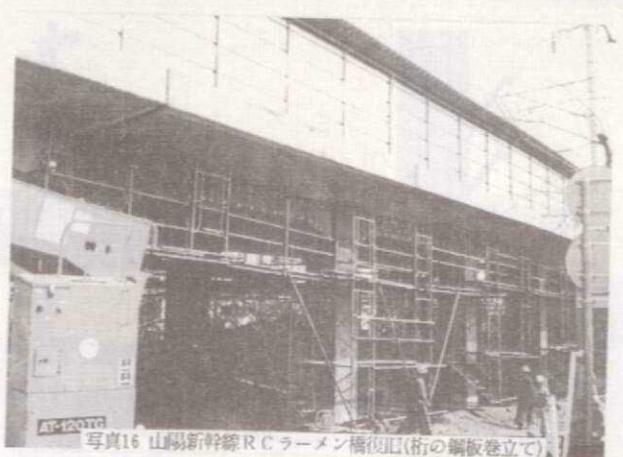


写真16 山陽新幹線RCラーメン橋復旧(桁の鋼板巻立て)



写真17 山陽新幹線RC ラーメン橋復旧(桁のコンクリート打換え)

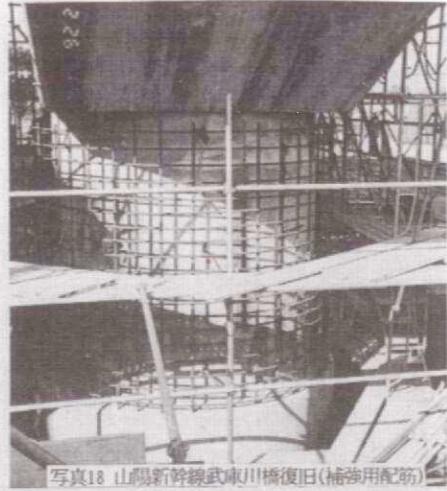


写真18 山陽新幹線武庫川橋復旧(補強用配筋)



写真19 山陽新幹線武庫川橋復旧(1次コンクリート巻立て)



写真20 山陽新幹線武庫川橋復旧(2次鋼板巻立て)

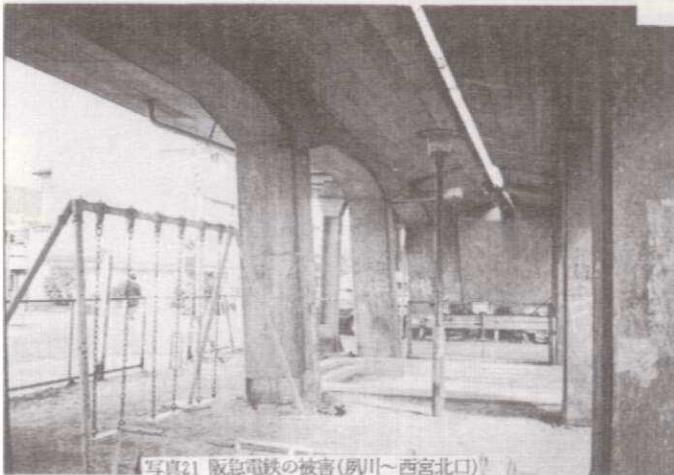


写真21 阪急電鉄の被害(夙川～西宮北口)



写真22 JR東海道線の被害

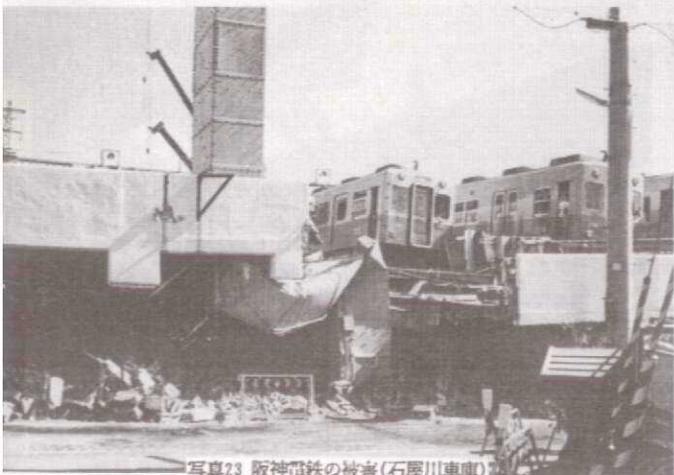


写真23 阪神電鉄の被害(石屋川車庫)

メモ

トンネル・地下構造物

建設学科 教授 櫻井春輔、教授 北村泰寿、助手 芥川真一
附属土地造成研究施設 助教授 中山昭彦

8.1 概要

報道記事によれば、開削工法による鉄道施設の地下構造物の被害が大きく報道されたのに対して、山岳トンネル、シールドトンネルの被害はほとんど公表されていない。筆者らは、第1次調査後これらの被害についての断片的な情報は得たが、構造物の被害報告として公表し得る形での資料入手は果たしていない。

第2次調査報告としては、精確な被害状況と関連する地質等の資料を学術資料として残すことが一つであり、概略の解析結果に基づいて被害発生のメカニズムに迫ることも一つである。しかし、後者に関しては時間的な制約と諸般の事情により解析結果を得るに至らなかった。本報告では、第1次調査報告で取り上げた構造物被害に関連する構造物断面諸量と地質資料の概略を示し、後日のための学術資料としたい。また、被害発生のメカニズムに関する各種の意見を概観して、後日実施する解析における検討項目としてまとめておきたい。

6.2 地下構造物

神戸市営地下鉄の三宮駅、上沢駅および新長田駅東線路部の被害状況の一例を図-6.1、三宮駅付近の地質資料を図-6.2に示す。各駅では鉄筋コンクリート函形構造物の中柱が破損しており、側壁には損傷は見られない。中柱の縦断方向の間隔は、三宮駅では中心間5mとなっている。また、三宮駅は地下3層構造となっているが、地下2、3階乗降ホーム部の鋼管柱には異常が見られない。鉄筋コンクリートと鋼管の破壊強度の違い、鋼管の延性特性等が破損メカニズムを考える上でも一つの要素となろう。

神戸高速鉄道の大開駅の被害状況図として、縦断図を図-6.3、横断図を図-6.4に、また駅付近の地質資料を図-6.5に示す。報道写真や第1次報告書の写真で周知のように、大開駅構内の中柱(40×100cm、間隔は中心間3.5m)は軸方向鉄筋が屈曲し、コンクリートと鉄筋が分離して柱が座屈している。また、図示していないが、大開駅東側および西側の線路部の中柱(40×60cm、間隔は中心間2.5m)も鉄筋が露出する程度の損傷を受けている。大開駅構内の圧壊状況は甚大であるが、これは最終の破壊状況であって、破壊の始まりは神戸市営地下鉄の中柱の破損と同じ様なメカニズムであろうと想定して、以下の考察を進めている。なお、側壁の損傷については、大きな被害は報告されていない。

以上のように、地下構造物の被害は中柱の損傷として要約できよう。それでは、なぜ中柱に損傷が生じたか各種の意見を概観し、若干の考察と後日の検討項目としてまとめてみよう。なお、鉄筋コンクリート中柱の損傷は、建築物や道路・鉄道高架橋の橋脚の破損状況と類似しているため、これらに対する意見も併せて考えておく必要がある。

①せん断破壊

一軸圧縮状態で、大きな軸力によりせん断破壊する。この場合、せん断破壊強度と圧縮

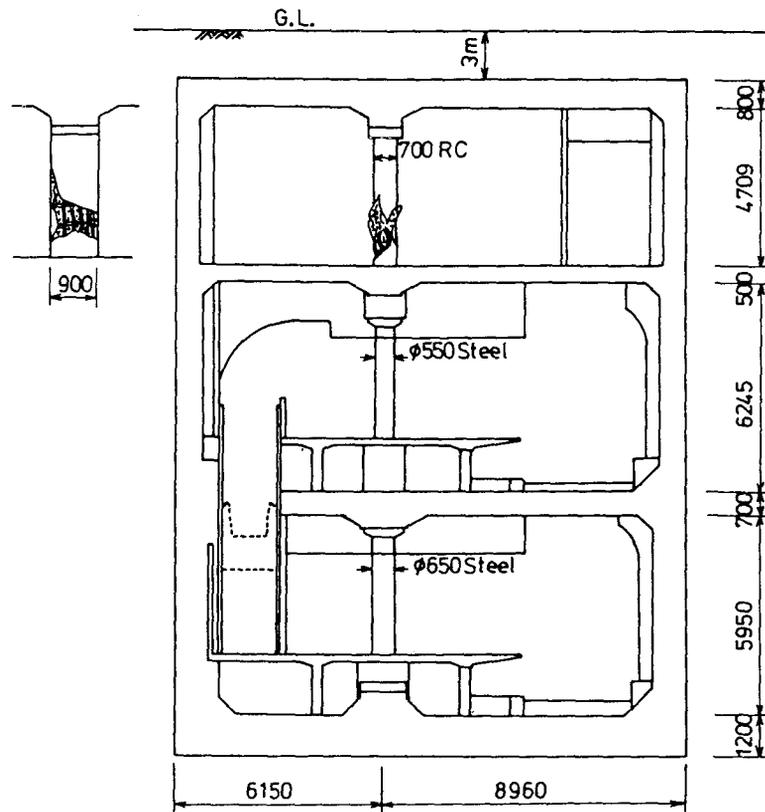


図-6.1(a) 三宮駅構内の中柱の被害状況

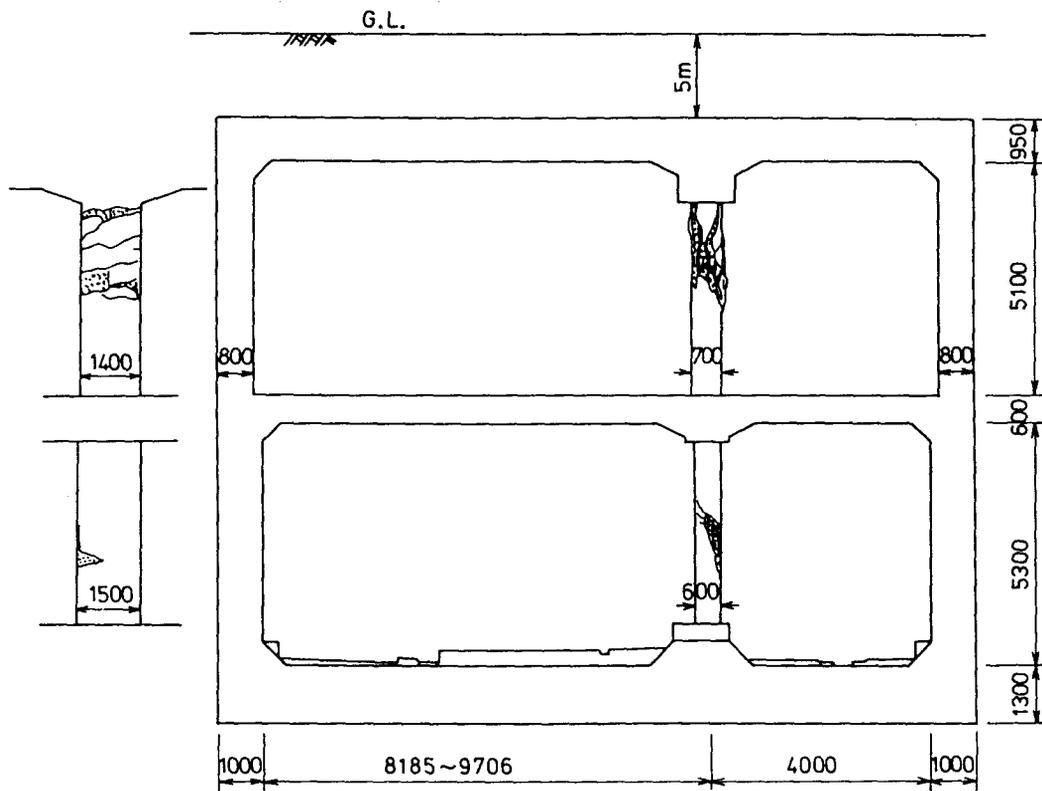


図-6.1(b) 上沢駅構内の中柱の被害状況

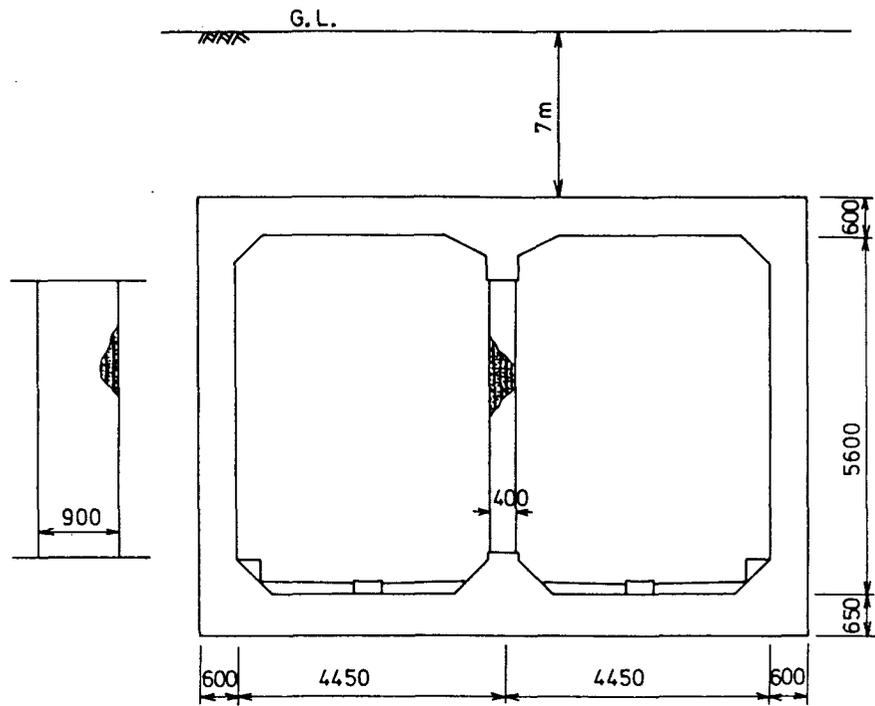


図-6.1(c) 新長田駅東線路部の中柱の被害状況

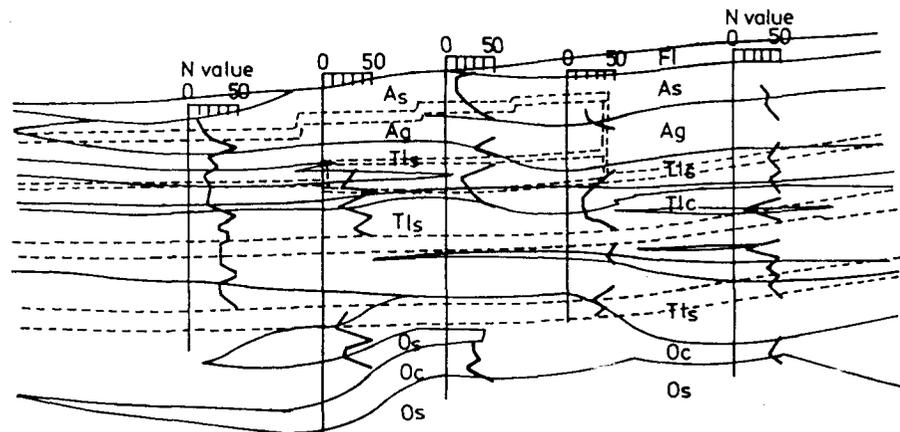


図-6.2 三宮駅付近の縦断方向の地質断面図

強度の関係が問題になる。

② 曲げ破壊

曲げモーメントの大きい柱上端部あるいは下端部のコンクリートが圧壊する。

③ 曲げ+せん断破壊 (土木学会第1次調査団報告より)

曲げモーメントによるひび割れが柱の円周方向に発生する。これらのひび割れのどれかを起点として、斜め方向のせん断ひび割れが発生する。せん断ひび割れの終端付近のコンクリートが圧壊する。この場合、断面が曲げ降伏先行の特性を有したか問題となる。

④ 衝撃破壊 (読売新聞記事より)

軸方向の衝撃力により、円筒状の鋼管柱やコンクリート柱の鉄筋の途中が膨れる衝撃座

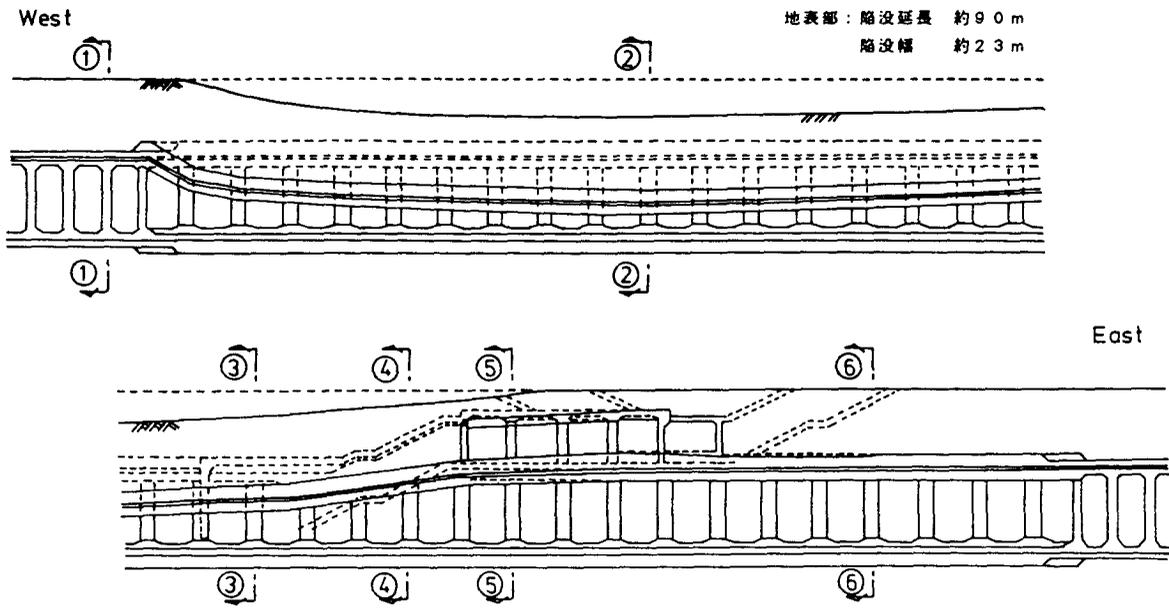


図-6.3 大開駅構内の被害状況の縦断図

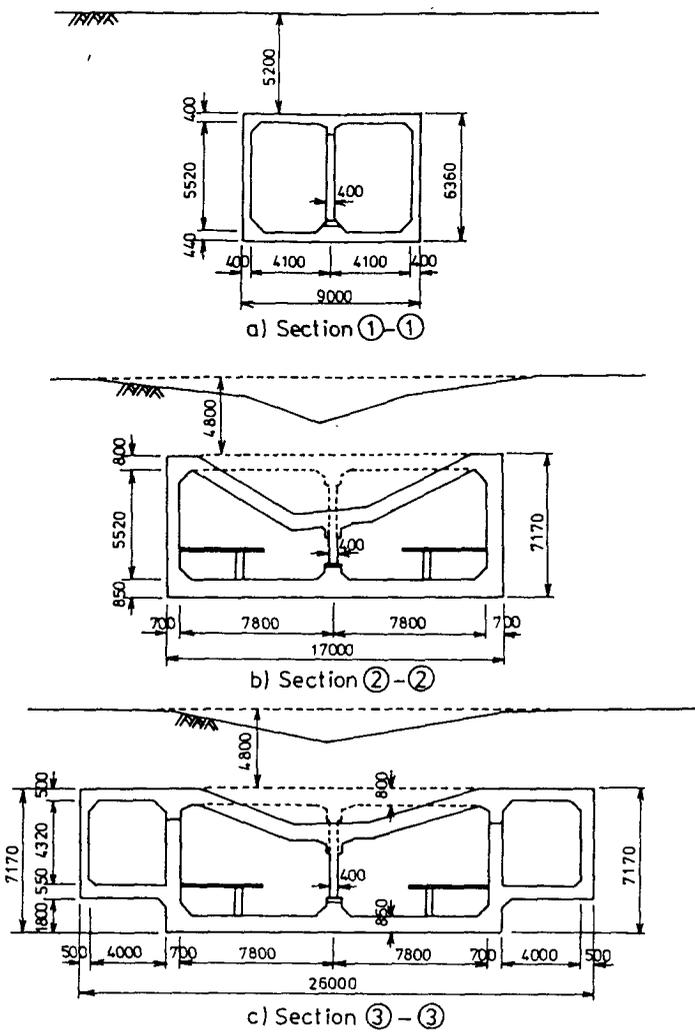


図-6.4 (a)~(c) 大開駅構内の被害状況の横断図

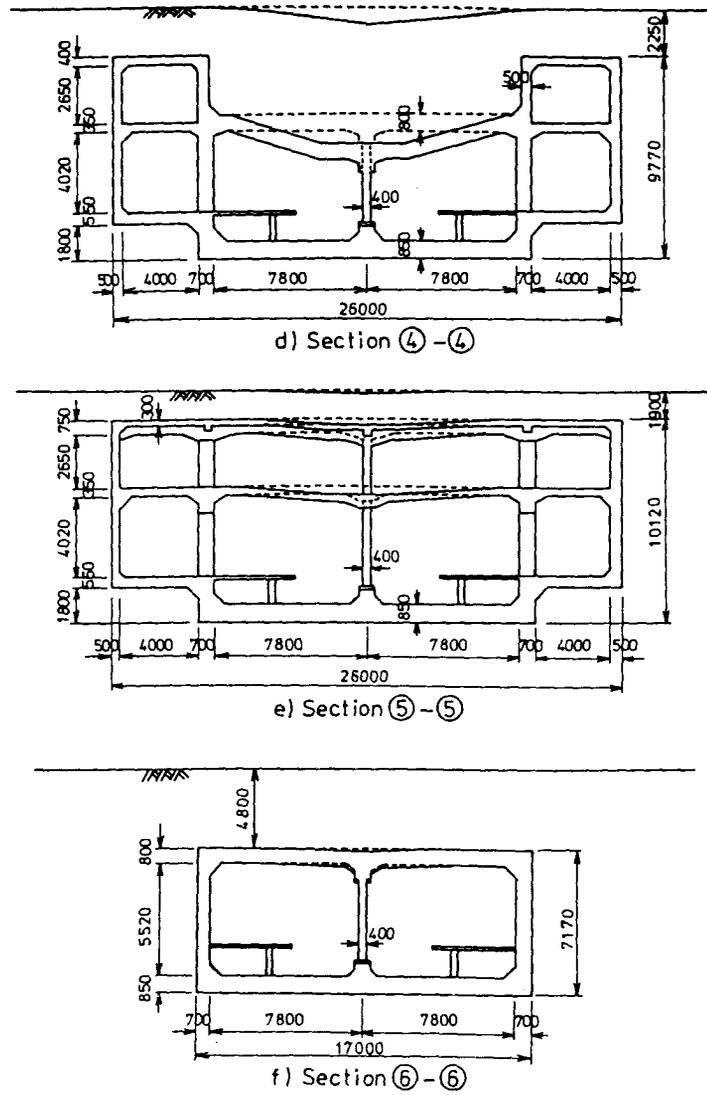


図-6.3 (d)~(f) 大開駅構内の被害状況の横断図

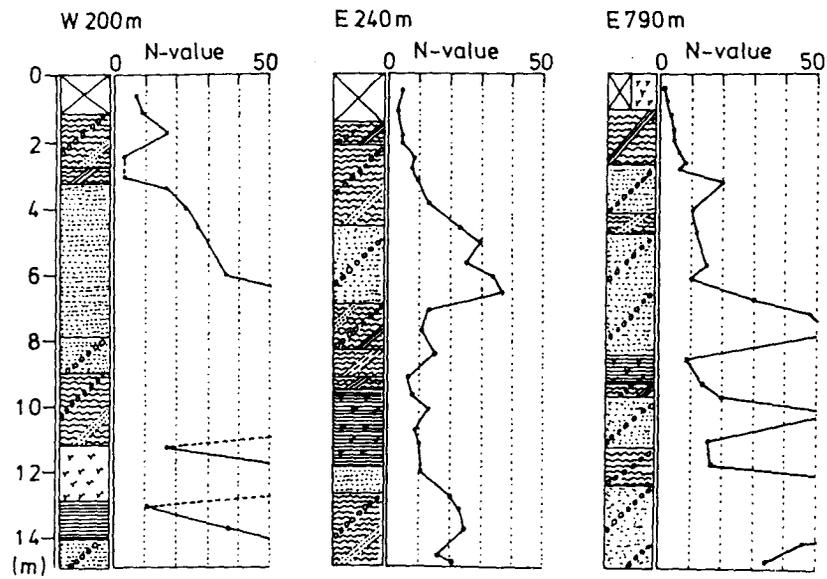


図-6.5 大開駅付近の土質柱状図

屈現象が生じる。

以上のような破壊形態が挙げられるが、これは結果論であって、なぜそのような力が作用するか考えてみる必要がある。

(a)②、③の破壊について

有限要素法を利用した解析により、大開駅構内の中柱の上端部に大きな応力が発生し、この部分の破壊から天井部の崩落に至ったメカニズムが報道されている（NHK報道より）。この場合、入力地震波は水平動のみを考えており、中柱はラーメン構造の一部としてモデル化されている。一般に、地中構造物は地盤と同じ動きをするため、地上構造物のように地中の函形構造物が過大な水平振動を起こすことはないと考えられてきた。しかし、この解析では構造物、とくに中柱に大きな水平振動が生じており、地表部近くのために地盤の水平剛性が小さいのか、地震入力自体が大きくなっているのか今後注目してみたい。また、大開駅について、側壁外側の地盤に亀裂が入り、函形構造物が地盤から離れて大きな水平振動を起こしたとする意見も見られる（読売新聞より）。これが事実なら、上記解析をサポートする一因となるが、地中構造物が地盤と離れて独立に振動するとは若干考え難い。

一方、大開駅部および線路部の函形ラーメン構造物に対する当時の設計では、中柱の上下端はヒンジ構造とされているはずである。すなわち、曲げ応力が発生することは考えていないため、上記解析を正当とするならこの点に対しても耐力を検討する必要がある。

(b)①、④の破壊について

この破壊については、上下動が深く関わりを持つことになる。まず、①については、土被りの小さい三宮の地下街に被害がないことから、開削工法と土被り厚を一つ要素として挙げている（読売新聞より）。開削工法のため、上下動加速度による埋め戻し土部分の慣性力が地下の函形構造物への過大な上載荷重として作用し、中柱に大きな軸力を発生させる。構造物全体の形状・寸法および柱の位置、形状・寸法が同一でないため速断はできないが、土被りの小さい地下構造物には被害が生じなかったものと考えられている。大開駅においても、土被りが薄い駅コンコース部には被害が見られない。上下運動と土被り厚の検討は今後の課題であろう。

一方、④については、橋脚などのように上部が固定とみなされる場合、上端からの反射波動と下側からの入射波動が重畳して、過大な軸方向応力が発生することが考えられる。④に関する記事では、地盤の上下動の粒子速度が30カイン以上であれば、衝撃工学で使われている公式よりコンクリート柱の衝撃座屈レベルに達するとしている。被害を受けた構造物の場合、コンクリートと土被り土のインピーダンス比の関係で衝撃力が土被り部分に逃げるのが考えられる。地下構造物の場合、橋脚と同様の考察が成り立つかについて検討を実施してみたい。

6.3 トンネル

6.3.1 神戸電鉄（会下山・東山・有馬トンネル）

神戸電鉄の長田・湊川間に位置する会下山および東山トンネルは、いずれも昭和3年完

成のトンネルであり、コンクリート覆工の内側にコンクリートブロックを手積みで仕上げたものである。会下山トンネルでは、天端、S Lおよびその中間に計5本の微小な水平クラックが観察された。最も大きな被害は東山トンネルで生じており、トンネルの平面位置を図-6.6、クラックマップを図-6.7、湊川方（東側）坑口付近で実施した地質調査の結果を図-6.8に示す。東山トンネルでは、両坑口付近で10mm程度に達する数本の輪切り状のクラックが目視できる他、ほぼトンネル全長に渡り天端部と南側の肩部に水平方向に目視で明確に分かるクラックが入っている。これはトンネルの南側から偏圧を受けたものと思われ、微小であるが、偏圧によるクラックは有馬トンネルにも見られる。なお、いずれのトンネルについても軌道には変状は全く観察されていない。しかし、ブロック積みの古いトンネルであり、目地詰材の劣化が明かに目視できるほか、トンネル壁面をハンマーで打撃したときの反射音から、ブロック壁のかなりの部分において地震動によって緩みが生じたものと思われる。また、ブロック自体の経年劣化も考えられることから、今後の列車運行時の安全性を確保するため、早急にトンネル覆工を補強・改修する必要がある。

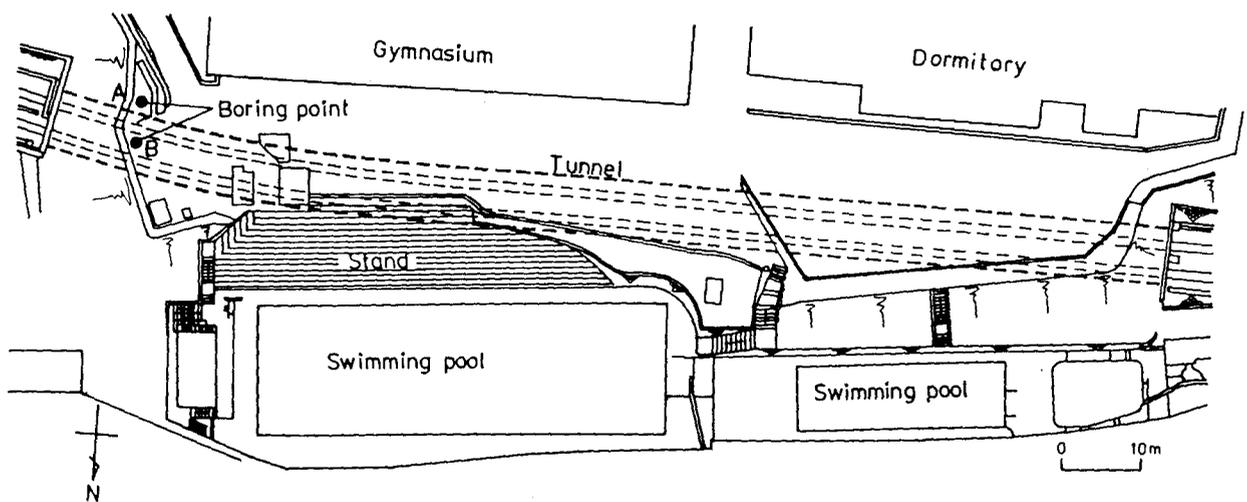


図-6.6 東山トンネルの平面位置

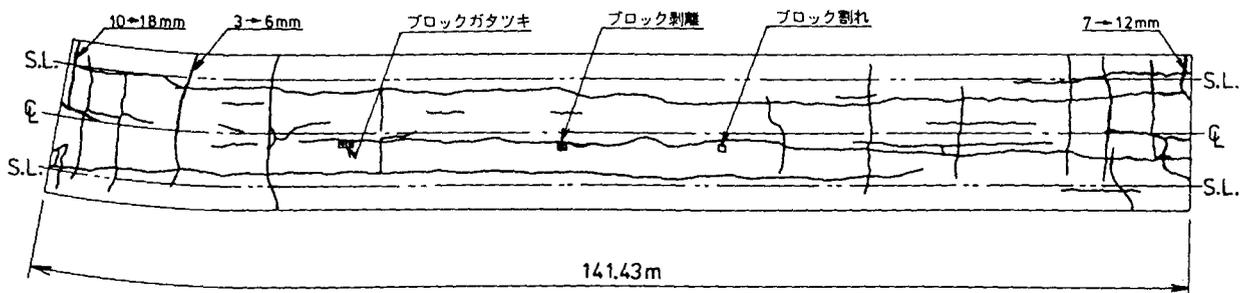


図-6.7 東山トンネルのクラックマップ

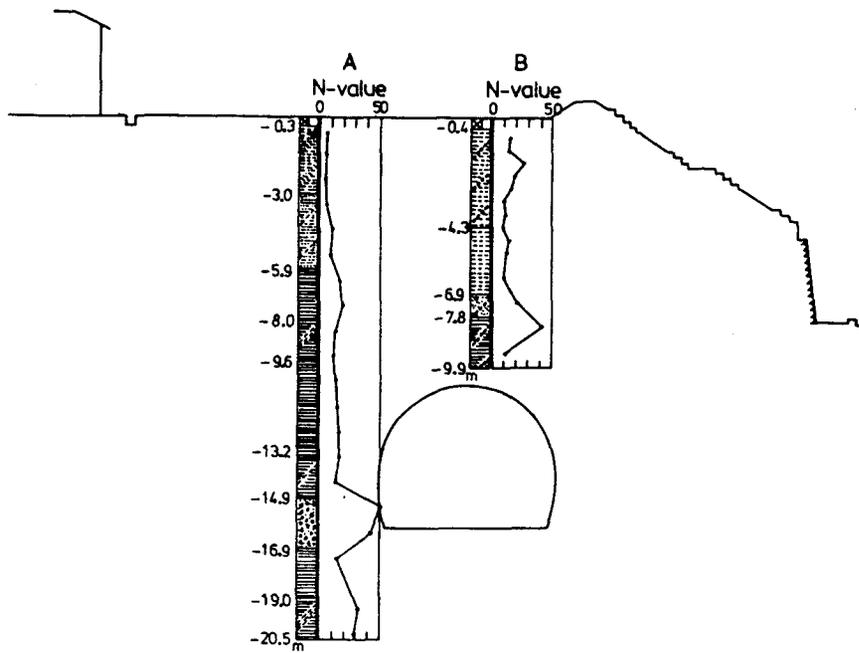


図-6.8 東山トンネル湊川方坑口付近の土質柱状図

6.3.2 塩屋谷川放水路トンネル

このトンネルはNATMによって掘削された全長1442mの水路トンネルである。トンネルはほぼ中央で横尾山断層と直交しており、その個所を挟んで上流側（北側）と下流側（南側）のトンネル覆工に図-6.9に示すような変状が生じている。これに伴って発生したクラックを図-8.10に、トンネル縦断方向の地質と変状位置を図-6.11に示す。筆者らは地表面踏査による断層の確認を行っていないため定かではないが、横尾山断層は動いていないとの報告が地質学者によってなされている。したがって、断層を挟んだ神戸層群と六甲花崗岩の両地層間に相対的な変形が生じ、この変形に対してコンクリート覆工

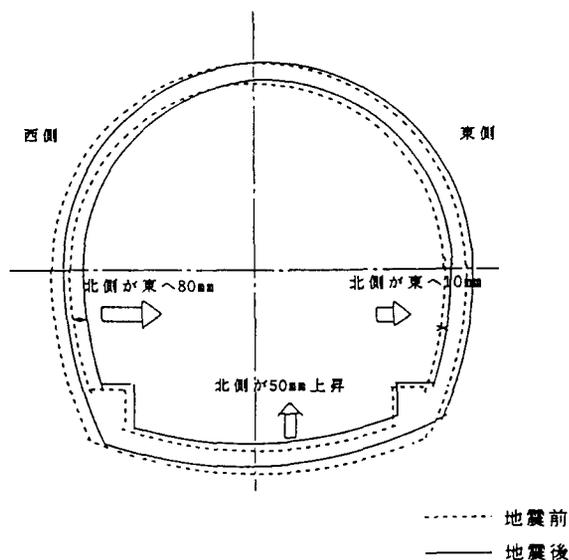
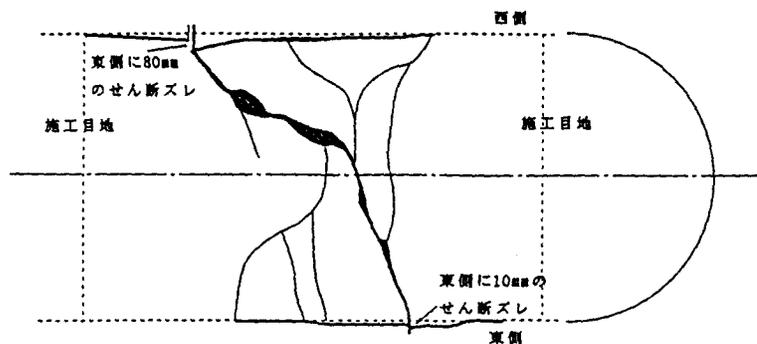


図-8.9 トンネル横断方向の変状

側壁からアーチ部の展開図



インバート部の平面図

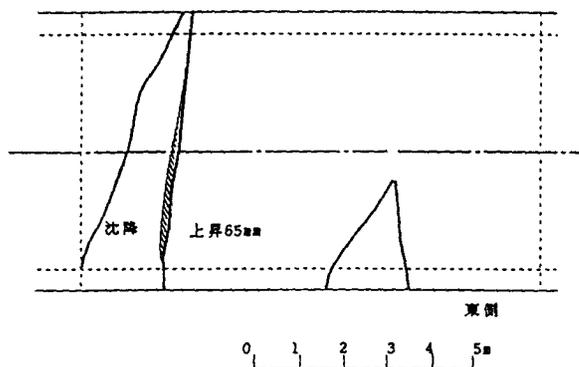


図-6.10 クラックマップ

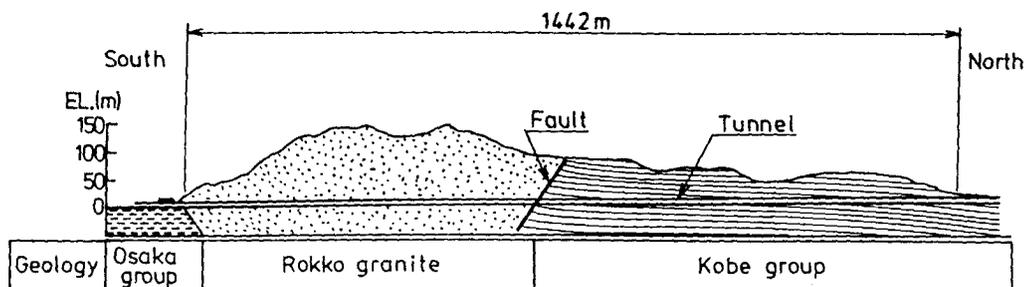


図-6.11 トンネル縦断方向の地質断面図

は横断方向のせん断剛性のみでは抗しきれずに破断したものと解釈できる。なお、破断面における覆工の変状は最終的に両地層間の永久ひずみとして残ったものであり、振動中の最大移動量については不明である。

6.3.3 兵庫県盤滝トンネル

NATMにより約4年前に完成した全長1766mのトンネルである。トンネルの平面位置と断層・断層破碎帯との平面交差状況を図-6.12に、トンネル縦断方向の地質を図-8.13に示す。このトンネルの西宮側坑口付近には五助橋断層が横断しており、トンネルから北北東に位置する宝塚では家屋の倒壊等の大きな被害があった。五助橋断層部では

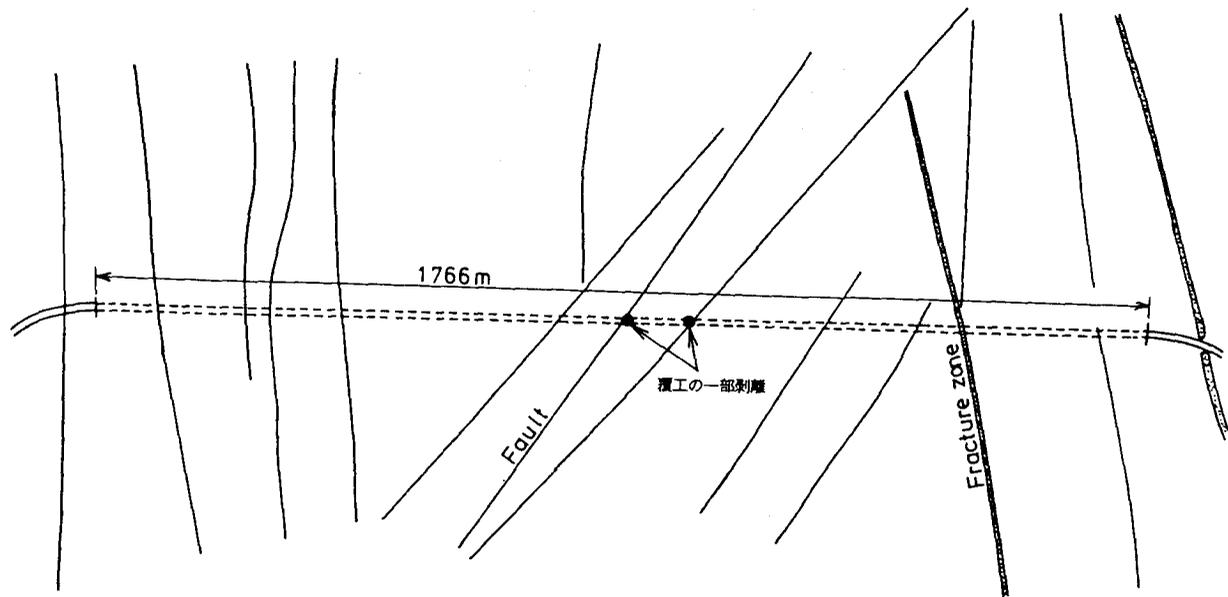


図-6.12 トンネルの平面位置

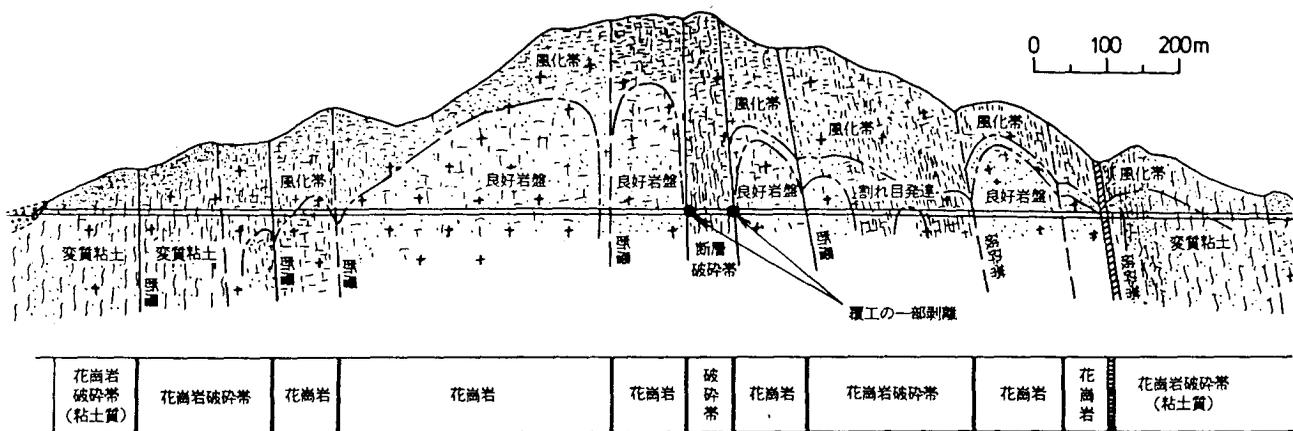


図-6.13 トンネル縦断方向の地質断面図

覆工に被害は生じていないが、トンネルを横断する多数の断層部において地層間に相対変形が生じたことは想像に難くない。被害が生じた個所はトンネル中央部付近の断層破砕帯で、鉄筋コンクリート2次覆工のコンクリートが一部剥離し鉄筋が露出した。また、その周辺にトンネル横断方向の微小クラックが発生したが、構造物は十分に健全であると認められた。なお、路面が一ヶ所、15cm程度盤ぶくれを生じているが、インパルトには変状が見られないため、その原因は調査中である。

山腹崩壊

附属土地造成工学研究施設 助教授 沖村 孝

1. 崩壊の特徴

兵庫県南部地震による山地崩壊の特徴を把握するため、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。

図-1はこの崩壊分布図の一部である¹⁾。この図は、住吉川上流の五助谷および紅葉谷の崩壊の様子を示す。この図に見られるように、今回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)露頭崖からの剥落が見られる、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²⁾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、7)不安定土塊の崩落である。写真-1は芦屋川上流斜面で見られた崩落で、角礫状の崩落土砂はここでは河床を一部閉塞している。しかし流水は貯留

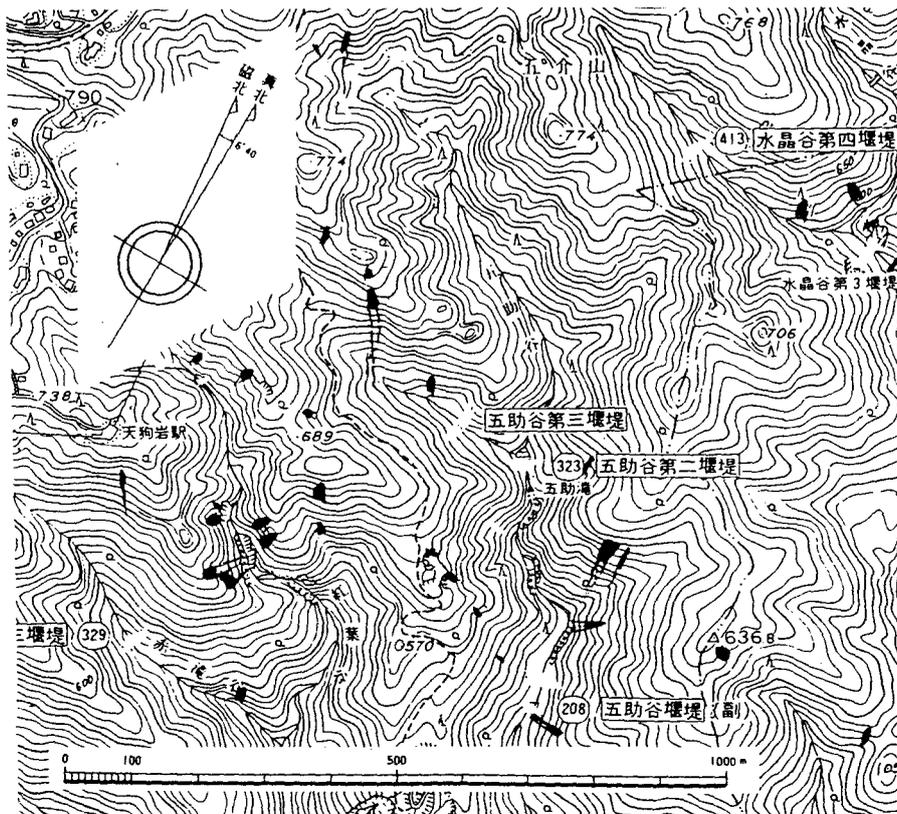


図-1 崩壊分布図の一部（住吉川上流五助谷および紅葉谷）

されずこの角礫内の空隙を流下していた。写真-2も芦屋川の様子であるが、写真右側の斜面が崩落しているのに対し、左側の斜面上には露頭した風化基岩が玉石状で崩落せずに残っている。このような玉石が何故に崩落しなかったかを今後考えていく必要がある。さらに、その他の特徴としては、8)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-3は灘区鶴甲老人ホーム東斜面で見られた崩壊にまで至っていない滑落崖の様子である。当該斜面は尾根の形状を示しており、尾根筋は登山道として活用されている。ここ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1mの滑落崖が出現した。当然コンクリート階段も破壊した。このような斜面はすでに破壊面が生じているため、今年の梅雨の豪雨による崩壊等の二次災害が懸念される。

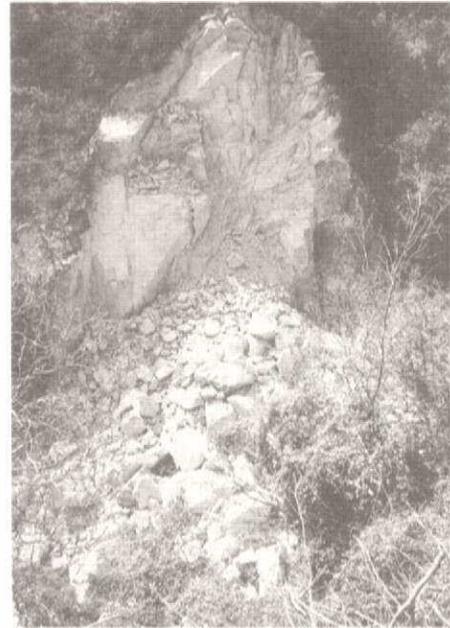


写真-1 山腹崩壊（芦屋川）



写真-2 山腹崩壊と玉石（芦屋川）

2. 崩壊分布

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³⁾。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-2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⁴⁾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、



写真-3 発生した滑落崖（灘区鶴甲）



図-2 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)

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関係しているのか、等が考えられる。現在では断層によってコントロールされた断層地形として出現する急崖あるいは急斜面部で発生した崩壊が、結果的に断層に平行に出現したものではないかと考えている。今後、等加速度分布図等を参考にして更に考察を進める必要がある。

3. 崩壊の方位

つぎに、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⁵⁾。図-3は今回の崩壊の各方位ごとの発生率を示す。この図によるとNW→SE系の崩壊が多いことがわかる。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

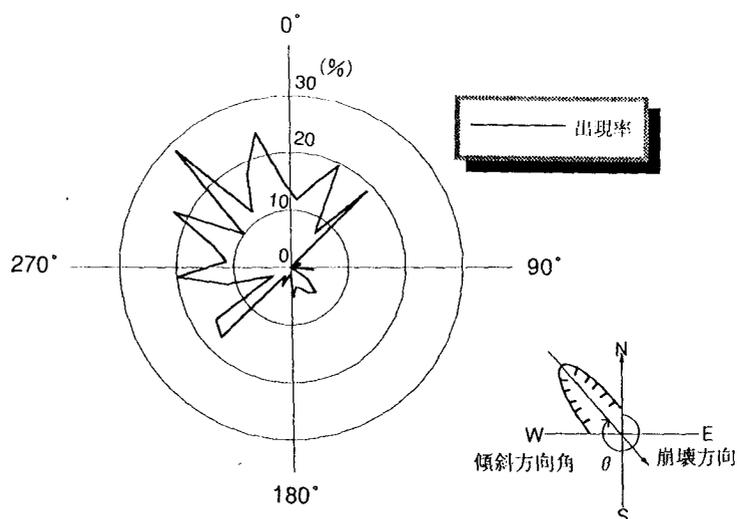


図-3 各方位の崩壊発生率

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、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。

4. 崩壊発生位置の局所地形量

今回の地震により発生した山腹崩壊がどのような地形立地条件にあるかを明らかにするため、図-2に丸印で示した神戸市中央区苧川谷、神戸市灘区鶴甲老人ホーム東斜面およびその西側に隣接する神戸市灘区六甲ケーブル西斜面をとりあげ、それぞれの斜面のブロックダイアグラムを作成した⁶⁾。なお、便宜上、上述した順に1、2、3の斜面番号を付けた。これらを図-4～6に示す。1の苧川谷では南面する急斜面に数多くの崩壊が分布していることがわかる。また、地震発生前の地形図には崩壊形状が描かれており、かつて崩壊が出現した場所であったことがわかる。また、2の鶴甲老人ホーム東斜面の崩壊はやせ尾根を境にして東側と西側に複雑な形状で崩壊が発生していることがわかる。地形図にはケバが描かれており、地震発生以前から急崖があったことがわかるが、今回の滑落崖はさらに上流側へ後退したことがわかる。一方、3の六甲ケーブル西斜面では大きな岩塊が2つ六甲ケーブル土橋駅近くへ転石として出現した崩壊である。ここでは尾根の肩付近から崩壊が発生していることがわかる。地形図にはケバが描かれており、地震発生以前から急なガケが出現していたことがわかる。

次にブロックダイアグラムを用いて、今回の崩壊発生位置の地形的特徴を定量的に把握

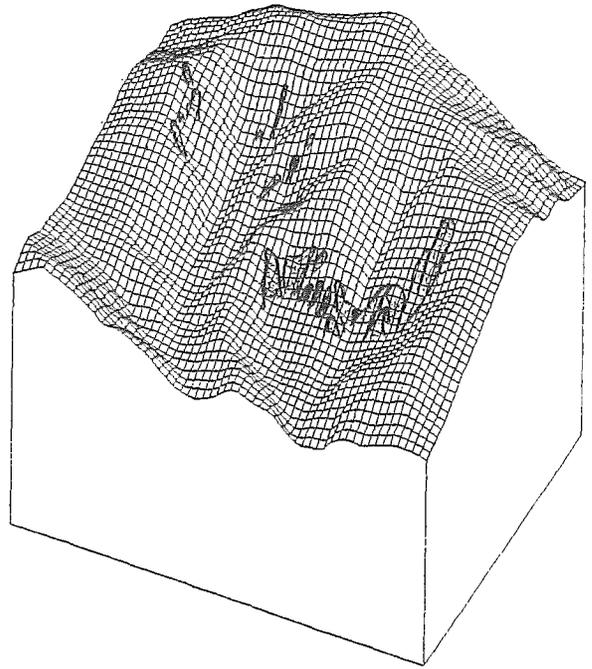
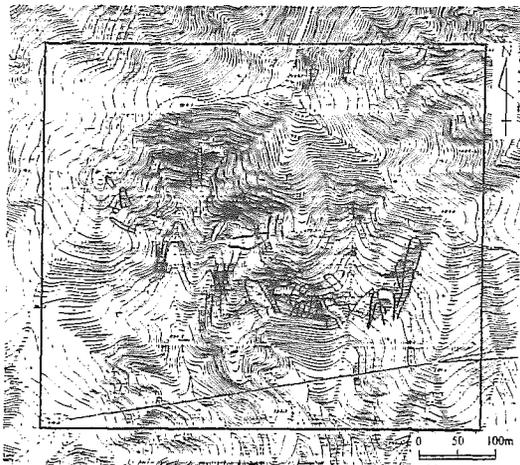


図 - 4 神戸市中央区芋川谷地区の崩壊
メッシュ間隔は10m

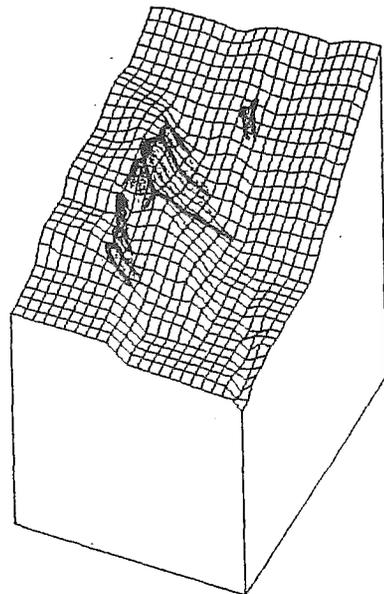
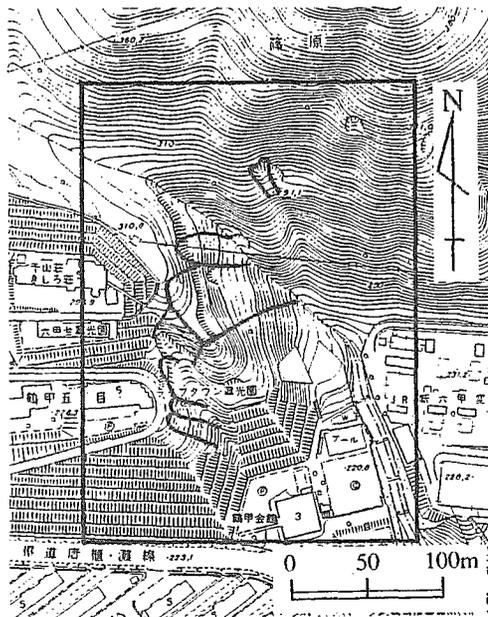


図 - 5 神戸市灘区鶴甲老人ホーム東斜面の崩壊
メッシュ間隔は10m

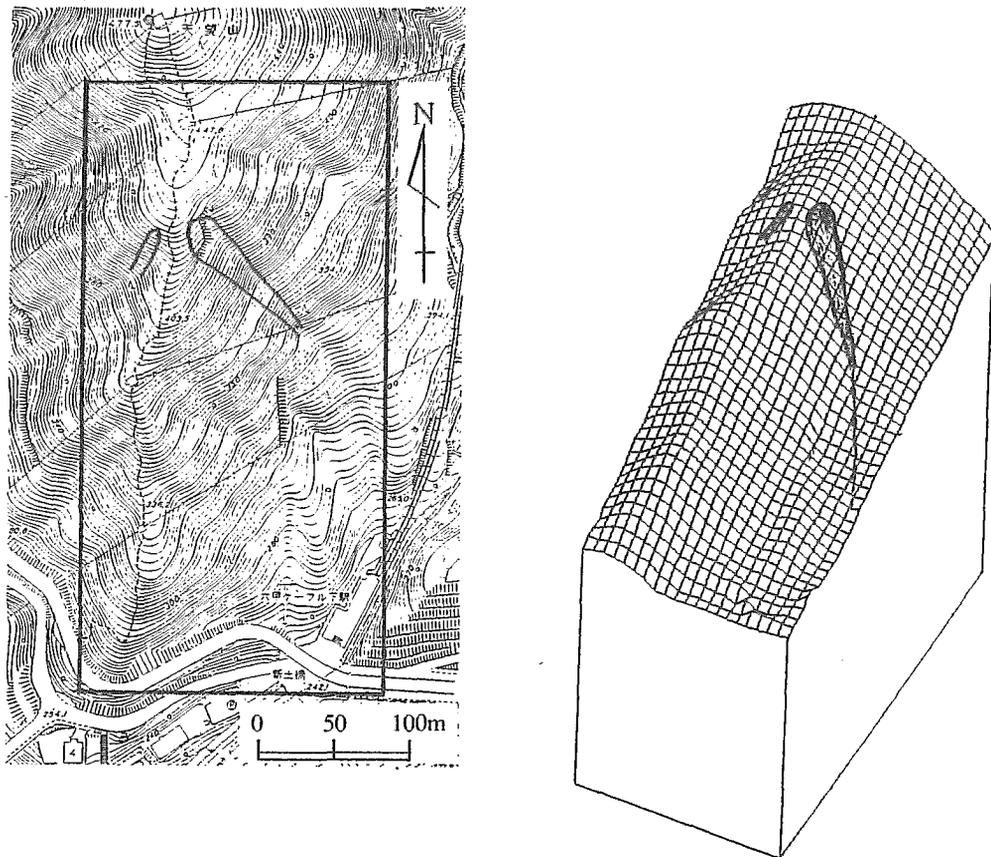


図-6 神戸市灘区六甲ケーブル西斜面の崩壊
メッシュ間隔は10m

することを試みた。そのために比高、傾斜、偏差等の局所地形量を算定した。それによると今回の地震による崩壊は、凹凸の大きな急な斜面で崩壊が多発しているということが明らかになった。

参考文献：1)神戸大学工学部建設学科土木系教室 兵庫県南部地震学術調査団：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書（第1報）、81p.、1995. 2)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. 3)沖村孝：兵庫県南部地震による山地崩壊の概要、砂防学会「兵庫県南部地震に伴う土砂災害に関する緊急報告会資料」、pp.9-14、1995. 4)藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質、地質調査所、1983. 5)沖村孝：山腹斜面・宅地造成斜面の災害、土木学会阪神大震災震災調査第2次報告会資料」、pp.163-168、1995. 6)神戸大学工学部建設学科土木系教室 兵庫県南部地震学術調査団：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書（第2報）、301p.、1995.

臨海埋立地・港湾

建設学科（土木系） 助教授 田中泰雄

今回の地震では、神戸・芦屋・西宮・尼崎地域の臨海部において、これまで液状化が起これにくいと考えられていた埋立地盤でも液状化現象が発生し、臨海埋立地や港湾施設に大きな被害が発生した。ここでは、どのような地震被害が臨海部で生じたかを説明するとともに、臨海部での震害を理解するうえで必要な臨海部の地盤状況や、埋立地での液状化現象について考察する。まず最初に、臨海部での地盤状況から考えてみよう。

1 神戸および阪神地域臨海部の地盤状況について

神戸市街地域は、周知のように北部の六甲山系と南部の海岸地域に挟まれた、東西にのびる細い帯状の地域からなるが、このような地形は今回の大震災の原因となった六甲山造山活動に伴う基盤隆起により形成されたものである。この造山活動は約50～60万年前より開始されたとされ¹⁾、その後も六甲山系花崗岩の基盤は上昇を続け、同時に南側の大阪湾の海底は沈降を進めながら堆積層の厚さを増加させている。この六甲造山活動に伴う地殻変動の過程で、六甲山系に沿って幾つかの断層が形成された。六甲山系の断層は逆断層として知られ、北側に向かって深度が大きくなっている。また、出来上がった山地地形は浸食を受けて土砂が運搬されるため、山腹に段丘と呼ばれる階段状の堆積層が形成された。これらの段丘層の多くは、大阪湾海底の洪積層の堆積物を覆うように形成されており、このような地形が神戸市街地の山裾近くに多く見られる。最後の氷河期の後に地球規模の温暖化によって海水面が上昇し始め、神戸市街地の海側には沖積層が堆積され始めた。特に縄文海進と呼ばれる温暖化の時代には海面上昇が約2～3mの規模で生じ、京阪神地区の広範囲の地域が海域となり、内陸部まで海成の沖積粘土が堆積された。その後、気温低下により海水面が降下して現在の海岸が形成された。

図-1は、上記のような過程で形成された神戸市街地の南北方向の典型的な地層断面を示したものである。図から分かるように、神戸市街地の多くは砂及び砂礫を主体とする比較的良質な材料によって覆われており、海岸部に沿って下部に軟弱な沖積粘土層が堆積している。周知のように、神戸ポートアイランドや六甲アイランドは、この軟弱沖積粘土の上に埋立柱を投入して造成されたものである。埋立造成地の下部の地盤構成については後述することとし、次に阪神地域の地盤について述べる。神戸の東に隣接する芦屋はおおむね神戸と同様な地盤構成であるが、西宮から尼崎地域では淀川、猪名川、武庫川の河口近くに位置するため、大阪平野を形成する沖積堆積物の厚さが急激に増加する。特に先述の縄文海進の影響は西宮・尼崎では現在の名神高速道路近傍を北限とする地域まで広がる。このため、縄文海進以降には、軟弱沖積粘土を覆うように沖積砂層が地盤上部を覆っている。この沖積砂層は、堆積時期が新しくして締固めの程度も低いために、液状化に対する抵抗は大きくない。このため今回の震源からの距離が大きいかかわらず、後で述べるよ

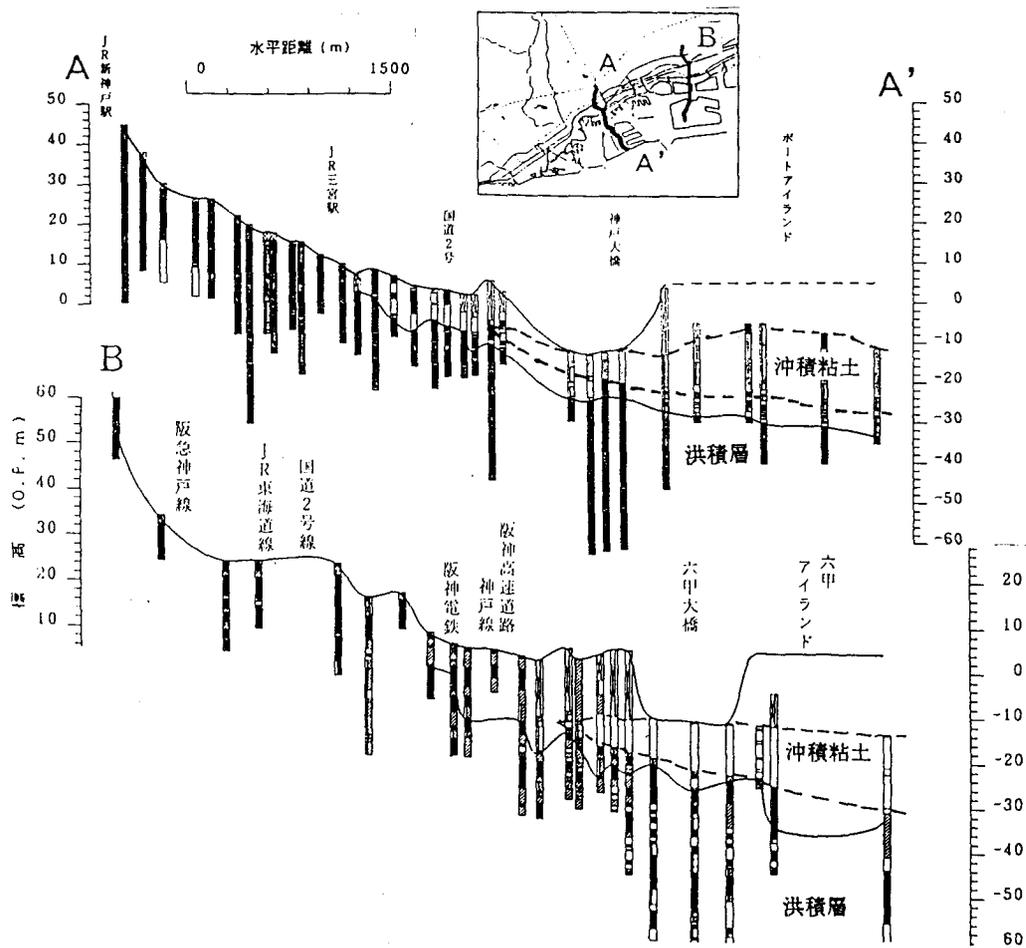


図-1 神戸地域の地質断面（「関西地盤」³⁾に加筆・修正）

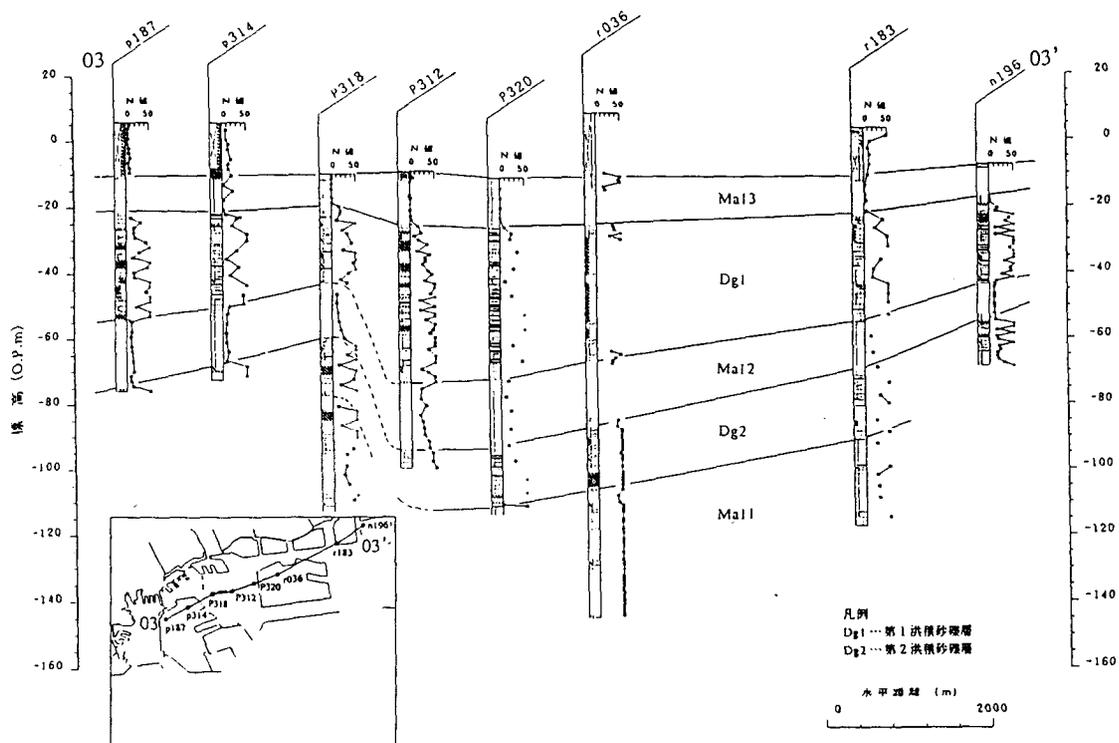


図-2 神戸地域の海底地盤地質断面（「海底地盤」²⁾）

うに淀川河口付近においても液状化の被害が発生した。

次に神戸地域の海岸に沿った地盤構成を示したものが図-2である。図から分かるように、臨海埋立地の下部には厚い沖積粘土層 (Ma13) が堆積しており、その下には洪積互層と呼ばれる砂と砂礫を主体として薄層の粘土を含む厚い地層 (Dg1) が連続しており、さらにその下には洪積粘土層 (Ma12) が堆積している。特徴的なことは、図-3に見られるように、洪積互層の厚さとMa12層の堆積深度が神戸地域に向かって急激に増加することである。また同図に示すように、ポートアイランドと六甲アイランドとの間で、Ma12層の標高に急激な変化が見られるが、これは従来の六甲山断層系が示す北東-南西方向の走向とは共役の方向を持つ構造線であると考えられている。

2 臨海地域における被害

ここでは代表的な臨海地域の地震被害として、a)淀川河口付近、b)西宮甲子園埋立地、c)南芦屋浜埋立地、d)六甲及びポートアイランド、e)長田港での被害について述べる。

a)淀川河口付近：まず淀川河口付近における被害であるが、代表的なものは淀川左岸堤防の崩壊や、尼崎港の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、既に新聞等で報告されており河口に沿って堤体約2kmが崩壊した。一方、尼崎閘門での液状化では、暗黒色の沖積砂が噴砂を生じており、付近の護岸構造物も沈下している。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、早急に対策が講じられるべきである。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、尼崎内陸部においても広い範囲で緩い沖積砂が堆積しており、その沖積砂が液状化を生じて家屋に被害を生じている。尼崎地域や淀川河口付近に堆積した沖積砂の液状化は、後述の埋立地の液状化とは異なり、中程度の震度で被害が発生すると考えられ、今後予想されるような太平洋海底プレートの活動による地震に対して十分な注意が必要と判断される。

b)西宮甲子園埋立地：甲子園埋立地は面積約80haの埋立地であり、水深は約7~8mである。一般的にこれらの臨海埋立地は、軟弱な沖積海底粘土地盤上に砂質土材料を用いて埋立造成されたものである。また埋立地の周辺護岸としては、一般的には軟弱粘土を床掘りして良質な砂で置換した後に、ケーソンと上部L型コンクリート護岸を組み合わせる護岸を構築している。西宮甲子園埋立地の北部には阪神高速道路湾岸線が通り、南部には西宮市下水処理場が建設されている。今回の大きな地震被害として阪神高速道路湾岸線の落橋現場が挙げられる。被害は甲子園埋立地と西側の西宮埋立地とを結ぶ西宮大橋の東部橋脚への取付高架橋梁桁が落橋したもので、埋立護岸が大きく海側へ側方流動しており、背後の埋立地においても広範囲に渡って液状化現象が観察された。このような護岸の側方流動と後背埋立地の液状化現象が同時に並列して生じていることが、今回の埋立地での地震被害の特徴であり、他の埋立地においても同様な現象が観察された。橋梁基礎などが護岸の近傍に建設された場合、当埋立地のように橋梁基礎に水平変位が生じて、高架構造物の落下につながった模様である。

c) 南芦屋浜埋立地：南芦屋浜埋立地は、主に良質なまさ土を用いて造成されている。当埋立地は埋立経歴が浅く、造成完了後の施設としては北岸沿いに阪神高速道路が建設されているだけである。当埋立地の護岸構造には種々な形式が採用されている。例えば島内に建設されたマリーナ護岸では、改良地盤の上にケーソンが設置されているが、ケーソンは水平に移動し、多少の沈下が生じているようである。南西の護岸では改良地盤の上に捨石護岸が構築されているが沈下が生じている。埋立地の南護岸は置換え砂の上に直立消波ケーソンが設置されているが、沈下及び側方流動が生じているようである。一方、埋立地北部の東及び西護岸近傍に阪神高速道路湾岸線の大型橋梁基礎が建設されているが、護岸の側方流動の影響を受けて上部橋梁桁と橋梁基礎との取付けに被害を受けている。

b) 六甲及びポートアイランド：六甲アイランドは面積580haの埋立地であり、水深は最大15mと比較的大水深用の護岸を持つ人工島である。本島の埋立造成には、主に泥岩を主体とする神戸層群の土砂が用いられている。ポートアイランドは面積436haの第1期埋立部分と、その南側に面積390haの現在造成中の第2期埋立部分からなる。水深としては、第1期部分では約10～12mであるが、第2期部分では約15～18mと大水深となっている。ポートアイランド第1期埋立ではまさ土が埋立材料に使用され、第2期埋立では泥岩質土の神戸層群が多量に使用されている。

六甲アイランドでは、コンテナヤードでの護岸の側方流動が大規模に起こり、南端護岸ではコンテナクレーンの倒壊が生じており、島内では液状化現象が観察された。また西宮甲子園埋立地と同様に、六甲ライナー高架桁が島の北端護岸付近で落橋している。液状化現象については、埋立材料が泥岩質土が主であるため後述のポートアイランドに比べて広範囲ではないが、島内道路の各所で灰色土の噴出跡が確認された。ポートアイランドでは六甲アイランドに比べて、多量のまさ土が液状化で噴出された感がある。護岸の変状としては、島内の5ヵ所で断面プロファイルを測量している。典型的な断面を示すと図-3のようであり、ケーソン直上近くの護岸表面は海側に傾斜し、その背後の陸側部分は護岸に引きずられるように水平移動しながら、護岸背後で大きな陥没を示している。

d) 長田港：神戸港域の西部に位置する長田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。長田港の防波堤は、傾斜あるいは沈下しており、ケーソン下部の置換え砂の調査が必要で

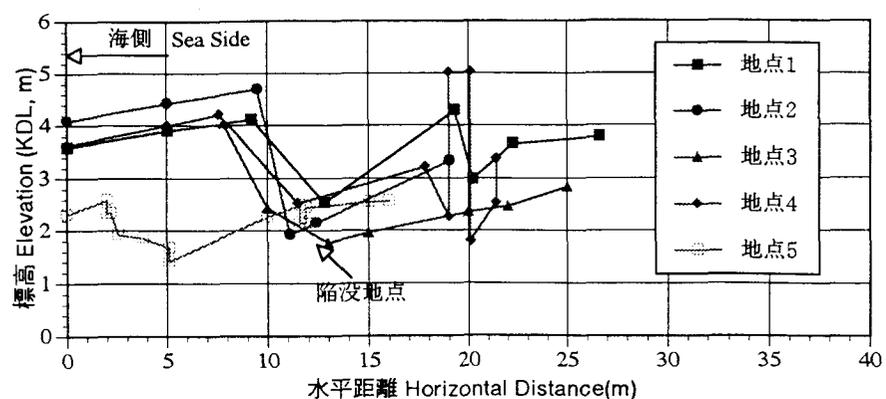


図-3 ポートアイランド護岸の変状測量図

ある。

3 埋立層の液状化について

埋立層の液状化現象について、ポートアイランドの北西部における深度別地震波記録を用いて考察する。ここでは深度方向に4カ所の位置 (KP-79m, -28m, -12m, 地表(KP+4m)) で神戸市開発局により地震波計測が実施されている。計測では水平方向2成分と鉛直方向の記録が得られているが、その内の南北方向の記録を整理し深度別の比較を行ったものが図-4である。なお、地層構成としては先の図-2の左端ボーリング孔に示されている。

図のように200gal近くの大きな揺れが、計測開始から約13秒後に深さ-83m(KP-79m)の位置で観測され、その約1.5秒後に680gal近くの大きな揺れが計測されている。このよ

うな大きな揺れは約10~15秒継続したが、図ではその初期部分のみを比較している。各標高における地震波の形状を比較すると、標高-79mから-12mの間では若干の波形の変化はあるものの、ほぼ対応した揺れが計測されている。一方、地表面の波形は大きな揺れが1~2波到達した後に、他の標高に比べてスムーズなものとなっており、盛土層が地震直後に液状化を生じている様子がうかがえる。図から判断すると、盛土層が液状化に達するまでの時間は大きな揺れが開始してから約2秒の間と考えられる。今回の地震では、内陸部での家屋などの建造物の崩壊も地震開始後瞬時であったと報告されており、同様な傾向が埋立層についても観測される。

参考文献

1) 藤田和夫・笠間太郎

(1983): 「神戸地域の地質」, 地域地質研究報告, 地質調査書

2) 土質工学会関西支部「大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会」(1995): 「海底地盤」-大阪湾を例として-, 3) 土質工学会関西支部(1992): 「関西地盤」

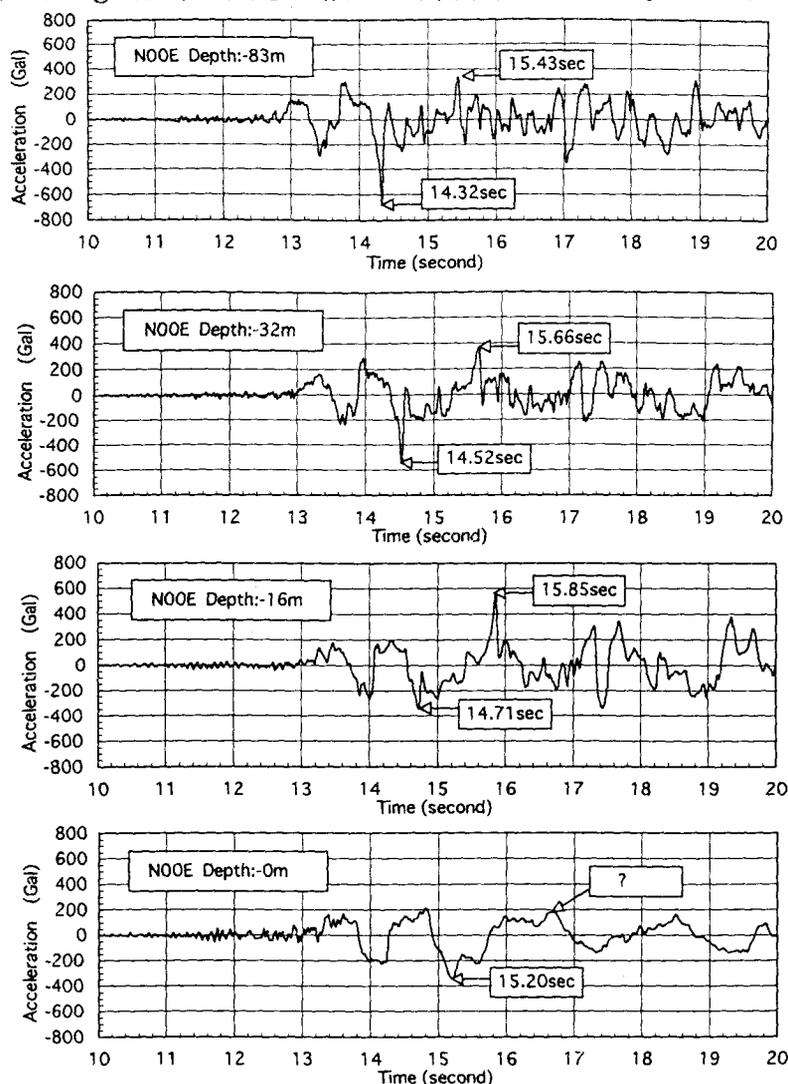


図-4 ポートアイランドの地震波計測結果 (神戸市開発局)

河川構造物の被害

建設学科 教授 神田 徹
建設学科 助教授 道奥 康治

1. 概要

大阪市北部・尼崎市の沖積地河川および西宮市・芦屋市・神戸市を流下する「表六甲河川」を調査対象とした。H.7.1.20より関係諸機関(建設省, 兵庫県, 神戸市, 大阪府など)のご協力を得て河川構造物の被災に関するヒヤリングと資料収集を行い, 現地踏査を行った。大きな被災箇所では緊急復旧が行われており, 河川構造物被害による二次災害は起こらなかった。

2. 淀川水系

淀川水系の主な被災箇所を図-1に示す。本川区間では①②③の箇所で大きな被災があった。



図-1 淀川水系の主な被災区間

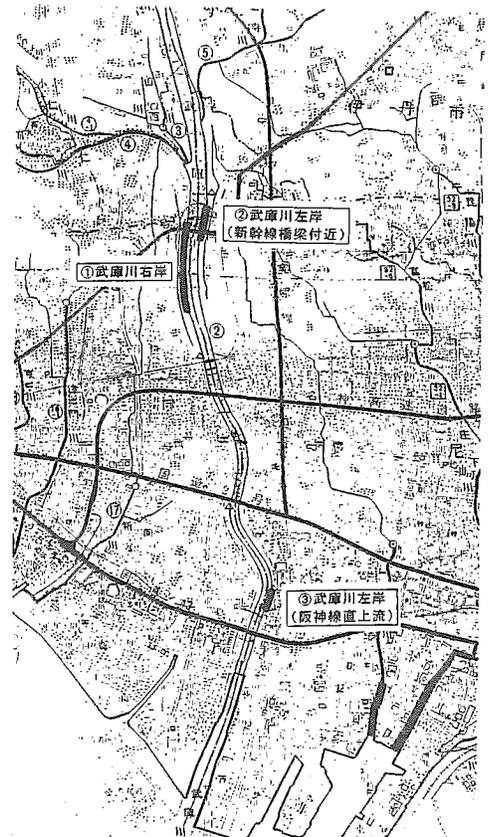


図-2 武庫川の主な被災区間

①西島(とりしま)地区(淀川本川左岸河口 0.2km ~ 2.0km の区間)

液状化と側方流動による堤体の沈下・崩壊,護岸のはらみ出し,天端での縦横断方向亀裂などが見られた.堤体の最大沈下量は約 3m に達している.緊急復旧の様子を写真-1に示す.

②西島(にしじま)地区(淀川本川右岸河口 1.1km ~ 1.9km の区間)

天端の縦横断方向亀裂・陥没,裏法面のはらみ出し,法尻崩壊等が見られた.堤内地側の法尻には液状化が見られた.

③高見(たかみ)地区 (淀川本川左岸河口 2.5km ~ 2.7km の区間)

パラペット部と堤防天端間のずれ,天端亀裂,護岸・裏法裾部破損,法面の堤内地側へのはらみだし,堤内道路の盛り上がりなどが見られた.

④正蓮寺川左岸(千鳥橋直上流)

L型パラペットの堤内地側天端に縦亀裂が生じた.松杭で支持されたL型パラペットに顕著な沈下は見られない.天端をはがし土砂をならず緊急復旧工事が施工されていた.

⑤藻川右岸(藻川-猪名川合流点 0.4-0.6km 地点,「東園田橋-藻川橋」の区間)

東園田橋の取り付け部では堤防が沈下し道路と堤体との段差が生じたが復旧されている.堤防の天端の縦横断亀裂,低水護岸の崩壊,表小段の崩落,法面根固めの浮き上がり,高水敷での噴砂(写真-2)などが観察された.噴砂の見られるところでは堤防に陥没・亀裂などが見られた.

⑥猪名川左岸(高潮特殊堤)

低水護岸からパラペットに至るまで全断面スケールの横断亀裂が生じ,低水護岸が川側へはらみ出している箇所があった.

⑦神崎川左岸(左岸 10km 付近(加島))

RC摩擦杭で支持されたL字型パラペットと堤体とのずれにより天端で縦亀裂が延長約 700m にわたって発生していた.堤内地では道路面の盛り上がりや噴砂などが観察された.

⑧左門殿川左岸(佃島の「左門殿川-神崎川」分派点)

「一線堤-タイロッド-錨堤板」が一体的に動いて天端に段差が生じた.被害延長は約 300m であり,堤内地側では液状化が見られる箇所がある.「左門殿川-神崎川」分派点において6スパンの擁壁が川側へ傾斜,一部の擁壁は約 0.15m 沈下しているところがあった.

⑨神崎川右岸(佃島の「左門殿川-神崎川」分派点より下流に向かう地点)

裏法面の排水路周辺で噴砂と液状化が見られた.堤防と堤内地側に大きな段差が生じていた.近くの堤内地(公園)には約 0.8m 程度の段差を伴う地割れがあった.

⑩中島川右岸(2km-6km)

特殊堤の継ぎ目がずれて,裏法尻から漏水が生じていたが(写真-3),堤防の前面に矢板を打設する復旧工事により止水された.パラペットのずれや崩壊,堤防天端の陥没,法面・法肩の崩壊などが主な被災形態であった.道路の取り付け部や架橋部での堤体の崩壊が多いことが特徴的である.

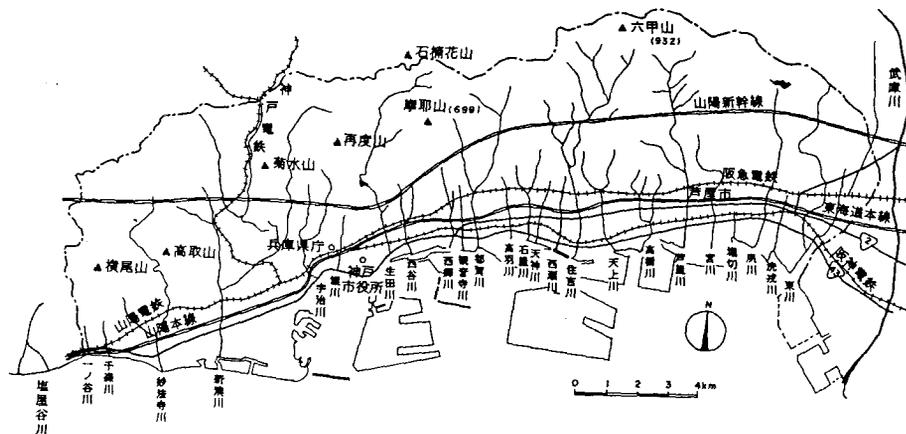


図-3 表六甲河川(文献1)に加筆)

3. 武庫川

顕著な被災箇所は図-2の①②③の箇所である。

① 右岸(国道 171 号線より下流の右岸)

天端道路に多数の縦横断亀裂が生じていたが(写真-4), 仮復旧工事により舗装修復された。堤防の沈下, 法面のすべり, 路肩・高水敷の亀裂などが各所で見られた。

② 左岸(JR新幹線橋梁からやや上流までの区間)

堤体の沈下, 法面の波打ち・はらみ出しが見られた。橋梁部では天端が沈下しており緊急復旧工事が行われていた。

③ 左岸(阪神線の直上流)

堤内地の空き地で噴砂・液状化が生じ, 煉瓦塀が倒壊した。液状化区間では堤防が沈下しており, 仮舗装が施工された。

4. 表六甲河川

「表六甲河川」を図-3に示す。東川左岸の堤内地(津門中央公園)においては大きな地割れが見られ, 東川の兩岸の護岸は崩落していた。東川右岸に隣接する六湛寺川(西宮市雨水幹線)では, 写真-5のように河床のコンクリート床版が隆起するというきわめて特異な断面破壊が発生していた。建物被害の集中した天井川においては, 空石積み護岸の崩落, 天端道路の地割れをともなう護岸の崩壊などが典型的な破壊形態であった。河川断面が狭小で密集した住宅と連担している箇所では, 護岸の崩壊とともに隣接家屋が倒壊し河積が減少しているところも見られた(写真-6)。

謝辞

本文の作成にあたり建設省, 大阪府, 兵庫県, 神戸市, 中日新聞の関係各位にご協力頂いた。

参考文献

- 1) 表六甲河川：兵庫県神戸土木事務所, 1993年3月



写真-1 上空から見た淀川左岸西島地区の被害と緊急復旧（協力：中日新聞）



写真-2 藻川右岸の高水敷における噴砂



写真-3 中島川右岸（尼崎市）裏法尻からの漏水状況（1月22日）



写真-4 武庫川右岸（図-2の①）における天端の縦横断亀裂



写真-5 六湛寺川（西宮市雨水幹線）における河床板の隆起 ↑



写真-6 倒壊家屋の建材が河道内へ落ち込んでいる箇所（神戸市灘区高羽川） →

下水道施設被害

建設学科 助手 神吉 和夫

1. 被害の概要

下水道は衛生的な居住環境を確保するための社会基盤施設である。同じ衛生施設である水道が多く地域で機能停止に陥り、被災・復旧状況が連日詳細に報道されたのに較べると、全般的には被害程度が軽いか被害が顕在化しなかったといえる。

兵庫県下の下水道では、H.7.3.15現在、公共下水道（神戸市・尼崎市・明石市・西宮市・芦屋市・伊丹市・川西市・宝塚市）で下水処理場18カ所、ポンプ場47カ所および管渠延長315.8km(全延長6,931.7km;要復旧延長比率4.6%)の被災が確認されている。また、流域下水道では猪名川流域下水道と武庫川流域下水道で、処理場4カ所、ポンプ場3カ所の被害が確認されている。しかし、下水処理場は神戸市東灘下水処理場を除き応急処置で震災前の機能が回復し、ポンプ場もすべての施設で機能が回復している。また、管渠も要復旧延長の67.1%が仮復旧しており、通水率は98.5%(通水率は損傷を受けていても通水可能な管渠を含む)となっている。

2. 神戸市公共下水道の管渠被害

神戸市の下水道は大部分は、雨水と汚水を別の管渠で流す分流式を採用している。H.5年度末における処理区域内人口は1,470,000人でその普及率は97.4%である。管渠延長は汚水3,315km、雨水484km、汚水管整備区域面積は16,000haである。下水道管渠は第一次調査でH.7.1.22現在、マンホール異常、路面異常、管路の破損・閉塞、土砂の流入・堆積、その他が合計1,414件確認された(表1)。これらは垂水区から東灘区に至る被災地については地表面、マンホール内および管の目視による調査、また、北区・西区は道路管理者による道路情報を基に調査した結果である。

表1 神戸市下水道管渠の被害(一次調査)

引き続き第一次調査で被害が大きいと予測された区域汚水管については第二次調査が実施された。調査の結果、H7.3.9現在、汚水幹線では32幹線(延長83.9km)のうち23幹線で一部破損(被災延長としては4.273km)が確認されている。汚水枝線の被災状況を表2に、雨水幹線の被災状況を表3に示す。

大部分の下水管渠は周辺地盤と同じ動きをしたため被害が小さかったと推

H.7.1.22現在

被害	汚水管	雨水幹線	合計
マンホール異常 (浮上・沈下・ブロックのズレ等)	672	138	810
路面異常	314	58	372
管渠の破損・閉塞	76	57	133
溢水	0	0	0
土砂の流入・堆積	41	4	45
その他	44	10	54
合計(単位:件)	1,147	267	1,414

定される。埋立地では液状化が発生しているが、人孔の浮上・沈下も少ない。下水管渠は、圧力送水する水道と異なり、水が管内を自然流下するように設計されており、管渠にクラックが発生しても水圧により破損が拡大する恐れは少ない。しかし、管渠外への汚水の漏水による土壌・地下水の汚染の心配があり、管渠内への地下水等の滲水の対策のためにも順次改修していく必要がある。

なお、旧外国人居留地には明治初年、イギリス人技術者J・W・ハートが敷設した煉瓦造り円形管と卵形管下水道があり、現在も一部は供用されている。全壊した旧十五番館(重要文化財指定)の脇の歩道にある公開展示施設をみると、上部展示の卵形管は破損していたが、供用中の本管の被害は軽微のようである。

3. 東灘下水処理場の被害

東灘下水処理場は神戸市の中央区東部以東、既成市街地の東半分を処理区域とする。S.34から海岸埋立造成し魚崎分場(屎尿処理施設)でS.37.10供用開始した。運河を隔てた東部海面埋立地第3工区に

東灘下水処理場本場を建設、S.46.6供用開始した。処理場の特徴は阪神電鉄以南の320haが合流式、灘・東灘区の「灘五郷」の酒造排水を受けることである。処理人口は計画399,000人、現況353,500人、処理場敷地面積1,746ha、処理能力225,000m³/日、平均処理水量はH.5年度で162,000m³/日である。処理方式は標準活性汚泥法を採用し、汚泥処理設備として濃縮槽(重力式2, 遠心2, 加圧1), 消化槽4, 脱水はベルトプレスが6である。

被害状況の調査はH.7.1.23と24に、カメラおよびビデオ撮影により行った。処理場周辺道路は液状化による砂泥がみられる。魚崎分場ではポンプ場の雨水吐出桝の伸縮継手が破断し、沈砂スクリーン洗浄棟上屋が一部破損した。本場では運河護岸が2~3m運河側に滑動し配管架台が転倒、伏越部も破損した。場内各所で1m前後の不等沈下・路面亀裂がみられる。下水は魚崎ポンプ場から運河を伏越で越え最初沈殿池へボックスカルバートの流入水

表2 神戸市下水道汚水幹線の被害(二次調査)

H.7.3.9現在

行政区	応急復旧処置件数 (件;処理継続中を含む)					
	管渠	マンホール	取付管	閉塞	その他	計
東灘区	30	790	1,259	672	0	2,751
灘区	9	79	379	289	0	756
中央区	27	202	561	256	0	1,046
兵庫区	14	31	379	155	0	579
長田区	62	33	949	75	27	1,146
須磨区	21	13	595	39	13	681
垂水区	18	19	461	45	35	578
西区	2	0	10	1	7	20
北区	9	101	72	24	12	218
合計	192	1,268	4,665	1,556	94	7,775

表3 神戸市下水道雨水幹線の被害(二次調査)

H.7.3.9現在

行政区	管渠損傷			マンホール損傷	
	小	大	延長(m)	小	大
東灘区	99	107	1,083	393	43
灘区	53	96	972	101	10
中央区	81	121	1,529	172	61
兵庫区	62	69	780	141	37
長田区	50	67	730	62	29
須磨区	47	52	564	26	7
垂水区	57	38	326	38	7
西区	--	7	130	5	--
北区	2	5	175	--	--
合計	451	562	6,309	938	194

註:損傷(小):ひび割れ・ズレ等,モルタル補修で済むもの。
(大)改築を要するもの。

路で流れる。この流入水路が継手部4カ所で破断し送水が不可能となっている。最初沈殿池、エアレーションタンクには外観上大きな損傷箇所は認められなかった。最終沈殿池は流入水路一部に破損がみられ、また、泥かき寄せ機のチェーン切損および仕切壁の一部が破損している。エアレーションタンクと最終沈殿池の中央部にある管廊には水処理現場操作盤・電動機器類があったが、継手部又は配管部からの漏水により水没していた。汚泥濃縮槽・消化槽回りの配管は折損が多い。場内機器用水を供給する砂濾過施設は傾斜し破損した。管理棟は外観上は大きな損傷はないが、運河側へ30～50cmのずれがあり基礎杭が折損している。

H.7.1.27時点で処理場への流入水量は6～7万m³/日であり、簡易一時処理と塩素滅菌で対応している。その後、運河を矢板により締め切り簡易汚水処理場に利用している(図1)。

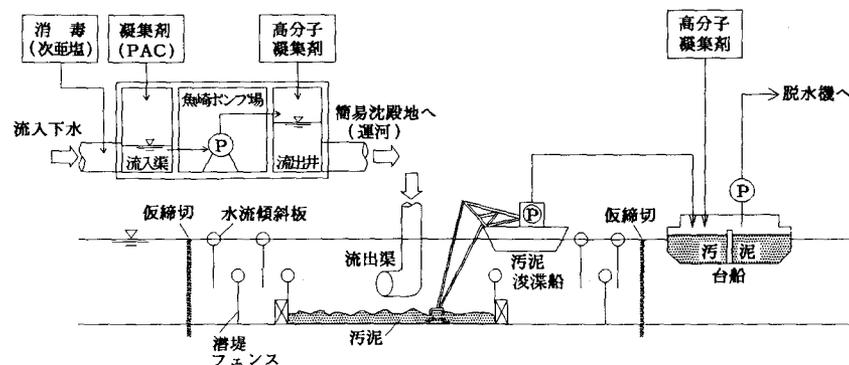


図1 運河を利用した簡易汚水処理模式図

4. まとめ

下水道関係被害は下水道管渠・ポンプ場・下水処理場のいたる処で発生しているが、神戸市東灘下水処理場を除けば応急措置・災害復旧によりその機能を回復しており、下水道被害が被災者の日常生活に及ぼす影響は最小限に抑えられたといえよう。

今回の震災を契機に、下水道施設の耐震設計、既存施設の改良策、地震発生時の対応策などが関係機関で検討・研究される。今回の震災では、各所の避難所で簡易トイレ設置の遅れ、尿尿の処分が大きな問題として浮かび上がった。また、家屋の損壊をまぬがれた人々も飲料水と同じく、水洗トイレ用水の確保が重要な課題となった。下水処理水の防火用水としての活用案、下水処理場の広大な空間を避難所として利用する案も検討すべきである。しかし、下水道建設は全国的にみればまだ40%台であるが、神戸市で普及率97.4%であるように政令指定都市などの大都市では進捗率が高くなり、今後の下水道のあり方が議論されていた。被災地では災害復旧・復興に専念することになるが、下水からの窒素・リン除去を行う高度処理、高度処理水を用いた清流復活等による環境改善事業などを後回しにならないよう並行して進めることも必要であろう。

メ 七

ライフライン施設の被害と復旧

建設学科 教授 高田至郎

1. はじめに

直下型地震によるライフラインの被害は甚大で、神戸市をはじめ阪神各市町、淡路島北部各町の広範囲に及んでいる。従来考えられていた被害はもちろんのこと、今回の地震では、各ライフラインシステムの上位施設にも影響が及んでいる。

2. 電力供給システム

地震発生直後から約260万戸において停電となり6日後の1月23日に全面復旧した。火力発電所の被害は10基、変電所被害は48箇所、送電線被害38箇所、配電線路446回線、この他引込線や電柱の倒壊は非常に多数であり、被害総額2,300億円となっている。

3. 通信システム

交換機の異常や通信ケーブルの切断によって、28.5万回線において電話が不通になった。交換機、中継系伝送路、専用回線および建物、鉄塔などにも影響が及んでいる。NTTの被害総額は300億円になるものと思われる。1月31日には家屋倒壊などによって復旧不可能な38,000回線を除いて全域で復旧された。

4. 上水道供給システム

神戸市、西宮市など地震の被害の大きかった兵庫県内の9市5町の上水道は135万戸、人口342万人に給水しているが、1月17日には92万戸が断水した。3月13日現在で97.1%の復旧となっており、3月末現在では、ほぼ復旧している。損傷の形態は、送水管の管自体には比較的被害が少なく、配水管・給水管には甚大な被害が見られた。

5. 下水道処理施設

兵庫県下の下水道では、3月15日現在、公共下水道（神戸市・尼崎市・明石市・西宮市・芦屋市・伊丹市・川西市・宝塚市）で下水処理場18箇所、ポンプ場4箇所および管渠延長315.8Km（4.6%）の被災が確認されている。流域下水道では猪名川流域下水道と武庫川流域下水道で、処理場4か所、ポンプ場3か所の被害が確認されている。

下水処理場は神戸市東灘下水処理場を除き震災前の機能が回復し、ポンプ場も全ての施設で機能が回復している。管渠は要復旧延長の67%が仮復旧し、通水率は98%となっている。

神戸市における下水道管渠被害については、1次調査によりマンホール異常、管路の破損・閉塞、土砂の流入・堆積、その他計1414件が確認されている。第1次調査において被害が大きいと予測された区域の汚水管について、引き続き第2次調査を行った結果、3月9

日現在汚水幹線について32幹線83.9Kmのうち23幹線4.3Kmの一部破損が確認されている。

6. ガス供給システム

大阪ガスの供給は、近畿570万戸を55のミドルブロックに分け供給しているが、このうち神戸、芦屋を中心に5つのミドルブロックの供給停止を1月17日11時50分に行った。約86万戸にのぼる。また3月中には家屋倒壊などで、復旧不可能な戸数を除いた692,900戸の復旧対象戸数のうち90数%が復旧され、4月11日に完全復旧した。

貯蔵施設、高圧管には被害はなく、中圧管にも比較的被害は少ない。低圧管については、ネジおよび印ろう型継ぎ手部で大半の破損が生じており、復旧費用は約1,900億円と推定されている。

7. まとめ

電力供給、ガス供給、上下水道、電気通信施設の被害は、非常に甚大なものであった。個別システムの課題としては、被害箇所の特特定が困難であること、交通事情により復旧工事が遅れていることなど今後考慮すべき点が挙げられる。また反対に電力供給施設の架空設備の使用、ガス供給、上水道施設のブロック化、また電気通信施設の地下化などが非常に有効に機能した点は、大いに評価できる。また施設によっては早期復旧を目指した原型復旧のみにとどまらず、耐震性を備えた管路を用いるなどの改良復旧を行っていることなども評価できる。

今後の対策としては、個々のシステム自体の耐震性を高める（例えば、ガス供給、上水道施では、耐震継ぎ手の採用、共同溝化など）だけでなく、たとえ震災にあっても早期にシステムを機能回復できる対策（電力供給施設では、多重系統・系統連系によるバックアップの確保、ガス供給、上水道施設のブロック化、電気通信施設では、通信センターの分散化・通信手段の多様化など）を用いること、また各システムが個別に被災復旧情報を捉えるのではなく、他のライフライン間との情報のやりとりを行うシステムを日常から構築しておくことが必要である。さらに各施設の被害状況を想定把握し、復旧順位を決定できるようなモニタリングシステムの構築も望まれる。

メ モ

災害後の運輸・交通

建設学科 教授 黒田 勝彦

1. 交通インフラの被害

近代都市化社会では、運輸・交通施設無くしては円滑な社会・経済活動が営まれない状況になってきている。本来、ガス・電気・上下水道等の供給処理施設を近代都市生活に必要な不可欠な施設としてライフラインと呼称していたが、最近では、電話・ファックス・コンピュータネットワーク等の通信・情報施設もこれに含めて考えるようになり、さらに、広義に運輸・交通施設をも含めてライフラインと呼称されるようになってきた。ここでは、都市生活を支える基盤施設（インフラ・ストラクチャー:Infra-structure）であるとの意味から交通インフラと呼称する。

さて、被害を受けた交通インフラ施設は、国土交通幹線としての名神・中国自動車道、国道2号、43号、171号、176号等の自動車と山陽新幹線が甚大な被害を受けた。また、地域交通幹線としての阪神高速自動車道、その他の地域幹線自動車道、JR山陽線、阪急、阪神、山陽、神戸高速等の民間鉄道を始め市営地下鉄、六甲及びポートアイランドを結ぶ新交通、さらには、海上物流の拠点である神戸港の壊滅的損傷等あらゆる交通施設が被害を受けた。ここでは道路の被害箇所を図-1に、鉄道の被害箇所を図-2に示す。

図-1、図-2に示すように、兵庫県を通過する国土交通幹線が壊滅状態になり日本の東西交通はほぼ完全に遮断された。このことは以下に掲げるように被災地内外に深刻な状況を生み出す結果となった。

- ①唯一通行可能な国道2号線にあらゆる交通が集中、2号線は麻痺状態となり被災地内の救急・救命活動に重大な支障をきたした。その結果神戸港の麻痺と併せて効率的アクセス手段が無く神戸市は陸の孤島状態に陥った。
- ②被災地外からの緊急車両が進入出来ず、救援・復旧活動の著しい障害となった。
- ③日本の陸上の東西物流ルートが遮断され、経済活動に多大の損害をもたらした。
- ④幹線が遮断されたことによる長距離トリップが迂回路（国道9号、 号等）に集中、交通渋滞を広範囲に波及させると同時に、設計荷重を超える重量車両の通過により健全であった道路にも大きな損傷を与えた。
- ⑤神戸港の機能停止により、代替港湾（大阪・名古屋・横浜）に重大な混雑を招くと同時に、日本の経済に重大な波及損失を招いた。
- ⑥鉄道網の遮断により大量の通勤・救援交通機能が停止し道路交通の一層の混乱を招いた。

以下、このような交通インフラの被災が地域・広域にどのような交通現象を引き起こしたかを述べる。

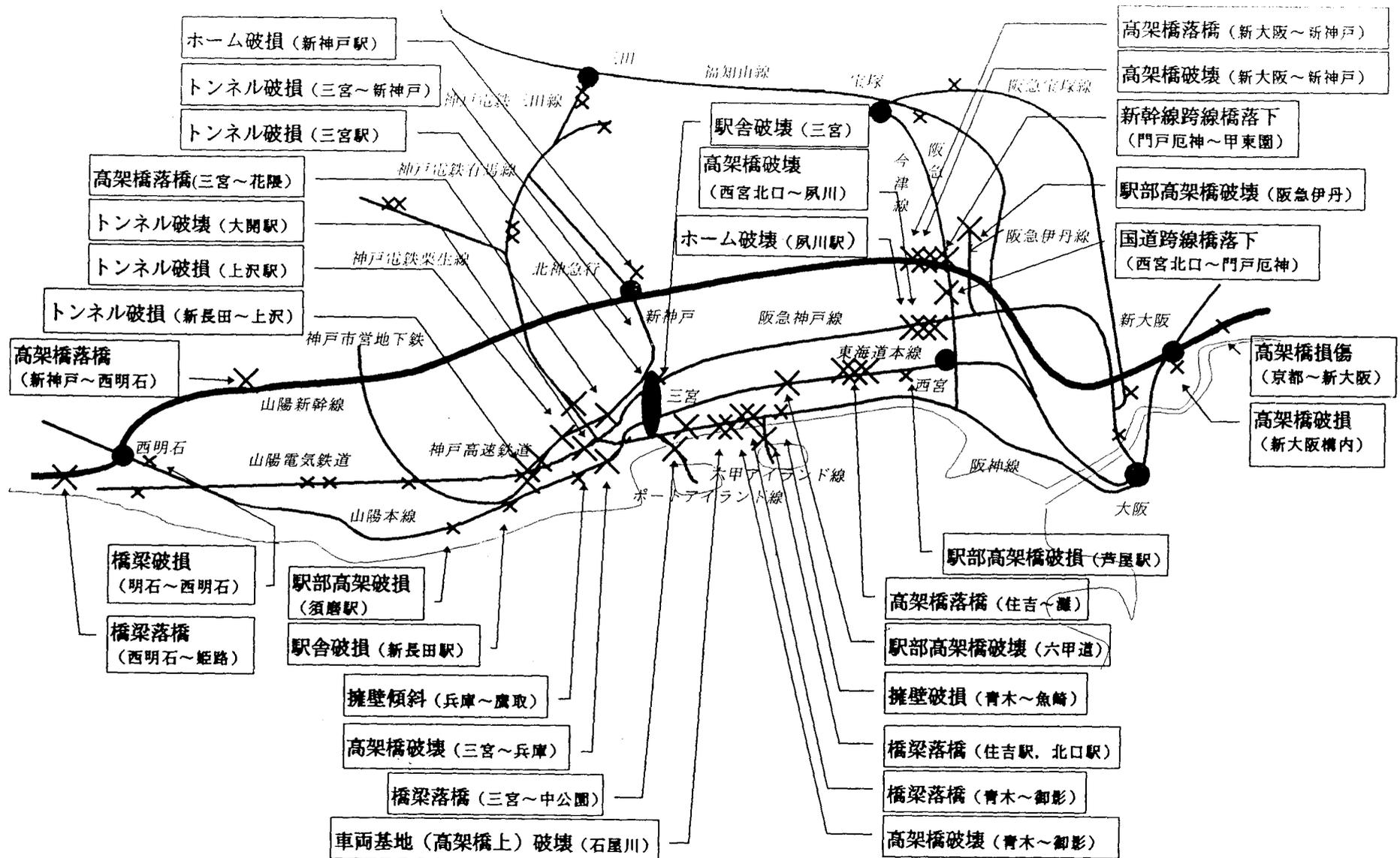


図 - 2 鉄道施設の主要被害

2. 地震前後の道路交通

2・1 地域内幹線交通

図-3は被災地東部における震災前の主要幹線道路における芦屋川断面交通量(台/日)である。図に示したように、国道2号は38,600台/日、国道43号は84,000台/日、阪神高速神戸線(3号線)は101,900台/日、阪神高速湾岸線は28,000台/日となり、平常時では、この断面で252,800台/日の交通量进行处理していたことになる。この断面における総交通容量は323,000台/日であることから、混雑率は0.8であった。一方震災直後には、阪神高速神戸線・湾岸線は被災のため遮断され、同時に国道43号線は阪神高速神戸線高架橋の倒壊等で通行不能になり、国道2号のみが通行可能であった。したがって、国道2号の断面交通容量は48,000台/日であることからこの断面における交通容量は震災前の15%に低下したことになる(地震直後は舗装の破損、家屋倒壊等の他の障害により、実際は容量はこれより低くなっている)。大阪府方面との交通は地震直後に国道2号に集中し、著しい渋滞を引き起こし、緊急・救命用の車両の通行障害となった。その後、このような事情を鑑み、兵庫県災害警備対策本部は災害対策基本法にのっとり、1月20日より国道2号線は緊急自動車の専用として全面交通規制をしいた。しかし、域内の交差点からの流入が激しく、規制の著しい効果は発揮出来なかった。やがて、国道43号線の不通個所が復旧され8車線の内、上下2車線づつ計4車線が通行可能になった。43号線の内、上下1車線は鉄道代替バスの臨時運行用の専用レーンとして供与されたので、トラック・乗用車は実質的には1車線しか供与され

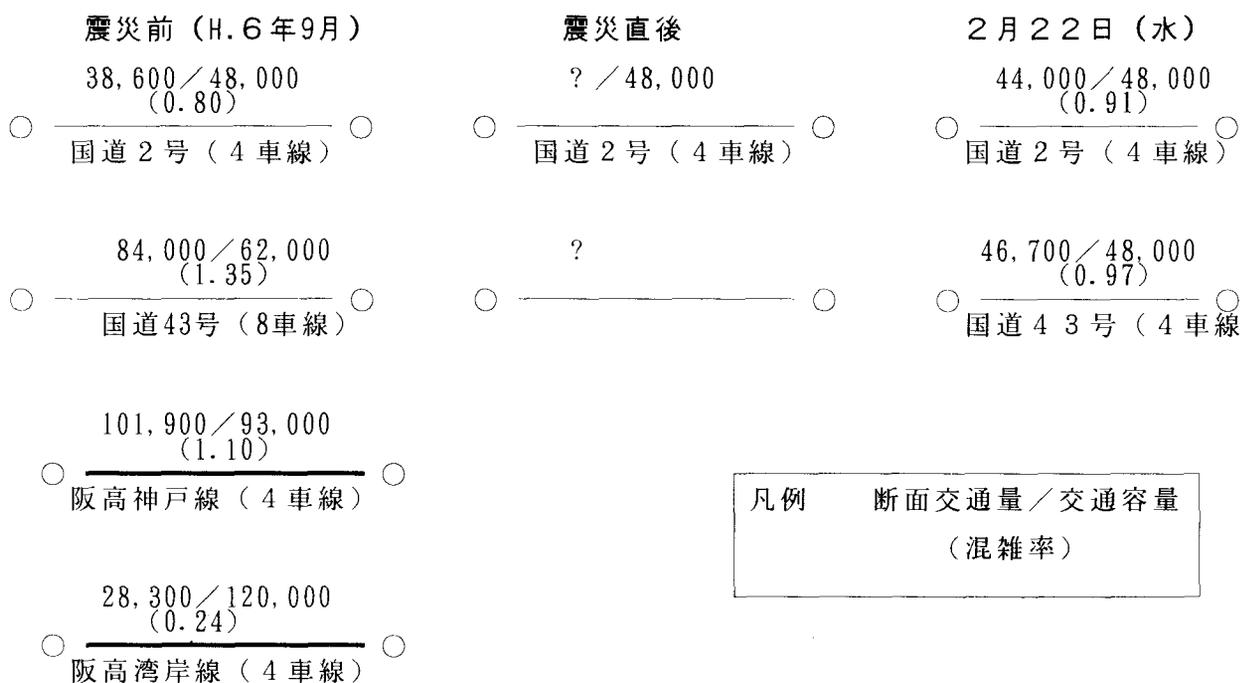


図-3 地域内主要幹線道路の交通状況(台/日)(建設省による)

ていなかった。この時点での43号線の交通容量は国道2号と同じ程度と見なしても（実際はこれより低い）、この断面における合計交通容量は震災前の29%にしかない。一方、震災直後の交通量は把握出来ていないが、2月3日（金）以降、近畿各大学の協力で定期的な交通調査を実施した。調査は図-4に示す地点でビデオ撮影および交通量観測を定期的に行なった。その結果、地震発生1カ月経過後には、救援および復旧関連の交通量が徐々に増加する傾向にあり、同時に鉄道が確保されていない関係もあって、通勤交通も拡大し、著しい渋滞を引き起こしていたことが観測されている。このような交通渋滞状況による復旧・救援物資輸送への障害を憂慮し2月25日を期して、新たに道路交通法による国道2号線、43号線の交通規制を強め、43号線は復興物資・ガレキ輸送ルート、2号線・第二神明は生活・復興関連物資輸送ルートと定め乗用車の乗り入れ全面規制となった。実際、図-5、6に例示するように、2月以降、国道43号（戎前断面）でも交通量は増え続けていたが、新規制が始まって以降の3月1日には交通量が減っている。しかし、国道2号線（須磨水族館前）では交通量は増え続けている。

このような交通の実体はさらに図-7、図-8の時間帯別交通量の内訳を見れば推定できる。すなわち、2月8日には国道2号線、国道43号線、臨港線とも通常見られないバイクの構成比率が高く貴重な交通手段となっていたことがわかる。同時に、規制の無い臨港線は別として、2号線における流出交通量で乗用車の占める比率が極めて高いことから一般乗用車の乗り入れ規制が必ずしも充分でなかったことを裏付けており、市民の協力が

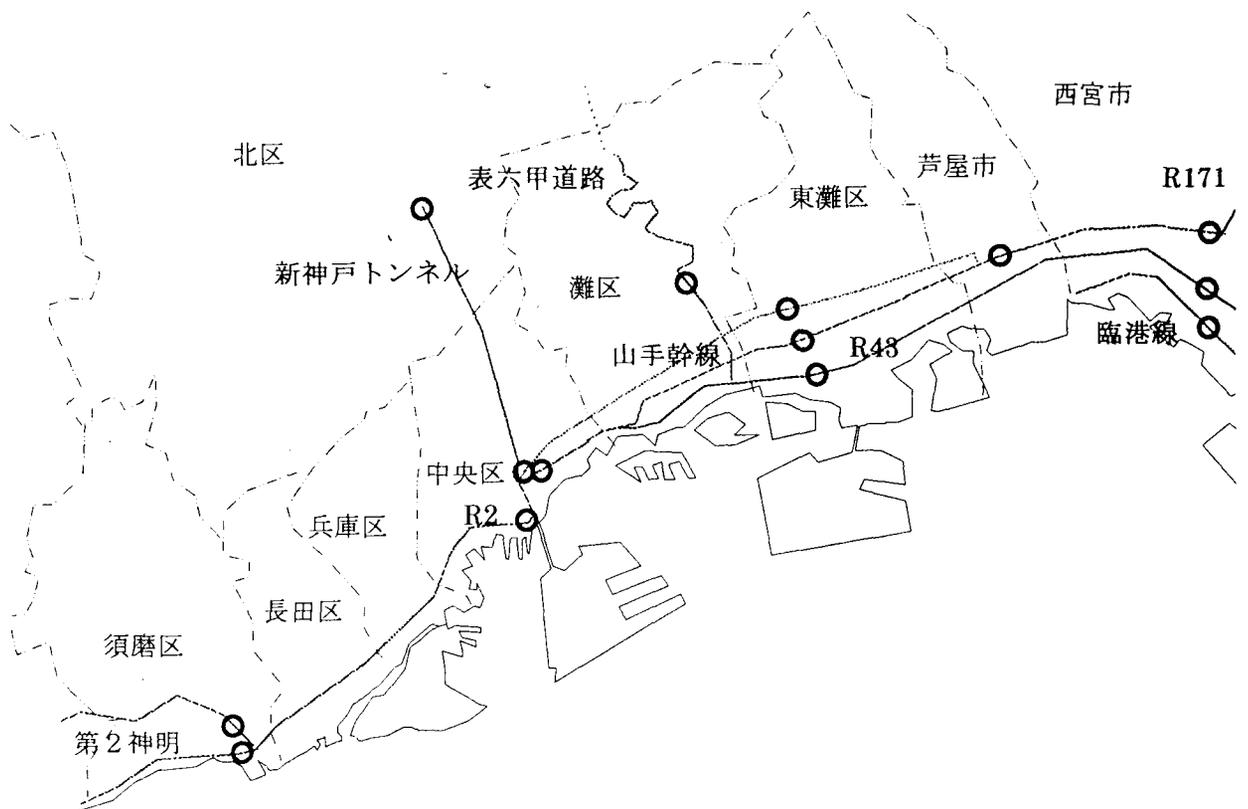


図-4 交通量調査地点

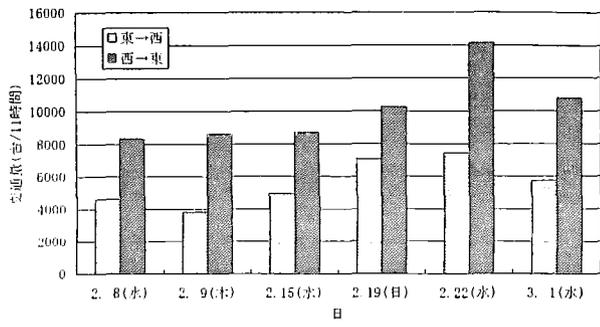


図-5 国道43号の交通量変化
(戒前：11時間交通)

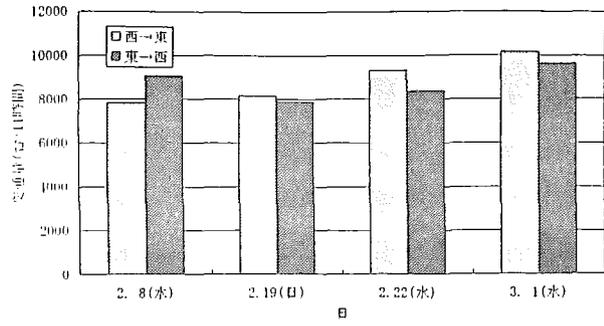


図-6 国道2号の交通量変化
(須磨水族館前：11時間交通)

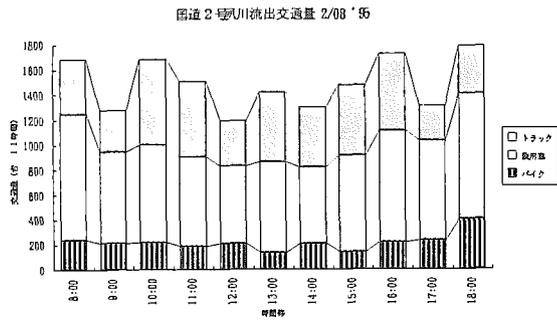


図-7 (a)

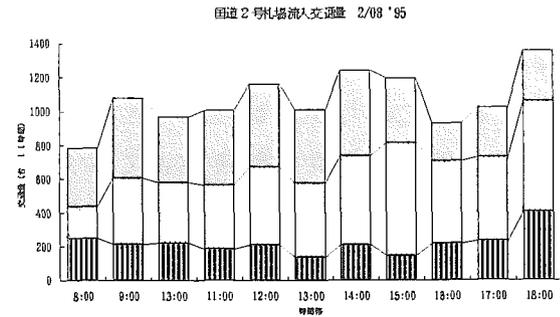


図-8 (a)

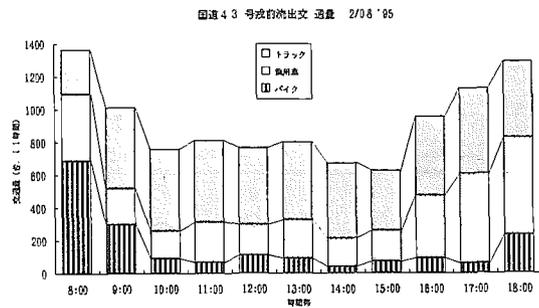


図-7 (b)

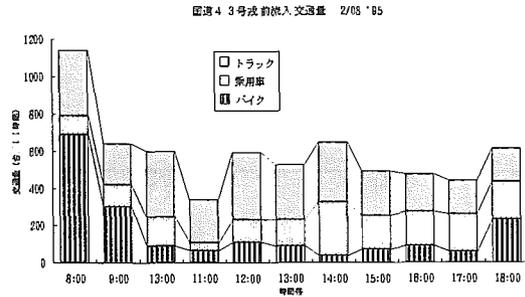


図-8 (b)

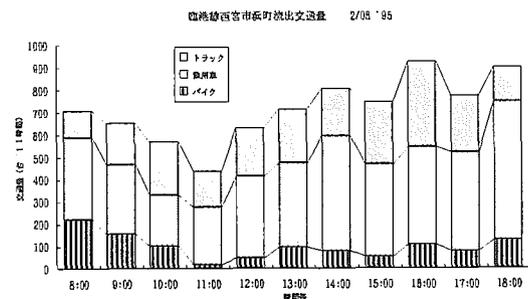


図-7 (c)

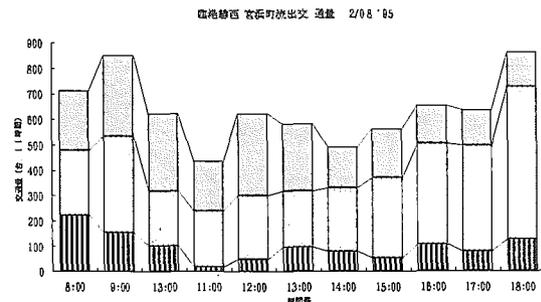


図-8 (c)

表－1 国土幹線道路の交通（台／日）

路線	H6.10月	H7.2/22	H7.3/08
中国自動車道 宝塚～池田	76,100 (6車線)	90,300 (4車線)	90,800 (4車線)
舞鶴道 吉川～三田西	13,000	14,100	15,500

得られていなかったことを意味している。反面、神戸方面への流入交通に関しては、規制の効果があり、乗用車の乗り入れは押さえられている。

2・2 広域幹線道路の交通

東西の広域幹線道路は中国自動車道・南北に近畿自動車道（舞鶴道）であるが、建設省の調査によると震災前後での交通量は大幅に伸びており、日本の東西物流幹線である高速道路が著しい混雑に陥ったことは周知のとおりである。表－1は建設省の調査による地震前後の中国自動車道と近畿自動車道（舞鶴線）の交通量調査の結果であるが、阪神間を通過する交通量が国道2号線・43号線の交通規制により、中国自動車道に迂回したものと六甲北から迂回して神戸に流出入する車両が増加したものと推測される。

以上主として道路交通の実体を中心に現在整理出来たデータを中心に考察したが、ビデオによる観測結果や、鉄道復旧の実体、緊急物資の搬入実体、道路閉鎖による経済的波及の実体等は今後調査・研究を進めて、機会があれば報告する。当面、このような分析から、望ましい交通体系の在り方について以下に纏めておく。

3. 交通体系と管理の望ましい在り方

今回の大震災により多くの犠牲を払って、交通体系の今後の整備方針について重要な教訓を我々は得た。それらについて、思いつくままに列挙する。

- ①日本の国土幹線のネットワークとしての結節信頼性を高める必要がある。このことは、地域内幹線道路網についても同様である。
- ②今回は、未明に発生した地震であり、発振時の交通はまだ本格化していなかったから人的被害は少なくすんだ。しかし、何時発生するか解らない地震に備えるためには、主要な自動車専用道、鉄道の高架橋や橋梁は極めて粘りのある構造にし、破損しても人的被害を少なく押さえる必要がある。
- ③鉄道路線もネットワーク網を組むか、幹線道路で生き残った鉄道路線区間を代替輸送出

来るだけの幹線道路でつなぎトータルの結節信頼性を高める工夫が必要である。

- ④海上輸送を有効に活かせるために、内航輸送の充実（施設・制度）を図る必要がある。
同時に、神戸港摩耶耐震強化バースが健全に残って居ることを考えると、各港湾での耐震強化バースの整備を急ぐ必要がある。
- ⑤未だ原因は救命されていないが、地震に強いという地下鉄神話の崩壊に鑑み、既存の地下鉄の再点検と今後の整備に耐震性を考慮する必要があることを示唆している。
- ⑥交通施設被害の状況が管理者に即時に入手出来るセンサー及び情報伝達システムの確立が望まれる。
- ⑦緊急時の道路交通規制の方法を最低机上演習し、被害の状況に併せた効率的規制法を確立する必要がある。

4. おわりに

今回の震災は、インフラ施設の設計の考え方のみならず、整備の方針・管理運営の在り方にも及ぶ広範な反省を我々に迫ったように思える。さらに、日本および日本人の戦後の歩みそのものに大きなショックを与えたのではなかろうか？ 今まで信じてきた歩みに大きく待ったをかけられ、振り返るとえも言えず侘びしく、かといって新しい歩みの方法も未だはっきりとは確信出来ず、実に空虚で不安な心理状態に陥っているように思えてならない。地震が与えたものが単なる施設被害や経済損失だけではなかったことが、地理的に離れた遠くの人々にも今回の地震を我が事として考え、しかも憂鬱にならしめる原因ではなかろうか？

工学部公開講座講師紹介

回	氏名	所属・職名	最終学歴	専攻
1	日下部 馨	建設学科 教授	京都大学大学院工学研究科建築学専攻博士課程中途退学(1966)	建築構造・材料, 振動論・波動論, 耐震工学
2	谷 明勲	建設学科 助教授	神戸大学大学院工学研究科修士課程建築学専攻修了(1980)	建築構造学
3	田淵 基嗣	建設学科 教授	神戸大学大学院工学研究科修士課程建築学専攻修了(1971)	建築構造・材料
4	室崎 益輝	建設学科 教授	京都大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程修了(1969)	建築計画, 都市計画, 防災計画
5	松本 衛	建設学科 教授	京都大学工学部建築学科卒業(1956)	建築環境工学, 熱環境工学, 空調工学・建築設備
6	塩崎 賢明	建設学科 助教授	京都大学大学院工学研究科建築学専攻博士課程修了(1977)	都市計画, 地域計画, コミュニティ・アーキテチャ, 住宅問題, 住宅政策
7	足立 裕司	建設学科 助教授	神戸大学大学院工学研究科修士課程建築学専攻修了(1975)	近代建築史・建築論
8	安田 丑作	建設学科 教授	神戸大学大学院工学研究科修士課程建築学専攻修了(1969)	建築計画, 都市計画
9	宮本 文穂	山口大学 工学部 教授	神戸大学大学院工学研究科修士課程土木工学専攻修了(1975)	コンクリート工学, 橋梁工学, 土木材料工
10	李 騰雁	大学院 自然科学研究科 助手	天津大学土木工程系博士課程構造工学専攻修了(1993)	耐震工学
11	櫻井 春輔	建設学科 教授	ミシガン州立大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程修了(1966)	構造力学, 岩盤力学

回	氏 名	所属・職名	最 終 学 歴	専 攻
12	冲村 孝	附属土地造成工 学研究施設 助教授	神戸大学大学院工学研究 科土木工学専攻修士課程 修了(1969)	水文学, 土質力学, 地形学
13	田中 泰雄	建設学科 助教授	シェフィールド大学大学 院博士課程修了(1980)	土質力学, 基礎工学, 地盤調査
14	道奥 康治	建設学科 助教授	大阪大学大学院工学研究 科土木学専攻博士前期課 程修了(1979)	水工学, 貯水池水理
15	神吉 和夫	建設学科 助 手	神戸大学大学院工学研究 科土木工学専攻修士課程 修了(1972)	土木史, 衛生工学
16	高田 至郎	建設学科 教 授	京都大学大学院工学研究 科土木工学専攻博士課程 修了(1972)	構造力学, 耐震工学, 都市地震防災
17	黒田 勝彦	建設学科 教 授	京都大学大学院工学研究 科修士課程土木工学専攻 修了(1968)	土木計画学, 交通計画, 沿岸域・港湾計画, 信頼 性工学, 社会・経済分析

講義日程・題目及び講師

回	講義日	講義題目	時間	講師
	7月1日(土)	開講式, 概要説明	13:30~13:50	学部長・委員長
1		I. 建築物の被害と復興 (1) 建物被害(地盤との関連) (コンクリート系建造物の被害) (鉄骨造建物の被害)	13:50~15:30	教授 日下部 馨 助教授 谷 明勲 教授 田淵 基嗣
2		(2) 阪神淡路大震災と都市火災	15:40~17:20	教授 室崎 益輝
3	7月8日(土)	(3) 建築設備 住生活の復興	13:30~15:10	教授 松本 衛 助教授 塩崎 賢明
4		(4) 歴史的建造物の被害状況と保全 震災復興と街づくり-都市デザインの視点から-	15:20~17:00	助教授 足立 裕司 教授 安田 丑作
5	7月15日(土)	II. 社会基盤施設の被害と復興 (1) 道路・橋梁建造物と復旧 鉄道被害と復旧	13:30~15:10	山口大学工学部教授 宮本 文穂 大学院自然科学研究科助手 李 騰雁
6		(2) トンネル・地下建造物 山腹崩壊	15:20~17:00	教授 櫻井 春輔 助教授 沖村 孝
7	7月22日(土)	(3) 臨海埋立地・港湾 河川建造物の被害 下水道施設被害	13:30~15:10	助教授 田中 泰雄 助教授 道奥 康治 助手 神吉 和夫
8		(4) ライフライン施設の被害と復旧 災害後の運輸・交通	15:20~17:00	教授 高田 至郎 教授 黒田 勝彦
		閉講式	17:00~17:20	学部長・委員長