

技術報【特報】

阪神・淡路大震災 調査報告書 — その1

1995・3



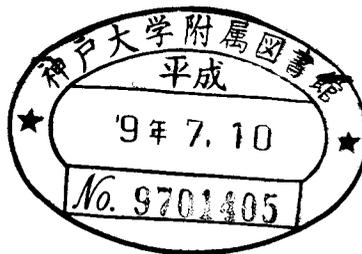
J.S.T.M.

00097014050

技術報【特報】

阪神・淡路大震災 調査報告書—その1

1995・3



巻 頭 言

社 長 清 野 茂 次

1月17日火曜日連休明けの朝である。テレビニュースで今朝5時46分頃神戸地方で震度6の大地震が発生したとの報道を視た。震源地が淡路島北部とのこと、大都市に近い直下型地震と知り、かなりの被害が発生したなど直感した。その後の報道は震災一色となり、次々とテレビ画面に映し出される災害情報は予想を次々と越えていった。

これは尋常ではないと判断し、会社としてどうすべきかを考えながら出勤し、早速①社員の被害状況の把握、②関西支社・神戸事務所の状況確認、③震災の緊急対策のための支援体制づくり、④独自の震災調査員の特別派遣等についてを指示した。

早速、関西支社との情報収集に入ったが、全く電話が通じないとのこと、又東海道新幹線及び関西地区の交通は全面ストップとなっている。午後、支社と連絡がとれ始めたが、通信システムがパニック状態にあり、十分な情報交換ができないまま1日が過ぎた。翌18日からはある程度の連絡がとれるようになり、また電算機専用回線を活用して通信文による情報交換が可能となった。

その後は全社的な支援体制のもと関西支社を中心にし、具体的な活動に着手した。時間の経過とともにその被害状況は想像を絶するもので、家屋の倒壊による人命の損失が多く、最終的には約5,500名の死者となった。一方、不幸中の幸いというべきか早朝あったため、交通機関の利用者に対する損害が最小であったことに一縷の救いを得たような気がする。

最も大きなショックを受けたのは高架道路橋や新幹線高架橋の無残な崩壊の姿であった。この地域には30数年前、自分で直接設計した構造物も多数あり、又大阪支社で設計した施設も多い。これらがどのような状態にあるか、最も関心の高いところである。このため発注者からの要請に対しては無条件で調査に協力すること、また独自の調査員をできるだけ早期に派遣して、その実態を知ることが我々コンサルタントの責務であると考えた。建設省を中心に次々と支援要請があり、全事業所から幹部職員を中心に現地に派遣して調査活動を行った。

本報告書は技術報（定期刊行）の特集編として独自の調査によるものを中心に、第一報として報告することにした。特に自社で設計した構造物を中心に編集したものであるが、短期間での検討編集であるため未熟な点が多々あることをお許し願いたい。

弊社では早速、震災復興に向けての具体的な活動をするため「震災復興企画本部」を関西支社内に設置し、全支社からの支援のもと、復興に関するコンサルタント業務を処理すべき体制を整えています。積極的に行動しますのでよろしくお願い致します。

最後になりましたが、阪神・淡路大震災で亡くなられた方々に心から冥福をお祈りするとともに被災者に対してもお見舞い申し上げる次第であります。復興に向けて、コンサルタントとしてなすべきことを十分に認識し、最大限の努力をすることを誓ってまえがきとします。

地震および構造物被害の特長について

田 中 努

1. 地震

本地震は「兵庫県南部地震」と命名された。震源や観測された震度・加速度等の概要を以下に示す。

(1) 震源

気象庁の観測によると、震源は図-1のように淡路島の北端付近で、ここより北東および南西に走る断層が「右横ずれ」したものとされる¹⁾。この位置は、図-2の「有馬～高槻構造線²⁾」と同位置で、六甲山脈の南側の裾と平地部の境界に当たっている。ここは活断層として確認されており³⁾、図-3のような大阪マイクロプレートの縁でもあったと考えられている²⁾。

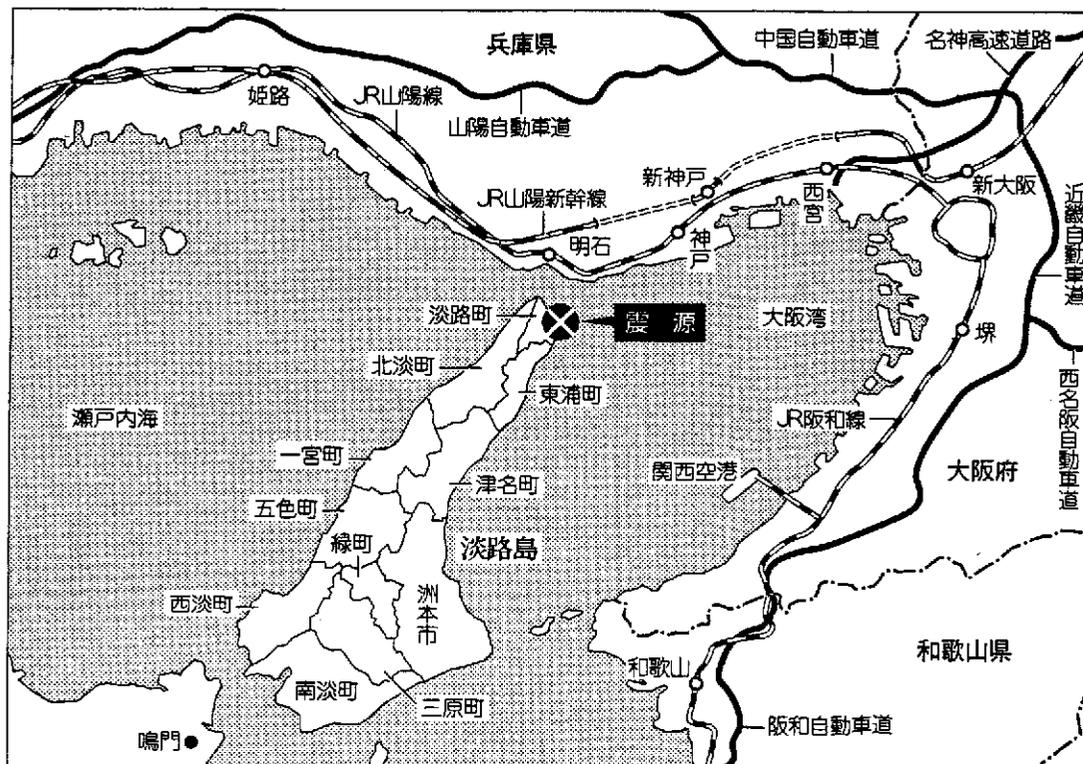


図-1 震源位置¹⁾

また、淡路島では地表に亀裂が現れた⁴⁾。位置は淡路島西岸の北淡町富島から江崎にかけての海岸から200~300m入ったところで、海岸線に平行に約9kmに渡って、南南西から北北東に走っており、「野島断層」という活断層の位置と一致するといわれる。マグニチュードは7.2で、震源域は長さ50~100kmと見られ、神戸市の真下まで及ぶと考えられている¹⁾。

各機関の調査が進むにつれ、図-4のように海底に断層が発見された。同図の須磨南部の断層は、海底面で約1mの鉛直ずれがあったという⁵⁾。また、地震記録からの分析では、図-5の3つの断層が11秒間に次々動いたとされ、同図中の②の断層は縦ずれ断層だと言われる⁶⁾。

既にわかっている阪神地域の活断層を示した図-6³⁾と比較すると、図-4の海底の断層はNo. 1と39、図-5の3つの断層は少し南にずれて、①がNo. 1と35、②がNo. 78~80、③が63, 65に該当するものと思われる。

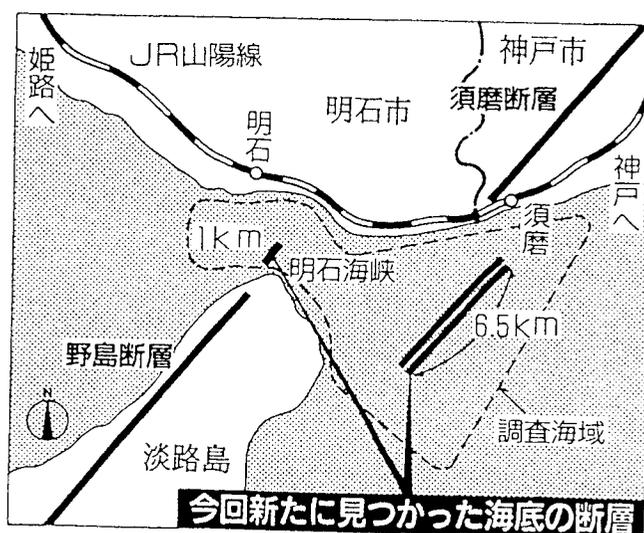


図-4 海底で発見された断層位置⁵⁾

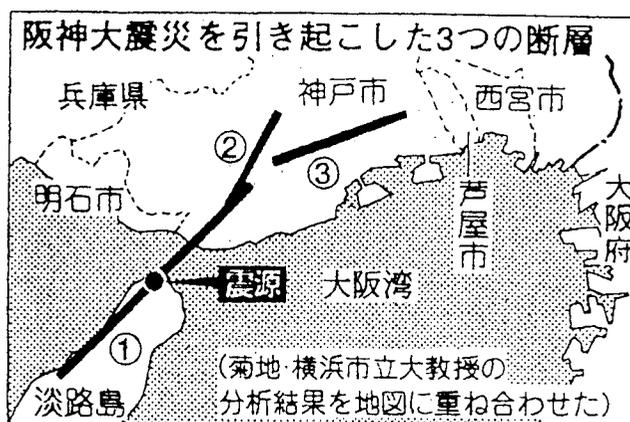


図-5 地震記録から推定される断層位置⁶⁾



図-6 阪神地域の活断層³⁾

(2) 震度分布

各地の震度は、図-7のとおりである⁷⁾。当初最大震度は同図のようにⅥで、淡路島の北淡町・洲本市・神戸市とされていたが、20日、神戸市三宮町と京町にまたがる一角と淡路島の北淡町と一宮町の一部が、震度Ⅶに修正された⁸⁾。その後気象庁は現地調査を実施し、2月7日図-8の地域が震度Ⅶであったと発表した⁹⁾。震度Ⅶは、1948年の福井地震で被害が大きく、これまでの震度階の尺度に合わないとして、1949年に設定されたもので、それ以後初めての記録となる。参考に気象庁震度階を表-1¹⁰⁾に示す。

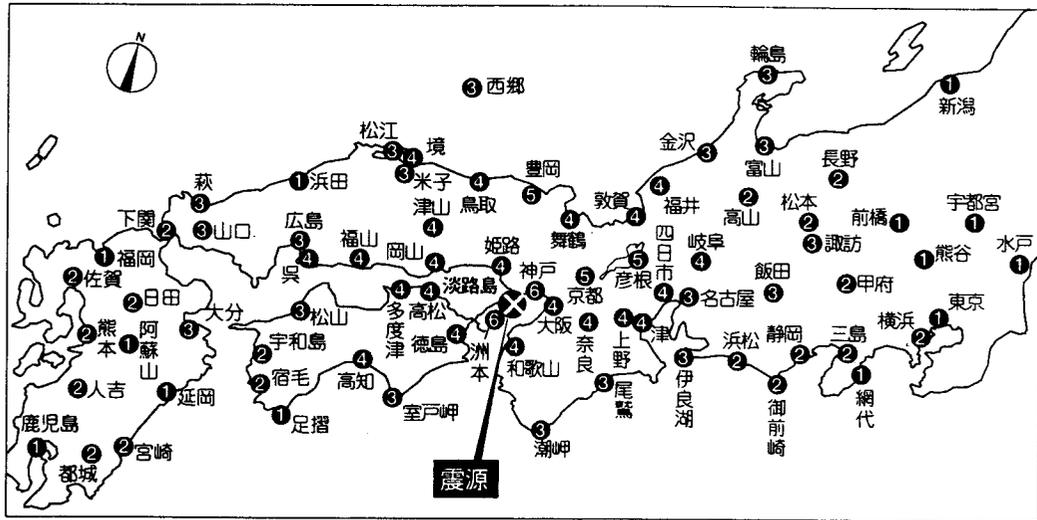


図-7 各地の震度分布⁷⁾

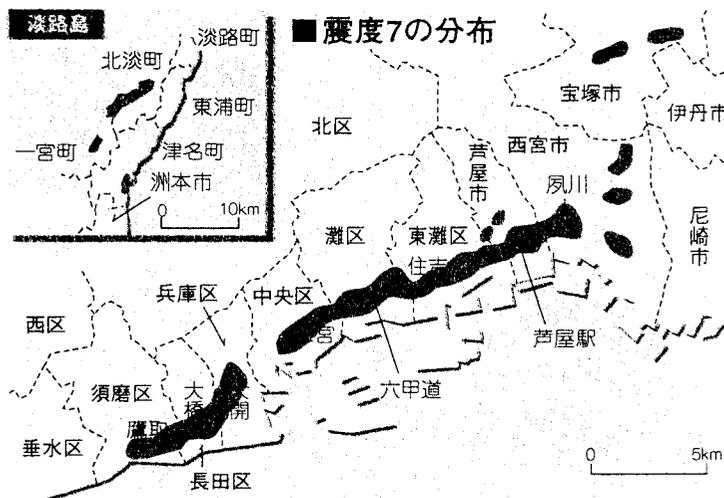


図-8 震度Ⅶの分布⁹⁾

表-1 気象庁震度階級(1949)と参考事項(1978)¹⁰⁾

気象庁震度階級		参考事項
階級	説明	
0	無感。人体に感じないで地震計に記録される程度。	吊り下げ物のわずかにゆれるのが目視されたり、カタカタと音がきこえても、体にゆれを感じなければ無感である。
I	微震。静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。	静かにしている場合にゆれをわずかに感じ、その時間も長くない。立っていると感じない場合が多い。
II	軽震。大ぜいの人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかる程度の地震。	吊り下げ物の動くのがわかり、立っていてもゆれをわずかに感じるが、動いている場合にはほとんど感じない。眠っていても目をさますことがある。
III	弱震。家屋がゆれ、戸障子がカタカタと鳴動し、電灯のような吊り下げ物は相当ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでもないし、恐怖感はない。戸外にいる人もかなりの人に感じるが、歩いている場合感じない人もいる。
IV	中震。家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る。また、歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。電柱・立木などのゆれるのがわかる。一般の家屋の瓦がずれるのがあっても、まだ被害らしいものはない。軽い目まいを覚える。
V	強震。壁に割れ目が入り、墓石・石どろろが倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震。	立っていることはかなりむずかしい。一般家屋に軽微な被害が出はじめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりの悪い家具は倒れる。
VI	烈震。家屋の倒壊は30%以下で、山くずれが起き、地割れを生じ、多くの人人が立っていることができない程度の地震。	歩行はむずかしく、はわないと動けない。
VII	激震。家屋の倒壊が30%以上に及び、山くずれ、地割れ、断層などを生じる。	

(3) 加速度分布

前項の気象庁震度階と別に、地震計により地震動の加速度や速度が記録されている。

灘区の神戸大学工学部のGL-10mの地下では、最大水平速度55.1cm/sが観測された¹¹⁾。地表での最大加速度は、図-9のように、神戸市や西宮市の海沿いでは水平方向600~800gal(または cm/s^2)、鉛直方向300gal程度であった¹²⁾。同図では鉛直動の水平動に対する比は、1/2以下で、従来の知見の範囲であるが、振幅そのものが非常に大きい。その後、図-10のような加速度¹²⁾が報じられ、鉛直動が水平と同じかそれ以上に大きい場所があったことが明らかとなった。

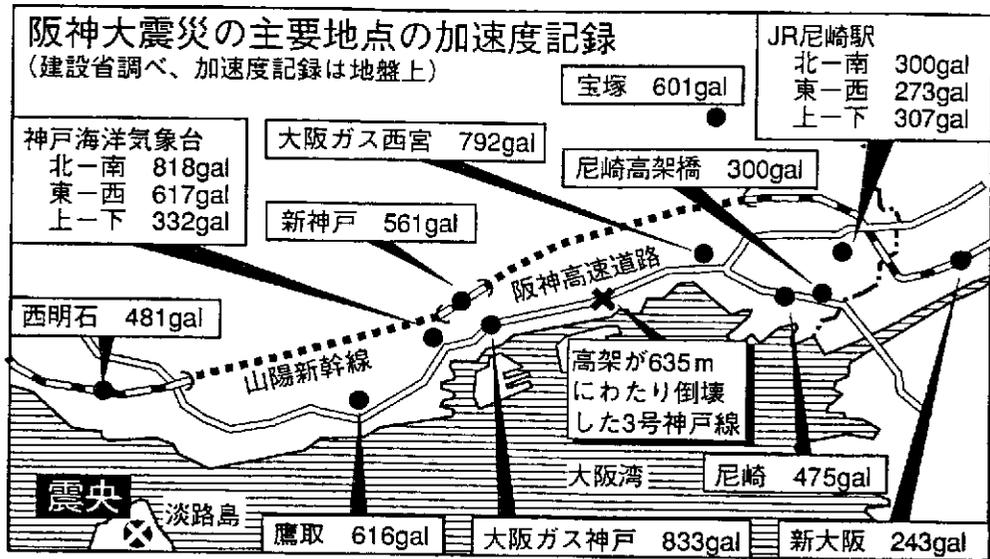


図-9 各地の加速度分布¹⁾

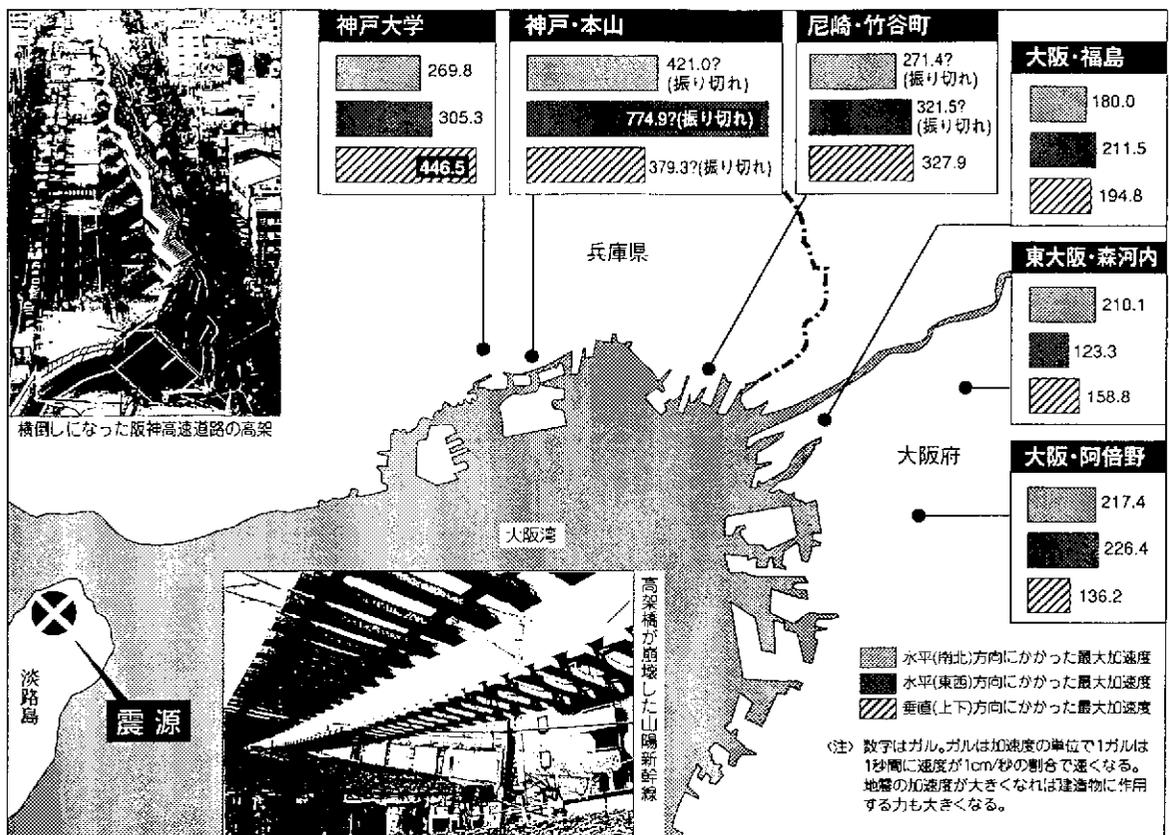


図-10 各地の加速度分布²⁾

(4) 地盤の動き

気象庁の神戸海洋気象台で記録された加速度波形を図-11¹³⁾に示す。NS方向成分で最大加速度818gal、EW方向成分で617galが生じている。同図より、いずれの方向成分も、最大加速度が生じた1波とその前の1波の周期が約0.8秒と長く、大きなエネルギーが地盤や構造物に注がれたことが伺える。

これらの加速度波形の応答スペクトルを図-12に示す。上下動の周期は0.2秒前後にあるが、水平動の周期は0.3~1.0秒で非常に大きい。継続時間が短いことを考慮すると、ここからもエネルギーの大きな波であったと考えられる。同図中に道路橋示方書の動的解析用スペクトルを示した。ほとんど構造物に、通常の設計地震力の5倍以上の力が作用したものと考えられる。

図-13¹³⁾に、気象台の地盤が動いた水平面内での軌跡を示す。北西方向に大きく動いたことがわかる。おそらく、この変位が最大の点で、慣性力も最大となっている。

地震直後に放映された、テレビ局内の机の動きや、コンビニエンスストアの棚から商品が放り出された動きが、突然、少し回りながらもある方向に2~3回大きく揺すられているのが、うなづけると思う。

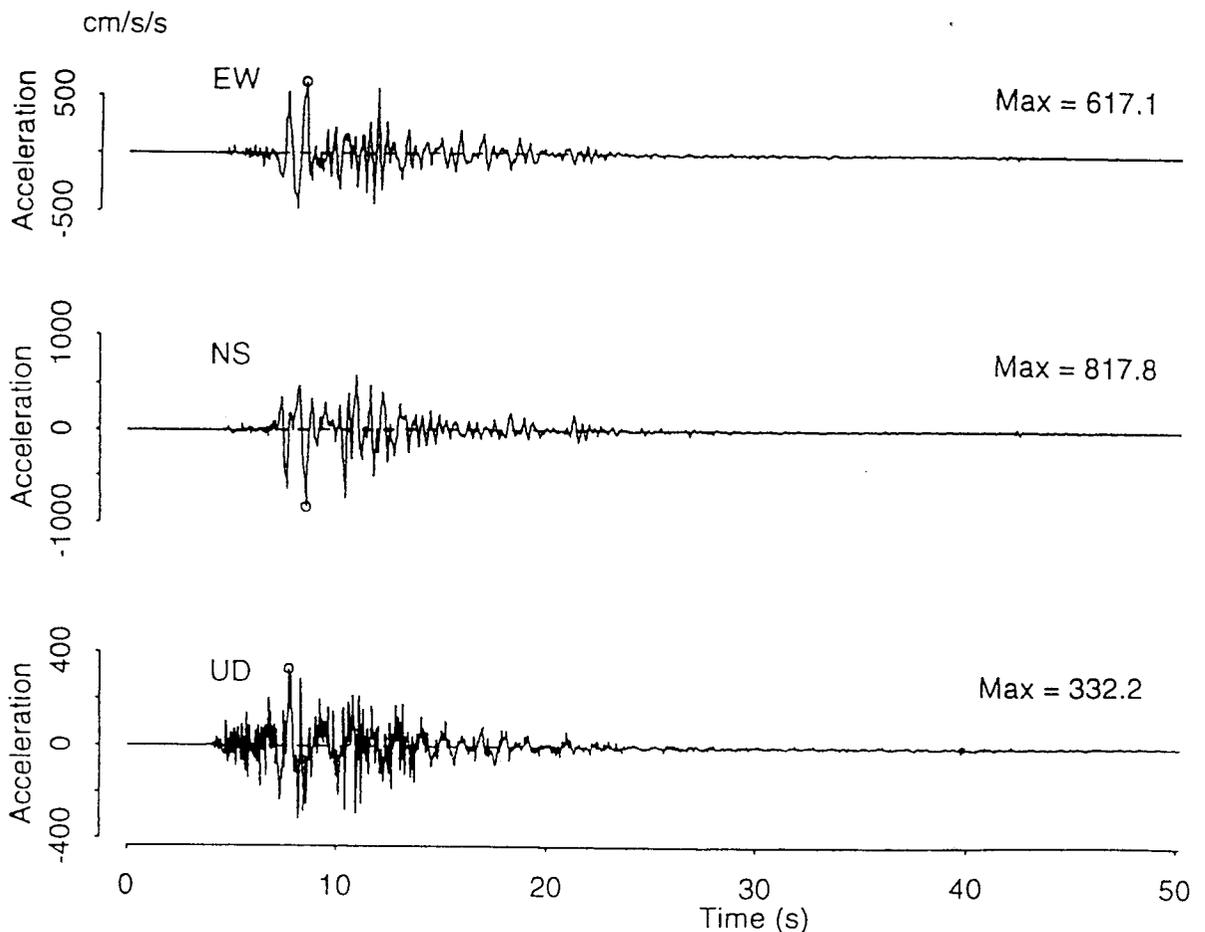


図-11 気象庁神戸海洋気象台で記録された加速度波形¹³⁾

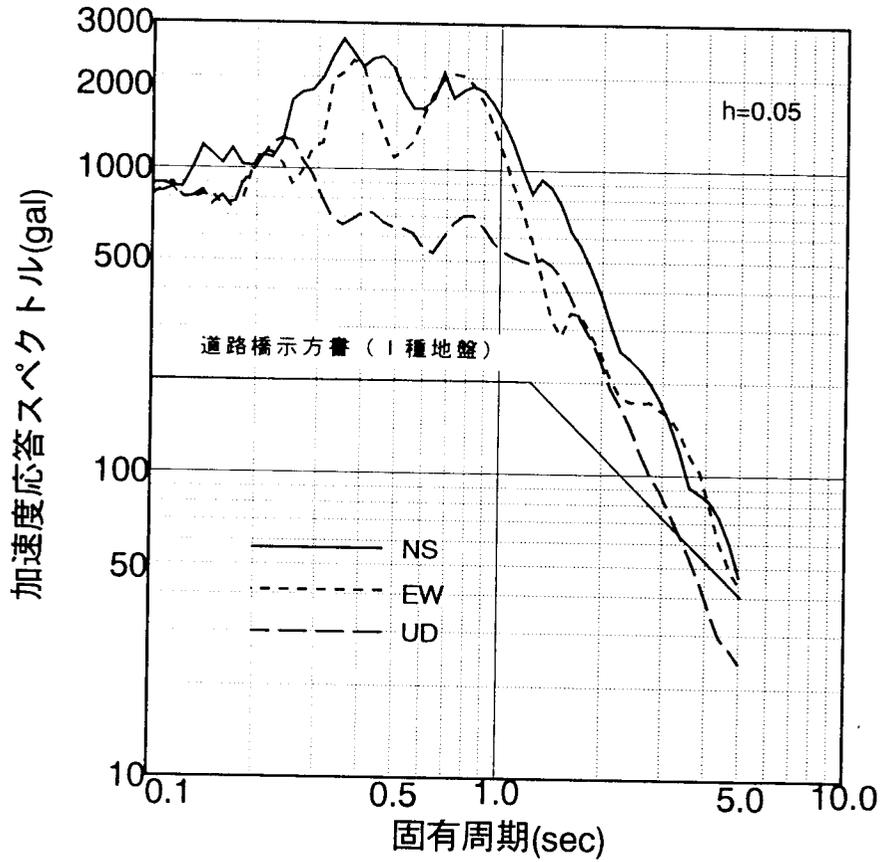


図-12 加速度波形の応答スペクトル

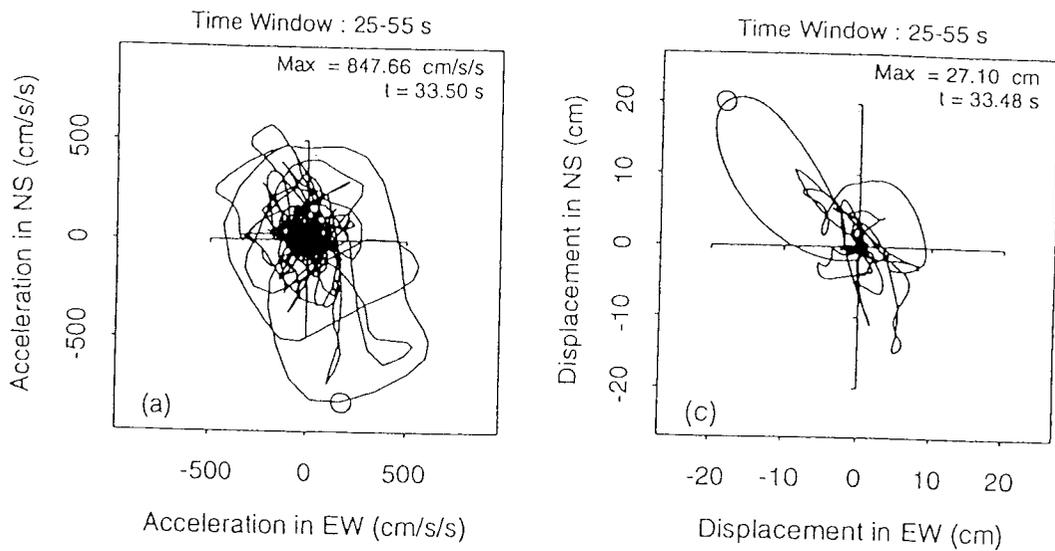


図-13 地盤が動いた水平面内での軌跡¹³⁾

参考資料

- 1) 朝日新聞, 1月18日朝刊
- 2) 金折祐司, 甦る断層, 近未来社, 1993.7
- 3) 活断層研究会, [新版]日本の活断層, 東京大学出版会,
- 4) 朝日新聞, 1月19日朝刊
- 5) 朝日新聞, 1月25日朝刊
- 6) 朝日新聞, 1月27日朝刊
- 7) アサヒグラフ, 緊急増刊号, 1995.2
- 8) 朝日新聞, 1月21日朝刊
- 9) 朝日新聞, 2月8日朝刊
- 10) 理科年表, 国立天文台編, 丸善(株), 1993.11
- 11) 朝日新聞, 1月20日朝刊
- 12) 毎日新聞, 1月24日朝刊
- 13) 阪神大震災報告会資料, 鋼橋技術研究会, 1995.2.14

(東京第二事業部 総合技術部耐震防災室 室長)

2. 耐震設計上の留意点

(1) だめ押しの1波で壊れた!?

阪神高速神戸線(甲子園～東明間)の高架桁のずれ・橋脚の破壊・周辺民家の倒壊などの方向を見ると、ほとんど全線に渡って北西向き(山側神戸方向)であった。

バラバラの方向に壊れていないことから、個々の橋梁の振動が成長して破壊したのではなく、ある瞬間に巨大なエネルギーを持った1波が襲って、ほとんど全ての構造物が同時に破壊し始めたかのように思われる。前掲の図-13の軌跡図と対応している。



写真-1

久寿川東側の脚が西にずれ落ちた。



写真-2

用海筋西側本町付近で、桁が西に移動し、隣接桁を突き落とした。



写真-3

ランプの西では、北北東に脚が傾き、上部構造は西にずれていた。



写真－４

芦屋ランプ付近では、民家が西に倒壊していた。



写真－５

芦屋ランプ橋では、独立柱が北に変形した。



写真－６

深江町では、ピルツが北に倒れた。

(2)交差点の脚に被害大

交差点部では、スパンが大きくなる。当然上部構造重量が増し、橋脚も大型化している。しかし、交差点部の橋脚の方が、その隣接部よりも被害が大きい。

設計では、同様の安全率を確保しているはずである。中央分離帯幅の制約で断面が小さいのか？上下動による桁のたわみ振動に伴う水平力が大きいのか？ 調べる必要がある。



写真－7 阪神高速神戸線

西宮ランプの鋼製矩形橋脚のつぶれ。



写真－8 阪神高速神戸線

神戸商船大前付近では交差点の両側の脚の破壊が著しい。



写真－9 阪神高速神戸線

浜中付近では、太い矩形の柱が破壊している。

(3) 帯筋が帯にならない！

建設時の設計基準によるが、脚の配力筋が、帯筋の機能を果たさなかったと思われるものがある。

柱の帯筋やフープ筋がしっかりしていれば、曲げに対して十分なじん性を有することは明らかにされている。しかし、繰返しの曲げにより、ひびわれが生じた後のせん断抵抗力はどうだろうか？



写真－１０

阪神高速神戸線の用海付近の中央分離帯幅いっぱいの脚。帯筋の直線距離が長いと、コンクリートや主筋のはらみ出しを拘束できない。



写真－１１

名神高速道路宝塚線の壁式橋脚。壁構造の配力筋として位置づけられ、巻かれていない



写真－１２

ポータルライナーの短柱脚。円柱のフープ筋は有効だか、細いとはらみ出しを抑えられない。

(4)コンクリート打継目のせん断抵抗力は低い!?

橋脚のコンクリートの打継目がずれて、破壊したと思われる被害がいくつか見られた。打継目の処理方法や断面力分布との関係、鉄筋継手位置との関係など、改良の余地がありそうである。



写真 - 1 3

神戸市港湾幹線道路のラケット型脚。ネック部の打継目がずれている。



写真 - 1 4

阪神高速湾岸線の摩耶大橋。打継目がずれており、幅が広いので、周囲の帯筋は拘束力を持たない。



写真 - 1 5

西宮市内の山陽新幹線高架橋 1層ラーメン部の頂部の打継目がずれている。

(5)大開駅の中柱はせん断破壊か!?

神戸高速鉄道の大開駅は、中柱が破壊し、頂版が落ち込んで、道路を陥没させた。

中柱は、鉛直力で破壊したように見えるが、鉛直力だけでは壊れない。しかし断面が小さいため、少しの水平変位でせん断耐力に達する可能性がある。もし側壁に写真-18のようなずれやひびわれが発生すれば、中柱の破壊は十分考えられる。



写真-16

中柱が崩れ、頂版が落ち込んだ。



写真-17

変形が少ないところも、柱下端は破壊している。



写真-18

隣接部に、打継目が15~20cmずれている個所もある。

我が社が設計した構造物の被害調査

被害調査班

まえがき

平成7年1月17日5時46分に発生した兵庫県南部地震により阪神地区の構造物は、甚大な被害を受けた。この地域において、我が社が設計した構造物は相当数あり、設計者として地震による被害の実態を把握しなければならないとの使命感から、調査班を編成し、2月8日から2月11日の4日間にわたり現地調査を行った。この時点では主要な交通手段は不通となっており徒歩による調査であったため残念ながら調査対象は限定せざるを得なかった。

本報告は、我が社が設計した構造物を中心にして、設計構造物の一覧と主要な橋梁の被害状況を取りまとめたものである。極めて短期間の調査であり、必ずしも被害の全容をとらえたものではないが、被害を受けなかった箇所も含め、事実をできるだけ正確に伝えるよう配慮した。今後の調査、計画、設計等に参考になれば幸いである。

1. 調査行程

● 第一日目

【調査ルート】

新大阪→梅田→甲東園→武庫川橋梁→今津駅→名神高速・西宮料金所→阪神電鉄鳴尾駅→阪神高速神戸線→鳴尾→梅田→新大阪

【当社設計構造物の被害調査橋梁】

- ① J R (新幹線) 武庫川橋梁
- ② J R (在来線) 住吉・東灘間石屋川高架

● 第二日目

【調査ルート】

新大阪→梅田→甲子園→西宮浜→甲子園→芦屋→深江大橋→深江→青木→瀬戸交差点→魚崎→六甲大橋→六甲アイランド→六甲ライナー→住吉→新大阪

【当社設計構造物の被害調査橋梁】

- ③ 阪神高速道路湾岸線：西宮浜ランプ付近
- ④ 深江大橋
- ⑤ 阪神高速道路3号神戸線
- ⑥ 新交通システム：六甲ライナー線

● 第三日目

【調査ルート】

新大阪→住吉→三宮→ポートライナー→ハーバーハイウェイ→摩耶ランプ→摩耶大橋→灘浜大橋→灘大橋→御影浜→住吉→新大阪

【当社設計構造物の被害調査橋梁】

- ⑦新交通システム：ポートアイランド線
- ⑧神戸大橋アプローチ部
- ⑨ハーバーハイウェイ

●第四日目

【調査ルート】

新大阪→住吉→三宮→新長田→阪神高速3号神戸線・湊川ランプ→長田地区→鷹取
→神戸→三宮→住吉→新大阪

2. 調査班の構成

調査班は、当社設計構造物に詳しい関西支社の佐中副支社長、大橋顧問、楠参与を始めとする以下のメンバーで構成した。

- | | |
|----------------|--------|
| ・顧問 | 大橋 淳治郎 |
| ・関西支社 参与 | 楠 秀恵 |
| ・中部支社 支社長 | 児玉 武 |
| ・東京事業本部 副本部長 | 佐藤 鉄夫 |
| ・東北支社 技術部長 | 松本 修一 |
| ・東京事業本部 特殊構造室長 | 渡辺 英夫 |

3. 当社が設計した構造物の被害状況

3.1 設計構造物の一覧

気象庁による震度発表によれば、震度7（激震）の地域は、神戸市の須磨区（鷹取）、長田区（大橋）、兵庫区（大開）、中央区（三宮）、灘区（六甲道）、東灘区（住吉）の他、芦屋市（芦屋駅）、西宮市、宝塚市にかけての広範囲の地域となっている。震度7が認定されたのは気象庁による観測史上初めてのことである。

このような激震地域における当社が設計した構造物の一覧を表-1に、位置図を図-1に示す。

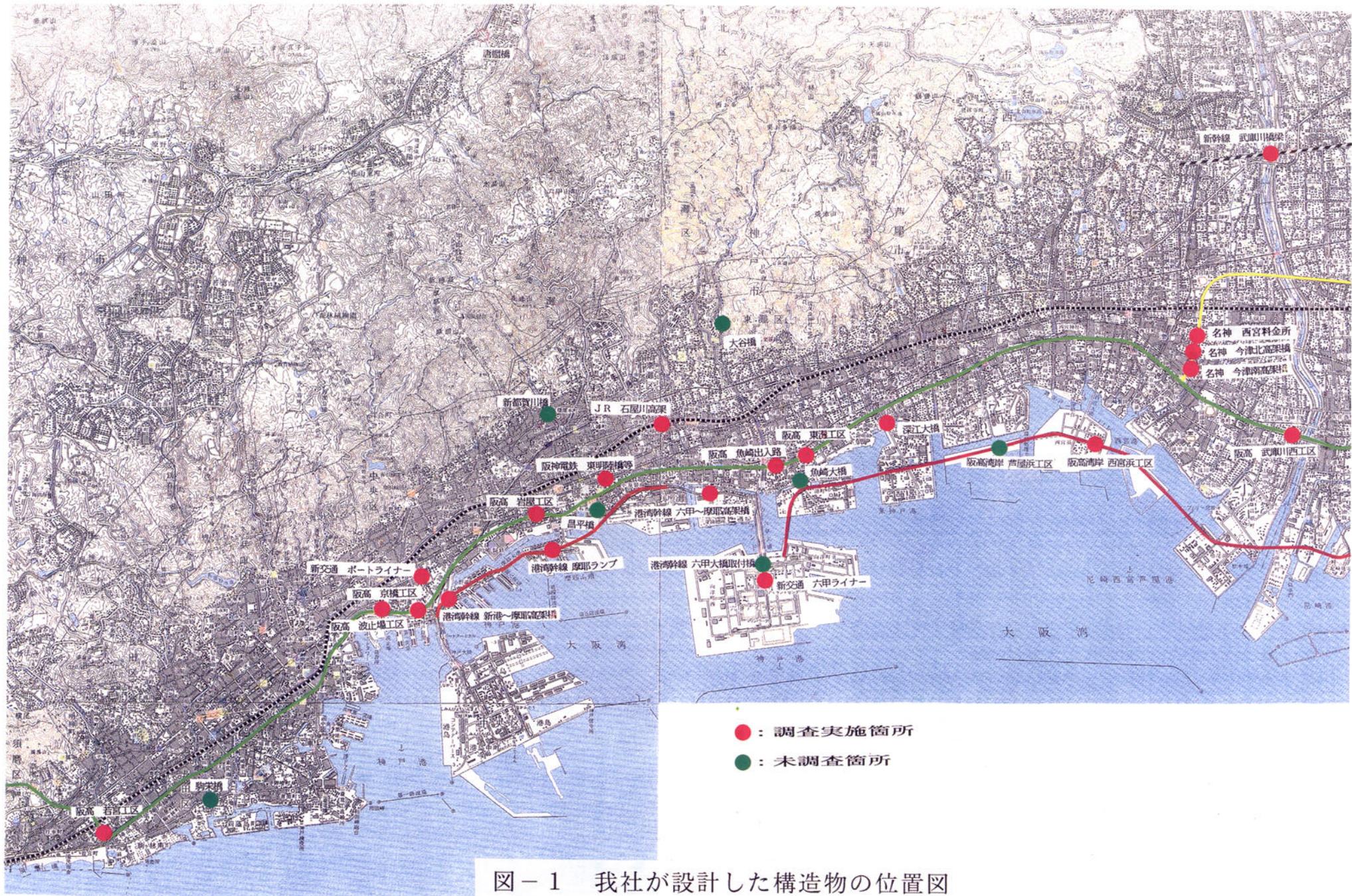


図-1 我が社が設計した構造物の位置図

3.2 我々設計構造物の被害状況

現地調査を行った我々設計構造物の主な被害状況写真を以下に示す。

(1) 武庫川橋梁

山陽新幹線・武庫川橋梁の上部構造は単純PCTげたであり、下部構造はRCT型橋脚である。我々設計範囲は上部構造のみである。上部構造には被害はないが、RCT型橋脚には中間部で座屈破壊が生じており、RC巻立て工法による補強工事が実施されていた。



写真-1.1
橋脚の補強状況



写真-1.2
RC橋脚中間部の座屈



写真-1.3

座屈部の配筋状況



写真-1.4

RC巻立て補強のための掘削作業



写真-1.5

RC橋脚中間部の座屈

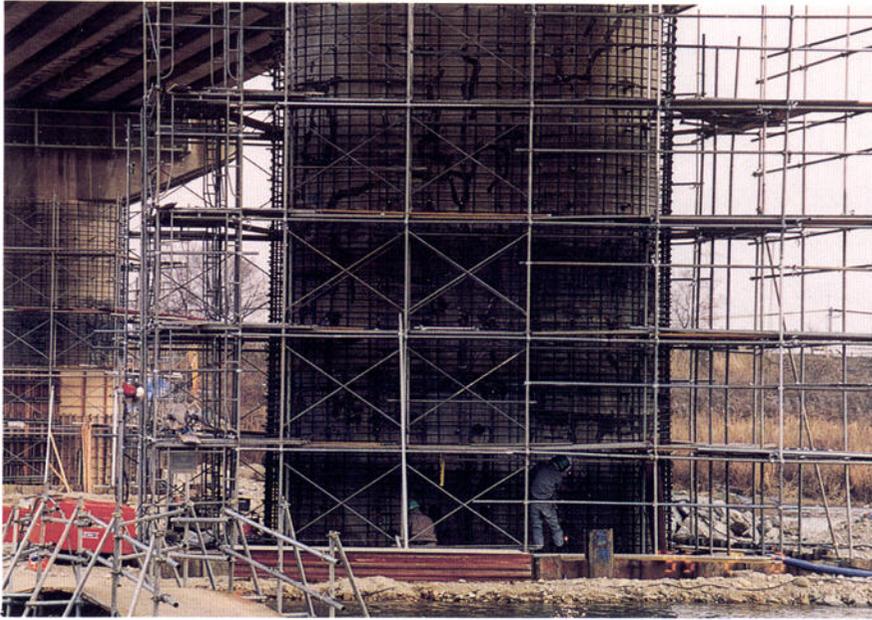


写真-1.6
R C 巻立て補強のための
配筋作業

(2) 阪神高速湾岸線・西宮浜ランプ付近

西宮浜出入路の構造は擁壁と単純合成げた橋から構成されており、下部構造はR C 壁式橋脚である。壁式橋脚には比較的軽微なせん断ひびわれが生じていた。また、擁壁と橋梁と間には30~50cm程度の段差が発生していた。



写真-2.1
西宮浜ランプの全景



写真-2.2
擁壁と橋梁間の段差



写真-2.3
壁式橋脚のせん断ひびわれ

(3) 深江大橋

上部構造はP C単純Tげた橋、橋脚はR C壁式構造となっている。上部構造には損傷はないが、橋脚には縦ひびわれやせん断ひびわれが生じており、ジャッキアップによる支保が行われていた。



写真-3.1

深江大橋の全景。併設されていた水道橋は落下していた。



写真-3.2

壁式橋脚の支保

(4) 阪神高速道路3号神戸線

深江交差点から青木、瀬戸、覚浄寺間における上部構造は鋼単純鈹桁または連続鋼床版箱桁であり、下部構造はP C T型橋脚が一般的である。P C橋脚にはせん断破壊、座屈、基部の破壊および傾斜などが生じており、鋼板による根巻き補強が多く実施されていた。

魚崎の出入路では、敷地条件の関係で場所打杭が地上部に立ち上げられた形式の独立柱にランプ橋が支持された構造となっている。このため、橋脚の大きな傾斜、落橋および沓の破壊などが生じていた。



写真-4.1
橋脚の破壊状況



写真-4.2
P C T型橋脚の仮支持の状況



写真-4.3
橋脚基部のひびわれ補修



写真-4.4
魚崎ランプ橋の橋脚柱頭部における桁支点部の破壊状況



写真-4.5
魚崎ランプ橋の落橋



写真-4.6
桁の塗装の剥離
(魚崎ランプ橋)



写真-4.7
RC橋脚の大きな傾斜
(魚崎ランプ橋)



写真-4.8
橋脚つなぎ梁の破壊
(魚崎ランプ橋)



写真-4.9
支承の破壊
(魚崎ランプ橋)



写真-4.10
カルバートの損傷および
桁の移動
(魚崎ランプ)



写真-4.11
壁の損傷
(魚崎ランプ)

(5) 新交通システム六甲ライナー線

六甲ライナーは、JR住吉駅から六甲アイランドに至る全長約5kmの南北に延びる新交通システムである。当社は六甲アイランド内のアイランド北口からアイランドセンター間の設計を行った。住吉大橋が徒歩で渡れないため、魚崎から西に迂回して御影大橋より住吉浜町に入り、六甲大橋の車道部を歩いて六甲アイランドに入った。六甲ライナーは、六甲大橋に取り付く付近で、桁が支承からはずれて傾いたり、落橋している被害がみられたが、我社の設計範囲である六甲アイランド内部では橋梁の被害はほとんどみられなかった。



写真-5.1

六甲大橋の住吉浜町側アプローチ部は地盤の沈下が著しく、道路にはき裂が走り、路面は波を打ち、周囲には液状化の跡が一面にみられた。構造物の被害はあまり目立たなかった。



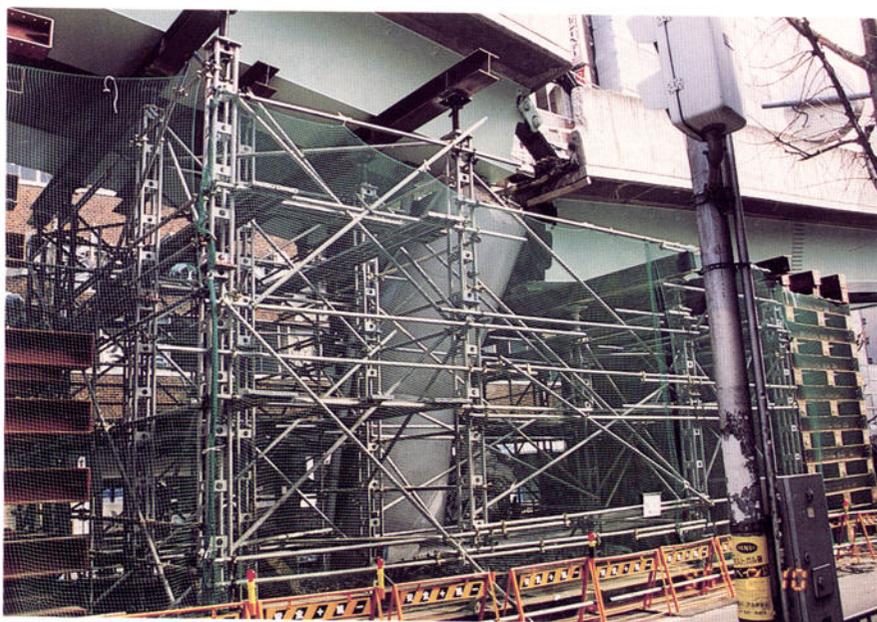
写真-5.2

アイランドセンター付近の六甲ライナーは当社が設計。被害はほとんどみられなかった。

（６）新交通システムポートアイランド線

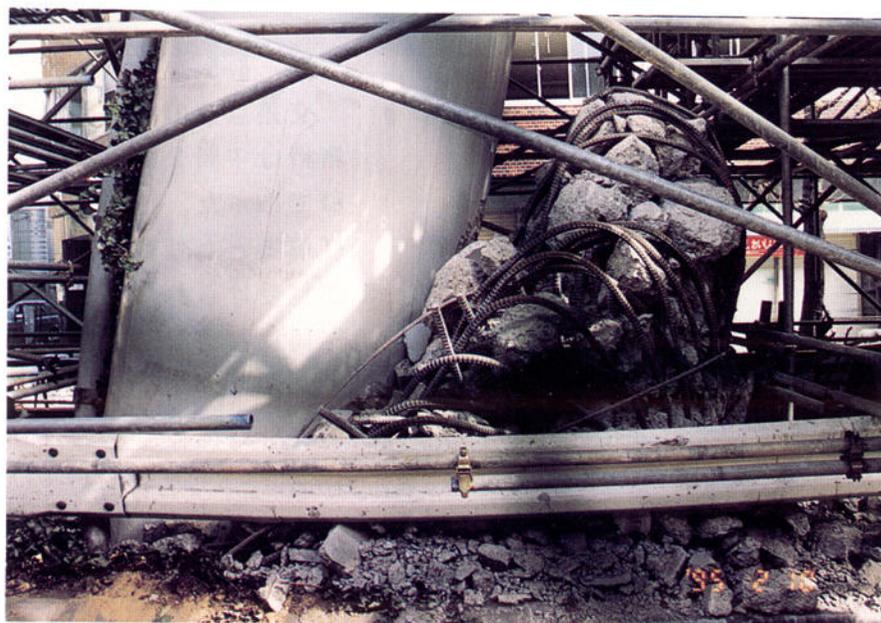
三ノ宮からポートアイランドに至る新交通システムポートアイランド線のうち、当社が設計を担当した三ノ宮駅から貿易センター駅間について被害を調査した。この区間は、２カ所ある道路交差点部に３径間連続箱桁を用い、その中間２脚を一本柱の鋼製橋脚としている。その他の箇所には単純合成箱桁と一本柱のＲＣ橋脚が用いられている。

ＲＣ橋脚のほとんどが下端部付近に被害をうけており、そのうちの三ノ宮駅寄りの１柱は柱下端が圧壊して橋軸方向（南北方向）にずれ、桁が落橋していた。これとは対照的に、連続桁と鋼製橋脚には外観上はほとんど被害がみられなかった。貿易センター駅の駅舎部にも一本柱のＲＣ橋脚が用いられていたが、柱間隔が狭いためか、ほとんど被害は見受けられなかった。地震の水平力は南北方向に卓越したことが明かとなっている。ポートアイランド線はほぼ南北に直線的に走っており、橋軸方向に揺れをうけたために生じたと思われる被害が特徴的である。



写真－6.1

橋脚の下端部が大きく損壊して橋軸方向（南北方向）に倒れ、可動側の上部工が落橋した。



写真－6.2

橋脚下端部は、内部のコンクリートが圧砕されて瓦礫状になっており、鉄筋が座屈している。



写真-6.3

落橋防止用のタイプレートが設置されていたが、主桁ウェブが破断し、はずれていた。

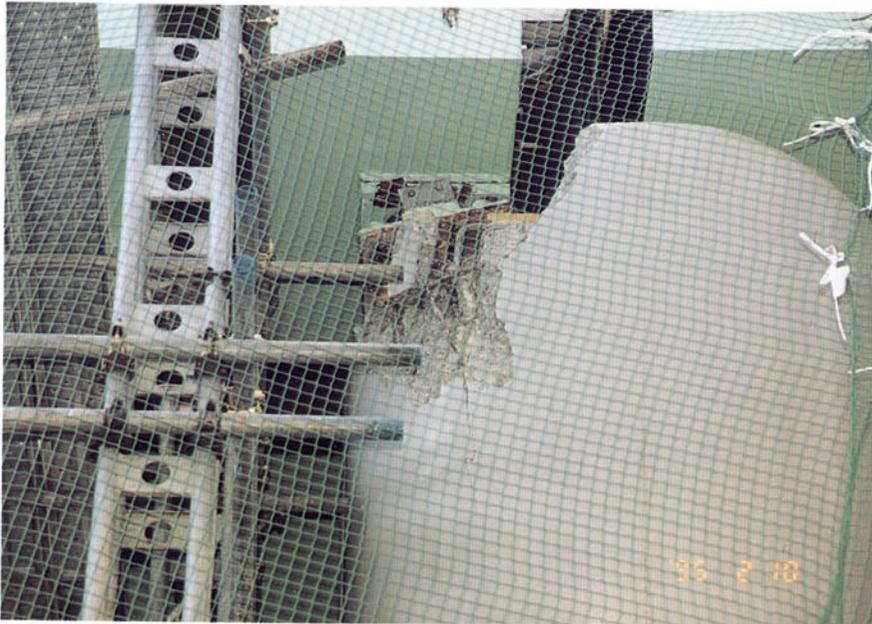


写真-6.4

沓座が破壊し、沓のアンカーボルトが露出。



写真-6.5

交差点部の3径間連続箱桁は中間2脚が鋼製橋脚であった。上部工および橋脚とも外観上は被害が見受けられなかった。

同様な構造が2箇所あったが、同じように被害はみられなかった。



写真-6.6

RC橋脚はほとんどが、橋脚基部に被害を受けていた。



写真-6.7

貿易センター駅はRC橋脚であり、スパンが短いラーメン構造となっている。一見トップヘビーに見えるが、ほとんど被害はみられなかった。

(7) 神戸大橋アプローチ部

新港第4突堤付近の神戸大橋アプローチ部は2層構造の門形ラーメン橋脚が連続している。上層柱の被害もみられたが、大部分が下層柱に被害が集中していた。特にRC橋脚の被害が目立った。被害を受けた柱のフープ筋は、コーナー部で切断またはラップ位置ではずれていた。



写真-7.1

2層構造の門形ラーメン橋脚は、橋脚の中梁から2~3m下がった位置で柱のかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が座屈していた。



写真-7.2

柱のフープ筋は、コーナー部で破断またはラップ部がはずれ、周囲に落下していた。

(8) ハーバーハイウェイ

ハーバーハイウェイは、湾岸の埋め立て部をほぼ東西に走る道路で、その大部分が、上下線の2層構造である。西寄りの小野浜町から麻耶埠頭にかけては、RCのラケット形橋脚が多数用いられており、その大部分が柱の上端部付近でかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が座屈していた。鋼製の門形橋脚にも柱の局部座屈とき裂の発生がみられた。一方、東側寄りの灘浜東町、御影浜町、住吉浜町では構造物には大きな被害はみられず、RC橋脚にひびわれが発生している程度であった。ハーバーハイウェイの通過位置は、埋立地であることから、液状化の跡が随所でみられ、地盤沈下による段差の発生等の被害が目立った。麻耶埠頭では、側方流動による護岸の移動がみられた。



写真-8.1

小野浜町の門形鋼製橋脚。2層構造の下層柱中間部で、橋軸直角方向に曲げを受けたとみられる局部座屈が生じており、塗装の剥離がみられた。

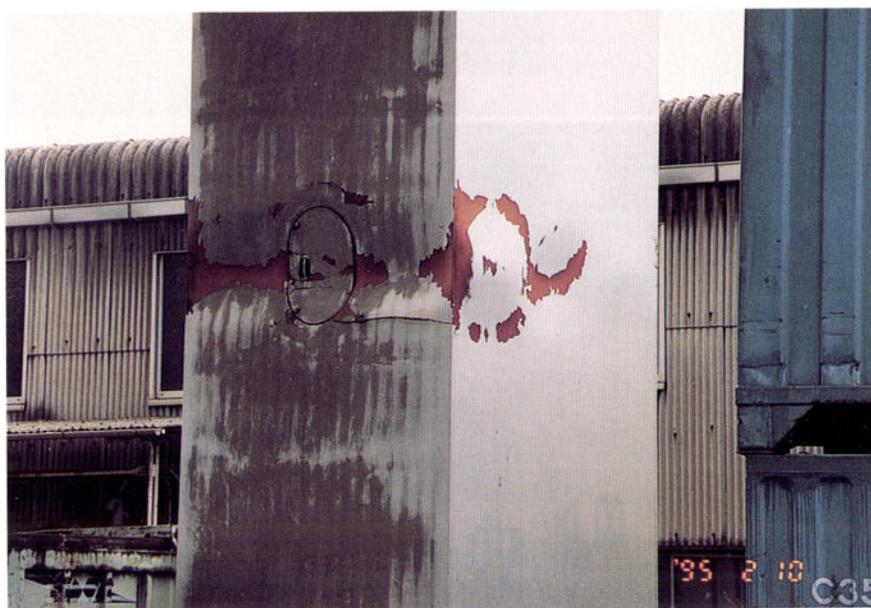


写真-8.2

鋼製橋脚の橋軸方向面に局部座屈が生じており塗装が剥離していた。ここにはちょうどマンホールがあり、端部からマンホールにかけて水平方向にき裂が発生していた。



写真-8.3

RCラケット形橋脚のほとんどが、一本柱の上端部付近に被害を受けていた。



写真-8.4

柱の橋軸方向面は水平方向に、橋軸直角方向面はV字形にコンクリートが剥離していた。橋軸直角方向に交番の曲げと水平力が作用したものと推定される。柱のフープ筋は露出し、コーナー部のラップ箇所では、はずれていた。



写真-8.5

座屈した箇所のフープ筋は、コーナー部ですべて破断していた。



写真-8.6

麻耶ランプはループ形状をしている。橋脚および上部工には特に被害は見あたらなかった。



写真-8.7

橋脚と周囲のアスファルトには10cm程度の間隙が生じており、このランプの橋脚も水平方向に大きく揺れたことを示していた。



写真-8.8

擁壁部は沈下あるいは水平方向に移動しており、橋梁との境界部で段差が生じていた。

周囲の地盤には液状化した跡がみられ、地盤が沈下していた。



写真-8.9

ランプ橋に隣接する本線の橋脚はラケット形状であり、ここでも橋脚の一本柱の部分に被害を受けていた。



写真-8.10

灘浜東町付近の鋼製橋脚。橋脚付け根の歩道アスファルトは、橋脚の南北側が大きくめくれており、橋脚がかなり移動した痕跡がみられた。橋脚および上部工の被害はみられなかった。



写真-8.11

住吉浜町のRCラケット形橋脚。橋脚下端の北西側かどが欠け落ちていた。



写真－8.12

RC橋脚に生じたひびわれ。住吉浜町付近では、写真に示した程度のひびわれがRC橋脚に生じていたが、大きな被害はみられなかった。

3.3 被害に関する所感

各地点の被害に関する所感、今後の設計にあたっての留意点等を以下に示す。

(1) 阪神高速3号神戸線

・円形断面にRC単柱式橋脚は、柱下端付近で橋軸直角方向に水平ひびわれがあるもの、鉄筋の降伏があるもの、座屈したものなどがある。道路を横断する大スパンの箇所には、矩形断面が用いられており、被害の状況は円形断面とほぼ同様であるが、被害の程度は大きいように思われる。

・柱の断面に比べて高さが小さくなると（細長比が小さい）、せん断破壊が多くなる傾向にある。これはせん断耐力に比較して曲げ耐力が小さいことによりせん断破壊が先行しやすいためと思われる。

・魚崎のランプの被害は大きく、鋼桁が支承から脱落し、橋台への衝突により橋台躯体を破壊している。本橋脚は敷地条件が極めて厳しいため、やむを得ず場所打ち杭を地上に立ち上げたパイルベント方式となっているおり、桁が大きく揺さぶられたものと思われる。

(2) ハーバーハイウェイ

・柱の被害が多い。柱上端と梁、上層柱と梁との結合付近、柱の中間部に破壊が見られる。
・壁状の柱東側に被害が多く、西側は北隅で剥離してものが数箇所あった。被害は二方向曲げによる圧壊と思われる。

・橋脚の被害は軽微な範囲に押さえ、支承や耐震連結装置の改良により落橋を防ぎ、かつ上部工のスパンをできるだけ同一（等径間）にするような配慮が大切であると思われる。

(3) 新交通ポートライナー

・RC単柱は柱脚の下端（地上より1～1.5m）で破壊しているもの、杓座が破壊しているもの、橋脚の破壊により落橋しているものがある。

・連続桁部分および鋼橋脚は、比較的被害が少ない。

・駅舎部分はRC構造であるが、小スパンのラーメン構造であるため被害はほとんどない。

・落橋防止の桁連結装置が破壊しているものがあり、桁端から連結ボルトまでの距離を大きくするのがよいと思われる。

(4) 神戸大橋取付部

・RC柱の破壊が目立つ。2層構造の下層柱に被害が多い。

・全体に帯鉄筋が破断またはラップ部分で離れており軸方向鉄筋の座屈防止に効いていない。すなわち、終局時には帯鉄筋のラップおよびコーナー部の継手程度では、帯鉄筋の機能が発揮されないため、帯鉄筋は柱内部へ十分定着する必要があると思われる。

・2層のラケット型については、断面の大きい柱上端部での被害が多い。

・柱の被害が少なければ、被害は最小にとどめられたものと思われる。柱のフープ筋、スターラップの組み方・定着の再考が必要と思われる。

(5) まとめ

地震記録や著しい震害などから、今回の地震が極めて大きな外力として構造物に作用したことは確かである。現在の耐震設計は過去の大地震の教訓を踏まえて進歩してきた。今後は被害状況、耐力照査、シミュレーション解析などによる原因究明の検討を踏まえ、設計想定地震、靱性に対する配慮、耐震構造細目、支承・落橋防止装置などの見直しが必要であり、今後の復興計画・設計・補強対策等に今回の教訓を十分活かさなければならない。

4. 当社設計構造物以外の被害状況

被害調査の際に見た周辺構造物の被害状況写真を以下に示す。

(1) 鉄道橋



写真-9.1

甲東園高架橋
RCラーメン高架橋
脚柱頭部の座屈



写真-9.2

甲東園高架橋
RCラーメン高架橋
脚柱頭部の座屈



写真-9.3
甲東園高架橋
橋脚のつなぎ梁と脚柱
結合部のせん断破壊

(2) 道路橋



写真-9.4
西宮港大橋に隣接する
鋼床版箱桁橋の落橋



写真-9.5
西宮港大橋のケーブル
の破断



写真-9.6

灘大橋（ニールセンローゼ橋）の全景。隣接する橋梁との間に段差が発生。



写真-9.7

灘大橋のケーブル：3本が上部の定着端から抜け落ちていた。



写真-9.8

灘大橋の隣接橋梁：桁が横に移動し、支承からはずれて沓座に落ちていた。



写真-9.10

阪神高速3号線・湊川の
オフランプ：橋脚が倒壊し、
桁が折れていた。



写真-9.11

湊川のオンランプ：本
線を挟んでオフランプと
ほぼ対象形をなしている。
橋脚は、オフランプとほ
とんど同様に倒壊して
おり、桁が落橋していた。

(3) 港湾施設



写真-9.12

麻耶大橋付近の第8突
堤にある倉庫：一階部分
が上下端部で座屈。



写真-9.13

麻耶埠頭と内陸を結ぶ
取り付け道路の東側岸壁
：側方流動により大きく湾
曲して海側に移動。背面の
地盤は深く陥没。2台の車
が、微妙なバランスで岸壁
に載っている。

(4) 建築物



写真-9.14

せん断変形をして傾い
た鉄筋コンクリートのビ
ル。長田地区は、木造の
家屋が多数倒壊したが、
鉄筋コンクリートのビル
もかなり被害を受けてい
る。



写真-9.15

2階部分が圧壊したビ
ル。



写真－9.16

長田地区の火災焼失現場。

あとがき

現地に入ったのは地震発生から22日後であり、すでに各地で復興作業や補強工事が進んでいた。鉄道はJRが住吉まで、阪急電鉄も御影まで運転されており、三ノ宮方面へは代替バスも運行されていた。乗り継ぎ等で時間を要したものの、調査現場には、これらの交通機関を利用することで比較的容易に入ることができた。現地では、構造物の壊れ方が予想をはるかに超えており、その原因が何かを考えるよりもまず先に、自然の力の強大さを肌で感じた。今後の詳細な調査で、被害の原因が究明されていくと思われるが、壊れない構造物を考えるより、その壊れ方がどうあるべきかを、さらに考えていく必要がある。

最後に、今回の調査にあたっていろいろと便宜を図っていただいた、関西支社の長坂支社長、佐中副支社長をはじめ関係者にこの場を借りてお礼申し上げます。

都市防災の観点から(その1)

－問題点と課題－

近久勤一

今回の阪神大震災に係る主な問題点と今後検討すべき課題は以下に示すような各種個別課題が投げかけられ、今後それらの各種改善策を検討する必要がある。

これらを踏まえ、防災都市計画としての視点から特に考慮すべき事項として、以下のことが考えられる。

○防災幹線道路の整備

- ・マクロに地質条件の異なる地域を通過し、災害時迂回可能なラダー構造とする。
- ・整備にあたっては、高架、平面土工、地下トンネル等の主体構造の選択も行う。

○河川、道路、公園を利用した緑のネットワークによる火災等の二次災害防止

- ・安全な避難路、避難地を確保(目標2km圏に1箇所)し、公園等には備蓄物資、耐震水槽等も備える。避難路は多重選択可能な計画とする。

○各種代替え可能な交通結節機能の分散配置

- ・広域避難所を鉄道・幹線道路等の結節点に整備し、それと同時にヘリポート整備、港湾部には防災埠頭等も配備する。

○地形・地質条件等にも配慮した拠点地区機能等の分散配置

○多重化を考慮したライフライン整備

○災害応急処理支援システムの検討(下図に示す被害連鎖を考慮する必要がある)

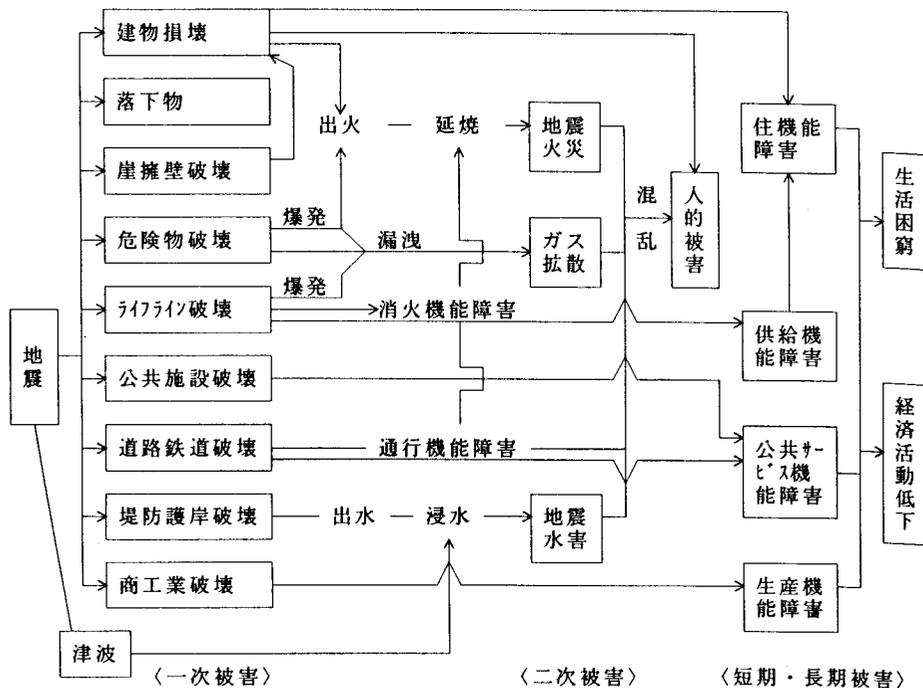


図-1 地震災害連鎖関連図

表-1 阪神大震災における主な問題点と今後検討すべき課題

項目	阪神大震災での主な問題点	主な検討すべき課題
建 物	<ul style="list-style-type: none"> △岩盤上の浅い沖積層部分で建物倒壊が多い △屋根の重い木造建物の全半壊 △木造一階部分の倒壊と圧死、救助の遅れ △鉄筋コンクリート中層建物の中間階で破損大（反射波による増幅） △高層ビルの被害は少なかったが上下動の耐震見直し、共振設計見直しを要する 	<ul style="list-style-type: none"> ◆震動特性と破壊力 ◆木造耐震構造見直し ◆耐震設計見直し
火 災	<ul style="list-style-type: none"> △電気、ガス漏洩による火災が6割を占めた △交通渋滞による火災、救急現場への到着遅延 △水道断水、防火水槽の破損による水確保が困難 △消防無線は一回線のみで連絡不能 △震度6以上の同時多発火災では消防消火力不足 △空中消火を検討したが消防庁と自衛隊の見解不一致により断念 	<ul style="list-style-type: none"> ◆共同溝化、監視制御 ◆交通規制（緊急車両） ◆耐震型防火水槽 河川水・海水利用 ◆無線回線の多重化 ◆広域消防支援体制 ◆生埋者に配慮した空中消火手法の検討
情 報	<ul style="list-style-type: none"> △NTT回線の過飽和による不通話 △自家発電損壊、アンテナ破損による衛星通信ネットワークの遮断等による情報交換機能の停止 △行政の住民への情報提供サービス不足 △きめ細かな地域放送、パソコン通信等が有効に機能したとの評価 	<ul style="list-style-type: none"> ◆災害時の優先電話 ◆耐震型自家発電、アンテナによる整備 多重方式の検討 ◆市町村防災行政無線の整備と有効活用
公共輸送 物資輸送	<ul style="list-style-type: none"> △鉄道不通、高速道路の閉鎖 △幹線道路の交通渋滞 △海上輸送の活躍 △ヘリコプター輸送の活躍 	<ul style="list-style-type: none"> ◆早期復旧 ◆代替輸送確保（バス） ◆交通規制（緊急輸送路、バス専用レーン） ◆拠点耐震護岸整備 ◆ヘリポートの整備
港湾護岸	<ul style="list-style-type: none"> △護岸の破壊 △港湾物流施設の破壊 	<ul style="list-style-type: none"> ◆耐震護岸の見直し ◆早期物流機能の復旧
ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> △NTT、停電は早期に復旧（地下区間は復旧遅れ） △水道、ガス 	<ul style="list-style-type: none"> ◆共同溝化の推進 ◆耐震化継手
液状化	<ul style="list-style-type: none"> △埋立地へのアクセス橋梁破損による陸の孤島化 △構造物は杭基礎で安定していたが、埋立地盤の平均60cm沈下による障害、路上の泥沼化 	<ul style="list-style-type: none"> ◆代替え構造路線整備 ◆サントコンパクションパイル等土質改良の埋立工法

（関西支社 総合計画部 部長）



写真－１ 長田（建物）

重い瓦屋根の木造は全半壊が多い。軽い屋根の木造は強かった。木造２階建のうち１階部分の破壊が多く、そこに寝ていた老人の圧死者被害が多かった。死者の９割が圧死といわれている。



写真－２ 三宮（建物）

破損した建物の一部が歩道上を埋め尽くしている。歩行者が多い時間帯であったらと思うと冷や汗が出る。



写真－３ 三宮（建物）

神戸市役所中層建物の中層階が至る所で破壊ビルの固有周期と地震の固有周期があって上下動の反射で増幅し破壊したとの説もある。高層ビルの被害は少なかったが、水平・沿直振動が共振した場合の耐震設計見直しが必要とされてきている。



写真－４ ハーバーランド
(建物)

建物相互を接続する歩廊の被害を多く見かけた。



写真－５ 元町(建物)

地盤が三角州(沖積層)周辺の建物の倒壊が多かったが、砂堆上にある元町・南京町は被害が少なく早期復興で人があふれていた。



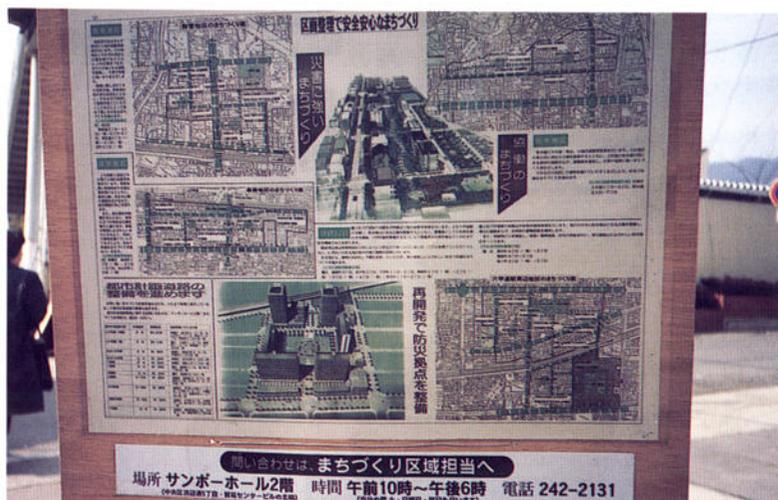
写真－６ 六甲新道(火災)

戦時中を思わせる焼け野原。



写真－7 六甲新道
(復興計画)

震後約1ヶ月区画整理、再開発によるまちづくり案が提示された。住民の意見が取り込まれていない都市計画決定手続きに反対者も多い。



写真－8 六甲新道
(復興計画)

震後約1ヶ月区画整理、再開発によるまちづくり案が提示された。住民の意見が取り込まれていない都市計画決定手続きに反対者も多い。



写真－9 長田(火災)

耐火建築物による焼け止まり。



写真-10 長田（火災）

植栽、広場は断熱・延焼防止効果がある。



写真-11 長田（火災）

広幅員な道路・鉄道・河川等が火災延焼の遮断帯として機能する。



写真-12 長田（火災）

焼け残ったアーケード街、場所によってはアーケードに沿って延焼が拡大したように見受けられる箇所もあった。



写真－１３ 長田（火災）

ガソリンスタンドは耐震・耐火構造となっており、延焼を広めた形跡は聞かない。



写真－１４ 三宮（情報）

災害用衛生通信ネットワークアンテナの破損で傾いている自家発電装置破損で地震発生約６時間使用不能。



写真－１５ JR神戸駅
（地下街）

比較的地盤のしっかりした砂堆上にあるJR神戸駅地下街の被害はほとんど見受けられず人があふれていた。



写真－１６ 阪神春日野道駅
(地下鉄)

既に開通している阪神春日野道駅の地下鉄区間の天井の一部が崩落していた。



写真－１７ ポートアイランド
(液状化)

一見何の被害もないように見える人工島。



写真－１８ ポートアイランド
(液状化)

液状化による泥水・噴砂で破壊した道路。



写真－１９ ポートアイランド
大橋（液状化）

三宮と接続するポートアイランド大橋の基礎は固定されているが、液状化で地盤が60cm程度沈下、至る所の高架橋脚部で同様の現象を程している



写真－２０ ポートアイランド
（液状化）

建物杭基礎で安定しているが人工島地盤全体が60cm～1m沈下したため、多くの建物との段差ができた。



写真－２１ ポートライナー
（新交通）

落橋したポートライナー（新交通システム）の復旧工事が1ヶ月後には、さかんに進められていた。



写真-22 メリケンパーク
(護岸)

メリケンパークの護岸破壊は
すさまじく、耐震護岸設計が
望まれる。



写真-23 メリケンパーク
(港湾)

旅客船乗り場の港湾被害も大
きい。



写真-24 摩耶埠頭
(物流施設)

港湾の物流施設の被害は壊滅
状態。早期復旧を図らないと
国際物流拠点機能が他港湾、
他国に奪われる。

都市防災の観点から(その2)

— 今後の都市計画に向けて —

民岡 順朗

1. はじめに

平成7年1月17日、午前5時46分に神戸市を中心とした阪神地方を襲った地震は、震度7の激震という非常に大きなものであり、これがもたらした被害は死者五千人超、全半壊した家屋約10万戸と、我が国では戦後最大規模の災害となった。

この地震の特徴としては、①我が国有数の大都市を襲ったものであること、②震源の深さが地下20kmという直下型地震であったこと、③絶対安全とされていた高速道路・新幹線の高架橋などの土木構造物が広範囲において倒壊したこと、④交通や電気・水道などライフライン寸断により被害が広域的に拡大したこと、などが挙げられ、典型的都市災害の様相を呈したといえる。

このため地震発生以来、国内外から多くの調査団・報道陣が現地を訪問し、土木工学、建築工学、都市計画など様々な見地による調査が行われた。

筆者も平成7年2月3日から4日にかけて神戸を訪れ、被災地を視察した。本稿は、この地震で甚大な被害を受けた神戸市長田区、及び三ノ宮周辺市街地における、現地調査の結果を報告するものである。

2. 調査の目的と対象

(1) 調査の目的

「都市防災」という観点で被災地を視察し、災害に強いまちづくりなど、今後の都市計画を行う上での手がかりとなる情報を入手する。

(2) 調査対象地

2日間という限られた日程であったため、調査対象を以下の2地区に絞った。

□神戸市長田区 JR新長田駅から兵庫駅にかけての市街地(木造家屋密集地)

□神戸市中央区 三ノ宮駅周辺及び地下街、三ノ宮駅前から新神戸駅にかけて

調査対象地の概略位置を図-1に示す。

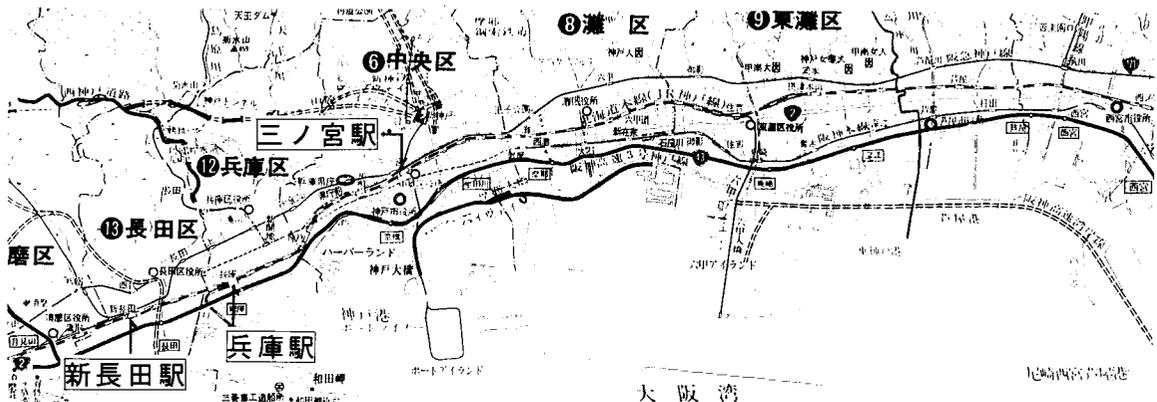


図-1 調査対象地

(3) 調査の対象

現地調査の主な対象を以下に挙げる。

- 被災エリア周縁（フリンジ）の状況
- 道路の状況（幹線道路・生活道路；電柱・信号などの占有物）
- オープンスペースの状況（公園・学校など）
- 樹木の状況（街路樹・屋敷林など）
- 都市内河川の状況（護岸・橋など）
- 大規模構造物を立体利用した建物の状況（鉄道高架下の建物など）
- 地下街の状況
- その他全壊した家屋、半壊したRCビルなどの建物状況

3. 調査の日程

調査の日程を表-1に示す。

表-1 調査の日程

日 程	行 程
<input type="checkbox"/> 平成7年2月2日	・夜、大阪入り。関西支社にて調査日程などの打ち合わせ。
<input type="checkbox"/> 平成7年2月3日	・午前中大阪から神戸に向けて移動。大阪港から水中翼船で神戸ポートアイランドへ到着。タクシーで神戸市長田区のJR新長田駅付近に向かう。 ・午後からJR新長田駅～兵庫駅周辺の被災地現地調査。 ・夕方、神戸ポートアイランドから水中翼船で大阪港へ帰阪
<input type="checkbox"/> 平成7年2月4日	・午前中神戸に向けて移動。梅田から阪神電鉄で青木（おおぎ）まで行き、代替輸送のバスに乗り換え。国道43号～2号ルートで三ノ宮（さんのみや）駅に到着。 ・午後から三ノ宮駅前周辺～新神戸駅周辺を視察。 ・夕方、新神戸から北神電鉄・神戸鉄道、及びJR福知山線ルートで三田（さんだ）経由で大阪駅へ。東京への帰路に

4. 調査結果

上記の調査対象・着眼点の方針を踏まえ、ビデオと写真の撮影を行った。

現地調査の結果を以下に示す。

(1) 被災エリア周縁（フリンジ）

- ・被災の状況：・長田区では木造家屋が密集していたこともあり、地震による倒壊に加え、大規模な火災による被害が激しく、一辺が数百mの長方形のエリアが全滅という地区が何箇所もあった。
- ・周縁の状況：・被災エリア周縁においては、左右を見渡したときの状況が一変する。（長田区）周辺を観察すると、大抵の場合公園・学校などの空地や耐火建築物が存在しており、延焼防止の緩衝地帯としての有効性が分かる。

【写真1】

(2) 道路（一般道路）

- ・街路の状況：・地震から2週間以上経過していたが、長田区の被災地では至る所で（長田区）倒壊した建物や電柱が道路を塞いでいた。木造家屋密集地ということもあり、細街路が縦横に走っている痕跡が確認できた。
 - ・現地を歩いてみると、4 m未満の細街路は、瓦礫の山の下で存在したか否かも分からない状態であり、幅員6 mでも建物・電柱倒壊や違法駐車などの状況によっては、緊急車両の通行は不可能である。
【写真2】【写真3】【写真4】
- ・道路占有物の状況（長田区）：・コンクリートの電柱については倒壊したものを多く見かけたが、鋼構造の道路標識や信号は、ほとんど損傷を免れていた。
【写真5】【写真6】
 - ・幹線道路を見ると、やはり倒れた電柱は目にしたものの、鋼構造の歩道橋の倒壊は確認できなかった。
【写真7】
- ・路面など（長田区）：・道路の路盤は全般的に見て、車道部の損傷は少なく、歩道部に路盤の亀裂・縁石の破損などの被害が確認できた。
【写真8】
 - （臨海部等）・ポートアイランドや、これに隣接する市内臨海部では、亀裂や段差など車道部の大きな損傷と、アスファルトで被われていない植樹帯における土砂噴出（液状化が原因と思われる）の跡が顕著であった。

(3) 空地（オープンスペース）

- ・空地の状況：・公園・校庭などのオープンスペースは、前述のように延焼防止の緩衝地帯となっているとともに、住民の避難場所として使われており、都市災害発生時における役割の大きさを再確認した。（長田区）

(4) 樹木

- ・樹木の状況：・街路樹及び空地・建物敷地内の樹木とも倒壊事例は無く、被災エリアの周縁では樹木は青々と葉をつけており、延焼防止効果を改めて認識した。（長田区）
【写真1】【写真5】【写真9】

(5) 都市内河川

- ・河川の状況：・新長田駅と兵庫駅の間に「湊川」という小さな河川があるが、現地で観察した限りでは護岸、橋梁とも無事であった。（長田区）
 - ・ただしこの川は数mの高さを持つ護岸で市街地と隔てられており、火災発生時の消火活動に効果があったかどうかは疑問である。
【写真10】

(6) 大規模構造物を立体利用した建物

- ・高架下建物の状況（長田区）：・新長田駅から兵庫駅にかけて、JR高架下は材木置場やタクシー駐車場などに使用されている。ガード下も含めこれらはいずれも無事であったが、新長田駅の駅舎（上屋）は全壊した。
【写真11】【写真12】

(7) 地下街

- ・地下街：・視察した三ノ宮の地下街は見た限りほとんど無傷であり、何事もなかったかのように人々が通行していた。

(8) 建築物

- ・建築物：・長田区の被災地に限らず、木造家屋の倒壊が目立った。梅田から阪神電車で青木駅に向かう沿線では、倒壊は免れながらも屋根瓦が落下した家屋を数多く見かけた。
- ・RCなど耐火建築の建物については、見かけの新しさ・古さに拘わらず、倒壊したもの・無事だったものが多く目に付いた。
- (三ノ宮) ・三ノ宮駅前では、大規模なデパートやオフィスビルなどの中間階が潰れている事例が多く、長田区の木造家屋密集地における被害状況と非常に対照的であった。
- (長田区等) ・その他、建物は全壊したもののコンクリートブロック塀が無事であった事例、柱が少ないにも拘わらずガソリンスタンドは全く被害のなかったこと、立体駐車場や工事現場の仮設事務所などプレファブ建築の被害が小さかったこと、などが印象に残った。

【写真13】

5. 考 察

以上の現地調査結果及び新聞・テレビの報道事実を踏まえ、都市計画に携わる技術者としての視点で、都市災害・都市防災についての考察を行った。

(1) 緩衝空地・緩衝緑地

火災発生時の延焼防止効果・避難所としての役割など、都市災害に対する緩衝空地・緩衝緑地の有用性は、都市計画においては常識となっており、今回の調査でもその効用が明らかになった。

しかし神戸市においては、①海と山に挟まれた狭隘な平野部に 150万もの人口を抱える過密都市であったこと、②長田区など戦災を免れ区画整理がされずに残った木造家屋密集地が多く存在したこと、などの条件により、市街地における空地・緑地の整備は充分とは言えない状況であった。

今後、火災に対する対応策として、建物の不燃化・難燃化を誘導していく措置がとられていくものと思われるが、点ではなく面としての都市防災を実現する上で、土地区画整理事業などを活用した空地や緑地の創設・整備は大きな柱になると思われる。

(2) バッファビル

RCなど耐火構造を持った建物も、大きな地震により窓ガラスが破損し、隣接家屋の火が内部に燃え移り「かまど」状に炎が大きくなって、さらに隣の家屋へと延焼が拡大していった事例が報告されている。

従来、耐火建築物は延焼防止のバッファ（緩衝物）として有効と考えられてきたが、今回のように震度7という大規模な地震が発生した場合、必ずしもその防災機能を満足以発揮するとは言えないことが明らかになった。

バッファビルを今後計画する上では、材料の不燃性に加えて、外壁や開口部の強度確保など、耐震性能を併せて考慮に入れる必要がある。

(3) 街路（生活道路）

建物や電柱の倒壊により道路が封鎖され、消防車・救急車など緊急車両が通行不可能となった事例が多く発生した。幅員が4 mに満たない街路は、その大部分が瓦礫の下でその位置も分からないほどとなり、交通機能を失っていた。

建物や構造物の倒壊を想定した場合、自動車の通行を前提とする道路幅員は6 mでも不十分であろう。少なくとも主要区画道路の幅員は8 mを確保した上で地区幹線道路にスムーズに接続させるべきという印象を持った。

幸いにして被災を免れ、区画整理の予定のない地域でも、例えば木造家屋が建ち並ぶエリアにおける6 m道路は、建物の壁面線後退誘導などにより、非常時の緊急車両通行に備えた幅員を確保していくべきであると考える。

(4) 電線の地中化

電柱の倒壊による道路の封鎖という事態を解消するために、電線の地中化は有効であり、都市景観向上という観点でもメリットがある。しかし、電線の地中埋設工事は大地震に対する対策も考慮に入れると、地上敷設に比べ百倍ものコストがかかる、との試算もある（関西電力試算。日経新聞記事より）。

鋼構造の道路標識・信号など被害の少なかった構造物の事例から考え、電柱についてはコンクリートという材料を、耐震性能の高い材料に見直していく、などの検討も必要であると考える。

(5) 水の確保

道路交通の寸断と火災の同時的多発によって、火災現場に消防車がアクセスできず、運良く消防車が到着しても、水道管寸断による水の絶対的不足から消火活動が不可能となった地域が多く存在した。さらに、火災鎮火後も、飲料水やトイレなど生活用水の不足が各地で生じた。

神戸は狭隘な土地に高速道路などを整備するため、河川の暗渠化により用地を確保し、他の河川についても治水上の観点から、地盤面から深く掘り下げ護岸を整備したため、消火活動や生活用水確保のための取水が困難となった。

市街地のオアシスとして都市内河川を位置づけ、親水護岸への改修など景観的側面からの河川整備が各地で行われているが、非常時における水の確保という観点からも、河川の水面開放・護岸へのアクセス性向上を積極的に図る必要がある。また、公園や学校の運動場の雨水を活用するために「雨水の地下貯留」などの方策を併せて講じていくことが有効であると考える。

6. 現地調査写真

現地を視察・調査した際に撮影した写真を次頁以降に示す。



写真－１ 長田区菅原通り、御蔵通り周辺
被災エリアの向こう側に延焼防止機能を果たした
オープンスペース（緑地）と緩衝建築物が確認できる



写真－２ 長田区千歳町周辺
細街路の被災状況



写真－３ JR新長田駅周辺
建物の倒壊により通行
不能となった街路



写真－４（上）
長田区千歳町周辺
建物等の倒壊により
通行不能となった
街路



写真－５（左）
ＪＲ新長田駅周辺
建物・電柱の倒壊
により通行不能と
なった街路



写真－６
長田区御屋敷通り
周辺
倒壊した電柱



写真－7 長田区御屋敷通り周辺
損傷を免れた歩道橋・
道路標識と倒れた電柱



写真－8 長田区御屋敷通り周辺
路盤に亀裂が入り、縁
石が破損した歩道部



写真－9 長田区御屋敷通り周辺
炎上・倒壊を免れた屋敷林



写真-10 長田区内の湊川
護岸・橋梁には損傷が
認められない



写真-11
JR新長田駅高架下
鉄道桁下空間に損傷
は認められない



写真-12
長田区御蔵通り
商店街周辺
倒壊した建物（手前）
と損傷を免れたガソ
リンスタンド



写真－１３

J R新長田駅周辺
倒壊した建物（右）と
損傷を免れたプレファ
ブ構造の駐車場（左）

7. おわりに

震災発生後、マスメディアでは連日のように政府の初動態勢不備や、構造物倒壊・ライフライン寸断に対する技術的問題や責任のあり方などを連日報道したが、現地を実際に視察してみて、都市という巨大システムを「どう制御するか」ではなく、「システムの発想そのものをいかに変えていくか」が問われている、ということを実感した。交通についていえば海上輸送やハブ空港（今回は伊丹空港がその役割を果たした）による相互補完的な多重手段の構築、行政府による中央管理システムの強化とともに副軸としての住民自治体制確立など、都市行政・都市計画を根本から見直す必要があるだろう。

最後に、技術者として一生に一度あるかないかという、貴重な体験の機会を与えて下さった横溝常務、上野次長、また現地においては2日間の自由行動という便宜を図って下さった和田役員、さらに支社の皆さんとの交流の場を設けて下さった長坂関西支社長など、ご厚意を頂いた皆様に紙面を借りてお礼を申し上げますとともに、今回の地震により不幸にして被災された方々にお見舞いを申し上げます次第です。

（東京第一事業部 都市・地域部 主査）

災害時の道路交通（その1）

－交通の管理、運用面から－

辻 光 弘

本稿では、交通部門の技術者として目で見、肌で感じた被災地神戸の交通状況について、地震発生1週間後の状況を中心に報告する。

新大阪駅からJR福知山線、神戸電鉄有馬線および北神急行電鉄を經由して約2時間半をかけ新神戸駅に着いた。震災直後において大阪から神戸都心部に直接アクセスできる鉄道としては唯一の経路である。新神戸駅から三宮方面に歩いていくうち、新聞、テレビで報道されていたビルの倒壊、鉄道の桁の落下等の惨状を目の当たりにし、すさまじい地震のパワーに愕然とした。市内は、地震後1週間が経つというのに消防車、救急車等の緊急車両のサイレンがひっきりなしに鳴り響き、取材や救援関係のヘリコプターの轟音も交じり、市内はまだ騒然とした状況であった。

三宮からさらに神戸港方面へフラワーロードを南下し、6階が圧壊した神戸市役所旧庁舎を横にながめ、一般国道2号を西の明石方面へ向かった。この区間の国道2号は、上部を高架構造の阪神高速道路神戸線が通過しているが、京橋ランプ付近で桁の落下、橋脚のせん断破壊など甚大な被害があったため、高架下は部分的に通行が制限されていた。ただし、対面2車線の通行は、倒壊の危険個所を避けて何とか確保されていた。

国道2号は、すでに緊急車両以外の通行が阪神間で制限されていた。しかし、現場で見ると、緊急車両の偽造？許可証を表示した業務用車両、市民の足代わりのタクシー、被災者の移動のための自家用車などの交通が、交差道路から国道2号に流入し、救援物資の運搬車両や緊急復旧のための工事用車両が加わり、片側1車線のためにただでさえ容量低下した幹線道路を、ますます身動きのとれない状況に追い込んでいた。このため、サイレンを鳴らし、現場や病院等に急行している本来の緊急車両が、全く前に進めない状況であった。スムーズに移動しているのは、これらの車をすり抜けているバイクや自転車だけであった。この渋滞にさらに拍車をかけていたのが交通信号機と道路情報板の機能停止であった。主要な交差点では交通警察官やボランティアと思しき交通誘導員が車を捌くため、指揮をしていたが、交通事故を防ぐのが精いっぱいの様子であり、交通を管理するどころではなさそうであった。

その後、災害復旧が進むにつれ、路線バスや鉄道代替バス等が市民の足を受け持ち、その円滑な運行を確保するためバス専用レーンが設置されたり、国道43号と2号を復興物資輸送ルートと生活・復興関連物資輸送ルートに分ける第二段階の通行制限が実施された。道路情報についても、マスコミによる広報や情報板の機能回復により震災直後の交通の混乱は、現在幾分解消しつつある。

しかし、住宅や都市インフラの復興はまだ緒についたばかりであり、今後は長期間にわたる震災復興事業が展開されるであろう。人流や物流は、分断された交通ネットワークの復旧に応じてダイナミックに変化するであろうし、瓦礫や復興資材等の運搬のために新たに生じる需要は都市交通に様々な問題をもたらすであろう。交通部門の技術者として、今後このような交通をいかに管理、運用していくべきか考えていきたい。

（関西支社 総合計画部交通計画室 室長）



写真－1 国道2号京橋付近

阪神高速道路の落橋現場の脇では国道2号が2車線に規制されており、ひどい渋滞となっている。



写真－2 国道2号
弁天町付近

橋脚の倒壊を防ぐ応急手当のため高架下は全面通行止めとなっている。



写真－3 国道2号
東川崎交差点

橋脚の補強工事が進む中で交通警察官が、車を誘導している。



写真－4 国道2号七宮付近

交通信号が機能停止しているため、合流箇所では無秩序な割り込みが起こり、身動きさえとれない。



写真－5 メリケン波止場前

大阪方面への迂回路の看板が設置されている。



写真－6 国道43号
東御影付近

国道43号では、バスの定時性確保のため、第1車線がバス専用レーンに指定されている。



写真－7 長田区鷹取駅付近

交通信号機が地震の振動のためなのかずれ落ちている。



写真－8 長田区鷹取駅付近

焦土と化した長田で集結している緊急車両。



写真－9 長田区大田町付近

倒壊した家屋が住区内幹線道路を完全に封鎖している。



写真-10 長田区
新長田付近

倒壊した家屋が歩道を塞いでいる。



写真-11 長田区
新長田付近

瓦礫運搬の車両が市内を駆け回っている。



写真-12 阪神電鉄
御影駅付近

鉄道代替バス路線では、駐車禁止を徹底させ、バスの円滑な走行を支援している。



写真-13 元町通り
南京町入口

ビルの取り壊し中の安全確保のため、大通りでも封鎖される。



写真-14 下山手通り
三宮付近

繁華街の雑居ビル群には倒壊の危険性があるビルがあちこちに見られる。

災害時の道路交通(その2)

— 渋滞・混乱とその対応 —

亀井 則夫

1 はじめに

私は、平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震の影響調査として、主として災害時道路の状況及び交通処理の実態に関する把握調査を行う機会を得た。私はこの機会に一般国道2号線、43号線周辺を歩き、ビデオカメラにて交通状況の撮影を行った。本報告は、このビデオ撮影等を含めた調査結果より得た神戸市の交通に対する災害対策の実態と、ここから得た交通災害への対応方法について感じたことを述べたものである。

2 神戸市周辺の道路状況

(1) 主要幹線道路の状況

神戸市は海と山に挟まれた東西に細長い地域に市街地があり、東西軸としては一般国道2号線43号線、阪神高速神戸線、湾岸線のみであった。この中で、阪神高速は両者とも被害が大きく、通行可能な主要幹線道路は一般国道2号線、43号線の一部のみであった。このため、これらの道路では一般交通の集中、災害復旧車の集中、さらには鉄道の分断による車への転換等が重なり、恒常的な渋滞を引き起こしていた(写-1)。

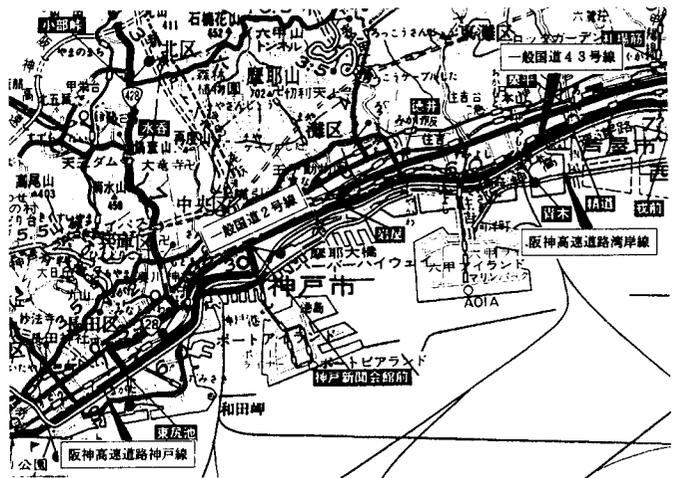


図-1 主要幹線道路の位置図

今回の地震による道路が受けた被害の特徴としては、一般道路の路面の損傷程度は軽微だったものの、阪神高速神戸線に代表される高架道路のピアの損傷程度が大きかったことにあると考えられる(写-2)。このため、高架道路が不通になっただけでなく、高架道路の下を走る、あるいは高架道路と交差する一般道路、鉄道等までが、その修復のため不通にならざるを得なかった(写-3)。特に、本来緊急車両用道路として重要な機能をもつはずの一般国道2号線、43号線は、阪神高速神戸線の修復工事による車線閉塞を余儀なくされ、その機能が損なわれていた(写-4)。なお、一般国道2号線は緊急車両用道路として指定されていたものの、一般交通、災害復旧車等の集中による激しい渋滞が発生しており、緊急車両が立ち往生する等の被害も報告されていた。

(2) 歩道の状況

今回の地震により、木造の家屋は潰れるものが多く(写-5)、ビル等も中腹が破壊される等大きな被害を受けていた(写-6)。この結果、倒壊した家屋から排出されたとみられるごみが歩道を占領し、歩行者交通の障害になっていた(写-7)。また、主要道路沿道のビルの倒壊により、歩道の歩行規制がかけられた。これの結果、多くの歩行者等

は緊急車両用車線の歩行を余儀なくされ、事故が発生しても不思議はない状況であった。

(3) その他

長田地区は火災により多くの被災者を出した。私がみた火災現場は商店街とみられる一画であり、完全に焼き尽くされたものであった(写-8)。なお、焼失は道路(10m程度のものとは5~6m程度のもの)、駐車場、プール、10階建て程度のビル等でそれぞれ止まっていた。このことから、道路は人、物の流通機能を有すると同時に、火災等の拡大を防止するための機能も併せ持つことをあらためて感じた。

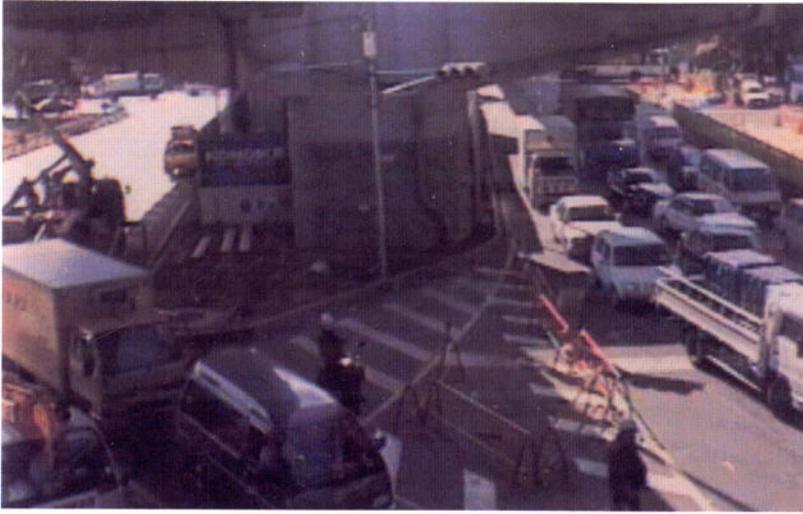
3 災害への対応について

今回、被災地神戸を調査する機会を頂き、交通の状況、道路の状況について調査することができた。この中で、神戸は災害に対する準備が十分でなかったこと等のためか、利用できる道路を十分に機能させることができていなかったように思われる。我々は、神戸を教訓として、災害を想定した道路整備、交通管理のあり方について考え、各自治体に対し、災害が発生した場合の具体的な指針を提案する必要があると考えられる。

なお、神戸の調査をもと、私なりに思いついたことを以下に記す。

- ・神戸では東西軸である阪神高速道の直下に一般国道が走っていたことから、阪神高速道の機能障害により一般国道の機能も損なってしまった。このことを踏まえると、東西、南北の軸は複数整備する必要があると考えられるとともに、ある道路が機能を損なってもその代替ができるような道路ネットワークを整備する必要があると考えられる。一方で、仮に主要幹線道路の直上に主要幹線道路を設ける必要が生じた場合、直上の道路の設計基準は、通常の設計基準(安全率等)より高い水準にする必要があると考えられる。
- ・一般国道2号線は緊急車両用等の道路として指定されていたものの、一般交通、災害復旧車両の集中により、激しい渋滞を引き起こしていた。災害道路の指定の情報、交通規制に伴う迂回路の情報等は、報道等により市民及び近隣の住民に対し協力を要請するとともに、各交差点には大きな標識を設置し、その道路の役割をアピールする必要がある。また、交通管理の視点に立てば、都心の外周に位置する南北軸を境に、都心への交通の流入規制をする等の策を講じる必要があると考えられる。
- ・緊急車両用の車線を確保する、あるいは交通容量の増加を目的とした車線を確保する等のためには、歩道、中央分離帯を撤去し、この幅員を使った新たな車線の確保が必要となる場合がある。しかし、歩道、中央分離帯は車道部より高くなっていることが多く、これらの部分を利用した車線の増加は一般的には不可能である。仮に、歩道と車道、中央分離帯と車道の分離を防護策のみのものですることができれば、緊急時にはそれを撤去することで車線の増を図ることが可能になる。
- ・建物の崩壊、屋内の家具等の損壊に伴い、多くのごみが出ると考えられ、現実としては歩道はごみ置き場になる可能性が高い。一方で、沿道の建物が崩壊した場合、建物の直下は二次災害防止のため歩行不可能となり、歩行できる歩道は制限される。災害時の安全な歩行環境を確保するためには、広幅員な歩道を設置する必要がある。
- ・木造建築が密集する地域は、火災等の被害を最小限にするため、極力道路を密に配置する必要がある。

(東京第二事業部 交通運輸部 主査)



写真－1 一般国道2号線
の交通状況



写真－2 ピアの損傷状況
(阪神高速神戸線)



写真－3 山陽新幹線と
阪急宝塚線との交差



写真－4 一般国道43号線
の交通状況



写真－5 木造家屋の
倒壊状況



写真－6 ビルの倒壊状況



写真－7 歩道における
ごみの放置状況



写真－8 長田区の被災状況

地震の一般的教訓と今後の課題

横 溝 幸 雄

1) 地震の背景と教訓

大正12年9月1日、72年前の関東大震災（マグニチュード、M7.9）の揺れの最大加速度（神奈川県小田原付近）は約600ガルであったというデータが、当時のトップレベルの学者、建築・土木専門家が作成した報告書にあったことは、当時の研究者の間で知らぬ者はいなかったようである。（毎日新聞3月4日）以来70年間、土木・建築の耐震規定は、当時の東大の地震計記録（MAX392ガル）を参考にし、経済性を配慮して何回かの変遷を経て進歩改訂されてきたのは周知のことである。約600ガルのデータを直截的に考慮しなかったことの適否は、議論しても簡単に判断できるものではない。

関東大震災発生から僅か30日後の10月1日に講談社から発刊された300頁に及ぶ詳細な内容からなる「大正大震災大火災」から、高名な文学博士、理学博士等が記した序文から、ほんの一部を原文のまま拾ってみる。

●今回の地震は、他に例の無いものではなく、我が日本でも、より大きいのがあり、他の土地でいよいよさうであるが、地震に伴う災害は、日本に前例ないばかりでなく、殆ど全世界に前例ないとしてよい。明治維新以後、市区改正をはじめ、建築上に、耐震耐火に注意し、再び安政2年の震災如きを見ないと信じたのに、地震の程度ほぼ当時と同じく、災害の及ぶところ、十倍どころの話ではない。これと言ふのも、前にそれぞれ用心し、後に耐震耐火で丈夫と思ひ、井戸をつぶし、火除地を除いたのに因ることが多い。今少しその辺を考へたならば、大災害を幾分一に止め得たであらう。従来設備では、安政以上の災害を免れることが出来ぬ。或る人は豫め之を明言したが、一般に何とも思はず、且つ地震学者は、早晚、断層の危険あるを知り、之を公にすれば、世間が騒ぎ、有識者側より注意させようとして手を控えたやうなわけとなり、豫想より早く震災に遭遇し、如何ともすることが出来なくなった。識者の手が何処まで及ぶか、人智に何ほどの進歩があるかを怪しまねばならぬ。今後之で警戒し、大いに努力するを要す。然し、人々死ぬか生きるかの境に、互いに相扶けあったところ、前に予想された以上に美德を発揮して居る、平生ならば、我れ勝ちにと遁げ出す所をば、見ず知らずの弱い者をいたはったりするのは、見るもの、聞くもの、今更のやうに感心した。

●災禍も慶福も皆到来すべき所以の理があつて到来するのである。今回の大災禍も其地震は地核の理学的理由によって、或部分の陥没と隆起とを惹起したものである。一般家屋の建築が、いま少し外観の美を主とせず、実際に耐力の有るものであつたなら、即ち虚飾を少なくして実質を重んずる建築法が取られてゐたならば、同じ程度の振動を受くるにしても、今少し軽い程度の災害で済んだことだらうと思われる。市街の通路の廣狭、空地の按排等も、今少し好状態であつたなら震災火災によりて惹起された惨事を今少し軽微になし得たであらうし、又水道にのみ頼る結果として、市中の井を強いて廃滅せしめた浅慮や、さういふ類の事が少なかったなら、今少し災禍を減少し得たらうことは、分明である。して見れ

ば天災とは云へ、吾人は吾人の内部にも、大災禍を醸し出す或理由を有ってゐたと認めて自ら省みねばならぬものがある。古の人は天災地変を以て不徳の致すところと感じたが、之は古風の無知識な宗教的感情であると無視すべきものではない。

●世界開闢未曾有の大震火災に遭遇した我が同胞は、実以て禍なるかなと云わねばなりません。或る外國人が我々に向かって申しました。日本人は物質的文化を易々と手にいれたが為、傲慢になった、さうして今其報を受けたのであると、何だかそんな様な気持ちもいたします。少なくとも我が同胞は科学を信じなかった。地震の學問を重んじなかった。これだけでも其の報のあるのは当然だと云って然るべきではありませんまいか。我々は今回の試練を以て光榮とし、勇を鼓して此の禍福の分岐点を突破したいと思ひます。

以上は、地震直後に記された学者の感想である。以来敗戦を経て70年後の現在にも変わらない基本的教訓がある。なお、前記図書による範囲では、経済大国日本の政府を初めとするあらゆる対応は、全体的にかなり遅く諸問題を感じる。

関東大震災以来、大規模な地震（M8.2からM6.8、兵庫県南部はM7.2）は25回あり（Mの平均7.2）、まさに地震国日本である。したがって、常にこのことをあらためて念頭に置き、関連する業務を遂行すべきである。

近年の地震の経験から、例えば、橋梁に対する耐震規定は、鉄筋コンクリート構造物の柱のせん断耐力に主眼が置かれ、かなり大幅に改訂されてきたが、直下型大地震がきたらどうなるかについては、明快な整理がされてきていなかったようである。橋梁以外の技術分野でも同様な傾向にあるであろう。

新幹線のレールが地震発生から丁度2カ月でつながった。3月下旬には試験走行ができる状態にある。テレビ、新聞では、比較的表にでなかった新幹線構造物の破壊は、部分的には壊滅の状態であった。通常の調査・設計の工程から判断すると、復旧という状況を考慮しても異常な早さである。復旧設計に際して行われたであろう高度、総合的かつ迅速な技術的判断と処置が行われたものと推測されるが、その実態を知りたいものである。既に開通している高速道路も同様なことであつたと思われる。

今回の大地震による甚大な被害状況は、調査・情報収集力の発達した現在、超多量に蓄積できたものと思われる。一方、これほどの地震力を受けながら、石油スタンドを初めとする多くの建築物、構造物が殆ど被害をうけなかったものも多数あることも事実である。この辺にも着目して今後の総合的判断に役立つのが肝要である。今回、高架橋の1本柱橋脚の破壊が早々大きく報道され、その原因の一つに鉄筋の段落とし即ち中途定着が原因とされた。わが社で20数年前に設計した当地高架橋の1本柱は、発注機関と協議の上、当時の設計基準にプラスの判断をして中途定着は行っていない。例えば、このような点にも着目し、今後の総合判断の材料にすることも大切である。

以上、断片的に記したが、教訓、勉強の材料は無数にあることを認識したい。

2) 今後の課題と取組み

わが社は、地震発生直後から派生した被災状況調査、災害査定業務、応急復旧設計業務を約16件処理してきたが、これらの業務は、ほぼ3月中に完了した。

今後の本格的復興に向けて、多様多種の業務が発生することが予測されるので、当然の義務としてこれに対応する体制を敷く必要がある。即ち、全社の総合的技術力を発揮できるものとしなければならない。

緊急対応に際しては、技術本部を窓口として、技術副本部長がある期間、関西支社に滞在し、各支社延べ約30人が入れ替わり対応したが、極力担当業務を完結するという点で反省すべきものがあつた。本部としても支援担当者の人選について反省し今後の教訓にしたい。

以上を踏まえて、「震災復興企画本部」を設置した。

1. 目的：阪神・淡路大震災による被災地の社会基盤復興のための企画・検討を実施する。実施に当っては関西支社と密接な連携のもとで行動するものとする。
2. 設定の場所：震災復興企画本部は関西支社内に設定する。
3. 人事構成：同本部には本部長、副本部長、本部主幹をおく。
4. 業務の執行：同本部は社長の特設本部とし、その目的にしたがって実施する。具体的な業務については、関西支社を中心にし、必要に応じて各事務所より所要の陣容を収集して実施する。陣容の調整は技術本部長が行う。営業活動は関西支社営業部を中心にし、全社的な協力によって実施する。
5. 人 事：本 部 長 松永常務取締役、営業本部副本部長
副 本 部 長 取締役関西支社副支社長、取締役技術本部副本部長
本 部 主 幹 関西支社主幹4人、東京事業本部主幹2人
中部支社主幹1人

上記企画本部の企画立案に基づき、被災地の復興および全国の地震防災に関する対応を実施する。

基本的な技術的対応は、次の諸点を配慮する。

- ・ 既往の調査報告資料を技術管理部を中心に徹底的に収集整理する。
- ・ 必要に応じて、社内研究会で諸資料を分析、解析を行い関連技術力を蓄積する。
- ・ 今後共発注機関の関連基準を十分理解し、意見を提示できる状態にする。例えば、建設省による被災した道路橋の復旧に係わる仕様では、今回の地震に余裕をもって耐えられる橋梁とすること、とあるが解釈には熟慮が必要であろう。即ち、設計用地震外力と保有耐震性能との関係を熟慮することにある。
- ・ 既組織である東京事業本部と関西支社の耐震防災室長の認識と室関係者の充実にを図り、各事業所における被災地以外に対する全社的な対応体制を作る。

(常務取締役 技術本部長)

耐震設計の変遷と既設橋脚の補強検討

渡 辺 英 夫

兵庫県南部地震により、構造物に著しい被害が発生した。現在、橋梁の耐震設計は、地震に対する道路交通の安全性の確保を目的として、比較的発生の可能性が高い中規模程度の地震に対しては、構造物としての健全性が損なわれず、関東地震のような希に発生する大きな地震に対しても落橋などが生じないことを目標として行われている。設計にあたっては建設地点の地形・地質・地盤、構造特性・規模、構造物および地盤の既往の震災経験を踏えるとともに、さらに重要度や立地条件を考慮する必要がある。具体的な設計は、過去の地震による橋梁の被災、地震後における橋梁の効用、耐震対策に関する経験等が反映されて規定された耐震設計基準（道路橋示方書）に基づいて行っているのが現状である。

今回被害を受けた橋梁の原因究明や対策の検討にあたっては、被害の大きい橋梁と小さい橋梁の差異を把握することが重要であると思われる。すなわち、建設地点の地形・地質・活断層・地盤、地震動（震度分布・観測記録）、構造形式、適用設計基準等と被害状況との相関性に関する考察が重要であると思われる。

ここでは、橋梁を対象として、今後の原因究明および耐震補強対策に向けて、設計手法面の検討において参考となる耐震設計基準の変遷とRC橋脚の耐震補強工法に関する資料を取りまとめた。資料の概要を以下に示す。

●資料－1 道路橋の耐震設計における基準の変遷

昭和39年から現行に至る耐震設計の規定内容について比較整理結果を示した。

●資料－2 RC橋脚の耐震補強に関する考え方の比較

現時点では、既設RC橋脚の耐震補強に関する基準はないため、今後の補強設計法を検討する上で参考となる各種の考え方を比較し紹介した。

●資料－3 建設省道路局『復旧仕様』と道路橋示方書との比較

平成7年2月に建設省道路局より『兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様』が通達され、被災区間に建設する道路橋の耐震設計に関する基本的な考え方（案）が示された。本資料では、現行の道路示方書との相違点を示した。

●資料－4 『復旧仕様』による既設RC橋脚に対する検討例

今後の都市内の高架橋の耐震性向上対策にあたり、『復旧仕様』の影響は大きいものと思われる。そこで、標準的な既設RC橋脚を対象として、『復旧仕様』による照査を行い傾向把握を行った。

●資料－5 既設RC橋脚の耐震補強工法に関する検討

今後の大地震への対応として各機関で既設橋脚の耐震性向上対策が検討されている。ここではより合理的なじん性指向型の補強工法の技術開発を目的として行った一検討結果を紹介した。

●資料－6 耐震補強に関する関係文献リスト

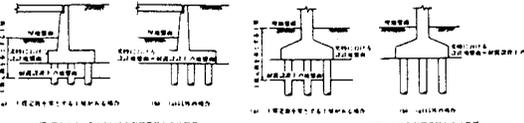
RC橋脚の耐震補強に関する主要文献をリストアップし紹介した。

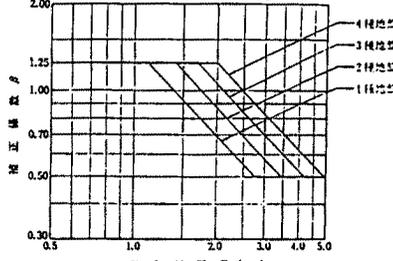
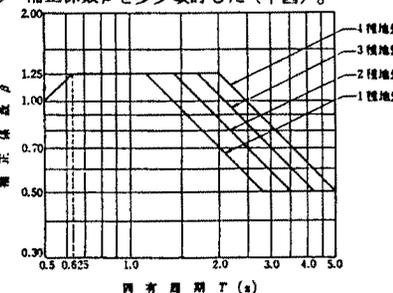
（東京第二事業部 総合技術部特殊構造室 室長）

資料-1 道路橋の耐震設計における基準の変遷

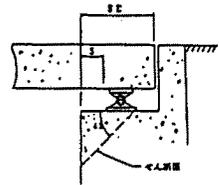
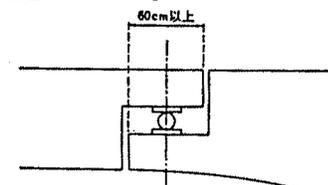
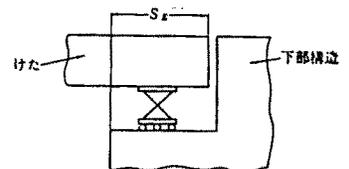
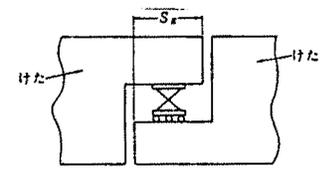
項目	適用基準	鋼道路橋示方書(昭和39年6月) 道路橋下部構造設計指針調査および設計一般篇(昭和41年11月)	道路橋耐震設計指針(47年4月)	道路橋示方書V耐震設計編(55年5月)	道路橋示方書V耐震設計編(平成2年2月)																																																														
荷重	地震時の荷重の組合せと許容応力度の割増し	<p>*「鋼道示」(39年6月)、「RC道示」(39年6月)による荷重の組合せと許容応力度の割増しは、下表のとおりである。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>種別</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>許容応力度の割増率(%)</th> <th>コンクリートの許容応力度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">鋼道示</td> <td>資材 死荷重+地震荷重</td> <td>70</td> <td>$\frac{\sigma_{20}}{3}$</td> </tr> <tr> <td>鉄筋コンクリート</td> <td>50</td> <td>ただし80以下</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">RC道示</td> <td rowspan="2">鉄筋およびコンクリート 死荷重+温度+乾燥+地震</td> <td>50</td> <td>$\frac{\sigma_{20}}{3}$</td> </tr> <tr> <td>65</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	種別	荷重の組合せ	許容応力度の割増率(%)	コンクリートの許容応力度	鋼道示	資材 死荷重+地震荷重	70	$\frac{\sigma_{20}}{3}$	鉄筋コンクリート	50	ただし80以下	RC道示	鉄筋およびコンクリート 死荷重+温度+乾燥+地震	50	$\frac{\sigma_{20}}{3}$	65	3	<p>*「道示II鋼橋編、IIIコンクリート橋編、IV下部構造編」では下表のとおりである。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>構造物の種類</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>許容応力度の割増率(%)</th> <th>コンクリートの許容応力度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">下部構造(注)</td> <td rowspan="2">鉄筋コンクリート構造物</td> <td>主荷重⁽¹⁾+地震力</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>主荷重+温度+地震力</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">鋼構造物</td> <td>主荷重+地震力</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>主荷重+温度+地震力</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">上部構造</td> <td rowspan="2">鉄筋コンクリート構造物</td> <td>主荷重+地震力</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>主荷重+温度+地震力</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>鋼構造物</td> <td>主荷重+温度+地震力</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table>	構造物の種類	荷重の組合せ	許容応力度の割増率(%)	コンクリートの許容応力度	下部構造(注)	鉄筋コンクリート構造物	主荷重 ⁽¹⁾ +地震力	50	主荷重+温度+地震力	65	鋼構造物	主荷重+地震力	50	主荷重+温度+地震力	70	上部構造	鉄筋コンクリート構造物	主荷重+地震力	50	主荷重+温度+地震力	65	鋼構造物	主荷重+温度+地震力	70	<p>*「道示II鋼橋編、IIIコンクリート橋編、IV下部構造編」では下表のとおりである。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>構造物の種類</th> <th>荷重の組合せ</th> <th>許容応力度の割増率(%)</th> <th>コンクリートの許容応力度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">下部構造(注)</td> <td rowspan="2">鉄筋コンクリート構造物</td> <td>主荷重⁽¹⁾+地震力</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>主荷重+温度+地震力</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">鋼構造物</td> <td>主荷重+地震力</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>主荷重+温度+地震力</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">上部構造</td> <td>鉄筋コンクリート構造物</td> <td>主荷重+地震力</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>鋼構造物</td> <td>主荷重+地震力</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>	構造物の種類	荷重の組合せ	許容応力度の割増率(%)	コンクリートの許容応力度	下部構造(注)	鉄筋コンクリート構造物	主荷重 ⁽¹⁾ +地震力	50	主荷重+温度+地震力	65	鋼構造物	主荷重+地震力	50	主荷重+温度+地震力	70	上部構造	鉄筋コンクリート構造物	主荷重+地震力	50	鋼構造物	主荷重+地震力	50
	種別	荷重の組合せ	許容応力度の割増率(%)	コンクリートの許容応力度																																																															
鋼道示	資材 死荷重+地震荷重	70	$\frac{\sigma_{20}}{3}$																																																																
	鉄筋コンクリート	50	ただし80以下																																																																
RC道示	鉄筋およびコンクリート 死荷重+温度+乾燥+地震	50	$\frac{\sigma_{20}}{3}$																																																																
		65	3																																																																
構造物の種類	荷重の組合せ	許容応力度の割増率(%)	コンクリートの許容応力度																																																																
下部構造(注)	鉄筋コンクリート構造物	主荷重 ⁽¹⁾ +地震力	50																																																																
		主荷重+温度+地震力	65																																																																
	鋼構造物	主荷重+地震力	50																																																																
		主荷重+温度+地震力	70																																																																
上部構造	鉄筋コンクリート構造物	主荷重+地震力	50																																																																
		主荷重+温度+地震力	65																																																																
	鋼構造物	主荷重+温度+地震力	70																																																																
構造物の種類	荷重の組合せ	許容応力度の割増率(%)	コンクリートの許容応力度																																																																
下部構造(注)	鉄筋コンクリート構造物	主荷重 ⁽¹⁾ +地震力	50																																																																
		主荷重+温度+地震力	65																																																																
	鋼構造物	主荷重+地震力	50																																																																
		主荷重+温度+地震力	70																																																																
上部構造	鉄筋コンクリート構造物	主荷重+地震力	50																																																																
	鋼構造物	主荷重+地震力	50																																																																
連続げたの地震時慣性力					従来は連続桁橋に対する慣性力の算出方法の規定は示されてなかったが、橋を地震時に同一の振動をすると見なし得る設計振動単位に分割して、それぞれの設計振動単位ごとに慣性力を算出するようにした。																																																														
耐震設計上の地盤種別	*「鋼道示」(39年6月)	<p>区分 地盤種別¹⁾</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>1種</td> <td>(1)第三紀以前の地盤(以下岩盤と称する)。(2)岩盤までの洪積層²⁾の厚さが10m未満。</td> </tr> <tr> <td>2種</td> <td>(1)岩盤までの洪積層の厚さが10m以上。(2)岩盤までの沖積層³⁾の厚さが10m未満。</td> </tr> <tr> <td>3種</td> <td>沖積層の厚さが25m未満かつ軟弱層⁴⁾の厚さが5m未満。</td> </tr> <tr> <td>4種</td> <td>上記以外の地盤。</td> </tr> </tbody> </table> <p>注:1)地盤種別は一応の目安を示したものであるから、架設地点の状況に応じて係数を判断すること。ここでいう地層の厚さは地表面からの厚さとする。 2)沖積層のしまった砂層、砂れき層、玉石層をふくむ。 3)がけくずれなどによる新しい堆積層を含む。 4)「3.7耐震計算上支持力を無視する土層」に規定するもの。</p>	1種	(1)第三紀以前の地盤(以下岩盤と称する)。(2)岩盤までの洪積層 ²⁾ の厚さが10m未満。	2種	(1)岩盤までの洪積層の厚さが10m以上。(2)岩盤までの沖積層 ³⁾ の厚さが10m未満。	3種	沖積層の厚さが25m未満かつ軟弱層 ⁴⁾ の厚さが5m未満。	4種	上記以外の地盤。	<p>耐震設計上の地盤種別を、地震動の増幅特性を表す地盤の特性値によって区分することに改正した。すなわち、耐震設計上の地盤種別は、原則として、地盤の特性値T_cにより区別し、下表によるものとする。</p> <p>表-3.6.1 耐震設計上の地盤種別</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>地盤の特性値T_c(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1種</td> <td>$T_c < 0.2$</td> </tr> <tr> <td>2種</td> <td>$0.2 \leq T_c < 0.4$</td> </tr> <tr> <td>3種</td> <td>$0.4 \leq T_c < 0.6$</td> </tr> <tr> <td>4種</td> <td>$0.6 \leq T_c \dots\dots$</td> </tr> </tbody> </table> <p>地盤の特性値T_cは下式によって算出する。</p> $T_c = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{s,i}}$	地盤種別	地盤の特性値 T_c (s)	1種	$T_c < 0.2$	2種	$0.2 \leq T_c < 0.4$	3種	$0.4 \leq T_c < 0.6$	4種	$0.6 \leq T_c \dots\dots$	<p>耐震設計上の地盤種別は、原則として式(3.6.1)で算出される地盤の特性値T_cをもとに、表-3.6.1により区別するものとする。地表面が基盤面と一致する場合はI種地盤とする。</p> $T_c = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{s,i}} \dots\dots (3.6.1)$ <p>ここに、 T_c: 地盤の特性値(s) H_i: i番目の地層の厚さ(m) $V_{s,i}$: i番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s) 値は式(3.6.2)によるものとする。 粘性土層の場合 $V_{s,i} = 100N_i^{1/3}$ ($1 \leq N_i \leq 25$) 砂質土層の場合 $V_{s,i} = 80N_i^{1/3}$ ($1 \leq N_i \leq 50$) N_i: 標準貫入試験によるi番目の地層の平均N値 i: 当該地盤が地表面から基盤面までn層に区分されるときの、地表面からi番目の地層の番号。基盤面とは、粘性土層の場合はN値が25以上、砂質土層の場合はN値が50以上の地層の上面、もしくはせん断弾性波速度が300m/s程度以上の地層の上面をいう。</p> <p>表-3.6.1 耐震設計上の地盤種別</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>地盤の特性値T_c(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I種</td> <td>$T_c < 0.2$</td> </tr> <tr> <td>II種</td> <td>$0.2 \leq T_c < 0.6$</td> </tr> <tr> <td>III種</td> <td>$0.6 \leq T_c$</td> </tr> </tbody> </table>	地盤種別	地盤の特性値 T_c (s)	I種	$T_c < 0.2$	II種	$0.2 \leq T_c < 0.6$	III種	$0.6 \leq T_c$																																					
1種	(1)第三紀以前の地盤(以下岩盤と称する)。(2)岩盤までの洪積層 ²⁾ の厚さが10m未満。																																																																		
2種	(1)岩盤までの洪積層の厚さが10m以上。(2)岩盤までの沖積層 ³⁾ の厚さが10m未満。																																																																		
3種	沖積層の厚さが25m未満かつ軟弱層 ⁴⁾ の厚さが5m未満。																																																																		
4種	上記以外の地盤。																																																																		
地盤種別	地盤の特性値 T_c (s)																																																																		
1種	$T_c < 0.2$																																																																		
2種	$0.2 \leq T_c < 0.4$																																																																		
3種	$0.4 \leq T_c < 0.6$																																																																		
4種	$0.6 \leq T_c \dots\dots$																																																																		
地盤種別	地盤の特性値 T_c (s)																																																																		
I種	$T_c < 0.2$																																																																		
II種	$0.2 \leq T_c < 0.6$																																																																		
III種	$0.6 \leq T_c$																																																																		

項目	適用基準 鋼道路橋示方書（昭和39年6月） 道路橋下部構造設計指針調査 および設計一般篇（昭和41年11月）	道路橋耐震設計指針（47年4月）	道路橋示方書V耐震設計編（55年5月）	道路橋示方書V耐震設計編（平成2年2月）																	
耐震設計 土質定 数を低減 させる土 層	流動化する砂質土質	<p>(1) 流動化の判定 下記の条件をすべて満たす土層は流動化するものと判定する。 ① 現地盤面から深さ10mより浅いところにある飽和砂質土層。 ② 現位置におけるN値が10以下。 ③ 均等係数が6以下かつ粒径加積曲線のD20が0.04～0.5mmの区間にあること。 なお、D20が上記の区間以外でも0.004～1.2mmの間にあるものは、流動化の可能性があるので注意を要する。</p>	<p>(1) 流動化の判定 a. 流動化の判定を行う必要がある土層 下記の条件をすべて満たす土層は、流動化の可能性があるので、b、項によって流動化の判定を行う。 ① 地下水水位面が現地盤面から10m以内であること。 ② 現地盤面から20m以内の範囲にある飽和砂質土層。 ③ 沖積層であること。 ④ 平均粒径D50が0.02mm以上2.0mm以下であること。 b. 流動化の判定 流動化に対する抵抗率FLを求める式を新たに規定した。上記流動化の判定を行う必要がある土層について、この式からFLを求め、その値が1.0以下の場合には、流動化するものと判定する。</p>	<p>(1) 流動化の判定 下記の条件を全て満たす土層は、流動化の可能性があるので(2)項によって流動化の判定を行う。 ① 地下水水位面が現地盤面から10m以内であること。 ② 現地盤面から20m以内の範囲にある飽和砂質土層。 ③ 沖積層であること。 ④ 平均粒径D50が0.02mm以上2.0mmであること。 (2) 流動化の判定 動的せん断強度比を求める式に新たに第3項として、細粒分含有率の影響を含めた。</p>																	
		<p>(2) 流動化すると判定された砂質土層の取扱い ① 耐震設計上、その支持力を無視する。（土の粘着力Cおよび内部摩擦角φを零と考える） ② 支持力を無視した土層の重量は、それ以下の地盤に負載重量として働くものとする。 ③ 支持を無視した土層における動水圧および動土圧は設計において考慮しなくてよい。</p>	<p>(2) 流動化すると判定された砂質土層の取扱い ① 流動化に対する抵抗率FLの値に応じて、耐震設計土質定数（変形係数E_sと横方向地盤反力係数k）を低減させる。すなわち、その土層が流動化しないものとして求めた土質定数に下表に示す係数D_sを乗じて、低減させる。 土質定数に乘じる係数</p> <table border="1" data-bbox="1192 693 1611 1001"> <thead> <tr> <th>F_L の 範 囲</th> <th>現地盤面からの 深度x (m)</th> <th>土質定数に乘じ る係数D_s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">F_L ≤ 0.6</td> <td>0 ≤ x ≤ 10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10 < x ≤ 20</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">0.6 < F_L ≤ 0.8</td> <td>0 ≤ x ≤ 10</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td>10 < x ≤ 20</td> <td>1/3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">0.8 < F_L ≤ 1.0</td> <td>0 ≤ x ≤ 10</td> <td>1/3</td> </tr> <tr> <td>10 < x ≤ 20</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>② 土質定数を低減させた土層の重量は、それ以下の地盤に対して負載重量として働くものとする。 ③ 土質定数を低減させた土層における動水圧および動土圧は設計において考慮しなくてよい。</p>	F _L の 範 囲	現地盤面からの 深度x (m)	土質定数に乘じ る係数D _s	F _L ≤ 0.6	0 ≤ x ≤ 10	0	10 < x ≤ 20	1/2	0.6 < F _L ≤ 0.8	0 ≤ x ≤ 10	1/2	10 < x ≤ 20	1/3	0.8 < F _L ≤ 1.0	0 ≤ x ≤ 10	1/3	10 < x ≤ 20	1
F _L の 範 囲	現地盤面からの 深度x (m)	土質定数に乘じ る係数D _s																			
F _L ≤ 0.6	0 ≤ x ≤ 10	0																			
	10 < x ≤ 20	1/2																			
0.6 < F _L ≤ 0.8	0 ≤ x ≤ 10	1/2																			
	10 < x ≤ 20	1/3																			
0.8 < F _L ≤ 1.0	0 ≤ x ≤ 10	1/3																			
	10 < x ≤ 20	1																			
ごく軟弱な粘性土層 およびシルト質土層		<p>(1) ごく軟弱な土層としての判定 現地盤面から深さ3m以内にある粘性土層およびシルト質土層で、一軸圧縮試験または、原位置試験により推定される一軸圧縮強度が0.2kg/cm²以下の土層は、耐震設計上ごく軟弱な土層とする。</p>	<p>(1) ごく軟弱な土層としての判定 同 左</p>	同 左																	
		<p>(2) ごく軟弱な土層と判定された粘性土層およびシルト質土層の取扱い ① 耐震設計上その支持力を無視する。（土の粘着力Cおよび内部摩擦角φを零と考える） ② 重量はそれ以下の地盤に負載重量として働くものとする。 ③ ごく軟弱な土層における動水圧および動土圧は設計において考慮しなくてよい。</p>	<p>(2) ごく軟弱な土層と判定された粘性土層およびシルト質土層の取扱い ① 耐震設計上その土質定数を零として取扱う。 ② 同 左 ③ 同 左</p>	同 左																	

項目	適用基準 鋼道路橋示方書（昭和39年6月） 道路橋下部構造設計指針調査および設計一般篇（昭和41年11月）	道路橋耐震設計指針（47年4月）	道路橋示方書V耐震設計編（55年5月）	道路橋示方書V耐震設計編（平成2年2月）																																											
耐震設計上の地盤面		「耐震計算上支持力を無視する土層」が現地盤面から深さ方向に連続してあるときは、耐震計算上の地盤面をその層の下面におく。		<p>耐震設計上の地盤面は、一般に常時の設計における設計地盤面とする。ただし、3.7.4に規定する耐震設計上土質定数を零とする土層がある場合は、耐震設計上の地盤面をその層の下面に設定するものとする。</p> 																																											
設計震度	<p>地盤の影響を考慮する場合は活荷重および衝撃は考慮しない。地震の水平震度は表.4のとおりとする。</p> <p style="text-align: center;">表.4</p> <table border="1" data-bbox="393 569 960 723"> <thead> <tr> <th rowspan="2">地震</th> <th colspan="3">地盤</th> </tr> <tr> <th>軟弱地盤</th> <th>やや良好な地盤</th> <th>良好な地盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>しばしば大地震が起った地域</td> <td>0.35~0.30</td> <td>0.30~0.20</td> <td>0.20~0.15</td> </tr> <tr> <td>大地震が起ったことのある地域</td> <td>0.30~0.20</td> <td>0.20~0.15</td> <td>0.15~0.10</td> </tr> <tr> <td>その他の地域</td> <td>0.20</td> <td>0.15</td> <td>0.10</td> </tr> </tbody> </table> <p>地震の鉛直震度は0.1を標準とする。</p> <p>〔解説〕（昭和31年） (1) 地震の影響は橋の設計に必ず考えなければならない。本条は鋼道路橋設計示方書13条の規定によるものである。地震の影響を震度によって表示したことは、動的な挙動である地震の影響を便宜的に静的におきかえたものであるから、耐震設計は過去の震害の状況、耐震設計の経験などを十分考慮して行うべきである。すなわち、既往の設計と著しく異なる構造型式を用いる場合は、単に静的設計のみに頼らずその地震時の動的挙動をも検討の上設計すべきである。 震度の大きさは橋の重要度、既往の大地震の有無とその大きさ、地質、基礎地盤の状況、上部構造、下部構造の形式などを考慮して適当に定める。</p>	地震	地盤			軟弱地盤	やや良好な地盤	良好な地盤	しばしば大地震が起った地域	0.35~0.30	0.30~0.20	0.20~0.15	大地震が起ったことのある地域	0.30~0.20	0.20~0.15	0.15~0.10	その他の地域	0.20	0.15	0.10	<p>(1) 震度法と修正震度法の適用範囲 ① 設計震度は震度法により求めるのを原則とする。 ② ただし、下部構造の耐震設計上の地盤面上の高さが25mをこえる橋などのような橋脚が変形しやすい比較的長周期（固有周期が0.5sec以上）の橋の設計震度は、応答を考慮した修正震度法により算出する。</p> <p>(2) 震度法による設計進度の算定式 $k_n = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot k_0$ ここに k_n: 設計水平震度 k_0: 標準設計水平震度 (0.2とする) V_1: 地域別補正係数</p> <table border="1" data-bbox="1048 862 1255 1016"> <thead> <tr> <th>地域区分</th> <th>補正係数 v_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.70</td> </tr> </tbody> </table> <p>V_2: 地盤別補正係数</p> <table border="1" data-bbox="1015 1078 1277 1155"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>1種</th> <th>2種</th> <th>3種</th> <th>4種</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>補正係数 V_2</td> <td>0.9</td> <td>1.0</td> <td>1.1</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>V_3: 重要度別補正係数</p> <table border="1" data-bbox="1037 1216 1255 1324"> <thead> <tr> <th>地域区分</th> <th>補正係数 V_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 級</td> <td>1.0¹⁾</td> </tr> <tr> <td>2 級</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1) 1級の橋で特別な場合は、V_3を1.25まで増すことができる</p>	地域区分	補正係数 v_1	A	1.00	B	0.85	C	0.70	地盤種別	1種	2種	3種	4種	補正係数 V_2	0.9	1.0	1.1	1.2	地域区分	補正係数 V_3	1 級	1.0 ¹⁾	2 級	0.8	<p>(1) 震度法と修正震度法の適用範囲 ① 耐震設計上の地盤面より下部構造天端までの高さが15m以下の橋の設計震度は震度法により求める。 ② 高さが15mをこえる場合の橋の設計震度は応答を考慮した修正震度法により算出する。</p> <p>(2) 同 左</p> <p>ただし ① 地域別補正係数 V_1 を与える地域区分を新耐震設計法（案）に示された地震活動の地域特性に基づいて多少修正した。 ② 地盤別補正係数 V_2 を与える地盤種別を、地震動の増幅特性を表す地盤の特性値によって区分することに改めた。 ③ 重要度別補正係数 V_3 の割り増しは、1級に区分された橋のうち、とくに重要なものについては係数を1.1まで割り増しすることができるとその上限値を改めた。</p>	<p>(1) 設計水平震度は、4.2の規定により算出するものとする。 (2) 設計鉛直震度は原則として考慮しないものとする。ただし、支承部などの設計にあたっては、7.3の規定によるものとする。 (3) 耐震設計上の地盤面より下方の構造部分、土および水に対しては、設計水平震度は考慮しないものとする。ここで耐震設計上の地盤面は3.8の規定によるものとする。</p> <p>(1) 従来耐震設計編（昭和55年5月）では、耐震設計上の地盤面より下部構造天端までの高さが15m以下の橋においては、震度法を、また、15mを越える橋においては応答を考慮した修正震度法を適用することとしていた。しかしながら、基礎地盤の変形の影響を取り入れたこと、各種の基礎構造形式の採用等により、耐震設計上の地盤面より下部構造天端までの高さだけにより、耐震計算法を2つに分けたい場合が増えてきた。また、従来の応答を考慮した修正震度法では基本的に固有周期が0.5秒以上の橋を対象とされていたが、耐震設計上の地盤面より下部構造天端までの高さが15mという条件と固有周期が0.5秒という条件が整合しない例も多く見られるようになったことから、耐震設計上の地盤面から下部構造天端までの高さや固有周期のどちらにより耐震計算法を選定すべきか判断に迷う場合も生じてきた。 このため、今回は、従来の震度法と応答を考慮した修正震度法をひとつにまとめ、これを改めて震度法として規定したものである。</p>
地震	地盤																																														
	軟弱地盤	やや良好な地盤	良好な地盤																																												
しばしば大地震が起った地域	0.35~0.30	0.30~0.20	0.20~0.15																																												
大地震が起ったことのある地域	0.30~0.20	0.20~0.15	0.15~0.10																																												
その他の地域	0.20	0.15	0.10																																												
地域区分	補正係数 v_1																																														
A	1.00																																														
B	0.85																																														
C	0.70																																														
地盤種別	1種	2種	3種	4種																																											
補正係数 V_2	0.9	1.0	1.1	1.2																																											
地域区分	補正係数 V_3																																														
1 級	1.0 ¹⁾																																														
2 級	0.8																																														

項目	適用基準 鋼道路橋示方書(昭和39年6月) 道路橋下部構造設計指針調査 および設計一般篇(昭和41年11月)	道路橋耐震設計指針(47年4月)	道路橋示方書V耐震設計編(55年5月)	道路橋示方書V耐震設計編(平成2年2月)																				
設計震度		<p>(3) 応答を考慮した修正震度法による設計震度の算定式 $k_{hm} = \beta \cdot k_h$ ここに k_{hm} : 応答を考慮した修正震度法における設計水平震度 k_h : 震度法における設計水平震度(前述) β : 構造物の固有周期による設計震度の補正係数で下図による。固有周期が0.5秒未満の場合は、$\beta = 1.0$とする。</p>  <p>固有周期Tを求める算定式が基礎の種類ごとに規定されている。</p> <p>(4) 鉛直震度 設計鉛直震度は、原則として考慮しないものとする。ただし、支承部の設計においては、原則として設計鉛直震度0.1を考慮する。ただし、この場合は、地震力のみが作用するものとする。</p>	<p>(3) 同 左 ただし ① 補正係数βを多少改訂した(下図)。</p>  <p>② 基礎地盤が軟弱な場合など、基礎地盤の変形が無視できない場合には、その影響を考慮して固有周期を算出するものとするなど、橋の固有周期Tの算定方法を改訂した。</p> <p>(4) 同 左</p>	<p>4.2 設計水平震度</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>設計水平震度は式(4.2.1)により算出するものとする。ただし、式(4.2.1)による値が0.1を下回る場合には0.1とする。</p> $k_h = c_z \cdot c_g \cdot c_i \cdot c_T \cdot k_{no} \dots \dots \dots (4.2.1)$ <p>ここに、 k_h : 設計水平震度(小数点以下2けたに丸める) k_{no} : 標準設計水平震度(0.2とする) c_z : 4.3に規定する地域別補正係数 c_g : 4.3に規定する地盤別補正係数 c_i : 4.3に規定する重要度別補正係数 c_T : 4.3に規定する固有周期別補正係数</p> </div> <p>地震動による橋の応答は、地震動の強さ、周期特性、継続時間、地盤種別、橋の構造形式(とくに基礎構造形式)の種類などによって異なる。</p> <p>これらの要素を考慮して、しばしば大地震が起こった地域、すなわち大地震が起こる可能性が高い地域の標準的な地盤に建設される橋の耐震性が確保されるように設計水平震度の標準を定めた。標準設計水平震度の値は、従来からの慣行と経験上の事実を総合したうえで、大地震が起こる可能性が高い地域において、II種地盤上に建設され、かつ重要度の高い橋に適用すべき固有周期の短い橋の標準的な応答を考慮した設計水平震度の値として定めている。したがって、これらの条件に合わないものは、標準設計水平震度を地域、地盤、重要度、橋の固有周期に係わる係数によって補正することとした。</p> <p style="text-align: center;">表-4.3.1 地域別補正係数 c_z</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>地域区分</th> <th>補正係数 c_z</th> <th>対象地域</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1.0</td> <td>下記2地域以外の地域</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.85</td> <td>「Zの数値、R、及びAを算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(二)に掲げる地域</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.7</td> <td>「Zの数値、R、及びAを算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(三)および(四)に掲げる地域</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表-4.3.2 地盤別補正係数 c_g</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>I 種</th> <th>II 種</th> <th>III 種</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>補正係数 c_g</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>	地域区分	補正係数 c_z	対象地域	A	1.0	下記2地域以外の地域	B	0.85	「Zの数値、R、及びAを算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(二)に掲げる地域	C	0.7	「Zの数値、R、及びAを算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(三)および(四)に掲げる地域	地盤種別	I 種	II 種	III 種	補正係数 c_g	0.8	1.0	1.2
地域区分	補正係数 c_z	対象地域																						
A	1.0	下記2地域以外の地域																						
B	0.85	「Zの数値、R、及びAを算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(二)に掲げる地域																						
C	0.7	「Zの数値、R、及びAを算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(三)および(四)に掲げる地域																						
地盤種別	I 種	II 種	III 種																					
補正係数 c_g	0.8	1.0	1.2																					

適用基準		鋼道路橋示方書（昭和39年6月） 道路橋下部構造設計指針調査 および設計一般篇（昭和41年11月）	道路橋耐震設計指針（47年4月）	道路橋示方書V耐震設計編（55年5月）	道路橋示方書V耐震設計編（平成2年2月）																									
項目	設計震度				<p>表-4.3.3 重要度別補正係数 c_i</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>重要度の区分</th> <th>補正係数 c_i</th> <th>対象となる橋</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 級</td> <td>1.0</td> <td>高速自動車国道、一般国道、主要地方道の橋。 一般都道府県道および市町村道のうち重要な橋。</td> </tr> <tr> <td>2 級</td> <td>0.8</td> <td>上記以外の橋</td> </tr> </tbody> </table> <p>表-4.3.4 固有周期別補正係数 c_r</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th colspan="3">固有周期 $T(s)$ に対する c_r の値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I 種</td> <td>$T < 0.1$ $c_r = 2.69T^{1/3}$ ただし、$c_r \geq 1.00$</td> <td>$0.1 \leq T \leq 1.1$ $c_r = 1.25$</td> <td>$1.1 < T$ $c_r = 1.33T^{-2/3}$</td> </tr> <tr> <td>II 種</td> <td>$T < 0.2$ $c_r = 2.15T^{1/3}$ ただし、$c_r \geq 1.00$</td> <td>$0.2 \leq T \leq 1.3$ $c_r = 1.25$</td> <td>$1.3 < T$ $c_r = 1.49T^{-2/3}$</td> </tr> <tr> <td>III 種</td> <td>$T < 0.34$ $c_r = 1.80T^{1/3}$ ただし、$c_r \geq 1.00$</td> <td>$0.34 \leq T \leq 1.5$ $c_r = 1.25$</td> <td>$1.5 < T$ $c_r = 1.64T^{-2/3}$</td> </tr> </tbody> </table>	重要度の区分	補正係数 c_i	対象となる橋	1 級	1.0	高速自動車国道、一般国道、主要地方道の橋。 一般都道府県道および市町村道のうち重要な橋。	2 級	0.8	上記以外の橋	地盤種別	固有周期 $T(s)$ に対する c_r の値			I 種	$T < 0.1$ $c_r = 2.69T^{1/3}$ ただし、 $c_r \geq 1.00$	$0.1 \leq T \leq 1.1$ $c_r = 1.25$	$1.1 < T$ $c_r = 1.33T^{-2/3}$	II 種	$T < 0.2$ $c_r = 2.15T^{1/3}$ ただし、 $c_r \geq 1.00$	$0.2 \leq T \leq 1.3$ $c_r = 1.25$	$1.3 < T$ $c_r = 1.49T^{-2/3}$	III 種	$T < 0.34$ $c_r = 1.80T^{1/3}$ ただし、 $c_r \geq 1.00$	$0.34 \leq T \leq 1.5$ $c_r = 1.25$	$1.5 < T$ $c_r = 1.64T^{-2/3}$
重要度の区分	補正係数 c_i	対象となる橋																												
1 級	1.0	高速自動車国道、一般国道、主要地方道の橋。 一般都道府県道および市町村道のうち重要な橋。																												
2 級	0.8	上記以外の橋																												
地盤種別	固有周期 $T(s)$ に対する c_r の値																													
I 種	$T < 0.1$ $c_r = 2.69T^{1/3}$ ただし、 $c_r \geq 1.00$	$0.1 \leq T \leq 1.1$ $c_r = 1.25$	$1.1 < T$ $c_r = 1.33T^{-2/3}$																											
II 種	$T < 0.2$ $c_r = 2.15T^{1/3}$ ただし、 $c_r \geq 1.00$	$0.2 \leq T \leq 1.3$ $c_r = 1.25$	$1.3 < T$ $c_r = 1.49T^{-2/3}$																											
III 種	$T < 0.34$ $c_r = 1.80T^{1/3}$ ただし、 $c_r \geq 1.00$	$0.34 \leq T \leq 1.5$ $c_r = 1.25$	$1.5 < T$ $c_r = 1.64T^{-2/3}$																											
特別な照査	動的解析		比較的長周期の構造の橋では、従来からの経験に基づく震度法によるだけで安全かつ経済的な耐震設計ができるとはいえない。 したがって、応答を考慮した修正震度法によって耐震設計を行い、なおかつ安全性や経済性に疑問が生じたときには地震応答解析等によって十分な精査検討を施す。	従来明確な規定のなかった動的解析について、その位置づけを行うとともに、用いる設計地震入力等について規定した。	動的解析に用いる入力地震動を設計水平震度と同じように簡単に求められるようにするとともに、動的解析モデルおよび安全性の照査に関する規定を加えた。																									
	地震時変形性能の照査			高さが比較的低く、固有周期の短い鉄筋コンクリート橋脚または橋台について、ぜい性的な破壊を防止するため、必要に応じて地震時変形性能の照査を行う規定を新たに設けた。	地震時保有水平耐力の照査を示し、地震時変形性能の照査の規定を耐震計算に用いやすいようにした。																									
構造細目	一般		既往の震害の経験から、構造上とくに留意すべき事項として下記を解説している。 ① 軟弱な地盤に設けられる下部構造。 ② 下部構造の形式、地盤条件等が異なる橋。 ③ 上部構造と下部構造の接点部。 ④ 下部構造の躯体と基礎との接合部。	同 左	同 左																									

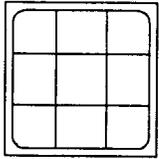
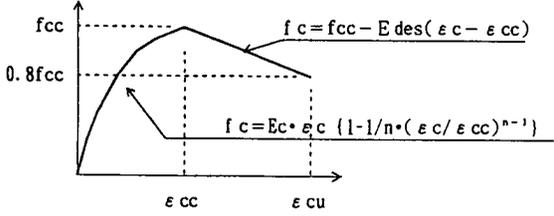
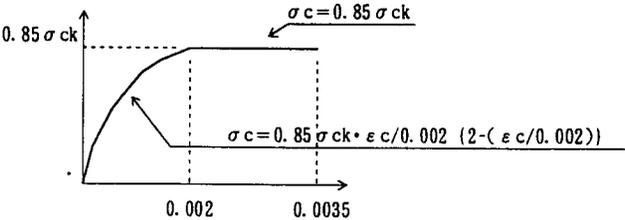
項目		適用基準	鋼道路橋示方書(昭和39年6月) 道路橋下部構造設計指針調査 および設計一般篇(昭和41年11月)	道路橋耐震設計指針(47年4月)	道路橋示方書V耐震設計編(55年5月)	道路橋示方書V耐震設計編(平成2年2月)
構造細目	落橋防止構造	一般		(1) 可動支承部には地震時に上沓が下沓から逸脱しないように移動制限装置を設ける。 (2) けた端部は、地震時における落橋を防止するため、次の規定のいずれかを満足すること。 ① 橋軸方向の支承縁端から下部構造頂部縁端までの長さを充分とる。 ② 落橋防止装置を設ける。	(1) 同左 (2) 同左 ただし①は橋軸方向のけた端から下部構造頂部縁端までの長さの規定に改正された。	同 左
		可動支承部における移動制限装置		(1) 可動支承の移動制限量を規定した。 (2) 移動制限装置の設計に用いる設計水平震度はけたに対する値の1.5倍とする。	(1) 同左 (2) 同左	同 左
		けた端部と下部構造頂部縁端までの距離	(1) 橋軸方向の支承縁端と下部構造頂部縁端との間の距離(下図のS cm)は下記の値以上とする。 $l \leq 100m : S = 20 + 0.5l$ $l > 100m : S = 30 + 0.4l$ ただし、とくに重要な橋で4種地盤のところではSは35cm以上とするのがよい。  (2) けたのかけ違いの長さ けた端部がかけ違いの場合は、かけ違いの長さは60cm以上にする。ただし4種地盤においてはこの値を70cm以上とするのがよい。 	(1) けた端から下部構造頂部縁端までの長さ(下図のSE cm)は下記の値以上とする。 $l \leq 100m : SE = 70 + 0.5l$ $l > 100m : SE = 80 + 0.4l$  (2) けたのかけ違いの長さ けたのかけ違いの長さについても上記(1)の規定を適用することに改正した。 	同 左	
		落橋防止装置		(1) 落下防止装置は、原則として次に示す構造とする。 ① けたと下部構造を連結する構造。 ② けたまたは下部構造に突起を設ける構造。 ③ 2連のけたを相互に連結する構造。 (2) 落橋防止の装置の設計に用いる設計水平震度はけたに対する値の2倍以上とする。	(1) 落下防止装置は、原則として次に示す構造とする。 ① けたと下部構造を連結する構造。 ② けたまたは下部構造に突起を設ける構造。 ③ 2連のけたを相互に連結する構造。 (2) 落橋防止の装置の設計に用いる設計水平震度はけたに対する値の2倍以上とする。	同 左

適用基準		鋼道路橋示方書(昭和39年6月) 道路橋下部構造設計指針調査 および設計一般篇(昭和41年11月)	道路橋耐震設計指針(47年4月)	道路橋示方書V耐震設計編(55年5月)	道路橋示方書V耐震設計編(平成2年2月)
項目					
構造細目	支承部における上下部構造間の力の伝達方法		(1) 場所打ちコンクリート橋の場合は支承下面底面の突起で水平力に抵抗できるように設計する。なお安全のため、アンカーボルトのみでも伝達できる構造とするのがよい。 プレハブ工法のコンクリート橋、鋼橋でも可能なかぎり上記の方法によるのがよい。 (2) コンクリートの支圧抵抗が期待できないときは、アンカーボルトのみで地震力を伝達する方法による。 (3) アンカーボルトの直径は25mm以上、埋込み長さは、直径の10倍以上とする。	(1) 支承に作用する水平力は、原則としてアンカーボルトで下部構造に伝達する。 (2) 支承に作用する上揚力はアンカーボルトで下部構造に伝達する。 (3) アンカーボルトの直径は25mm以上、埋込み長さは直径の10倍以上とする。	(1) 固定支承部は、上部構造の慣性力に対して安全なものではない。 (2) 支承部の設計においては、原則として死荷重による鉛直反力に設計鉛直震度0.1を乗じた値に相当する上揚力を考慮するものとする。ただし、この場合には水平方向の慣性力および主荷重による鉛直反力は考慮しないものとする。 (1) 既往の震災によれば、固定支承周辺の上部構造に損傷を受けた事例がある。固定支承周辺の上部構造の損傷は落橋等不測の事態を生じる可能性があるため、必要な場合には設計上の配慮をしておくのがよい。 (2) 耐震設計にあたっては、4.1に規定するように原則として設計鉛直震度は考慮しない。しかしながら既往の震災の事例では、上部構造と下部構造とが分離したとしか考えられない現象が観察されている。そこで、耐震計算において仮定している構造系を保つ意味から、支承部の設計にあたっては設計鉛直震度を考慮し、上揚力に対する耐力を与えておくこととした。ここで支承部とは、支承、アンカーボルトおよびその周辺の上下部構造をいう。
	基準に添付されている参考資料		I 砂質土層の流動化に関する資料 II 地盤種別の実例 III 設計水平震度の算定例 IV 地震応答スペクトル曲線 V 応答を考慮した修正震度法における固有周期の算定例および実用例 VI 関連示方書・指針の主な地震時安全度の規定 VII 設計細目集 VIII 参考文献一覧表	I 流動化に関する資料 II 地盤種別の実例 III 設計水平震度の算定例 IV 設計地震入力に関する資料 V 応答を考慮した修正震度法における固有周期の算定例および実測例 VI 地震時変形性能の照査方法の例 VII 設計細目集	I. 液状化に関する資料 II. 地盤種別の実例 III. 設計地震入力に関する資料 IV. 固有周期および慣性力の算定例 V. 地震時保有水平耐力およびその照査例 VI. 設計細目集 VII. S I単位系への換算率表

資料-2 RC橋脚の耐震補強に関する考え方の比較

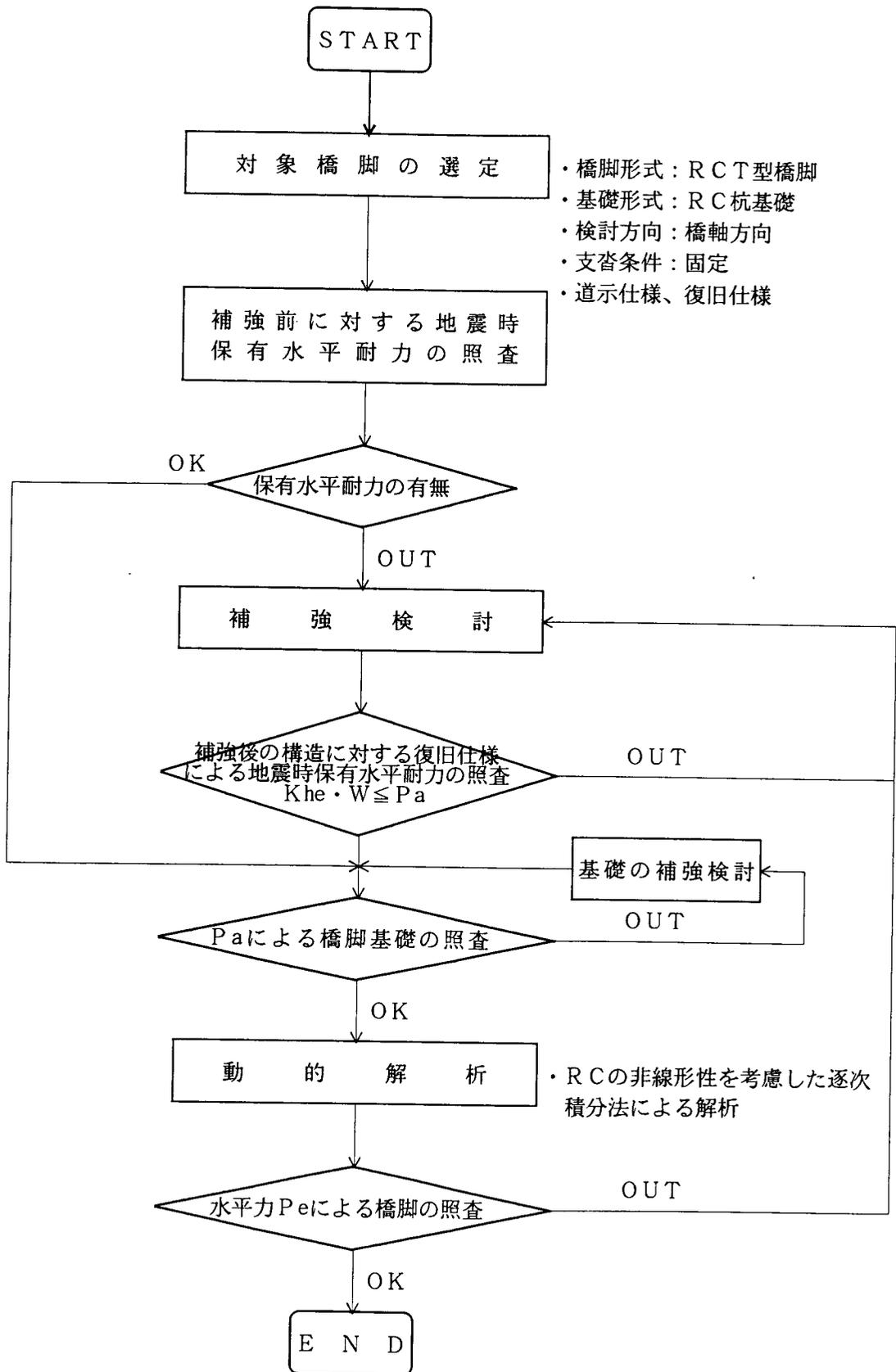
	①道路橋示方書V耐震設計編(平成2年) 日本道路協会	②RC橋脚の主鉄筋段落し部の照査 建設省道路局	③鋼板巻立てによる耐震補強方法 首都高速道路公団の例 1992.2	④鋼板巻立てによる耐震補強方法 JR東日本の例 1992.2	⑤炭素繊維工法による耐震補強の設計方法(案) 日本道路公団 1991.11
出典			鉄筋コンクリート橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強効果;基礎工,1992.2	新幹線の橋脚・橋台の耐震補強-鋼板巻立補強・ストラット等-;基礎工,1992.2	炭素繊維を用いたRC橋脚の耐震補強;土木技術47巻3号
照査または設計のフロー	<p>・地震時保有水平耐力の照査フロー</p> <p>地震時保有水平耐力の照査 ・降伏水平耐力P_y及び降伏変位δ_y、終局水平耐力P_u及び終局変位δ_uの算出</p> <p>保有水平耐力</p> <p>せん断耐力P_sの算出 $P_s = S_c + S_s$</p> <p>Yes $P_u \leq P_s$ No</p> <p>保有水平耐力P_a $P_a = P_y + (P_u - P_y) / \alpha$ 許容塑性率μ $\mu = 1 + (P_u - P_y) / \alpha P_y$ ($\alpha = 1.5$とする) 橋脚等価重量算出係数$C_p = 0.5$</p> <p>保有水平耐力P_a $P_a = P_s$ 許容塑性率$\mu = 1.0$ 橋脚等価重量算出係数$C_p = 1.0$</p> <p>地震時慣性力</p> <p>等価固有周期T_{eq}の算出 $T_{eq} = 2.01 \sqrt{\delta}$ 設計水平震度k_{ns} $k_{ns} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot k_{nc}$ 設計水平震度の標準値$k_{nc} = 1.0$ 地震時保有水平耐力の照査に用いる等価水平震度k_{ne} $k_{ne} = k_{ns} / \sqrt{2\mu - 1}$</p> <p>Yes $P_a > k_{ne} \cdot (W_u + C_p W_D)$ No 構造再検討</p> <p>終了</p>	<p>・段落し部の照査</p> <p>1)損傷形態係数C_1の照査 $C_1 = \frac{M_{y1}}{M_{y0}} \cdot \frac{H}{H - h_{c1}}$ M_{y0}:基部の降伏曲げモーメント M_{y1}:段落し部の "</p> <p>・判定 $C_{1min} \geq 1.1$: 検討不要 $C_{1min} < 1.1$: 以下の検討を行う</p> <p>2)曲げ安全率Sの照査 ・$S = M_{y1} / M_c$ M_{y1}: 降伏曲げモーメント M_c: 地震時作用曲げモーメント</p> <p>・判定 $S \geq 1.2$ 平均せん断応力度の検討 $S < 1.2$ 対策必要</p> <p>3)平均せん断応力度 ・$\tau = S_c / A_c$ S_c: 地震時せん断力</p> <p>・判定 $\tau \leq \tau_{c1}$: 対策不要 $\tau > \tau_{c1}$: 対策必要</p>	<p>・照査フロー</p> <p>地震時保有水平耐力の照査 ・照査方法: 道示V, $K_{ns} = 1.0$ ・破壊様式の確認: 曲げ, せん断 ・保有水平耐力\geq地震時慣性力</p> <p>断落し部の照査 ・設計震度: 道示V, $K_{ns} = 0.2$ ・降伏強度に対する安全率 安全率 $C_{ns} = S_{1a}(\text{段落し}) / S_{1c}(\text{基部})$ ここに, $S_{1a} = M_{1a} / M_{c1}$ M_{1a}: σ_yとなる抵抗モーメント M_{c1}: 曲げモーメント ・平均せん断応力度の照査 $\tau_{c1} = S_{1c} / A_{c1} \geq \tau_{c1}$ "</p> <p>最小帯鉄筋量の照査</p> <p>補修・補強設計</p> <p>・段落し部の照査 1)基本手法: 都発第7号通知 「道路橋の耐震点検要領S61」 2)設計方法 以下の2条件を満足させる。 a)条件1: 曲げひびわれ発生防止 $M_{1a} \geq S_{1a} \cdot M_{c1}$ M_{1a}: 補強後の抵抗曲げモーメント S_{1a}: 安全率1.2 M_{c1}: 作用曲げモーメント b)条件2: せん断ひびわれへの発展防止 $S_{1c} \geq S_{c1}$ S_{1c}: 補強後の抵抗せん断力 鋼板→帯筋換算 S_{c1}: 作用せん断力 3)補強範囲 段落し部を中心として、上下に1.5D</p>	<p>・耐震評価の手順</p> <p>1)検討断面 ・橋脚下端 ・途中定着位置より断面の有効高さd下がった断面</p> <p>2)手順 ①橋脚躯体(下端、途中定着部)の保有じん性率μ ②応答じん性率μ' ③比較 $\mu \geq \mu'$: 安全 ただし、作用せん断力(M_u/a)に比べてせん断耐力S_wが小さい時は、脆性的な破壊性状を示すので、せん断補強する。</p> <p>・補強設計 補強後、橋脚の塑性率が4以上となるように、曲げ耐力とせん断耐力を向上させる。</p>	<p>・設計手順</p> <p>①段落し部の補強: 段落し部が破壊しないことを確認→補強計算 ②橋脚基部の保有水平耐力の照査 ・カーボン繊維の概算補強量の算定法 1)曲げ補強量 ①不足曲げモーメント $\Delta M = M_{ut} - M_y$ M_{ut}: 橋脚基部が終局曲げモーメントに達した時の段落し部の曲げモーメント M_y: 段落し部の降伏抵抗曲げモーメント ②必要補強鉄筋量A_s算出 ③$A_s \rightarrow$カーボン繊維量A_{cf}に換算 $A_{cf} = A_s \cdot \sigma_{sy} / \sigma_{fa}$ σ_{fa}: カーボン繊維の設計強度</p> <p>2)せん断補強量 ①作用せん断力 $S = M_{ut} / h_t$ h_t: 慣性力の作用位置から段落し部までの距離 ②必要補強鉄筋量A_w算出 コンクリートの抵抗分はみない ③$A_w \rightarrow$カーボン繊維量A_{cf}に換算 $A_{cf} = A_w \cdot \sigma_{sy} / \sigma_{fa}$</p> <p>・段落し部・橋脚基部の補強範囲 ①段落し部上側 作用曲げモーメント(橋脚基部が終局曲げモーメント)と段落し部の補強前の降伏抵抗曲げモーメントとの交点での曲げモーメントに対して90%以下となる位置 ②段落し部下側 $1 \cdot D$ (D: 橋脚の橋軸方向幅)以上 ③橋脚基部(せん断補強) $1 \cdot 5 \cdot D$以上</p> <p>・保有水平耐力の照査 ①段落し部を補強した場合 補強後の構造について検討する ②橋脚基部をせん断補強した場合 コンクリートの終局ひずみの伸びと塑性ヒンジを考慮して検討する</p>

資料-3 建設省道路局『復旧仕様』と道路橋示方書との比較

	兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様 建設省道路局	道路橋示方書IV下部工編・V耐震設計編 日本道路協会								
基本 方針	<ul style="list-style-type: none"> ○兵庫県南部地震による被災区間の復旧工事に適用する。 ○構造部材の強度向上かつ変形性能の向上を行うとともに、今回の兵庫県南部地震に余裕を持って耐えられる構造とする。 ○橋脚基礎も橋脚躯体と同等以上の耐力と十分な変形性能を有する。 ○RC橋脚に限らず、地震の影響の大きい部材について地震時保有水平耐力の照査を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ○道路法に規定する高速自動車道、一般国道、都道府県道及び重要な市町村道における支間200m以下の橋の設計に適用する。 ○鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形性能に関する規定を地震時保有水平耐力を基本とする照査法に改めた。 ○橋台、フーチング、擁壁などの構造物は、橋脚のように地上に突き出した構造物と比較して地盤との相対変位が小さく減衰効果が大きいために、地震時に作用する慣性力が相対的に小さいため対象外としている。 								
帯鉄筋比 (横拘束筋)	<ul style="list-style-type: none"> ○帯鉄筋は、φ13の異形鋼棒で15cmピッチ以下で配置する。 ○断面の途中でピッチの変化はさせない。 ○フックのない重ね継手の禁止。 ○円形断面におけるフープ筋の継手部は千鳥状とする。 ○矩形断面の場合、中間帯鉄筋の配置(断面内配置間隔は1m以内) <div style="text-align: center;">  <p>(建設局推奨案)</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ○柱の軸方向鉄筋の座屈防止、じん性の確保、応力の分散及びせん断補強を目的としている。 ○柱とフーチングの接合部及び軸方向鉄筋量が大きく変化する位置では、以下に示す帯鉄筋の量を目安とする。 <table border="1" data-bbox="1231 551 1983 652"> <thead> <tr> <th>軸方向引張鉄筋比 p_t (%)</th> <th>$0 < p_t \leq 0.5$</th> <th>$0.5 < p_t \leq 1.0$</th> <th>$1.0 < p_t$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>帯鉄筋比 p_w (%)</td> <td>0.15</td> <td>0.20</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> ○帯鉄筋比 p_w の算出方法 $p_w = A_w / (b \cdot a) \times 100$ <p style="margin-left: 40px;"> A_w ; 帯鉄筋量 (cm²) (中間鉄筋含む) b ; 帯鉄筋の配置間隔 (cm) a ; 部材幅 (cm) </p> <ul style="list-style-type: none"> ○帯鉄筋は直径13mm以上の鉄筋とし、その間隔は部材断面の最小寸法の1/2以下とし、軸方向鉄筋の12倍以下かつ30cm以下とする。 ただし、軸方向鉄筋に直径35mm以上の鉄筋を用いる場合は、D16以上の帯鉄筋を配置する。 	軸方向引張鉄筋比 p_t (%)	$0 < p_t \leq 0.5$	$0.5 < p_t \leq 1.0$	$1.0 < p_t$	帯鉄筋比 p_w (%)	0.15	0.20	0.25
軸方向引張鉄筋比 p_t (%)	$0 < p_t \leq 0.5$	$0.5 < p_t \leq 1.0$	$1.0 < p_t$							
帯鉄筋比 p_w (%)	0.15	0.20	0.25							
地震時 保有水平 耐力照査	<ul style="list-style-type: none"> ○横拘束筋による拘束効果を考慮して、コンクリートの強度を定量的に評価するため、以下の曲線に変更された。 〔コンクリートの応力度～ひずみ曲線の変更〕 	<ul style="list-style-type: none"> ○従来の照査に用いられたコンクリートの応力度～ひずみ曲線 〔コンクリートの応力度～ひずみ曲線〕 								
段落 し部	<ul style="list-style-type: none"> ○橋脚のねばりを増加させ、終局耐力の向上を図るため、原則として、軸方向鉄筋の段落としは行わない。ただし、高橋脚の場合の段落としについての取扱いは慎重に検討する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ○柱部材の軸方向鉄筋を部材中間部において途中定着する場合には、帯鉄筋により十分補強しなければならない。 								
その他	<ul style="list-style-type: none"> ○橋脚基礎の地震時の耐力及び変形性能の照査 ○支承部構造細目の詳細 ○落橋防止構造の詳細 									

資料-4 『復旧仕様』による既設RC橋脚に対する検討例

1. 検討フロー



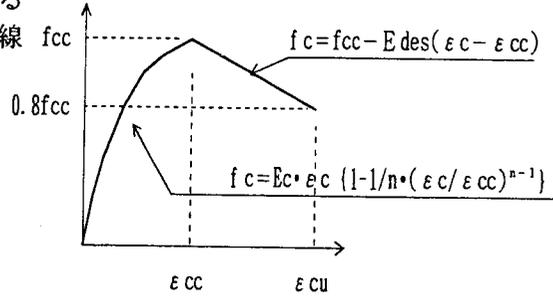
2. 検討方法

(1) 既設橋脚の地震時保有耐力の照査

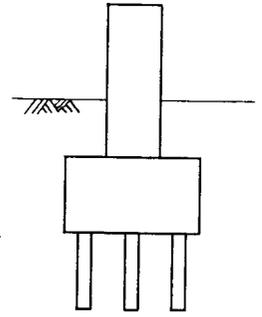
①照査方法：復旧仕様による

②コンクリートの $\sigma \sim \epsilon$ 曲線

：右図による



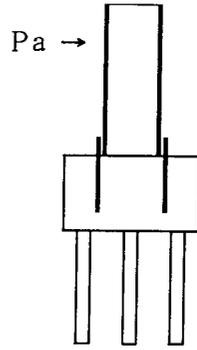
橋脚基部
曲げ破壊



(2) 補強検討

①脚柱：[鋼板接着] + [基部：RC] で補強→保有耐力の照査により補強効果を確認（耐力、じん性率 μ ）

②基礎：曲げ補強された脚柱のPaを基礎に荷重として作用→フーチングと杭の耐力を照査



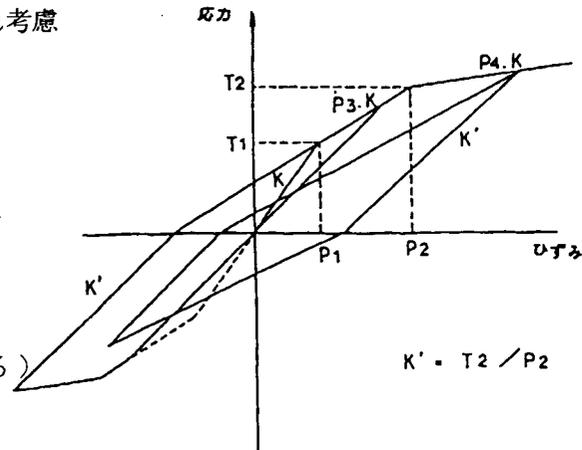
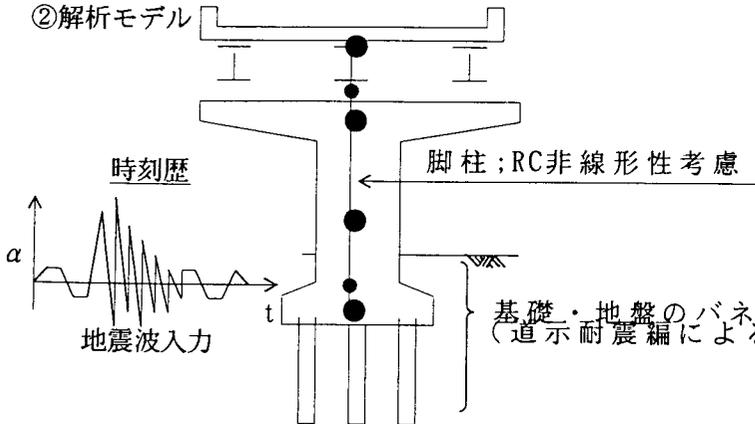
- 杭のバネ定数
 - ・道示耐震設計編による
- フーチングの耐力評価
 - ・道示IV下部構造編に準じる。
- 水平変位量の制限値
 - ・道示IV下部構造編に準じる。
- 杭体の耐力
 - ・道示IV下部構造編に準じる。
- 杭頭の押込み力・引抜き力
 - ・道示IV下部構造編に準じる。

(3) 動的解析による照査

①解析条件

- ・入力地震波：阪神大震災にてとれた地震波（800gal程度のもの）を使用
- ・脚柱の非線形を考慮
 - ・RCのM- ϕ 関係：tri-Linear
 - ・減衰定数：上部工、RC柱、基礎についてそれぞれ考慮

②解析モデル



剛性低下型トリリニアモデル
RCのM- ϕ 関係

基礎のロッキングの影響を考慮した多質点系モデル

3. 補強前の地震時保有水平耐力の照査

本橋脚（下図参照）は、地震時保有水平耐力（1Gで照査）を有しており、補強の必要がないと判定されている。

補強前は帯鉄筋量が少ないためコンクリートの $\sigma \sim \varepsilon$ 曲線は、①道示Ⅲによる関係曲線と、②復旧仕様による関係曲線の2とおりで照査してみた。

補強前の地震時保有水平耐力の照査結果を以下に示す。

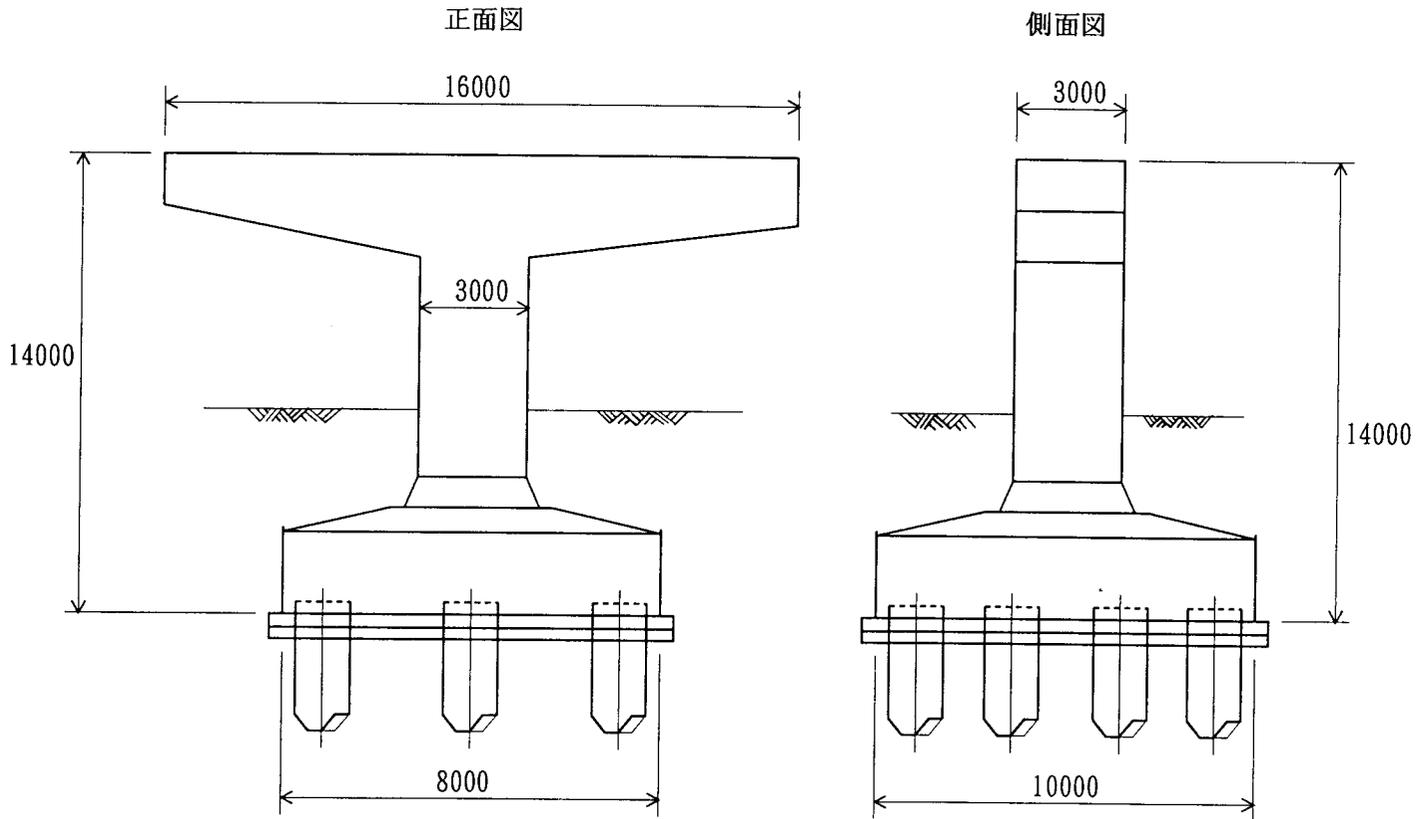
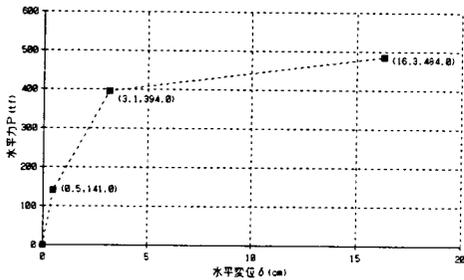
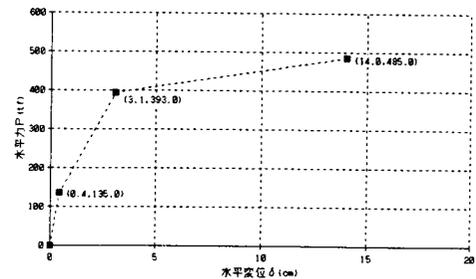


図 - 1 対象橋梁



P - δ 曲線

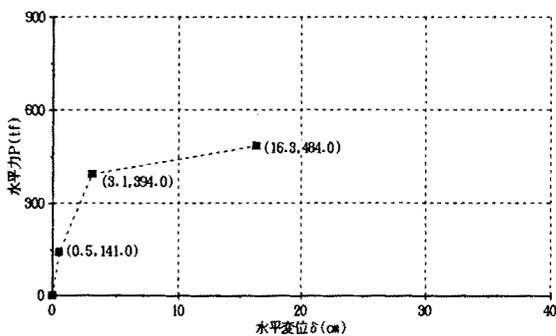


P - δ 曲線

$\sigma \sim \varepsilon$ 曲線	道示Ⅲ	復旧仕様
曲げ耐力 $P_u(tf)$	484.0	485.0
せん断耐力 $P_s(tf)$	541.0	541.0
$P_u : P_s$ の比較	$P_u < P_s \rightarrow$ 曲げ破壊先行	$P_u < P_s \rightarrow$ 曲げ破壊先行
じん性率 μ	3.81	3.35
等価水平震度 K_{he}	0.33	0.36
慣性力 $K_{he} \cdot W$	382.0	416.0
地震時保有水平耐力 $P_a(tf)$	454.0	455.0
判定	$P_a > K_{he} \cdot W$ 補強の必要はない	$P_a > K_{he} \cdot W$ 補強の必要はない

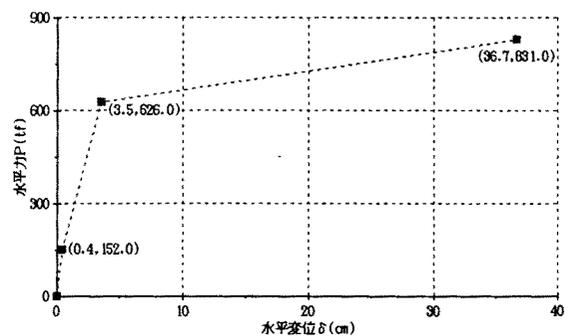
4. 動的解析による橋脚の耐震性照査

解析対象橋脚		補強なし	鋼板厚12mmで補強された橋脚
保有水平耐力の照査	検討ケース	CASE①	CASE②
	終局曲げ耐力 P_u (tf)	484.0	831.0
	せん断耐力 P_s (tf)	541.0	1928.1
	破壊形態	$P_u < P_s \rightarrow$ 曲げ破壊が先行	$P_u < P_s \rightarrow$ 曲げ破壊が先行
	終局時の変形量 δ_u (cm)	16.3	36.7
	じん性率 μ	3.8	7.4
	地震時保有耐力 P_a (tf)	454.1	762.4
	等価水平震度 K_{he}	0.330	0.230
	慣性力 $K_{he} \cdot W$ (tf)	381.7	266.0
動的解析	基部水平力 P_e (tf)	497.0	741.0
	最大変形量 δ_e (cm)	26.0	17.0
	基部最大加速度(gal)	1600	1500
照査結果(判定)		$P_a < P_e \rightarrow$ out	$P_a > P_e \rightarrow$ ok



	耐力 P (tf)	変位 δ (cm)
ひびわれ時	141.0	0.5
降伏時	394.0	3.1
終局時	484.0	16.3

CASE①



	耐力 P (tf)	変位 δ (cm)
ひびわれ時	152.0	0.4
降伏時	626.0	3.5
終局時	831.0	36.7

CASE②

資料-5 既設RC橋脚の耐震補強工法に関する検討

既設RC橋脚の耐震補強工法に関する検討

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 渡辺英夫

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田中樹由

1. はじめに

兵庫県南部地震クラスの大地震に対する既設RC橋脚の耐震補強工法(じん性指向型)の適用性を把握することを目的とし、橋脚基部で曲げ破壊が先行するタイプとせん断破壊が先行するタイプのモデル橋脚を設定して、地震時保有水平耐力の照査と非線形動的解析により耐荷性能とじん性能を検討した。

2. 検討方法

(1)検討対象モデル:昭和39年の鋼道路橋示方書により設計された標準的な高架橋の既設RC橋脚(健全なもの)を検討対象とする。形状寸法、配筋および使用材料を図-1に示す。橋脚の配筋は基部でせん断破壊が先行するものと曲げ破壊が先行するものとの2タイプを設定した。

(2)補強工法:RC橋脚の耐震性能を向上させる手法には、RC巻立て工法のように断面強度を高くする方法(強度指向型補強)と鋼板・炭素繊維接着工法のように補強材を接着し変形能力(じん性能)を向上させる方法(じん性指向型補強)がある。RC巻立て工法は応答加速度の増大と重量増の影響がある。鋼板・炭素繊維接着工法は水平変位は大きくなるが剛性と重量増加が少ないため検討対象とした。

(3)補強方法(表-1参照):橋脚基部の曲げ破壊が先行するタイプについては、①補強材を基礎に定着することによって曲げ耐力を向上させる方法と、②補強材による拘束効果によって内部コンクリートの変形能力を向上させる方法の2種類の補強方法について比較した。また、せん断破壊が先行するタイプについては、①補強材によりせん断耐力のみを高める方法と、②曲げ耐力も同時に高める方法の2種類について検討した。

(4)検討ケース:図-1に示したモデル橋脚について、補強工法の種類(鋼板接着・炭素繊維接着)および補強方法(補強材の基部定着、スリット化)を検討要因として検討ケースを設定した(表-1参照)。

(5)検討手順:補強前について地震時保有水平耐力の照査を行い補強量を算定し、補強後の構造について耐力とじん性能を確認した。また、鋼板接着による補強橋脚に対して神戸海洋気象台の地震波を用いた非線形動的解析を行い耐荷力と最大水平量を確認した。

(6)解析方法:①地震時保有水平耐力の基本的な照査方法は、現行の道路橋示方書・耐震設計編¹⁾に準じた。橋脚表面の補強材による内部コンクリートの拘束効果は建設省道路局の復旧仕様²⁾による応力~ひずみ曲線を用いて考慮した。また、断面の曲げモーメント~曲率関係は、コンクリート・内部鉄筋・表面補強材(鋼板、炭素繊維)の応力~ひずみ関係を考慮できる断面分割法により求めた。②動的解析は、多質点系の解析モデルに、神戸海洋気象台の観測波形・NS成分(最大818gal、地表面の硬質な洪積層)を入力して時刻歴解析を行った。計算は7プログラムDYNAXを用い、計算時間のきざみは0.02secを100分割とした。なお、橋脚の材料非線形性はtri-linearモデルで考慮し、減衰定数は上部工=2%・RC橋脚=5%・基礎=20%とした。

3. 検討結果および考察

表-1に、補強前後の地震時保有水平耐力の照査結果と鋼板接着補強に対する動的解析結果を示す。

①橋脚基部の曲げ破壊が先行するタイプ

- ・鋼板接着または炭素繊維接着によって、補強前のじん性率($\mu=2.87$)が大きく改善される。鋼板接着工法の場合 $\mu=5.97, 7.42$ 、炭素繊維接着工法の場合 $\mu=5.43, 9.29$ となっている。
- ・鋼板を基礎に定着せず水平方向にスリットを入れた場合は、基礎に定着した場合に対して、等価水平震度および動的水平力が減少しており、じん性率が増加している。
- ・鋼板を基礎に定着せず水平方向にスリットを入れた補強方法の動的解析結果では、耐荷性能が確保されており、最大水平変位量も鋼板を定着した場合と同程度となっている。

②橋脚基部のせん断破壊が先行するタイプ

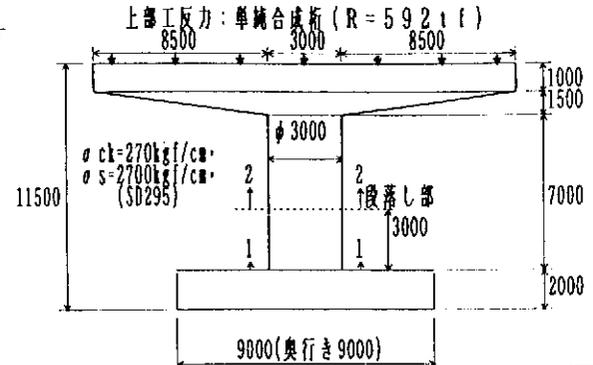
- ・鋼板または炭素繊維接着によって、曲げ破壊先行型に移行できる。高さ方向に連続接着した鋼板で $\mu=5.19$ 、水平方向にスリット化した炭素繊維接着で $\mu=9.29$ となっている。

4. まとめ

従来の鋼板接着による曲げ補強工法では鋼板は基礎に定着されていたが、鋼板を基礎に定着せず水平方向に接着することによって、じん性能が向上し作用力は低減する。また、炭素繊維補強工法も鋼板接着工法と同様に有効な工法であることが確認された。なお、解析検討のみでは信頼性に乏しい面があるので、今後は実験的確認により本補強工法の可能性を確認していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書V・耐震設計編、平成2年3月
- 2) 建設省道路局:兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様、平成7年2月



断面モデル	軸方向鉄筋	帯鉄筋
基部曲げ破壊先行タイプ	基部: D35-641(2段) 股深: D35-641(1.5段)	D19ctc150
基部せん断破壊先行タイプ	基部: D35-641(2段) 股深: D35-641(1.5段)	D19ctc250

図-1 モデル橋脚

表-1 解析結果

		橋脚基部の曲げ破壊が先行するタイプ	橋脚基部のせん断破壊が先行するタイプ	
補強方法	【従来の補強方法】	<p>せん断補強鋼板(又は炭素繊維)</p> <p>柱幅D</p> <p>既設の帯鉄筋</p> <p>既設の主鉄筋</p> <p>段落し部</p>	<p>せん断補強鋼板</p> <p>炭素繊維</p> <p>柱幅D</p> <p>既設の帯鉄筋</p> <p>既設の主鉄筋</p> <p>段落し部</p>	
	【じん性向上型補強】	<p>*水平方向にスリットを設け、補強材によりコンクリートの拘束効果を向上</p> <p>*補強材を柱の高さ方向に接着・基礎へ定着して断面の耐力を向上</p> <p>*耐力指向型補強は、柱方向に連続させフーチングへ定着させる。</p> <p>*じん性指向型補強は、曲げに抵抗しないよう水平方向にスリットを入れる。</p> <p>*橋脚は、全体を巻いて補強する。</p>	<p>*補強鋼板は、柱基部から0.5D(D:柱幅)以上が曲げにも抵抗する。</p> <p>*橋脚は、全体を巻いて補強する。</p> <p>*せん断力に対して既設部(コンクリート、帯鉄筋)および補強部材(鋼板又は炭素繊維)で抵抗する。</p>	
補強前照査結果	<p>$P_u = 534$ (tf)</p> <p>$P_s = 541$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 2.87$</p> <p>$K_{he} = 0.46$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 614$ (tf)</p> <p>$P_a = 487$ (tf) < $K_{he} \cdot W$ (out)</p>	<p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p>	<p>$P_u = 539$ (tf)</p> <p>$P_s = 439$ (tf)</p> <p>判定→せん断破壊先行</p> <p>$\mu = 1.0$</p> <p>$K_{he} = 1.0$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 1537$ (tf)</p> <p>$P_a = 439$ (tf) < $K_{he} \cdot W$ (out)</p>	<p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p>
	じん性向上型補強	<p>鋼板接着補強</p> <p>$P_u = 569$ (tf)</p> <p>$P_s = 1216$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 7.42$</p> <p>$K_{he} = 0.27$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 361$ (tf)</p> <p>$P_a = 504$ (tf) > $K_{he} \cdot W$ (ok)</p> <p>【動的解析による照査結果】</p> <p>柱基部; $M = 4720$ (tf·m) [1340gal]</p> <p>水平力 $P_{max} = 479$ (tf) < P_a (ok)</p> <p>柱天端部変形量 $\delta = 19$cm</p>	<p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p>	<p>炭素繊維接着補強</p> <p>$P_u = 567$ (tf)</p> <p>$P_s = 1111$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 5.19$</p> <p>$K_{he} = 0.33$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 441$ (tf)</p> <p>$P_a = 503$ (tf) > $K_{he} \cdot W$ (ok)</p> <p>【動的解析による照査結果】</p> <p>柱基部; $M = 4832$ (tf·m) [1310gal]</p> <p>水平力 $P_{max} = 491$ (tf) < P_a (ok)</p> <p>柱天端部変形量 $\delta = 18$cm</p>
従来型補強		<p>鋼板接着補強</p> <p>$P_u = 728$ (tf)</p> <p>$P_s = 1216$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 5.97$</p> <p>$K_{he} = 0.30$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 401$ (tf)</p> <p>$P_a = 647$ (tf) > $K_{he} \cdot W$ (ok)</p> <p>【動的解析による照査結果】</p> <p>柱基部; $M = 6179$ (tf·m) [1480gal]</p> <p>水平力 $P_{max} = 627$ (tf) < P_a (ok)</p> <p>柱天端部変形量 $\delta = 19$cm</p>	<p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p>	<p>炭素繊維接着補強</p> <p>$P_u = 587$ (tf)</p> <p>$P_s = 664$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 9.29$</p> <p>$K_{he} = 0.24$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 317$ (tf)</p> <p>$P_a = 509$ (tf) > $K_{he} \cdot W$ (ok)</p>
	炭素繊維接着補強	<p>$P_u = 564$ (tf)</p> <p>$P_s = 585$ (tf)</p> <p>判定→曲げ破壊先行</p> <p>$\mu = 5.43$</p> <p>$K_{he} = 0.32$</p> <p>$K_{he} \cdot W = 424$ (tf)</p> <p>$P_a = 496$ (tf) > $K_{he} \cdot W$ (ok)</p>	<p>水平力P (tf)</p> <p>水平変位 δ (cm)</p>	<p>【凡例】</p> <p>P_u: 曲げ耐力</p> <p>P_s: せん断耐力</p> <p>μ: じん性率</p> <p>K_{he}: 等価水平剛度</p> <p>$K_{he} \cdot W$: 慣性力</p> <p>P_a: 地震時保有水平耐力</p>

資料-6 耐震補強に関する関係文献リスト

A. 耐震判定および補強設計法

- A-1. 日本道路公団：
東名高速道路橋梁下部工大規模地震補強対策検討指針（案）、S63.3
 - A-2. 日本コンクリート工学協会編：
既存鉄筋コンクリート構造物の耐震補強ハンドブック、技報堂出版、1984
 - 第Ⅰ編 耐震補強の計画と工法
 - 2章 建築構造物の補強方法
 - 2.3 補強工法、(3)柱の補強：鉄板巻き、FRP巻き
 - 3章 土木構造物の補強方法
 - 3.1.2 耐震評価、(iv)構造物の耐震性評価
 - 3.1.3 耐震補強
 - 3.2.2 道路橋、(2)下部構造躯体
 - 第Ⅱ編 研究成果とその分析
 - 2章 研究状況
 - 2.2.1 骨組・部材
 - 2.2.2 橋梁
 - 3章 補強構造物の性状
 - 3.1.3 高架橋
 - 3.2.1 柱・梁：鋼板による補強、FRPによる補強
 - 3.2.2 橋脚：コンクリート巻き、鋼板巻き、帯鋼板接着補強
- A-3. 大川征治：
道路の耐震補強「東名高速道路」
土木技術、Vol. 44、No. 8、1989.8
- A-4. 日本道路協会：
道路橋示方書V、(平成2年2月)
- A-5. 川島一彦：
鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査
基礎工、1990.6
- A-6. 矢部、友沢：
鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の計算例
基礎工、1990.6
- A-7. 一樹、小野寺、大内：
橋梁の耐震設計・耐震補強国際ワークショップ(ボルミオ)報告
JSEEP NEWS No.121 Nov、1991
- A-8. 倉沢、石井、佐藤他：
東名高速道路の橋梁下部工耐震補強一東海地震に備えて一
基礎工、1992.2

B. 橋脚の動的耐力、性状、設計一般

- B-1. 山本、石橋、大坪、小林：
鉄筋を途中定着した橋脚の耐震性能に関する実験的研究
土木学会論文集、第348号、1984.8
- B-2. 川島、長谷川、小山、吉田：
鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力および変形性能
土木技術資料、Vol. 29-12、1987
- B-3. 川島、運上：
道路橋の橋台および橋脚の耐震補強
基礎工、1992.2

C. 鋼板によるRC部材の補強効果に関するもの

- C-1. 荒川、米沢：
既存鉄筋コンクリート柱の帯板補強による効果について
建築学会大会、pp1043~1404、1976.10

- C-2. 畠山、山本、渡辺：
鉄筋コンクリート部材の鋼板接着によるせん断補強実験、
建築学会大会、pp1593～1594、1977
- C-3. 宮本、石橋、斉藤：
既設橋脚の鋼板巻き耐震補強方法に関する実験
構造物設計資料、No. 89、1987-3
- C-4. 川島、運上、飯田：
壁式鉄筋コンクリート橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強効果
土木技術資料、No. 34-1、1992
- C-5. 一樹、内藤：
鉄筋コンクリート橋脚の鋼板巻立てによる耐震補強
基礎工、1992. 2
- C-6. 石橋、古谷：
新幹線の橋脚・橋台の耐震補強—鋼板巻き補強・ストラット等—
基礎工、1992. 2

D. 炭素繊維によるRC部材の耐震補強に関するもの

- D-1. 勝俣、小島、武田：
新素材による既存コンクリート柱の耐震補強に関する研究
(その3. 炭素繊維を巻付けた部材のせん断力の検討)
日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)昭和63年10月
- D-2. 勝俣、小島他：
新素材による既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強に関する研究(その1)
大林組技術研究所報、No. 33、1986
- D-3. 勝俣、小島他：
炭素繊維による既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強に関する研究(その2)
大林組技術研究所報、No. 34、1987
- D-4. 勝俣、小島他：
炭素繊維の巻き付けによる既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強工法
セメント・コンクリート、No. 497、1988. 7
- D-5. 勝俣、小島他：
炭素繊維による既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強に関する研究(その3)
大林組技術研究所報、No. 38、1989
- D-6. 日本道路公団試験所構造試験室：
耐震補強工に関する試験研究報告書、平成2年3月
- D-7. 東田：
炭素繊維を用いた橋脚の耐震補強効果
EXTEC、1992、3
- D-8. 多久和、石田、東田、安松：
V-318RC橋脚の補強効果について、
土木学会第45回年次学術講演会(平成2年9月)
- D-9. 小島、勝俣、谷木：
V-398炭素繊維による既存RC橋脚の耐震補強(その1補強方法)、
土木学会第45回年次学術講演会(平成2年9月)
- D-10. 岡島、勝俣、石田、東田：
V-399炭素繊維による既存RC橋脚の耐震補強(その2載荷実験)、
土木学会第45回年次学術講演会(平成2年9月)
- D-11. 宇治、横田：
カーボンファイバーによる既設構造物の補強効果に関する研究、
土木学会第46回年次学術講演会(平成3年9月)
- D-12. 藤原、東田、大野、岡島：
V-377炭素繊維によるRC橋脚の耐震補強効果について(その1載荷実験)
土木学会第46回年次学術講演会(平成3年9月)
- D-13. 松田、東田、勝俣、小島：
V-378炭素繊維によるRC橋脚の耐震補強効果について(その2設計法)
土木学会第46回年次学術講演会(平成3年9月)
- D-14. 松田、東田：
炭素繊維を用いた橋脚の耐震補強効果
日本道路公団試験所報告、Vol. 28、p. 73-84、1991

D-15. 長谷川、松田、東田：
炭素繊維を用いたR C 橋脚の耐震補強
土木技術47巻3号

E. 補強事例.

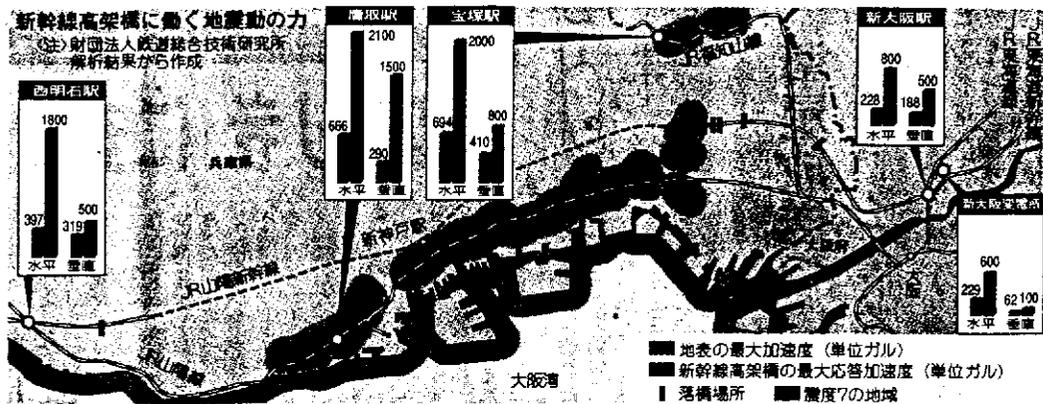
- E-1. 岡田、石橋、吉野、古谷、斉藤：
R C 橋脚の耐震評価と補強例、
構造物設計資料No. 84、1985. 12
- E-2. 西村昭彦：
無筋コンクリート橋脚の耐震補強
基礎工、1990. 9
- E-3. 辻、上田、萩原：
6 0 2 道路橋下部構造の耐震点検と耐震補強
第14回日本道路会議論文集
- E-4. 森浜、小林：
6 0 3 鉄筋コンクリート橋脚の補強に関する一実験
第14回日本道路会議論文集

F. 耐久性

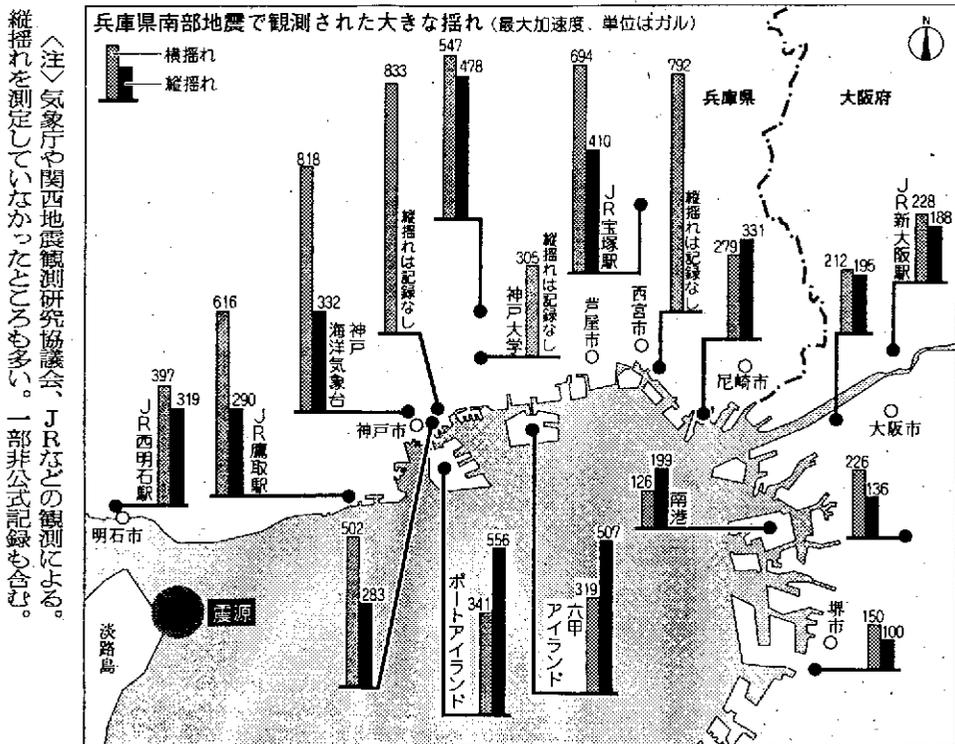
- F-1. 岡島、中西、田中、小島：
シート状炭素繊維を貼付けて補強した既存部材の耐久性に関する試験、
土木学会第46回年次学術講演会(平成3年9月)

G. ロッドの定着

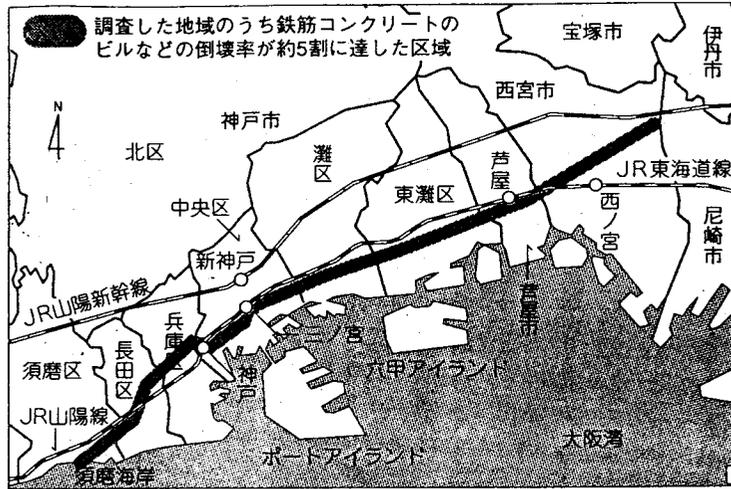
- G-1. 岡本、遠藤、松原、谷垣：
アラミド繊維による組紐状棒材の研究(その3. 付着性状 I 引抜き試験結果)
土木学会第46回年次学術講演会(平成3年9月)



新幹線高架橋に作用した加速度 (朝日新聞 1995/2/16 夕刊)

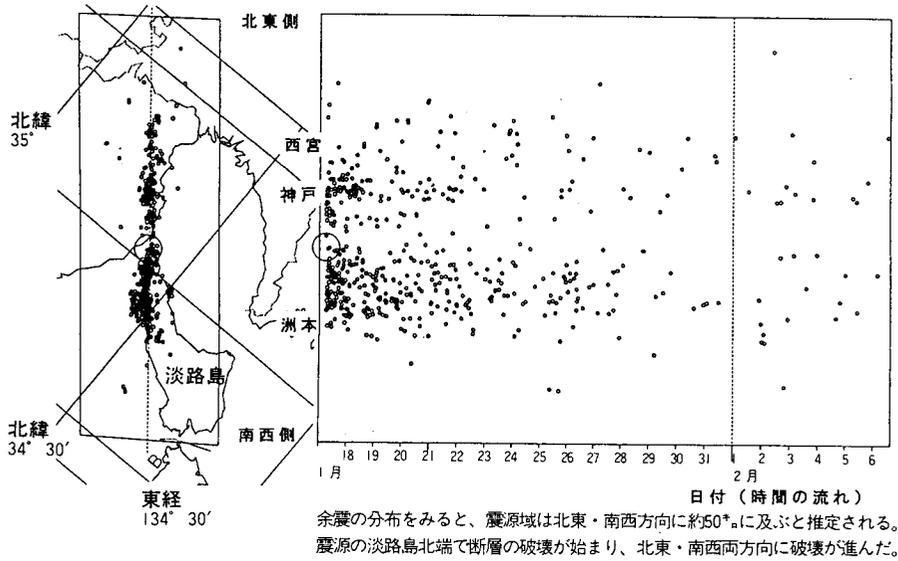


観測された水平・鉛直最大加速度 (朝日新聞 1995/2/27 夕刊)



鉄筋コンクリート建物の倒壊率が約5割の達した区域
 (朝日新聞 1995/2/2 夕刊)

3) 余震活動

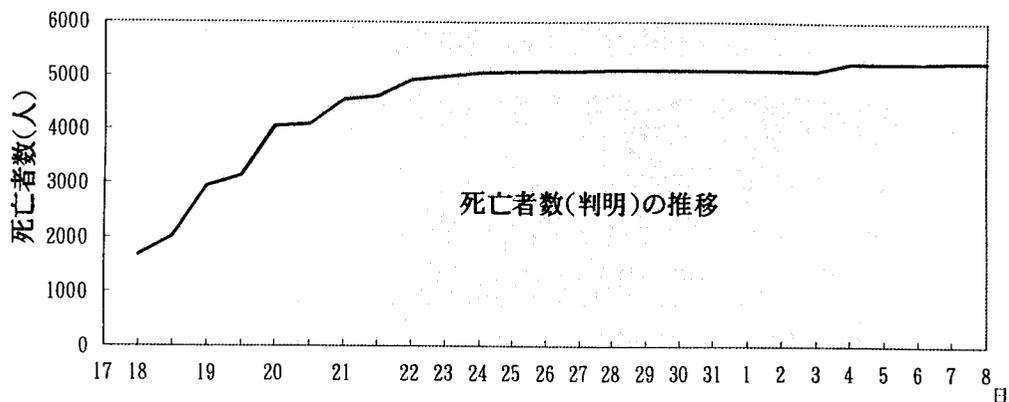


震央分布図

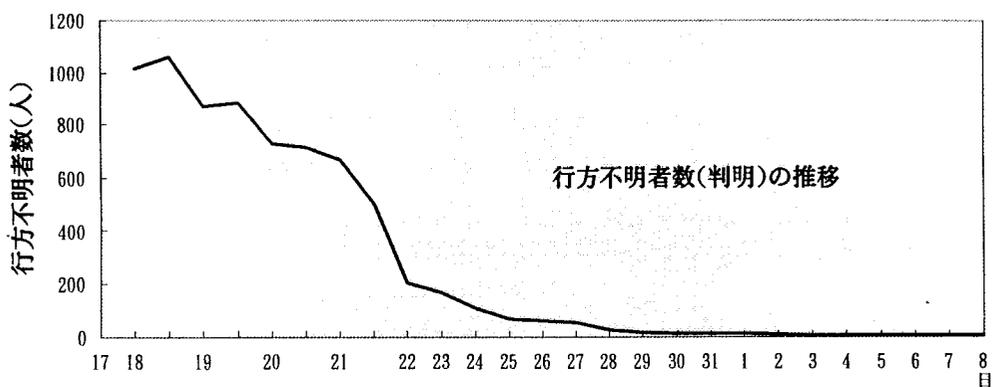
時空間分布図

余震活動 (気象庁)

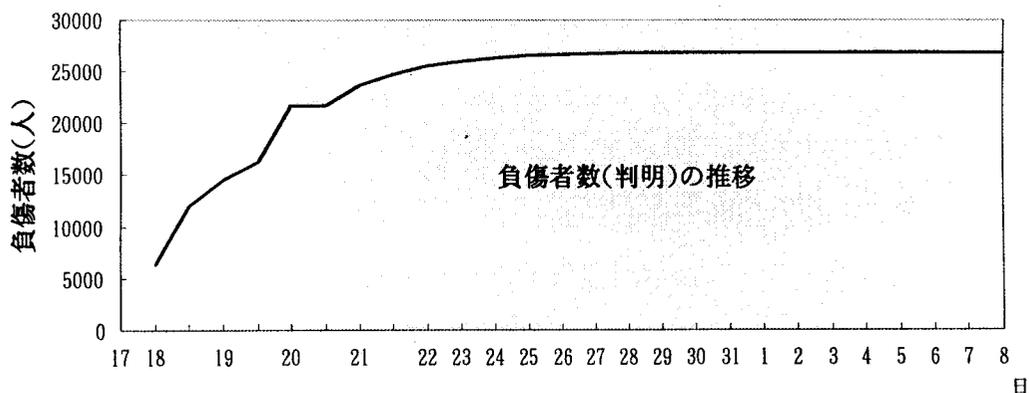
被害判明状況の推移



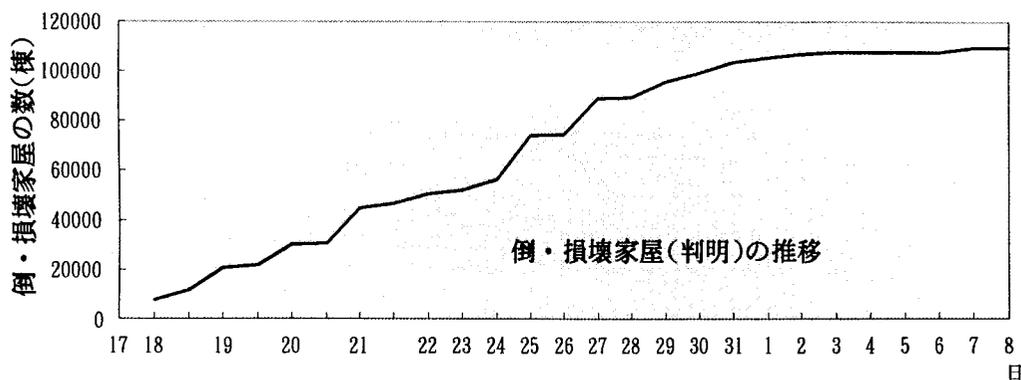
死亡者数の推移



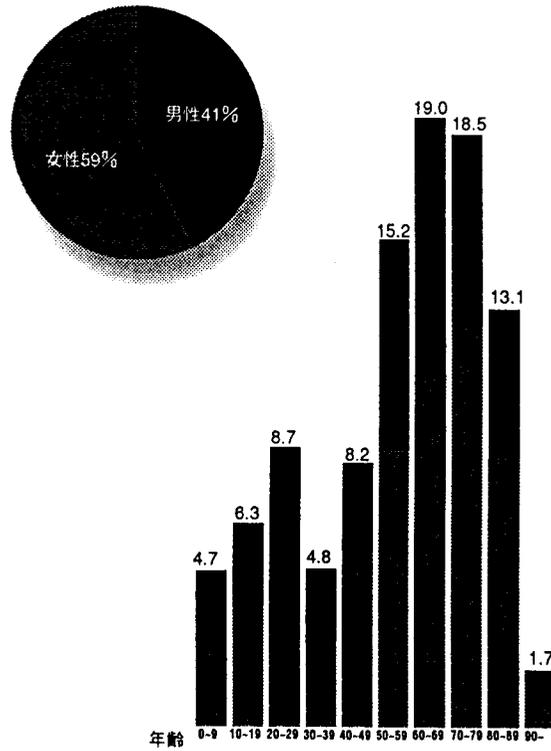
行方不明者数の推移



負傷者数の推移



倒・損壊家屋数の推移



死亡者の性別・年代別内訳（警察庁調べ）

（負傷者数は1月31日現在 避難者数は最大時）

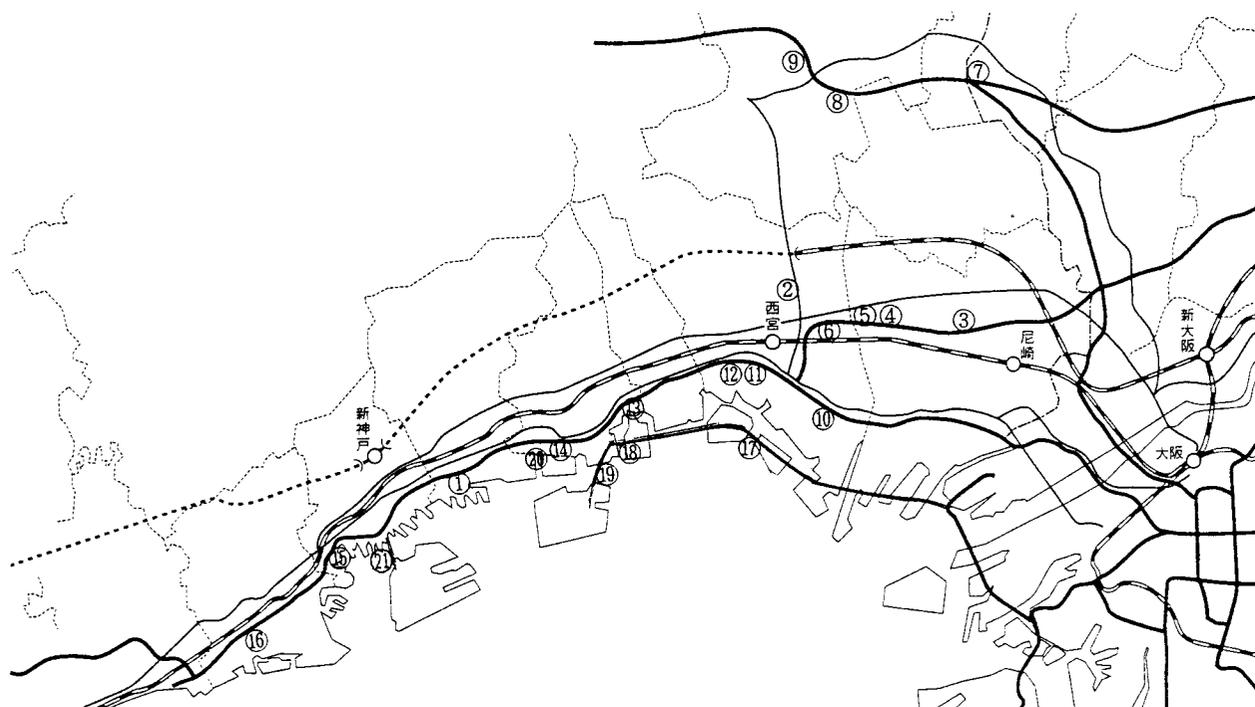
		避難 (人)	負傷 (人)
神戸市	須磨区	21,148	637
	長田区	46,995	533
	兵庫区	25,500	1,755
	中央区	32,500	2,413
	灘区	34,736	1,112
	東灘区	67,767	3,383
	北区	2,360	817
	西区	630	1,640
	垂水区	3,807	1,020
西宮市	45,000	2,987	
芦屋市	20,970	2,759	
宝塚市	13,724	1,100	
尼崎市	9,545	61	
伊丹市	8,775	923	
川西市	1,787	178	
明石市	3,254	965	
三木市	102	17	
淡路島	5,435	1,080	
大阪府	3,809	2,124	
合計	347,844	25,504	

避難者・負傷者の地区別内訳

2) 道路橋の主な被害

日本が都市内高速道路時代に入って初めての直下型巨大地震であることもあって、その被害は、幹線道路の交通網としての機能に重大な影響を与えるものとなった。加えて、海と六甲山系に挟まれた阪神地区の主要幹線である国道43号および阪神高速道路3号神戸線が、震度の大きい地帯に位置したため、被害が大きく救援および復旧活動に大きい影響を及ぼした。

本書に収録した道路橋の被害は、落橋や被災後すぐに取り壊された物など、著しい被害を受けたものだけである。従って、これ以外の箇所でも落橋には至らなかったが、今後の詳細な調査・検討を経て、取り壊したりまたは重度の補強工事を要する物が多い。また、これら道路橋の被害の形態は、従来の地震では認められなかったり、静的な載荷実験では再現ができないと思われるパターンのものがある。設計法を含めてその結果を検証する実験法についても考え直す必要があるであろう。



道路橋の主な被害

国道43号	①	灘区にある岩屋高架橋の鋼橋脚が倒壊し、上部工が落下した。
国道171号	②	阪急電鉄今津線と交差する門戸高架橋が、落橋防止工の破断で、1スパンが阪急電鉄上に落下 取付部の橋脚も大きい被害を受けた。
名神高速道路	③	大西高架橋の橋脚が1基が座屈
	④	守部高架橋の橋脚2基が座屈
	⑤	武庫川橋（3径間連続鋼桁橋）の橋台部で、支 承が破壊し、桁本体に亀裂。

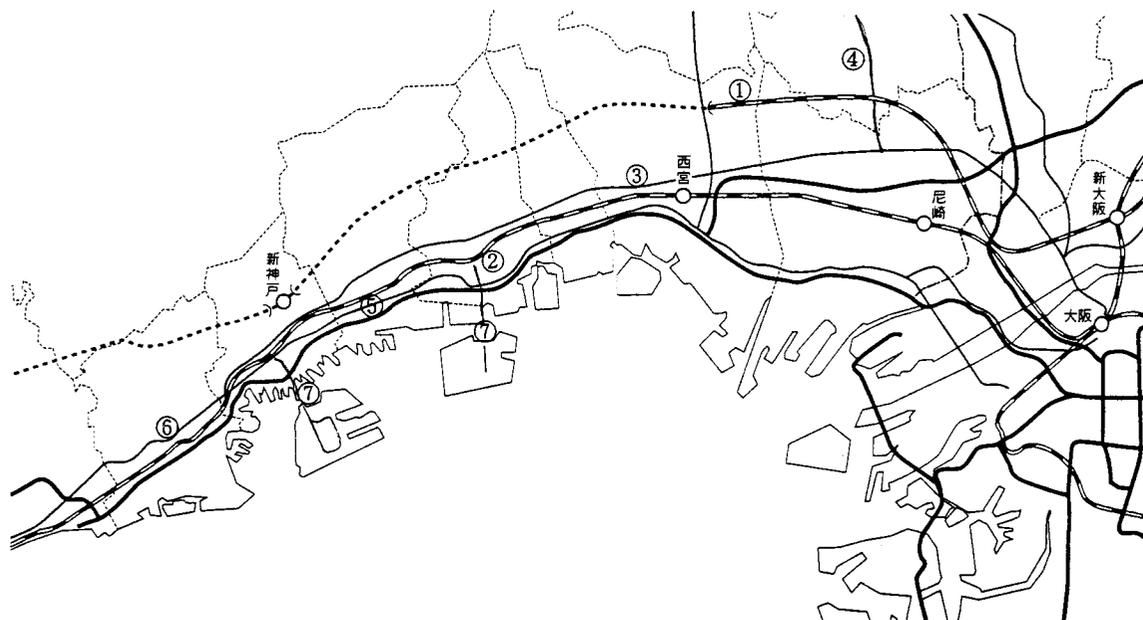
中国縦貫自動車道	⑥	瓦木西高架橋の円柱のRC橋脚ヒンジ部の損傷により、橋脚が倒壊し、上部工2スパンが落下
	⑦	宮ノ前高架橋の橋脚31基に亀裂
	⑧	荻野高架橋の橋脚6基に亀裂
	⑨	宝塚高架橋（5径間連続中空床版橋）の固定脚および前後の橋脚4基が損壊、となりの20基が傾斜。
阪神高速3号神戸線	⑩	尼崎市で、橋脚が倒壊し、上部工が落下
	⑪	西宮市社家町地区で、橋脚が倒壊し、上部工2スパンが落下、バスが落ちかけたところ。
	⑫	西宮出入口（西宮市荒戎町）で、T型鋼橋脚が圧壊し、上部工が落下した。両側にあるRC橋脚は倒壊を免れたため、中央の本線部が落下。
	⑬	東灘区深江で東灘高架橋（ピルツ構造）の橋脚が635mにわたって倒壊。
	⑭	東灘区御影本町で橋脚が倒壊し、鋼箱桁の杓がはずれ、上部工が座屈。
	⑮	神戸市中央区弁天町付近で、鋼連続格子桁の橋脚が倒壊し、約500mにわたって上部工が落下、橋脚はRC1本柱。
	⑯	長田区で上部工2スパンが落下。
阪神高速5号湾岸線	⑰	西宮港大橋で落橋防止工が破断し、側径間1スパンが落橋。
	⑱	東神戸大橋でペンデル杓が破断し、側径間に浮き上がりを生じた。
	⑲	六甲アイランド橋の杓がはずれ、大きく横移動
	⑳	灘大橋（ニールセンローゼ橋）の2本のケーブルが定着部で破断し、1本がたるんだ。
その他の道路	㉑	神戸大橋（3径間連続ダブルデッキアーチ）の支承が約30cmずれた。アプローチ部では2層の桁橋が落橋した。

3) 鉄道橋の主な被害

道路の場合と同様に、高速（新幹線）鉄道時代に入って、地震によって初めてその構造物が被害を受けた。しかし、構造物が重大な被害を受けたにも拘らず、運行時間前であることで、鉄道事故に至らなかったのは幸いであると云える。

鉄道構造物の主な被害は、山陽新幹線で8カ所にわたり落橋、J R東海道線、阪急神戸線および阪神本線で落橋および駅舎の倒壊があり、重大な被害を受けた。都市部にある高架構造の駅舎は、その下の空間を商業施設として利用することが多く、その復旧には利用権の調整などが絡み、工学的な難しさに加えて、復旧を遅らせる一因となっている。

この地震では、従来安全であると云われていた、地下鉄（神戸高速鉄道：大開駅）駅舎の中柱が崩壊し、鉄道のみならず地上の国道が陥没するなどの被害を受けた。地下構造物については、軸方向の耐震解析はある程度のレベルにあるが、横方向について解析および設計方法の確立が待たれる。



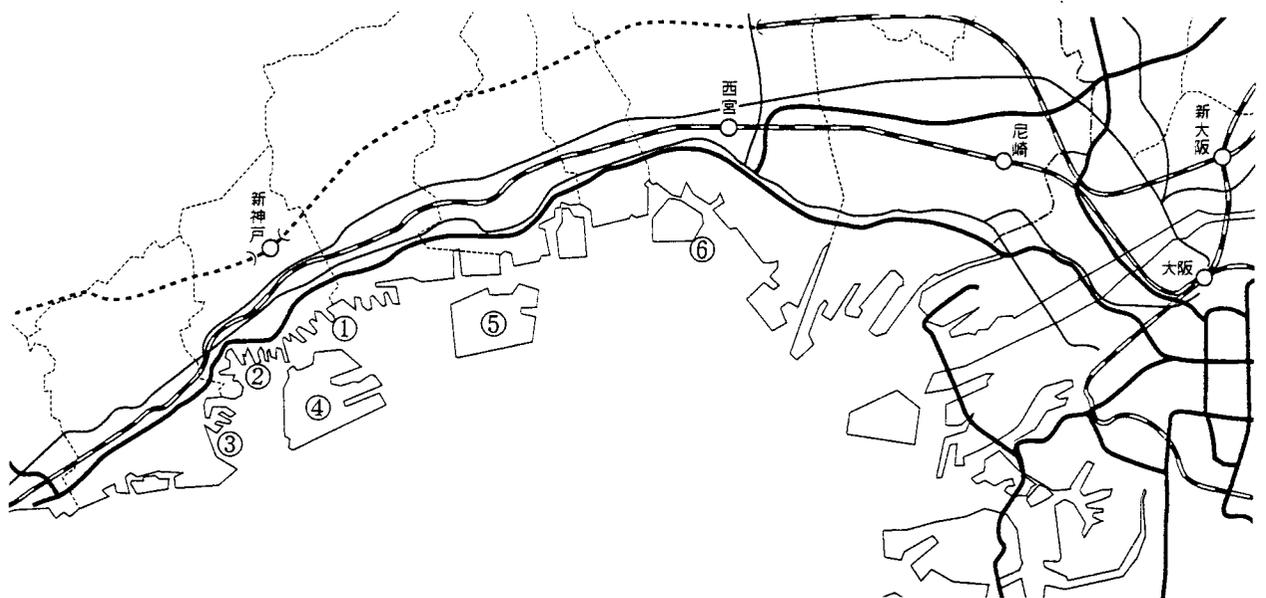
鉄道橋の被害

<p>J R 山陽新幹線</p>	<p>①</p>	<p>阪水高架橋ではラーメン高架橋と単純版桁が、柱の破壊により、約70mにわたって落下した</p> <p>甲東園高架橋では、柱の破壊により、ラーメン桁とP C単純桁が落下した。</p> <p>阪急電鉄今津線上のP C単純桁が落下。</p> <p>甲東園高架橋と阪急今津線の間ラーメン高架橋の柱頭部が破壊。</p>
------------------	----------	--

	伊川高架橋ではラーメン橋台が破壊し、P C単純桁および版桁が落下。
	時友高架橋（2層ラーメン高架橋）の上層部の柱が破壊。
	武庫川橋梁の橋脚が損壊した。
J R 東海道線	② 灘区の六甲道駅（橋上駅）の上部工の落下および橋脚の破壊により、ホームが倒壊した。
阪急神戸線	③ 夙川駅でホーム倒壊。
	西宮北口～夙川間で高架橋が落下。
阪急伊丹線	④ 伊丹駅（橋上駅）の支柱が破壊し、駅舎が倒壊した。
阪神電鉄線	⑤ 大原～新在家駅間で高架橋が破壊、高架下の住宅がつぶれた。
	新在家駅の高架部分が落下。
	青木～岩屋間では約2 kmにわたって高架が崩れ、8カ所で橋が落ちた。
	御影駅付近、西灘駅付近でも高架橋の破壊、落橋が生じた。
	石屋川車庫の高架を支える柱が破壊し、車庫全体が落下した。
神戸高速鉄道	⑥ 三宮～花隈間で高架橋が2スパンにわたって落橋した。
	大開駅（地下2層構造）下層の中間柱が120 mにわたって破壊し、上を走る国道28号が最大約3 m陥没した。
新交通	⑦ 六甲ライナー、ポートライナーとも落橋などの重大な被害を受けた。

4) 港湾施設の主な被害

戦後経済の発展に伴って、全国で造られた大規模な埋め立て地を襲った最初の地震である。その被害は、地盤の液状化による陥没、亀裂および護岸構造物の倒壊である。特に、全国一のコンテナ扱い高の港町・神戸で、象徴的な埋め立て地であるポートアイランドおよび六甲アイランドの港湾施設が壊滅的な被害を受け、荷役ができなくなり、他国の産業活動にも影響を与える結果となった。



港湾施設の主な被害

神戸新港地区	①	ケーツ式岸壁が側方流動によりはらみ出し、大きな亀裂と陥没を生じた。 新港突堤の先端部が護岸の崩壊、沈下により水没した（第4、第5、第8突堤）。
神戸中突堤地区	②	メリケンパーク岸壁が水没。 亀裂、陥没により旅客ターミナルが傾いた。
兵庫突堤地区	③	突堤のE7°ロンが水没、コンテナハウスが使用不能となった。
ポートアイランド地区	④	島全体に液状化現象を生じ沈下した。 岸壁の側方流動および沈下により、すべてのコンテナハウスが使用不能となった。 北公園付近の護岸の傾斜および背面の沈下により、大きな亀裂および水没を生じた。 2期工事現場でもケーツの迫り出し、傾斜および沈下、水没を生じた。
六甲アイランド地区	⑤	島全体に液状化現象を生じ沈下した。 岸壁の側方流動および沈下により、すべてのコンテナハウスが使用不能となった。

尼崎西宮芦屋港 その他	⑥	テナバースが使用不能となった。陥没が大きく、クレーンの倒壊を生じた。 取付道の沈下により通行が不能となった。岸壁17°ロンのはらみ出し、沈下を生じた。
	⑦	明石港、垂水港、須磨港、淡路島の各港でも岸壁の傾斜、沈下などの被害を生じた。

5) 河川・堤防の被害

震源地から離れ地震動の影響が比較的低い大阪地区の、淀川および神崎川の河川護岸および堤防が大きな被害を受けた。このような都市にある大河川の構造物が、このように大きい被害を受けたのははじめてである。被害は、土堤の崩壊、コンクリート護岸の転倒および堤防上の道路を含む陥没や亀裂である。

武庫川	堤防および河川敷きに亀裂、段差を生じた。
藻川	堤体に大きな亀裂を生じ、最大1 mの段差を生じた。
淀川	左岸下流部で1.8 kmにわたって堤体が崩壊し、最大3 mの沈下を生じた。 右岸下流部で750 mにわたって堤体の崩壊、沈下を生じた。また、堤体上の道路では20 cm程度の亀裂を生じた。
神崎川	堤体全体が20 cm程度沈下し、天端の中央部が680 mにわたって割れた。

6) ライフラインの被害と復旧

この地震によって、神戸地区のライフラインは、壊滅的な被害を受けた。さらにその被害は、水道の供給不能による消化活動の不能、電力の供給停止による交通制御の麻痺、なかでもテレビ・電話などの通信途絶による情報の混乱・不通など、救援活動にも大きい影響を及ぼすものとなった。

高度集積社会におけるライフラインの被害は、文明の利器に頼った日常生活のもろさと、それが一旦破壊されるとその影響はより大きいことを認識させるものとなった。今後の都市防災を考えるに当たっては、その安全レベルの設定、代替案を含むシステムのあり方など、重い検討課題を突きつけられる形となった。

	被害の規模	復旧の概況
電力	電柱および配電線が大きな被害を受け、被災地区の約100万世帯が停電した。	全国の電力会社の応援を求め、約1週間後の1月23日に復旧した。
ガス	被災地の約85万世帯のガス供給が不能となった。	埋設されたガスパイプの損傷状況を把握し、復旧作業を進めているが、再供給時の安全確認など作業が複雑で、3月末に至るも、完全復旧はされていない。
水道	神戸市を中心に約100万世帯が断水した。	被災後約三週間立った時点でも30万世帯以上が断水している。この時点で、給水を開始したのは神戸市・西宮市で約六割、芦屋市で四割強である。3月末に至るも完全復旧はされていない。
通信	通信ケーブルの損傷などにより、最大時には約30万回線の電話が不通となった。	1月末までに、倒壊消失した家屋の分を除き、完全復旧した。しかし、回線の減に加え、救援活動による通信の増加などに伴い、携帯電話が見直された。
下水道	兵庫県では1600箇所以上で破損などの被害を受けた。また、半数近くの下水处理場が被害を受けた。	人口密集地では便所の使用不能が大きな問題であることが示された。

3. 救援活動

1) 救援体制の推移

警察・消防・自衛隊の救援活動（その1）

1/17	5:46	西日本一帯で強い地震。淡路島、神戸市などで震度6を記録。マグニチュード7.2。震源は淡路島の北東約3キロの明石海峡付近。
1/17	6:00	國松孝次警察庁長官公舎に「近畿地方に地震」とのファックス連絡が入る。
1/17	6:30	陸自中部方面隊に非常呼集発令。
1/17	6:30	警察庁が地震災害対策室を庁内に設置、大阪、京都、奈良などの機動部隊に出動命令を出す。
1/17	6:40	兵庫県災害対策本部設置。
1/17	6:50	神戸市災害対策本部設置。
1/17	7:30	自衛隊伊丹普通科連隊が50人の部隊で出動。
1/17	8:00	自衛隊のヘリが被災地上空を視察飛行。
1/17	9:55	警察庁が最初の被害状況を発表。9時50分現在、死者22人、負傷者222人。兵庫県下で生き埋めになっている人が223人。
1/17	10:00	貝原兵庫県知事が自衛隊の出動を要請。姫路駐屯地から400人が向かう。
1/17	10:00	消防庁災害対策本部が大阪消防本部、東京消防庁などに応援を依頼。
1/17	10:35	消防庁が東京消防庁、千葉、横浜、川崎、名古屋、広島、福岡、の各市消防局から応援部隊の派遣を決定。
1/17	10:50	野中広務自治相が閣議後に記者会見。「警察庁は四国、中国、近畿から七百数十人の部隊を派遣したが、道路が寸断されているので難渋している」
1/17	11:00	京都機動部隊が兵庫入り。
1/17	12:30	消防庁長官が神戸市へ出発。
1/17	12:48	淡路島・一宮町役場の中庭に自衛隊ヘリ3機が到着。隊員がオートバイで被害調査を開始。
1/17	13:10	陸自第三特科連隊215人が救助活動を開始。

警察・消防・自衛隊の救援活動（その２）

1/17	14:58	大阪市消防局ヘリが血液製剤などを積んで西宮市立体育館グラウンドへ、重傷患者1人を乗せ、大阪特殊救急部へ搬送。
1/17	16:00	兵庫県警察備対策本部（生田庁舎）で死者の名簿張り出しが始まる。
1/17	16:30	西宮市立中央病院には、足りなくなった救急車に代わって消防車が負傷者を搬送。
1/17	20:30	警視庁レスキュー隊と近畿、中国、四国地方の各府県警の応援部隊820人が西宮署へ集結。
1/17	21:00	大阪市消防局の53人が、パンなど9000食分と飲料水2.4トン消防艇「なみはや」「たかつ」の2隻に積み、神戸へ。
1/18	2:20	神戸市西部のJR新長田駅付近から鷹取駅にかけて民家などが次々に炎上。消防車や救急車が深夜の街を走り回る。
1/18	3:45	神戸市東灘区の倒壊した宮地病院の救出作業に当たっていた消防隊員らから兵庫県警に「下敷きになっている看護婦2人の救出は不能」と悲痛な連絡。
1/18	6:00	陸上自衛隊2300人が救助活動を開始。
1/18	8:00	海上自衛隊給艦など7隻が非常用食料10万食と飲料水1620トン積載し、「万全の対策をとるよう」に指示する。
1/18	11:40	海上自衛隊徳島航空隊が救護用の肉や野菜、缶詰など1万3000食分を神戸市の海上自衛隊阪神基地に空輸。
1/18	12:45	警視庁などの調べで死亡者2014人、行方不明者1058人を確認。
1/18	13:00	自衛隊員5200人と陸上自衛隊ヘリ65機が救助活動、物資輸送を開始。
1/18	15:00	20人が生き埋めになっている芦屋市内のマンション倒壊現場で、救出活動中の消防隊員らが「助けを求める声が聞こえなくなった。一時中止する」と撤収。
1/18	19:00	救助活動の自衛隊員9500人に。航空機94機で物資を輸送。
1/18	19:50	野中自治相が関係閣議会議後の記者会見で「物資輸送を重点として神戸へのルート確保のため、交通規制を行う」と発表。
1/19	2:45	警察庁は兵庫県南部地震による死者を兵庫3014人、大阪7人と発表。

警察・消防・自衛隊の救援活動（その3）

1/19	8:45	神戸・三宮の商店街火災に応援の消防車が駆けつけたが、水圧が低く水が届かない。
1/19	11:20	西宮市の阪神高速道路湾岸線・西宮大橋が落下の恐れが出てきたため、通行止に。
1/19	12:30	海上自衛隊の応援部隊が呉基地からへりで神戸に向け出発。
1/19	14:00	国松警察庁長官が定例記者会見で「救助活動を1万人体制で行う」と発表。
1/19	15:00	警察庁が外国人災害者に関する海外からの問い合わせのホットラインを設置。
1/19	16:00	警察庁とNTTが被災者に関する安否照会のフリーダイヤルを設置。
1/19	18:00	救助・給水活動をする自衛隊員は1万3000人に。
1/19	20:00	神戸市に入る国道2号線などを災害対策基本法に基づき、一般車両通行を禁止にする。
1/20	13:00	救護活動をする自衛隊員が1万6000人になる。
1/20	19:10	神戸市灘消防署に火災通報。しかし、停電が一部解消したための民家の明かりと判明。
1/21	12:45	警察庁のまとめで、死亡者4612人、行方不明者は501人に。
1/23	8:51	神戸長田区の御蔵通など焼け跡5カ所で県警、自衛隊など3000人が出動して被害検証を始める。
1/23	18:45	警察庁が地震による死者の総数を5002人と発表。
1/24	16:30	被災者1500人が生活しているのに、仮設トイレが1つしかなかった神戸市中央区の市立湊小に自衛隊員が10基を新設。
1/25	9:00	神戸市東灘区の本庄小で、自衛隊がふろサービス開始。男女各20人ずつが交代で入る。
1/26	0:45	兵庫県警が発表した倒壊家屋数が7万3457件に。1時間前より12件増え、県警では「余震で倒れたのも含まれているのでは」。
1/26	6:00	被災地の救護にあっていた姫路署の警官が過労死した。
1/26	14:00	国松警察庁長官は被災地の治安悪化を懸念し、「被災地に泥棒被害が出ている。警察は捜索から治安維持にシフトしていく」と発言。

警察・消防・自衛隊の救援活動（その４）

1/28	10:00	兵庫県警、自衛隊 1 万 6 0 0 0 人が、残る行方不明者 2 9 人の捜索を始める。
1/29	0:45	警察庁発表で死者 5 0 9 2 人、行方不明者 1 4 人に。
1/31	10:45	警察庁の調べで死者が 5 1 0 2 人にのぼり、伊勢台湾風(1 9 5 9)を上回る戦後最悪の自然災害となった。

2) 医療および救援物資

医療および救援物資（その１）

1/17	5:46	西日本一帯で強い地震。淡路島、神戸氏などで震度 6 を記録。マグニチュード 7.2。震源は淡路島の北東約 3 キロの明石海峡付近。
1/17	9:30	西宮市立中央病院には約 3 0 人の全医師がそろい、続々と運び込まれる患者を治療。
1/17	14:30	「被災者の食料確保を」と大阪市東淀川区のスーパーが休日を返上して食料品売り場をオープン。
1/17	14:58	大阪市消防局ヘリが血液製剤などを積んで西宮市立体育館グラウンドへ、重傷患者を乗せ、大阪特殊救急部へ搬送。
1/17	17:00	淡路島への救援物資輸送のため、大阪海上保安艦部から巡視船 1 隻が神戸に出動。
1/17	18:30	通産省が毛布、ガスコンロ、灯油など生活関連緊急物資の確保を各関連業界に要請。
1/17	19:30	神戸市兵庫区役所が同区内の市立大開小学校に避難した住民約 3 0 0 0 人に食パン 6 0 0 0 枚と菓子パン 3 0 0 0 個を配給。
1/17	21:00	大阪市消防局の 5 3 人が、パンなど 9 0 0 0 食分と飲料水 2.4 トンを消防艇「なみはや」「たかつ」の 2 隻に積み、神戸へ。
1/17	21:26	約 7 0 0 人が避難した淡路島北淡町町民センターに徳島県から毛布が到着したが、職員らは「まだまだ足りない」とさらなる救援を呼び掛ける。
1/17	22:00	大阪府中央区の日本赤十字社大阪支部では職員とボランティアら約 5 0 人がフル回転で被災地に送る人材や物資のやりくり。
1/18	6:15	淡路島北淡町役場に徳島県鳴門市からパンや飲料水などが届く。

医療および救援物資（その２）

1/18	7:00	食糧庁が、大阪、京都など近隣食糧事務所に対し、救援物資発送の準備に取りかかる指示。
1/18	8:00	海上自衛隊給艦など7隻が非常用食料10万食と飲料水1620トンを積載し、「万全の対策をとるよう」に指示する。
1/18	10:10	孤立状態の神戸ポートアイランドのコンビニエンスストアで、食料を求める住民が約500メートルの列を作った。
1/18	11:00	食糧庁が政府米3000トンを被災地に緊急輸送することを決定。
1/18	11:40	海上自衛隊徳島航空隊が救護用の肉や野菜、缶詰など1万3000食分を神戸市の海上自衛隊阪神基地に空輸。
1/18	14:30	兵庫県の要請で弁当800食分を積んだ和歌山の船が神戸市の新港第1突堤Cバースに入港。ただちに各区役所に配送した。
1/18	16:30	大阪府東大阪市の水道局職員が、飲料水20リットル入りのポリ容器約700個をトラックに積み、神戸、西宮へ向かう。
1/18	16:30	大阪、岡山などの食糧事務所からコメを積んだトラック出発。
1/18	17:00	神戸市中央区の泌尿器科病院が特別にチャーターした給水車から人工透析用の水2200リットル分を院内のタンクへ。
1/18	19:00	救助活動の自衛隊員9500人に。航空機94機で物資を輸送。
1/19	15:00	200トンの飲料水を積んだ大阪市の給水船「真清水丸」が西宮・甲子園フェリー南側岸壁に到着。
1/19	17:00	大阪府吹田市の山崎パンがチャーターしたヘリコプターの最終便が千里・万博公園から神戸市へ向け飛び立つ。同機はこの日、計34回のフライトで10万食分のパンを運んだ。
1/19	17:50	大阪府営水道と受水する39市町村でつくる府営水道協議会が給水車21台を西宮、芦屋、宝塚の3市に発見。別にプラスチック容器3700個を神戸市に。
1/20	8:00	指定避難場所でない西宮市の仁川カトリック協会でも400人が寝起き。シスターらが朝食の配給を始める。
1/20	11:00	大阪府食品産業協会加盟の16社からパン、ソーセージ、牛乳などが続々と府庁に届く。4トントラック11台に積み込んで被災地へ。
1/20	17:10	神戸市兵庫区役所にアメリカ大使館から抗生物質など約100キロの医薬品が到着。

医療および救援物資（その3）

1/21	22:10	タイのチャムロン副首相が、救援のため毛布4000枚を持参して関西空港に到着。
1/22	11:10	神戸市兵庫区の湊川公園で、屋根を覆うビニールシートの配布が始まる。1人1枚に制限したが、1000枚は約1時間で底をついた。
1/24	7:26	ヨルダン政府からの救援物資として、寝袋2000個、テント1300個が貨物機で関西空港に到着。
1/24	19:02	全日空が始めた海外からの救援物資無償空輸の第1弾として、豪州・シドニーからトイレットペーパー3.7トンが関西空港に到着。
1/25	9:20	森進一さんを代表とするボランティア団体「じゃがいもの会」の会員9人が、淡路島北淡町の役場に到着。ブタ汁200食分の調理を開始。

4. 我社技術報 耐震・防災関係論文リスト

表 題	著 者	発 行
(耐震関連)		
長大橋主塔基礎の耐震設計モデルの検討	林 家祥	1995
地下駐車場の横断方向の耐震設計法の研究 (その1) -地震時地盤ばねの算定条件の研究 その1-	尾上 好央 大竹 省吾	1994
炭素繊維接着による既設RC橋脚の耐震補強 (その2)	田中 樹由	1993
トンネル横断面の耐震設計法に関する検討	橘 義規	1993
ひびわれ部の剛性を考慮したトンネル覆工の耐震設計法	田中 大竹 努 橘 義規 省吾	1993
炭素繊維接着による既設RC橋脚の耐震補強 (その1)	田中 樹由 渡辺 英夫	1992
不静定構造物耐震性能照査	中尾 政徳 黒崎 信博	1992
二次覆工を有するシールドトンネルの地震時挙動と耐震設計法 (その2)	田中 努	1991
二次覆工を有するシールドトンネルの地震時挙動と耐震設計法 (その1)	田中 努	1990
起伏の激しい土丹層に建設するトンネルの耐震設計法の研究	大竹 省吾 田中 努	1990
土木構造物の耐震設計用作成手法を応用して地震予測	棚橋 孝道 田中 大竹 橘 義規 省吾	1990
シールドトンネルの耐震設計に用いる軸剛性に関する検討	大竹 省吾 田中 努	1989
平面的な広がりを持つ地下構造物の耐震設計に考慮すべき地震動の研究 (II)	田中 努	1989
多摩川・川崎航路トンネルの耐震設計について (その2)	橘 義規 松本 修一	1988
多摩川・川崎航路トンネルの耐震設計について (その1)	橘 義規 松本 修一	1988
平面的な広がりを持つ地下構造物の耐震設計に考慮すべき地震動の研究	田中 努	1988
「明石海峡大橋耐震設計要領」の概要	三百田敏夫	1987
厚い軟弱地盤上のハイピア、ループランプ橋の耐震設計	橘 義規 田中 努	1985
既設橋の震災対策 (落橋防止対策について)	岩波 栄勝	1982
耐震工学の最近の考え方と問題点 (その1)	田中 努	1981
地盤の変位を考慮した沈埋トンネルの耐震設計法	高橋 正忠	1975
(地震解析検討)		
北海道東方沖地震被害調査報告	橘 義規	1995
米国ノースリッジ地震関連記事翻訳	神田 洋子	1994
Northridge地震被害調査報告	橘 義規	1994
盛こぼし橋台の地震時安定性に関する検討	森田 信彦	1994
東京湾連絡橋台場海上部における地震観測について	橘 義規	1994
露出した沈埋トンネルの地震時挙動に関する実験	橘 義規	1993
土質と地震波の特性が地盤破壊に与える影響のエネルギー論的考察	田中 樹由	1991
TMDを設置した構造物の地震時挙動	橘 義規	1991

表 題	著 者	発 行
水底に沈設された構造物の地震時挙動	田中 努 橘 義規	1990
水中の橋脚に作用する「地震時動水圧」の意味	田中 努 大竹 省吾	1988
明石海峡大橋基礎の地震応答解析方法	三百田敏夫 今野 啓悟	1988
シールドトンネルの地震時ねじれ挙動について	橘 義規 田中 努	1987
地震応答解析におけるトンネル-地盤間バネの算定手法について	橘 義規 田中 努	1986
SHAKEを用いたフィルダムの地震応答解析(その2)	田中 努 橘 義規 古賀 秀幸	1986
SHAKEを用いたフィルダムの地震応答解析	橘 義規 古賀 秀幸 田中 努	1986
鉄筋コンクリート構造の地震時に関する模型実験(簡易模型モデルの提案)	古賀 秀幸	1986
エネルギー一定則に基づく地震時弾塑性応答変位の算定法	橘 義規 田中 努	1985
世界地震工学会議とサンフランシスコ(その1)	田中 努	1984
多点観測された強震記録による地震構造の推定	橘 義規	1984
EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN OF AN IMMersed TUNNEL CONSIDERING THE EFFECTS OF TRAVERING WAVES (地震動のみかけの伝播を考慮した沈埋トンネルの耐震設計)	田中 努	1984
らせん橋の地震応答解析(2)	棚橋 孝道	1984
らせん橋の地震応答解析(1)	棚橋 孝道	1983
地震動の位相差に関する一試算	杉本誠四郎 田中 努	1982
台湾・高雄港沈埋トンネルの地震応答解析に関するテクニカル・ガイダンス	田中 努	1982
橋梁取り付け部の地震対策について	中尾 政徳	1982
大きな地震時慣性力を受ける箱式橋台について	岩佐 佳治	1981
強震記録から推定される井筒基礎橋脚の復元力特性に関する研究	田中 努	1979
1978年宮城県沖地震被害調査報告	忍足 正 田中 努	1978
地震時の地盤流動化判定方法	高橋 正忠	1978
地震応答計算による3径間連続箱桁橋の地震水平力分散について	棚橋 孝道	1976
地中埋設構造物の地震応答計算システム	武長 憲二	1975
沈埋トンネルの地震応答解析について	武長 憲二	1974
(防災関連)		
大震災時における学校の避難調査としての機能の研究	山岸 令子	1995
防災システムに関する基礎的研究(その2)	武長 憲二 近久 勤一	1987
防災システムに関する基礎的研究	近久 勤一 大野 博久	1986

