

6. 震災後の救援・復旧活動

6. 1 行政の対応

1961年に成立された『災害対策基本法』では、『国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、防災に関し、国、地方自治体及びその他の公共機関を通じて必要な体制を確立し、責任の所在を明確にする』、と定めている。また基本法は、自治体に対して地域防災計画を作成すること、市町村長に対して災害時には総合的防災責任者として早急に応急措置の体制を整えること、さらに、広域的な災害時には知事が応急措置に取り組むように求めている。すなわち現体制では、災害が発生しても、自治体行政機能への影響は少なく、地域防災計画が運営されるものとの見通しを前提にしており、政府は自治体からの要請に応じて支援を行うことになっている。しかし、今回の地震では地元自治体の防災責任者自身が被災者になり自治体の機能は混乱し、また通信も途絶えたため政府は被害の実態を把握しきれず、対応が後手に回ったと報道されている[6.1-1]。

初期消火に関しては、神戸市が策定した地震時の被害想定を超えた事態が発生した。神戸市は『地域防災計画』の『地震対策編』を震度Vで想定しており、地震後も消火栓は使えることを前提に考えていたが、実際は震度VI～VIIの烈震・激震となり、水道管が被害を受け消火栓が使用できなかった。また、初期消火の段階における他の近隣自治体からの応援は、交通網の寸断や渋滞によりほとんど期待できなかった。

自衛隊の災害派遣も、自治体からの要請を受けて行われる。兵庫県庁が自衛隊に災害派遣を要請したのは17日の午前10時であったが、初期情報が少なく被害の実態が掴めていなかったため、17日に投入された自衛隊員は2300人にすぎなかった[6.1-2]。

以上の4者、一政府、各自治体、消防、自衛隊一、に共通して言えるのは、

- ①ある被害想定に基づくマニュアルに沿った対応をとったが、実際に起きていた被害はその想定を超えたものであり、初期の対処方にやや問題があった。
- ②被害の全容を把握するのが困難な状態だったため、被害の規模に応じた体制を整えるのに時間がかかった。

ことである。震源データから即座に被害地域・程度・金額が推定できるような被害シミュレーションシステム（例えば文献[6.1-3]）、航空機等を利用した被害判読システム（例えば文献[6.1-4]）、等を効果的に導入した危機管理体制を整備することが、有効な解決策と考えられる。

6.2 企業防災

表6.2・1に阪神地方の被災企業30社の被害の概要と今回の地震から得た教訓および対策案のアンケート結果[6.2-1]を転記する。企業が受けた被害は、

①施設の破壊

による直接被害、および、

②水、ガス、電気供給の遅れなどによる生産機能の低下

③交通網の寸断や渋滞による物流機能の低下

による間接被害へと拡大した。特に間接被害は、直接被害のなかった業界、阪神地方以外の企業にも原材料不足、部品不足等の形で波及しており、大きな経済的損失となった。アンケート結果をみても、各企業は施設の耐震強化よりも、非常時の通信手段、コンピュータシステムのバックアップ体制、非常時マニュアルの見直し等の危機管理体制を整え、間接被害を低減することが重要と考えていることがわかる。

企業防災の在り方は、企業の規模、業種等で異なるが、自社の従業員と施設を守ること、二次災害を防ぐことが基本的な理念である。また、企業の社会的責任を考えれば、災害時にも業務を継続することにより、被災者の生活を支え、間接被害の拡大による経済的損失を減少させなければならないが、そのためには、日頃から防災計画や危機管理体制を整えておくことが必要である。

大林組では、約1年半前から図6.2・1に示すような自社用の震災対応システム作りに着手した[6.2-2]。このシステムの中核となる防災情報センターは地図情報システム（Geographic Information System）を備えており、データベースの管理や被害シミュレーション等の分析を行う。防災情報センターの地図情報システムは、平常時は建造物の耐震診断や防災計画等のコンサルティング業務に用いられるが、震災直後の緊急事態には、気象庁発表の震源デー

表6.2-1 被災企業30社のアンケート
Table6.2-1 Questionnaire Result of Damaged Companies

企業名	死者	主な被害・決算への影響	教訓・対策
三井不動産	なし	神戸支社が部分損壊	大規模地震対策要項の改善
雪印乳業	なし	神戸市の牛乳工場など10億円の被害	危機管理委員会で検討中
キリンビール	なし	尼崎工場で大瓶12万ケース、製造ラインも一部損壊	連絡などのマニュアル見直し
アサヒビール	なし	西宮工場で大瓶18万ケース以上、ラインにも被害	電子メールを前倒しで導入
ワールド	2人	旧本社ビルの2階が落下、1月30日から通常業務	ホストコンピューターの分散かを検討
住友ゴム工業	2人	神戸工場損壊で50億円	いざというときの指揮体制作り
川崎製鉄	1人	下期決算は収支均衡まで回復見込みだったが、微妙に	復旧に全力で、検討は今後
松下電器産業	なし	水道管破裂の神戸工場が1月26日に復旧	まだ販売店復旧で精いっぱい
三菱電機	なし	神戸市などの5工場、2研究所が一部損壊	通信手段の多様化、リスク分散を再確認
ホシデン	なし	神戸市の液晶工場が1月23日まで全面停止、下方修正も	通信・物流などのインフラ設備
ダイハツ工業	1人	2工場が2日間停止したが、残業などで取り返す	生産を指示するコンピューターのバックアップが必要
三菱重工業	2人	神戸造船場のクレーン倒壊など、全面復旧のめど立たず	災害対応マニュアルの見直し
神戸製鋼所	3人	神戸本社、加古川と神戸の製鉄所が損壊し数百億円の被害	今は被害の正確な把握に全力
川崎重工業	なし	神戸工場でクレーンや建屋などが損壊	東京での発生を想定した検討が必要
関西電力	1人	配電、火力発電設備など2300億円、経常を400億円下方修正	まだ対策をまとめる余裕はない
大阪ガス	なし	導管被害などで1900億円。当初310億円見込んだ経常は赤字に	まだ復旧作業に全力
日本石油	なし	19カ所のスタンドが被災	1月18日に対策本部を設置し、危機管理は十分だった
さくら銀行	1人	119店が休業し、1月23日に全店再開	緊急時マニュアルが功を奏した
兵庫銀行	1人	建物が損壊した5店舗で再開のめど立たず、被害は数億円	無線など通信手段の確保が必要
丸紅	1人	商品損壊、荷渡し遅れで売り上げ減。全額が調査中	防災計画の再チェックと通信手段のさらなる確保
伊藤忠商事	なし	神戸支店内部の被害が甚大、2月中旬に復旧見込み	役員や社員との連絡方法確立、支援物資の備蓄
そごう	なし	年商1200億円の神戸店で再開のめど立たず	連絡網の補強
大丸	3人	年商1000億円の神戸店で再開のめど立たず	電話回線確保、コンピューターセンターの分散化
ダイエー	9人	11店舗が復旧不可能。被害額500億円で、初の赤字決算に	通信手段の見直し
ジャスコ	なし	4店舗が営業不能	6日以降に東京で検討会議開催
ニチイ	1人	り災した10店舗中4店がまだ休業中。被害は47億円余	マニュアルを練り直し、通信網の充実も図る
JR西日本	2人	新幹線高架の落下などで1200億円。経常赤字の可能性大	今は復旧に懸命
阪急電鉄	なし	4路線が不通になり復旧に半年かかる路線も。減収40億円	耐震設計の強化
ホテルオークラ神戸	なし	営業再開には2、3カ月。数十億円の被害で、赤字拡大	マニュアルの見直し
NTT	2人	被害は100億円近くに。値上げで見込も増益半分は飛ぶ	交換機停止の原因になった非常発電機などの耐震対策向上

毎日新聞ムック「阪神大震災全記録」より

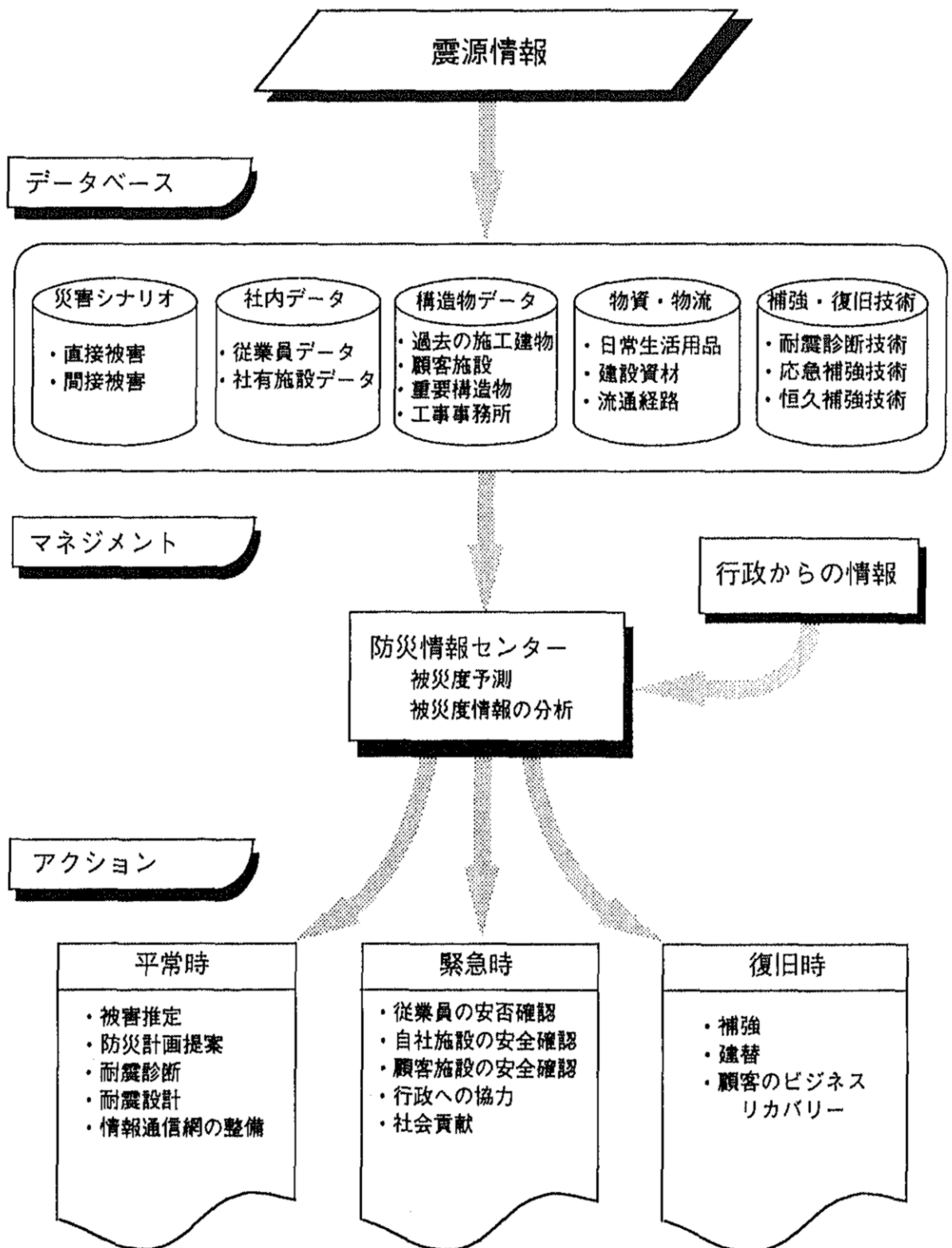


図6.2-1 大林組の震災対応システムのフロー
Fig.6.2-1 Flowchart of Obayashi Earthquake Disaster Action Program

タなどを用いて加速度分布、構造物などの被害度分布等をシミュレーションする。その結果は、社員・自社施設・工事事務所の安否確認、顧客構造物の応急補強計画、さらに行政への協力や社会的貢献を効率良く行うための判断材料として用いられる[6.2-3]。現在は首都圏のみを対象としたシステムであるが、全国規模に発展させなければならない。

6.3 ボランティア

欧米諸国に比べ、わが国は『ボランティア後進国』との印象が強かったが、被災地には全国からさまざまな形のボランティアが駆けつけた。兵庫県の発表では、2月15日までに応募したボランティアは個人・団体を合わせて約28,000件であった。非行政組織や個人的に活動した人を加えると数十万件に達すると言われているが、実態は掴めていない。

救援物資の仕分け、避難所で暮らす被災者の日常生活のサポートなど、行政の手が回らない部分をボランティアが肩代りした。実際にアメリカ、オランダなどでは、ボランティア活動が地方自治体の防災計画に組み込まれており、ボランティアが災害時に重要な役割を担うことは明らかである。しかし、神戸市当局では殺到するボランティアの調整に手間取り、申出を断わるなどのケースもあったことが報道されている[6.3-1]。また、善意からの行動にしても、何をすればいいのかも分からないボランティア未経験の人が大勢押し寄せて、当局を混乱させるケースもあった。

企業も被災地に向けて、義援金、救援物資の提供、人材の提供などを組織的に行った。表6.3-1に、企業が行った救援活動の例を示す。これら以外にも、被災者を優先的に雇用する企業や、社員のボランティア活動を出勤扱いにする企業、工場が被災した同業者の生産を肩代りする企業、被災した下請けの部品メーカーに社員を派遣する企業などがあった。このような企業の救援活動は、被災地の支えとなるだけでなく、経済に与える間接被害を低減する上で重要な役割を持っている。それゆえ企業は、救援活動を場当たりの行うのではなく、災害時に社会貢献として何ができるかを検討しておき、企業防災計画の中に組み込んでおくべきであろう。また、同業種、異業種の企業間で連携を密にし、災害時に相互協力するのも有効な方法と考えられる。

表 6.3-1 企業の救援活動
Table 6.3-1 Corporate Action for Relief

() は参加した企業の数

活動項目 月日	救助・医療	食料・水	物資	輸送・作業機械等	通信・エネルギー	人材派遣
地震発生 (1月17日) ↓ 3日目 (1月20日)	<ul style="list-style-type: none"> 作業【電気工事】 独身寮の開放【高社】 医薬品の提供【薬品】 仮設診療所、避難所の提供【電気】 	<ul style="list-style-type: none"> 水入りペットボトル等【食品(2)、デパート】 乾パン、コンビーフ【高社(2)】 食料、日用品等【機械、建設(2)、高社、食品、電気】 給水車による給水【食品(2)】 	<ul style="list-style-type: none"> 懐中電灯、乾電池【電気】 石油ストーブ、固形炭【電気】 毛布【デパート、化学、高社】 医療用機材【機械】 	<ul style="list-style-type: none"> 発電機【自動車(3)】 オートバイの派遣20台【輸送】 ヘリ4機とパイロット【重工】 オートバイ、発電機、投光機【自動車(3)】 ダンプ、クレーン、タンクローリー【自動車(1)】 ヘリ2台、トラック6台【自動車】 作業用機材とオベ【機械(2)】 リフレッシュカー【建設】 救援物資の海上輸送【建設】 	<ul style="list-style-type: none"> 通信復旧【通信】 電力復旧【電力】 通信機器の無料貸し出し【電気】 	
4日目 (1月21日) ↓ 7日目 (1月24日)	<ul style="list-style-type: none"> 医療測定器の貸出し【医療】 現場用宿舎【建設】 医師等の派遣【生命(3)】 	<ul style="list-style-type: none"> カン飲料、菓子等【食品(2)】 食料、日用品等【建設】 	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話【電気】 ハミガキ、歯ブラシ【薬品】 自社製品の無料点検【機械】 マットレス【機械】 石油ストーブ【機械】 	<ul style="list-style-type: none"> 高速船【電気】 コンテナハウス、発電機【自動車、重機】 キャンピングカー【自動車、重機】 ダンプと修理工42人【自動車、重機】 高規格救急車2台【自動車、重機】 ヘリとパイロット【電気、機械】 重機とオベ【機械】 モーターサイクル【機械】 車と運転手【食品】 	<ul style="list-style-type: none"> 衛星通信用の移動車とオベ【住宅】 	<ul style="list-style-type: none"> ボランティア、物資の仕分け等【機械(2)、電気、高社、食品】 ボランティア活動センターの設置【電気】 ボランティア活動【電気(2)、機械(2)、高社(3)、科学、住宅サービス】
8日目 (1月25日) ↓ 14日目 (2月1日)	<ul style="list-style-type: none"> 医療機器【精密機械】 医薬品【薬品(2)】 医薬品【薬品(3)】 		<ul style="list-style-type: none"> カメラ、テレホンカード【精密機械】 段ボール【バルブ】 使い捨てカイロ【化学】 ポリバケツ等日用品【化学】 簡易トイレ1340台【大建協、繊維】 住宅用材【住宅】 ベルトコンベア【機械】 自社製品の無料点検【機械】 温水器【機械】 家電製品【日本電気工業会】 暖房器【電気】 	<ul style="list-style-type: none"> 海外物資の無料輸送【航空】 救援車輛の修理【輸送】 425組の重機とオベ【大建協】 モーターボートと重機【重工】 	<ul style="list-style-type: none"> 水道施設の復旧(約20人)【水道】 	<ul style="list-style-type: none"> ボランティア活動【電気工事】 ボランティア活動【繊維、機械】
15日目 (2月2日) 30日目 (2月16日)	<ul style="list-style-type: none"> 受験生に社員寮の開放【自動車、機械】 医薬品【薬品】 医療製品【電気、医療】 宿舍、受験生用宿泊施設【金属】 仮設住宅用グラウンド【機械】 		<ul style="list-style-type: none"> 半額で部品交換【計算機】 Faxの寄付【精密機械】 体操着等【電力】 ウェットおしぼり【繊維】 自社ソフトの無料交換【計算機(2)】 	<ul style="list-style-type: none"> 給水車【自動車】 		<ul style="list-style-type: none"> ボランティア活動【服装、金属】

日本工業新聞より抜粋加筆

6.4 建物危険度応急判定士制度

この制度は、地震で被害を受けた建築物の危険性の判定を、資格を有する判定士が行うものである。わが国では1991年に建設省が提唱し、同年に静岡県、1992年に神奈川県が導入した。現在、静岡県で約5,200人、神奈川県で約4,800人の判定士が登録されている。アメリカでは、ロマブリータ地震、ノースリッジ地震の際に余震による2次災害の防止と復興対策に貢献し、高い評価を得ている。

今回の地震では、静岡、神奈川から派遣された判定士と、急拠、兵庫県が認定した判定士約400名が活動した。2月9日に兵庫県から発表された最終集計結果では、マンション等の集合住宅約47,000棟のうち、『危険』が約6,500棟、『要注意』が約9,300棟、大きな被害が見当たらなかったものが約31,000棟であった[6.4-1]。

この制度の大きな目的の一つは二次災害の防止であるが、判定結果には法的な強制力はないため、危険と判定された建物に入る人や、倒壊しかけた建物のすぐ脇を通行する人等が多く見られた。しかし、この結果を基にして罹災証明が発行され、義援金の配分や税の減免等の措置が行われるため、各自治体で判定基準が若干異なる、時間・要員不足により正確な判定ではない、等のトラブルが発生し、約1万数千件の再調査が行われることになった[6.4-1]。今後は、この制度本来の目的に即した運用方法を検討する必要があると思われる。

[鈴木哲夫、菊地敏男、山田 守、近藤睦美]

7. 大林組の診断・耐震性向上技術

ここでは、非被災建造物の診断・耐震性向上技術について記述する。被災建物についても、この技術をベースとして耐震性向上をはかることにする。

(1) 建築構造物

今回の地震では、木造家屋、中低層の鉄筋コンクリート建物、鉄骨鉄筋コンクリート建物、鉄骨構造物等、ほぼ建物全般にわたって多くの被害が生じた。これらの建築物の被害の中で特に倒壊、大破の甚大な被害を受けたものは、以下のようである。

- ① 鉄筋コンクリート建物、鉄骨鉄筋コンクリート建物では、現行の新耐震設計法以前の設計法によって建てられた建物に集中した。
- ② 鉄骨構造物では、若干の新耐震設計法以降の建物にも大破に相当する被害が生じた。

これは、今回と同様の規模の地震に見舞われた時には、多くの建物が相当の被害を受ける恐れがあることを示すものであろう。大地震発生時における人的犠牲、物的被害を最小限に止め、また多くの都市資本をまもる上からも、現在建っている既存建物、建造物の補強を行い、耐震性向上をはかることが必要であろう。こうした観点から、当社では、既存の建物の耐震安全性の向上をはかる「既存建物の耐震診断と耐震性能向上システム」を構築している。

「既存建物の耐震診断と耐震性能向上システム」のフローを図7. 1に示す。このフローは従来から行われてきた耐震診断、耐震補強に止まらず、建物の終局強度設計、動的解析に用いられる設計ツールを用いて、建物の耐震性能解析・評価、耐震性能のグレードの選択、設定を行おうとするものである。

- ① 地震波として、今回の直下型地震を考慮にして、従来建物のサイトにふさわしい地震波も選択できるようにする。
- ② 建物の診断は、(社)日本建築防災協会の診断基準・改修設計指針に加えて、建物の復元力を設定した非線形解析による保有耐力、変形能の評価、さらに動的地震応答解析による耐震性能の検証なども実施できるようにする。
- ③ 地盤・基礎については液状化対策、地盤改良に関する検討も行う。
- ④ 耐震性能のグレード設定は、建物の機能、社会的ニーズ、顧客の選択、経済性による。

- ⑤ 災害緊急時の防災拠点となる建築物は、相当の安全性をもって耐震性能のグレードを選定する。
- ⑥ 一般的な建物は、その建物の構造、必要機能に応じて、耐力増強をはかる、変形能の向上をはかる、制震構造として建物の地震入力低減をはかる等を選択する。
- ⑦ 美術館、歴史的建造物等、地震時における美術品の転倒、破砕を防止する必要がある建物、建物の外観を変えずに保存の必要がある建物などは、建物全体を免震構造とする、或いは床の免震構造化の検討を行う。

以上にあげられた事項は既存建築物の耐震性向上に限らず、これから新しく設計される建物についても、検討が必要となる事項が含まれる。

[吉岡研三]

既存建物の耐震診断・耐震性能向上システム

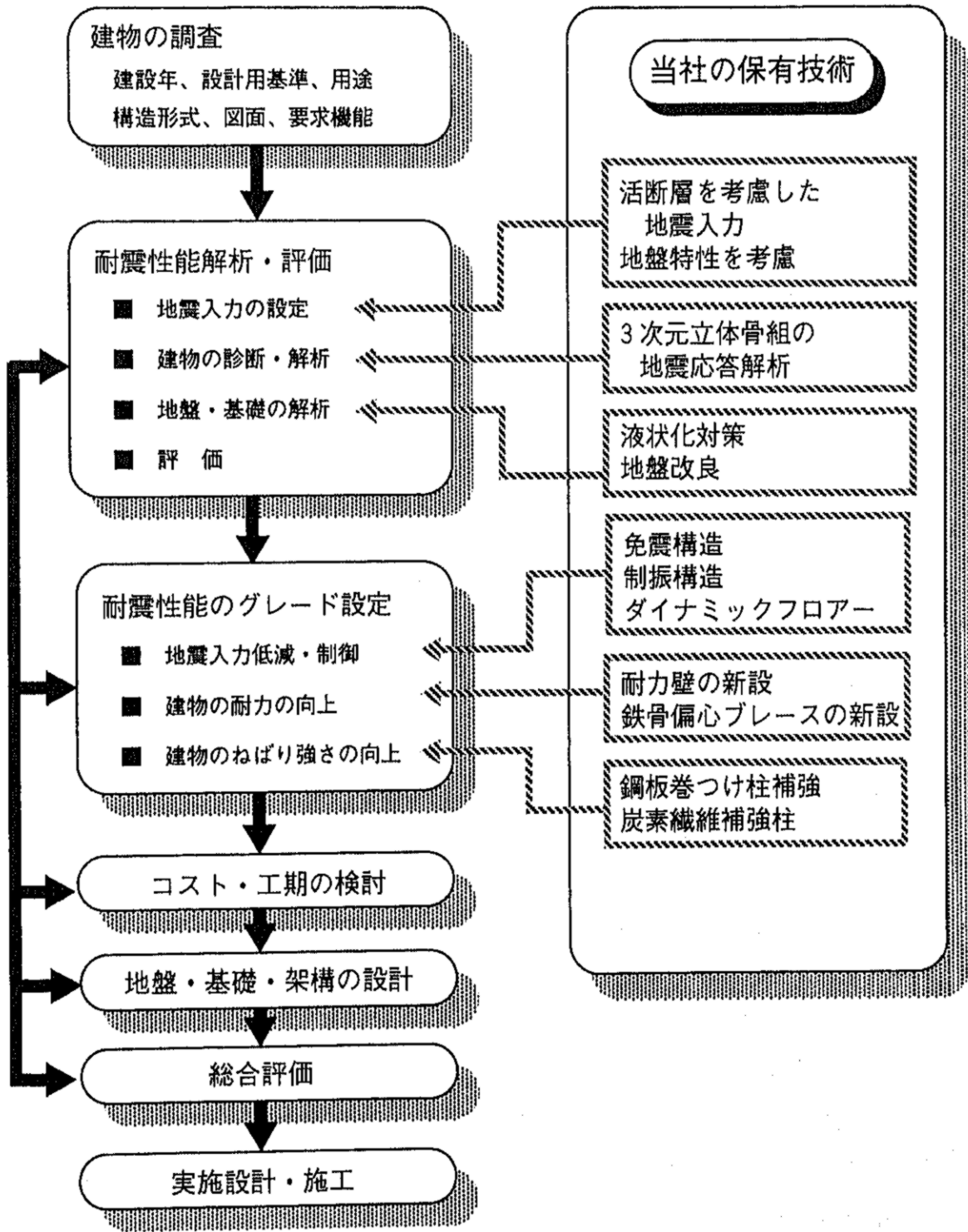


図7.1 既存建物の耐震診断・耐震性能向上フロー

Fig. 7.1 Structural Inspection and Seismic Retrofit for Existing Buildings

(2) 土木構造物に関する耐震診断と耐震性向上システム

フロー図を図7-2に示す。土木構造物の場合は対象が多岐にわたり、既存の耐震性能についてもバラツキが大きいと考えられることから、耐震診断には簡易判定と詳細判定の2段階を用意している。

(1) 簡易耐震診断

現地踏査や設計時の資料を元に必要な項目をチェックし、簡易な解析計算を交えて判定を下すもので、詳細な診断に進む物件のスクリーニングを行う。

(2) 詳細耐震診断

動的な解析技術や地盤の非線形挙動を考慮した数値解析技術を駆使して耐震診断を進める。構造物の診断においても地盤との相互作用を考慮し、必要となる地盤の物性値の評価には、面的な地盤調査技術であるジオトモグラフィーや最新の大型動的三軸試験装置の適用も検討する。構造物では降伏後の粘り強さや安定性を、斜面や土構造物の場合には経験的事実も重視した安定性を判定し診断を行う。

(3) 耐震性向上

耐震診断の結果を受けて耐震性向上を検討し、構造物のウイークリンクについて効率的な補強方法を決定する。すなわち、

- ① 液状化対策では既存の工法に加え市街地の対策に適した深層混合工法や人工地盤の効率的な強化策となる事前混合工法の適用(図7-3)
- ② 斜面や盛土では軽量化による安定性の向上と繊維補強土工法等に見られるように材料の複合化による粘りの向上
- ③ 既設橋脚の耐震補強では重量増加を招かずに効果的に粘りを向上する技術として確立した炭素繊維による補強を、また、橋脚を改築する場合は、急速施工可能で粘り強い構造となる鋼管・コンクリート複合構造(図7-4)の採用
- ④ 免震設計の適用による橋梁の耐震性の向上、さらに、これまでの設計施工の経験を踏まえた最適な免震システムの採用
免震設計の採用と組み合わせた橋梁の多径間連続化高耐震構造
- ⑤ 高流動コンクリートや水中コンクリートなどの高性能材料による耐震補強など、各種補強方法を目的に応じて適用する。

[後藤洋三]

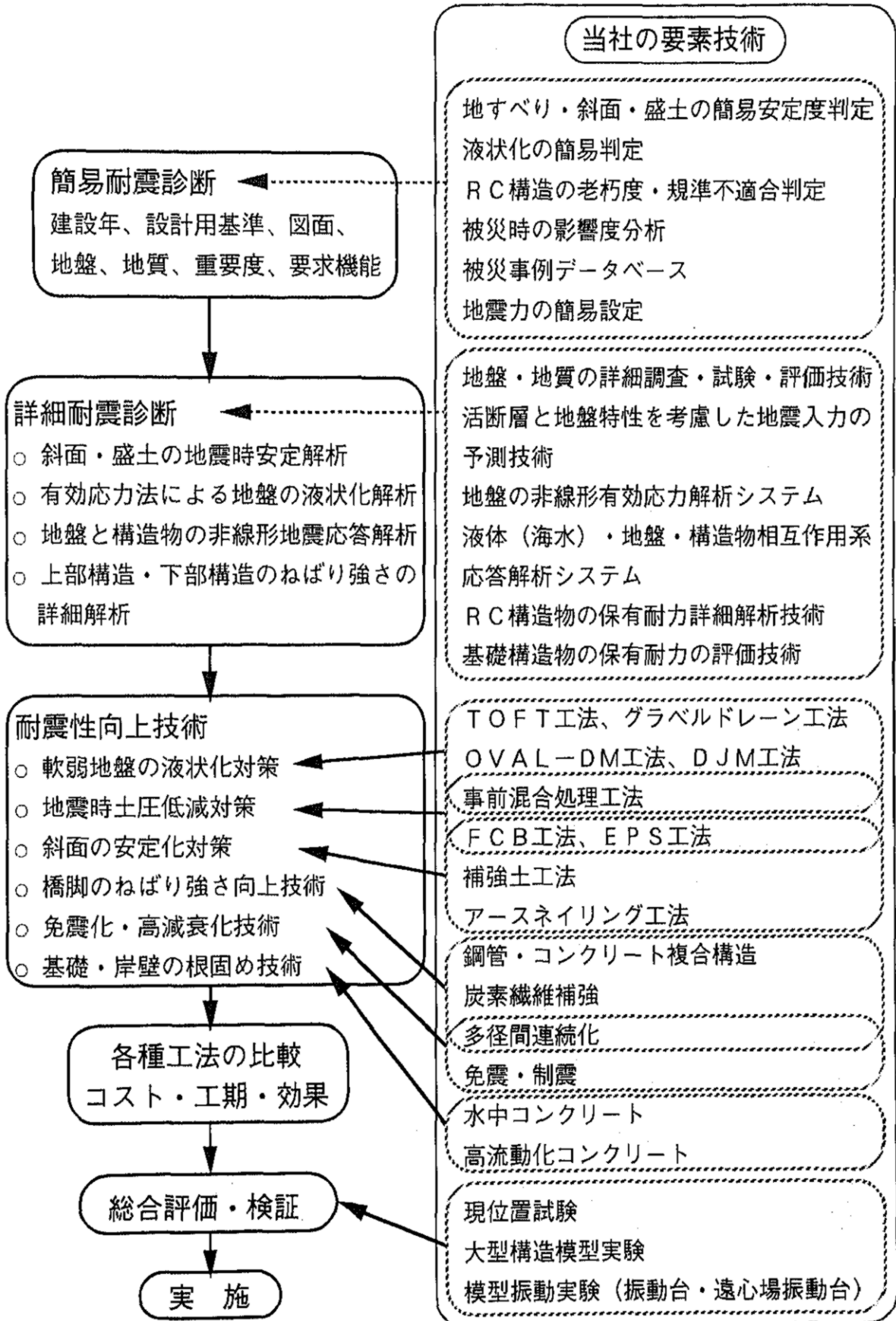


図7.2 土木構造物の耐震診断・耐震性向上技術

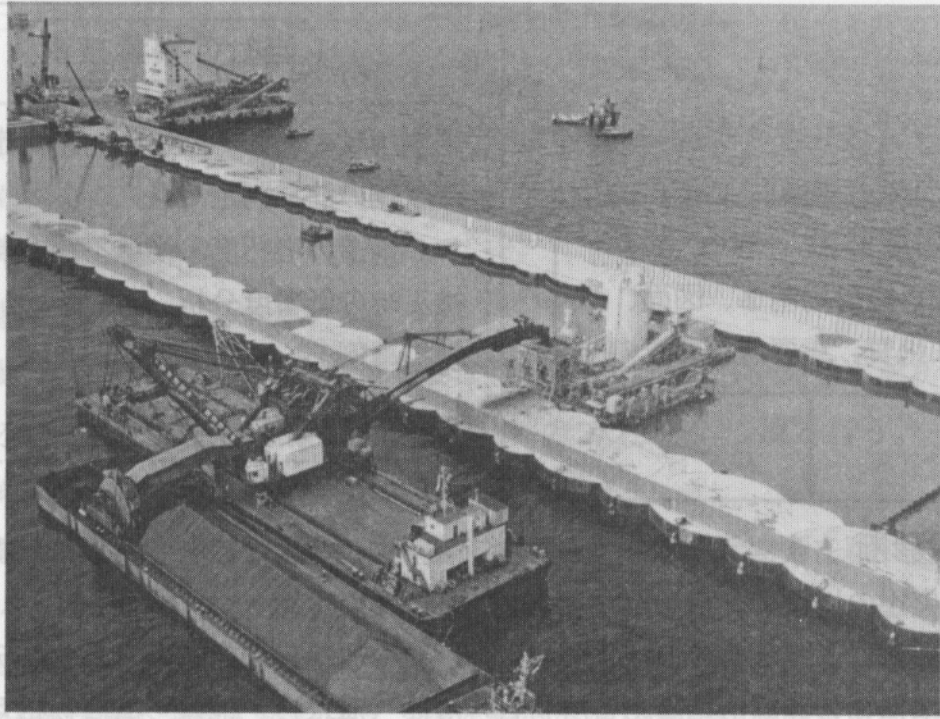


図7-3 事前混合処理工法による高耐震性人工島の建設

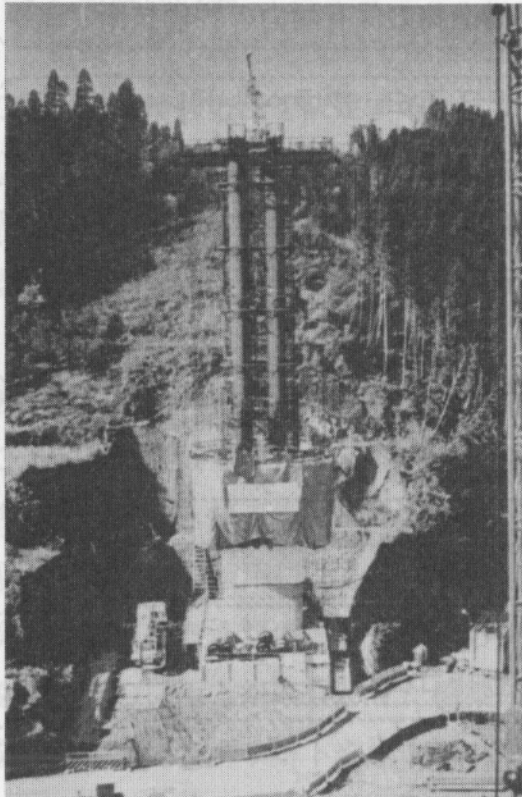
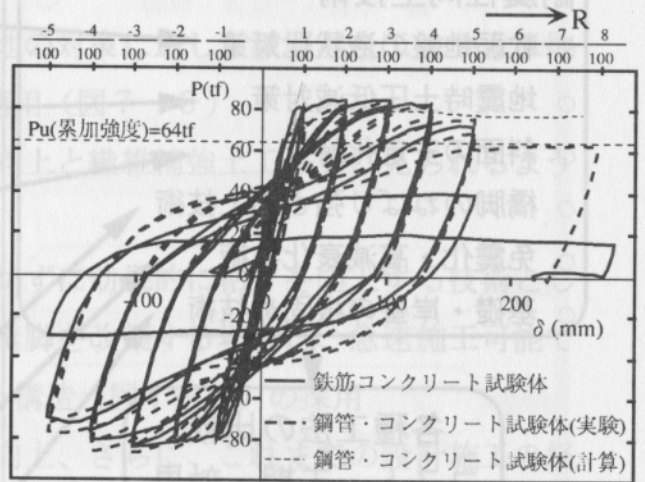


図7-4 鋼管・コンクリート複合構造橋脚の施工と粘り強さの確認実験

試験結果（荷重－変位関係）



複合構造 (SRC) 試験体と RC 試験体との比較試験を行い鋼管を用いた複合構造の耐震性能、帯筋としての PC ストランドの適用性、リブ付鋼管定着の健全性を確認。

8. まとめ

今回の地震では神戸、阪神、淡路島地区において甚大な被害を被った。過去長年にわたって積み上げてきたわが国の耐震技術も、この兵庫県南部地震によりかつてない試練を受けることになった。また、人口が密集し、多くの社会資本が集中する都市の直下での地震は、都市防災についても多くの課題を浮き彫りにした。今後この災害から得られた教訓を基礎として耐震技術の改善、耐震安全性、都市防災の向上をはかることが必要である。

(1) 地震動

- 1) 今回の直下型の地震では、震源に近い各地の地表で600～800galに及ぶ大きな水平方向の加速度が観測され、また上下方向の加速度も300～550galが観測された。表層近くでの大きな加速度に対し、岩盤上での水平方向加速度300gal程度が記録されており、表層地盤における増幅効果が大きかったことを示している。
- 2) 被害の激しかった地域付近の地動の水平加速度は50kineを超えており、今回の地震は大きいエネルギーをともなうものであったことが示される。
- 3) 今回の地震の最大加速度の距離減衰特性は、経験式から得られる値とほぼ整合しており、M7クラスの直下型地震が発生すれば、今回程度の地震動になると考える必要がある。
- 4) 被害の激しかった震度Ⅶの地域は、海岸からやや内陸側にベルト状に分布した。地質・地盤の特性や地形効果の影響と考えられるが、今後の検討が必要である。

(2) 地盤・基礎

- 1) 神戸市北部の傾斜地に位置する宅地造成地や、道路盛土で、かなり大きな規模で崩壊したものがあつた。
- 2) 海岸付近の埋立地では、いたる所で液状化が発生した。特に、ポートアイランドおよび六甲アイランドの2つの人工島では、島全体が液状化によって10cmの地盤沈下をするに到つた。また、両人工島の地盤沈下量には、埋め立てに使用した土砂の種類による差異が認められた。
- 3) 護岸付近では、多くの地点で、液状化に起因する地盤の側方流動や、大きな地盤沈下が発生し、これにともない強制変位を受けて、被災する建物基礎が少なからずみられた。
- 4) 海岸から離れた市外地では、地震時に基礎がかなりの水平変位を生じた痕跡をとどめる建物が少なからずあつた。しかしながら、外観上は、建物を水平に

支持しており、基礎部分から建物が傾斜するなどの例はきわめて少なかった。

人命保護の観点に立つと、大地震時において基礎は損傷を受けることはあっても上部構造はなんとか支持するという最低限の役割を果たしたものが多かったといえる。

(3) 建築物・構造物

1) 壊滅的被害を被り、多くの人命を失うことになった木造家屋には、屋根の重い家屋、壁量が少ない家屋、ブレースのない古い構造形式の家屋、接合部に金物補強のない家屋、老朽化した家屋のものが多し。今後、木造家屋に関して、均衡のとれた壁の配置、十分な壁量などの耐震構造の普及、推進をはかる必要がある。

2) 新耐震設計法以前の中低層建物では、多くの被害がみられ、大破、倒壊したものも多い。

その理由として以下の事項があげられる。

① 今回の地震で建物に作用した荷重が、新耐震設計法以前（旧基準）の建物の耐力を大きく上回っていたことも破壊の一因である。旧基準が想定する地震荷重は現基準より小さく、特に中間層以上の階では小さくなる。そのため、今回の大きな地震荷重に対して建物の耐力が不足していた。

② 地震エネルギーを構造物全体の変形能によって吸収するという設計概念に乏しく、ある階で破壊がおきてしまう、ねばりのない構造物となっていた。これに加えて、部材の変形能も乏しかった。

③ 構造計画が適切でなく、平面的に壁が偏在したり、上下階の剛性、強度の違いが大きく異なるため、建物の一部に過度に応力、変形が集中する場合もあった。建物の中間階における構造形式の変更により、建物が SRC構造からRC造造になる場合にも大きな被害を受けた。

3) 1981年施行の新耐震設計法によって建てられた鉄筋コンクリート（RC）建物、鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）建物の被害は、現段階の調査では概ね中破小破であり、「建物が耐用年限中に一度遭遇するかもしれない地震に対して被害は生ずるものの人命の保護をはかる」という機能は果たしたといえよう。

新耐震設計法が、機能した理由として、

① 地震荷重を建物の動的応答を考慮して1Gに相当する値を設定していること。

② 地震用荷重分布（ A_i 分布）が建物の動的挙動を反映したものであること。

③ 部材に変形能を付与するような措置が講じられていること。

④ 建物の剛性・強度の平面的偏在、建物高さ方向の急激な剛性、強度の変化な

どにともなう応力集中、変形増大を防止する方策が講じられていること。等によるものであろう。

- 4) 現設計法、旧設計法による鉄骨造建物では部材破断、大きな残留変形など、大被害を受けた建物があった。その原因については今後の調査をまつことにしたい。

□非構造材、建築設備、防災設備

- 5) 建物の外装材ではタイル、吹き付けタイル、モルタル等の剥落、PCカーテンウォールの損傷、落下等がみられた。現段階での調査では、PCカーテンウォールの被害は15階程度までの建物に見られたが、30階程度の高層建物では被害が生じていないようである。
- 6) 内装材であるPC版やALC版の落下、間仕切り壁の転倒などの被害、室内の備品、家具、書棚等の転倒などは人命に危険を及ぼすだけでなく避難路をふさぐことにもつながるので、これらの落下、転倒防止の措置を確実に行う必要性が痛感された。
- 7) 建築設備被害の主なものは配管類、機器、器具、タンク等の破損であった。高架水槽の被害は低層部室内に設置された受水槽に対して約2倍の被害率であった。
スプリンクラーヘッド、巻出し管の破損は調査物件中の約30%にみられた。
- 8) 倒壊、大破した建物を除けば、大、中規模建物の防災設備、避難施設について決定的なダメージはほとんど見られなかった。階段の出入口扉の外枠変形により扉が完全に閉まらない状況が見られたが、火災発生時には排煙効果が生じ、煙の拡散、火勢の助長を引き起こすおそれがある。

(4) 土木構造物

- 1) 今回の地震では一般の橋梁の橋脚に降伏応力をはるかに越える地震力が作用した。その結果、旧基準のRC橋脚にあって降伏後の変形性能とエネルギー吸収性能に欠けるもの、構造的に不安定に陥りやすいもの、連続橋で橋脚の剛性のバランスが悪いものなどに被害が集中した。RC橋脚でも最近完成したラーメン形式には被害が見られなかった
鋼橋脚にあっては局部座屈が各所に見られ脆性的な破壊も見られた。
- 2) 支承の破損が数多く生じた。激しい震動により破損、欠落したもの、橋脚自体の移動によって限界変位を越え破損したものが多く見られた。
- 3) 橋梁の上部構にも、桁の大きな横ズレ、ハンガーケーブルの切断、斜張橋主塔の傾斜、桁同士や桁と橋脚の衝突が見られた。

- 4) 埋め立て地盤でこれまで液状化しにくいと考えられてきた粒度分布の広いまき土が液状化した。護岸の背面では液状化した地盤が護岸とともに海に向かって側方流動を起こし、護岸付近の橋脚の移動や傾斜を引き起こした。橋脚の移動は更に落橋や支承の破損を引き起こしている。
地盤改良がされていた埋め立て地盤の沈下は周辺の改良されていない地盤より小さかった。
- 5) 人工島の周辺に作られたケーソン岸壁は脆性的とも言える滑動と沈下を一様に起こしてほぼ全滅した。大きな地震力の作用が根底にあると思われるが破壊のメカニズムについては更に検討が必要である。比較的大きな地震力で設計されていた耐震岸壁は無被害であった。
- 6) 開削工法で建設された一部の地下鉄駅が被害を受けた。中柱がせん断や曲げで破損し、損傷の激しい場合には柱が耐荷力を失って上スラブが崩落するに至っている。周辺地盤はいずれも滞筋に当たり大きな応答変位が生じたと推定される。それを受けて地下駅躯体の上下スラブ間に層せん断変形が生じ、中柱にそのせん断変形が構造的に増幅されて伝えられ、かつ常時大きな軸力が作用しているため破損に至ったものと考えられる。
- 7) その他の地中構造物には、ライニングや2次覆工のクラック、シールドセグメントの競り合い、構造物のジョイント部のクラック等の被害が散見されたが、総じて軽微であった。
- 8) コンクリートダムや砂防ダムには被害が認められなかった。貯水池の土堰堤には大きな被害を受けたものがある。また、液状化により一部の河川堤防に大きな被害が出た。平坦地の盛土の被害は比較的軽微であったが地震の継続時間が短かったためと推定される。
- 9) 今回のような直下型地震に対処していくためには、許容応力度設計法を前提とした震度法による耐震設計では限界がある。降伏後の構造物の変形性能に着目した限界状態設計を採用することにより、土木構造物においても大きな地震力を考慮しながら経済合理性を有する設計を達成できる可能性がある。RC橋脚についてはその道筋が示されているが、基礎構造を含む他の土木構造物についてもそのような設計法の開発が必要である。
- 10) 土木構造物についても免震設計の採用を積極的に進める必要がある。既設構造物への適用も検討すべきである。
- 11) 耐震補強が未了の土木構造物については早急に補強を進める必要があるが、大きな地震の際にはある程度の構造物は被災するものとして復旧方法や被災後

の健全度調査技術を開発しておかねばならない。

(5) ライフラインと情報通信

- 1) 水道やガスなどのライフラインの被害は被災地の生活に大きな困難をもたらした。ライフライン地震防災の重要性を改めて示した。それぞれの被災形態と復旧状況の分析は今後の報告を待たねばならない。埋め立て地の護岸近辺に作られている下水処理場は地盤変状により大きな被害を被っている。
- 2) 電話施設の被害は一部にとどまったにも関わらず地震直後から電話は輻輳状態となった。より大幅な回線増が果たせる機動システムの開発が望まれる。

(6) 産業施設

生産流通施設の被害も間接的なものまで含めれば十兆円を越していると思われるが、詳細は今後の調査に待ちたい。情報機器にも被害は出たが、当社の床免震システムもその機能を発揮した。

(7) 危機管理と防災システム

- 1) 丁度1年前のノースリッジ地震に対するロスアンゼルス市の危機管理と比較すると、今回の関係諸機関の危機管理は準備不足で有ったとの感が免れない。
- 2) 想定を越えた地震が発生した場合の対処が準備されておらず対応が混乱した。
- 3) 被災状況の早期予測システムを開発し震後対策の意志決定に活用する必要がある。
- 4) 防災システムが円滑に機能する上で通信と交通（移動）手段の確保が極めて重要である。電話とマイカーの使用制限について国民的なコンセンサスが必要であろう。
- 5) 病院や行政機関など防災拠点となるべき施設の総合的な耐震性の向上が必要である。学校建築の被害は比較的軽微で避難所として活用されていることは評価されるべきである。
- 6) 危機管理と防災システムへの教訓をくみ取る上で、地震発生時刻を変えたシミュレーションも必要である。
- 7) 今回の地震で全ての地震災害が出尽くしたと考えるのは早計である。震源距離が遠くてもマグニチュードのより大きな地震が発生すれば地震動の継続時間が長くなり、今回とは様相の異なる被害が発生する可能性もある。

[建築：吉岡研三 土木：後藤洋三]

今後の課題

今回の地震被害を教訓に、今後の地震防災に反映すべき課題として以下の事項があげられる。

(1)地震防災技術の充実

震前準備と震後対応の問題に分けられる。震前については、第1は被災度・被害度予測システムの整備であり、建築物や施設の危険度、機能に応じたグレードアップ判定に資する。第2は都市防災計画と歩調を合わせた地域防災と防災拠点の提案や技術の整備である。避難施設の構築や消火・耐火設備技術も考えられる。震後については、社会的役割や施主への迅速な対応を意識した情報化・意思決定支援システムの構築であるが、忘れた頃にも容易に使えることが重要となる。

(2)生命の安全と財産、社会資本の保全技術

大地震時でも倒壊を許さず、生命を守ることは建築物に課せられた最低限の使命である。また社会基盤施設の場合には、これらに加え緊急物資流通および情報とライフラインの機能を供用する社会的役割がある。そのためには、被災後の修復や要求機能および施設の重要度に応じて耐震設計を施す必要がある。これらを意識した構造物の靱性設計技術の整備とともに免震・制震技術の普及活用にも努めることが肝要であり、さらに大きな粘りを保有し修復が容易で経済的な新たな耐震構造を開発する必要もある。また設備、仕上材、内容物の耐震性強化にも努める。加えて防犯機能喪失を前提とした危機管理の在り方を、構造・設備計画サイドから検討していくことも重要であろう。

(3)耐震診断・耐震補強のための適用技術

複雑かつ重要な構造物の診断には、非線形応答解析のような高度な解析を伴う評価が予想され、これまで蓄積してきた解析ソフトの充実とシステムチックな普及使用に努める必要がある。構造物の耐震補強については、部材弱点の強度付加と部材の靱性能付加、また架構全体の強度、剛性、靱性能付加に関しハ・ドは勿論設計技術整備により一層努める必要がある。基礎・地盤についてもこれまでの液状化対策や地盤改良工法をもとに、サイト条件や経済性を考慮した最適な工法と設計技術の開

発整備を行う。そしてこれらを総合的に実施できるよう、耐震補強技術システムとして整備することが肝要であろう。

④断層、傾斜地、軟弱地盤に関する技術

上述の非線形応答解析技術の普及と歩調を合わせ、大地震を対象としたサイトの地震動の考え方と評価法を再整備し、構造物と地盤の相互作用解析技術を充実させる。軟弱地盤では液状化に伴い建築物や物流施設、港湾施設、並びにこれらの基礎とライフラインの被害が懸念される。特にこれらのサイトでの地震動評価とともに、耐震性強化に関わる技術を一層整備する必要がある。

⑤巨大地震力に対する構造物の研究

直下型地震の場合、大きな水平動と上下動がほぼ同時に作用するものと考えられる。このような力が作用した時の構造物への影響を明らかにし、影響が大きい場合には設計に反映する必要がある。

[武田 寿一]

〈参考文献〉

第2章

- 2.1-1) 市原 実：大阪とその周辺地域の第四紀地質図、アーバンプボタ、Vol.30, クボタ、(1991)
- 2.1-2) 神戸市企画局総合調整課：神戸の地盤、(1980)
- 2.1-3) 岩見義男ほか：神戸の地盤特性、応用地質学の最近の研究、日本応用地質学会関西支部、(1982)
- 2.1-4) 日本建築学会地震災害調査WG：日本建築学会兵庫県南部地震災害調査緊急報告会、(1995.2)
- 2.2-1) 活断層研究会：新編日本の活断層、東京大学出版会、(1991)

第3章

- 3.1.1-1) 2.1-4に掲載
- 3.1.4-1) 宇佐見龍夫：新編日本被害地震総覧、東京大学出版会、(1988)
- 3.2.1-1) Joyner, W. B. and D. M. Boore : Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, BSSA Vol, 71, pp. 2011-2038, (1981)

第4章

- 4.1-1) 読売新聞社：読売新聞（2月16日朝刊）
- 4.1-2) 2月16日共同通信ニュース速報
- 4.1-3) 朝日新聞社：朝日新聞（2月17日朝刊）

第5章

- 5.1.1-1) 神戸大学工学部：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報), (1995.2.17)
- 5.1.3-1) 安田 進：液状化の調査から対策工まで、鹿島出版会、pp.78, (1998)
- 5.1.3-2) 久徳毎治、豊田行男、瀬川輝夫、角 彰：神戸六甲アイランドにおける超高層建物の基礎設計、基礎工Vol.17 No.9, p.39, (1989)
- 5.1.3-3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、(1990)
- 5.2.1-1) 3.1.1-1に掲載済み
- 5.2.1-2) 朝日新聞社：朝日新聞（平成7年3月1日 夕刊）
- 5.2.1-3) 毎日新聞社：平成7年兵庫県南部地震阪神大震災、（平成7年2月）
- 5.2.1-4) 建築省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査報告(速報)、

(1995.2)

- 5.2.5-1) 瀬川：中層建築物の基礎工、基礎工、(1992.5)
- 5.2.5-2) Tokimatu, K., and Seed, H. B. : Evaluation of Settlements in Sand due to Earthquake Skaking, ASCE, Vol. 113, No.8, pp.861~878, (1987)
- 5.3-1) 朝日新聞社：朝日新聞 (平成7年2月19日 朝刊)
- 5.3-2) 朝日新聞社：朝日新聞 (平成7年2月27日 夕刊)
- 5.3-3) 日本工業新聞社：日本工業新聞 (平成7年2月20日 朝刊)
- 5.3-4) 読売新聞社：読売新聞 (平成7年1月31日 夕刊)
- 5.4-1) 5.1.1-1に掲載済み
- 5.4-2) 日刊建設工業新聞社：日刊建設工業新聞 (平成7年2月22日~3月3日)
- 5.4-3) (社)日本電気協会：電気新聞 (平成7年1月18日~1月25日)
- 5.4-4) 朝日新聞社：朝日新聞 (平成7年1月17日 朝刊)
- 5.4-5) 読売新聞社：読売新聞 (平成7年1月16日 朝刊)
- 5.4-6) 朝日新聞社：朝日新聞 (平成7年2月18日 夕刊)
- 5.4-7) 朝日新聞社：朝日新聞 (平成7年2月24日朝刊)
- 5.4-8) 日刊建設工業新聞社：日刊建設工業新聞 (平成7年2月7・8日)
- 5.5.1-1) 朝日新聞社：爪痕-阪神大震災の検証5 地下鉄の破壊、(1995.2.26)
- 5.5.1-2) 5.1.1-1掲載に済み
- 5.5.1-3) 神戸市交通局：神戸市営地下鉄 被害状況報告(1995.3)
- 5.5.1-4) (社)土木学会：コンクリート標準示方書、(1991)
- 5.5.1-5) (社)土木学会：トンネル標準示方書(開削編)・同解説、(1986)
- 5.5.2-1) (社)土木学会：トンネル標準示方書(山岳編)・同解説、第3編
- 5.6.5-1) (社)日本道路協会：鉄筋コンクリート道路橋設計示方書、1964.9
- 5.6.5-2) (社)日本道路協会：道路橋下部構造設計指針(1966.11)
- 5.6.5-3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編~V耐震設計編、(1990)
- 5.6.5-4) (社)日本圧接協会：鉄筋のガス圧接工事標準仕様書(1978)
- 5.6.5-5) (社)日本圧接協会：鉄筋のガス圧接工事標準仕様書(1994)
- 5.6.5-6) E. D. Wilson : Use of the SAP80 Series of Programs, Use of a CR/M-Microcomputer As a Structural Engineerings Workstation, Version1.7, March 1982
- 5.6.5-7) G. M. Calvi, M. J. N. Priestly : Seismic Design and Retrofitting of

Reinforced Concrete Bridges, Proceedings of the international Workshop, Italy, April, 1991, pp.469-501

- 5.6.5-8) K.Kawashima and M.J.N. Priestley : Seismic Inspection and Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Bridge Piers with Termination of Main Reinforcement at Mid-Height, Proceedings of the First U.S.-Japan Workshop on Seismic Retrofit of Bridges, December, 1990, pp.251-279
- 5.6.5-9) 5.5.1-4に掲載済み
- 5.6.5-10) Transit Newzealand (TNZ) : Bridge Manual-Design and Evaluation (Draft), 1991
- 5.6.5-11) American Association of State Highway and Transportation Officialls (AASHTO) : Guide Specification for Seismic Design of Highway Bridges, 1983
- 5.6.5-12) EUROCODE No.8/Part2 (EC8/2) : Structures in Seismic Regions, Bridges (Draft), December 1990
- 5.7.2-1) 5.1.1-1に掲載済み
- 5.7.3-1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術工の基準・同解説、(1989)
- 5.8.-1) (社)土木学会：阪神大震災震害調査緊急報告資料、(1995.2)
- 5.8.-2) 5.1.1-1に掲載済み
- 5.8.-3) 建設省河川局防災課監修、土木施設防災工法研究会編：土木施設災害復旧工法

第6章

- 6.1-1) 朝日新聞社：朝日新聞（平成7年2月17日 朝刊）
- 6.1-2) 毎日新聞社：ドキュメント阪神大震災全記録、pp.134, (1995)
- 6.1-3) EQE INTERNATIONAL : "The Northridge, California, Earthquake of January 17, 1994" (1994.1)
- 6.1-4) 日本IBM株式会社：“東京都市防災情報システム”
- 6.2-1) 毎日新聞社：毎日新聞（平成7年2月5日 朝刊）
- 6.2-2) 日経産業新聞社：日経産業新聞, (1994.9.1)
- 6.2-3) Yasushi TAKEMOTO et al. "An Earthquake Disaster Action Program The Concept of a Private Japanese Construction Company" 第4回日米都市防災会議(1995.1)

- 6.3-1) TBSブリタニカ：NEWSWEEK日本版2月15日号「日米欧に見る災害時のボランティア」(1995.2)
- 6.4-1) 共同通信社：共同通信ニュース速報、(1995.2.9 20:20)