

## 特集

# 阪神大震災からの教訓 21世紀に何を引き継ぐか

新しい千年紀を迎えるに際して、「夢」を語ることも重要ではあるが、このような節目の時にしっかりと足元を見つめなおすのもまた重要なことである。本特集では、新しい千年紀・世紀に引き継ぐべき「教訓」として「阪神大震災」を取り上げる。

本特集ではまず「1. 総説」で阪神大震災から5年間の取り組みを概説していただくとともに、「2. われわれは何を学んだか」、「3. われわれは何を生み出したのか」、「4. われわれは何を引き継ぐべきか」という3つの視点

から、各分野で産み出された知恵や知識、さらには今後われわれが取り組むべき課題を論じていただく。

阪神大震災が発生してから、はや5年。この間、土木学会を始めとして、われわれ土木技術者は震災からの復興や将来に備えた体制づくり等さまざまな課題に取り組んできた。この機会に、阪神大震災とは何であったのか、振り返ってみたいと思う。さらに、そこから、将来に向かって引き継ぐべき知恵や課題を読者の皆さんとともに考えていきたい。

機動編集(A)班担当

### 1. 総論

## 20世紀の災害から21世紀の防災へ 阪神・淡路大震災が土木技術者に課した使命

亀田弘行

Hiroyuki KAMEDA

フェロー会員 工博 京都大学防災研究所教授  
総合防災研究部門

### まだ続く震災の中で

阪神・淡路大震災発生の日から5年が経過した。いま現地に立って、震災前より優れた性能の構造物で再建された道路や港湾などの社会基盤施設を見ると、遠い過去の出来事のようにも思えるが、一方なお各所に残る空地やようやく建築ラッシュを迎えている長田区の被災地を見ると、震災はなお継続中であることを強く感ずる。わずか10秒間の強烈な自然の外力がもたらした膨大な破壊からの復興は長い道程である。

阪神・淡路大震災がもたらした社会的影響は、構造物の破壊やそれによる人命への危害・資産の損失という直接的被害にとどまらず、経済活動への影響、それに伴う産業構造の変化、コミュニティーの喪失と生活環境の変化、人々に心の傷として残る心理的影響など、極めて広範にわたっており、震災からの復興の成否は、これら多

くの困難な課題に立ち向かう被災当事者をいかに的確に支援できるかに掛かっている。そのための取り組みは多くの関係者の努力によりそれぞれに進みつつあるが、わが国にとって恐らく20世紀最後の大震災となるであろうこの災害からの復興過程を検証し、そこから学ぶべき教訓を次の世代に的確に引き継ぐことが極めて重要である。

この特集は土木学会誌の企画であるから、土木技術の責任集団である土木技術者がこの震災経験から何を学び、何を生み出し、何を次なる21世紀に伝えるべきかが主題となる。個々の課題についてはそれぞれの専門家が詳しい記事を執筆されるから、ここではこの主題への導入部として、基本事項の点検を行うこととしたい。

表-1 地震工学・耐震技術の変遷

<p><b>第一世代：震度法の時代</b>                  (地震災害からの教訓) [関東地震:1923]地震火災, 耐震設計の有効性, 地盤条件の影響; [福井地震:1948]構造物被害型震災・震度VII                  (技術的成果) 静的設計・弾性限照査                  (基準化) 大正13年(1924): 初の建築耐震基準 (<math>k=0.1 \cdot 1</math>), 昭和14年(1939): 初の道路橋耐震基準 (<math>k=0.2</math>), 昭和25年(1950): 建築基準法 (<math>k=0.2</math>)</p>
<p><b>第二世代：耐震技術の時代</b>                  (地震災害からの教訓) [新潟地震: 1964]わが国初の本格的強震記録, 液状化; [十勝沖地震: 1968]鉄筋コンクリート建物のせん断破壊; [宮城県沖地震: 1978]ライフラインの被害                  (技術的成果) 動的設計・弾塑性照査・液状化対策・ライフライン地震工学                  (基準化) 昭和46年(1971): せん断補強の強化(建築), 動的効果・地盤条件(道路橋), 昭和48年(1973): 鎖構造管路, 昭和55-56年(1980-81): 断塑性照査の基準化(建築 [<math>s=1g</math>]・道路橋)</p>
<p><b>第三世代：総合地震防災システムの時代</b>                  (地震災害からの教訓) [兵庫県南部地震: 1995]大規模複合都市災・直下地震の強震記録                  (技術的課題)(1) 耐震構造技術: 震源断層近傍の地震動, 非線形地盤震動, 地盤変状, 破壊メカニズム, 構造システムとしての耐震化, ライフラインのシステム強化, 都市基盤施設の戦略的強化, 性能指向型耐震設計, 既存ストックの耐震強化                  (2) 危機管理技術: リアルタイム地震防災, 緊急対応情報システム, リスク対応型情報システム, 交通管理システム                  (3) 社会システム技術: 持続的発展, 許容リスク, 環境課題との連携, 社会経済的分析・評価                  (基準化等) 平成8年~10年(1996-1998): 耐震基準改訂 港湾・道路橋・上水道・下水道・鉄道施設/震源断層近傍の地震動(シナリオ型vs強震記録)・地盤変状, 構造システム・ネットワークシステム, システム間の連携, 性能指向型; 地域防災計画の改訂/マニュアル化; 災害緊急対応情報システムの開発 国土庁, 消防庁, 都道府県, 政令指定都市</p> <p><math>k</math>: 基本設計震度, <math>S</math>: 保有耐力照査用スペクトル                  *1: 許容応力度との関係で, 建築基準法(1950)における<math>K=0.2</math>と等価</p>

**耐震技術が果たしてきた役割**

表-1 に, わが国の耐震技術の変遷を簡潔に示した。これにより, わが国の耐震技術が進んだ足跡と今後の展望を論じたい。

わが国の耐震技術は, 静的設計と弾性限照査による「震度法の時代」を第一世代としてその基礎が築かれた。関東大震災や福井地震の経験を基礎に耐震工学が体系づけられた時代である。

その後続く第二世代は「耐震技術の時代」とも呼べる時期で, 強震記録の集積, コンピュータシミュレーションの発達, 実験技術の進歩と普及により, 動的設計と弾塑性照査による非弾性設計への段階を着実に歩んだ時期である。またわが国の都市化が急速に進み, 都市域の拡大とともに液状化対策やライフラインの地震防災が新たな重要課題として提起され, この分野の研究開発が精力的に進められた。さらに国際的な技術・研究交流が活

発に行われ, 国際的な広がりを持った近代的な技術体系として耐震技術は大きく成長した。第二世代の耐震技術から生み出された成果の多くは, 表-1 に示したように1970年から1980年頃にかけて耐震基準として定着していった。そしてそれらが, 阪神・淡路大震災によって一斉にテストを受けることになった。

一般的には, 現代の耐震技術に支えられた施設はよく頑張ったといえる。非弾性設計を施された構造物の変形性能や耐震継手付きダクタイル鑄鉄管の耐震性能が実証されたこと(写真-1), ライフラインの地震対策システムとして発達した緊急遮断弁やブロック化された管路網が震災後の緊急対応や復旧作業に大いに役立ったことなどはその顕著な例である。こうした技術的基礎がなければ, 災害はさらに悲惨さを強めたであろうことは容易に想像できる。これまでの耐震技術の発達とその現場への適用に払われた多くの努力は十分な意味を持ったと言える。

しかしながら, 阪神・淡路大震災における災害の膨大さは, これら耐震技術の発達により向上してきたと希望的に信じられていたわが国の都市の耐震安全性が, 極めて不十分なものであることを, 衝撃的に暴くことになった。そこから, 震源断層近傍の地震動が持つ破壊力の評価の不十分さ, 特定の活断層の活動に起因する地震発生とその災害を低頻度巨大災害として位置づける視点の欠如, 近代耐震技術の恩恵を受けていない膨大なストックを抱える都市の脆弱性への認識の低さ, 複合都市災害のもとでの危機管理システムの欠如, 災害対応を乗り切る有効な情報システムの欠如, 災害復興の有効な仕組みの



写真-1 大きな地盤変状に耐えた耐震管路 (耐震継手付きダクタイル鑄鉄管)

欠如、などの基本的な課題が提起された。こうした課題を克服していくことこそ、阪神・淡路大震災の教訓を将来に生かす唯一の道である。

### 社会基盤施設の被害とその復興過程が持つ意義

震災の発生とともにわれわれの眼前に展開した各種構造物の大破壊は、土木技術者の手により築かれ、営々と蓄積されて、現代日本の社会・経済機能を支えてきた多くの社会基盤施設の機能を一瞬のうちに喪失させた。道路・鉄道を支える高架橋の崩壊や、特別な仕様で設計された長大橋梁までが受けた大被害、数千力所に及ぶ水道・ガスなどの埋設管路の破壊による供給停止、埋立地に立地する汚水処理場の破壊による下水道の機能喪失、多数の電柱の破壊による停電や電話機能の喪失など、およそ土木技術者が係わるすべての都市施設が、例外なく深刻な影響を受けた。

以後1年有余にわたるこれら社会基盤施設の復興の工事は、土木技術の持てる力の粋を尽くす場であり、かつこの震災の教訓を生かす実験の場でもあった。その内容は、そのまま次の時代の耐震技術へ向けて、現段階でのベストの方策を模索するもので、復旧のための構造設計に直下地震による震源断層近傍の地震動を考慮すること、高架橋の再建において多スパン連続構造の全体系を構造システムとして設計すること(写真-2)、港湾の復興において耐震岸壁を戦略的に配置すること、など多くの意欲的な技術的試みと、そのための意思決定がなされ、それらは、同時に検討が始まった多くの社会基盤施設における耐震基準の改定に対する実地訓練の場ともなった。

### これからの地震工学・耐震技術の方向

阪神・淡路大震災の経験は、耐震技術が第三世代の「総合地震防災システムの時代」を指向すべきことを示した。そこでは、表-1に示すように、(1)耐震構造技術(震源断層近傍の地震動、非線形地盤震動、地盤変状、破壊メカニズム、構造システムとしての耐震化、ライフラインのシステム強化、都市基盤施設の戦略的強化、要求性能に応じた耐震設計、既存ストックの耐震強化)、(2)危機管理技術(リアルタイム地震防災、緊急対応情報システム、リスク対応型情報システム、交通管理システム)、および(3)社会システム技術(持続的発展、許容リスク、環境課題との連携、社会経済的分析・評価)における知見を動員して、構造的にハードに守るべき対象・不可避的に生ずる被害への対応技術・中長期的な都市域の持続的な発展の中で地震防災項目と組み込んでいくシステム技術の総合体としての技術体系を樹立することが求められている。

重要なのは、これらの課題の一つ一つについて科学的



写真-2 震災復興で採用された構造システム設計(19スパン連続ラーメン免震高架橋)

な研究が推進されることであり、こうして得られる最新の知見をできるだけ早く現実の活動に反映する柔軟な体制を持つことである。そのために、学術・技術・実務・行政・NPOの緊密な連携体制が形成されることが重要である。

こうした第三世代の耐震技術への指向性は、最近5年間で多くの分野で模索され、少しずつ実現に向かいつつある。その例も表-1に示した。1995年5月と1996年1月に出された土木学会提言1(土木学会耐震基準等基本問題検討会議:田村重四郎議長)は、すでにこの方向を指し示している。土木学会提言はその後の社会基盤施設の耐震基準改訂においても、直下地震による地震動評価の枠組み、ライフラインの地震防災における構造設計とシステム設計の統合、性能指向型設計への方向付けなどで、共通基盤としての役割を果たした。

基礎研究の場では、1996年から4年計画で開始された文部省科学研究費特定領域研究「都市直下地震災害」(略称)(土岐憲三領域代表)においては、地震動と地震荷重、地震危険度、構造物の耐震、交通・通信システム、リアルタイム地震防災、情報管理システム、人間行動、からなる総合的な研究活動が展開されており、それはさらに1999年に開始した日米共同研究「都市地震災害の軽減」(略称)(亀田弘行領域代表)に引き継がれている。

### 震災直後の経験から一むすびにかけて

震災発生直後の緊迫した時期における経験で、現在も重要な原点と信じているある場面を振り返って本稿のしめくりとしたい。

兵庫県南部地震が発生した時、筆者は大阪市のホテルで、その日に第一日を迎えることになっていた日米都市防災会議(地域安全学会/EERI)の運営委員長として準備中であった。米国からはすでに37名の代表が到着しており、会議を急遽組み替えて、日米合同の緊急現地調査に出てもらった。そのあとの合同討議で、ある米国



代表が、「米国と日本が共通の問題を抱えていることがわかった。」と発言した。表現は紳士的であるが、これには日本の構造物は米国より耐震性が高いと多くの日本の耐震技術者が発言してきたことへの、痛烈な皮肉が込められていると感じた。日本の耐震技術も、地震防災対策も、この反省のうえに再出発すべきと考えた。

以下は、震災発生年の5月にパリの欧州評議会で震災の状況に関する講演を行った際の、ユネスコの旧友のコメントである。「各国の防災関係者の中に大きな戸惑いがあり、日本の地震防災もこの程度ものかという酷評と、日本ですらこの状況であれば地震対策は何をしても絶望的なのではないかという悲観論に、議論が極端に分れる傾向がある。その意味で、何がよくて何が悪かったのかという、正確な情報が重要である。」

これらは震災直後の一時期における断片的な経験であるが、これらの場面の中からは、最新の耐震技術の成果を反映しない膨大なストックを抱える現代の大都市圏の脆弱性という現実根ざす多角面な方策を打ち出すことの必要性、この問題が単に日本のみの課題ではなく、国際的に大きな関心をもって注目されており、適切な国際発信が求められていることなど、現在も変わらぬ命題を提起していると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」、土木学会耐震基準等基本問題検討会議，土木学会誌1996年2月号

## 2. われわれは何を学んだか

### (1) 直下地震による地盤震動の理解

杉戸真太 Masata SUGITO

正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科

兵庫県南部地震以前、都市部を直撃して大被害をもたらした地震は、1891年濃尾地震(M8.0)、1923年関東地震(M7.9)、1948年福井地震(M7.1)であった。このような甚大な地震災害の経験から、非常に大きな応力が解放される“震源断層”の近傍の地盤では、大きな破壊力を持つ地震動となることが定性的には理解されていた。そして、兵庫県南部地震においてはそれを裏付けるような強震記録が得られた。この直下地震によりわれわれが得たもの、学んだものは数多くあるが、地盤震動の観点からは以下の三点が挙げられる。

- [1] 強大な破壊力を秘めた震源近傍での強震記録が、わが国において初めて得られた
- [2] “震源断層”の近傍では、断層の破壊過程を反映した強震動となることが実証された。
- [3] 地表面下数十メートル程度の局所的な地盤条件に加えて、やや深部の基盤構造による影響が大きい場合もあり得ることが認識された

以下、これらの点について筆者なりの意見を述べさせていただきます。

#### 世界的にも第一級の破壊力を持つ強震記録

最大加速度が1g(g:重力加速度)に近いかそれを越える記録は海外では多く例があり<sup>1)</sup>、また、わが国で

も兵庫県南部地震の二年前の釧路沖地震では0.9gを越える記録が得られたが、被害はそれほどでもなかった。地震動の持つ破壊力は最大加速度だけでは計れないことは、少なくとも地震工学関係者には十分理解されていたと思うが、たとえば、震度法に基づく設計震度と時刻歴波形の最大値との意味の違いが一般には正しく理解されていなかったように思われる。今回の記録を既往の最大加速度の距離減衰式にあてはめたところ特に異常に大きな地震動ではなかった、といったような議論が見受けられたが、最大加速度での評価を中心とした議論では地震動の工学的な本質を見失う危険性がある。

通常の構造物に対する地震動の“破壊力”は、Housner教授によるSI値<sup>2)</sup>や気象庁計測震度を算定する場合の実効加速度<sup>3)</sup>など、特定した周波数帯域のスペクトル強度を包括したようなパラメータにより表現されるのが望ましいが、最大速度でも一次近似的には十分にその役目を担っていると筆者は考えている。

図-1は、これまでに得られた大きな記録の水平成分の最大加速度と最大速度との関係を示したものである。このうち、は、水平2成分のベクトル和の最大値であり、他のデータは原記録から得られたものであることに注意されたい。また、昨年発生したトルコ地震、台湾地震については、現時点で公表されている記録のうち最大

速度が最も大きいものを示した。図中の直線は、正弦波を仮定した場合の最大加速度と最大速度の関係を表しており、各記録の大まかな卓越周波数を知ることができる。これより、これまでの大加速度記録の中でも兵庫県南部地震による記録が比較的低周波数成分が卓越したものであることがわかる。

さて、最大速度が地震動の“破壊力”を表す指標と考えると、今回の記録はこれまでに最大級のものであると言える。あるいは、加速度も速度も大きいという条件、すなわち図の原点からの距離の大きさで見ても第一級クラスのものであることがわかる。

### 断層の破壊過程を反映した強震動特性

今回の地震で、従来から理論的、経験的に指摘されていた断層の破壊過程を反映した強震動が記録されたこと、それを裏付けるような被害形態や被害分布となったことも特徴の一つであった。すなわち、(1)断層面上での滑り量の時間変化を表す震源関数に相当する1秒程度の震動が卓越したこと、(2)断層が横ずれで浅い場合に断層近傍において断層直交方向の震動が卓越すること<sup>4)</sup>、また、(3)断層破壊が進展する方向に位置する地点では地震動のパワーが相対的に集中して地震動強度が大きくなること<sup>5)</sup>、が実証された。図-2は、地図に示す強震観測点での水平2成分のベクトル合成波形を用いて、各周波数ごとのパワーが最大となる震動方向を示したものである。断層近傍(kbpi)では、ほとんどの周波数で断層直交方向(N38.4W)に近い方向で卓越していることがわかる。断層の端からやや離れたksok地点では震動卓越方向が周波数によってやや乱れている。さらに遠方(hoka)では、震動に方向依存性がなくなっていることがわかる。一方、破壊の進展方向(北東方向)に位置する地点での地震動強度が大きくなるいわゆるディレクティブリティ効果については、本誌95年9月号<sup>5)</sup>に最大加速度について示されている。断層が特定されている場合の強震動予測にこのような断層の破壊過程の影響を考慮する必要性が実証されたことの意義は大きい。

### やや深部の基盤構造の地震動への影響

今回の地震で、震度VIIの領域が東西に延びる幅1km程度の帯状に分布した。当初、その直下に伏在断層がありそれが動いた、ということが議論されたが、その後、やや深部の基盤構造<sup>6)</sup>による波動の集中現象(フォーカシング)で説明されるようになった<sup>4)</sup>。震度VIIの領域での強震記録が得られてないこともあって、説得性の高い結論が得られたとは言えないが、深部基盤構造の影響の可能性が指摘されたことは大きな進展であったと考えられる。



図-1 世界の主な強震記録の最大加速度と最大速度の関係

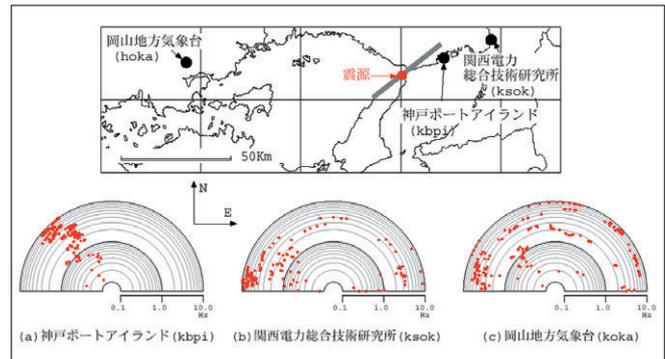


図-2 各周波数成分の震動卓越方向の分布(兵庫県南部地震)

ただし、筆者は震度VIIの領域において必ずしも地震動が最も大きかったと決めつける必要はないとも考えていた。何よりも被災建造物の特性が大きな要因であり、それに加えて局所的な地盤特性、さらに深部基盤構造によるフォーカシング効果等が重なった結果であろう。また、同じ震度VIIの領域といってもこれらの影響度が場所によって異なることも十分考えられる。フォーカシング効果の周波数依存性や詳細な地盤調査を含め、検討の余地が多く残されているように思われる。

限られた紙面ではあるが、今回の直下地震において地盤震動の観点から得られたこと、学んだことについて私見を述べさせて頂いた。周知のとおり、将来の地震に対する強震動予測にはきわめて大きな不確定性が含まれる。強震動に関しては、大地震が起こるたびに依然として学ぶことばかりであり、人知を越えた巨大な自然現象に対して常に謙虚な姿勢で臨まなくてはならないことは言うまでもない。

### 参考文献

- 1) Ohmachi, T. and Midorikawa, S. : BSSA, Vol.82, No.1, 1992, pp.44-60.
- 2) Housner, G.W. : Proc. of 3rd WCEE, Vol.1, 1965, pp.III-94-109.
- 3) 気象庁告示第4号, 平成8年2月15日官報, 第1831号.
- 4) Sekiguchi, H., Irikura, K., Iwata, T., Takehi, Y., and Hoshiba, M. : J. Phys. Earth, 44, 1996, pp.473-487.
- 5) 土岐憲三・後藤洋三・江尻譲・澤田純男 : 土木学会誌, pp.32-43, 1995. 9
- 6) 兵庫県 : 「阪神地域活断層調査委員会」資料, 1995



## 2. われわれは何を学んだか

### (2) コンクリート構造物の問題点

丸山久一 Kyuichi MARUYAMA

フェロー会員 Ph.D 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系

#### 安全神話の崩壊

ブラウン管やスクリーンを通して見ることに慣れすぎた目にも、高速道路の横倒れは衝撃であった。平成7年(1995年)1月17日早朝のテレビが映し出したものは、SF映画と見間違ふほどで、現実のものとして受け取るまでにしばしの時間を要した。

初期の驚愕と動揺が収まり、復旧に取りかかり始めた頃から、「安全神話の崩壊」ということが人々の口にのぼるようになった。構造技術者や研究者からみれば、そんな神話があったのかと言いたいところであるが、いかんせんタイミングが悪すぎた。ちょうど1年前には、カリフォルニア州南部でのノースリッジ地震、また、その数年前にはロスマブリータ地震と、米国西部で続けざまに生じた地震によるコンクリート構造物の被害に対して、日本のコンクリート構造技術者は断言していたのである。「あの程度の地震規模では、日本のコンクリート構造物はびくともしません」と。この発言の前半部分が抜け落ち、後半部分が一人歩きしたとき、安全神話が形成されてしまった。



写真-1 橋脚のせん断破壊によるピルツ橋の倒壊<sup>1)</sup>



写真-2 橋脚のせん断破壊による鉄道高架橋の崩壊<sup>1)</sup>

#### コンクリート橋脚の崩壊

安全神話の崩壊の後、コンクリート技術者が課題としたことは、ピルツ橋の倒壊(写真-1)原因の究明であり、山陽新幹線のラーメン橋脚の破壊(写真-2)原因、さらには、地下鉄中柱の崩壊原因の究明であった。震災後から今日まで、土木学会をはじめ、大学、関係各機関等で実験や解析により、精力的な検討が行われている。現在までに得られている一般的な見解をまとめるならば、破壊した橋脚は、総じて、保有曲げ耐力に比べて保有せん断耐力が不足していたということである。

ピルツ橋脚については、軸方向鉄筋の途中定着部がせん断破壊の引き金になっていたと考えられる。さらに、帯鉄筋量が不十分な上、その定着も不十分であったことが、断面を横切る斜めひび割れの発達を抑制できず、橋脚の崩壊に至ってしまったと推定される。

鉄道高架橋のラーメン橋脚や地下鉄中柱の崩壊についても、基本的には、帯鉄筋量が不足していたことが直接の原因と考えられる。はりや上床版との接合部に近い柱上部で、断面を貫通する斜めひび割れが発生し、上部工や上載荷重を支えられなくなって、ピルツ橋脚と同様、崩壊に至ったのであろう。

#### 思いもしない荷重

今回の地震は、マグニチュードでは7.2だが、記録された地盤振動の最大値は加速度で800galを超えている。耐震設計における構造物の応答加速度は、構造物の固有周期とも関連しているが、これまで200~400galが用いられていた。設計上での荷重と実際の入力と比較するために、被災した鉄道高架橋について、橋脚158例を取りあげ、設計断面とエネルギー一定則を用いて保有耐震

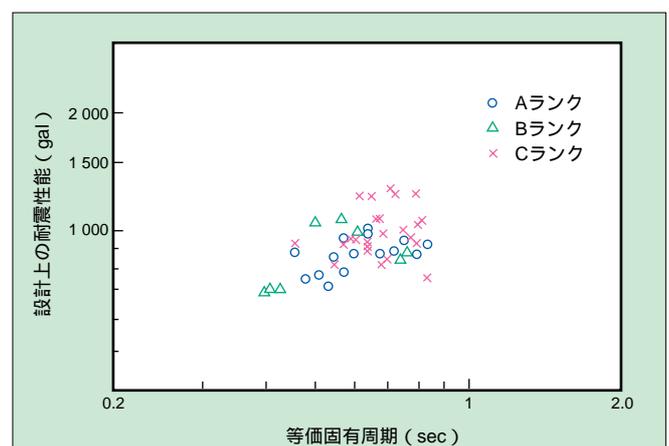


図-1 ラーメン高架橋の等価固有周期と設計上の耐震性能との関係<sup>1)</sup>

性能と被害の関係を調査した(図-1)。その結果、設計上の耐震性能として900 gal に達していない場合、大きな損害を生じていることが多かった。したがって、構造物に作用した荷重は、設計時に思いもしない大きさであったと言える。

### 施工上の問題

施工上の処置が損傷を引き起こしたり、損傷を大きくしたと考えられるものに、コンクリートの水平打継目(写真-3)と軸方向鉄筋の同一断面での圧接継手がある。柱とはりの接合部では、隅角部のひび割れ発生を抑制するために、はり下で柱のコンクリートを打ち継ぐことにしているが、この箇所は発生曲げモーメントが比較的大きく、応力集中が生じやすくなることから、コンクリートの不十分な一体性がひび割れやずれによる破壊を生じたと考えられる。

### 神話の再構築

兵庫県南部地震によるコンクリート構造物の被災は、構造技術者にとっては、まさに実物実験であった。この結果を十分検討し、コンクリート構造物の保有性能を精



写真-3 打継目の損傷<sup>1)</sup>

度よく評価できる技術を開発するとともに、構造物の性能に基づいた設計手法を確立することが、コンクリート技術者に課せられた道である。それらの努力を通して、コンクリート構造物への信頼性が高まるならば、崩壊しない神話が改めて構築されることになるであろう。

### 参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告4.、土木構造物の被害分析

## 2. われわれは何を学んだか (3) 交通システムの問題点

飯田恭敬 Yasunori IIDA

フェロー会員 工博 京都大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻

### 交通管理上の問題点と対応策

震災後に交通状態は大混乱に陥ったが、なぜ交通管理がもっと効率的に行われなかったのか、誰しも疑問に思ったことであろう。このような事態に至った背景として、多くの問題点が指摘されている。このことは裏返していえば、これらの問題点を解決することによって、震災時の交通マネジメントシステムが格段に進展することを意味している。以下に、交通管理上の問題点とその対応策を整理して述べておく。

第1点は、交通施設の被害状況に関する情報収集体制が作られていなかったことである。災害時の交通管理を実施するには、まず被害状況の実態を迅速かつ正確に知ることが必要である。迅速性を高めるために、今後は被害調査に先端技術の積極的な導入をはからねばならない。また、当然ながら被害データは集中管理すべきである。

第2点は、災害後の交通データ収集が困難だったことである。交通現象は一過性のものであり、しかも災害時には混乱状態であるため、データ収集どころではないのが実状であった。この問題に対応するには、平常時における交通収集データシステムを高度化する必要がある。ITS技術はすでに実用段階に入っており、交通データの収集方法も従来に比べると格段に向上している。この面でこれからITSに期待するところがきわめて大きい。

第3点は、すべての交通機関を含めた交通管理システムの一元化が進んでいないことである。現在、道路と鉄道はそれぞれ独自に交通管理がなされている。被害程度が小さい場合は問題ないが、被害規模が大きくなると、単一交通モード内だけで混乱状態に対応することは困難となる。将来は各種交通機関を連携した総合交通管理システムを構築し、被害状況に対応した効果的な交通管理を目指すべきである。



第4点は、道路網の階層化や代替性、またモード連携を考慮した交通網整備が不十分であることである。階層構造化された道路網であれば、被災道路の規格レベルと利用交通の性格を関連づけた交通規制実施が容易となる。また、代替経路の確保と階層構造との組み合わせにより、道路網の機能低下が回避される。

第5点は、道路システムと結合させた緊急道路、救援物流基地、避難地などの指定および配置の事前計画が周到に検討されていなかったことである。事前指定が必要な理由は、平常時から緊急時施設の存在を一般利用者に周知し、学習してもらっておくためであり、これにより災害時の交通混乱が避けられるからである。

第6点は、平常時において災害発生を想定した交通管理訓練がなされていなかったことである。災害を予想することがきわめて困難である。交通混乱を繰り返さないためには、災害発生シナリオを多数作成し、非常時交通管理の実施訓練をすることが望ましい。これにより、見逃されていた新たな問題点が発見されることも期待される。

震災時の交通マネジメントの考え方 (図参照)

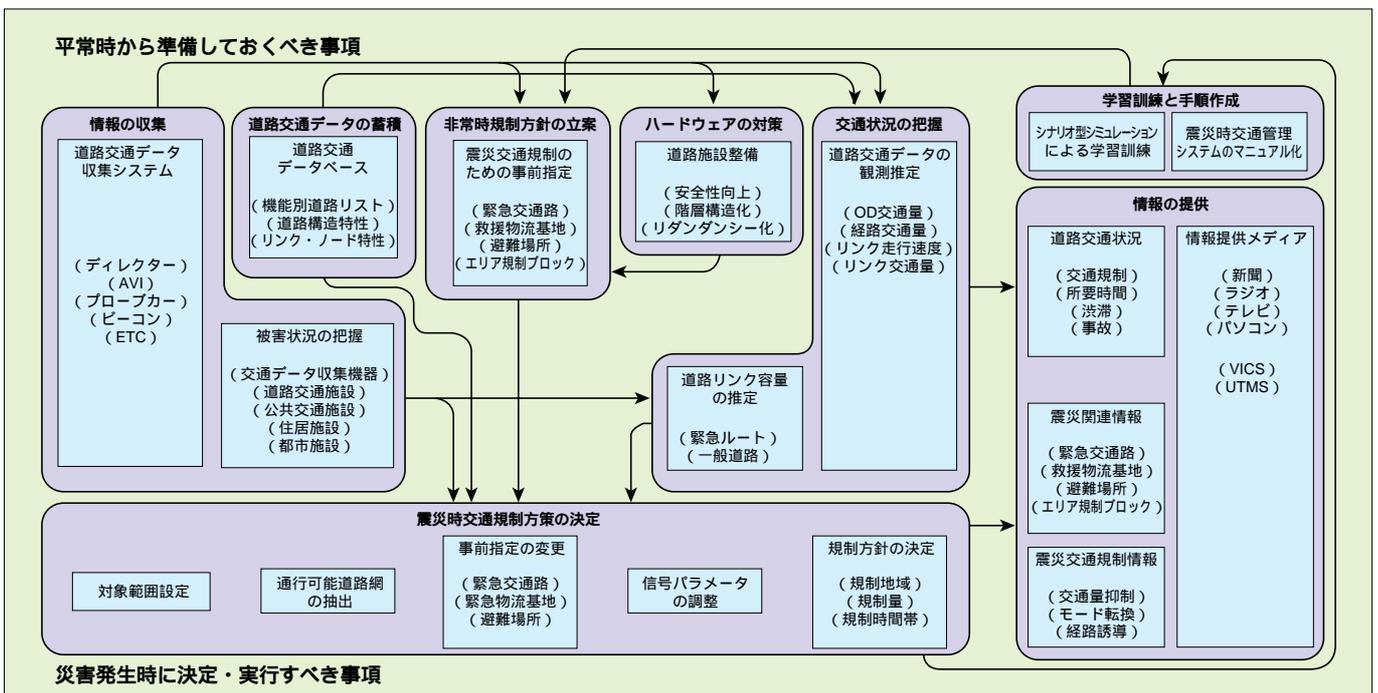
震災時の交通の機能低下を極力防止するには、災害発生前後を通じて、施設整備のハードと、施設運用のソフトの両面から、時間軸上で体系的に取り組む必要がある。震災交通対策で基本的なことは、まず施設整備面での震災対応が計画的に行われることであろう。損傷すれば影響が大きい交通施設の耐震性強化を重点的に進めることは当然のことであり、また被害があった場合は、早急にその施設の復旧作業を行う必要がある。道路網の階層構造化とリダンダンシー化は一体的に進められること

が望ましく、これが形成されておれば、道路網全体での処理機能の大幅な低下は回避することができる。緊急道路、救援物流基地等についても事前指定しておくことが大事であり、これらが被災した場合は、修正を直に行うとともに救援物資の輸送計画を策定しなければならない。

一方、ソフト面からの対策については、平常時からの継続的な交通データ観測がきわめて重要であることを指摘しておきたい。これは震災後においても、実効性の高い道路交通管理を行うには、信頼できる交通データが不可欠であるからである。普段から道路交通を常時観測するシステムが存在しておれば、道路網内のさまざまな交通挙動特性が観察でき、一部の交通感知器が被災で損傷しても、正常感知器データで補完することが可能である。交通データ観測分析システムが存在していれば、平常時と震災後の交通データと道路リンク容量から、震災前後の道路ネットワーク容量の変化量が算定され、これに基づき平常時の交通需要量との比較で規制対象交通量が得られる。

震災時の交通運用システムの実効性を高めるには、災害発生を想定した規制方法や実施プロセスをあらかじめ体系的に整理しておく必要がある。交通規制内容は被災状況や交通動態によって異なるため、実態に即した規制区域や規制時間帯の設定方法を決めておかなければならない。災害の規模によっては、道路や鉄道などの各種交通機関の連携協力を考える必要があり、これについても事前に連携のあり方をマニュアル化しておくことが望まれる。

こうしたハード、ソフト面からの対策はそれぞれ個別に機能するのではなく、相互に深く係わりあっている。



これらの対策を有機的に結合して実施することにより、震災交通マネジメントの効果がより大きなものとなる。わが国において震災は避けることのできない災害であるが、震災が発生しても、都市の機能低下を極力回避できる交通マネジメントのシステムづくりを早急に開発することが求められている。

なお、本稿に関連する研究調査は、(財)国際交通安全学会の研究プロジェクトとして実施されたものであり、ここに記して感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

(財)国際交通安全学会、阪神・淡路大震災の実態調査に基づいた災害時の道路交通マネジメントの研究、平成10年3月

## 2. われわれは何を学んだか

### (4) ライフラインの問題点

高田至郎

Shiro Takada

フェロー会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科

#### ライフラインの被災と従前の地震対策

1995年の阪神大震災では道路・鉄道をはじめ、上下水道・電力・ガス・通信などの都市ライフラインは徹底的なダメージを受けた。阪神高速道路の全面開通には約1年8か月間を要し、新幹線の開通には約3か月を要した。また、上水道・電力・ガス・通信はそれぞれ約10週間、2週間、13週間、1週間を要して全面的な機能回復に至っている。これほどの機能停止を受けたことは、日本の近代都市では初めての経験であり、世界にも例を見ないできごとであった。しかし、徹底的なダメージを受けたとはいえ、それぞれの都市インフラが従前に行ってきた地震対策が、もしなかったとしたら、都市インフラ被害の波及は拡大しており、市民生活や都市活動の復旧・復興は間違いなく、さらに長期間を要していたことは想像に難くない。地震発生時刻が幸いしたこともあるが、都市インフラに対する事業者の地震対策を今一度高く評価する必要がある。

#### 被災要因の分析

都市インフラの被災と復旧に長期を要した要因は以下のように考察される。まず第1に、直下型地震に伴う予想以上の高い地震動レベルである。道路や新幹線の橋脚・桁の破損はこれらの典型である。地震後は従来の約2倍の地震力にも耐える設計が提案された<sup>1)</sup>。上水道・電力・ガスなどの地中パイプラインについていえば、橋梁とは事情が少し違っている。最近の地震対策を施されたり、設計されていたものは99%地震に耐えることができた。ダメージを受けたのは最新の地震対策が施されていない老朽化した施設であった。地震の強さは予想を超えるものであったが、設計に余裕があったために、最新のものは直下型地震に耐えることができたのである。

それでも、かかるパイプラインの設計の基準は、阪神大震災以降に見直されて、直下型地震に対する設計指針が新たに生まれつつある。そこでは、従来の地震の約5倍の地震動強さレベルが配慮されている<sup>2)</sup>のが、一般的な傾向であるが、過大設計のきらいもあるように思える。直下型地震の発生メカニズム、地震動の性格がまだ十分にわからないために仕方ない措置ではあるが、今後の知見の集積によって見直しも必要となると思われる。第2には緊急対応の訓練不足を挙げることができる。これらの緊急対応のまずさは、その後のリアルタイム地震防災の胎頭を促すこととなる。阪神大震災後、各防災機関では被災情報・地震強度情報など緊急対応に必要な情報の収集と伝達を先端技術を駆使して実施するシステムの開発が活発となっている。GPS(人工衛星を使った位置確認システム)、GIS(地理情報システム)、センシングシステムなどである。緊急対応支援に必要な電子情報通信や映像画像処理技術などを防災に生かしていこうとする方向は今後ますます強くなっていくものと考えられる。しかし、これらの先端技術を使いこなすのは所詮、防災に携わっている人であり、緊急対応のキーは人の判断・行動にかかっているといえる。その意味で、意志決定を支持するシステムの開発も今後の重要な課題であろう。第3に都市インフラの相互影響は著しいものがあつた。道路・鉄道の破壊によって緊急対応は物や人の移動が甚だ困難なものとなった。防災における道路と電力の重要性は、地震以前から指摘されていたことではあつたが、電力は比較的早く回復したこともあって、道路の重要性が改めて強く認識されることとなった。これらの都市インフラはそれぞれ異なる監督官庁・事業主体によって運営されていたために、市町または県の地震対策本部が都市インフラの被災と復旧の状況を一元的に把握で

きなかったことが、都市インフラの相互影響を容易に解消できなかった原因の一つでもある。震後に改定された神戸市地域防災計画では、被災・復旧情報を市の防災対策室で一元的に管理するためのライフライン災害情報システムの設置が盛り込まれて、その実現を目指した調整が行われている。また、同じ道路下に埋設されたライフラインの被災状況を把握したり、復旧の進展度を相互に情報交換できるシステムとしてライフライン復旧連絡協議会の設置を決めている。都市インフラの相互影響は仕方がないとしても、その影響を最小限にするものは日常からの事業主体の情報交換であることは間違いない。“都市インフラ総合情報ネットワーク”を提案したい。現状では個々の都市インフラでは情報伝達システムは十分に整っているように思える。都市インフラ相互、そして統合化できるような上述のシステムを構築することは地域防災にとって有効と思われる。上述のネットワークの規模やその実現に向けて今後の詳細な検討が必要である。

#### 今後のライフラインシステム

地震後の都市インフラの復興については、施設耐震化、多重化・冗長性、分散化が再建の基本思想となっており、道路・鉄道・上下水道・電力・ガス・通信いずれの都市インフラも上記の考え方で復旧・復興が進められた。

施設の耐震化はやはり安全都市作りの基本である。地震によって施設がわずかな被害で収まれば、緊急対応やリスク対応はむつかしくないはずである。危機対応システム構築の重要性が阪神大震災以降に多く指摘されているが、何よりも施設耐震化への投資が重要である。共同溝や大容量送水管、液状化対策などが進められているが、コストパフォーマンスを日常の施設利用と関連して配慮していく必要がある。多重化・冗長性は各都市インフラの目指すところである。防災街づくりにシステムネットワークの概念を取り入れる必要があるが、防災投資との関わりで困難なことも多い。神戸市の山側を走る送



写真 ガス管路の復旧作業

水トンネルとは別に海側を走る大口径送水管を作る計画は大事業であるが震災復興のシンボル事業として実現段階にある。関西全域を覆う大阪ガスや関西電力の機能が停止した折に、地域をおおう巨大システムの欠陥が指摘されて、自律分散型のシステムの構築の必要性が議論された。しかし、現状のシステムを根本的に変更することは容易ではない。ガス・電力ではきめ細かいブロック化供給システムに作り替えることで、自律分散システムの概念を取り入れようとしている。一方、現在は高齢社会となり、循環型の社会へと変化しつつあり、価値観も多様化している。従来の都市インフラは道路・鉄道も含めて将来需要を予測して、それを満足するような都市インフラ建造を進めてきたが、社会の価値観の変化は地域のニーズやきめ細かいインフラのサービスを要求している。いわば事業者・行政によって進められてきたインフラ整備は一段落して、多様な社会の変化に対応できにくい硬直したインフラとなっている可能性も高い。今後は地域ニーズに対応できるフレキシブルなインフラ整備への転換の必要性が感じられる。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編
- 2) 日本水道協会：水道施設の耐震工法指針・解説，1997

## 2. われわれは何を学んだか (5) 震災直後の対応および情報の問題点

河田恵昭 Yoshiaki KAWATA  
フェロー会員 工博 京都大学防災研究所教授  
巨大災害研究センター

災害対応は最初の3日間だけが勝負ではない

災害や事故はいつも不意打ちにやってくる。これを日常から意識して生活するのは不可能である。そのようなことをすれば気が滅入ってしまうだろう。災害や不幸を早く忘れるのも私たちの知恵である。したがって、阪神大震災のような災害が発生すれば混乱するのは当たり前である。たとえ被害想定作業を終えていたとしても同じだろう。結論的に言えば、自治体も住民もよくがんばったと評価されてよい。ただ、問題なのは最初の3日間を乗り切れば、災害対応の全過程に成功したかのように錯覚することである。兵庫県が2000年1月に向けて、「震災対策国際総合検証事業」を展開中である。そこでの20の検証項目中、初動に関するものは、<sup>1</sup> 初期消火体制のあるべき姿は？、<sup>2</sup> 災害時に医療システムは十分機能したか？、<sup>3</sup> 初動体制の遅れと今後の課題は？、および<sup>4</sup> 全国、海外からの応援部隊は十分に活動できたか？、の4つに過ぎない。

直後の対応の基本とは

大混乱が起こっている最中の基本課題はつぎの6つである。<sup>1</sup> 人命救助、<sup>2</sup> 消火、広域延焼阻止、<sup>3</sup> 避難、<sup>4</sup> 災害医療の実施、<sup>5</sup> ロジスティックスの確保、および<sup>6</sup> 二次災害の防止である。大規模災害では、人命救助の担い手は近隣の住民である。したがって、日常の最低限の近所づきあいは必要である。消火では、自治体消防の協力（これは本来有料である。これが一因で、神戸

市も西宮市も応援要請が遅れた）をすぐに要請すればよい。経費は追って国が負担してくれる。人命救助と消火のどちらを優先させるかは、現地の状況によらざるを得ない。避難については、社会的弱者を考慮することがとくに必要である。災害医療、とくにトリアージやヘリコプターによる後送が行われようが、死者が木造家屋の倒壊によって圧倒的に出る場合（阪神大震災では死者の検視結果から、その90%以上が地震後15分以内の即死であった）、災害医療による生存者の急増を期待してはいけない。最後のロジスティックスは、人、もの、情報、資金の円滑な流れの確保である。

センスのある災害対応を目指して

応急対応がうまくいくための条件とは、<sup>1</sup> 準備時間がある、<sup>2</sup> 予算がある、<sup>3</sup> 法律や条令として文章に書かれている、<sup>4</sup> 任務・役割分担がはっきりしている、および<sup>5</sup> 人員と指揮者がいることであるといわれている。これらのどれ1つも不具合だと危機管理できないことになりかねないが、柔軟に対応してこそ危機管理といえる。準備時間を短くするには、1つは訓練であり、もう1つは仕事の流れを再検討し、無駄を省く努力である。予算については、今回の震災で支出した費目と経費を被災自治体が明らかにすることがまず必要である。文章に書かれているかどうかは、それが問題になったか、問題として考えられているかどうかによる。将来出てくるかもしれない被災シナリオ、たとえば、河川の洪水・内水、高

表-1 被災者が必要としていた情報の欠如

	被害事象	生活情報	救助・救出	援	復旧（インフラ）	復旧（ライフライン）
震災後 1 3 日	・地震規模・発生場所 ・余震の見通し ・被害状況 ・火災の情報 ・自身が安全かどうか ・危険箇所の情報	・避難先・安全な場所の情報 ・自宅の状況 ・被災者側からの情報発信手段がない	・家族・知人の安否 ・救助物資・機材の情報 ・けが人の救急・病院の受入れ状況について ・医療品に関する情報	・食料・生活物資の状況 ・水や食料の配給場所・時間	・被害状況 ・復旧見通し	・被害状況 ・復旧見通し
3 7		・風呂情報・保険 ・遺体の処置 ・住宅情報 ・入学試験の情報 ・開店している店の情報 ・銀行・金融関係の情報 ・がれき処理 ・ペットの処置 ・職場・学校の情報	・病院の診療（被災）情報	・救援活動の内容・場所 ・今後の救援活動の見通し	・交通規制 ・渋滞情報 ・復旧情報	・復旧情報
7 日		・就職情報 ・国や自治体の今後の対応			・復旧情報	・復旧情報
潜在 ニーズ	・津波発生の有無 ・土砂災害の危険性				・ダムの安全性 （ダム決壊の危険性） ・堤防破壊状況 （洪水の危険性）	・ガスタンクの破損の有無（爆発の危険性） ・石油タンクの破損の有無

潮，津波の市街地氾濫と地下空間水没に対して先手を打って対策を明文化しておくことが重要であろう。

情報からみた3つの課題

筆者が委員長を務めた（社）建設コンサルタンツ協会近畿支部に設けられた「湾域都市の水防災研究委員会」の報告書で，この震災の情報に関する課題を，つぎの3つに要約できるとしている。1) 震災直後に情報が不足していたことによる弊害，2) 被災者が必要としていた情報の欠如，3) 震災前の広報・啓発活動の不足である。まず，1) が原因となつて，1 行政の対応遅延，2 災害規模の把握の遅れ，3 被災者の初期行動の混乱，4 多様な被災者必要情報への対応不足による弊害，5 救助・救出活動の遅延，(電話回線の輻輳)，6 交通渋滞の発生である。

つぎに2) に関しては，表-1に示すような潜在的な必要情報にも着目する必要がある。

さらに3) に関しては，もし，事前の広報・啓発活動があればカバーできていた項目は，表2にまとめられる。1998年と99年には各地で水害が発生したが，とくに都市に住む市民の中に，水防活動は都道府県の仕事だと錯覚している人が圧倒的に多い。自治体全体にわたって，地震防災に熱を入れるあまり，風水害対策が手薄になっており，その隙を突かれて被害が拡大している。

情報課題を少しでも改善するために

よりよい方向を目指す立場から，改善策を提案してみよう。

1) データの収集体制の整備：二重，三重化が必要であり，1 コンビニエンスストアやガソリンスタンドなどを情報キー局に加える，2 自治体職員や退職した土木技術者を情報収集員として任命し，また地域住民に対する行政の二次情報を提供する，および3 種々の画像に

表-2 広報・啓発活動によりカバーできていたと考えられる項目

分類	内容
災害事象	・どのような被害が予想されるか？ ・災害危険箇所
生活情報	・非常時の行動マニュアル ・非常時持ち出し品 ・避難所の場所 ・情報の入手方法 ・各種手続きの方法 等
救助・救出	・自主防災・救助体制の確立 ・必要最小限の救助・救援物資の確保 ・近隣の住民の把握
救 援	・最低必要物資の自主確保 ・ボランティア登録
復旧（インフラ）	・避難路の広報・普及
復旧（ライフライン）	・井戸・湧水の位置情報（水の確保）

よる情報提供が挙げられる。

2) 被害予測システムの整備，3) データの発信方法の多重化と各メディアごとの役割分担，4) 情報システムのネットワーク化，5) 災害情報の共有化，6) 広域防災協力体制の強化，7) 被災者情報の一括入力と管理，8) 防災に関する知識の普及：これは，今後とくに重要な項目であり，つぎの内容で構成される。1 学校教育の場を活用した防災教育の実施，2 災害危険区域，常襲区域の明示，3 避難場所の明示と誘導，4 住民用の避難時行動マニュアルの作成，配布，説明などのリスクコミュニケーション，9) マスメディアに対するクライシスコミュニケーションによる対応。これは，災害後のあらゆる課題について考えなければならない点である。特にマスメディアに対する窓口の一本化は是非必要であり，かつ，災害対策本部や避難所での自由な取材の禁止やそれに変わる情報提供の場の設定など至急改善する必要がある。

2. われわれは何を学んだか  
(6) 災害ボランティア

渥美公秀 Tomohide ATSUMI  
Ph.D 大阪大学助教授 人間科学部

阪神大震災以降，日本海重油流出事故や各地の水害などでボランティアが救援活動に参加した。今や，災害時にボランティアが活動することは取りたてて不思議なことではなくなった。また，震災から約5年を経過し，被災地のNPO（非営利組織）の中には，緊急時における災害救援のみならず，平常時における地域防災，高齢

者・障害者福祉，外国人支援，まちづくりなど特定の分野で活動を継続したり，多様な市民活動を支援することを目的とした活動へと展開している組織もある。本稿では，緊急時，および，平常時の災害ボランティアについてわれわれが学んできた事柄をいくつか取り上げて考察する。

## 緊急時の災害ボランティア - 見え隠れする勘違い

阪神大震災を契機に、緊急時に向けて、ボランティアとの連携を射程に入れた防災計画やさまざまなマニュアルが提出されるようになった。災害ボランティアとの連携が公式に謳われ、緊急時におけるボランティア活動の進め方が整理されることは、ボランティアの活動を想定していなかった阪神大震災当時から見れば、大きな前進であろう。

しかし、ここに来て、何か大きな勘違いがあるのではないかという気がしないでもない。確かに、災害ボランティアは、災害時に救援活動に従事する(写真1)。しかし、計画通りにボランティアは来るはずだとか、ボランティアを動員・活用できるといった安易な想定がなされるようなら、事は重大である。そもそも、災害ボランティアは、災害救援の専門家のまねごとをしているのではない。また、災害NPOは、災害救援に携わる専門組織(例えば、自衛隊)の亜流ではない。このように言えば、災害ボランティアもNPOももっと専門知識や技能を身につけ、専門家との交流を図ればよいと指摘されよう。しかし、残念ながら、この指摘は当たっていない。また、マニュアルの整備やそれに想定された範囲内での訓練で事足りりとするのも問題である。災害時のボランティア活動は、マニュアル通りには進まないことが多いからである。

まずもって、災害ボランティアに求められる専門性について短絡的な考えに陥らないことが重要である。災害ボランティアは、災害救援に関わるのだから災害に関する知識を持っている方がよいという意見は正当だ。しかし、災害(に限らず一般の)ボランティアのもつもう一つの専門性を見落としてはならない。それは、さまざまな社会システムに関係しながらも、常にシステムの外にいて、「思わぬことを考えつく」という「専門性」である。したがって、災害ボランティアの「専門性」を活かすためには、彼らを既存の枠組みの中に「取り込む」のではなく、彼らをサポートしつつも、あえて枠組みの外

に確保しておくことが求められている。

ボランティアが既存のシステムと異なることは、ボランティア活動への参加理由を考えてみても理解できる。ボランティアが災害救援に参加するのは、救援に向かうことが義務だからではない。逆に、被災地に行く権利があるとか、善意に満ちてという一方的な話でもなからう。むしろ、ボランティアは、災害といういわれなき苦しみ・悲しみに直面している人々に思いを馳せ、いても立ってもいられないから救援に参加するのであろうし、災害NPOは、そういった人々の思いを被災者に橋渡しするために活動するのだと思う。そして「傍にいます」「関心があります」と、被災者に寄り添いたいから動くのである。こういったボランティア・NPOの特性をこそわれわれは学んだはずである。災害ボランティアやNPOへのサポートはますます必要であろう。しかし、彼らを既存の枠組みに吸収しようというのは、ボランティアやNPOに対する誤解ではなからうか。

## 平常時の災害ボランティア - 「防災と言わない防災」

災害ボランティアは、緊急時の救援活動のみならず、平常時の地域防災にも貢献する。その際にも、既存の防災活動とは異なった視点を用意できるのがボランティアの持ち味である。言うまでもなく、地域防災にとって、最も大切なことの一つは、地域への愛着と防災への関心の持続であろう。しかし、「地域に愛着を持とう」とか「防災への関心を持続させよう」といったスローガンを掲げて、功を奏さない場合が多い。もちろん、防災訓練など、地域防災を直接の目的に掲げた防災活動が、役に立たないと主張しているわけではない。ただ、地域への愛着や防災への関心の持続を実現するためには、何らかの「仕掛け」が必要であることも事実であろう。

例えば、阪神大震災を契機に設立された特定非営利活動法人日本災害救援ボランティアネットワーク(NVNAD, <http://apollo.m.ehime-u.ac.jp/nvnad>)では、「仕掛け」の一つとして、地域防災プログラム＝「わが街再発見ワークショップ」を実施している。これまで、地域の子ども会連絡協議会などの協力を得て、阪神間の複数の地区で実施してきた。参加者は、地域の子ども、保護者、ボランティア、およびNVNAD職員である。

まず、参加者を3グループに分け、グループごとに街を歩き回った。歩く中で、彼らは、「ちょっと気になる」ポイントを発見し、写真やメモで記録を取った。例えば、子どもが、「防犯連絡所」の表示を見つけたものの、まだ習っていない漢字で書かれているために読めないことを指摘した(写真2)。次に、各グループで、記録した写真やメモを使って、「ちょっと気になるわが街マップ」を作った。参加者は、写真を切り貼りしたり、イラストを書くなどして、楽しみながらマップを作成した。



写真-1 緊急時の活動 - 南投縣で被災者に話を聞く

マップ完成後、グループごとに発表を行い、自分たちのまちについて話し合った。

本ワークショップは、防災と直接は無関係な単なる地域活動に見えるかもしれない。確かに、参加者たちに尋ねてみたとしても、おそらく、本ワークショップが地域に対する愛着や防災への関心を高めるという目的を持っていたことは意識していなかっただろう。しかし、本ワークショップでは、一見、防災と直接は無関係な地域活動を楽しむ中で、参加者は、地域を語り、防災について考え、最終的には、「意図せざる結果」として、地域への愛着や防災への関心を向上させている。いわば、「防災と言わない防災」である。

このように、災害 NPO やボランティアは、平常時において、既存の地域組織と連携し、「地域防災」という目標をあえて掲げずに、地域活動をすることで、「意図せざる結果」として、地域防災力の向上に貢献しているのである。

### 災害ボランティアを含んだ社会に向けて

5 年前の阪神大震災の時、数多くのボランティアがわれわれ被災者を思い、駆けつけてくれた。われわれは、ボランティアが被災者に思いを馳せ、「傍にいてくれること」、そして、彼らが「思わぬことを考えつく」という“専門性”を持つことを学んだ。そして、今や災害 NPO も生まれ、地元の既存組織やボランティアと



写真-2 平常時の活動 - わが街再発見ワークショップ

も、「防災と言わない防災」といった独特の活動を通じて、平常時から地域防災に貢献していることを知った。

これからは、緊急時に向けて計画を立てるにしても、計画通りに実行していくことを最善とせず、災害ボランティアの“専門性”を念頭に置いて、被災者の立場に立った救援と日々の工夫ある防災活動に励んでいくべきだと思う。われわれは、阪神大震災以来の災害ボランティアの活動を通じて、災害ボランティアを含んだこのような社会を構想すべきだということを学んだのではなからうか。

## 3. われわれは何を生み出したのか (1) 設計地震動の設定方法

大町達夫 Tatsuo OHMACHI

正会員 工博 東京工業大学大学院教授 総合理工学研究科  
人間環境システム専攻

### 地震動特性の支配要因

まず地表での地震動は、どんな要因に支配されるかを考えてみよう。図-1 に示すように震源断層が破壊して発生する地震波は、地殻を伝わって観測地点直下にある地震基盤と呼ばれる岩盤に到達する。ふつう、地震基盤と地表の間には軟らかい表層地盤が存在するので、地震波はそこで反射屈折を繰り返しながら地表に到達する。したがって地表での地震動の特性、たとえば振幅や継続時間などは、

震源特性：震源から放射される地震波の特性。

伝播特性：震源から観測地点の基盤までの伝播経路の

特性。

地盤特性：観測地点の地盤による増幅特性。  
の3 要因に支配されると考えることができる<sup>1)</sup>。

震源特性は、震源断層の破壊様式によって決定される。伝播特性は、地震波が地殻内を伝わるにつれて振幅が減衰する特性であり、幾何減衰、粘性減衰、散乱減衰の3 つに分けられるが、主として震源からの伝播距離によって定まり周期にはあまり依存しないので、一般に距離減衰とも呼ばれている。とを合わせて地震動の周期成分を模式的に表すと図-2 のようになり<sup>2)</sup>、振幅はある周期（折れ点周期と呼ぶ）までは一定で、それ以上

では周期の2乗の傾きで減少する。また地震のマグニチュード(M)が大きくなると、折れ点周期も長くなるため、全般に振幅が大きくなるだけでなく、長周期成分の割合が高くなる。一方、地盤特性は、周期に大きく依存し、地表における地震動の周期特性は地盤特性の影響が強い。地盤特性は、地盤のS波速度( $V_s$ )構造をもとに解析的に推定できるが、常時微動や地震動などの実測によっても推定できる。

地震基盤としては $V_s$ で3 km/s程度の地殻の最上層が適切と考えられている。しかし、その深さは東京や名古屋、大阪では地下2 km前後に達するため、そこまでの深部地盤構造が調べられている地域は限られる。そこで、支持力が十分あり $V_s$ が少なくとも300 m/s以上で非線形化の可能性がなく、上層の $V_s$ との差が大きい軟岩層を工学的基盤と呼び、地震基盤の代用とする場合もある。図3は基盤の設定位置による地盤増幅率の違いを示しているが、この違いは短周期では比較的小さく長周期では大きいので、長周期構造物を対象とする場合には地殻の最上層までの構造を明らかにする必要がある<sup>1)</sup>。

以上より、震源(source)と対象地点(site)を特定して、それらに適合した(source-specificでsite-specificな)設計地震動を設定することが基本的に重要と言える。

### レベル2地震動と設定方法

1995年兵庫県南部地震後、土木学会では従来の耐震設計で考慮されていた強さの地震動(レベル1地震動)に加え、直下地震による地震動のように、構造物の供用期間中に発生する確率は低い極めて強い地震動(レベル2地震動)を耐震設計で考慮すべきことが提言された。第1次(1995年5月)、第2次(1996年1月)の提言以降も引き続き検討が重ねられ、レベル2地震動の概念や設定方法が次第に明確化されてきた。これらを要約すれば、以下のようなものである。

- 1) 定義：レベル2地震動とは、構造物の耐震設計に用いる入力地震動で、現在から将来にわたって対象地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動である。
- 2) 設定方法：レベル2地震動は、過去の地震履歴、活断層の分布や活動度、対象地点周辺の地盤状況、強震観測事例などの関連資料を十分活用して設定する。
- 3) 下限：対象地点の周辺に活断層が知られていない場合でも、レベル2地震動の設定に際しては、M 6.5程度の直下地震が起きる可能性に配慮することとし、これによる地震動強さをレベル2地震動の下限とする。

設定手順としては、まず対象地点に最大級の地震動強さを及ぼす可能性のある震源断層を、過去の被害地震記

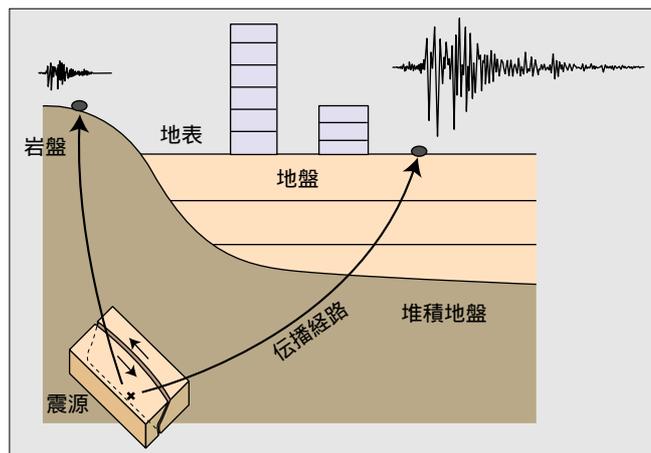


図-1 震源から地表までの地震波の伝播

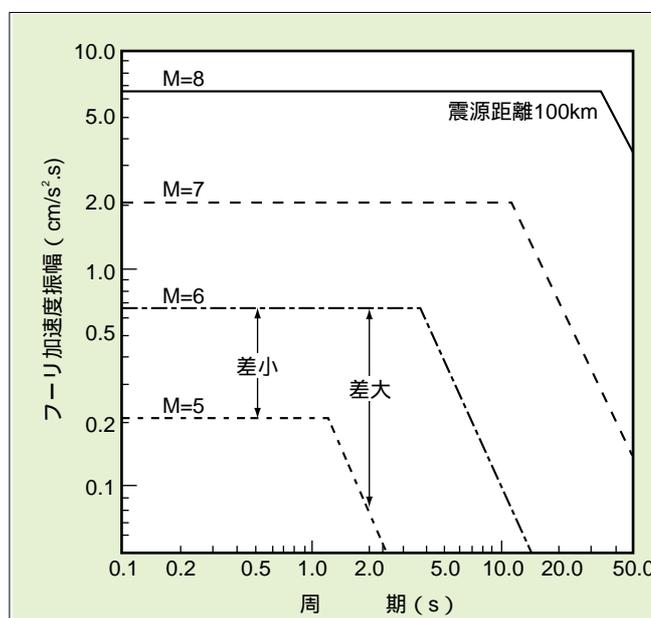


図-2 基盤での地震動スペクトルの模式図

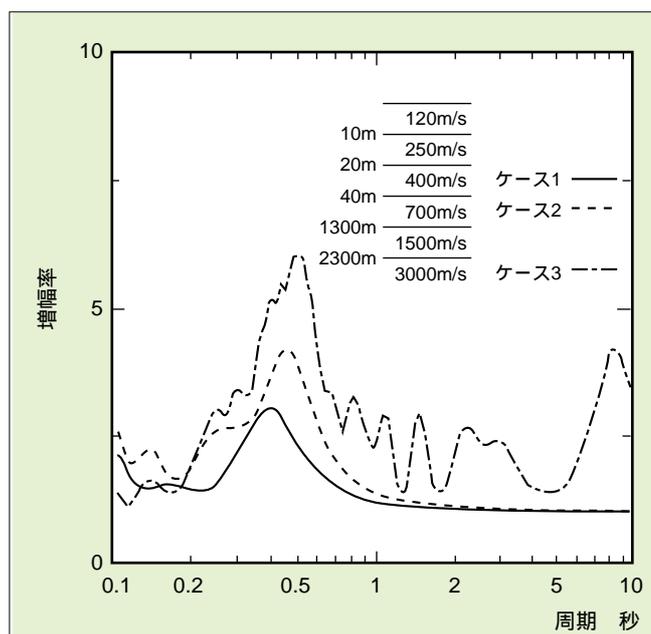


図-3 基盤設定の違いによる地盤増幅率の違い



録や最近の活断層調査結果をもとに選定する。次にその破壊メカニズムを想定して、地震動を適切に評価する。

評価手法は大別して、経験的手法、半経験的手法、理論的手法の3種類があるが、それぞれの長所や短所などの特徴を十分に理解して適用する必要がある。現状での周期範囲の目安は、経験的手法はせいぜい5秒以下、理論的手法は1~2秒以上、半経験的手法はそれらの中間的な広い範囲で適用できるが、想定断層位置で発生した中小地震の観測波形を必要とする。

地表に活断層が確認できない地域でも、伏在断層による直下地震の可能性は否定できないため、上記3)の下限が必要となる。この下限は、気象庁震度階に換算すると硬質地盤上で震度6弱相当と考えられる。震度6弱といえば、立っていることが困難になり、地割れや山崩れなどが発生する地震動強さであり、重要度の低い構造物は損傷しても、重要度の高い構造物には機能維持が要求されるであろう。

このように、レベル2地震動は自然的ないし物理的要因をもとに定め、構造物の重要度は保有すべき耐震性能に反映させるという考え方は、最近の性能設計の流れとも整合している。

### 問われる技術力

従来の耐震設計では、地震荷重は設計震度で表現さ

れ、これを設定するのに専門的な技術や知識は不要であった。建設地点周辺での活断層の分布状況や大地震の発生履歴、あるいは断層破壊過程や構造物の地震応答特性などを知らなくても、設計基準書(マニュアル)に示された数値を機械的に拾っていけば地震荷重は自動的に求まったからである。そのため地震荷重の設定は技術の本質とは無縁となり、地震という自然現象や地震荷重の工学的意味を理解しないでも、耐震設計が行えるという奇妙な風潮が広がった。

しかし本来、耐震設計は対象構造物に危害を及ぼす可能性のある地震を想定して行うものであり、設計地震動の設定は技術的な責任と醍醐味を伴う、設計作業の中で最も重要な部分である。設計者が、この責任と醍醐味を放棄し、マニュアルから黙々と地震荷重を拾い出し設計作業を繰り返しているだけでは、活気に溢れた耐震技術の発展は望めない。従来のように権威者の判断に全面的に頼るのでなく、設計者自身が自己の責任のもとで独自の技術力を最大限に活かして、より合理的な設計地震動を設定しようとする努力が、今後は求められるであろう。

### 引用資料

- 1) 地盤工学会：地震動，ジオテクノート，1999
- 2) 太田裕・鏡味洋史：耐震工学上考慮すべき地震波の周期の上限と振幅の下限，日本建築学会論文報告集No.249，pp.53-60，1976

## 3. われわれは何を生み出したのか

### (2) 性能設計法および耐震設計基準

西村昭彦

Akihiko NISHIMURA

フェロー会員

(財) 鉄道総合技術研究所

### それは兵庫県南部地震から始まった

兵庫県南部地震により土木構造物が大被害を受けたことは記憶に新しいところである。この地震が耐震設計に携わる人々に与えた衝撃は大きく、その見直しが地震直後から関係機関で始まった。土木学会では「土木構造物の耐震設計に関する基本問題懇談会」を組織して検討を重ね、その成果は「土木構造物の耐震基準等に関する提言」としてまとめられ、1995年5月および1996年1月の2回にわたって発表された。

これを受け関係各機関の関係者のみでなく、大学や民間の研究者でも地震動、構造物の被害解析や耐震設計の研究が大いに盛り上がりを見せ、耐震設計に関する技術は格段に進歩した。そして兵庫県南部地震から5年近く

が経過した現在、各機関の新しい基準もほぼ策定された。その中にはこれまでの設計法と異なる新しい耐震設計法が導入された基準もある。すなわち性能設計の本格的な導入である。そしてこの方法はISOなどの基準と相まってますます盛んになろうとしている。まさに新しい耐震設計は兵庫県南部地震から始まったといえる。

### なぜ被害は生じ、新しい耐震設計が必要となったか

過去にも被害を伴う地震は多く生じた。震度法が提案される契機となった濃尾地震(1891年)、土木構造物に本格的に震度法が採用された関東地震(1923年)をはじめとしてそれ以降も北丹後地震(1927年)、鳥取地震(1943年)、東南海地震(1944年)、南海地震(1946年)

などが数年おきに生じている。しかし福井地震（1948年）以降1000人以上の人的被害を伴う地震は発生しなかった。新潟地震（1964年）は砂地盤の液化化で注目されたが人的被害はわずかである。また、構造物も大被害を生じなかった。この間、各地震被害に基づき、耐震設計法も基本は震度法であるが改良が重ねられたことから、耐震設計が進歩したためもう大きな被害は生じないのではないかと考えられるようになった。現在では福井地震は兵庫県南部地震に勝るとも劣らない強い地震動を伴ったと推定されているが、地震記録が無いためあまり耐震設計に寄与しなかった。また、設計水平震度を0.6程度にすべき（一般には0.2が基本）という意見もあったが、設計法が現在のように発達しておらず、このような大きな設計震度には対応できず見送られたようである。しかし、安全神話は兵庫県南部地震によりそれが幻想であることを思い知らされた。

では、震度法のどこがまずかったのか、震度法というより許容応力度設計法の欠陥だといえるが、この設計法では基本的に重量に0.2ないし0.3（これを設計水平震度という、地盤や構造物特性によってこの値は変化する）を乗じて得た力を水平に作用させたときに、構造物に生じる曲げやせん断力による部材応力度が許容応力度を上回らないように断面諸元を決定する。この許容応力度は構造物が降伏しないように少し余裕を持って定めてあり、降伏以降の構造物の挙動は一般に検討しない。しかし、大きな地震動が生ずると構造物は降伏し、非線形の領域に入る。このことはすでに多くの設計者が知っていたが、鉄筋コンクリートで作られた構造物は降伏以降も靱性があるから大丈夫と考えていた。降伏点以降は構造物の挙動は非線形の性状を示すが、この計算は複雑でコンピュータおよび解析プログラムがなければ非常に困難であり、非線形性の設定も実験等から定める必要があるが、データの蓄積も十分でなかったため、検討を行わなかった面もある。しかし、福井地震以降大きな被害を生じる地震がなく、また大きな地震記録がなかったこともその進歩を妨げた要因の1つである。さらに、設計震度そのものがやや曖昧で、地震動の加速度と直接結びついていないため、地震動の記録が採れてもそれを設計にすぐに反映させられなかった。

以上の事項や兵庫県南部地震の被害から、耐震設計にあたっては、内陸型地震によって発生する大地震動を考慮すること、部材の安全性評価においては破壊モードを考慮すること（主要な部材にはせん断破壊を生じさせない）、応答値の算定にあたっては表層地盤の動的性質を考慮することおよび構造物の動的解析を行うこと、また、内陸型地震動を考慮すると地震動が飛躍的に大きくなるが、その地震の再現期間が数百年以上の長期にわたることを考慮すると、安全性の照査においては構造物の

持つ変形性能（耐震性能）を評価し、損傷は許容するが破壊しないことを基本とするのが合理的であることが容易に推定される。

言い換えれば、土木技術者それも耐震設計担当者にのみ通ずる言葉で表現していたもの（設計震度、許容応力度）を、一般にも通用する言葉で表現する（地震動、構造物の破壊の限界等）ということである。そして現在の技術はこれを可能にした。これは地震観測や断層の破壊メカニズム等の研究、部材および地震の非線形性の研究、解析技術の進展に負うところが大きい。またコンピュータの発達も大いにこれを助けたといえる。

### 性能設計に基づく耐震設計の考え方

性能設計は各種の定義がなされているが、ここでは構造物に必要な性能（耐震設計の場合は耐震性能）を明示してそれを実現する設計法とする。そしてこれに必要な条件は定義する性能および照査手法が合理的であり、今後の技術の発展に寄与できる、すなわち設計手法に対する自由度が大きいことであろう。また、耐震性能の表現はわかりやすい必要もある。この観点から制定された新しい耐震設計法の考え方を概説する。

性能設計に基づく耐震設計では、まず目標とする構造物の損傷程度（耐震性能）を定める必要がある。耐震性能は損傷制御の観点からそれを構成する部材（あるいは基礎）の損傷を考慮して、地震後に必要となる補修や補強の程度から定められている。そのグレードは3段階で、(1)地震後にも補修しないで機能を維持できる、(2)地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる、(3)地震によって構造物全体が崩壊しないとなっている。

そして、この性能を満足することを照査するための地震動は、構造物の供用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動（L1地震動）、と陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震や内陸地震による地震動のように供用期間中に発生する確率が低いが大規模な地震動（L2地震動）の2つである。そして、L1地震動では(1)の性能を、L2地震動では構造物の重要度に応じて(2)ないしは(3)の性能を満足するように設計する。

また、地震動によって生じる構造物の応答値は動的解析を用いる。この場合それを構成する部材（あるいは基礎）の非線形性を考慮する。そして、動的解析の手法は性能設計の精神に基づいて、その基本の考え方が示されており、各種の手法を用いることが可能となっている。その基本とは、(1) FEM等に代表される地盤と構造物を一体としてモデル化し、基礎地震動を用いて動的解析を行う方法、(2)基礎を支持ばねに置換したモデルに地表面の地震動を作用させて動的解析を行う方法、および(3)非線形応答スペクトルを用いる簡易な方法である。



以上述べた設計法の基本的な考え方は先に述べた土木学会の「土木構造物の耐震基準等に関する提言」に沿ったものといえる。この設計法により構造物の地震時の安全性はかなり明確になったといえるが、地震動、構造物

の塑性領域における挙動あるいは構造物を支える土の動的性状にはまだ未解明な部分もあり、今後一層の努力が必要である。

### 3. われわれは何を生み出したのか (3) 道路施設の耐震化対策

保田雅彦 Masahiko YASUDA

フェロー会員 工博 建設省土木研究所 耐震技術研究センター長

#### 耐震性確保に向けた新しい取り組み

阪神淡路大震災では、想像を超える強い地震動により、橋梁・盛土・擁壁等の道路施設に甚大な被害が生じた。道路施設被害等に起因する道路網の寸断は、短期的には緊急活動や復旧活動に、中長期的には地域経済や国民生活に大きな影響を及ぼした。建設省ではこれを教訓として、地震防災対策特別措置法（平成7年7月施行）に基づく緊急輸送道路ネットワーク計画の策定や、道路橋を対象とした震災対策緊急橋梁補強事業の実施等、安全で安心な国土構造を創出するための道路震災対策を推進している。本稿では、道路施設の耐震性確保に向けた新しい取り組みの一例として、道路網のリスクマネジメントの基本方針、道路施設の耐震技術基準および耐震補強技術の動向を紹介する。

#### 道路網としての震災対策

道路網の震災対策は、想定される地震被害を施設の耐震化対策により最小化するリスクマネジメント（震災予防計画）と、危機的状況下での緊急活動を効率化することにより震災の影響を抑止するクライシスマネジメント（危機管理計画）に分類できる。リスクマネジメントにおいては、道路網の構成要素である各種施設の耐震化対

策、および、道路網や道路区間としての耐震性評価が重要である。ここに各種施設の耐震化対策は、適切な耐震技術基準に基づく新設構造物の設計施工と、既設構造物の耐震補強により行う。

一方、道路網や道路区間としての耐震性評価に際しては、地震被害がもたらす機能支障を抑制する観点から、広域幹線道路、緊急輸送道路、一般道路等の属性に応じて、地震時に期待する耐震性能を明確にしておく必要がある（図-1）。広域幹線道路と緊急輸送道路では、道路施設の供用期間中に1~2度発生するような地震に対して通行支障を生ずることなく、また確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対しては限定された損傷にとどめ、応急対策により緊急車両が通行できる程度の耐震性能が求められる。

#### 道路橋・道路土構造物に対する耐震技術基準の開発

兵庫県南部地震による被害の経験を踏まえ、道路施設の耐震技術基準が順次改訂されてきた。橋、高架の道路の技術基準である道路橋示方書は1996年11月に、道路盛土、擁壁等の土構造物の技術指針である道路土工指針は1999年3月に改訂された。

兵庫県南部地震では、世界的に見ても経験したことがない大きな影響を構造物に与える地震動が観測されるとともに、橋梁では特に古い時代に建造されたものを中心に橋桁の落下を始め、多数の橋梁で甚大な被害が発生した。道路橋示方書は、被害原因の解明のために建設省により設置された「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」からの提言、土木学会による土木構造物の耐震基準等に関する提言を基本として改訂された。道路橋示方書の改訂における最も重要な点は、新たな設計地震動の導入と目標耐震性能を明確化した性能明示型の耐震設計法の導入、および 地震時保有水平耐力法の導入、

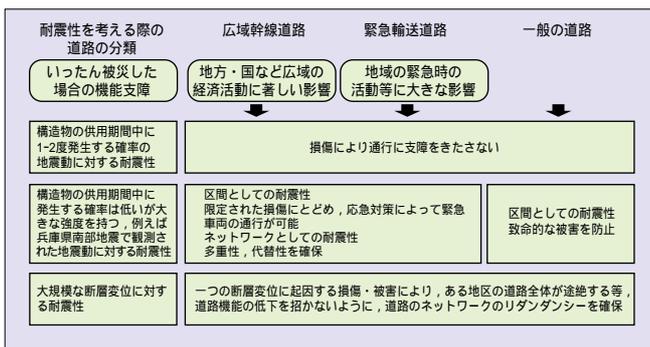


図-1 道路の属性に応じた耐震性確保の考え方

の2点である。すなわち、設計上考慮すべき地震動として、プレート境界型の大規模な地震による地震動に加え、1995年兵庫県南部地震のようなマグニチュード7級の内陸直下型地震による地震動が追加された。さらに、目標とする橋の耐震性能が明確化されるとともに、これを達成するための方法が明確に規定された性能明示型の耐震設計法が導入された。また、橋全体系として変形性能を向上させ、耐震性を高めるため、鉄筋コンクリート橋脚のみならず、鋼製橋脚、基礎、支承等に対して、大規模地震時に構造物がどのように挙動するかを追跡して設計する地震時保有水平耐力法の考え方が導入された。

道路土工指針においても、耐震性の確保に関する新たな考え方が充実された。重要度や復旧の難易度に応じて、発生する確率の高い中規模地震を考慮するものと、復旧が困難で、かつ、極めて重大な2次的被害のおそれのあるものを対象に発生する確率は低いが大きな強度をもつ大規模地震を考慮するものに区分して耐震設計を行う考え方とともに、それぞれの地震動に対応した設計震度の設定法や安定評価手法が示された。

#### 道路施設の耐震補強技術

兵庫県南部地震の経験を踏まえ、地震に強い道路ネットワークの確立に向け、各種道路施設の耐震補強対策が実施されてきている。道路橋に関しては、1980年よりも古い耐震基準に準拠して設計された高速自動車国道、都市高速道路、および一般国道などのうち、立体交差など緊急性の高い約3万橋脚が平成7～9年度までの震災対策緊急橋梁補強事業として実施された。また、この他に1996年から1997年にかけて実施された道路防災総点検に基づき緊急輸送道路のうち耐震補強が必要とされる約2万橋脚について平成10～14年度の新道路整備五箇年計画期間内の概成を目標に現在実施されている。耐震補強技術に関しては、兵庫県南部地震で経験したような

強い地震力に対して橋が耐えられるように補強するためには、落橋など致命的な被害に結びつきやすい部材のぜい性的な被害を防止するとともに、橋全体系としてねばり強い構造とするための技術開発が必要とされた。例えば、橋脚では基礎への影響を最小限にするとともに地震後の残留変形を少なくすることに配慮し、橋脚躯体の曲げ耐力とじん性の両者の向上が期待できる各種の補強工法が開発されている。さらに、炭素繊維シート等の新素材を活用した耐震補強技術、橋全体としてのトータルな耐震補強技術などさまざまな新しい耐震補強法が開発、実用化されつつある。

道路盛土、擁壁などの土構造物に関しても、上記の道路防災総点検に基づき大まかな要対策区間が抽出されている。土構造物はそのストックが膨大であるとともに、比較的復旧が容易であるという特性を踏まえ、特に重要度の高い区間を中心に今後経済性に優れた耐震補強技術の開発とその適用が必要とされている。

#### 道路にかかわる耐震技術開発の新たな方向

建設省では、顕在化している社会問題を解決し活力ある社会を築くことを目的に、1998年11月に新道路技術五箇年計画を策定し、現在、道路環境の改善、道路と生活の安全・安心の向上、道路交通の効率性の向上など道路技術にかかわる広範囲の新しい技術開発を推進している。道路と生活の安全・安心の向上の課題の一環として次世代の耐震技術に関する研究開発を推進している。道路網の耐震性評価などリスクマネジメントに資する研究開発や、地震ハザードマップの作成手法の開発、断層条件をより合理的に考慮し、実務レベルで活用できる設計地震動の設定手法の開発、国際化・コスト縮減・新技術の導入に資する性能に基づく道路橋の耐震設計法の開発等を目標に、研究委員会の設置や共同研究などを通じた産学官の協力を念頭に次世代につなげる研究開発を実行中である。

### 3. われわれは何を生み出したのか

## (4) 新たな港湾構造物の耐震設計法

菅野高弘 Takahiro SUGANO

正会員 博士(工博) 運輸省港湾技術研究所  
構造部 構造振動研究室長

#### 神戸港が全滅だって ケーソンが5mも動いた？ エプロンが3mも沈下？

1995年1月17日午前5時46分に発生した兵庫県南部地震において、確かに港湾施設は過去に例のないほどの被災を受けた。さて、壊滅的な被災(図-1<sup>1)</sup>)を受けて2年後に完全復旧した神戸港であるが、この間どのような状況にあったかを時系列的に見てみると(地震発生からの日数で表示)<sup>2)</sup>,

(1) 緊急対応段階 1日～3日目：1月17日当日に航空機の臨時便が設定されるなど被災が軽微だった関西空港を活用したものと、ヘリコプターによる被災地への輸送モードが顕著であった。陸上輸送も被災地外で活発化した。残念ながら港湾施設の使用状況は確認できていない。電気・電話は3日目までに90%程度回復。

(2) 応急対応段階 4日～14日目：緊急物資搬入のための船舶(自衛艦、海上保安庁艦艇、一般船舶など)が被災した岸壁に接岸している。また、旅客船・フェリーによる人員の輸送(買い出し、慰問等)が陸路の復旧の遅れや交通渋滞を回避する上で重要な役割を果たした。例えば、外航旅客船オリエントビナスは1月20日から2月1日まで神戸港に接岸し、救護・救援関係者の宿泊施設として1日最大1000人が利用した。

(3) 復旧対応段階 15日～50日目：ヘリコプターによる輸送が減り、道路の復旧に応じて陸上輸送が増えてくる。海上輸送は、旅客船・フェリーによる人員の輸送が陸上へ移行する時期である。応急対応段階から復旧対応段階までの間に、被災者への食事・給水・風呂・トイレ・宿泊施設の提供・復旧支援要員の宿泊所・医療活動拠点として船舶が利用された。被災原因の究明のためまさ土の凍結サンプリングなどの地盤調査、被災調査・数値解析・水中振動台模型振動実験を精力的に実施。

(4) 復興対応段階 51日目～：各輸送モードが救援活動から復興活動へ移行。復旧工事計画を岸壁の供用と工事のバランスを考慮し策定し、暫定使用岸壁に船舶が接岸し荷役を行っている隣で復旧工事を行い、工事完了後に供用岸壁をシフトさせ、新設工事とは異なった海域状況・陸上状況において復旧工事が実施された。

被災直後の混乱した時期(～3日目まで)の正式な記録は残っていないが、「壊滅的な被災を受けた」神戸港において、緊急物資の輸送・海上支援船・人員の輸送・被災者宿泊・支援要員の基地として船舶および係留施設が活用されている。このような被災経験から重力式の岸壁の場合には、(被災変形率) = (岸壁水平移動量 ÷ 岸壁高さ) を指標として、どの程度の被災岸壁に船舶を接岸したのか実績を調査したところ、最大被災変形率 = 20～30%の岸壁にも接岸していることが判明した。接岸岸壁の選択には、陸上とのアクセスの難易なども検討事項となっており、被災変形率のみで決まったわけではないが、例えば10mの岸壁では2～3mの水平変位の発生した岸壁でも接岸したことになる。

#### 21世紀へー港湾施設の新しい耐震設計の考え方

耐震強化岸壁：1983年日本海中部地震による秋田港の被災を教訓として、設計震度0.25の高い耐震性を有する岸壁を各港に配置し、当該地域で想定される地震動レベルをはるかに超えた地震が発生しても、緊急物資の荷役・救援活動などに地震直後から機能を果たせるようにとの思想で整備されてきている。しかし、1995年兵庫県南部地震の教訓から、岸壁のみが耐震強化されていても、荷役施設・エプロン・臨港道路などが破壊された場合には港湾としての機能を保持しきれないことから、これらの施設も含めた「耐震強化施設」として全体的に耐



図-1 神戸港の復興工事箇所(1995年5月現在)

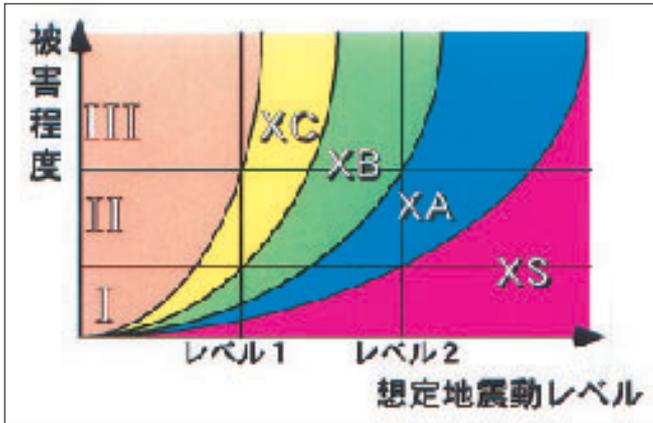


図-2 耐震性能概念図

震性を評価することとした。また、構造形式の多様化（地震時の応答特性が異なるケーソン式・栈橋式・矢板式・セル式など）をはかることとした。

レベル1・レベル2地震動：レベル1地震動に対しては従来の「震度法」で対応できるものと考えられるが、レベル2地震動に対しては、「震度法」のみでは対応できないため、「耐震性能」を規定した上で評価することとした。

耐震性能設計：港湾構造物の場合、多様な構造形式・機能を有することから、対象施設の特性・機能などを勘案して許容被災程度を設定する。耐震性能は図-2に示すような概念を考えており、縦軸に示す許容被害程度は、施設の機能低下の影響・本格復旧の難易（費用・時間）から表-1のように設定される。耐震性能のグレードは図-2においてXS, XA, XB, XCの4グレードとし表-2のように分類される。「耐震強化施設」は、概ねXSグレードの耐震性能を保持することを目的として設計されることになる。

変形照査：設計対象施設のレベル2地震動に対する挙動を把握し、XSグレードに相当するかを確認する。「震度法」の安全率では、変形量を把握できない、岸壁と背後のエプロン・荷役機械などの変形を評価する必要があること、液状化対策の効果を評価する必要があること、以上の要求から、地震時の地盤の変形・強度特性を考慮

表-1 被害程度分類

許容被害程度ランク	機能に関する被害程度（応急復旧の難易度）	本格復旧に関する被害程度（本格復旧の難易度）
被害程度	応急復旧は不必要、または、簡易な応急復旧により機能回復	無被害、または、軽微な被害
被害程度	短期間の応急復旧により機能回復	中程度の被害
被害程度	短期間の機能回復は困難	著しい被害を受けるが、崩壊はしない

表-2 耐震性能のグレード

グレード	要求される被害の程度
XS	レベル2地震動に対して被害程度にとどまる。
XA	レベル1地震動に対して被害程度、レベル2地震動に対しては被害程度にとどまる。
XB	レベル1地震動に対して被害程度、レベル2地震動に対しては被害程度にとどまる。
XC	レベル1地震動に対しては被害程度、レベル2地震動に対しては、万一施設の崩壊があった場合でも周辺に影響を与えない。

できる十分信頼性の担保された地震応答解析または模型実験を実施する。

### 大正13年？ 機械屋と土木屋？ 腐れ縁「液状化」と地震被害？

地震時土圧：現行設計法は、大正13年に発表された物部・岡部の地震時土圧を使っているが、構造物と地盤の相互作用という観点から重力式岸壁を対象とした1G場（写真-1）・遠心場模型振動実験・現地観測に基づき合理的な設計論<sup>3)</sup>の提案を行うべく共同研究中（北海道大学・北海道開発局・港湾技術研究所）であり、釧路港において模型実験とほぼ同様に計測器を配置した実物の岸壁を用いた実証実験を開始する予定である。

コンテナクレーン：従来、港湾構造物である岸壁と荷役機械であるコンテナクレーンは別個に設計されてきた。現在、栈橋とコンテナクレーンの動的相互作用に関する研究<sup>4)</sup>を行っており、1/15模型による振動実験・数値解析手法の開発（簡易モデル・詳細モデル）、動的

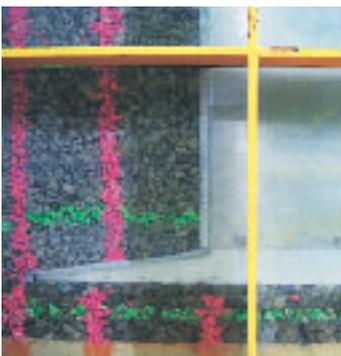


写真-1 水中振動台による1G場模型実験（ケーソンと裏込石の地震時挙動の水中撮影スナップショット）



写真-2 1/15縮尺模型振動実験（栈橋とガントリークレーンの連成解析へ）



写真-3 薬液注入試験施工の掘削検証（超微粒子シリカ、ゲルタイム8時間、浸透注入、浸透範囲200cm以上、液状化対策のため必要強度は5～10kPaに設定）

相互作用および脚の浮き上がり(写真-2)を考慮した設計体系の構築を行っている。

液状化対策：既往の地震被害を分析すると液状化がキーワードとして第一位を占めている。新設の施設では液状化対策を行っているが、問題は供用中の施設の液状化対策である。特に利用率の高い施設に対して液状化対策のために供用を停止することが難しいため、機能停止を伴わない効果的な液状化対策<sup>5)</sup>(写真-3)が必要とされる。また、既存構造物直下など施工面での難しさを伴う。

#### 参考文献

- 1) 運輸省第三港湾建設局震災復興建設部：阪神・淡路大震災 復興にむけて、No.3, 1995
- 2) 高橋宏直・中本 隆・吉村藤謙：兵庫県南部地震時の震災直後における海上輸送モードの対応状況に関する分析，港湾技研資料，No.861, 1997
- 3) 三浦均也・大塚夏彦・笹島隆彦・小濱英司：ケーソンと背後地盤の震動特性を考慮した重力式岸壁の耐震設計，土と基礎，No.47-6, pp.25-28, 1999
- 4) 山本俊介・江頭隆喜・菅野高弘・田辺俊郎・宮田正史：地震時における桟橋式岸壁とコンテナクレーンの動的相互作用，第25回地震工学研究発表会講演論文集，第2分冊，pp.989-992, 1999
- 5) 山崎浩之・前田健一・高橋邦夫・善功企・林健太郎：溶液型注入固化材による液状化対策工法の開発，港湾技研資料，No.905, 1998

### 3. われわれは何を生み出したのか (5)液状化地盤の側方流動と対策

濱田政則

Masanori HAMADA

フェロー会員 工博 早稲田大学教授 工学部土木工学科

#### 側方流動の教訓

兵庫県南部地震は、阪神地区の埋立地を中心に広範囲な地盤で液状化と側方流動を引き起こし、建物、橋梁および各種産業施設に極めて甚大な被害を発生させた。さらに、上下水道、ガスなどのライフラインシステムの埋設管路に膨大な数の被害が生じて、長期間にわたって都市機能が麻痺状態に陥った。

液状化地盤の側方流動が研究者の間ではじめて注目されるようになったのは、1983年の日本海中部地震を契機としている。能代市の緩やかな傾斜地盤において5mもの水平変位が生じていたことが地震後の航空写真測量によって明らかにされた。その後、1964年新潟地震など既往地震による側方流動事例の分析が進められるとともに、日米両国の研究者によって側方流動のメカニズムの解明と地盤変位の予想手法の開発および対策工法の開発が共同で進められてきた。しかしながら残念なことに、十分な研究成果が挙がる前に兵庫県南部地震が発生し、再び同様な被害が発生した。

兵庫県南部地震後、側方流動による被害の深刻さが強く認識され、この5年間の間に精力的な研究が進められてきた。研究者間の全面的なコンセンサスは得られていないものの、側方流動のメカニズムや側方流動の基礎構造に及ぼす外力特性などについて議論が深められてきた。これらの研究成果はこの5年間に改訂された各種土木構造物の耐震規準の中に取り入れられている。

#### 研究の現状

側方流動に関する研究課題は、i) 側方流動のメカニズムを解明し、合理的な地盤変位の予測手法を開発する。ii) 側方流動が基礎など地中構造物に与える外力特性を解明し、設計法と対策法を確立することである。側方流動のメカニズムに関しては、液状化土の流動を著しく剛性の低下した固体として取り扱う考え方と、流体として取り扱う考え方があり、研究者間で意見が分かれているのが現状である。2番目の研究課題の側方流動が及ぼす外力特性についても研究が進められている。液状化地盤が流動した場合、構造物基礎に2種類の外力が作用することが、既往地震による杭被害の分析および模型実験などにより明らかにされている。液状化層の上部に非液状化層が存在する場合には非液状化層より変位が入力されることになる。これは、従来から地中構造物の耐震設計で用いられてきた応答変位法と同じ考え方である。流動する液状化層から基礎に作用する外力の評価については二つの考え方があるが、まだ研究者の合意が得られていない。一つは、液状化層から構造物に作用する外力を流体による抗力によって評価しようとするもので、この場合は液状化土の流動速度が外力評価の重要な要素となる。他の考え方は液状化層からの外力も非液状化層と同様、変位によって評価しようとするもので、この場合は地盤ばねの低下の度合を推定することが課題となっている。

以上述べたように、側方流動に関する研究は兵庫県南

部地震の後かなりの進展は見せたものの、未解決の課題が残されているのも事実である。今後、さらに精度の良い模型実験や既往地震による側方流動のより詳細な分析を行うとともに、本課題に携わる研究者による十分な討論を行って、これらの課題の解決に当たらなければならない。

### 耐震規準改訂の動向

兵庫県南部地震の側方流動による構造物被害が深刻であったことから、地震後の耐震設計規準の改訂では側方流動の影響が全面的に考慮されることになった。道路橋示方書・同解説、Ⅴ 耐震設計編（1996年、日本道路協会）、鉄道構造物等設計標準・同解説、耐震設計（1998年、鉄道総合技術研究所）、水道施設耐震工法指針・解説（1997年、日本水道協会）では、構造物基礎の設計において側方流動による外力を考慮することが規定された。しかしながら、前述したように、側方流動地盤が基礎など地中構造物に及ぼす外力の特性が十分に解明されていないこともあって、それぞれの規準における外力の評価方法に若干の相違がある。特に流動する液状化層からの外力に関しては、流体による抗力を土圧に換算して評価しようとする方法、（道路橋および水道施設）と地盤の流動変位を地盤ばねを介して基礎に入力する方法、（鉄道構造物）などに分かれており、統一がとれていない。将来、側方流動地盤からの外力の特性が解明された段階で規準の内容を改訂すべきである。

ライフラインの埋設管路の耐震設計についても側方流動による地震変位やひずみが考慮されるようになった。改訂された水道施設の指針においては、護岸より100mの範囲で最大2%、その他の地域で最大1.5%の地盤の引張ひずみを想定して管路の耐震設計を行うことになった。さらに、傾斜地盤では最大1.3%の圧縮と引張ひずみを想定することが規定された。下水道施設の耐震対策指針と解説（1997年、日本下水道協会）においても同様な設計用の地盤ひずみが規定されている。これらの地盤ひずみの値は、兵庫県南部地震における阪神地区の埋立地盤の水平変位量をもとにして計算されたひずみを統計的に処理し、一定の非超過確率を定めて設定されたものである。

上下水道の埋設管路の他にもガス導管の耐震性に関する国の研究プロジェクトが進行中であり、近い将来ガス導管の耐震設計にも側方流動による地盤変位とひずみの

影響が考慮されることになると思われる。

### 側方流動対策の現状

地震後、道路や鉄道などコンクリート橋脚の補強が進められてきたが、基礎構造の側方流動対策は一部の機関で試験的な補強工事が行われているものの本格的には進められていないのが現状である。改訂された耐震規準において側方流動の影響が考慮されたことにより、新設される構造物の側方流動対策は一応採られたことになるが、すでに社会基盤整備が相当程度進んでいるわが国においては、既存構造物の対策の遅れは地震防災対策上深刻な問題となっている。

護岸の移動を起因とした護岸背後地盤の側方流動対策には、次の二つの対策方法が考えられる。一つの方法は、側方流動の原因である護岸の移動そのものを防止すること、すなわち護岸を補強し地震による移動量を抑制することである。二番目の方法は構造物の基礎を補強する方法で、既存の基礎の周囲に新たに杭を打設する方法や地中連続壁で防護する方法などが提案されている。

側方流動に対する構造物基礎の補強は橋脚などの補強に比較して工事費が著しく大きいこと、工用のスペースや工事時間に大きな制限があることなど解決すべき課題が多い。

兵庫県南部地震では埋立地が広範囲にわたって液状化し、危険物や高圧ガス施設が被害を受けた。多くのタンクが移動・傾斜したが、幸いなことに倒壊して内容物が漏洩する被害には至らなかった。倒壊に至らなかった理由の一つは、地震動の継続時間が比較的短かったことが挙げられるが、地震動の継続時間が長かった場合には、さらに大きな災害の要因になったと考えられる。

東京湾や大阪湾では地盤改良がなされていない埋立地に多くの危険物や高圧ガス施設が建設されている。中には、護岸の老朽化が進んでいるところもある。しかしながら、一向にこれらの耐震補強が進んでいないのが現状である。これらのコンビナート地区の耐震対策で護岸の改修は極めて重要であるが、それが遅れている理由の一つに経済的負担の大きさが挙げられる。危険物および高圧ガス施設の事業者の中には中小の事業者も数多く存在する。コンビナートが立地している埋立地の地震防災を個々の企業にのみ負わせるのではなく、自治体や国による対策の推進が必要である。

### 3. われわれは何を生み出したのか

## (6) 既設部材を有効活用した鉄道構造物の早期復旧

石橋忠良 Tadayoshi ISHIBASHI  
 フェロー会員 工博 東日本旅客鉄道(株)  
 構造技術センター長

#### 被害の状況

(a) 鉄道構造物の被害は柱のせん断破壊が中心であり、それまでに行われていた室内での供試体の水平交番荷重実験でのせん断破壊の状況と同一であった(写真-1)。

(b) はり, スラブ, 杭, 基礎はほぼ健全と判断できた。これは今まで国鉄時代から多くの変状構造物の診断をしてきた経験と、構造の設計から耐震的にクリティカルな部材は柱とわかっていたことなどによる。また、PC 桁もそれを支持している橋台が崩れたため落橋したが、その状況を目視で調査した結果、健全と判断できた(写真-2)。落下したPC 桁は桁端などのコンクリートの損傷が見られたが、宮城県沖地震で損傷したPC 桁や、沈下、傾斜した橋脚上で大きなひび割れが生じた状態で荷重を支えていたPC 桁など今回より損傷の大きなものも安全性を確認しながら補修して使用してきた経験と、多くのPC 桁の供試体の破壊試験より各種の損傷状況を直接見てきたことなどから判断が可能となった。

#### 復旧方法とその技術的裏付け

##### 工法の選定

高架橋のはり, スラブは健全であることより、これを有効活用することが現地の状況から早期復旧に結びつく判断した。柱の1本あたりの反力は高架橋では50t程度であり、容易にジャッキアップ可能である。また、ジャッキの台数はこのレベルのものは無数にある。また、交通事情が悪いことから大型機械や大量の資材は用いない工法が望ましい。これらの判断からスラブ, はりをジャッキアップし再活用することとし、PC 桁はクレーンで移動できる大きさに分割して再活用することとした(写真-



写真-1 柱がせん断破壊した高架橋



写真-3 高架橋の復旧作業



写真-2 落下したPC桁



写真-4 PC桁の復旧作業



に加わったこともスムーズな復旧作業を大いに助けた。

### 補強技術

補強は耐震上クリティカルな柱の降伏後の変形性能を上げることで可能である。その方法として、帯鉄筋を増やすことや鋼板で巻く方法がある。柱に鋼板を巻いたものと巻かないものの交番載荷試験の荷重-変位曲線の包絡線の一例を図3に示す。せん断破壊する柱も鋼板で巻

くと十分な変形性能をもち、耐震性が大幅に向上する。被災した高架橋の復旧時の補強と、その後実施している既設高架橋の耐震補強も柱の鋼板巻き補強が最も多く用いられている。

さらに最も難しい高架橋下が店舗などで使用されている既設建造物の補強法として、補強部材を人力で取り扱える工法や、外面のみから補強の可能な工法を開発し、一部採用しはじめている(写真7)。

## 3. われわれは何を生み出したのか (7)復旧時に培われた施工技術

清水文夫 Fumio SHIMIZU

正会員 清水建設(株) 関西事業本部・土木技術部神戸技術グループ長

### 1995年1月17日

単身赴任先である東京本社に戻るべく5時過ぎに西宮の自宅を出た。「ドーン」という音とともに、何もかもが暗闇の中で吹っ飛んだという感じで自身も翻弄され、夢か現実か理解できない空白の一瞬が過ぎた。

主要動も収まり、妙な静寂の中、満月の光に照らし出された町並みを恐る恐る眺めると、いたるところで構造物が破壊されている。すぐ近くでは新幹線の桁も落下しているという信じられない光景がそこにあった。

最寄りの営業所に駆けつけ、各地へ連絡することから私の復旧活動がスタートした。

### 復旧活動

報道によって震災の甚大さが理解されるにしたがって、近隣の支店から職員が派遣され、資機材さらに食料、水などの生活必需品、自転車、バイクが搬入されはじめた。

被災地に住む職員が主として身内の安否確認、被災者の救援に従事している間、応援者を中心に被災状況の調査や2次被害防止のための補強工事が進められた。

公共施設の復旧は、各管理者のもとに調査結果が集積され復旧の優先順位の決定、緊急、応急、本復旧の順序で実施された。

### 調査・解析技術

地盤の流動をともなった被害も護岸近辺を中心に多くあり、地下構造物、地盤そのものの被害状況を的確に把握できる調査が震災直後から実施された。調査は変形、傾斜、亀裂、空洞、鉄筋の破断、コンクリート強度、劣化の位置、程度を定量的に求める必要があった。掘削による目視観察がもっとも精度がよく、いたるところで行

われたが、弾性波探査、レーダー波、ボアホールカメラ、コア採取、超音波探傷なども頻繁に利用され、相互の補完によって適用性の判断もできるようになった。地盤ボーリング調査も広範囲な地盤変状が起こっているところでは、地震の影響も含めて実施された。

地盤の液状化などの影響を考慮して、地震時挙動を再現し限界状態の構造物安全度を診断することも必要となり、大規模な動的解析が多用されたのも今回の特徴である。橋梁全体をモデル化などを行い、かなりの成果を得た。震災以降地震時の液状化と地盤の側方流動を解析できる解析方法が多数開発され、多くの構造物の耐震診断に利用されている。

復興に際して使用された主要技術を表1に示す。

### 施工技術

基礎構造では、増し杭、増しフーチングあるいは地盤改良強化が多用され、上部構造では鋼板巻き立て、炭素繊維による補強などが用いられた。

表-1 利用された調査・施工技術

適用対象	調査技術	診断技術	施工法
地盤	ボーリング, サンプリング, 力学試験	有効応力逐次 動的解析	CDM, 噴射注入 砕石置換
杭等基礎	STN, コアボーリング, ボアホールカメラ, 超音波探査	有効応力逐次 動的解析	増し杭, 地盤改良, 増しフーチング, PC締め付け
RC構造物	コアボーリング, ボアホールカメラ, 超音波探査	非線形連成 動的解析	鋼板巻き立て, 炭素繊維巻き立て, 断面増加, 配筋増
護岸等	水中カメラ, 音波探査, コアボーリング	有効応力逐次 動的解析	ジャケット, 事前 混合改良, 前出し 増し断面など14工法

地盤改良では通常仮設に利用される施工法を本復旧に採用したため、信頼性の確保のための材料管理、施工管理とも多くのステップを踏んで実施された。その後施工能率の改善や、狭隘な場所での施工を考慮した、さらに大口径の高圧噴射注入工法や、改良したい対象層のみ改良できる高圧噴射注入工法などが実用化されている。

鋼板巻き立てでは、現場溶接が風雨により中断されることを解消できる機械式継手も震災後開発され施工能率の向上に役立っている。

炭素繊維補強では単独の柱などは問題なかったが、実施工は壁などが取り付いた場合が多く、定着に苦勞した経験から、繊維の端を広げて小さな貫通孔を通して定着する工法が開発されている。

靱性確保の必要から鉄筋量が震災前と比べて多くなり、主筋ピッチも狭く、とくに幅止め、スターラップなどの補強筋の組立てに苦勞した記憶もある。

180°フックのせん断補強筋の組立ては困難を極めるため端部をボタン型に工場加工した鉄筋が震災後開発された(図-1)。

### 神戸大橋の復旧

復旧工事の一例としてポートアイランドと市街地を結ぶ神戸大橋を紹介する。地震によって橋脚が海側にそれぞれ約1°傾斜し橋脚頂部で水平変位60cmであった(写真-1)。

震災直後の報道でジョイント部に鉄板を渡し、人が行き交う姿をご記憶の方も多いと思う。海底面の液状化と突堤背面の側方流動によって変位したことが解析によって確かめられ、海底面は高圧噴射注入工法により支持層まで改良し、背面は液状化を防止する砕石置換工法を用いることが決定された。

工事は大きく3つの手順によって進められた。工事中の交通確保のため、鋼製の仮橋(幅員9m、全長330m)を架設する。市街地側の橋台上で橋桁を合計6000tのジャッキで仮受けし、沓座を移設する。最後に本復旧として地盤改良を施工する。

図-2に補強構造を示す。高圧噴射注入工事に際しては、基礎前面にある大径の捨石マウンドを撤去せず施工する必要があり、海水の汚染防止に作業構台全周を覆う締め切りと捨石層に注入材漏出防止の瞬結注入を実施した。また洪積層の固い粘土、砂礫層を確実に改良するため、注入材料、引き上げ速度、空気混入量を試行し最適の組み合わせを求めた。

動的解析により、無対策時に比べて変位が半減することが確かめられている。

### 震災の教訓

当社では、95年11月に「震災対策要綱」を制定し、



写真-1 被災後の神戸大橋橋脚



図-1 ボタン型頭部定着鉄筋

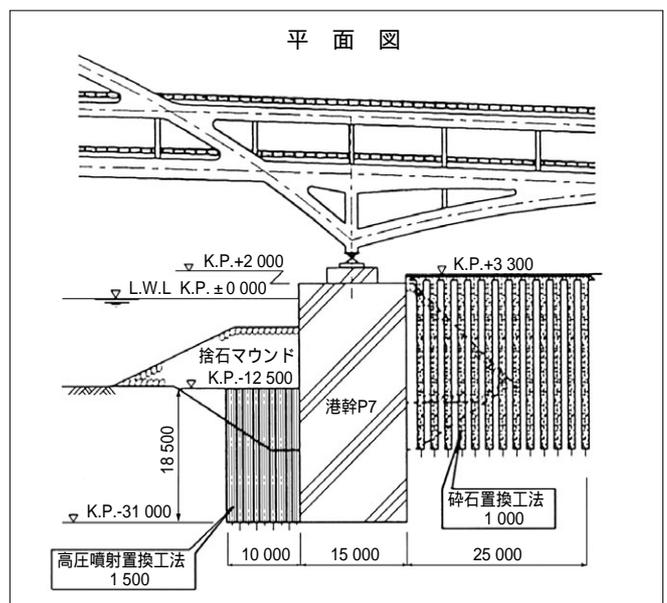


図-2 神戸大橋地盤改良断面

大規模地震発生時の対応方針、対策組織、行動基準を定めた。

大規模地震が発生した場合においては、自動的に職制を越えた「震災対策組織」が編成され、従業員・家族の安否確認、当社施設保全業務機能の維持、業務環境の



早期回復・整備，得意先諸施設の早期復旧活動，国および地方自治体の救援・復旧活動の協力をするように定めている。

平常時は，社内に常設された「震災対策センター」が，組織の見直し，非常用食料等の備蓄品の点検・整備，震災訓練の開催などの震災事前対策活動を推進している。

震災から5年経過し，神戸の町から表面上その爪痕は消え去ったかのように見える。私たちの心からも過去のものとなりつつあるが，貴重な体験を風化させることなく引き継いでいくのが使命と考えている。

### 3. われわれは何を生み出したのか (8) 阪神大震災に学んだこと 情報課題の観点から

角本 繁 Shigeru KAKUMOTO

京都大学防災研究所：非常勤講師／日立製作所中央研究所

#### 防災情報システムの必要性

阪神大震災に際して，中央官庁，県庁，市役所などでは，対策で必要とする被害状況の把握に手間取った。そのため，情報の収集と整理の問題がクローズアップされ，地理情報システム（GIS）が防災応用としても脚光を浴びるようになった。

地震発生直後のニュース報道では，速報に続いて，火災や倒壊状況の映像が流れてきた。その中で最初，死者はいない模様と報道され，午後になって報告された死者も数百人で，被害状況の概要は把握されていなかったと言えよう。これでは，即応が求められる初動時に適切な対策を打っていくことは難しい。

昨年のトルコや台湾の地震で，阪神の経験が生かされる可能性が薄いにしても，JCOの事故や最近の洪水災害でも情報の混乱は改善されているとは言えない。

被災直後から災害情報処理に適用できるGISとして災害管理空間情報（DiMSIS）の開発に着手し，1か月後の1995年2月からは神戸市長田区役所の現場で家屋解体申請の受付支援に，適用する機会を得た。DiMSISは混乱した現場で日々の要求に応じて改良されたが，同時に2月末からは受付の流れに組み込まれてボランティア学生や市職員の手で運用された。この支援活動を契機に，今も継続中の共同研究を通して自治体の防災情報システムのあり方について多くの知見が得られた。特に重要と考えられるのは，平常時と緊急時の一貫性を保証した地域情報管理，時々刻々変化する地域情報を管理する時空間情報管理，単体のコンピュータでの稼働を前提にして必要に応じて情報共有を可能にする自律型情報共有，を統合的に満たすシステムの実現である。

#### リスク対応型地域管理システム（RARMIS）の提案

兵庫県や関係自治体でも，今度の震災以前から防災情報システムの整備がなされていたが，期待どおりには稼働しなかった。阪神では大地震がないと信じていたための油断があったのも事実であるが，被災直後の初動時から使用できることが期待されている防災情報システムが被災時に効果的に使われない原因は，システム自体の問題に起因すると思われる。

防災情報システムを含めて，被災地内の情報システムは少なからず破損する。しかも被害が大きくてシステムの必要性も大きい場合には，システムの破損の度合いも大きくなる。たとえ防災関連システムが破損しなくても，神戸市役所のように設置場所の建物が破損したり，火に囲まれたり，操作の担当者が罹災したりすることは避けられない。また，平常時に使用されていない情報システムが緊急時に使える可能性は小さい。

破損していないコンピュータが1台あれば，1台分の災害情報処理ができるシステムが求められる。ここで基盤情報としては地域の地理情報が必要となるが，データが日々更新されることは平常業務でも要求されることであり，更新データは完全ではないにしても常に更新されていることになる。自治体業務を分析すると緊急業務は，平常業務と内容的にはほとんど変わらないが，量と組み合わせに差が出るという結果が得られる。したがって，特別な防災システムを導入するのではなく，平常業務も緊急業務も基本機能を柔軟に組み合わせることで実現するという「リスク対応型地域管理システム（RARMIS）」の概念を満たすGISが求められる。

## 時空間情報システムの提案

従来の多くのGISは、データ更新ができて、変化情報を管理することができなかつた。しかし、平常時の業務でも、緊急時に地域がめまぐるしく変化する状況下でも変化情報を管理できるシステムが求められる。ここで、最新の情報に更新するとき、過去の情報を消去してしまつては、状況の変化を分析したり、過去の状況を参照することができなくなるため、3次元の立体に加えて時間的な変化が記述できるGISである4次元地理情報システム(図-1)が求められる。このシステムでは、実世界を4次元の時空間モデルとして記述することを特徴とする。平常時のシステムでも時間変化の記述に対する要求が同じである。時間変化が記述できない従来型GISが自治体に導入されても、数年で使われなくなる事例が多いことから裏付けられる。したがって、自治体では、まず時間変化の管理ができるGISを導入する必要があるということになる。

自治体で管理するデータは、基盤になる地図データと各担当部署で管理する個別データからなる。従来から、この個別データを一括管理することを避けることによって、個人情報を中心化させない工夫がなされてきた。一見、効率が悪いように見えるが、合理的な方法であるといえる。自治体にも一般的には、サーバーとクライアントから成るコンピュータシステムで構成した情報を統合管理するシステムが導入されることが多い。このシステムでは、全コンピュータが機能分担をしているため、緊急時に破損していないコンピュータを生かして使うことはほとんど不可能で、緊急対応には向かないと考えられる。また、この構成では、個人情報は限られたコンピュータで集中管理されるため、情報処理の知識を持つものがプライバシー情報を抜き出せる可能性が大きくなる。

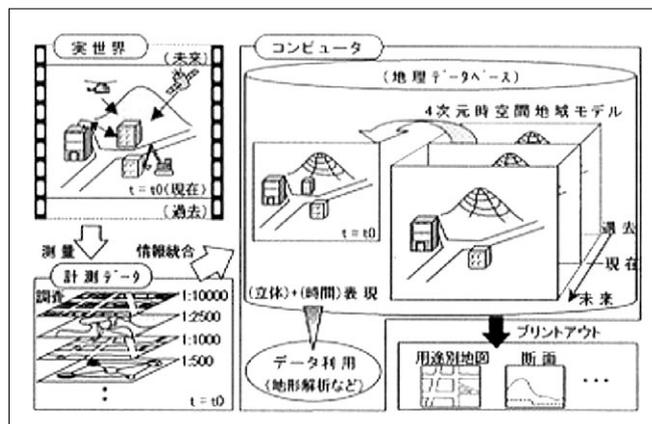


図-1 4次元地理情報システム

## 自律型情報共有機能を備えた防災情報システムの実現

大規模災害の初動時に、遠隔地にあるシステム間で通常のネットワーク手段が使える可能性は少ない。今回の大震災でも初動時の通信手段は大幅に制限された。被災直後から、安否確認や状況把握のために被災現場、避難所、対策本部の相互間で被災情報の共有が求められる。

この要求を満たすためには、自律的に動作しているコンピュータ間で、要求に応じて情報を変換する必要がある。これらの要求を総合的に満たすためには、時空間変化を記述した地理データベースを格納し、使用可能な通信手段で情報交換のできる4次元地理情報システムを用いて平常時のシステムを構築することであるとの見解が得られる(図-1参照)。ここで、各所のデータを必要に応じて効率良く交換するためには、データ構造が公開型実行形式であることが重要であることを付け加えておきたい。

### 3. われわれは何を生み出したか (9) 阪神大震災と金融ビッグバン

坪川博彰 Hiroaki TSUBOKAWA  
損害保険料率算定会 地震保険部  
須田純也 Junya SUDA  
正会員 損害保険料率算定会 地震保険部

わが国の地震保険制度は1966年に制定された「地震保険に関する法律」に基づく家計分野の地震保険（一般に「地震保険」と呼ばれるもの）と、主に企業物件を対象に火災保険の特約として付帯される拡張担保地震保険（企業地震保険）とに分けられる。阪神大震災と時を同じくした金融ビッグバンにより、いずれの保険も大きく変わろうとしている。震災は保険制度の何を変えたのか、また変えようとしているのかを概括する。

#### 家計分野の地震保険は何が変わったか

家計地震保険は「震災による被災者の生活の安定に寄与する」ことを目的とした非営利の保険であり、居住用の建物と家財についてのみ契約を結ぶことができる。火災保険加入者であれば誰でも加入できるが、地震保険金額には目的（建物・家財）ごとに限度額が設けられており、火災保険に付帯する割合も30%から50%と制約されている。政府による再保険制度があるので、保険会社だけでは破綻するほどの大地震でも保険金の支払が保証される仕組みとなっている。被害の程度に応じ全損・半損・一部損の3段階で査定を行い、それぞれ契約額の100%、50%、5%の保険金が支払われる。阪神大震災での地震保険金の支払い総額は約780億円に達し、それまでの最多支払額である1994年北海道東方沖地震の約13億円を大きく上回った。制度創設以来、随時消費者のニーズを取り入れ、保障内容の拡大と商品内容の改善を行ってきた地震保険であるが、今震災の後も消費者からの要望が多数寄せられ見直しの検討を行った結果、震災から1年後に制度改定が実施できた。主な改正点は次の2点である。加入限度額を建物について1000万円から5000万円に、家財について500万円から1000万円に引上げる。家財の半損・一部損の損害認定方法を収容建物の損傷程度から家財そのものの損傷程度による認定に改め、家財の半損の支払額を10%から50%に引上げる。

#### 地震保険契約の急増

これまでも地震保険は地震の起きた地域を中心に契約が増加する傾向が見られたが、阪神大震災以降、これを契機とした地震保険に対する関心の高まりと、1996年の商品改善の効果が相まって、加入者、契約高が急増した。図-1は全国の契約件数と保険金額の推移を示したものである。震災前後の5年間で、件数は約2倍以上、契

約高は約3倍以上と急激に増加している。図-2、図-3は1995年度末と1998年度末の付帯率（火災保険契約者のうち地震保険の契約を希望した割合）を比較したものである。全国的に付帯率が増加しているが、特に近畿地方などの西日本で増加が著しい事がわかる。また、保険のほかにもわが国にはさまざまな共済制度があり、それらと合わせるとおよそ3割の世帯が地震による被害の経済的補償を受けるシステムに加入していると考えられる。この割合は同じ地震国であるカリフォルニアとほぼ同レベルである。

#### 自己責任と料率の細分化への道

保険業界では金融自由化により自動車保険分野の商品を中心にそれぞれ個人の危険度を細かく反映させて保険料を設定するリスク細分化が進行している。住宅に関するリスク細分化の一つの手段として建物の耐震性の違いを保険料に反映させるのは当然のことであり、住宅の性能表示と保険料率との関係をどう結び付けてゆかが今後の大きな課題となる。2000年6月には住宅性能表示制度の導入が予定されており、現在建設省でその細部を検討している。その一方で地震保険は震災後の生活再建の一手段であり、社会保障的な役割も要求されるため、自動車保険に見られるような単純なリスク細分化は災害弱者に不利益になることも多く、地震保険制度の本来の目的と反することにならないか懸念されるという意見もある。自動車は10年程度の期間で買い替える人が多いが、住宅は耐震性が悪かったり、欠陥があったりしても

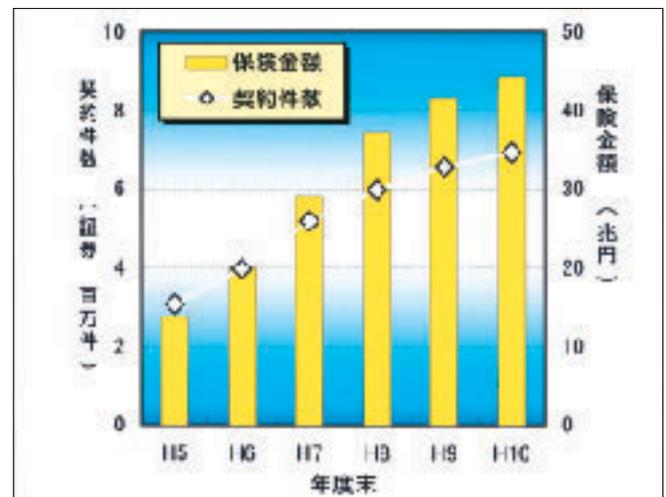


図-1

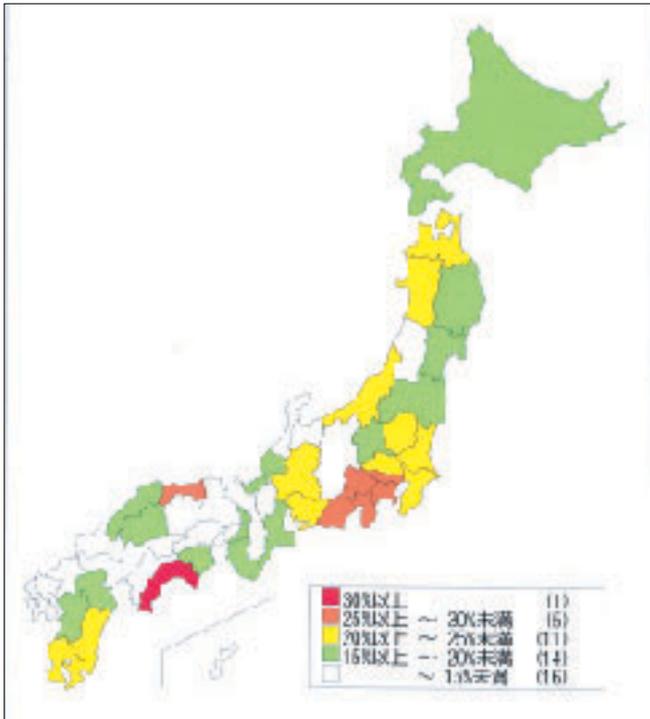


図-2

簡単に買い替えるというわけにはいかない。高い買い物である上に、補修や補強にもかなりの経費が掛かるからである。したがって住宅政策も含めたさらなる論議が必要となるだろう。

性能の表示と売買における自己責任の原則は今後ますます重要性を増すことになる。個人個人は必ずしも合理的な行動を志向するわけではないから、リスクへの説明と納得という過程が不可欠であることをわれわれは一層強く認識する必要がある。

### 保険以外のリスク対策も多様になる

金融ビッグバンは東京市場を2001年までに国際金融センターに発展させることを中心命題にすえた金融システムの大改革である。この一環としてより一層の規制緩和が図られ、保険料率の自由化も促進された。ここには非常に難しい議論が伴う。リスク対策については従来のような画一的なものだけではなく、非常に多様なものから選択できるようになったのだが、一方でわれわれは一人一人が自分に合った保険を選択してゆく必要がある。

新しいリスク対策で最近話題となった事例を示せば、東京ディズニーランド(TDL)の経営で知られるオリエンタルランド社の地震リスク債券の発行が挙げられる。同社はこの債券発行のための特別目的の会社を設立し、円換算で240億円(2億ドル)の債券を発行し、これを機関投資家に販売した。この債券は地震がなければ債券相場より高い利回りを得ることができる代わりに、TDLのある浦安市を中心に定められた大きさの圏内に一定の

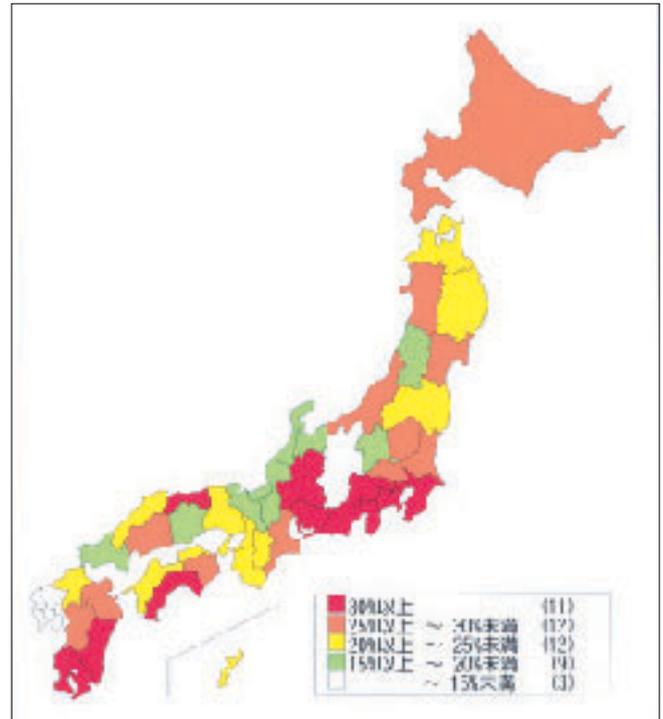


図-3

規模以上の地震が発生した場合には、元本の一部あるいは全部をオリエンタルランドが受け取れる仕掛けとなっている。気をつけなければならないのはこれは保険ではないということだ。保険の上でのリスクは損害の補填であるが、この債券は震災による業績の落ち込み(入場者の減少、消費活動の低下など)を回復するためのものであって、TDLに被害があるかどうかは関係がない。もちろんTDLでは入場者に人的被害が出ないことを前提にした地震対策は進めており、この債券によってその被害をカバーするわけではない。

企業向けの地震保険のように、会社としての存続をかけたリスク対策として保険やその他の金融手段が検討されるのは、合理的な行動を選択する上で必然的なことである。先にあげたキャット・ボンド以外にも資本市場から資金を供給するシステムについていろいろなものも検討され始めている。その可能性は非常に大きく、今後われわれの生活の中に確実に影響を与えてくるだろう。保険以外のリスク対策の多様化はもはや時代の流れである。

リスクは社会とともに変わる。発展途上国ではまず人的損失を減らすための努力が必要だが、先進国ではファイナンシャルなリスクカバーの多様化も着実に進められてきている。物理的な被害が出なくなったとき、防災は次のステージに移ることになる。災害に伴う業務中断による間接的な被害額が、建物や施設などの物質的な破壊による直接的な被害額を上回るようになる日も、そう遠くないことは確かなようである。



## 4. われわれは何を引き継ぐべきか (1) 21世紀における耐震設計の 技術的課題

佐藤忠信 Tadanobu SATO

正会員 工博 京都大学教授 防災研究所地震災害研究部門

### 都市直下地震への対応

1995年兵庫県南部地震は人口密度の高い都市域の直下で発生した地震であったので、わが国の耐震設計の思想を大幅に転換した。表-1は濃尾地震以後のわが国で発生した主な地震の被害の特徴を一覧表にしたものである。建物と道路橋の耐震設計法の変遷も同時に示した。大きな地震が発生するたびに地震災害の新しい局面が現れ、それに基づいて耐震設計の見直しが行われてきたこ

とがわかる。兵庫県南部地震では、神戸海洋気象台で最大  $818 \text{ cm/sec}^2$  もの地表面加速度が観測された。これは、周期帯域  $0.3 \sim 1.0$  秒において、構造物の弾性応答が減衰定数  $5\%$  で  $2G$  になるような波形であった。このことを考慮して、都市直下で発生するマグニチュード7クラスの地震の震源近傍での地震動強度を耐震設計に反映するための努力が精力的に行われ、各種の耐震設計基準、標準、指針が改定された。兵庫県南部地震を発生させるよ

表1 地震被害の概要と設計基準の変遷

地震名	マグニチュード	発年月日	死者数	建築	道路橋	被害の特徴
濃尾	8.0	1891.10.28	7 273			根尾谷断層の出現、震災予防調査会の発足、地震学・耐震工学のスタート
三陸	7.1	1896.6.15	26 360			津波
関東	7.9	1923.9.1	142 807			RC造の耐震性認識、組積造・煉瓦造被害大、山の手・下町の被害差、震後の火災
		1924		初の耐震基準 $k=0.1$		
北丹後	7.5	1927.3.27	2 925			断層の出現、家屋被害甚大
三陸	8.3	1933.3.3	3 064			津波
		1939			初の耐震基準 $k=0.2$	
鳥取	7.4	1943.9.10	1 083			断層運動による地変、家屋被害甚大
東南海	8.0	1944.12.7	1 060			重工業地帯の被害大、家屋倒壊多し、津波
南海	8.1	1946.12.21	1 443			家屋倒壊多し、津波
福井	7.3	1948.6.28	3 769			都市直下地震・断層の出現、沖積地盤での木造家屋の被害大、震後火災
		1950		建築基準法 $k=0.2$		
十勝沖	8.1	1952.3.4	29			
新潟	7.5	1964.6.16	26			砂地盤の液状化、落橋、石油コンビナートの火災
十勝沖	7.9	1968.5.16	52			鉄筋コンクリート柱のせん断破壊、山崩れ・地すべり、鉄道・道路の被害大
		1972		せん断補強の強化	動的効果の導入 地盤条件の考慮	
伊豆半島沖	6.9	1974.5.9	30			崖崩れ
伊豆大島	7.0	1978.1.14	25			崖崩れ、鉱さい堆積場よりシアン流失
宮城県沖	7.4	1978.6.12	28			ライフラインの被害大、地盤条件による被害差大、都市型地震災害
		1980			変形性能照査 せん断補強の強化	
		1981		所要靱性/保有 体力照査( $S=1g$ )		
日本海中部	7.7	1983.5.26	104			警報前に津波到来、液状化被害
長野県西部	6.8	1984.9.14	29			大規模山崩れ
		1992			保有体力照査( $S=1g$ )	
釧路沖	7.8	1993.1.15	2			最大加速度 $922 \text{ gal}$ の記録
北海道南西沖	7.8	1993.7.12	230			津波被害大
兵庫県南部	7.2	1995.1.17	6 000			都市直下地震、断層の出現、地盤の不整形形成の影響大、都市機能の喪失、港湾施設の被害大、弾性応答スペクトルが $2G$ を超える

うな地震断層活動の再現期間は数百年から数千年になると言われている。仮に再現期間を2千年として構造物の耐用年数を50年とすれば、耐用年数内に兵庫県南部地震のような地震動に遭遇する確率は3%以下であるといえる。したがって、遭遇する確率は低いが極めて強い地震動に対して構造物や施設の耐震性をどのように保証するべきかという問題に対する回答を、地震後の5年間に、何らかの形で出すことができたと言える。こうした活動が一段落した時点で、1999年にはトルコ・コジャエリ地震と台湾・集集地震が発生し、断層運動に基づく地表面変位により構造物に大きな被害が発生した。ところが、わが国の耐震設計法には、断層変位に対処する方法論を具体的に記述したものはほとんどない。20世紀の終わりに、こうした地震が発生し地震被害の異なった様相が出現したことは、21世紀におけるわが国の耐震設計のあり方を考える上で、大きな課題が提示されたといえる。

### 設計用地震動の設定法

現行の耐震設計の基本は地震荷重に耐えられるように構造物を設計することであるから、地震荷重を合理的に設定するための努力が21世紀にも精力的に進められるであろう。地震学の分野では、地震を発生させる断層の破壊メカニズムを設定できれば、1~2秒以上の周期帯域における地震動のシミュレーションは可能になってきているので、将来の耐震設計では解析的にシミュレートされた地震動を用いて設計が行われるようになるものと考えられる。このためには耐震設計で考慮しなければならない地震断層の場所とその活動度を明らかにするための研究が精力的に行われなければならない。さらに、地震断層の破壊メカニズムを設定するための研究が必要である。アスペリティの分布<sup>\*</sup>や破壊開始点といった断層の破壊メカニズムを規定するパラメータの不確定性を的確に評価できる方法論が提示されなければならない。伝播経路と局所的な地盤構造の不規則性・非線形性をモデル化した場合のモデルの不確定性、モデルを規定する地盤パラメータの不確定性なども、研究されなければならない課題の一つである。地震は地球の動的な物理現象の一つであり、こうした現象をシミュレートする際の不確定性を観測データの集積によって少なくする努力を継続的に行うことも重要である。集積したデータは千年経っても有用だからである。

### 土木構造物に使える先端技術の開発

自重に耐えることが上部構造物を設計する場合の基本原則であり、構造形式の多様性は自重によって発生する部材応力を少なくする努力から考案されてきた。地震動によって発生する部材応力は常に自重によって発生する

部材応力に付加されていたので、耐震設計は受身の設計理論といえる。この観点に立てば、構造物の自重を減らすことができる新しい構造形式の開発や構造材料の軽量化に関する研究が必要である。コンクリートや鉄から作られている構造部材の靱性能を向上させる努力のみならず、その軽量化に関する研究が必要である。方向性のそろった微細空洞を有する鉄材などのような素材そのものに関する最先端の研究成果を製品化する努力や複合材料を構造部材として利用するための研究が行われなければならない。航空機では自重を減らすことが主命題であるのでこの種の技術開発が進んでいる。こうした領域の最先端技術を土木構造物に利用できる技術へと発展させることも視野に入れておく必要がある。

上部構造物に入力する振動エネルギーを熱エネルギーとして消費できるダンパーの利用技術は耐震設計のみならず、住環境の静穏化技術として現在も使われているが、今後ますます利用されるようになる。地震動の入力エネルギーを遮断できる免振構造をうまく利用すれば、地震力を設計に考慮しなくても良い条件が見つかると考えられるが、さらに能動的に入力地震動のエネルギーを利用することにより、地震力をまったく考慮しなくて良い設計体系が開発される可能性もある。

耐震設計は非正常な地震動が入力する構造系の動的な応答を評価することに帰着されるので、構造物の設計はすべて動的解析によって行われるようになって考えられる。このためには、コンクリートや鉄などから構成される構造部材の力と変形の関係式を規定する構成式の一般化、構造部材を結合する接合部の動的挙動を記述するための汎用モデルの構築などが必要である。斜面や土構造物ならびに地中構造物が地震時にどの程度変形するかを予測するための技術も早急に開発されなければならない。特に、液状化の問題では、液状化の発生過程のみではなく、液状化した後の地盤の変形挙動を説明できる理論を構築し、液状化した地盤の変形過程が地盤内に埋設されている構造物の破壊過程に及ぼす影響を定量的に把握できるようにならなければならない。

### 人材の育成

地震に対する知識の集積により、地震災害を完全に防止できるようになるのはまだまだ先のことになるであろうから、地震時には構造物にある程度の損傷が発生することを許容する、許容リスクの概念が定着し、リスクレベルに応じて構造物の性能を選択できる性能設計の規範がまもなく一般的に受け入れられるであろう。しかし、近年の都市域への人的・物的集中度は加速度的に高くなってきており、30年も経過すると都市の形態は大きく変化するので、耐震設計の概念そのものを5年ごとに更新する努力が必要であろう。情報化の著しく進展した巨



大都市圏に将来発生するであろう都市直下地震に当てはまるシナリオを書くことができるかどうか、21世紀の耐震設計のあり方を論ずる基本となる。このためには、予想もつかないような地震災害を想像できる能力と、それを説明するための科学的な基礎に裏付けられた説得力のある地震災害シナリオを書ける研究者を育てることが大切である。

また、ここまで具体的な話題にはしなかったが、断層運動の結果として地表面に現れる地盤変位の予測法や対応技術の開発が、21世紀における耐震設計の重要な課題になることは論を待たない。想像力の豊かな若い研究者が問題の解決に精力的に従事してくれることを願っている。

\* アスペリティ分布：地震断層面の強く接着している部分の分布で、そこが破壊することにより強い地震動が発生する。

## 4. われわれは何を引き継ぐべきか (2) ものが壊れて人を殺す 21世紀になっても問題は変わらない

片山恒雄 Tsuneo KATAYAMA

フェロー会員 Ph.D 科学技術庁・防災科学技術研究所所長

今年2000年ということで、「21世紀になったら」という議論が大流行だが、21世紀になっても太陽が西から上るわけではない。大地震が起これば、神戸やトルコや台湾で経験したように、「もの」が壊れて人を殺すのだ。

### 私にとっての阪神大震災

あれから何度書いたろうか。あの朝、私は、日米都市防災のワークショップに出席するため、大阪のホテルで寝ていた。程なく震源が神戸市のすぐ近くであるとわかったにもかかわらず、私は、最終的に6千人をこえる人が亡くなる震災になることを想像できなかった。

地震から数カ月間、私は、それまで私が抱いていた、わが国の地震工学、耐震設計に対する過剰な自信に心底嫌気がさしていた。5年経った今でも、あの地震の時までの自分の発言を思い出すと自己嫌悪に陥ってしまう。はっきりとは言えないが、1970年前後を境に、日本の建造物の耐震性は大いに上がりはじめた。しかし、同じ期間に、日本の都市は、その中に古くて弱い建造物を抱えたまま、急激に膨張していた。これらの都市化地域は、本当に強烈な地震の揺れを経験したことがなかった。それなのに、私は、日本の都市は地震に対して十分強くなったと考えていた。

1985年メキシコ地震、1989年ロマプリエタ地震、1994年ノースリッジ地震の被害をどれも直接見る機会があったのに、わが国の地震被害とは無縁と思っていた。

神戸の震災まで、私にとっての地震防災は、東京を中心とした南関東地域、せいぜい東海地震に対する地震防災だった。直下地震は頭の中しかなかった。何万もの建造物を破壊し何千の人命を奪う震災が、まだ日

本のどこに起こっても不思議ではない。これが私にとって最大の教訓であった。

### 「もの」よりシステムと考えていた

阪神・淡路大震災は都市的震災だったという。都市的震災、ライフライン、ハードな対策、ソフトな対策、こんな言葉を使いだしたのはいつ頃だったろうか。

1978年6月宮城県沖地震が起き、仙台市を中心とした地域のガス、水道、電気など「生命線」の被害が大きく注目された。宮城県沖地震の後、ライフラインという言葉が広く使われるようになり、これに前後して、ハードな対策、ソフトな対策ということが言いだされた。私は、日本の大都市ではシステムの対策、ソフトな対策のほうが大切な時機がきたと考え、「建造物の耐震からシステムの防災へ」などと言っていた。

私は、都市震災は四つの特徴を持つと思っていた。火災、情報、ライフライン、そして経済的打撃である。阪神・淡路大震災でも、これらのすべてが起こった。しかし、建造物の問題がすっぱりと抜け落ちていた。いつもは立派に見える建造物の中にも大きな被害を受けるものがあるという視点である。直接何千という尊い人命を奪うのは、建造物の崩壊であり、地震後多くの被災者に苦しい生活を強いるのは、システムよりやはり「もの」の被害なのである。ソフトな対策が重要でないとは言わないが、もっとも基本となるのは住宅やビルや工場や橋など「もの」を地震に対して強くすることなのである。

### そして今世界最大の震動台をつくる

神戸クラスの地震の時に「ひびも入らない」建造物を

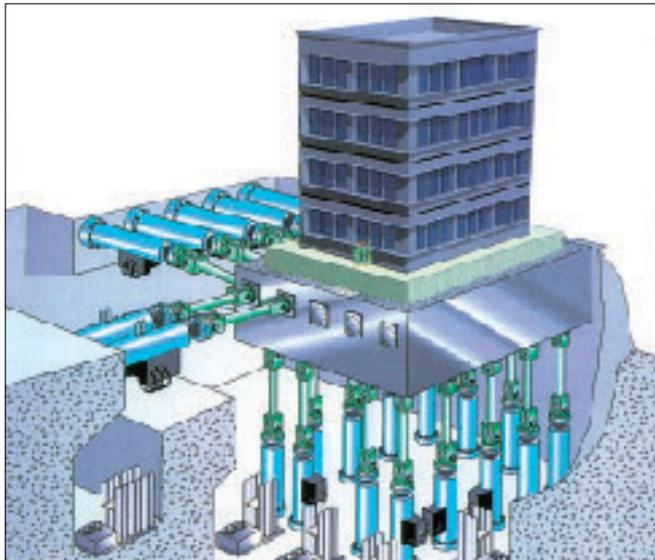


図-1 RC4階ビルの振動実験のイメージ

つくるには大変なお金がかかる。その上、どんなに強くつくったつもりでも、予想を上回る地震がやってこないとは限らない。そこで、構造物のあちこちにひびが入り大きな変形は残るが崩壊はしない、という設計を目指すことになる。完全な倒壊だけは避けようとするのである。このような設計では、強い地震動を受けた構造物が、どのように壊れるのか、どこまで壊れるのか、なぜ壊れるのかを、はっきりさせなければならない。神戸の地震で何百、何十というビルや橋が大被害を受けたが、壊れる過程をきちんと観察した人はいない。本物に近い地震動のもとで、実物大とみなされる構造物モデルを破壊に至るまで振動させ、壊れる過程をはっきりさせたい。

神戸の震災後すぐ要素技術の開発を始めた。4年間のフィージビリティ・スタディー（FS）の目的は、大変位、大速度、大加速度の加振機を製作し、6 m × 6 m の模擬震動台を使って、その性能を確認することである。FS は目的を達成して1998年度に終わり、同年度に本物をつくるための1年目の予算措置がなされた。

震動台の大きさは20 m × 15 m、最大で1200トン、4階建ての鉄筋コンクリートビルを丸ごと載せた実験ができる（図-1）。水平方向の最大加振性能は、加速度0.9 G以上、速度200 cm/s、変位±1 mである。過去の強い揺れを再現できるのみならず、もっと強い地震波形で揺らすことができる。

加振機本体のピストン部分の長さは8.7 m、根元の直径は2 mに達する。震動台の三次元の動きに対応するための特別なリンク構造を加えると、加振機全体の長さ



図-2 6 m × 6 m の模擬震動台を使った要素技術の確認実験

は17 mになる。模擬震動台は本物に比べてずっと小さいが、それでも兵庫県南部地震の記録を模擬して揺れる様子は、多くの研究者や実務家を驚かすには十分だった（図-2）。

本物の震動台では、加振機の数が大幅に増え（上下14本、水平2方向に5本ずつ）、全体の構造も格段に大きい。大型のモデルが実験中に壊れれば、その影響は震動台にはわかってくる。「壊す」「壊れる」ということをどう定義するか、壊れてからも震動台がどれくらい狙いどおりに動くことを期待するかなど、計画が具体化すればしたなりに、検討すべき問題がある。

この施設は、神戸市の北隣の三木市に兵庫県が計画している三木震災記念公園（仮称）内に設置される。谷と小高い丘からなる現場では兵庫県による一次造成が終わり、震動台の基礎工事がこの1月からスタートした。FSを含めて10年、500億円というプロジェクトは、私のように大学での研究生活が長かった者にとっては、目の玉が飛び出るほど大きい。しかし、この点に遠慮する必要はない。防災科研の設置目的の1つは、「防災科学技術の研究や試験に必要なが、多額の経費を要するため関係行政機関に重複して設置することが適当でない施設や設備をつくり共用に供すること」である。それに、日本のような災害大国にとって、もともと防災予算が少なすぎるのである。科学技術庁のいくつかの特殊法人の1996年度の決算規模が1200億円から2700億円であるのに対し、防災科研は107億円である。

最終的に6000人を超える犠牲者を出した阪神・淡路大震災の重い事実を振り返る時、今日本にこのような大型研究施設をつくる意義は大きいと信じている。



## 4. われわれは何を引き継ぐべきか (3) 情報課題

山崎文雄 Fumio YAMAZAKI

正会員 工博 東京大学生産技術研究所助教授

### 地震災害と情報課題

兵庫県南部地震（阪神大震災）では、われわれ土木工学に関連する技術者や研究者の多くが、初めて経験するような規模の構造物被害や社会的混乱を経験した。大きな被害の生じた原因の1つとして、断層近傍の揺れの強さや断層の活動履歴に関する詳しい情報が不足していたことが挙げられよう。阪神大震災の教訓は多岐にわたるが、地震防災に関しては、ソフトな防災技術や情報の重要性が広く認識されるようになった。地震のように発生頻度が低いが一度起きれば大きな影響が及ぶ事象に対しては、予防対策だけで被害を防止することは困難で、地震発生後の適切な対応により被害の拡大を防ぐことも重要であり、そのためには適切な「情報」が不可欠である。地震災害の様相は時代とともに変化し、21世紀に起きる大地震では、神戸で起きなかったような被害が問題になることもあろう。このような認識に立つと、われわれは謙虚に災害から学び、次の災害に備える必要がある。ここでは、21世紀初頭において研究開発を進めるべき地震防災の「情報課題」を紹介する。

### きめ細かな震度情報

兵庫県南部地震では「震災の帯」と呼ばれる震度7地域にほとんど強震計がなかったことなどの反省から、多数の強震計が全国に配備されることになった。気象庁は、震動被害の甚大な地域を見逃さないため、強震観測点を全国約600か所に拡大するとともに、情報の途絶を防ぐため、地上回線や衛星回線で通信網の多重化を行った。また、消防庁も全国の各市町村に1台ずつ強震計を設置する事業を行い、科学技術庁も全国をほぼ25kmメッシュでカバーするような強震計ネットワーク（K-NET）を展開した。このように従来の数十倍の密度の強震計が

設置されたことにより、地震発生時の震度分布が正確にかつ迅速に得られるようになった（図-1）。これらの強震計から震源近傍での強い揺れのデータが蓄積され、地震動の強さや空間分布に対する知識が深まれば、構造物の設計にも反映できる。このような新しい強震計ネットワークの中でも、横浜市や東京ガスは、最も高密度なものを構築しており、初動対応や二次災害防止のための震度情報として役立てられている。地震の揺れという自然現象に関しても、従来、高密度観測システムがなかったために知られていなかったことが、実際のデータとして得られるようになり、事前の地震リスク評価や発災後の緊急対応においても、貴重な情報を提供することが期待される。

### 直前地震警報の可能性

揺れが到来する直前に地震発生の情報を得られたとしたら何が出来るかは、興味深いテーマである。このような直前地震警報システムは、JRがすでに10年ほど前から新幹線などにユレダス（UrEDAS）として実用化している。地震が発生した場合、高速で走行中の列車はすぐには停止できないことから、大きな揺れが来る前の小さな揺れを震源の近くで検知することが、警報を早めるための手段として考えられる。ユレダスは、P波初動部より地震のマグニチュードと震源位置を瞬時に推定し、S波到来前に信号を送って地震波を先回りし、列車を減速・停止する仕組みである。気象庁でも、最近、地震波を先回りして警報を出すシステムの研究開発を開始した（図-2）。もし、地震波の主要動が到達する前に、警報を交通機関、工場・危険物施設、建設現場などに伝達することができ、安全措置を施す余裕時間があれば、人的・物的被害の軽減が可能となろう。高速道路も、直前地震警報が有効と思われる交通機関である。しかし、鉄道が



図-1 インターネットによる震度速報（<http://tenki.or.jp/>より引用）

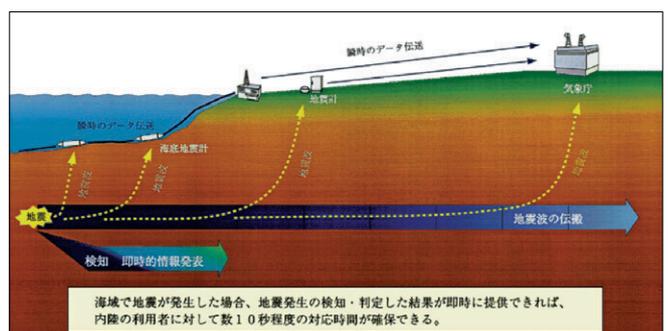


図-2 地震波を先回りする直前地震警報システムのイメージ（平成9年版気象白書より引用）

列車自動制御装置により瞬時に情報伝達できるのに対し、現状では、高速道路走行中の車両に一齐通報する手段はない。電光掲示板を密にすることは限界があるし、道路交通情報通信システム（VICS）も普及率が低い。しかし、専用の安価な受信機を作成することも考えられるし、今後実用化するであろう自動走行レーンなど、車と道路が情報交換するシステムにおいては地震直前警報は必須のものとなるであろう。

### リモートセンシングによる被害情報の収集

災害発生初期における被害情報の重要性は、阪神大震災において誰もが痛感したことである。この地震と前後して、地震動モニタリングとGISに基づく早期被害推定システムの開発・導入が盛んになった。しかし、災害発生後なるべく早期に、実際の被害状況を把握する必要性は高い。被害情報の収集手段は、対象地域の広さ、必要精度、所要時間などのバランスで選択すべきである。建物被害についていえば、地上踏査による1棟1棟の被災度調査は、応急危険度判定や罹災証明発行等のために必要である。しかし、数時間から数日のオーダーで、被害の概略分布を把握することも、緊急対応や応急復旧計画の立案のために極めて重要である。その方法として、ヘリコプター、航空機、人工衛星などによって、上空や宇宙から被災地域を画像・映像により観測することが考えられる（図3）。また、搭載するセンサについても、カメラや光学センサのほかに、天候や明るさに左右されない合成開口レーダ（SAR）などが挙げられる。

兵庫県南部地震を対象として、筆者らは空撮ハイビジョン映像、航空写真、人工衛星からの光学・SAR画像などを用いて、液化化発生地域や建物焼失・倒壊が多い地域などの概略把握が可能であることを示した。同様の検討は、トルコ地震（図4）や台湾地震についても行き、広域災害のマクロ把握にはリモートセンシングが有効な手段であることを確認しつつある。21世紀初頭になると、欧米諸国や日本が高解像度衛星を次々打ち上げる予定である。また、高度20kmの上空に静止し日本列島を常時監視する成層圏プラットフォームという飛行船の研究・開発も開始された。これらの衛星や飛行船からの高解像度の光学画像やSAR画像がリアルタイムで得られるようになると、防災情報としての役割は飛躍的に増大することになる。

### 情報通信手段の変化と情報課題

阪神大震災を境として、情報通信の世界に急激な変化が起こったとあって過言ではなからう。阪神大震災の発生当時、始まったばかりでほとんど普及していなかったインターネットは、平成10年度には日本の利用人口が約1700万人にまで拡大した（図5）。最近相次いで発生したトルコ、台湾の地震では、被害写真、地震動、ボラ

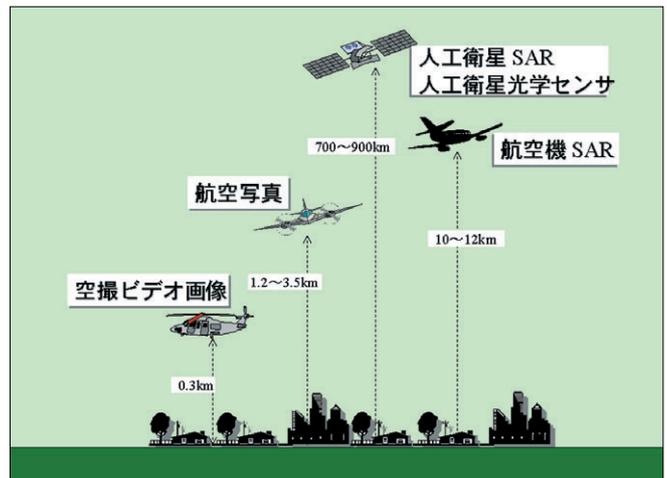


図3 上空および宇宙からの災害把握のためのプラットフォームとセンサ



図4 トルコ地震発生直後のランドサット7の画像。タンク火災や海没地域を判読することができる（<http://earth1.esrin.esa.it/ew/>より引用）

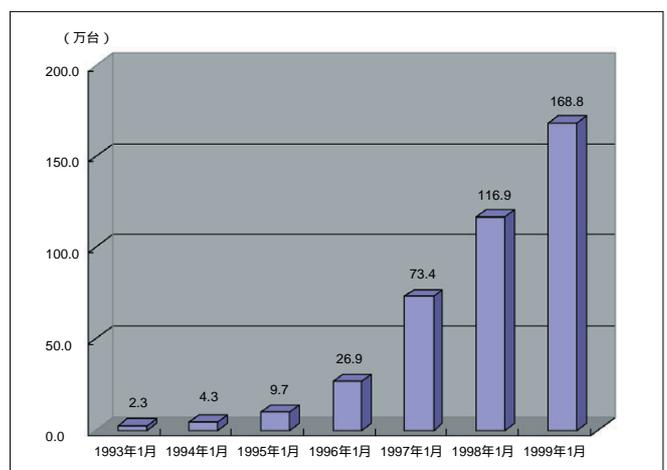


図5 日本のインターネット・ホスト数の推移（平成11年版通信白書より引用）

ンティアなどさまざまな情報が即座にインターネット上に掲載され、最も重要な情報発信・収集手段の1つにまで成長した。インターネットは、災害時においても、さ

さまざまな利用法が考えられ、たとえば安否情報の掲示板として利用すれば電話の輻輳対策にもなる。電子メールも近年普及が目覚ましく、ビジネスの世界でも、郵便、電話、ファックスなどの肩代わりをするケースが増大している。災害時の通信手段としても、一般公衆回線よりは輻輳の影響を受けないと考えられるが、末端部分で公衆回線を利用しているユーザーも多いので過度の期待は危険であろう。携帯電話も、阪神大震災後に急激に普及しており、1995年3月末に約430万件であった契約数が、1999年9月末には、4600万件を越えるまでになっ

た。したがって、災害時の固定電話の役割もかなりの部分が携帯電話に移行することが予想され、これからの災害では携帯電話の輻輳が大きな問題となる可能性もある。しかし、「災害用伝言ダイヤル」などの対策も実施されているので、阪神大震災の時のような「情報の途絶」がないことを願っている。このように阪神大震災で明らかになったさまざまな「情報課題」に関する解決策を21世紀に引き継ぐことが、われわれの大きな役割といえよう。

#### 4. われわれは何を引き継ぐべきか

### (4) 都市マネジメントの総合能力とリスクマネジメントとしての都市防災

岡田憲夫 Norio OKADA

正会員 工博 京都大学教授 総合防災研究部門

#### 教訓を生かす

1995年1月の阪神・淡路大震災はもとより、1999年の夏以降に立て続けに起こったトルコ大地震、台湾の大地震は2000年に入る私たち現代人に警鐘を打ち鳴らしているかのようである。トルコや台湾の震災については今後の検証に待つとして、ここでは主として阪神・淡路大震災の経験を通して日本が21世紀に引き継ぐべきこととして以下の二点に絞って考えてみたい。それは都市マネジメントの総合能力が問われているということ、都市の災害リスクマネジメントというアプローチが不可欠であること、である。

なお、この種の議論をしていく上でともすれば混同されがちな論点に注意したい。阪神・淡路大震災を経験した阪神・淡路地域と、たまたま震災からまぬがれた他地域との区別が必要である。前者の地域は震災を既成事実として今その事後の復興過程にあり、それ自体が地域にとって未経験の再生プロセスである。一方、後者の地域は、前者地域の教訓を踏まえ、このような震災が将来起こり得る可能性を重く受け止めて、どのような手立てを今のうちに講じておくべきかについて心を砕き、知恵を絞るべきであろう。本稿は、紙幅の都合上、主として後者の地域を中心として考えてみたい。

みずみずしくたくましい都市づくりと都市診断のすすめ

大震災は、都市を「不意打ち試験」のように襲ってく

る。そして、いったんそれが起こると、時間との競争でその後次々と試験がやってくる。まるで「トライアスロン」の競技のように災害が複合的に待ち受けている。だが戦後近代化したわが国の多くの都市はもやしっ子がそのまま大きくなった青白き秀才である。予告された定期試験にはめっぽう強いが、不意打ちの実力テストには意外なほどに弱い。あるいは個別の競技では強いが、トライアスロンのように走って、泳いで、乗って、といった総合的競技では精彩を欠く選手である。このような場合、実力を発揮する競技者は、日常的にバランスよく食（整備）し、遊びができるゆとり（リダンダンシィ）があり、常に自己能力レベル（整備水準）の維持・更新に余念がない者である、その結果いたって健康で体力があり、みずみずしくて、たくましい。そして何よりも個人的で魅力的である。言い方を変えれば、遊びのないもやしっ子都市と、遊びのあるたくましっ子都市の違いは、受け皿を欠くひよる長のコーヒーマグと、美しく安定した受け皿を伴ったコーヒーストのの違いであるとたとえられようか。コーヒーストのようなまるごとの質を高める都市づくりがわが国に決定的に欠落している。どうしてそのようなことになったのであろうか。

20世紀後半の、わが国の都市整備は、もやしっ子（都市）が絶えず成長するのに合わせて、寸足らずになった着物（社会基盤）をだましまし伸ばし続けてきた過程であると言えるのではないか。しかも、子供の手が伸びたと言っては袖丈だけを伸ばし、足が伸びたと言っ

ては、ズボンのすそ丈をひっぱり、間に合わせの繰り返しをしてきた。やっかいなことに今でも図体が大きくなることを信じて同じような世話を焼こうとしている。実はその子がいつの間にか大人になり、齢を重ねて成人病（生活習慣病）になりかけているのだ。そのことに世話を焼く親（社会基盤整備の担い手）が十分に気づいていない。こっけいなほどに美的整合性と全体的均整を損なった、その体型の異常にも鈍感である。

その不健康なほころびと油断を大震災は暴き出すのである。いや、そのような予兆は一見小さな災害・事故の中に暗喩のように隠されていることに私たちは気づくべきである。たとえば時間に急がれて大慌てで作ったインフラストラクチャと、もっとゆったりと慈しむようにして構築したインフラストラクチャが入り混じっている「都市という人体」はそのような病巣を抱えている。かすかなその前兆を捉える都市の定常的な健康診断（都市診断）と予防策が必要なのである。いわゆるインナーシティ問題も都市がみずみずしく新陳代謝していく上でどのような総合的処方箋が必要なのかを問い掛けている。そして生き物としてのコミュニティを活かしながら、蘇生・再生手術をする創造的なノウハウの開発を要請している。

だから都市のマネジメントの発想転換が必要である。都市を生き物として捉え、「都市の健康管理」を施す視点が都市のマネジメントの中核に据えられるべきである。「都市の成長と代謝のマネジメント」といってもよいだろう。このことは「日常性」のマネジメントの延長線上に「非（日）常性」のマネジメント（防災）が位置付けられるべきであることを暗示している。この意味で「防災」は総合的でなければならないのである。また、「都市という総合的な文脈」の下で防災を検討しておくことが要請されるのである。

図-1を見ていただきたい。都市（という人体や生体にとえられるような）システムは、実は異なる時間スケールで変化していく異なった層から成り立っている。そして、少し現実を単純化して言えば、私たちの専門的関心の中心にある「社会基盤（インフラストラクチャ）」は、それよりもゆったりとした時間スケールで変化する「自然環境・社会環境」の層と、もっと速く変化する「土地利用・建築環境」の層との間にはさまれており、さらにその上には日常的に変化が激しいいろいろな「活動」があり、私たちの地域社会（たとえばコミュニティ）における生活もその一環である。このように考えると都市は多層的な生体システムであり、異なった体内時計が固有のリズムを刻みながら、全体として常に変化し続けている総体として捉えることができる。

社会基盤自体も、ハード（物的施設、可視的・可触的システム）とソフト（非物的施設、不可視的・不可触

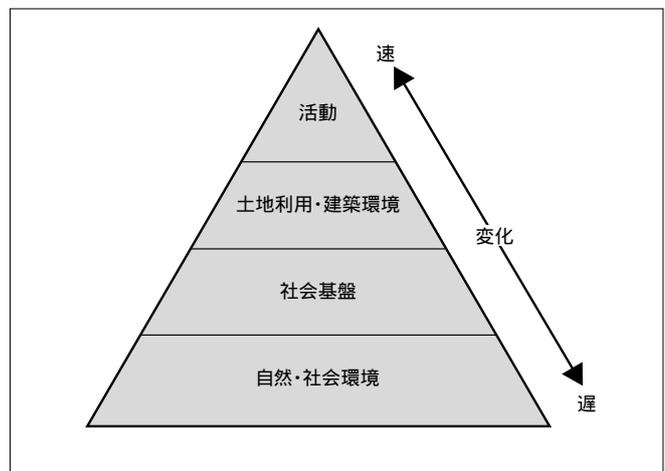


図-1 都市システムの多層性

的システム)の綾なす総体であるはずで、その絶妙な組み合わせがトータルの社会基盤の質を決定するはずである。「社会システム」はいわばそれを縁取る、より上位（メタレベル）のソフトな社会基盤システムとみなせる。このように考えれば、社会システムと社会基盤システムは相互に不可分の関係にあることになる。このことをもう少し掘り下げて考えてみよう。

#### 社会システムの革新

今回の震災では、社会基盤の脆弱さはもとより、社会システム自体の制度疲労があらわになった。社会システムも長い間に老化するのである。たとえば地震直後に発生した同時多発型都市火災に対して現在の消防システムはきわめて心もとないことが判明した。その根源的な原因として、社会システムの不備を挙げるべきであろう。そもそもこの種の不意打ち的かつ同時発生的（ゲリラ的）な都市火災がいずれ起こり得るという想定が都市マネジメントの枠組みとしてできていなかった。さらに、そのような想定が現実のものとなったとしても、あらかじめ対策をどのように講じて、完璧に守りきり、被害をまったく出さないようにすることはほとんど（技術的・コスト的に）不可能であるという、冷徹な割り切りが社会的にできていなかった。つまり、そのような不確定で失敗もありうることを想定したリスクマネジメントが都市防災に欠落していたのである。これは何も消防に限らない。

つまり、最悪の状態を回避し、いわば不幸中の幸い（フェイルセーフ）に導くための、事前における潜在的被害の軽減策（ミチゲーション）が適切に講じられることがなかった。あるいはそのための社会的な心構えの事前の体制（プリアドネス）もできていなかった。ましてや、阪神・淡路大震災がそうであったように、いったんそれが不意打ち的に起こった直後からの修羅場における都市のマネジメントは想定だにされていなかった。つ

まり実時間との連戦を重ねながら事後的サバイバル活動を有効に行うための戦略的方策がすっぱりと社会システムから抜け落ちていた。これはいわゆる狭義の危機管理のことで、事後の（修羅場の）マネジメントという意味でイメージンシママネジメント（修羅場のマネジメント）やクライシスマネジメントと呼んで、事前の対策にアクセントを置いたリスクマネジメントと区別することもある。

#### リスクマネジメントとしてみた防災とカストロフィックリスク型災害のマネジメント

防災をリスクマネジメントの対象として捉えた場合、それが特定の地域に限定的かつ集中的に発生するという特徴を備えていることに注意が必要となる。この点で、たとえば自動車の交通事故のような場所的にランダムに、しかも繰り返し多くの数が生起する傾向を持つリスクのマネジメントと根本的に異なっている。この種のタイプのリスクは多数の法則が当てはまるため統計的な取り扱いになじむので、損害保険というリスクファイナンスの経営手法が直接適用可能である。しかし、防災のようなリスクはそのようなアプローチがそれほど容易ではなく、いろいろな工夫が必要になる。

なおリスクファイナンスは被害の支払いリスクを保険会社に転化することにより、結果的かつ間接的に被害を軽減する方法である。ソフトなミティゲーションの一種と解釈できる。これに対してハードなミティゲーションの多くは直接被害の発生をコントロールしようとするもので、リスクコントロールと言われる。都市災害のリスクマネジメントは、リスクコントロールとリスクファイナンスの双方を適切に組み合わせることにより、社会的にみてもっとも被害軽減効果の高いミティゲーション戦略を講じることであろう。

阪神・淡路大震災のような災害をリスクマネジメントの対象としてみた場合、著しい特徴が指摘できる。それは「カストロフィックリスク」（「希少激甚集中リスク」とでも訳しておこう）を扱うリスクマネジメントであるということにある。つまり、われわれの平均寿命をはるかに超える長大な再現期間（低頻度）で起こる希少現象であるが、いったん起これば甚大な被害が発生しかねないようなリスクをカストロフィックリスクという。しかもそれが場所的にも、時間的にも集中的に発生する。その結果被害は、二次的・複合的に増幅・拡大し、きわめて甚大なものとなる。さらにその間接的な影響が数十年も持続する特徴を持っていることが多い。このような

タイプの災害リスクのマネジメントは、これまでややもすればリスクコントロールを中心としたものに傾斜する傾向があった。それはハード主体のミチゲーション手法がもっぱら公共主体によりとられてきたことともあいまって、民間や個人の手にはリスクマネジメントの一端を委ねることを社会的に回避してきた傾向とも符合するところが多い。しかし、今後はより社会的に有効で効率的なマネジメント方策として、多様なソフト・ミチゲーション手法やリスクファイナンスの手法（たとえばカストロフィック・ボンドや災害基金制度）の導入などの、新しい工夫が求められている。

#### 政策立案の課題

最後に、カストロフィックリスク型災害のマネジメントの要諦と考えられるものを政策立案の課題と関連づけて簡単に列挙しておこう。

- ・ハリネズミのようにガチガチにハードで守りきる防災要塞都市を作るとは財政的にも、技術論的にも困難である。そして何よりも日常的営みとの折り合い感覚を欠いた都市はもはや住みよい都市では決してありえない。日常時からの利用的連続性と慣性を活かした都市リスクのマネジメントが重要である。

- ・都市の社会基盤整備にも可能な限り費用対効果基準に基づいた優先順位づけと、メリハリ（集中性・拠点性と分散性・ネットワーク性の使い分け）の効いた整備戦略が必要である。また、性能設計規範の導入などの選択の幅を広げたより柔軟でしなやかな対策が求められる。

- ・都市診断と持続的な更新システムの導入により、多層的な都市に見合った総合的でタイムリーな社会基盤質の向上戦略を策定・実施することが望まれる。

なお、都市（圏）の側から見ようとすると、ともすれば国土や過疎地域が死角となってしまう恐れがある。国土には疎密のメリハリのきいた空間マネジメントが不可欠である。過疎地域も含めた複眼的で多角的な視点を欠いている都市マネジメントの総合能力はおぼつかない。これが本稿のもう一つのメッセージである。だからこそ今社会システムの革新が待たなしに求められている。そのような新しいマネジメントを根底に据える社会的体制づくりに取り掛からずして、21世紀のわが国は真に「新世紀」とはなりえない。そして、そのようなマネジメントを特徴づける決定的機軸が都市における災害のリスクマネジメントなのである。

## 4. われわれは何を引き継ぐべきか (5)自治体からの視点

貝原俊民

Toshitami KAIBARA  
兵庫県知事

はじめに

あの阪神・淡路大震災から早くも5年が経過しようとしているが、この間、土木学会関係者の皆様が復興に多大な役割を担われたことに心から感謝を申しあげたい。

壊滅的な被害を被った神戸港、阪神高速道路などの都市基盤の復旧はもとより、明石海峡大橋の完成などは、復興に取り組む私たちに大きな勇気と希望を与えてくれた。

各界各層の方々のこうした支援の下、震災直後から復旧・復興対策に全力を挙げて取り組みを進めてきたが、その過程で多くの貴重な教訓を学んだ。

トルコ、台湾の大地震の例を見るまでもなく、大災害は世界のどこでいつ発生しても不思議ではない。

このトルコ、台湾でもいち早く各分野の人材を派遣するなど支援を行ってきたが、私たちが学んだ教訓を国内外の人々や後世に伝承していくことは、阪神・淡路大震災を体験した私たちの責務であると考えている。

このたび学会誌への寄稿の機会を得たので、これまでの復興過程を概観しながら、震災から学んだ教訓の伝承への取り組みの一端に触れてみたい。

### 震災の特徴と震災対策

#### 震災の特徴

阪神・淡路大震災は、350万人の人口を擁する大都市圏を直撃した未曾有の大災害で6398名もの尊い命を奪い、ストックの被害だけでも約10兆円に及ぶ甚大な被害をもたらしたばかりでなく、高齢社会下の近代都市における大災害としては、人類史上初めてのものだと言われている。

このような大規模な災害に対する行政の対応は、一般的に緊急対策、復旧対策、復興対策の三つの段階に大別することができるが、いずれの対策にもお手本となる先例もなくいわば手探りの中で懸命に諸般の対策を進めてきた。

#### 震災対策の基本

震災対策を進めるに際して、単に震災前の状態に戻すだけではなく、震災の教訓を生かし二度と同様の被害に見舞われない本格的な復興をできるだけ早期に立ち上げるため、各界の英知を結集して復興の基本となる計画の検討を急ぎ、震災から半年後の95年7月に「阪神・淡路震災復興計画」(以下「フェニックス計画」という。)を策定し、緊急復旧対策の傍ら創造的復興に向けた取り

組みも同時に進めることとした。

#### (1) 緊急・復旧対策

交通・通信手段の途絶など大混乱の中、人命救助を最優先にしつつ、生活必需物資の調達、緊急輸送ルート確保の確保、避難住民の救援・救護、危険建物の判定などの緊急対策に続き、ライフラインの復旧、ガレキの撤去、仮設住宅の建設、2次災害防止対策などの復旧対策に総力を挙げて取り組みを進めてきた。

#### (2) 復興対策

フェニックス計画の目標達成の第一段階として、被災者の1日も早い生活再建をめざし、3カ年で震災前の水準に戻すことを目標に「緊急復興3カ年計画」を定め、都市基盤、住宅、産業の3分野の復興に重点的に取り組みましたが、3カ年で掲げた目標をほぼ達成することができた。

### 被災地の現状と創造的復興への取り組み

#### 被災地の現状

震災後、被災地では14万7千人、全県でも12万5千人の人口の減少をみたが、4年半後の99年11月には、被災地では約2万6千人の減少まで回復し、県全体では約2万5千人の人口増となっている。

また、仮設住宅入居者は、ピーク時の4万7千世帯から99年12月1日には18世帯まで減少し、急速に恒久住宅への移転が進み、ビルやマンションの再建も進み、街並みは新たな装いを整え賑わいも戻りつつある。

しかし、全国的な景気動向の影響を受け復興の歩みは停滞し、特に中小零細企業や商店は低迷し産業・雇用面で依然厳しい状況に直面しているほか、災害復興公営住宅等へ移転した高齢世帯では、心身の不調や新しい暮らしになじめず孤独感を抱く人々など新たな課題が生じている。

#### 創造的復興への取り組み

フェニックス計画では、「災害に強く安心して暮らせる都市づくり」、「21世紀に対応した福祉のまちづくり」など5つの基本目標を掲げ、約860の具体的事業を位置づけている。

この計画に沿って、現在、中小零細企業対策や高齢被災者の生活再建など当面する課題に引き続き積極的に取り組むとともに、21世紀の成熟社会のあるべき姿を見据えた先導的事業の展開を図るなど創造的復興に向けた取



り組みを進めている。

## 教訓の伝承

### 伝承への取り組み

人類社会が初めて経験する高齢社会下における大災害であり、あらかじめの知識も経験もなく、諸制度も不備の中で懸命の取り組みを進めてきたが、それだけに私たちに数多くの反省と教訓をもたらした。

この貴重な経験を風化させることなく国内外に発信し後世に引き継いでいくことは、今後の震災の被害を軽減するため何よりも大切であり、継続的な情報発信に力を注ぎたいと考えている。

### 震災対策国際総合検証事業の実施

震災から5年目の節目を迎え、これまで兵庫県が進めてきた緊急対策、復旧対策、復興対策への取り組みを総合的に検証・評価し、その成果を広く内外に発信しようとする「震災対策国際総合検証事業」を実施している。

この検証事業では、初動体制、被害認定、仮設住宅、生活再建、産業復興、都市基盤、復興財源など20の重要テーマを選定し普遍性のある論点を明らかにした上で、各テーマごとに国内国外各一名の専門家を選任し、国際的知見も踏まえた客観的な検証・評価を得ることとしている。

すでに被災地でのサマーセッションも終え、2000年1月には、検証結果を取りまとめその成果を発信する報告会を開催する運びにあり、貴重な教訓を伝承する機会になるものと確信している。

### (財)阪神・淡路大震災記念協会による伝承

阪神・淡路大震災記念協会は、震災からの復興の戦略的プロジェクトの一つとして、97年12月に発足し、震災から得られたさまざまな教訓を踏まえ、人類の安全と共生について総合的な調査研究を行い、震災の教訓を共有し伝承する事業の展開を図ることを主な目的として設立された。

#### (1) 震災資料の収集・整理・公開

協会では、今後の震災対策に生かすため書籍、機関誌、新聞、地図、ちらしなどの文字情報、映像、ビデオ、写真などの映像情報、CD-ROMなどの電子情報を収集し、現在、約1万8千件の資料を資料室やインターネット上で公開しており、順次整理できたものから追加公開している。

なお、資料の散逸を防ぐため、2000年から2年計画で集中的な資料の収集に取り組むこととしている。

#### (2) 周年記念事業の実施

大震災の教訓を風化させない取り組みとして、大震災が発生した1月17日に国内外に向けて1・17宣言をアピールするとともに、その前後に「震災を忘れず防災に取り組む」など3つの理念の下に、毎年度、周年記念事業の展開を図っている。

### 阪神・淡路大震災メモリアルセンター（仮称）の推進

大震災の経験や教訓を全世界の共有財産として継承し、国内外の地震災害を中心とした自然災害による被害の軽減に貢献することを目的として、大震災に関する資料等を展示・保存するとともに、震災対策に関する実践面を重視した調査研究や人材育成等の機能を持つ阪神・淡路大震災メモリアルセンター（仮称）の設立を提案し、その実現への取り組みを進めている。

また、このセンターでは、神戸大学都市安全研究センター、アジア防災センター、地震防災フロンティア研究センター、国際連合地域開発センター防災計画兵庫事務所、実大三次元震動破壊実験施設など被災地に集積する多彩な関係諸機関との連携を重視し、震災対策に必要な広範な領域にわたる知見を有効に活用するシステムの構築をめざしている。

### 共生社会づくりをめざして

大震災に遭遇し、私たちは、自然の偉大さを教えられるとともに、救援・救助活動で大きな力を発揮した人と人とが支えあう住民同士の助け合いの大切さを学んだ。

そして、これまでの「利便」「効率」「成長」を優先した近代都市の脆弱性が浮き彫りとなったため、「安全」「安心」「ゆとり」をキーワードとする都市づくりを目標に復興しなければならないと決意した。

このため、フェニックス計画では、その基本理念を「人と自然、人と人、人と社会が調和する共生社会づくり」とし、まち全体が住民にとって一つの生活空間となるような「人間サイズのまちづくり」を進めている。

幸い、震災以降、明石海峡大橋を含む神戸淡路鳴門自動車道や山陽自動車の開通、新しい都心核となる神戸東部新都心や2000年3月に開幕する淡路花博の会場となる淡路夢舞台の整備など新しい兵庫の構築に向けた基盤が整いつつある。

今後、このようなポテンシャルを最大限に活かし、フェニックス計画の理念の下、災害復興の先導例となるような創造的復興に向けて全力を傾注していきたいので、引き続き各界の皆様のご支援を賜りますようお願いしたい。

#### 4. われわれは何を引き継ぐべきか

### (6)21世紀に引き継ぐべき教訓：福井地震から阪神大震災を振り返って

表 俊一郎 Shunichiro OMOTE  
正会員 理博 九州産業大学 名誉教授

#### ノックアウトパンチを忘れるな

1995年1月17日早晩神戸市および周辺の地域は強烈な地震動に襲われ、死者5500名余(3月27日現在)を始めとする大災害を蒙ることとなった。この地震による災害はあまりにも甚大であったので、このような大災害は二度と再び日本に発生させてはならないとの想いは震災防止対策に関係している専門家ばかりではなく、広く一般市民に至るまで、共通な感情となって深く人々の心に訴えるところとなった。その時から早くも5年の歳月が経過した今の時点においては、震災直後に誓ったわれわれの決意、二度と再びこの災害を日本で繰り返させてはならないとのことが、どこまで実際に生かされて有効な対策が実施されて来たか、そしてその効果のほどはどの程度にまで上がってきていると判断できるかについて、今こそ厳密な検査検討<sup>1)~4)</sup>が行われなくてはならないと考えられる。

#### 地震災害を分類する

しかし一口に地震災害といってもその内容はいろいろさまざま、したがって災害対策も簡単に分類分けができませんのものであるわけがない。しかし地震災害をよくよく調べてみると、一見千差万別に見える地震災害も、おのずから二つのグループに大別できることが明らかになってくる。人工構造物の地震被害とそれ以外の地震被害とこの2つである。まだあまり世間に通用している分類法とはいえないかもしれないが、少なくとも、日本に関する限り大変わかりやすい明快な分類であるということが出来る。2つの分類のうち第一の分類人工構造物の地震災害は神戸の地震の場合にも確かに多大の被害を生じてはいるもののその耐震安全性の向上、耐震強度の増強進展は関係者の非常な熱心努力により、濃尾地震、福井地震、兵庫県南部地震と過去の大地震<sup>5)</sup>のたびごとに向上発展を遂げて来ていて次の大地震の場合には被害の軽減は期して待つべきものがあると信じられている分野である。

それでは、すべての地震被害はその被害防止軽減に向かって十分な対策施策が等しく着々と発展進行しているかとなると、話は決して左様に上手い話になっているわけでは決してない。人工構造物以外の地震災害については、その災害の防止軽減の為の対策は、ほとんど何人からも顧みられること無く放置されているという現状であ

る。そのような状態では再び大地震が来襲してきた場合には、前回と同様な被害が発生するであろうことは明らかであるので、今こそ声を大にしてそのような災害の防止軽減に至急取り組んでいくべきであることをここに強調しなければならない。

#### 人工構造物以外の地震災害

さてそれではここにいう人工構造物以外の地震災害とは具体的にどのようなものを指すのであろうか。具体的にその名称をあげるとなると数限りなくあるであろうが、その災害の大きさの程度、災害の影響する範囲の広さ等災害の実害を目安にその防止軽減を図らなくてはならないものを数え挙げるとなると、その対象となる災害はおのずから容易に決まってくるようである。筆者はそのような災害として次の4つの項目を挙げようとするのであるが、この4項目で必要とする地震災害は尽きていると考えてよいようである。すなわち、

- 1) 既存不適格建物の対策の問題
- 2) 地震火災撲滅対策の問題
- 3) 津波災害を皆無にする対策の問題
- 4) 危機管理体制確立の問題

以上の4項目<sup>6)</sup>である。これらの4項目の内容、有用性に付いては文献に明らかであるので再び繰り返す必要はない。ただ第4番目に挙げた危機管理体制確立の問題は全く新しい問題である。最近の文化社会の複雑化、巨大化に従って災害も複雑巨大化してきているのに災害対策関係者の不明と怠慢とにより、災害の進歩に追いつき、追い越す大勉強を怠った、まさにその代償として神戸の大惨害が招来されたと断じても過言ではないとすれば、これらの提案は早急に実施に移されることが望まれる。上記4項目が実際に実施された場合の効果のほどの抜群の有効性、費用の面での実行可能性についてもすでに十分に検討済みである。最後に残された問題はこの卓抜した提案を早急に実施に移して震災防止の実績を挙げていくことだけである。これだけ立派な提案なのである。一日も早く実施に移されて防災の実をあげる事が切望されている。不思議にその実行の面だけがどこからも取り上げられることなく、放置された形で時が過ぎている。

#### 21世紀に引き継ぐべきものはこれである

本来ならば、この重要な4項目の災害対策を忘れず



に21世紀に引き継いで、21世紀初頭にその実施を勝ち取り、地震災害対策の問題に大進展<sup>7)</sup>を遂げるべきであると強調したいと考えていたのであった。ところが、最近発生した2つの地震が筆者の甘い考えに強烈な一撃を食わせることとなった。8月17日のトルコの地震、9月21日の台湾の地震、この2つである。いずれも専門家による現地調査はただ今遂行中であり、今われわれが持っている情報は新聞情報の域を出てはいないが、それでも非常にたくさんの死者を生じたこの2つの地震は地震災害対策の問題の厳しさ、怖さを天の声としてわれわれに聞かせて深刻な教訓を与えてくれるものとなった。被害の性質は日本の場合と全く異なっているけれども、どちらも地震被害であるという点については全く同様である。敢えてもう一言加えることが許されるとするならば、地震で大被害と聞かされて、ああまたかと思わされた点においても、神戸の地震の4大項目の場合と、トルコ、台湾の地震で不良建築大量倒壊の場合と全く同一の感じを持たれたのはなぜであろうか。地震災害を防止し軽減させるためにはそれぞれお国柄に従って具体策は異なるけれども、何をどのようにすれば良いかについてはそれぞれ回答はすでに十分に出されている。日本も地震災害対策先進国の一員として世界の地震災害防止を目指して長年にわたり熱心に協力につとめ、相当の成果も挙げてきたつもりであったと自負していた矢先、今回のトルコ、台湾の地震の大災害が発生している。お前達の今までの努力は無駄であったぞと嘲笑しているようにさえ見える。しかしそんなはずはない。過去の大災害を教訓として熱心に積み上げてきた努力は日本では確実に成果を挙げてきたではないか。今トルコ、台湾の大震災を目前にして今から震災防止先進国として責任を担おうとしている日本にとっては今こそここで長考一番、震災防止の哲学を根本的に改める大決断を迫られていると気付くべきである。大震災がなぜ招来されたか。主因は耐震技術の欠陥によるというよりもむしろ人間倫理性の荒廃に起因している。確実にやるべき事柄が不正な利益のため正確に実施されていない、これが大震災の根源となっている。しかしこれを改めることは大変な難題であってこの小論の扱える範囲をはるかに超えている。結論だけを述べればこれを克服するためには人間性の回復、人間

倫理の確立、という大事業がなされなくてはならないこととなる。気が付いてみたら何のことはない、このことは今人類が最大の難問として乗り越えるため悪戦苦闘している環境汚染対策とそのルートを共有していることとなっている。

震災防止軽減対策の問題も複雑巨大化した社会の中で問題となると、もはや旧態依然たる理論技術だけで始末できる問題ではなくなっていることに気付かなくてはならなくなっている。震災防止軽減対策を21世紀に完成させることを望むならば、今世紀から来世紀21世紀に引き継ぐべき最大最高の要件は人間の倫理性を取り戻し、正義と公正とを身に付けた人々が具体的には、日本でなら先に述べた4大項目の実現に向かって努力を惜しまないならば、発展途上国でならばお国柄に応じた形で震災防止に励むならばまた、発展途上国の場合ならば、財政的困難を苦しくとも乗り越えて、耐震対策の正道を実行するようわれわれが指導教育できるようになるならば、地震災害防止の問題はその完成に大きな光を見ることとなるであろう。そしてもしこの夢が実現したとなれば、震災防止の問題は人類を破滅から救い出す先達者の栄光を担うものとなるであろう。21世紀に引き継がなくてはならないわれわれの夢は大きい。

#### 参考文献

- 1) 土木学会誌：阪神・淡路大震災特集 震災フォーラム No.1 地震動 土木学会誌 1995年11月号, pp.37~43, No.2, ...No.11 今後の課題 No.12 最終回, pp.53~57, 1996.6月号
- 2) 日本建築学会長 中村恒善(第一次提言) 建築および都市の防災性向上へむけての課題 - 阪神・淡路大震災に鑑みて - 建築雑誌 1995年8月号, 同(第二次提言) 被災地域の復興および都市の防災性の向上に関する提言, 建築雑誌 1997年2月号 同(第三次提言) 建築および都市の防災性向上に関する提言 建築雑誌 1998年6月号
- 3) 河田恵昭：都市地震防災の展望 - 阪神・淡路大震災後3年を経過して - 自然災害科学 Vol.16, pp.225~237, 1998
- 4) 表俊一郎：阪神・淡路大震災から何を学ぶ事ができるか, 何を学ばなくてはならないか, 物理探査, 第49巻1号, 1996, pp.1~16
- 5) 表俊一郎：地震防災対策発展の歴史とこれを支えた人々, 物理探査, 第52巻3号, pp.188~191, 1999
- 6) 表俊一郎：過去の大地震に鑑み次の大地震に備えて緊急に災害対策実施を必要とされる4つの項目について, 自然災害科学, 第17巻, pp.339~346, 1999
- 7) 表俊一郎：地震防災に対する基本姿勢, 物理探査, 第52巻, pp.187~198, 1999