

阪神・淡路大震災

—その教訓と復興対策—

片山 恒雄

Tsuneo KATAYAMA

正会員 東京大学教授 生産技術研究所

はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）は神戸市をはじめとする広い範囲の都市基盤施設に大きな被害を与え、これらの施設に関わってきた土木技術に対して社会的な不安と不信を生み出すこととなった。

地震発生から8ヶ月が経ち、少し落ち着いた状況で話し合えるようになってきた。

シンポジウムでは、この震災に対し、いったい何が問題であったのか、われわれは何をいうべきか、また何をなすべきか、何が出来るかについて議論することをめざした。そのため、まず6人のパネリストに話題提供をお願いし、それらにもとづき会場からの質問や討論を展開することにした。

- (1) 阪神・淡路大震災から学ぶものと今後への対応 松井 保 (大阪大学)
- (2) 鋼構造物の被害に学ぶ 三木千壽 (東京工業大学)
- (3) 鉄筋コンクリート構造物の被害と今後の問題 岡村 甫 (東京大学)
- (4) ライフラインの復興 高田至郎 (神戸大学)
- (5) 土木技術への教訓と復興への役割 河田恵昭 (京都大学)
- (6) 土木技術への教訓と復興への役割 溜水義久 (兵庫県副知事)

話題提供者の発言

松井 保：地盤工学の立場から、今回の震災の教訓として、二つのポイントを指摘したい。

一つは、縦割りシステムをつなぐ横系の役割である。壊れた高架橋の復旧のために、上部工・下部工および基礎工に分けた縦割りのような検討が行われるが、上部構造と基礎構造を一体として検討することにより、地震時の挙動の解明や耐震性の整合性ある検討が出来る。また、液状化の問題にしても、省庁や対象構造物で判定基準が異なるなど縦割りのようになっていて、日本統一の液状化の判定基準を確立して横系でつなぐことが大切である。

二つめは、情報の一元化と公開についてである。地盤・地震情報には地震動情報、地理情報、地質情報、土質情報などがある。今回の震災は実物大の構造物の破壊実験ともいえ、実験の結果を生かすには情報の公開が必要であり、それにより科学的に有益な多くの情報を技術者が共有出来るようになる。

三木千壽：これまでの地震では土木の鋼構造物は強く、今回の鋼構造物の破壊の様子はこれまでに例を見ないものが多かった。例外的にロムブリータ地震の際、ベイブリッジのスパンが落ちた例があったが、今回も支承や落橋防止装置に問題があった。地震の方向や3次元の挙動を考慮することも重要である。

いろいろな局部座屈が起こったが、ちょうちん座屈と呼ばれている局部座屈の発生と板厚変化の

関連、鋼製部材のぜい性的な破壊についてはまだよくわかっていない問題がある。また、低サイクル疲労などについても今後研究すべきことが残されている。

岡村 甫：鉄筋コンクリート部材は、曲げモーメントと剪断力の合成で斜めにひびが入り、そこがずれて破壊を起こしたものが多かった。大被害の原因は基本的には耐震設計法の不備にある。

歴史的に見ると設計に用いる剪断の許容応力度はだんだん小さく採られるようになってきたし、いまはサイズ・エフェクトも考慮するようになった。壊れたものの大部分は昔の示方書によるものである。剪断力に対し十分な強度がある鉄筋コンクリート構造物は、曲げモーメントにより鉄筋は降伏しても、すぐには崩壊に至らない。

最近では、地震入力を与えると、構造物の破壊に至る様相をダイナミックに計算出来る。地下構造物についても入力さえ与えられればその挙動のシミュレーションが可能である。

今後の設計には、剪断破壊を防ぐ思想を普及させることが大切である。施工や材料の欠陥を指摘する向きもあったが、今回の被害の主な原因ではない。ただし、今後、地震入力や部材強度がもっとはっきりわかるようになれば、施工の大切さが増す。

高田至郎：ライフラインの復旧を見ると、電気・電話は1~2週間、水道は神戸で10週間、ガスは90日以上かかった。これは、それぞれのライフラインの構造の耐震性の違い、施設の管理、運用が各事業者でどのように行われてきたかの違いの表われと考えられる。

やはり良質のパイプは被害を受けなかったし、共同溝にも機能上の被害は起こっていない。また、1%の地盤ひずみに対して耐えるような設計をしていたものは壊れなかった。

すべての物理的被害を0には出来ないから、ライフライン機能が停止されたとき、早急に復旧出来るシステムを準備することが重要である。緊急対応・早期復旧のための事前準備や柔軟に対応出来るマニュアルが必要である。さらに、広域バックアップシステムの構築、ライフスポット、特に

防災拠点、避難地で自立出来るようなライフライン・システムづくりが必要である。幹線共同溝の建設と同時に弱い管路を計画的に入れ換えて行くことを考える必要がある。

河田恵昭：港湾構造物については、昭和58年の日本海中部地震以来、耐震護岸・岸壁の重要性が指摘されてきたが、過去20年間の設計基準はほとんど進歩していない。ポートアイランドや六甲アイランドのような島式埋立は、今回の震災で孤島化した。今後、沖出し型の埋立方式をすることも必要であろう。

港湾施設が被災したため、東南アジアなどでは震災地からの供給が停止し、日本製品や部品の値上がりを引き起こし、事業が成立たなくなった企業も出た。港湾施設の被害は、単に一つの港湾の被害にとどまらず、国際的な被害をもたらす。応急資材や支援物資が運べないという問題が生じることも念頭に置かなければならない。

今回は津波が問題とならなかったが、大阪湾沿岸はかつて大津波の被害を受けており、防災上、津波についても考慮すべきである。

河川については、治水、利水ばかりでなく親水（環境）の重要さが認識されるようになった。大災害時には河川の周辺域は代替道路、避難路、物資の置場などとしてますます多機能化が求められる。

阪神地区は飲料水をはじめ水資源の40%を淀川に依存しており、明石架橋完成後は四国からの配水システムなども考えるべきであろう。

今度の地震の後、全国の多くの市町村が震度7に耐えるまちづくりを目指しているが、直下型地震の発生頻度は低く、むしろ高潮や洪水の同時発生確率などを考慮した防災対策が必要である。

災害全般についてみると、情報の早期公開、防災から減災へ、災害で失われた環境の回復、新しい都市環境を創造する社会ミチゲーションといった概念が大切になりつつある。

溜水義久：六甲山は昔から水害の多発地で、昭和13年、36年、42年にも大被害を被っている。そのため砂防事業や治山事業が進められ、現在砂防ダムだけでも約1500箇所が完成している。50

年にわたり山崩れを防ぐ事業をやってきた結果、技術が進歩し、技術に頼りすぎるようになって、市街地がだんだん山へ登ってゆくようになった。これまでやってきたことに対する信頼が、かえって被害を増やしたことは反省しなければならない。ダムを造ったから安心だというのではなく、危険性についてももう少し知ってもらう努力が必要である。

今回の教訓として、これ以上、住宅が山へ登るのはやめさせようと考えている。山の上の方に開発保留地を残すだけでなく、砂防緑地や六甲山麓のグリーンベルト構想で抑えるような考え方を進めている。

防災拠点をつくる場合でも、「防災のため」といった肩肘を張った形で作るのは困難で、むしろ日常的につくったものが、非日常、つまり被災時に役立ったというものでなければならない。神戸市は、震災復興で基盤整備を進めてきた結果として、小公園が多くある。これらが防災に役立ち、仮設住宅等の建設にも使われ、その間の避難救援の場所にもなった。これから先の都市計画のなかでは、都市核の分散や交通・通信体系についても、ゆとりや余裕を重視してゆく必要がある。

フロアとのやりとり

大変失礼なこととは思いますが、原則として質問した方の名前は割愛させていただいた。一方、答えた人、コメントした人の方ははっきりした方がよいので名前を出している。すべての質問と答をここに入れることは難しかった。せっかくのご発言を含められなかった場合もあったことはご容赦いただきたい。

Q:地震が首都圏などの大都市を襲えばどうなるかを具体的に知らしめたことが今回の地震の最大の教訓である。次の地震に対して、具体的にどうするか、その緊急性、誰が金を出し、いつまでに、どの程度やるかを考える必要がある。構造設計、補強技術開発の視点からどのように考えるか。

岡村:コンクリート構造物でいえば、どれ位の地震が起きればどうなるかはある程度予測出来

る。それを逆に使えばどういう構造物を急いで直さなければならないかがわかる。壊れなかったものについても、緊急に強くすべきものとそうでないものを分けることは出来る。

松井:予想外のことに対して、パーフェクトに対応するものはないが、崩れたときにも、なんとか対応できるような防災マニュアルなどを早急につくることが必要である。飛行機に乗るときに、救命胴着の着用方法を説明するのは、暗に落ちるかもしれないことを乗客に知らせていることだ。同様に技術者がパーフェクトでないことを示すソフトな対応も必要であろう。

Q:入力がわかれば、構造物の挙動は把握出来るということだが、近年の地震では、加速度記録でいえば、国内外で今回の神戸で観測された以上の地震動も得られている。しかし、構造物の被害は今回の神戸や淡路ほどではない。一方は壊れ、一方は壊れないという現象を支配する要素は何か。地震動の研究者で入力地震動を扱う者が構造物をつくる側に何を設計外力として提供すればよいか。速度がいいのか、他の何かいい指標があるのか、継続時間、またそういうものを提供した場合に、それを適切に設計に反映する受皿は現状で十分用意されているのか、コンクリート構造物の破壊が何によって支配されているのか聞きたい。

岡村:現在の鉄筋コンクリートの研究、技術レベルでは、時系列的な加速度記録があれば対応出来る。

高田:地中のパイプラインでも、現在の設計レベルで考えているものは基本的には被害がなかった。耐震継手をもつ水道管は壊れなかったし、品質の良い溶接管も壊れていない。ただ、過去の低いレベルのものには、壊れたもの、壊れなかったものがあり、破壊と設計レベルは直接的に結びつかず、施工、維持管理などの要因も大きい。すべてのものを一つのメジャーで測るのではなく破壊の状況を詳細に調べる必要がある。

片山:もう一工夫すれば被害が1/5になったというような意見は聞いたが、あと2~3時間あとに地震が起きていたら被害はまったく違ったりするという意見は出なかったがその方はどうか。

河田：違った時間に起きれば人的被害はどうかについて研究している。それをやらないと東京、大阪、静岡などで起きる地震災害の予測は出来ない。マクロなモデルはすでに完成しており、その上限値がマイクロなものとうつながるかを研究中である。世間にいわれている1時間後であれば被害は10倍になっただろうという議論より、もっと細かいところまでの値を出せる。

Q：神戸などは、直下型地震が起きる可能性があるという学者の指摘もあったし、大阪ベイエリアの開発に当たっても、地震が起きるといふ心配があった。しかし、大阪には地震が少ないという計画で話が進められた。四国縦貫道の計画を見ると、中央構造線を何回も横切って走っている。活断層の研究などはここ20年の間に格段の進歩があったが、都市計画の研究者はそうしたことを考慮していないように思われる。今度の地震のあと、兵庫県も億の金を出して調査をはじめている。一度に大金を投入するのではなく、地域地質調査など10年位かけて費用を分けて詳細に調査し、知識を貯えていくべきと思う。

片山：同感である。多額の予算を短期に使いきるといふのはおかしい。「予算をきちんと制度化して付けるからそのための使い方を1年かかって考えろ」といふべきだ。関東でも「あなたの地域に震度6の地震が起きるとどうなると思うか」というアンケートで1/3は「たいした被害は起こらない」と答えている。こうした考えはどこでも同じであり、「関西で地震が起きてもたいしたことはない」と思っていたのは事実であろう。そんなことが起こらぬようこれから考えて行きたい。

溜水：人と自然が共生する環境の創造ということで、地盤条件とまちづくりの因果関係を綿密に調査した成果を使って行こうとしている。そのための地盤調査はすでにやっているし今後とも続けて行くつもりである。

Q：神戸高速鉄道大開駅の中柱が破壊した。同じ震度7の隣の高速神戸駅ではほとんど被害はなかった。壊れた大開駅のシミュレーションが出来るなら、壊れなかった高速神戸駅についても、何故そうなのか明らかにしてもらいたい。

岡村：設計の図面、詳細なデータが公表されれば、それは出来る。実際、破壊するところ、しないところも再現されており、解析には自信を持っている。条件がわかれば、ほぼ推定が出来るレベルにきている。逆に、今回のいろいろな解析結果を一般化すれば、大阪の地下鉄のここは危険だというような推測も出来る。

栢原（運輸省）：神戸港の壊滅ということで迷惑をかけている。昭和58年の日本海中部地震から20年間進歩がないと河田氏から指摘されたが、秋田港がこの地震で壊滅し機能が0になった。その後、耐震性を強化した岸壁を全国に配備するようにしている。それが今回も生き残った。

いま、悩んでいるのは在来岸壁の機能をそのままとして耐震強化してきたということである。耐震強化と利用形態の変化の調和を見込んで耐震性を強化することが必要であろう。利用の変化、構造物の陳腐化を見込んだ耐震性をどう考えていくかが問題である。

河田：防波堤の設計では主たる外力として波力を考えてきた。関東大震災の横浜港、南海地震における大阪港の被害などを見ると、海岸工学のなかで地震力を考える必要があったという反省がある。今回の構造物の被害ではとくに地盤の影響が大きく、地震動で壊れたのか液状化で壊れたのか、良くわかっていない。こうしたことも海岸工学の分野でやって行く必要がある。

土屋（金沢工業大学）：かつての国鉄では地震が起きれば分野別に調査班を作り、全線を歩いて被害の生じていないものも含めて詳細に調査した。今回の震災では被害の生じたものだけに目を奪われているように思える。無傷な構造物に対しても調査を行い、なぜ被害を受けなかったのかを調査検討する必要があると思う。

市川（鉄道総合研究所）：報告書は出ていないが、鉄道に関するすべての構造物については誰かが必ず調査しているはずである。当然、どうして被害を受けなかったかについても調査している。

天野（大阪産業大学）：地震に関連して市民の生活を考えた場合、私たちがなすべきことはた

くさんある。構造系だけではなく都市計画の分野からの震災に関する調査研究も必要であり、もっと計画の分野に関する認識も高めてもらいたい。

佐伯（日本技術開発）：三つの問題がある。一つは、公共インフラの耐震に対するコストの問題、二つめは、既存構造物の耐震補強と補強水準、さらに施設の重要度評価の問題、三つめは管理主体で判定の基準、評価が異なることの問題である。統一された設計法に施設の重要性を考慮して安全性を評価するのも一つの方法であろう。

片山：そうした統一化は今後進められよう。また不適格な構造物や、施設の重要度についても議論が詰められて行くはずである。

溜水：必要な金なら出さざるをえない。その判断には影響評価などを行うのも一方法であろう。

河田：大阪市や東京都では復興計画を作成しており、これによって耐震のために投資する税金と安全レベルの向上の関係が明らかになる。この結果を市民の前に出してみるのも良いのではないか。

桜井（北見工業大学）：情報の早期公開が大切であるが、そのためには行政が情報を出しやすい環境を権威ある学者がつくっていくことも必要であろう。

中村（東京大学）：耐震に関する構造物の診断は可能となったといわれている。そこで既存構造物の診断を第三者的な機関によって早急に行うべきである。それには土木学会などから政府にア

ピールしていくことも必要であろう。新しいものを強くすることは出来るが、本当に怖いのは既存の弱い構造物であり、それをこれからどうして行くかが大切である。設計方法は進むとしても、耐震を社会システムで考えることが必要と思う。

Q：このシンポジウムでは、物の破壊の話ばかりで人の命に関する話が出ていないが、今後土木技術と人の命の問題をどう位置付けるか考えるべきではないか。

片山：本当の重要度は人の命、個人の財産に関わるものであり、ライフラインなどはその後にくる。人の命を守ることは当然一番重要である。

ま と め

活発な意見の交換があったが、時間的な制約のため白熱した議論を打ち切らざるをえなかった。本シンポジウムで述べられた意見は三つに要約出来る。

一つは、「情報公開」に関すること。情報を公開すれば誤解が生ずるかもしれないが、たとえそうであってもすべての情報を公開すべきである。そうした誤解のなかから新しい発見が始まることを知るべきである。

二つめは、情報の一元化、設計からメンテナンスまでの一元化、総合的な防災システムなどの「総合化」という視点である。

三つめは、われわれは土木に関わる人間である以上、「物を丈夫につくるという原点を忘れてはならない」このことを肝に銘じておきたい。