

## 2つの大震災を越えて

## ●座談会メンバー（敬称略）

出席：小林 和夫（大阪工業大学教授，工学博士）  
 丸山 久一（長岡技術科学大学理事・副学長，Ph. D.）  
 司会：辻 幸和（群馬大学教授，工学博士）

## 震災を実際に体験されて

司会 お忙しい中、お集まりいただき、大変有り難うございました。本日、お二人の先生に集まっていたいただきましたのは、小林先生は10年前の兵庫県南部地震に、丸山先生は昨年10月23日の新潟県中越地震に遭遇されたということで、最初に、当時の被災状況についてお話を伺い、それをもとに研究者、技術者のお立場から耐震設計基準のあり方についてお話ししていただきたいと思います。そして最後にPC構造物の耐震性能やPC橋脚の将来性にも言及していただきたいと思います。

司会：辻 幸和氏



小林先生の場合、10年前の出来事とはいえ、記憶にまざまざと残っていることも多いと思います。当時の震災の様子とそこで受けた印象などをお聞かせください。

小林 1995年1月17日の朝方、5時46分に典型的な内陸直下型地震の激しい揺れがありました。私は、学生から提出を受けていた卒業論文を連休明けの17日に返すため、朝の5時過ぎまでこれを修正していました。そろそろ仮眠しようかなというときに、グラグラッと来たわけです。極度に激しい横揺れとかなりの縦揺れを受けて、まさに三次元の大型振動台の強震実験を体感しているような感じを受けました。時間にして10秒ぐらいで、直後はボーッとしておりましたが、1時間ほどして冷静に戻りました。

私の家は西宮の山手の苦楽園というところで、近くにはハイキングコースがあるような場所ですが、家から道を一歩隔てたところを見に行くと、谷を埋め立てた宅地が300メートルぐらいにわたって斜面変動を起こし、そこに建てられた家屋が数十戸倒れていました。山側の造成地の被害も大きかったのですが、沿岸の埋立地では液状化で橋桁は落橋している、人工島では岸壁が2～3メートル海側にせり出している、市街は高速道路や鉄道が壊れている、どこ

に行っても被害は甚大で、愕然としました。とくに阪神高速道路3号神戸線のピルツの倒壊現場を見たときは絶句して、コンクリートに携わっている者として涙が出る思いでした。この地震が想定しがたい大きなものであったことを物語っていました。また、それまで、トンネルや地下鉄などの地中構造物は慣性力が小さくなるので、一般に、地震が来ても大きな被害を受ける可能性は低いとされてきましたが、この地震の場合は、神戸の地下鉄の中柱が壊れたり、山陽新幹線の六甲トンネルではアーチコンクリートに10箇所あまりでひび割れが入ったり剥落したりで、地中構造物の耐震性についてももう一度考え直さなければいけないと思いました。



小林 和夫氏

丸山 私の場合は、車の中で最初の地震に遭いました。10月23日は土曜日で、早めに研究室を出たのですが、自宅に向かって10分ほど車を走らせ、小さな橋のたもとまで来たとき、突然、車が左右に揺れだしました。工事中の道路でぬかるみに入ったか、雪道の轍にはまったような感じを受けました。一瞬なんだかわかりませんでした。遠くの方で電柱がパチパチッと火花を散らせたのが見えたかと思うと、家々の灯りが一斉に消えて、ようやく地震だと気づきました。カーラジオで震源地は新潟県中越地方だということを知りましたが、そのときはそれほど大きな地震という印象はありませんでした。車の中で2度目の揺れがあったから、家内から一言「生きている」のメールが入ってきましたが、「なにを大げさな」と思ったくらいです。3回目の揺れも車の中で、家に着いて車を降りようとしたときに4回目の揺れが来て、そこで初めて地震の大きさを実感しました。

私の家は、田んぼをつぶした新興住宅地域にあり、地盤はあまりよくありません。それと雪を考慮した高床式のため、とくに揺れは激しく、家内は立っていることもできずグランドピアノの下にもぐっていたと言います。恥ずかし

ながら耐震補強をしていませんでしたので(笑)、タンス、食器棚、本棚が倒れ、ガラスや食器がかなり割れました。電話や携帯は地震発生直後から2時間以内は通じていたのですが、それ以降は通じなくなりました。電気やガスもすぐに使えなくなりましたので、歩いて15分ほどのところにある体育館に避難して、ここで2晩過ごしました。3日目に電気が復旧しましたので、家に戻りましたが、余震がひどいため2階の寝室で眠る気がせず、いつでも外に飛び出せるよう1階の玄関脇の部屋で1ヶ月半ぐらい過ごしました。

**司会** 水道やガスの復旧はどうでしたか。

**丸山** 水道は3日後の26日、ガスは10日後に復旧しました。ですから、最初の2日間は着の身着のまま、水道が復旧して湯沸し器でお湯を沸かして頭を洗うと、ようやくさっぱりすることができました。

**小林** 阪神大震災では、電気の復旧は早かったのですが、水道とガスは遅かったですね。阪神地区では背後が山という地形を活かし、配水池を山の上に造って高低差を利用して配水しているので、山の斜面を通る関係で耐震性以外の管は壊れやすくなります。また、液状化などによる地盤変動も原因し、多くの管が壊れました。このため、断水は120万世帯にも及びました。消火活動にも影響し、火災を大きくしました。水道の復旧が2月末でしたから、ずいぶん不自由な思いをしました。スーパーに行っても甘い飲み物しか残っていないという状態でした。近くの湧き水を汲んで、トイレや洗濯に使うということもしました。ガスの復旧は3月上旬でしたので、その間は学校の帰り際に近くの銭湯を順番に全部回りました。寒い時期でしたので、温まったあと家に帰るまでが大変でしたが(笑)。それでも震災後はすごいストレスがかかっていたので、温かい湯舟に漬かるとホッとするんです。

**丸山** お風呂に入ると本当にリラックスできますね。今回の震災で強く感じたのは、阪神大震災の経験はいろいろなところに生きているなということです。3日目にはスーパーには品物が揃っていて、お店の人が、「必要なものがあればどうぞ勝手に持って行ってください。気がついたものは後で支払ってください結構です。」と言っているんです。コミュニティがしっかりしているなと思いました。

**司会** そういう供給ルートが確保されたのも、道路の復旧が大きいですね。阪神大震災の場合もスーパーが大活躍しましたが、時間はかかりましたからね。

**小林** 阪神地区は消費規模が大きいのですが、幹線道路は山と海に囲まれて東西に走っているものばかりで、大動脈の高速道路が使えず国道2号線のみとなり、大交通渋滞で物資がスムーズに運べない状態でした。これ



丸山 久一氏

が人命救助や消火活動の大きな障害ともなりました。

**丸山** 新潟県中越地震の場合、道路に関しては死者は出ていないんです。高速道路も結構壊れていて、あの時間帯ですから交通量も多いはずなのに、怪我人もほとんどいません。道路公団の人に聞くと、「普通のスピードで走っていて1メートルの段差に出くわしたら、大きな事故につながる」とのことですが、この段差に落ちた車はありません。地震は1時間に4回ありましたが、割れた箇所が徐々に大きくなっていったということだと思います。

**司会** 対応も早かったようですね。災害本部を立ち上げて、翌日には土のうを積むなどの応急復旧がとられたと聞いています。

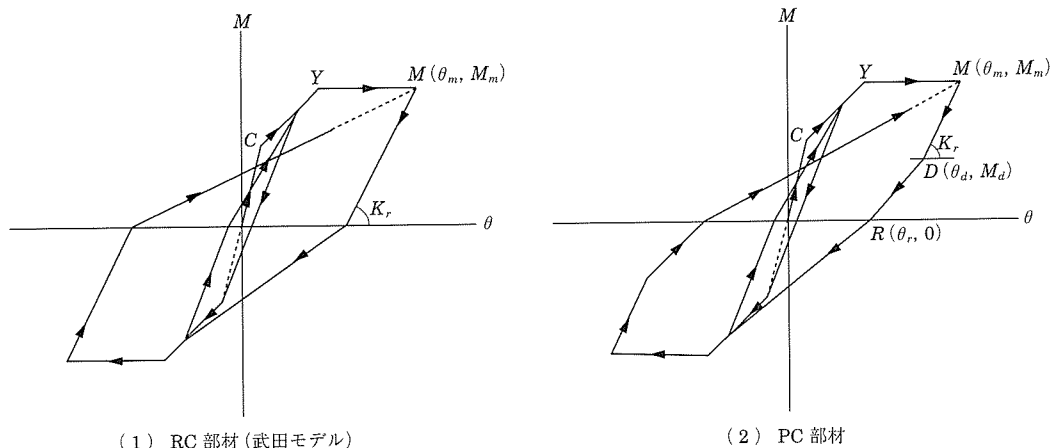
**丸山** これは道路公団が指示したというより、普段から道路の維持・管理を行っている建設会社の人が自発的にやっていたようです。国交省や道路公団も早く動いており、次の日には危ない箇所に全部標識が立っていました。電力会社も翌日には余震の中で配線工事にとりかかっており、早いところでは24日の復旧につながりました。24日の夜に私は前川先生(前川宏一東京大学大学院教授)に電話をして、今回の地震調査団の派遣をお願いしました。前日にヨーロッパから帰って来たばかりの陸好先生(陸好宏史埼玉大学教授)を団長にして4~5名のメンバーを手配していただきました。すぐに対応していただき、大変有難く感じました。

### 耐震設計基準と震災の被害状況の関係

**司会** 震災直後のいろいろなお苦勞、教訓などを専門家の視点を含めてお話いただきましたが、次に、耐震設計基準という技術的なテーマに入っていきたいと思います。「新潟県中越地震災害 第二次調査団速報」の中で、前川先生はこう書かれています。「新潟県中越地震に曝された橋梁の被害調査には、1995年兵庫県南部地震以降に整備された設計基準類や耐震補強工法などの事後評価の意味あいがある」と。これについて前川先生は事例をあげてまとめています。

われわれとしては、その時点での耐震基準で構造物を造っていくしかないわけで、それ以上余裕のあるものを造ることを許されない立場にあります。したがって、耐震設計基準をどう見直すかが大切なことで、この問題については丸山先生が2002年に制定した「コンクリート標準示方書耐震性能照査編」で結実させています。95年に作った耐震設計基準が今回の新潟県中越地震の調査の中でどのように検証されたかを、丸山先生にお聞きしたいと思います。

**丸山** 今回、調査団でいろいろチェックしていただきましたが、兵庫県南部地震以降の原因究明や、動的応答解析などの解析の進歩を踏まえてコンクリート標準示方書に従った耐震基準で造ったものは基本的に大丈夫で、被害を受けたものはこの基準に基づく補強が間に合わなかったものというのが全体の感想です。その地点でどういう地震波が来たかはこれから調べないとわかりませんが、JRの橋梁では、補強が必要と判断してすでに補強した箇所は、ほとんど被害がありません。被害を受けたのは補強が間に合わ



(1) RC 部材 (武田モデル)

(2) PC 部材

非線形解析の弾塑性回転バネの履歴特性図

(プレストレストコンクリート技術協会 PC 橋脚の耐震設計ガイドライン I-23 頁より)

かった箇所です。道路橋での被害事例は、金属支承が壊れたりズレたりしたものがほとんどで、落橋はありません。盛土箇所では被害を出していますが、構造物としての被害はそれほどひどいものはありませんでした。

小さいところでは問題が残っていないわけではありませんが、コンクリート委員会としては、いままでの示方書で大丈夫だろうという印象をもっています。ただ、阪神大震災に比べて重要なコンクリート構造物はそれほど多くありませんので、細かいチェックはこれからというところです。

**司会** 兵庫県南部地震のケースと照らし合わせて小林先生はどうお考えですか。

**小林** 道路橋を例にとりますと、阪神大震災で一番被害が顕著だったのは阪神高速 3 号神戸線でした。28 キロに及ぶ距離に RC 橋脚が 940 基、鋼橋脚が 160 基ほどあったのですが、全橋脚の約 80 % は昭和 39 年制定の鋼道示（鋼道路橋設計示方書）もしくはそれ以前の技術基準に準拠し、残りの約 20 % は昭和 46 年の道路橋耐震設計指針で設計されていました。新しい耐震基準で順次補強されていましたが間に合わず、強大な地震の作用で倒壊、破損などが多く見られました。RC 橋脚は被害ランクが最大級の A<sub>s</sub>（崩壊・倒壊）のものが 7 %、次のランクの A（耐荷力に著しい影響）が 8 %、合計 15 % が大きな被害を受けました。

この RC 橋脚の損傷形態は、平成 2 年版の道示耐震設計編の地震時保有水平耐力照査法で求めたせん断耐力・曲げ耐力比が 1 より大きいものは曲げ型、1 より小さいものはせん断型ということで、この比とかなり高い相関があることが示されました。せん断損傷型では、損傷の高いランクが多数を占めています。新潟県中越地震の被災 RC 橋脚（鉄道橋）について、前川先生がこの耐力比を土木学会コンクリート標準示方書で算定されたところ、事例は少ないですが、この場合も損傷形態と符合しています。

阪神高速 3 号神戸線と対照的なのが関西空港の方に行く 5 号湾岸線でした。これは昭和 55 年または平成 2 年版の道示（道路橋示方書）で造られており、被災形態は構造物の耐荷力に起因するものは少なくかつ比較的軽微で、西宮港大橋に隣接する単純桁の落橋に象徴されるように、地盤の

液状化に伴う下部工の変位によるものが主でした。

阪神大震災のちょうど 1 年前に起きたカリフォルニア州のノースリッジ地震でも同様の結果を示しています。1971 年のサンフェルナンド地震を契機に、1973 年に耐震基準を大きく改定していますが、これ以前の基準で造られていた高速道路の RC 橋脚で補強が間に合わなかったものが大きな被害を受けています。これ以外では、新しい基準で設計されていたが震源近くで想定以上の強烈な地震力で壊れたものと、1971 年の地震で被害を受け、柱筋定着法の改善などのある程度の対策を行ったうえで再建されたが不十分で壊れたものがあります。

語弊があるかもしれませんが、大地震は二度とない貴重なデータを与えたと考え、その検証結果を充分活かして耐震基準を考えるのと同時に、構造物の多重性、避難活動や応急復旧などの災害軽減方策も含めて地震防災を総合的に考えることが大切だと思います。

**丸山** 耐震性能照査編について多くの人が誤解をしているといけませんので、ここで付け加えたいと思います。ここでは、非線形応答解析が優れているから耐震性能照査編がよいといっているわけではないんです。ポイントは、曲げ耐力とせん断耐力の比をどこまでもっていったら、より崩壊を防げるか、これが以前に比べてはるかに定量的に打ち出せるということなんです。それと構造細目が大事です。ピルツの場合でも帯鉄筋はある程度入っていたのですが、帯鉄筋を巻いただけでは不十分です。定着とか段落しを含めて構造細目をしっかりしておけば、想定外の力に対してもそれなりの機能を果たせます。

兵庫県南部地震を調査する時に、この考え方がどんな場合にも通用できるかをテーマにして調べたところ、間違っておらず、現在ではさらに精度を上げています。ですから、補強する場合もやみくもに補強するのではなく、この考え方に従って危ない箇所だけを補強すればよいということです。地震波の特性はそれほど神経質に考えなくてもいいのです。地震の大きさが違ってても粘りがあれば結構もたせることができます。応答解析を使えばきちんとチェックができますが、そこまでしなくても、せん断耐力と曲げ耐力の

比率をある程度以上にしておけば構造物は地震に抵抗できます。実はこのへんが耐震性能照査編の大事なところなんです。現在、照査例を土木学会のコンクリート委員会で作っておりまして、3月ぐらいまでに完成させる予定です。その中に、鉄道関係で確認されているものとして、非線形応答解析を使わずに如何に簡単な設計ルールで耐震性能を上げるかという例が出てきます。

### 修復性の考え方

**司会** これまで設計レベルのお話が出てきましたが、修復性の問題についても触れたいと思います。修復性という新たな限界状態を考える場合、道路橋や鉄道橋、メタル、合成構造、あるいは地盤をもう少し統合して考えていくことはできないかと思えるのですが、こうした方向性についてはどうお考えですか。

**丸山** 構造物は崩壊させないというのが基本ですから、場合によっては崩壊させなければいつでも修復できるというものがあるかもしれません。土構造物は修復することを前提にして造られているため、すぐに直せます。コンクリートも鉄筋が破断していなければ、ひび割れが入っているところを充填すればいいという考え方も成り立ちます。ですから鉄筋の変形、応力をどこまで許容するかがポイントになります。ただ、鉄筋のひずみ履歴がどれくらいあったときに、次の地震のときにどれくらい耐えられるかはまだはっきりわかっていません。鋼材も座屈しても崩壊しなければ直すのは簡単ですし、ラーメン鋼脚も真ん中の梁がせん断破壊しても構造物として残っていればこれも直せます。いままでは部材ごとに修復性を考えていましたが、構造物全体で考えれば修復性の考え方も変わってくると思います。ただ、現在のところ、構造物全体の挙動を追跡する技術はまだ不十分です。

**小林** 話が少しそれますが、修復の実施例として、阪神高速3号神戸線のRC橋脚の場合、約940基中、損傷状態から300基ほどは取り替えられています。使えるものはできるだけ使ってこうという考え方で、残りは補修した後にRC巻立てと鋼板巻立てを原則的に併用して補強し再利用されています。補修工法には、たとえば主鉄筋が呼び径Dの3倍以上はらみ出している場合、はらみ出し範囲とその上下方向に各々10Dの範囲の鉄筋を切断して新しい鉄筋を溶接し、コンクリートを充填するという方法がとられています。これは一例ですが、種々の構造物の早期復旧に採用された創意工夫に満ちた諸技術は、大変貴重な資産だと思います。震災で構造物の機能が長期間ストップして使えなくなると社会にパニックが起きますので、使えそうな部材については、このような貴重な資産を最大限活用してほしいですね。これはハード面ですが、被災構造物の機能がどうなのか、修復して再利用が可能なのか、などの判定というソフト面が大前提にありますので、この点も兵庫県南部地震や新潟県中越地震での考え方を整理して今後活かすことが大切だと思います。

**丸山** それと現場に応じた直し易い方法というものもあります。地中構造物をどうする、陸上ならどうする、重機を



座談会風景

運べるところとそうでないところでどうする、こうした現場に応じた補修工法の開発と性能を評価する方法をセットで考えるべきでしょうね。

### PC 構造物の耐震性能と PC 橋脚の将来性

**司会** 最後に、PC 構造物の耐震性能についてどうお考えかをお聞かせください。たとえばPC 橋脚のような形のを今後、耐震性能の評価に入れていく場合、どういう点を強調すればいいのでしょうか。

**小林** 橋脚に鉛直方向にプレストレスを入れる場合、考え方はいくつかあるようです。たとえば、アメリカのチェサピーク&デラウェアキャナル橋は全面的にプレキャスト部材を使って橋脚にもプレストレスを入れています。テキサス州でプレストレスでプレキャスト要素を組み立てた橋脚を開発しています。ただ、この例では耐震性を意識しているというより、スリム化して景観性をよくするとか、工期の短縮、品質の向上といった側面が強いのと思います。

従来、PC 構造は復元力は高くなるが、エネルギー吸収能がRC 構造より低くなるので耐震性は劣るのではないかと考えられてきました。阪神大震災時のPC 技術協会の調査結果では、PC 橋(約1470橋)の被害(落橋11橋を含む損傷約100橋)については、落橋は下部工の損傷が主因で、それ以外の損傷は下部工や支承に関係するものが多く、上部工のPC 部材の損傷はほとんどが軽微でした。PC 容器は機能に影響する損傷が約230件中2件で、他に損傷はほとんどみられませんでした。それと震度6と7の強震域でPC 建物も160棟(PC 造建物100棟、主要耐震部材以外の部位にPC 造部材を用いた建物60棟)ぐらい調査されましたが、RC 柱がせん断破壊した1棟とプレキャストPC シェルが落下した1棟以外には、目立った被害や残留変形も無く、ほとんどが継続使用できることがわかりました。

最近のわが国での諸実験で、適量のプレストレスを与えた橋脚は、大きな地震力が働いても、残留変形が小さくかつ適度の変形性能を有し、RC 橋脚よりもせん断損傷が小さくなること、などが示されています。適切に設計されたPC 橋脚は、種々の特長を有し、阪神大震災時のPC 建物の調査結果などからも、従来のエネルギーの考え方と違って、

とくに大きな特長である復元性に注目すると耐震的で今後の発展が期待されます。

**丸山** エネルギー一定則という経験則を金科玉条にしているかぎりには、PCの特性を見ることはできません。耐震性能照査編では実際の挙動をそのまま追いかけますから、荷重—変位曲線に基づく見掛けのエネルギー吸収は関係ありません。履歴曲線がわかれば、エネルギーがどこに行っているかはわかります。普通にやればPCの方が変形は大きくなる可能性はありますが、壊れなければいいわけですから、どこまで変形すれば大丈夫なのかがわかっていれば、あとは部材の特性次第です。ここまでは変形してもちゃんと戻ってくるから、ここまでは大丈夫ということの評価できるのが耐震性能照査編なんです。

プレストレスが入ると多少軸力が増えます。せん断耐力も多少プラスになる。大きく変形したときは圧縮力が多少大きくなるかもしれませんが、通常のコンクリートは圧縮力にかなりゆとりがあるため、多少プレストレスが入って

軸力が増えても圧縮が危なくなるまでにはいきません。逆に復元力のメリットが使えるわけです。ですから鉄筋コンクリートはプレストレスを少し入れてやると、性能としては格段とよくなります。耐力は変わらず、揺れも軸力が増えた分だけ少なくなりますし、多少揺れても元に戻ります。変形したときの圧縮応力がどれくらいを押さえておけば大丈夫なんです。一般の荷重による軸圧縮力はコンクリートの圧縮強度の10%程度です。ただし、高層建築はもともと下層の方は軸力が大きいですから、プレストレスを入れるとなると問題となるかもしれないので、ここは十分研究しておく必要があります。

**司会** PCに従事している人の研究開発の目標を、お二人の先生からはっきり明示していただきました。すでに道具立ては揃っている、さらに研究を重ねていけば有望な範囲も出てくるということだと思います。どうも長時間有り難うございました。

【2005年1月18日受付】



刊行物案内

## PC 橋架設工法 2002年版

頒布価格：会員特価 4 000 円（送料 400 円）

：非会員特価 4 800 円（送料 400 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会