

# 阪神・淡路大震災考

信州大学 長 尚\*

阪神・淡路大震災に関する検討が各方面で進み、主な結論はほぼ出たと認識されてきつつあるかのように見える。しかし筆者には肝心で基本的な点、すなわち④揺れの異常の原因、⑤各種破壊のメカニズム、⑥じん性に関する考え方の妥当性、⑦僅かの位置の差によって被害の程度が大きく違う原因、⑧今回の地震がほぼ最大級の影響を与えるものなのか、などが未解明であるように思われる。まずこれらのことについて指摘し、それを踏まえて、当面の対応としての応急復旧と既存構造物の補強問題について見解を述べる。また世間で注目されている施工不良問題についても触れる。さらに長期的な今後の対応に関する理念について、安全性と経済性の絡みを考慮して、総合的な観点から議論する。

## 1. はじめに

筆者は以前から「安全に絶対はない」と3つの理由を挙げて言っていた<sup>1)</sup>。近代科学が発達しているというものの、特に自然の営みに関しては学問が知らないことの方がむしろ多い。つまり未知要因の存在が1つ目の理由である。2つ目として人間のミスに代表されるような不確定要因がある。3つ目としては一般にはなかなか認めて頂けないのであるが、残念ながら人間のどんな活動にも経済性の制約があり、安全問題も例外ではない。そこでもし関東大震災級の地震が起きれば、多くの新しい災害とそれによる新しい知見を得るのは間違いないと指摘してきた。

このようなことを言っていた筆者でも、今回の被害は想像を絶するものと言わざるを得ない。これまで日本においてこんなに沢山の土木構造物がこれ程までの壊滅的被害を受けたことがなかったからである。日本にはなかったかも知れないが、アメリカにはあったのではないかと良く言われる。しかし例えば、1989年のロマプリータ（サンフランシスコ）地震で崩壊した高架橋の設計地震力は日本の数分の1であり<sup>2)</sup>、日本とは比較できない要素があったのである。

さて「関東大震災にも耐えられる」という、今回脆

くも崩れた神話は、次のような経過から生まれたものと推測している。まず設計地震力の設定の経緯については各種の説があるようであるが、「大地震は関東大震災クラスがほぼ最大で、その時に発生した最大加速度は数百galと推定されるが、設計地震力を計算する水平加速度を $g/3$ 、鉛直加速度を $g/6$ （「復興局施行幹線街路橋における特記すべき点」の中に明記されている<sup>3)</sup>。）とすれば、大きな被害は出ないであろう」と被災直後おおまかに判断されたと考えられる。その後水平加速度の標準を $g/5$ とし、最大値が $g/3$ 程度になるようにしてある。このようにして決まった設計地震力ではあったが、諸外国に比べて格段に大きく、しかもこれを用いて設計されたものに被害が殆どなかったこともあって、神話が確固たるもの(?)として独り歩きしてきたと言えよう。

## 2. 解明すべき基本的な点

耐震設計の専門家でもなく、また設計全般に通暁している訳ではないので、的はずれの点があるかもしれないが、以下述べるように基本的な点がまだ殆ど解明されていないように思う。

(1) 今回の被害をもたらした揺れはどんな点が異常だったと専門的な観点から言えるのか。

昭和53年の宮城県沖地震では東北大学工学部建物の9階で1,000galを記録している<sup>4)</sup>し、平成5年の釧路沖地震では700gal以上を記録（釧路気象台登録番

キーワード：構造設計、安全性、経済性

\*信州大学工学部、026-226-4101

号HK005)している。また昨年のアメリカのノースリッジ地震の際でも2gを越す大きな地震応答を記録した建物は被害を受けていない<sup>9)</sup>。今回の記録の最大はほぼ0.8gで、記録が取られていない所でこれを越すことが考えられるし、また構造物の応答値が今回の記録値をかなり上回るとしても、加速度だけからはこれまで経験したこともない程、異常に大きい揺れとは言えない。

また衝撃(観測されていない異常な速度、加速度)、縦揺れの同時発生等の要因がこれまでと異なっていると言われているが、説得力ある説明はまだなされていない。いずれにしてもこれまでなかったような壊滅的な被害をもたらしたことに對して、また逆にこれまで大きな加速度応答があっても被害がなかったことに對して、揺れの面からの科学的な説明ができなければ、全ての議論は説得力を失うと思う。

今回の揺れの特徴については、地震発生直後から指摘もしてきた<sup>9)</sup>のであるが、東原紘道<sup>7)</sup>も次のように述べている。「…ゆっくりした運動であったことが今回の地震の特徴である。…応答スペクトル計算によっても、近年の大地震(米国のNorthridge地震や釧路沖地震など)と比較すると、周期1秒以下では小さいのに1-2秒範囲では抜群に大きい。」

周期の差によって構造物は極端に違った反応を示すように思う。構造物の破壊は、構造物を構成している材料であるコンクリートとか鉄筋のひずみが限界に達して起きる。材料の伸び縮みにはある程度時間がかかるから、加速度が大きく、したがって力が大きくても、短周期の場合、ひずみはその最大に達する前に、力が早く減少するから、結局長周期の場合と違って、破壊限界に達しにくくなると考えられる。

(2) 各種の破壊形態をどう説明できるのか。

今回構造部材(主に柱とか橋脚)の破壊形態は、鉄筋コンクリートでは、曲げ破壊とせん断破壊の2種類に、鋼では座屈と水平破断(ぜい性破壊)の2種類に、それぞれ大別されるように思う。これらの破壊については、前述の(1)項を踏まえた上で、そのメカニズムと共に数値的に説明できなければならないが、まだそれが十分になされていないように思う。

なお破壊形態に関連して、以下若干付言しておく。

①静的な荷重もしくはゆっくりと増加する荷重ではなく、瞬間的に大きな荷重が作用する場合には、曲

げよりせん断のひずみの方が先にcriticalになるのではなかろうか(必ずしも衝撃の影響を言っているのではない)。せん断のcriticalなひずみは曲げのそれよりかなり小さいので、時間的に早くその状態になり、せん断破壊が曲げ破壊に先行するのではないかと思う。このように考えると、本来曲げ破壊が先行する筈なのにそのような亀裂を見せずに(これまで各方面で行われた室内実験ではほとんど曲げ亀裂を伴っている)、せん断破壊が起きている沢山の事例が説明できるのではないか、あるいは鋼のぜい性破壊も説明できるのではないかと思う。勿論これは仮説であるが、このようなことも検討しなければならないのではないかと思う。このような現象があるとしても、簡単には実験で確かめられないであろうから、伯野元彦先生が提案されているような実物大構造物破壊実験装置<sup>9)</sup>が必要なのかもしれない。また実験結果に基づいて議論する場合、実験室とはかなり違う破壊模様を呈していることを念頭に置いた検討が必要であり(このような視点が欠如している)、そのためにもこのような実験装置が必要であるように思う。

②力と変位を掛けたものがエネルギーであり、やはり破壊はエネルギーで議論すべきであろう。ごく最近の構造物の設計基準では、構造部材のエネルギー吸収能力を帯鉄筋によって高めるようになってきている。この基準においてはニューマークのエネルギー一定則<sup>9)</sup>という、弾性挙動と等しいエネルギー吸収能力(じん性=ねばり)が前提となって、設計地震力と実際の地震力との関連がつけられている。

これまでの地震では、このニューマークのエネルギー一定則はほぼ満足するようであるが、元々この法則がどんな場合にも成立するという保証はない。今回は前述の「ゆっくりした運動」と、上記の①の「仮説」に関連して、これが成り立たなかったのではないか(特に壊滅的被害を受けたものでは)と思う。「ゆっくりした運動」で、構造物の応答周期が長くなると、大きな力の作用時間が長くなり、構造物の降伏最大抵抗力の継続作用時間が長くなる。そのために変位が大きくなり、結果としてじん性を越えて力が追っかけてきて、つまり等価地震力による弾性挙動エネルギー以上のエネルギーとなり、曲げ破壊すると考えられる。したがって等価地震力まで耐えられなくなる。また①の「仮説」が実証されたら、曲げ抵

抗を前提としたこの法則は成り立たなくなる。

以上のように、もしこの法則が成立しないとすれば、設計基準の考え方の見直しも必要になる。

③鉄筋コンクリート柱の帯鉄筋の重要性が一般の人にも認識されたが、その働きについての私見は次のようである。帯鉄筋の主なじん性向上効果は、コンクリートのせん断に伴う体積膨張（ダイランシー）を帯鉄筋が主鉄筋と協力して拘束し、膨張が抑えられてすべりにくくなって、急激に起きるという特性を持つせん断破壊を起こしにくくするために生まれる。帯鉄筋が軸方向の主筋を拘束して座屈を防止するというような説明をされることがあるが、主筋の曲がるのを帯鉄筋が拘束するために強くなるのではない。主筋が曲がる現象はせん断破壊の結果コンクリートが剥れて主筋の回りのコンクリートがなくなるから起きるのである。

なおコンクリートのせん断破壊のメカニズムについては、モールもしくはモール・クーロンの破壊基準から説明できるように思う。

④せん断破壊したずれ線ははりとかフーチングの中に達するものは殆どなかった。これははりとかフーチングの剛性によりずれにくく、結局ずれ易い所で破壊したためと考えられる。なおせん断破壊が曲げに先導されて起き、破壊した位置が柱の上部か下部かのいずれかであるという見解もあるようであるが、柱の中間部で破壊したもののものも沢山ある。

⑤今回の地震ではかつてない程の回転を伴っているようである。そのためねじりによるせん断応力度の発生は無視できず、これがせん断破壊を助長したことも考えられる。

⑥今回のせん断破壊は斜引張破壊だと説明されることがある。また帯鉄筋に関する計算式の上では、帯鉄筋の働きは結果的に斜引張抵抗の働きと評価されている。すなわち通常トラス理論で式が誘導されているが、これはまさに斜引張力を対象としている。また斜引張応力度を対象にしても同じ式が誘導される。しかし今回の被害例とかせん断試験例において、ずれる方向が45度よりかなり立っていることと、曲げ亀裂と繋らない亀裂であること、さらに鉄筋の斜引張抵抗などを考えると、斜引張破壊ではなくせん断破壊である。従来この2つの違いが必ずしもはっきりしていないように思う。特に限界状態設計法ではそ

の傾向が強い。許容応力度設計法では、せん断許容応力度に $\tau_{a1}$ と $\tau_{a2}$ があり、せん断破壊を避けるために $\tau_{a2}$ を越えると断面寸法を変更するとし、 $\tau_{a1}$ を越えると斜引張力に抵抗する鉄筋を計算で決めるとしていたが、限界状態設計法ではそのような区別はない。

⑦新幹線の高架橋において、せん断破壊に基づく崩落という壊滅的被害は2層式においてのみだと一部に言われているが、曲げ破壊が先行する筈の1層式での例もある。

⑧阪神高速のピルツ式高架橋は、地震によって曲げ破壊とせん断破壊が起きたとされているが、一部が地震によってせん断破壊し、この落下が地震でかなりダメージを受けていたその他の橋脚を地震後に順次曲げ破壊させたようにもみえる。目撃者の話によると、地震で東端が落ち、それに引きずられて地震後西の部分が落ちたそうである。だとすると、直接地震による崩落は一部のせん断破壊によるものということになり、今回の地震の特徴に合うように思う。

⑨隣接する民家やビルとは対照的に、公共施設に被害が目立ったのは、重いものを上に載せた脆くて剛な構造であったという構造上の特徴によると思われる。隣接する民家やビルでも、このような構造特性を持つものは被災している。

⑩一般に崩落したような壊滅的被害を受けたものだけが検討の対象になっている傾向が強い。しかしこれ程ではなくても設計では予想もしていないような破壊は無数にある。被害の全体像を掴むために、これらを総合的に取り上げた検討が必要である。

(3) 同じ構造物がほんのわずかの位置の違いで決定的な違いを見せているのは何故か。

現地踏査に出掛ける前のある期待を持っていた。それは被害を受けていないものから、今後の対策に関する何らかのヒントが得られるのではないかとのことであった。勿論それが無かった訳ではない。しかし極めて異常な力を受けて崩壊したと思われる構造物があり、それと全く同じ構造物がすぐ隣ではほぼ健全で、大きな被害は極めて狭い帯状もしくは島状の範囲に限られていた。ある区間全滅とか、徐々に被害が軽微になるといった様相は全く見られなかった。例えば阪急神戸線の夙川、西宮北口間の高架橋のように、線路直角方向の2本の柱のうち北側の柱が壊滅的被害を受けて桁が落下しているにも拘らず、南

側はこれ程のダメージを受けていなかった。また柱のせん断破壊で落ちた、ある新幹線の高架橋の前後の高架橋は殆ど健全のままであった（図-1に示す例は尼崎市下食満付近）。したがって構造物自身の耐震性の差もさることながら、極めて異常な力の発生は地盤とか断層に関連して、極めて局部的なのではないか、地震動の大きさはほんの僅かな位置の違いで極端に変わるのではないか（極めて異常な揺れが稲妻状に何本か走った）という印象を強く受けた。だとすれば被害を受けなかった構造物から、必ずしもヒントは得られないことになる。いずれにしても極めて異常な揺れをしたのはごく限られた局所的な一帯であり、その他の所は大変なものであったことは事実だが、この一帯とはかなり違った揺れであったと考えなければならぬように思う。

したがって、比較的健全なものから普遍的な結論を出すにはかなりの限界があるという目で分析をしないと、とんでもない結論を出してしまう危険性がある。またかなり広い地域で同じ揺れだったと思いついた議論には注意する必要がある、統計解析は特にこの点に留意して行われなければならない。

なお統計解析でもう一つ注意が必要な大事な点がある。最新の基準で設計されたものに被害が少ないという評価をするに当たって、そのような対象物がそれ以外に比べて極めて少ないということと、さらに極めて異常な揺れがあったと考えられる所には、最新の基準で設計された土木構造物は少なかったのではないかという観点は欠かせない。多くの議論にはこの点への配慮が欠けているように思う。

(4) このような地震はどの程度の頻度で起き、果たしてこれこそが最大級と言えるのか。

これまで地震をうかつにも、見くびり、傲慢になっていたと言って良いと思う。そうでなければ、じん性を考慮するように基準を改正した時に、それまでのものがとても危険であると真剣に警告されていた筈だし、またアメリカ西海岸での地震の被害調査をした専門家が、同じような地震（現行基準でもとても追いつかないような大きな加速度を記録している）があっても日本では大丈夫だと言えなかった筈である。

このようにこれまで筆者を含めて関係者は、関東大震災でこれ位のものだろうと推定したものが最大級かそれに近いと思いついていた。しかしそれを遥

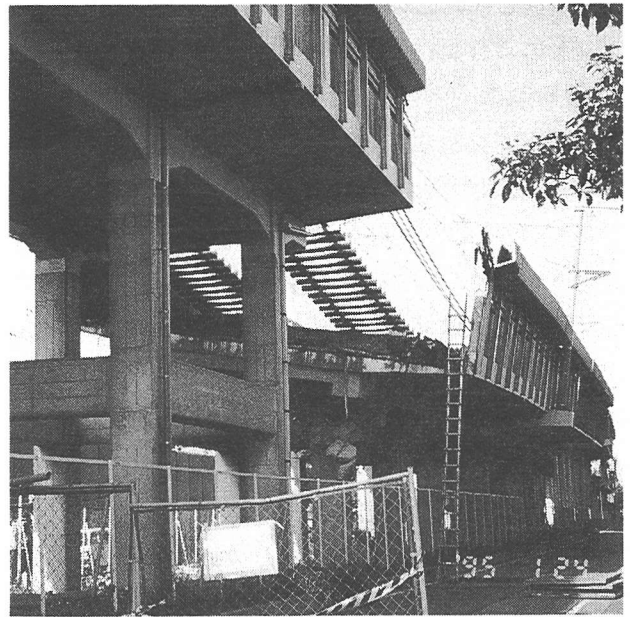


図-1 被害と無被害の対照

かに越す影響を与える地震があることが現実に示された。ひょっとして、関東大震災とか福井地震等で今回程度の揺れが局部的にはあったのかも知れないと考える方が妥当なのかも知れない。だとするとある地点では数千年に一回のことも、日本全体では、かなりの頻度で今回程度の地震が発生するとしなければならなくなる。また今回ののがほぼ最大級と言えるのか、あるいは今回と違った揺れがあるのではないかという疑問もある。頻度は極めて小さいが、今回を越すものとか別な被害をもたらすものがあるとした方が自然のようにも思える。マグニチュード(M)だけから言えば、直下型地震で8という濃尾地震もある。

### 3. 応急復旧

ここで、復旧工事について触れておく。JR関係の鉄道施設では、落下した桁・スラブで利用できるものは利用し、柱も利用可能な部分は利用し、必要に応じて新しい鉄筋で接合し、鉄板で巻いて注入している。高速道路では、落下したものは造り直し、その他は桁を持ち上げ、沓を補修し、橋脚は鉄板をあてて注入している。このような補修の多くは、緊急でやむを得ない状況でのみ許せる限度一杯の措置であると考えられる。関係当事者は十分認識されているとは思いますが、懸念されることを若干述べたい。鉄板で巻いてモルタル等を注入する柱の補修は施工が適切であってこそ強度が期待できる（コンクリートのじん性が飛躍

的に増大する)ものである。しかし十分な技術者を配置できない昼夜兼行の復旧作業であった。また柱からはりに至るような損傷を受けたものは、鉄板を当てるだけでは十分ではない。さらに基礎の部分は十分点検されていないと思う。特に基礎の部分は上部構造が被害を余り受けていないものが大きなダメージを受けている可能性がある(地震のエネルギーが基礎の破壊で吸収されて上部に伝わらないので)。この一帯の現存の構造物は今回程の地震の影響を受ける可能性は殆どないであろうが、これをかなり下回る場合でも欠陥があれば被害を受ける可能性がある。今後、可能な限りの点検、照査と、必要に応じて適切な措置が必要であろう。

#### 4. 施工不良問題

筆者も現地踏査で多くの例を目の当たりにした。これは被害を幾分増大させた要因であるし、また保守費や寿命にも大きく関係する。技術者、プロの良心、責任感から、施工不良の問題を真正面から取り上げて再発防止に真剣に取り組まなければならない。そのような義務が我々関係者にあることは論を俟たない。しかし各種の検討から、施工不良が破壊の主因とは言えないと思う。もしこれが主因だとして片付けたら、またかなりの被害を繰り返すことになるという危惧の方が遥かに大きい。誤った結論を性急に出してはならない。

例えば、小林一輔先生<sup>10)</sup>は新幹線のラーメン高架橋の破壊はコンクリートの打継目の施工不良が主原因だとされ、「地震による水平力に対してコンクリートは全く抵抗力がなく、この部分から高架橋が破壊されることになった」とされているが、そうではない。小林先生のご指摘のように「施工当時から形成されていた柱の接合不良面」があった所でも、水平破断はしていない。水平破断したのであれば、主鉄筋も破断しなければならないが破断していない。たとえコンクリートに抵抗力がなくても、鉄筋には抵抗力はあるから、「この部分から高架橋が破壊」していない。破壊の形態は鉛直に対して15度~35度の角度をもつ斜め方向のすべりによる、せん断破壊である。このせん断破壊が進行してコンクリートが飛散した結果、水平不良面が露呈したのである。また打継目に関係

しない所での破壊も沢山あり、打継目の施工不良が多くの破壊の主原因とはなりえない。このように技術的な観点から小林説は成り立たない。

#### 5. 当面の対応

前述したように、肝心な点が未解明の状態である。そのような中で、現在なされている議論の多くは、ある側面だけから、シナリオ、ストーリーが組み立てられているように思う。結果としてそれらの中の一部は最終的に確認されるかもしれないが、少なくとも現段階では、全体をトータルで見た場合の整合性に欠けているように思う。

このような状況にある現段階では、一般の方々も学者・専門家に性急な結論と対応策を催促しないで欲しい。また関係者も「現行基準を見直す必要はない」と言ったり、逆に「今回の地震に余裕を持って耐えられる基準だ」と安易に提示したりしないで欲しい。現状では応急復旧と当面のものに限り暫定基準を作成し、その後のきちんとした議論で、見直しをするという対処しかないように思う。

なお既設の柱、橋脚を鉄板で巻いて補強をする動きが各方面で出ているようである。しかしこのような補強でははりの結合点は補強できないので、そこが弱点として残ることになるし、今回と違った被害が予想される所にこのような対策が妥当か疑問である。さらに限られた所ならともかく、かなり多くの構造物にこのような対策を強いるのは、後述するように経済性の観点からも極めて疑問である。すぐにも新しい基準を作成して対応したいという関係者の気持ちも理解できない訳ではない。しかし2年位かけてある程度しっかりしたものを作っても、長い目で見れば、技術的にも経済的にも遥かに適切に対応できる。

ここで「今回のコンクリート構造物の被害の有無と、コンピュータ解析の結果とは一致している。したがって加速度に関するデータと構造諸元を入力すれば、コンクリート構造物の挙動はすべて解析可能で、既存構造物の診断も完全にできる。コンクリート工学の学問水準は既にそこまで来ている。」という考え方があることについて私見を述べる。

「コンクリート工学の学問水準が既にそこまで来て

いる」のであれば、今回の大震災以前の大きな地震のデータで解析して、被害の有無と合致していることが確認されている筈である。これまでに日本でもかなり大きな加速度応答が記録されているが、今回のような壊滅的な被害を受けていない。それが解析で確認されていたのであろうか。どうもそのような気配はない。あるいは旧基準で設計されたものはひどい被害を受けるという結果が出て、警告を発していたのであろうか。逆にアメリカのようなひどい事態には日本ではならないと言っていたのではなかろうか。「学問水準が既にそこまで来ている」と言えるためには、やはり今回の震災前にこのような確認をし、場合によっては警告をしていたという事実がなければならない。それがなかったとすれば、そのことが学問水準がそこまで達していないことを証明していることになる。構造数値解析を少しでもやった経験がある者には、「解析と現実がどんな場合でも合う」とはとても言えないし、またデータを適宜操作すると特定なものについては結果を合わせることができるというのが常識である。研究者も結果を見て、結果に合うような議論とか解析をしがちになる（意識していない場合もある）。反省しなければならない。また今回でも取られた記録には限度があり、加速度に関する入力データが揃っていないわけではない。したがって仮に解析が可能だとしても、今回の記録をもとにした判定には限界があり、今回のような地震で破壊するかどうか既存の構造物について完全に判定できるとはとても言えない。

先にも述べたように、虚心に事実を見て解明しなければならない点が沢山あり、場合によっては、これまでの知見を疑って検討しなければならないような状況である。今回の震災で研究者・技術者に対する世間の信頼はかなり落ちている。これについての反省がまず我々になければならない筈である。このような姿勢でないと、今後起きるであろう大地震において、説明のしようがないような被災状態が現出し、土木技術者は世間から全く信用されなくなるという、深刻な事態を迎えることは間違いないと思う。

## 6. 今後の対応

今回の厳粛な経験で、最大級の地震の影響の評価

について大幅に見直されることは間違いないであろう。最新の設計基準で設計されたものは被害が少ないから、設計基準は基本的に見直さなくてよいという意見もあるようである。しかし前述したように肝心の点が未解決な段階では、この結論は早過ぎるし、また既に指摘したように次のようなことから、この見解には極めて疑問を持っている。現行の設計基準で設計されたものでもぜい性破壊したものがかなりあり、またコンクリートの柱、橋脚で曲げ破壊しそうなものまでせん断破壊していることから、じん性の確保という現行の基準でよいのかという疑問がある。さらに現行の設計基準で設計されたものの率は元々少ない上に、極めて異常な揺れがあったと考えられる所には、最新の規準で設計された土木構造物は少なかったという要因を考慮した検討が不足している。

さて見直しをして基準を改めれば、すぐ今回のような破壊が避けられるようになるかと言えば、そうではない。全てについて今回のような地震を想定して補強し、建設するには、大変な経費と時間を必要とし、現実問題として不可能であろう。大したコストアップにならないという見方が一部にあるようである。できればそう願いたい、そうならない可能性の方が遥かに高い。そこで今回のような千年に1回起きる異常な地震にまで耐えるような基準は作っても現実が伴わないという考え方もある。しかし先にも述べたように、日本全体ではかなりの頻度でこのような地震の発生があり得るかも知れないので、今回の地震を対象に考えた基準を設定し、やれる範囲内でやるしか他に道はないと思う。

科学が発達していて、学問が知らないことは殆どなく、技術的なことは計算で割り切れると思いついていた人がこれまで多くおられたように思う。そのような背景を生んだ責任は科学者、技術者にもあり、残念ながら世の中にはかなりのリスクが存在するという本音の安全論はなかなか受け入れられず、孤立無援の状況にあった。しかし今回の大震災で、図らずも、これまでの認識に対する疑問が生まれてきたように思う。

安全のレベルはこうあるべきだからということだけで、すぐそうなるというものではないのである。残念ながら、あるべきレベルよりかなり低いレベルを結果として強いられることもあるのである。新幹線

はこれまで関係者の大変な努力で営業に伴う人身事故は皆無という素晴らしい記録を更新中である。しかし大地震とか立体的交通事故等によって、脱線転覆する可能性はあり、新幹線強制保険制度のようなものを検討する必要があるように思う。このことを認めるには心情的に大変な抵抗があるであろうが、残念ながら現実はそのようなのである。

今後は専門家そして関係当事者も社会からの反発を恐れずに正直に事実を言い、社会もそれを材料にして過度の要求とか反対をしないというように、成熟した社会環境を構築しなければならない。冒頭で述べたように未知、不確定、経済性の制約という要因を安全問題は必ず持っているのに、「不明なこととか危険要因が少しでもあればやってはならない」というように、議論を入口でシャットアウトするようなことを一般社会、特にジャーナリズムはしないで頂きたい。安全問題に携わる関係当事者、そしてジャーナリズム、一般社会はそれぞれ互いにこれまでの態度を反省した上で、社会全体でどう対処するかを冷静に議論しなければならない。これまで設計基準などはその道の学者・専門家に任せておけば、安心だとされていた。実はそこところが間違っていたのである。学者・専門家に限らず、誰も絶対安全を保証できないのである。それなのに学者・専門家ができると安易に言い、世間もそれを信じさせられていたのである。

こうした大反省にたって、技術的な点はともかく、構造物の設計の理念については、一般社会の同意を得て、その基本的な方向を決めるべきである。念のために、構造物の設計基準の設定と適用に関して、筆者個人の考えの骨子を述べておく。

まず今回程度の地震でも致命的な被害を受けないような水準の設計基準を作成する。今回を越すものもあり得るであろうが、その場合はある程度の覚悟をするとせざるを得ないと思う。致命的な被害を受けないような水準ではなく、もっと高い水準で、補修の必要がないようにすべきだという考えもあると思う。しかし現実問題としてそれは不可能であろう。致命的な被害を受けないような水準を目標にすることすら、非常な困難を伴うのである。次に今回のような地震が予想される活断層の位置とその緊急度合について、その道の専門家の客観的な議論によって示し

て貰う。この専門家の判断を参考にして、このような活断層沿いの重要な構造物に、この水準の基準を可能な範囲で順次適用する。なお今回の現象が全ての確に解明されるとは限らないから、作成される新基準そのものにも限界があることを付言しておく。

## 7. あとがき

総期待費用最小化原則に基づく設計思想に筆者は以前から賛成していない<sup>11)</sup>。その主な理由について地震を対象にして簡単に述べる。

今回の被害総額は10兆円前後だと言われているが、諸々の要因を考慮し、かなり多めに評価して、この倍の20兆円とする。このような地震が日本で例えば20年に1度の頻度で起きるとする（かなり多めの想定であろう）と、年平均1兆円の負担になる。また関東大震災が再来すると被害額は125～190兆円と見積もられている。これが100年に1度起きるとすると、年平均約2兆円の負担になる。

さて、現状より安全性を高めても総期待費用が安くなる可能性があるのは、年当りの初期費用の増分が年平均被害額（＝年当期待損失費用）の1～2兆円以内となる場合である。この年当期初費用の増分の限界値の年当期建設投資額に対する率は、平成6年度の建設投資額は約82兆円であるから、 $1.2 \sim 2.4$ （ $= 1 \times 100/82 \sim 2 \times 100/82$ ）%となる。ところがこの程度の初期費用の増分率で期待損失費用が大きく減少して、総期待費用が安くなるとは考えられない。ということは安全性を高めるための費用増の方が、期待損失費用の減少額を上回ることになり、現行の安全性の水準は総期待費用最小化原則に基づく安全水準より高いと考えられる。

したがって、総期待費用最小化の原則を設計理念として持ち込むと、経済効率を優先させた結果として、現状の安全水準を下げることになる。このようなことを世間に強いるのは妥当ではないし、また世間もそれを許さないのである。

なお見直しをした基準でどの程度のコスト増になるかを具体的に示すのは、現段階では困難であるが、その年間の費用増が年当たりの建設投資額の数%以上であることは間違いないように思う。また既存の構造物の補強はこれをはるかに上回るものと思われ、

事業主体だけの負担で補強はできないように思う。

以上は地震の被害に限っての議論であるが、この他建設投資に絡む主な被害に風水害がある。さらに建設投資関連以外の災害・事故を含めた安全問題全般を対象に考えると、リスクの軽減に経済性の制約が大きいのしかかることを事実として認めない訳にはいかないのである。

今回回らずも、「安全に絶対はない」ことが厳粛な事実として示された。人知を遥かに越える自然の営みに比べて、人間の社会活動の限界（知恵、財力、社会、政治等の結果としての）の余りの低さに、呆然とせざるを得ない。しかし諦める訳にはいかない。ここで述べたようなことで、現実的な対応をして、リスクをできるだけ少なくすることしか方法はない。筆者は以前から、首都移転、機能分散、事故・災害強制保険制度の創設等を提言しているが、今回の大地震を契機に、その方向の動きが出ることを強く期待する。

#### 注.

本文は「土木学会震災調査第二次報告会資料」、  
「朝日新聞」、「第25回安全工学ソポウム予稿集」、「地質ニュース」、「コンクリート工学」、「JCOSAR'95論文集」他に発表した拙文をベースにまとめたこととお断りする。

#### 【参考文献】

1) 長尚：事故・災害に関する基礎的考察，土木学会

論文集，462／VI-18，pp.121～130．1993年3月

2) 耐震工学委員会：ロマプリータ地震災害報告，土木学会論文集，422／I-4，pp.20～33，1990年10月

3) 土木学会：日本土木史大正元年～昭和15年，pp.683～687．1950年12月

4) 土木学会：「1978年宮城県沖地震」被害報告（第一報），土木学会誌，8，p.82，1978年8月

5) 大町達夫：1994年ノースリッジ地震の概要，土木学会誌，6，p.4，1994年6月

6) 長尚：兵庫県南部地震を検証，建設通信新聞1月24日号，1995年1月

7) 東原紘道：地震工学，土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料，p.103，1995年3月

8) 伯野元彦，鈴木崇伸：日本に一台，実物大構造物動的破壊試験装置を！，第23回地震工学研究発表会講演概要，pp.597～598，1995年7月

9) Veletsos, A. S. and Newmark, N. M. : Effect of Inelastic Behavior on the Responce of Simple System to the Earthquake Motion, Proc. 2nd WCEE. 1960.

10) 小林一輔：新幹線高架はなぜ倒壊したか，世界，6月号，1995年6月

11) 長尚：総期待費用最小化の原則に基づく最適安全性指標，構造工学論文集，Vol. 37A，pp.543～555．1991年3月

## THE GREAT HANSHIN/AWAJI EARTHQUAKE

Takashi Chou

Discussion and debate concerning the Great Hanshin/Awaji Earthquake are provoked in every field of science and technology, and it appears as if principal conclusions for the matters of the calamity had almost been obtained. However it seems to the author of this paper that essential and fundamental points are left unresolved.

By pointing out, first of all, these factors, explanation is made with the expeditious measures and the reinforcement problems. Furthermore the ideology relating to the future response are discussed from an extensive viewpoint in consideration of the counterpoise of safety and economic features.