

地震工学とその周辺に関する最近のできごと

京都大学工学研究科

土岐 憲三

地震動についての研究推進の必要性

地震工学にかかわる研究と技術の分野は極めて広い範囲にわたるが、構造物の動的な地震応答に限っても関連する技術は幅広い。そして、多くの分野が関わるのみならず、構成要素の多くにおいて、原因と結果との関係が確定的でない、すなわち不確かな要因を有している。こうした不確定な要素は、鋼やコンクリートなどの材料特性、それらを組み合わせた部材の特性、部材の集合である上部構造物の力学特性、さらに動的な外乱に対する応答、地盤中における基礎構造物の挙動、地盤と構造物との動的相互作用、これに作用する地震入力、というように材料から全体系へと現実の構造系に近づくにつれて、次第に不確定性が強くなる。

材料特性の場合であれば不確定な変動は1パーセントにも達しないであろうが、地震動の強さの予測では200%程度の変動幅は容易に考えられる。換言すれば地震動に対する構造物の安全性の確保には、地震動の予測における不確定性を狭める努力をしなければならないことは自明である。

地震動の予測において不確定性が強いのは、現象そのものに内在する不確定性もさることながら、研究が遅れていたことが原因であり、その理由の一つは耐震解析において必要な入力地震動について国が規定してきたことにある。地震入力については、地震断層での破壊のメカニズムや伝播経路における地殻や地盤構成の不確定性などが関わることから、研究の対象としても多くの困難が伴うことから、これに携わる研究者や技術者の数が少ない分野であった。それでも耐震解析や地震防災の問題の検討には、入力地震動を何らかの方法で定める必要があったことから、国がこれを設定せざるを得なかったのである。

このように、地震動については国が規定していたことから、研究や技術開発をしても活用される可能性が低く、その故に政府関係の研究機関以外ではほとんど研究が行われなかったのが、阪神淡路大震災までの状況であった。しかるに、この地震の際に観測された地震動は、これまでの耐震設計に際して用いられたものよりはるかに強いものであった。また、それまでの地震動の強度の設定に際しては、地震危険度解析に基づく結果が用いられており、その結果はプレート間地震による寄与が内陸の活断層によるものより大きく評価されてきた。

すなわち、将来の地震対策を考える上で、過去の地震来歴も考慮されてきたが、その際の基本的な考え方は、日本の歴史書に現れる地震とその災害に関する記述から、現在の地震強度に換算して発生場所と強さを推定し、これに基づいて西暦800年頃から現在までの地震についての統計解析を行い、これから将来の例えば100年間における任意の地点での期待される地動レベルを設定するというものであった。しかるに、内陸地震の発生頻度はプレート間地震のそれより一桁以上低いことから、一年あたりの発生頻度を基本とする地震危険度解析では、内陸の活断層による地震の影響が相対的に低く見積もられる結果となっていた。

しかしながら、阪神淡路大震災の被害が内陸の都市直下の地震によるものであることを経験して以来、

特定の活断層の近くでの大規模建造物の建設に際しては、不特定多数の地震断層の平均的な活動から当該地点での地震動を想定するという考え方に疑問が持たれるようになってきている。そして現在は、特定の地震断層の活動を想定して、検討対象地点での地震動を予測するという考えでの研究や技術開発が進行中であるが、信頼度の高い予測のためにはまだまだ解決すべき問題は多い。

さらに、明確な活断層の確認されていない地域での地震動の想定をどのように考えるかについてはまだ明確な考えが提示されるには到ってはいない。このように、建造物の耐震解析や自治体の地震防災計画の策定などにおいて、第一義的に重要な地震動についての研究は他の要素に比較してまだ手薄であり、もっと多くの研究者や技術者がこの分野に入ってこなければ、バランスの取れた地震工学の発展は望めないのではないだろうか。

地震予知から地震予測へ

わが国はこれまで長年にわたって、地震予知に取り組んできたが、予知の対象は東海地震を想定したものであった。しかるに対象としていなかった兵庫県南部地震が起これ、大規模災害となったことから、地震予知だけでは災害は防げないとの観点に立ち、地震防災にもっと目を向けるという方向転換が起こった。このきっかけとなったのが、平成7年6月の地震防災対策特別措置法であり、これにより阪神淡路大震災以前とは状況が変わりつつある。

この法律に基づいて、科学技術庁長官を長とする地震調査研究推進本部が設けられ、地震災害の防止軽減を目的とした調査検討が政府の手で進められている。この本部は一般に推本(すいほん)と呼ばれており、多くの事業を手がけているが、代表的で重要な事業が全国の内陸の活断層調査であろう。これは、全国の多くの活断層のうち、もっとも活動的であり、規模も大きくて災害対策の観点から重要度の高いもの98を選定して、トレンチの掘削に代表されるような各種の手段で各断層の活動度や規模を順次明らかにしようとするものであり、平成8年度に始まり、現在も進行している。

これに加えて、大都市の展開する沖積平野の地下構造調査のプロジェクトも進行中である。これは平成10年度に関東平野南部、濃尾平野、京都盆地を対象として始まり、順次対象とする地域を広げている。このように、活断層調査と地盤構造調査の結果を組み合わせることで、当該断層が活動したときの検討対象地域の地震動予測がこれまでのものに比較して、より現実に即し、かつ信頼度の高いものになることが期待できるのである。

このような考えは、地震による防災を考えるに際しては、地震がどこで、どの規模のものが起こるかという、二つの要素に基づいて判断しようとするものであり、これが地震動予測である。これに反し、地震予知はこの二つの要素に加えて、地震がいつ起こるかを予め知ろうというものである。一方、地震予測は地震はどこで、どのくらいのものが起こるかが分かれば十分であるというものであり、いつ起こるかは重要視しないというものである。

兵庫県南部地震の前には、この地震を起こした断層の近辺では小さな地震が起こっていたにも拘らず、この断層面上だけは過去70年以上にわたって微小地震が起こっていないことが研究者によって指摘されていた。いわゆる空白域の存在を示したものであり、兵庫県南部地震はまさにこの空白域で起こっている。上記の指摘は地震の予知を目的としたものでなかったが、少なくとも空白域が地震を起こす候補地域であることを示したのである。このことから、地震防災の実を挙げるためには、政府による活断層と地下構造調査の結果のみでなく、微小地震も含めた地震活動度の調査が必要であろう。そして、この結果を活用することにより、危険度の高いところには対策を行い、たとえ活断層があっても小地震がい

つも起こっていて、ひずみエネルギーの蓄積している可能性の低いところは対策のレベルが低くてもよい、というようなメリハリの効いた対策が可能となろう。

地震発生の確率表現

1995年阪神淡路大震災が内陸活断層の活動によって引き起こされたことから、科学技術庁（現：文部科学省）は前述のように、全国の98の活断層を選んで、それらの活動度などに関して調査を行って、その結果を順次公開している、数年間を要する大事業であるが、これにより内陸活断層の規模や活動度に関して多くの知見が得られつつある。

しかしながら、その成果の公表の仕方において問題がある。すなわち、特定の活断層を確率表示することである。すなわち、活動度を確率で表すことは、一般市民に対しては安心情報以外の何ものでもないところに問題がある。内陸活断層の場合には余程活動度の高い断層でも、今後50～100年の発生確率は高々数パーセントでしかない。しかるに自然現象の確率表現に関しては、天気予報が広く定着していることから、降雨確率との比較において危険性を判断してしまう。したがって、数パーセント以下の確率でしかない事象については、その発生の可能性は低いと受け取られて、特別な対応は必要ないと判断してしまうのである。これでは内陸の活断層の活動に備えて、地震防災対策をしようという気運はなくなってしまふのである。国による内陸の活断層の調査の目的は地震による被害の防止と軽減にあるから、このような反応を国民や市民が示す方法によって災害発生の可能性を表すことは本来の目的には適わないことである。

太平洋沿岸から数十キロメートル沖合で起こるプレート間の地震の場合には、1つの断層について見ても百年から百数十年に1回の割合で繰り返し活動しているから、統計的な検討結果を当てはめて将来の発生確率を予測することも可能である。しかるに、内陸の活断層の場合には、短くても数百年、数千年に一度でしかないから、平均的な活動度ですら極めて不確かなものである。トレンチを掘って過去の活動歴を地質年代との関係で調べることも行われるが、それでも数千年に数回程度の活動が認められるという程度であるから、こうした頻度の低い資料に基づいて、将来の50年や100年の活動の可能性を議論することは、あまりにも信頼度の低い議論になる。

たとえば言えば、過去の1万年を1mの物差しで表したとき、その1万年の間のどこかで2～3回の活動があったとすれば、これから将来の50年間の確率を議論することは、物差しの1mの間のどこで地震が起こったかが分かったとして、これに基づいて将来の5mmの区間での確率を議論しようとしているのと同じである。これは科学的ではない。これに反して、プレート間の地震であれば、1mの物差し上で1～2cmごとに地震が起こったという印がついており、このデータから次の5mmの予測をすることであり、信頼度は内陸地震のそれよりはるかに高い。

こうした問題点を解決するためには、地震による可能性については、確率に代わる新しい表示方法を考えねばならない。活断層の活動に関しては、現在行われているように、科学的な方法によって調査をし、その結果を単なる確率で表示するのではなく、地震が地域社会に及ぼす影響をも加味した指標を用いて市民や地域住民に伝えることを考えるべきである。さもなければ、多大の経費をかけて行った活断層調査や地盤構造探査の結果が、安心情報になりかねず、本来の目的である地震防災対策の樹立に活かされないことになってしまう。

政府による地震防災に関する調査・検討

東海、東南海、南海地震の発生がマスコミでも取り上げられ、発生確率も公表されている。この場合には、先の内陸の活断層と違って今後の4～50年間の発生確率が50パーセントにも達することから、一般にも危機感が高まりつつある。このような状況に鑑みて、政府はいろいろな観点から、近い将来発生するであろう地震に備えるべくいろいろな取り組みを進めている。

前述の地震調査研究推進本部が地震に関する科学的な見地からの検討を行っているが、こうした活動によって得られた知見を災害対策に活かすための場と活動も必要である。このような目的で、文部科学省は、「防災分野の研究開発に関する委員会」を平成13年6月に発足させた。これは、科学技術基本計画が平成13年3月に閣議決定されたことに関係があり、ここに取り上げられた8つの重点分野の一つである社会基盤分野の主題の一つが地震災害であったことから、8つの重点分野の内でも特に重点の置かれている情報科学、生命科学、環境科学、ナノテク分野などと同様なレベルでの検討を主なうために設けたものである。ここでは、地震防災に関して将来どのような研究と技術開発とが行われるべきかについて、人文社会科学をも視野に入れた検討が行われている。

一方、防災問題に関する諸問題の調整に当たることを所掌している内閣府も、中央防災会議の中に、地震災害に関する既存の調査会のほかに新たな調査会を13年度になってから、いくつか発足させた。すなわち、「東海地震に関する専門調査会」が平成13年3月に設置され、これに加えて「東南海・南海地震に関する専門調査会」が平成13年10月に設置された。また同じく、平成13年9月には「今後の地震対策のあり方に関する専門調査会」が発足し、これで平成13年度中だけでも地震防災に関する調査検討のために3つの場が設けられたことになる。

「東南海・南海地震に関する専門調査会」では東南海や南海地震による中部圏・近畿圏での被害のみではなく、それらに先立って起こるとされる内陸の地震による大都市直下の地震による被害についても同様な調査検討を行うことにしている。したがって、ここでは東南海・南海地震による地震災害と津波災害の予測、ならびに内陸の地震による災害防止とが検討の対象となっているのである。

このようにして、東海、東南海、南海という太平洋岸の巨大地震を引き起こす一連の地震断層による被害想定とそれに対する対策を検討する作業が始まっている。いずれの断層についても発生の可能性の検討から始まり、地震に伴う揺れの強さ、津波による被害の予測などについての技術的な調査検討が行われる予定である。さらにこれを受けて各種の被害要因についての詳細な検討が実施されることになるが、こうした活動を支援するために、わが国の地震対策の現状を把握・分析し、今後の地震対策の基本的な方向を見出すためのものが、上述の第3の調査会である。

さらに、同じく平成13年10月から、「防災基本計画専門調査会」が始まっている。これは必ずしも対象を地震災害だけに絞ってはならず、風水害や原子力災害をも対象としており、防災対策の基本的な見直しが必要であるとの観点から検討を始めたものである。これにより、自然災害と人為災害の両者を対象とした基本的防災対策の再点検が行われるであろう。

こうした一連の調査会活動は単に方向付けのための議論だけではなく、被害予測などのような技術的な作業をも伴っており、その成果は具体的な施策につながるものとなるであろう。これらの検討会はいずれも平成14年度中には成果を得ることを目標としており、相当な早い時期に、わが国の地震対策の基本的な姿が見えてくることが期待される。

社会基盤に対する考えの変化

1995年阪神淡路大震災を契機に、地震災害や地震防災に関する考えが大きく変わったが、これは社会基盤に関する考え方に影響を及ぼした。すなわち、平成13年3月には科学技術基本計画が閣議決定されたが、ここには社会基盤に関わる科学技術の基本的事項として地震防災の問題が採り上げられている。

科学技術基本計画では少なくとも今後5年間において重点をおくべき分野として、生命科学、環境科学、情報通信、ナノテクノロジーが掲げられ、これに次ぐものとしてエネルギー、製造技術、社会基盤、フロンティアの4分野が採り上げられている。このうち、社会基盤に関しては、安全、Quality of Lifeに重点を置くべきことが述べられている。ここに言う安全とは自然災害に対する社会の安全を確保することであり、自然災害が主たる対象として考えられている。

これまでであれば、社会基盤とは、道路や鉄道、あるいは水道やガスなどのライフライン施設、さらには建物をも含めた都市そのものを指していたが、21世紀初頭における科学技術の議論では、施設を構築するための技術や研究ではなく、こうした施設の安全性に関わる技術であることが大いに注目に値することである。

科学技術基本計画は、科学技術に関わる新規事業を興すに際しては、ここに取り上げられている事項に優先度を置くべきとしているから、換言すればここに無い事は実施されない可能性が高いと考えねばならない。こうした観点からは社会基盤に関わる科学技術において、災害科学が最重点事項として取り上げられた事は特筆すべきであろう。

災害の中でも目に付くのは地震による災害であり、これに次いで風水害や人為災害に注目している。地震災害に関しては異常自然現象の解明という命題の下で、大規模な地震が発生する可能性の検討が行われるべきとすると共に、リアルタイムの地震防災にも目が向けられている。これは、大規模地震に関しては発生の事前と事後の両方に目を向けるべき事を意味しており、これまでの地震防災といえば事前の耐震対策が主であり、事後の事といえば、避難や給水などの防災計画に限られていたのに反し、地震の直後から観測記録や事前に用意されているGPSなどを駆使した即時対応システムを構築することの重要性が認識されている。

こうした変化は安全の確保と並んで重要事項として取り上げられた生活の質の向上という事項にも見られる。すなわち、現在の社会は効率や利便性を最優先に構築されて来たが、その結果、都市としての統一感や美観が失われてしまったという反省から、もう一度周囲を見渡して日々の生活の質を高めようという考えが表に出てくるようになったのであろう。

戦後の高度成長時代を経て、バブル期に到るまでの間、追いつけ追い越せの掛け声のもとで、一定の投資の額では効率を第一の目標として社会基盤の整備を図って来ており、これらの行為が都市空間に対して及ぼす影響については、関心が払われることが少なかった。その結果として、景観や美的観点から都市を形造ることが行われることなく増殖を続けて今日に到ったのである。

こうした反省に立って、自然との共生を目指しつつ美しい生活空間を取り戻すことや、より質の高い都市空間を再構築するための技術をこれから大いに展開することが、社会基盤の分野に課せられた課題である。都市内の高速道路も明らかに都市空間を形成する重要な社会基盤施設であり、こうした科学技術分野の動向と無縁ではあり得ないのである。

いずれにせよ、これまでの我が国では社会基盤の整備は常に弥縫策的なものであったが、これから決別して我が国固有の文化や価値観、さらにはライフスタイルに根ざした美しい国土再生の理念に基づいた整備手法へと転換すべきことがうたわれているのである。このためには、旧来の社会基盤の整備手法

を変革して、新しい手法を確立するためにも科学技術との融合が強く求められている。

文化財防災

前述の科学技術基本計画の社会基盤に関しては、都市や社会全体の中核システムの安全性の確保や文化財などを地震から防護することにまで目が向けられており、現存のシステムを如何にして地震の脅威から守るかに留意すべきことが明示されている。特に文化財などのような過去の遺産とも言うべきものが社会基盤の一つとして捉えられていることは特筆すべきことであろう。文化財とは、過去に生きた人々の精神的活動の証であり、これから現在の人々が多くの事を学びとっていることを考えるとき、文化財は明らかに現代社会を構成する大きな要素であり、これを社会基盤として捉えることは、社会そのものの認識に従来とは大きな変化が起きつつあることを示唆しているのではないだろうか。

文化財を防災との関係で捉えることは別の分野においても見られる。すなわち、「文化芸術振興基本法案」が国会において審議にかけられようとしているが、この法案の中では、文化財等の保存及び活用という条項の中で、文化財に関し、防災対策などへの支援その他の必要な施策を講ずるものとする、と述べられており、文化財の防災対策の必要性が明言されている。

一方、平成13年度から、国土交通省は建設技術開発研究助成制度を始めたが、初年度でもあることから、3件が採択された。数十倍の倍率であったにも拘らず、「木造文化財を地震後火災から防御する環境防災推理システムの評価と構築に関する研究」に対して助成を決めた。建設に直接かかわる技術の分野ではなく、文化財との関連において水利システムについての研究を行うというものであるにも拘らず、研究助成を決めたことは、建設分野においても文化財が重要な社会の構成要素であることを認識していることの証左であろう。

文化財を地震災害から守るためには、地震動、木造建築、延焼火災、水利技術、文化財保護、消防防災、環境保全、など多くの分野の結集が必要である。これを国のレベルで行うには多数の省庁が関ることになるが、こうした多くの分野の調整のために内閣府は14年度には省庁連絡会を設けることになっている。京都や奈良に密度高く集積している国宝や重要文化財は、長年にわたる関係者の努力により、文化財保護という観点からは大きな成果を挙げている。その結果、こうした文化財の災害対策は十分のように見られているが、それは常時の火災や水害を対象としたものであり、地震のような突発的で同時多発の災害に対しては極めて無力な状態にある。このような状況に対する理解が進み、文化財を地震災害との関連において捉えるという見方が進展していることは、嘗てないことであり、国民や市民の文化財ならびに地震災害に対する意識の変化が起りつつあることが感じ取られる。