

地震に強い国土をつくる技術と技術政策



危機管理技術研究センター 地震防災研究室長 日下部 毅明

1. はじめに

我が国の地震に対する設計や防災対策に関する技術は、大きな地震の度に得られた知見や経験を基に改善が重ねられてきた。道路橋の設計に地震力が初めて考慮されたのは、1923年（大正12年）の関東大震災後間もない1926年の「道路構造に関する細則案」であり、液状化対策技術の発展も1964年（昭和39年）の新潟地震を機にしたものである。今なお記憶に新しい1995年（平成7年）の阪神・淡路大震災では、成熟の段階に到達したと思われていた耐震技術に大幅な見直しを迫るだけでなく、危機管理体制やこれを支援する技術のあり方に重大な課題を突きつけるものであった。活断層が工学上本格的に重要視されるようになったのもこの震災の教訓である。

我が国は世界の0.1%の表面積しか有しない国土と周辺の大陸棚から、約10%に達する地震エネルギーが放出されている地震国である。大きな地震の頻度も高く、20世紀の主な被害地震（戦前の死者行方不明者1000人以上、戦後20人以上）だけで19もある。周期性の高いプレート境界型地震では、いつ起きてもおかしくないと言われて久しい東海地震を始め、東南海、南海、宮城沖地震等切迫性が高まっており、警戒の必要性が報告されている活断層も相当数に上る。これらに対しては今の技術の到達点を過信せず謙虚な姿勢で、人知の及ぶ限り切迫する地震の被害を少しでも軽減する技術開発を行う必要があると言える。

国総研では、以上の背景から日常の地震の観測、ものづくりや補強等対策における適切な設計地震力の設定手法を含む震災予防、地震直後の危機管理の支援、といった地震防災に係る全てのフェーズに配慮しつつ、地震に強い国土をつくる技術と技術政策を研究している。以下にこれまでの研究成果と今後の地震防災技術に関する展望を述べる。

2. 地震防災の研究の観点

ここで述べる地震防災の研究が何を目的としているかを端的に示すために引きたいのが、孫子にあるあまりにも有

名な「彼を知り己を知れば百戦あやうからず」である。地震相手に「あやうからず」は現実的ではないにせよ、彼（地震）がその地域でどのような規模、どのような切迫性を有するかを知ることと、己（社会そのもの、生活の基盤など）がどれだけの地震に対してどのような脆弱性を持っているか（あるいはどのような被害が生じるか）を知ることが、地震防災の基本である。地震防災と言ってもそれは予防の観点、地震直後の対応の観点があるが、この基本はどちらにも共通であろう。「彼を知り」に相当する部分として、国総研では、次節に述べる地震力の評価手法、すなわち着目する地域においてどの程度の強さの地震がどの程度の可能性で生じるかを評価する研究を行っている。

3. 地震力の評価手法の研究

(1) 研究概要と成果

地震防災のために地震力を評価するには二つのアプローチがある。それは確定論的なアプローチと確率論的なアプローチである。震源となる活断層や境界プレートが動いたとしたらどのような地震力となるかを議論の出発点とするのが確定論的なアプローチであり、典型的には東海地震などの特定の地震が発生した場合に生じる地震力を設定して被害を想定する場合に用いられる。これに対し、着目地域周辺では様々な地震が発生し得ることを踏まえ、それらの発生可能性を総合的に評価してその地域の地震危険力を設定するのが確率論的なアプローチである。豪雨や暴風と同様「百年に一度の地震力」とか、「50年以内に5%以上の確率で起こる最大の地震力」といった表現をする。国総研ではその両者を研究している。本論では、これまで理念としては重要視されつつも、実務には積極的に活用されてこなかった確率論的なアプローチの実用を志向した研究を紹介する。

地震の発生特性（地震のマグニチュードや発生頻度）は地域によって異なるため、各地域に生じる地震力には地域性がある。この地域性は、一定期間に各地域で生じる最大加速度や震度をそれが生じる確からしさ（確率）を使って

地図上に描くことで表現できる。これを地震ハザードマップ（確率論的地震危険度地図）という。我が国では歴史的資料も含めて過去千数百年程度の地震記録が整理されており、既にそれらの記録に基づいて作成された地震ハザードマップがあり、耐震設計基準における地域性を考慮した設計地震動の設定に使われている。

活断層に起因する地震の発生間隔は数百年から数千年であるが、平均的には千年以上であるため、この間隔から見ると限られた期間に過ぎない前述の地震記録だけでは、活断層が動くサイクルが迫っている地域でも地震力が過小評価される可能性があるなど、切迫性を適切に評価できない。また、過去の地震記録に基づく従来の地震危険度解析では、地震が様々な位置でランダムに発生することを想定して地震危険度の評価を行うため、活断層やプレート境界などの特定の場所で繰り返し発生する地震の影響をきめ細かく評価することができてない。

以上の観点から、国総研では過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮できる地震ハザードマップ作成手法を現在開発している。詳しい作成手法には踏み込まないが、おおよそどのようなことをどのように評価す

るものであるかを図 1 に示し、以下に列挙する。

a . 地震危険度解析

a 1 過去の地震記録に基づく地震危険度解析

過去の地震の発生状況および地球物理学的データに基づき、地震の発生特性が一樣と見なせる地域を区分

a 2 活断層を考慮した地震危険度解析

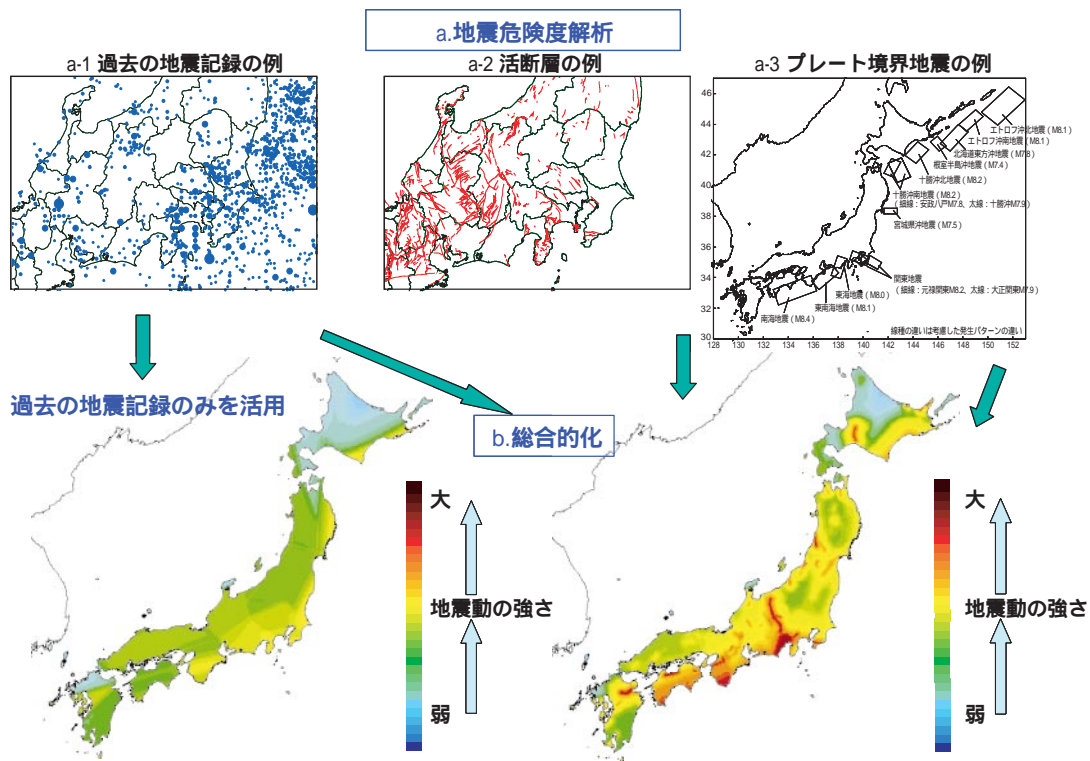
活断層の活動履歴を考慮して切迫性を評価し、活断層で繰り返し発生する地震の危険度を評価

a 3 プレート境界を考慮した地震危険度解析

プレート境界の活動履歴を考慮して切迫性を評価し、プレート境界で繰り返し発生する地震の危険度を評価

b . 上記地震危険度解析結果の総合

図 1 右下のハザードマップは、研究の成果として、2002 年以降の100年間に 5 %の確率で超えると考えられる最大加速度の試算結果を示したものである。比較のために図左下には過去の地震記録のみを考慮して作成したものをあわせて示した。例えば糸魚川 - 静岡構造線活断層系などの地震発生確率が比較的高い活断層が支配的な影響を及ぼす結果が得られている。また活断層の分布密度が高い中部地方、



100年間の超過確率が5%となる最大加速度

図 - 1 ハザードマップの作成手法と試算結果

近畿地方及び東北地方南部においては地震発生確率が高い活断層を中心に比較的広範囲で活断層の影響が認められる。実用にはまだ課題が残るが、地域ごとの地震危険度を合理的に設定するために、これまでの地震に関する知見を総合化し、表現する手法が一定の段階までは開発された。本研究成果は地震に強い国土づくりに資する技術政策の研究の礎となるものであり、それについては(2)に後述する。

なお先に述べた様に、確定論的に設計地震動を設定する手法の研究も行っている。この成果として東京湾口部における設計地震動の設定例を図-2に示す。この手法は既に地域の重要プロジェクト毎に地震力を設定するために活用されるようになっており、手法としての完成度を向上させるための課題は未だ尽きないが、平成14年度までの研究で実用可能なレベルまでは到達したと言える。

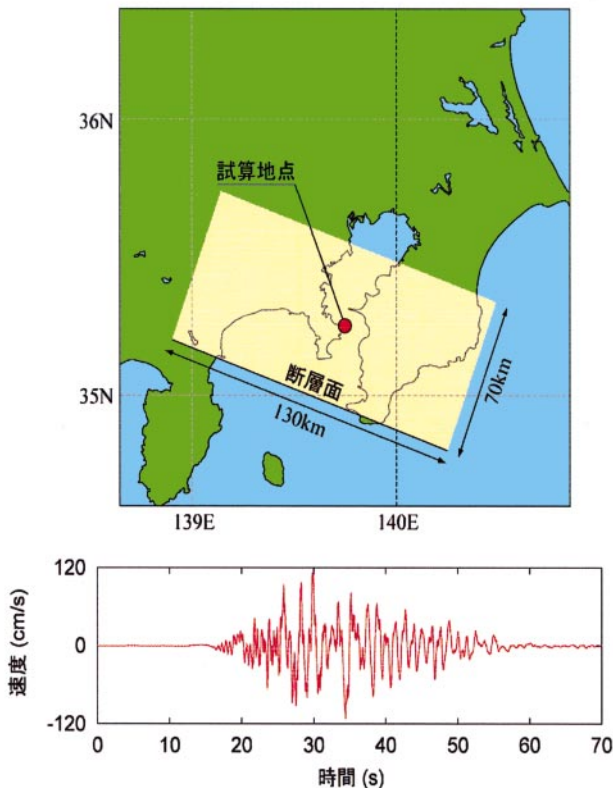


図-2 確定論的な手法による設計地震動の設定例

(2) 地震ハザードマップを礎に展開される地震に

強い国土づくりに向けた技術開発の展望

これまで述べたとおり、ハザードマップの作成手法、すなわち確率論的なアプローチで地域性を考慮した地震力を設定する手法の開発を進めてきている。ここではこの技術

を礎にして展開される、地震に強い国土づくりに係る技術開発および技術政策の展望を述べる。

設計基準類における設計地震力の合理化

現行の耐震設計基準では地域別補正係数を使って地域ごとの設計地震動を設定している。地域別補正係数の設定には地震ハザードマップが活用されているが、先に述べたように活断層やプレート境界で発生する大規模地震の発生履歴の情報などが考慮されたものではない。今回開発した地震ハザードマップを基に地域別補正係数を設定しなおすことで、耐震設計基準において地域性をきめ細かく考慮した設計地震動の設定ができるようになり、これを視野に入れた研究に既に取り組んでいる。

構造物が有する耐震性水準の適正化

どのような耐震性能をどのくらい大きな地震力に対してどこまで確保すべきか？それは施設の重要性によって異なる。耐震性水準の適正化を図るためには、設計上想定する地震動を上回る地震動が生じる可能性と、そのような地震動が生じた場合に社会・経済が被る打撃の大きさや広域性を考慮して、確保すべき耐震性水準を決定する方法論及び手法を開発する必要がある。現在研究に取り組んでいる。地震ハザードマップを用いると、設計上の想定を上回る地震動が生じる可能性を地域ごとに把握することができるため、施設毎に確保すべき耐震性水準の適正化を図ることが可能となる。地域の地震危険度と確保すべき耐震性水準をどのように組み合わせるかを考えることで、地域のニーズや社会情勢に対応したものづくり、いわゆるローカルスペックによる社会基盤づくりを支援することも考えられる。

地震防災対策の優先度判定の合理化

既設構造物の耐震補強事業において、既往の実務的な優先度の判定では、主に構造物の脆弱性や重要性を簡易に考慮している。緊急輸送路の確保および2次災害の防止(跨線橋など)を重要視することの妥当性は自明であるが、地震は地域ごとに切迫性やマグニチュードが異なるため、これらを考慮するのがより合理的であり、ここでも地震ハザードマップが必要となる。

地震ハザードマップを活用した地震に強い国土づくりに向けた技術開発は他にもある。特に重要なものとして、確率論的な視点から被害想定を立て、地域の防災性向上に直結させた活用が考えられる。これについては次節に述べる。

4. 脆弱性の評価手法の研究

これは第2節の冒頭で引いた孫子の名言中「己を知る」に相当する部分である。施設管理者が危機管理能力を高めるためにも、防災関係機関・地域住民が災害の様相を理解し地域の防災力を高めるためにも、被害を推定する技術が必要である。被害想定を行うにあたり、現在特に障壁となるのは施設の脆弱性評価である。例えば橋梁であれば一橋毎に丹念に情報を収集して高度な解析をすれば、確かにどの程度の地震に対してどのような被害が生じるかはおよそ推定できる。しかしながら、被害想定を立てるためにその作業が必須であるとしたら膨大な時間と費用を要し、実用性は非常に乏しい。かといって現在用いられる判定手法は大雑把すぎて大掴みに被害総額を算出するために役立つ以上に実用的とは言えない。したがって一定のデータ量で、個別施設の地震被害推定に用いることが可能な脆弱性評価手法が必要となる。個人的な経験で恐縮ではあるが、著者は高知県内の国道事務所に勤務中に芸予地震を経験した。橋梁に関しては設計地震動から判断して深刻な問題につながる被害の可能性が低いという予測は立てることができた。一方、斜面に関しては、もとより複数箇所の長大な事前通行規制区間を抱えており、全線の点検が終わるまでは、被害がどの程度まで及ぶか全く見当もつかず、強い危機感を抱いた。橋梁だけ万全を期した補強をしても、斜面が大幅に崩壊すれば道路は通れなくなる。人的被害も十分にあり得る。地震に対する斜面の脆弱性を評価できない現状では、最悪のケースとしてどのレベルの被害を想定して対応し、どこを重点的に点検するかも、日頃の点検に基づく斜面の性状を参考にしているとはいえ手探りの状態であり、危機管理上はもっと改善する余地があると思ったものである。

国総研では、マクロ的手法ながら橋梁に対し適用示方書毎にどの程度の被害がどの程度の確率で発生するか評価する手法を開発してきた(2002年の成果の一例として図-3参照)。今後更にミクロな観点から斜面、盛土をも含む脆弱性評価手法を開発すれば、施設管理に役立つレベルで想定地震に対する被害を推定することができるようになる。

ところで、施設の被害想定のお考え方には2種類ある。現在、主として行われている被害想定は、個々のシナリオ地震が確定的に起きた場合にどのような被害が生じるかを想

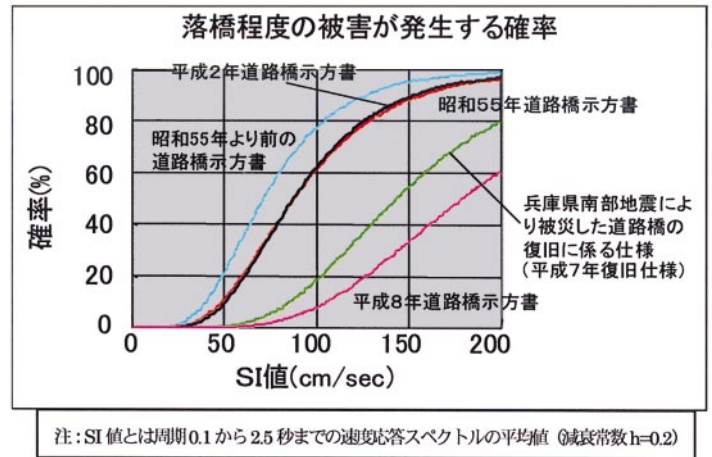


図-3 被害関数の開発例(検証中)

定するものであり、危機管理計画には特に重要である。これに対し、例えば考慮する期間を50年間とし、その間に今後生じる様々な地震に対して、それらの発生確率も考慮して、全体としてどのような被害が地域ごとに生じるかを確率論的に把握する被害想定も考えられる。このような被害想定は投資効果を考慮した震災予防計画の立案に役立つものであり、前節に述べた地震ハザードマップがここでも必須のツールとなる。

5. おわりに - 地震防災の様々なフェーズへの対応と今後の展望 -

以上、地震ハザードマップの作成手法の開発を軸に、震災予防と危機管理支援それぞれに役立つ技術開発の成果、現状、および展望を述べた。国総研では、本特集の「リアルタイム災害情報技術と危機管理」にも紹介しているとおり、リアルタイム災害情報システムや即時震害予測システムなど、地震直後の活動を直接支援する技術を開発している。また都市部の幹線道路において地震後にどのような交通需要が発生し、建築物の倒壊も考慮した場合に都市の幹線道路網がどのような性能を発揮するかを概略推定する技術開発もを行っている。地震計測の充実とこれによる現場支援の一層の充実も国総研に課せられた使命である。

今後は価値判断、情報判断や人間行動に係る社会学的知見も取り入れつつ、地震防災のあらゆるフェーズを視野に入れた研究を展開する必要がある。