

論文の内容の要旨

論文題目 地震波形データベースを基盤とした地震ハザード評価手法の構築に関する研究

氏名 田中 浩平

本論文は、強震観測網の充実や強震動波形シミュレーション技術の進歩に伴い急速に蓄積されつつある地震波形データベースを基盤とした、地震ハザード評価の新たな枠組みを構築することを主題とする。

近年、データベースの利活用に大きな変化がみられている。限られた貴重なデータを丁寧に分析し、高度な統計的モデリングを実行することにより現象解明や推定を行うという従来の活用法だけでなく、蓄積された膨大なデータ(ビッグデータ)が有する情報をいかに取り出し有効利用するかが問われている。この変化を最もよく象徴するのが、検索エンジンサイト Google である。Google は、Web 上に存在する膨大なデータを集積したデータベースを構築し、独自のアルゴリズムに従って各ウェブサイトのポイントを与えて整理することで、利用者の目的に応じたサイトをランキング形式で瞬時に提供することに成功している。

このような時代の変化がもたらす影響は、情報分野に限ったことではない。様々な種類のデータベースがデジタル化し、公開されている現代においては、次々に更新される膨大なデータから有用な情報を抽出し、新たな利活用方法を考えることは、分野を問わず重要な課題と考える。特に他分野との結節点の多い建設業においては、関連するデータベースは多岐にわたる。これらを整備・再構築することで、設計や現業にさらに有効にフィードバックできる枠組みを構築できるはずである。本論文ではこのような背景を鑑み、近年急速にデータが蓄積されている地震波形データベースを対象として、地震ハザード評価における地震波形データの有効活用を提案するものである。

地震波形データベースを基盤とすることにより何が改善されるかを、地震動距離減衰式を基盤とした現在の地震ハザード評価と比較することで明らかにする。距離減衰式は、限られた地震記録からモデル式を回帰することによって得られる経験式である。距離減衰式の優れている点は、数少ない説明変数から地震動強さが簡便に推定できること、推定結果の汎用性の高いことなど数多い。しかし欠点が全くないわけではない。1つ目に、地震動の特性を表現する指標を PGA , PGV , S_a といったごく一部の強度指標に限定していることである。構造性能の表現は多様化し、応答評価は高度化しているのに、地震動の表現は地動の最大値を用いている。2つ目の欠点は、推定結果が地震動との関係性に乏しい点である。地震動は無数の地震動指標値の組み合わせからできており、それらのパラメータは相互に関連しながら1つの地震動を構成している。距離減衰式によって推定されるのは、地震動の情報を圧縮したスカラー量であり、その他の地震動情報を十分に活用できていない。本論文ではこの状況を改善すべく、出発点である地震波形データそのものに立ち返るということを行なう。距離減

衰式の欠点は、地震波形データから1つの地震動指標が抽出され、他の指標との関係性が断ち切られたところから発生している。そこで生データの集積である地震波形データベースから地震ハザード評価を構築することで、上述の2課題の改善を試みる。

以下では、本論文の構成に合わせて各章の内容の概説を行う。

第1章では、研究の背景や目的、既往研究のレビューと本論文の新規性について概説する。

第2章では、本論文で用いる地震波形データセットが構築される。収集された地震波形データは観測波形が中心であるが、データの不足を補うために統計的グリーン関数法による強震動予測波形が補充されている。観測波形データは、防災科学技術研究所と気象庁、太平洋地震工学研究センター(PEER)のデータセットを対象とした。収集された地震波形データを整理し、工学的基盤程度の標準的な表層地盤条件における地震動を推定するための標準地震波形データセットが構築される。このデータセットはまだ改善の余地が残るプロトタイプではあるが、新たなハザード評価の枠組みの基盤としての方向性を示唆するものである。

第3章では、地震波形データセットから目的の地震動を選定するための仕組みとして、波形インベントリーが提案される。インベントリーとは目録という意味である。よって波形インベントリーとは、震源特性や伝搬特性といった地震動のメタデータを事前に整理しておくことで、利用者が目的とする地震動のパラメータと合致するデータを探索し、地震動を選定できるようにするための仕組みを表す。波形インベントリーの利点は以下の4点である。1つ目の利点は推定結果として地震波形データが得られる点である。距離減衰式のように、推定結果から地震動を再現するような労力を払う必要がない。2つ目に地震動選定のための変数を自由に選択できる点である。事前情報が多いほど精度高い評価ができる可能性があり、このような調査結果を有効活用すべきである。距離減衰式に基づく評価では入力変数は決まっており、事前情報の多寡を反映した評価ができなかった。3つ目の利点は地震波形データの整理パラメータを後からいくらかでも追加できる点である。将来の地震被害から得られる新たな知見を逐次取り込むような構造になっている。4つ目に地震波形データセットの更新が、即推定結果の精度向上につながる点である。距離減衰式はデータが更新される度に新たにモデル式のフィッティングをする必要があった。

第3章の後半部では地震動の選定数を定量的に決定する方法について議論する。目的のパラメータに完全に一致する地震動は数が限られるため、地震動の選定にはパラメータの幅を設定する必要があるが、地震動が過不足なく選定される適切な幅を設定する必要がある。本論文では情報量によって選定地震動の十分性を定量化し、選定幅を設定する。

第4章では波形インベントリーの具体的な活用例が示される。はじめに波形インベントリーによるシナリオ型地震動評価が行われる。地震諸元や地震動指標値をシナリオとした場合に、シナリオに合致した地震動がデータセットから選定される。選定地震動群は設計用地震動群として活用されることが一般的であるが、第4章では選定地震動群の様々な活用方法が示される。例えば、観測波形群のベンチマークとしての利用がそのひとつである。現在、強震動予測波形の検証として、シミュレーション結果が距離減衰式のばらつきの範囲内に収ま

ることを確認している。しかしこれでは強度指標による比較しかしておらず、地震動の検証という点では不十分である。そこで波形インベントリーによる選定地震動をベンチマークとすることでより多角的な指標で検証を行えることを示した。また、同様のスキームを用いて既往設計用地震動の裕度評価も行う。

第5章では、波形インベントリーを用いた確率論的地震ハザード評価が構築される。従来評価では、距離減衰式を用いていたために、利用者の目的に応じた任意の地震動指標でハザード評価を行うことが困難であった。またハザード結果は単一の地震動指標値で表現されるため、それに対応する模擬地震動を作成するためにはその他の地震動指標値を何らかの方法で設定する必要があった。5章では、波形インベントリーによる確率論的地震ハザード評価を提案することで、これらの課題が改善できることを示す。

第6章では、波形インベントリーによる応答ハザード評価手法を提案する。構造性能は基本的に目標性能レベルと応答のクライテリアがセットで記述される。例えば、耐震等級1では「極めて稀に発生する地震による力」に対して「倒壊、崩壊等しない」程度とある(カッコは著者)。この場合に前者のかぎがかつが性能レベルの設定、後者がクライテリアを表している。現在の性能設計では、上述のように性能レベルの設定が外力の強さに対してなされていることが多い。その場合には、“極めて稀”に発生する地震動のレベルを定量的に評価することが困難で、既往設計用地震動からのキャリブレーションが行われる。

しかし実際には、より上位の概念に対し性能レベル設定がされることが望ましい。上位の概念とは、構造物の応答値、構造物の状態、生命の安全、修繕コスト、復旧期間、経済損失などである。例えば「地震による構造物が崩壊の年間発生確率が 10^{-4} 以下である」とあれば、火災や交通事故といった他の死亡リスクと比較することにより、耐震レベルが妥当であるか判断できる。このような上位概念の計算を行うためには、対象構造物ごとの詳細解析が必要となり、評価の不確実性も増大する。すなわち、詳細解析を実行するための地震波形を準備することと、評価の不確実性をできるだけ低減することが課題である。6章では、これら2つの課題を改善する手法を提案し、応答のクライテリアとその超過確率の組み合わせで性能が規定される場合の、性能検証手法を提案する。

第7章では、各章における結論をまとめ、将来の展望や地震波形データベースを基盤としたときの将来像について述べる。

以上をまとめる。本論文では地震波形データベースを基盤とした地震ハザード評価の新たな枠組みを構築することを試みる。従来の距離減衰式による評価の2つの課題、「地震動の表現がごく一部の指標に限られること」と「推定結果と地震動との関係性に乏しいこと」を改善することを目的とする。そして提案手法を用いることによるメリットが、シナリオ型地震動評価、確率論的地震ハザード評価、応答ハザード評価の3つの地震ハザード評価手法において検証される。