

論文の内容の要旨

論文題目 Development of Fragility Functions for Highway Bridges Using Strong Motion Indices and Structural Parameters Based on Numerical Simulation

(数値シミュレーションに基づく地震動指標と構造パラメータを用いた高速道路橋被害関数の構築)

氏名 Karim, Kazi Rezaul

カリム カジ レザウル

近年の地震によるライフライン構造物の被害、とりわけ高速道路橋、ガス供給管の被害によって、地震時のモニタリングと早期被害判定のためのシステムの開発をより推進する必要があることが明らかとなった。これらのシステムでは、地震動を観測して構造物の被害を推定し、被災地を特定することで緊急対応を支援する、地震動モニタリングネットワークが中心的な役割を果たしている。これらのシステムで広く用いられている地震動のパラメータとしては、気象庁の計測震度、地表面最大加速度 (PGA)、地表面最大速度 (PGV)、スペクトル強度 (SI) といったものがある。本研究ではこれらの地震動パラメータを用い、地震被害評価に関わる知見について考察を行う。また本研究では、強震動パラメータについて、気象庁計測震度と相関の高いパラメータを最も適切なパラメータとして決定し、数値解析的な方法により高速道路橋のフラジリティ曲線 (被害関数) を構築し、数値シミュレーションに基づいて被害関数を求める簡易手法を提案することに焦点をあてた。第1章では、研究の目的、背景と関連文献のレビューを述べている。

日本ではこれまで、構造物被害の予測、被災地の同定と地震災害への対応に、気象庁震度が最も重要な指標として用いられてきた。また、その他の PGA, PGV や SI といった強震動パラメータは、地震動の強さを記述するのに用いられている。したがって、気象庁震度とその他の強震動パラメータの関係を明らかにする必要がある。第2章では、非液状化地盤の地震観測記録、液状化地盤の地震観測記録、気象庁観測記録の合計3つのデータセットから、気象庁震度とその他の強震動パラメータの関係を2段階線形回帰分析により明らかにした。解析結果によれば、気象庁震度は PGA や PGV よりも SI と高い相関があり、PGA と SI の組み合わせ、あるいは PGA と SI の積に最も高い相関があることが明らかとなった。第2章で得られた結果は、日本における災害対応や、PGA と SI を同時にモニタリングする新しい SI センサの開発に役立つものと思われる。

高速道路橋の被害予測においては、フラジリティ曲線が便利なツールの一つとして考えられる。フラジリティ曲線は構造物の被害確率を強震動パラメータの関数として定義したものである。この曲線を構築するには(1) 経験的手法、(2) 実験的手法、(3) 解析的手法の3つの方法がある。経験的手法は実際の被害に基づくものであり、説得力がある。しかし、構造種別、耐震性能、入力地震動のばらつきといったものを特定しない。また、被害を受けた構造物の近傍で地震動が観測されたケースはまれである。次に、実験的手法では、フラジリティ曲線の評価は非常に多くのデータが必要になるため、実際の構造物に近いモデルを多く作ることが難しいこと、そして、構造

物のパラメータや地盤条件、地震動入力の多様性を実験モデルで全て考慮することは容易ではないことから、その評価は実際には困難であると考えられる。一方、数値モデルを用いれば広くばらつきを持ったデータを用意することは非常に簡単である。しかし、モデルは実際の観測に基づくものではないので、数値モデルと入力地震動の選定には十分注意を払う必要がある。第3章では、数値解析的なアプローチによって、高速道路橋の橋脚のフラジリティ曲線を構築した。その結果、経験的なフラジリティ曲線は数値解析的な曲線と異なっており、フラジリティ曲線の評価には地震動入力の違いが大きく影響力することが明らかとなった。第3章で提案する手法は、高速道路橋のフラジリティ曲線の構築に有用であると思われる。

フラジリティ曲線の強震動パラメータを選択する際には、構造物被害に最も相関の高いものを選ぶことが重要であるが、実際には容易ではない。第3章では、フラジリティ曲線の構築に、地震動の強さを示す指標として一般的に用いられているPGAとPGVのみしか考慮しなかった。しかし、大きなPGAでも、とりわけ長周期の構造物では深刻な被害が生じないこと、同様に、PGVが大きくても、特に断層運動の永久変位成分が含まれるときには、大被害とは必ずしも対応しないことが一般に広く知られている。また、他の地表面最大変位(PGD)やSI、地震動継続時間といった地震動指標や、スペクトル特性も被害推定に考慮することが可能である。したがって、これらの指標と構造物被害との関係を明らかにする必要があるといえる。第4章では、非線形時刻歴応答解析により構造物の被害を求めた。ここで、変位と、塑性変形による履歴吸収エネルギーの関数で与えられる損傷指標DIにより被害を定量化した。そして、DIと地震動パラメータの関係を非線形回帰分析により求めた。その結果、気象庁震度の場合と同様に、DIはPGAとSIの組み合わせと最も高い相関があることが明らかとなった。以上の結果をもとに、PGA、PGVとSIを地震動パラメータとして用い、高速道路橋のフラジリティ曲線の構築を行った。

4章の後半では、まず数値解析的な手法により構造物パラメータのばらつきを考慮し、数値シミュレーションにより高速道路橋のフラジリティ曲線を構築した。その結果、構造物のパラメータはフラジリティ曲線の構築に大きな影響を与えることが明らかとなった。フラジリティ曲線のパラメータと構造物のパラメータ、特に降伏比との関係を線形回帰分析により求めたところ、フラジリティ曲線のパラメータは降伏比と強い相関があることが明らかとなった。これより、非免震構造の高速道路橋のフラジリティ曲線を構築する際に、簡便に用いることができる、簡易手法の提案を行った。

最後に第5章では、前章で提案した簡易手法を、免震構造の高速道路橋に適用し、フラジリティ曲線の構築を行った。免震、非免震構造の高速道路橋を比較すると、被害確率の程度は、橋脚長さが比較的短いときは免震構造のほうが小被害で、橋脚長さが長くなるにつれて免震構造の被害率が増加する傾向が見られた。言い換えると、橋脚長さが長いときには免震構造は効果を発揮しにくくなるといえる。これは橋脚長さが長くなると固有周期が長くなり、変形量が増大することで、免震装置の性能に影響を与えるためであると考えられる。免震構造は剛性が高く短周期の構造物には有効であるが、柔らかく、長周期の構造物には効果的ではない。本研究で提案する簡易手法は、免震、非免震構造の両方の高速道路橋について、簡便にフラジリティ曲線を構築することができるため、日本の地震防災に役立つものと思われる。

以上、本研究の成果は次のように要約できる。1) 気象庁震度との相関を調べることにより、

防災情報システムに活用できる、適切な地震動パラメータを決定した。2) 高速道路橋の脆弱性曲線を構築するための数値解析的手法を提案した。3) 構造物被害と強震動パラメータの相関を求め、高速道路橋の脆弱性曲線に最も適した強震動パラメータを決定した。4) 免震・非免震構造の高速道路橋について、単純な表現の脆弱性曲線の式を提案した。この式は日本における地震災害時の高速道路橋の被害評価で有用であり、地震防災に役立つものであると思われる。