

## 審査の結果の要旨

氏名 宮本 崇

宮本崇氏の論文「想定される地震動の集合が有する情報量を反映した設計地震動の合成」は、地震動および構造物の非線形挙動の不確実性を考慮して合理的な設計要地震動を合成する手法を提案するものである。既往の研究では、設計地震動の信頼性の評価に確率を用いることが多かったが、本論文では、考慮すべき事象の不確実性の確率的特性があきらかでないという点を考慮し、情報量の考え方を用いて評価する手法を提案している。また、同様の考え方にに基づき、具体的に地震動を合成する手法を提案し、その性能を数値実験により検証している。

以下に、本論文の概要を整理する。

本論文で扱う研究の背景には、想定しうる無数の地震動の中から、設計用地震動を選定することの必要性がある。従来は、応答スペクトル値等の地震動強度指標が大きい波形が設計地震動として採用されてきたが、実構造系の非線形挙動の複雑さを考慮すると、強度指標値の大小だけでは適切な波形を選出できない可能性があることに鑑み、設計地震動の信頼性を確保するためには、照査用外力としての有用性を評価して、設計用地震動を選定、合成する必要があることを指摘している。

上記に鑑み、本論文では、想定すべき地震動の集合を考慮し、設計においてはその集合を代表する波形を用いるという手法を提案している。具体的には、地震動に対する応答値の確率密度関数を定義し、その情報量によって、地震動の集合の設計地震動としての有用性を定量化する考え方を定式化し、そのうえで、設計用地震動として、想定する地震動の集合を代表する波形を合成する手法を提案している。

提案手法は、2段階から構成される。第1段階では、設計地震動として複数の波形を用いることを想定した上で、それらの波形の集合が有する特性の多様性によって、設計地震動としての有用性を評価する。互いに異なる性質を有する様々な波形から構成される地震動の集合は、構造系の挙動を支配する様々な要因に対応する地震動波形を包含していることになるため、設計地震動としての頑強性が高いと考えられることを示している。提案する手法では、地震動特性を、パラメタにばらつきを有する構造系に与える応答値の確率密度関数を用いて評価することにより、地震動強度指標のパラメタの変動に対する感度という観点からも地震動特性を評価することを可能としている。その上で、地震動の集合が有する多様性を、地震動特性の指標の確率密度関数から算出される情報エントロピーを用いて、その地震動の集合が有する情報量として定量化する手法を提案している。

提案手法の有効性の検証として、性能照査の対象となる構造系と、ある地震シナリオの下で想定される多数の地震動群を仮想的に設定した数値シミュレーションを実施し、地震動の集合の情報エントロピーの値が高いときには、それらの地震動の集合に対して耐えら

れるように設計された構造物が損傷する確率は低くなることを示す結果を得た。これにより、提案手法の有効性を検証している。また、集合に属する地震動の数が、想定する地震シナリオ下で考えるべき設計地震動の集合に対して十分なものであるかどうかを、地震動の集合が有する情報エントロピーを用いて判断することが可能であることを示唆する結果も得ている。

提案手法の第 2 段階では、情報量の程度に基づいて決定された設計地震動の集合に対して、その集合を代表する波形を合成する。効率的に、想定する地震動波形の集合が有する性質を反映した波形を合成するための手法として、初期値として設定した地震動を、集合に属する他の想定地震動を順次学習させて更新していく手法を提案している。

提案手法では、地震動が有する性質を構造系の応答値の確率密度関数として表現し、情報幾何空間と呼ばれる確率密度関数の為す空間上に地震動を写像する。これにより、情報幾何空間上のノルムとして KL ダイバージェンスを用いて地震動間の性質の差異を定量化することが可能となる。そして、学習対象となる地震動波形に近づくように地震動の特性の修正を繰り返すという波形合成のアルゴリズムを提案している。

提案手法の有効性を検証するため、道路橋脚を対象構造系とした数値シミュレーションを実施し、提案手法により合成された波形は、対象とする構造系に与える影響の大きさにおいて、地震動強度指標に基づく従来の手法により合成された波形よりも、想定する地震動の集合を代表する性能の高いものであることを示している。

最終審査では、提案手法の理論的背景や数値解析による有効性の検証についての説明を行った。既存研究との関係や、理論的背景に含まれる仮定の工学的な意味についての議論を踏まえ、今後の研究課題とすべき点も指摘されたが、新しい考え方にもとづく手法の基本的な方向性を示したことは評価できるものと判断された。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。