

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	張 紅官
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	環情博甲第 2071 号
学位授与年月日	平成 31 年 3 月 26 日
学位授与の根拠	学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第 4 条第 1 項及び 横浜国立大学学位規則第 5 条第 1 項
学 府・専 攻 名	環境情報学府 環境リスクマネジメント専攻
学 位 論 文 題 目	STOCHASTIC ISOGEOMETRIC ANALYSIS (SIGA) METHOD FOR EVALUATION OF UNCERTAINTY IN SHAPE IN STRUCTURE
論 文 審 査 委 員	主査 横浜国立大学 准教授 澁谷忠弘 横浜国立大学 教授 大谷英雄 横浜国立大学 教授 野口和彦 横浜国立大学 教授 三宅淳巳 横浜国立大学 准教授 笠井尚哉

論文及び審査結果の要旨

構造物において形状不確定性は、リスク評価において重要な要素の一つである。これまで、確率有限要素法や応答局面法などを用いた形状不確定性の解析が行われているが、不確かさの幾何学的制約条件が多く実モデルに適用しにくいなどの問題点があった。本研究では、近年提案された非有理 B スプライン(NURBS)関数を基底関数に用いるアイソジオメトリック解析と確率有限要素法を組み合わせた新しい形状不確定性評価方法の開発に取り組んだ。

第 1 章では、不確定性解析のこれまでの研究レビューを実施して現状の問題点を整理した。変数に確率変数を与えるモンテカルロ法は、汎用性は高いものの計算負荷が大きい。また、摂動法による確率有限要素法は精度よく確率変数を求めることができる定式化手法であるが、変数の変動が小さい範囲に制限されるなどの課題がある。近年は、応答曲面を用いた方法も提案されているが、有限要素モデルを人為的にコントロールする必要があるため、複雑な不確定性を解析することが難しい。このように、形状不確定性解析では、現在でも課題が残っていることを示し、本論文で提案する確率アイソジオメトリック解析の有効性について論じた。

第 2 章では、アイソジオメトリック解析の基礎理論についてまとめている。形状関数を、NURBS 関数で制御するための基本的なパラメータについて解説している。また、確率有限要素法への適用を視野に入れて、制御点の座標を確率変数とした形状の統計的性質について論じている。

第 3 章では、陳らによって提案された多項式カオス展開を用いた確率有限要素法について説明するとともに、基礎事例として片持ち梁を対象に基本的な検証を実施している。

第 4 章では、2 章と 3 章で解説した手法を組み合わせた確率アイソジオメトリック解析の定式化を行うとともに、提案した手法を自作の解析コードに実装している。NURBS 関数を用いるアイソジオメトリック解析を確率有限要素解析に適用するためには、形状関数の段階から定式化を始める必要がある。本章では、NURBS を基底関数として多項式カオス展開法により作成された応答曲面を作成するプロセスを定式化している。これにより、一度の解析で対象とする応答の平均と分散を求めることが可能となる。本手法は、これまでに行っていない定式化を行っているため、既存の有限要素解析ソフトウェアに組み込むことは困難であり、解析コードを実装する必要がある。そこで、定式化とともに解析コードのフローを完成させ、プログラム言語 C++による解析コードの実装を完成させている。また、アイソジオメトリック解析は、形状によっては一つのパッチでは表現が困難であるため、複数のパッチを用いたマルチパッチへの適用を図ることが必要となるが、開発したコードはマルチパッチにも対応している。

第 5 章では、開発したコードの検証と妥当性確認を目的として、いくつかの基本的な二次元モデ

ルに対して解析結果を示している。まず、曲がり梁（四分の一円）に対して、一方向に負荷をかけた状態で制御点に確率変数を導入した問題に対して適用した。解析結果は、既存の静的解析手法の結果（具体的には、別途検証済みのアイソジオメトリック解析）と比較するとともに、モンテカルロ法による結果と比較している。確率アイソジオメトリック解析により得られる変位は、既存の構造解析結果と精度よく一致しているとともに、モンテカルロ法によって得られる統計的性質ともに良い一致を示していることが確認された。NURB 関数の特性を生かしたモデルとして、一様引張条件下の有限板の側面に、制御点により凸凹が形成されたときの応力の変化についても解析した結果、良好な精度を有していることが確認された。また、マルチパッチモデルへの適用例として、円孔切り欠きを有する平板の一様引張問題と溶接部の応力解析の結果も示している。円孔切り欠きモデルでは、変動幅を大きくすると、応力集中箇所が移動するような応力状態の大きな変化に対しては、若干の誤差が認められたものの、確率論的にはその影響は小さく、手法として十分有用であると判断できる。

第6章では、1 から 5 章までの内容を総括し、形状不確定性解析に対する確率アイソジオメトリック解析の有効性とその将来性についてまとめている。
審査委員会として、同内容は不確かさを扱うリスクマネジメント分野に貢献する内容であり、博士（工学）の学位論文として十分な内容であると判断した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。