

氏 名	よし だ いく まさ 吉 田 郁 政
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3828 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	モンテカルロ手法の工学問題への応用に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 佐 藤 忠 信 教 授 家 村 浩 和 教 授 大 津 宏 康

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はモンテカルロシミュレーション (MCS) を用いた, 損傷確率の算定, 遺伝的アルゴリズム (GA) による最適化, モンテカルロフィルタ (MCF) による同定問題, を取り上げ, それぞれについて新しい手法を展開するとともに土木工学的な問題への適用性に付いて論じたものである。

第 1 章は序論であり, MCS の簡単な歴史的な紹介の後, 計算機能力の向上を背景として, 土木工学の領域でも MCS の利用が現実的になってきていることを述べている。

第 2 章では MCS による損傷確率算定法を展開している。MCS を用いた損傷確率算定の効率化への工夫として, a) 感度の高い確率変数を限界状態関数から分離して解析する方法, b) 偏りの少ないサンプリング法, c) 重要な領域への絞込み法, について考察を加えている。a) では, 感度の高い確率変数を限界状態関数から分離し, 残りの部分についてのみ MCS を実施することで効率化を図っている。その際, 限界指標の考え方を導入して MCS を実施することで効率的に損傷度曲線の算定を行う方法を示している。b) の偏りの少ないサンプリングとしては層別サンプリングが有名であるが, 次元が高くなると格子点による数値積分と同様に実質的に計算が困難になる。そこで, 各次元独立に層別サンプリングを行い, 多次元空間のサンプル値とする際にそれらをランダムに組み合わせるラテン方格法が広く使われている。b) ではこのラテン方格法と a) を組み合わせた方法を提案し, さらに多次元空間におけるサンプルの均質性を追求した超一様分布列と a) を組み合わせた方法を展開している。c) では重要度サンプリングと Subset 法を取り上げている。あらかじめ感度がある程度わかっている場合には重要度サンプリングを導入すればよいが, 不明な場合も多い。そこで適応型絞り込み法として有効な Subset 法を導入して, a) と組み合わせる方法を提案している。それぞれについて論じた後, 橋脚やケーソン堤, 斜面安定, 亀裂進展に関する損傷確率算定への適用例を示し, 提案手法の有効性が示されている。

第 3 章では遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた最適化問題について論じている。GA を重要な領域で適応的に乱数を発生させることの出来る MCS 手法の一種と解釈して, 工学上の最適化問題の解析に適用している。安全性 (性能) と経済性のトレードオフの関係は工学における基本的構図であるが, これを多目的最適化問題として定式化し, 単純な 2 目的最適化の例題を用いて実数交叉型とバイナリー型の GA の比較・検討を行っている。さらに, 地中 RC 構造物の最適設計, 最適補修計画, 斜面の危険なすべり線の探索, 地震計の最適配置といった各種問題への実数交叉型 GA の適用例を示して, その有効性を明らかにしている。

第 4 章ではモンテカルロ手法を用いたフィルタリングである MCF について論じている。モンテカルロフィルタでは非線形, 非ガウス分布の問題を扱うことができるため, 対象とする問題に関する知見を反映させた非ガウスプロセスノイズを用いることにより従来のカルマンフィルタ型の方法よりも, フィルタリングの性能を高度化できる可能性を示している。本論文では損傷現象の特徴を反映した排他ノイズを提案し, 数値シミュレーションによってその有効性を確認している。ただし, 本手法は乱数を用いる方法であるため, 乱数の種によって同定結果が異なる場合がある。そこで, 検出率 (良好な同定結果が得られる比率) を用いて, モンテカルロフィルタを用いた損傷同定の安定性について検討を行っている。

最後の5章では本論文に関するまとめと今後の方向性について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、モンテカルロ手法を工学的問題に適用するために、損傷確率の効率的算定法、遺伝的アルゴリズムとモンテカルロ法の同等性に着目した最適化手法、モンテカルロフィルタによる同定問題の効率化について新しい提案を行い、その有用性を示したものである。得られた成果の主なものは以下の通りである。

1. 損傷確率の効率的な算定のための工夫として、a) 感度の高い確率変数について限界状態関数から分離、b) 偏りの少ないサンプリング、c) 重要な領域への絞込み、を行い、各種問題への適用例を通してその有効性を示した。a) では限界指標の考え方を導入したモンテカルロ法を用いて効率的に損傷度曲線を算定する方法を提案した。b) ではラテン方格法や超一様分列を用いた損傷度曲線の算定法を、c) では Markov Chain Monte Carlo 法を用いて部分空間を狭めていく Subset 法を、上記の限界指標を用いた損傷度曲線算定法へ適用してその有効性を示した。
2. 遺伝的アルゴリズムはモンテカルロ的手法を用いて適応的にランダムサーチを繰り返して、改良域を狭めていく方法と解釈することができる。本論文で論じているアルゴリズムは実数交叉型と呼ばれるもので従来の2進法型遺伝的アルゴリズムとは異なり、問題によっては従来の方法より効率的であることが報告されている。2目的最適化の簡単な例題を用いて従来の2進法型と性能比較を行い、その有効性を確認した後、各種問題への適用例を通してその有用性を示した。適用例は最適設計、最適補修計画、地震時の危険なすべり土塊探索、地震計最適配置と多岐にわたっており実用的なレベルのアルゴリズムが開発された。
3. モンテカルロ手法を用いたフィルタリングとしてモンテカルロフィルタ (MCF) が提案されている。本論文ではモンテカルロフィルタによる効率的な損傷同定手法を提案して、以下のような成果を得ている。a) ディラックの δ 関数を用いて MCF のアルゴリズムの誘導、解釈を行った。b) 損傷に関する特徴、空間方向の集中、剛性と減衰比の関係、時間方向の相関性を考慮したプロセスノイズである排他ノイズを提案した。c) 検出率を導入して、最適な想定観測ノイズレベルの検討を行い、観測ノイズレベルを適応的に変化させるアルゴリズムの提案を行った。d) サンプル数、観測位置や損傷位置と MCF による損傷同定の安定性の関係について、検出率を基に定量的に示した。提案手法は従来のカルマンフィルタなどの方法に比べて少ない観測情報から損傷同定が可能なことを示した。

以上のように、損傷確率の算定、最適化、損傷同定を対象としてモンテカルロ手法の工夫と有効性を示している。本論文では土木工学に関わる問題に対して実用的な多くの適用例を示しており、学術上および実務上、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。平成17年1月25日に論文内容とそれに関する試問を行った結果、合格と認めた。