

MCMC を用いた大規模ネットワークの信頼性解析

関西大学 正会員 古田 均
 関西大学大学院 学生会員 ○石橋 健
 関西大学 正会員 中津 功一朗

1. はじめに

近年、急速に社会基盤の設備が進んだ結果、各種ネットワークは高度に発達して大規模で複雑なものとなっている。これらのネットワークの内、水道、電気、ガス、道路等のライフラインは私たちの日常生活や都市機能を支える上で必要不可欠であり、ネットワークが故障し、機能不全に陥ると、日常生活や社会システムに深刻な被害をもたらす。しかし、現状のこれらのネットワークは大規模な地震などの災害が起こったときに十分な安全性を保証しているとは言い難く、常にネットワークの構成要素は老朽化し機能は低下する。これを防ぐためにネットワークの機能を常に監視し、信頼性が低いネットワーク要素を発見し、十分な強度を持つように補強することが理想である。ライフラインは複雑で大規模であるため、経済的な面から考えると、各要素の安全性を保持することは現実的には不可能である。こうした観点から災害時における被害を完全になくすのではなく、限られた資源と予算を重要な要素に集中的に使い、ネットワークの被害を最小化することが望まれている。そこで、本研究では起こりうる被害をあらかじめ想定するために、MCMC Importance Sampling 法によりネットワークの信頼性解析を提案する。さらに本手法を実問題に適用することで、その有用性を検証する。

2. ネットワークの信頼性解析の有効性

ネットワークの信頼性にとって重要な要素を発見し、優先的に補修するために、ネットワークの信頼性解析は重要である。しかし、各要素について破壊するかしないかの2つの状態だけを考えても、要素の数を n とすると、システムの損傷状態としては 2^n 個の組み合わせを考えなければならない。したがって、従来の手法を大規模なライフライン網に適用することは困難であった。既往の研究におけるネットワークの信頼性解析は、ネットワークの構成要素が膨大で、すべての組み合わせについて解析することは不可能なため、実際のネットワークを極端に単純化する必要があった。さらにモンテカルロ法（以下、MC と記す）など非決定論的手法を用いても、常時における信頼性解析では損傷確率が極めて小さいため、ネットワークが寸断するようなサンプルを発生させるためには、計算量が膨大になり、厳密に信頼性を解析することは困難である。本研究では、MCMC Importance Sampling 法（以下、MCMCIS と記す）を適用し、実際の水道管ネットワークの信頼性解析を行う。

3. MCMC Importance Sampling 法

マルコフ連鎖モンテカルロ法

マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下、MCMC と記す）は目標分布に収束するように構成されたマルコフ連鎖に基づいて、任意の確率分布からサンプルを発生させ、目標分布に従うサンプルを得る手法である。マルコフ連鎖を十分繰り返した後のサンプルは定常分布に収束するため、ほぼ独立した分布とみなせる。目標分布が高次元な場合や、複雑な場合にはMCを適用することは困難である。一方、MCMCは正規分布など性質の明らかな分布だけでなく、離散、連続を問わず、サンプリングが困難である複雑な確率分布や、非常に高次元の確率分布など、様々な分布に適用可能である。

Importance Sampling 法

Importance Sampling 法は、事前に構造物の設計点付近を予測した後に、その設計点付近で集中的にサンプリングをして、損傷確率を算定する方法である。しかし、設計点が不明な問題や破壊モードが複数ある問題に対しての適用は困難である。ここで設計点とは損傷領域内で、最も基本確率分布の確率密度関数値が高い点

キーワード 信頼性解析, 水道管ネットワーク, マルコフ連鎖モンテカルロ法, Importance Sampling

連絡先 〒569-0015 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1 関西大学総合情報学部 TEL 072-690-2151

である。

MCMC Importance Sampling 法

サンプル発生に MCMC を用いると、どのような分布にも適用可能であるが、解の精度が悪くなり、精密な解を得るために極めて多くの計算時間が必要であるため、荷重作用や材料強度などの不確定要因が複雑に影響する。高次元の問題に対して、精度良く損傷確率算定するため、設計点の探索と損傷確率算定のプロセスを 2 段階に分け、設計点探索に MCMC、損傷確率算定に Importance Sampling 法を用いることを試みる。

4. 数値実験

はじめに、17 次元のネットワークモデルへ MC と MCMCIS を適用する。試行回数として、MC を 100 万回、MCMCIS を 1 万回としたとき、結果の破壊確率を比較すると、図 1 のように MC は厳密解に対する推定値の誤差が大きい。一方、MCMCIS はほぼ正確に厳密解と一致する。MCMCIS を用いると、MC の 1/100 程度の試行回数で有用な解を得られたことが分かった。

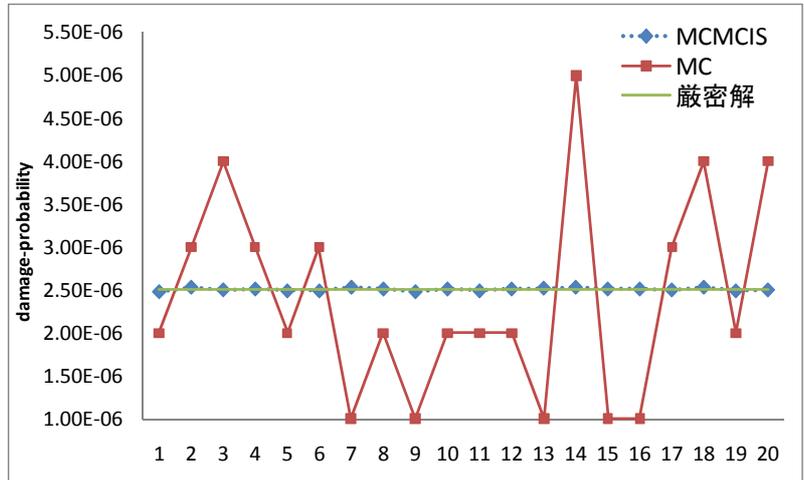


図 1 破壊確率

次に、実問題として高槻市の水道管ネットワークに適用する。図 2 は高槻市の水道管ネットワークの一部を示している。この小さな部分のネットワークでもノード数 28、リンク数 36 の 64 次元であり、大規模であることが分かる。この規模のネットワークでは、厳密解を算出することが出来ない。そのため、MC と MCMCIS を適用し起こりうる被害をあらかじめ想定する。その結果、MC では試行回数を 1,000 万回としたが、有用な解を得なかった。一方、MCMCIS では設計点を探索することから、ネットワークの損傷に対して影響の強い要素を発見することが出来た。このようなことから、MCMCIS により得られた結果をライフラインの信頼性の向上へ活用できると考えられる。

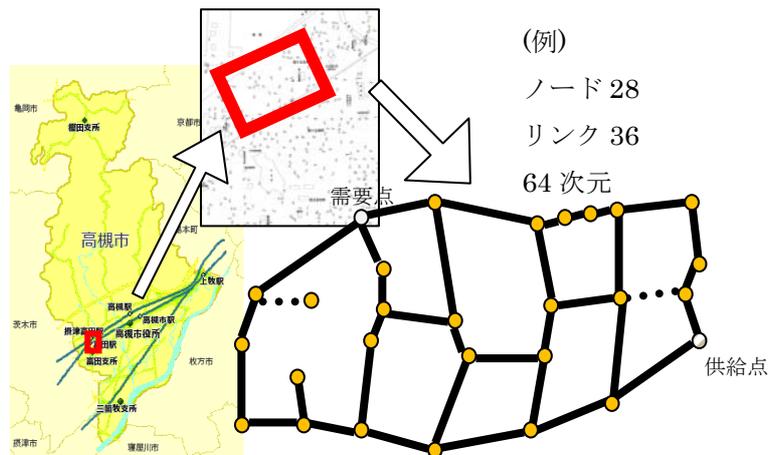


図 2 高槻市水道管ネットワーク

5. おわりに

本研究では、大規模ネットワークの信頼性解析を行うために、MCMC Importance Sampling 法を用いることを試み、実ネットワークに適用することで、本手法の有用性の検証を試みた。数値計算結果から、本手法を用いることにより、ネットワーク損傷時の各要素の破壊状況を明らかにすることが出来る。このことにより、効率的なメンテナンス計画を立てることが可能となる。今後、さらに大規模なネットワークを適用し、本手法の改良を試みる予定である。

参考文献

- 1) 吉田郁政, 佐藤忠信: MCMC を用いた損傷確率の効率的計算法, 土木学会論文集, No.794/I-72, pp43-52, 2005
- 2) C.M.Bishop : Pattern Recognition And Machine Learning , Springer, 2006