

ネットワークを形成するライフラインを対象にした補修・補強の優先度評価法について

東京電力㈱ 正会員 高橋 晃 東京電力㈱ 正会員 竹内友章
 東電設計㈱ 正会員 金子俊輔 大成建設㈱ 正会員 亀村勝美
 武蔵工業大学 正会員 星谷 勝 武蔵工業大学 正会員 山本欣弥

1. はじめに

電力、ガス、上水道等のライフラインは、多数の管路構造物が連結したネットワークシステムとして、その機能を果たしている。これにより、供給経路を構成する構造物が何らかの災害によりその一部が損傷して機能が停止したとしても、他経路での供給が可能になり、大規模被害の発生を抑制することができる。しかしながら、構造物の機能損傷は、災害だけでなく経年劣化に伴う損傷によっても起こりうる。そのため、個々の構造物の保全計画を考える場合においても、劣化状態だけでなく劣化による機能の損傷がネットワーク全体に与える影響を考慮することが重要になる。本報は、このような背景のもとで、ネットワークを形成する構造物の計画保全に資するための補修・補強の優先度を、個々の構造物の劣化状態とネットワークに与える影響を考慮して、システマティックに決める一つの手法を検討したものである。

2. 優先度評価手法

ライフライン構造物の機能は、電力、ガス、上水等を供給することであるが、劣化により機能を果たせる確率は年々低下する。また、劣化の状態によっては、大規模な補修・補強工事の実施により長期間機能を果たせなくなることも考えられる。本検討では、管路構造物の劣化状態に基づく損傷発生確率（損傷して機能が停止する確率）を考慮し、様々な損傷状態でのネットワークによる電力、ガス、上水等の総供給量の期待値を補修・補強の優先度を定める評価指標とした。ネットワークによる総供給量の期待値は、モンテカルロ法を用いると(1)式で近似的に算定できる。

$$G(N) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N F_{\max}(S_j) \quad (1)$$

ここに、 $G(N)$ はネットワークによる総供給量の期待値、 N はモンテカルロ法による試行回数、 S_j は j 番目の試行における連結パターン、 $F_{\max}(S_j)$ は連結パターン S_j での最大供給量である。

ネットワークの連結パターンは、 2^n 個（ n ：ネットワークを形成する管路構造物数）存在するが、大規模かつ複雑なネットワークにおいては、 2^n 個存在するすべての連結パターンを見つけ出すことは容易でないことから、各管路構造物の損傷発生確率に応じた連結パターンをモンテカルロ法によりランダムに発生させた。また、モンテカルロ法で発生させた個々の連結パターンでの最大供給量の算定には、Ford-Fulkerson アルゴリズムを用いた。同アルゴリズムを適用することで、迂回経路をも考慮した最大供給量がシステマティックに算定できる。ネットワークによる総供給量の期待値を算定する流れを図-1に示す。

3. 損傷発生確率

損傷発生確率は、劣化状態と関連づけて評価できる。劣化状態の評価手法は、点検結果などの観測情報にもとづいて評価する方法が実用的と考えられる。例えば、劣化状態を定期点検データにもとづいて「大」、「中」、「小」、「軽微」、「異常なし」の5段階で評価できるものとする。そして、10年後の劣化状態の発生確率が、それぞれ「大」0.05、「中」0.1、「小」0.15、

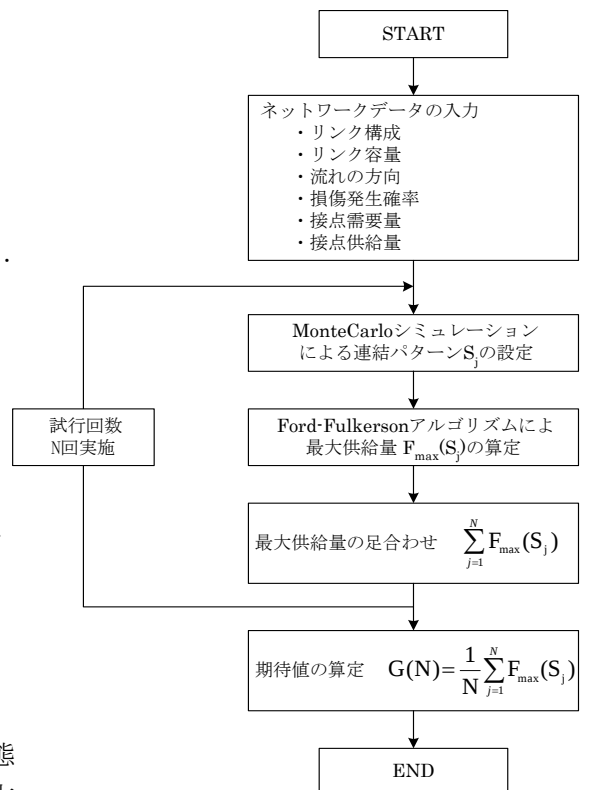


図-1 総供給量の期待値算定の流れ

キーワード：ライフライン、維持管理、保全計画、モンテカルロ法、ネットワーク、Ford-Fulkerson

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計㈱ TEL 03-4464-5372, FAX 03-4464-5390

「軽微」0.30, 「異常なし」0.40 と推定されたとすると, 損傷発生確率は図-2 に示すような計算で設定が可能である (同図中の値はすべて仮定値である)。

なお, 将来の劣化状態については, マルコフ過程等の確率過程を用いることで推定が可能である。

4. 適用例

電力, ガス, 上水等の総供給量の期待値を指標にした優先度の評価例を簡単なモデルで示す。想定したモデルを図-3 に示す。同モデルは, 5 本の管路からなるネットワークで, Node1 が供給点, Node3 と Node4 が需要点となるモデルである。5 本の管路で構成されるため連結パターンは $2^5=32$ 個存在する。ここで, 現状の各管路の損傷発生確率が, 1 年後に表-1 に示したように変化すると予測されたとする。すると, 保全計画を策定する際, 総供給量の期待値への感度が最も高い管路, すなわち最もネットワーク上で重要な管路は②であるが (別途計算で評価), 1 年後の劣化状態は管路③の方が進展するため, 現状において, どちらの補修補強を優先すべきかが問題になる。そこで, 前述の手法により, 管路②を補修して管路③を無補修にした場合の総供給量の期待値と, 管路③を補修して管路②を無補修した場合の総供給量の期待値を計算すると (補修した管路の劣化状態は現状維持されるものと仮定), 前者は 8.1, 後者は 8.4 が得られることになる。したがって, 後者の方が, 電力, ガス, 上水等の安定供給が期待できるため, 管路③の補修・補強の優先度が高いと評価できる。

5. おわりに

本報では, ネットワークを形成した構造物の計画保全に資するため, 個々の構造物の劣化状態とネットワークに与える影響を考慮した補修・補強の優先度評価法を検討した。本評価法で得られる評価指標は, 構造物の健全度評価結果と劣化状態予測結果に依存する。そのため, これらの評価手法の信頼性の向上が今後の課題であり, 点検等による劣化データの蓄積とデータの適切な分析評価技術の構築に取り組む必要がある。また, 大規模ネットワークにおいては, 総供給量の期待値を(1)式で計算すると効率的でない場合もあることから, より効率的な計算法を検討する必要がある。なお, 最後に, 本検討は, 既往研究成果¹⁾を参考に検討を行ったことを付け加える。

<参考文献>
1) 能島暢呂, 山中敏裕: 道路ネットワークの地震時機能信頼性解析に基づく施設改善の重要度評価, 第 10 回 日本地震工学シンポジウム論文集, 1998.11.

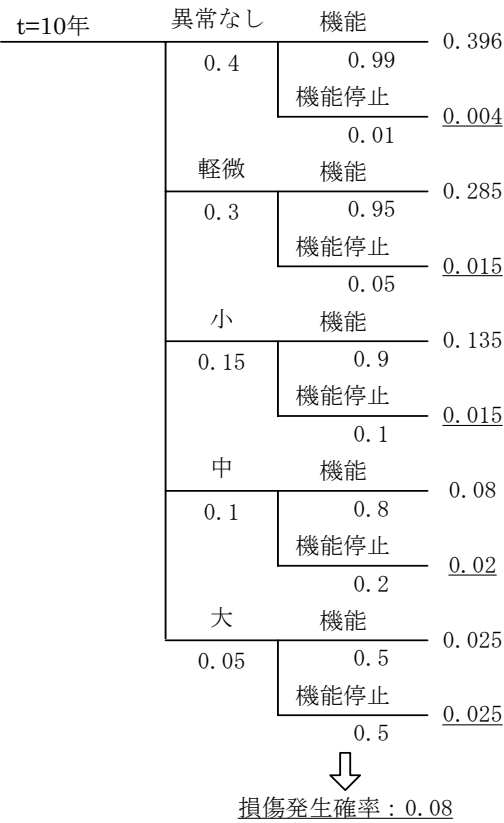


図-2 損傷発生確率

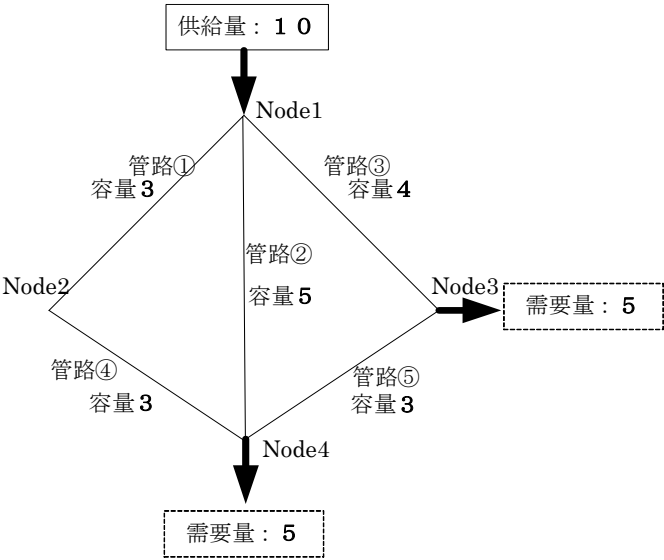


図-3 計算モデル

表-1 想定した管路の損傷発生確率

管路番号	①	②	③	④	⑤
損傷発生確率	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2
1 年後の 損傷発生確率	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2