

# 地震・活荷重・塩害の影響を受ける道路ネットワーク内 RC 橋梁の ライフサイクルリスク評価に関する基礎的研究

早稲田大学 学正会員 ○竹本 梨香, 神長 悠樹  
早稲田大学 正会員 秋山 充良

## 1. はじめに

ライフタイムにわたり様々なハザードを受ける橋梁において、その供用各年度におけるリスクを評価することは、橋梁を適切に維持管理し、利用者の安全を確保していく上で重要である。ハザードにより異なる生起確率や予測における不確定性をまとめて評価し、どのハザードに対する対策をいつ講じるべきか、適切な判断が求められる。このようなマルチハザードを受けるインフラ構造物のリスク評価に関する研究は、幾つか報告されている<sup>1)</sup>。しかし、地震に対する補強と材料劣化に対する維持管理（補修）は枠組みが異なり、耐震補強と劣化対策のどちらを優先的に行うべきかを判断できる手法はない。また、橋梁は道路ネットワークの構成要素であり、個々の橋梁の地震損傷、あるいは維持管理に伴う部分的な閉鎖はネットワーク全体に影響を与える。社会資本に対する財源は限られており、マルチハザードを受ける道路ネットワーク内橋梁のライフサイクルリスクを最小化したり、リスクの発現時に社会に大きな影響を与える橋梁を抽出したりすることが求められる。

本研究では、塩害、活荷重、地震の3種類のハザードを考慮し、社会的影響度も加味した橋梁のライフサイクルリスク評価を行う。本研究で提案する手法により、橋梁のライフタイムにわたるリスクの経年変化が定量化され、対策が必要な部材と時期を判定することが可能となる。

## 2. ライフサイクルリスク評価のフロー

提案フローを図-1に示す。本研究では、橋梁のライフタイムを75年と仮定する。図-1では、橋梁が置かれるそれぞれの地点での活荷重、塩害、地震の3種類のハザードをそれぞれ評価する。活荷重、塩害ハザードの評価については、松崎ら<sup>2)</sup>の手法を用いる。地震ハザードの評価では、J-SHIS<sup>3)</sup>に公開されている地震ハザード曲線を用いる。桁の塩害による耐荷力の低下、および信頼性の時系列的な変化は松崎ら<sup>2)</sup>の提案に従い評価する。

一方、RC橋脚は適用される設計基準の適用年度による耐震性能の差を考慮する。ここでは、昭和39年、平成2年、および平成8年の各示方書に準拠して耐震設計された米田ら<sup>4)</sup>のRC橋脚を用いる。RC橋脚の破壊モードや限界変位の算定法は参考文献5)に従った。橋梁の機能損失による影響度は、経済的な指標を用いることとし、直接損失と間接損失の両者を考慮する。直接損失は橋梁の補修や再構築費用にあたり、橋梁を所有する

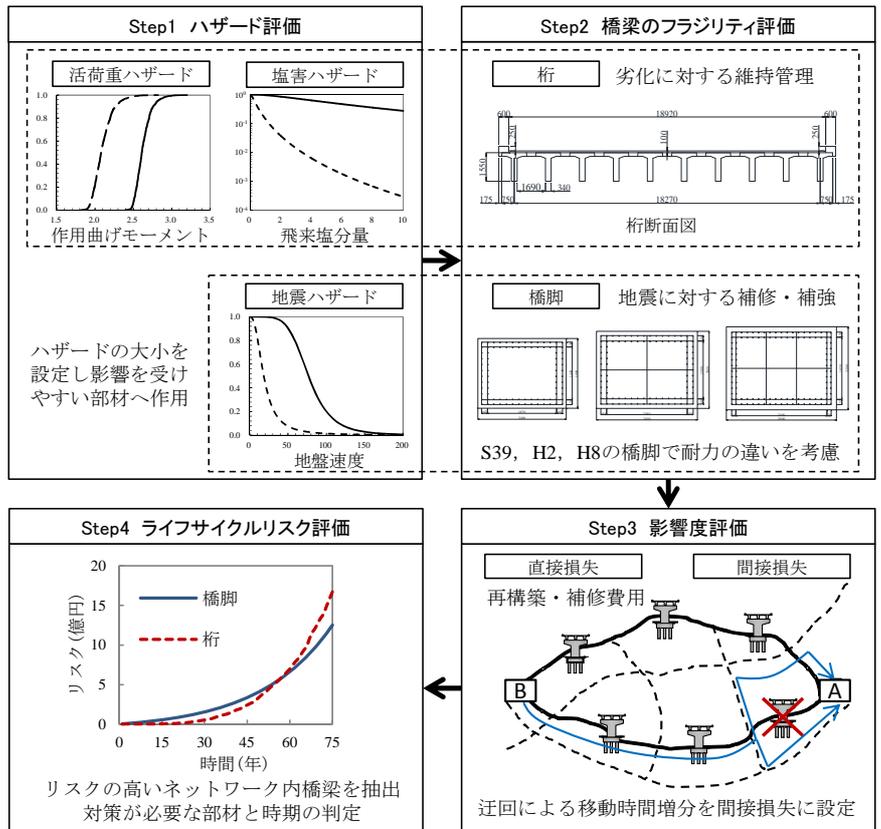


図-1 ライフサイクルリスク評価のフロー

ネットワークを所有する。橋梁の機能損失による影響度は、経済的な指標を用いることとし、直接損失と間接損失の両者を考慮する。直接損失は橋梁の補修や再構築費用にあたり、橋梁を所有する

ステークホルダー側に生じる経済的損失である。間接損失は、橋梁が損傷により使用できない場合に、使用者がその区間を迂回するための移動時間の増加分をコストに換算する。本稿では、評価対象期間 75 年にわたる橋梁の損傷による影響度をコスト換算して考えるため、国土交通省の公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針<sup>6)</sup>を参考に、年間の社会的割引率を4%に設定し、影響度の将来価値を求める。最後に、ハザード、橋梁の損傷それぞれの発生確率、および橋梁の機能損失による影響度の3つの評価値を掛け合わせることで、道路ネットワーク内にある個別橋梁のライフサイクルリスク評価を行う。

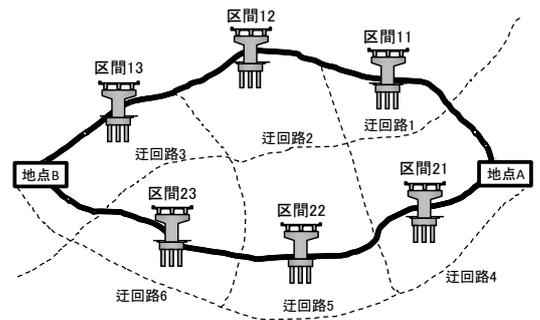


図-2 解析対象道路ネットワーク

表-1 ハザードの組み合わせ

区間	11	12	13	21	22	23
橋梁種類	H8橋	H8橋	H8橋	S39橋	H2橋	H2橋
活荷重	大	大	大	大	大	大
塩害	大	小	小	大	大	小
地震	大	大	大	大	大	大

3. ケーススタディ

解析対象となる道路ネットワークを図-2のように仮定する。この解析対象ネットワークに対して、ハザードの組み合わせとして表-1を仮定し、提案手法による各区間のライフサイクルリスク評価を行う。一例として、区間21と区間23におけるライフサイクルリスク曲線を図-3と図-4にそれぞれ示す。区間21は、区間23に比べてリスクの増加が進む結果となった。表-1に示すように同区間は塩害環境が厳しいため、供用60年で桁のリスクが橋脚のリスクを上回っている。橋脚と桁それぞれのリスクに対して、許容できるリスクの閾値を、例えば2.5億円とした場合、橋脚は供用38年、桁は供用45年でその閾値を迎え、この時点でそれぞれの部材に何らかの対策を行う必要があることが分かる。このように、提案手法により、マルチハザードを受ける橋梁のライフサイクルリスク評価が可能となり、リスクの大小の比較から、道路ネットワークの中で対策の優先度が高い橋梁を抽出・同定できることが示された。

4. まとめ

道路ネットワーク内の橋梁について、塩害、活荷重、地震の3種類のハザードを考慮し、対策の優先度が高い橋梁を抽出する方法を示した。提案手法により、従来は比較が困難であった、橋脚の耐震補強と桁の材料劣化に対する補修について、優先的に対策を講じるべき事項とその適切な時期をリスクベースで判定することが可能になる。

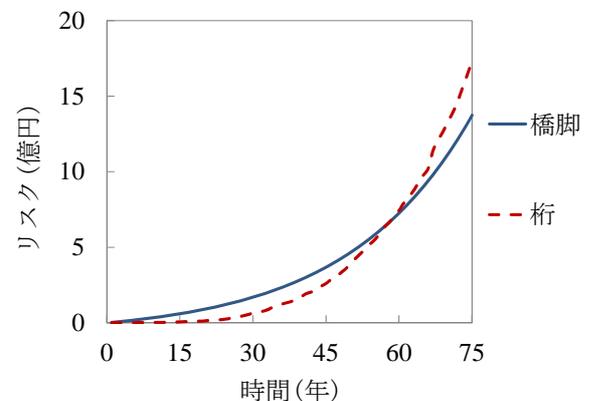


図-3 区間21のライフサイクルリスク曲線

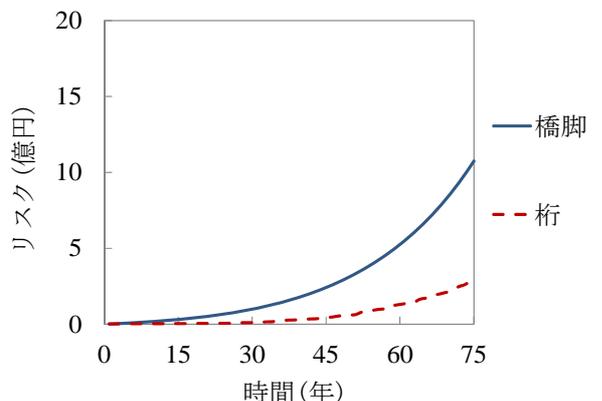


図-4 区間23のライフサイクルリスク曲線

参考文献 1) Zhu, B. and Frangopol, D. M., 2013. Risk-Based Approach for Optimum Maintenance of Bridges under Traffic and Earthquake Loads, J. Structural Engineering, 139(3), 422-434. 2) 松崎裕, 秋山充良ほか: 塩害環境下にあるコンクリート桁の設計耐用期間にわたる構造案脆性評価手法とそのプレテンション PC 桁への適用, 土木学会論文集, 66(2), 147-165, 2010. 3) J-SHIS 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, (引用日: 2013年1月30日) 4) 米田慶太, 川島一彦ほか: 耐震技術基準の改定に伴う RC 橋脚及びくい基礎の耐震性向上度に関する検討, 第2回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 453-460, 1998. 5) 土木学会巨大地震災害への対応検討特別委員会: 巨大地震災害への対応検討特別委員会報告書, 優先度 WG, 57-60, 2006. 6) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編), 2009.