

マルチハザード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と 対策優先度判定に関する基礎的研究

竹本梨香¹・神長悠樹¹・秋山充良²

¹学生会員 早稲田大学 大学院創造理工学研究科建設工学専攻（〒160-8555東京都新宿区大久保3-4-1）

²正会員 工（博） 早稲田大学教授 創造理工学部社会環境工学科（同上）

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^{例えは1)}。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。

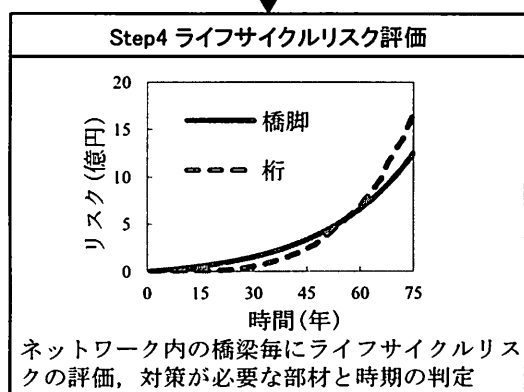
また、橋梁は道路ネットワークの構成要素であり、個々の橋梁の地震時損傷、あるいは維持管理に伴う部分的な閉鎖はネットワーク全体に影響を与える。その影響の度合いも、橋梁のネットワーク内での重要度や、橋梁の損傷時に使用する迂回路の存在に左右される。一方で、社会資本に対する財源は限られており、マルチハザードを受ける道路ネットワーク内橋梁のライフサイクルリスクを最小化したり、リスクの発現時に社会に大きな影響を与える橋梁を抽出したりすることが求められる。

本稿では、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。本稿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。本稿では、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。活荷重と塩害ハザードの評価については、松崎ら²⁾の手法を用いる。地震ハザードの評価では、J-SHIS³⁾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²⁾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（以下、S39橋）、平成2年（以下、H2橋）、および平成8年（以下、H8橋）の各示方書に準拠して耐震設計された米田ら⁴⁾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したものである。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するため、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⁶⁾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。

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。区間11, 12, 13は、橋梁の損傷時に使用できる迂回路が1本であるのに対し、区間21, 22, 23は、迂回路が2本となっている。本稿では、橋梁に作用するハザードに大小2通りのパターンを与え、橋梁の置かれた環境特性や交通状況を反映したライフサイクルリスク評価を行う。

活荷重ハザードの算定に関しては、混入させる自動車(小型車)と普通乗用車(大型車)の2種類とした。大型車混入率は40%と5%の2パターンを用い、この違いによって活荷重ハザードの大きさを想定した。塩害ハザードの算定に関しては、塩害環境の相違が構造安全性に与える経時変化の影響を検討するため、松崎ら²⁾が採用した東北地方日本海側の山形県酒田市(海岸線からの距離は $d = 0.1$ kmに設定)、瀬戸内海の広島県福山市(海岸線からの距離は $d = 0.5$ kmに設定)の2つの地点を解析対象とした。前者は、冬期の季節風が強く、塩害環境の厳しい例として、後者は、塩害環境が穏やかな例とする。地震ハザードの算定に関しては、J-SHIS³⁾に公開された地震ハザード曲線を用いる。地震ハザードの強い例として、静岡県浜松市を、地震ハザードの弱い例として、沖縄県那覇市を採用した。これらのハザードのうち、活荷重ハザードと塩害ハザードは桁へ、地震ハザードは橋脚へ作用させる。これは、コンクリート桁がRC橋脚に比べかぶりが小さく、塩害による構造性能低下が顕著に表れやすいこ

表-1 ハザードの組み合わせの例 (1)

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

表-2 ハザードの組み合わせの例 (2)

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

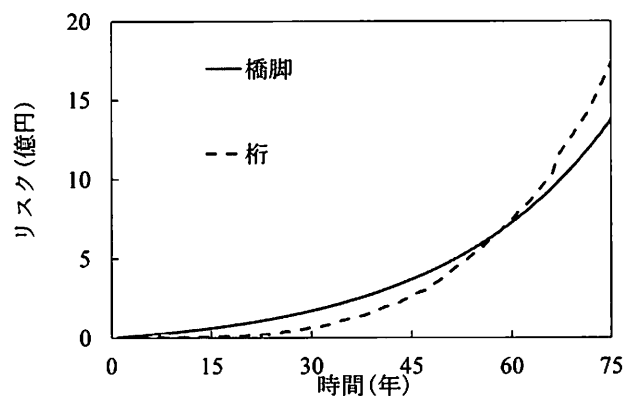


図-3 区間21におけるライフサイクルリスク曲線

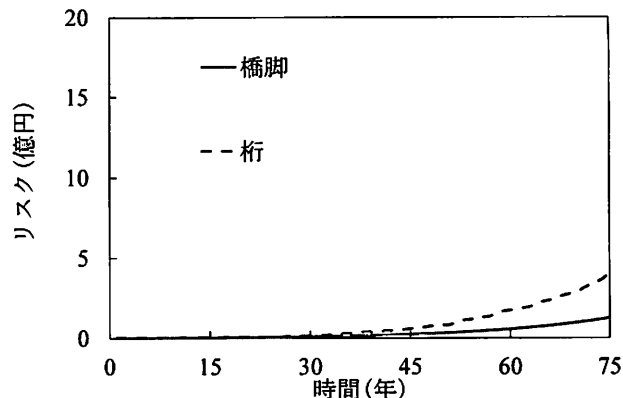


図-5 区間11におけるライフサイクルリスク曲線 (H8橋)

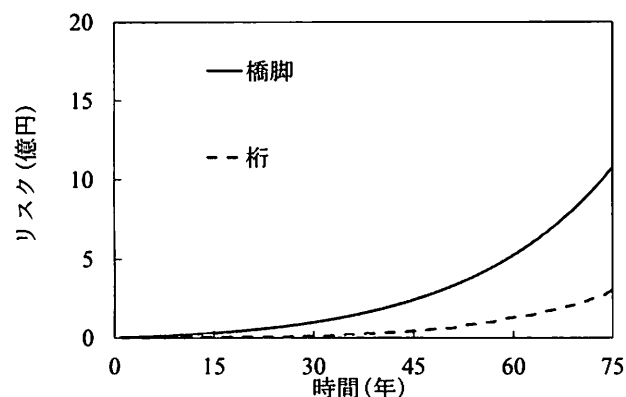


図-4 区間23におけるライフサイクルリスク曲線

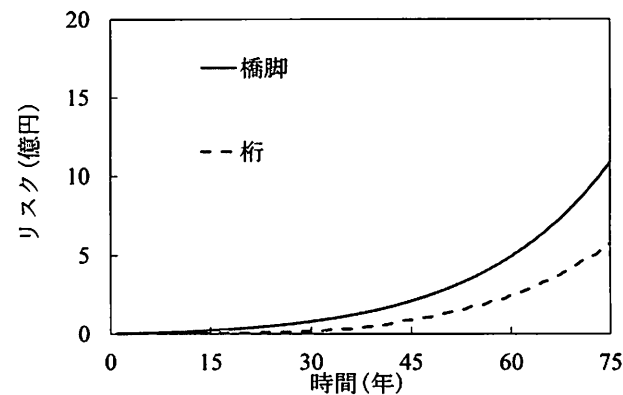


図-6 区間11におけるライフサイクルリスク曲線 (S39橋)

とに加え、桁に作用する活荷重や死荷重といった荷重の生起確率が高いことを考慮している。

解析対象の橋梁は高架形式の都市内高速道路橋とする。RC橋脚については、前述したように米田ら⁴⁾が示した設計年度別の断面を用いる。プレテンションPC桁は、スパン30mとし、S39橋にはかぶり30mm、圧縮強度34.3N/mm²、H2橋とH8橋にはかぶり40mm、圧縮強度39.2N/mm²を与える^{7), 8)}。対応する水セメント比はそれぞれ、35%、38%となる²⁾。

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

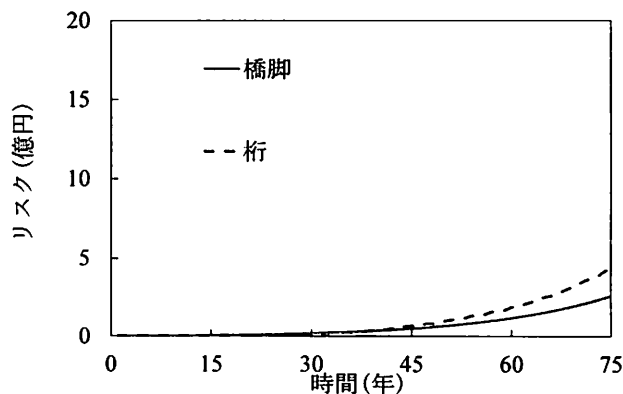


図-7 区間21におけるライフサイクルリスク曲線 (S39橋)

間のライフサイクルリスク評価を行う。なお、本稿では解析対象となる道路ネットワークにおける地点Aから地点B、また地点Bから地点Aへの2方向の交通量を考慮する。また、図-2に示すように、地点Aから地点Bまでを等間隔程度になるよう6つの区間に分け、それぞれに区間名を付ける。地点Aと地点Bのいずれの方向に向かう場合でも、高速道路のある区間が閉鎖された場合に使用する迂回路は、同じ道路とする。迂回路として指定した道はいずれも片側1車線の2方向2車線道路とした。

ライフサイクルリスク評価の一例として、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、区間21の橋脚は供用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。

続いて、同じ区間における構造物の性能の違いがライフサイクルリスク曲線にどのように反映されるのかを確認するため、区間11、区間21に対して、表-2に示すハザードの組み合わせを仮定し、解析対象ネットワークに作用させる。例として、区間11におけるH8橋とS39橋のライフサイクルリスク曲線を図-5と図-6に、区間21におけるS39橋のライフサイクルリスク曲線を図-7に示す。区間11の2つの図から、橋梁の設計において適用される道路橋示方書の年度が、橋脚のライフサイクルリスクに大きく影響することが分かる。特に、このリスク評価では地震ハザードが小さい設定であるにも関わらず、図-6に示す区間11のS39橋で橋脚のリスクの大きな伸びが見られる。同じハザードを受ける区間21においては、図-7に見られるように橋脚のリスクの伸びは小さい。この違いは、橋梁損傷時の迂回路の可能交通容量の違いによるものと考えられる。区間21は橋梁の損傷時に使用できる迂回路が2本あり、橋梁使用者の迂回に要する時間が減少し、迂回による移動時間の増加分をコストに換算した間接損失が抑えられる。これにより、ライフタイムにわたるリスクの推移に、同じS39橋において区間11と区間21で差が生じたと推測される。

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

本稿では、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。橋梁の損傷が社会に与える影響として、ステークホルダー側に生じる直接的な損失のほか、橋梁使用者側に生じる間接的な損失も考慮して橋梁のライフサイクルリスク評価を行った。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。

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安全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橋脚及びびく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.
- 7) 玉腰隆史, 窪田光作, 星野誠, 横井芳輝：コンクリート橋の塩害対策資料集(第3回塩害調査)—実態調査(近接目視)に基づくコンクリート橋の塩害対策の検討—, 国土技術総合研究所資料, No.711, 2012.
- 8) 藤原稔：道路橋技術基準の変遷—既設橋保全のための歴代技術基準ガイド—, 技法堂出版株式会社, 2009.