

地域アセットマネジメントのための 橋梁の補修計画立案試行

小林 翔一¹・佐野 恵美子¹・石川 貴弘²・湯舟 広海³・審良 善和⁴・岩波 光保⁵

¹正会員 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)
E-mail:Kobayashi.Shoichi@ah.MitsubishiElectric.co.jp

²非会員 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)

³学生会員 鹿児島大学大学院 理工学研究科 (〒890-8580 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24)

⁴正会員 工博 鹿児島大学大学院 理工学研究科 准教授 (〒890-8580 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24)

⁵正会員 工博 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

自治体が管理する多数の橋梁の補修計画を立案する上で、地域の安全・安心を守る地域アセットマネジメント実現のため、健全度以外にも重要度や劣化に伴うリスク等の要素を橋梁ごとに考慮することが望まれている。筆者らは、2種類の損傷の損傷程度をマトリクス化した劣化進行マトリクスによる劣化進行の予測手法を研究している。今回、劣化進行マトリクスの境界に定める管理水準ラインと、マトリクスの各セルに定める維持管理費用に基づいて、補修時期と補修費用を含む補修計画を立案する方式を考案した。考案方式は、重要度やリスクが損傷程度と対応しており、橋梁管理者の要望に対し管理水準ラインと維持管理費用を柔軟に考慮可能である。これを薩摩川内市の定期点検データに適用して橋梁群の補修計画の立案を試行し、有効な方式となり得ることを示した。

Key Words : maintenance, asset management, repair plan, repair priority, Markov chain model

1. はじめに

我が国の土木インフラは高度経済期に建設されたものが多く、近い将来に高経年化した大量のインフラの補修が必要であると予測されている。特に地方自治体においては補修などの維持管理の予算は限られていることから、インフラを効率的に維持し、長寿命化させることが求められている。維持管理に要するコストを極力抑えとともに、施設の有効活用と資産価値の向上を図る一つの方法としてアセットマネジメントがある。今回研究対象とする薩摩川内市において平成26年に橋梁長寿命化修繕計画が策定されるなど、アセットマネジメントの考えに基づいて各自治体で橋梁の長寿命化計画が策定されつつある。その代表的な策定方法は、橋梁の全数の点検により健全度を把握し、健全度の統計的分析により劣化予測を行って補修が必要となる時期を橋梁ごとに推定した上で、橋梁の補修費用と重要度を考慮しながら、補修費用を平準化するよう各橋梁の補修時期を調整するものである。ここで、補修費用については、損傷が顕在化してから補修を行う後追いの対策から、損傷が顕在化する前に補修を行う予防保全へ転換することがライフサイクルコスト

の削減に有効であるとされている¹⁾。また、補修時期の調整については、インフラごとの優先順位を設定した上で、特定年度に集中する補修工事を複数年に分散して予算を平準化することが有効であるとされている²⁾。しかし、管理する橋梁が数百橋に及ぶ自治体においては、健全度と重要度を考慮した上で補修時期を調整するために多大な労力を要している。特に重要度は、劣化に伴う剥落等の第三者被害のリスクの大きさや、供用停止に伴う経済的影響の大きさ、避難道路および緊急輸送道路への該当、迂回路の有無など、考慮が必要な要素が多岐にわたる。このような状況に対して、橋梁管理者の要望を柔軟に考慮可能な計画立案手法が望まれている。

著者らは、近未来社会のインフラの維持管理のあり方として、インフラ単体の維持管理のみならず、地形や交通流、天候なども含めて地域全体で安全・安心を守る必要があると考えている³⁾。このような地域アセットマネジメントの考えに基づいて地域全体で補修計画を作成するためには、管理者が橋梁ごとの重要度や許容リスクを考慮し、管理水準と維持管理費用を柔軟に定めることができる補修計画立案技術が必要である。ここで言う管理水準とは、補修の実施が必要であるか否かを判断する閾

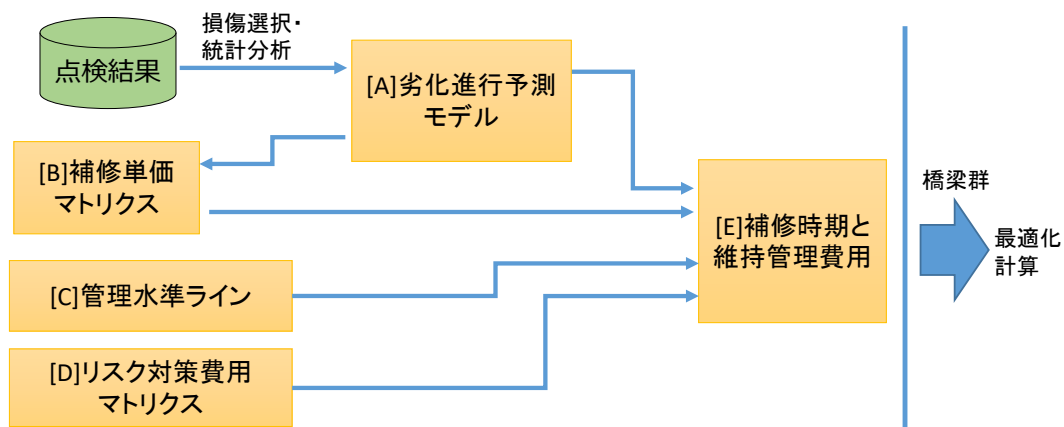


図-1 補修計画立案の枠組み

値のことを指す。本研究は、コンクリート橋を対象に、健全度の低下に伴う補修の必要性に加え、重要度や劣化に伴うリスクなどの橋梁ごとに固有である橋梁管理者の要望を柔軟に考慮できる補修計画の立案手法を提案する。

2. 補修計画立案手法

本研究で提案する、補修計画立案の枠組みを図-1に示す。著者らは、2種類の損傷の損傷程度をマトリクス化した劣化進行マトリクスによるコンクリート橋の劣化進行予測手法を研究している。今回、マトリクスの各セルに補修単価とリスク対策費用を、またマトリクスの境界に管理水準ラインを新たに定め、補修時期と維持管理費用を算出するようにした。以下、詳細に説明する。

(1) 劣化進行予測モデル (図-1中[A])

コンクリートの劣化に伴って生じる代表的な損傷としてひび割れと剥離・鉄筋露出が挙げられる。この2種類の損傷は、例えば塩害等の過酷環境においては、ひび割れが進行し、剥離・鉄筋露出に変わる変状の連鎖が起きていると考えられている⁴⁾。劣化進行マトリクスは、2種類の損傷の損傷程度をマトリクス化することで、ひび割れの程度、かぶりコンクリートの剥離・鉄筋露出などの状況を各セルが持つため、図-2に示すように劣化進行過程の各期と対応させることができる。ここではa～eの区分として国土交通省が定める橋梁点検マニュアル⁵⁾に記載の損傷の程度を用いており、aが損傷なし、eが損傷大である。このマトリクスにおいて、損傷が進展することはセル間を遷移することであると考え、セル間の遷移確率による劣化進行予測モデルとした。セル間の遷移の例を図-3に示す。セル(ひび割れ,剥離・鉄筋露出)=(c,c) (以下、(c,c)と記す)におけるx年後の存在確率は、x-1年後における各セルの存在確率と、隣接するセル(c,a), (b,c), および(d,c)から遷移する確率と、隣接するセル(d,c), (c,e)お



図-2 劣化進行マトリクスと劣化進行過程との対応

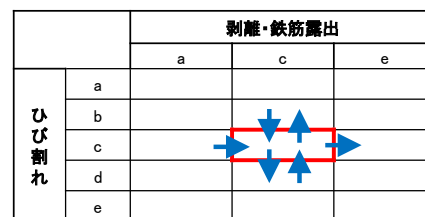


図-3 セル間の遷移による劣化進行予測モデル

表-1 RC主構の補修単価マトリクスの設定例

		剥離・鉄筋露出		
		a	c	e
ひび割れ	a	0	0	30,000
	b	0	10,000	60,000
	c	0	30,000	60,000
	d	5,000	60,000	90,000
	e	10,000	60,000	400,000

単位:円/m²

よび(b,c)へ遷移する確率により算出することができる。セル間の遷移確率は、2次元化したマルコフ連鎖モデルを用いて、点検データから算出する存在確率との最小二乗誤差が最小となるよう推定する。未来の各年において、存在確率に基づいて状態の代表値を橋梁ごとに与える。ここでは存在確率が最大であるセルを橋梁の状態とする。

(2) 補修単価マトリクス (図-1中[B])

劣化進行マトリクスの損傷状態を示す各セルに対して補修工法および補修単価を割り当てることができる。RC主構における補修の平米単価を定めた例を表-1に示す。補修を実施すると健全な状態に回復し、状態がセル

(a,a)に戻るものとする。

(3) 管理水準ライン (図-1中[C])

劣化進行マトリックスの各セルの境界に管理水準ラインを定めることができる。管理水準ラインは、コンクリート構造物としての設計上の前提と、管理者の要望に基づいて、橋梁ごとに定める。RC主構を対象に、設計上の前提に基づいて管理水準ラインを設定した例を図-4の通常ラインに示す。ひび割れと剥離・鉄筋露出の損傷が著しく進展した時点で補修するよう設定した。これに対し、管理者の要望として健全な状態を保つ必要がある橋梁に対して管理水準ラインを設定した例を図-4の優先ラインに示す。損傷が軽度であっても予防保全的に補修するよう設定した。例えば、コンクリート片の剥落により第三者被害が生じるリスクがある跨道橋や、途絶を防ぐ必要がある避難経路上の橋梁に対して適用する。

(4) リスク対策費用マトリックス (図-1中[D])

前述した管理水準マトリックスにより補修が必要であると判定されているものの、予算制約などの理由により補修が実施されないことに対するリスク対策費用を考える。リスク対策費用は、劣化進行マトリックスの各セルが示す損傷状態で供用を継続した場合に想定されるリスクに対し、補償や対策のために毎年必要となる費用として管理者が定めることができる。リスク対策費用の例として、剥落による第三者被害への補償や、供用停止に至った際の経済損失への補償などが挙げられる。ここでは例として剥落による第三者被害を想定し、被害を保険により補償するための保険料として定めた。損傷が進展するほどリスクの大きさと発生確率、すなわち期待値が高くなると仮定し、保険料を表-2に示すとおり定めた。橋梁ごとに設置環境が異なることから、橋梁ごとに、かつ、想定されるリスクの種類ごとに、リスク対策費用を定めることができる。例えば、河川敷がない河川にかかる橋梁では、剥落による第三者被害の補償に対応するリスク対策費用は考慮する必要がないと考えられる。

(5) 補修時期と維持管理費用の算出 (図-1中[E])

前述した劣化進行予測、補修単価マトリックス、管理水準マトリックス、およびリスク対策費用マトリックスに基づいて、下記の手順で橋梁ごとに補修時期と維持管理費用を算出する。ここで維持管理費用は、補修費用とリスク対策費用の合計費用である。

- 1) 橋梁ごとに1年後の損傷状態を算出
- 2) 橋梁ごとに損傷状態と管理水準を比較
- 3) 管理水準を超過している橋梁を補修して健全度を回復させ、当該年度の維持管理費用として加算。補修できない場合はリスク対策費用を当該年度の維持管

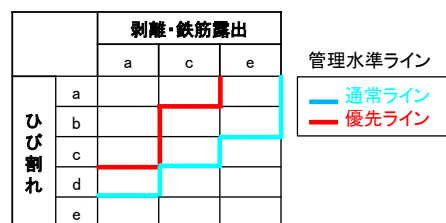


図-4 管理者要望を考慮した管理水準ラインの設定例

表-2 リスク対策費用の設定例

		剥離・鉄筋露出		
		a	c	e
ひび割れ	a	0	0.5	1.5
	b	0	0.5	1.5
	c	0	1.0	3.0
	d	0	1.0	3.0
	e	0	2.0	4.0

単位: 百万円

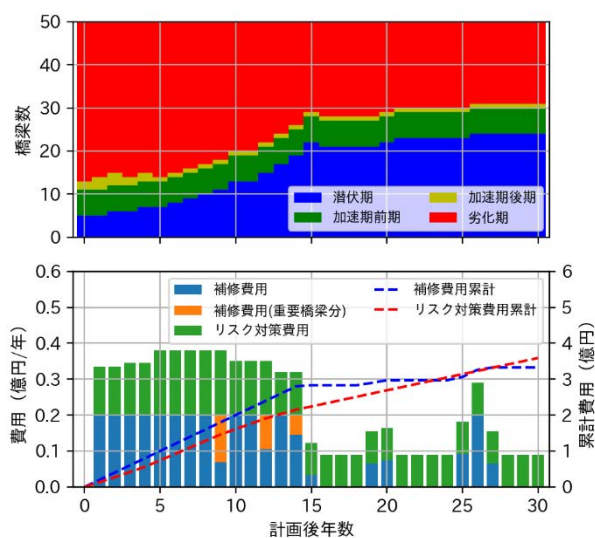


図-5 健全度と年間費用の推移 (ケース①)

理費用として加算する。

4) 1)に戻り1年後の損傷状態を算出

3. 計画立案シミュレーション

(1) シミュレーション条件

薩摩川内市が平成26年から30年にかけて実施したRC橋285橋の定期点検結果により作成した劣化進行予測モデルを用いる。対象部位は主構とし、変状展開図と変状写真を参照して経年劣化を要因とする損傷のみを抽出した上で、ひび割れと剥離・鉄筋露出の損傷程度を割り当てた。長大橋 (100m以上) を除く50橋を無作為に抽出して計画立案対象とした。また、リスク対策費用の加算対象として、無作為に抽出した10橋を重要橋梁に指定した。重要橋梁を健全な状態に保つという管理者の要望を考慮した場合に、30年間の健全度や維持管理費用がどのように変化するか試行した。補修費用の年間予算は2000

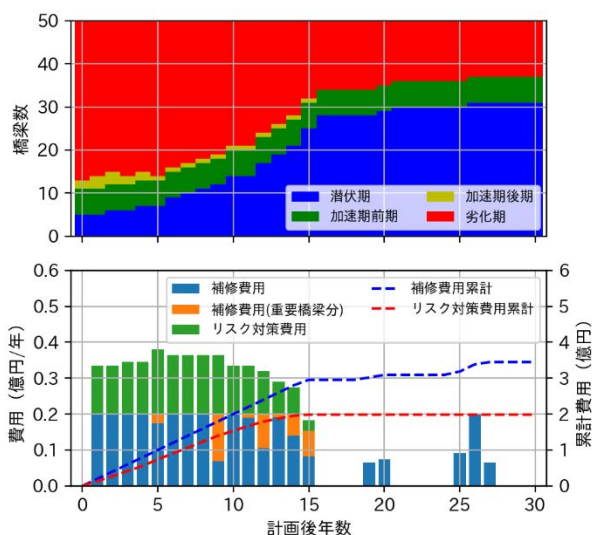


図-6 健全度と年間費用の推移 (ケース②)

万円とし、1橋で年間予算を超過する場合は複数年に分割して補修するようにした。

(2) 試行ケース①

重要橋梁に該当するか否かを考慮せず、損傷状態が管理水準マトリクスの通常ラインを超過している場合に補修を行うことを考えた。健全度と維持管理費用の試算結果を図-5に示す。これによれば、劣化期となった橋梁に対して順次補修を実施していることが確認できる。補修が実施されずに劣化期として残存している橋梁は、セル(a,e)および(b,e)に該当するものであった。累計の補修費用は3.3億円、リスク対策費用は3.6億円となった。

(3) 試行ケース②

重要橋梁を健全な状態に保つという管理者の要望を考慮し、重要橋梁の管理水準を優先ラインとして予防保全的に補修を実施することを考えた。健全度と維持管理費用の試算結果を図-6に示す。これによれば、試行ケース

①と比較し、重要橋梁に対して早期に補修がされ、16年目以降はリスク対策費用が不要となった。累計の補修費用は3.4億円と削減効果は得られなかったが、リスク対策費用は2.0億円と大きく削減する効果を確認できた。

4. まとめ

本研究では、橋梁の管理者が橋梁ごとに管理水準とリスク対策費用を設定し、補修計画を立案する手法を述べた。補修計画の立案を試行した結果、損傷に伴うリスクが許容できない重要橋梁に対して早期に補修がなされ、有効な方式となり得ることを示した。

今後、本論文で得た健全度と維持管理費用に基づき、制約条件の下で補修時期を調整してライフサイクルコストを最小化する手法の検討が必要であると考えます。

謝辞：本研究の実施にあたり、薩摩川内市の多大なるご協力をいただきました。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阿部允：実践土木のアセットマネジメント, p. 74, 日経BP社, 2006.
- 2) 岩波光保, 加藤絵万, 川端雄一郎：港湾施設のアセットマネジメントの試行例, 海洋開発論文集, 第26巻, pp. 201-206, 2010.
- 3) 佐野恵美子, 関真規人：未来社会の安全・安心-社会インフラを中心に-, 三菱電機技報, Vol. 89, No. 7, pp. 395-398, 2015.
- 4) 前田圭, 山口明伸, 武若耕司, 審良善和, 佐藤健志：鹿児島県の橋梁点検データを用いたマルコフ連鎖モデルによる劣化進行予測, 九州橋梁・構造工学シンポジウム資料, 2016.
- 5) 国土交通省：橋梁定期点検要領, 付録-1, p. 2, 2014.

(2019.10.21 受付)

TRIAL OF BRIDGE REPAIR PLAN FOR REGIONAL ASSET MANAGEMENT

Shoichi KOBAYASHI, Emiko SANO, Takahiro ISHIKAWA,
Komi YUFUNE, Yoshikazu AKIRA, and Mitsuyasu IWANAMI

When making a repair plan for a large number of bridges managed by local governments, it is expected that the manager considers the factors such as importance and risk for each bridge, to realize regional asset management that protects local safety. We are studying a predictive method of the deterioration progress based on a matrix of the division of two kinds of damage. This time, we have devised the method to make a repair plan using the management level set at the boundary of the matrix and the maintenance cost set for each cell of the matrix. In this method, importance and risk correspond to each cell of the matrix, and the management level and the cost can be flexibly set in response to the request of the bridge manager. We applied this method to the periodic inspection data of a local government and tried to make a repair plan, and showed the effects.