

交通流動を考慮した複数主要橋梁における長期補修でのライフサイクルコストに関する分析

谷田 英駿¹・奥嶋 政嗣²

¹学生会員 徳島大学 大学院先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 博士前期課程
E-mail:c501831033@tokushima-u.ac.jp

²正会員 徳島大学 准教授 大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)
E-mail:okushima.masashi@tokushima-u.ac.jp

橋梁の長期補修計画において、補修費用だけでなく、補修工事によって生じる交通流動変化による道路利用者負担についても考慮する必要がある。本研究では、道路利用者負担を考慮した複数橋梁における長期補修計画の方法論の確立を目的とする。そのため、複数橋梁における補修シナリオを対象として、橋梁劣化モデルと交通量配分モデルを組み合わせ推計したLCCにより比較評価した。この結果、道路利用者負担は補修費用の半数程度もあり、その重要性が明確となった。また、橋梁劣化の進行が遅い場合を除いては、予防保全型シナリオが優位であることを検証した。さらに、事後保全型シナリオと比較して、予防保全型シナリオは初期段階では費用負担が大きくなるが、長期補修計画としては適切であることを実証した。

Key Words : life cycle cost, traffic assignment, asset management, road user cost

1. はじめに

これまでに供用されてきた道路橋梁は、供用開始時期に偏りがあり、近い将来に全国的に多数の橋梁が補修・更新時期を迎える。このまま経過すると補修・更新時期にも偏りが生じる。それに伴い、費用負担における世代間での不公平、工事に伴う車線規制あるいは通行止め規制の多発などの問題が生じると考えられる。また、それらを補修・更新する費用は膨大となる可能性がある¹⁾。

一方、橋梁を管理する国・地方自治体においては、今後はさらなる税収減も想定される。したがって、橋梁の維持管理に充てることが可能な予算は限られる。このような状況において、従来の「壊れてから補修する」という事後保全型の補修方針のままでは、予算制約によって適切な時期に橋梁を補修することができず、橋梁の安全性の低下およびサービス水準の低下が起こることが考えられる。そこで、従来とは異なる補修方針である予防保全型補修による橋梁の長寿命化が必要とされている。これにより、補修費用の削減効果が期待されている。

こうした背景を踏まえ、橋梁をはじめとした社会基盤施設において、設計から更新までに必要となる各種費用の合計を「ライフサイクルコスト (LCC)」として、予防保全型補修による最小化や合理化を行う長期的な維持管理計画 (アセットマネジメント) に関する研究が行わ

れている。一方、都市圏域における道路ネットワークを対象として、複数の主要な道路橋梁の補修工事によって生じる交通流動変化による道路利用者負担 (時間損失) を考慮した実用性の高い応用研究が課題となっている。

そこで、本研究では交通流動変化による道路利用者負担を考慮した複数主要橋梁における長期補修計画の方法論の確立を目的とする。そのため、複数橋梁における補修シナリオを対象とし、橋梁劣化モデルと交通量配分モデルを組み合わせ推計したLCCにより比較評価する。

2. 長期補修計画の補修シナリオと評価方法

本研究では、長期補修計画において、「更新型」「事後保全型」および「予防保全型」の3種類の補修シナリオを適用する。いずれの補修シナリオにおいても、4年ごとに実施される定期点検結果に応じて補修または更新を決定する。更新型シナリオでは、橋梁劣化が深刻化し、更新が必要とされるまで補修を実施しない。事後保全型シナリオは、現行方式であり、点検により橋梁劣化が明確な段階で補修が実施される。予防保全型シナリオでは、橋梁劣化の初期段階での予防的補修を想定する。

将来における橋梁の劣化段階の推計には、表-1に示す床版を対象とした構築された既存の統計的な橋梁劣化モ

デル²⁾を適用する。このモデルでは、劣化状態を「健全度」と表現し、7段階に区分して、年次経過に伴う劣化進行をマルコフ推移確率で表現している。本研究では、定期点検時における劣化段階の進行を、橋梁劣化モデルのマルコフ推移確率行列に基づいて確率的に決定する。

補修費用については、健全度に応じて、劣化状態は進行し、適用される補修工法も異なると仮定する。また、劣化の進行に応じて補修工事の規模は大きくなり、補修単価も高価となると想定される。そこで、床版を対象とし、本研究で仮定した健全度別の補修区分に対応した補修工事の概要を表-2に示す。健全度1および健全度2の段階では、劣化の程度は低く、補修工事は必要ないとする。補修工法および補修単価は既往研究³⁾を参考として設定している。また、規制車線数に関しては、上下線同時に同数の車線が規制されるとする。

表-1 健全度の推移確率

健全度推移	劣化確率	補修区分
1→2	0.7075	-
2→3	0.6473	予防的補修
3→4	0.4838	巻き戻し補修
4→5	0.3424	事後的補修
5→6	0.2927	緊急補修
6→7	0.5626	更新

表-2 健全度別補修区分に対応した補修工事の設定

健全度	補修区分	補修工法	補修単価 (千円/㎡)	工事期間 (ヶ月)	規制車線数 (片側)	回復水準
3	予防的補修	ひび割れ注入工法	18	1	0	2
4	巻き戻し補修	断面修復工法	20	1	1	3
5	事後的補修					4
6	緊急補修	鋼板接着工法	140	3	2	5
7	更新	床版取替工法	450	12	通行止め	1

3. 橋梁補修による道路交通への影響分析

本研究では、対象圏域を徳島広域都市圏とし、図-1に示すリンク数3426、ノード数2789で構成される道路ネットワークを対象とする。対象橋梁として、徳島市内の主要な7橋梁について、橋梁補修に伴う通行規制による道路交通への影響を推計する。交通需要については、平成22年度道路交通センサス起終点調査に基づく車種別OD表を対象とする。

道路ネットワークを対象とした交通量推計には、確率的利用者均衡配分法を適用する。つぎに、現況再現ケースとして、通行規制なしでの道路区間交通量および総旅行時間（総交通費用）を推計する。確率的利用者均衡配分法では、経路分散パラメータに応じて異なる配分結果が得られる。そこで、対象道路網の主要区間における区間交通量の観測値として、平成27年度道路交通センサス調査結果（24時間交通量）と整合するように経路分散パラメータを調整した。現況再現性を検証するために、主要区間における区間交通量の観測値と推計値を比較する。観測値と推計値の相関係数は0.9486であった。経路分散パラメータを調整することで、多数の主要区間において、観測交通量との推計誤差が15%以内となる推計結果が得られた。

対象橋梁周辺での区間交通量の推計結果を図-2に示す。対象橋梁区間には橋梁番号を付している。橋梁2および橋梁7を含む南北をつなぐ国道での交通量が最も多く、中心部と西部をつなぐ国道についても交通量が多いことがわかる。また、対象橋梁区間には交通量の集中がみられる。したがって、対象橋梁区間で補修工事に伴う通行規制がなされれば、その影響が周辺道路網にも波及することが想定できる。



図-1 対象道路ネットワーク

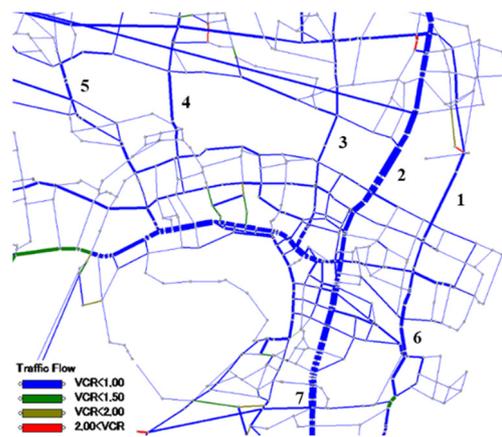


図-2 対象橋梁周辺の交通流動

つぎに、対象橋梁での補修工事による車線規制を13パターン設定し、各パターンでの交通量推計結果として総交通費用を算定した。車線規制時の総交通費用と通行規制なしとの差として、各パターンでの道路利用者負担を推計した。各規制パターンにおける道路利用者負担の推計結果を図-3に示す。推計結果より、全パターンにおいて道路利用者負担が正となっており、通行規制なしケー

スでの区間交通量が関連していることがわかる。また、代替経路における旅行時間による差異が大きく、道路ネットワークの形状と対象橋梁の位置関係による道路利用者負担への影響が大きいことが検証できた。

4. 複数主要橋梁における補修シナリオの評価

対象とした7橋梁について橋梁劣化モデルを適用して、3種類の補修シナリオに対応した橋梁補修シミュレーションを実行する。橋梁補修シミュレーションでは、補修対象を床版として、対象機関を100年間とする。橋梁劣化モデルでの推移確率に対して、劣化判定に用いる乱数系列として、異なる系列を与えた10ケースでの推計値により評価指標を算定した。

補修シナリオ別に推計ケースによる全橋梁における補修費用合計の分布を図4に示す。更新型シナリオについては、補修費用が明確に大きい。一方、事後保全型シナリオの中央値よりも予防保全型シナリオの上位25%が小さく、補修費用の合計では予防保全型シナリオが優位となる。ただし、事後保全型シナリオでは劣化速度が遅い場合、補修費用が低額となる場合がある。

つぎに、橋梁別の平均補修費用の推計結果を表3に示す。平均補修費用では、5橋梁において事後保全型シナリオが最小となる。これは、予防保全型シナリオでは、初期健全度において予防保全段階よりも劣化が進行している場合、事後的補修を集中的に行い、健全度を予防的補修が行えるまで回復させるためである。しかしながら、規模の大きい橋梁1では、架設が近年であることから予防保全型シナリオが最小で、事後保全型シナリオとの差額が9億円と大きい。その結果、7橋梁合計での平均補修費用は予防保全型シナリオが最小と推計されている。したがって、橋梁別の補修費用の観点からは、初期健全度などの橋梁の特性にあった補修シナリオが必要となる。例えば、橋梁の初期健全度に着目し、初期段階で予防保全限界よりも劣化が進行している橋梁とそれ以外を2グループに分け、前者には事後保全型シナリオを、後者には予防保全型シナリオをそれぞれ適用させることが考えられる。これより、補修費用の縮小を期待できる。

道路利用者負担について、ケース別推計結果を表4に示す。全ケースにおいて、更新型シナリオが最大、予防保全型シナリオが最小となった。予防保全型シナリオにおいても、対象橋梁の多くでは初期段階で劣化が進行しているため事後的補修が必要となり、道路利用者負担が発生する。しかしながら、初期段階の補修後は、道路利用者負担の少ない予防的補修が行われる。そのため、道路利用者負担の観点からは、予防保全型シナリオが優位となる。

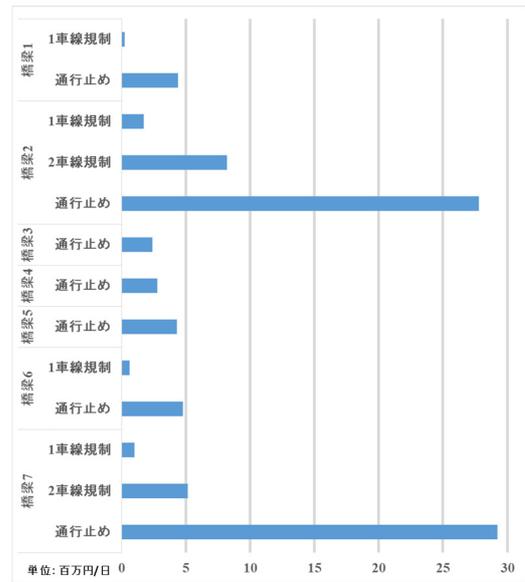


図3 規制パターン別道路利用者負担の推計結果

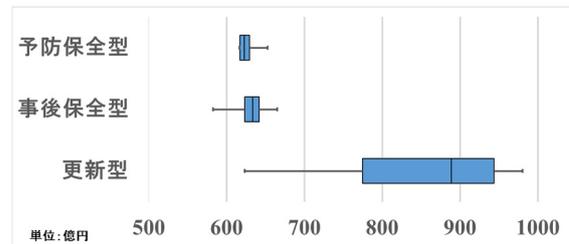


図4 補修費用の推計結果

表3 橋梁別平均補修費用の推計結果

橋梁番号	初期健全度	補修シナリオ		
		更新型	事後保全型	予防保全型
1	1	259.7	199.0	190.0
2	4	228.8	170.4	172.7
3	5	67.4	46.4	44.5
4	3	80.4	70.4	71.2
5	4	64.8	46.9	47.7
6	4	120.6	80.9	84.6
7	4	24.4	15.5	16.2
合計		846.0	629.6	626.9

... 最大値
... 最小値

単位: 億円

表4 交通流動変化による道路利用者負担推計結果

ケース番号	補修シナリオ		
	更新型	事後保全型	予防保全型
1	563	314	292
2	562	304	286
3	538	306	289
4	433	304	293
5	562	304	291
6	324	305	291
7	661	311	293
8	440	311	292
9	519	302	292
10	554	310	290
平均	515	307	291

... 最大値
... 最小値

単位: 億円

補修シナリオ別に推計ケースによるLCCの分布を図-5に示す。更新型シナリオについてはLCCが明確に大きい。一方、事後保全型シナリオの下位25%値よりも、予防保全型シナリオの上位25%値が低く、LCCの観点からも予防保全型シナリオが優位であるといえる。しかしながら、橋梁劣化の進行が遅い場合には、補修費用の差異により事後保全型シナリオでLCCが少ないケースもみられる。したがって、予防保全型シナリオの優位性を確証するためには、橋梁劣化モデルでの補修費用の推計精度を高める必要がある。

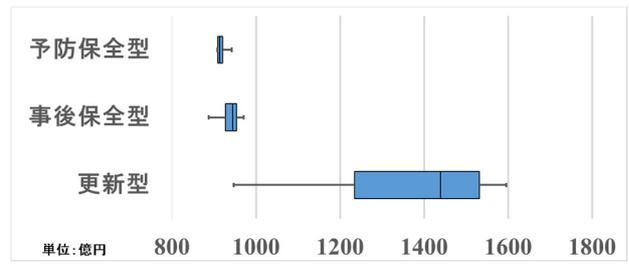


図-5 補修シナリオ別LCC推計結果

つぎに、LCCの構成要素である補修費用と道路利用者負担について、事後保全型シナリオに対する予防保全型シナリオの平均費用の差額を、時間的推移により10年ごとに区分して図-6に示す。予防保全型シナリオでは、初期段階において劣化が進行している橋梁で事後的補修も含む対応が必要であるため、補修費用および道路利用者負担ともに事後保全型シナリオより高い。一方、初期の20年経過後においては、道路利用者負担では予防保全型シナリオが明確に少ない。補修費用についても予防保全型シナリオが低額であるか、少なくとも同額となっている。以上より、予防保全型シナリオでは、費用が削減されかつ100年経過後の健全度が高い状態であることより、優位であることが検証できた。

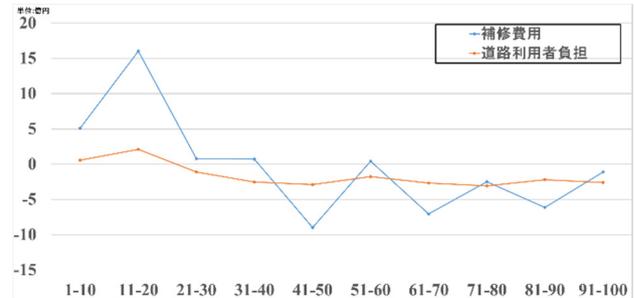


図-6 事後保全型に対する予防保全型の平均費用差額

[3]補修費用については、初期段階で予防保全限界よりも劣化が進行している橋梁では、事後保全型シナリオにより費用が抑制できる。したがって、橋梁の特徴によりグループ化し、グループごとに補修シナリオを設定することで補修費用が最小化できる可能性を示した。

今後の課題としては、橋梁の特徴に合わせた補修シナリオの設定による効果検証が挙げられる。

5. おわりに

本研究では、道路利用者負担を考慮した複数橋梁における長期補修計画の方法論の確立を試みた。本研究の成果は以下のように整理できる。

[1]道路利用者負担の推計方法を具体的に記述するとともに、対象道路網における推計結果を示した。この推計結果から、いずれの補修シナリオにおいても道路利用者負担は補修費用の半数程度もあり、その重要性が明確となった。

[2]橋梁劣化の進行が遅い場合を除いて、道路利用者負担を考慮したLCCの観点から予防保全型シナリオが優位である。事後保全型シナリオと比較して、予防保全型シナリオは初期では費用が必要となるが、長期補修計画としては適切であると実証した。

謝辞：本研究は、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）基盤研究(C) 16K06540の研究成果の一部です。ここに記し、感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター，道路構造物保全研究会編：道路アセットマネジメントハンドブック，鹿島出版会，2008.
- 2) 津田尚胤，貝戸清之，青木一也，小林潔司：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定，土木学会論文集，No.801/I-73，pp.69-82，2005.
- 3) 小林潔司，中谷昌一，大迫湧歩，安部倉完：橋梁の劣化速度の異質性を考慮した補修戦略プロファイリング，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.73，No.4，pp.201-218，2017.

(2018. 7. 23 受付)

ANALYSIS OF LIFE CYCLE COST ON LONG-TERM MANAGEMENT FOR MULTIPLE BRIDGES CONSIDERING TRAFFIC FLOW

Hidetoshi TANIDA and Masashi OKUSHIMA