

橋梁の維持管理方針の 決定要因に関する基礎的分析 ～管理橋梁の削減に向けて～

南 貴大¹・藤生 慎²・中山 晶一朗³・高山 純一⁴

¹学生会員 金沢大学 環境デザイン学類 (〒920-1192石川県金沢市角間町)
E-mail:takahoro1993@gmail.com

²正会員 金沢大学助教 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujju@se.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁴フェロー 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

高度経済成長期に一齐に建設された橋梁が耐用年数を迎え、架け替えや長寿命化の検討がなされている。このような中、国が定める統一な基準により5年に1回の頻度で近接目視により点検を行うことが義務づけられ、地方自治体においても点検・診断・措置・記録というメンテナンスサイクルを確立することを目指している。しかし特に市区町村の自治体において財源や人材の不足から5年に1度の頻度で近接目視による点検を行うことが非常に困難な状況である。また人口減少によって橋梁の使用頻度が変化することも踏まえ、今後すべての橋梁を同様に維持管理することは困難かつ非効率である。今後継続的に橋梁の安全性を確保するためには、管理する橋梁数を減らすことも必要である。本研究では維持管理しない橋梁を選択手法の構築を目指すために、道路管理者にアンケートを行い、維持管理方針の意思決定を行う際に重要視される橋梁のポテンシャルについて明らかにした。

Key Words : bridge maintenance management, regular inspection, earthquake disaster, decision factors

1. はじめに

日本では、橋長2m以上の橋梁が約73万橋あり、その多くが高度経済成長期に建設されている。今後高度経済成長期以降に建設された橋梁が一齐に老朽化し、図-1に示すように、建設後50年以上経過する高齢橋の割合が、平成25年3月の約18%から、10年後には約43%、20年後

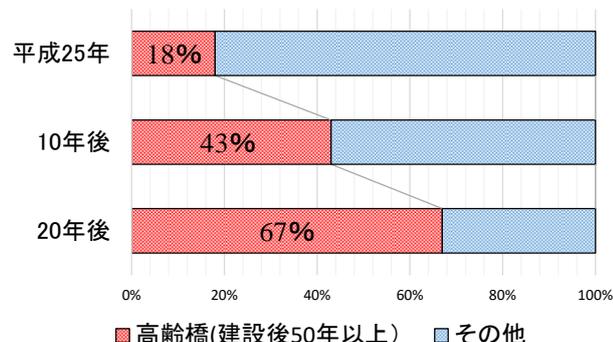


図-1 日本のにおける高齢橋の割合¹⁾

には約67%と加速度的に高くなることを見込まれている¹⁾。緊急的に整備された箇所や立地条件の厳しい橋梁では老朽化が顕在化し、図-2に示すように地方公共団体管理橋梁では平成27年で約2300橋が通行規制を行っており、平成20年から7年間で約2.4倍に増加している²⁾。一齐に老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新することが

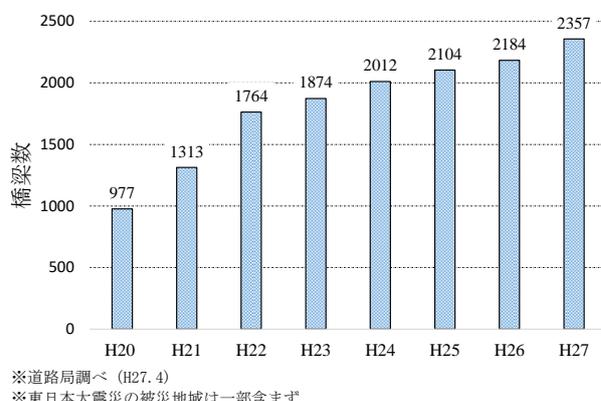


図-2 地方公共団体管理橋梁の通行規制等の推移 (2m以上)²⁾

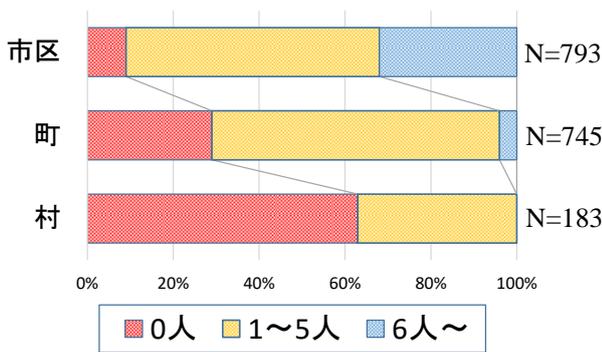


図3 市区町村における橋梁保全業務に携わる土木技術者数⁹⁾

喫緊の課題である。

このような中、重大な損傷が生じてから対策を講じる事後保全的な維持管理から損傷が軽微なうちに対策を講じて橋梁の健康寿命を延ばす予防保全的な維持管理に転換を図っている。予防的に対策を講じるためには定期的に橋梁を点検・診断し、橋梁の健康状態を把握する必要がある。平成26年には、国が定める統一的な基準により、5年に1度の頻度で近接目視による全数監視を道路管理者に義務づけられている。定期的な点検を行うことで、橋梁の最新の状態を把握するとともに、措置の必要性の判断を行う上で必要な情報を取得し、予防保全的維持管理を可能にしている。

しかし地方公共団体では、管理する橋梁に対して人材が不足していること、維持管理にかけられる予算が不足していることから、定期点検を行っていない自治体が一定数存在する。また今後人口減少に伴って、資金・人材が不足していく中、継続的に定期点検を行っていくことが困難になる。特に市区町村においては、図-3に示すように、橋梁保全業務に携わる土木技術者が少なく、5年に1度の近接目視を行うことが非常に困難な状態である。

本研究ではこれらの課題に対して、管理する橋梁の数を減らすことで解決する方法を提案する。

少子高齢化が進んでいる地区では人口減少によって、橋梁の使用頻度も今後変化することが予想される。また近い将来起こりうる大規模地震などの自然災害も考慮すると、道路ネットワークのリダンダンシーの確保も重要である一方で、被災する可能性の高い橋梁は災害時に避難経路や緊急輸送道路として機能しない可能性が高い。災害時の避難や緊急輸送を円滑にするためには、被災する可能性の高い橋梁についての情報を住民に周知すること、又は、平常時から橋梁の使用を制限することが必要であると考えられる。

図-4に示すように、既存橋梁は様々な条件が複雑に絡んでおり、橋梁によってポテンシャル（被災リスク、使用頻度、迂回可能性）が異なる。本研究では、道路管理

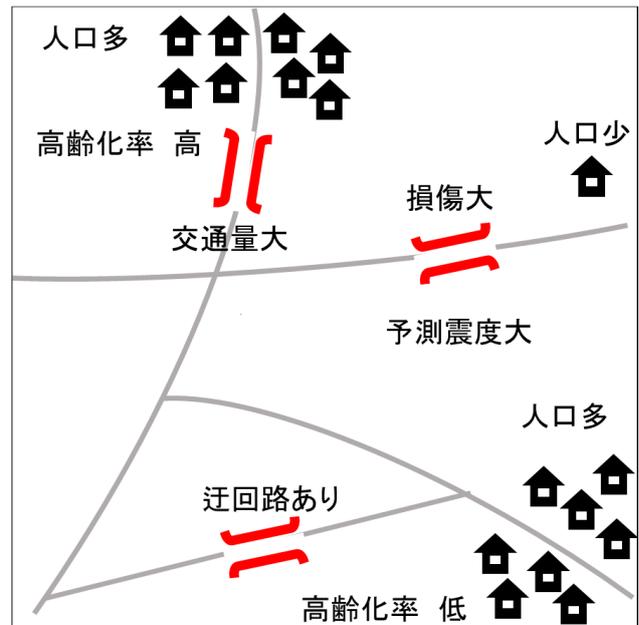


図4 市区町村における既設橋梁の一例

者が、各橋梁の維持管理方針の意思決定を行う上で、重要視している橋梁のポテンシャル（被災リスク、使用頻度、迂回可能性）について明らかにする。

2. 既往研究

これまで橋梁の老朽化に対するマネジメント手法に関する研究は数多くなされている。本章では既往研究をまとめるとともに本研究の位置づけを行う。

過去の目視点検結果を用いた統計的な劣化予測モデルの構築は、橋梁群全体としてのマネジメント戦略や予算管理を検討する場合に必要なため、多くの研究がなされている。

貝戸らは、NY市がここ9年間に実施した829橋梁に対する目視点検結果を用いて劣化速度に着目することで、過去の検査・補修等の情報が不十分な既存の構造物に対しても適応可能であることを示し、マルコフ過程による個別の橋梁の劣化予測を提案している⁴⁾。また劣化速度の過分散が施設グループ間における劣化速度の異質性と、グループを構成する個々の施設間における異質性という2つの異なる異質性が混合されることによって発生すると考え、階層的異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルを定式化し、そのベイズ推計法を提案している⁵⁾。

津田らは、健全度間の推移過程を指数ハザードモデルを用いて表現することで構造特性や使用環境、検査状況が異なる異質な検査データを用いて劣化特性を非集計的に推定することを可能としている⁶⁾。また劣化予測モデ

ルの推計精度を逐次改良するために新しく利用可能となった点検データに基づいてベイズ推計する方法論の提案も行っている⁷⁾。

小林らは、健全度の測定結果に誤差が発生するメカニズムを隠れマルコフ劣化モデルを用いて表現できることを示し、真の健全度により定義されるマルコフモデルをマルコフ連鎖モンテカルロシミュレーションによりベイズ推計する方法論を提案している⁸⁾。また互いに双方の劣化過程に影響を及ぼすような複合的劣化過程を表現するために複合的マルコフ劣化モデルの開発を行い、さらに調査情報が同時に獲得できないという時間的不整合性の問題に関して、システム的なデータ欠損を考慮した複合的隠れマルコフ劣化モデルの提案を行っている⁹⁾。

著者ら¹⁰⁾も地方自治体の2期分の橋梁の定期点検結果を用いて劣化速度を算出し、GISを活用して橋梁台帳に記載されていない環境条件を把握し、数量化理論I類を用いて環境要因と橋梁の諸元（橋長，上部工材料，供用年数）が健全度に与える影響を分析しており，橋梁の環境条件を考慮した補修優先度決定の提案を行っている。

また橋梁のユーザーコスト（橋梁が災害，事故，あるいは補強工事等によって使用できない場合に利用者が蒙る被害）に関する研究も数多くなされている。

杉本らは，橋梁の維持管理における資本の投資順位決定等への貢献を目的とし，北海道の橋梁384橋を対象にして，対象橋梁が通行不可能になった場合に，現在の交通量が迂回路に流れることを仮定して，現交通と迂回路交通の総走行時間差を計算し，コストに換算し定量的に示している¹¹⁾。

久世らは，高速道路の耐震化優先度指標に，複数の想定地震の予測震度と発生確率を考慮した震度の期待値と，迂回の所要時間を基準に算出した路線重要度，構造物の脆弱度と復旧度を基準に算出した構造物特性によるIC間の交通機能支障度を提案している¹²⁾。

本研究では，資金や人材が不足する中で，膨大な橋梁を保有する地方自治体が，今後，橋梁の維持管理方針の意思決定を行う上で重要視する橋梁のポテンシャルについて明らかにするものである。橋梁のポテンシャルについては，橋梁のリスク（構造上の安全性，災害時の被災リスク）や使用性（橋梁周辺の人口，高齢化率，交通量），ユーザーコスト（迂回所要時間）を考慮した。

橋梁の維持管理方針における道路管理者の意思決定モデルの構築を行う上で，管理を放棄するという選択肢を含めた点は，既往の研究にはない，本研究の新規性である。橋梁の維持管理方針における道路管理者の意思決定モデルを構築することで，維持管理を放棄する橋梁を選定する際の一助になると考える。

表-1 石川県における橋梁の健全度の評価基準

| 健全度 | 損傷状況 |
|-----|---------------------------|
| 5 | 劣化・損傷が認められない |
| 4 | 些細な劣化・損傷のみで，点検記録を継続する |
| 3 | 軽度の劣化・損傷があり，計画的に維持管理補修を行う |
| 2 | 重度の劣化・損傷があり，早急な補修対策が必要 |
| 1 | 甚大な損傷で安全確保に支障をきたす(通行止め) |

3. 分析手法

本研究では道路管理者にアンケートを行うことで，今後，橋梁の維持管理方針の意思決定を行う上で重要視する橋梁のポテンシャルについて明らかにする。

3.1. 分析対象地域

本研究では石川県羽咋市を分析対象地域とした。羽咋市は石川県の能登半島の基部西側に位置している。人口は平成29年4月1日現在22268人，世帯数8530世帯，面積は81.85km²で石川県面積の1.96%を占めている¹³⁾。平成27年において，高齢化率は36.8%と全国平均よりも高く，高齢化が進んでいる。

羽咋市は平成23年度時点で164橋の橋梁（橋長2m以上）を管理しており，建設後50年を経過している橋梁は，平成23年度の18%から平成43年度には67%まで増加し，橋梁の高齢化が急速に進む¹⁴⁾。そのような中，平成21年度より橋梁の損傷程度を把握することを目的に，防災や集落アクセス上重要な路線に架かる橋長15m以上の橋梁を優先的に点検を行っている。健全性の診断は表-1に示すように5段階で評価している。

また羽咋市には邑知潟断層帯が存在し，全体が1つの区間として活動する場合，マグニチュード7.6程度の地震が発生すると推定されている。今後30年の間に地震が発生する可能性が我が国の主な活断層の中では，やや高いグループに属することが知られている¹⁵⁾。そのため，羽咋市には今後地震によって被災するリスクの高い橋梁が一定数存在する。

3.2. アンケート概要

羽咋市の職員を対象に，橋梁の維持管理方針における

表-2 アンケートにおける橋梁のポテンシャル

| 橋梁の維持管理の方針 | |
|------------|------------------------|
| ① | 継続的に定期点検を行い，適宜補修を行う |
| ② | 継続的に定期点検は行うが，今後補修は行わない |
| ③ | 次回の点検時(5年後)に通行止めにする。 |
| ④ | すぐに通行止めにする。 |

表-3 アンケートにおける橋梁のポテンシャル

| 項目 | ① | ② | ③ | ④ |
|-----------|-----------|-------------|------------|----------|
| 健全度 | 健全 | 予防保全段階 | 早期措置段階 | 緊急措置段階 |
| 予測震度 | 震度4以下 | 震度5弱～5強 | 震度6弱～6強 | 震度7 |
| 人口(橋梁周辺) | 50世帯以上 | 30～50世帯 | 10～30世帯 | 10世帯以下 |
| 高齢化率 | 30%以下 | 30～50% | 50～70% | 70%以上 |
| 迂回困難性(徒歩) | 10分以下 | 10～30分 | 30～60分 | 60分以上 |
| 交通量 | 1000台/日以上 | 500～1000台/日 | 100～500台/日 | 100台/日以下 |

表-4 橋梁の維持管理における意思決定に関するアンケートの一例

| | 健全度 | 予測震度 | 人口 | 高齢化率 | 迂回困難性 | 交通量 | 維持管理方針 | |
|----|-----|------|----|------|-------|-----|----------|---|
| A橋 | ① | ② | ① | ④ | ① | ① | Answer = | ① |
| B橋 | ① | ③ | ② | ① | ② | ③ | Answer = | ① |
| C橋 | ① | ④ | ③ | ④ | ① | ① | Answer = | ② |
| D橋 | ② | ② | ② | ② | ② | ① | Answer = | ① |
| E橋 | ③ | ③ | ② | ② | ② | ③ | Answer = | ① |
| F橋 | ③ | ③ | ④ | ③ | ③ | ④ | Answer = | ③ |
| G橋 | ② | ② | ② | ③ | ④ | ① | Answer = | ② |
| H橋 | ④ | ④ | ③ | ② | ② | ② | Answer = | ④ |
| I橋 | ④ | ① | ① | ① | ② | ③ | Answer = | ① |
| . | | | | | | | | . |
| . | | | | | | | | . |
| . | | | | | | | | . |

意思決定に関するアンケートを行った。維持管理方針の意思決定について、表-2に示すように、①継続的に定期点検を行い、適宜修繕を行う、②継続的に定期点検を行うが、今後補修は行わない、③次回の点検時に通行止めにする、④すぐに通行止めにする、という4つの選択肢を考慮した。

また橋梁のポテンシャルについては、定期点検時に取得した健全度、橋梁が今後見舞われる予測震度、橋梁周辺の人口、高齢化率、迂回にかかる時間、交通量について考慮した。

アンケートでは、表-4に示すように、ポテンシャルの異なる仮定の橋梁を複数パターン用意し、各橋梁について、4つの選択肢の中から、どの維持管理方針の意思決定を行うのかについて、羽咋市の職員に問うた。

4. 分析結果

アンケートを集計することで、橋梁のポテンシャルの差異によって、維持管理方針の意思決定が異なることが分かる。また数量化理論Ⅱ類を用いることで、道路管理

者が維持管理方針の意思決定の際に、重要視する項目が何かについて明らかになる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、今後、資金や人材が不足する中で高齢化する橋梁の安全性を確保するために、管理する橋梁数を減らすという考え方について示し、道路管理者が管理を放棄したい、または、放棄するべきだと考えている橋梁の特徴を、アンケートを行って明らかにした。橋梁の維持管理方針における道路管理者の意思決定モデルを構築することで、維持管理を放棄する橋梁を選定する際の一助になると考える。

今後は維持管理方針の意思決定が、職員のスキルや経験、所属部署によって変化するののかについて詳細に分析を行う必要がある。

また、管理する橋梁数や橋梁保全業務に携わる土木技術者数、維持管理の予算が異なる他地域との比較も行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通白書 H28 第 II 部 第 2 章 第 2 節, <http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h28/hakusho/h29/pdf/np202000.pdf> (2017 年 7 月 17 日閲覧)
- 2) 国土交通省 老朽化の現状・老朽化対策の課題, <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf> (2017 年 7 月 17 日閲覧)
- 3) 一般社団法人次世代センサ協議会, 点検業務の IoT の活用をめざして 自治体橋梁における橋梁点検業務実態調査報告書【課題・ニーズ調査編】, http://www.socialinfra.org/p_activity/questionnaire/Bridge_tenken_Digest.pdf, 2017 年 7 月 19 日閲覧
- 4) 貝戸清之, 阿部允, 藤野陽三: 実測データに基づく構造物の劣化予測, 土木学会論文集, No. 744, pp. 29-38, 2003.
- 5) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集 D3, Vol. 68, No. 4, pp.255-271, 2012.
- 6) 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, pp69-82, 2005
- 7) 津田尚胤, 貝戸清之, 山本浩司, 小林潔司: ワイブル劣化ハザードモデルのベイズ推計法: 土木学会論文集 F, Vol.62, No.3, PP473-491, 2006
- 8) 小林潔司, 貝戸清之, 林秀和: 測定誤差を考慮した隠れマルコフ劣化モデル, 土木学会論文集 D, Vol.64, No.3, pp.493-512, 2008.9
- 9) 小林潔司, 貝戸清之, 大井明, Nguyen Dinh THAO, 北浦直樹: データ欠損を考慮した複合的隠れマルコフ舗装劣化モデルの推計, 土木学会論文集 E1, Vol.71, No.2, pp63-80, 2015
- 10) 南貴大, 藤生慎, 中山晶一郎, 高山純一, 近田康夫: 環境要因が橋梁の健全度を与える影響の分析—石川県の橋梁定期点検データを用いて—, 土木学会論文集 D3, Vol.72, No.5, pp251-260, 2016
- 11) 杉本博之, 首藤諭, 後藤晃, 渡辺忠朋, 田村亨: 北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について, 土木学会論文集, No.682, pp347-357, 2001
- 12) 久世益充, 都竹延晃, 岩崎真二郎, 杉戸真太, 高速道路路線における耐震化優先度評価に関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 70 No. 4 p. I_219-I_226
- 13) 羽咋市ホームページ, 羽咋市の紹介 <http://www.city.hakui.ishikawa.jp/sypher/www/info/detail.jsp?id=655> (2017 年 8 月 22 日閲覧)
- 14) 羽咋市-長寿命化修繕計画, http://www.city.hakui.ishikawa.jp/sypher/open_imgs/info/0000000019_0000011009.pdf (2017 年 8 月 22 日閲覧)
- 15) 地震調査研究推進本部, 邑知瀉断層帯, http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f055_ochigata.htm (2017 年 8 月 22 日閲覧)

0

ANALYSIS OF DECISION FACTORS OF BRIDGES MAINTENANCE MANAGEMENT FOR REDUCING THE ADMINISTRATING BRIDGES

Takahiro MINAMI, Makoto FUJII, Shoichiro NAKAYAMA,
and Jyunichi TAKAYAMA