

# 橋梁の劣化速度に影響を与える環境要因分析

南 貴大<sup>1</sup>・藤生 慎<sup>2</sup>・中山 晶一郎<sup>3</sup>・高山 純一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>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

近年、橋梁の長寿命化の検討が行われるようになってきた。高度経済成長期に建設された橋梁は耐用年数を迎え、架け替えや長寿命化の検討が行われている。このような状況の中、北陸地方において橋梁は、冬季の気象特性に起因する飛来塩分、凍結防止用の塩の散布など都市部における交通量の増加など、過酷な環境下に置かれている。本研究では、適切な維持管理を行うために地方自治体が行っている橋梁定期点検の結果を用いて、海岸線からの距離によって橋梁の健全度が異なるのかを分散分析で明らかにする。また、補修補強の優先度に健全度に影響を与える環境要因が考慮されていない県と考慮している県とでは、橋梁の健全性に差が出るのかを分散分析の結果をもとに考察を行った。

**Key Words :** bridge, maintenance, regular inspection, soundness of bridge, natural environments

## 1. 背景・目的

日本全国の道路橋（橋長 2.0m 以上）は、現在約70万橋あり、そのうち一般的に橋梁の寿命とされている50年を経過している橋梁（高齢橋）は、図-1に示すように平成25年度で全体の18%を占め、10年後には約43%を占めることが予想されている<sup>1)</sup>。また、緊急的に整備された箇所や水中部など立地環境の厳しい場所などの一部も構造物で老朽化による変状が顕在化し、図-2に示すように、地方公共団体管理橋梁では最近5年間で通行規制が2倍以上に増加している<sup>2)</sup>。公共事業費が年々減少する中、数年後には、高度経済成長期に集中的に建設された橋梁が供用年数50年を超え、橋梁の高齢化を迎えることとなり、人的にも費用的にも対応が困難となり、仮に

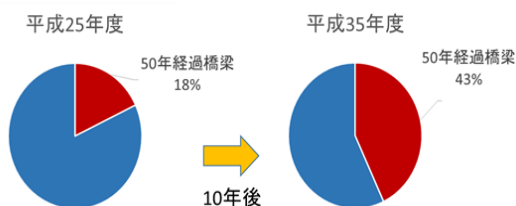
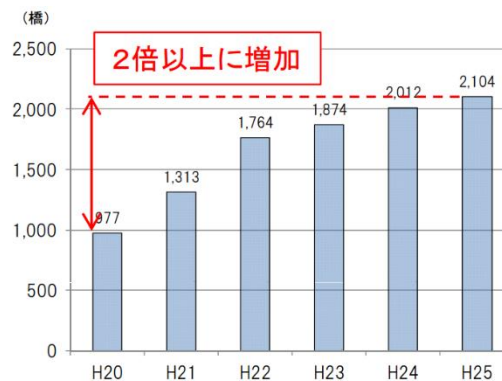


図-1 全国における高齢橋の割合<sup>1)</sup>

橋梁が通行止めになれば、道路交通ネットワークに大きな影響を及ぼしかねない。

このような状況の中、効率的な維持管理が重要視されており、国や地方自治体では橋梁の定期点検を行うとともにアセットマネジメントの枠組みづくりが活発化している。しかし橋梁定期点検による橋梁の維持管理には大別して2つの課題がある。1つ目は各橋梁の部材に対する点検員の健全度評価判定の課題である。2つ目は各部材の健全度結果を用いて、橋梁全体の総合健全度を算出し、



※道路局調べ(H25.4)

※東日本大震災の被災地域は一部含まず 都道府県・政令市は、地方道路会社を含む

図-2 地方公共団体管理橋梁の通行規制等の推移 (2m以上)<sup>2)</sup>

優先度決定を行う課題である。本研究では後者の優先度決定に関する課題を取り扱う。

橋梁の補修優先度は、定期点検から得られる健全度のみではなく、橋梁の重要度も考慮して決定される。石川県では橋梁の重要度として、緊急輸送路、道路区分、橋長、交差条件を考慮している。しかし、石川県の重要度評価には海岸線の距離や凍結防止剤の有無などの橋梁が置かれている自然条件が考慮されていない。環境要因が異なる橋梁では、橋梁の健全度が大きく異なることが予想される。一方、福井県では路線による重要度に加え、環境要因による重要度が考慮されている。本研究では、地方自治体の橋梁定期点検において環境要因を考慮した場合と考慮していない場合で橋梁の健全性に差が生じるのかを検討する。

## 2. 既往研究

これまでに橋梁定期点検結果を用いた研究は数多く行われている。

貝戸ら<sup>3,4)</sup>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したマルコフ過程に基づく劣化予測を提案している。また長大橋の目視点検上の管理限界状態として想定する頂上事象を定め、頂上事象の原因となる下位事象をフォルト・ツリーで構成し、下位事象の発生確率をマルコフ劣化ハザードモデルで与えることで頂上事象の発生確率の経時変化を算出している。

近田ら<sup>5)</sup>は、I県が昭和57年から63年度の間橋梁定期点検データの数量化理論第Ⅱ類による分析結果を用いた橋梁の健全度に基づき補修後に管理対象橋梁群のトータル健全度を最大とする補修橋梁・部位の組み合わせ最適化問題に、遺伝的アルゴリズムを援用したナップサック問題を適用することで解決している。

玉越ら<sup>6)</sup>は、国が管理する全国の道路橋の定期点検結果を用いて、重回帰分析により架橋条件や橋梁形式、適用基準など多岐にわたる属性との関連に着目して劣化に支配的な要因の抽出を行っている。

大竹ら<sup>7)</sup>は、岐阜県が管理する鋼橋RC床版の点検結果を用いて主成分分析を行い、離散量として与えられた従来の健全度を連続量として評価し、算出した指標を目的変数、橋梁の台帳データベースに記載されている橋梁諸元や環境条件を説明変数とし線形重回帰分析を用いて影響因子の抽出を行っている。

大島ら<sup>8)</sup>は、橋梁の老朽化に影響する諸因子を解析し、数量化理論Ⅱ類を用いて、それらと部材損傷との関係について検討を行い、各因子が部材損傷に影響する関係を把握している。

しかし本研究のように維持管理体制が異なる地方自治体の橋梁の健全性の比較を行った研究はされていない。

## 3. 分析データ

### (1) 石川県の橋梁定期点検データ

石川県では5年に1度の頻度で管理する橋梁の定期点検を実施している。橋梁定期点検では、海に囲まれた石川県特有の劣化（塩害・アルカリ骨材反応）などを含め部材単位で損傷状況を把握し、表-1に示すように5段階で評価し橋梁定期点検データとして記録している。点検の対象となる部材としては主桁、床版、下部工、支承、伸縮装置、橋面の6部材である。

### (2) 福井県の橋梁定期点検データ

福井県の橋梁定期点検では各径間に対して実施しており、舗装、床版、主桁、支承、下部工の5つの部材に関して損傷、劣化の写真を撮影し、判定基準と比較したうえで、損傷の程度より点数を記入し、点検終了後の各部材ごとの合計値を算出し、0点を軽度、10点を中度、20点を重度として3段階で判定を行う。健全度に関しては、橋梁単位で5段階で評価されている石川県とは異なり、福井県は径間単位で判定されており、表-2に示すように軽度は健全度5、中度は健全度3、重度は健全度1と3段階で評価されている。福井県は径間単位で健全度が算出されているため、橋梁単位で健全度が算出されている石川県の橋梁と比較することが困難である。そのため本研究では、径間の中で最も低い健全度を橋梁の健全度とする。

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)

表-2 福井県における橋梁の健全度の評価基準

点検結果	健全度	
レベル1点検で損傷なし or レベル2点検で軽度(補修跡あり)	5	損傷のない橋梁 一部の損傷がみられるが、現時点では修繕の必要がない橋梁
レベル2点検で中度	3	将来的に、大規模修繕(事後保全)または架け替えが必要となる橋梁
レベル2点検で重度	1	近い将来、大規模修繕(事後保全)または架け替えが必要となる橋梁

## 4. 基礎分析

### (1) 石川県が管理する橋梁の基礎分析

石川県が管理する橋梁数は2314橋であり、図-3、図-4からわかるように石川県が管理する橋梁は約43%が高度経済成長期に架設され、橋梁の高齢化が進んでいる。供用年数50年を超える高齢橋は現在（2015年）では全体の約24%であるが、20年後には全体の約69%占めることが予想される。

橋種に関しては、図-5からわかるように、PC橋は約30%、RC橋は約49%、鋼橋は約12%であることが分かる。

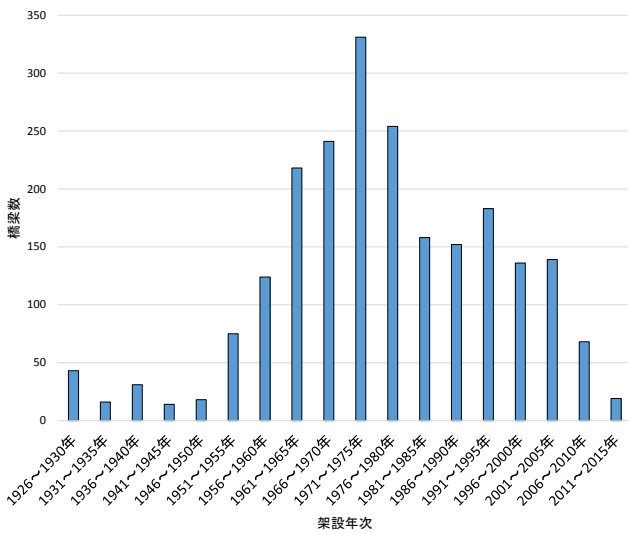


図-3 石川県が管理する橋梁の架設年次別橋梁数

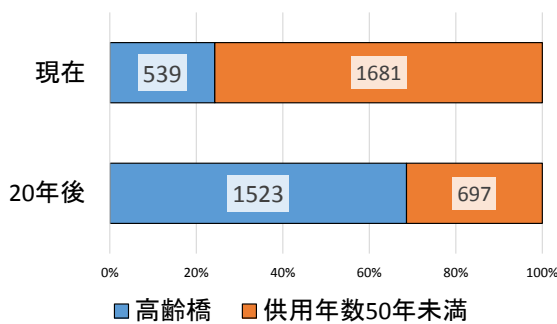


図-4 石川県が管理する橋梁の高齢橋の割合

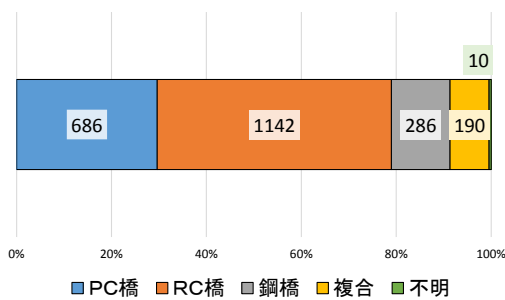


図-5 石川県が管理する橋梁の橋種別割合

### (2) 福井県が管理する橋梁の基礎分析

福井県が管理する橋梁のうち点検が行われている橋梁は1775橋あり、図-6、図-7からわかるように福井県が管理する橋梁も約43%が高度経済成長期に架設され、同じく橋梁の高齢化が進んでいる。また供用年数50年を超える高齢橋は現在では全体の約36%であるが、20年後には全体の約77%占めることが予想される。

橋種に関しては、図-8からわかるように、PC橋は約29%、RC橋は約47%、鋼橋は約18%であることが分かる。石川県に比べ鋼橋の割合が多少大きい、全体的に見ると同じような割合となっていることが分かる。

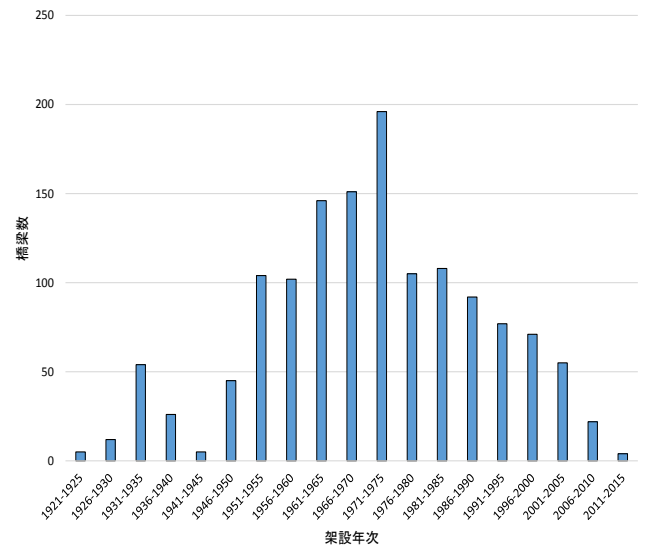


図-6 福井県が管理する橋梁の架設年次別橋梁数

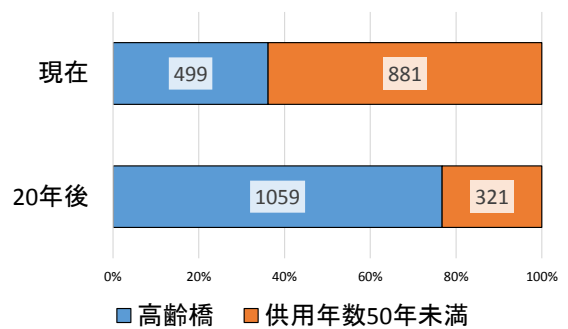


図-7 福井県が管理する橋梁の高齢橋の割合

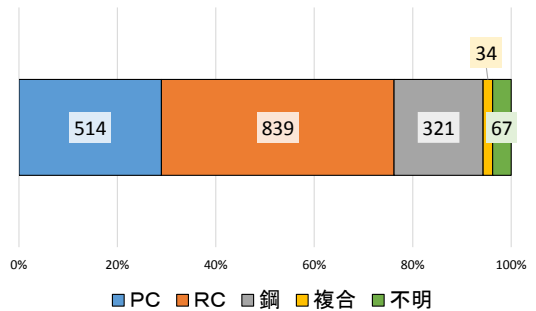


図-8 福井県が管理する橋梁の橋種別割合

## 5. 各要因が橋梁の健全度に与える影響

本章では、海岸線からの距離によって橋梁の健全度の平均が異なるのかを分析する。石川県と福井県ともに補修補強の履歴の記録が徹底されていないため単純に1回の健全度を用いると補修等を行って回復した健全度を把握することができない。そこで定期点検が2回以上行われているもので健全度が回復していない橋梁のみを対象とし、各橋梁の健全度の代表値として2回目の健全度を用いることにする。

海岸線からの距離による影響のみに焦点を当てるため、健全度を与える影響が大きいと予想される供用年数と凍結防止剤散布による影響を除く必要がある。供用年数が50年以上で凍結防止剤の散布履歴がない橋梁を分析対象とする。

対象部材としては、塩害の影響を受ける可能性のある部材でかつ石川県と福井県で共通の点検対象部材である、主桁、支承、下部工の3部材について分析を行う。

### (1) 分析手法

本研究では分散分析を用いて、海岸線からの距離の各

水準によって健全度の平均値に差があるのかを分析する。海岸線の距離の各水準に関しては、恣意的に海岸線から300m以内と海岸線からの距離300m～3km、海岸線からの距離3km以上の3つの水準に分けた。海岸線からの距離の各水準ごとに健全度の平均の差を吟味するときには、原データのばらつきを考慮して差が誤差の範囲内にあるかどうかを検討する必要がある。誤差の範囲内かどうかを判定するには、グラフによる視覚的判断では不十分であり、分散分析による数値的判断が必要になる。分散分析とは意味のない変動(誤差変動)と意味のある変動(要因によって変化した部分)の分散をわけ、その分散比を求めることで、要因による変動が誤差に比べて十分に大きければ要因による変動があると判定する方法である。

### (2) 海岸線からの距離が主桁の健全度に与える影響

海岸線の距離の各水準間で主桁の健全度に有意な差があるのか分析を行った。図-9は石川県が管理する橋梁における分散分析の結果であり、図-10は福井県が管理する橋梁における分散分析の結果である。石川県の場合はP値が0.0032であり有意な差であったが、福井県の場合はP値が0.5517であり有意な差がみられなかった。有意

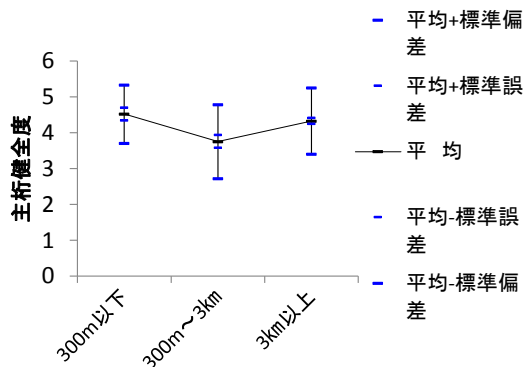


図-9 海岸線からの距離別の主桁健全度の平均(石川県)

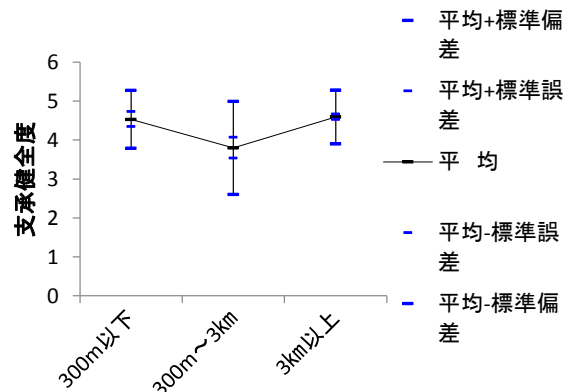


図-11 海岸線からの距離別の支承健全度の平均(石川県)

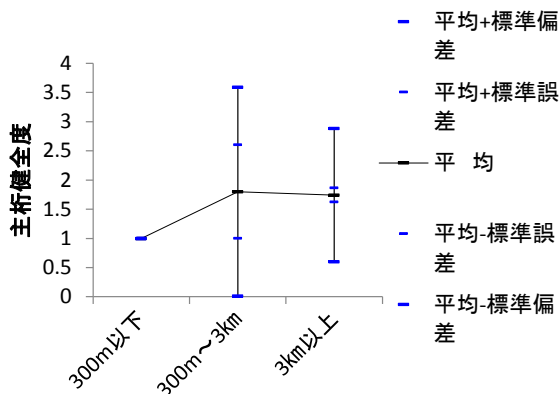


図-10 海岸線からの距離別の主桁健全度の平均(福井県)

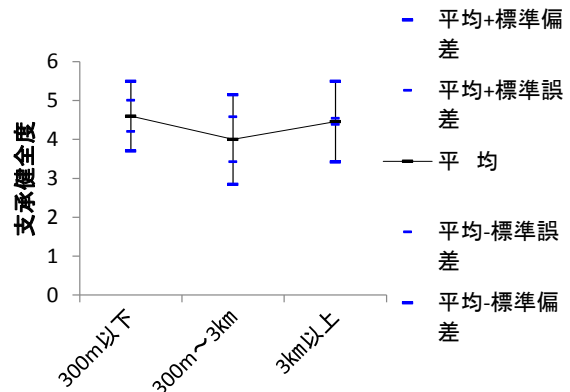


図-12 海岸線からの距離別の支承健全度の平均(福井県)

な差がみられた石川県の橋梁では、最も飛来塩分を受けやすい海岸線からの距離300m以下の橋梁よりも海岸線からの距離300m～3kmの橋梁の主桁の健全度の方が低いことが分かる。海岸線からの距離300m以内の橋梁はハード面での対策が講じられている可能性が原因として考えられる。

(3) 海岸線からの距離が支承の健全度に与える影響

海岸線の距離の各水準間で支承の健全度に有意な差があるのか分析を行った。図-11 は石川県が管理する橋梁における分散分析の結果であり、図-12 は福井県が管理する橋梁における分散分析の結果である。石川県の場合は P 値が 0.0003 であり有意な差であったが、福井県の場合は P 値が 0.6452 であり有意な差がみられなかった。有意な差がみられた石川県の橋梁では、主桁と同様に、最も飛来塩分を受けやすい海岸線からの距離 300m 以下の橋梁よりも海岸線からの距離 300m～3 km の橋梁の主桁の健全度の方が低いことが分かる。

(4) 海岸線からの距離が下部工の健全度に与える影響

海岸線の距離の各水準間で下部工の健全度に有意な差

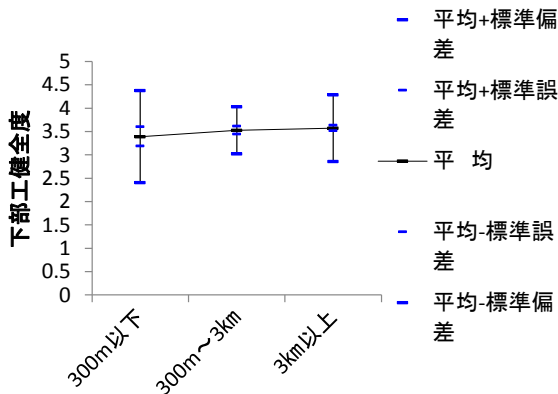


図-13 海岸線からの距離別の下部工健全度の平均(石川県)

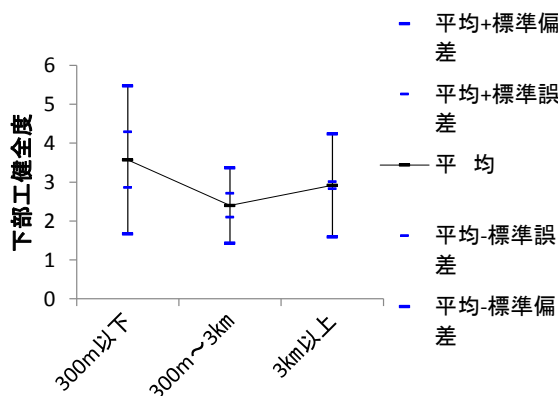


図-14 海岸線からの距離別の下部工健全度の平均(福井県)

があるのか分析を行った。図-13は石川県が管理する橋梁における分散分析の結果であり、図-14は福井県が管理する橋梁における分散分析の結果である。石川県の場合はP値が0.5205であり有意な差がみられず、福井県の場合でもP値が0.2036であり有意な差がみられなかった。石川県と福井県ともに有意な差がみられなかったため、海岸線からの距離が下部工の健全度に与える影響は小さいことが分かる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、維持管理体制が異なる石川県と福井県の橋梁定期点検データを用いて、海岸線からの距離によって橋梁の健全性が異なるか分析を行った。石川県の橋梁では、主桁の健全度と支承の健全度において海岸線の距離によって平均に有意な差がみられた。主桁と支承においては、最も塩害の被害が大きいと予想される海岸線からの距離300m以下の橋梁よりも、海岸線からの距離300m～3kmの橋梁の健全度の方が低くなることが分かった。一方、福井県の場合は、主桁、支承、下部工のどれにおいても海岸線からの距離によって健全度の平均に有意な差がみられなかった。福井県は橋梁の補修補強優先度に環境要因である海岸線からの距離を考慮しているため有意な差がみられなかったことが原因として考えられる。また福井県は石川県と比べ、健全度が3段階で評価されており、健全度が集中しやすいことも原因として考えられる。

本研究では、橋梁の健全度に影響を与える環境要因として海岸線からの距離のみを考慮したため、交通量や凍結防止剤、北陸地方特有のASRなどの環境要因についても分析を行っていく。

参考文献

- 国土交通白書 H26 第 2 部 第 2 節  
[http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h26/hakusho/h27/pdf/n\\_p202000.pdf](http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h26/hakusho/h27/pdf/n_p202000.pdf) 2015 年 7 月 17 日閲覧
- 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> 2015 年 7 月 17 日閲覧
- 貝戸清之, 阿部允, 本間仁, 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, pp29-38, 2003.
- 貝戸清之, 金治英貞, 小林寛, 間嶋信博, 大石秀雄, 松岡弘大: 目視点検データを用いたフォルト・ツリー分析に基づく長大橋の最適点検政策の決定手法, 土木学会論文集 F4, Vol.67, No.2, pp74-91
- 近田康夫, 橋謙二, 城戸隆良, 小堀為雄: GAによる既存橋梁の補修計画支援の試み, 土木学会論文集,

No.513, pp151-159, 1995

- 6) 玉越 隆史, 横井 芳輝, 石尾 真理: 全国規模の点検データに基づく道路橋のコンクリート部材の劣化の特徴, コンクリート工学論文集, Vol.25, P167-180, 2014
- 7) 大竹雄, 流石堯, 小林孝一, 本城勇介: 橋梁点検データベースの統計解析に基づく劣化機構を考慮した鋼橋RC床版の健全度評価, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)

Vol.68(2012)No.3p.683-695

- 8) 大島 俊之, 三上 修一, 山崎 智之, 丹波 郁恵: 橋梁健全度評価 に用いる評価方法の検討と影響要因の解析, 土木学会論文集, No.675,pp.201-217, 2001

(?)