

# 環境要因が橋梁の健全度に与える影響の分析 —北陸地域の橋梁点検データを用いて—

南 貴大<sup>1</sup>・藤生 慎<sup>2</sup>・中山 晶一朗<sup>3</sup>・高山 純一<sup>4</sup>・近田 康夫<sup>5</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: fujii@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

<sup>5</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:chikata@t.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や消雪管からの水による影響、さらには北陸特有の材料特性によるアルカリ骨材反応の進展などといった過酷な環境下に置かれている。

本研究では劣化の進行度合いと健全度が記録されている北陸3県の橋梁の点検データを用いて各種環境要因が橋梁の健全度に与える影響要因を明らかにするとともにメンテナンスの優先順位の決定方法を提案する

**Key Words :** *bridge maintenance, inspection data, environmental effect, ASR, Hokuriku region, life-long duration of bridge*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景と目的

日本全国の道路橋（橋長 2.0m 以上）は現在約70万橋あり、そのうち建設後50年以上が経過している橋梁は平成25年度で全体の18%を占め、10年後には43%を占めることが予想されている。公共事業費が年々減少する中、数10年後には、高度経済成長期に集中的に建設された橋梁が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、仮に橋梁通行止めになれば、道路ネットワークに大きな弊害を及ぼしかねない。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。しかし橋梁の点検結果は点検項目が多く、劣化予測が困難であり、補修順位や補修工法等の決定に生かしきれない。

そこで本研究では過去2回分の点検データを用いて統計的に劣化予測を行う。研究の対象は石川県を対象に行

った。石川県は、日本海に面する路線における風浪等による飛来塩分、山間部を中心に冬季交通を確保するための凍結防止剤散布、コンクリート中の反応性シリカ鉱物を含む骨材によるアルカリ骨材反応、交通量が多い都市部における通行車両の重量や衝撃による疲労など橋梁にとって劣悪な環境である。このような環境条件が橋梁に与える影響因子を明らかにし、環境条件別に分類した橋梁の劣化予測を行う。

### (2) 既往研究

これまで橋梁の劣化予測に関する研究は数多く行われている。貝戸ら<sup>1) 2)</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

変化を算出した。近田ら<sup>3)</sup>はI県が昭和57年から63年度間の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、遺伝子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。津田ら<sup>4)</sup>は技術者の技術情報と新しい点検データを用いてワイブル劣化ハザードモデルをベイズ推定法により作成する方法論の提案を行った。大島ら<sup>5)</sup>は数量化理論およびファジィ数量化理論を適用した場合の評価方法または判定結果の比較を行い、橋梁の健全度に影響する因子と損傷部位の相関性について検討した。

しかしこれらの研究では定期点検データを用いて、橋梁劣化に影響を与える環境要因の分析を行っているものはない。

## 2. 使用データ

北陸3県（富山県、石川県、福井県）では5年に1度の頻度で各県が管理する橋梁の定期点検を実施している。定期点検では、県ごとに多少は異なるが損傷状況の把握及び対策区分の判定を行い、これらに基づき部材単位での健全性の診断および道路橋ごとの健全性の診断を行い、点検データを記録している。本研究では、石川県が管理する橋梁2314橋のうち過去の点検データがないもの、橋梁の緯度経度・所在地が記されていないものを除く1307橋を対象にした。

### (1) 点検データ

橋梁の点検データには図-1に示すように橋梁の諸元と点検結果が記されている。諸元としては、架設年次、径間数、橋長、幅員、最大支間長、日交通量、大型車日交通量、所在地、緯度経度などが記されている。点検結果は1998年から2013年の間に点検が2回行われたものを対象にしているため各橋梁2回分記されている。点検項目としては主桁、床版、下部工、支承、伸縮装置、橋面工を対象にしており、5段階で健全度が評価されている。

| 橋梁名     | 架設年次 | 橋長    | 日交通量 | 最新点検年 | 1回目 | 最新点検年 | 2回目  | 主桁健全度 | 1回目 | 主桁健全度 | 2回目 |
|---------|------|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|-----|
| 中山橋     | 1978 | 13.5  | 1400 | 2003  |     | 2007  | 2011 | 5     |     | 3     | 3   |
| 下佐橋     | 1975 | 64    | 2456 | 2007  |     | 2011  | 2012 | 3     |     | 3     | 3   |
| 三田橋     | 1979 | 7     | 2536 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 3     | 3   |
| 四ツ田橋    | 1973 | 6     | 2536 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 5     | 5   |
| 渡金橋     | 1973 | 7     | 2536 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 3     |     | 3     | 4   |
| 橋田橋     | 2010 | 13.3  | 4509 | 2007  |     | 2013  | 2013 | 3     |     | 3     | 4   |
| 村中橋     | 1966 | 11.5  | 1400 | 2003  |     | 2011  | 2011 | 4     |     | 3     | 3   |
| 境田橋     | 1973 | 6.8   | 4744 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 4     | 4   |
| 上野歩道橋   | 1996 | 37.3  | 0    | 2004  |     | 2012  | 2012 | 3     |     | 3     | 3   |
| 上野高架橋   | 1997 | 211.5 | 6100 | 2005  |     | 2006  | 2006 | 4     |     | 3     | 3   |
| 上野街道1号橋 | 1998 | 23.9  | 6100 | 2005  |     | 2007  | 2007 | 4     |     | 5     | 5   |
| 上野街道2号橋 | 1994 | 22.9  | 6100 | 2005  |     | 2007  | 2007 | 4     |     | 5     | 5   |
| 中根橋     | 1979 | 12    | 2536 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 3     |     | 3     | 3   |
| 新丸山橋    | 1994 | 25    | 6100 | 2005  |     | 2011  | 2011 | 5     |     | 4     | 4   |
| 仏前山橋    | 1983 | 49    | 1105 | 2007  |     | 2013  | 2013 | 3     |     | 3     | 3   |
| 黒川橋     | 1982 | 31    | 2536 | 2006  |     | 2012  | 2012 | 3     |     | 3     | 3   |
| 久田二号橋   | 1982 | 3.4   | 1105 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 5     | 5   |
| 久田一号橋   | 1982 | 3.4   | 1105 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 5     | 5   |
| 免谷橋     | 1969 | 30    | 3400 | 2003  |     | 2008  | 2008 | 4     |     | 5     | 5   |
| 留子田橋    | 1984 | 29.6  | 2536 | 2007  |     | 2012  | 2012 | 5     |     | 5     | 3   |
| 五十里橋    | 1979 | 34    | 2536 | 2007  |     | 2013  | 2013 | 3     |     | 3     | 3   |
| 大井橋     | 1968 | 30    | 2536 | 2007  |     | 2012  | 2012 | 3     |     | 4     | 4   |
| 石井橋     | 1991 | 24.7  | 5900 | 2006  |     | 2013  | 2013 | 4     |     | 3     | 3   |
| 岩部橋     | 1980 | 5.6   | 1105 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 5     | 5   |
| 鈴ヶ瀬橋    | 1994 | 10.7  | 1105 | 2006  |     | 2013  | 2013 | 4     |     | 5     | 5   |
| 小島生橋    | 1968 | 57    | 2347 | 2006  |     | 2013  | 2013 | 2     |     | 3     | 3   |
| 杉見橋     | 1967 | 6     | 1649 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 5     | 5   |
| 長尾橋     | 1966 | 5     | 2347 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 5     |     | 5     | 5   |
| 番渡田橋    | 1968 | 11.4  | 2347 | 2003  |     | 2013  | 2013 | 4     |     | 4     | 4   |

図-1 点検データ

### (2) 環境要因データ

本研究では国土数値情報のデータを使用した。環境要因としては海岸線からの距離<sup>6)</sup>、河川からの距離<sup>6)</sup>、降水量<sup>6)</sup>、積雪量<sup>6)</sup>、年最低気温<sup>6)</sup>、年最高気温<sup>6)</sup>、標高<sup>6)</sup>、生コン工場からの距離<sup>7)</sup>、を考慮した。

## 3. 基礎分析

今回対象とする橋梁は、供用年数が50年を超えるものが345橋、30年を超えるものは936橋あることが図-2からわかる。図-3より、20年後には2015年現在供用年数が30～49年のものが供用年数50年を超えるので、供用年数50年を超える橋梁の割合が約26%から約71%に激増してしまうことがわかる。

上部工の材料別橋梁割合としては、PC橋が424橋、RC橋が635橋、鋼橋が154橋であり図-4に示すようにコンクリート橋の割合が約81%、鋼橋の割合が約12%となっている。橋長に関しては図-5からわかるように0～5mの橋梁が約27%、5～10mの橋梁が約25%であり、橋長の短い橋梁が多いことがわかる。

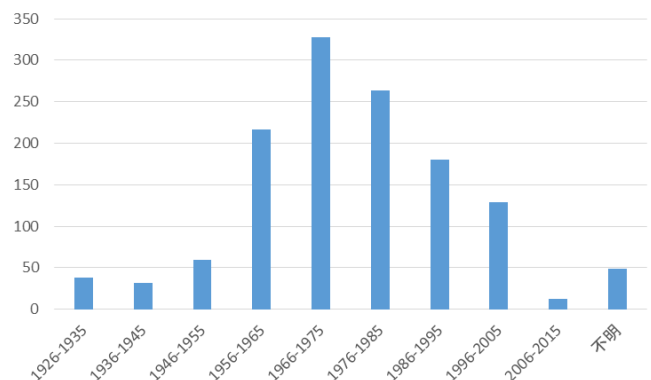


図-2 架設年次別橋梁数

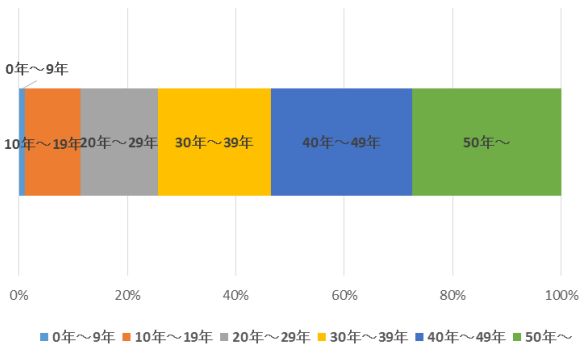


図-3 供用年数別橋梁の割合

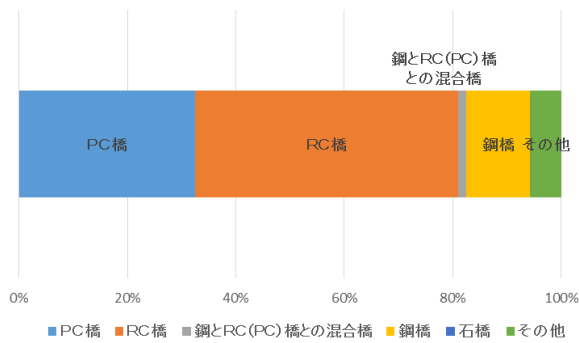


図-4 上部工の部材別橋梁の割合

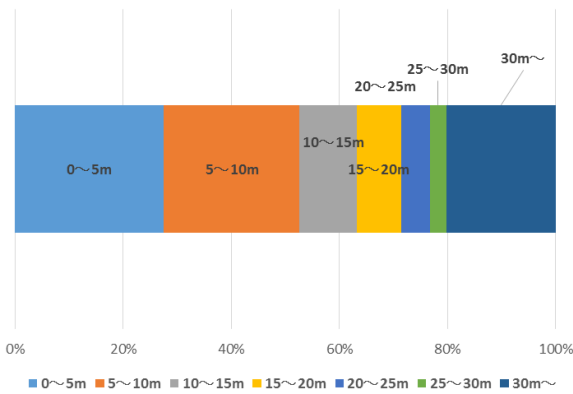


図-5 橋長別の橋梁の割合

対象とする橋梁がどのような環境下に置かれているのかGIS上に表示し空間結合によって明らかにした。橋梁のデータをGISに表示するために緯度経度が必要である。今回対象とする1307橋のうち緯度経度が記してあるものが797橋あり、緯度経度が記していないものは510橋あった。後者に関してはCSVアドレスマッチングサービスを用いて住所から緯度経度を求めGIS上に表示した。その結果を図-6に示す。

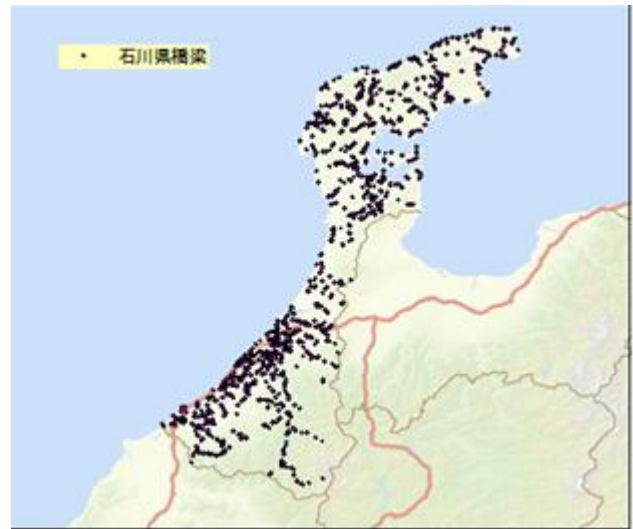


図-6 対象とする1307橋のGIS表示

環境要因データとの空間結合によって各橋梁の環境条件が与えられたので以下環境条件別の橋梁の割合を示す。

日本海からの飛来塩分の影響を考慮するために海岸線から各橋梁までの距離を算出した。図-7から石川県の形状が海岸線に沿っている理由からか、海岸線から5km以内にある橋梁の割合が約50%であることがわかる。

河川上にかかる橋梁では周りに風をさえぎるものがないので風による影響を受けている可能性がある。そこで河川からの距離を環境要因として考慮した。本研究では一級河川と二級河川のみを考慮した。

今回対象とする橋梁はコンクリート橋が多く、現場施工の場合生コンを工場から90分以内に運ばなければならず、運搬時間によって性能が変化してしまう。そこで環境要因として石川県の生コン工場からの距離を直線距離であるが算出した。図-9から、約49%の橋梁が生コン工場から10km以内にあることがわかる。直線距離ではあるが時速40kmで生コン車が走ると仮定すると、すべての橋梁に90分以内に到着することがわかる。

北陸地方では冬季には凍結防止剤をまいている。特に山間部では凍結を起こしており凍結防止剤が必要である。そこで標高と最大積雪深を環境要因として考慮した。図-11から、標高50m以下にある橋梁が約60%あることがわかる。最大積雪深については図-12から、0～50cmが一番大きい割合で約78%あることがわかる。

コンクリートには膨張・収縮による温度ひび割れが発生する。そこで8月の最高気温と2月の最低気温の気温差を環境要因として考慮した。図-13から30～32℃に集中していることがわかる。

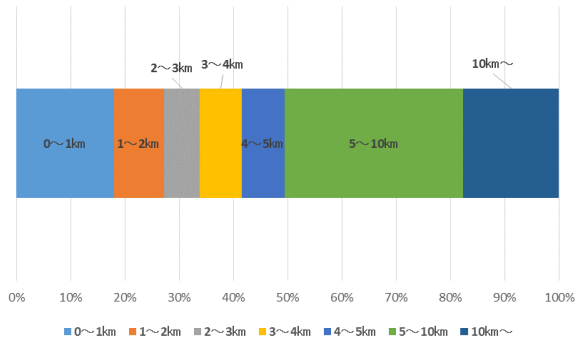


図-7 海岸線からの距離別の橋梁の割合

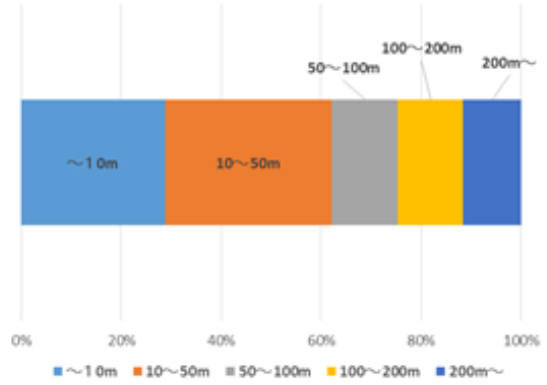


図-11 標高別橋梁の割合

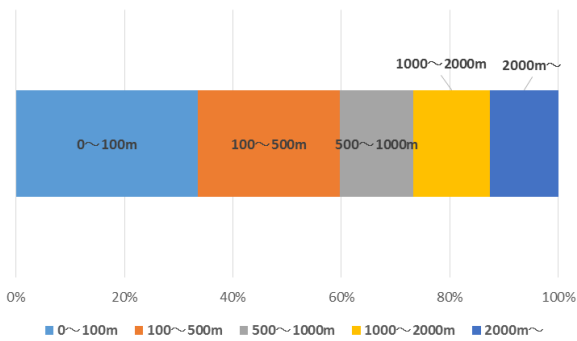


図-8 河川からの距離別橋梁の割合

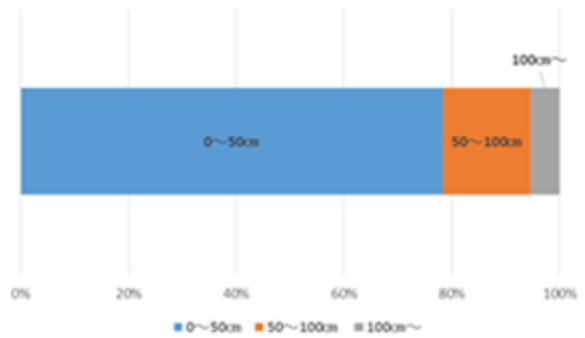


図-12 最大積雪深別橋梁の割合

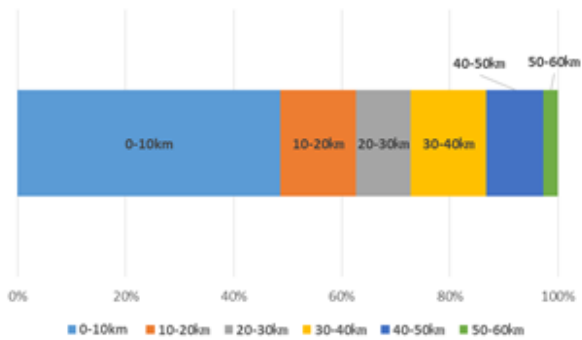


図-9 生コンからの距離別橋梁の割合

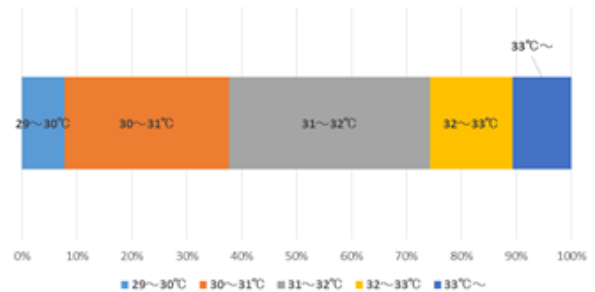


図-13 最高気温と最低気温の気温差別橋梁の割合

#### 4. 劣化速度と環境要因の分析

劣化速度に影響を与えている環境要因を明らかにするために数量化一類を用いて分析した。ここでの劣化速度は1回目点検結果と2回目点検結果の差を取り、点検スパンで除したものとする。点検結果は部材ごとに1~5の5段階で評価されている。今回は劣化速度が負または0のものは劣化していない補修補強を行ったとみなし、分析から除いた。

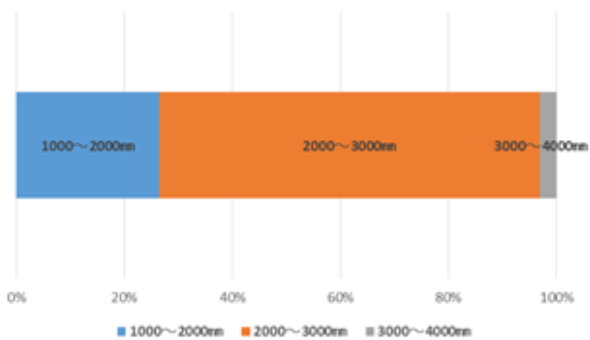


図-10 年間降水量別橋梁の割合

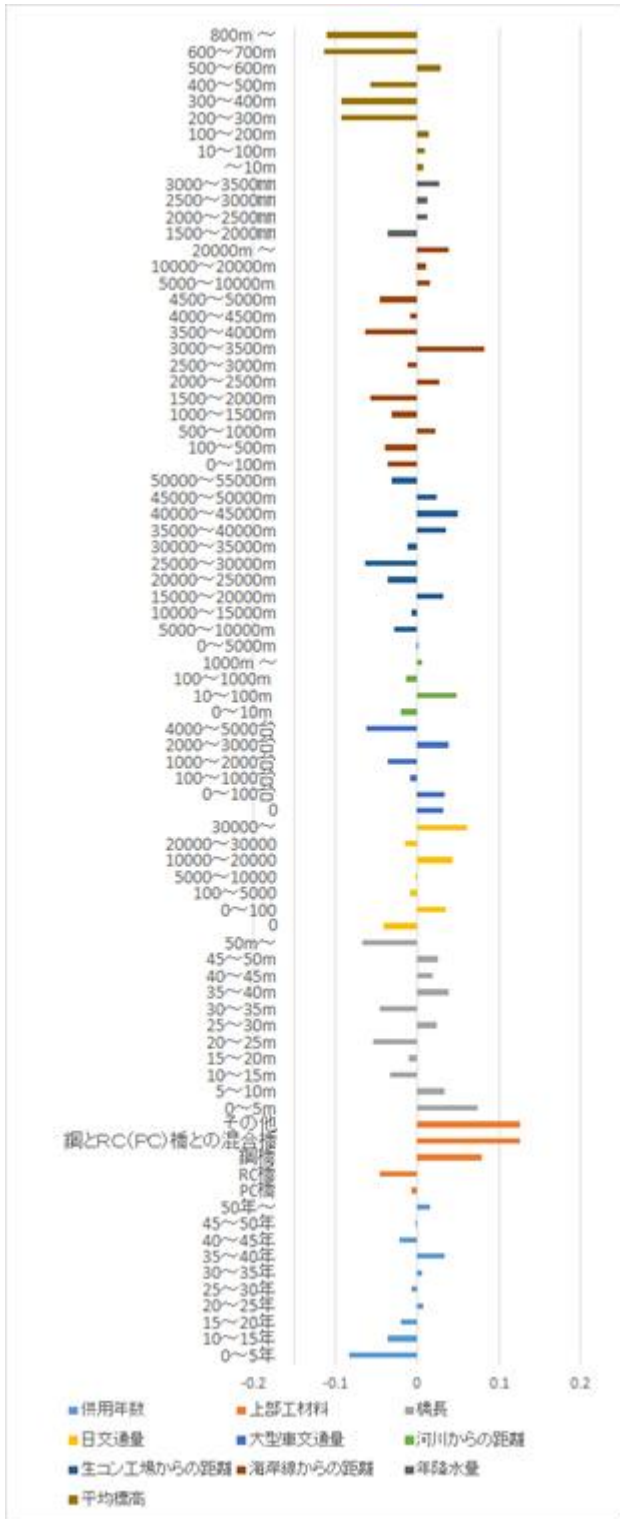


図-14 主桁の劣化速度とカテゴリースコア

図-14は主桁の劣化速度に影響を与えている環境要因との重相関係数は0.53であった。標高600m〜で大きな負の相関が出ており、上部工材料ではコンクリート橋は負の相関が出ているがそれ以外では正の相関が出ていることがわかる。

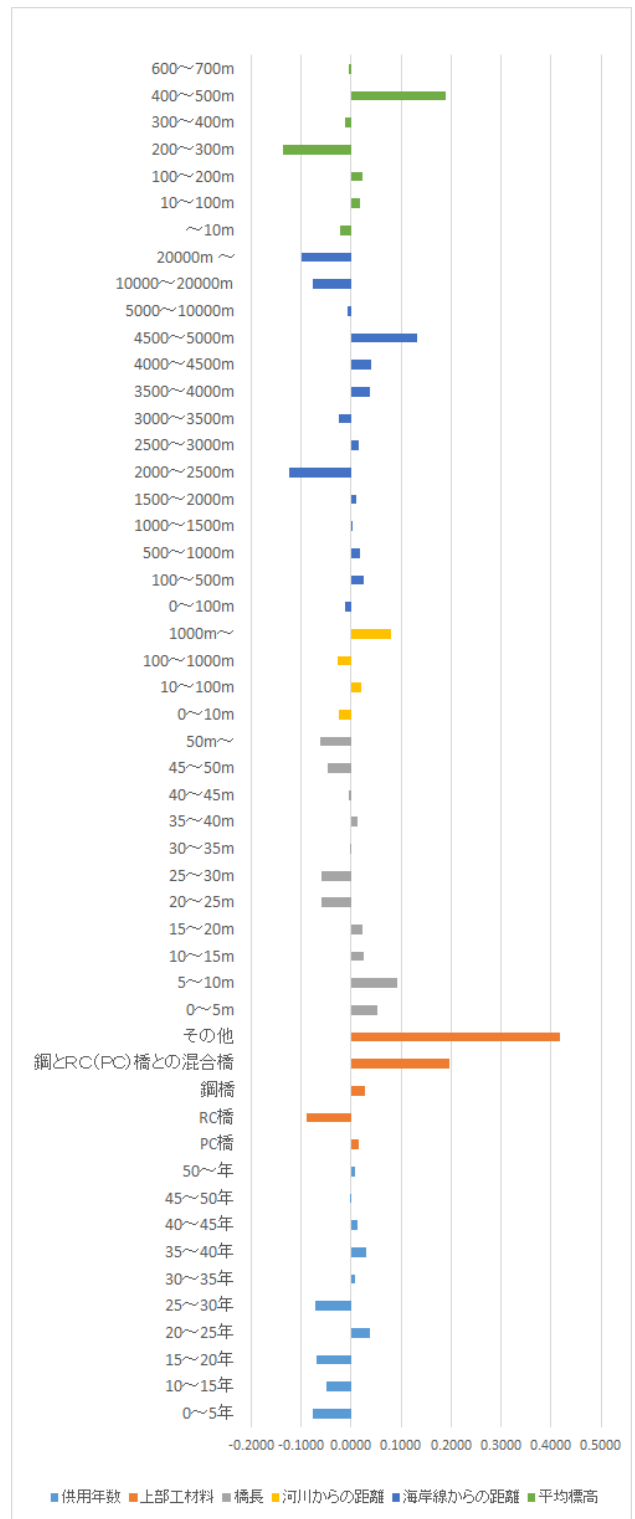


図-15 支承の劣化速度とカテゴリースコア

図-15は支承部の劣化速度に影響を与えている環境要因を表しており重相関係数は0.62であった。標高600m以上で相関は出ておらず、標高400~500mに正の相関が20~300mに負の相関があることがわかる。

## 5. 今後の課題・展望

本研究では数量化一類を用いて劣化速度に影響を与えている環境要因を分析した。カテゴリースコアを用いて劣化速度に影響を与える環境要因の抽出を行った。その結果、劣化速度に影響を与えている環境要因をいくつか同定した。今後は、健全度の評価の違いと劣化速度に影響を与えている環境要因の関係についても分析を行う。

### 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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定法, 土木学会論文集 F, Vol.62, No.3, pp473-491, 2006
- 5) 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, pp201-217, 2001
- 6) 国土数値情報ダウンロードサービス

(2015.7.31)