

地震リスクを考慮した 補修優先度決定法の提案

南 貴大¹・藤生 慎²・中山 晶一郎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: fujiiu@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

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。石川県が管理する橋梁は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、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、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おり損傷が顕著である。定期点検が5年に1度の頻度で行われているが点検結果を修繕順位にうまく活用できていないのが現状である。本研究では定期点検結果を用いて地震時に損傷する可能性がある順に橋梁を順位付けし地震リスクを考慮した補修優先度決定法を主成分分析を用いて提案する。

Key Words : bridge maintenance, inspection data, earthquake, risk, principal component analysis, priority

1. はじめに

日本全国の道路橋（橋長 20m 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被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。しかし点検結果は点検項目が多く、修繕順位の決定に生かしきれていない。

そこで本研究では定期点検データを用いて地震リスクをした補修優先度の決定を行う。本研究では石川県を対

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珪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。

2. 既往研究

これまでに橋梁の定期点検データを用いた研究は数多く行われている。大島ら¹⁾ はこれまで実施してきた物理的健全度評価を踏まえうえで耐震性に関連するアイテムを選定し、エキスパートにアンケートを行い、その結果を数量化理論により解析し、得られたそれぞれのアイテムに対する重み係数を考慮した耐震性健全度評価を提案している。貝戸ら^{2) 3)} 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⁴⁾はI県が昭和57年から63年度の間、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。

しかしこれらの研究では定期点検データを用いて、地震リスクを考慮した補修優先度決定法の分析を行っているものはない。

3. 使用データ

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。定期点検では、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橋のうち緯度経度・住所の情報が記載されている2086橋対象に行った。

(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。

	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	緊急輸送道路種別	架設年次(1)	上部工使用橋長			主桁健全度	床版健全度	下部工健全度	支承健全度
2	第1次緊急輸送道路	1974	その他		7	5	4	2	5
3	第1次緊急輸送道路	1973	PC橋		165.2	2	5	3	2
4	第1次緊急輸送道路	1974	その他		9.2	5	3	4	5
5	第1次緊急輸送道路	1974	その他		7.2	5	4	4	5
6	第1次緊急輸送道路	1974	その他		4.8	5	2	4	5
7	第1次緊急輸送道路	1974	その他		6.9	5	4	4	5
8	第1次緊急輸送道路	1992	その他		9.2	5	4	4	5
9	第1次緊急輸送道路	1973	その他		6.9	5	2	4	5
10	第1次緊急輸送道路	1974	その他		7.7	5	4	4	5
11	第1次緊急輸送道路	1973	その他		7.6	5	4	4	5
12	第1次緊急輸送道路	1974	その他		6.9	5	4	4	5
13	第1次緊急輸送道路	1974	その他		3.7	5	2	3	5
14	第1次緊急輸送道路	1974	その他		7.1	5	2	2	5

図-1 点検データ

(2) 地震確率データ

J-SHIS地震ハザードステーション⁵⁾の確率論的地震動予測地図を用いた。確率論的地震動予測地図とは、日本とその周辺で発生するすべての地震の位置、規模、確率に基づいて、地震動の強さ、期間、確率の関係情報を扱い、各地点がどの程度の確率でどの程度揺れるのかをまとめて計算し、その分布を地図に示したものである。このサイトでは様々な地震が想定されている中、今回は最大ケースで考え、50年に2%の確率で一定の揺れに見舞われる計測震度を対象にした。

4. 石川県の橋梁の基礎分析

今回対象とする橋梁は、供用年数が50年を超えるものが513橋、30年を超えるものは1443橋あることが図-2からわかる。

上部工の材料別橋梁割合としては、PC橋が624橋、RC橋が997橋、鋼橋が277橋であり図-3に示すようにコンクリート橋の割合が約78%、鋼橋の割合が約13%となっている。

橋長に関しては図-4からわかるように0～5mの橋梁が約30%、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。

緊急輸送道路に関しては図-5からわかるように第1次緊急輸送道路が約23%、第2次緊急輸送道路が約20%、第3次緊急輸送道路が約7%指定されていないものが約50%であった。

図-6は確率論的地震動予測地図と石川県の橋梁をGIS上で空間結合した結果である。石川県の橋梁は50年に2%の確率で震度5弱、震度5強、震度6弱、震度6強、震度7のいずれかの揺れに見舞われる。

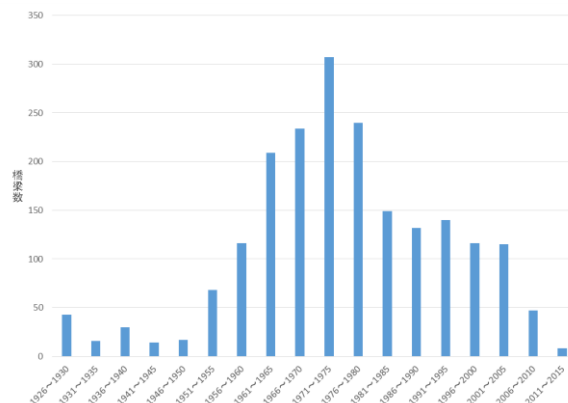


図-2 架設年次別橋梁数

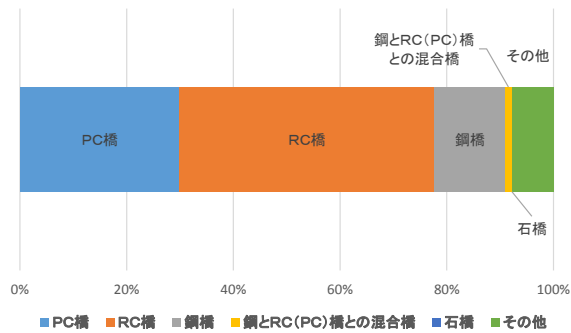


図-3 上部工材料別橋梁の割合

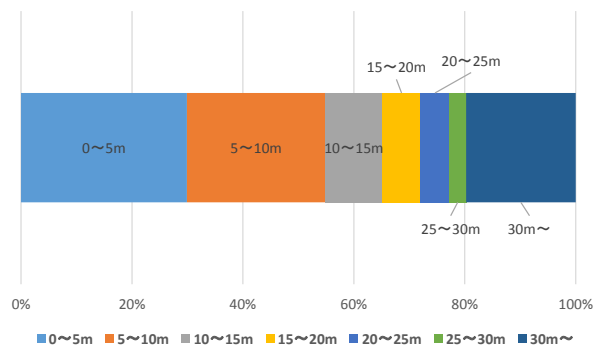


図-4 橋長別橋梁の割合

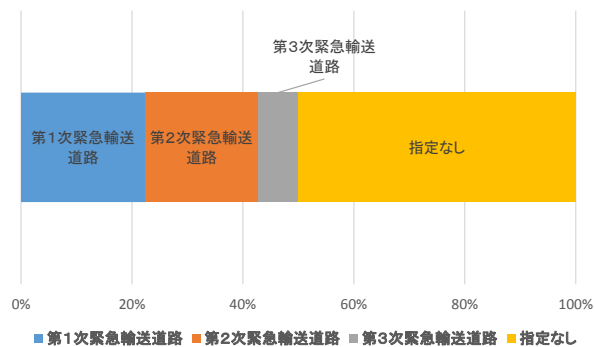


図-5 緊急輸送道路別橋梁の割合

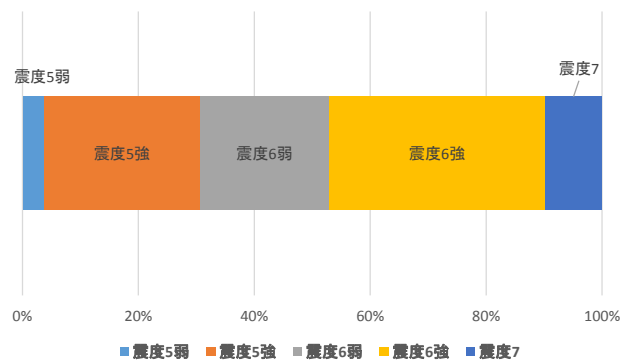


図-6 予測震度別橋梁の割合

5. 橋梁の地震時点検優先度に関する分析

(1) 主成分分析

地震リスクを考慮した補修優先度決定のために主成分分析を行い各橋梁の総合得点算出した。変数としては地震の影響を受けやすい既損傷のある可能性がある部位（主桁、支承、伸縮装置）の健全度と今後50年に2%で起こりうる計測震度を用いた。健全度は健全なものから1, 2, 3, 4, 5の5段階で評価されている。主桁、支承、伸縮装置の健全度の割合は図-7、図-8、図-9示す

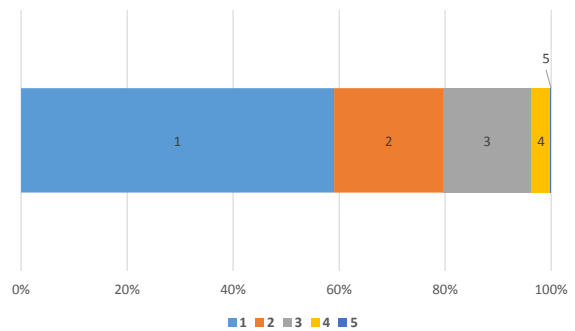


図-7 主桁健全度別橋梁の割合

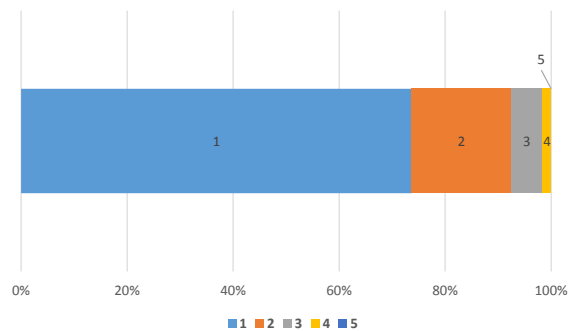


図-8 支承健全度別橋梁の割合

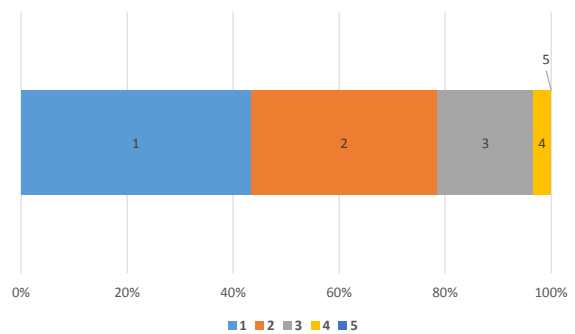


図-9 伸縮装置健全度別橋梁の割合

(2) 主成分分析の結果

固有値は第1主成分で1.691，第2主成分で1.003であり寄与率は第1主成分で42.28%，第2主成分で25.08であった．第1主成分がすべて正の値となっており第一主成分は総合得点であると言える．今回は第1主成分だけを取り扱い主成分負荷量で変数の重みづけを行い優先度を総合得点で与えた．主成分負荷量は図-10に示す．また優先度の分布と震度分布をGIS上に表したものを図-11に示す．メッシュは50年に2%の確率で一定の揺れに見舞われる計測震度を数値分類したもので赤色に近いほど予測される計測震度が高いことを表している．点のプロットは石川県の橋梁の位置情報であり大きさは主成分分析によって得られた総合得点の大きさが表されている．この図からわかるように震度が高い位置にある橋梁が優先度が高いというわけではなく既損傷のある橋梁かつ震度が高い橋梁が優先度が高くなっていることがわかる．

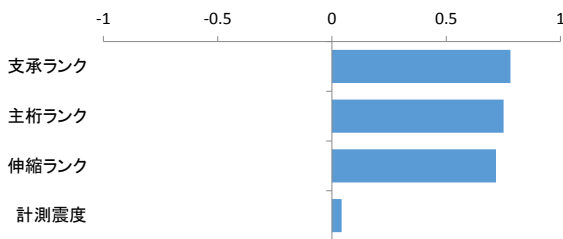


図-10 第1主成分負荷量

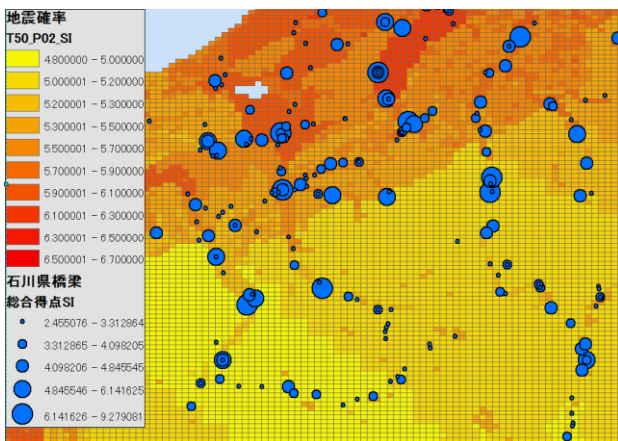


図-11 震度分布と優先度分布

6. まとめと今後の課題

今回は主成分分析を用いて地震リスクを考慮した補修優先度決定法の提案を行った．今回は変数としては地震の影響を受けやすい既損傷のある可能性がある部位⁹（主桁，支承，伸縮装置）の健全度と今後50年に2%で起こりうる計測震度しか用いておらず，橋梁の重要度（交通量，道路種別），耐震性などは考慮されていない．今後このような変数も含めた分析を行っていく．

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) J-SHIS 地震ハザードステーション
- 6) 橋梁点検ハンドブック-国土交通省北陸整備局 pp40-43

(2015.9.11 受付)