

地理情報システムを用いた北海道道路橋の劣化進行の分析

Analysis on deterioration progress of road bridges in Hokkaido using GIS

北海道大学大学院工学院 ○学生員 東河 竜平 (Ryuhei Sokugawa)
北海道大学大学院工学研究院 フェロー 横田 弘 (Hiroshi Yokota)

1. はじめに

日本全国には多くの橋梁が存在しているが、それらの中には高度経済成長期に建設されたものが多い。一般的に橋梁の寿命とされている 50 年を経過し、様々な劣化により不具合が生じる橋梁の割合も今後増えていくことが予想される。それに伴い橋梁の維持管理に必要な費用、人員の増加も見込まれる。そのため橋梁の効率的かつ適切な維持管理は今後より重要になってくる。このような状況は北海道も例外ではない。北海道の橋梁定期点検では、道路橋の各部材における損傷状況の把握と対策区分の判定を行い、その結果を踏まえて、部材単位、橋梁単位の健全性診断を行っている。より効率的かつ適切に維持・補修計画を立案するためには、蓄積された橋梁点検データを分析して効果的に活用することが有効である。一方で、北海道のような積雪寒冷地における橋梁は、飛来塩分や凍結防止剤による塩害、交通車両による疲労、凍結融解作用による凍害などの複合的な劣化作用を受けるため、橋梁の健全度および劣化速度については地域的な特徴が存在する可能性がある。

そこで本研究では、北海道開発局が管理する北海道内の国道に設置されている橋梁の点検データを用いて、点検結果から劣化速度を算出した。そして地理情報システム (GIS) を用いて、地理条件や環境条件が健全性に及ぼす影響について既往の研究¹⁾で得られたデータにさらなる地理・環境データを加え発展させ橋梁に劣化をもたらす要因ごとに考察を行った。

2. 分析データおよび手法について

2.1 橋梁点検データ

「道路橋定期点検要領」に基づいて得られた平成 26 年度から 29 年度までの北海道の国道に設置された橋長 2m 以上の道路橋 3386 橋の点検データを用いた。橋梁点検データに記載されている健全性の判定区分を表-1 に示す。

表-1 健全性の判定区分

区分		定義
I	健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路橋の機能に支障が生じていないが、予防保全観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている。又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

また、道路橋の健全性の判定区分と相対的な時間変化を把握するため、健全性と供用年数から、各橋梁の劣化速度を次のように算出した。ある点検時点 t における数

値化した健全性の区分を r (健全性 I, II, III, IV をそれぞれ 1, 2, 3, 4 に数値化)、次の点検時点 t' における区分を r' とし、式(1)から劣化速度 v を算出する。また、各橋梁に対して 1 回分の点検結果しか得られなかったため、 r' を点検時の区分、 r を架設当時の健全性である 1 に、分母に供用年数を用いて劣化速度を算出した。

$$v = \frac{r' - r}{t' - t} \quad (1)$$

2.2 地理空間情報データ

GIS は、地物に空間上の特定の地点や区域などを示す位置情報が付加された地理空間情報をコンピュータ上でデータベース化し、それを検索・分析・表示できるようにしたシステムである。

本研究では、地理空間情報として、国土形成計画、国土利用計画などの国土計画の策定や推進の支援のために国土に関する様々な情報を整備、数値化した「国土数値情報」、環境省作成の環境アセスメントおよび自然環境保全施策立案のための重要な基礎情報として位置づけられている「植生調査データ」、国土交通省 国土地理院が提供する「地理院マップシート」を用いた。これらのデータから橋梁点検データには記載されていない地理空間情報として、各橋梁における標高、海岸距離、平均年降水量、周辺土地被覆、平均気温を GIS におけるベクタ解析ツールおよびラスタ解析ツールを用いて求めた。

2.3 交通量データ

全国道路・街路交通情勢調査の一環として、全国の道路の交通量および道路現況等を調査した。道路の計画、建設、維持修繕その他の管理などについての基礎資料を得ることを目的に実施した一般交通量調査により得られた 24 時間交通量および 24 時間大型車交通量から各橋梁における交通量を求めた。

3 要因毎の影響についての考察

3.1 飛来塩分による影響

海岸線近くに位置する橋梁においては、表面に付着した飛来塩分がコンクリート内に浸透し、内部の鋼材が腐食することでコンクリートがひび割れ・剥離が生じる塩害、そして鋼橋においての飛来塩分等による腐食が代表的な劣化の形態の一つとなる。本研究では、飛来塩分の影響を海岸線からの距離および橋梁周辺の土地環境により考察した。

各領域における健全性の区分の割合を図-1 に示す。どの領域においても区分 I の割合が高く、区分 II と III を比

較すると海岸線から 1 km までの領域では区分Ⅲの方が、1.5 km 以上の領域では区分Ⅱの方が高い。つまり、区分Ⅲの割合に着目すると、海岸線に近いほど高くなる傾向が見られる。この結果から、区分Ⅲと判定された橋梁では飛来塩分の影響を受けていることが想定され、劣化の進行に地理的要因が関係している可能性が高いことがわかった。

土地環境については、まず植生調査データより植生を 12 種類に分類した。分類表を表-2 に示す。12 種類の分類項目は樹木・都市部といった遮蔽物が有る場合は 1 点、灌木・草原のように遮蔽物の無い場合は 0 点と数値化した。その後橋梁周辺半径 100 m の範囲のこれら平均値を GIS を用いて集計した。

沿岸部における集計の結果を図-2 に示す。まず海岸から 500m 以内の橋梁では、区分Ⅰが 0.523 点、区分Ⅱが 0.501 点、区分Ⅲが 0.491 点となり、健全性の区分が高いほど、土地被覆評価点が低い傾向となった。同様に海岸から 1000 m 以内の橋梁についても、区分Ⅰが 0.541 点、区分Ⅱが 0.524 点、区分Ⅲが 0.511 点と同様の傾向を示した。これは、橋梁周辺の遮蔽物の割合が少なくなるほど、健全性が低下する傾向にあることを示しており、沿岸部にある橋梁においては、周辺環境が橋梁に付着する飛来塩分量に影響する可能性があると考えられる。

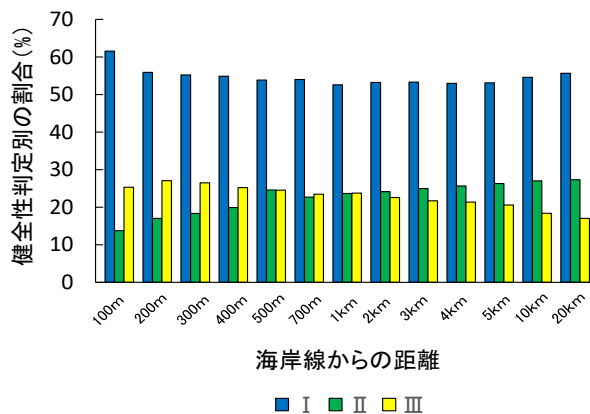


図-1 沿岸部の各領域における健全性判定区分の割合

表-2 土地被覆分類表

1 点	常緑針葉樹, 落葉広葉樹, 落葉針葉樹, 都市部
0 点	草原, 耕地, 裸地, 湿地, 水田, 灌木, ゴルフ場, 分類なし

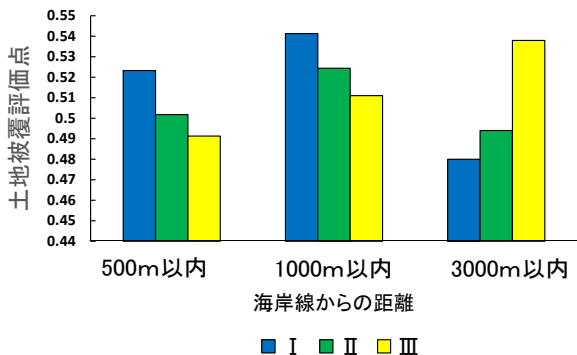


図-2 沿岸部における橋梁の土地被覆評価点

3.2 交通量による影響

自動車交通等による外力の繰り返しにより構造物に損傷が累積され、コンクリート橋ではひび割れ、鋼橋では亀裂として現れる疲労損傷は橋梁の主たる損傷となっている。疲労損傷の原因として考えられる自動車荷重を考慮するため、本研究では 24 時間交通量と 24 時間大型車交通量の 2 つの指標を用いた。

24 時間交通量と健全性判定区分の関係を図-3 に示す。まず 24 時間交通量について全ての橋梁でみると、区分Ⅰが 5486 台、区分Ⅱが 6516 台、区分Ⅲが 7927 台と交通量が多くなるほど健全性が低下する傾向が見られる。次に材料の違いでは、鋼橋では区分Ⅰが 5518 台、区分Ⅱが 6595 台、区分Ⅲでは 8927 台と交通量が多くなるほど健全性が低下するという傾向が顕著に見られる。特に区分Ⅲの鋼橋は主要道路や都市部に多く存在し、自動車荷重による疲労が健全度に与える影響が大きいと考えられる。しかし、PC 橋、RC 橋では区分Ⅱと判定された橋梁において最も交通量が多い。これは、PC 橋、RC 橋では交通量の影響以上に大きい影響を与える他の要因があると考えられる。24 時間大型車交通量についても 24 時間交通量と同じ傾向が見られた。

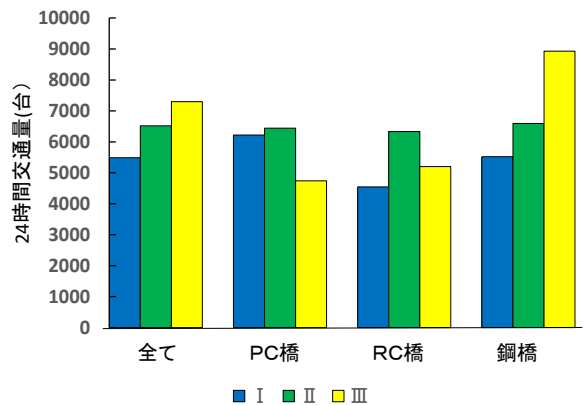


図-3 24 時間交通量と健全性判定区分の関係

3.3 降水量による影響

降水量が多いほど付着塩分量は減少する傾向にあるということが知られている²⁾。これは、雨風により表面に付着した塩分が洗い流されることや、飛来塩分自体が減少するためであると考えられている。一方、降雨などによる高湿度環境下のコンクリートでは、アルカリ骨材反応の原因であるゲルの吸水・膨張を促進させることが知られている。北海道でも近年アルカリ骨材反応を伴う複合劣化による橋梁の損傷事例が報告されている³⁾。

1980～2010 年の 30 年間の年平均降水量と健全性判定区分の関係を図-4 に示す。区分別では、区分Ⅰで 1152mm、区分Ⅱで 1130mm、区分Ⅲで 1184mm と、区分Ⅲは降水量の多い場所で多く見られる。橋梁の種別毎の健全度判定区分で整理した場合でも同様の傾向が見られたが、劣化速度との相関は大きくない。

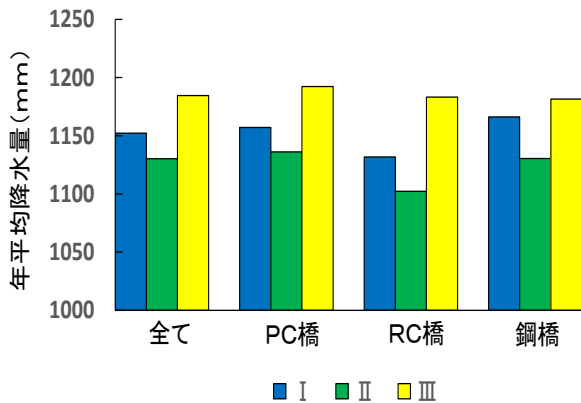


図-4 年平均降水量と健全性判定区分の関係

3.4 気温による影響

北海道における代表的な橋梁の劣化機構として凍害がある。凍害に影響する代表的な環境因子として、冬期に凍結し日射の影響で融解を繰り返す凍結融解回数や最低気温が考えられる。また、ゴムでできている支承は温度が高いほど材料劣化が進むことが知られている。本研究では年間を通しての温度変化を考慮するため、1980～2010年の30年間の8月の平均最高気温、2月の平均最低気温、年平均全天日射量のデータを用いた。まず2月の平均最低気温について見ると、区分Ⅰが -11.64°C 、区分Ⅱが -11.85°C 、区分Ⅲが -9.99°C となり、区分Ⅲにおいて最低気温が一番高くなっている。また最低気温をT1($-19.7\sim-15.7^{\circ}\text{C}$)、T2($15.7\sim-12.3^{\circ}\text{C}$)、T3($-12.3\sim-8.9^{\circ}\text{C}$)、T4($-8.9\sim-5.5^{\circ}\text{C}$)、T5($-5.5\sim-2.2^{\circ}\text{C}$)と5つに分類したときの平均劣化速度を図-5に示す。最低気温が一番低いT1および、最低気温が一番高いT5において平均劣化速度が速くなっている。これらより、T1は最低気温が低く、コンクリートは冷却最低温度が低いほどより小さな細孔径まで凍結可能であり⁴⁾、その影響を受けたためと考えられる。また、最低気温が高い場合は凍結融解回数が多くなり、健全度に影響した可能性が考えられる。健全性と8月の平均最高気温および年平均全天日射量との大きな相関は見られない。

3.5 標高による影響

高い標高に位置する橋梁は標高が低い地域に比べ積雪や降水、低気温など橋梁の健全性に影響すると考えられる要因が数多く存在する。本研究では、標高の分類としては、100m未満を平地部とし、50mを閾値としてP1、P2に分類し、100m以上を山間部として100mごとにM1、M2、M3、M4、M5、そして600m以上をM6に分類した。各標高分類における健全性の判定区分の割合を算出した結果を図-6に示す。標高50m未満の地域は沿岸部に属する橋梁も含むため、P1を除外しP2、M2～M6に着目すると、標高が高くなるほど、判定Ⅲの割合が上昇する傾向にある。したがって、山間部において標高200m以上の地域ではより健全性が低下する傾向にあると考えられる。

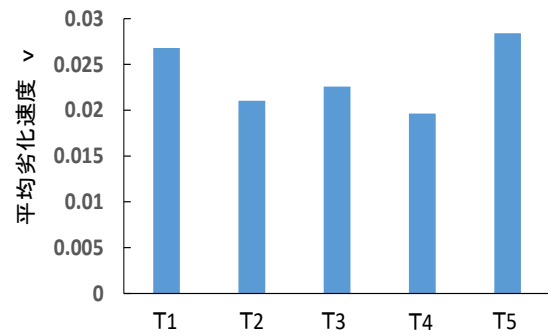


図-5 2月平均最低気温と劣化速度の関係

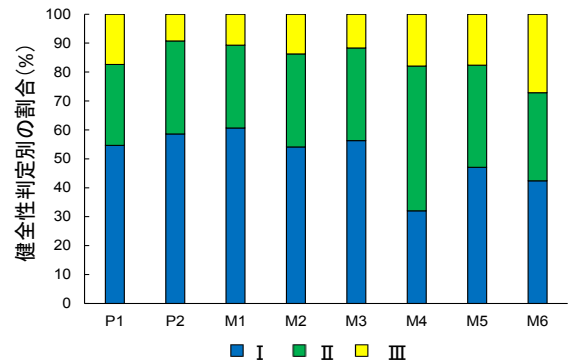


図-6 標高分類ごとの健全性判定区分の割合

4. おわりに

本論文ではGISを用いて様々な地理条件や環境条件が橋梁の健全性や劣化速度に及ぼす影響を調べ、その傾向を分析した。GIS上に気象データや植生調査データを表示し、当該橋梁をそれぞれプロットし解析を行うことで、地理条件・環境条件がおよぼす傾向を要因毎に把握することができた。今後は、今回の研究で調べた地理的要因や環境要因がどの程度橋梁の劣化に影響するのかを総合的に判断するため、数量化理論Ⅰ類を用いて、各要因が劣化速度に与える影響の程度についての考察を統計的に行う予定である。

参考文献

- 1) 川内谷純, 横田弘: 地理情報システムを用いた北海道道路橋の健全度の傾向分析, 平成30年度土木学会北海道支部論文報告集, 75, 2019
- 2) 後藤悟史, 麻生稔彦, 宮本文穂: 既存耐候性橋梁の付着塩分量とさび厚に関する相関分析, <http://www.ubemachinery.co.jp/research/gijutu/bridge/05.pdf>
- 3) 角間恒, 佐藤孝司, 渡邊晋也, 谷倉泉: 凍害・ASRによる複合劣化が生じたRC床版の調査事例, 第9回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2016
- 4) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所: 凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書, 2017
- 5) 南孝弘, 藤生慎, 中山昌一郎, 高山純一, 近田康夫: 環境要因が健全度に与える影響の分析, 土木学会論文集D3, Vol.172, No.5, pp.251-260, 2016
- 6) 朝日孝輔: 改定新版 統計・防災・環境情報が一目でわかる地図の作り方, 技術評論社, 2018