

複合劣化進行に関する検討

中央大学大学院 学生会員 ○川又 裕夢
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年、構造物の劣化が原因とされる問題が顕在化し(図-1)、維持管理が重要であるという認識は広がっている。そのため我が国では、構造物の劣化現象について単一の場合に関する検討は多く為され、結果各劣化に関する理解は深まりつつあるといえる。しかし、単一の劣化機構だけでは解明できない劣化事象が実環境では発生している。北海道・東北・北陸といった積雪寒冷地では凍害のみの単独劣化だけではなく、凍害と塩害による複合劣化が生じている。塩害の原因には、沿岸部における飛来塩分とスパイクタイヤ禁止により散布された凍結防止剤が挙げられる。またそれに加え交通量が多くなることで、疲労の発生だけでなく散布された塩化物の浸透の促進にも繋がる。このようにして、構造物は単一の場合に比べ早期に劣化することが予想される。

現在、複合劣化に関する検討事例は多くはなく、また近い将来訪れる大量更新や大規模災害の面から、耐久性や性能評価を行うために劣化の進行を把握することは喫緊の課題であるといえる。そこで本研究では、積雪寒冷地における道路橋において劣化指標を用いることで複合劣化の進行把握および、劣化の進行に影響を与える因子に関する検討を行うことを目的とする。

2. 評価内容

本研究では劣化の進行について、目視評価と健全度から評価を行うこととする。目視評価については川村ら²⁾が示す基準(図-2)を用いることとし、また対象地域についても同様の範囲とする(図-3)。目視評価と健全度の評価は凍害危険度毎に分類し、段階毎に算出した平均値をグラフ化することで統計的に傾向把握を行う。グラフ化するにあたり初期値として、経過年数0年の時の劣化指標は0とする。また、結果について気候や交通量などの面から評価を行う。

2. 1 目視評価

目視評価の結果については、寒地土木研究所の遠藤より提供されたデータを基に評価を行う。提供データには、累積散布塩化物イオン量、凍害危険度、目視評価、相対動弾性係数が記載されており、これらの項目と経過年数から劣化の進行の把握を行う。しかし、提供データには橋名は道路管理者の意向より伏せられているため凍害危険度毎の比較を行うこととする。

2. 2 健全度

健全度データは、北海道開発局の点検データを用いることとし、対策区分で用いられていた判定区分を健全性の診断で用いられている4段階区分に変換して評価を行う(図-4)。しかし、点検が行われていない橋梁もあり、その場合は0とする。

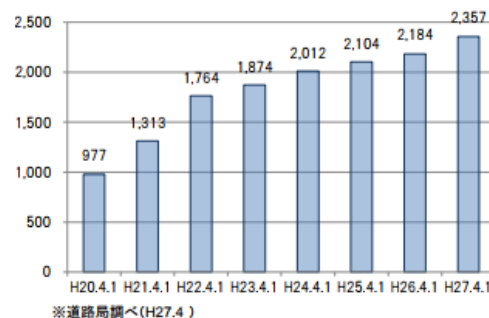


図-1 地方公共団体管理橋梁の通行規制等の推移(2m以上)¹⁾

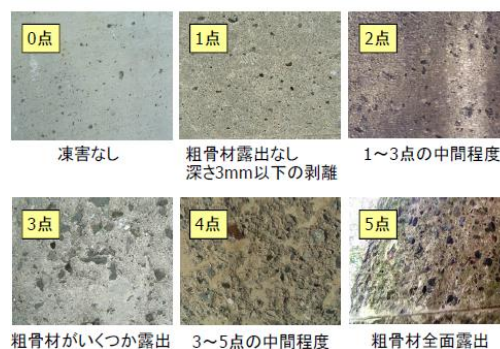


図-2 目視評価の基準²⁾



図-3 凍害危険度マップと対象路線²⁾

A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない	⇒	I
B	状況に応じて補修を行う必要がある		
M	維持工事で対応する必要がある	⇒	II
S	詳細調査の必要がある		
C	速やかに補修等を行う必要がある	⇒	III
E	緊急対応の必要がある	⇒	IV

図-4 区分変換

キーワード 複合劣化, 劣化指標, 推移評価

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL.03-3817-1711

3. 検討結果

3.1 目視評価

目視評価を用いた評価結果を図-5に示す。この結果から凍害危険度が上がるにつれ劣化の開始時期が早まることが確認できる。しかし、劣化の進行速度は凍害危険度の増加に比例するわけではないことが分かる。続いて、凍結防止剤散布量について中央値を基準に分類した評価結果を図-6に示す。この結果では凍結防止剤散布量が多い方において劣化が早期に現れることが分かる。しかし、劣化の進行速度には影響が見られない。また劣化の開始時期についてすべての凍害危険度において差が生じていないことも確認できる。以上の結果から、劣化の開始時期については凍結防止剤の影響が考えられるが、劣化の進行速度については上述以外の要因の影響についても考える必要がある。それに加え、塩害と凍害それぞれの劣化機構から考察を行う必要がある。

3.2 健全度

健全度を用いた評価結果を図-7に示す。この結果から、凍害危険度が上がるにつれ劣化の開始が遅くなっていることが確認できる。それとは逆に、劣化の進行速度は凍害危険度の増加に比例して速くなっている。劣化の開始時期については目視評価とは反対の結果となった。この結果についても同様に塩害と凍害それぞれの劣化機構から考察を行う必要がある。また図-7を国道別に分類した結果を図-8に示す。その結果、一部突出した結果が生じたものの基本的には類似した傾向であることが分かる。

3.3 交通量比較

国道毎に交通量の比較を行った結果を図-9に示す。この結果から、交通量が多いのは国道230号、38号、453号であることが分かる。この結果を図-7に当てはめてみると、国道230号ではほかとは異なる傾向を示しているが、国道38号、453号においては劣化の進行カーブの曲率が同凍害危険度の他の地域に比べ大きくなっていることが確認できる。交通量が影響を与えるのは劣化開始時ではなく劣化がある程度進行した段階であると考えられる。これは路面に生じた劣化から塩化物イオンが侵入するからである。そして、これはカーブの曲率から確認することができた。しかし、全体の劣化推移では交通量との関係を確認することができなかった。

3.4 気候

北海道の気候を地形や海流を基に大まかに分類すると、太平洋側西部・日本海側・内陸部・太平洋側東部・オホーツク海側の5つに分けられる³⁾。それぞれの気候の特徴について

・太平洋側西部

渡島半島南部から胆振・日高地方にかけて暖流の影響により温暖な地域であり、冬季の雪が少ない

・日本海側

檜山・後志・石狩・留萌・宗谷地方の沿岸部は暖流の影響により比較的温暖であるが、冬季は風雪が強まる

・内陸部

山地に囲まれており、夏季と冬季の寒暖差がにほんでもっとも大きい

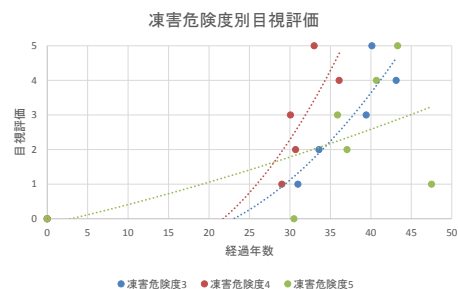


図-5 目視評価による劣化推移

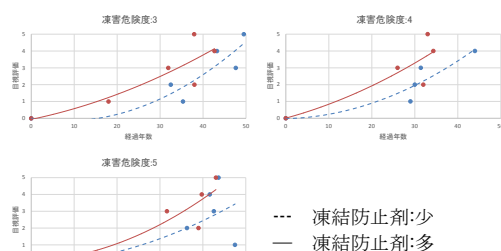


図-6 凍結防止剤散布量別劣化推移

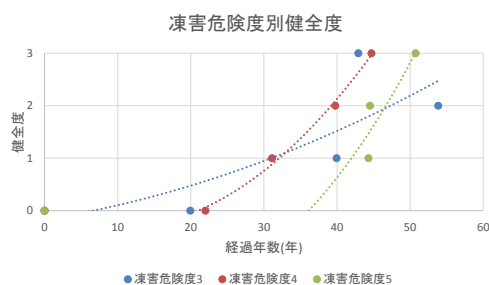


図-7 健全度による劣化推移

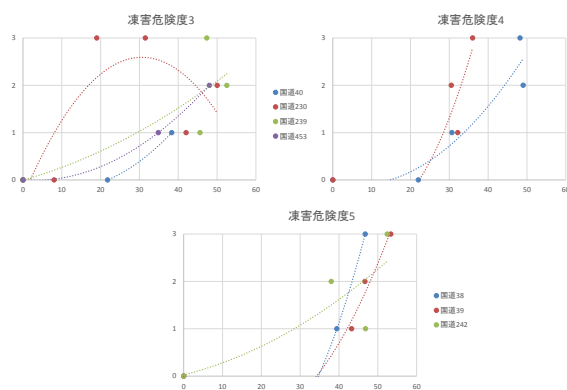


図-8 対象地域における国道別劣化推移

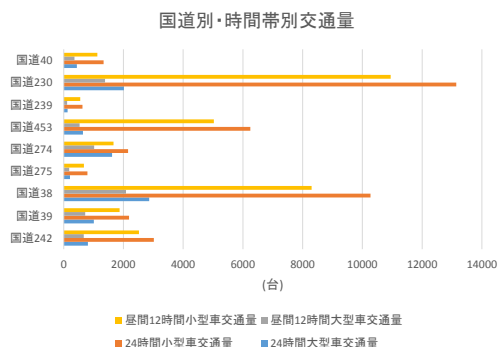


図-9 交通量の比較

・太平洋側東部

十勝から釧路・根室地方において、内陸部を除き霧の影響により気温が上がり難く、また冬季は雪が少なく、晴れの日が多いが厳しい寒さが続く

・オホーツク海側

夏季、冬季ともに乾燥した季節風の影響により一年を通して降水量が少ない地域であるが冬季は厳しい冷え込みが続く
となっている。

本研究の対象地域においては、太平洋側西部には国道 453 号の一部、日本海側には国道 40 号・230 号・239 号・453 号の一部、内陸部には国道 274 号、275 号・39 号・38 号の一部、太平洋側東部には国道 38 号の一部、オホーツク海側には国道 242 号が該当すると考えられる。上述の内容を踏まえ、これらの地域において月合計降水量と月最深積雪量の平年値を凍害危険度毎に算出した結果を図-10 に示す。全体の傾向として、凍害危険度 3 の地域と 4 の地域では降水量に差が生じているが最深積雪にはあまり差が見られない。そして目視評価の結果において、凍害危険度 3 と 4 では劣化開始時期に差は見られなかった。また、凍害危険度 5 の地域は他の地域に比べ降水量が少なく最深積雪は低いことが確認できる。これについては、凍害危険度 5 の地域における劣化の開始時期が他の地域に比べ遅くなるのではないかと考えられ、健全度の劣化推移ではそのような結果となっている。しかし、上述の通り同じ凍害危険度において様々な気候が含まれていることから、より詳細に検討する必要がある。

4. 考察

4. 1 劣化機構

まず始めに、塩害と凍害の劣化の進行の面から考察を行う。塩害と凍害についてはどちらもメカニズムの把握はできている。しかし、劣化の進展については、環境条件や使用条件の問題も合わさり信頼性がとれていないのが現状である。つまり、塩害と凍害の劣化の進展について、どちらが早期に表れるか、どちらの劣化進行速度が速いかについては完全に把握できていないということである。以上の理由から、両劣化の進行から目視評価の結果と健全度の結果を比較することは困難である。

4. 2 地域的特徴

続いて地域の特徴から考察を行っていく。凍害危険度 3 の地域は海に近い地域を対象としていること、そして日本海側であることから飛来塩分の影響を受けやすいと考えられる。飛来塩分の影響を見るために図-11 に示す凍害危険度 0 の地域において健全度を用いて劣化推移を比較したところ図-12 の結果が得られた。この結果から飛来塩分の影響によって劣化の開始時期が早まることが読み取れる。つまり凍害危険度 3 の地域では劣化の開始が早まることが予想される。そして図-7 では同様の傾向が確認できる。また、飛来塩分の影響は凍害のような季節が限られているものではなく一年を通して受けるものであることから劣化開始の早期化が起これと考えられる。

4. 3 凍結防止剤

最後に、凍結防止剤について考察を行う。凍結防止剤の散布には散布要領があり、それは地域によって異

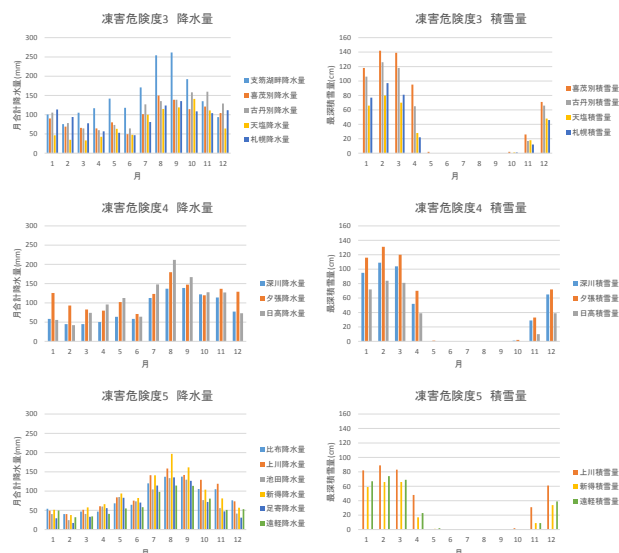


図-10 月合計降水量(左)、最深積雪量(右)の月変化 (1988 年～2017 年の平年値)

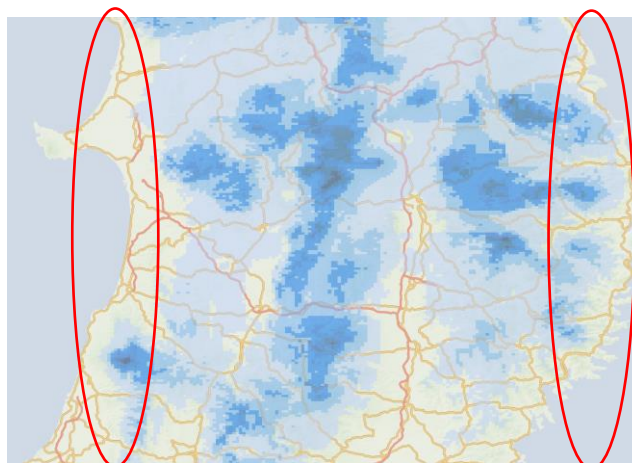


図-11 凍害危険度マップ

日本海側・太平洋側の劣化推移

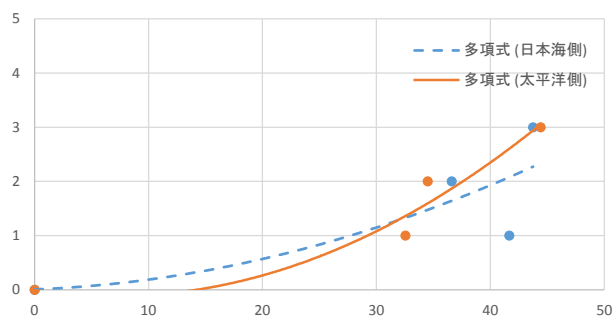


図-12 飛来塩分の影響評価

なる基準を設定している。その一例を表-1 に示す。こちらから分かるように、条件次第では凍結防止剤の散布を実施しない場合がある。そして今回の対象地域である北海道では主に-8℃以下での凍結防止剤の散布に関する規定はないことが分かる。以上を踏まえ凍害危険度と凍結防止剤の関係について考えていく。凍害危険度は長谷川、そして成田らによって提案された以下の手法により算出される。⁵⁾⁶⁾

$$V_F = \{[(FT + F \times u) \times t] + I\} \times c$$

VF:凍害危険値
FT:外気温上の凍結融解日数
F:外気温上の凍結日数
u:日射による融解率
t:氷点下の温度差による重み係数
 $\sum\{ (FT+F \times u) \times t \}$:氷点下の温度差による凍害温度の積算値
I:凍結日の最低気温を考慮した算出上の補正値
c:湿潤程度による凍害軽減係数
この式より凍害危険度は凍結融解の繰り返し回数だけでなく凍害温度や最低気温の影響も受けることが分かる。つまり凍害危険度が高い地域は冬季の気温が低いことが窺える。以上から凍結防止剤の散布量は凍害危険度の増加に反比例して減少すると考えられる。そのため、凍害危険度3の地域の劣化では凍結防止剤が支配的であり、凍害危険度5の地域では凍害が支配的であると考えられる。これは、国土数値情報のデータと表-1を下に作成した凍害危険度マップ(図-13)と凍結防止剤散布頻度マップ(図-14)から分かる。

5. まとめ

本研究では、劣化指標である目視評価と健全度の2つの指標と劣化の進展に影響を与えと考えられる様々な要因との関連性の評価を行った。その結果、劣化度の推移については逆の結果となった。この結果について、交通量と気候の面から評価を行ったところ、交通量では全体的には傾向を確認することができなかったが、部分的に見ることができた健全度では傾向を確認することができた。次に気候については凍害危険度3と4の地域では目視評価、凍害危険度5の地域では健全度でそれぞれ傾向を確認することができた。そして考察の結果

- ・劣化機構からは現段階では目視評価と健全度の比較は困難である
- ・凍害危険度3の地域は一年を通して飛来塩分と凍結防止剤の影響を受けることから劣化開始の早期化が生じる
- ・凍害危険度5の地域の劣化要因においては、凍害が支配的である

と考えられる。以上の結果・考察から劣化の進展を把握することが今後必要であると分かった。

今後の課題として、劣化の進展の把握及び今回目視評価と健全度のデータでは与えられている項目が一致していなかったことから調査項目の一致が挙げられる。また、相対動弾性係数や凍害深さ、水セメント比、空気量といった凍害に影響を及ぼす要因についても検討を行う必要がある。

参考文献

1) 国土交通省 老朽化対策の取組み
2) 川村 浩二, 遠藤 裕丈, 島多 昭典: マルコフ連鎖モデルを用いた道路橋橋台における凍害の現状把握, 第59回北海道開発技術研究発表会, 2015
3) 北海道の気候変化(第2版) 序章
4) 木村恵子, 曾根真理, 並河良治, 桑原正明, 角湯克典: 凍結防止剤と沿道環境, 国土技術政策総合研究所資料, pp.32, 2007

表-1 国内での凍結防止剤(NaCl)の散布要領⁴⁾

北海道開発局	路面状態	-8℃程度以上	-8℃程度以下
	圧雪		すべり止め材 (砂・砕石: 150~350g/m ²)
	薄い圧雪 氷板	凍結防止剤 (湿式散布: 30g/m ²)	
	氷膜 (凍結予防)	凍結防止剤 (湿式散布: 15g/m ²) (溶液散布: 50g/m ²)	

東北地方整備局	目的 気温	凍結防止(g/m ²) (事前散布)	凍結融解(g/m ²) (事後散布)
	-4℃以上	20	20
	-4℃~-8℃	—	30
	-8℃以下	—	基本的に散布しない

北陸地方整備局	目的 気温	凍結防止(g/m ²) (事前散布)	凍結融解(g/m ²) (事後散布)
	-4℃以上	20	40
	-4℃~-8℃	30	40
	-8℃以下	40	40

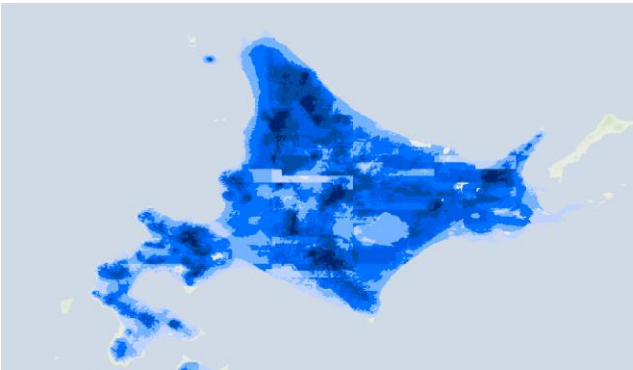


図-13 凍害危険度マップ

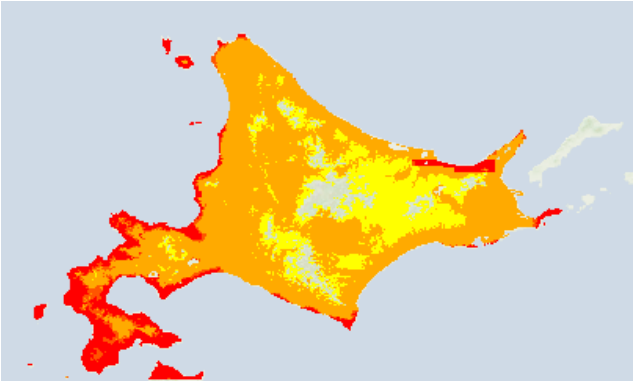


図-14 凍結防止剤散布頻度マップ

5) 長谷川寿夫: コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案, セメント技術年報 XXIX, pp.248-253, 1975
6) 成田 健, 小山慎一郎, 三橋博三: 実構造物群の調査結果に基づく凍害損傷リスクマップの作成に関する研究, コンクリート工学論文集 第19巻第1号, 2008