

高速道路管理用気温データと橋梁下部工コンクリート損傷結果による塩害と凍害の劣化予測

東日本高速道路(株) 正会員 鈴木 貴洋
 (株)ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 曾田 信雄
 (株)ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 羽柴 俊明
 弘前大学大学院 正会員 上原子 晶久

1. はじめに

東北地方における積雪寒冷環境下的高速道路では、凍結防止剤を含んだ伸縮装置等からの路面水の漏水による塩害に加え、凍害による複合作用の影響で、桁端部や下部工等のコンクリート構造物の劣化がより進行している。そのため、合理的な補修箇所選定と計画的補修による予防保全の観点から、塩害と凍害の複合劣化に係る現況把握と性能低下の予測は、今後のコンクリート構造物の維持管理において重要な課題である。

そこで、平成 20~26 年度の各 10 月~4 月の 7 冬期間の高速道路管理用気温データと供用後 31~38 年(調査時)の高速道路橋梁の下部工コンクリートの損傷調査結果を用いて、塩害と凍害に関する劣化予測を行った。

2. 凍害による劣化外力の評価方法

凍害劣化の予測手法は各種検討されているが¹⁾、本稿では気象観測所や橋梁の水セメント比 W/C 、最低コンクリート温度 θ 、凍結速度 V を考慮した基準化凍結融解サイクル法²⁾を適用し、次式による累積基準化凍結融解サイクル数で評価することとした。

$$N^\theta = 10^{\{(0.14 \ln(C/W) + 0.04)\theta + 3.15 \ln(C/W) + 1.43\}} \quad (1)$$

$$N^V = 529.53V^{-0.6063} \quad (2)$$

$$\varphi_{ij}^\theta = N_{st}^\theta([C/W]_{st}, [\theta]_{st}) / N_{ij}^\theta([C/W]_{ij}, [\theta]_{ij}) \quad (3)$$

$$\varphi_{ij}^V = N_{st}^V([V]_{st}) / N_{ij}^V([V]_{ij}) \quad (4)$$

$$N'_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}^\theta \varphi_{ij}^V \quad (5)$$

ここで、 N^θ ： θ と C/W による破壊サイクル数、 N^V ： V による破壊サイクル数、 φ_{ij}^θ ： θ と C/W に関する重み係数、 φ_{ij}^V ： V に関する重み係数、添字 st ：基準条件、添字 ij ：供用 i 年目における j 番目の凍結融解サイクル、 N'_n ：供用 n 年目までの累積基準化凍結融解サイクル数である。

N'_n の算出に用いる凍結融解サイクルは、図-1 に示す損傷調査橋梁直近の A~H の 8 気象観測所の毎時の時系列気温データに基づいて求めた。ここで、高速道路管理用気温データは外気温 T であるため次式から

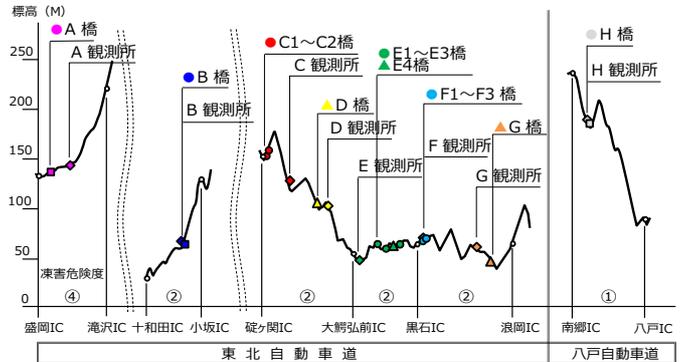


図-1 調査位置と凍害危険度³⁾

コンクリート温度を推定¹⁾し、 θ と V を算出した。

$$\text{最高気温の場合：} \theta_1 = 1.2812T + 0.2388 \quad (6)$$

$$\text{最低気温の場合：} \theta_2 = \theta = 0.9597T - 0.8749 \quad (7)$$

$$V = (\theta_1 - \theta_2) / \Delta t, \Delta t: \theta_1 \text{ と } \theta_2 \text{ の時間間隔} \quad (8)$$

1 回の凍結融解サイクル条件は推定コンクリート温度を対象に、凍結： -2°C 以下、融解： 0°C 以上とした。また、基準条件は“JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験”の凍結融解温度条件から $\theta = -18^\circ\text{C}$ 、 $V = 11^\circ\text{C/hr}$ とし、 $W/C = 55\%$ とした。なお、本稿では 7 冬期間の各基準化凍結融解サイクルの平均値が、供用年数の間、毎年生じたものと仮定して N'_n を算出した。

3. 既設下部工コンクリートの損傷調査

調査は東北自動車、八戸自動車道において、外見上凍害の損傷が見受けられる 13 橋 14 橋台で行った(図-1)。凍害の指標として、部材表面の剥離度および部材内部の相対動弾性係数を算出した^{4),5),6)}。動弾性係数は、下部工から採取したコンクリートコアを 40°C で 7 日間乾燥させた後の超音波伝播速度から算出した⁵⁾。また、相対動弾性係数の基準動弾性係数として、コンクリートコアごとに最も大きな値を用いた⁴⁾。塩害の指標として、塩化物イオン量と Fick の拡散方程式による見掛けの拡散係数を算出した。塩化物イオン量は、コンクリートコア採取箇所直近で深さ 20mm ごとにドリル法で粉末を採取し、蛍光 X 線分析により測定した。また、見掛けの拡散係数はその深さ分布から算出した。

キーワード コンクリート, 塩害, 凍害, 基準化凍結融解サイクル, 劣化予測, 高速道路

連絡先 〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央 3-2-1 東日本高速道路(株)東北支社 TEL 022-217-1746

表-1 凍害による劣化外力の算出結果

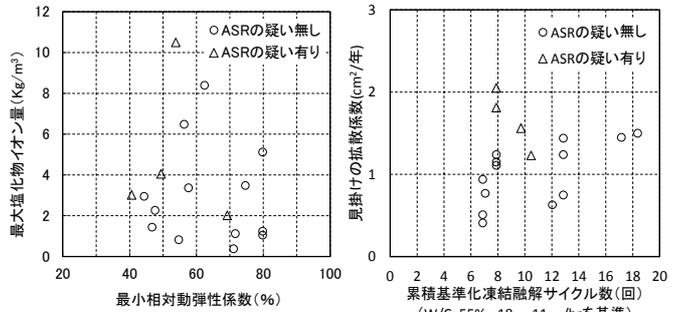
観測所	橋梁	供用年数 (調査時点)	W/C	凍害 危険度	平成20~26年度 外気温データから算出				累積基準化凍結融解サイクル数 (供用年数分)
					最低 コンクリート温度	最大 凍結速度	平均凍結 融解回数	平均基準化凍結 融解サイクル数	
A	A橋	38	53.8%	4	-14.8	2.50	74	0.4513	17.15
B	B橋	31	53.7%	2	-15.3	4.00	69	0.3880	12.03
C	C1~C2橋	36	54.6%	2	-15.1	1.65	65	0.3568	12.84
D	D橋	36	53.3%	2	-14.9	2.05	65	0.2906	10.46
E	E1~E4橋	37	55.0%	2	-12.5	3.90	53	0.2127	7.87
F	F1~F3橋	38	55.0%	2	-11.1	3.50	52	0.1854	7.05
G	G橋	37	54.3%	2	-12.8	4.20	59	0.2624	9.71
H	H橋	31	54.7%	1	-15.7	7.00	79	0.5924	18.36

4. 塩害と凍害の劣化予測結果

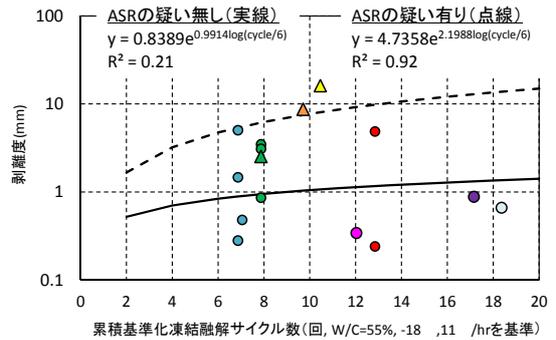
表-1 に凍害劣化外力の算出結果を示す。最大凍結速度の中で最も大きい値でさえも基準値11°C/hrに比べて小さく、全体平均も0.57°C/hrと緩やかだったため、平均基準化凍結融解サイクル数も小さくなった。なお、これは凍結速度を考慮しない場合の1/8~1/5程度の値であった。図-2 に塩害と凍害の複合劣化の調査結果を示す。内部損傷である相対動弾性係数が低下するほど塩化物イオン量は大きくなる傾向であり、また累積基準化凍結融解サイクル数が増加するほど見掛けの拡散係数も大きくなることから、凍害により塩害が促進されることを示唆している。図-3 に累積基準化凍結融解サイクル数と剥離度、最小相対動弾性係数の関係およびこれらに基づく予測式⁷⁾を示す。凡例の色は図-1の観測所ごとの色と整合させている。図-3(a)より、剥離度はばらついており、特にASRの疑い無し(印)の予測式の決定係数R²は0.21と小さくなった。この理由として、剥離度を凍結融解によるスケーリングのみの影響としているが、実際には供用当初の施工(表面のあばたや型枠のずれ等)やその他の損傷に起因した表面形状も含めて測定されており、これらの影響で相関性が低くなると考えられる。図-3(b)より、最小相対動弾性係数にはばつきはあるものの、累積基準化凍結融解サイクル数の増加に伴い低下する傾向が見られた。ASRの疑い有りの予測式は、測定数(印)が少ないため相関性が良いものと考えられるが、剥離度、最小相対動弾性係数ともにASRの疑い無しに比べて劣化速度が速くなった。ASRの疑い無し(印)の予測式は、決定係数R²が0.71となり相関性の高い結果となった。この予測式から相対動弾性係数60%となる累積基準化凍結融解サイクル数を求めると約12回となり、表-1から最小で20年(H橋)、最大で63年(F1~F3橋)となった。一方で損傷調査結果の中には12回以内でも60%を下回る箇所もあることから、今後詳細を検討する必要がある。

5. 今後の課題

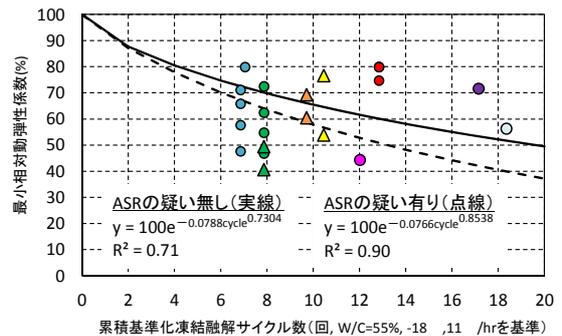
本稿では高速道路管理用気温データによる区間代表



(a) 最小相対動弾性係数と最大塩化物イオン量 (b) 累積基準化凍結融解サイクル数と見掛けの拡散係数
図-2 塩害と凍害の複合劣化の調査結果



(a) 剥離度



(b) 最小相対動弾性係数

図-3 累積基準化凍結融解サイクル数と部材損傷の関係

値を凍害劣化外力の評価に用いることを念頭に検討しているが、個別調査箇所(の温度計測)により、相関性や精度を確認する必要がある。また、室内凍結融解試験や現地暴露試験により、本稿で得られた相対動弾性係数、剥離度の予測式の妥当性を検証する予定である。

【参考文献】

- 1) 長谷川拓哉, 千歩修, 福山智子: コンクリートの凍害劣化を対象とした劣化予測手法および気象データの違いによる耐用年数の比較, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 859-864, 2015
- 2) 野口博章: 凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化予測に関する基礎的研究, 法政大学審査学位論文, 2007.9, 法政大学学術機関リポジトリ <http://hdl.handle.net/10114/2729>
- 3) 長谷川寿夫, 藤原忠: 凍害 コンクリートの耐久性シリーズ, 技報堂出版, 1988
- 4) 川村浩二, 遠藤裕丈, 島多明典, 高田尚人: 寒冷地の道路橋橋台における塩化物イオン浸透に関する定量的評価, 第16回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文集, pp. 501-506, 2016.10
- 5) 石神暁郎, 金田敏和, 佐藤智, 周藤将司, 緒方英彦: 超音波を用いたコンクリート開水路の凍害劣化深さの推定, 農業農村工学論文集, No. 283, pp. 87-98, 2013.2
- 6) 鈴木貴洋, 曾田信雄, 早坂洋平, 上原子晶久: 高速道路橋梁下部工におけるコンクリートの塩害と凍害に関する劣化状況調査, 土木学会第72回年次学術講演会, -141, pp. 281-282, 2017.9
- 7) 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(案), 2017.5