

BMSに用いるコンクリート構造部材の複合劣化予測手法の検討

北見工業大学大学院 学生員 ○大友 貴史 (株)ドーコン 正会員 安江 哲
 北見工業大学 正会員 三上 修一 (株)ドーコン 正会員 佐藤 誠
 太平洋総合コンサルタント 正会員 平 成晴 北見工業大学 フェロー 大島 俊之

1. はじめに

供用年数が30年以上となる老朽化した橋梁が増加し続けている現在、橋梁の適切な維持管理をすることが重要視されている。しかし、橋梁の維持管理に費やされる予算が限られているため、橋梁の余寿命を推測して補修・補強計画のサポートをすることは重要な課題である。本研究において、橋梁を社会資産としてとらえ、物理的健全度の劣化は、資産劣化として考える。そして、物理的健全度の劣化とその資産劣化との関係を検討するために、橋梁のコンクリート部材に着目して、その劣化要因および劣化機構等を含めた劣化予測について検討を行う。さらに実際に北海道に架設された橋梁の点検データと比較してその妥当性を検証する。

2. 各影響因子の劣化予測¹⁾

橋梁のコンクリート部材の劣化に影響を及ぼす因子としては種々の要因が考えられる。本研究では、北海道におけるコンクリート部材の主要な劣化要因とされる塩害、凍害、アルカリ骨材反応、中性化および床版の疲労に関する劣化予測について検討する。

2-1 塩害²⁾

塩害における劣化の予測は、図1に示す塩化物イオン濃度を基に算出した鉄筋腐食残存断面率と供用年の関係として示す。また、図中、CASE1はコンクリート表面からのかぶり5.0cm、CASE2は9.0cm、水セメント比は共に50%として計算した。

$$\log D = [4.5(W/C)^2 + 0.14(W/C) - 8.47] + \log(3.15 \times 10^7) \cdots (1), \quad C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) + C(x, 0) \cdots (2)$$

塩害の劣化予測は、コンクリート中の鉄筋の腐食が始まるまでを塩化物イオン濃度で予測する潜伏期段階の予測と、鉄筋が腐食し、その腐食量で予測する進展期以降の予測に分けられる。腐食開始まではFickの第2法則を用いて式(1)、式(2)より塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度である1.2kg/m³となるときの年数を求め、腐食発生後は鉄筋の腐食量に劣化が依存するため、鋼材の腐食速度Frを時間積分して鉄筋腐食量を求めている。ここでは、腐食開始より100年後を最大腐食量と仮定し、鉄筋腐食残存断面率を求めている。

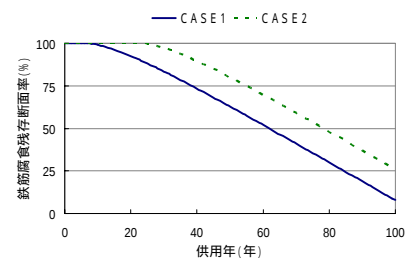


図1 塩害による劣化予測

2-2 凍害

凍害における劣化の予測は、図2に示す経過年数に伴う相対動弾性率の関係として示す。相対動弾性率は、北見工業大学で14年間継続的に観測を続けている供試体データ³⁾を基に、主要因である凍結融解回数を120回/年とした式(3)によって劣化予測を行っている。また、図中、CASE1は水セメント比が55%、CASE2は水セメント比が45%、空気量は共に4%として計算した。

$$R_{dE} = C_0 - \alpha t - e^{\beta t} \cdots (3)$$

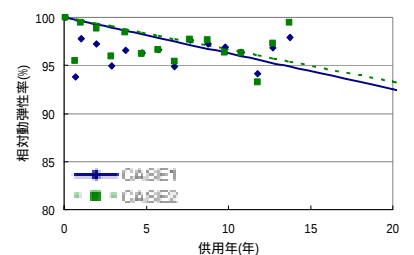


図2 凍害による劣化予測

2-3 アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応における劣化の予測は、図3に示す縦軸を供用年、縦軸を100~0の健全度とした関係として示す。そして、点検結果や過去の文献等より、おおよそ4次関数に近い曲線になることが予測されることから式(4)を用いた。また、この曲線は、供用開始後100年で健全度が0になる曲線を基本とし、時間tに促進条件の係数αを掛けたもので劣化予測を行っている。アルカリ骨材反応の促進条件の検討項目としては、反応性骨材の混合割合、アルカリ量、単位セメント量、AE剤等の混和材料の使用状況、空気量、温度・湿度、水の供給源について、反応を促進する影響の度合いによりそれぞれを係数値とした。また、図中、CASE1はα=9.0、CASE2はα=22.4として計算した。

$$y = 100 - 0.000001\alpha t^4 \cdots (4)$$

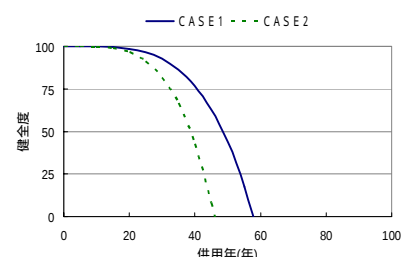


図3 アルカリ骨材反応による劣化予測

キーワード 複合劣化, 劣化予測

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165番地 TEL0157-26-9488 FAX0157-23-9408

2-4 中性化

中性化における劣化の予測は、中性化深さを中性化期間の平方根に比例する式を用いて考えることができる。そして、中性化残りを求めることにより鉄筋腐食残断面率を計算し、図4に示す。また、図中、CASE1は水セメント比が55%、かぶり厚が3.0cm、CASE2は60%、3.5cm、共に乾燥しやすい環境として計算した。

2-5 床版の疲労⁴⁾

床版の疲労における劣化予測は、輪荷重走行試験機による押し抜きせん断疲労実験から得られたS-N関係式より、式(5)を用いて疲労寿命 T_f を計算する。また、供用年の経過に伴う等価破壊回数に対する累積繰返し回数の関係を図5に示す。

$$T_f = N_f / N_{eq} \quad \dots(5)$$

N_f : 交通量, 基本輪荷重, 最大輪荷重, 衝撃係数などを考慮した等価破壊回数

N_{eq} : 交通量, 基本輪荷重, 最大輪荷重, 衝撃係数などを等価に換算した年間繰返し回数

3. 複合劣化の検討⁵⁾

実際の橋梁では、単独劣化よりもむしろ複合的な劣化が生じていると考えられる。複合的に劣化が発生する場合、単独劣化との相関関係としては、独立的に影響する劣化、相乗的に影響する劣化、因果的に影響する劣化が考えられる。そこで本研究では、過去の文献等より、各劣化の中から相関の高い組み合わせを選び、北海道で影響が大きい塩害、凍害、床版の疲労の複合劣化について検討した。そして、複合劣化の合成法の1手法として、それぞれの単独劣化曲線を等しい重みで重ね合わせ、縦軸は健全度とした劣化曲線として考えることにした。その複合劣化曲線を図6に示す。塩害の影響としては、鉄筋腐食によりひび割れが発生することによる水分の進入による凍害の促進があり、凍害の影響としては、凍結融解の繰返しによりスケーリングやポップアウトによるかぶり厚の減少、塩化物イオンの移動の促進などによる鉄筋腐食の促進があり、これらは相乗的に影響しているものと考えられる。ここで、図中の健全度とは、旧建設省「橋梁点検要領(案)」⁶⁾に基づいて実施された北海道の国道橋点検結果において、それぞれOK～Iの5段階に損傷評価された部材を、100～0に数値化したものである。また、図中の点検橋梁とは、床版ひび割れで抽出したデータを供用年毎の平均値としてプロットしたものである。図6の結果から、床版のひび割れにおける塩害、凍害、床版の疲労の複合劣化を点検結果との比較により、妥当性を検証できたといえる。

4. まとめ

本研究において、コンクリート部材に着目した劣化予測を検討するため、コンクリート劣化に影響する5つの因子の複合劣化について検討した。また、部材毎の将来における劣化を複合的な要因も考慮した上で予測し、その妥当性の検討も行った。その結果、塩害、凍害、床版の疲労の複合劣化曲線と点検結果との比較から、ある程度の相関が得られ、劣化曲線の妥当性を検証できた。また、今後の課題として、劣化予測の精度を高めていくとともに、複合劣化の予測については、他の劣化要因の組み合わせの検討が必要である。そして、その劣化予測手法をBMSに取り込むことにより、余寿命の推測や、補修・補強計画のサポートなどが可能となる。

謝辞 本研究を行うにあたり、魚本健人 教授(東京大学生産技術研究所)、鮎田耕一 教授(北見工業大学)、山崎智之 助手(北見工業大学)に有益なアドバイスをいただきました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会:2001年度制定コンクリート標準示方書[維持管理編], 2001.1.
- 2) 関 博, 松井邦人, 松島学, 金子雄一, 田畑裕:コンクリート構造の寿命予測に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.77-82, 1990.
- 3) 鮎田耕一, 桜井宏:寒冷地の海域に5～6年間暴露したコンクリートの性状, 寒地技術シンポジウム講演論文集, 1992.12.
- 4) 松井繁之, 小島敬克, 島田功, 清水誠一, 福井隆晴, 福田収, 前田昌俊:RC床版の耐荷力と耐久性, 土木学会関西支部昭和60年度講習会テキスト「既存橋梁の耐荷力と耐久性」(委員長 前田幸雄), pp.25-116, 1985.7.
- 5) 日本コンクリート工学協会:複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書, 2001.5.
- 6) 旧建設省土木研究所:橋梁点検要領(案), 土木研究所資料, 第2651号, 1998.

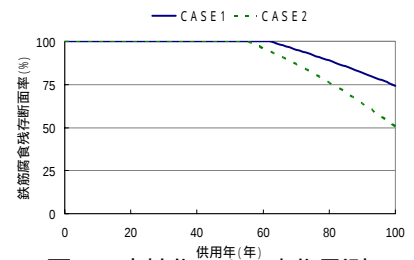


図4 中性化による劣化予測

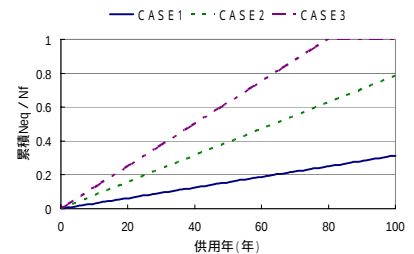


図5 床版の疲労による劣化予測

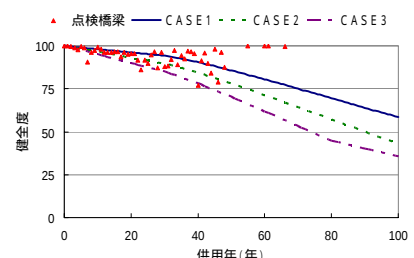


図6 床版の複合劣化曲線と点検橋梁との比較