

RC 床版ひび割れの劣化因子の分析と劣化予測の検討

Deterioration prediction and estimation of a deterioration factor reinforced concrete slab with crack

北見工業大学大学院 ○学生員 樋口匡 (Masashi Higuchi)

北見工業大学 フェロー 大島俊之 (Toshiyuki Oshima)

北見工業大学 正員 三上修一 (Shuichi Mikami)

北見工業大学 正員 山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki)

(株)ドーコン 正員 佐藤誠 (Makoto Sato)

北海道道路管理技術センター 正員 竹田俊明 (Toshiaki Takeda)

1. はじめに

現在、我が国の橋梁をとりまく状況は、橋梁自身の老朽化、交通量の増加や車両の大型化などにより、設計当初の予想より過酷な条件で長期間使用されており、著しい損傷を持つ橋梁が年々増加する傾向にある。このような背景から限られた予算を有効に活用し、橋梁を包括的に維持管理するシステム BMS (Bridge Management System) の開発が望まれており、研究開発が行われている^{1),2)}。これまで開発されてきた BMS は橋梁点検、健全度評価、劣化予測、事業シミュレーションなどから構成されており、橋梁点検および健全度評価のシステムが確立されている。また、劣化予測システムの検討および補修事業支援システムの構築などの研究成果も蓄積されてきている^{3),4)}。しかしながら、BMS の現状は実用化までに多くの課題を有しており、劣化予測システムの構築、および構造各要素における劣化予測精度の向上が課題となっている。

以上のような背景から、本論文ではこれまでの点検データに基づき、道路橋 RC 床版を対象とした疲労劣化予測の検討を行うとともに、それらの結果を BMS に応用することを目的として、劣化影響因子の解析を実施している。

2. 点検データに基づく劣化影響因子の解析

2.1 解析概要

我が国における道路橋の橋梁点検業務は、1988 年 (昭和 63 年)に旧建設省土木研究所が公表した橋梁点検要領 (案)に基づいて実施されてきた。また、その結果はランクで表され、健全な方から OK, IV, III, II, I となっている。本章では北海道の橋梁点検データベースから RC 床版のひび割れに関する点検データを抽出し、大型車交通量、海岸からの距離、凍結融解回数、積雪量、適用示方書などの影響を検討した。なお、本論文では劣化の傾向をみるために、補修・補強された後の点検データは除いて検討を行った。

2.2 塩害の影響

海岸に近い場所に位置する橋梁では、飛来塩分により RC 床版内部の鉄筋が腐食膨張し、ひび割れが発生する危険性がある。このような塩害の影響として本節では、

RC 床版の点検データを北海道における塩害対策地域と腐食環境地域に従って、以下の 3 段階のランクに分類した⁵⁾。

①塩害ランク 3 (厳しい腐食環境)

日本海側および太平洋側の一部の地域で海岸線から 200m 以内の部分、その他の地域では海岸線から 100m 以内の部分。

②塩害ランク 2 (やや厳しい腐食環境)

海岸線から 2km 以内の部分。

③塩害ランク 1 (一般環境)

上記以外の部分。

2.3 凍結融解作用の影響

積雪寒冷地のコンクリート構造物は、コンクリート内部の水分が凍結融解を繰り返すことで、ポップアウトやスケールリングによるかぶり減少が起こる。また、既存ひび割れに進入した水によって、ひび割れ幅の増大を招く危険性もある。このような凍害の影響を考慮するために、本節では、年間の凍結融解回数によって地域を 4 段階に分類した⁶⁾。これを表-1 に示す。

2.4 積雪量の影響 (凍結防止剤)

北海道における気候条件の特色の 1 つに積雪がある。積雪の影響は他の環境要因と異なり、積雪の保温効果によって凍結融解回数が減少する可能性がある。しかし、積雪が多い地域などは、近年散布し始めた凍結防止剤の影響も考えられ、これによる鉄筋腐食の被害も報告されている⁷⁾。ここでは表-2 に示すように最大積雪量に従って地域を 6 段階に分類した。

3. 解析結果および考察

ひび割れと環境ランクの解析結果を図-1 および表-3 に示す。図-1 の縦軸は床版ひび割れに関する点検データ

表-1 凍結融解ランク

凍結融解ランク	1	2	3	4
凍結融解回数(回/年)	~100	100~150	150~200	200~250

表-2 積雪ランク

積雪ランク	1	2	3	4	5	6
最大積雪量(cm)	~100	100~150	150~200	200~250	250~300	300~

を OK 部材も含めて橋梁毎に平均したものであり、横軸は各環境ランクおよび、供用開始から点検時までの延べ交通量を総合的に表している。また、表-3 はひび割れランクと環境ランクを回帰した相関係数を示し、表中の「-」はプラスの相関係数を表している。ここで、マイナスの相関係数とは、ひび割れランクと環境ランクの関係から、ひび割れによる劣化に影響を与えていることを表す。

A 建設部では大型車の影響が支配的であり、相関係数も大きくなっている。また、大型車に加えて凍結融解および、積雪に関連した凍結防止剤の影響も考えられる。同様に、B 建設部も大型車の影響が支配的であり、それに加えて凍結融解の影響が考えられる。逆に、C 建設部では大型車の影響が最も少なく、塩害の影響が大きくなっている。また、凍結融解および凍結防止剤の影響も考えられる。D 建設部では、大型車の影響が支配的であり、他の劣化要因の影響は少ないと考えられる。

以上より、RC 床版のひび割れには大型車の影響が支配的であった。しかし、一方で大型車交通量が多くても劣化していないものや、大型車よりも環境による影響が大きいデータが得られた。これは、疲労対策を行っている場合や、日平均大型車交通量と供用日数を乗じたことによる延べ交通量の誤差、および実交通の軸重分布による誤差などが要因として考えられる。

表-3 ひび割れランクと環境ランクの相関係数

建設部	A	B	C	D
環境				
供用日数×大型車	-0.14	-0.16	-0.01	-0.14
積雪ランク	-0.04	-	-0.05	-
塩害ランク	-	-0.01	-0.12	-
凍結融解ランク	-0.01	-0.04	-0.04	-
データ数	149	315	198	172

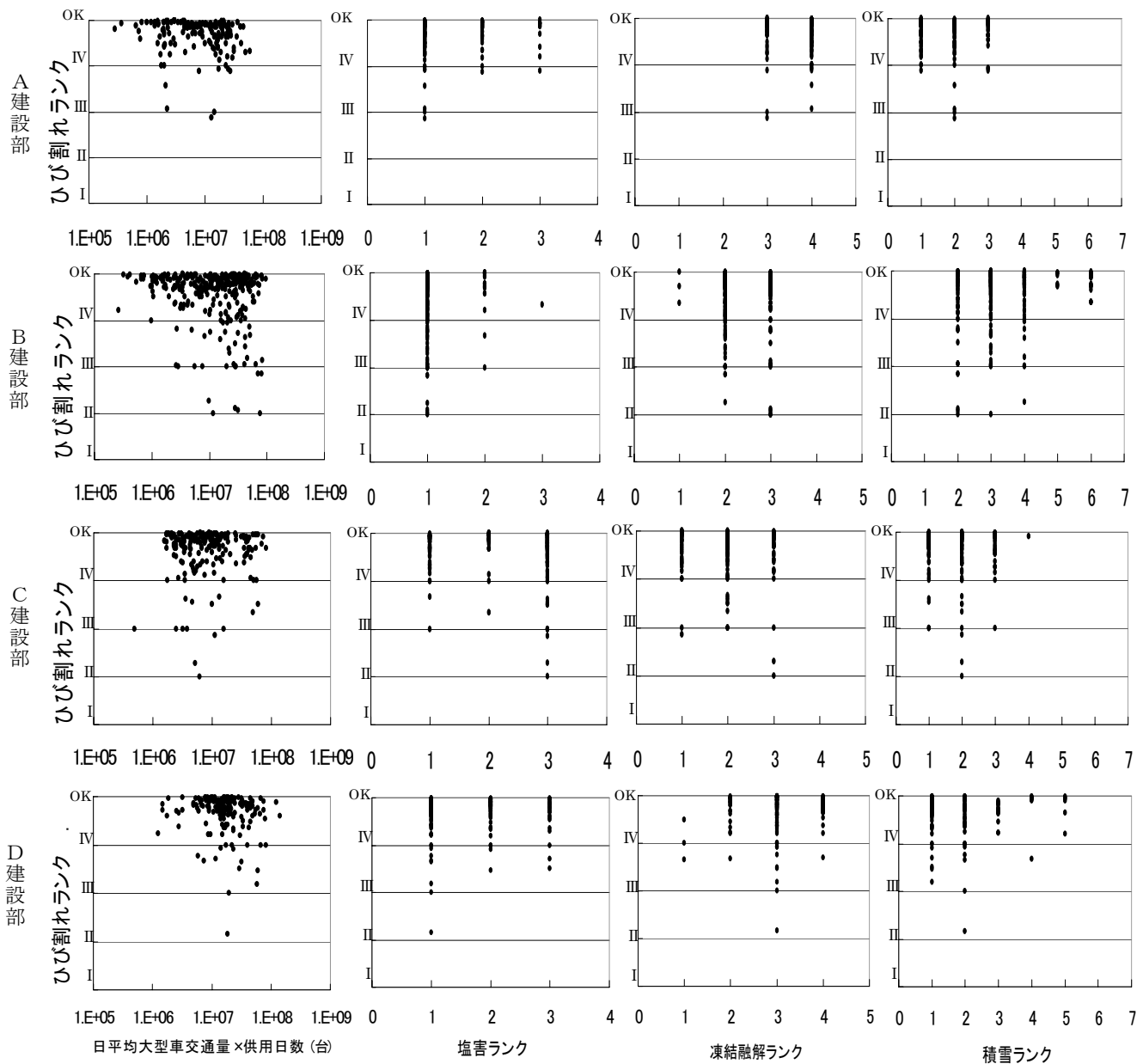


図-1 各建設部の解析結果

4 RC床版の劣化予測の検討

4.1 RC床版の疲労劣化予測手法⁴⁾

走行荷重を受ける道路橋RC床版の疲労は、松井らによってその破壊機構、疲労強度が明らかにされている。さらに、RC床版の疲労被害には、マイナー則が適用できることが知られている。これより、本予測では輪荷重走行試験より得られたS-N曲線にマイナー則を適用し、松井らの計算例に沿って疲労寿命を推定する⁴⁾。

$$T_f = N_f / N_{eq} \quad (1)$$

$$N_{eq} = \sum (P_i / P_0)^m \cdot n_i \quad (\text{ただし } m=1/k) \quad (2)$$

ここに、

T_f : 疲労寿命

N_{eq} : 輪荷重頻度分布、自動車通行位置等を考慮して等価に換算した年間の繰返し回数

N_f : S-N曲線から求める等価破壊回数

$$N_f = 10^{\left[\left\{ \log 1.520 - \log (P_0 / P_{sx}) \right\} \div 0.07835 \right]}$$

P_0 : 基本輪荷重

P_i : 作用荷重 (ある確率密度関数 $f(p)$ に従う)

n_i : 1年間に作用する輪荷重の総載荷回数

4.2 輪荷重の影響

輪荷重に関する確率密度関数は、東名高速道路で実測された大型車種の平均軸重データの正規分布(69.5,38.8)⁸⁾(kN)、セミトレーラー類の平均軸重データの正規分布(71.4,54.0)⁸⁾(kN)と旧建設省の全国平均の軸重データ式(3)⁴⁾を用いた。また、計算には輪荷重を用い

るため、軸重を2で除して輪荷重頻度分布と仮定し、全国平均、大型車種は2軸、セミトレーラー類は3軸として計算した。

$$\log\{100F(p)\} = -0.2732 - 0.12135p - 0.001767p^2 \quad (3)$$

$F(p)$: 軸重の確率分布

p : 軸重(kN)

5. 劣化予測評価の判定

5.1 疲労予測結果とひび割れランクの関係

4章で述べた劣化予測の対象となる指標は、等価に換算した繰返し回数であり、破壊回数と累積走行回数の比で劣化度を評価している。一方、前出の点検ランクはひび割れを対象に劣化度を判定している。そのため両者を比べるためには、劣化度の判断基準を同一にする必要がある。

これより、本章では橋梁点検要領案および松井らの実験結果から点検ランクと累積 N_{eq}/N_f の関係を表-4の様に仮定した⁹⁾。

5.2 疲労予測結果とひび割れランクの比較

前節の点検ランクと累積 N_{eq}/N_f の関係より、各建設部におけるひび割れランクと疲労予測結果を比較したも

表-4 点検ランクと累積 N_{eq}/N_f の関係

点検ランク	OK	IV	III	II	I
累積 N_{eq}/N_f	0	0.08	0.16	0.32	0.71

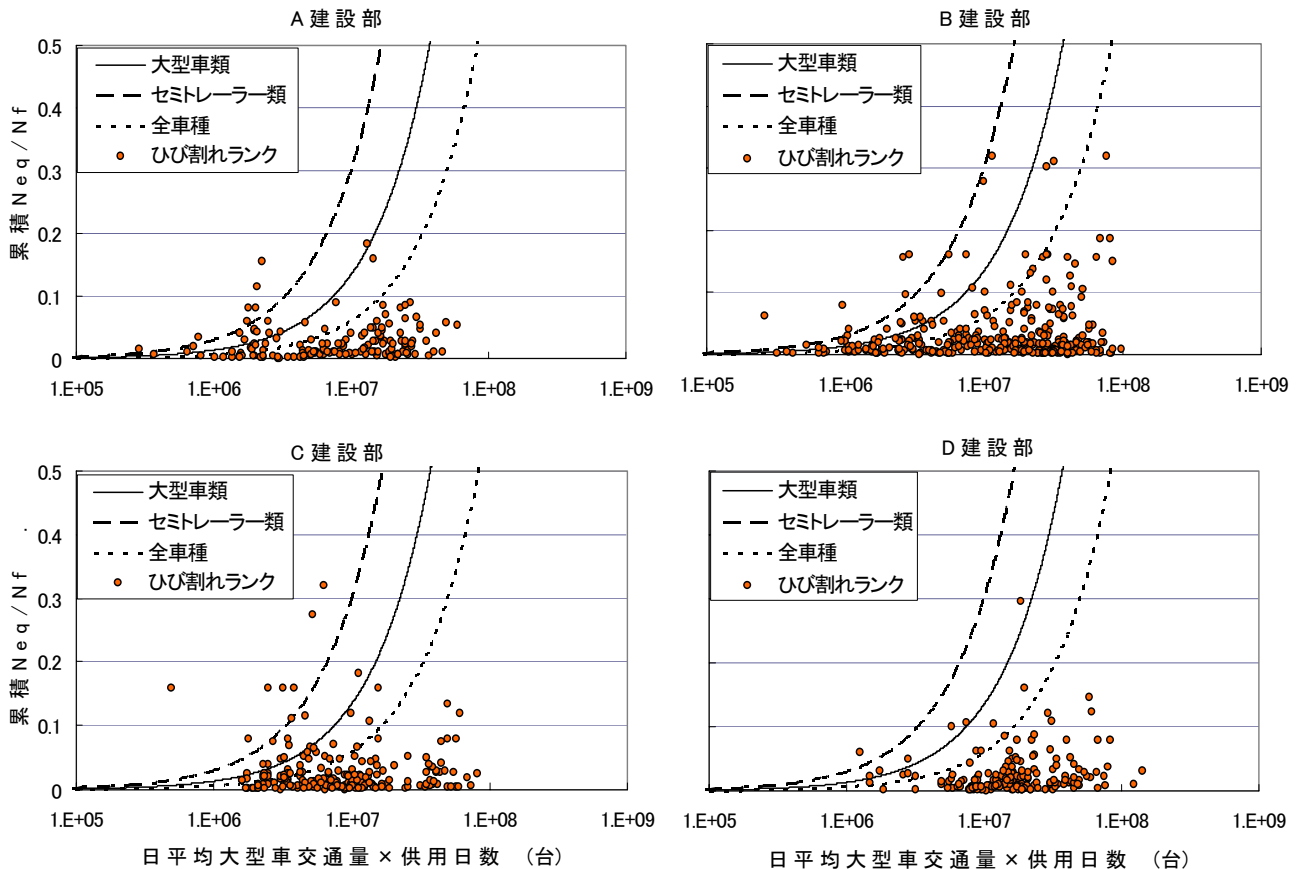


図-2 疲労予測結果とひび割れランクの比較

のを図-2 に示す. この結果, 概ねひび割れランクが疲労予測結果よりも安全側 (右側) にプロットされ, D 建設部においてこの傾向が最も顕著であった. これは前述の解析結果より, 大型車の影響が支配的かつ他の劣化要因の影響が小さかったことが要因として考えられる.

一方, 危険側に評価されたデータについては, 建設部によって, 大型車による疲労以外の環境による劣化要因が複合的に作用したと考えられる.

6. 結論

本研究では道路橋 RC 床版を対象として, これまでの点検データに基づき, 疲労劣化予測の検討を実施するとともに, それらの結果をBMSに応用することを目的として影響因子の解析を実施した. 得られた結果を以下に示す.

- (1)建設部毎に点検データを分析することで, 各地域の劣化影響因子の特性が得られた. 従って, 床版劣化予測の精度を向上させるためには, 劣化影響因子の分析を地域毎に検討する必要がある.
- (2)RC 床版のひび割れは大型車の影響が支配的であり, 建設部によって凍害, 塩害, 積雪に関連した凍結防止剤などの影響が複合的に作用していることが考えられる.
- (3)各建設部のひび割れランクについて, 疲労予測結果との比較を行った. その結果, 一部のデータは危険側にプロットされたが, 概ねデータが予測の範囲内および安全側にプロットされた. 従って, 床版ひび割れの劣化予測をするためには疲労予測を主として行い, 他の劣化要因については, 地域により必要に応じて考慮する必要があると考えられる.

最後に今後の課題として, 疲労予測に必要な実交通の荷重実態や, 床版の圧縮強度などをデータベースに蓄積し, 本論文で行った床版の劣化影響因子を考慮して, BMS の部材劣化予測精度向上に応用していく予定である.

謝辞

本研究を行うにあたり, 株式会社フジエンジニアリン

グ (本学客員教授) 松本正信氏, 大阪大学大学院工学研究科松井繁之教授に大変有益なアドバイスを頂き, 北見工業大学維持管理研究室の鈴木広大君にはデータ整理にご協力を頂きました. ここにお名前を掲載させていただき, 感謝の意を表します.

また, 本研究は平成 16 年度日本学術振興会科学研究費補助金 (課題番号 15560401 代表者 大島俊之) の補助を受けて行われました. ここに感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 大島俊之, 三上修一, 丹波郁恵, 佐々木聡, 池田憲二: 橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析, 土木学会論文集, No.703/ I -59, pp.53-65, 2002.
- 2) 宮本文穂, 串田守可, 足立幸朗, 松本正人: Bridge Management System (BMS) の開発, 土木学会論文集, No.560/VI-34, pp.91-106, 1997.
- 3) 貝戸清之, 阿部允, 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/IV-61, pp.29-38, 2003.
- 4) 松井繁之, 前田幸雄: 道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案, 土木学会論文集 No.374/ I -6, pp.419-426, 1986.
- 5) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会: 北海道における鋼道路橋の設計および施工指針, 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会, 1995.
- 6) 富板崇, 浜幸雄, 田畑雅幸, 鎌田英治: コンクリートの凍害を対象とした気象環境評価の一提案, 自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム論文集, pp.279-284, 1993.
- 7) 鳥居和之, 奥田由法, 松田康孝, 川村満紀: 凍結防止剤の影響を受けた ASR 損傷コンクリート橋脚の調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.173-178, 1998.
- 8) 石井孝男, 篠原修二: 東名高速道路の交通荷重測定と荷重特性について, 土木学会論文集 No.453/VI-17, pp.163-170, 1992.
- 9) 大島俊之, 三上修一, 山崎智之, 佐藤誠, 竹田俊明, 樋口匡: BMS に用いる RC 床版の疲労劣化予測手法について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 60 号, pp.224-227, 2004.