

橋梁点検データに基づく橋梁各部材の劣化予測に関する研究

Study on Deterioration Estimation of Bridge Members Based on Bridge Inspection Data

北見工業大学大学院 ○学生員 藤井裕子(Hiroko Fujii)
 (株) ドーコン 正会員 佐藤 誠(Makoto Sato)
 北見工業大学 正会員 三上修一(Shuichi Mikami)
 北見工業大学 フェロー 大島俊之(Toshiyuki Oshima)

1. はじめに

北海道における国道橋の数は約 2500 橋で、その中の半数以上が昭和 40 年代以前に架設された橋である。これらの橋梁は 20 年後には橋令 50 年以上となる。さらに、北海道の厳しい自然条件、近年の交通量の増加や車両の大型化によりこれらの橋梁は過酷な供用条件にさらされている。このような状況にもかかわらず、橋梁の維持管理補修に費やされる費用には限られており、維持管理補修業務を行うエキスパートもまだまだ不足しているのが現状である。このような状況と長期的な観点から、橋梁を維持管理していく上で、アメリカにおける AASHTO の PONTIS のような合理的な計画の基に標準化された維持管理体制の構築が望まれる。

我が国の道路橋点検業務は 1988 年(昭和 63 年)に建設省土木研究所によって公表された「橋梁点検要領(案)」に基づいて実施されている。この点検要領(案)はそれまで統一化されていなかった、個々の部材に関する損傷の判定を全国的に統一化したことに意義がある。点検員による判定のばらつきや目視を主体とした判定であることなど、問題点は多いものの、ほぼ 10 年間統一された基準によって判定された点検データの集積は、今後の様々な点検方法の見直しのためにも有効に活用されるべきであると思われる。

一方、このように集積された点検データは、個々の橋梁の維持補修工事を実施するためのバックデータとして活用されてきた意義は大きいものの、橋梁全体の総合的健全度評価のために活用されてきたとは言い難い。そこで、本論文では北海道の国道橋を対象とし、上述の「橋梁点検要領(案)」に基づいて点検されたデータを用い、気候などの地域性を考慮して橋梁部材の劣化予測を行う。

劣化予測を行う主な目的は、

- ① 余寿命を推測すること
- ② 補修計画をサポートすること

が挙げられ、②にはさらに補修効果を検討することや補修後の余寿命を推測することが含まれると考えられる。また、BHI(Bridge Health Index)と絡めた健全度評価に役立てることも示唆すべきと思われる。

本研究では、北海道の環境条件下では不利な状況(例えば寒冷地における凍結融解作用や融雪剤による塩害など)にある橋梁のコンクリート部材に着目して劣化予測を行い、環境との関係を検討する。

2. 検討内容

本研究では前述のように、「橋梁点検要領(案)」に基づいて点検された北海道国道橋の点検データに基づいて劣化予測を行うことを特徴とする。橋梁点検要領(案)では、点検箇所を 20 項目に区分し、さらに材質を考慮した 32 項目の損傷種類(表-1)を 5 段階の損傷判定基準(表-2)で評価する。しかし判定 I に関しては早急な調査および補修などの作業を要するため、實際上橋梁点検データは OK から II までの 4 段階で判定区分されている。よって、本研究中でも 4 段階の損傷判定で検討を行う。

表-1 損傷の種類

材料	番号	損傷の種類	材料	番号	損傷の種類
鋼	1	腐食	共通	21	変色・劣化
	2	亀裂		22	漏水・滞水
	3	ゆるみ		23	異常音
	4	脱落		24	異常振動
	5	破断		25	異常たわみ
	6	塗装劣化		26	変形
コンクリート	7	ひびわれ		27	土砂詰まり
	8	剥離・鉄筋露出		28	沈下
	9	遊離石灰		29	移動
	10	豆板・空洞		30	傾斜
	11	すりへり・浸食		31	洗掘
	12	抜け落ち		32	欠損
その他	13	鋼板接着部の損傷	その他		
	14	床版ひびわれ			
	15	遊間の異常			
	16	段差・コルゲーション			
	17	ポットホール			
	18	舗装ひびわれ			
	19	わだち掘れ			
	20	その他			

表-2 損傷度判定標準

判定区分	一般的状況
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となるおそれがある
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある
OK	点検の結果から、損傷は認められない

本論文では、主要コンクリート部材 4 部材（主桁、床版、橋脚、橋台）のひびわれに着目し、表-3 に示す北海道の気象・環境条件の 7 項目（参考文献 2）,3),4)等による）についても考慮して検討を行う。環境条件は、参考文献 2)で 3 分類されていた最低気温、塩分付着量の条件についてはそのままの分類で、その他の分類については北海道をほぼ均等に 3 分割するように分類し、この分類別に劣化予測を行う。

3. 検討方法

本解析では前述のように、橋梁点検データを活用して劣化予測を行う。橋梁点検データは昭和 63 年以降、平成 11 年までに点検された北海道の国道上にある橋梁すべてを解析対象とする。使用した橋梁点検データベース構造を図-4 に示し、着目する 4 部材についての詳細を表-5 に示す。橋梁点検データは、Access のデータベースで保存されており、これらのデータの抽出・分類は Access とプログラムで行う。Access で部材の種類のみを抽出し、プログラム中で着目する損傷内容・環境条件を入力し、分類・計算を行う。橋梁点検データの各部材の損傷度に対する減少係数は、AASHTO の PONTIS で用いられている値（表-6）に設定し、以下の式（a）、式（b）を計算する。

$$\text{劣化確率}(S_{a,b_i}) = \frac{\text{点検年間隔中の損傷部材数}(R_{a,b_i})}{\text{点検年間隔中の総部材数}(\sum R_{a_i})} \quad (a)$$

$$\text{減少率}(G_{a_i}) = \sum_{l=1}^4 S_{a,b_l} * k(l) \quad (b)$$

ここで、

a_i : 点検年間隔(0~70 年: 14 段階)

b_l : 損傷ランク(OK, IV, III, II の 4 段階)

式(a), (b)より各部材、各環境条件について解析し、その後 100 から減少率を引いた値で散布図をとり指数近似し、劣化予測を行う。

指数近似式は初期設定式を以下のようにした。

$$y = a - bx - e^{\alpha} \quad (c)$$

上式で自乗誤差を最小にするように各係数を求め、劣化曲線とした。

劣化確率は本来点検年間隔における劣化の遷移を検討するものである。しかし、現有するデータでは橋梁点検要領（案）で点検され始めてからの期間が 10 年程度と短いため、1 橋に対して繰り返し点検が行われているデータが少ない。そのためすべてのデータの点検年間隔を供用開始時から点検時までとして検討した。さらに、補修された部材については、補修後、健全度が架設時の状態に戻ると考えられるが、現有するデータでは補修前の点検結果がそろっていないため、補修された部材のデータは削除し検討を行った。

表-3 環境条件の分類

環境要因	交通・自然環境区分
大型車混入数	1000台/24h以下
	1000~3000台/24h
	3000台/24h以上
凍結融解回数	0~20回/year
	20~40回/year
	40~80回/year
最大積雪深	150cm以下
	150cm~250cm
	250cm以上
塩分による腐食区分*	厳しい腐食環境
	やや厳しい腐食環境
	一般環境
最低気温	-25℃以下とならない
	-25℃~-35℃
	-35℃~-45℃
地震(期待値)	I ~ II
	III ~ IV
	V 以上
風速分布	0~20m/sec
	20~30m/sec
	30m/sec以上

*: 詳細は参考文献 2)に記載

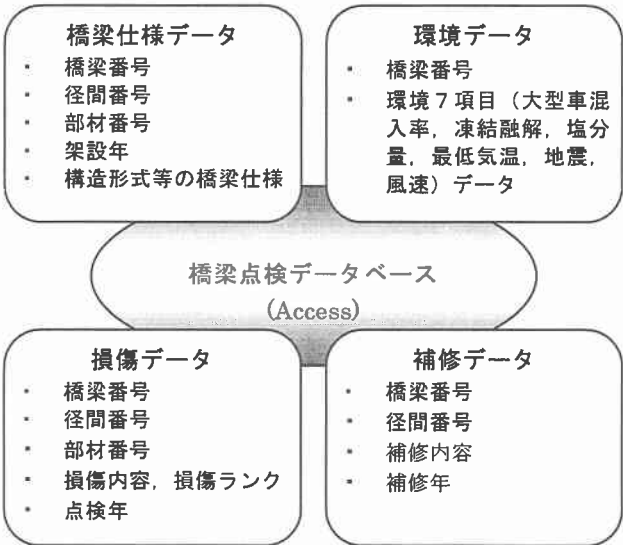


図-4 橋梁点検データベース構造

表-5 コンクリート4部材の橋梁数と部材数

	橋梁数	部材数
主桁	747	33978
床版	1864	111968
橋台	1822	4945
橋脚	889	6887

表-6 健全度減少係数 $k(l)$

l	部材損傷度	損傷係数 $k(l)$
1	OK	0
2	IV	25
3	III	50
4	II	75

4. 解析結果

図-8 には、本解析で得られた値の散布図、劣化曲線を示す。表-7 には図-8 の結果から考えられるコンクリート部材の劣化と各環境条件との関係を表す。図-8 には、特に劣化に環境条件の影響が大きいと思われるものについてのみ示した。

表-7 より 4 部材について共通していえるのは、最大積雪深がコンクリートひびわれの劣化にそれほど影響しないということ、大型車混入率は影響が大きいことがわかった。さらに細かくみると、主桁は、大型車混入率による影響が大きい。床版は、地震の影響は少なく、凍結融解回数、塩分付着量の影響が大きいことが示された。橋台に関しては地震、凍結融解回数の影響が大きく、逆に橋脚は凍結融解回数との関係は小さいことが示されたが、橋脚が実際の環境条件の影響が大きいのか本解析では判明しなかった。しかしながら、これらの関係は一般的に考えられるものと一致すると思われ、橋梁点検データを用いた劣化予測は妥当な結果を出せるということがわかった。

劣化曲線については、100 から減少率を引いた値をプロットし、式(c)で指数近似して表した。本解析では、表-4 に示すような橋梁点検データ中の部材番号とその損傷について解析した。その結果、損傷部材数(R_{ab})に対して分母となる健全部材を含む総部材数(R_a)が多いため、減少率は小さくプロット値も 90%付近に集中している。

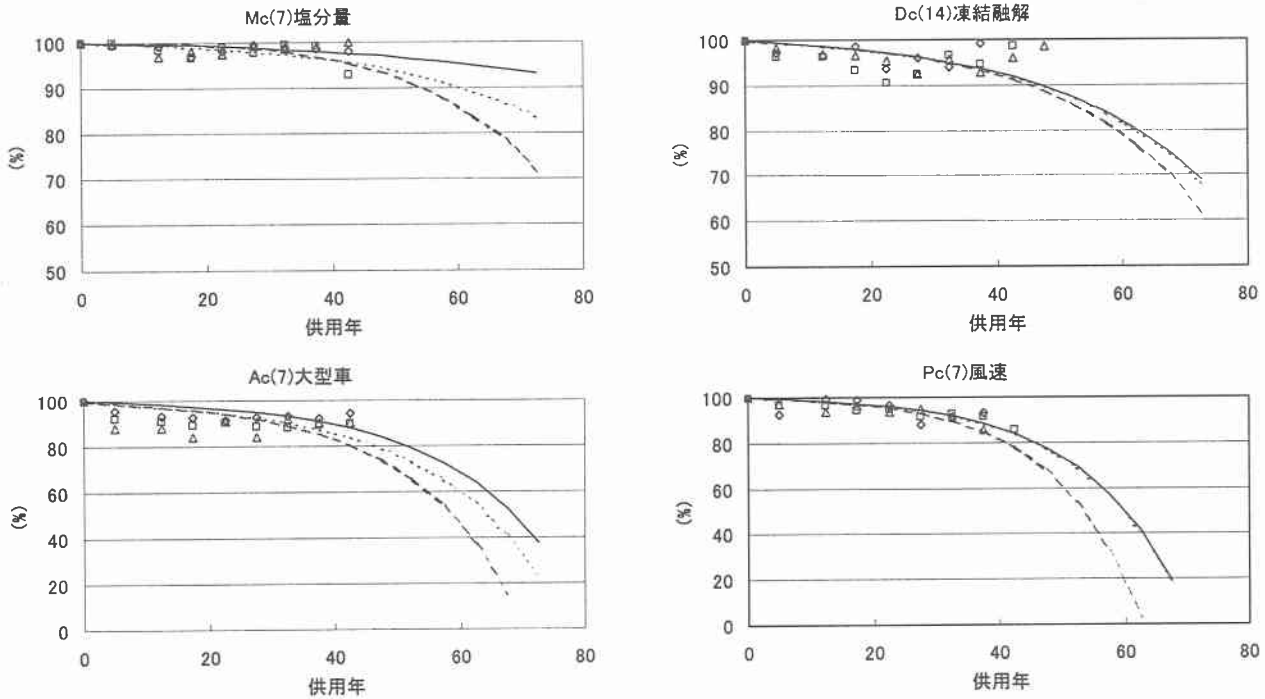
しかし、橋梁点検データは供用年 25 年以下のデータが少なく、供用年 45 年以上のデータがほとんどないため、供用年 45 年以降の減少率は削除した。そのため、それ以降の劣化曲線は推測的なものになってしまった。これには今後のデータの蓄積が要求される。

劣化曲線とプロット値のばらつきについて考察する。例としてコンクリート主桁ひびわれの塩分付着量による分類のグラフに関して述べると、プロット値のばらつきの主な原因はデータ数のばらつきによるものであるということがわかった。図-9、表-10 に示すように供用年 20 年から 40 年までの橋梁がほとんどを占めており、また環境条件の分布は塩分付着量分類 1 のものが約 6 割を占めている。このようなデータ数のばらつきから、劣化予測を行うことは大変難しいが、より精度良く行えるよう検討を進めていかなければならない。

表-7 劣化と環境条件の関係

環境条件	部材	主桁	床版	橋台	橋脚
大型車混入率		◎	○	◎	○
凍結融解回数		○	◎	◎	△
最大積雪深		△	△	△	△
塩分による腐食区分		○	◎	○	○
最低気温		△	○	△	△
地震		○	○	◎	○
風速分布		○	△	○	○

◎：影響が大きい、○：影響がある、△：影響が小さい

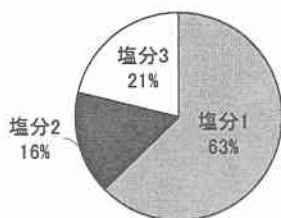


指数近似式 (c) の各係数

◆ 1 □ 2 △ 3 — 劣化曲線1 劣化曲線2 ---- 劣化曲線3	係數			Mc(7)塩分量			Dc(14)凍結融解		
	環境分類	a	b	c	a	b	c		
	1	101	0.00452	101279	101	0.0472	0.0462		
	2	101	0.000986	0.0394	101	0.045	0.0467		
	3	101	0.0559	0.0484	101	0.0306	0.0499		
	係數			Ac(7)大型車			Pc(7)風速		
	環境分類	a	b	c	a	b	c		
	1	101	0.0542	0.0564	101	0.0281	0.0649		
	2	101	0.12	0.0586	101	0.0291	0.0652		
	3	101	0.1072	0.0648	101	0.0108	0.0703		

図-8 劣化曲線と指数近似式について

(a)環境分類別データ数割合



(b)点検年間でみたデータ数割合

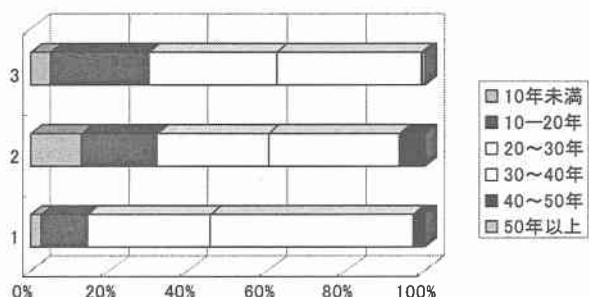


図-9 データ数割合
(コンクリート主桁、塩分付着量)

表-10 コンクリート主桁部材の総数と損傷数

供用年	塩分付着量		1		2		3	
	損傷数	総数	損傷数	総数	損傷数	総数	損傷数	総数
0年以上10年未満	8	229	1	460	1	260		
10年以上15年未満	50	981	39	714	6	864		
15年以上20年未満	99	1427	47	481	64	900		
20年以上25年未満	75	2012	6	448	64	1227		
25年以上30年未満	83	4171	43	602	31	1160		
30年以上35年未満	179	5491	61	1308	19	1259		
35年以上40年未満	143	5574	83	1013	44	1353		
40年以上45年未満	71	1101	47	391	2	202		
45年以上50年未満	1	129	0	63	0	0		
50年以上55年未満	0	0	0	0	0	0		
55年以上60年未満	0	0	0	0	4	16		
60年以上65年未満	0	0	0	0	4	32		
65年以上70年未満	10	44	0	0	0	0		

5. 結論と今後の課題

本研究では、橋梁におけるコンクリート部材の劣化と環境の関係について橋梁点検データを用いて検討を行い、劣化曲線を表した。

コンクリート部材の劣化と環境の関係は、今回解析を行った4部材に関しては、大型車混入率の影響が大きく、最大積雪深の影響は小さいということがわかった。橋梁点検データから劣化と環境条件の関係を検討したが、一般に考えられる関係と比較しても妥当な結果が出てきたと思われる。

劣化予測に関しては、橋梁点検データ上の部材番号とその損傷に着目し解析を行い、減少率を指数近似で表した。供用年25年以前と45年以降のデータが少ないため精度に問題があるが、これからデータ数が増えていくことによってより現実に近く、精度の高い予測ができると思われる。しかしながら、一般の橋梁の寿命と比較しても部材の1損傷と1環境要因に着目した劣化予測としては妥当な予測といえる。

しかしながら、依然考慮すべき点は多い。以下に今後の課題を挙げる。

- ① 本論文ではコンクリートの主桁、床版、橋台、橋脚のひびわれについて検討したが、他の部材・損傷についても検討を行い、環境との関係の考察、劣化予測を行う必要がある。
- ② 環境条件で不利なものが重なっている橋梁について個別に解析し、相互作用のようなものを見いだすことを目標とする。さらにこれらが進んだ上で、橋梁全体としての劣化予測を行う。これを行うことによって、著者らが研究を進めてきた橋梁健全度指数(BHI)や資産評価と関連付けたいと考える。
- ③ 基本的な部分では、橋梁点検データ中の部材番号ではなく、径間ごとに検討し比較することや、補修部材の扱い、減少係数の設定、指数近似式等を他の設定と比較、再検討を行うことにより、精度良く劣化を予測することが課題である。

以上を行い、さらにデータの蓄積を行うことにより精度の向上を図り一般化し、現橋の劣化予測を精度良く行えるようにする。

謝辞

本研究では、以下の方々に研究に対する御理解と御協力を頂きました。ここにお名前を掲載させて頂き、感謝の意を表します。

安江哲氏、次村英毅氏(株ドーコン)、池田憲二氏(開発土木研究所)、丹波郁恵氏(北見工業大学大学院、アメリカ留学中)、山崎智之氏(北見工業大学)

参考文献

- 1) 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，1988。
- 2) 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，1995.12。
- 3) 社団法人 日本コンクリート工学協会：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，1993.5
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，2001.1。
- 5) 宮本文穂，串田守可，足立幸郎，松本正人：Bridge Management System(BMS)の開発，土木学会論文集，No.560/VI-34，91-106，1997.3。
- 6) 大島俊之，三上修一，山崎智之，丹波郁恵：橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析，土木学会論文集，No.675/I-55，201-217，2001.4。
- 7) 土木学会：鋼橋における劣化現象と損傷の評価，鋼構造シリーズ7，1996。
- 8) 安田登，白木渡，松島学，堤知明：ニューラルネットワークに基づいたコンクリート構造物点検技術者の思考過程の評価，土木学会論文集，No.496/V-24，pp.41-49，1994.8。
- 9) 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号/I-6，pp.419-426，1986.10。
- 10) 北海道開発局道路計画課：全国道路交通情勢調査，1996.1。