

既存橋梁に対する補修補強計画に関する研究

Research on the repair reinforcement plan for the existing bridge

北見工業大学
北見工業大学
北見工業大学
北見工業大学
北見工業大学
(株)ドーコン

土木開発工学科
土木開発工学科
土木開発工学科
土木開発工学科
土木開発工学科

○学生員 前田哲哉 (Tetsuya Maeda)
フェロー 大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
正会員 三上修一 (Shuichi Mikami)
学生員 丹波郁恵 (Ikue Tamba)
学生員 藤井裕子 (Hiroko Fujii)
正会員 佐藤 誠 (Makoto Sato)

1. はじめに

共用年数が数十年となる橋梁が増加し続けている現在、既存橋梁における適切な維持管理が重要な課題となっている。既存橋梁に対する維持管理業務としては、建設省土木研究所の「橋梁点検要領(案)」¹⁾の公表により 1988 年以降、ほぼ基準化した橋梁点検が実施されており、データファイルとして蓄積されている。しかし、健全度評価や維持管理に関して明確な規定が設定されているわけではない。一方、老朽化した橋梁に対して、補修・補強を実施せざるを得ない状況である反面、維持補修費には限りがあるという実状に直面している。この限られた予算をどの様に有効利用できるか、また今後、更なる老朽化橋梁の増加が予想され、長期的な維持管理計画において、いかに合理的な補修・補強計画を立案することが出来るかが問われている。以上の背景から、本研究では、路線に対して社会的価値や交通量を考慮し、橋梁に対して健全度状態や機能性を考慮することで総合的に補修・補強の対象となる橋梁を選定することを目的としている。

2. 補修・補強の優先順位

既存の橋梁において、架け替えや補修・補強の優先順位が明確に規定されているわけではない。そこで社会的に重要な橋梁をいかに優先的に補修・補強の対象とするかを決定するために“補修必要度レベル Ln ”を提案する。

補修必要度レベル Ln

$$Ln = (1 + \alpha)(1 + \beta) \left\{ \frac{Sto - St}{Sto} + a \frac{Fto - Ft}{Fto} \right\} \quad \dots (1)$$

に数値を代入し、 Ln の数値が高い橋梁から補修・補強の対象とするものである。

ここで、

α : 路線の重要度

β : 橋梁の重要度

St : 物理的健全度診断評価 (BIE)²⁾ or 橋梁健全度指数 (BHI)³⁾

Ft : 橋梁の機能性評価

a : 補正係数

である。

また、今回の解析では橋梁の機能性評価 Ft を除いた

$$Ln = (1 + \alpha)(1 + \beta) \left\{ \frac{Sto - St}{Sto} \right\} \quad \dots (2)$$

で解析を行った。

3. 路線の重要度 α

三重県の道路整備 10 カ年整備プログラム⁴⁾を参考に、生活の安全性向上、生活の利便性向上、地域の活性化支援などをそれぞれ点数化し、10 点から 2 点まで重み付けした項目について加点方式評価を行い、評価点数を 100 で除したものを路線の重要度 α として定義した。表-2 に路線の評価価値資料を示す。

北海道の国道 48 路線のうち未開通区間 3 路線を除いた 45 路線の評価を行った。また、1 路線を 1 区間として考えると評価の精度が低くなるために、路線を各支庁(管轄地域)で区切り 86 路線に分割して評価を行った。その内訳を表-1 に示す。

表-1 支庁別の路線数

支庁名	国道路線数	対象国道名
石狩支庁	14	5号,12号,36号,230号,231号,233号,234号,239号,274号,275号,337号,451号,452号,453号
空知支庁		
渡島支庁	9	5号,37号,227号,228号,229号,230号,277号,278号,279号
檜山支庁		
後志支庁	6	5号,229号,230号,276号,337号,393号
上川支庁	9	38号,39号,40号,237号,239号,273号,275号,333号,452号
胆振支庁	8	36号,37号,230号,234号,235号,274号,276号,453号
日高支庁		
釧路支庁	12	38号,44号,240号,241号,243号,244号,272号,274号,334号,335号,391号,392号
根室支庁		
十勝支庁	9	38号,235号,236号,237号,241号,242号,273号,274号,336号
網走支庁	11	39号,238号,239号,240号,242号,243号,244号,273号,333号,334号,391号
留萌支庁		
宗谷支庁	3	40号,231号,232号,233号,239号
合計	86	

表-2 路線の評価価値資料

観 点 項 目	点 数	観 点 項 目	点 数
A. 基幹道路		H. 地域産業等に資する道路	
1 国道等幹線道路網の整備（幹線道路網としての位置付けした路線）	9	1 物流関連路線（交通拠点の港湾「重要港湾以上」との直結）	4
B. 高速道路へのアクセス短縮		2 観光用幹線の整備（観光地やリゾート地へのアクセス道路）	4
1 高速アクセス関連（建設中の高規格幹線道路の工事用道路・インターチェンジへのアクセス）	10	3 住宅関連（計画が明確な箇所）	4
2 高速アクセス強化路線（各市町村から高速インターチェンジへの最短及び利用状況より1路線選定）	7	4 企業立地関連（計画が明確な箇所）	4
C. 空港へのアクセス短縮		5 奥地産業道路指定路線	4
1 空港アクセス関連	10	I. 地域生活支援	
2 空港アクセス強化路線	7	1 医療関連路線（旧村中心地から総合病院までの医療ルートを設定後、改良幹線道路までの区間に限定）	4
D. 生活圏内の利便性向上		2 市町村役場とその各支所を結ぶ路線	2
1 圏内中心都市と各市町村役場連絡道路（最短及び利用状況より1路線選定）	6	3 バス路線	2
2 圏内中心都市と各市町村役場連絡道路代替路線（複数考えられる場合は該当なし）	3	4 通学路	2
3 圏内隣接市町村連絡道路（最短及び利用状況より選定）	4	J. 市外地活性化	
4 生活圏内広域連携対象路線（具体的に連携事業があるもの）	4	1 駅前通り	5
5 中心都市環状道路網整備（各中心都市の環状道路網を特定した該当路線）	4	2 目抜き通り（沿道に一連の商店街が形成されている路線）	4
6 隣接市を結ぶ路線（各市中心部と隣接市中心部を最短で結ぶ路線）	3	3 電線類地中心にあわせ事業化を進める必要がある路線	4
E. 安全安心に必要な道		4 都市部の活力を支える骨格路線（商工業集積地や大規模居住地などを結ぶ路線）	4
1 第1次緊急輸送道路（特定重要港湾、道内主要都市間を結ぶ路線）	7	K. 他事業関連	
2 第2次緊急輸送道路（重要港湾等・主要都市と市町村、医療拠点を結ぶ路線）	5	1 大規模ダム関連（水資源公団施工ダム）	6
3 第3次緊急輸送道路（主要駅と拠点を結び、第1、2次緊急輸送路のリダンダンシー路線）	3	2 広域農道建設区間	5
F. 渋滞対策		3 直轄等の公共事業との進捗を合わす必要がある路線（農道、ダム関連以外で対象事業を具体的に明示）	5
1 第3次渋滞対策プログラム対策路線（渋滞箇所直接影响到する箇所を含む路線）	8	4 防衛施設関連	5
2 渋滞対策路線（地域の渋滞箇所の対策路線）	5	L. その他	
3 道路または鉄道との立体交差化に資する路線	5	1 国道（路線認定要件から道路と差別化）	2
G. 地域振興に資する道路		2 雨量規制区間	2
1 地域振興県プロジェクト（ハイテク、サイエンス等具体的なもの）	7	3 市街化区域内で都市計画決定された道管理道路（バイパス含む）《市街化区域内：用途地域内、用途地域内が設定されていない区域はDID区域内》	5
2 地域振興市町村プロジェクト（構想だけでなく事業が具体化しているもの）	5		

4. 橋梁の重要度 β

橋梁の重要度 β は、路線の交通量を考慮して算出している。道路交通センサス⁹⁾より各交通観測地点での交通量データを用い、国土交通省道路局・道路 IR サイトの費用便益分析マニュアル¹⁰⁾を参考に各車両別（乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車）の走行経費 C （総走行時間費用、総走行費用）を算出し区間延長距離 L で除することで各区間の現在価値 P を求めた。また、各支庁（管轄地域）の現在価値の合計を調査区間延長の合計で除することで単位区間現在価値 P_v （1km あたりの平均現在価値）を算出した。各交通観測区間の現在価値を単位区間現在価値で除することで橋梁の重要度 β と定義した。

（表-3 参照）これにより、各支庁のどの区間に重要な交通が分布しているかが判別でき、重要な路線の評価が出来る。

表-3 β 値の算出方法

路線区間名	走行経費	延長距離	現在価値	β 値
A区間	C_1	L_1	$C_1/L_1=P_1$	$P_1/P_v=\beta_1$
B区間	C_2	L_2	$C_2/L_2=P_2$	$P_2/P_v=\beta_2$
C区間	C_3	L_3	$C_3/L_3=P_3$	$P_3/P_v=\beta_3$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N区間	C_n	L_n	$C_n/L_n=P_n$	$P_n/P_v=\beta_n$
	ΣC_n	ΣL_n	$\Sigma C_n / \Sigma L_n = P_v$	

5. St および Ft の算出方法5. 1 St の算出方法

St 値は橋梁の物理的損傷を考慮して解析した物理的健全度診断評価（BIE）と橋梁の資産価値を考慮した橋梁健全度指数（BHI）の2つを用いる。

1) 物理的健全度診断評価（BIE）

物理的健全度診断評価は、1988年の建設省土木研究所の「橋梁点検要領(案)」を基礎とした北海道開発局の橋梁点検調査データベースを基に、総合健全度の判定をエキスパートにアンケート調査として依頼し、アンケート調査結果を数量化理論Ⅱ類により解析した。その結果得られた定量的な判断基準から個々の橋梁の健全度を総合的に評価するものである。表-4に示すように橋梁全体に対する総合の評価をOK, IV, III, IIの4段階で判定している。

また、補修必要度レベル Ln に代入する際に表-5のように数値変換を行った。また、 Sto は100である。

表-4 物理的健全度診断外的基準

評価	橋梁の健全度状態
ok	現状維持
IV	軽い補修を要する
III	大がかりな補修を要する
II	補修より架け替えを進める

表-5 数値変換

評価	St
ok	100
IV	75
III	50
II	25

2) 橋梁健全度指数 (BHI)

橋梁健全度指数は、橋梁の各部材の損傷度(損傷の程度及び規模)を表わす物理的状況と各部材の資産価値などの経済的状況を相関して総合的に健全度を評価できる指標である。BHI の定義は以下に示す通りである。

$$\text{橋梁健全度指数(BHI)} = \frac{[\text{現在資産(建設費)}]}{[\text{初期資産(建設費)}]} \times 100$$

ここで、初期資産とは橋梁の建設当初、すなわち全部材が健全な状態の橋梁全体としての資産価値、現在資産は今現在、すなわち供用開始後、劣化損傷により健全度が低下した状態の橋梁全体の資産価値である。

5. 2 機能性健全度診断評価 Ft

社会基盤の一つとしての橋梁を、幅員などを考慮した「走行快適性」、損傷や耐震性を考慮した「構造安定性」、橋梁下交通・河川などに及ぼす影響や騒音などを考慮する「環境安定性」などについて定量的に評価したものが機能性健全度診断評価 Ft である。

6. 補修必要度の解析結果

表－6 に補修必要度レベル Ln 算出表の一例を示す。

6. 1 補修必要度レベルの検討

1) 補修必要度レベル Ln (BIE)

物理的健全度診断評価 (BIE) を用いて算出した補修必要度レベル Ln (BIE) について考察する。従来であれば橋梁の物理的損傷の程度により損傷状態が悪いランクⅡの橋梁から補修・補強を検討していたが、さらに路線の重要度 α 、橋梁の重要度 β を考慮することで、地域にとっての橋梁の重要度を考慮した補修・補強計画が出来ると考えられる。

表－6 より、国道 a 号に位置する B 橋と国道 b 号に位置する C 橋についてみると、B 橋は物理的健全度診

断評価の損傷ランクがⅢであり、C 橋の損傷ランクはⅡである。物理的損傷だけで考えると B 橋よりも C 橋の方が早期に補修・補強を実施しなければならないが、補修必要度レベル Ln は B 橋が上位に位置している。これは、B 橋の方が路線の重要度 α 、橋梁の重要度 β の値がともに高く、B 橋の方がユーザーにとって重要な橋梁であるために補修・補強の順位が上位になったと考えられる。また、Y 橋は B 橋と同じ国道 a 号に位置しているが、橋梁点検調査の結果損傷がほとんど認められず、健全な状態の橋梁であるため補修必要度レベル Ln 値が 0 となり補修・補強が不要であると考えられる。

2) 補修必要度レベル Ln (BHI)

橋梁健全度指数 (BHI) を用いて算出した補修必要度レベル Ln (BHI) について考察する。数量化理論Ⅱ類による解析および重み付き平均法による解析で求めた物理的健全度診断評価 (BIE) は、橋梁全体としての健全度に対する各部材の重要度を重み係数としているのに対し、橋梁健全度指数 (BHI) においては各部材の資産価値、すなわち建設費が重みとなる。このため、健全度指数による解析では、建設費が高価である部材は重みが大きくなり、各部材の損傷状況を経済的視点から評価した結果になっていると考えられる。

表－6 より、国道 c 号に位置する D 橋と E 橋についてみると、D 橋、E 橋ともに物理的健全度診断評価の損傷ランクはⅢと同じであるが、橋梁健全度指数が D 橋 59.2、E 橋 75.9 と D 橋の方が橋梁の資産価値が低下しているため補修必要度レベル Ln が上位になったと考えられる。

このように、橋梁点検調査によって得られたデータを用いて解析することで、社会的に優先度の高い橋梁を選定し、どの橋梁を優先的に補修・補強候補に挙げるかを判別することが出来ると考えられる。

表－6 補修必要度レベル Ln 算出表

路線名	橋梁名称	点検年度	路線の重要度 α	橋梁の重要度 β	物理的健全度診断 BIE	橋梁健全度指数 BHI	Ln (BIE)	Ln (BHI)
国道a号	A橋	2001	0.80	4.56	Ⅱ	28.4	7.51	7.16
国道a号	B橋	1994	0.80	4.56	Ⅲ	27.3	5.00	7.28
国道b号	C橋	1994	0.49	1.31	Ⅱ	31.5	2.58	2.36
国道c号	D橋	1995	0.65	2.11	Ⅲ	59.2	2.57	2.09
国道c号	E橋	1998	0.65	2.11	Ⅲ	75.9	2.57	1.24
国道a号	F橋	1995	0.80	1.55	Ⅲ	27.1	2.30	3.35
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
国道a号	U橋	1996	0.80	1.20	Ⅳ	84.7	0.99	0.61
国道d号	V橋	1995	0.27	0.26	Ⅲ	51.6	0.80	0.78
国道b号	W橋	2001	0.65	0.17	Ⅳ	96.1	0.48	0.08
国道e号	X橋	1996	0.36	0.12	Ⅳ	82.7	0.38	0.26
国道a号	Y橋	1999	0.80	4.56	OK	100.0	0.00	0.00
国道e号	Z橋	2000	0.33	0.17	OK	100.0	0.00	0.00

表ー7 道東の橋梁を対象とした補修必要度レベル L_n 算出結果

L_n	網走支庁		十勝支庁		釧路・根室支庁		高 補修・補強の 必要性 低
	BIE (%)	BHI (%)	BIE (%)	BHI (%)	BIE (%)	BHI (%)	
10～	0 (0)	0 (0)	7 (2)	6 (2)	2 (1)	0 (0)	↑ ↓
9～10	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
8～9	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (1)	
7～8	1 (0)	2 (1)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (0)	
6～7	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	
5～6	1 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	
4～5	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	5 (1)	4 (1)	
3～4	4 (1)	3 (1)	6 (2)	2 (1)	3 (1)	1 (0)	
2～3	10 (3)	15 (4)	16 (4)	23 (6)	11 (3)	13 (3)	
1～2	75 (20)	48 (13)	70 (19)	57 (15)	50 (13)	37 (10)	
0～1	145 (39)	248 (66)	117 (31)	198 (53)	89 (24)	169 (45)	
0	140 (37)	60 (16)	106 (28)	36 (10)	131 (35)	64 (17)	
合計	376橋 (100)	376橋 (100)	323橋 (100)	323橋 (100)	292橋 (100)	292橋 (100)	

6. 2 道東の橋梁を対象とした L_n 算出結果

橋梁点検調査によって得られたデータを用いて、網走支庁 376 橋、十勝支庁 323 橋、釧路・根室支庁 292 橋を解析対象に補修必要度レベル L_n を算出した。支庁ごとに物理的健全度診断評価を用いて算出した L_n (BIE)、橋梁健全度指数を用いて算出した L_n (BHI) を各レベルに区分した結果を表ー7に示す。また、() 内は橋梁が各レベルに占める割合である。

表ー7の網走支庁についてみると L_n が 2.0 以上の橋梁は、 L_n (BIE) で 16 橋、 L_n (BHI) で 20 橋あることがわかる。これは網走支庁における橋梁全体の約 5% の橋梁に相当する。また、十勝支庁では L_n が 2.0 以上の橋梁で十勝支庁における橋梁全体の 10% に相当することがわかる。

このように、地域によって L_n の分布は変わってくるが、相対的に補修必要度レベルの上位数% の橋梁を補修・補強の対象として考えることが出来る。

7. まとめ

本研究では、橋梁の補修・補強計画の優先順位を決定するために補修必要度レベルを提案した。最後にまとめとして要約すると以下ようになる。

- 1) 路線の重要度 α 、橋梁の重要度 β を用いることで現在社会的に必要と考えられる橋梁を選定することが出来た。
- 2) 社会的に優先度の高い橋梁の損傷状態を考慮し、補修・補強の順位付けを具体的数値で明確に算出することが出来た。
- 3) 物理的健全度診断評価 (BIE) と橋梁健全度指数 (BHI) の 2 つを用いた補修必要度レベル L_n の結果を出すことで、橋梁の物理的損傷だけではなく資産価値も考慮した補修・補強の優先順位を算出することが出来た

今後の課題としては、

- 1) 路線の重要度 α を意思決定支援手法等で解析することにより、路線の評価価値資料を地域に根ざしたものに改良する。

- 2) 橋梁機能性評価 Ft を完成させ補修必要度レベル L_n に組み込むことで、より実務的な補修・補強計画の支援を考えて行く。

謝辞

本論文をまとめるにあたり北見工業大学土木開発工学科の高橋助教授に助言を頂きました。また、北見工業大学大学院博士前期課程の椎橋亜由美氏、北見工業大学土木開発工学科 4 年の長谷川孝治氏に資料整理のご協力をいただきました。この場を借りて感謝を申し上げます。

本研究は平成 14 年度文部省科学研究費 (代表者 大島俊之) の補助を受けて行われました。

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) 森弘，大島俊之，三上修一，他：コンピュータ・グラフィックスと数量化理論を応用した橋梁の維持点検評価法，土木学会論文集，No. 501/I-29, pp. 113-121, 1994.10。
- 3) 大島，三上，丹波，佐々木，池田：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, 2002.4
- 4) 三重県：道路整備 10 ヶ年整備プログラム，土木学会誌，Vol. 84, pp. 12-15, August. 1999。
- 5) 北海道開発局道路計画課 平成 11 年度 全国道路交通情勢調査 (道路交通センサス) 2001.1。
- 6) 国土交通省道路局・道路 IR サイトの費用便益分析マニュアル (案)
- 7) 中村英夫編・道路投資評価研究会著 (1997) 「道路投資の社会経済評価」東洋経済新報社
- 8) 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。