

老朽橋梁補修計画のための補修必要度レベルの検討

Investigation of Maintenance Necessity Level for a ageing bridge repair plan

北見工業大学大学院 ○学生員 長谷川孝治 (Koji Hasegawa)
 北見工業大学 フェロー 大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
 北見工業大学 正会員 三上修一 (Shuichi Mikami)
 (株)ドーコン 正会員 佐藤 誠 (Makoto Sato)
 (株)ドーコン 正会員 丹波郁恵 (Ikue Tamba)

1. はじめに

供用年数が数十年を超え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、この基準による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。また、近年の社会資本整備における事業計画の評価では、三重県などの地域の社会的価値や便益などの経済的価値を考慮した優先順位を決定する支援システムが提案されているため、その必要性は高まっている。今後、更なる老朽化橋梁の増加が予想されることから、長期的な維持管理計画において、この限られた予算をどの様に有効利用できるか、橋梁の物理的な面だけではなく、いかに社会性、経済性を考慮した合理的な補修・補強計画を立案す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AHPなどの意思決定方法を用いて評価項目を重みに数値変換して行い、評価した社会的価値や交通量などを、さらに橋梁に対しては、資産的価値や健全度状態を考慮することによって、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、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く、近年は事業の計画・実施時には定量的な判断基準の下で、アカウントビリティの必要が迫られている。したがって、社会的価値を考慮したうえで補修・補強の優先順位を決定することが望まれる。本研究は、社会的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の一手法として、路線、橋梁の価値と橋梁の健全度を係数とした補修必要度レベル Ln^* を提案する。

補修必要度レベル Ln^*

$$Ln^* = (1 + \alpha)(1 + \beta)(1 + \gamma) \left\{ \frac{St_0 - St}{St_0} \right\} \dots (1)$$

この(1)式のそれぞれの係数に数値を代入し、 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 : 路線の重要度係数

β : 走行費用係数

γ : 橋梁の重要度係数

St : 橋梁健全度指数 (BHI)²⁾

St_0 : 100

である。

2.1 路線の重要度係数 α

本研究では、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路線について評価を行った。ここで、路線の地域性をより考慮するために各路線を各支庁(管轄地域)で区切るにより細分化し、86路線に分割して評価を行った。その内訳を表-1に示す。

路線の重要度係数 α は、路線の役割である生活の安全性向上、生活の利便性向上、地域の活性化支援などを考慮し算出する。評価には三重県の道路整備10ヵ年整備プログラム³⁾を参考にしたが、本研究では表-1にある北海道の路線を対象とするため、北海道で適応可能な評価項目や評価値を決定する必要があると考えた。そこで、北海道の地域性を考慮した評価項目を加え、AHP (Analytic Hierarchy Process: 階層分析法)⁴⁾による重み付けを新たに行うため階層を変更した。その評価項目を表-2に示す。

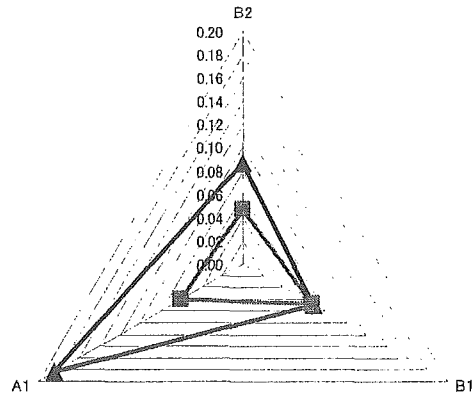
AHPは意志決定法の一つであり、最終目標、評価基準、代替案を基本とした階層構造に基づいて重み付けを行い、最も優先度の高い順に比較することが可能となるよ

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

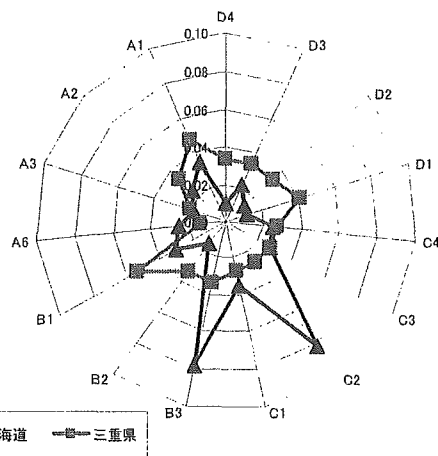
表-2 北海道国道路線評価資料

観点項目	点数
I. 基線アクセス道路	
A. 基線道路	
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)	26.7
B. 高速道路へのアクセス短縮	
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)	9.9
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)	12.6
C. 空港へのアクセス短縮	
1 空港アクセス関連	8.2
2 空港アクセス強化路線	10.6
II. 地域産業輸送道路	
A. 安全安心に必要な道	
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)	4.9
2 第2次緊急輸送道路 (重要港湾等・主要都市と市町村、医療拠点とを結ぶ路線)	3.5
3 第3次緊急輸送道路 (主要駅と拠点を結び、第1、2次緊急輸送道路のリダンダンシー路線)	2.6
4 緊急災害対策路線	3.8
5 除雪事業路線 (常時交通を確保する)	3.6
6 雨量規制区間	3.6
B. 渋滞対策	
1 第3次渋滞対策プログラム対策路線 (渋滞箇所へ直接影響する箇所を含む路線)	4.3
2 渋滞対策路線 (地域の渋滞箇所の対策路線)	2.1
3 道路または鉄道との立体交差化に資する路線	11.5
C. 地域産業等に資する道路	
1 物流関連路線 (交通拠点の港湾「重要港湾以上」との直結)	5.1
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)	11.9
3 住宅関連 (計画が明確な箇所)	4.0
4 企業立地関連 (計画が明確な箇所)	3.6
D. 事業関連	
1 大規模ダム関連 (水資源公団施工ダム)	1.7
2 広域農道建設区間	1.9
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)	3.2
4 防衛施設関連	1.4
III. 地域生活振興道路	
A. 生活圏内の利便性向上	
1 圏内中心都市と各市町村役場連絡道路 (最短及び利用状況から1路線選定)	3.8
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)	1.4
3 圏内隣接市町村連絡道路 (最短及び利用状況から選定)	2.0
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)	2.2
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)	1.2
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)	2.8
B. 地域生活支援	
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)	3.5
2 市町村役場とその各支所を結ぶ路線	1.6
3 バス路線	1.9
4 通学路	2.0
C. 市街地活性化	
1 駅前通り	2.0
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)	2.4
3 電線類地中化にあわせ事業化を進める必要がある路線	1.5
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)	2.7



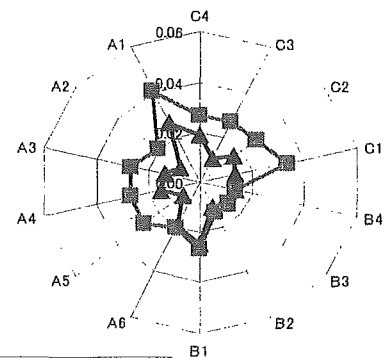
—▲—北海道 —■—三重県

図-1 I.基線アクセス道路による重みの比較



—▲—北海道 —■—三重県

図-2 II.地域産業輸送道路による重みの比較



—▲—北海道 —■—三重県

図-3 III.地域生活振興道路による重みの比較

うな手法で、道路事業の評価手法としても近年注目されている手法の一つである。アンケート調査は、橋梁設計および持管理業務に従事する技術者 10 名に資料を配布して依頼した。その結果を用いて、表-2 の大項目 I. 基線アクセス道路、II. 地域産業輸送道路、III. 地域生活振興道路に対しそれぞれ一対比較によって重みを算出し、中項目、小項目と繰り返し最終的な重みを算出した。それぞれの重さを平均化し三重県資料項目の総合点と同値になるように北海道路線評価の項目点数を算出した。このようにして、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重み付けし、点数化し

た 36 項目について加点方式評価を行い、この合計点を 100 で除したものを路線の重要度係数 α として定義した。

ここで、北海道と三重県の資料項目における重みの比較を図-1~3 に示す。ここでは、三重県にない項目は除いた。北海道における重みは、三重県と比較して図-1 より幹線道路網の整備に対しての意識がきわめて高いことがわかる。図-2 より鉄道との立体交差化、地域産業に関わる観光用幹線の整備への重みが高く表れている。ダムや防衛施設などの事業関連においては三重県の方が高い結果となった。

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 /Pv=β ₁
B区間	C ₂	L ₂	C ₂ /L ₂ =P ₂	P ₂ /Pv=β ₂
C区間	C ₃	L ₃	C ₃ /L ₃ =P ₃	P ₃ /Pv=β ₃
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N区間	C _n	L _n	C _n /L _n =P _n	P _n /Pv=β _n
	ΣC _n	ΣL _n	ΣC _n /ΣL _n =Pv	

2.2 走行費用係数 β

走行費用係数 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⁵⁾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⁶⁾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 Pv（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走行費用係数 β と定義した（表-3）。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を判断することが出来る。

2.3 橋梁の重要度係数 γ

橋梁の重要度係数 γ は橋梁自身の価値を指標とするために初期資産（建設費）を考慮した。橋梁の初期資産は各部材の単価を合計したもので、橋梁の規模や部材の種類によって変化する値である。また、北海道橋梁の初期資産の合計を橋梁数で除したものを平均初期資産とし、橋梁の初期資産を平均初期資産で除したものを橋梁の重要度係数 γ と定義した。これによって、長大橋など資産価値が高い橋梁の重要性を考慮でき、また、初期資産が高い橋梁は健全度が低くなると他に比べ補修・補強時に高いコストがかかるため、早期に補修・補強の計画をすべき橋梁を考慮することが出来る。

2.4 St の算出方法

St 値の算出には橋梁健全度指数（BHI）を用いる。BHI

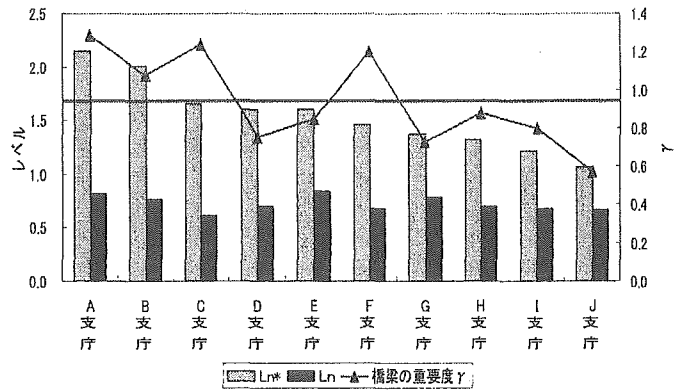


図-4 支庁別補修必要度レベル

は、橋梁点検から求められた橋梁の各部材の損傷度（損傷の程度及び規模）の物理的状況と、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。

$$St = BHI = \frac{[現在資産 (建設費)]}{[初期資産 (建設費)]} \times 100 \dots (2)$$

ここで、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。

3. 補修必要度レベル Ln* の解析結果

以上より関連する係数を算出し、補修必要度レベル Ln* を算出した後、点検済みの全道の橋梁について解析を行った。補修必要度レベル Ln* の算出結果の一例を表-4 に示し、解析結果について考察する。また、橋梁の重要度係数 γ を考慮する以前の補修必要度レベル Ln と比較検討する。

3.1 補修必要度レベルの検討

表-4 より、C 橋と D 橋について、Ln では C 橋 < D 橋だったのに対し、Ln* では C 橋 > D 橋の関係になり、順位が入れ替わっている。これは、C 橋の橋梁の重要度係数 γ が高いためで、資産価値の影響が反映されている。また、国道 a 号に位置する A 橋と F 橋についてみると、A 橋、F 橋ともに路線の重要度係数 α、走行費用係数 β

表-4 補修必要度レベルの算出結果

路線名	橋梁名称	点検年度	路線の重要度係数 α	走行経費係数 β	橋梁の重要度係数 γ	BHI St	Ln*	Ln
国道a号	A橋	2001	0.926	4.56	0.94	31.6	14.18	7.32
国道b号	B橋	2000	0.786	2.11	2.38	45.9	10.14	3.00
国道c号	C橋	1998	0.513	1.54	5.74	67.7	8.38	1.24
国道d号	D橋	2000	0.685	1.47	3.41	55.6	8.16	1.85
国道d号	E橋	2000	0.685	1.31	3.90	68.5	6.02	1.23
国道a号	F橋	2000	0.926	4.56	3.45	88.7	5.38	1.21
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
国道c号	U橋	1997	0.513	0.12	0.29	89.7	0.22	0.17
国道e号	V橋	1999	0.543	0.24	1.59	95.6	0.22	0.08
国道d号	W橋	2000	0.685	1.31	2.05	98.3	0.21	0.07
国道d号	X橋	2000	0.685	0.8	1.90	97.7	0.20	0.07
国道a号	Y橋	1996	0.926	1.2	0.70	100.0	0.00	0.00
国道d号	Z橋	1999	0.685	0.33	0.27	100.0	0.00	0.00

表一5 支庁別補修必要度レベルの算出結果

	A支庁		B支庁		C支庁		D支庁		E支庁		F支庁		G支庁		H支庁		I支庁		J支庁		高 補修・補強の 必要性 低
	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	L_n^*	L_n	
10~	4		7		15		4		1		4				4		2		1		
9~10	3		1		2						1										
8~9	1		1	2	2		1	1			1				1	1	2				
7~8	1		2		2		3		1		1				1				1		
6~7	5		1		4		1		1						1	1			3		
5~6	4		1	1	3	1	2		1		3		1		1	1	1		2		
4~5	6	1	3	1	11		2	4	2	1	10	1	2		2		4		2		
3~4	7	2	8	1	17	6	7	1	7		17	1	6		19	4	9	2	5	1	
2~3	32	12	29	12	34	24	11	6	13	7	31	13	8	3	26	6	23	5	11	10	
1~2	59	53	49	49	95	68	46	34	26	31	80	61	19	16	79	55	58	47	53	33	
0~1	80	134	133	169	284	370	137	168	39	52	156	228	36	53	153	218	131	176	105	138	
0	7	7	18	18	43	43	17	17	6	6	21	21	3	3	22	22	17	17	18	18	
合計	209(橋)		253(橋)		512(橋)		231(橋)		97(橋)		325(橋)		75(橋)		308(橋)		248(橋)		200(橋)		

は同じで A 橋の方が橋梁の重要度係数 γ が高いが、BHI が A 橋 31.6, F 橋 88.7 と A 橋の方が橋梁の資産価値が低下しているため L_n^* が上位になったと考えられる。Y 橋は A 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 L_n^* が 0 となり補修・補強が不要であると考えられる。

これらより、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断することが出来ると考えられる。

3.2 北海道の橋梁を対象とした L_n^* 算出結果

北海道の橋梁点検調査によって得られたデータを用いて、開発建設部毎の補修必要度レベル L_n^* を算出した。

図一4 は支庁ごとの補修必要度レベル L_n^* 、 L_n と橋梁の重要度係数 γ の平均値を表したものである。 L_n^* は L_n に比べ支庁の格差が大きく算出されたが、これは橋梁の重要度係数 γ の地域河川環境の違いなどが影響していると考えられる。また、点検データ 2458 橋の補修必要度レベルを各範囲に区分した橋梁数を算出した(表一5)。

表一5の結果から L_n^* の最も高い区分(10~)で対象となる橋梁が、A 支庁(4 橋)、B 支庁(7 橋)、C 支庁(15 橋)、D 支庁(4 橋)、E 支庁(1 橋)、F 支庁(4 橋)、H 支庁(4 橋)、I 支庁(2 橋)、J 支庁(1 橋)それぞれ存在することがわかり、地域によって L_n^* の分布は変わってくる。また L_n に比べ数値が分散していることから、 L_n^* を用いて順位を算出することで補修・補強すべき橋梁がより明確に判断可能になったといえる。

4. まとめ

本研究では、橋梁の現在保持している価値についての定量的な評価の手法について述べるとともに、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 L_n^* 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) 路線の重要度係数 α 、走行費用係数 β 、橋梁の重要度係数 γ を用いることで、路線や地域における橋梁の重要度係数を考慮した補修の優先順位を算出することが出来た。

2) 橋梁の各部材の損傷状況を経済的視点から評価した橋梁健全度指数 (BHI) に各種の重要度を考慮することで、社会的に優先度の高い補修・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。

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山崎智之助手、高橋清助教授、(株)フジエンジニアリングの杵本正信氏、北海道開発局の前田哲哉氏に助言を頂きました。また、北海道開発局には資料を提供して頂きました。この場を借りて感謝を申し上げます。

本研究は平成 15 年度文部科学省科学研究費(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) 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
- 3) 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.
- 4) 刀根薫: ゲーム感覚意思決定法—AHP 入門—, 日科技連出版社, 1986.
- 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) 森弘, 大島俊之, 三上修一, 他: コンピュータ・グラフィ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.
- 8) 大島俊之, 三上修一, 丹波郁恵, 前田哲哉: 既存橋梁に対する補修補強計画に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集 第 59 号, pp68-71, 2003.1
- 9) Makoto Sato, Shuichi Mikami, Ikue Tanba, Kenji Ikeda and Toshiyuki Oshima: On Remaining Asset Values and Maintenance Necessity Level (MNL) of Bridges, Colloquium on Bridge Vibration '03, pp173-180, 2003.9.