

I-64 数量化理論による橋梁の健全度評価の実用化に関する検討

北見工業大学 正員 大島 俊之 中神土木設計 正員 本間 美樹治  
 北見工業大学 正員 森 弘 (株)ナオック 阿部 英俊  
 北見工業大学 正員 三上 修一

1. まえがき

著者らはこれまで橋梁の健全度診断のための様々な検討を行ってきた。<sup>1)~7)</sup>たとえば橋梁の健全度に及ぼす影響因子の選定、部材各部の点検評価(物理的評価)、橋梁の機能低下による健全度の低下の評価法の確立、各影響因子の健全度を総合化する際の各項目に対する重みの決定などである。

しかし文献<sup>3)</sup>でも述べているように、本来、この橋梁の維持・点検の技術は実験による裏づけや過去の補修事例を参考データとして判断できることが望ましいが、最近までこれらに関するデータの集積が充分でなく、判断基準が統一されてこなかった。すなわち、個々の健全度診断のための点検は目視を中心とした手法による結果に基づいて判断してきたが、今後は何らかの検査を実施して判断することが必要となっている。<sup>8)</sup>

本論文ではこれらについて解決できるような内容とはならないが、これらの診断手法を実用化する上での問題点について検討する。

2. 数量化理論Ⅱ類を用いた橋梁の健全度総合評価法

橋梁の健全度としては文献<sup>3)</sup>でも述べているように機能的健全度評価と物理的健全度評価に大別される。まず、機能的健全度については交通量を基本的尺度として、この交通量に対応して橋梁の各項目の機能的適切度が良いか否かを判定する考え方を基本として数量化理論を適用する。また物理的健全度については建設省土木研究所の「橋梁点検要領」による点検データを基本として、このデータに数量化理論を適用する。

(1) 機能的健全度評価

機能的健全度に影響する主要なアイテムとしては

- ①車線幅員 ②路肩幅員 ③歩道幅員 ④道路橋梁幅員差
- ⑤線形形態 ⑥河川改修計画 ⑦交通混雑度

の7項目を表1の機能的点検表から選定した。またアイテム①, ②, ③, ④の幅員に関する項目においては当該する道路の理想的な種別等級を決定し、それに該当する幅員構成をまず設定して、その理想値から現況はどの程度少ないかを尺度としてカテゴリー範囲を決めている。アイテム⑤の線形状態については曲線部の方向転換の角度を尺度に4段階に分けている。アイテム⑥の河川改修計画については計画の有無の他にすでに改修が終了しているか否かも含めて3段階とした。さらにアイテム⑦の交通混雑度は

$$\text{(日交通量)} / \text{(設計基準交通量)}$$

の比を尺度にとって3段階にカテゴリーを分類した。

表1 機能的点検表

場名		路線番号		路線名	
道庁		4070		上成利九郎寺橋	
選定機能的健全度に関する項目の概観					
道路区分	3 級	4 級	村道交通量	2000	台/日
道路の種類	普通	設計速度	40	km/h	
交差点		1981	1991	特別部丸機部町字新野	
⑦		日12時間交通量	台	1722	台
		大型車種割合	%	23%	%
		大型車種割合	%	14	%
		日12時間交通量	台	1303	台
		大型車種割合	%	7%	%
		大型車種割合	%	6	%
① 車線幅員 - 路肩幅員					
200111					
①	車線幅員	2	河川名	赤野田	
②	路肩幅員	3.5 m	村道幅員		台/日
③	歩道幅員	2.5 m	村道幅員		台
④	幅員差	2.5 m	河川改修計画の有・無	有	
⑤	線形形態	2	河川改修計画の有・無	有	
⑥	河川改修計画	2	河川改修計画の有・無	有	
⑦	交通混雑度	2	河川改修計画の有・無	有	
⑧	交通混雑度	3.5 m	3.5 m	数量化目標による判定	△
⑨	交通混雑度	3.5 m	3.5 m	数量化目標による判定	△
⑩	交通混雑度	6.3 m	3.6 m	数量化目標による判定	△
⑪	交通混雑度	6.3 m	3.6 m	数量化目標による判定	△
⑫	交通混雑度	6.3 m	3.6 m	数量化目標による判定	△
⑬ 橋梁の構造形式					
⑭ 橋梁の構造形式					
⑮ 橋梁の構造形式					
⑯ 橋梁の構造形式					
⑰ 橋梁の構造形式					
⑱ 橋梁の構造形式					
⑲ 橋梁の構造形式					
⑳ 橋梁の構造形式					
㉑ 橋梁の構造形式					
㉒ 橋梁の構造形式					
㉓ 橋梁の構造形式					
㉔ 橋梁の構造形式					
㉕ 橋梁の構造形式					
㉖ 橋梁の構造形式					
㉗ 橋梁の構造形式					
㉘ 橋梁の構造形式					
㉙ 橋梁の構造形式					
㉚ 橋梁の構造形式					
㉛ 橋梁の構造形式					
㉜ 橋梁の構造形式					
㉝ 橋梁の構造形式					
㉞ 橋梁の構造形式					
㉟ 橋梁の構造形式					
㊱ 橋梁の構造形式					
㊲ 橋梁の構造形式					
㊳ 橋梁の構造形式					
㊴ 橋梁の構造形式					
㊵ 橋梁の構造形式					
㊶ 橋梁の構造形式					
㊷ 橋梁の構造形式					
㊸ 橋梁の構造形式					
㊹ 橋梁の構造形式					
㊺ 橋梁の構造形式					
㊻ 橋梁の構造形式					
㊼ 橋梁の構造形式					
㊽ 橋梁の構造形式					
㊾ 橋梁の構造形式					
㊿ 橋梁の構造形式					

Study on the Application of Integrity Evaluation on a Bridge by Means of Quantification Theory by Toshiyuki OSHIMA, Hiroshi MORI, Shuichi MIKAMI, Mikizi HONMA, and Hidetoshi ABE

(2) 物理的健全度評価

建設省土木研究所の「橋梁点検要領」では物理的 point 検査項目は表2のように分類されている。したがってこの分類では非常に多くの項目に分かれているので、頻度の高いものを中心として表3のように合計17項目に点検データを再編した。

物理的健全度評価についてはこの評価のみに対して数量化理論を用いた解析が可能である。すなわち機能的評価を入れないで当該橋梁の

- A：現状維持
- B：軽い補修
- C：重大補修
- D：架 換

の4つの分類に外的基準を設定して解析することができ、物理的影響因子17項目の重みやデータの散布状況も見ることができる。<sup>2), 3), 4)</sup>

(3) 橋梁健全度の総合評価

以上のような検討に基づき本論文では旭川土木現業所および稚内土木現業所管内の昭和40年以前に建設された橋梁を対象として合計60橋の点検データに基づく解析結果について述べる。すなわちこの60橋について機能的評価項目と物理的評価項目を総合した健全度評価の結果について述べる。総合評価においては物理的評価項目のうち重みの大きい主桁、床版および基礎の3項目のみを機能的項目と組み合わせて総合評価することにした。

外的基準については一般に

- 1) 現状維持および機能低下の監視継続
- 2) 機能の再点検評価の必要有 (部分的改修)
- 3) 機能停止 (補修, 改築)

などに分類されるが、ここでは1)と2)を広い意味の現状維持と考えて

- ①架換計画のないもの (○印)
- ②架換計画のあるものまたは架換中のもの (×印)

の2分類とした。

3. 総合評価の解析結果および考察

表4および図1には稚内土現管内の対象橋梁20橋について解析した結果 (散布図) と各項目に対する重みの円グラフを示している。また表5および図2には同じく旭川土現管内の40橋に対する結果を示している。いずれもほぼ満足できる結果が得られている。

さて以上のような結果は各土現管内の個々の橋梁に対する点検データと官庁の外的基準に対する総合判断に基づいて計算したものである。したがってこれらの結果には判断の地域性や判断基準のばらつき、特徴などが見られることになる。表6は著書らがこれまでに実施した網走土現 (平成4年度)、帯広、釧路土現 (平成5年度)、国道 (開発局, 平成5年度), および稚内、旭川土現 (平成6年度) の各地域の昭和40年以前

表2 損傷の種類とその略称

(a) 鋼橋		(b) コンクリート橋	
部材区分	損傷の種類	部材区分	損傷の種類
主部材	腐食 (主1)	主部材	割離 (主1)
	亀裂 (主2)		・割離、鉄筋露出
	・亀裂 ・破断		ひびわれ (主2)
主桁	その他 (主3)	主桁	その他 (主3)
	・脱落 ・異常音 ・異常振動 ・異常たわみ		・遊離石灰 ・鋼板接合部の損傷 ・漏水、滲水 ・異常振動 ・異常たわみ ・欠損
	腐食 (補1)		割離 (補1)
2次部材	亀裂 (補2)	2次部材	・割離、鉄筋露出
	・亀裂 ・破断		ひびわれ (補2)
	その他 (補3)		その他 (補3)
対峙構・橋脚	・脱落 ・変形	・柱脚 ・縦桁	・遊離石灰 ・鋼板接合部の損傷 ・漏水、滲水 ・欠損
	割離 (床1)		割離 (床1)
	・割離、鉄筋露出		・割離、鉄筋露出
床 版	ひびわれ (床2)	基 礎	ひびわれ (床2)
	・床版ひびわれ		・床版ひびわれ
	その他 (床3)		その他 (床3)
	・遊離石灰 ・抜け落ち ・鋼板接合部の損傷 ・漏水、滲水		・遊離石灰 ・抜け落ち ・鋼板接合部の損傷 ・漏水、滲水

表3 物理的 point 検査表

種別	土佐土現	陸奥重現	1013	陸奥重現	北見管内
検査年月	S. 35. 1. 1	点検年月日			
橋 長	15.00 m	主 桁			
橋 幅	6.0 m	上 部			
河川名	清水橋	部 材			
示方書	S. 31 通示	造			
基礎形式	杭基礎	コンクリート			
上部構造	P C 床版桁	1 床版桁			
径間数	2	下			
支持形式	単純支持桁	部			
架換計画の有無	1981 1991	構			
最高速度	℃	造			
最低速度	℃	支			
湿度	%	承			
降水量	%	基			
日照率	%	礎			
風 速	m/s	造			
毎岸からの距離	2.00 km	支			
汚染物質		承			
検査年月	補 修 年 限	基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			
		造			
		支			
		承			
		基			
		礎			

に建設された同様の解析において得られた結果から、各アイテムに対する重みをそれぞれについて比較したものである。なお表中、網走土現および国道（開発局）のデータについては、歩道状態のアイテムに対する数値に路肩幅員のアイテムに対する数値を含めた合計を示している。

また、この2つのデータについては物理的アイテムは合計した数値でもとめている。

表4 総合評価の解析結果（稚内土現）

アイテム	カテゴリー	度数	カゴリスコア	1軸 範囲	偏相関係数
車線幅員 (m)	0.00~2.50	12	-0.16011	1.35625	0.63985
	2.50~	7	0.40969	20.45%	15.57%
歩道状態	両側	2	-0.02300	1.23926	0.83145
	片側	6	-0.82362		
	無	12	0.41564		
道路橋梁 幅員差	~0.00	5	-0.50490	0.88837	0.71278
	0.00~1.50	10	0.06072		
線形状態	直線	5	0.44767	1.10969	0.75873
	ほぼ直線	4	-0.66203		
	緩いカーブ	6	0.35076		
	きつい	5	-0.33896		
河川改修 計画	済有	4	-0.40764	1.44866	0.70306
	無	12	0.10410		
主桁	OK	14	0.05782	0.19274	0.23688
	IV	6	-0.13492		
	III	0	0.05782		
	II	0	0.05782		
床版	OK	19	-0.01789	0.35773	0.18478
	IV	1	0.33984		
	III	0	-0.01789		
	II	0	-0.01789		
基礎	OK	10	0.01944	0.03889	0.04218
	IV	10	-0.01944		
	III	0	0.01944		
	II	0	0.01944		
外的基準	現状	9	-1.05944	相関比=	0.91835
	架換	11	0.86682		

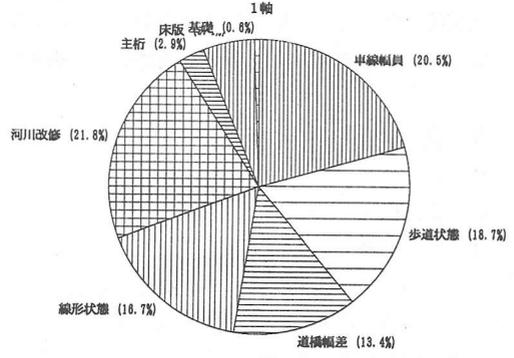


図1 総合評価による項目別重み付け（稚内土現）

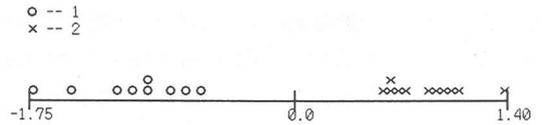


表5 総合評価の解析結果（旭川土現）

アイテム	カテゴリー	度数	カゴリスコア	1軸 範囲	偏相関係数
車線幅員 (m)	0.00~2.50	20	-0.69354	1.53362	0.43561
	2.50~	8	0.08008	11.39%	14.86%
歩道状態	両側	4	0.19407	0.41032	0.08398
	片側	5	-0.21625		
	無	31	0.00984		
道路橋梁 幅員差	~0.00	10	-0.43502	1.06544	0.38363
	0.00~1.50	21	0.46464		
線形状態	直線	11	-1.34611	3.81797	0.63157
	ほぼ直線	3	2.47186		
	緩いカーブ	3	0.28329		
	きつい	23	0.28442		
河川改修 計画	済有	20	0.17785	1.04113	0.28676
	無	4	0.65506		
混雑度	~0.50	16	-0.38607	1.60670	0.27348
	0.50~1.00	38	-0.08034		
	1.0~	0	-0.08034		
		2	1.52637		
主桁	OK	37	-0.03409	1.38736	0.19137
	IV	2	-0.04198		
	III	1	1.34538		
	II	0	-0.03409		
床版	OK	36	-0.21342	2.13419	0.44738
	IV	4	1.92077		
	III	0	-0.21342		
	II	0	-0.21342		
基礎	OK	22	0.21140	0.46978	0.19776
	IV	18	-0.25838		
	III	0	0.21140		
	II	0	0.21140		
外的基準	現状	34	-0.29764	相関比=	0.50201
	架換	6	1.68663		

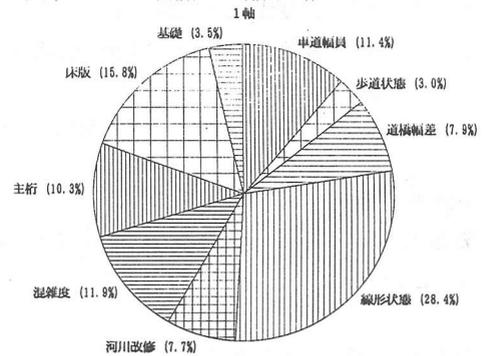


図2 総合評価による項目別重み付け（旭川土現）

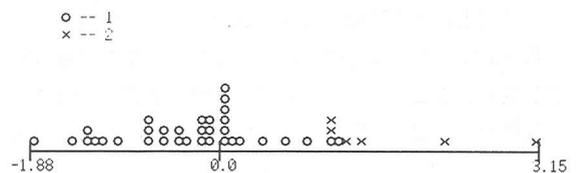


表6の比較における特徴の主なものとしては

- 1) 帯広・釧路については基礎に対する重みが大い。また交通混雑度に対する重みもやや大きい。
- 2) 稚内については交通混雑度や物理的アイテムの重みが非常に小さい。
- 3) 国道については車線幅員に対する重みが大い。
- 4) 旭川については線形形態に対する重みが大い。

などがあげられる。これらの特徴が地域の実情とどの程度結びついているかは不明であるが、一つの特徴として大変興味深いものがある。

表6 重みの地域による比較

地域 71項目	帯広・釧路	旭川	稚内	網走	国道
車線幅員	16.3	11.4	20.5	19.2	32.3
歩道状態	11.6	3.0	18.7	20.8*	18.6*
道路橋梁幅員差	7.7	7.9	13.4	12.8	16.6
線形状態	3.7	28.4	16.7	13.5	6.7
河川改修計画	1.5	7.7	21.8	7.5	5.5
交通混雑度	18.1	11.9	0	15.7	7.1
主桁	2.1	10.3	2.9	10.5	13.2
床版	11.1	15.8	5.4		
基礎	27.9	3.5	0.6		
合計(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

\*) 歩道状態の割合の中に路肩幅員の項目の割合を含めている。

#### 4. まとめ

本論文では橋梁の健全度の総合評価を対象として数量化理論Ⅱ類による解析結果を示した。前述したように橋梁の健全度評価の実用化のためには多くの検討課題があるが、本論文で得られた地域性の考慮も重要な項目である。本研究がこれらの検討に役に立てば幸いである。

本研究においてはデータを提供していただいた旭川土現都市整備係長合田茂満氏、稚内土現舗装係長佐々木亮氏、網走土現都市整備係長今雅史氏および北海道土木部道路課山口篤志主査に感謝申し上げます。また本研究は文部省科学研究費一般研究C（研究代表者大島俊之）の一部として行ないました。

#### 参考文献

- 1) 本間, 林他: 道路橋の維持補修順位決定システム, 土木学会第49回年次学術講演会, 第I部門, 1994
- 2) 森, 大島他: 橋梁の健全度診断における総合評価法の開発, 鋼構造年次論文報告集, 第I巻, 1993
- 3) 森, 大島他: 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, 1994
- 4) 森, 大島他: Effect of Individual Decision of Bridge Expert on Total Evaluation of Bridge Integrity, 鋼構造年次論文報告集第2巻, 1994
- 5) 安田, 大島他: 構造物の健全度診断における機能的寿命の評価手法に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第49号, 1993
- 6) 本間, 大島他: 橋梁の健全度診断における物理的総合評価手法に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第49号, 1993
- 7) 本間, 林他: 橋梁の維持補修計画支援システムについて, 土木学会北海道支部論文報告集, 第50号, 1994
- 8) 土木学会鋼橋の余寿命評価小委員会: 鋼橋の劣化現象と損傷の評価, 土木学会論文集, 委員会報告, No.501/I-29, 1994