

I-105

重み係数を用いた橋梁健全度のランク付けの研究

北見工業大学	正員	大島	俊之
北見工業大学	正員	三上	修一
中神土木設計	正員	本間	美樹治
(株)ナオック	正員	水元	尚也
北海道開発技術センター		野村	浩邦

1. はじめに

本研究は橋梁の総合的な健全度を評価する際に必要となる、各構造部材に対する評価値に乗ずる重み係数に着目して研究を行った。すなわち、橋梁の総合的な健全度 S_i は各構造部材に対する健全度の評価値 S_j とそれに乗ずる重み係数 W_j を用いて重みつき平均の次式により評価できる。

$$S_i = \frac{\sum W_j \cdot S_j}{\sum W_j} \quad (1)$$

したがってこれまでの研究により S_j はかなり精度よく評価できるようになっているので、今後は重み係数 W_j を合理的に決定して総合的な健全度を定量的に評価する手法が必要となっている。本研究では国道と道道に架かる橋の維持点検データに基づいて、数量化理論Ⅱ類を用いた解析によって得られる結果から、重み係数が合理的に求められることを示すとともに、この重み係数を用いて橋梁健全度のランク付けが定量的に評価できていることを示す。したがって維持管理の現場でこれらの解析結果を利用する際には、この橋梁健全度のランクリストにしたがって維持補修、補強を検討するとともに、管理対象地域全体での橋梁健全度の総合評価値を、ある管理基準以内に保つように維持補修業務を合理的に実施することが必要である。

2. 橋梁の点検調査

橋梁の点検、調査は管理主体によって多少異なるが、

- ①通常点検
- ②定期点検
- ③異常時点検
- ④追跡調査
- ⑤詳細調査

に分類される。このうち通常点検は損傷の早期発見を図るために、原則として道路の日常巡回要領による目視点検をいう。定期点検は2年に1回の頻度で実施する遠望からの点検と点検車や工事用足場を用いて近接で実施する10年に1回の点検に大別される。異常時点検、追跡調査、詳細調査は必要に応じて点検機械、用具を用いて実施される。

次に橋梁各部の評価項目および評価ランクの決定方法について述べる。我が国では主として建設省土木研究所の点検要領⁶⁾に基づく点検検査を国道について実施している。

Study on Rank Making of Bridge Integrity using Weight Coefficient

by Toshiyuki OSHIMA, Shuichi MIKAMI, Mikiji HONMA, Takaya MIZUMOTO and Hirokuni NOMURA

また高速道路については各公団の点検要領があり、鉄道についても鉄道総合技術研究所の点検要領がある。比較のため、米国FHWAの Bridge Inspection Manualについて若干述べてみる。構造物台帳および評価シートのうち、橋梁の健全度診断に関する部分についてまず評価項目については、

- (1)床版 : 床版表面の状況、伸縮継手など
- (2)上部構造 : すべての部材、支点、排水設備を含む
- (3)下部構造 : 橋台、橋脚、パイル、フェンダー、フーチングなど
- (4)水路と水路の防護工 : 流れの安定性、護岸工事、堤防など
- (5)暗渠および擁壁 : 線形や沈下問題、擁壁の安定
- (6)残存寿命の評価 : 大幅な改修なしでの寿命、材料、交通量等より評価
- (7)運用上の評点 : 許し得る最大荷重(最大輪重、総重量)

また評点ランクは11段階に分けており

N	: Not applicable	適用不可能
9	: New condition	現行基準より上
8	: Good condition	現行基準と同等
7	: Generally good condition	現行基準の最低基準より上
6	: Fair condition	現行基準の最低基準と同等
5	: Generally fair condition	耐えられる最低のレベルより若干上
4	: Marginal condition	耐えられる最低レベル
3	: Poor condition	耐えられないレベル
2	: Critical condition(2)	修理するまで使用不可
1	: Critical condition(1)	修理するかどうか検討する
0	: Critical condition(0)	修理不可能(架換)

のようになっている。

機能的要素についての項目は

- (1)アプローチ道路の線形(橋の使用効果に関係する)
- (2)登録上の評点(現在のままで安全に使用できる荷重レベル)
- (3)構造物の状態(構造物の全体的な評価、構造的欠陥+機能的欠陥)
- (4)床版の幾何学的形状(床版の幅、高欄、地覆など)
- (5)橋下のクリアランス(高さ、および横方向)
- (6)安全載荷能力(荷重制限)
- (7)水路の妥当性(先掘、斜面の防護、流れの容量など)

最後に点検員が提案する改善の項目として、次の項目を用いる。

- (1)必要年(構造物を改善する必要が生じる年)
- (2)作業内容(改善にひつような作業内容、幅の拡幅、新設、補強)
- (3)改善延長(構造物全長を改善することは必ずしも必要でない)
- (4)設計荷重の提案(改善に用いる設計荷重)
- (5)提案する道路幅員
- (6)提案する車線数

- (7)設計平均日交通量（評価した年）
- (8)改善費（改善に要する総費用）
- (9)予備的な技術費、調査費など
- (10)破壊費（現在構造物を破壊するのに必要な費用）
- (11)下部構造費（提案の改善案で下部構造に必要な費用）
- (12)上部構造費（提案の改善案で上部構造に必要な費用）

3. 数量化理論Ⅱ類による橋梁健全度の重み係数

3. 1 これまでに得られている重み係数

前述した建設省の橋梁点検要領では各項目に対する5段階の評価はほぼ統一的に実施できると思われるが、これらのデータに基づく総合評価の方法が確立していない。また米国ニューヨーク市では表1のような内容で7段階ランクの重み付き評価法を用いている。

このような方法によれば7段階のランクに分類された各項目に対する評価 S_i に表1の重み係数を W_i として式(1)にしたがって重み付き評価を計算している。しかし表1の重みの根拠は明らかとなっていない。著者らはこれまでに数量化理論Ⅱ類を橋梁健全度の総合評価に応用する研究を行い、合理的に上記の重み係数が決定できることを示した。^{1) 2) 3)}表1と比較するため、これまでに得られた結果を再整理した著者らの重み係数を表2に示している。これらの比較から表1では下部構造にかなり重みをつけているのに対して、表2では主要部材に最大の重みを得られている。いずれにしてもこれらの重みは道路の種類や地域、時代などによって異なることが予想される。

表1

ニューヨーク市の橋梁診断における重み

項目	ポイント	(%)	
(1) 主部材	10	14	17
(2) 添接	4	3	
(3) 2次部材	5	7	7
(4) 床版	8	11	11
(5) 橋脚	8	11	36
(6) 橋台	8	11	
(7) 背面壁	5	7	
(8) 擁壁	5	7	
(9) 橋梁台座	6	8	16
(10) 支承	6	8	
(11) 高欄	1	1	1
(12) 舗装	4	6	6
(13) 歩道	2	3	3
	72	100 (%)	100 (%)

表2

鋼橋に対する重みの結果

項目	(%)	
(1) 主部材（腐食、亀裂）	26	34
(2) 主部材（その他）	8	
(3) 2次部材	10	10
(4) 床版（剝離、ひびわれ）	6	12
(5) 床版（その他）	6	
(6) 下部構造（躯体）	9	21
(7) 下部構造（基礎）	12	
(8) 支承	8	8
(9) 高欄	4	4
(10) 地覆	4	4
(11) 舗装	4	4
(12) 伸縮装置	3	3
	100 (%)	100 (%)

次に橋梁の機能的健全度と物理的健全度とを総合的に考慮した健全度評価を道内国道について実施し、各地域毎の重みを比較した結果を表3に示した。地域性によって重要視すべき内容を変えていることがうかがわれる。

表3 道内国道における各地域ごとの重み

部局名 アイテム	旭川開建	釧路開建	札幌開建	小樽開建	帯広開建	稚内開建	函館開建
車線幅員差	3.9	8.6	5.2	11.4	9.0	16.0	5.5
歩道状態	0.9	11.9	14.9	5.6	0.8	13.7	6.6
道路橋梁幅員差	41.5	0.5	11.6	0.0	6.5	6.1	7.6
線形状態	13.0	7.9	14.7	16.8	22.2	9.7	12.1
河川改修計画	8.4	14.6	2.9	14.8	16.7	1.5	13.3
混雑度	10.7	10.1	13.9	7.5	4.8	5.9	9.5
主桁	10.2	23.8	11.4	10.4	13.0	24.5	13.7
床版	9.6	7.2	17.1	20.4	11.3	16.6	26.4
基礎	1.8	15.9	8.8	13.2	15.8	6.0	5.2
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

3.2 シミュレーション結果

以上の解析結果は数量化理論Ⅱ類に基づくものであるが、解析の中で用いている外的基準の判定は現場の技術者による実際的な判断に基づいている。したがって、技術者の力量などによって判定にばらつきが予想されるとともに、地域性の影響も前述のように無視できない。したがって著者らは文献²⁾であらかじめ制作した200橋近い橋梁についてのシミュレーション表(仮定の損傷橋梁)を作成して10名のエキスパートによる判定データを得た。著者らはこれらの解析結果が一番信頼性のあるものと判断し、その中に含まれる重み係数が確定的な結果と考えている。また文献²⁾の公表以降内容を精査してまとめたものが表4である。表中1軸、2軸、3軸とあるのは数量化理論の計算から得られる座標軸のことで、橋梁の健全度を、A:現状維持、B:軽い補修、C:重大補修、D:架換えの4分類に分ける際、1軸の大小でA、BとC、Dを分類、2軸でC、Dの分類、3軸でA、Bの分類が可能となるものである。表中の数字は各軸の判定に用いる重み係数を意味している。

表4 重み係数の総括表

		鋼橋 (202橋)						コンクリート橋 (199橋)								
		1 軸		2 軸		3 軸		1 軸		2 軸		3 軸				
上部構造	主部材	腐食	9.3		8.3		0.6	主部材	剥離	17.3		12.9		5.8	17.7	
		亀裂	15.8	31.0	5.3	23.3	0.2		11.6	ひび割れ	13.7	36.7	7.2	30.7		9.2
		その他	5.9		9.7		10.8			その他	5.7		10.6			2.7
	2次材	腐食	3.2		3.1		4.4	2次材	剥離	3.3		9.7		1.9	17.3	
		亀裂	0.9	7.4	0.4	9.4	2.4		12.7	ひび割れ	7.6	17.7	6.8	21.4		7.0
		その他	3.3		5.9		5.9			その他	6.8		4.9			8.4
	床版	剥離	9.6		19.3		15.0	床版	剥離	3.3		13.9		9.8	22.5	
		ひび割れ	5.5	22.4	1.3	26.6	5.7		25.6	ひび割れ	5.3	10.1	3.9	19.4		7.3
		その他	7.3		6.0		4.9			その他	1.5		1.6			5.4
	下部構造	橋脚橋台	8.8	18.9	7.1	11.5	1.7	8.9	下部構造	橋脚橋台	8.0	21.4	7.6	8.6	5.5	16.1
基礎		10.1		4.4		7.2		基礎	13.4		1.0		10.6			
本体		5.0	7.5	9.8	15.4	15.3	24.4	支承	本体	5.2	7.0	4.2	6.0	7.3	14.1	
周辺部		2.5		5.6		9.1		周辺部	1.8		1.8		6.8			
伸縮装置		3.2		4.7		2.2		伸縮装置	1.1		7.8		0.6			
地覆		4.6		4.3		4.0		地覆	1.5		3.9		1.8			
高欄		4.0		2.4		7.7		高欄	2.0		1.1		6.9			
舗装		1.0		2.4		2.9		舗装	2.5		1.1		3.0			
合計 (%)		100.0		100.0		100.0		合計 (%)	100.0		100.0		100.0			

4. 重み係数を用いた橋梁健全度のランク付け

ここでは以上の重み係数を用いて橋梁健全度のランク付けができることを示す。対象とする橋梁はある管内の道路橋54橋である。これらの橋梁については建設省の点検要領に基づく各項目に対する判定結果が得られている。式(1)にしたがって各橋梁に対する総合健全度Wtのサンプルスコアを計算し、スコア値の順に並べた結果を表5に示している。表中2番目の欄は54橋の整理番号を意味している。表5の結果は前章の表4の重み係数Wiに、ここでは対象としているある管理区域内の54橋の橋梁の各構造要素に対する点検判断結果Siとを総合化して得られた橋梁健全度のランキングである。したがって表4の重み係数が確定し橋梁に対する個々の点検調査により確実な判定結果が得られれば、このような評価手法による橋梁健全度のランク付けが信頼性のあるものになることがわかる。

表5 サンプルスコアによるランク付け

順位	No.	サンプルスコア
1	51	1.71843
2	40	1.47423
3	15	1.41499
4	52	1.38392
5	44	1.12343
6	16	0.95278
7	54	0.94949
8	10	0.83199
9	11	0.74746
10	35	0.63738
11	24	0.47451
12	18	0.45082
13	26	0.44031
14	14	0.41278
15	36	0.40684
16	21	0.32422
17	27	0.19808
18	37	0.17715
19	34	0.16469
20	29	0.15159

順位	No.	サンプルスコア
21	12	0.08882
22	20	0.04401
23	45	0.02149
24	30	-0.00889
25	8	-0.07547
26	31	-0.10405
27	17	-0.10902
28	13	-0.12966
29	28	-0.1482
30	41	-0.16251
31	42	-0.20531
32	3	-0.23024
33	23	-0.23411
34	49	-0.24034
35	47	-0.274
36	53	-0.3
37	19	-0.31285
38	5	-0.34378
39	50	-0.34497
40	48	-0.37229

順位	No.	サンプルスコア
41	25	-0.43393
42	2	-0.45087
43	1	-0.45568
44	22	-0.48559
45	9	-0.55133
46	39	-0.55133
47	32	-0.5921
48	43	-0.63177
49	46	-0.65672
50	6	-0.70906
51	7	-0.83476
52	38	-0.96952
53	4	-1.00373
54	33	-1.00373

5. まとめ

本研究では橋梁健全度のランク付けを目的として、各評価項目に対する重み係数と損傷判定の結果を基本として、重み付き平均の手法を用いて総合健全度を計算できることを示した。本論文で用いた表4の重み係数は著者らとしては自信を持っている値である。今後はこれらの結果が現場の状況とどのように対応しているかを確認して手法の信頼性を高めたい。

本研究では以下の方々に研究上の協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

網走開発建設部 中館真次長
北見工業大学 岩崎貴志

参考文献

- 1) 大島他；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，土木学会北海道支部論文報告集，第51号，1995
- 2) 森弘、大島他；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-29，1994
- 3) 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49号，1993
- 4) 森弘、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1巻，1993
- 5) 天野、井上；数量化理論による橋梁の寿命評価に関する研究，北見工業大学卒業論文，1993
- 6) 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