

橋梁補修に関する意識調査に基づいた BMS の構築について

Study on Establishment of Bridge Management System based on Questionnaire Investigation of Bridge Maintenance Opinions

北海道大学大学院工学研究科 正 員 小幡卓司 (Takashi Oabta)
 北海道大学大学院工学研究科○学生員 井田俊輔 (Shunnsuke Ida)
 北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川俊郎 (Toshiro Hayasikawa)
 北海道大学大学院工学研究科 F 会員 佐藤浩一 (Koichi Sato)

1. まえがき

我が国においては、近年の社会資本の充実に伴い、30 年程度以上供用され続けている土木構造物が今後急激に増加することが知られている。中でも橋梁構造物は、予想外の交通量の増大、車両の大型化等の影響を強く受け、数多くの損傷が発生している可能性が非常に大きいと推定されている。しかし今後ますます増大するこの種の橋梁を全て架け替えることは、その建設コスト、あるいは産業廃棄物の処理に関する環境への配慮等を考慮すると物理的に不可能である。したがって、維持管理の強化、必要に応じた補修・補強とその意思決定は、橋梁の長寿命化を目指す上での重要な課題になるものと考えられる¹⁾²⁾。

本研究では、道路管理者ならびに実務技術者等を対象に行った橋梁補修に関する意識調査に基づき³⁾、その結果を階層分析法 (AHP) に反映させることによって、合理的かつ汎用的な橋梁補修計画支援システムの構築を試みるものである⁴⁾⁵⁾。具体的には、建設省土木研究所、橋梁点検要領 (案) 等⁶⁻⁸⁾に基づいて AHP における階層図を作成した。この階層図に基づいたアンケート調査結果を数値化し、階層構造の各項目についての一対比較を行って重要度 (ウェイト) を求めた。さらに、構築されたシステムに実橋点検データを入力し、橋梁の損傷状態に応じた順位を算出して本支援システムの妥当性、有効性等に関して考察を加えたので、ここに報告するものである。

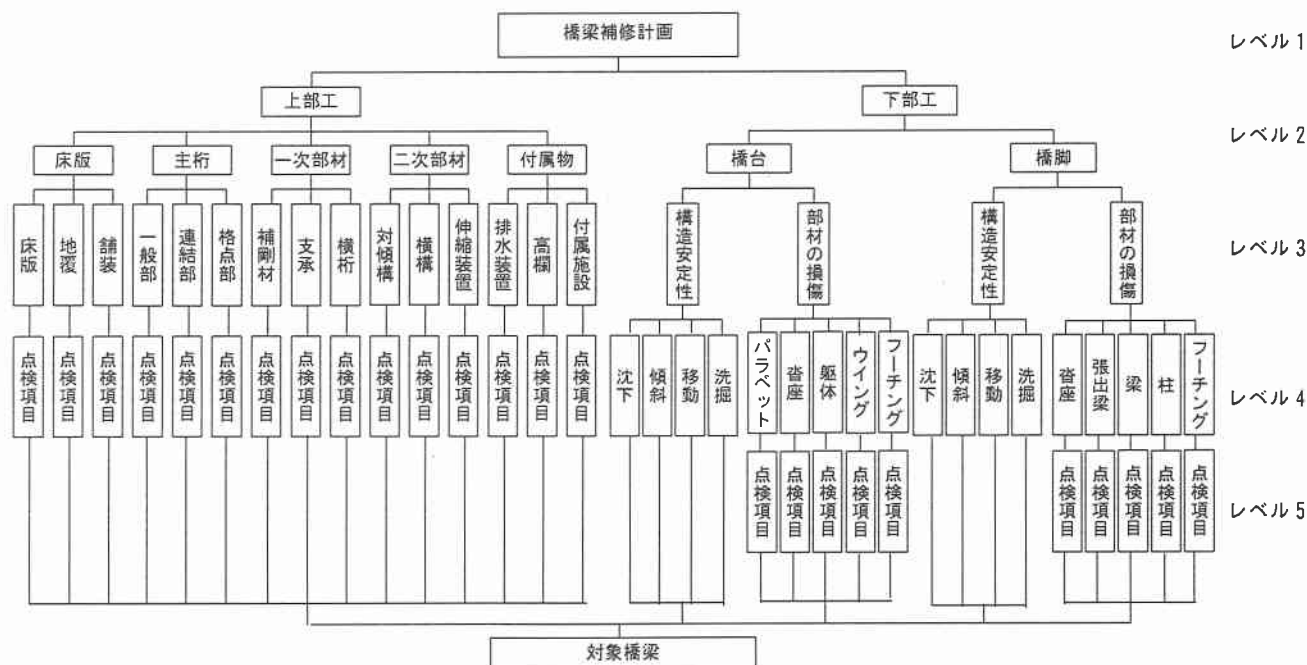
2 階層分析法 (AHP)

一般的な AHP の解析手順は、まず対象となる問題に応じて、上位のレベルにおける親要素および、それより下の子要素からなる適切な階層図を作成する⁹⁾¹⁰⁾。本研究の階

層図は、前述のとおり旧国土交通省土木研究所による「橋梁点検要領 (案)」等⁶⁻⁸⁾に基づいている。ここでは鋼桁を有する橋梁全体が対象であるため、図-1 に示すようにまず上・下部構造に分類し、それぞれの要素に応じた損傷の種類を部材の材質・特性等に応じて細分化することにより階層図を得た。上部構造ならびに下部構造の部材要素に対する点検項目の損傷の種類については、上記の文献⁶⁾、⁷⁾によって定義され、実際に橋梁点検に用いられている損傷を取り扱っている。

次に、このような意思決定問題に AHP を適用するためには、階層図に対応した各レベルにおける一対比較値を得ることが必要である。本研究では、学識経験者および橋梁の一般・補修設計等に従事する技術者の計 32 名ならびに実際に国道の維持管理に従事している道路管理者 48 名を対象に、橋梁の維持管理・長寿命化をコンセプトとした 2 回のアンケートを実施した。その結果、道路管理者と実務技術者の意識は、使用性や安全性に関わる項目等、いくつかの要素において両者にある程度の相違が生じることが判明した。また、上部構造の合成桁・非合成桁を厳密に区別する必要性は少ないと推定される結果が得られたが、この差異がどの程度意思決定に影響するかが注目される。

本研究ではこの意識調査の結果を基に、各レベルの個々の要素に対し、親要素に関する一対比較を実施してマトリックス化を行う。定量化および集計の手法は、AHP において一般的に定義された換算値を用い、 $a_{ij}=1/a_{ji}$ となるように数値化して全体の幾何平均を求めることで行っている。得られた一対比較マトリックスより、最大固有値と固有ベクトルを求めてウェイトの算定と 整合度 C.I. 値を算出し、この値が 0.1 以下になるまで繰り返す。さらに、階



— 191 —

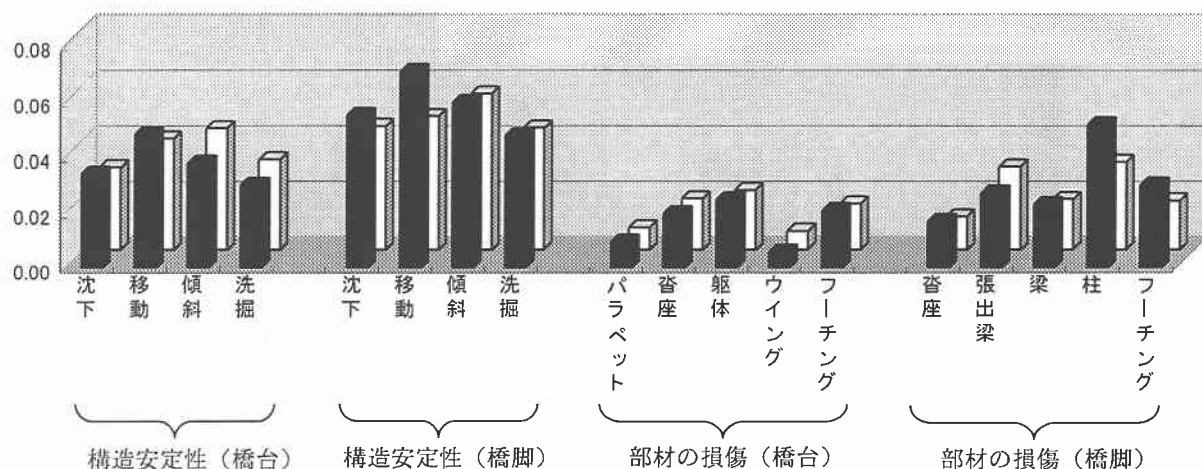


図-3 下部構造レベル4における総合ウェイト比較

表-1 実橋点検データ (A: 橋台、P: 橋脚)

橋梁	構造	種別	損傷 (上部構造)	損傷 (下部構造)
a 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(破損)・鋼主桁(塗装劣化)	支承モルタル(ひび割れ)A
b 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	床版(ひび割れ・遊離石灰)	支承モルタル(破損)・躯体(ひび割れ)
c 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	鋼主桁(塗装劣化)	抽擁壁(洗掘)A・支承モルタル(破損)P
d 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	舗装(ひび割れ)・鋼主桁(劣化)・高欄(腐食)	躯体(ひび割れ)A
e 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(剥離)・鋼製高欄(腐食)	支承モルタル(ひび割れ)A・躯体(ひび割れ・遊離石灰)A
f 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	床版(剥離)	躯体(ひび割れ)A
g 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	床版(ひび割れ・遊離石灰)・地覆(剥離・鉄筋露出)	梁(ひび割れ・鉄筋露出)P
h 橋	合成桁	鋼単純 4 本主桁	床版(ひび割れ・遊離石灰)	なし
i 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	排水施設(パイプ鏽)・床版(ひび割れ)・地覆(破損)・舗装(ポットホール)・高欄(変形)	フーチング(洗掘・鉄筋露出)P
j 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(ひび割れ)・床版(ひび割れ)	支承モルタル(破損)A
k 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(ひび割れ・鉄筋露出)・高欄(腐食)	躯体(ひび割れ)A・フーチング(洗掘・ひび割れ)
l 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(剥離)・鋼主桁(腐食)・橋梁全体(鏽)・支承(亀裂)	パラベット(剥離)・沓座(剥離)・躯体(剥離)A・躯体(破損)P
m 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(剥離・鉄筋露出)	躯体(剥離)A
n 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	床版(ひび割れ)・地覆(ひび割れ・鉄筋露出)・排水施設(パイプはずれ・破損)・高欄(破損)	フーチング(鉄筋露出・ひび割れ)P
o 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	鋼主桁(塗装劣化)	支承モルタル(破損)A
p 橋	合成桁	鋼単純 5 本主桁	舗装(ひび割れ)・床版(ひび割れ)	支承モルタル(破損)A
q 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	舗装(ひび割れ)	支承モルタル(破損)A・躯体(ひび割れ・剥離)P
r 橋	非合成桁	鋼単純 3 本主桁	舗装(ひび割れ・剥離)・床版(ひび割れ・剥離)・地覆(剥離)	躯体(剥離)A
s 橋	非合成桁	鋼単純 5 本主桁	地覆(ひび割れ)	沓座(ひび割れ)A
t 橋	非合成桁	鋼単純 4 本主桁	床版(ひび割れ・遊離石灰)・地覆(ひび割れ)・鋼製高欄(腐食)	支承モルタル(ひび割れ)A
u 橋	非合成桁	鋼単純 4 本主桁	鋼主桁(塗装劣化)・床版(遊離石灰)	躯体(ひび割れ)A
v 橋	非合成桁	鋼単純 4 本主桁	高欄(塗装劣化)・舗装(ひび割れ)	なし
w 橋	非合成桁	鋼単純 3 本主桁	高欄(腐食・欠損)・地覆(鉄筋露出)	フーチング(洗掘)

な問題は発生しないと推定される。したがって、これらの結果を維持補修支援システムに応用することは、十分可能であると考えられる。

4. 実橋損傷度評価への適用

本研究では実橋点検データを用いて AHP による橋梁補修意志決定に関して解析を行い、道路管理者における結果と実務技術者との比較検討を試みた。解析対象とした橋梁は、平成 3 年度橋梁点検において損傷が発見された、表-1 に示すような北海道内の主要道道 23 橋のデータを用いている。なお、今回の解析で用いた実橋データは、点検によって発見された損傷は明記されているものの、その程度に

関しては全く記述されていなかった。そこで本研究では、入力に際して階層図の要素と同様の損傷が存在した場合は 1 を、存在しない場合は 0 をそれぞれ入力し、各橋梁の総合ウェイトを算出する。

以上のような手法で算出した橋梁の総合ウェイトとその順位を表-2 に示す。まず、全体的な結果は、点検データから判断するとほぼ妥当な順位付けがなされているものと思われる。この得られた順位から 23 橋をそれぞれ約 1/3 ずつ上位 (1~8 位)、中位 (9~16 位)、下位 (17 位以下) の 3 グループに分けて考えると、道路管理者および実務技術者の比較においてグループ内では多少の順位の変動は見られるものの、グループ間で順位が入れ替わっている橋

梁は認められない。

ここで、1 位から 8 位の上位グループに着目すると、i 橋は上部構造の床版・下部構造の洗屈のようにウエイトの大きい損傷が多いことが、順位が高くなった主な原因であろう。l 橋に関しては、その損傷は上部構造が腐食・錆、下部構造は部材の剥離となっており、個々のウエイトは小さいが多数の部材が影響を受けていることから、それらが加算されて総合ウエイトが大きくなっている。r 橋は、道路管理者と実務技術者とで順位に差が生じている。この理由は、r 橋が非合成桁であるため、実務技術者においては床版のウエイトが若干小さく、床版にある程度大きい損傷を有する r 橋の場合、上記のような差異が現れたと考えられる。

次に 9 位から 16 位までの中位グループにおいては、f 橋が最も大きく異なる順位となっている。f 橋は合成桁であり、床版の損傷が主体であることから、実務技術者の方が評価が高くなることが予想されたが、レベル 4 における損傷そのものの影響が大きく、合成・非合成を区別しなかった道路管理者が、より厳しい判定を与えている。このことは、今回用いたような点検項目に基づいて順位付けを行う限りにおいては、合成桁と非合成桁を区別しても最終的な結果には大きな影響を及ぼさないことを示しているものと思われる。

また 17 位以下においては、道路管理者と実務技術者の間で 18～21 位がすべて異なっているが、このグループでは総合ウエイトが小さく、わずかな差で順位が決まっているため、全体的には大きな問題とはなり得ないと考えられる。d,c,m,u の各橋梁における損傷は、地覆や下部構造の躯体ひび割れ等の、レベル 4 におけるウエイトの小さいものが主体となっており、道路管理者の方が比較的進行したと考えられる損傷に対して大きいウエイトを与える傾向を有することは、前にも述べた通りである。この道路管理者と実務技術者の考え方の差異が、損傷が小さい場合には比較的大きく順位に反映されたものと考えられるが、具体的な数値では 0.1～0.2 程度であるため実用上はほとんど問題にならないと推定される。

以上のように、道路管理者と実務技術者の間には若干の相違が見られるものの、特に最終的な総合ウエイトが上位の橋梁はほぼ同一の順位となっており、管理者・技術者双方ともある程度統一的な維持補修に関する見解を有しているものと思われる。

5. あとがき

以上のように、本研究は上部構造と下部構造の双方を含めた橋梁システム全体を対象として、維持管理における意思決定プロセスを明確にし、これを反映させた汎用的な補修計画支援システムを構築すること試みたものである。

解析結果からは、道路管理者と実務技術者の間には若干の相違が見られるものの、最終的な総合ウエイトが上位の橋梁はほぼ同一の順位となっており、管理者・技術者双方ともある程度統一的な維持補修に関する見解を有しているものと思われる。アンケート調査の結果、AHP におけるウエイトそのものの比較では、個々の項目に対して両者が異なる場合も見受けられたが、実橋点検データに対して AHP を適用して解析を行った結果からは、管理者・技術者ともに近似した評価基準を有していると判断でき、本研究の意思決定過程はある程度実用的な橋梁補修計画の支援を行える十分な可能性を示しているものと考えられる。また、合成・非合成桁の分類を行うか否かについては、今回の解析結果の範囲では、この構造上の違いによる順位の変化は認められなかった。その理由としては、例えば床版では両者のウエイトに差があることは明らかであるが、総

表-2 解析結果の比較（橋梁順位）（ $\times 10^{-2}$ ）

順位	橋梁	道路管理者			橋梁	実務技術者		
		上部	下部	総合		上部	下部	総合
1	i	3.2	5.0	8.2	i	3.0	5.7	8.7
2	l	4.7	3.1	7.8	l	3.9	3.9	7.8
3	r	6.1	0.8	6.9	k	1.2	5.6	6.8
4	k	1.1	4.7	5.9	w	0.6	4.8	5.4
5	w	0.9	4.4	5.3	r	4.5	0.8	5.3
6	c	1.0	3.7	4.7	c	0.6	3.8	4.4
7	u	3.1	0.8	3.9	g	3.3	1.0	4.3
8	n	3.1	0.8	3.9	n	3.0	1.3	4.3
9	b	2.4	1.0	3.3	b	2.5	1.2	3.8
10	f	2.9	0.2	3.0	q	0.4	3.2	3.6
11	t	2.7	0.2	2.9	t	2.5	0.3	2.8
12	q	0.4	2.2	2.6	f	2.4	0.4	2.8
13	j	1.6	0.8	2.4	j	1.8	0.9	2.7
14	p	1.6	0.8	2.4	p	1.8	0.9	2.7
15	h	2.4	0.0	2.4	h	2.5	0.0	2.5
16	u	2.1	0.2	2.3	u	2.1	0.4	2.4
17	a	2.1	0.2	2.2	a	1.8	0.3	2.1
18	o	1.0	0.8	1.8	c	0.8	0.9	1.7
19	d	1.4	0.2	1.6	m	0.7	0.8	1.5
20	m	0.8	0.8	1.5	o	0.6	0.9	1.5
21	e	0.8	0.6	1.4	d	1.1	0.4	1.4
22	s	0.4	0.2	0.5	s	0.3	0.3	0.6
23	v	0.4	0.0	0.4	v	0.4	0.0	0.4

合的な順位に影響を与える程度のものではないと考えられ、補修計画を策定する段階では、合成・非合成桁を区別する必要性はそれほど重要ではないと推定される。さらに、本研究の解析結果は具体的な数値で重要度を計算できることから、単なる順位のみならず、各順位間の差がどの程度であるかを容易かつ簡便に検討することが可能である。これは、評価の過程あるいは判断基準等を明確にする必要性を有する際に大きな効力を発揮すると考えられ、したがって、このような橋梁補修計画における意志決定支援のための AHP の適用性は比較的高いものと判断される。

参考文献

- 1) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No.501/I-29，pp.1-10，1994.
- 2) 鋼構造委員会 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，No.501/I-29，pp.21-36，1994.
- 3) 小幡卓司，井田俊輔，倉戸亮，林川俊郎，佐藤浩一：BMS 構築のための橋梁補修に関する意識調査について，土木学会北海道支部論文報告集，第 59 号，2003.（印刷中）
- 4) 小幡卓司，濱木道大，林川俊郎，佐藤浩一，宮森保紀：鋼桁橋の維持補修計画支援における AHP の適用性について，鋼構造年次論文報告集，第 8 巻，pp.697-704，2000.
- 5) 小幡卓司，林川俊郎，佐藤浩一，木村竜太，宮森保紀：AHP を用いた橋梁補修計画支援システムの構築について，鋼構造年次論文報告集，第 9 巻，pp.279-286，2001.
- 6) 建設省土木研究所：橋梁点検要項（案），土木研究所資料，第 2651 号，1998.
- 7) 北海道開発局道路維持課：道路橋の点検および補修・補強設計施工要領（案），1998.
- 8) 大島俊之，森弘，三上修一，本間美樹治，阿部英俊：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(A)，pp.310-313，1995.
- 9) 刀根薫：ゲーム感覚意志決定法-AHP-入門，日科技連出版社，1990.
- 10) 刀根薫，眞鍋龍太郎：AHP 事例集，日科技連出版社，1990.