

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(ウエイト)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て行っている。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エ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

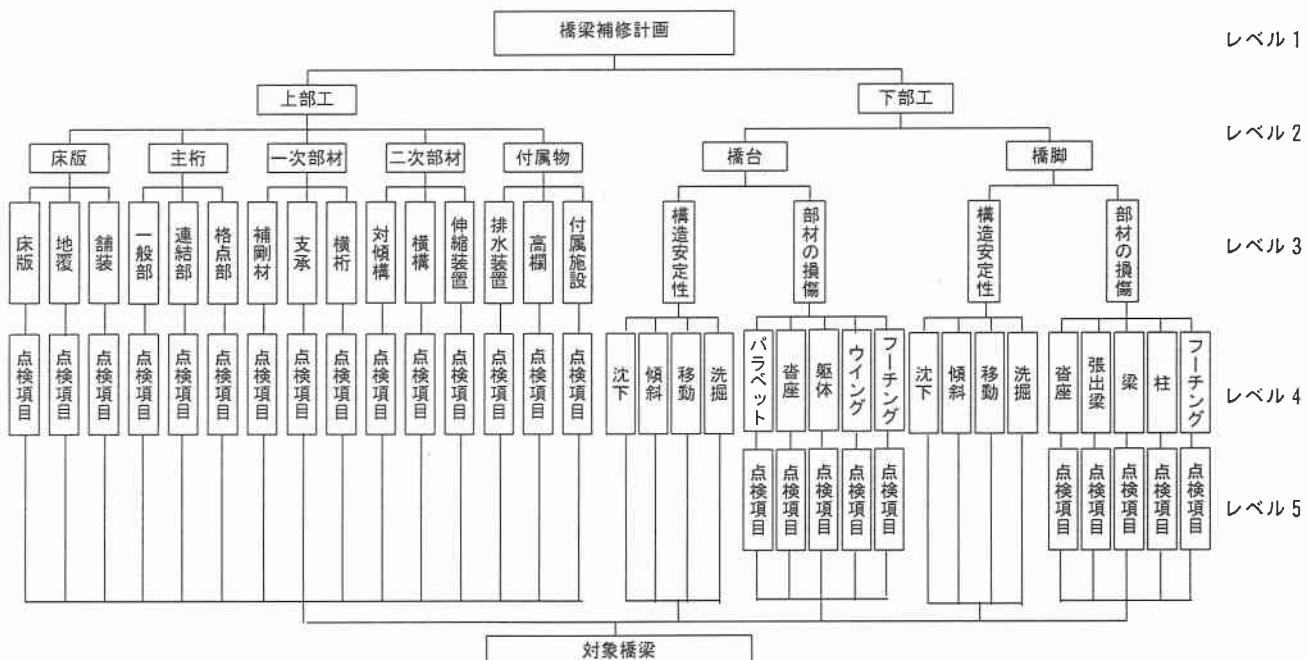


図-1 階層図（全体図）

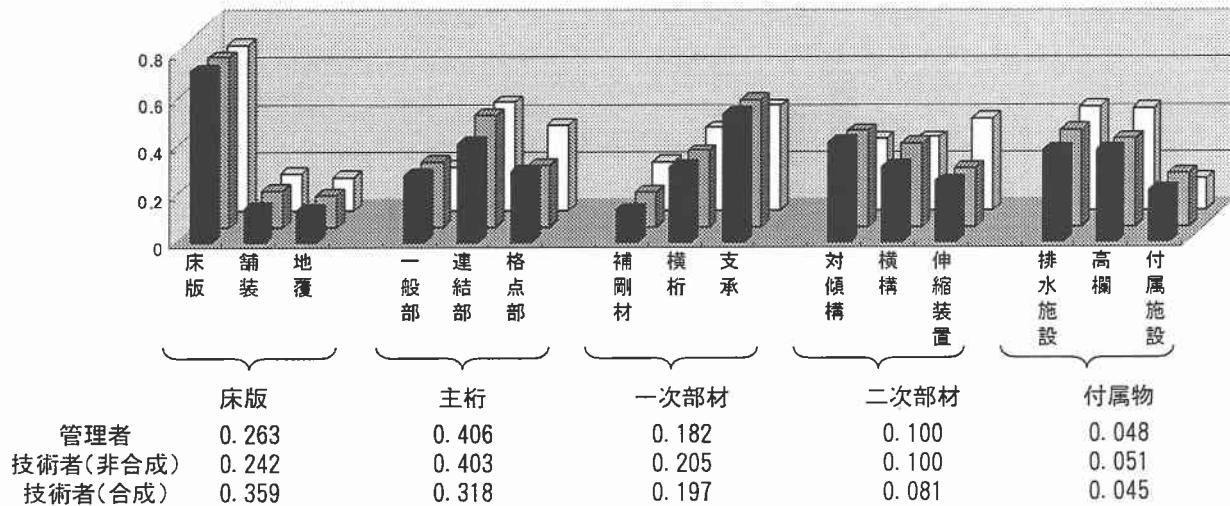


図-2 上部工レベル3におけるウエイト比較

層に基づいたウエイトの合成を実施して最終的な意思決定を行うものである。

3. 解析結果とその考察

3.1 上部構造の重要度

図-2は、上部構造に関して行った一对比較によって得られたレベル3のウエイトである。なお図-2においては、各項目の下にそれぞれの属する親要素と、レベル2における親要素のウエイトを示してある。整合度は、0.0002~0.047とその整合性の基準となる0.1を下回ったことから、ある程度一貫した評価が行われたものと判断できる。これらの要素に関して検討を加えると、床版および主桁の子要素が非常に大きいウエイトとなっており、橋梁工学からは極めて常識的な結果となっている。

道路管理者と実務技術者の差異に関しては、上部工のレベル3においては比較的小さいと思われるが、主桁の格点部、一次部材の支承、伸縮装置および高欄で有意と思われる差が生じている。まず、格点部については、疲労に起因する損傷が比較的多く生じる部材であることが実際の橋梁点検等で確認されているため、より多くのデータを有する道路管理者においては一般的な技術者よりもこの要素が重視されたと考えられる。

支承については、レベル3のみの範囲で比較すれば、主桁の一般部や格点部に匹敵するほどの高いウエイトを示している。阪神淡路大震災以前は、あまり重要視されていなかった支承も、この地震によって非常に多くの被害が発生し、橋梁の機能そのものを失わせる可能性も大きいため、近年の意識の高まりから、主桁の一般部・格点部と同等のウエイト付けがなされたものと考えられる。この傾向は、一般的な橋梁設計に携わる技術者の判断により多くの影響を及ぼしたため、管理者との差異が生じたものであろう。また、伸縮装置は、管理者の方が大きなウエイト付けとなっている。この伸縮装置においても、高欄と同様に通行車両に対する使用性あるいは安全性の観点に起因しているものと判断される。

また、合成桁と非合成桁に着目すれば、レベル3ではほぼ同一となっているものの、レベル2では床版のウエイトは合成桁の方が大きく、主桁のウエイトは非合成が大きくなっている。妥当な結果となっている。このように、合成・非合成では床版と主桁にある程度の差異は生じていることは確認されたが、どちらのウエイトも非常に大きく、仮

にこれらの部材に損傷が生じた場合、最終的な判定順位もかなり上位に位置する結果となることは明らかである。したがって、合成桁・非合成桁を厳密に分けたとしても、現実にはあまり意味を持たないと思われ、解析システムの信頼性にも影響を及ぼさないものと考えられる。

3.2 下部構造の重要度

図-3に、下部構造のレベル4に関して行った一对比較で得られたウエイトを示す。下部構造におけるC.I.値は全てのケースで0.000~0.004となり、上部構造の場合と同様に整合性の基準となる0.1を下回り、比較的信頼度の高い回答が得られたものと考えられる。

まず、構造安定性と部材の損傷について比較すると、構造安定性のウエイトが部材のほぼ2倍となっており、前者を重要視している傾向が覗える。下部構造において構造安定性が損なわれることは、橋梁システム全体に即座に影響を及ぼすことが多いと考えられ、部材の損傷のように橋梁の機能に問題が生じる程度に進行するまでの時間的余裕が少なく、これらの項目に異常が発見された場合は早急な対策が必要となるケースが多いためであろう。

レベル4の各項目については、構造安定性に着目すると道路管理者の方が各項目の重要性を平均的に考えていることがわかる。すなわち、実務技術者においては移動のウエイトが大きく、項目間の差違がある程度はっきりしているのに対し、道路管理者は傾斜が若干大きい他はあまり差は見られない。これは、前にも述べたように安定性が損なわれると早急に対策を講じるような思想を反映しているものと思われ、道路管理者においては各項目とも同程度の重要性を有しているとの評価がなされたと考えられる。また、橋脚の柱とフーチングで管理者と技術者の差違が大きいが、技術者においては実務設計の観点から評価を行っていると判断される。通常の下部構造の設計では、柱・フーチング基部の応力状態が最も厳しく、旧来の設計での鉄筋段落とし部の問題等も含めて評価を行った結果、管理者との差違が明確になった可能性が高い。

以上より、道路管理者と実務技術者の橋梁の維持補修に関する考え方とは、上部構造、下部構造の双方においてある程度の差異を有することが判明した。これらの違いは、道路管理者と実務技術者の立場を明確に反映していると考えられるが、AHPの階層構造から算出したウエイトそのものの差は意外と小さく、意思決定プロセスにおいて重大

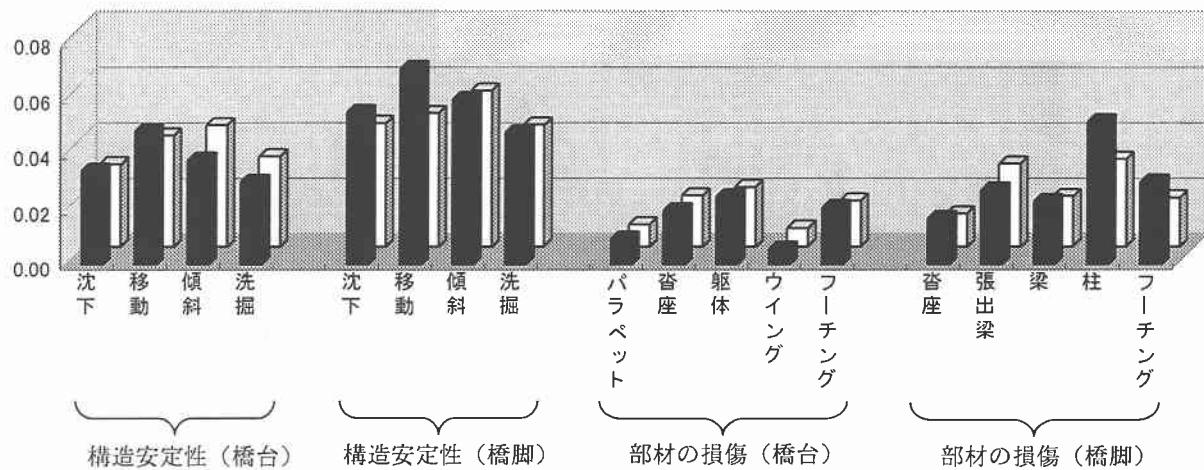


図-3 下部構造レベル4における総合ウエイト比較

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)・軀体(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)	軀体(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・軀体(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)	軀体(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(パイプ錆)・床版(ひび割れ)・地覆(破損)・舗装(ポットボール)・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)	軀体(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(錆)・支承(亀裂)	パラベット(剥離)・沓座(剥離)・軀体(剥離)A・軀体(破損)P
m 橋	合成桁	鋼単純 3 本主桁	地覆(剥離・鉄筋露出)	軀体(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・軀体(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)	軀体(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)	軀体(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、各橋梁の総合ウエイトを算出する。

以上のような手法で算出した橋梁の総合ウエ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。1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,oの各橋梁における損傷は、地覆や下部構造の軸体ひび割れ等の、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	g	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	e	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) 刀根薰：ゲーム感覚意志決定法-AHP-入門、日科技連出版社、1990.
- 10) 刀根薰、眞鍋龍太郎：AHP事例集、日科技連出版社、1990.