

アーチ橋の感性データベースの構築とその景観評価への応用

Construction of Kansei database for arched bridges and its application to aesthetic assessment

白木渡*, 野田英明**, 長町三生***, 松原雄平****, 安達誠*****

Wataru Shiraki, Hideaki Noda, Mitsuo Nagamachi, Yuhei Matsubara, Makoto Adachi

*工博, 香川大学教授, 工学部安全システム建設工学科 (〒760-8526 香川県高松市幸町 1-1)

**工博, 鳥取大学教授, 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 1-1)

***文博, 呉工業高等専門学校長 (〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2 丁目 2-11)

****工博, 鳥取大学助教授, 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 1-1)

*****工修, 復建調査設計㈱, 交通技術部チームリーダー (〒732-0052 広島市東区光町 2 丁目 10-11)

In our early studies on aesthetic design of bridges, the beauties of shapes, landscape and color harmony have mainly been taken into consideration to assess the aesthetics of landscape with bridges. In these days, however, it becomes very important issue to consider human sensuous impression or emotion which is called the Kansei in Japanese to the structures into design. In this study, a Kansei engineering approach is applied to assess the aesthetics of landscape with arched bridges. For eighty-eight pictures of arched bridges, forty-three questionnaires with pair of Kansei words are performed by the semantic differential method(SD method) for fifty-three persons. The results of questionnaires are numerically estimated by factor analysis, and relationship between the Kansei and design elements of bridge is numerically estimated by Qualification Theory 1.

Key Words :aesthetic of landscape ,aesthetic design ,arched bridges ,Kansei engineering, semantic differential method ,factor analysis ,Qualification Theory 1

1. まえがき

近年、橋梁構造物は、その本来の公共施設機能とともに、風景の中でのランドマーク的あるいはシンボリックな優れた景観機能をあわせもつことが要求されるようになってきている。しかしながら、これまでの橋梁構造物の設計では、主として安全性、耐久性、機能性、保全性、経済性等が重視され、「審美性（景観）」、「環境との調和性」等について配慮した設計が十分に行われているとは言いがたい。構造物が大規模化し、環境破壊に対する人々の関心が高まりつつある中で、今こそ環境との調和を考えた、また人々が親しみをもち、やすらぎを感じる美しい橋梁構造物の建設が期待されている。

人々の感性を反映させた橋梁の景観設計といっても、安全性や耐久性に関する設計と異なり、基準化された設計手法があるわけではない。一般に、「審美性」や「調和性」は、評価する人の主観的な判断によるところが大きく、通常、「なかなか美しい」、「あまり美しくない」などの感覚的で曖昧な表現で示されるため、これらを定量的に評価し、かつ設計要素の一つに取り入れることは

容易でないとされてきた。しかし、人々が持つ感性やイメージを具体的に物として実現するための工学的手法として最近注目を集めている感性工学手法¹⁾²⁾³⁾⁴⁾を用いれば、上述した感性的表現の定量化が可能となり人々が橋梁に求めている感性に合った、親しみの持てる美しい橋梁を設計することができる。

毎日のように眺め、利用している橋梁を一般の人々がどのようにとらえ、これらに何を求めているかを知るとは、今後とも人々に親しまれる橋梁を設計していく上で非常に重要である。本研究では、広範囲な層に人気が高く、桁橋に次いで架橋数が多いアーチ橋を対象として、人々が橋梁に対して求めている多種多様な感性を把握し、感性データベースの構築を行い、さらに感性工学手法により橋梁のデザイン要素と人々の感性を合理的に結びつける方法を検討する。

2. 感性工学の概要

感性工学 (Kansei Engineering) は、「人間が持っている願望としてのイメージや感性を、物理的なデザイン

要素に翻訳し、具体的なモノとして実現するための技術」である。具体的には、消費者は“〇〇のようなものが欲しい”といった曖昧ではあるが願望するモノのイメージを持っている。設計者も“△△のような感性に訴える商品作り”をしたいと願う。この場合の“〇〇のような”、“△△のような”というのが感性であり、それに近いものを実現するために、“〇〇のようなモノ”が何色のカラーか、どのようなスタイルか、機能は何をどのように盛り込めば良いのか等を分析し解釈して、最終的に感性を具体的な設計のスペックや技術レベルへと変換する手法が感性工学手法である。

3. 感性工学手法によるアーチ橋の景観評価

3.1 イメージ形容詞の抽出及び選択

(1) イメージ形容詞の抽出

アーチ橋の景観評価を感性工学を用いて行うには、まず、感性をデザイン要素に翻訳するために橋梁に対するイメージを表現するような言葉の収集を行う必要がある。

本研究では、橋梁に関する雑誌数冊を用意し、全てのページを読みながら、橋梁に関する150個のイメージ形容詞を収集した。次にその拾い出した150個のイメージ形容詞を基に、以下に注意し第一次感性ワードとして90個のイメージ形容詞に絞り込んだ。

- ① 意味の重複する形容詞は除外すること。
- ② 橋梁の設計・施工に携わっている技術者の意見を取り入れ、アーチ橋の設計に必ず必要な形容詞を含むこと。
- ③ 「感性」「地域性」「機能性」「好き嫌い」に関する形容詞を含むこと。

(2) イメージ形容詞選択のための予備アンケート

先に90個のイメージ形容詞を抽出したが、90個のイメージ形容詞の中にも橋梁に対する感性ワードとして評価にくいものや、2つの形容詞の評価がほとんど同じになってしまうものが含まれている可能性があるため、そのようなものをふるいにかけて取り除くために予備アンケートを実施した。

本研究では、A4サイズ（横）のアーチ橋の写真を用い5段階のSD尺度（意味微分法）により、予備アンケートを実施した。予備アンケートは後述の感性評価実験と目的は異なり、イメージ形容詞を絞るためのものであるため、多くの写真でアンケートを取る必要は無いため、橋種や橋梁色や風景などがバランスよく含まれる写真を20枚選び、学生31名（鳥取大学10名、呉工業高等専門学校21名）を被験者としてアンケートを実施した。

予備アンケートの結果を主成分分析にかけたところ、被験者21名がアーチ橋に抱く感性（イメージ形容詞）は以下の6つの主成分で構成されていることがわかった。

- 第1主成分：総合美（象徴的な、夢のある等）
- 第2主成分：個性美（派手な、目立つ、印象的な等）
- 第3主成分：優美さ（女性的な、柔らかい等）
- 第4主成分：内面美（味わい深い、歴史を感じる等）
- 第5主成分：形式美（直線的な、シンプルな等）
- 第6主成分：調和美（風景に溶け込んでいる等）

(3) イメージ形容詞の選択

予備アンケートに基づく主成分分析結果によりイメージ形容詞の選択を行った。選択の方法は以下の通りである。まず、形容詞相互の相関係数が非常に高く、かつ同じ主成分の形容詞はどちらか一方を除外した。次に、主成分は第1主成分が一番影響力を持ち、第6主成分が最も影響力が少ないと考えられているので、第1主成分から多く、第6主成分から少なく選択するようにした。

最終的に、感性工学の専門家の意見を参考にして、43個のイメージ形容詞に絞り込んだ。

3.2 感性評価実験

(1) 感性評価実験の概要

本研究で実施した感性評価実験の概要を表-1に示す。

橋梁の場合、実物を用いての感性評価実験は困難なため、本研究では写真を用いて実験を行った。なお、写真を用いた評価実験でも写真を見て評価したい要素が確認できれば、感性の評価は可能である⁴⁾。本研究では、橋梁年鑑等からの写真の複写に際しては、接写を行いできるだけ元の写真の色を忠実に再現するようにした。

被験者については、できるだけ多いほうが望ましいが、今回行った実験は写真88枚について43個の形容詞対の評価を行うものであり、評価実験にかなりの時間を要するため、学生や実験への協力が得られるコンサルタント等を対象とした。

表-1 感性評価実験の概要

項目	数量	備考
イメージ形容詞	43個	予備アンケート結果による
アーチ橋写真	88枚	橋梁年鑑等 ⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾ から抽出したA3サイズ横の写真
被験者	53名	学生38名（鳥取大18、呉高专20） 土木専門家13名（コンサルタント等） その他2名 （全体のうち女子学生23名）
実験方法		部屋に写真を並べ、被験者が自由に歩き回ることにより自分のペースで評価を行う。

なお、感性評価実験においても予備アンケートと同様に、5段階のSD尺度を用いてアンケートを実施した。予備アンケートにより抽出された43個のイメージ形容詞とその対語を用い作成したアンケート用紙を図-1に示す。

1	女性的な	☐	☐	☐	☐	男性的な
2	若々しい	☐	☐	☐	☐	若々しくない
3	安定感のある	☐	☐	☐	☐	安定感のない
4	自然な	☐	☐	☐	☐	人工的な
5	実用的な	☐	☐	☐	☐	実用的でない
6	直線的な	☐	☐	☐	☐	曲線的な
7	モダンな	☐	☐	☐	☐	クラシックな
8	都会的な	☐	☐	☐	☐	田園的な
9	洒落た	☐	☐	☐	☐	洒落てない
10	存在感のある	☐	☐	☐	☐	存在感のない
11	親しみやすい	☐	☐	☐	☐	よそよそしい
12	美しい	☐	☐	☐	☐	美しくない
13	風景に溶け込んでいる	☐	☐	☐	☐	風景に溶け込んでない
14	すっきりとした	☐	☐	☐	☐	ごみごみした
15	暖かみのある	☐	☐	☐	☐	暖かみのない
16	印象的な	☐	☐	☐	☐	印象的でない
17	バランスの取れた	☐	☐	☐	☐	バランスの取れていない
18	素材感のある	☐	☐	☐	☐	素材感のない
19	ゆとりのある	☐	☐	☐	☐	ゆとりのない
20	立体感のある	☐	☐	☐	☐	立体感のない
21	飽きのこない	☐	☐	☐	☐	飽きのくる
22	機能的な	☐	☐	☐	☐	機能的でない
23	ソフトな	☐	☐	☐	☐	ハードな
24	可愛い	☐	☐	☐	☐	可愛くない
25	重量感のある	☐	☐	☐	☐	重量感のない
26	上品な	☐	☐	☐	☐	上品でない
27	丈夫な	☐	☐	☐	☐	丈夫でない
28	豪華な	☐	☐	☐	☐	豪華でない
29	地域性を含んだ	☐	☐	☐	☐	地域性を含んでない
30	日本的な	☐	☐	☐	☐	日本的でない
31	洗練された	☐	☐	☐	☐	野暮な
32	カラフルな	☐	☐	☐	☐	カラフルでない
33	優美な	☐	☐	☐	☐	優美でない
34	遊び心のある	☐	☐	☐	☐	遊び心のない
35	個性的な	☐	☐	☐	☐	個性的でない
36	風格のある	☐	☐	☐	☐	風格のない
37	象徴的な(シンボリックな)	☐	☐	☐	☐	象徴的でない
38	開放感のある	☐	☐	☐	☐	圧迫感のある
39	芸術的な	☐	☐	☐	☐	芸術的でない
40	快適な	☐	☐	☐	☐	不快な
41	調和のとれた	☐	☐	☐	☐	調和のとれていない
42	ダイナミックな	☐	☐	☐	☐	ダイナミックでない
43	好ましい	☐	☐	☐	☐	好ましくない

図-1 感性評価実験アンケート用紙

(2) 感性評価実験結果

感性工学による景観評価を行う前に、SDアンケートで得られた結果（SDプロフィール）の例を示す。

図-2、図-3は、被験者全体、被験者のうち女子学生及び土木専門家の感性評価実験結果の平均値をプロットしたものである。図-2及び図-3を見ることにより、それぞれのアーチ橋が、被験者全体、女子学生及び土木専門家によって、どのように評価されているかが把握できる。

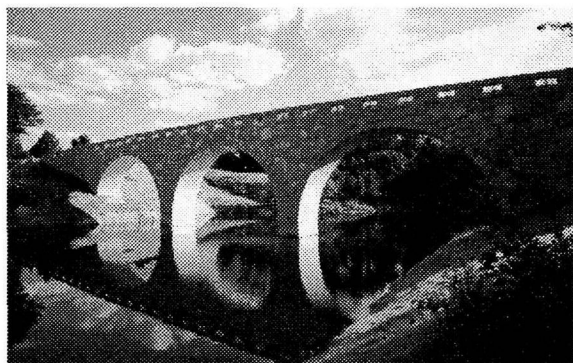


図-2(a) 五郎橋（写真 No. 29）

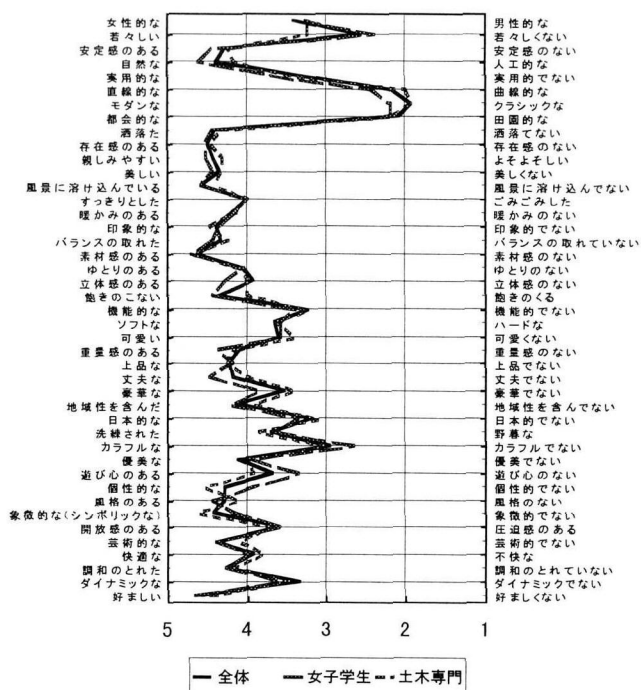


図-2(b) 五郎橋(写真 No. 29)の感性評価結果

図-2のアーチ橋は、「自然で、クラシックで、風景に溶け込んでおり、素材感があり、好ましい橋」と評価されている。また、被験者の属性による評価のバラツキが少なく、設計者（土木専門家）の感性と利用者の感性が一致した橋となっている。

一方、図-3のアーチ橋は、土木専門家の評価と女子学生の評価が異なる形容詞が多数あり、「バランスの取れた」、「芸術的な」、「好ましい」等の形容詞において、土木専門家の評価に比べ女子学生の評価が高くなっている。女子学生は橋をファッション感覚で捉えているのであろうか。この橋は、「若々しく、存在感があり、印象的で、カラフルで、遊び心があるが、実用的でなく、風景に溶け込んでいない橋」と評価されている。

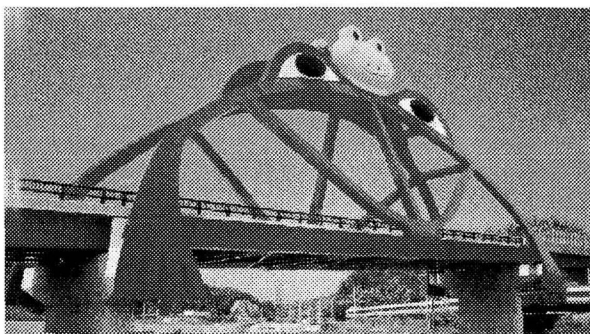


図-3(a) かえる橋（写真 No. 77）

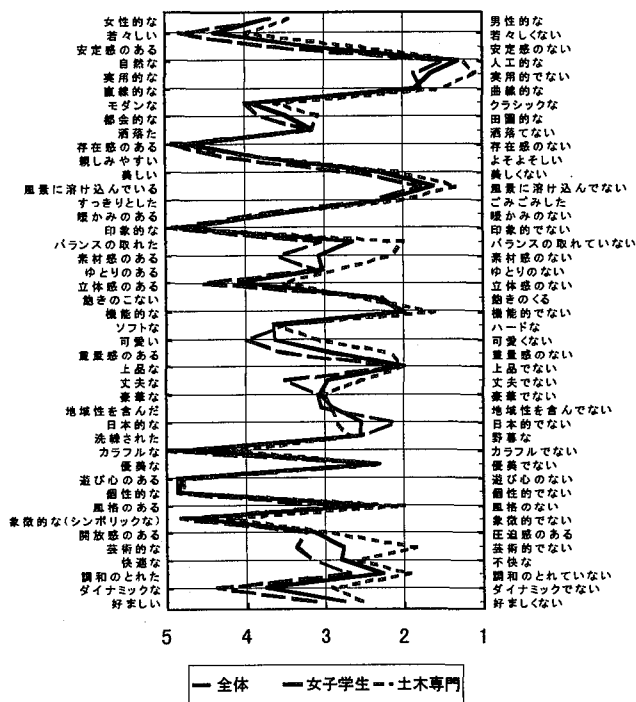


図-3(b) かえる橋の感性評価実験結果

3.3 因子分析による景観評価

(1) 因子分析による意味空間の把握

感性評価実験の結果を因子分析し、イメージ形容詞で表される橋梁美の意味空間を把握する。因子分析とは、多くの変数をいくつかの因子によって説明する手法である。因子分析は主成分分析と同様に“目的変数をもたないデータを構造化してデータを読み取りやすくする”解析法であり、感性工学では一般的に因子分析が用いられていることから、感性評価実験の解析には因子分析を用いることにした。なお、予備アンケートは形容詞の絞込みが目的のため、主成分分析を用いて解析を行なった。

本研究では、属性別の感性の違いを把握する目的で、アンケートの被験者を表-2 の様に分類し、それぞれの属性別に因子分析を行った。

表-2 分析対象

	(a)被験者全体	(b)女子学生	(c)土木専門家
人数	53人	23人	13人

感性評価実験の結果を因子分析して得られた因子負荷量を、表-3(a),(b),(c)に示す。表-3 は因子毎に高い負荷量の順番に並べ替えたものである。

因子分析の結果、全体および土木技術者では5つの因子が、女子学生では6つの因子が抽出された。表-3の下部に因子分析から得た寄与率・累積寄与率を示す。寄与率とはその因子の支配力を表すパーセンテージであり、このパーセンテージの値が大きいほど橋梁の景観に影響を与える因子ということになる。そして累積寄与率

とは寄与率の和であり、80%以上あれば評価実験結果が信頼できるが、50%とか60%くらいだと、まだ有意な因子軸が残っていることになる。本解析結果においては、全体83.2%、女子学生80.4%、土木専門家78.6%となっており、信頼できる結果といえる。

表-3(a) 因子分析結果 (被験者全体: N=53)

		因子				
		1	2	3	4	5
美的調和性	快適な	0.948	0.107	0.143	-0.098	0.062
	調和のとれた	0.922	-0.089	0.204	0.079	-0.086
	上品な	0.909	0.238	0.033	-0.024	-0.051
	好ましい	0.907	0.283	0.219	-0.024	0.000
	美しい	0.907	0.289	0.088	-0.088	0.056
	飽きのこない	0.884	0.007	0.266	0.197	-0.077
	洗練された	0.880	0.219	0.053	-0.309	-0.120
	優雅な	0.855	0.402	0.011	-0.011	0.109
	ゆとりのある	0.795	0.043	0.144	0.116	0.028
	バランスの取れた	0.774	-0.315	0.305	0.233	0.059
	風景に溶け込んでいる	0.729	-0.321	0.064	0.325	-0.257
	開放感のある	0.719	-0.001	-0.323	-0.318	0.031
	すっきりとした	0.707	-0.392	-0.273	-0.204	-0.041
	洒落た	0.683	0.630	0.146	-0.214	-0.039
	親しみやすい	0.608	0.381	0.289	0.394	0.198
アート性	地域性を含んだ	0.534	-0.005	0.142	0.476	-0.052
	個性的な	0.099	0.918	0.150	-0.165	0.074
	遊び心のある	0.092	0.904	-0.008	-0.231	0.148
	象徴的な	0.270	0.854	0.304	-0.176	0.118
	実用的な	0.348	0.844	0.156	0.114	0.150
	印象的な	0.184	0.832	0.319	-0.151	0.273
	機能的な	0.387	0.802	0.075	-0.075	0.093
	可愛い	0.417	0.732	-0.278	0.057	0.192
	豪華な	0.385	0.699	0.375	-0.045	0.196
	芸術的な	0.631	0.694	0.187	-0.100	-0.087
力動感	存在感のある	0.151	0.638	0.634	-0.147	0.271
	直線的な	-0.065	0.615	-0.159	0.185	0.053
	ソフトな	0.339	0.578	-0.431	0.054	0.084
	丈夫な	0.082	-0.061	0.930	0.213	-0.029
	重量感のある	-0.016	0.101	0.925	0.194	-0.127
	安定感のある	0.205	-0.075	0.770	0.350	0.142
	ダイナミックな	0.184	0.320	0.743	-0.326	0.099
自然重視	素材感のある	0.308	0.098	0.704	0.220	-0.222
	風格のある	0.585	0.208	0.700	0.183	-0.012
	立体感のある	0.160	0.474	0.691	-0.246	-0.082
	女性的な	0.177	0.555	0.373	0.016	0.256
	モダンな	0.103	0.124	-0.208	0.915	0.050
	都会的な	0.186	0.276	-0.009	0.812	-0.179
色彩	若々しい	0.229	0.325	-0.238	-0.792	0.212
	自然な	0.478	-0.214	0.032	0.761	0.009
	暖かみのある	0.185	0.473	0.048	0.630	0.468
	日本的な	0.003	-0.539	0.009	0.613	0.347
	カラフルな	-0.308	0.288	-0.233	0.156	0.678

寄与率(%)	29.5	23.1	15.2	11.8	3.6
累積寄与率(%)	29.5	52.7	67.9	79.7	83.2

次に、表-3 の各因子から受ける印象により因子軸に命名を行う。命名は、各因子に含まれる形容詞から受ける印象により判断する。

表-3(a)に示す被験者全体について命名を行ってみると、第1軸には「調和のとれた」「バランスのとれた」「風景に溶け込んでいる」という形容詞があるので、「調和」の因子が含まれている。さらに、第1軸には、「上品な」「美しい」といった形容詞があるので、「美的」な因子も含まれている。そこで、第1軸を“美的調和性”の軸と命名した。次に第2軸であるが、「個性的な」「遊び心のある」「象徴的な」「芸術的な」という形容詞があるので“アート性”の軸と命名した。

次に、表-3(b)に示す女子学生について因子軸の命名を行う。第1軸から第4軸までと第6軸は、被験者全体の因子軸と同様の因子軸のようである。ところが、女

子学生の場合、「ソフトな」という形容詞だけで第 5 軸が表れていることが特徴的である。

表-3(b) 因子分析結果 (女子学生: N=23)

		因子					
		1	2	3	4	5	6
美的調和性	快適な	0.913	0.047	0.173	-0.035	0.059	0.097
	洗練された	0.908	0.120	-0.006	-0.148	0.013	-0.168
	美しい	0.899	0.252	0.124	-0.053	0.091	0.004
	上品な	0.898	0.166	-0.008	0.035	0.060	-0.107
	好ましい	0.895	0.251	0.261	-0.010	-0.036	0.074
	調和のとれた	0.881	-0.107	0.217	0.031	-0.066	-0.066
	優美な	0.819	0.378	0.045	0.067	0.129	-0.036
	飽きのこない	0.810	-0.212	0.191	0.308	-0.056	-0.128
	洒落た	0.743	0.479	0.251	-0.180	0.081	-0.057
	バランスの取れた	0.734	-0.307	0.222	0.192	0.100	0.090
	ゆとりのある	0.728	-0.042	0.185	0.047	0.349	0.188
	風景に溶け込んでいる	0.687	-0.351	0.030	0.349	-0.119	-0.219
	開放感のある	0.683	0.011	-0.413	-0.310	-0.026	0.134
	すっきりとした	0.649	-0.469	-0.306	-0.146	-0.048	0.154
	芸術的な	0.639	0.636	0.246	-0.121	0.023	-0.141
	風格のある	0.610	0.187	0.575	0.319	-0.201	-0.059
アート性	親しみやすい	0.579	0.236	0.460	0.281	0.263	0.184
	地域性を含んだ	0.490	0.005	0.238	0.422	-0.278	0.016
	個性的な	0.105	0.836	0.306	-0.251	-0.075	0.108
	遊び心のある	0.087	0.834	0.173	-0.345	0.024	0.185
	実用的な	0.241	-0.796	0.186	0.161	-0.121	0.128
	象徴的な	0.257	0.788	0.433	-0.218	-0.055	0.119
力動感	印象的な	0.150	0.755	0.461	-0.150	-0.082	0.267
	機能的な	0.203	-0.746	0.020	0.044	-0.190	0.022
	可愛い	0.503	0.618	0.028	0.023	0.373	0.207
	豪華な	0.429	0.605	0.470	-0.031	-0.034	0.062
	女性的な	0.207	0.586	-0.392	-0.035	0.393	0.233
	直線的な	0.027	-0.454	-0.183	0.264	-0.438	0.130
自然重視	丈夫な	0.081	-0.128	0.983	0.182	0.038	0.009
	重量感のある	-0.003	0.051	0.887	0.204	-0.062	-0.119
	ダイナミックな	0.083	0.311	0.752	-0.248	-0.178	0.097
	立体感のある	0.109	0.377	0.729	-0.274	0.159	-0.086
	安定感のある	0.230	-0.041	0.716	0.295	0.184	0.164
	存在感のある	0.136	0.510	0.715	-0.182	-0.008	0.212
ソフト色彩	素材感のある	0.329	0.088	0.691	0.115	-0.089	-0.105
	モダンな	-0.047	0.088	-0.120	-0.874	-0.023	0.138
	都会的な	0.122	0.166	0.031	-0.840	-0.022	-0.171
	若々しい	0.160	0.311	-0.100	-0.833	0.110	0.214
	自然な	0.529	-0.125	0.028	0.723	0.133	0.033
	日本的な	0.040	-0.385	0.032	0.689	-0.162	0.313
ソフト色彩	暖かみのある	0.219	0.467	0.236	0.489	0.297	0.458
	ソフトな	0.342	0.487	-0.212	0.024	0.593	0.054
ソフト色彩	カラフルな	-0.383	0.376	-0.035	0.029	0.006	0.638
	寄与率(%)	28.0	18.7	15.3	11.4	3.6	3.4
累積寄与率(%)		28.0	46.7	61.9	73.4	77.0	80.4

最後に、表-3(c)に示す土木専門家について因子軸の命名を行う。土木専門家の第 1 軸には、被験者全体や女子学生の第 1 軸に含まれていた「風景に溶け込んでいる」や「地域性を含んだ」という形容詞が含まれていない。したがって、第 1 軸は「美的感覚」と名づけた。そして、「風景に溶け込んでいる」や「地域性を含んだ」という形容詞は、「自然な」とともに第 5 軸に含まれているため、これを「地域調和」の軸とした。一般の人々は、美的感覚と調和を同じように捉え総合的な美として評価しているのに対し、土木技術者は常日頃から地域や風景との調和を考えて構造物の計画・設計を行っているので、調和というものを美的な感覚とは別の観点で捉えているものと思われる。また、土木技術者の場合、第 4 軸に「親和性」の因子が表れているのも特徴的である。

表-4 に、因子軸の命名を行った結果の一覧表を示す。網掛けの部分、属性により特色の出ている因子軸である。

表-3(c) 因子分析結果 (土木専門家: N=13)

		因子				
		1	2	3	4	5
美的感覚	快適な	0.893	0.286	0.038	0.007	0.049
	すっきりとした	0.882	-0.167	-0.165	-0.026	-0.040
	美しい	0.831	0.363	0.191	0.115	0.102
	洗練された	0.813	0.454	0.011	-0.033	0.025
	上品な	0.810	0.330	0.054	0.080	0.160
	開放感のある	0.804	0.056	-0.214	0.032	-0.116
	好ましい	0.792	0.372	0.200	0.011	0.332
	調和のとれた	0.775	0.009	0.215	-0.021	0.490
	優美な	0.769	0.445	0.018	0.199	0.151
	ゆとりのある	0.745	0.153	0.218	0.202	-0.037
	飽きのこない	0.691	0.320	0.332	0.099	0.345
	バランスの取れた	0.644	-0.230	0.498	0.173	0.243
	機能的な	0.613	-0.487	0.214	-0.135	0.134
	モダンな	0.525	0.362	-0.380	-0.215	-0.482
	若々しい	0.505	0.468	-0.376	0.062	-0.484
アート性	個性的な	0.049	0.931	-0.062	0.059	0.067
	遊び心のある	0.055	0.910	-0.179	0.109	-0.005
	象徴的な	0.271	0.891	0.117	0.100	0.092
	印象的な	0.252	0.868	0.065	0.162	0.060
	洒落た	0.516	0.776	0.004	0.040	-0.016
	豪華な	0.297	0.769	0.272	0.179	0.065
	存在感のある	0.021	0.739	0.482	0.159	-0.059
	芸術的な	0.477	0.734	0.145	-0.090	0.186
	直線的な	-0.080	-0.703	-0.017	-0.210	0.144
	実用的な	0.484	0.619	0.292	0.068	0.171
	日本的な	0.023	-0.616	0.019	0.455	0.255
	都会的な	0.450	0.577	-0.173	-0.326	-0.266
	立体感のある	0.235	0.555	0.499	-0.134	0.134
	可愛い	0.402	0.483	-0.433	0.367	-0.099
	力動感	丈夫な	0.031	0.022	0.938	-0.062
重量感のある		-0.080	0.164	0.900	-0.112	-0.002
安定感のある		0.161	-0.153	0.808	0.205	0.044
風格のある		0.333	0.431	0.735	-0.027	0.217
素材感のある		0.129	0.042	0.710	-0.057	0.260
女性的な		0.300	0.296	0.580	0.387	-0.203
親和性	ダイナミックな	0.408	0.515	0.534	-0.149	-0.028
	暖かみのある	0.088	0.196	0.026	0.864	0.123
	カラフルな	-0.133	0.048	-0.224	0.704	-0.050
	親しみやすい	0.465	0.252	0.238	0.540	0.319
	ソフトな	0.405	0.355	-0.440	0.529	-0.053
地域調和	地域性を含んだ	0.258	0.192	0.091	0.146	0.760
	風景に溶け込んでいる	0.609	-0.159	0.171	-0.101	0.649
	自然な	0.355	-0.459	0.229	0.382	0.491
寄与率(%)		26.0	24.2	14.6	7.1	6.7
累積寄与率(%)		26.0	50.2	64.8	71.9	78.6

表-4 因子軸の命名

	被験者全体	女子学生	土木専門家
第 1 因子	美的調和性	美的調和性	美的感覚
第 2 因子	アート性	アート性	アート性
第 3 因子	力動感	力動感	力動感
第 4 因子	自然重視	自然重視	親和性
第 5 因子	色彩	ソフト	地域調和
第 6 因子	-	色彩	-

(2) 意味空間による橋梁景観の評価

ここでは、因子と写真を対応させた結果について考察する。図-4 及び表-5 は 88 枚のアーチ橋写真の因子得点を表したものである。因子得点とは各共通因子の傾向を各サンプルがどのくらい持っているかを表したものであり、その大きさは各変量にその因子負荷量を相乗することで推定される。

図-4 のグラフは、被験者全体について、I 軸を横軸に、II 軸を縦軸にとり、橋梁番号と数枚の写真を載せている。このグラフの利点は、任意の 2 つの軸について各写真がどのような評価を得ているかということが一目でわかることである。図-4 を見ると、No.29 のアーチ橋は、I 軸 (美的調和性)、II 軸 (アート性) ともに高い評価

を得ていることがわかる。一方、No.77 のアーチ橋は、Ⅱ軸（アート性）は高い評価を得ているが、Ⅰ軸（美的調和性）の評価は低い結果となっている。

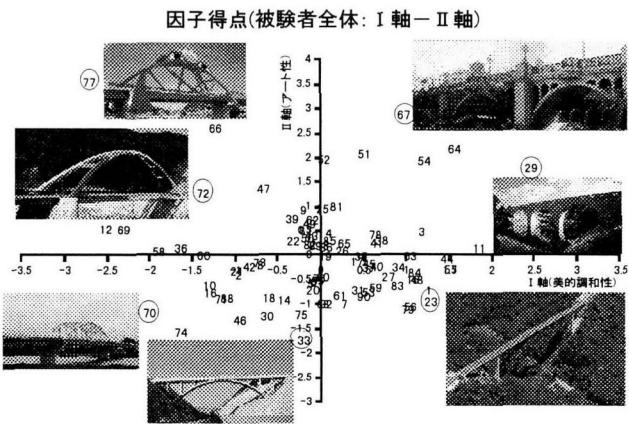


図-4 因子得点（被験者全体：N=53）

さらに、表-5 により被験者の属性の違いによる因子得点の違いについてみると、No.29 のアーチ橋では、土木専門家のみⅠ軸の評価があまり高くはないことがわかる。これは、土木専門家のⅠ軸には“調和”の因子が入っていないためと思われる。すなわち、土木専門家は No.29 のアーチ橋を“調和性”では高く評価しているが“美的感覚”では、あまり評価していないということである。また、No.77 のアーチ橋は、被験者全体、女子学生、土木専門家ともに、Ⅱ軸（アート性）は高得点を得ているが、Ⅰ軸（美的調和性、美的感覚）は極めて低い得点となっており、全ての人々から個性的（アート性）ではあるが、美的ではないという評価がなされていることがわかる。

表-5 因子得点

		Ⅰ軸	Ⅱ軸	Ⅲ軸	Ⅳ軸	Ⅴ軸	Ⅵ軸
No. 29 (五郎橋)	被験者全体	2.479	1.780	1.044	2.974	-0.007	
	女子学生	2.268	1.174	1.728	2.384	0.211	0.185
	土木専門家	0.970	1.189	1.255	2.288	2.461	
No. 77 (かえる橋)	被験者全体	-2.701	3.518	-0.188	-0.582	1.364	
	女子学生	-1.793	2.868	1.094	-1.386	1.443	1.805
	土木専門家	-3.319	2.520	-2.007	2.460	-1.116	

3.4 感性とデザイン要素の結合

橋梁の景観に大きな影響を与えると思われるデザイン要素を抽出し、それらの要素が各イメージ形容詞（感性）に対してどのように影響を及ぼすのかを、数量化理論Ⅰ類を用いて分析する。数量化理論Ⅰ類とは質的な要因に関する情報に基づいて量的に測定された外的基準の値を説明するための方法である。

(1) アイテム／カテゴリー表の作成

数量化理論Ⅰ類を用いるためには、まずアイテム／カテゴリー表を作成する必要がある。ここでいうアイテムとは橋種や橋梁色などのアーチ橋の景観美に影響するデザイン要素に関する項目のことであり、カテゴリーとは、

橋種ならばニールセンやローゼといった各デザイン要素項目の分類を意味している。そこで、橋梁の景観に影響のあると思われるアイテムを選択し、それに対するカテゴリーを決定したものが表-6 である。

表-6 アーチ橋のアイテム／カテゴリーの一覧表

アイテム	カテゴリー	アイテム	カテゴリー
1. 橋種	①ニールセン	9. クリアランス	①大
	②ランガー		②中
	③ローゼ		③小
	④アーチ	10. 材質	①鋼
	⑤トラスドラム		②コンクリート
	⑥ニールセンローゼ	11. 橋梁色	①赤
2. 路面位置	①上路式		②青
	②中路式		③橙・黄
	③下路式		④白・灰
3. アーチリブの傾斜	①パラレル		⑤緑
	②バスケットハンドル	12. 視距離	①近景
	③モノ		②中景
4. アーチ部材形状	①角		③遠景
	②円	13. 視線入射角	①側面
5. スパン・ライズ比	①大		②斜側方
	②中	14. 視点高さ	①上
	③小		②水平
6. 連数	①単		③下
	②複	15. 風景	①山岳(水あり)
7. アプローチの有無	①有		②山岳(水なし)
	②無		③都市
8. 吊材の数	①多		④臨海(河口含む)
	②中		⑤平野(河川数を含む)
	③少	16. 障害物の有無	①有
	④無		②無

次に、表-7 に示すように、各アーチ橋がどのカテゴリーに属するか整理する。この表により各アーチ橋が要素に分類されたわけであり、数量化理論Ⅰ類の分析の際の入力データとなる。ここで、表-7 の最下段に示す反応数とは、それぞれのカテゴリーに該当するアーチ橋の数であり、一つのカテゴリーに対し最低2つのアーチ橋が該当していなくてはならない。

表-7 アイテム／カテゴリー表（一部）

アイテム カテゴリー	1. 橋種						2. 路面位置			3. アーチリブ傾斜		
	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	①	②	③
アー チ 橋	No. 1	●							●		●	
	No. 2			●			●			●		
	No. 3				●			●			●	
	No. 4	●							●	●		
	No. 5			●					●			
	No. 6				●		●			●		
	No. 7					●			●	●		
	No. 8	●						●			●	
	No. 9			●					●	●		
	No. 10		●						●	●		
...												
反応数(N=88)												

(2) 数量化理論Ⅰ類による感性とデザイン要素の結合

作成したアイテム／カテゴリー表とイメージ形容詞との関係を明らかにするために、各写真の評価の平均値を入力データとして数量化理論Ⅰ類を用いて解析した。解析は 43 個のイメージ形容詞のうち、それぞれの因子軸で最も因子負荷量の高い形容詞について実施した。

図-5 に、被験者全体における因子分析結果の第 1 因子である「快適な」という形容詞についての、数量化理論Ⅰ類による解析結果を示す。図中の偏相関係数とは各アイテムに対する影響の大きさを示す数値であり、各アイテムが「快適な」というイメージ形容詞にどれほど影響を及ぼすかを示している。数値が高いほどそのアイテ

ムは「快適な」という印象を与えるのに重要な要素になるということである。スコアとは各カテゴリーに対応する数値であり、各カテゴリーが「快適な」という印象を与えるかどうかを示している。数値が高いほど快適であり、マイナスの値であるものは快適でないということになる。レンジとは、各アイテムのスコアの最大値と最小値の差で、この値が大きいとイメージ形容詞に対するカテゴリーの影響がよりはっきりと表現されていることになる。

第1因子:「快適な-不快な」
重相関係数=0.7552

アイテム	カテゴリー	偏相関係数 (レンジ)	スコア	-1.0	-0.5	スコア 0.0	0.5	1.0
1. 橋種	①ニールセン	0.2983 (0.2495)	-0.0496					
	②ランガー		-0.1438					
	③ローゼ		0.1057					
	④アーチ		0.0379					
	⑤トラス・ランガー		-0.1297					
	⑥ニールセン		-0.0849					
2. 路面位置	①上陸式	0.4484 (0.3945)	-0.0038					
	②中陸式		0.3061					
	③下陸式		-0.0884					
3. アーチの傾斜	①パラレル	0.2800 (0.1903)	-0.0315					
	②バースト・ヘッド		0.1377					
	③モノ		-0.0526					
4. アーチ部材形状	①角	0.1512 (0.1920)	-0.0065					
	②円		0.1855					
5. スパン・サイズ比	①大	0.0600 (0.0305)	-0.0134					
	②中		0.0103					
	③小		-0.0202					
6. 連数	①単	0.2483 (0.1706)	0.1415					
	②複		-0.0291					
7. アーチの有無	①有	0.2963 (0.1714)	-0.1110					
	②無		0.0604					
8. 吊材の数	①多	0.2077 (0.1423)	0.0691					
	②中		-0.0190					
	③少		-0.0505					
	④無		0.0918					
9. クリアランス	①大	0.4390 (0.4773)	0.3754					
	②中		-0.1019					
	③小		0.0052					
10. 材質	①鋼	0.0988 (0.0616)	0.0168					
	②コンクリート		-0.0448					
11. 橋梁色	①赤	0.4430 (0.3448)	-0.1453					
	②青		-0.1704					
	③緑・黄		-0.2775					
	④白・灰		0.0673					
	⑤緑		-0.1219					
12. 視距離	①近景	0.2296 (0.1841)	0.0457					
	②中景		-0.0056					
	③遠景		-0.1383					
13. 視線入射角	①側面	0.2119 (0.1244)	0.0933					
	②斜側方		-0.0311					
14. 視点高さ	①上	0.2013 (0.1104)	0.0542					
	②水平		-0.0563					
	③下		0.0323					
15. 風景	①山岳(木あり)	0.2780 (0.1934)	0.1363					
	②山岳(木なし)		-0.0023					
	③都市		-0.0570					
	④臨海		0.0449					
	⑤平野		-0.0512					
16. 障害物の有無	①有	0.0912 (0.0583)	-0.0490					
	②無		0.0093					

図-5 数量化理論Ⅰ類による解析結果(被験者全体)

図-5 に示す被験者全体の「快適な」についての解析結果を見ると、偏相関係数とレンジの両方の値が高いのは、路面位置とクリアランスと橋梁色である。路面位置とは橋梁の路面がどの位置にあるかということであり、クリアランスとは地面から橋梁までの高さのことである。地面が見えない場合のクリアランスは、写真の印象により決定した。そして橋梁色とは、橋梁本体の色のことである。その3つについてのカテゴリーを見てみると、路面位置は中陸式、クリアランスは大、橋梁色は白・灰の数値が1番高い。すなわちどのような橋が快適に見えるかというと、路面は中陸式で、地面からの高さが高く、橋梁色が白または灰色系であるもののようである。

第2因子:「個性的な-個性的でない」
重相関係数=0.7674

アイテム	カテゴリー	偏相関係数 (レンジ)	スコア	-1.0	-0.5	スコア 0.0	0.5	1.0
1. 橋種	①ニールセン	0.3605 (0.6211)	-0.3437					
	②ランガー		-0.1224					
	③ローゼ		0.1795					
	④アーチ		0.0180					
	⑤トラス・ランガー		0.2774					
	⑥ニールセン		0.0020					
2. 路面位置	①上陸式	0.2254 (0.3155)	-0.1494					
	②中陸式		0.1661					
	③下陸式		0.0847					
3. アーチの傾斜	①パラレル	0.3228 (0.3637)	-0.1374					
	②バースト・ヘッド		0.2263					
	③モノ		0.0286					
4. アーチ部材形状	①角	0.3295 (0.7696)	-0.0282					
	②円		0.7433					
5. スパン・サイズ比	①大	0.1751 (0.1896)	0.1484					
	②中		-0.0413					
	③小		0.0024					
6. 連数	①単	0.3395 (0.4128)	0.3424					
	②複		-0.0704					
7. アーチの有無	①有	0.1385 (0.1225)	0.0794					
	②無		-0.0432					
8. 吊材の数	①多	0.2524 (0.4400)	0.0810					
	②中		-0.0855					
	③少		-0.0216					
	④無		0.3545					
9. クリアランス	①大	0.1336 (0.2230)	0.2042					
	②中		-0.0188					
	③小		-0.0132					
10. 材質	①鋼	0.1289 (0.1605)	-0.0438					
	②コンクリート		0.1168					
11. 橋梁色	①赤	0.3678 (0.7936)	0.1650					
	②青		-0.0028					
	③緑・黄		0.1486					
	④白・灰		-0.0748					
	⑤緑		0.7188					
12. 視距離	①近景	0.1188 (0.1475)	0.0581					
	②中景		-0.0314					
	③遠景		-0.0894					
13. 視線入射角	①側面	0.2544 (0.2731)	-0.2048					
	②斜側方		0.0683					
14. 視点高さ	①上	0.1477 (0.1486)	-0.0416					
	②水平		-0.0277					
	③下		0.1070					
15. 風景	①山岳(木あり)	0.2855 (0.5081)	-0.1079					
	②山岳(木なし)		-0.1014					
	③都市		0.1609					
	④臨海		0.4002					
	⑤平野		0.0564					
16. 障害物の有無	①有	0.1225 (0.1407)	-0.1183					
	②無		0.0224					

図-6 数量化理論Ⅰ類による解析結果(被験者全体)

次に、図-6 に示す「個性的な」については、偏相関係数とレンジの両方の値が高いものは橋種とアーチ部材形状と橋梁色である。すなわち、橋種はトラス・ランガーで、アーチ部材形状は円で、緑色の橋が個性的な橋という結果となった。橋種とは橋の種類のことであり、アーチ部材形状とはアーチ部材が角であるか円（アーチ部材にパイプを使用しているもの）である。ここで注目したいのは、アーチ部材形状である。角に比べて円が非常に高いことがわかる。これはアーチ部材が円であるものは数も少なく、一般的な橋からすると変わっているように見えがちなため個性的であるという評価を得たと思われる。しかし、図-7 に示すレンジのグラフを見ると、アーチ部材の形状が角か円かの感性への影響は、「個性的な」という形容詞以外、「ソフトな」、「モダンな」、「カラフルな」等広範囲に及んでおり非常に重要なデザイン要素であることがわかる。

数量化理論Ⅰ類による解析結果のまとめとして全体的な評価をすると、ほとんどの因子において橋梁色の値が高いという結果になった。また、第2因子の「アート性」ではアーチ部材形状の値が高く、第3因子の「力動感」では橋種の値も高かった。それらの結果から総合的に判断すると、橋梁本体の色が他のアイテムやカテゴリーと

うまくマッチすることで良い評価が得られる橋を設計することが可能になると考えられる。この分析結果から考えられることは、人は何かを一目見た時まず最初に色のバランスを見るのではないかということである。その最初の色のバランスという第1印象が他のアイテムを評価する場合に影響してくるのではないのかと思われる。

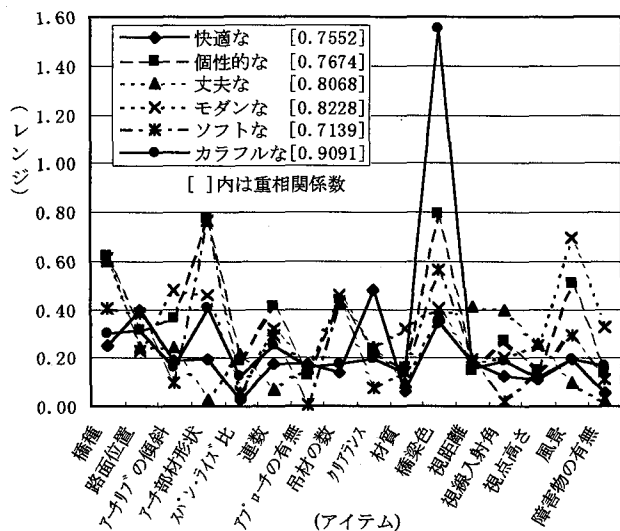


図-7 形容詞によるレンジの違い

3.5 感性データベースの構築

以上に示したように本研究では、①アーチ橋に関する感性ワード、②アーチ橋写真、③SD結果、④因子得点、⑤カテゴリースコアで構成される感性データベースを作成した。この感性データベースは、アーチ橋の設計を行う際に利用可能である。例えば、設計者が「モダンな橋」とはどのような橋かを調べたいときは、SD結果とアーチ橋写真により「人々がモダンと感じる橋」を探し出すことができる。また、カテゴリースコアを用いれば、「モダンな」橋にするためには、どのデザイン要素をどのように変えれば良いのかの判断材料を得ることができる。

しかし、現段階では「数値」と「紙」の形のデータベースのため、誰でも容易に使用可能なデータベースになっていない。今後、システム化を行い設計者が簡単に閲覧可能な感性データベースの構築を行っていきたい。

4. あとがき

本研究では、アーチ橋の景観評価・設計を行うために、感性工学手法を適用することを試みた。感性データベースの構築においては、従来の研究⁹⁾¹⁰⁾より、イメージ形容詞、写真および被験者を増やすことでより充実したデータベースを作成した。また、橋梁を細部に分割してデザイン要素として取り出し、アイテム/カテゴリー表を作成し、数量化理論Ⅰ類を用いて、感性（イメージ形容詞）に及ぼすデザイン要素の評価を行った。

因子分析では、人々がアーチ橋に対して抱く感性が、

「美的調和性」・「アート性」・「力動感」・「自然重視」・「色彩」の5因子に大きく分かれることがわかった。そして、感性意味空間は、橋梁をファッション感覚で捉えている若い女性や、土木構造物の計画・設計を職業とする土木専門家では、微妙に異なることが確認された。また、イメージ形容詞をより良いものとするために行った予備アンケートを実施することにより、アーチ橋の景観評価に関する感性ワードを明確化できた。

さらに、数量化理論Ⅰ類を用いて解析することにより、橋梁景観を形成するデザイン要素がイメージ形容詞に対しどのような影響を与えているかについても明確化できた。このことは橋梁という対象をそのまま評価するのではなく、デザイン要素をアイテム/カテゴリーという細部に分割し、評価することでその集合体である橋梁を評価しようという試みが、非常に有効であることを表しており、橋梁の景観評価を行っていく上で重要な手法となることを示している。

今後、設計者が簡単に閲覧可能な感性データベースを構築することにより、多くの人々の感性を橋梁の設計に生かすことが可能となり、多くの人々に満足してもらえる橋梁を造ることが可能となるものと思われる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり御協力頂いた「土木学会中国支部 ちゅうごく土木みらい委員会 感性工学手法に基づく土木構造物の評価・設計システムに関する研究小委員会」の委員の皆様へ深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 長町三生：感性工学，海文堂，1989.
- 2) 長町三生編：快適科学，海文堂，1992.
- 3) 長町三生編：感性商品学，海文堂，1993.
- 4) 長町三生：感性工学のおはなし，日本規格協会，1995.
- 5) (社)日本橋梁建設協会：橋梁年鑑 平成5年版～平成7年版.
- 6) (社)土木学会構造工学委員会 橋梁年報編集小委員会：橋 Bridges in Japan 1991-1992～1995-1996.
- 7) (社)日本道路協会：橋の美Ⅲ 橋梁デザインノート，1992.
- 8) (社)土木学会出版委員会 美しい橋のデザインマニュアル編集小委員会編：美しい橋のデザインマニュアル[第2集]，1993.
- 9) (社)土木学会中国支部 ちゅうごく土木みらい委員会：平成8年度感性工学手法に基づく土木構造物の評価・設計システムに関する研究報告書，1997.3.
- 10) 白木渡・伊藤則夫・保田敏一・安達誠：感性工学手法による橋梁の景観評価に関する研究，第5回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集，PP79-84，1997.12.

(1998年9月18日受付)