

感性工学手法による桁橋の景観評価・設計 に関する一考察

保田敬一¹・白木 渡²・安達 誠³・三雲是宏⁴・堂垣正博⁵

¹正会員 博(工) 株式会社ニュージェック 情報技術部 (〒542-0082 大阪府大阪市中央区島之内1-20-19)

²正会員 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)

³正会員 工修 復建調査設計株式会社 交通技術部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町2-10-11)

⁴正会員 株式会社ニュージェック 情報技術部 (〒542-0082 大阪府大阪市中央区島之内1-20-19)

⁵正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

近年、橋梁の景観設計の重要性が広く認識されてきていることと、住民参加型の社会資本形成の広がり、さらにその利用者の感性を取り込んだ設計が求められるようになってきている。本論文では、商品開発などで成果をあげている感性工学手法を取りあげ、桁橋を対象に利用者の中でも大学生によるアンケート調査を行い、学生が橋に対して要求している感性を分析し、桁橋を構成するデザイン要素と感性との関係を合理的に結び付けることを試みた。そして、これまで橋梁の景観評価に有効であるとしてよく用いられてきたニューラルネットワークとの比較を行うことで、今後の新しい景観評価・設計の方向性として感性工学手法の有用性を明らかにする。

Key Words : aesthetic of landscape, girder bridges, kansei engineering, neural network,
aesthetic assessment and design

1. はじめに

筆者らは、商品開発などで実績のある感性工学手法に着目し、桁橋アーチ橋などを対象としてその適用に関する研究を行ってきた^{1,2,3}。そこでは、橋梁に対するイメージを具体化するために、評価用写真を用いて複数個のイメージ形容詞のSD法によるアンケート調査を実施している。そして、因子分析を行って橋梁の感性意味空間を把握している。さらに、橋を対象として、数量化理論I類によりイメージ形容詞で表現される感性に及ぼすデザイン要素の評価を試みている。

感性工学とは、「人間がも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、具体的なものとして実現するための技術」と定義されている。ユーザーの持っている“ハイセンスな”ものや、設計者の持っている“遊び心のある”商品というハイセンスや遊び心のあるにあたるもののがイメージであり、それに近いものを実現するために、何色がよいか、スタイリングはどのような形態が良いか、機能は何をどのよ

うに取り込めばよいかなど、感性を数値化して具体的なデザイン要素に変換する工学的手法が、感性工学手法である^{4,5}。

主観的評価が多いという景観設計の問題点に関しては、評価を定量的に取り扱えるようにするために、これまでに様々な試みがなされてきた。これらの研究^{6,7,8,9}の多くは、複数の被験者を対象にアンケート調査を行い、サイコベクトル、ニューラルネットワーク、エクスピートシステム、主成分分析や数量化理論などの概念や手法を用いている。感性工学とはイメージや感性を具体的なものとしてデザインしていくための一連の過程を示す概念であり、そのデザインしていくための方法として数量化理論がこれまで用いられてきた。ニューラルネットワークも数量化理論も複数のデザイン要素とアンケート結果との関係から評価結果を推定しようとするものである。従来、景観評価の量化にはニューラルネットワークが有効であるといわれており、感度から評価項目の重みを算出することも行われている¹⁰。しかし、この方法では感度は評価に対しての

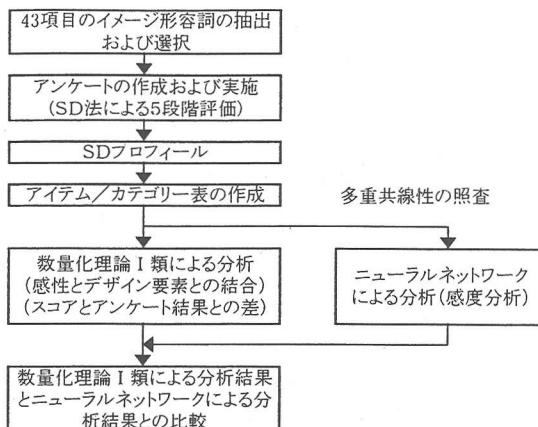


図-1 検討フロー

影響の大きさを表すだけで、下部工形状をどのように変化させるとその評価がどのように変わるかといった具体的なデザイン要素とその変化に伴う評価の違いは推定できない。また、その算出された感度自体も固定する項目によって値は大きく変わるといった問題点がある。

感性工学手法における数量化理論I類による分析方法がその解決策と考えられるが、説明変数相互の相関のチェックがなされていないなどのさらなる問題点も指摘されている。また、景観設計の方法として、まず基本となるコンセプトを設定し、このコンセプトに基づいて具体的な設計のデザインへとブレイクダウンしていく方法（コンセプト手法）が主流となっているが、その手順は感性工学手法とほぼ同じである。ただし、コンセプト手法におけるデザイン要素への展開方法が統一されておらず、利用者のニーズを反映したものとはなっていない。

本研究では、感性工学手法の適用に際して指摘されている問題点について検討し、桁橋を対象として数量化理論I類とニューラルネットワークを比較し、景観評価・設計における得失を明確化する。なお、検討フローを図-1に示す。

2. 景観評価

人間は景観というものをどのようにして評価しているのであるか。図-2に示すように、人間はまず対象を見てそれを認識し、分析と判断を経て最後に評価を下す。この中で、分析～判断～評価という部分は人によって様々で、時間や場所、評価者の置かれている状況によっても変化する。一般の人よりは橋梁設計技術者の方が、橋梁設計技術者よりはデザイナーの方が分

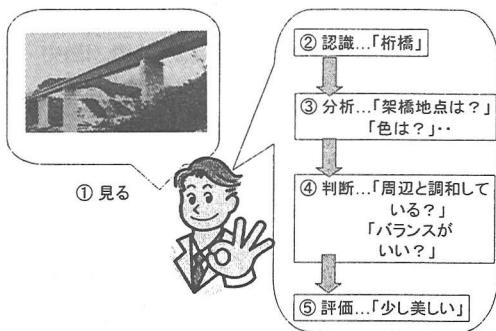


図-2 景観評価のイメージ

析～判断～評価という部分は優れていると思われるし、時間や場所等が変化してもその変動が少ないものと予想される。この人間が頭の中で行っている分析～判断～評価という部分は、非常にわかりにくく、時間、場所、状況などによって微妙に変化する。そこで、このような漠然とした判断による評価を量量化しようとして、ニューラルネットワークやエキスパートシステムなどによる取り組みがなされている。

このように、変動する評価というものをどのように設計に反映させていくか、つまり、どの評価を採用して設計に用いるかについては様々な方法がある。

①景観の評価に関して一般人よりも認識が高く、より深い造詣を持っており、評価の変動も少ないと考えられる橋梁設計技術者あるいはデザイナーの評価結果を用いる方法

②実際に利用するユーザーの意見を設計に反映させるという意味で、多人数（一般人のアンケート結果による）の評価の平均値を用いるという方法

どちらの方法も一長一短があるが、本研究では、これまであまり重要視されてこなかった実際の利用者の感性を把握し、設計に利用するということに重点を置き、利用者の中でも大学生を対象にしたアンケート結果による評価の平均値を用いることとした。

3. 感性アンケート調査

(1) アンケートの作成および実施

アンケートを実施するにあたって、本研究ではSD(Semantic Differential)尺度を用いた。SD尺度というのは、1958年に心理学者のオズグッドが証明した評価尺度のことで、形容詞を、「美しい⇒美しい」などの対語を両極としてその間を3段階、5段階あるいは7段階に分けて評価する方法である。SD法は人間の受ける刺激の情緒的意味を測定する方法として、今日では心理学、社会学、政治学、言語学、マーケティングなどの分野

イメージ形容詞（桁橋）

写真No.

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

図-3 アンケート用紙

で幅広く活用されている。この方法は、測定方法として十分な客観性、信頼性、妥当性、敏感性を備え、かつ、多様な被験者や概念を持つ様々な領域においても適用可能であるといわれている⁹。

評価者は、関西大学工学部土木工学科の学生で、1年生と4年生の合計40名を対象にした。内訳は、男子学生20名および女子学生20名である。評価者としては実際に利用するユーザーを選ぶことが重要であるが、利用者は年齢、性別、職種、居住地区などによっても分類でき、研究段階ではこれら多種多様な人々を対象とする必要はないと判断した。そして、橋梁設計技術者やデザイナーを除いた一般の利用者の中でも、工学部土木工学科の学生は他学部の学生に比べて橋梁や構造に関する意識は高いし、感性も優れていると考えられる。また、多くのイメージ形容詞に対する評価においても、橋梁に関して意識がそれほど高くない主婦や高齢層といったユーザーに比べて大学生の方がセンスがあると考えられる。したがって、本研究では工学部土木工学科の学生を評価者として選定した。

桁橋に対するイメージ形容詞は、「女性的な ⇄ 男性

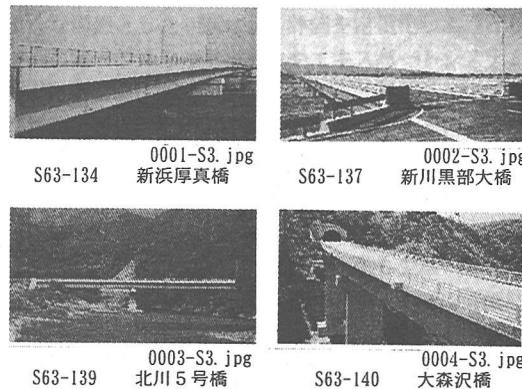


図-4 桁橋の写真の一例

的な」、「若々しい ⇄ 若々しくない」、「好ましい ⇄ 好ましくない」などの43項目のお互いに対になつたものである。これらの形容詞は、著者らの既往の研究^{11,12}で用いたものを使用した。橋梁に対する視点としては、事業執行者の視点、設計者の視点、施工者の視点、管理者の視点、利用者の視点とそれぞれ事業の進行状況ごとに異なった視点が想定される。供用後何十年と実際に橋を利用するユーチャーであり、そのユーチャーがどのような感性を持つかが重要である。既往の研究でも、設計者の感性と一般の人の感性とは異なることが報告されており^{13,14}、利用者の意見を反映させることができるものである。

被験者には評価用写真を見て、図-3に示すアンケート用紙に5段階の評価を記入していただいた。

- ①評価に際しては、写真のどういうところを見たのかを記入して下さい（例：色、全体の形など）。
- ②自分なりの評価基準があれば記入して下さい（例：美しい=形に重点を置いているなど）。
- ③わかりにくい（評価しづらい）形容詞を挙げて下さい（例：素材感のある、実用的ななど）。を記入してもらひ、正確な評価ができるかなどを再確認した。

(2) 対象とした橋梁

評価に用いた桁橋の総数は90橋で、橋梁年鑑¹⁵から写真をとり、A4横サイズの評価用写真を作成した。評価に用いた桁橋写真の一部を図-4に示す。

(3) 感性アンケート結果

アンケート評価結果の一部を表-1に示す。それぞれの値は、評価者全員（40名）の平均値を示している。合計値が高い方が全体的に評価点が高くなり、合計値が低くなるとあまり良い印象をもたれていないことになる。

表-1 アンケート評価結果(全体)の一部

(イメージ形容詞 橋梁名)	1	2	3	4	5	6
1 新浜厚真橋	-0.375	-0.9	0.85	-0.45	0.625	0.7
2 新川黒部大橋	0.175	1.05	1.05	-0.175	0.725	1.375
3 北川5号橋	-0.275	-0.05	0.325	0.275	0.625	1.425
4 大森沢橋	0.2	0.225	0.025	-0.05	0.625	0.5
5 嶺田大橋	0.175	0.75	0.85	0.475	0.7	-0.4
6 御蔵橋	0.7	0.125	0.425	-0.325	0.3	0.575
7 司野橋	-0.1	0	0.1	-0.275	0.55	1.5
8 町屋橋	-0.925	0.2	1.2	-0.85	0.975	1.2

表-2 コンセプトによって変化する形容詞
を除外したイメージ形容詞

3 安定感のある	←→ 安定感のない
5 実用的な	←→ 実用的でない
9 しゃれた	←→ しゃれでていない
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	←→ 風景に溶け込んでいない
14 すっきりとした	←→ こみこみした
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
19 ゆとりのある	←→ ゆとりのない
21 飽きのこない	←→ 飽きのくる
24 可愛い	←→ 可愛くない
26 上品な	←→ 上品でない
31 洗練された	←→ 野暮な
33 優美な	←→ 優美でない
35 個性的な	←→ 個性的でない
38 開放感のある	←→ 圧迫感のある
40 快適な	←→ 不快な
41 調和のとれた	←→ 調和のとれていない
43 好ましい	←→ 好ましくない

表-3 評価点合計値の順位

順位	No.	橋梁名	評価点	順位	No.	橋梁名	評価点
1	81	漢天橋	14.225	81	76	鳴瀬高架橋	-2.8
2	60	信玄橋	14.275	82	35	下花水橋	-3.2
3	64	静橋	14.05	83	26	祇園新橋(1期)	-3.35
4	51	崎田大橋	13.725	84	54	鰐取川橋	-3.55
5	42	座玉橋	13.725	85	55	安楽川橋	-3.925
6	38	野村橋	13.625	86	12	笛目橋	-4.275
7	21	長井橋	13.125	87	88	祇園新橋(上り)	-6.225
8	24	緑川橋	12.675	88	57	吉東大橋	-9.35
9	84	佐伯橋	11.375	89	1	新浜厚真橋	-10.45
10	19	女の都アーチ号橋	11.075	90	47	藤陽北跨道橋	-11.325

この中で、「美しい」、「調和のとれた」などの形容詞については、点数が高い方が評価が良いものとして取り扱うことができるが、「直線的か曲線的か」、「若々しいか若々しくないか」、「女性的な男性的な」などの形容詞については、コンセプト毎に変わってくるものであり、点数が高い方が評価がいいとは限らない。また、地域性を考慮している形容詞もあり、これについてもコンセプトや地域によって変わってくる。

このようなコンセプト毎に評価が変わってくる形容詞や、地域性を含んだ形容詞を除外した表-2に示す形容詞について、評価項目の平均値の総和を算出し、順位毎に並べ替えたのが表-3である。ここで、上位にきていく橋梁は、地域性やコンセプトなどに左右されず、平均的に評価点が高くなっている、一般的にいい評価を

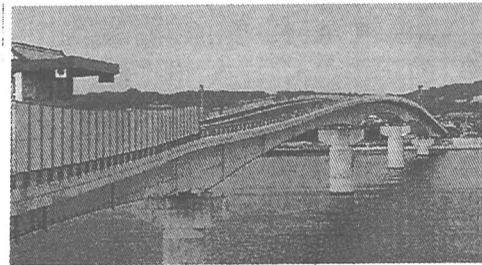
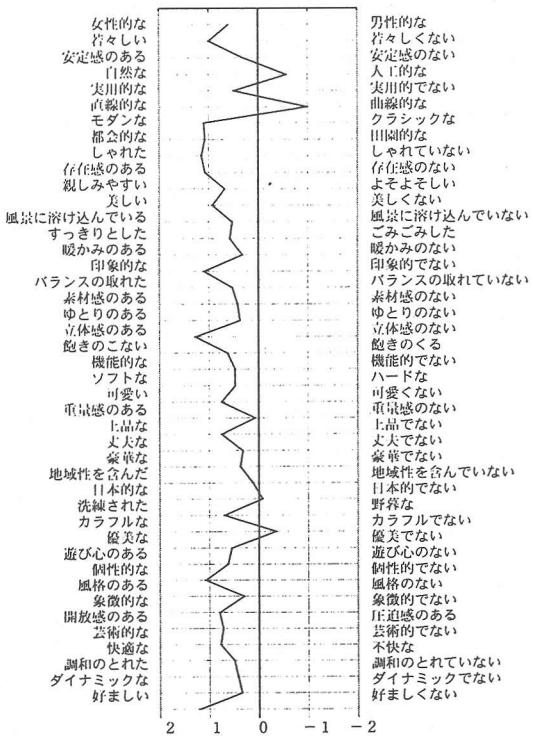


図-5 SDプロフィール(No. 81橋梁)

得ていると考えることができる。

このように、設定したデザインコンセプト毎に異なるイメージ形容詞を複数選択することで、該当する橋梁を順位毎に表示させることは簡単にできる。例えば、「美しく」、「しゃれた」、「親しみやすい」、「上品な」といったイメージ形容詞を選択すると、該当するイメージ形容詞の評価点合計が計算され、得点の高い順に表示させることでその評価も簡単にできるようになると考えられる。

(4) SDプロフィール

感性工学による分析を行う前に、1枚の写真を例にとり、SDアンケートで得られた結果(SDプロフィール)を示す。

図-5は、被験者全体のSD尺度によるアンケート評価

結果の平均値をプロットしたものである。図-5を見るところにより、それぞれの桁橋が被験者にどのように評価されているかが把握できる。図-5は表-2に示す評価項目における平均値の総和が最も高かった橋梁のSDプロフィールである。図-5の橋梁の評価点が高いのは、写真としての構図がいいこともあるが、背景が海岸で上に青い空があることと、桁の縦断曲線と桁高変化の度合いがうまくマッチしているためであろうと考えられる。

4. 感性とデザイン要素との結合

ここでは、橋梁の景観に大きな影響を与えると考えら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）に対してどのような影響を及ぼすのかを数量化理論I類を用いて分析した。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類を用いて解析するためには、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、桁や高欄の色、風景、背景の色彩、下部工形式、下部工断面などの桁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る。一方、カテゴリーとは、下部工断面ならば円形か軸形か小判型か、風景は山岳か平地か河川か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、桁橋の景観に影響があると考えら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て表にしたもののが表-4である。この表はアイテム／カテゴリー表の一部であるが、この表により各橋梁写真が要素に分類されたわけであり、数量化理論I類による分析の際の入力データとなる。用いたアイテム／カテゴリーの一覧を表-5に示す。

(2) 多重共線性の検査

前述のアイテム／カテゴリーをもとに、数量化理論I類を用いて解析を行う前に、各アイテム間での相関係数が高くないこと、すなわち、独立性の検定を行う必要がある。本来、説明変数というのはその数が少ない方が望ましいが、景観評価のような要因が相互に複雑に関連し合った問題においては、要因の数を限定することは容易ではない。また、景観設計の段階において考慮すべき橋梁の構成要素というものは、表-5からもわかるように少なくない。

表-4 アイテム／カテゴリー表の一部

アンケートNo.	解剖No.	年	頁	橋名	上部形状平面形状				桁の色彩			
					等断面	変断面	直線桁	曲線桁	赤	青	アイボリー	茶
1	1	S63	134	新浜厚真橋	●	●						
2	2	S63	137	新川黒部大橋	●	●	●	●	●	●		
3	3	S63	139	北川川号橋	●	●	●	●	●	●		
4	4	S63	140	大森沢橋	●	●	●	●	●	●		
5	5	S63	141	崎田大橋	●	●	●	●				
6	6	S63	143	御蔵橋	●	●	●	●	●	●		
7	7	S63	144	司野橋	●	●	●	●	●	●		
8	8	S63	147	町屋橋	●	●	●	●	●	●		
9	9	S63	149	武雄高架橋	●	●	●	●				
10	10	S63	151	山賀高架橋西	●	●	●	●		●		
11	11	S63	159	小瀬川橋	●	●	●	●	●	●		
12	12	S63	161	笛自橋	●	●	●	●	●	●		
13	13	S63	162	小堀川橋	●	●	●	●	●	●		
14	14	S63	163	東鷹ノ巣橋	●	●	●	●				
15	15	S63	165	新吉野川大橋	●	●	●	●	●	●		
16	16	S63	166	中島大橋	●	●	●	●	●	●		

表-5 アイテム／カテゴリーの一覧表

アイテム	カテゴリー					
	等断面	変断面	直線桁	曲線桁	赤	青
1) 主桁形状						
2) 平面形状						
3) 桁の色彩	赤	青	アボリー	茶	灰	緑
4) 高欄の色彩	灰	茶	白	緑		
5) 下部工形状	張出し式	柱式	長方形	逆台形		
6) 下部工断面	円形	船形	小判			
7) 橋脚数	1	2	3	4	5~	
8) 高欄形式	壁	縦桟	横桟			
9) 排水管	有り	無し				
10) 照明柱	有り	無し				
11) 検査路、添架物	有り	無し				
12) 視距離	近景	中景				
13) 視線入射角	側面	斜側方				
14) 視点高さ	上	水平	下			
15) 風景	山岳	平地	河川			
16) 背景(上層)の色彩	白	緑	青	茶		
17) 背景(下層)の色彩	緑	黒茶	青	灰白		
18) クリアランス	大	中	小			
19) 並列橋	有り	無し				
20) 障害物の有無	有り	無し				

表-6に説明変数（アイテム）相互の独立性の検定結果を示す。この図で、右上半分の区域は、上段の値が力2乗値で下段の値は $\chi^2(0.05)$ 値である。ここで、上段の値が下段の値よりも小さければ説明変数相互に相関はないということである。左下半分の区域は、上段が説明変数相互の独立係数であり、下段は[*]が1%で有意、[**]が5%で有意、[]が相関なしという表示である。この表より、部分的に1%有意あるいは5%有意となるアイテムの組み合わせが平面形状と下部工断面、クリアランスと下部工断面、照明柱と高欄形式など若干存在するが、ほとんどの説明変数相互の相関はないと考えて差し支えないといえる。この理由として、最初にデザイン要素に関する項目を選定し、アイテム／カテゴリー表を作成するわけであるが、専門家が予め相関のあるようなアイテムを頭の中で除外してアイテム／カテゴリー表を作成していることによると考えられる。したがって、この20項目の説明変数（アイテム）および60項目のカテゴリーの選択は妥当であるといえる。

表-6 説明変数相互の相関（独立性の検定）

	1 主桁 形状	2 平面 形状	3 桁の 色彩	4 高欄 の色 彩	5 下部 工形 状	6 下部 工断 面	7 橋脚	8 高欄 形式	9 排水 管	10 照明 柱	11 検査 路、 添架 物	12 視距 離	13 視線 入射 角	14 視点 高さ	15 風景	16 背景 (上 層)の 色彩	17 背景 (下 層)の 色彩	18 クリ アラ ンス	19 並列 橋	20 障害 物の 有無
主桁形状		3.25 <3.84	8.22 <11.0	1.88 <7.81	2.03 <7.81	0.2 <5.99	0.29 <9.49	0.14 <5.99	0.21 <3.84	0.06 <3.84	0 <3.84	0.04 <3.84	0.03 <3.84	0.02 <5.99	1.29 <5.99	0.01 <7.81	0.61 <5.99	0 <3.84	0 <3.84	0.87
平面形状	0.19 []		2.45 []	0.05 []	3.92 []	20.8 []	0.17 []	1.79 []	0 []	3.06 []	0.02 []	0.1 []	0.15 []	0.18 []	8.5 []	0 []	1.24 []	2.98 []	0.02 []	4.32
桁の色彩	0.3 []	0.16 []		21.7 []	0.42 []	0.14 []	1.17 []	0.06 []	5.46 []	0.19 []	0.92 []	11.2 []	5.95 []	0.05 []	5.53 []	0.66 []	11.6 []	0 []	0 []	3.92
高欄の色彩	0.14 []	0.02 []	0.28 []		0.15 []	0.93 []	2.11 []	1.81 []	1.54 []	1.21 []	0.02 []	7.39 []	0.01 []	0.44 []	0.17 []	1.29 []	0.15 []	0.61 []	0.18 []	9.43
下部工形状	0.15 []	0.21 []	0.04 []	0.02 []		0.5 []	1.3 []	0.09 []	4.63 []	6.64 []	3.83 []	0.54 []	0.17 []	0.26 []	5.58 []	0.01 []	5.74 []	8.63 []	1.55 []	6.28
下部工断面	0.05 []	0.48 []	0.03 []	0.07 []	0.05 []		4.01 []	0.54 []	5.79 []	0.02 []	0.01 []	0.16 []	0.25 []	0.93 []	0.03 []	2.21 []	0.58 []	26.1 []	0.05 []	3.56
橋脚数	0.06 []	0.04 []	0.06 []	0.09 []	0.07 []	0.15 []		1.87 []	0.54 []	0.08 []	0.01 []	0.56 []	0.73 []	0.93 []	1.81 []	4.71 []	0.13 []	1.24 []	0.81 []	0.2
高欄形式	0.04 []	0.14 []	0.02 []	0.1 []	0.02 []	0.05 []	0.1 []		3.39 []	15.7 []	0 []	0.04 []	0.09 []	0 []	0.09 []	0.11 []	5.13 []	0.33 []	4.53 []	0.44 []
排水管	0.05 []	0.01 []	0.25 []	0.13 []	0.23 []	0.25 []	0.08 []	0.19 []		0.27 []	2.08 []	0.23 []	0.35 []	2.74 []	4.48 []	0.52 []	3.91 []	6.49 []	0.75 []	0.02 []
照明柱	0.03 []	0.18 []	0.05 []	0.12 []	0.27 []	0.02 []	0.03 []	0.42 []	0.06 []		3.91 []	0.13 []	0.05 []	0.14 []	8.55 []	2.83 []	10.7 []	13.2 []	0.53 []	0 []
検査路、添架物	0 []	0.01 []	0.1 []	0.02 []	0.21 []	0.01 []	0.01 []	0 []	0.15 []	0.21 []		0.33 []	0.08 []	0.07 []	0.13 []	0.28 []	0.83 []	0.04 []	0 []	0.34 []
視距離	0.02 []	0.03 []	0.35 [*]	0.29 []	0.08 []	0.04 []	0.08 []	0.02 []	0.05 []	0.04 []	0.06 []		5.88 []	1.15 []	4.45 []	5.05 []	2.7 []	1.12 []	0 []	3.44 []
視線入射角	0.01 []	0.04 []	0.26 []	0.01 []	0.04 []	0.05 []	0.09 []	0.03 []	0.06 []	0.02 []	0.03 []	0.26 []		0.67 []	0.2 []	0.37 []	1.96 []	0.06 []	0.08 []	0.1 []
視点高さ	0.02 []	0.04 []	0.02 []	0.05 []	0.04 []	0.07 []	0.07 []	0 []	0.17 []	0.04 []	0.03 []	0.11 []	0.09 []		0.08 []	0.43 []	14.4 []	0.06 []	0.08 []	0.09 []
風景	0.12 []	0.31 [*]	0.18 []	0.03 []	0.18 []	0.01 []	0.1 []	0.02 []	0.22 []	0.31 []	0.04 []	0.22 []	0.05 []	0.02 []		0.56 []	3.04 []	8.79 []	0.17 []	1.22 []
背景(上層)の色	0.01 []	0 []	0.05 []	0.07 []	0.01 []	0.11 []	0.13 []	0.02 []	0.08 []	0.18 []	0.06 []	0.24 []	0.06 []	0.05 []	0.06 []		0.34 []	0.01 []	0.26 []	1.07 []
背景(下層)の色	0.08 []	0.12 []	0.21 []	0.02 []	0.15 []	0.06 []	0.02 []	0.17 []	0.21 []	0.34 []	0.1 []	0.17 []	0.15 []	0.28 []	0.13 []	0.04 []		1.48 []	1.55 []	1.46 []
クリアランス	0.01 []	0.18 []	0 []	0.06 []	0.22 []	0.38 [*]	0.08 []	0.04 []	0.27 []	0.38 [*]	0.02 []	0.11 []	0.03 []	0.02 []	0.22 []	0.01 []	0.09 []		0.91 []	1.24 []
並列橋	0 []	0.01 []	0 []	0.05 []	0.13 []	0.02 []	0.09 []	0.22 []	0.09 []	0.08 []	0 []	0 []	0.03 []	0.03 []	0.04 []	0.05 []	0.13 []	0.1 []		1.38 []
障害物の有無	0.1 []	0.22 [*]	0.21 []	0.32 [*]	0.26 []	0.2 []	0.05 []	0.07 []	0.01 []	0 []	0.06 []	0.2 []	0.03 []	0.03 []	0.12 []	0.11 []	0.13 []	0.12 []	0.12 []	

[**]…1%で有意、[*]…5%で有意、[]…相関なし

(3) 数量化理論I類による感性とデザイン要素との結合

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全てにおいて実施した。

まず、「しゃれた⇒しゃれてない」に対する分析結果を示す図-6を例にして説明を行う。この図は、「しゃれた」というイメージ形容詞についての数量化理論I類による計算結果である。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「しゃれた」というイメージ形容詞に対してどの程度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「しゃれた」という印象を与えるのに重要な要素になるということがいえる。スコアとは、各カテゴリーに与える数値であり、各カテゴリーが「しゃれた」という印象を与えるかどうかを示している。この数値が高いほどしゃれており、マイナスの

値であるものはしゃれてい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あり、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。

図-6に示す被験者全体の「しゃれた」についてみると、偏相関係数とレンジの両方の値が高いのは、「桁の色彩」、「高欄の色彩」、「視点高さ」、「背景(下層)の色彩」および「クリアランス」である。桁の色彩や高欄の色彩とは、橋桁や高欄の色のことである。視点高さとは、その橋をどの位置から見ているかであり、上から見た場合は橋面が、水平から見た場合は橋桁や高欄の水平のラインが、下から見た場合は、桁裏と橋脚が主に見える。背景(下層)の色彩とは、橋梁(桁の水平線)よりも下にある背景の色のことである。河川渡河部の橋梁の場合は、水色になる。クリアランスとは、地面(水面)から橋梁までの高さのことである。数値が高いほど桁下空間としては広くなる。その4つにつ

第1因子 「しゃれたーしゃれていない」
重相関係数=0.7722

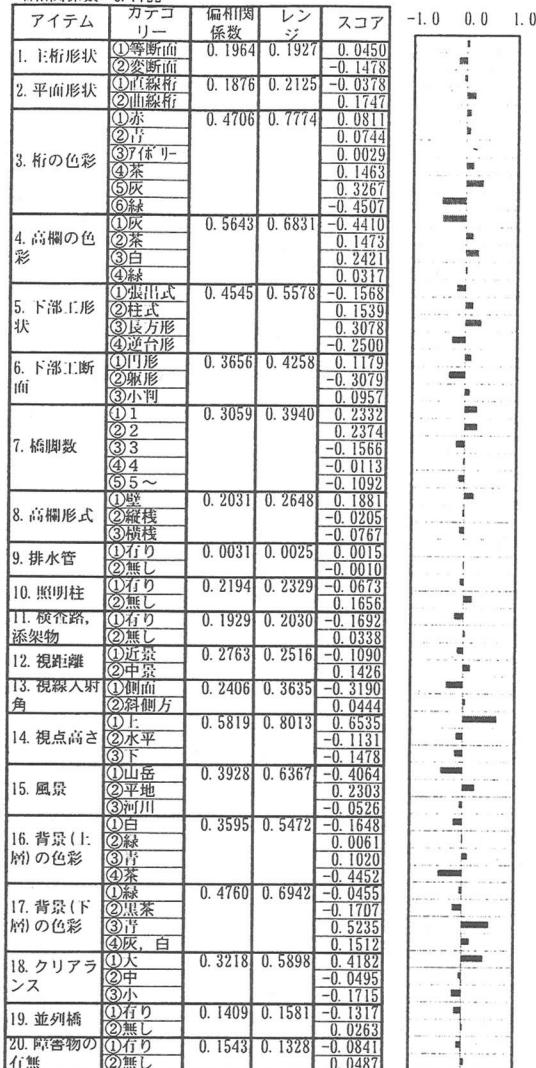


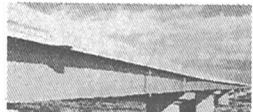
図-6 数量化理論 I 類による解析結果 (全体:N=40)

いてのカテゴリーを見てみると、柵の色彩は灰色、高欄の色彩は白、視点高さは上から、背景（下層）の色彩は青色の数値が最も高い。スコアの高い数字で見ると、視点は上方から、橋桁より下の色彩は青色で、柵下高さは大きく（高く）、柵の色彩は灰色系統で、下部工形状は長方形（張出しなし）の橋がしゃれて見えるようである。

これらの結果から総合的に判断すると、柵や高欄の色彩と背景の色彩とをうまくマッチさせることで、良い評価を得られる橋を設計することが可能になると考えられる。さらに、視点高さの影響も大きく、上から見た場合に得点が高くなるということは橋面工の重要性を示唆しているし、逆に柵裏にあまり配慮がなされ

表-7 視点高さ毎の評価点平均値

	上方	水平	下方
評価点平均値	0.3533333	-0.081081	-0.088158
データ個数	15	37	38
分散	0.1332917	0.3953266	0.2450249



No. 63橋梁(視点高さ:水平)
「しゃれた」の評価点:-0.7



No. 73橋梁(視点高さ:上方)
「しゃれた」の評価点:0.2



No. 76橋梁(視点高さ:下方)
「しゃれた」の評価点:-0.45

図-7 異なる視点からみた橋梁の評価点

ていないことを示している。このことは、表-7に示すように、視点高さごとの各橋梁の「しゃれた」における上方からの評価点の平均値が水平あるいは下方からの平均値に比べて高くなっていることからもわかる。また、分散も上方からの方が小さいことなどから、高い評価点のデータが上方には多いことがわかる。

本来、視点高さによる評価の差を論じるには、同一の橋に対して異なる視点から眺めた場合に被験者がどのような評価をするかということが必要とされる。同一の橋について、下方からあるいは水平からなど、異なる視点から撮った写真は本研究では存在しないが、図-7に示す柵の色彩（緑）や背景（平地）などが同じで、視点高さが上方から（No.73橋梁）、水平（No.63橋梁）および下方から（No.76橋梁）とそれぞれ異なった3橋梁についてのそれぞれ「しゃれた」の評価点を見ても、上方からの評点が高いことがわかる。

本研究では構図や視点場が異なる写真を用いて評価を行っている。実際の利用者の視点場といふものは、その多くが限定されたものであり、まれにしか見ることのないような視点場からの写真ではその評価も変わってくるが、本研究では利用者の限定された視点場からの写真だけではなく全ての視点場からの写真をアンケートに用いて分析を行っている。この理由として、構図や視点場による評価への影響を定量的に把握することであり、既往の研究でも視点場の相違によるその評価への影響に関してはほとんど言及されていない。本研究ではその一部として、図-6に視点場による影響を偏相関係数という形で載せてある。しゃれたに関しては、視距離や視線入射角よりも視点高さによる差によ

表-8 理論値と実績値の比較

アンケート結果による順位			カテゴリスコアによる順位		
No.	橋梁名	実績値	No.	橋梁名	理論値
64	静橋	1. 525	64	静橋	0.8953
60	信玄橋	1. 15	75	碓氷川大橋	0.7679
81	湊大橋	1. 15	33	天竜橋	0.7602
11	小瀬川橋	0. 95	11	小瀬川橋	0.7129
33	天竜橋	0. 925	73	津島橋(Ⅱ期)	0.692
42	摩三橋	0. 925	85	黄金中島橋	0.6899
21	長井橋	0. 875	38	野村橋	0.6852
19	女の都ラグア2号橋	0. 825	17	鶴見橋	0.6703
24	線川橋	0. 825	68	三三大橋	0.6261
38	野村橋	0. 8	74	鶴見橋	0.6183
85	黄金中島橋	0. 75	29	太田川橋	0.5976
62	上の河内橋	0. 65	81	湊大橋	0.5738
78	新篠ノ井橋	0. 575	18	赤仁大橋	0.5713
70	紅葉橋	0. 55	42	摩三橋	0.5625
40	桜木橋	0. 525	21	長井橋	0.5418
74	鶴見橋	0. 525	78	新篠ノ井橋	0.4999
5	崎田大橋	0. 5	90	岩倉橋	0.4931
90	岩倉橋	0. 475	19	女の都ラグア2号橋	0.4406
7	司野橋	-0. 5	35	下花水橋	-0.386
3	北川5号橋	-0. 525	69	新土師橋	-0.391
69	新土師橋	-0. 525	22	橋川大橋	-0.407
14	東鷹ノ巣橋	-0. 55	20	福島倉橋	-0.423
39	武雄高架橋	-0. 6	47	福陽北陸道橋	-0.454
56	宮川大橋	-0. 6	63	広瀬大橋	-0.459
61	笠瀬橋	-0. 6	46	義老川橋	-0.468
88	祇園新橋(上り線)	-0. 65	61	菜瀬橋	-0.468
46	義老川橋	-0. 675	31	浦佐大橋	-0.469
12	笹目橋	-0. 7	7	司野橋	-0.475
63	広瀬大橋	-0. 7	55	安葉川橋	-0.476
65	界橋	-0. 7	26	祇園新橋(下り)	-0.499
55	安葉川橋	-0. 775	45	川第橋	-0.512
26	祇園新橋(下り)	-0. 8	58	宇賀地橋	-0.559
54	鶴取川橋	-0. 925	39	武雄高架橋	-0.683
47	福陽北陸道橋	-0. 975	1	新浜原真橋	-0.703
1	新浜原真橋	-1. 2	57	苦東大橋	-0.899
57	苦東大橋	-1. 2	54	鶴取川橋	-0.931

る影響の方が大きい。また、20個のアイテム中、視点高さの偏相関係数が最も高いことから、しゃれたという感性は視点高さの影響を最も強く受けていることがわかる。

さらに、数量化理論I類により算出された各イメージ形容詞毎のスコアを利用することにより、各アイテムのカテゴリーをどの程度変化させれば評価がよくなるか、または悪くなるかがわかるところから、景観設計業務に有効活用できると考えられる。

(4) カテゴリスコアによる順位とアンケート調査による順位の差

数量化理論I類により解析した結果、各カテゴリ毎にスコアが計算される。「しゃれた」という形容詞に対して、各橋梁ごとにサンプルスコア（理論値）を計算し、アンケート結果（実績値）と比較したのが表-8である。この表では、順位が高い順に18橋を上半分に、順位が低い順に18橋を下半分に載せている。この18橋という数字は、90橋を5ランクに分けた場合に各ランクに割り当てる数である($90 \div 5 = 18$)。さらに、同じNoの橋梁同士を矢印でつないでいる。この表より、実績値と理論値とは必ずしも一致はしないことがある。この理由として、工業製品のように重相関係

数が0.9以上あるケースならばほぼ一致することが予想されるが、図-6の数量化理論I類による解析結果における重相関係数が0.772と低いことに起因していると考えられる。桁橋の景観評価において、細分化した複数のデザイン要素をアンケート結果と数量化理論I類を用いて結び付ける場合、複雑に関連しあった多くの要因（デザイン要素）を限定することは既往の研究からも容易ではなく、景観評価を行う場合はこの程度の重相関係数でも十分と考えられる。例えば、既往の研究¹⁰ではカラフルというイメージならば要因はほぼ色に限定され、その場合の重相関係数は0.91であったと報告されている。ただし、上位18橋同士あるいは下位18橋同士というように区分（ランク）で区切った場合、順位は若干異なるものの23以上が同じ区分内に入っていることから、詳細な順位を必ずしも必要としない景観評価問題ではランク分けするということも一つの分類方法であると考えられる。

5. ニューラルネットワークによる景観評価

人間が経験的な知識に基づいて主観的な評価を行っている景観評価に関しては、人間の脳のメカニズムを模倣したニューラルネットワークによる概念が有効であると考えられている。ニューラルネットワークは、景観評価以外にも構造物の劣化評価や補修工法選定など幅広く応用されている。しかしながら、ニューラルネットワークは中身がブラックボックスであること、景観構成要素とその変化に伴う評価の違いを具体的な数値で表すことは困難であるといった問題点も指摘されている。ここでは、大学生を対象に行ったアンケート結果およびそのデータを用いた数量化理論I類による解析結果との比較を行うために、同じデータを用いてニューラルネットワークを用いた評価システムを構築した。

(1) システムの構造

入力項目としては、前述の数量化理論I類で用いた表-5のアイテム／カテゴリー表で示した20項目である。入力データについては、各アイテムに対応するカテゴリーを0,1,2,3…の順で番号付けした。入力データの一部を表-9に示す。したがって、各項目には0,1,2,3…の教師値（整数値）しか入らない。また、中間層は1層で、セル数を変化させた検討を行った。既往の研究によると、中間層のセル数は入力項目数の0.5～2.0倍程度といった指標しかなく、問題によって変化するものと考えられる。ここで検討した中間層セル数は、4,8,12,16,20,24,28,32である。非学習データとして検証用に評価対象橋梁の

表-9 ニューラルネットワーク入力データ

橋梁 No.	検査路																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
主桁形状	高橋	下部工	高欄	排水管	照明柱	添架物	視線距離	視点高さ	風景	クリアランス	背景(上層)	背景(下層)	並列橋	障害物の有無	背景	背景	背景	背景	背景	背景
平面形状	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面	面
色の形状	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩	色彩
状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況	状況
1	0	0	5	3	1	2	2	1	0	1	0	1	2	2	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	2	0	2	4	2	0	1	0	1	2	1	2	1	2	1	1	1
3	0	0	1	2	0	0	0	2	1	0	1	1	0	1	2	3	2	1	1	1
4	0	1	1	0	1	1	1	2	1	1	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0
5	1	0	1	2	0	2	1	2	1	0	1	0	1	2	2	2	1	2	1	1
6	0	0	0	2	2	2	1	2	1	0	0	1	0	1	2	2	0	1	1	0
7	0	0	1	0	0	1	3	1	1	1	1	1	1	2	0	2	0	0	1	1
8	0	0	1	0	0	2	4	0	1	1	1	0	1	2	2	2	3	1	0	1
9	0	0	5	2	0	1	4	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	2	1	1
10	0	0	4	2	0	1	4	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	0
11	1	1	2	2	1	0	4	0	1	1	1	1	2	0	2	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	2	4	1	0	0	1	0	1	2	1	2	0	1	0	1

総数90橋の20~25%である20橋を選択し、残りのデータを学習用に使用した。なお、教師値は「美しい」の1項目で、学生40名の5段階評価の平均値を使用して行った。ニューラルネットワークの階層構造は、図-8に示すとおりである。また、非学習データの検証結果を表-10に示す。

数値は、教師値とニューラルネットワークによる認識結果との差を表し、判定は、その差が±0.5以下で○、±0.5を越え±1.0以下で△、±1.0を越えるものが×とした。○の数が最も多いのが中間層セル数16の場合で、正解率は12/20=60%である。○+△の個数が最も多いのは、中間層セル数が8の場合で、正解数は17/20（正解率:85%）であった。また、平均誤差が最も少ないのは中間層セル数が8の場合で、0.5818となっている。

各橋梁についてみると、中間層セル数を変化させることによって判定結果が○～△、あるいは○～×と変化する場合もあれば、No.60,64,73のように、中間層セル数を変化させても結果が×のまま変わらないものもある。

このように、中間層のセル数を変化させると検証結果には差が出てくるが、セル数を多くしても結果が良くなるというわけでもない。むしろ、中間層セル数を多くすることによる学習時間の増大の方がデメリットになると考えられるため、結果にそれほど差がなければ、中間層のセル数はなるべく少なくする方がいいといふことがいえる。ここで、平均誤差に関しては、汎化能力にどのくらいの差があるかということであり、これは対象とする問題によっても変化するが、この問題のように0.1~0.2程度の差では本当に差があるとは言えない。ただし、どちらかを選択するとした場合、平均誤差が小さい方がいいという目安程度である。したがって、この問題の場合、平均誤差が最も小さくなり、

表-10 中間層セル数の比較

検査用 No.	中間層セル数									
	4 定	8 定	12 定	16 定	20 定	24 定	28 定	32 定		
10,22;○	0.1;○	0.42;○	0.54;○	0.59;○	0.79;○	0.84;○	0.65;○			
6,8,8;○	0.23;○	0.11;○	0.13;○	0.07;○	0.19;○	0.3;○	0.01;○	0.09;○		
16,22;○	0.13;○	0.44;○	0.25;○	0.19;○	0.3;○	0.49;○				
24,87;○	0.86;○	1.85;×	1.61;×	1.54;×	1.81;×	1.21;×	1.19;×			
30,37;○	0.56;○	0.04;○	0.45;○	0.37;○	0.07;○	0.2;○	0.3;○			
35,35;○	0.14;○	0.57;○	0.96;○	0.52;○	0.13;○	0.79;○	0.71;○			
37,55;○	0.29;○	0.08;○	0.03;○	0.12;○	0.18;○	0.21;○	0.22;○			
45,0,44;○	0.49;○	0.53;○	0.02;○	0.02;○	0.38;○	0.29;○	0.06;○			
46,0,53;○	0.46;○	0.09;○	0.24;○	0;○	0.74;○	0.69;○	0.61;○			
48,0,19;○	0.3;○	0.56;○	0.44;○	0.16;○	0.51;○	0.58;○	0.56;○			
52,0,17;○	0.5;○	0.34;○	0.07;○	0.12;○	0.11;○	0.38;○	0.07;○			
56,1,2;○	0.95;○	1.15;×	1.06;×	0.89;○	0.85;○	0.81;○	1.09;×			
60,1,48;○	1.43;×	1.71;×	1.64;×	1.64;×	1.46;×	1.38;×	1.55;×			
64,1,94;×	1.75;×	1.67;×	1.56;×	1.48;×	1.45;×	1.78;×	1.55;×			
67,0,44;○	0.37;○	0.59;○	0.07;○	0.06;○	0.31;○	0.34;○				
71,0,3;○	0.4;○	0.96;○	0.03;○	0.99;○	0.16;○	0.64;○	0.17;○			
73,1,34;×	1.29;×	1.26;×	1.34;×	1.1;×	1.44;×	1.31;×	1.33;×			
79,0,21;○	0.23;○	0.15;○	0.19;○	0.08;○	0.21;○	0.24;○	0.13;○			
83,0,96;○	0.62;○	0.05;○	0.96;○	1.01;○	0.3;○	1.01;○	0.94;○			
89,0,82;○	0.55;○	0.25;○	0.06;○	0.6;○	0.41;○	0.22;○	0.04;○			
○の個数	10	11	9	12	10	11	8	10		
△の個数	6	6	5	3	5	5	7	5		
平均誤差	0.6735	0.5818	0.6904	0.5837	0.587	0.6093	0.6741	0.608		

数値は、教師値と非学習データとの差
判定 ○:±0.5以下、△:±1.0以下、その他:×

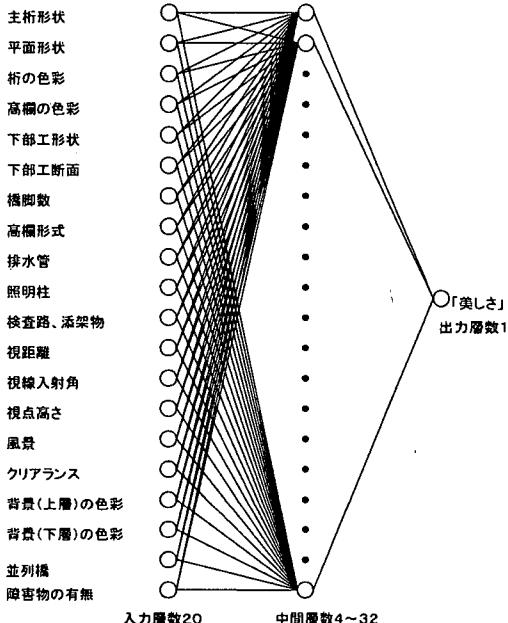


図-8 ニューラルネットワークの階層構造

○+△の個数が最も多くなる中間層セル数=8が最も適していると考えられる。

② 教師値の与え方

構築したニューラルネットワークシステムをどのように使用するのかによっても、教師値の与え方を考えなければならない。すなわち、ある入力値を与えるとただ単に評価結果が出力されるようなシステムでいいのか、あるいは、評価結果+分散まで必要であるのか、さらには-2,-1,0,+1,+2といった5段階評価の得票数の分布

型まで必要であるのかによって教師値の与え方が変わってくる。ここでは、以下の3ケースについて教師値の与え方を変えて検討を行った。

- ①評価点を数値として取り扱い、この平均値（実数）を用いる。
- ②評価のランク別得票数を各ランクに対応する5細胞の値で表示する。
- ③評価点を数値として取り扱い、この平均値（実数）と分散（実数）を用いる。

また、中間層セル数の検証と同様に、非学習データとして検証用に20橋を全てのランクがまんべんなく含まれるように選択し、残りのデータを学習用に使用した。

また、教師値は「美しい」の1項目で、学生40名の5段階評価の平均値を使用して行った。

教師値として評価点と分散の2つを与える③のケースでは、評価点の判定を ± 0.5 以下は○、 ± 1.0 以下は○、その他は×でかつ、分散も ± 0.5 以下は○、 ± 1.0 以下は○、その他は×として判定した。評価点と分散ともに○となる ± 0.5 以下は5/20（正解率25%）と少なく、 ± 1.0 以下の場合で、15/20（正解率75%）となった。評価点と分散ともに○に合わせるというのは難しいようであるが、○で良いとなると正解率は①のケースと同じになる。

一方、②の評価のランク別得票数を各ランクに対応する5細胞の値で表示する方法では、ピーク位置についてみると両者が一致する○は7/20（正解率35%）、1ランク異なる結果を与える○では15/20（正解率75%）となり、①のケースと正解率は同じとなる。分布型の検証までは行っていないが、ピーク位置がずれているケースも結構あり、分布の形まで合致させるのは困難であると思われる。

(3) 学習結果と誤差

中間層セル数の検証と同様に、20橋を検証用に、残りのデータを学習用に使用して、ニューラルネットワークの学習を行った。「美しい」の1項目を対象にした入力層20、中間層8、出力層1の3層構造である。図-9には、学習データの誤差の推移を、図-10には、検証データの誤差の推移を示す。学習データの誤差の推移に関しては、学習用データ70橋の平均誤差および最大誤差が学習回数の増加にしたがって、減少していくことがよくわかる。学習回数30,000回で学習データの平均誤差は0.014、最大誤差は0.116で、良く学習できていることがわかる。一方、検証用データに関しては、学習回数が増加していくにつれて平均誤差および最大誤差は増加していく。学習回数30,000回で未学習データの平均誤差は0.674、最大誤差は1.972と約2ランク離れたものになっており、学習回数20,000回以上ではほぼ同じ状態が続いている。

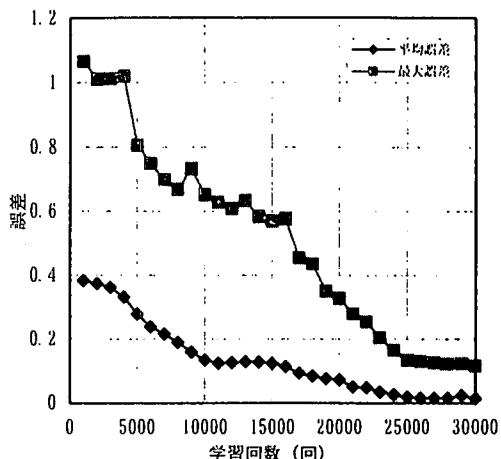


図-9 学習における学習データの誤差の推移

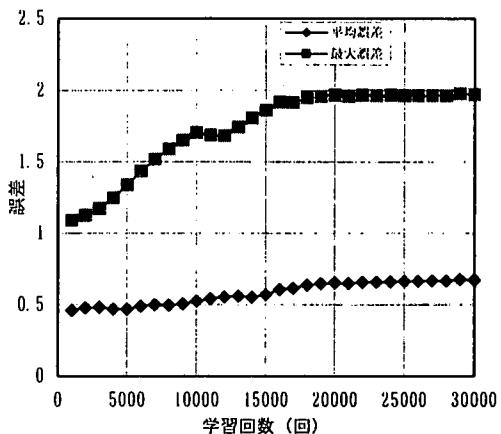


図-10 学習における検証用データの誤差の推移

ている。

学習をどこで打ち止めるかについては、問題の種類や内容、データ数などによっても変わってくる。学習用データに関しては、学習回数が5,000回で最大誤差が1.0以下となり、学習回数17,000回で最大誤差は0.5以下となる。一方、検証用データについては、平均誤差が0.5を越えるのは学習回数が7,000回以上の場合である。最大誤差に関しては、学習回数1,000回で1.09、学習回数が30,000回で1.97と学習回数が増えるにしたがって増加していく。学習回数が多くなりすぎると、学習時間がかかるばかりでなく、過学習ということになり未学習データに対する適用性は間違いなく低くなる。したがって、適正な学習回数を設定することはその問題によって異なると考えられるが、重要なことである。

学習データにおける最大誤差が1.0以下（学習回数5,000回以上）ということは、判定が全て○ということである。また、検証データの最大誤差は少ない方が望ましいが、1.0以下になることはないことを考えると、平均誤差で0.5以下となるような学習回数、すなわち、

6,000回程度がこの桁橋の景観評価という問題に対しては適正な学習回数であると考えられる。

(4) 複数個の形容詞の組み合わせ

例えば、景観設計を行う上でよく用いるのが、「コンセプト手法」という方法である。この方法は、最初にデザインコンセプトを設定し、そのコンセプトを実現するためのイメージ形容詞を1個から複数個設定して、具体的なデザイン要素に展開していくという手順とする。この場合、1個から複数個のイメージ形容詞を同時に取り扱わなければならないことになる。すなわち、複数個のイメージ形容詞を同時に出力できるようなシステムが必要となる。ここでは、「美しい」、「個性的な」、「調和のとれた」などの形容詞の組み合わせに対して学習させ、その結果（正解率）はどのようになるかを3個、5個、7個、9個の形容詞の組み合わせで行った。その結果を表-11に示す。

結果については、 $\odot + \circ$ (± 1.0 以下) の個数についてみると、7項目の組み合わせにおいて若干正解率が低くなっているが、その他では組み合わせ個数が多くなってもうまく認識できているようである。

(5) 感度分析

ニューラルネットワークにおいては、イメージ形容詞の重み、すなわち、感度を算出することが良く行われる。この感度が高ければ、そのイメージ形容詞は評価に対して大きな影響を与えており、重要な項目であるといわれている¹⁰⁾。

数量化理論I類による分析結果とニューラルネットワークによる分析結果とを比較するためには、両者と同じ条件にする必要がある。したがって、検証用データとして90橋全てのデータを学習用にしてニューラルネットワークで学習させた。その学習が終了したニューラルネットワークを用いて、20アイテムのうち、着目する項目以外の19項目をある特定の値に固定し、着目する評価項目をmax～minにかけて変化させた場合の出力項目の値を学習の終了したニューラルネットワークにより算出した。ここで、感度とは、着目する評価項目の出力値のレンジ（最大値－最小値）、すなわち、数量化理論I類による分析結果の偏相関係数と同じ意味として算出した。

ここで、着目する項目以外の固定する値をどのように選定するかで感度は変化すると予想される。ある特定の固定する値を、①最頻値、②評価点が最も高くなるように与える（該当する項目の評価点の平均値が最も高くなるカテゴリーを選定する）、③評価点が最も低くなるように与える（該当する項目の評価点の平均値が最も低くなるカテゴリーを選定する）、の3ケース

表-11 複数の形容詞の組み合わせにおける未学習データの正解数

形容詞	○の個数			○+○の個数				
	3項目	5項目	7項目	9項目	3項目	5項目	7項目	9項目
美しい	7/20	10/20	12/20	12/20	11/20	16/20	14/20	16/20
しゃれた	8/20	11/20	11/20	11/20	17/20	17/20	12/20	16/20
調和のとれた	14/20	14/20	14/20	17/20	20/20	20/20	20/20	20/20
快適な	—	13/20	13/20	13/20	—	20/20	19/20	20/20
印象的な	—	6/20	10/20	7/20	—	17/20	16/20	17/20
親しみやすい	—	—	15/20	13/20	—	—	19/20	19/20
上品な	—	—	12/20	12/20	—	—	17/20	18/20
個性的な	—	—	—	9/20	—	—	—	16/20
洗練された	—	—	—	14/20	—	—	—	19/20

として、出力値のレンジ（最大値－最小値）を検討した。

対象としたイメージ形容詞は、43項目の全ての形容詞について行った。表-12に「しゃれた」に対する各検討ケース毎の感度とその順位を示す。1～20までの各アイテムごとのカテゴリーを0～最大5までの数値で示し、その最大値－最小値を感度として算出した。そして、その感度の値に対する順位も表示している。この表-12を見ると、感度を算出する際の固定する値を変化させると、その結果は大きく変わってくることがわかる。例えば、検査路・添架物についてみると、最頻値を使用した場合の感度は20項目中最も高い（順位:1/20）のに対して、評価が最も低くなるカテゴリーを使用した場合は感度は最も小さくなる（順位:20/20）。一方、高欄形式についてみると、最頻値を使用した場合は、感度の順位は19/20と低いのに対し、評価が最も低くなるカテゴリーを使用した場合の感度の順位は1/20と最も上位に来る。このように、感度を算出する場合には固定する値をどのように選定するかによって結果は大きく異なってくる。

6. 数量化理論I類とニューラルネットワークとの比較

数量化理論I類による解析結果から導かれる偏相関係数やレンジ、スコアといった数値は、桁の色彩などのデザイン要素としゃれたなどのイメージ形容詞との関係を具体的に表現している。偏相関係数が高ければそのイメージ形容詞に対する影響が大きいということを意味するし、スコアは、その印象に対して与える数値を正負の値で具体的に示したもので、この数値が高いほどその形容詞は正のイメージがより高いことができる。一方、ニューラルネットワークによる感度解析結果から算出される感度は、対象とする評価項目以外の項目を固定し、その項目を最大値から最小値

表-12 「しゃれた」に対する感度

アイテム	①最頻値を使用 カテゴリ						②評価が最も高くなるカテゴリーを使用 カテゴリ						③評価が最も低くなるカテゴリーを使用 カテゴリ						①②③の平均感度					
	順位	Max-Min	0	1	2	3	4	5	順位	Max-Min	0	1	2	3	4	5	順位	Max-Min	0	1	2	3	4	5
王冠形状	11	0.33	0.71	1.05					11	0.35	-0.21	-0.6					6	0.75	0.33	1.08				
平面形状	18	0.06	0.99	1.05					16	0.24	-0.2	0.01					14	0.5	0.33	-0.2				
桁の色彩	16	0.09	1.02	1.03	1.04	1.05	1.03	0.96	1	0.83	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.8	-0.9	5	0.77	1.11	1.03	0.91	0.74	0.53	0.33
高欄の色彩	4	0.81	1.13	1.05	1.08	1.05	1.03	0.85	2	0.62	-0.8	-0.5	-0.2	-0.1			11	0.61	0.94	0.87	0.63	0.33		
下部工形状	5	0.55	0.63	0.85	1.05	1.18			8	0.41	-0.2	0.0	1.10	1.18			2	0.93	-0.6	-0.3	-0.0	0.33		
下部工断面	20	0.05	1.05	1.1	1.02				12	0.3	-0.5	-0.4	-0.2				3	0.9	-0.1	0.33	0.84			
橋脚数	12	0.23	1.15	1.05	0.93	0.94	1.02		5	0.49	0.2	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2		17	0.39	0.69	0.56	0.33	0.3	0.47	
高欄形式	19	0.06	1.11	1.08	1.05				17	0.22	-0.1	-0.2	-0.3				1	0.95	0.33	1.04	1.29			
排水管	13	0.22	1.27	1.05					7	0.46	0.23	0.2					16	0.47	0.33	-0.1				
照明柱	9	0.43	1.05	0.62					13	0.28	-0.2	0.05					15	0.49	0.83	0.33				
検査路、添架物	1	1.06	-0.1	0.05					6	0.48	-0.7	-0.2					20	0.07	0.33	0.26				
視距離	6	0.54	1.05	0.52					10	0.36	-0.2	-0.6					18	0.3	0.63	0.33				
視線入射角	10	0.43	0.63	1.05					19	0.17	-0.4	-0.2					7	0.71	0.33	-0.4				
視点高さ	3	0.83	1.05	0.66	0.22				4	0.57	0.33	0.11	-0.2				12	0.53	0.86	0.57	0.33			
風景	17	0.09	1.15	1.13	1.05				14	0.26	-0.4	-0.2	-0.2				9	0.67	0.33	0.74				
背景(上層)の色彩	15	0.14	0.91	0.94	0.99	1.05			15	0.25	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2			19	0.19	0.33	0.17	0.14	0.19		
背景(下層)の色彩	7	0.53	1.31	1.21	1.05	0.78			18	0.18	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2			8	0.71	0.15	0.33	0.61	0.86		
クリアランス	8	0.51	1.05	0.81	0.54				20	0.13	-0.2	-0.2	-0.3				4	0.81	0.76	0.33	-0			
並列橋	2	0.84	0.21	1.05					3	0.58	-0.8	-0.2					13	0.5	0.33	-0.2				
障害物の有無	14	0.2	1.05	0.85					9	0.36	0.13	-0.2					10	0.66	-0.3	0.33				

まで変化させた場合の出力値のことであり、数量化理論I類における偏相関係数に相当するものと考えられる。この感度が大きいと、その評価項目は影響が大きい、すなわち重要度が高いということが過去の研究で言わわれている。ただし、感度を算出する際の固定する値をどのように選択するかによって結果は大きく異なってくるため、前節で検討した3ケースの結果とその3ケースの感度の平均値、および数量化理論での偏相関係数を比較した。比較結果を表-13に示す。

①最頻値、②評価点が最も高くなるように与える（該当する項目の評価点の平均値が最も高くなるカテゴリーを選定する）、③評価点が最も低くなるように与える（該当する項目の評価点の平均値が最も低くなるカテゴリーを選定する）の場合は、数量化理論での順位と比べて大きく異なっていることがわかる。一方、①②③の平均感度での順位は数量化理論での順位と上位5アイテムに関していえば、背景(下層)の色彩以外は順位は異なるが同じとなっている。この平均感度の意味するところは、変化させる項目以外の固定する項目の値を、評価点平均値が最も高くなるケースと最も低くなるケースへと両極端に変化させた場合とその中の最頻値を用いるケースとの平均をとることで、全ての評価平均値のとるべきレンジを平均的にカバーできると考える。全体的には、数量化理論での偏相関係数とニューラルネットワークにおける感度とはその順位は一致しない。しかし、人間の感性とほぼ一致していると考えられる数量化理論による分析とほぼ同じ感

表-13 ニューラルネットワークにおける感度と数量化理論との比較

<しゃれた>	ニューラルネットワークでの感度 (Max-Min)						数量化理論での偏相関係数
	②評価点が最も高くなるカテゴリー順位	③評価点が最も低くなるカテゴリー順位	①②③の平均感度順位	順位	順位	順位	
1) 王冠形状	0.344:11	0.3498:11	0.7469:6	0.48	7	0.2:15	
2) 平面形状	0.064:18	0.2398:16	0.4992:14	0.268	19	0.19:17	
3) 桁の色彩	0.095:16	0.8307:1	0.7732:5	0.566	5	0.47:4	
4) 高欄の色彩	0.811:4	0.6189:2	0.6115:11	0.58	1	0.56:2	
5) 下部工形状	0.546:5	0.4122:8	0.9314:2	0.63	4	0.45:5	
6) 下部工断面	0.053:20	0.3042:12	0.8969:3	0.418	11	0.37:7	
7) 橋脚数	0.225:12	0.4943:5	0.3916:17	0.37	17	0.31:10	
8) 高欄形式	0.063:20	0.2169:17	0.9539:1	0.411	12	0.2:14	
9) 排水管	0.217:13	0.4621:7	0.4655:16	0.382	16	0.2:20	
10) 照明柱	0.434:9	0.2844:13	0.4943:15	0.404	14	0.22:13	
11) 檢査路、添架物	1.06:1	0.4821:6	0.0713:20	0.538	6	0.19:16	
12) 視距離	0.536:6	0.3602:10	0.2968:18	0.398	15	0.28:11	
13) 視線入射角	0.426:10	0.1738:19	0.7144:7	0.438	10	0.24:12	
14) 視点高さ	0.828:3	0.5666:4	0.5286:12	0.641	2	0.58:1	
15) 風景	0.094:17	0.2616:14	0.6709:9	0.342	18	0.39:6	
16) 背景(上層)の色彩	0.137:15	0.2522:15	0.1872:19	0.192	20	0.36:8	
17) の色彩	0.529:7	0.1769:18	0.7099:8	0.472	9	0.48:3	
18) クリアランス	0.507:8	0.1263:20	0.8052:4	0.479	8	0.32:9	
19) 並列橋	0.841:2	0.5754:3	0.5048:13	0.64	3	0.14:19	
20) 障害物の有無	0.203:14	0.3639:9	0.6648:10	0.41	13	0.15:18	

度の順位を算出するための方法として、固定するアイテムを最頻値に固定した場合と評価が最も高くなるカテゴリーに固定した場合と評価が最も低くなるカテゴリーに固定した場合の平均感度を採用することで、影響が大きいと思われるアイテムを限定することが可能となると考えられる。

7. 結論

本論では、桁橋を対象として、景観評価・設計に感性工学手法を適用することによって、設定したデザイン要素の妥当性とその評価との具体的な関係が明確になった。また、感性工学手法と同一のデータを用いて、数量化理論I類とニューラルネットワークとを比較し、より設計に具体的に反映できる評価項目の抽出やその数値化の適用性などを検証し、以下の知見を得た。

- 1) 桁橋に対して、利用者の評価を取り込んだ感性工学手法を用いることにより、景観構成要素の変化とその評価の違いが具体的な指標として示された。この結果を用いることにより、桁橋の景観設計を効率的に進めることができるとなる。
- 2) 数量化理論I類における解析で使用した複数個のデザイン要素（20アイテム／60カテゴリー）の選定の妥当性が検証できた。
- 3) 景観の評価に対しては、ニューラルネットワークが有効であり、適切なパラメータ（中間層や学習回数など）を設定することである程度の成果をあげることはできる。評価点の平均値だけでなく分散も考慮できるし、評価得票数の分布型も考慮できる。また、複数個の形容詞を同時に output でき、柔軟な対応が可能である。
- 4) ニューラルネットワークによって算出された感度（重み）は、変化させる項目以外の固定する値によって変化するため、感性工学手法のような具体的な景観構成要素とその変化に伴う評価の違いを具体的な数値で表現することは難しい。しかし、平均感度を用いることで、影響が大きいアイテムをある程度限定することは可能となる。
- 5) 感性工学手法とニューラルネットワークとの得失を表-14に示す。

表-14 各手法の得失

	感性工学手法	ニューラルネットワーク法
データベースの構築	異なる評価主体ごとに解析し、利用者のニーズに合わせて選択することが可能。	必要とする全てのケースについて解析し、データベースとして蓄積する必要があり、組み合わせはできない。
ロバスト性	中身は線形の回帰式で表現されるため、ルール化も可能。	中身がブラックボックス的ところはあるが、事例についても何らかの有意な答えを出力可能。非線形性の強い問題に対して有効と考えられる。
設計実務への反映	景観構成要素の変化とその評価の違いが具体的な数値として指標化されるため、設計実務では使いやすい。	感度を算出し、重要な景観構成要素がある程度は限定することはできるが、景観構成要素の変化とその評価の違いを具体的な数値として指標化することは困難。

ケート調査を行い、同様の分析を実施し、その結果をデータベースとして蓄積していくことで幅広い利用が可能になろう。また、その結果をシステム化することで、実際に実務で景観設計に用いることができ、設計作業の効率化に寄与することができると考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、関西大学工学部土木工学科・河津圭次郎には集計および分析作業の協力を得ました。末尾ながら記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)土木学会 中国支部 ちゅうごく土木未来委員会 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：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（中国地方における土木の今後のあり方に関する調査） 平成10年度 報告書, 1999.3.
- 2) 保田敬一、白木 渡、堂垣正博、河津圭次郎、安達 誠：桁橋の景観評価・設計への感性工学手法の適用に関する研究、構造工学論文集, Vol.45A, pp.543-551, 1999.3.
- 3) 白木 渡、野田英明、長町三生、松原雄平、安達 誠：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、構造工学論文集, Vol.45A, pp.553-560, 1999.3.
- 4) 長町三生：感性工学、海文堂, 1989.
- 5) 長町三生：感性工学のおはなし、日本規格協会, 1995.7.
- 6) 白木 渡、松保重之、高岡宣善：ニューラルネットワークによるアーチ橋の景観評価システム、構造工学論文集, Vol.37A, pp.687-697, 1991.3.
- 7) 古田 均、大谷裕生、中林正司、白石成人：ニューラルネットワークの橋梁景観設計への応用、構造工学論文集, Vol.37A, pp.669-675, 1991.3.
- 8) 白木 渡、松保重之：色彩を考慮したアーチ橋の景観設計へ

8. おわりに

住民の社会资本形成への参加が求められている現在、これまで重要視されていなかった利用者の感性を意識し、感性工学手法を用いて設計へ反映させていくことで地域住民と一緒に成了った、より人々に親しまれる土木構造物の建造が可能になるものと考える。また、商品と同様に利用者を限定することによりコンセプトが明確になれば、人々の多様になってきた価値観を満足させることができるようになると考えられる。

今後の課題としては、より充実した感性データベースの構築が不可欠であり、今回対象とした学生だけではなく橋梁設計技術者やデザイナーなどに対してもアン

- のニューラルネットワークの適用、構造工学論文集、
Vol.39A, pp.595-606, 1993.3.
- 9) 保田敬一、白木 渡、木村 晃：新しい情報処理手法による橋
梁景観設計へのアプローチ、構造工学論文集、Vol.43A,
pp.561-569, 1997.3.
- 10) 安田 登、近田康夫、松島 学、小堀為雄：緑化されたコンク
リート擁壁の景観評価の逆解析、土木学会論文集、No.514/
V-27, pp.55-64, 1995.5.
- II) (社)日本橋梁建設協会：橋梁年鑑、昭和62年～平成5年

(1999.10.6 受付)

A STUDY ON ASSESSMENT AND DESIGN OF AESTHETICS WITH GIRDER BRIDGE USING KANSEI ENGINEERING METHOD

Keiichi YASUDA, Wataru SHIRAKI, Makoto ADACHI, Yukihiro MIKUMO
and Masahiro DOGAKI

Recently, the significance of aesthetic assessment and design about bridges has been recognized. And then it is required to consider a public involving type social capital formation and the user's "Kansei (sensitivity)" in designing of bridges. In this paper, we take up the "Kansei Engineering" which achieves excellent results in the field of developing new products. We tried to form a relationship rationally, between the designing elements for Girder Bridges and "Kansei (sensitivity)", by doing questionnaires to students and analyzing their "Kansei (sensitivity)". In addition, we clear the utility of the "Kansei Engineering" method by comparing the the "Kansei Engineering" method with the "Neural Network" method which is used frequently as an effective way of Aesthetic Assessment of Girder Bridges.