

## 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

A study on assessment and design of aesthetics of landscape with girder bridge  
by Kansei Engineering approach

保田敬一\*, 白木 渡\*\*, 堂垣正博\*\*\*, 河津圭次郎\*\*\*\*, 安達 誠\*\*\*\*\*

Keiichi Yasuda, Wataru shiraki, Masahiro Dogaki, Keijiro Kawazu, Makoto Adachi

\*(株)ニュージェック、情報技術部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

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

\*\*\*工博、関西大学教授、工学部土木工学科 (〒564-0073 吹田市山手町 3-3-35)

\*\*\*\*関西大学、工学部土木工学科 (〒564-0073 吹田市山手町 3-3-35)

\*\*\*\*\*復建調査設計(株)、交通技術部 (〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11)

Girder type of bridges have not so much been concerned for assessment and design of aesthetics of landscape comparing with arched bridges or cable-stayed bridges, notwithstanding most of existing bridges are formed by them. One reason is in the difficulty to assess their aesthetics. They have not so remarkable aesthetic characteristics. In this study, an effective approach using Kansei engineering method is tried to apply to assessment and design of aesthetics of landscape with girder bridge. By some numerical examples, the effectiveness of this proposed approach is shown comparing with results obtained by early studies.

Keywords : Kansei engineering, aesthetic of landscape, girder bridges, aesthetic assessment and design

### 1. まえがき

橋梁は土木構造物の中でもダムと並んで一般の人に最も良く認識されており、昔からその形態や美に関しては関心が持たれてきた構造物である。社会資本である橋梁は、高度成長期においては経済性や機能性に重点がおかれ、景観性に関しては重要視されてはいなかった。1980年代になって生活の質が重要視されるようになり、ゆとりやうるおいのある社会資本の整備が望まれるようになって、これまでの経済性重視・機能主義から景観性という評価項目が新しく加わることとなった。このように橋梁の景観設計の重要性が社会的にも広く認識されるようになってきたが、実際に実務で橋梁の景観設計を行うには多くの問題点がある。橋そのものの形態や周辺環境との調和など多くの要因を考えなければならず、その労力や時間の割には定性的な評価しか行えないのが現状である。さらに、景観設計を進めていく上で、橋梁形式や色彩、構造各部の詳細などを決定していく際に何をどのようにすれば美しい橋梁になるのか、また美しい景観となるのか、人々の価値観が多様化してきている現在、万人を満足させることは非常に困難となっている。人々が橋梁構造物に対していただくイメージ、すなわち、「美しい」とか「周辺環境と調和している」といった感性的な表現

は、定性的なものであり、これをいかに定量的に取り扱えるかが景観設計に関しての課題である。

これまで、橋のユーザーである利用者を対象とした橋梁景観に関するアンケートは数多く行われてきた。そして最近ではその結果をニューラルネットワークやエキスパートシステムを用いて景観評価システムとして構築している研究が多く見られるようになってきた<sup>1)~5)</sup>。しかし、まだその研究結果が設計に十分に反映されているとは言いがたく、利用者の感性特性を十分把握した景観・設計システムになっていないと思われる。橋梁の景観設計を行っていく上で実際のユーザーの意見である利用者の感性を把握していくことは、土木の住民参加意識の向上とも相まって今後重要視されることは間違いない。著者らは、橋梁景観評価・設計における住民の感性評価の重要性をいち早く認識し、感性工学手法<sup>6)</sup>の橋梁景観評価の構築のための基礎的研究を実施してきた<sup>7)~9)</sup>。これらの研究では、主として一般の人々に人気の高いアーチ橋と斜張橋を対象とし、人々が橋梁に対して要求している「美しさ」、「親しみやすさ」などの感性を分析し、橋梁のデザイン要素と人々の感性との関係を数量化理論により合理的に結び付ける方法について検討し、その有効性を示した。

本研究では、感性工学手法の有効性を示すために、架橋数のほとんどを占め、現在ルーチンワーク的な設計となり、アーチ橋や斜張橋、吊橋等の立体橋と比較して、景観設計に対する配慮があまりなされていない桁橋を対象として、人々の感性に訴えるような景観設計の可能性について検討する。まず、これまでの研究<sup>7)~9)</sup>と同様、人々が桁橋に対して要求している「美しさ」、「親しみやすさ」などの感性を感性工学手法により分析し、桁橋のデザイン要素と人々の感性との関係を合理的に結び付け、アーチ橋の解析結果と比較する。そして、従来のニューラルネットワークやエキスパートシステムによる分析結果とも比較することで、感性工学手法による景観設計の有効性を検討する。

## 2. 感性工学手法による感性データベースの重要性

橋梁の計画から設計、施工、維持管理までのライフサイクルにおける景観設計の関わりを図-1に示す。橋梁の設計の中でも、橋梁形式を決定するための予備設計では、デザインコンセプトの作成から始めて景観を構成する要素を分析し、構造的、施工性、景観等種々の制約条件の中から最適形式を選定する。また、製作・施工図面を作成する詳細設計では、パースやフォトモンタージュ、CG等を用いて色彩の計画や最終デザインの検討を行い、構造各部の造形や細部構造を決定する。このように、景観設計は橋梁のライフサイクルにおいて密接に関わっている。

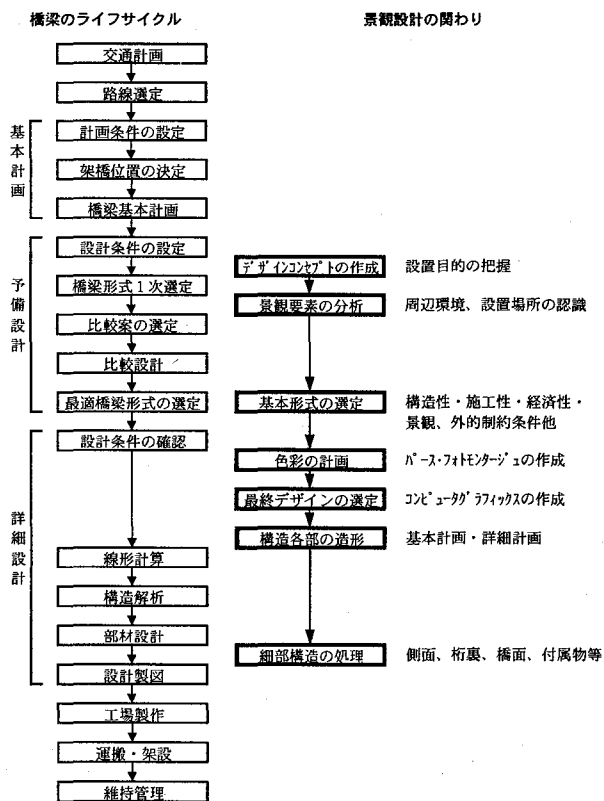


図-1 橋梁のライフサイクルの中の景観設計の関わり

既往の研究<sup>1)~5)</sup>では、橋梁の景観評価のような曖昧性を多く含む問題に対してはニューラルネットワークやエキスパートシステムなどを用いたものが多い。そこでは、被験者として実際に設計を行う橋梁技術者、学生、デザイナーなどを対象に、評価対象橋梁毎に数個のイメージ形容詞で5段階評価を行った結果を学習させることで、ある程度の成果をあげている。しかし、このシステムでは例えば「親しみやすさ」の評点をもっと上げるには、橋梁のどのデザイン要素をどのように変えればいいのか不明確であり、被験者の職種や年代、住んでいる地域等が変わればそのたび毎にシステムを構築しなければならない等の問題がある。

今、橋梁の景観設計に求められていることは、いかにユーザー（利用者）が快適に利用でき、不快感なくその橋梁を認識することができるかであろう。これまでは橋梁の設計は橋梁技術者やデザイナー、発注者が主に行っており、住民すなわち利用者の認識というのはあまり重要視されていなかったように思われる。そのために、出来上がったものが利用者に快く思われていないこともあり、さらに橋梁完成後の利用者アンケートというのほとんど行われていない。電化製品や自動車などの商品では、そういったアンケート調査による商品へのユーザーニーズの反映は必ず行われている<sup>6)</sup>。しかし、橋梁はこれまで安全性以外の部分に関しての配慮が足りず、実際に利用するユーザーのことをあまり考えてはいなかった。橋梁の設計というものは、本来デザインセンスのある技術者が十分な時間をかけて練り上げて完成させるべきものであるが、そういう技術者というのは数が少なく、そのような方法で大量の社会資本を建造していくだけの時間がとれないのが実状であろう。近年は景観マニュアル類も整備されてきてはいるが、人々の価値観の変化は多様化してきており、ユーザーを十分に認識した設計になっているとは言い難い。

これまでの橋梁の景観設計ではデザインコンセプトの設定に始まり、橋梁の景観要素を分析し、形式選定、構造各部の詳細や色彩などを決定していくプロセスが一般的となっている。このデザインコンセプトを橋梁景観構成要素にブレイクダウンして行くわけであるが、この方法についてもわかりにくく、ユーザーのニーズを十分に反映しているとは言い難い。

これまでの景観評価手法では取り扱えなかったユーザーニーズというものを取り上げ、さらに人々の価値観の多様性をも含んだ感性データベースを構築していくことが今後望まれている。

## 3. 感性工学手法による桁橋の橋梁景観の評価

### 3.1 アンケートの作成および実施

感性工学<sup>6)</sup>とは、人がもっている感性（イメージ）を物理的なデザイン要素に翻訳し、それを設計し実現する技術である。人それぞれが持っている感性と構造物の具

体的なデザイン要素とを結びつけるシステムを構築するためには、感性を表現する言葉が必要となってくる。例えば、感性を表現する例としては、「美しい⇔美しくない」、「モダンな⇔クラシックな」、「ソフトな⇔ハードな」などの形容詞で表されるイメージ形容詞対である。

アンケートを作成するにあたって、本研究では、SD 尺度（意味微分法）を用いた。SD 尺度というのは、1958 年に心理学者のオスグッドが証明した評価尺度のことで、表-1 に示す形容詞を、「個性的な⇔個性的でない」、「機能的な⇔機能的でない」等の対語を両極として、その間を 5 段階なり 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技法として、今日では心理学、社会学、政治学、言語学、マーケティング等の分野で大いに活用されている。この方法は、測定方法として十分な客観性、信頼性、妥当性を備え、かつ、多様な被験者や概念を持つ種々の領域においても適用可能であると言われている<sup>6)</sup>。

| 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           | 都会的な          | <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          | 日本的な          | <input type="checkbox"/> | 日本的でない      |
| 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(シンボリックな) | <input type="checkbox"/> | 象徴的でない      |
| 38          | 開放感のある        | <input type="checkbox"/> | 圧迫感のある      |
| 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          | 好ましい          | <input type="checkbox"/> | 好ましくない      |

図-2 アンケート用紙

評価対象となる橋梁の選択であるが、被験者に判断し易いものを選定する必要があることと写真が見やすくて、全体的な構図の統制がとれていることな

どから、橋梁雑誌として橋梁年鑑<sup>10)</sup>を選定した。その中から、橋梁色や下部工形式、周りの風景のバリエーション等がバランス良く含まれる写真を選定して、最終的に 90 枚にまとめた。そしてそれらの写真から、被験者にできるだけ見やすい大きさの評価用写真（A4 サイズ横）を作成した。

以上、これらの 90 枚の評価用写真を用いて 5 段階の SD 尺度でアンケート調査を行った。図-2 にアンケート調査票を示す。被験者は関西大学工学部土木工学科の学生 40 名である。アンケートは、写真数と評価項目が比較的多かったために、実験方法についても工夫している。講義室に配置した机の上に写真を並べ、被験者には自由に歩き回ってもらい自分のペースでアンケート調査が行えるように配慮した。

3. 2 SDプロフィール

感性工学による分析を行う前に、90 枚の写真のうち、No.64（図-3 参照）および No.1（図-4 参照）の 2 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）をそれぞれ図-5 および図-6 に示す。



図-3 SD プロフィールに該当する橋（No.64:静橋）

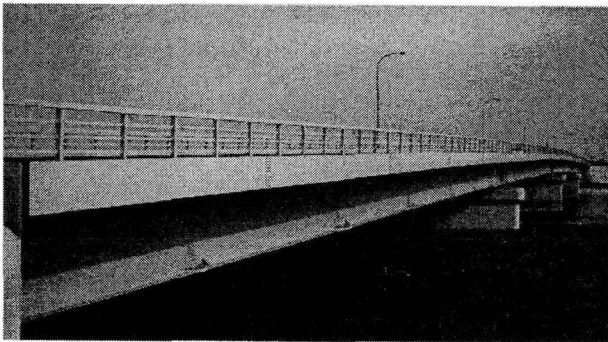


図-4 SD プロフィールに該当する橋（No.1:新浜厚真橋）

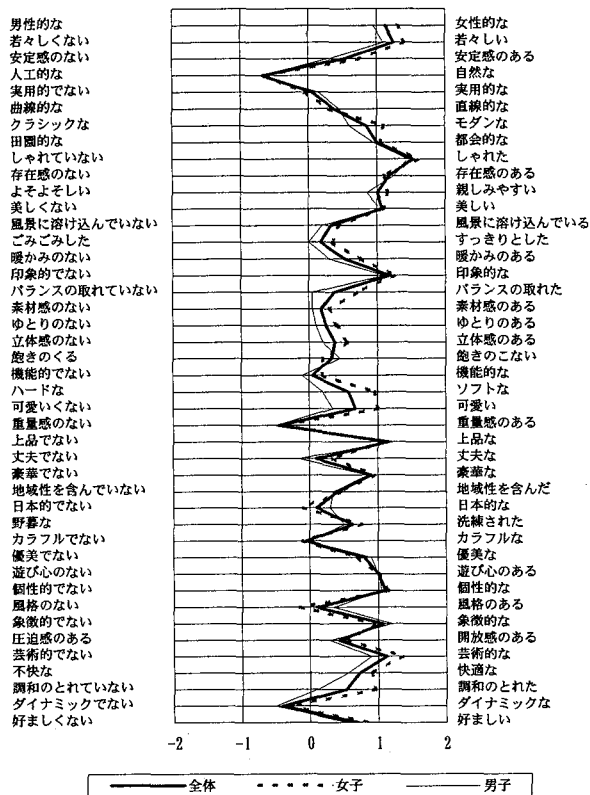


図-5 SDプロフィール(No.64)

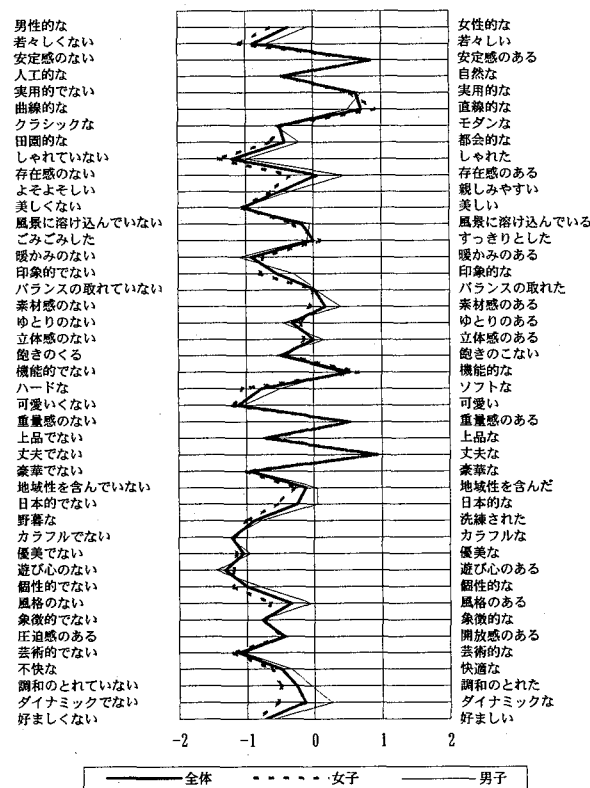


図-6 SDプロフィール(No.1)

図-5 および図-6 には被験者全体 (40 名)、男子学生 (20 名) および女子学生 (20 名) による 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ている。図-5 および図-6 を見ると、それぞれの桁橋が被験者全体、男子学生および女子学生によってどのように評価されているかが容易に把握できる。

図-5 からわかるように、図-3 の写真は「女性的な」から「好ましい」までの 43 評価項目における平均値の総和が 90 枚の写真の中で最も高かった橋梁の SD プロフィールである。自然な⇔人工的なという形容詞で負の値が高い。すなわち、人工的であるという負の値が高いこと以外は全体的には評価点は高い。

図-3 の橋梁の評価点が高いのは、橋面 (高欄、親柱、橋詰広場等) がかなり影響していると考えられる。「すっきりした」、「遊び心がある」、「都会的な」といった形容詞の評点が高いことから、橋面がこの橋にとっての重要な景観的要素となっていることがわかる。上路橋である桁橋を利用する人々がよく見るのは、実際には橋面が大部分であり、土木技術者やデザイナー等が考えている支間割りのバランスや桁の色などは橋梁専門家以外の人にとってはあまり影響がないということもいえる。このことは桁橋における橋面工の重要性を示唆しており、おろそかにはできないということであろう。

一方、図-6 は 43 評価項目における平均値の総和が最も低かった図-4 に示す橋梁の SD プロフィールである。この橋は、評点が負になる形容詞がかなり多く、「しゃれていない」、「美しい」、「可愛くない」、「カラフルでない」、「遊び心のない」などの形容詞で特に評点が低くなっている。桁の色と地覆・高欄の色とが同じ緑色ということが影響しているのであろう。こういうケースは結構見かけるものであるが、橋梁専門家以外の人にはあまりよく思っていないことがわかる。橋全体のバランスや線形等には問題はなく、高欄と地覆の色を白系統に変えるだけで評価点は向上すると考えられる。景観上注意を要すると考えられる事項であろう。

### 3.3 因子分析による景観評価

#### 3.3.1 意味空間の把握

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。ここでは、学生によるアンケート結果を因子分析し、イメージ形容詞で表現されている橋梁美の意味空間を把握する。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、そのデータを読みとりやすくする”ための“解析法”であり、感性工学手法では一般的に因子分析が用いられていることから、本研究の解析には因子分析を用いることとした。

本研究では、属性別の相違を把握する目的で、アンケートの被験者を表-1 のように分類し、それぞれの属性別に因子分析を行った。

表-1 分析の対象

|    | (a)全体 | (b)女子学生 | (c)男子学生 |
|----|-------|---------|---------|
| 人数 | 40    | 20      | 20      |

本アンケートの結果を因子分析して得られた因子負荷量を表-2に示す。表-2は因子毎に高い負荷量の順番に並べ替えたもので、アンケート被験者全体の40人を対象にしたものである。

表-2 因子分析結果(全体)

|           |            | 因子       |          |          |          |
|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|
|           |            | 第1番目     | 第2番目     | 第3番目     | 第4番目     |
| 美的感覚・アート性 | しゃれた       | 0.22280  | 0.04272  | -0.02092 | -0.02223 |
|           | 優美な        | 0.22234  | -0.00970 | 0.02429  | -0.04051 |
|           | 美しい        | 0.22175  | 0.00495  | 0.06187  | -0.08226 |
|           | 可愛い        | 0.21855  | -0.03318 | -0.04356 | 0.02917  |
|           | 芸術的な       | 0.21844  | 0.01666  | -0.07937 | 0.03674  |
|           | 洗練された      | 0.21322  | 0.01257  | 0.06576  | -0.10023 |
|           | 好ましい       | 0.21201  | -0.01528 | 0.13417  | -0.00942 |
|           | 上品な        | 0.20983  | -0.07564 | 0.08134  | -0.05576 |
|           | 遊び心のある     | 0.20050  | 0.04901  | -0.17723 | 0.08819  |
|           | 個性的な       | 0.19429  | 0.09653  | -0.16326 | 0.09318  |
|           | 快適な        | 0.19193  | -0.02854 | 0.17145  | -0.06388 |
|           | 象徴的な       | 0.19191  | 0.09370  | -0.14852 | 0.11921  |
|           | 豪華な        | 0.18917  | 0.13585  | -0.07534 | 0.08459  |
|           | 印象的な       | 0.18796  | 0.11948  | -0.15310 | 0.01990  |
|           | 親しみやすい     | 0.17976  | -0.11368 | 0.04176  | 0.16991  |
| 力動感       | 開放感のある     | 0.17785  | -0.12047 | 0.06565  | -0.12243 |
|           | 飽きのこない     | 0.17014  | -0.06462 | 0.16701  | -0.12983 |
|           | ダイナミックな    | 0.01326  | 0.30893  | 0.03569  | 0.01115  |
|           | 自然な        | 0.01451  | -0.27419 | 0.14562  | 0.11663  |
|           | 素材感のある     | 0.01387  | 0.27308  | 0.09064  | 0.09967  |
|           | 重量感のある     | -0.07856 | 0.27160  | 0.11896  | 0.20096  |
|           | 丈夫な        | -0.05257 | 0.25725  | 0.17426  | 0.22010  |
|           | 存在感のある     | 0.13654  | 0.24501  | -0.09263 | 0.03287  |
|           | 立体感のある     | 0.08640  | 0.23639  | -0.02990 | -0.07830 |
|           | 都会的な       | 0.12709  | 0.20859  | 0.06948  | -0.17713 |
| 地域調和性     | ソフトな       | 0.15942  | -0.18069 | -0.07061 | -0.02914 |
|           | バランスの取れた   | 0.08695  | -0.02946 | 0.35318  | 0.05429  |
|           | 実用的な       | -0.06580 | 0.11287  | 0.31450  | -0.04149 |
|           | 機能的な       | -0.02016 | 0.14526  | 0.27496  | -0.21516 |
|           | 調和のとれた     | 0.14841  | -0.10800 | 0.26568  | -0.00232 |
|           | 風景に溶け込んでいる | 0.06367  | -0.21088 | 0.23552  | 0.12890  |
|           | 女性的な       | 0.15540  | -0.10507 | -0.19012 | -0.05636 |
|           | 直線的な       | -0.08167 | -0.01360 | 0.18821  | 0.07170  |
|           | カラフルな      | 0.13953  | 0.03346  | -0.13976 | -0.03063 |
|           | 日本的な       | 0.05729  | -0.19893 | -0.01152 | 0.36053  |
| 自然重視      | 地域性を含んだ    | 0.09299  | -0.19220 | 0.02079  | 0.30751  |
|           | 安定感のある     | -0.00079 | 0.18243  | 0.23615  | -0.27737 |
|           | すっきりとした    | 0.07732  | -0.18633 | 0.23362  | -0.26463 |
|           | ゆかみのある     | 0.15692  | -0.08389 | -0.12218 | -0.25423 |
|           | 風格のある      | 0.12559  | 0.20707  | 0.09520  | 0.23359  |
|           | ゆとりのある     | 0.3025   | -0.01795 | 0.19200  | 0.24300  |
|           | モダンな       | 0.17399  | 0.14582  | 0.04468  | -0.20540 |
|           | 若々しい       | 0.19534  | 0.09221  | 0.02758  | -0.20538 |
| 固有値       |            | 18.45490 | 8.44522  | 5.21508  | 2.44502  |
| 寄与率(%)    |            | 42.9184  | 19.6400  | 12.1281  | 5.6861   |
| 累積寄与率(%)  |            | 42.9184  | 62.5584  | 74.6865  | 80.3726  |

因子分析の結果、全体では4つの因子が抽出された。表-2の下に因子分析から得られた寄与率と累積寄与率を示す。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強い影響を与える因子であるということになる。累積寄与率とは寄与率の和であり、一般的には80%以上あれば評価実験結果が信頼できるが、50%とか60%程度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、全体で80.4%となっており、信頼できる結果であるといえる。

次に、表-2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って判断する。

被験者全体を例にとり、命名を行ってみると、第Ⅰ軸には「上品な」、「美しい」、「しゃれた」といった形容詞があるため、「美的」な因子が含まれている。さらに、「個

性的な」、「遊び心のある」、「芸術的な」、「象徴的な」といった形容詞も含まれており、これは「アート性」の軸も含まれていると判断し、第Ⅰ軸は「美的感覚・アート性」と命名した。また、第Ⅱ軸については、「ダイナミックな」、「重量感のある」、「丈夫な」といった形容詞が含まれているため、「力動感」と命名した。また、「調和のとれた」、「バランスのとれた」、「風景に溶け込んでいる」といった形容詞がある第Ⅲ軸は、「地域調和性」と命名した。「モダンな」、「若々しい」、「日本的な」といった形容詞のある第Ⅳ軸は「自然重視」と命名した。

この他にも、女子学生と男子学生それぞれについての因子分析も実施した。女子学生では「美的感覚・アート性(第Ⅰ軸)」、「力動感(第Ⅱ軸)」、「調和性(第Ⅲ軸)」、「親和性(第Ⅳ軸)」、「地域性(第Ⅴ軸)」、「素材感(第Ⅵ軸)」という結果となった。また、男子学生では、「美的感覚・アート性(第Ⅰ軸)」、「力動感(第Ⅱ軸)」、「調和性(第Ⅲ軸)」、「自然重視(第Ⅳ軸)」、「安堵感(第Ⅴ軸)」、「親和性(第Ⅵ軸)」という結果となった。女子学生と男子学生とでは、第Ⅰ軸から第Ⅲ軸までは同じであるが、第Ⅳ軸からは女子学生が親和性→地域性→素材感の順となっているのに対し、男子学生が自然重視→安定感→親和性の順となっている。女子学生の場合、地域性あるいは素材感というものが重要視される傾向にあるのに対し、男子学生の場合、自然を重視した安堵感というものが表れているのが特長といえる。

また、アーチ橋の因子分析結果<sup>9)</sup>では、「総合美(美的調和性)(第Ⅰ軸)」、「個性美(アート性)(第Ⅱ軸)」、「力強さ(力動感)(第Ⅲ軸)」、「現代美(自然重視)(第Ⅳ軸)」、「色彩美(第Ⅴ軸)」となっている。アーチ橋の第Ⅰ軸は総合美であるが、これは美的感覚の他に地域調和性の要素も含んでいる。桁橋の第Ⅰ軸は美的感覚とアート性とが一つになっているのと比較して感性の違いがみられる。また、アーチ橋では第Ⅱ軸として個性美(アート性)が一つの軸を形成しており、アート性が第Ⅰ軸に吸収されている桁橋とは感性因子の違いがみられる。このように、アーチ橋では周りの風景と調和した個性的な橋がイメージされる結果となっている。桁橋の場合、調和の要素は第Ⅲ軸になっており、アーチ橋とは若干異なる。桁橋はアーチ橋とは異なり、力強く地域調和性のある橋をイメージされているようである。

### 3.3.2 因子得点の散布図における考察

ここでは、因子と写真とを対応させた結果について各々のサンプルがどのくらいの因子得点をもっているかを表したものである。この大きさは、各変量にその因子負荷量を相乗することで推定される。この因子得点を散布図でグラフ化したものが図-7である。このグラフの利点は、任意の2つの軸について、各橋梁がどのような評価を得ているかが一目で把握できることである。

図-7に示す被験者全体でⅠ軸、Ⅱ軸ともに比較的高得

点を得ている写真 No.85 の橋梁を図-8 に示す。また、Ⅰ軸は高得点であるがⅡ軸の点数は低い写真 No.12 の橋梁を図-9 に示す。両者を比較すると、「美的感覚・アート性」に関する第Ⅰ軸はほぼ同じ得点であるが、「力動感」における因子得点で正負が逆転している。ダイナミックさ、重量感、存在感、立体感等に差が出ているのは路面の縦断曲線や主桁の桁高変化などが影響しているためと考えられる。

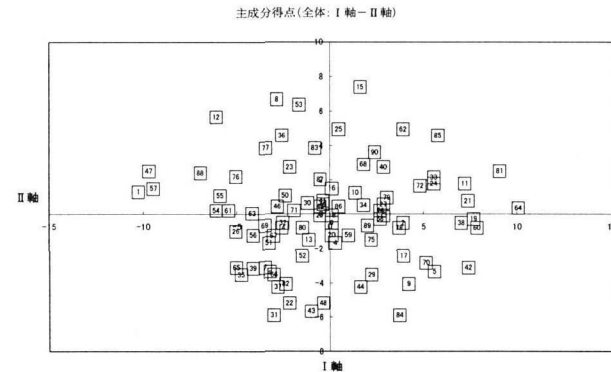


図-7 因子得点 (全体:Ⅰ軸-Ⅱ軸)

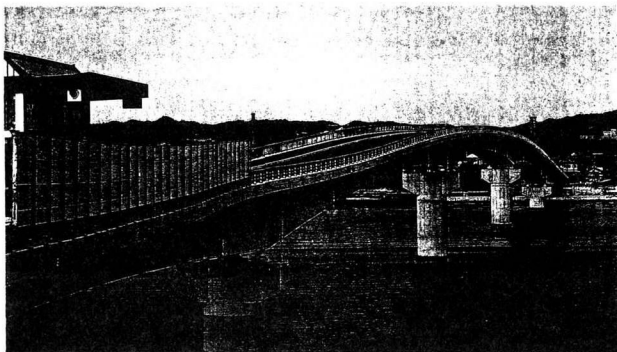


図-8 橋梁 No.85 (湊大橋)

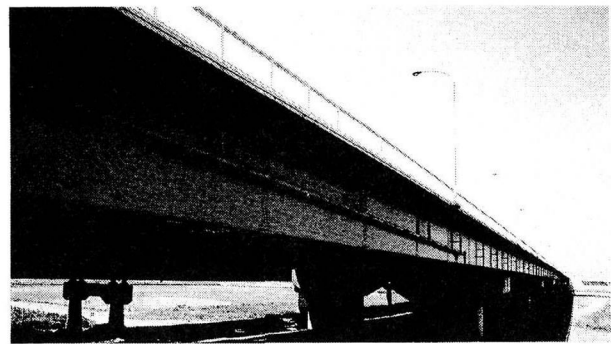


図-9 橋梁 No.12 (笹目橋)

3. 4 感性とデザイン要素との結合

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。ここでは、橋梁の風景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。

3. 4. 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、橋種や橋梁の色、背景、下部工形式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り、カテゴリーとは、下部工形式ならば張出し式や壁式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が表-3 である。この表は全体の一部であるが、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。また。アイテム／カテゴリーの一覧表を表-4 に示す。

表-3 アイテム／カテゴリー表 (一部)

| アイテム<br>No. | No. | 橋名      | 主桁形状 |     |     | 桁の色彩 |   |   |   | 高欄の色彩 |   |   |   | 下部工形状 |     |
|-------------|-----|---------|------|-----|-----|------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|-----|
|             |     |         | 等断面  | 変断面 | 直線桁 | 赤    | 青 | 茶 | 灰 | 緑     | 茶 | 白 | 緑 | 張出し式  | 逆台形 |
| 1           | 1   | S63 134 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 2           | 2   | S63 137 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 3           | 3   | S63 139 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 4           | 4   | S63 140 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 5           | 5   | S63 141 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 6           | 6   | S63 143 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 7           | 7   | S63 144 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 8           | 8   | S63 147 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 9           | 9   | S63 149 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 10          | 10  | S63 151 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 11          | 11  | S63 159 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 12          | 12  | S63 161 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 13          | 13  | S63 162 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 14          | 14  | S63 163 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 15          | 15  | S63 165 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 16          | 16  | S63 166 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 17          | 17  | S63 170 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 18          | 18  | S63 174 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 19          | 19  | S63 177 | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 20          | 20  | H1 51   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 21          | 21  | H1 54   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 22          | 22  | H1 55   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 23          | 23  | H1 57   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 24          | 24  | H1 59   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 25          | 25  | H1 67   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 26          | 26  | H1 69   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 27          | 27  | H1 73   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 28          | 28  | H1 75   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 29          | 29  | H1 76   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |
| 30          | 30  | H1 80   | ●    | ●   | ●   | ●    | ● | ● | ● | ●     | ● | ● | ● | ●     | ●   |

表-4 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 | 茶 |
| 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 橋脚数        | ●     | ●   | ●   | ●   | ● | ● | ● |
| 8 高欄形式       | ●     | ●   | ●   | ●   | ● | ● | ● |
| 9 配水管        | ●     | ●   | ●   | ●   | ● | ● | ● |
| 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    | ●     | ●   | ●   | ●   | ● | ● | ● |

3. 4. 2 数量化理論Ⅰ類による感性和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。

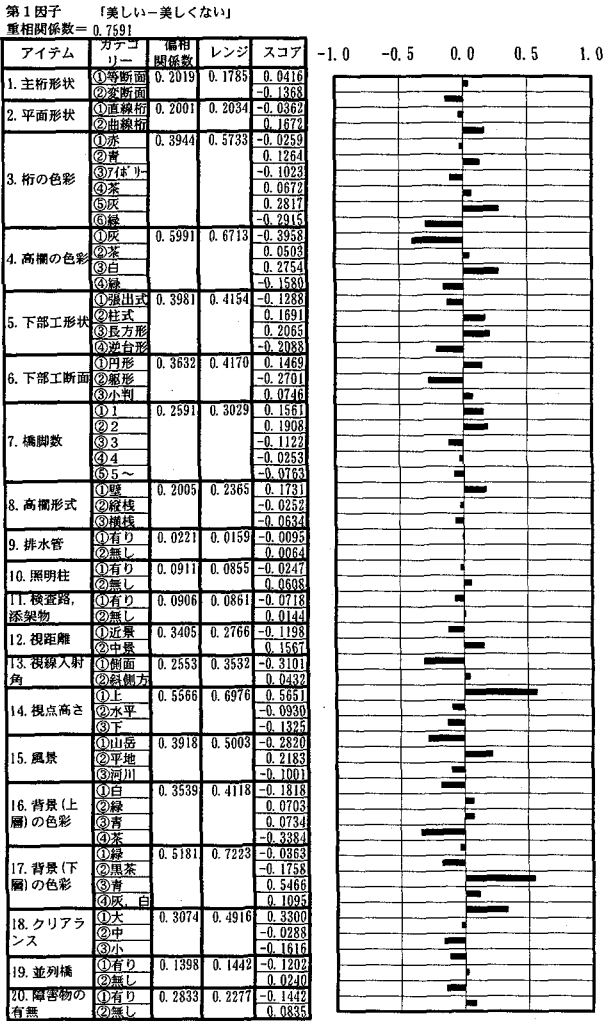


図-10 数量化理論Ⅰ類による解析結果 (全体:N=40)

まず、第Ⅰ軸にある「美しい-美しくない」に関する解析結果を示す図-10を例にして図の説明を行う。この図は、因子分析結果の第1因子である「美しい」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「美しい」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「美しい」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「美しい」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美しいといえ、マイナスの値であるものは美しく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。

第1因子である「美しい」について図-10をみると、偏相関係数とレンジの値は全体的に高い。中でも、桁と高欄の色彩、下部工形状、視点高さ、風景、背景(下層)の色彩の点数が高い。視点高さが上から見た場合に美しいと感じるのは、最近の橋は橋面に凝ったものが多い、何らかの景観上の配慮を施していることが多いであろうし、下から見た場合に美しくないと感じるのは、桁裏が煩雑な場合が多いためであろう。背景(下層)の色彩が青色の場合に美しいと感じるのは、水辺や海といったものに対しては美しいと考えている先入観があるためであろう。この解析結果ではこれまでの経験がほとんど裏打ちされた結果となっている。例えば、障害物がある場合はない場合に比べて美しいと感じ、下部工も張出し式よりも柱式や長方形の方が美しく、下部工断面でも矩形よりも円形や小判型の方が美しいと感じている。橋脚数も数が少なければ美しいと感じるが、多くなるとそうではなくなる傾向にある。検査路や添架物、排水管、照明柱といった従来景観美を損なうといわれていた項目については、有りの方が無しの場合よりも点数が低いことは納得できるが、レンジがそれほど高くない。これは、あまり影響がないことを示しているとも考えられる。ここでも桁の色彩と高欄の色彩とはレンジや偏相関係数が高く、影響が大きいことを示している。高欄の色彩が灰色(壁高欄)の場合に極端に点数が低いのは、桁の色彩や背景の色彩との組み合わせの影響であろう。

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、第1因子の「美的感覚・アート性」では、桁や高欄の色彩、背景の色彩の値が高いという結果になった。また、視点高さが上からの場合にスコアの値が高くなる傾向にある。第2因子の「力動感」では桁の色彩の値が高く、第3因子の「地域調和性」では視点高さの値が高かった。

これらの結果から総合的に判断すると、桁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ことである。すなわち、人は最初にモノを見るときには全体の色のバランスを見るのではないかとということである。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際に影響してくるのではないかと考えられる。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、逆に桁裏にあまり配慮がなされていないことを示している。

#### 4. 従来の景観評価手法と感性工学手法との比較

ここでは、従来の研究成果である Decision Tree による桁橋の分析結果<sup>4)</sup>と今回の感性工学手法による桁橋の

景観評価について比較を行った。被験者と評価年月日は異なるものの、お互いに都市部にある大学の工学部の学生ということでは共通している。

感性工学手法における数量化理論Ⅰ類による解析結果で、「美しい」という形容詞について偏相関係数の高い順にアイテムを並べたものが表-5 である。また、表-6 に Decision Tree による桁橋の分析結果を示す<sup>4)</sup>。

表-5 偏相関係数の順位(美しい)

|               |        |
|---------------|--------|
| 4. 高欄の色彩      | 0.5991 |
| 14. 視点高さ      | 0.5566 |
| 17. 背景(下層)の色彩 | 0.5181 |
| 5. 下部工形状      | 0.3981 |
| 3. 桁の色彩       | 0.3944 |
| 15. 風景        | 0.3918 |
| 6. 下部工断面      | 0.3632 |
| 16. 背景(上層)の色彩 | 0.3539 |
| 12. 視距離       | 0.3405 |
| 18. クリアランス    | 0.3074 |
| 20. 障害物の有無    | 0.2833 |
| 7. 橋脚数        | 0.2591 |
| 13. 視線入射角     | 0.2553 |
| 1. 主桁形状       | 0.2019 |
| 8. 高欄形式       | 0.2005 |
| 2. 平面形状       | 0.2001 |
| 19. 並列橋       | 0.1398 |
| 10. 照明柱       | 0.0911 |
| 11. 検査路、添架物   | 0.0906 |
| 9. 排水管        | 0.0221 |

表-6 Decision Treeによる桁橋の分析結果

| ツリーの階層順位        |                                                |                                                                                   |             | 摘 要                               |
|-----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| ツリー1 番目         | ツリー2 番目                                        | ツリー3 番目                                                                           |             |                                   |
| 印象的な<br>幅高比     | スパン桁高比<br>明度背景上<br>桁高変化比<br>色彩桁<br>橋脚形状<br>径間数 | 高 欄<br>径間数<br>スパン比<br>彩度高欄<br>色彩背景下<br>排水管<br>色彩高欄                                | 2           | ツリー数: 110<br>最大深度: 5<br>要 因 数: 11 |
| 個性的な<br>スパン橋脚高比 | スパン桁高比<br>明度背景上<br>色彩桁<br>視線入射角<br>連数          | 明度桁<br>幅高比<br>橋脚形状<br>彩度桁<br>色彩桁<br>上部形式<br>色彩地覆<br>径間数                           | 2           | ツリー数: 103<br>最大深度: 6<br>要 因 数: 13 |
| 洗練された<br>色彩桁    | スパン橋脚高比<br>明度地覆<br>彩度桁<br>スパン桁高比<br>色彩高欄       | スパン比<br>色彩高欄<br>高 欄<br>幅高比<br>明度背景下<br>橋脚形状<br>彩度地覆<br>径間数<br>断面形状<br>連 数<br>色彩地覆 | 2<br>2<br>3 | ツリー数: 130<br>最大深度: 5<br>要 因 数: 16 |
| 親しみやすい<br>桁高比   | 視線入射角<br>幅高比                                   | 径間数                                                                               |             | ツリー数: 22<br>最大深度: 3<br>要 因 数: 4   |
| 調和のとれた<br>色彩高欄  | 橋脚形状<br>明度高欄<br>スパン桁高比                         | 色彩背景下<br>径間数<br>照 明<br>スパン比<br>連 数                                                |             | ツリー数: 74<br>最大深度: 7<br>要 因 数: 9   |
| 美しい<br>色彩桁      | 橋脚高比<br>排水管<br>桁高変化                            | 彩度高欄<br>明度桁<br>視線入射角<br>視線高さ<br>断面形状                                              |             | ツリー数: 50<br>最大深度: 4<br>要 因 数: 9   |

アイテムは Decision Tree 法による場合と感性工学手

法による場合とで若干異なるものの、大幅に変わっているものは少ない。

表-5 と表-6 における“美しさ”に対する結果とを比較すると、Decision Tree 法で最上位にきている“桁の色彩”が感性工学手法では5 番目になっている。感性工学手法では最上位にきている“高欄の色彩”が Decision Tree 法ではツリーの3 番目までに入っていない。偏相関係数は各アイテムに対する影響の度合いを表すものでありその値が高いほど重要な要素といえる。一方、Decision Tree 法でのツリー階層順位は、上位のものほど判断の分岐に関する重要性が高い。

これらの結果から考察すると、橋梁本体の色彩というのは高欄も含めて、人間のイメージには最も重要な要素の一つであるということである。美しさだけに限らず他の形容詞についても色彩によりその評価が大きく影響されるということは、Decision Tree 法でも感性工学手法でも同じ傾向であるといえる。人間が頭の中で考えている思考は、橋梁および背景も含めた色彩やその組み合わせによって大きく影響をうけるものと考えられる。

各手法による景観評価の得失を表-7 に示す。

表-7 各手法の得失

|            | Decision Tree法 | Neural Network法 | 感性工学手法 |
|------------|----------------|-----------------|--------|
| 解析の容易さ     | ○              | ○               | △      |
| データの更新     | △              | △               | △      |
| データベースへの適用 | △              | ○               | ◎      |
| 実務での利用の容易さ | ◎              | △               | ◎      |
| 人間の思考との合致  | △              | ◎               | ◎      |
| ロバスト性      | △              | ◎               | ○      |
| 結果の分かり易さ   | ◎              | △               | ◎      |

Decision Tree 法は、中身がツリー構造で階層的に見えるため実際に実務で使いやすいが、事例にないデータについては判断できないことや分岐の数を最小にするという原理から人間の思考過程と本当に合致しているのかが不明といった欠点がある。また、データベースとしての利用にはあまり向かない。一方、Neural Network 法は中身がブラックボックス的なところもあるが、ロバスト性があり、事例にないデータについても何らかの有意な答えを出力することが可能である。この二つの評価方法は、お互いに長所・短所があるが、いずれも景観評価のような要因が複雑に関連し合っている問題においては、有効な方法と考えられる。しかし、景観構成要素のどこを変えれば評価がどのように変わるかについては、適切な答えを引き出すことが困難である。また、人々の多様化する価値観や利用者のニーズに添えていくためにはデータベースの必要性が不可欠であることを考えると、感性工学手法による景観評価は今後の新しい方向を示す手段として有効であろうと考えられる。

## 5. あとがき

本研究では、これまでアーチ橋や斜張橋などに比べてあまり重要視されていなかった桁橋の景観評価を行うために、今後景観評価に対して有望と考えられる感性工学手法を適用することを試みた。具体的には、桁橋を細部に分割してデザイン要素として抽出し、アイテム／カテゴリー表を作成して、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試みた。そして、人々が桁橋に対していただく感性が、「美的感覚・アート性」、「力動感」、「地域調和性」、「自然重視」の4因子に大きく分類されることが因子分析の結果により判明した。さらに数量化理論Ⅰ類を用いて解析した結果、桁橋の景観を構成するデザイン要素がイメージ形容詞に対してどのような影響を与えているかについても明確になった。このことは桁橋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て評価することで、その集合体である背景も含めた桁橋という構造物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、桁橋の景観を評価していく上で重要な手法であることを示している。また、アーチ橋と桁橋とを比較することで、橋種により感性因子の違いが明確に表されることを示した。さらに、Decision Tree 法による分析結果と比較することで、感性工学手法の有用性が認識された。

本研究により、人間が最初に感じる印象には“色”の要素がかなり大きく影響しているということが明らかになった。今回の因子分析結果における第1因子である「美的感覚・アート性」にも周りの景色の色にあった橋梁本体色の調和という“色”の要素が大きく影響している。今回の研究では被験者を学生と限定したが、土木技術者、特に橋梁技術者やデザイナーに対しても同様の検証を実施していき、さらに桁橋やアーチ橋以外の斜張橋などにも同じような感性工学手法による分析を行っていく予定である。また、因子分析結果による因子軸名とアイテム／カテゴリーとがどのように対応しているか、因子軸名とアイテム／カテゴリーとの影響度合いなどについても

検証を行っていく予定である。誰でも簡単に閲覧可能な感性データベースを構築し、システム化を行うことで、多くの人々の感性を橋梁の設計に生かし、多くの人々に満足してもらえるような橋梁を造ることが可能になると考えられる。

## 参考文献

- 1) 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,PP687-697,1991.3
- 2) 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,PP669-675,1991.3
- 3) 白木渡・松保重之：色彩を考慮したアーチ橋の景観設計へのニューラルネットワークの適用，構造工学論文集，Vol.39A,PP595-606,1993.3
- 4) 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,PP561-569,1997.3
- 5) 白木渡：中国地方の美しい橋作り，土木学会中国支部研究成果報告書，1994.4
- 6) 長町三生：感性工学，海文堂，1989
- 7) (社)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：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
- 8) 白木渡・伊藤則夫・保田敬一・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
- 9) 白木渡・佐々木健太郎・近藤浩明：アーチ橋の感性データベースの作成とその景観評価への応用，土木学会中国支部第50回研究発表会講演論文集，PP479-480,1998.3
- 10) 日本橋梁建設協会：橋梁年鑑，昭和62年～平成5年（1998年9月18日受付）