

都市高架橋に対する形態評価の定量化に関する基礎的研究

A Study on Quantitative Evaluation on the Aesthetic Design of Urban Viaducts

井口 進*, 馬場 智**, 村山隆之***, 日野伸一****, 太田俊昭*****

Susumu INOKUCHI, Satoshi BABA, Takashi MURAYAMA, Shin-ichi HINO
and Toshiaki OHTA

*工修	横浜河ブリッジ 技術本部研究所	(〒261 千葉市美浜区新港88)
**	九州大学大学院 工学研究科	(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)
***	福岡北九州高速道路公社 企画課	(〒812 福岡市東区東浜2-7-53)
****工博	九州大学助教授 工学部建設都市工学科	(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)
*****工博	九州大学教授 工学部建設都市工学科	(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

The construction of new viaducts has been expanded not only in the urban areas, but also through the residential ones. As the viaducts had become part of the daily life view, the harmony of the viaducts with the surrounding environments should be given a special care.

Many papers that discussed the aesthetic design of viaducts had been reported, but little of them discussed the factors of quantitative evaluation on the aesthetic design.

This paper describes quantification and formulation for the evaluation on viaducts aesthetic design. Also, it discusses essential parameters that affect upon the total aesthetic design of the viaducts by using computer graphics.

Key Words : Urban Viaducts, Aesthetic Design, Quantitative Evaluation, Computer Graphics

1. はじめに

東京、大阪、名古屋、福岡など国内の主要都市では、都市内に既に多くの高架橋が存在している。さらに、近年では都市圏の拡大にともなって、隣接する住宅地域にも高架橋の建設が進められている。

都市内に存在する高架橋は、都市の街路景観の構成要素において重要な役割を果たし、高架橋の存在が都市景観を大きく左右することが知られている。都市内における高架橋に対する景観検討については、多くの研究や報告がなされている。久保田らは首都高速高架橋の景観構成要素に対する景観評価の定量化を行ない¹⁾、中川らは都市内の高架橋の景観に対する印象評価実験を行なっている²⁾。また、既往の都市内高架橋の修景に関する報告事例等も多くなされている^{3) 4)}。さらに、新しい景観の提示方法として、コンピュータグラフィックス(以下、CGと略す)を用いて、より客観的・現実的に街路景観を表現する研究も行なわれている^{5) 6)}。

これらの研究は、主に都市内に建設される高架橋を対象としているが、住宅地に隣接するような高架橋については、別の景観要因が存在すると思われる。住宅地に建設される高架橋の景観は、住民の生活環境に密接していることを考えると、その重要性・特殊性から、周辺環境

との調和に関して、十分に配慮されたものでなくてはならない。そこで、最近では特に住宅地に隣接する高架橋を対象とした景観検討⁷⁾も次第になされるようになってきたが、そのほとんどが個別のプロジェクトに限定したものである。

本研究では、このような背景をもとに、特に住宅地に隣接する高架橋を対象として、CGを活用した一連のサンプルによるアンケート調査結果をもとに、主成分分析や数量化理論といった統計的手法を用いる⁸⁾ことにより、住宅地を周辺環境とする高架橋の形態に関する景観構成要素に対する定量的評価を試みた。すなわち、主成分分析の適用では、複雑な構造である景観評価項目を集約し、互いに無相関な新しい景観評価変量を抽出する。また、数量化理論Ⅰ類の適用により、景観構成要素がどのように景観評価に関係するかを定量的に表現する。次に、景観構成要素の定量結果を考慮して、住宅地環境における高架橋の形態に関する景観評価を逆に推測し、抽出したそれぞれの高架橋形態について考察する。

2. CGによるサンプルの作成

土木構造物の景観検討において、CGなどの表現手法を用いるケースが増えてきている。構造検討や、色彩検

討など様々な評価に対する表現手段として、表現精度の高いCGの使用は極めて有効である。⁹⁾

本研究においても、CGによるサンプルを用いて、高架橋の形態に関する景観評価アンケートを行なった。サンプルは、3次元CGソフト Alias Ver.7 (住商エレクトロニクス社製) を、ワークステーション INDY (シリコングラフィックス社製) において使用し作成した。作成したサンプルは、「住宅地」という周辺環境をより現実的に表現するため、低層住宅の実物写真を貼付したモデルを高架橋の背景に配置した。また、橋脚の鋼およびコンクリートは共に実物の素材を、さらに桁下の緑地や歩道といったテクスチャーもそのほとんどを実物の写真をそれぞれスキャナーで読み込んで画像データ化し、レンダリングの際にモデルに貼り付けた。また、陰影や光の反射など細かい設定を行うことにより、従来のパース図よりも、客観的で臨場感のある画像を作成することが可能となった。(図-1)

今回の評価対象は、「下部工の評価」、同一形式の上部工からなる「同種形式の上部工評価」、そして異なる構造形式の上部工が混在する「異種形式の上部工評価」からなる。

(1) 下部工評価

下部工の評価では、合計14種類のサンプルを作成した。サンプル設定の諸元については、表-1に示す通りである。

① 橋脚形式

今回は、基本的な橋脚形式としてT形、Y形、およびI形の3種類とした。

② 断面形状

橋脚断面形状として、矩形、円形、面取りの3種類を設定した。面取りは、隅角部に曲率半径90cmのRを付けたものである。面取りは、橋脚の柔らかさを感じさせたい場合に用い、面取り部分にハーフトーンの陰を作りだし、全体に立体感のある柔らかな印象を生み出すことが期待される。

③ 輪郭形状

輪郭形状とは、橋脚の輪郭部分のシルエット形状である。今回は、直線および曲線の2種類を設定した。曲線的な輪郭形状は、鉛直方向の力の伝達を表現すると考えられている¹⁰⁾。

(2) 同種形式の上部工評価

同種形式の上部工の評価については、8種類の形式の遠景近景で合計16種類のサンプルを作成した。サンプルの桁高および支間長は、表-2に示す通りである。

① 上部工形式

上部工形式は、基本的な形式として鋼製鈑桁、PC桁、中空床版桁および鋼製箱桁の4種類とした。支間長、桁高等については、標準的な数値を用いた。

② 断面形状 (断面形状効果)

断面に形状効果を与えたものもサンプルとして加えた。ここでは、断面形状効果として化粧板、変断面、車線分離、逆台形断面の4種類を設定した。化粧板は、桁裏に化粧板を貼り付け、横桁やブラケットによる煩雑感を低減させた。また変断面は、桁高を3.5~4.5mに変化させ、車線分離は、上下線を分離させたものである。逆台形断

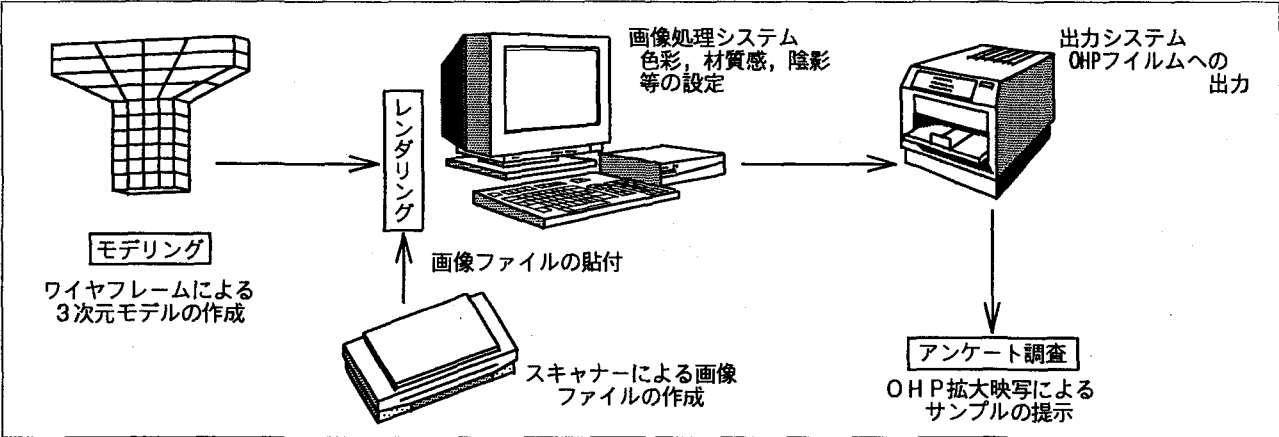


図-1 CGサンプル作成の概要

表-1 下部工評価サンプルの設定

橋脚高	11m
桁 高	2.0m
橋脚形式	T形、Y形、I形
断面形状	矩形、円形、面取り
輪郭形状	直線、 曲線

表-2 上部工評価サンプルの設定

上部工形式	桁 高	支間長
鋼製鈑桁	2.0m	40m
PC桁	2.0m	40m
中空床版桁	1.0m	25m
鋼製箱桁	3.0m	70m

表-3 下部工評価サンプルの一覧

サンプル名	橋脚形式	断面形式	輪郭形状	視 点
1	T形	矩形	直線	近景
2			曲線	
3		円形	直線	
4			曲線	
5		面取り	曲線	
6	Y形	矩形	直線	
7			曲線	
8		面取り	直線	
9	I形	矩形	直線	
10			曲線	
11		円形	直線	
12			曲線	
13		面取り	直線	
14			曲線	

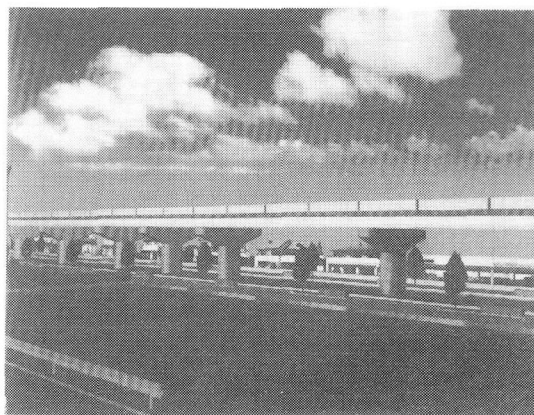


図-2 CGサンプルの一例（遠景）

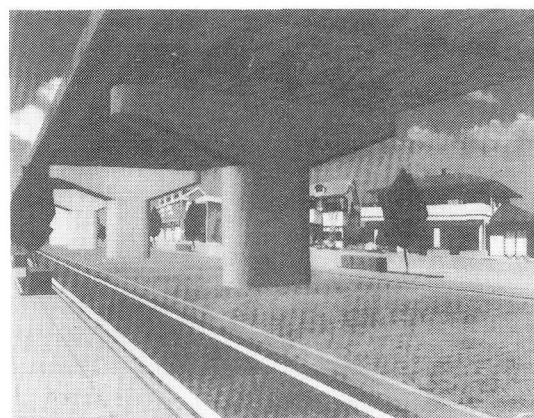


図-3 CGサンプルの一例（近景）

表-4 同種形式の上部工評価サンプルの一覧

サンプル名	上部工形式	支間長	断面形状	視 点
A 1	鋼製鈑桁	40m		近景
A 2	P C桁	40m		
A 3	中空床版	25m		
A 4	鋼製箱桁	70m	化粧板	
A 5			変断面	
A 6			車線分離	
A 7			逆台形断面	
A 8				
B 1	鋼製鈑桁	40m		遠景
B 2	P C桁	40m		
B 3	中空床版	25m		
B 4	鋼製箱桁	70m	化粧板	
B 5			変断面	
B 6			車線分離	
B 7			逆台形断面	
B 8				

表-5 異種形式の上部工評価サンプルの一覧

サンプ ^ル 名	上部工形式	支間長	材質	打ち	橋脚形式
C 1	鋼製鈑桁+鋼製箱桁	40+70m	同	無	T形
C 2		40m			
C 3		P C桁+鋼製鈑桁			
C 4	P C桁	40+20+30m	異	有	
C 5	中空床版+鋼製箱桁	25+40m			
C 6		25+40m			

面は、鉛直方向の引き締めを出すために断面を逆台形断面とした。

③色彩（材質）

本研究では、色彩をパラメータとはせずに材質により一定とした。コンクリートについては、スキャナーを用いて取り込んだ実画像をモデルに貼り付け、鋼については実物の鋼の素材に青色を着色した。

④視点

高架橋は、その視点が車線上・歩道上という接近した近景による評価の他に、連続性が重視される遠景からの

評価も必要である。そこで、ここでは近景と遠景という2つの視点を設定した。近景は桁裏の様子が、遠景は高架橋の背面に低層住宅が十分に認識できるよう配慮した。

(3)異種形式の上部工評価

異種形式の上部工評価のサンプル数は、遠景のみの6種類とした。ここでは、上部工形式、支間長、材質の不連続および桁高のすりつけの有無をサンプルとして設定した。なお、桁高等の設定は表-2に同じである。

アンケート調査で用いたCGサンプルは、下部工評価および上部工形態あわせて合計38種類である。それぞれのサンプルの一覧表を、表-3～表-5に示す。また、アンケートに用いたCGサンプルの例を図-2、図-3に示す。

3. アンケート調査と結果

(1)アンケート調査

アンケート調査は、橋梁工学の基礎知識を有する土木系学生約60名を対象に行なった。サンプルの提示法はOHPによる拡大映写であり、サンプルの提示順はランダムとした。あらかじめ橋梁工学の専門知識を有する大学院生15名に、橋梁景観を表現する多種多様な形容詞を挙げてもらい、それらを名詞化しグループ化した上で上位9つを抽出し、これに「周辺環境との調和」を加えた

表-6 景観評価項目

安定感, 見通し, 圧迫感, 煩雑感, 親近感, 美しさ, 近代性, ソフト感, インパクト, 周辺環境との調和
--

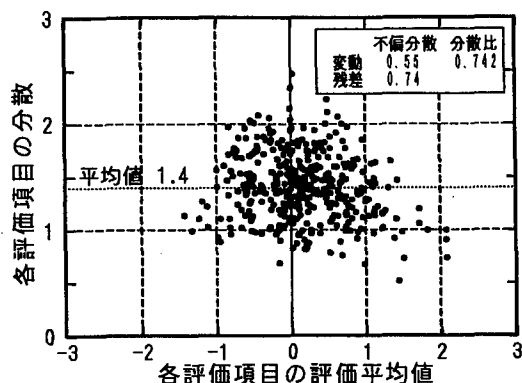


図-4 評価値と分散の関係

表-6に示す合計10項目を景観評価項目とした。これらの項目について、7段階系列カテゴリ法¹¹⁾によって評価してもらい、各カテゴリに得点を与えて定量化した。

(2) アンケート結果

アンケート結果は、評価値によって評価傾向にばらつきがある場合、その評価は総意とはならない。今回のアンケートでは、図-4に示すように、評価値ごとの評価の分散は平均値1.40付近に集中しており、評価値が2.0前後で分散がやや低くなるものの、全体として評価値による評価傾向に大きなばらつきは見られなかった。

下部工の形式別では、「圧迫感」の評価に関しては、矩形断面のY形はT形の評価値を上回っていた（Y形0.66, T形0.50）が、表-7より輪郭形状の曲線化やR面取り等によって、「圧迫感」は次第に軽減される傾向にある。また「ソフト感」は、R面取りをした橋脚の評価が高く、輪郭形状を曲線にするより、その効果は大きい。一方、表-8より「美しさ」に関しては、形式間であまり大きな差は見られない。また、「親近感」は、T形の値が比較的大きい。これは、T形形式が一般に多く見られる形式であるためと思われる。

上部工は、「圧迫感の低減」が目標とされる。表-9に示すように、近景における「圧迫感」の評価は、支間長の小さい中空床版が大きな値をとった。また、支間長の大きい鋼製箱桁は「圧迫感」が逆に小さい。一般に、桁高が小さいほど「圧迫感」は低減するとされるが、桁高に反比例する結果となったのは、近景の視点が桁高が確認されない場所であったこと、遠景の視点が桁高よりも下部工、つまり支間長の影響を受けやすいものであったことが理由として考えられる。また、「圧迫感」の値が中空床版より小さいPC桁の「煩雑感」が逆に大きくなっているが、これは桁裏の煩雑さが起因しているためである。

異種上部工の場合、同種上部工評価と比べて「周辺環

表-7 輪郭形状,R面取り別の「圧迫感」「ソフト感」の評価

輪郭形状	R面取り	「圧迫感」	「ソフト感」
直線	無	0.46	-0.84
曲線	無	-0.29	0.05
直線	有	-0.32	0.92
曲線	有	-0.56	1.31

表-8 橋脚形式別の「美しさ」「親近感」の評価

橋脚形式	「美しさ」	「親近感」
T形	0.28	0.23
Y形	0.15	-0.17
I形	0.19	-0.85

表-9 上部工形式別の「圧迫感」「煩雑感」の評価

上部工形式	桁高 (m)	支間長 (m)	「圧迫感」		「煩雑感」	
			近景	遠景	近景	遠景
鋼製箱桁	3.0	70	-0.55	-0.50	-0.97	-0.63
鋼製鉄桁	2.0	40	1.00	-0.53	-0.15	-0.71
PC桁	2.0	40	0.10	-0.19	0.27	-0.50
中空床版桁	1.0	25	2.08	0.02	0.16	-0.29

表-10 諸元の有無による「周辺環境との調和」評価

	「周辺環境との調和」評価平均値		
	色彩の統一	支間長の統一	すりつけ
有	-0.01	0.09	-0.71
無	-0.60	0.05	-0.48

表-11 第1主成分得点に対する評価項目の因子負荷量

景観評価項目	第1主成分因子負荷量	
	下部工評価	上部工評価
安定感	-0.415	-0.447
見通し	0.390	0.930
圧迫感	-0.505	-0.909
煩雑感	-0.225	-0.835
親近感	0.385	0.918
美しさ	0.493	0.929
近代性	0.545	0.812
ソフト感	0.837	0.884
インパクト	0.467	-0.220

境との調和」の評価は低い値（同種0.28, 異種-0.23）となっている。これは、上部工形式の不連続性に起因している。表-10より「色彩の統一」は、「周辺環境との調和」などの項目で上部工形式の不連続性を改善しているが、「支間長の統一」や「すりつけ有無」においては、大きな改善は見られなかった。つまり、遠景の評価では色彩の影響が大きく、やむを得ず異種上部工形式が混在する場合は、色彩を統一することにより不連続性を幾分緩和できると言える。

4. 主成分分析

(1) 主成分の抽出

景観評価の総合的な代表変量を抽出するために、アンケートで得られた結果に対して主成分分析を行なった。算出した因子負荷量をもとに、累積寄与率が下部工評価および上部工評価で、それぞれ84.4%、81.0%となる第2主成分までを抽出した。次に、表-11に示す因子負荷量の符号等を考慮して、それぞれ次のような意味づけを行なった。

① 下部工評価

第1主成分(Z1)「ソフトですっきりとしたもの」

第2主成分(Z2)「安定感を与えるもの」

② 上部工評価 (同種形式、異種形式)

第1主成分(Z1)「すっきりとしているもの」

第2主成分(Z2)「印象に残るもの」

(2) 主成分得点分布

次に、得られた第1主成分得点(Z1)と、第2主成分得点(Z2)に対する評価値とをプロットすることにより、各サンプルの分類を行なった。下部工評価を図-5に、同種形式の上部工評価を図-6に、そして異種形式の上部工評価を図-7にそれぞれ示す。以上の図より、次のことが明らかになった。

① 下部工評価

- ・ Aグループは全てI形であり、全体的にZ2指標の値は低い、その分散は小さい。
- ・ Bグループは、T形およびY形が占め、Z1指標、Z2指標ともに正であり、断面形式は円形、面取りがほとんどである。
- ・ 全体的に、矩形断面、円形断面、面取りとなるにつれてZ1指標の値が増加する傾向にある。

② 同種形式の上部工評価

- ・ Aグループは鋼製鈑桁やP C桁の近景が占めており、桁裏の煩雑感がZ2指標を増加させると考えられる。
- ・ Bグループは遠景評価が集中しており、遠景では形式間での評価に顕著な差は見られない。
- ・ Cグループは鋼製箱桁であり、Z1、Z2指標とも比較的大きな値である。

③ 異種形式の上部工評価

- ・ Dグループは異種形式混在であるが、色彩が同系色の組み合わせであり、このグループが同種上部工サンプルからなるBグループの近くに分布することから、色彩の統一が、上部工形式の不連続感を解消することを示している。
- ・ Eグループは支間長が不等間隔のものであり、他と比較するとZ1指標は低い値である。

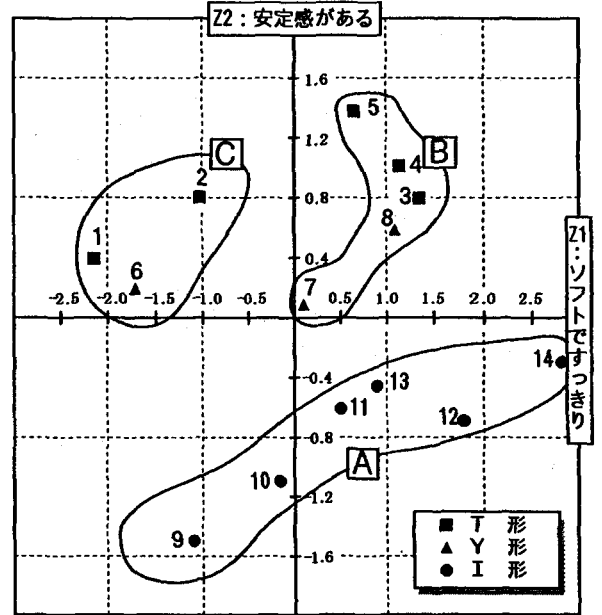


図-5 下部工評価の主成分得点分布図

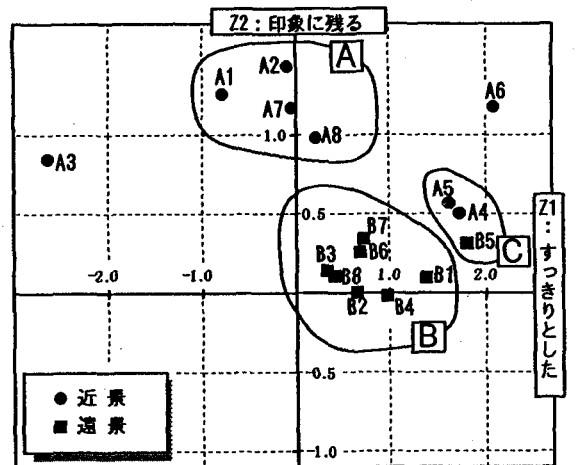


図-6 同種形式の上部工評価の主成分得点分布図

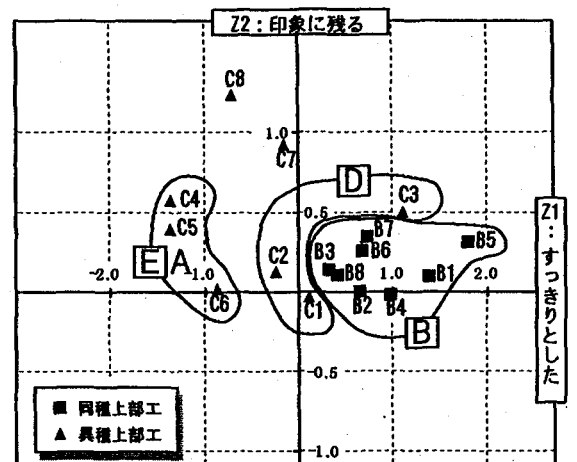


図-7 異種形式の上部工評価の主成分得点分布図

5. 数量化理論Ⅰ類による景観評価分析

(1) 数量化理論Ⅰ類の適用

次に、「周辺環境との調和」に対する評価値と第1主成分得点(Z1)を外的基準とする、数量化理論Ⅰ類の適用を行なった。これにより、景観構成要素をカテゴリに置き換え、評価の定量化を試みた。数量化理論Ⅰ類の適用に用いたアイテムは、サンプルの設定に同じである。なお、数量化理論Ⅰ類の適用は、下部工評価、同種上部工評価、異種上部工評価それぞれ個別に行なった。

(2) 数量化理論Ⅰ類適用結果の考察

図-8は、下部工評価の適用結果である。下部工形式については、形式間に顕著な差は見られない。一方断面形状では、矩形よりも円形、面取りのスコアが大きく、特に第1主成分得点への影響は大きい。また、下部工形式よりも断面形状の影響が大きい。輪郭形状では、直線よりも曲線のスコアが大きく、縦方向の力の伝達を表す曲線的な輪郭が効果的であることを示している。

図-9は、同種上部工評価の適用結果である。上部工形式については、中空床版を除く各形式間に大きな差は見られない。しかし、支間長が25mと小さい中空床版は、第1主成分に対するスコアが特に低い。一方断面形状では変断面の効果が大きい、逆台形断面の効果はほとんど見られない。また全体的に、「周辺環境との調和」への評価よりも第1主成分への影響の変動の方が大きい。

図-10は、異種上部工評価の適用結果である。これによると、上部工の不連続よりも下部工の不連続による影響が大きい。また材質では、コンクリートのスコアが高く、材質が混合するとスコアが大きく低下する。一方断面形状効果の有無は、異種上部工評価においてはほとんどその効果は見られない。

6. 推定値による最適形式の抽出

数量化理論の適用により、景観構成要素の影響の度合いや相関性が数的に表現できるが、これを利用して最適な評価が期待できる高架橋形態を抽出した。

図-11は、下部工サンプルおよび同種上部工サンプルの「周辺環境との調和」評価値と、それぞれの第1主成分得点を同一平面上にプロットしたものである。ここで、下部工評価のZ1指標は、面取りによる「ソフト感」が大きく影響しているため、上部工に面取りの効果を与えて、上部工と下部工の形態的な連続性を保つことにする。これによって、下部工評価とZ1指標「ソフトですっきり」と、上部工評価のZ1指標「すっきりとした」の両者を、「良好な景観」として新たに位置づけた。もし、「周辺環境との調和」とこのZ1指標「良好な景観」に対する重みが同じであれば、第1象限に位置するサンプルがバランスのとれた評価が期待できる形態ということになる。

これによると、下部工ではNO.14が最適となり、これはI形・曲線輪郭・面取りのものである。一方上部工で

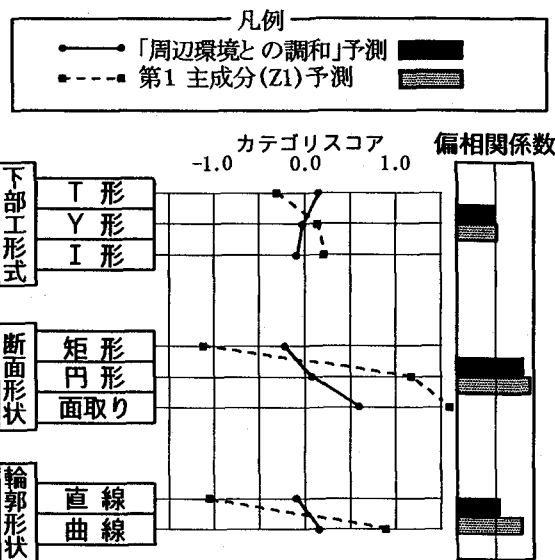


図-8 数量化理論Ⅰ類適用結果（下部工評価）

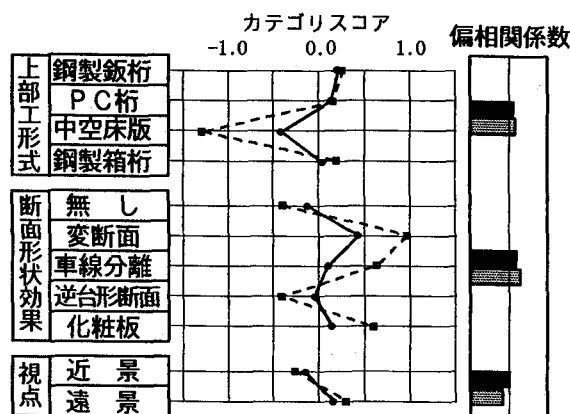


図-9 数量化理論Ⅰ類適用結果（同種上部工評価）

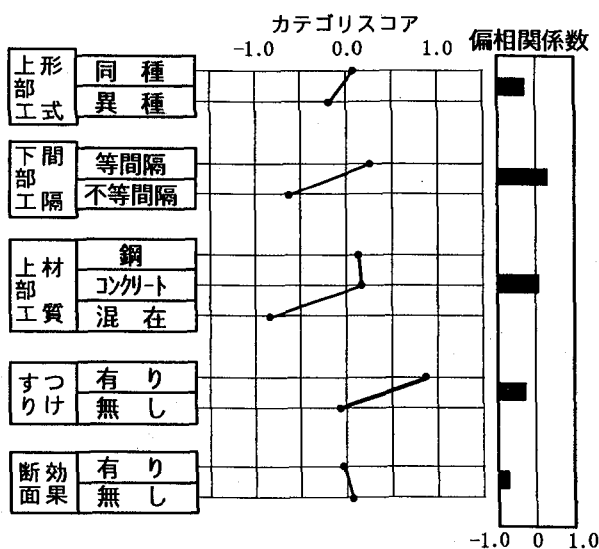


図-10 数量化理論Ⅰ類適用結果（異種上部工評価）

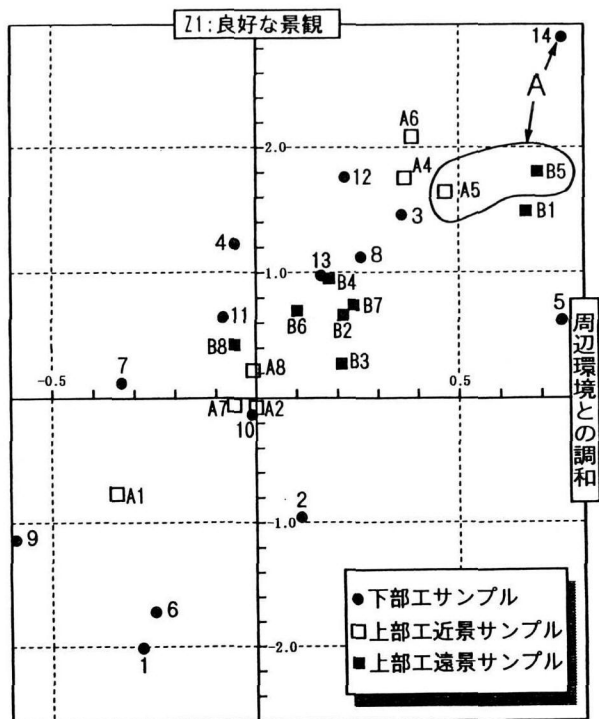


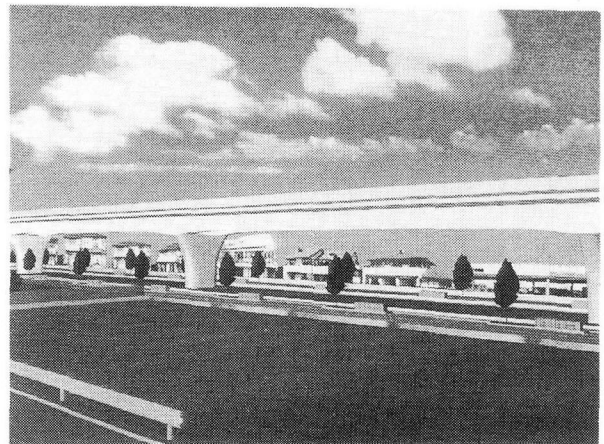
図-11 上部工・下部工評価の評価値-Z1得点分布図

表-12 推定値と順位法による結果との比較

推定評価	最上位	中 位	最下位
推定得点	5.242	0.028	-3.991
標準化値	100	43.6	0
アンケート値	2.7	1.9	1.37
標準化値	100	39.9	0

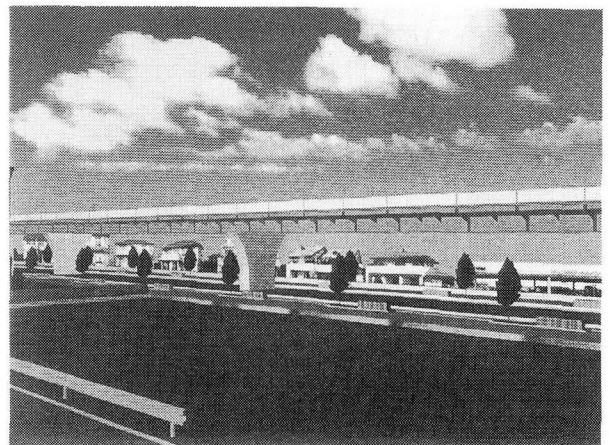
は、遠景（■）ではNo.B1やNo.B5が選ばれるが、近景（□）との差が小さい方を選ぶとすると、No.B5となる。これは、鋼製箱桁・変断面のものである（図中A印の組合せ）。これに、数量化理論Ⅰ類の適用結果でカテゴリースコアの大きかった、車線分離・コンクリートとの色彩統一を加え、下部工との連続性より側面部に面取りを施す。こうして最適評価が予想される形態を抽出する。抽出された組合せを図-12に示す。

同様に、図-13、図-14に示すように、中位、最下位の評価と思われる組み合わせも抽出した。次に、これら3種類のサンプルを用いて、橋梁工学の専門知識を有する大学院生15名に、順位法により評価してもらった。評価の高い順に3点、2点、1点と得点をつけてもらい、その平均値を算出した。この値と数量化理論による推定値とを比較したものが、表-12である。これによると、推定値と順位法による評価はほぼ一致しており、本研究による高架橋の形態に関する景観評価の定量化手法の妥当性を裏付けるものと思われる。



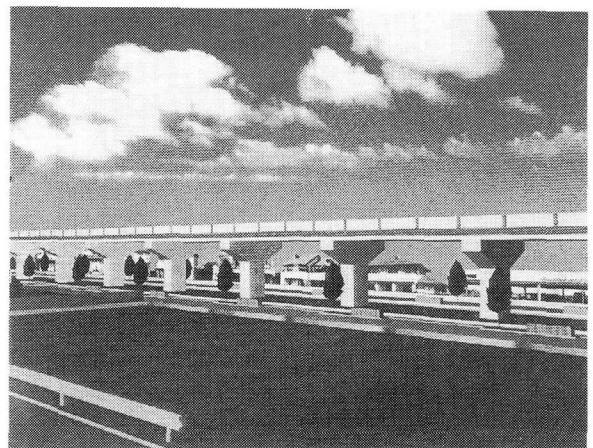
下部工：I形形式，面取り，曲線輪郭形状
上部工：鋼製箱桁，化粧板，車線分離，変断面

図-12 最適評価として抽出された組合せ（No.14, No.B5）



下部工：I形形式，矩形断面，曲線輪郭形状
上部工：鋼製板桁，

図-13 中位評価として抽出された組合せ（No.10, No.B1）



下部工：T形形式，矩形断面
下部工：中空床版桁

図-14 最下位評価として抽出された組合せ（No.1, No.B3）

7. まとめと課題

本研究では、数量化理論Ⅰ類の適用により、景観構成要素の定量的な評価を行なった。また、外的基準として、景観評価の代表変量としての主成分および最重要景観評価項目である「周辺環境との調和」の評価値を設定した。その結果、数量化理論Ⅰ類の適用では、各景観構成要素が外的基準に対する関係を定量的によく表現できるが、各要素の設定については主観的な部分が残る、改良の必要があることが明らかにされた。

住宅地に隣接する地域で高架橋等の構造物が建設される場合、実際に該当地域の住民がその構造物を評価する場合と、今回のように客観的な評価をする場合とは、必然的にその結果は異なる。しかし、本研究で行った高架橋の形態に関する景観評価の定量化により、汎用的レベルとしてその景観評価構造を明らかにできるものと思われる。したがって、アンケート結果をより一般化するために、被験者の階層やサンプルの形態などの設定をさらに幅広く一般化しなくてはならない。また、市街地も対象に加え、今回の住宅地に隣接する場合との比較を行なうことも今後の課題である。

参考文献

- 1)久保田 清数, 井野 勝彦, 並川 賢治:「首都高速における景観構成要素の定量化に関する検討」, 橋梁と基礎, 1995年7月
- 2)中川 茂, 楠岡 盛, 乾 睦子:「都市景観における高架橋の印象評価」, 土木計画学研究・講演集, NO. 14(1), 1991年1月
- 3)例えば, 山田 淳, 富永 博夫, 青山 高司:「都市内既設PC高架橋の修景」, 橋梁と基礎, 1990年5月
- 4)例えば, 山田 実, 半野 久光:「供用中の既設高架橋における景観設計」, 橋梁と基礎, 1989年3月
- 5)例えば, 皿井 聖, 中島 祥行, 古田 寛志, 松井 幹雄:「母袋高架橋の景観設計」, 構造工学論文集, Vol.42A, 1996年3月
- 6)窪田 陽一, 山崎 啓子, 小沢 和弘:「画像合成処理システムを用いた都市高架橋の色彩選定に関する実験的研究」, 構造工学論文集, Vol.37, 1991年3月
- 7)例えば, 山田 憲夫, 高野 仁:「高速道路の景観的整備手法」, 高速道路と自動車, 第36巻, 第2号, 1993年2月
- 8)馬場 智, 井口 進, 村山 隆之ほか:「都市高架橋下部工の景観に対する定量的評価」, 九州大学工学集報, 第69巻, 第3号
- 9)Aliasリサーチ社, 住商エレクトロニクス社(株):「Aliasリファレンスガイド」, 第1巻, 第2巻, (第3版), 1995年
- 10)阪神高速道路公団 (財)阪神高速道路管理技術センター:「景観を配慮した都市高速設計の手引」, 1983年3月
- 11)田中 良久, 中谷 和夫, 上村 保子ほか:「講座心理学 計量心理学 2」, (財)東京大学出版会
(1997年9月26日受付)