

桁橋の景観設計における感性評価とフラクタル次元の適用に関する研究

A study on application of fractal dimension and scenery evaluation of girder bridge
using Kansei engineering

保田敬一*, 白木 渡**, 角野大樹***, 堂垣正博****, 安達 誠*****

Keiichi YASUDA, Wataru SHIRAKI, Daiki KAKUNO, Masahiro DOGAKI and Makoto ADACHI

*博士(工学) (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, 工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 高松市林町新町 2217-20)

*** (株)竹中工務店, 大阪本店住友生命 OBP 新城見ビル作業所 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見 1-4-1)

****工博 関西大学教授, 工学部土木工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

*****復建調査設計(株), 総合計画部 (〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11)

We are interested in the fractal dimension as one of the quantitative indices to evaluate landscape. It has been shown that as the fractal dimension takes a particular value, a good landscape evaluation can be got. In this study, each fractal dimension is calculated from each photograph of bridges selected for the questionnaire to students and bridge engineers, and these results are compared with those of the questionnaire. And in the analysis of Kansei Engineering Method, we investigated how to adapt the fractal dimension as a design factor.

Key Words: fractal dimension, aesthetic of landscape, girder bridges, Kansei engineering

キーワード: フラクタル次元, 景観美, 桁橋, 感性工学

1. はじめに

社会資本である橋梁構造物は、高度成長期における経済性や機能性重視の考え方から、1980年代後半に入って周辺景観への配慮や環境との調和など、質を重視した整備が望まれるようになってきた。また、景観を配慮した設計法や景観マニュアルなどの指針も示されるようになってきており、景観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。したがって、橋梁に対して人々が抱いている「美しい」とか「周辺環境と調和している」といった定性的なイメージでの表現をいかに定量的に取り扱えるようにするかが景観設計に関する課題の一つである。さらに、近年、住民のユーザーニーズの多様化や、土木に対する住民の参加意識の向上などを受けて、人々が実際に橋に対して要求している感性を把握することが重要となってきている。このような状況をうけて、人々が橋梁構造物に対して望んでいる「しゃれた」や「親しみやすい」などの感性を分析し、橋のデザイン要素との関係を数量化理論によって具体的に数値で結び付けるといった感性工学手法による橋梁景観の評価が近年増加してきている^{1)~3)}。しかしながら、感性工学手法を用いるためには、感性データベースの構築が必要不可欠であるが、これには多くの人々に対して多数の写真を対象に、数十個のイメージ形容詞についてアンケートに答えなければならず、アンケート調査に膨大な時間と労力が必要といった問題点が指摘されている。

フラクタル次元は自己相似な景観を定量化したものであり、それがある値を示すとき、比較的良い景観評価が得られることがこれまでの研究^{4)~6)}で明らかになっている。これらの研究では、橋梁の景観設計における定量的評価規準を算出することを目的にして、周辺景観や視点場を固定した条件で各種の橋梁における周辺景観を含むフラクタル次元解析から、フラクタル次元とアンケート調査結果との比較検討が行われている。ただし、これらの研究では、アンケート調査が「美しい」、「複雑な」、「心地よい」など、限定されたイメージに対してしか行っていない。また、橋梁の景観評価において重要な要素である視点場に関しても、既往の研究では視点場を固定しているため、フラクタル次元と視点場との関係は把握できていない。そこで、フラクタル次元と感性工学手法で実施したアンケート調査結果との関連を分析し、そして、感性工学手法における橋のデザイン要素としてフラクタル次元を適用できる可能性を示唆できれば、更なる定量的評価が可能になると考えられる。さらに、今後この結果から、対象とする評価写真の分類が可能となり、感性データベースを構築していく上で問題となるアンケート調査にかかる多大な労力を少なくでき、アンケートの際の写真数を少なくすることができると考えられる。

本研究では、フラクタル次元解析を行った結果から、感性工学手法による分析においてフラクタル次元というアイテムをどのようにデザイン要素として適用させるかの

考察を行う。そして、前述の桁橋の感性工学手法による適用結果から、43 項目のイメージ形容詞による 5 段階のアンケート調査結果を用いて、フラクタル次元解析を行った結果との比較をその相関性より検証し、視点場ごとにフラクタル次元とアンケート調査結果との比較を行う。

2. アンケートの作成および実施

アンケートの作成にあたっては、SD 尺度 (意味微分法: Semantic Differential) を用いた。SD 尺度は、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、「女性的な⇔男性的な」など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多くの分野で活用されている。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、多様な被験者や種々の概念を持つ領域にも適用が可能であるといわれている⁷⁾。

評価対象となる橋梁は、被験者に判断しやすいように写真が見やすく撮れていることや、全体的な構図の構成がとれていることなどより、橋梁年鑑⁸⁾から選定した。橋梁年鑑は視点場が統一されていないなどの問題点はあるが、近景や遠景、視線入射方向などを分類する項目に加えることでそれぞれの分類ごとの分析や評価が行えることから、本研究では橋梁年鑑の写真を使用した。そして、その中から橋梁の色彩や規模、周辺の風景のバリエーションなどがバランス良く含まれる写真を選定して、最終的に 90 枚にとりまとめ、見やすい大きさの評価用写真 (A4 サイズ横) を作成した。次に、これらの 90 枚の評価用写真を用いて 5 段階の SD 尺度で、43 項目のイメージ形容詞に関するアンケート調査を行った。被験者は関西大学工学部土木工学科の学生、女子 20 名、男子 20 名および橋梁設計技術者 14 名の計 54 名である。

被験者の選定に関しては、実際の利用者は年齢、性別、職種、居住区など様々に分類でき、全ての利用者を想定してアンケート調査を実施するのが妥当であるが、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、橋を計画・設計する側と橋を利用する側とに大きく分類し、それぞれ、橋梁設計技術者と大学生を被験者に選定した。

さらに、本研究では視点場や構図が異なった写真を用いて評価を行っているが、この理由としては構図や視点場の差による評価への影響を把握するためである。その影響の程度は、感性工学手法による分析の中で、数量化理論 I 類による感性とデザイン要素との結合において、偏相関係数という形で定量的に把握できる。

3. フラクタル次元の計算

3.1 フラクタル次元とは

フラクタルとは、1975 年にマンデルブロによって提案された幾何学的な概念である。自然の海岸線や樹木の形、

川や雲の形などをシミュレートするために提案された一つの数学的理想化である⁹⁾。海岸線のようにランダムなパターンにも、どんなに小さな部分にも全体と相似な構造となっているという自己相似性、すなわち、単純な拡大と縮小に関する規則性が存在する場合があることが知られている。フラクタル次元は、無限ステップまで考えたコッホ曲線やシルピンスキーのギャスケットと呼ばれる、部分と全体とが相似になるような幾何形態のみ厳密に定義されており、そのまま理論を用いるだけでは実在の形態を取り扱うことはほぼ不可能である。よって、実際には自己相似性の概念をゆるめて、新たにフラクタル次元を定義し、近似的に求める方法が用いられている。このような近似的な次元は比較的容易に算出することができるため、形態評価の指標として従来の研究でよく用いられている。

フラクタル次元は、一般に形態の「複雑さ」を表す指標とされる。実際に、フラクタル次元の上昇とともに、対象とする形態は単純な形態から入り組んだ複雑な構造を示すようになる。このように、フラクタル次元もまた、形態の情報理論的なパラメータに相当する指標であることを示していると考えられる。

前述の近似的なフラクタル次元の定義は数多く存在するが、2 次元の形態解析の場合には、容量次元と呼ばれる定義が使われる。ランダムなパターンを有する図形におけるフラクタル次元の求め方には種々の方法が知られている。本研究では、過去の研究においても比較的よく用いられているボックスカウンティング (box counting) 法⁹⁾を用いた。この方法は、対象とする画像を正平方格子で分割し、画像平面上にある形態と重なる格子数から次元を求める方法である。ここで、形態とは、輪郭のことである。具体的には、輪郭を含んだ画像平面を 1 辺の長さが r の格子に分割し、少なくとも 1 つの点、もしくは線が存在する格子の個数を $N(r)$ とし、式(1)からフラクタル次元 D を求めるものである。

$$D = - \frac{\log N(r)}{\log r} \quad (1)$$

すなわち、X 軸に $\log r$ を、Y 軸に $\log N(r)$ をとり、分割する格子の 1 辺の長さ r を変えた場合の $N(r)$ の変化の様子を両対数グラフに展開し、その分布を直線回帰させた時の傾きをフラクタル次元とするものである。

3.2 桁橋の写真におけるフラクタル次元の計算

本研究では、アンケート調査に使用した桁橋の写真に対して、1 辺の長さ r を 30mm, 15mm, 10mm, 5mm の格子で分割し、輪郭が載っている格子の数: $N(r)$ をそれぞれ求め、写真ごとのフラクタル次元を算出した。図-1 は橋梁 No.57 の写真を 10mm の格子で分割した例で、図-2 は同橋梁の形態 (輪郭) であり、それぞれ各写真から手作業でこの輪郭線を描いた。

橋梁No.57におけるフラクタル次元の計算例を表-1に示す。同表のlog rをX軸に、log NrをY軸にプロットしたものが図-3である。この例の場合、橋梁No.57のフラクタル次元は直線の傾きの絶対値のr=1.36166となる。

本研究では、評価用写真で明らかに輪郭線と認められる線を輪郭線として、全体および橋だけのフラクタル次元を算出した。全体というのは橋梁本体と背景などを含んだ画像上での全ての輪郭であり、橋だけというのは橋梁本体のみを対象としている。そして、全体のフラクタル次元から橋だけのフラクタル次元を差し引いたものが差である。

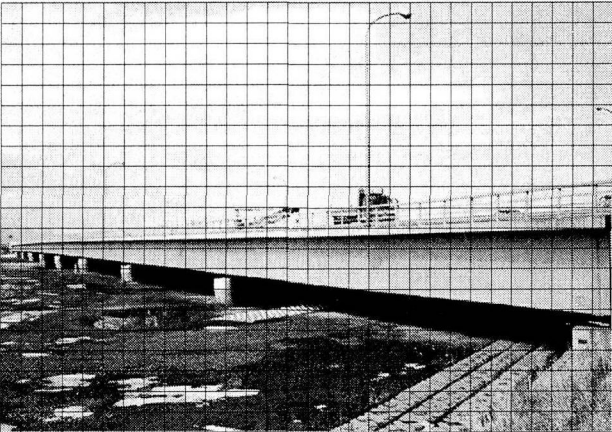


図-1 10mmの格子分割（橋梁 No.57）

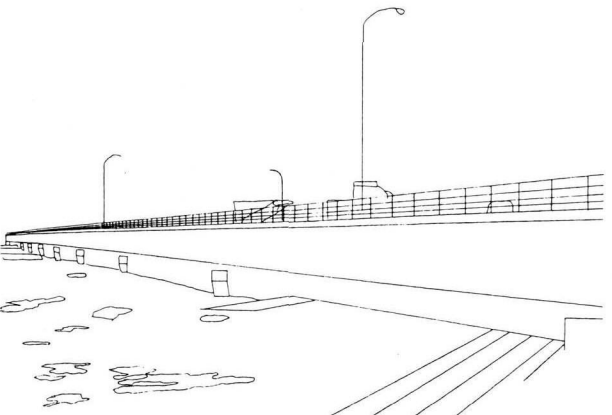


図-2 橋梁 No.57 の形態

表-1 橋梁No. 57におけるフラクタル次元

r	log r	Nr	log Nr
30	3.40119738	38	3.63758616
15	2.7080502	99	4.59511985
10	2.30258509	170	5.13579844
5	1.60943791	437	6.0799332

このようにして、写真 No.1～90 までの橋梁について、フラクタル次元を算出し、視点場ごとに分類した結果が表-2である。視点場とは、視距離（近景、中景）、視線入射方向（側面、斜側方）、視点高さ（上、水平、下）という分類である。

90 橋におけるフラクタル次元（全体）の最大値は 1.76 で、最小値は 1.24 であり、橋だけの場合でもフラクタル

次元の最大値は 1.73 で、最小値は 1.12 と非常にばらついている。このばらつきは視点場や構図、背景などの差による影響である。全体と橋だけの差が負の値になっている橋梁があるが、勾配の取り方による誤差と考えられる。フラクタル次元を視点場ごとに見た場合、フラクタル次元の差が大きい写真は近景よりも中景に多いが、これは中景の方が背景の占める割合が多くなり、橋以外の背景の輪郭もカウントするためと考えられる。

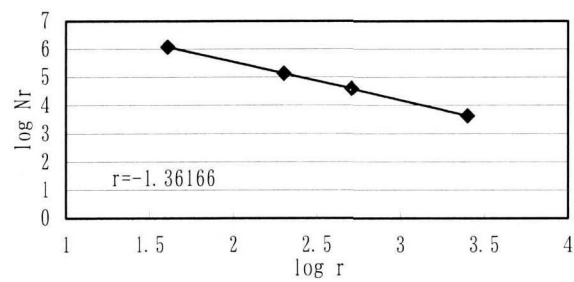


図-3 フラクタル次元の計算例（橋梁No. 57）

表-2 フラクタル次元

視点場	橋 No.	全体	橋だけ	差	分類	視点場	橋 No.	全体	橋だけ	差	分類
近景 斜側方 上	2	1.64	1.56	0.08	010	近景 斜側方 水平	1	1.42	1.40	0.02	011
	4	1.51	1.53	-0.02	010		23	1.44	1.39	0.05	011
	18	1.57	1.57	0.00	010		26	1.45	1.41	0.04	011
	20	1.58	1.61	-0.03	010		38	1.58	1.63	-0.05	011
	21	1.75	1.66	0.09	010		51	1.48	1.49	-0.01	011
	24	1.48	1.43	0.05	010		57	1.36	1.37	-0.01	011
	32	1.53	1.57	-0.04	010		58	1.48	1.47	0.01	011
	34	1.65	1.55	0.10	010		59	1.51	1.50	0.01	011
	42	1.70	1.65	0.05	010		60	1.54	1.53	0.01	011
	64	1.66	1.56	0.10	010		63	1.32	1.23	0.09	011
近景 斜側方 下	73	1.61	1.65	-0.04	010	中景 斜側方 上	65	1.40	1.37	0.03	011
	75	1.60	1.63	-0.03	010		66	1.46	1.31	0.15	011
	78	1.65	1.58	0.07	010		69	1.50	1.43	0.07	011
	79	1.66	1.66	0.00	010		81	1.65	1.59	0.06	011
	8	1.58	1.67	-0.09	012		88	1.46	1.39	0.07	011
	12	1.39	1.39	0.00	012		14	1.76	1.68	-0.08	110
	15	1.73	1.73	0.00	012		17	1.58	1.55	0.03	110
	25	1.57	1.57	0.00	012		33	1.71	1.60	0.11	110
	27	1.66	1.66	0.00	012		41	1.71	1.68	0.03	110
	28	1.51	1.46	0.05	012		44	1.66	1.54	0.12	110
中景 斜側方 水平	36	1.54	1.51	0.03	012	中景 斜側方 下	70	1.66	1.55	0.11	110
	46	1.59	1.51	0.08	012		74	1.70	1.70	0.00	110
	47	1.47	1.45	0.02	012		82	1.67	1.35	0.32	110
	50	1.40	1.36	0.04	012		9	1.51	1.36	0.15	111
	53	1.62	1.63	-0.01	012		10	1.52	1.29	0.23	111
	54	1.50	1.52	-0.02	012		16	1.37	1.34	0.03	111
	55	1.50	1.44	0.06	012		29	1.63	1.39	0.24	111
	61	1.41	1.35	0.06	012		37	1.48	1.37	0.11	111
	62	1.58	1.56	0.02	012		39	1.56	1.55	0.01	111
	68	1.54	1.38	0.16	012		43	1.46	1.40	0.06	111
中景 側面 水平	71	1.59	1.47	0.12	012	中景 側面 斜側方	48	1.45	1.42	0.03	111
	72	1.56	1.48	0.08	012		87	1.62	1.68	-0.06	111
	76	1.59	1.55	0.04	012		89	1.36	1.39	-0.03	111
	77	1.46	1.48	-0.02	012		7	1.34	1.49	-0.15	112
	83	1.53	1.55	-0.02	012		11	1.56	1.47	0.09	112
	85	1.59	1.50	0.09	012		13	1.54	1.48	0.06	112
	86	1.58	1.50	0.08	012		19	1.56	1.53	0.03	112
	90	1.58	1.60	-0.02	012		30	1.62	1.51	0.11	112
	3	1.24	1.12	0.12	101		40	1.64	1.62	0.02	112
	5	1.52	1.38	0.14	101		45	1.45	1.48	-0.03	112

また、今回のフラクタル次元の値が既往の研究成果^{4)~9)}に比べて若干高くなっている理由としては、高欄の細かい模様や遠景の細部、影の部分なども輪郭として格子の数をカウントしたためであろうと考えられる。

4. 感性工学手法へのフラクタル次元の適用

これまで行ってきた感性工学手法による分析^{1)~3)}に、フラクタル次元という要素をどのように付け加えていくかは1つの検討課題である。まず、算出したフラクタル次元を表3のようにカテゴリ分類した。本研究ではフラクタル次元の変化に伴う評価の違いについて検討しているので、ほぼ左右対称になるように、やや細かく分類した。そして、表4に示すように全体の「美しい」に関する評価結果とこのカテゴリ分類との相関比を算出した結果、フラクタル次元の相関比が高いことから、フラクタル次元を感性工学手法における分析に適用することが妥当であることを確認した。

表-3 フラクタル次元のカテゴリ分類

分類	1.2~	1.4~	1.5~	1.55~	1.6~	1.7~	計
個数	10	19	19	18	17	7	90

表-4 全体の「美しい」に関する評価結果とカテゴリ分類との相関比

アイテム	相関比	アイテム	相関比
1 主桁形状	0.053647	11 検査路・添架物	0.001765
2 平面形状	0.078934	12 視距離	0.098279
3 桁の色彩	0.172906	13 視線入射方向	0.002971
4 高欄の色彩	0.265948	14 視点高さ	0.318932
5 下部工形状	0.159308	15 風景	0.0341702
6 下部工断面	0.18026	16 背景(上層)の色彩	0.1472965
7 橋脚数	0.208532	17 背景(下層)の色彩	0.274322
8 高欄形式	0.111562	18 クリアランス	0.085891
9 排水管	0.072064	19 並列橋	0.036066
10 照明柱	0.012498	20 障害物の有無	0.0133025
		21 フラクタル次元	0.513153

次に、既往の研究における20個のデザイン要素にフラクタル次元を付加して数量化理論Ⅰ類による「美しい⇔美しくない」の分析を行ったのが図4である。ここで、フラクタル次元のレンジが21個のアイテム中最も高い数値となっており、美しいという評価結果にフラクタル次元が大きく影響を与えていることがわかる。また、フラクタル次元の値が高くなれば評価結果が高くなるように、フラクタル次元とスコアとが比例しているのも興味深い。

ここで、既往の研究^{1)~3)}における数量化理論Ⅰ類による分析でのアイテムの選定では、景観設計に実際に用いるデザイン要素として、形状(主桁形状、平面形状、下部工形状、下部工断面、橋脚数)、色(桁の色彩、高欄の色彩、上層の背景の色彩、下層の背景の色彩)、付属物(高欄形式、排水管、照明柱、検査路・添架物)、視点(視距離、視線入射方向、視点高さ)、背景(風景、クリアランス、並列橋、障害物の有無)というように分類し、アイテムを

決定している。しかし、フラクタル次元は形態の複雑さを表す指標であり、前述の分類の中の形状、付属物、背景というのは形態に関係しているため、これらはフラクタル次元という枠の中に含まれると考えられる。すなわち、フラクタル次元という評価指標は形態に関する要素全てを含んだ総合的な評価指標としてとらえることができる。また、同じ橋でも視点情報が変われば当然フラクタル次元の値は変わってくるため、視点場を固定すれば、形態を表すフラクタル次元と色情報とで評価対象を概略評価することは可能であろうと考えられる。

第1因子 「美しい-美しくない」
重相関係数= 0.796798

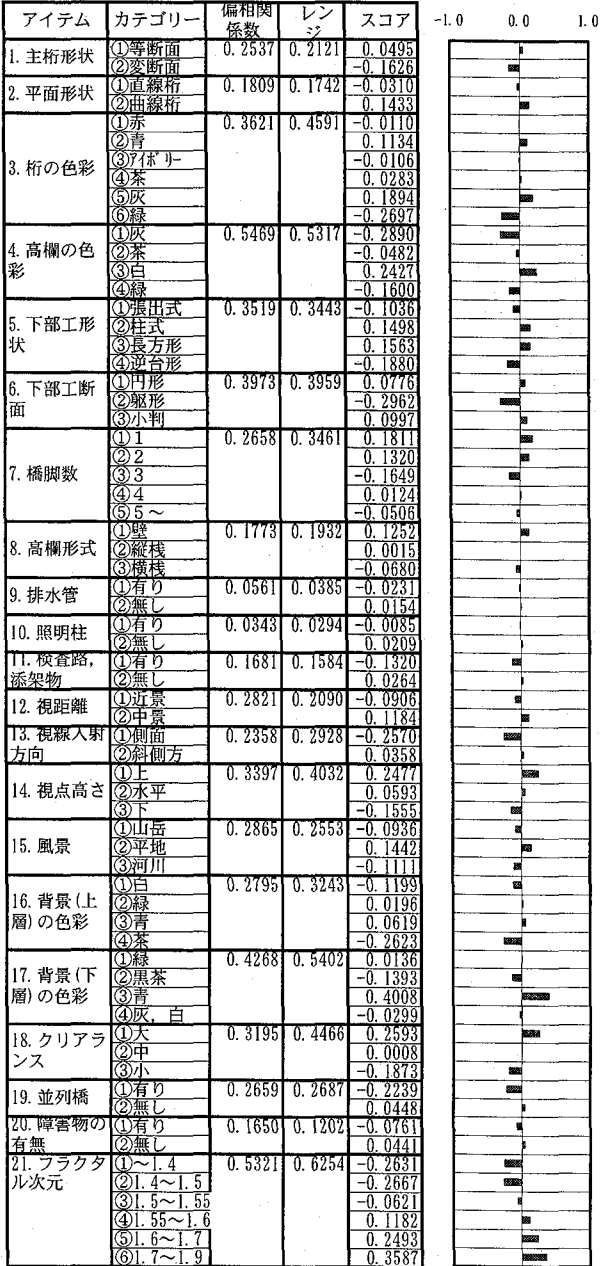


図-4 数量化理論Ⅰ類による解析結果(全体:N=54)

例えば、視距離が近景、視線入射方向が斜側方、視点高さが下からと視点場を固定して、フラクタル次元と色情報

のみをアイテムとして数量化理論Ⅰ類を実施した結果が図5である。

図4と図5とでアイテム数が21と5というように異なるため、直接の比較はできないが、図4の場合と図5の場合とを比較すると、フラクタル次元と色情報だけの方が重相関係数で0.880となり、21アイテムの場合の0.7970より0.083も大きくなる。このことから、美しいという形容詞については、フラクタル次元と色情報とで限定された視点場ではあるが、評価が可能であることがわかる。

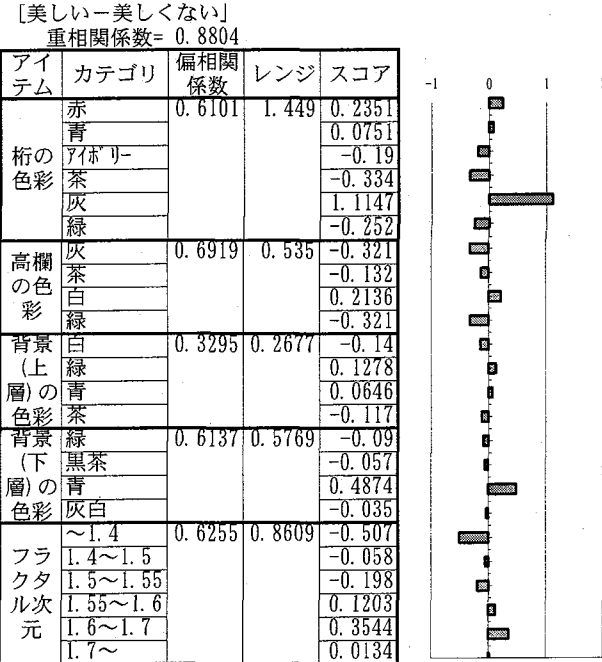


図-5 数量化理論Ⅰ類による分析結果(近景, 斜側方, 下)
(フラクタル次元と色情報)

5. フラクタル次元と評価結果との比較

前節までで、フラクタル次元が評価結果に大きく影響を与えていることがわかった。表5に43項目の形容詞の評価結果とフラクタル次元との相関係数を示す。フラクタル次元と関係のある評価結果もあればほとんど関係のないイメージ形容詞もあるものの、全体的には相関は最大0.5程度である。また、負の相関がある形容詞も存在する。さらに、背景などの情報が入らない橋だけのフラクタル次元と評価結果との比較でも相関係数は高くない。この原因として、評価対象の桁橋がその背景や視点場など様々な条件で撮影されており、それらの区分がなされていないことによると考えられる。さらに感性工学手法により因子分析を行った結果、4つの因子軸が抽出されたが、表5ではその因子軸ごとに、また因子得点の高い順に43項目の形容詞を並べ直してある。第1軸の「しゃれた」、「優美な」、「豪華な」といった「美的感覚・アート性」では全体的にフラクタル次元と評価結果との相関性は高いが、その他の「力動感」や「地域調和性」といった因子では、各形容詞ごとの評価結果とフラクタル次元との相関は低い。そして、相関係数が負の値になっている「すっきりとした」、「自

然な」、「直線的な」、「日本的な」などについては、フラクタル次元が複雑さを表していることから、評価結果と反比例の関係になっていることも理解できる。

また、評価結果との相関において、背景などを含んだフラクタル次元の方が橋本体のみのフラクタル次元よりも特に「美的感覚・アート性」においてその値が高いということは、橋だけでなく、周辺の背景を含んだ情報も加味してその評価を行っているということになる。さらに、調和のとれたという形容詞については、相関係数の差が0.15と高く、明らかに背景と調和しているかどうかという評価になっていることがわかる。

全体および橋だけのフラクタル次元共に値が大きく、かつ差がほとんどない形容詞は、「存在感のある」、「風格のある」などであり、これらは背景がほとんど評価に影響してなく、橋に存在感があるか、橋に風格があるかという評価になっている。

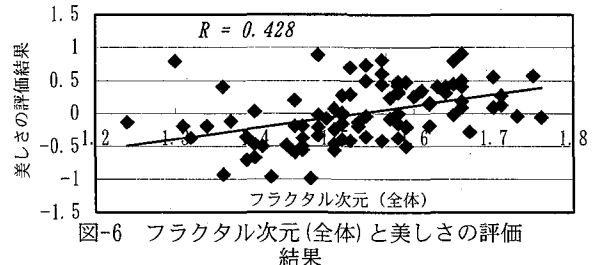
表-5 評価結果とフラクタル次元との相関係数

因子軸	No.	形容詞	フラクタル次元		
			全体	橋だけ	差
美的 感覚・ アート性	9	しゃれた	0.498	0.406	0.092
	33	優美な	0.469	0.321	0.148
	12	美しい	0.428	0.310	0.118
	24	可愛い	0.391	0.267	0.124
	39	芸術的な	0.467	0.351	0.117
	31	洗練された	0.454	0.328	0.126
	43	好ましい	0.409	0.313	0.095
	26	上品な	0.400	0.248	0.153
	34	遊び心のある	0.498	0.439	0.059
	35	個性的な	0.517	0.468	0.049
	40	快適な	0.352	0.240	0.111
	37	象徴的な	0.532	0.470	0.062
	28	豪華な	0.559	0.508	0.051
	16	印象的な	0.435	0.373	0.062
	11	親しみやすい	0.290	0.202	0.088
	38	開放感のある	0.284	0.161	0.122
	21	飽きのこない	0.361	0.217	0.143
	42	ダイナミックな	0.248	0.298	-0.050
力動 感	4	自然な	-0.218	-0.316	0.099
	18	素材感のある	0.184	0.277	-0.093
	25	重量感のある	0.051	0.207	-0.156
	27	丈夫な	0.106	0.239	-0.132
	10	存在感のある	0.456	0.458	-0.002
	20	立体感のある	0.349	0.376	-0.027
	8	都会的な	0.500	0.456	0.044
	23	ソフトな	0.191	0.022	0.168
地域 調和 性	17	バランスの取れた	0.145	0.083	0.062
	5	実用的な	0.030	0.091	-0.061
	22	機能的な	0.046	0.087	-0.041
	41	調和のとれた	0.250	0.102	0.148
	13	風景に溶け込んでいる	0.032	-0.060	0.092
	1	女性的な	0.166	0.010	0.156
	6	直線的な	-0.177	-0.069	-0.107
	32	カラフルな	0.282	0.220	0.061
自然 重視	30	日本的な	-0.046	-0.054	0.008
	29	地域性を含んだ	0.171	0.140	0.031
	3	安定感のある	0.159	0.220	-0.061
	14	すっきりとした	-0.063	-0.188	0.125
	15	暖かみのある	0.260	0.183	0.077
	36	風格のある	0.413	0.443	-0.030
	19	ゆとりのある	0.333	0.245	0.087
	7	モダンな	0.520	0.460	0.060
	2	若々しい	0.498	0.381	0.117

+: 正の相関, -: 負の相関

図6には「美しい」に関する評価結果とフラクタル次元との関係を示す。相関係数が0.428ということは、背景や視点場が異なった写真を用いていることを差し引いても、フラクタル次元と美しいという評価結果とが何らかの関

係があるということがいえる。



6. 視点場ごとのフラクタル次元と評価結果との関係

前節で、フラクタル次元と評価結果との関係を「美しい」という形容詞を例にとって示したが、評価結果は視点場に影響されることが容易に想像できるため、視点場を統一した条件で両者の比較を行った。表6に視点場の区分によるフラクタル次元計算結果一覧を示す。近景と中景に関して、フラクタル次元の差が近景の方が小さいのは、近景では背景の占める割合が少ないためである。また、側面からの写真は中景しかない。図7～図13にフラクタル次元と各視点場における美しさの評価結果の関係を示す。フラクタル次元の全体に関しては、各視点場の中でも視距離が近景で視線入射方向が斜側方、視点高さが水平の場合、特にフラクタル次元と美しさの評価結果とは $r=0.826$ と相関が高い。また、同じ視点場で、橋だけのフラクタル次元の場合も美しさの評価結果は $r=0.720$ と相関が高くなる。視距離が中景で視線入射方向が側面、視点高さが水平の場合は $r=-0.010$ とほとんど相関がない。さらに、視距離が中景で視線入射方向が斜側方、視点高さが上方の場合は $r=-0.385$ と負の相関になっている。このように、フラクタル次元を景観評価の指標として適用する場合、ある程度視点場や背景のことも考えておかないと、その適用に無理が生じる結果となるので注意が必要である。

表-6 視点場の区分によるフラクタル次元計算結果一覧

視点場						フラクタル次元(平均)								データ個数
視距離	視線入射方向		視点高さ	全体			橋だけ			平均値の差				
				平均	Max	Min	平均	Max	Min					
近景	中景	側面	斜側方	上	水平	下	平均	Max	Min	平均	Max	Min		
○	○	○	○	○	○	○	1.525	1.64	1.34	1.506	1.62	1.41	0.019	12
○	○	○	○	○	○	○	1.496	1.63	1.36	1.419	1.68	1.29	0.077	10
○	○	○	○	○	○	○	1.681	1.76	1.58	1.581	1.70	1.35	0.100	8
○	○	○	○	○	○	○	1.383	1.52	1.24	1.326	1.53	1.12	0.057	7
○	○	○	○	○	○	○	1.545	1.73	1.39	1.513	1.73	1.35	0.031	24
○	○	○	○	○	○	○	1.470	1.65	1.32	1.434	1.63	1.23	0.036	15
○	○	○	○	○	○	○	1.614	1.75	1.48	1.586	1.66	1.43	0.027	14

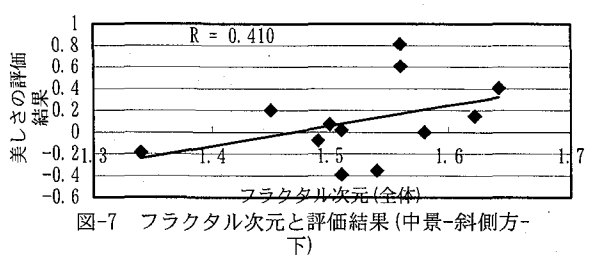


図-7 フラクタル次元と評価結果(中景-斜側方-下)

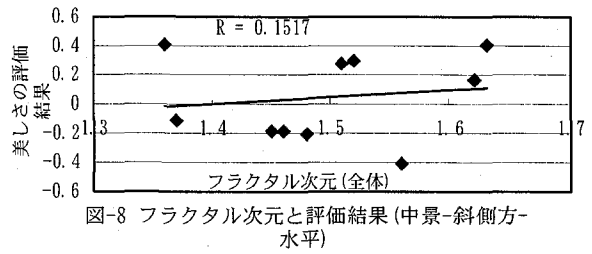


図-8 フラクタル次元と評価結果(中景-斜側方-水平)

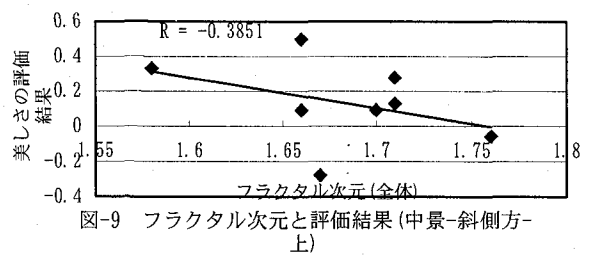


図-9 フラクタル次元と評価結果(中景-斜側方-上)

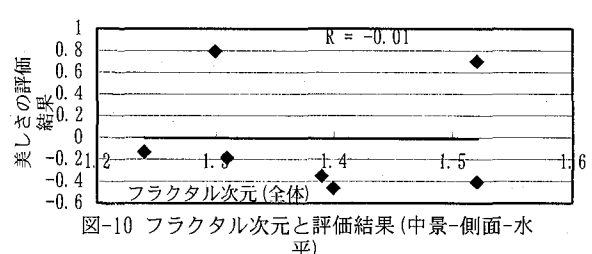


図-10 フラクタル次元と評価結果(中景-側面-水平)

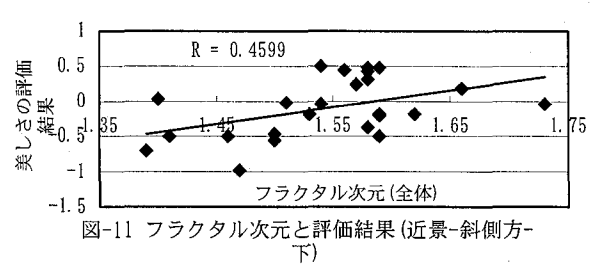


図-11 フラクタル次元と評価結果(近景-斜側方-下)

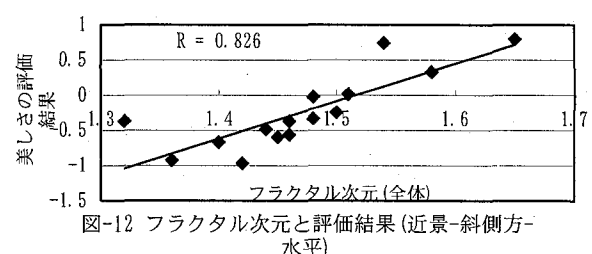


図-12 フラクタル次元と評価結果(近景-斜側方-水平)

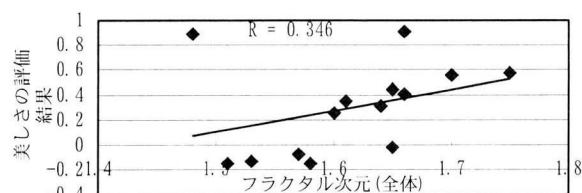


図-13 フラクタル次元と評価結果(近景-斜側方-上)

次に、43 項目の評価結果とフラクタル次元との関係を各視点場ごとに分類して、それぞれ相関係数を算出したのが表-7である。ここでも、表-5と同じように、4つの因子軸ごとに表示している。そして、それぞれの形容詞における相関係数の最大値を表中太枠で示してある。

視距離が近景で、視線入射方向が斜側方、視点高さが水平の場合にフラクタル次元と評価結果との相関が高く、相関係数が0.8以上の形容詞の数が11、0.7以上だと20と、43形容詞の約半数が該当する。なお、この視点場の評価写真を図-14に示す。逆に、視距離が中景で、視線入射方向が斜側方、視点高さが水平および上からの場合はフラクタル次元と評価結果との相関は低い。また、各形容詞ごとに相関係数が最大となる視点場の組み合わせを検討した。第1因子軸の「美的感覚・アート性」に関しては、17形容詞全てで近景、斜側方、水平という視点場における相関係数が最大となった。さらにその相関係数も高い値を示しているのが特徴である。次に相関係数が高いのは、近景、斜側方、上からであり、近景、斜側方、下からの場合も相関が高い。一方、中景、斜側方、上からの視点場では、相関係数がほとんど負の値を示し、その絶対値も比較的高い。また、中景、斜側方、水平の場合も相関係数が負値になっている形容詞が多い。この理由として、近景、斜側方、水平という視点場では写真の中で橋本体の割合が多く、高欄や親柱、付属物などが美的感覚やアート性の評価につながったものと考えられる。一方、中景では橋の面積は少なく背景の占める割合が多くなるため、しゃれた、優美など

いった評価につながる高欄や親柱などが、中景では小さすぎてフラクタル次元に反映できないことが考えられる。

表-7 各視点場ごとのフラクタル次元(全体)と評価結果の相関係数(43形容詞)

	視距離→ 視線入射方向→ 視点高さ→	中景			近景		
		斜側方	斜側方	斜側方	斜側方	斜側方	斜側方
		下	水平	上	下	水平	上
9	しゃれた	0.338	0.082	-0.14	0.443	0.457	0.849
33	優美な	0.461	-0.16	-0.56	-0.02	0.46	0.82
12	美しい	-0.41	0.152	-0.39	-0.01	0.46	0.826
24	可愛い	0.334	-0.1	-0.59	0.174	0.306	0.756
39	芸術的な	0.276	-0.22	-0.2	0.164	0.452	0.846
31	洗練された	0.144	0.052	-0.42	-0.09	0.509	0.85
43	好ましい	0.15	0.003	-0.48	0.105	0.547	0.827
26	上品な	0.255	0.067	-0.62	0.011	0.398	0.821
34	遊び心のある	0.55	-0.23	-0.04	0.559	0.36	0.747
28	豪華な	0.485	-0.12	-0.01	0.678	0.453	0.78
35	個性的な	0.041	0.056	-0.66	-0.14	0.38	0.719
40	快適な	0.558	-0.33	0.076	0.527	0.573	0.76
37	象徴的な	0.682	-0.25	0.043	0.296	0.573	0.84
28	豪華な	0.453	-0.23	-0.1	0.401	0.367	0.768
16	印象的な	0.349	-0.11	-0.52	-0.08	0.172	0.66
11	親しみやすい	0.05	-0.29	-0.5	-0.23	0.295	0.792
38	開放感のある	0.188	0.384	-0.44	-0.03	0.458	0.72
21	飽きのこない	0.663	-0.07	0.571	0.382	0.256	0.374
42	ダイナミックな	-0.16	-0.12	-0.42	-0.42	-0.18	0.17
4	自然な	0.324	-0.09	-0.11	-0.57	0.248	0.394
18	素材感のある	0.486	-0.16	0.688	0.472	-0.04	-0.44
25	重量感のある	0.314	0.036	0.611	0.235	0.024	-0.54
27	丈夫な	0.518	-0.05	0.082	0.63	0.406	0.742
10	存在感のある	0.18	0.226	0.043	0.496	0.482	0.674
20	立体感のある	0.473	0.198	0.42	0.814	0.512	0.808
8	都会的な	0.244	0.21	-0.62	0.191	0.063	0.669
23	ソフトな	-0.32	0.053	0.098	-0.15	0.126	0.597
17	バランスの取れた	-0.01	-0.05	0.154	-0.3	0.172	-0.02
5	実用的な	0.267	0.099	0.079	-0.37	0.176	-0.04
22	機能的な	-0.05	0.182	-0.31	-0.06	0.46	0.615
41	調和のとれた	-0.27	0.262	-0.17	-0.1	0.174	0.409
13	風景に溶け込んでいる	0.339	-0.16	-0.56	0.465	0.155	0.548
1	女性的な	-0.36	-0.1	0.605	-0.88	-0.1	-0.57
6	直線的な	0.558	-0.53	-0.37	0.431	0.243	0.312
32	カラフルな	-0.54	-0.33	-0.37	-0.28	-0.2	0.28
30	日本的な	-0.23	0.08	-0.03	-0.31	0.127	0.585
29	地域性を含んだ	0.171	-0.01	0.608	0.216	0.126	-0.3
3	安定感のある	-0.67	0.166	-0.26	-0.48	0.011	0.392
14	すっきりとした	0.484	-0.55	-0.51	0.05	0.162	0.679
15	暖かみのある	0.492	-0.44	0.228	0.057	0.437	0.603
36	風格のある	0.483	-0.19	0.281	-0.23	0.177	0.541
19	ゆとりのある	0.262	0.173	0.253	0.467	0.579	0.835
7	モダンな	0.337	0.235	-0.01	0.294	0.604	0.802
2	若々しい	0.226	-0.05	-0.11	0.088	0.289	0.52
	平均	0.682	0.384	0.688	0.814	0.604	0.85
	Max	-0.67	-0.55	-0.66	-0.88	-0.2	-0.57
	Min	0.102	0.046	0.15	0.139	0.045	0.157
	分散	それぞれの形容詞における最大値					

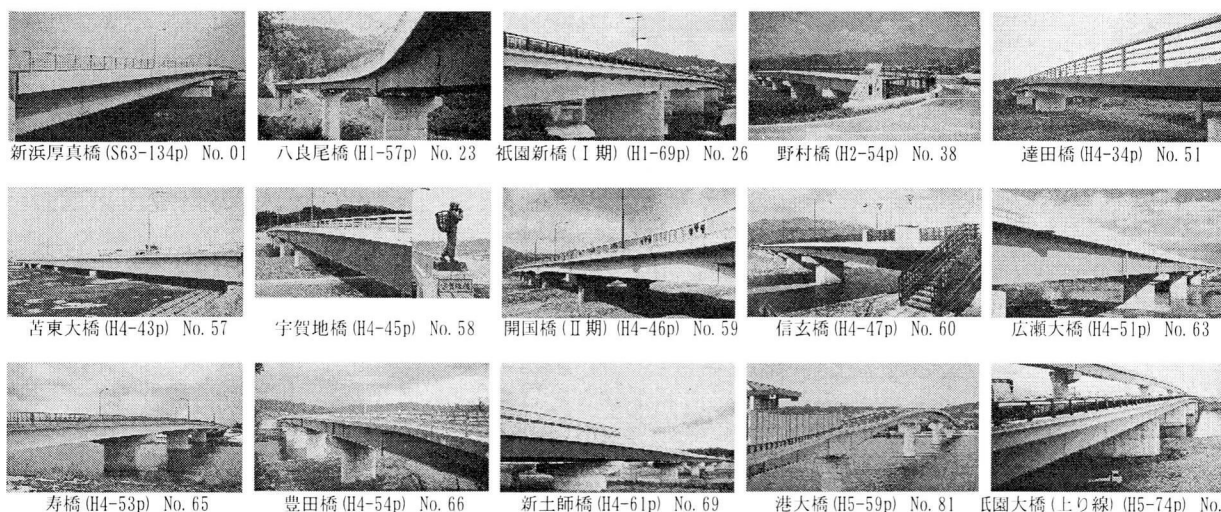


図-14 桁橋の景観評価用写真の一例(視距離:近景, 視線入射方向:斜側方, 視点高さ:水平)

視距離が中景の場合に負の相関になっている形容詞が多いのは、背景や障害物といった橋以外の存在が写真に占める割合が多くなるので、評価を低くしていると考えられる。

また、第4因子軸の「自然重視」では、9形容詞中4形容詞で近景、斜側方、上という視点場の相関係数が最大となった。

このように、フラクタル次元は視点場を固定することで有効な評価指標となりうる。表7の結果から、視点場を設定しておけばどのような評価になるのかが一目でわかるのが特徴である。

7. おわりに

本研究では、橋梁年鑑から作成した90橋の桁橋の評価用写真を用いて、大学生40名および橋梁設計技術者14名の計54名を被験者にした43項目のアンケート調査を用いて、フラクタル次元解析との比較を行うことで、桁橋の定量的評価基準としてのフラクタル次元の有効性を検証した。

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) フラクタル次元という指標は、評価結果と直接比較した場合、相関関係の強い形容詞もあればそうでない形容詞もある。因子分析結果での第1因子である「美的感覚・アート性」に属する形容詞では、評価結果とフラクタル次元との関係は高く、「力動感」や「地域調和性」ではその関係は低い。
- 2) 感性工学手法での数量化理論Ⅰ類による分析におけるアイテムにフラクタル次元を付加した場合、フラクタル次元のレンジが最も高くなったことから、フラクタル次元は評価結果に大きく影響を与えている。
- 3) フラクタル次元と評価結果との関係において、全体のフラクタル次元の方が橋だけのフラクタル次元よりもその相関が高いことから、橋だけでなく背景も加味した評価を行っていることがわかる。
- 4) フラクタル次元という指標は、形に関する要素全てを含んだ総合的なものとしてとらえることができ、ある特定の視点場においては、フラクタル次元と色情報とで対象を評価することは可能である。
- 5) フラクタル次元と評価結果との関係を視点場ごとに分類した結果、第1因子軸の「美的感覚・アート性」に関する全ての形容詞では、近景、斜側方、水平という視点場における評価結果とフラクタル次元との相関が非常に高くなった。

このように、フラクタル次元と景観に対するユーザーの意識とはかなりの相関が存在することが推定される。しかし、フラクタル次元は形態を表す指標であり、フラクタル次元だけでは景観評価全てを表現することはできず、評価には色などの情報も当然関係してくると思われる。今後は、他のアイテム分類とフラクタル次元の関係、色彩分類などとフラクタル次元との関係を検討し、設計で用いることのできる評価基準を同定していく必要がある。

なお、今後、感性データベースを構築していく上で問題となる、膨大なアンケート調査の負担を軽減させるためのフラクタル次元の活用については今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) (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.
- 4) 吉岡正泰、岩松幸雄、原田隆郎、阿久澤孝之：フラクタル次元・1/f ゆらぎを応用した橋梁の景観性評価支援システム、土木情報システム論文集、Vol.2, pp.73-80, 1993.
- 5) 須田清隆、本田陽一、木下明子：コンピュータグラフィックスを活用した景観評価技術の提案、土木情報システムシンポジウム講演集、Vol.22, pp.155-158, 1997.
- 6) 保田敬一、白木 渡、角野大樹、堂垣正博：フラクタル次元を用いた桁橋の景観評価に関する研究、第6回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集、pp.11-16, 1999.12.
- 7) 長町三生：感性工学、海文堂、1989.
- 8) (社)日本橋梁建設協会：橋梁年鑑、昭和62年～平成5年
- 9) 高安秀樹：フラクタル、朝倉書店、1986.

(2000年9月14日受付)