

橋梁高欄の景観設計支援システムの実用化に関する研究

A practical decision-support system for aesthetic design of bridge handrails

古田 均¹, 長谷川 智子², 平井 崇²

飯田 毅³, 梶村 典彦⁴, 立石 一真⁵

Hitoshi Furuta, Tomoko Hasegawa, Takashi Hirai

Takeshi Iida, Norihiko Kajimura and Kazuma Tateishi

- 1 正 会 員 工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)
- 2 元関西大学生 総合情報学部 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)
- 3 正 会 員 工博 大阪産業大学教授 工学部土木工学教室 (〒574-8530 大東市中垣内 3-1-1)
- 4 住友金属建材株式会社 土木建材技術部 (〒660-0891 尼崎市扶桑町 1-21)
- 5 正 会 員 住友金属建材株式会社 土木建材技術部 (〒660-0891 尼崎市扶桑町 1-21)

In the design of bridge structures, it is becoming important to consider the aesthetic design factors. In this paper, an attempt is made to develop a decision-support system for the aesthetic design of bridge handrails. The colors, upper components, lower components and columns are employed as design items as well as the configuration of bridge, the colors of other bridge components and the harmony to the surrounding environment. The present system consists of the evaluation system using neural network and the optimization system based upon immune system. Several numerical examples are presented to demonstrate the efficiency of the proposed system. Computer Graphics (CG) is used for visual examination of each alternative.

Key Words: Aesthetics, bridge handrail, immune algorithm, neural network, optimization

キーワード: 景観, 橋梁高欄, 免疫アルゴリズム, ニューラルネットワーク, 最適化

1. はじめに

近年, 景観面を考慮した橋梁の設計が重要となってきた。従来から橋梁の景観設計支援システムに関する研究^{1), 2)}が種々なされているが, 本研究では, 橋梁の中でも高欄に着目し, その実用的な景観設計支援システムの構築を試みた。橋梁高欄の設計では, デザイン性を重視するためにデザイナーに依頼するにしても, 予算面での問題はもちろん, 構造等にも配慮しないと, デザイナーのイメージするものと技術者側との意見に食い違いが生じてしまう。

本研究では, 全く新しい独創的なデザインを創出することは容易ではないが, 過去に設計された高欄部品を組み合わせることによって, 今までとは違った新しい設計を得ることが可能であると考えた。また, 過去に設計された部品の組み合わせであれば, 構造的にも問題はなくスムーズに景観案を提案できると考えた。それゆえ専門家がその場になくても, 専門家の評価に近い評価を行い, 求めるコンセプトに合った高欄部品の組み合わせを提案できるシステムがあれば大変有用であると考え, 橋梁高欄の景観設計支援システムの構築を試み, その実用化に関する検討を加えた。

本研究では, 高欄の色彩, 高欄部品(上), 高欄部品(中), 高欄部品(下), 高欄部品(支柱)を設計対象とし, これらの他に周辺環境, 橋梁の形, 高欄以外の色を加えて景観構成アイテムとし, 免疫アルゴリズムとニューラルネットワークを用いて景観設計支援システムを構築する。免疫アルゴリズムは, 最適解探索アルゴリズムの一つであり, 解の多様性を維持するとともに, 複数の準最適解を得ることが可能であるといわれている。この特徴から, 景観設計のように, 画一的な評価が困難な問題に対して, 免疫アルゴリズムは一つの最適解のみではなく異なる複数の準最適解を与えることができるので, その中から人間が主観的な判断や嗜好に基づき適当な案を選択することが可能なため, 実際の景観設計に適していると考えられる。また, ニューラルネットワークは神経細胞網をコンピュータ上でシミュレーションするものである。この特徴異を利用することにより, 専門家が実在する橋梁高欄のサンプルに対して評価を行うと, 専門家の感性を学習することが可能であると考えられる。したがって, 一度学習すれば今後専門家がその場になくても, 専門家の評価に近い評価をニューラルネットワークによって与えることができると考えられる。

従来はデザインに精通した技術者のみに橋梁高欄の景

観設計を委ねるしかなかったが、本研究で構築した橋梁高欄の景観設計支援システムを適用することで、一般技術者でも容易に種々の設計案を得ることができるため、より景観に優れた橋梁高欄の提供が期待できる。

数値計算を用いて本システムの有効性を確認し、さらに、求まった結果の一部をコンピュータグラフィックス (CG; Computer Graphics) を用いて可視化し、各適用例の景観案の比較を行った。

2. 免疫アルゴリズム^{3)~7)}

生体には、細胞遺伝子の再構成を行って生体内に侵入する抗原に対応する抗体を産生し、抗原を排除する複雑で巧妙な機構がある。これがいわゆる免疫システムである。免疫システムは、生体内に侵入した抗原を認識し、過去に排除したことのある抗原に対して有効であった抗体を記憶細胞から直接つくりだし、素早く排除する。新しい抗原に対しては、細胞遺伝子の再構成によってそれに対応する抗体産生細胞をつくり、これを増殖して対応する抗体をつくりだし、排除する。また、免疫システムは自己に対しても免疫性を示す。生体内に大量に発生した同一種類の抗体の産生を抑制し、定常状態に戻す機構を兼ね備えている。この機構によって無限に近い種類の抗原に対応することが可能である。

組み合わせ最適化問題や多峰性関数の最適化問題などの解法として遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) が盛んに用いられている。GA では、多点探索により最適解を得るため、比較的短時間で準最適解を得ることが可能である。しかし、GA では、解の探索が不十分な時点で、集団の多様性が喪失する現象がしばしば生じる。この現象は一般に初期収束と呼ばれ、探索の初期段階で他の解に比べ優れた解が生成された場合、その解が集団中に多数残り、同一遺伝子型の個体との間で交叉が行われやすくなり、解集団の多様性が急速に失われる現象である。

この問題を解決するため、集団の多様性維持を目的とした手法がいくつか提案されており、その一つが免疫アルゴリズム (Immune Algorithm: IA) である。また、多峰性関数に対し GA では一つの最適解を確実に求めても、最適解が複数個存在するときにはそのうちの一つの最適解のみしか抽出できない。これに対し IA では最適解が複数存在するときには複数の最適解を抽出することができ、さらに値の異なる局所解が複数個存在する関数に対しても、ある程度大きい値を持つ局所解を検出することができる。

3. ニューラルネットワーク⁸⁾

ニューロン (神経細胞) は、①細胞体と呼ばれる本体の部分、②樹状突起、③軸索、と呼ばれる部分から構成されている。細胞本体からの信号が軸索を通じて他のニューロンに伝えられる。その信号を受け取る部分が樹状突起であ

り、軸索の末端と結合している。この脳の仕組みの一部の本質的な特徴を取り入れ、数学的にモデル化したものがニューラルネットワークである。

ニューロンの構造は極めて複雑であるが、特に重要な2つの特徴を取り入れ、ニューロンの数理モデルが形成される。

- ①ニューロンは、他の多数のニューロンからの信号を受け取ることで、その膜電位が決まる。
- ②ニューロンは、その膜電位が閾値を超えなければ何もしないが、超えれば興奮して信号を出す。

ニューロンのモデルに階段関数やシグモイド関数のような単調増加関数を用いることで、生体のニューロンの特性をモデル化したニューロンの数理モデルが構成されることになる。

ニューロンのモデルをいくつか結合することによってニューラルネットワークのモデルが構成される。階層型ニューラルネットワークは、一般には入力層、中間層、出力層という3種類の層で構成されている。データの入力部分を入力層、中間部分を中間層 (隠れ層)、出力部分を出力層と呼ぶ。ニューロンは層状に並んでおり、前の層から次の層へと一方向にのみ信号が伝わるフィードフォワード型ネットワークである。

学習には誤差逆伝播法を用いる。誤差逆伝播法は、D.E. Rumelhart, G.E. Hilton, R.J. Williams によって1986年に提案された。入力層と出力層の間に任意の個数の中間層を設けたフィードフォワードの階層型ニューラルネットワークに対する教師ありの学習法の一つで、この学習アルゴリズムは以下の手順で行われる。

- ①すべての結合荷重の初期値をランダムに小さな値に設定し、学習率を設定する。
- ②入力パターンベクトルと対応する目標出力を与える。
- ③与えられた結合荷重と入力パターンベクトルにより、入力層から出力層に向けて、各ユニットの出力を計算する。
- ④得られた出力と目標出力を用いて、出力層から入力層に向けて、パターンに対する各ユニットの誤差は、出力層のユニットが隠れ層のユニットかに区別して求める。
- ⑤結合荷重の修正量を用いて出力層から入力層に向けて結合荷重を各層ごとに修正する。
- ⑥すべての学習パターンに対する2乗誤差が設定値以下になれば学習が収束したと判断して終了する。そうでなければ、すべての学習パターンに対して、②から⑤までの操作を繰り返す。

4. 橋梁高欄の景観設計支援システム^{1),2),9)~13)}

(1) システムの概要

橋梁高欄の景観設計を行う意思決定者が、設計する橋梁

高欄に対し

- ・ 求めるコンセプト
- ・ 周辺環境
- ・ 橋梁の形
- ・ 高欄以外の色

を入力する。

ここでは、あらかじめ用意した項目からの選択のみを考えた対話入力方式を採用する。次に、これらの入力データをもとに免疫アルゴリズムとニューラルネットワークを用いて、複数の準最適解を探索し、景観案として提示する。本システムの流れを図-1に示す。

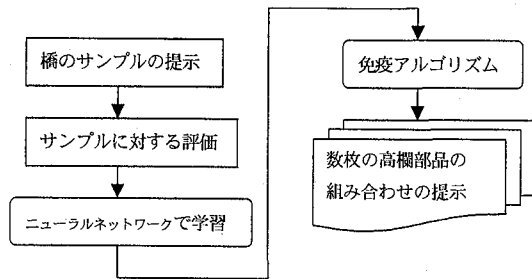


図-1 システムの流れ

既存の橋梁高欄の写真105枚に対し、それぞれに評価を行い、それをニューラルネットワークで学習する。ここで、専門家が実在する橋梁高欄のサンプルに対して評価を行うと、専門家の感性を学習することが可能であると考えられる。したがって、一度学習すれば、今後専門家がその場になくとも専門家の評価に近い評価をニューラルネットワークによって出力することが可能となる。

つぎに、学習済みのニューラルネットワークを免疫アルゴリズムの評価関数として用いて複数の準最適解を探索する。前に述べたように、免疫アルゴリズムを用いて一つの最適解よりも、異なる複数の準最適解を求めることができ、意思決定者がその中から好みの案を選択することが可能なため、景観設計に適していると考えられる。

(2) 景観構成アイテム

景観構成アイテムとして、周辺環境、橋の形、色彩(高欄・高欄以外)、高欄部品(上)、高欄部品(中)、高欄部品(下)、高欄部品(支柱)を考える。ニューラルネットワークの学習データとして実在する橋の写真を用いる。この写真が一つのサンプル(学習データ)となる。これらのうち、設計対象となるのは高欄の色彩と高欄部品4つ(本研究では、上部分、中部分、下部分、支柱部分の4つに分類した)である。以下に設定した景観構成アイテムを示す。

<周辺環境>

周辺環境として、サンプルとした写真から想定される14種類の周辺環境を設定した。詳細を表-1に示す。遺伝子列による表現では、青空、曇天、・・・、舗道の順に、

そのアイテムがあるなら1、ないなら0とする。

表-1 周辺環境	
青空	田
曇天	川
白雲	海
山(緑葉)	市街(ビル)
山(枯葉)	市街(住宅)
山(紅葉)	雪
岩・土	舗道

表-2 橋の形

桁橋
トラス橋
アーチ橋
吊橋
斜張橋
ラーメン橋

<橋の形>

橋梁の形を表-2に示すように、主な6つの形に分類した。用いた105枚のサンプルの内訳は、桁橋:88、トラス橋:2、アーチ橋:6、吊橋:2、斜張橋:5、ラーメン橋:2である。

<色彩>

色彩はサンプルとした写真から高欄や高欄以外(桁や、アーチの部分など)に使われている色に近いと思われる16色に分類した。実際に使用しやすいように、JIS、日本塗料工業会、マンセル値(近似)の3種類で表す。その16色を表-3に示す。

表-3 色彩

JIS	日本塗料工業会	マンセル値(近似)	JIS	日本塗料工業会	マンセル値(近似)
紅色	T07-40X	7.5R4/14	サックスブルー	TN-50	N-5
茶色	T15-30F	5YR3/3	薩草色	T69-50T	10B5/10
クリーム	T25-85F	5Y8.5/3	ローズピンク	T12-70L	2.5YR7/6
青磁色	T35-70H	5GY7/4	スノーホワイト	TN-95	N-9.5
さびあざぎ	T37-50D	7.5GY5/2	茶ねずみ	T19-60F	10YR6/3
あざぎ	T55-50P	5BG5/8	スカイグレイ	TN-80	N-8
水色	T65-80D	5B8/2	黒	TN-10	N-1
ベビーブルー	T72-70D	2.5PB7/2	銀色		

<高欄部品>

本システムでは、高欄を上、中、下、支柱の4つの部品に分けた。サンプルとした写真から各パーツの形状を図-2に示すように分類した。

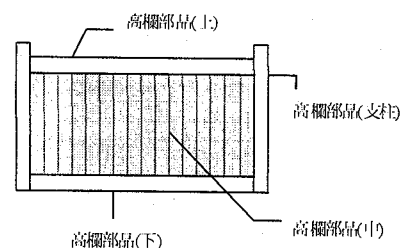


図-2 高欄部品

(3) コンセプト

本システムでは、景観設計する橋梁のコンセプトを表-4 のように設定し、利用者は、求めるコンセプトを選択する。コンセプトは複数選択できるものとする。

表-4 コンセプト

シンボル性
個性的
信頼感(安心感)
親しみやすさ
風格のある
国際性
周辺環境との調和

(4) 評価

評価には実在する橋の写真 105 枚を用いる。1 枚のサンプルがもつ景観構成アイテムとニューラルネットワークへの入力データ、および免疫アルゴリズムで用いる遺伝子列を対応させる。遺伝子コードを 1 次元のビット列で表すために、景観構成アイテムを 0 と 1 の 2 進数で表したものを遺伝子列とする。

・周辺環境	14 種類	14bit
・橋の形	6 種類	3bit
・色彩 (高欄・高欄以外) 各	16 色	4bit
・高欄部品 (上)	4 種類	2bit
・高欄部品 (中)	64 種類	6bit
・高欄部品 (下)	4 種類	2bit
・高欄部品 (支柱)	16 種類	4bit

これらを遺伝子列で表現すると、図-3 のように 39bit となる。

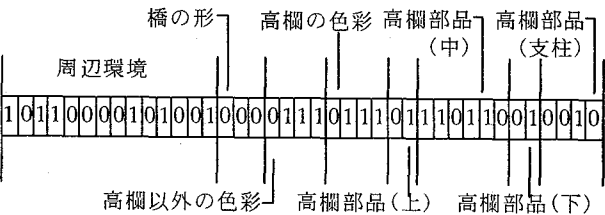


図-3 景観構成アイテムの遺伝子列

図-3 は、以下の条件を表す遺伝子列である。

周辺環境	青空, 白雲, 山(緑葉), 市街(ビル), 舗道
橋の形	桁橋
高欄以外の色	ベビーブルー
高欄の色	ベビーブルー
高欄部品	上・Type1, 中・Type54, 下・Type1, 支柱・Type2

このとき、免疫アルゴリズムに適用するときは、周辺環境、橋の形、高欄以外の色彩はシステム利用者が選択したものに固定される。

橋のサンプル写真を提示し、表-4 に示す 7 つのコンセプトに対し、それぞれどの程度満たしているかを 0 から

10 までの整数で評価する。これをニューラルネットワークの教師データとし、学習させたものを免疫アルゴリズムの評価関数として用いる。評価をする際、時間や日がたつと評価がかわることや、サンプルの写真を見る順番を変えると評価がかわることがある。評価をするのは人間であるため、揺らぎが生じることは避けられないが、一般の人よりも揺らぎが少ないといわれている専門家が評価することで、揺らぎを小さくすることは可能である。また、評価をする前にすべてのサンプルに目を通しておくことも揺らぎを抑えることに役に立つと考えられる。

サンプル (学習データ) に対する評価をニューラルネットワークで学習させることで、未学習データに対しても評価が出力可能となる。学習済みのニューラルネットワークを免疫アルゴリズムの評価関数として用いることで、ランダムに発生させる新しいデータに対しても評価を出力し、複数の準最適解を求めることが可能となる。

評価値の計算は、ニューラルネットワークによって出力された各コンセプトに対する評価のうち、求めるコンセプトに対する評価値の合計をその景観案に対する評価値とする。

以下に示す値を用いてニューラルネットワークの学習を行ったところ、誤差が収束し学習が終了した。

・ ネットワークの層の数	3
・ 学習パターン数	105
・ 第1層目のユニット数	39
・ 第2層目のユニット数	46
・ 第3層目のユニット数	7
・ 学習回数 (整数値)	1000000
・ 許容誤差 (実数値)	0.0000001
・ 学習係数 (実数値)	0.9
・ 慣性係数 (実数値)	0.6
・ シグモイド関数の傾き	1.0

5. 適用例

IAのパラメータを以下のように設定した。

- ・ 初期抗体数 : 20
(初期抗体群の遺伝子列は0と1の2進数として乱数を発生させる。)
- ・ 記憶細胞の上限数 : 5
- ・ 世代数 : 300
- ・ 交叉操作 : 一様交叉, 交叉率 : 70
- ・ 突然変異操作 : 任意1ビットの反転, 突然変異率 : 0.3
- ・ 閾値 : $T_c = 0.8$, $T_{ac1} = 0.8$, $T_{ac2} = 0.7$, $T_{ac3} = 0.8$, $T_{ac4} = 0.88$
- ・ サプレスパワー : 1

本システムを実行した適用例を以下に示す。

(1)適用例1

周辺環境 : 青空, 白雲, 山 (緑葉), 山 (枯葉),
岩・土, 川, 市街 (住宅), 舗道
橋の形 : 桁橋
高欄以外の色: クリーム [(T25-85F), (5Y8.5/3)]
求めるコンセプト: 親しみやすさ, 周辺環境との調和

表-5 適用結果1

	高欄の色	高欄部品 (上)	高欄部品 (中)	高欄部品 (下)	高欄部品 (支柱)	親しみ やすさ	周辺環境 との調和
景観案①	茶ねずみ	Type2	Type7	Type2	Type2	0.8	0.9
景観案②	スカイライ	Type1	Type3	Type2	Type0	0.9	0.9
景観案③	茶色	Type1	Type3	Type2	Type10	0.8	0.9
景観案④	茶ねずみ	Type1	Type1	Type2	Type10	0.9	0.8
景観案⑤	茶ねずみ	Type3	Type35	Type0	Type10	0.8	0.8

この結果から,それぞれ異なる特徴を持った景観案が提案されていることが分かる。また,色も目立つ色ではなく,高欄部品も複雑なものではないので,「親しみやすさ」や「周辺環境との調和」という求めるコンセプトも満たされていると思われる。

(2)適用例2

周辺環境 : 青空, 白雲, 山 (緑葉), 山 (枯葉),
岩・土, 川, 市街 (住宅), 舗道
橋の形 : 桁橋
高欄以外の色: クリーム [(T25-85F), (5Y8.5/3)]
求めるコンセプト: 個性的, 周辺環境との調和

表-6 適用結果2

	高欄の色	高欄部品 (上)	高欄部品 (中)	高欄部品 (下)	高欄部品 (支柱)	個性的 調和	周辺環境 との調和
景観案①	サックスブルー	Type1	Type45	Type0	Type2	1.0	0.6
景観案②	スカイライ	Type1	Type47	Type2	Type2	0.9	0.8
景観案③	紅色	Type2	Type61	Type0	Type2	1.0	0.7
景観案④	茶色	Type0	Type63	Type0	Type6	1.0	0.6
景観案⑤	茶色	Type2	Type37	Type0	Type3	1.0	0.6

この適用例は,適用例1の求めるコンセプトを「個性的」,「周辺環境との調和」に変えたものである。この結果から高欄部品(中)が比較的複雑な形状のものが選ばれていることがわかる。色彩も紅色は適用例1での「親しみやすさ」を求める例ではみられないものである。「周辺環境との調和」に対する評価値が低くなっているが,「個性的」と「周辺環境との調和」の両方を満たすというのは難しく,サンプルでも両方高い評価値を得たものはあまりなかった

め,この結果はある程度満足のいくものと考えられる。

(3)適用例3

周辺環境 : 青空, 白雲, 山 (緑葉), 山 (枯葉),
岩・土, 川, 市街 (住宅), 舗道
橋の形 : 桁橋
高欄以外の色: クリーム [(T25-85F), (5Y8.5/3)]
求めるコンセプト: 国際性, 周辺環境との調和

表-7 適用結果3

	高欄の色	高欄部品 (上)	高欄部品 (中)	高欄部品 (下)	高欄部品 (支柱)	国際性	周辺環境 との調和
景観案①	スカイライ	Type3	Type3	Type2	Type2	0.7	0.9
景観案②	あさぎ	Type3	Type19	Type0	Type10	0.6	0.8
景観案③	銀色	Type1	Type39	Type3	Type10	0.8	0.7
景観案④	ベビーブルー	Type2	Type7	Type2	Type8	0.8	0.8
景観案⑤	銀色	Type0	Type1	Type2	Type2	0.9	0.6

この適用例は適用例1および適用例2の求めるコンセプトを「国際性」,「周辺環境との調和」に変えたものである。適用例1に比べれば,色にも変化があり,部品も異なるが,あまり国際性があるとはいえない。予想では,高欄部品(中)はヨーロッパ調の形状のものが選ばれると考えたが,実際は比較的シンプルなものが選ばれた。

(4)適用例4

周辺環境 : 青空, 白雲, 川, 市街 (ビル)
橋の形 : 桁橋
高欄以外の色: クリーム [(T25-85F), (5Y8.5/3)]
求めるコンセプト: 国際性, 周辺環境との調和

表-8 適用結果4

	高欄の色	高欄部品 (上)	高欄部品 (中)	高欄部品 (下)	高欄部品 (支柱)	国際性	周辺環境 との調和
景観案①	ベビーブルー	Type0	Type21	Type1	Type2	1.0	0.8
景観案②	銀色	Type0	Type3	Type3	Type8	1.0	0.9
景観案③	ベビーブルー	Type2	Type8	Type0	Type10	0.9	1.0
景観案④	あさぎ	Type0	Type1	Type2	Type2	1.0	0.9
景観案⑤	銀色	Type2	Type33	Type1	Type10	1.0	0.9

この適用例は,適用例3の周辺環境を変えたものである。「国際性」,「周辺環境との調和」とともに適用例3の結果よりも評価値が高い。このことから,周辺環境のみを違う設定にするだけでも評価に差が生じることがわかる。適用結果3と高欄部品が少し異なるが,色彩はほぼ同じ色が出ている。

(5)適用例5

周辺環境 : 青空, 白雲, 山 (緑葉), 山 (枯葉),
岩・土, 川, 市街 (住宅), 舗道
橋の形 : 桁橋
高欄以外の色: さびあさぎ [(T37-50D), (7.5GY5/2)]
求めるコンセプト: 親しみやすさ, 周辺環境との調和

表-9 適用結果5

	高欄の色	高欄部品 (上)	高欄部品 (中)	高欄部品 (下)	高欄部品 (支柱)	国際性	周辺環境 との調和
景観案①	スカイグレイ	Type1	Type3	Type3	Type2	0.8	0.9
景観案②	茶ねずみ	Type1	Type3	Type2	Type0	0.9	0.9
景観案③	さびあさぎ	Type1	Type38	Type2	Type10	0.8	0.9
景観案④	茶ねずみ	Type3	Type7	Type2	Type0	0.8	0.8
景観案⑤	スカイグレイ	Type1	Type23	Type2	Type10	0.8	0.9

この適用例は適用例1の高欄以外の色を「さびあさぎ」に変えたものである。適用例1と似通った雰囲気がかがえ、求めるコンセプトを満たしていると言える。

(6)適用例の高欄部品

本システムを実行した適用例で提示された高欄部品を図-4～図-7に示す。

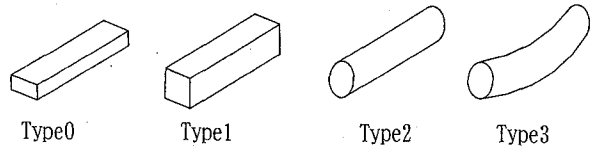


図-4 適用例で提示された高欄部品 (上)

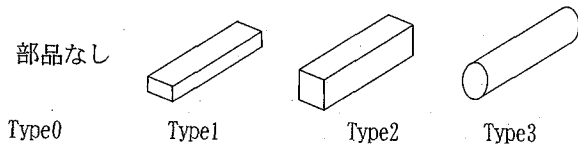


図-5 適用例で提示された高欄部品 (下)

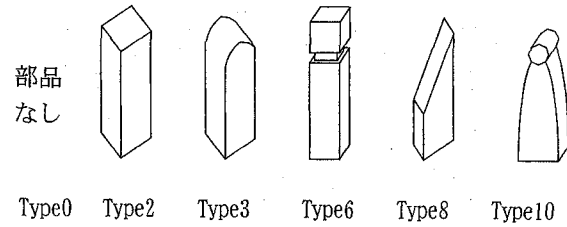


図-6 適用例で提示された高欄部品 (支柱)

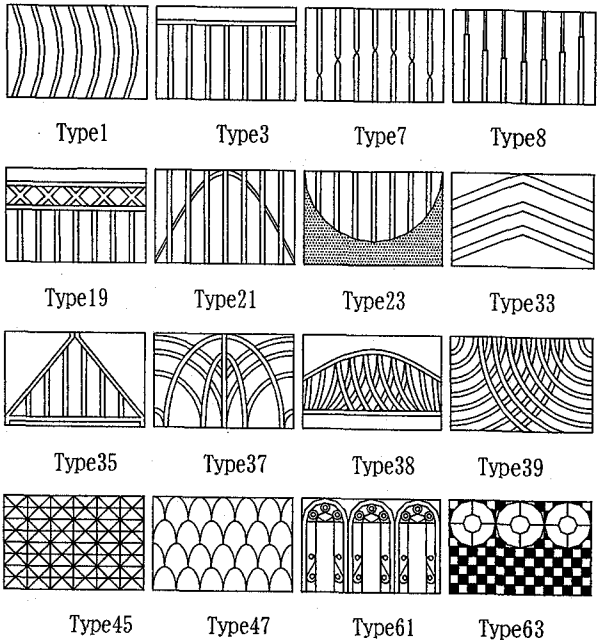


図-7 適用例で提示された高欄部品 (中)

(7)適用例のCG化

構築したシステムを実行した各適用例の一部をCG化して、比較検討を行う。なお、CG化については各適用例の景観案を比較するため、背景を同一のものとしている。CG化する景観案は適用結果1から5の5つの景観案①と適用結果1の景観案③の6つとした。CG化した各景観案を図-8～図-13に示す。

図-8と図-9は同一の適用例(適用例1)で提示された景観案である。どちらも異なる特徴を持っているが、求めるコンセプトは満たされていると思われることから、似通った雰囲気のある景観案であると思われる。

図-10は適用例1での求めるコンセプトのうち、「親しみやすさ」を「個性的」に変更したものの(適用例2)である。図-8、図-9と図-10を比較すると、図-10は図-8、図-9と比べても高欄部品(中)が比較的複雑な形状のものとなり、評価値も高くなっていることから個性的な景観案になっているものと思われる。

図-11は適用例1での求めるコンセプトのうち、「親しみやすさ」を「国際性」に変更したものの(適用例3)である。図-8、図-9と図-11を比較すると、色と高欄部品(上)に変化があり、国際性があるようにも思えるが、高欄部品(中)が比較的シンプルなものを選ばれたため、国際性があるとは言いがたいものとなった。

図-12は適用例3での周辺環境を変えたものの(適用例4)である。図-11と図-12を比較すると、背景を同一にしているため周辺環境に関しては比較できないが、評価値が高くなっていることから国際性のある景観案になっているものと思われる。

図-13は適用例1での高欄以外の色を「クリーム」から「さびあさぎ」に変更したものの(適用例5)である。図-8、



图-8 适用例1 景觀案①

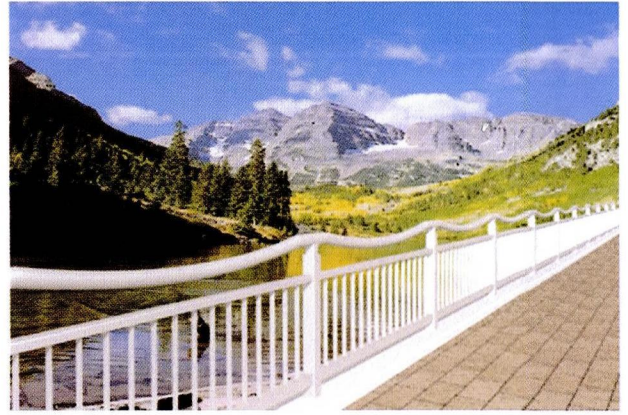


图-11 适用例3 景觀案①



图-9 适用例1 景觀案③



图-12 适用例4 景觀案①

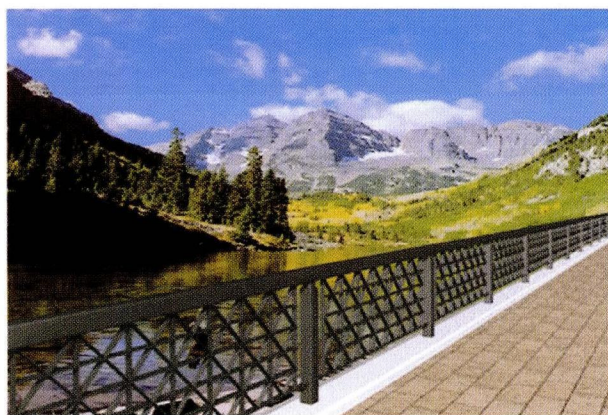


图-10 适用例2 景觀案①

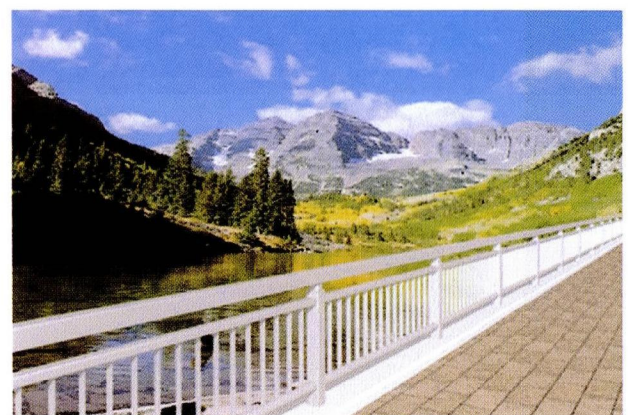


图-13 适用例5 景觀案①

図-9 と図-13 を比較すると、いずれも異なる特徴を持っているものの、求めるコンセプトが満たされていることから、似通った雰囲気のある景観案であると思われる。

6. 結論およびあとかぎ

本研究では、学習済みのニューラルネットワークを評価関数とする免疫アルゴリズムを用いて、橋梁高欄の景観設計支援システムの構築を試みた。

構築したシステムを実行した結果、以下のような結論が得られた。

- ・学習済みのニューラルネットワークによって、ランダムに発生させた景観案に対して評価を出力し、それをもとに免疫アルゴリズムを用いることで求めるコンセプトを満たす複数の異なる性質をもった景観案を提示することが出来た。
- ・複数の異なる性質をもった景観案を提案することで、利用者がその中から好みの案を選択する事が可能となった。
- ・既存の高欄部品の組み合わせと、色彩によって違ったイメージの高欄を提案できることがわかった。
- ・CGで景観案を可視化することで、各適用例の景観案の比較が容易に行うことができた。

構築したシステムから、複数の異なる性質をもった景観案を得ることができ、求めるコンセプトを満たしていることから、専門家に頼ることなく景観を考慮した橋梁高欄を設計することが可能となる。景観コンセプトを満たす複数の景観案を提示することができることから、橋梁高欄に対する多様なニーズに応えられることがわかった。

数値計算を通じて、本システムの有効性が確認できたが、さらに以下の改良点が考えられる。

- ・高欄部品を上、中、下、支柱の4つに分類したが、より詳細に部品分けをすることで、より新しいデザインを提案できると考えられる。
- ・本研究では、サンプルに対する評価を専門家に依頼していないが、専門家が評価することでよりシステムの精度を上げることが可能であると考えられる。
- ・CG化した景観案に対してサンプルと同様に評価したものをサンプルに加え、再びニューラルネットワークで追加学習を行うことで評価関数の成長が期待できると考えられる。
- ・実用化をさらに進めるには、専門家が評価しやすいようにシステムを構築することや、提案された景観案を即可視化できる環境が必要である。
- ・条件によっては、あまり適しているとは思えない景観案

が提案されている。原因としては、本研究でサンプルとした写真に偏りがあることが考えられる。また、それぞれ写真の角度や見え方、大きさにばらつきがあるためサンプルを見直す必要がある。

- ・システムの構築にニューラルネットワークを用いたが、ニューラルネットワークの評価はブラックボックス的で、評価に対する説明能力に欠けるため、評価ルールが明確な手法を適用することにより、各景観案の評価の根拠を明らかにする必要がある。

以上のように多くの改良点はあるものの、今回提案したシステムは、実用化の第一歩としては十分有用であると考えられ、現在商品化を進めている。

参考文献

- 1) 古田均・中村幸一郎・堂垣正博：新設および既設桁橋の景観設計支援システムの構築，構造工学論文集，Vol. 46A，2000。
- 2) 保田敬一：橋梁景観設計への感性工学手法の適用に関する研究，鳥取大学博士論文，1999。
- 3) 森一之・築山誠・福田豊生：多様性をもつ免疫的アルゴリズムの提案と負荷割当て問題への応用，電気学会論文誌C，113巻10号，pp. 872-878，1993。
- 4) 森一之・築山誠・福田豊生：免疫アルゴリズムによる多峰性関数最適化，電気学会論文誌C，117巻5号，pp. 593-598，1997。
- 5) 中村秀明・宮本文穂・松本剛：改良型免疫アルゴリズムによる多峰性関数の最大値の探索，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. 97-102，1999。
- 6) 石田好輝・平山博史・藤田博之・石黒章夫・森一之：免疫型システムとその応用—免疫系に学んだ知能システム—，コロナ社，1998。
- 7) 伊庭斉志：遺伝的アルゴリズムの基礎—GAの謎を解く—，オーム社，1994。
- 8) 坂和正敏・田中雅博：ニューロコンピューティング入門，森北出版，1997。
- 9) 寺田学：橋ものがたり，JTB日本交通公社出版，1995。
- 10) 松村博：橋梁景観の演出，鹿島出版会。
- 11) 成瀬輝男：鉄の橋百選，東京堂出版。
- 12) 東京商工会議所：カラーコーディネーター検定試験3級テキスト，中央経済社。
- 13) (社)日本橋梁建設協会：橋梁年鑑

(2002年9月13日受付)