

(24) 橋梁の景観設計へのニューラルネットワークの適用

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TO AESTHETIC DESIGN OF BRIDGES

古田 均* , 保田 敬一**
Hitoshi FURUTA , Keiichi YASUDA

In the recent years, the importance of the landscape in the environmental design of bridges is being greatly acknowledged. The present study concerns with the development of a method which, by applying the learning ability of the neural network to the data of past bridge designs, attempts to quantify and assess the landscape design. The data, totaling over 100 bridges, were collected from the 'Bridge Annals' and include both objective and subjective data of continuous girder and arch bridges.

Key Words: neural network, landscape design, bridge

1. まえがき

橋梁設計における景観の重要性は最近の社会的ニーズから広く認識されるようになってきた。しかし、実務で景観設計を行うには、橋の形態やその周辺環境等多くの要因を考えねばならず、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。橋梁の設計は、経済性、施工性、維持管理さらに景観性等を考慮して行うが、景観は主観的、客観的な要素が入り混じったものになる。また、その評価も人によって、あるいはその状況によっても変化するため、定量的にとらえることは困難である。さらに、エキスパートシステム等を構築するための有意なルールを作成することも容易ではない。

以上に鑑み、本研究ではニューラルネットワークの学習機能を利用して過去の橋梁設計例を学習させることにより、橋梁の景観設計の定量的評価を試みた。さらに、橋梁の景観設計において重要な要素である色彩に関する項目と周辺環境との調和についても含めたものとしている。

2. 景観設計の問題点

橋梁の設計にあたっては、多くの検討を行わなければならないが、その中でも景観設計は最近の社会的ニーズから重要検討項目とされるようになってきた。景観設計に影響を与える要因としては多くのものが考え

* 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科

** (株) ニュージェック 土木第二部

られ、橋梁自体の形の美しさの他に周辺環境との調和が求められている。このため、景観設計に係わるすべての要因を考慮して、最適設計案を作成することは容易ではない。

景観設計の現状は、その設計の複雑さから定まったものがなく、その評価も定性的なものになりがちである。さらに、景観設計は多くの労力と時間を必要とし、景観について考慮している時間が十分にとれないなどの問題点を抱かえている。したがって現場の実状としては、代替案として数種類のパースの作成を行い、最適設計案を決定していることが多い。

景観設計の流れを図-1に示すが、橋梁設計の中で景観は最初のデザインコンセプト作成から細部処理に至るまで全てにおいて係わってくる。したがって設計にあたっては最終形状をよく見きわめた上で、経済性、施工性、維持管理、景観性等を考慮して橋の形を決定しなければならない。ところが、景観は経済性などの指標とは異なり、主観的なものや客観的なものが入り混じったものとなるため、定量的な評価を行うことは困難である。さらに、その評価も人によって、あるいはその状況によって変化する。

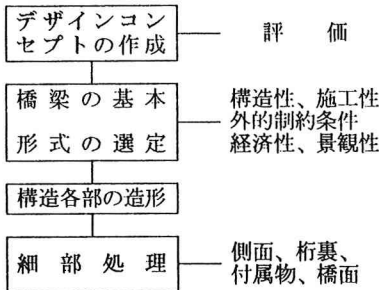


図-1 景観設計の流れ

3. アンケート調査

橋梁の景観設計における評価結果である”美しさ”、”力強さ”、”安定感”といった項目は人によって感じ方がそれぞれ違う。それは、形式、形状、色といった要因が複雑に関連しあっているためで、景観に影響を及ぼす要因をしばり込むことは容易ではない。そこで、考えられる景観要因及び評価結果をできるだけ考慮してその入出力データとした。

桁橋およびアーチ橋の景観評価に影響を与えている要因として、表-1および表-2に示す項目を考えた。これらの客観的データは、既往の資料から収集した。なお、対象とした橋梁は、昭和62年施工から平成3年施工までの桁橋104橋、アーチ橋113橋である。

評価結果としては、表-3に示す27項目を考えた。これらは、複数の評価者が橋梁年鑑の完成写真を見て、5段階評価を行っている。

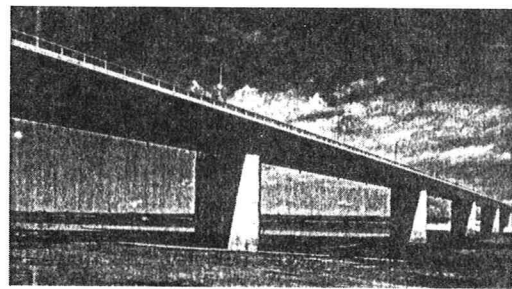


図-2 橋梁年鑑の写真（桁橋）

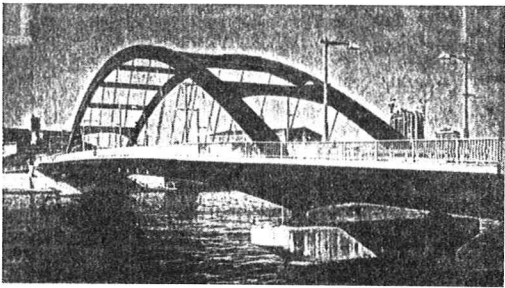


図-3 橋梁年鑑の写真（アーチ橋）

表-1 桁橋の景観評価要因

分年ベ		類度ジ		H3 71	H3 72	H3 74	
橋梁名		A橋	B橋	C橋			
上 部 工	1.形式	1.径間数	3	2	3		
	2.形式	連続箱桁	連続箱桁	連続箱桁			
	2.連数		3	4	2		
	3.色彩	1.高欄	灰	灰	黒		
		2.桁	緑	青	黄		
		3.地覆	赤	灰	灰		
	4.明度	1.高欄	高	高	低		
		2.桁	低	高	中		
		3.地覆	高	中	中		
	5.彩度	1.高欄	中	中	低		
	2.桁	低	高	中			
	3.地覆	高	中	中			
下部工	1.形 状	単柱T型	単柱版型	単柱版型			
	2.断面形状	小判	小判	小判			
付 属 物	1.高欄	縦縞	縦縞	縦縞			
	2.照明	一般	無	一般			
	3.遮音壁	無	無	無			
	4.排水管	縦引き	縦引き	縦引き			
コ ン ポ ジ シ ョ ン	1.視距離	中景	近景	中景			
	2.視点	1.入射角位置	30	30	30		
		2.高さ位置	横	下	上		
	3.背 景		川	川	川		
	4.背景の色彩	1.上層	青	青	緑		
		2.下層	緑	青	灰		
	5.背景の明度	1.上層	高	中	中		
		2.下層	中	中	中		
	プ ロ ポ シ ョ ン	1.スパン比	1.0~1.5	~1.0	1.0~1.5		
		4.スパン橋脚高比	15~20	20~25	5~10		
3.桁高変化比		1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0			
4.スパン高比		25~30	20~25	25~30			
5.幅桁高比		80~10	2~4	4~6			

表-2 アーチ橋の景観評価要因

分年		年度				
ベ		H3	H3	H3		
一		10	12	91		
橋梁		X橋	Y橋	Z橋		
1.形式		1.橋種	ローゼン	チンガー		
		2.路面位置	上路	下路		
		3.7-9割の傾斜	ハスケット	ハスケット		
			平行			
上 部 工	2.幅員 (m)		9.2	9.0	9.2	
	3.部材	1.7-チ	1.支間 (m)	190.0	183.4	55.0
		2.7-チ	2.7-チ (m)	35.0	28.0	14.0
		3.主橋間隔 (m)	6.5	2.0	7.2	
		4.部材	1.クラッ	2.2	1.8	0.5
		高 (m)	2.2	1.8	0.5	
	2.桁	5.形状	箱形	箱形	箱形	
		1.形状	箱形	箱形	I断面	
		2.桁高 (m)	1.6	1.2	1.4	
	3.吊材	1.形状	箱形	円形	I断面	
2.間隔 (m)		10.0	11.3	6.9		
4.色彩		1.7-チ, 桁, 吊材	茶	赤	赤	
下部工		1.クリアランス (m)	91.0	60.0	29.0	
付 属 物	1.高欄		縦格子	縦格子	横棧	
	2.照明		無	無	一般	
	3.排水		横引	無	縦引	
コン ジ ョ ン	1.視距離		中景	近景	中景	
	2.視点	1.視線入射角	斜め側方	斜め側方	側面	
		2.高さ	水平	水平	水平	
	3.背景		山	山	山	
	4.背景の色彩	1.上層	緑	濃い緑	緑	
2.下層		緑	濃い緑	濃い緑		
ア・ド・ソ		1.スパンライズ比	5.43	6.55	3.93	

表-3 景観評価結果

	2	1	0	-1	-2		
1 美しい						醜い	中間
2 魅力のある						魅力がない	主観的
3 好きな						嫌いな	主観的
4 親しみやすい						親しみにくい	中間
5 目立つ						目立たない	客観的
6 個性的な						個性がない	中間
7 印象的な						印象が薄い	中間
8 力強い						弱々しい	客観的
9 動的な						静的な	客観的
10 機能美がある						機能美がない	中間
11 安定した						不安定な	客観的
12 落ちついた						落ちつかない	中間
13 自然な						不自然な	中間
14 調和した						調和していない	客観的
15 まとまりのある						ばらばらな	客観的
16 リズム感がある						単調な	中間
17 すっきりしている						煩雑な	客観的
18 すがすがしい						うっとおしい	客観的
19 解放感がある						圧迫感がある	中間
20 柔らかな						堅い	客観的
21 近代的な						古臭い	客観的
22 洗練された						野暮ったい	客観的
23 均整のとれた						均整のとれていない	客観的
24 明るい						暗い	客観的
25 軽快な						鈍重な	客観的
26 重厚な						軽薄な	客観的
27 冷たい						暖かい	中間

4. システムの構築

4. 1 ニューラルネットワークによるシステム構築

ニューラルネットワークは複数のユニットの集合体である。ユニットは図-4のように複数の入力 I_k と1つの出力 Q 、各入力に対する重み W_k とユニットのしきい値 h によって構成される。ここで出力値 Q は

$$Q=f(\sum W_k \cdot I_k - h) \quad (1)$$

として定義される。ここで一般に、関数 f としては次のシグモイド関数が用いられることが多い。

$$f(x)=1/(1+\exp(-x)) \quad (2)$$

このユニットが複数個結合することによりニューラルネットワークが形成される。

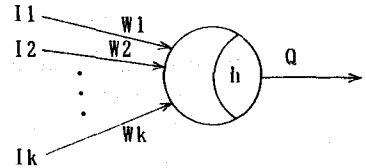


図-4 ユニットの構造

システム構築には、学習機能をもったニューロコンピューティングソフト'CRC製RHINE'を用いる。このソフトは、入力値と出力値のサンプルデータを与え、学習させることによってそのサンプルデータを模倣するものである。計算に用いたニューラルネットワークは、中間層を1層とした3層の階層型モデルで、各層のユニット数は表-4に示すとおりである。また、学習方法はバックプロパゲーションを用いている。ニューラルネット

表-4 各層のユニット数

	桁 橋	アーチ橋
入力層	7 8	8 4
中間層	4 0	4 0
出力層	5	5

ワークの階層や中間層の数については、学習収束時の平均誤差を比較することにより決定した。入力値は景観評価要因で、その中の数値データについては数値をそのまま入力した。また、分類されているものについては、例えば路面位置という項目では、その内容がA：上路、B：中路、C：下路というふうに分類されていて、Cの下路が該当する場合、

$$(A, B, C) = (0, 0, 1)$$

で表す。

また、出力は景観評価結果で、2, 1, 0, -1, -2の5段階であり、例えば出力が1であることを

$$(2, 1, 0, -1, -2) = (0, 1, 0, 0, 0)$$

で表している。

このようにして作成された桁橋104橋、アーチ橋113橋の学習データについて学習を行わせた。なお、学習は平均2乗誤差の制限を特に設けずに、誤差が小さいところで落ちついた状態になったと判断した時点で終了した。

5. 適用例

桁橋104橋、アーチ橋113橋についてニューラルネットワークによる昭和62年から平成3年までの橋梁データを学習させ、システム構築を行った。そのシステムを用いて、平成4年度の学習させていない橋梁データによるシステムの妥当性を計算した。

実際の評価とRHINEによる評価を表-5、表-6に示す。RHINEによる出力値は、評価項目が2, 1, 0, -1, -2における各々の数値がその認識の程度を表している。例えば、アーチ橋の橋梁1では、分類1のやや美しい含まれる可能性が0.946と最も高くなり、この橋梁はやや美しいと判断される。主観的な評価結果である”美しさ”を例にとると、うまく学習できていないパターンが数パターンあるが、桁橋、アーチ橋ともにおおむね評価結果と実際の評価とが一致しているといえる。評価が一致しない原因については、評価要因が今回とりあげた以外にもあると考えられること。さらにデータの質の問題があげられる。もともと評価自体があいまいさを含んだものであり、その評価基準も時間とともに変化していったのではないかと考える。

表-5 桁橋のシステム評価

橋梁 の 評価	実際の 評価	RHINEによる評価				
		2	1	0	-1	-2
		美しい		中間		醜い
1	2	0.005	0.002	0.126	0.796	0.003
2	1	0.169	0.001	0.936	0.002	0.005
3	0	0.000	0.025	0.992	0.003	0.001
4	1	0.005	0.422	0.410	0.000	0.020
5	0	0.021	0.000	0.050	0.815	0.024
6	0	0.002	0.797	0.001	0.469	0.093
7	0	0.024	0.007	0.929	0.065	0.022
8	1	0.003	0.144	0.870	0.072	0.002
9	0	0.020	0.187	0.918	0.018	0.010
10	0	0.002	0.080	0.819	0.003	0.027

◎：評価が同じ
○：評価が1ランク違う
△：評価が1ランク以上違う
×：符号が反転するもの

表-6 アーチ橋のシステム評価

橋梁 の 評価	実際の 評価	RHINEによる評価				
		2	1	0	-1	-2
		美しい		中間		醜い
1	2	0.075	0.946	0.000	0.002	0.002
2	0	0.011	0.080	0.987	0.001	0.000
3	-1	0.001	0.990	0.002	0.003	0.012
4	2	0.710	0.015	0.047	0.015	0.044
5	0	0.001	0.585	0.032	0.286	0.000
6	1	0.001	0.563	0.100	0.281	0.013
7	1	0.029	0.958	0.005	0.024	0.000
8	0	0.000	0.011	0.993	0.112	0.005
9	1	0.006	0.961	0.040	0.003	0.000
10	0	0.000	0.714	0.138	0.011	0.002
11	0	0.000	0.008	0.963	0.032	0.002
12	1	0.003	0.978	0.004	0.020	0.002
13	0	0.040	0.946	0.018	0.008	0.006
14	1	0.037	0.944	0.080	0.004	0.001
15	1	0.021	0.925	0.012	0.004	0.006
16	0	0.001	0.009	0.953	0.383	0.017
17	1	0.006	0.680	0.234	0.089	0.138
18	1	0.044	0.805	0.327	0.010	0.049
19	0	0.030	0.803	0.467	0.004	0.002
20	-1	0.000	0.653	0.540	0.002	0.011
21	0	0.006	0.185	0.859	0.020	0.000
22	0	0.001	0.271	0.889	0.087	0.001
23	1	0.687	0.716	0.003	0.000	0.000
24	1	0.062	0.831	0.036	0.063	0.052
25	-1	0.543	0.089	0.259	0.091	0.031
26	2	0.467	0.808	0.004	0.001	0.000
27	-2	0.000	0.028	0.484	0.495	0.073
28	1	0.072	0.559	0.005	0.002	0.006

◎：評価が同じ
○：評価が1ランク違う
△：評価が1ランク以上違う
×：符号が反転するもの

6. あとがき

今後の対策として、ニューラルネットワークの問題点である中身がブラックボックスであることについては、2層モデルで各重みを検討し、各景観要因に対する重要度の検討を行うこと、あるいは、事例学習により自動生成されたルールの結果との整合を図ることによる要因の削除、追加の影響を検討する。また、もうひとつの問題点である学習データの収集法とその質と量については、桁橋、アーチ橋ともに100橋程度と量的には十分なものであったが、その質については再度検討する必要がある。また、人による評価の違いを検討するために、写真を画像データベースにとりこみ、複数の人が評価できるように現在その準備を行っている。

参考文献

- 1) 加藤雅史・田中信治・大場邦弘：アンケートに基づく橋梁の景観評価に関する一考察, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 535-542, 1990. 3
- 2) 阪神高速道路公団報告書：橋梁設計におけるエキスパートシステムの応用に関する研究業務（その3）, 1990. 3
- 3) 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
- 4) 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