

(19) 土木構造物のエコ・フレンドリー設計支援システムの構想
A SYSTEM DESIGN FOR ASSISTING 'ECO-FRIENDLY' DESIGN IN CIVIL STRUCTURES

古田 均* 広兼道幸** 田中成典***
Hitoshi FURUTA, Michiyuki HIROKANE, Shigenori TANAKA,
三雲是宏**** 小林孝史*****
Yukihiro MIKUMO, and Takashi KOBAYASHI

Civil structures, that are infrastructure in the public, are almost mid small-scale, and almost left the kind of monument out of account. So, it is desirable that the mid small-scale civil structures are designed to harmonize with the surrounding environment of human life.

In this study, we discuss the concept of 'Eco-Friendly' as an aspect that civil-structures harmonize with the environment of human life. We take the color of upper structure of steel bridges as an example to discuss the evaluation items in order to make the concept of 'Eco-Friendly' clear, and apply the theory of 'Rough-Sets' and the technique of 'Genetic Algorithm' to grasp the evaluation items presenting the concept of 'Eco-Friendly'. We apply the 'Fuzzy theory' on the relation concerned evaluation items and color, and discuss the technique which determine the 'Eco-Friendly' color of the upper structure of steel bridge.

*Key Words:*Eco-Friendly, evaluation items, Rough Sets, Genetic Algorithm, Fuzzy

1. まえがき

最近、モニュメント性を重要視した大規模な土木構造物が注目されている。しかし、社会のインフラストラクチャである土木構造物は、モニュメント性を度外視した中小規模のものがほとんどである。そのため、中小規模の土木構造物は、人間が生活する周辺的环境と調和するように設計されることが望ましい。そこで、本研究では、人間が生活する周辺的环境に土木構造物が調和するといった様相として、エコ・フレンドリー (Eco-Friendly) という概念を提案する。

まず、第2章では、鋼橋の上部構造の色を例として、エコ・フレンドリーという概念を明確にするために評価項目を検討する。

次に、第3章では、エコ・フレンドリー度の概念を表す評価項目を把握するために、ラフ集合 (Rough Sets) 論¹⁾と遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) 手法^{2) 3)}を適用する。

第4章では、遺伝的アルゴリズム手法での解の評価方法に係る問題について検討する。

第5章では、評価項目と色の関係を明らかにし、鋼橋の上部構造のエコ・フレンドリーな色を決定する手法を検討する。絞り込まれた評価項目と色の関係にファジィ (Fuzzy) 理論を適用する。

最後に、本研究の成果について述べ、今後の研究課題を明らかにする。

*	工博	関西大学教授	総合情報学部	(〒569	高槻市霊仙寺町2-1-1)
**		関西大学専任講師	総合情報学部	(〒569	高槻市霊仙寺町2-1-1)
***	工修	関西大学専任講師	総合情報学部	(〒569	高槻市霊仙寺町2-1-1)
****		東洋情報システム	大阪公共システム事業部	(〒564	吹田市江坂町1-13-33)
*****	工修	関西大学助手	総合情報学部	(〒569	高槻市霊仙寺町2-1-1)

2. エコ・フレンドリーの概念評価

本研究では、中小規模の土木構造物のエコ・フレンドリーという概念をモニュメント性ではなく、人間が実際に生活する場における環境との調和であると規定する。しかしながら、エコ・フレンドリーという概念を具体的にイメージし、それを定義付けることは容易ではない。そこで、本研究では、鋼橋の上部構造の色を例として、エコ・フレンドリーという概念を大雑把な評価項目で定義した。そして、上部構造の色と評価項目についてのアンケート結果に対して、ラフ集合論と遺伝的アルゴリズムを駆使して評価項目を洗練すると同時に、エコ・フレンドリー度を把握する方法を考案した。

2. 1 評価項目の設定

鋼橋の上部構造に関するエコ・フレンドリーな色を定義する上で、次の事項を勘案しながら表1に示す評価項目^{4) 5)}を考えた。

- ・構造形式：桁橋、トラス橋、アーチ橋、ラーメン橋、斜張橋、吊橋
- ・周辺環境：山間部、平野部、河川部、海岸部、都市部（住宅地、市街地、商業地など）

2. 2 アンケートの実施

設計者の感性を抽出するために熟練した橋梁設計技術者を対象に、鋼橋上部構造の色と評価項目（表1）に関するアンケート調査を行う。アンケートには、評価項目ごとに5段階の評点で回答してもらう。アンケートで用いる橋梁は、文献6）の事例と実際に観察した事例を用いる。

3. GAによる評価項目の自動抽出方法

評価項目の決定フローチャートを図1に示す。まず、全評価項目の中から n 個（ $n \geq 2$ ）の評価項目を任意に抽出する。具体的には、各々の評価項目をGAで用いる遺伝子に対応させ、ランダムに「0」か「1」の値を振り遺伝子配列0を作成する。ここでは、「1」がたった遺伝子に対応する評価項目を抽出する。そして、抽出した評価項目の評点からエコ・フレンドリー度を決定し、その大・中・小に応じて3つのグループに分類する。この分類から、エコ・フレンドリー度が大きいグループの事例を抽出し、この事例を対象にした評価項目の絞り込みを行う。そして、絞り込まれた評価項目から再度エコ・フレンドリー度を決定する。この値と評価項目の個数などをもとに評価関数を決定し、遺伝子配列0の優劣を表す指標である適応度0を求める。

表1 評価項目と尺度

項目	尺度				
	5	4	3	2	1
1	個性	_____	_____	_____	平凡
2	鋭軽	_____	_____	_____	鈍重
3	安定	_____	_____	_____	不安定
4	動的	_____	_____	_____	静的
5	力強い	_____	_____	_____	弱々しい
6	単純	_____	_____	_____	複雑
7	バランスがよい	_____	_____	_____	バランスが悪い
8	スマート	_____	_____	_____	野暮ったい
9	自然的	_____	_____	_____	人工的
10	解放	_____	_____	_____	圧迫
11	親しみやすい	_____	_____	_____	親みにくい
12	美しい	_____	_____	_____	美しくない
13	好感がもてる	_____	_____	_____	好感がもてない
14	背景と調和している	_____	_____	_____	背景と調和していない
15	目立つ	_____	_____	_____	目立たない
16	派手	_____	_____	_____	地味
17	落ち着く	_____	_____	_____	落ち着かない
18	明るい	_____	_____	_____	暗い
19	気になる	_____	_____	_____	気にならない

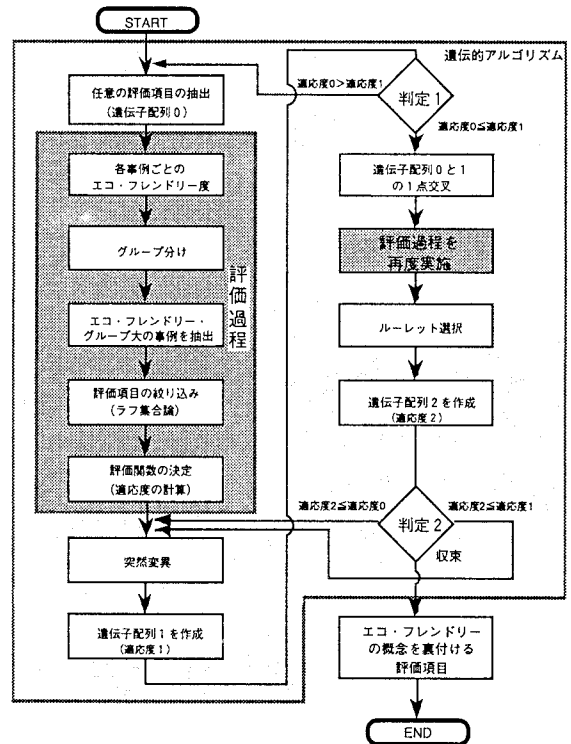


図1 評価項目の決定フローチャート

次に、遺伝子配列0を突然変異させ、遺伝子配列1を作成する。ここで、上記の評価関数により遺伝子配列1の適応度1を求め、判定1を行う。適応度1が適応度0より大きい場合は、遺伝子配列0と遺伝子配列1を1点交叉させ、再度、評価過程を実施する。一方、適応度1が適応度0より小さい場合は、遺伝子配列0を作り直し評価過程から判定1までを実施し1点交叉ができるまで繰り返す。1点交叉、評価過程を経るとルーレット選択によって適応度の高い遺伝子配列を選別し、遺伝子配列2を作成する。続いて、その適応度2を適応度0、適応度1各々と大小比較する判定2を行い、世代交代を繰り返してエコ・フレンドリー度を決定付けるのに最適な評価項目を自動抽出する。

3. 1 エコ・フレンドリー度とグループ分けの決定方法

任意に抽出した評価項目の評点を合計したものをエコ・フレンドリー度 $\langle m \rangle$ とする。エコ・フレンドリー度 $\langle m \rangle$ を用いて、各事例を次の3つのグループに分類する。

- ・グループ1 [エコ・フレンドリーでない] ; $0 < m \leq 5n/3$
- ・グループ2 [どちらともいえない] ; $5n/3 < m \leq 10n/3$
- ・グループ3 [エコ・フレンドリーである] ; $10n/3 < m \leq 5n$

3. 2 ラフ集合論による最適な評価項目の抽出

「評価項目の絞り込み」過程で、最適な評価項目を抽出するためにラフ集合論を用いる。ここでは、任意の評価項目を取り除くことで矛盾が生じるか否かを判定しながら、矛盾が生じなかった場合は、エコ・フレンドリー度を決定するための評価項目の組み合わせが適切でなかったと判断し、再度、エコ・フレンドリー度を決定して最適と思われる評価項目の抽出を試みる。

具体的には、まず、景観事例と評価項目別の評点とエコ・フレンドリー・グループを表2のような一覧にする。この表は、評価項目1, 2, 6がエコ・フレンドリー・グループを決定するための評価項目として抽出された例である。例えば、この表から評価項目1を取り除いた場合、事例(i)と事例(i+1)に対する評価項目2と6の評点は同一となっているが、異なったエコ・フレンドリー・グループに属している。このことより、評価項目1がエコ・フレンドリー・グループを決定するために必要な評価項目であると判断することができる。同様に、評価項目2と6についてもそれぞれを取り除き矛盾の有無を調べる。

表2 項目別ポイントの一覧

このように、各評価項目を取り除き、矛盾が生じた場合は、エコ・フレンドリー・グループを決定するための評価項目の組み合わせが適切であったと判断し次の処理を行なう。逆に、矛盾が生じなかった場合は、エコ・フレンドリー・グループを決定するための評価項目の組み合わせが適切でなかったと判断し、再度、3.1節のエコ・フレンドリー度の決定から最適と思われる評価項目の抽出を試みる。

評価項目 景観事例	1	2	3	4	5	6	-----	19	エコ・フレンドリー グループ
事例1	4	4	2	3	2	4	-----	3	3
事例(i)	1	3	4	2	1	4	-----	3	2
事例(i+1)	5	3	4	2	1	4	-----	3	3

4. 最適な評価項目の絞り込みによる問題

エコ・フレンドリーの概念を適切に決定する評価項目を絞り込む際には、評価項目の数、各評価項目の信憑性、評価項目のパターンという3つの事項の相互関係について検討する必要がある。図2にこれらの相互関係と絞り込みの際に検討すべき3つの問題を示す。

GAで用いる評価関数には、これらの問題を定量的にとらえる工夫を反映させる必要がある。

4. 1 評価項目の数と各評価項目の信憑性の関係

エコ・フレンドリー度を決定する評価項目の数が少ない場合、1項目を削除することは全体へ及ぼす影響が大きく、逆に評価項目の数が多い場合は1項目を削除しても全体へ大きな影響はないものと想像される。

3.2節で述べたラフ集合論に基づいて評価項目の絞り込みを行う場合、評価項目をかりに削除した場合に矛盾のないときに限ってその評価項目を取り除くことができる。これ以外の場合、評価項目を削除したときに生じる矛盾の数は各評価項目によって異なり、その数が多いものほど評価項目の信憑性が高い。それゆえ、信憑性の低い(矛盾の数が少ない)評価項目は、全体の評価項目の数を考慮して削除することができると考えられる。

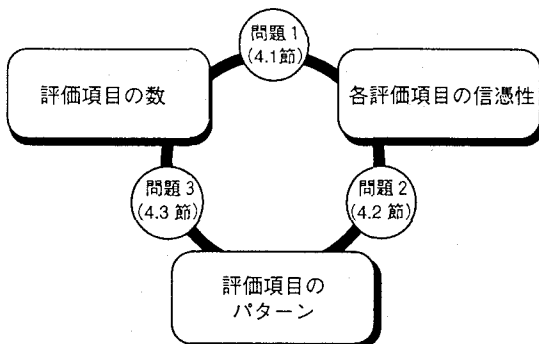


図2 3事項の相互関係と絞り込みに伴う問題

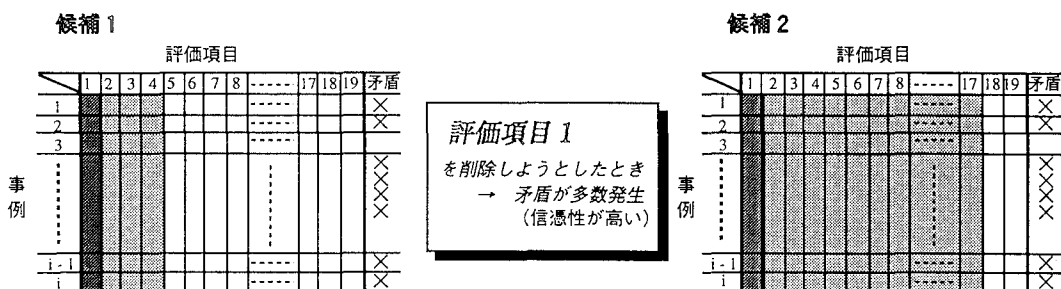


図3 評価項目の数と各評価項目の信憑性の関係を考慮した操作

例えば、図3のように、エコ・フレンドリー度を決定するための評価項目として4項目が選択されている候補1と17項目が選択されている候補2がある場合を考える。候補1は候補2に比べ項目数が少なくなっている。このため、候補1から1項目を削除することは全体へ及ぼす影響が大きく、逆に候補2から1項目を削除しても全体へ大きな影響はないものと想像される。このとき、削除しようとする項目の信憑性の高低も考慮する必要がある。仮に、項目1を削除しようとする場合、候補1では項目数の少ないことと信憑性の高さを考慮して削除せず、候補2では項目数の多いことから信憑性の高さを度外視して削除するなどの操作が必要である。

また、上記に加えて事例の数も考慮する必要がある。例えば、候補1、候補2共に、事例数が極端に小さいと仮定したとき、1個の矛盾が項目の信憑性に与える影響は大きくなる。これにより、項目別の信憑性がばらつきのない両極端なものになると考えられ、事例は多めにとっておく注意が必要である。

4. 2 各評価項目の信憑性と評価項目のパターンの関係

エコ・フレンドリー度を決定する評価項目は、互いに概念や観点の類似や違いがあると考えられる。このことから、選択された項目の組合せパターンでエコ・フレンドリーの概念を適切に決定しているかどうかの評価が変化する。それゆえ、信憑性の低い評価項目は評価の高くなる項目パターンをくずさないように削除する必要がある。

例えば、図4のように、エコ・フレンドリー度を決定する評価項目として項目1～4、7が選択されている候補1、項目1、3、7、18が選択されている候補2、項目1、3、5、6、7、19が選択されている候補3がある場合を考える。また、各々の候補の評価を高くする項目パターンが仮に「1、3、7」であるとする。このとき、削除しようとする項目が、評価を高くする項目パターンに含まれているかどうかを考慮する必要がある。仮に、項目1を削除しようとする場合、項目1が項目パターン「1、3、7」に含まれていることを考慮に入れ、その信憑性の低さを度外視して削除しないなどの操作が必要である。

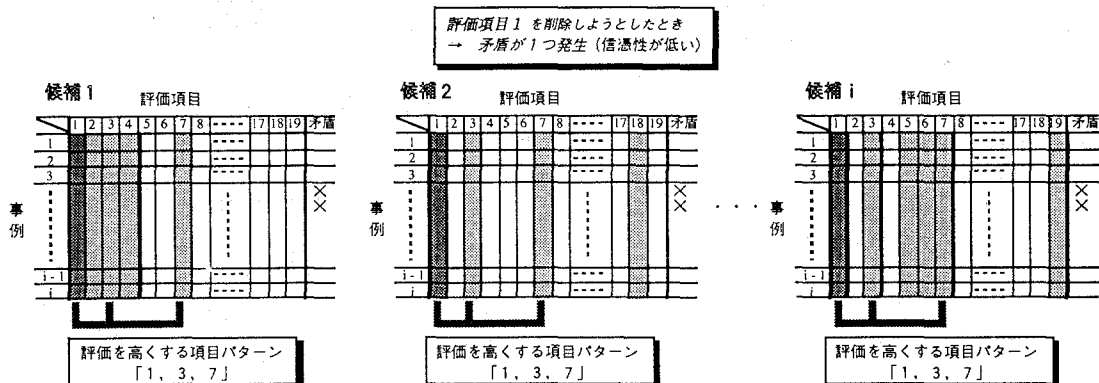


図 4 各評価項目の信憑性と評価項目のパターンの関係を考慮した操作

4. 3 評価項目のパターンと評価項目の数の関係

エコ・フレンドリー度を決定する評価項目は、その組合せパターンに加えて項目数の多少でエコ・フレンドリーの概念を適切に決定しているかどうかの評価が変化すると考えられる。

例えば、図 5 のように、選択された評価項目の数が同じでパターンが異なる候補 1 と候補 2、互いにパターンも項目数も異なる候補 2 と候補 3、一部パターンが同じで項目数の異なる候補 3 と候補 1 がある場合を考える。このとき、両者の違いに応じて各々の評価をどのように決定するかをよく吟味し操作方法を考案する必要がある。

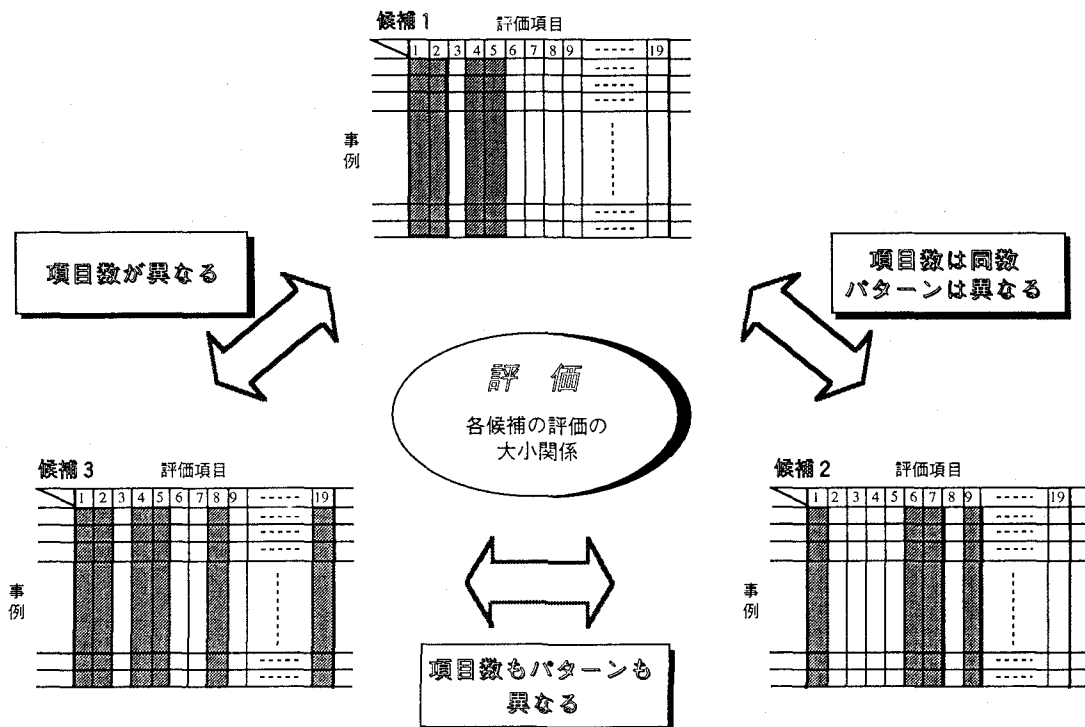


図 5 評価項目のパターンと評価項目の数の関係による評価の検討

5. エコ・フレンドリーな色の決定

色の決定フローチャートを図6に示す。3章で洗練された評価項目の評点と鋼橋の上部構造の色との関係に対して、ファジィ理論を適用してエコ・フレンドリーな色を決定する。そこでは、エコ・フレンドリー度を決定付けるのに最適な評価項目を自動抽出し、橋梁景観の事例毎に上部構造の色(R,G,B値)と評価項目の評点の関係をメンバーシップ関数で表す。そして、評価項目別の評点を入力して、この関係をもとに鋼橋の上部構造の色を決定する。

具体的には、まず、橋梁景観の事例毎に、上部構造の色(R,G,B値)とエコ・フレンドリー度を決定する評価項目の評点の関係(図7-(a))を作成する。

さらに、この関係をもとに、評価項目の評点がそれぞれのR,G,B値を次の3事象に寄与する度合いを表すメンバーシップ関数(図7-(b))を作成する。

- ・ R,G,Bの値を大きくする(大)
- ・ R,G,Bの値を中くらいにする(中)
- ・ R,G,Bの値を小さくする(小)

R,G,B値(0~255)は、大(171~255)、中(86~170)、小(1~85)の3つのレベルに分割し、それぞれ正規化する。

最後に、評価項目別に対する評点を入力して、以上の操作で作成したメンバーシップ関数から鋼橋の上部構造の色を決定する。

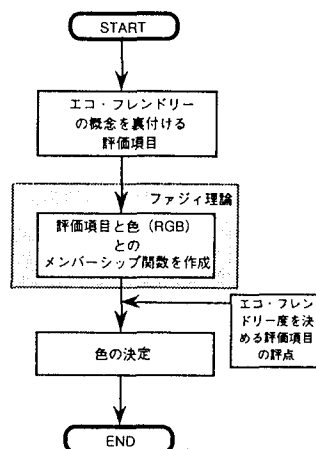


図6 色の決定フローチャート

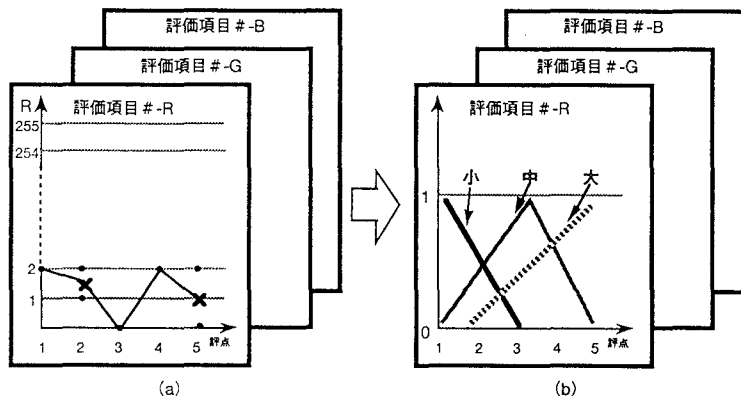


図7 評価項目の評点と色のメンバーシップ関数

6. あとがき

本構想では、「エコ・フレンドリー」という概念を把握するための1つの方法として、「鋼橋の上部構造の色」を例にラフ集合論と遺伝的アルゴリズム手法によって評価項目を自動抽出する方法を提案した。この方法により、エコ・フレンドリーの概念を把握する際に想定される試行錯誤を減らすことが期待できる。

次に、洗練された評価項目の評点から「鋼橋の上部構造の色」を決定する方法を示した。この方法を用いて、「鋼橋の上部構造の色」をCG (Computer Graphics) で具体的に表現することができる。

今後は、アンケートを実施し、提示した評価方法の問題を解決することによってエコ・フレンドリーの概念を表現した評価項目の自動抽出を行なう。そして、この結果に基づいて鋼橋の上部構造の色決定について実験する予定である。将来は、コンピュータ上でユーザが任意に鋼橋の景観を作成し、その上部構造にエコ・フレンドリーな色を自動生成させるようなシステムへと発展させることができると考えられる。さらに、種々の構造物パーツの組み合わせなどを考え、構造物設計の際の膨大な試行錯誤の手間を軽減することが可能なシステムを実現させたい。

参考文献

- 1) ラフ集合その理論と応用, 数理科学, No.373~378, 1994.7~1994.12.
- 2) 遺伝的アルゴリズム, 計測と制御, Vol.32, No.1, 1993.1.
- 3) 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1993.
- 4) 山本宏: 橋梁美学, 森北出版, 1980.
- 5) 伊藤学: 橋の造形, 丸善, 1995.
- 6) 日本橋梁建設協会: 橋梁年鑑平成5年版, 1993.