

異なる形式の河川橋梁に対する景観の評価支援システム

西土隆幸*・伊藤義人**

本論文は、異なる形式の河川橋梁に対する景観の定量的評価の支援方法について述べたものである。本研究では、エキスパートシステムの手法を用い、景観評価に関する多くの文献や専門家の知識をルール化したプロトタイプシステムを構築し、その実用性を確認した。また、エキスパートシステムを構築する際のシステムのメンテナンス、矛盾するルールの取り扱い、各モジュールの独立性に関する問題も検討した。

Key Words : expert system, landscape, bridge type selection

1. ま え が き

最適な橋梁形式の選定を行うための予備設計段階（1次選定）では、一般図を用いて10案程度の形式から3案程度の形式に絞り込むために経済性、走行性あるいは景観などを評価し、総合的な検討が加えられるのが一般的である。そして、選定されたその3案について、さらに詳細な検討が行われ、最終的な形式が選定される（2次選定）¹⁾。

橋梁の景観を定量的に評価しようとする場合、それが美的感覚などの主観的な問題を含んでいることから、これまで非常に困難な作業であるとされていた。そのようなことから、橋梁の景観を定量的に評価しようとする研究が、これまでも試みられている。

山本・早川²⁾は、橋梁の景観に関するアンケート調査を行い、計量心理学の手法により人間の持つ感情や感覚を定量的に表現する方法を論じている。古川³⁾は、ラーメン橋を対象に美観要因となる部材寸法比に対する好ましさの程度をファジィ理論を用いて評価している。杉山⁴⁾は、橋梁とその背景を水平成分、垂直成分に分解し、サイコベクトルにより定量的な評価を行っている。また、古田⁵⁾と白木⁶⁾は、アーチ橋を対象に現存するアーチ橋の構成部材や各部材寸法とそれらに関するアンケートによる景観評価をニューラルネットワークを用いてあらかじめ学習させておき、対象とするアーチ橋の景観を評価している。

これらの研究は独創的であり多くの有益な結果を得ているものの、計量心理学やファジィ理論を用いた景観の評価では、いずれも対象を1形式の橋梁としており、1次選定のような数案の異なる形式を選定する際の景観評

価には適用しにくい。また、サイコベクトル、あるいはニューラルネットワークを用いた景観の評価では、架設地点の背景や環境条件を考慮しにくく、古田らが指摘しているように、得られた評価結果に対する論理的な解釈が現時点では困難である。

景観を考慮するために委員会を設置するような特別な橋梁では、そのディテールなどが詳細に検討される。しかし、一般の橋梁形式の1次選定では、景観は、経済性や走行性の評価と同様に限られた時間のなかで評価しなければならず、その評価は必ずしも満足できるものではない。

本研究では、橋梁形式の1次選定における景観評価の精度向上と作業時間の短縮に重点を置くことにする。そこで、景観評価に関する専門家の知識などを蓄積することにより景観評価のメカニズムの解明を行い、これまで困難とされていた異なる形式の橋梁に対する定量的な景観評価を試みる。定量的な景観評価の第1ステップとしてエキスパートシステムの手法を用いプロトタイプシステムを構築し、実際の橋梁の形式選定に適用することにより、その実用性についての検討を行う。

ただし、本システムは、あくまでも設計者の景観評価の作業を支援するためのものであり、最終的な判断は設計者などの人間が行うべきである。なお、橋梁の架設地点の周辺環境は、千差万別であり、すべての環境に適用するシステムを構築することは困難であると考えられるので、本研究では対象を河川橋梁に限定する。

エキスパートシステムを構築する際、常に問題となるのが、システムのメンテナンス、矛盾するルールの取り扱い、各モジュールの独立性などである。本文では本システムを対象に、上述した諸問題を解決する方法についても考察を加えることにする。

* 正会員 工博 川田テクノシステム(株) 開発部係長
(〒114 東京都荒川区東日暮里 5-51-11)

** 正会員 工博 名古屋大学助教授 工学部土木工学科

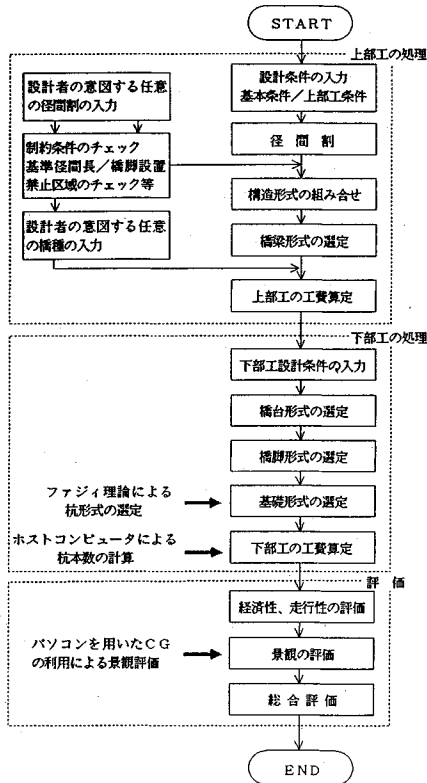


図-1 橋梁上下部工形式選定システムのフロー

2. 景観評価支援システムの構成

景観評価支援システムは、著者らが開発した図-1のフローを持つ橋梁形式選定システム⁷⁾の中の「景観の評価」の部分を支援するサブシステムとしての位置づけを持っている。すなわち、景観評価を行うときには、すでに経済性、走行性⁸⁾の評価が行われており、また、幅員、橋長、径間割、橋種などの基本的なデータも得られていることを前提としている。

橋梁形式選定システムでは、参考文献1)などの図表を利用して上部工の工費を自動的に算定する。また、必要に応じ橋台、橋脚の安定計算結果から得られる杭本数に基づき杭工費を自動的に算定することも可能である。

景観評価支援システムのフローとして図-2に示ものを考えた。前述したように、景観評価の際には基本的な入力データはすでに得られているのでデータ入力の際には、それらが格納されているファイルを読み出せばよい。また、入力の際には、必要であればルールやルールを補完するコメントをユーザーが追加作成できるようにしている。なお、本システムでは、入力などの作業は、すべて対話式で行う。

次に、入力された個々のデータを対象に景観評価ルールを用いて推論し、条件が一致する場合には、その評価

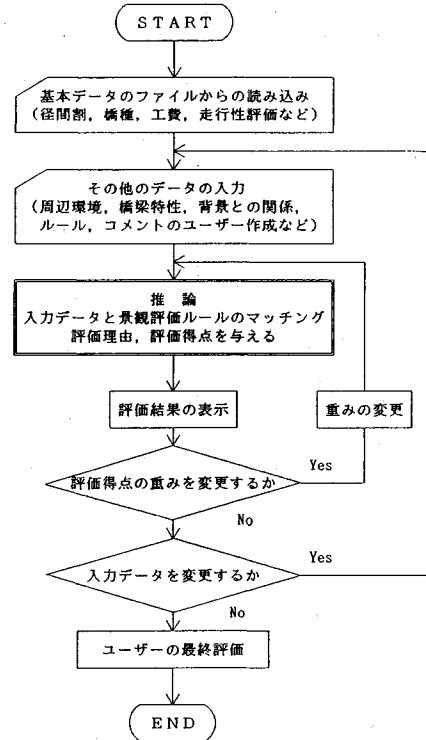


図-2 景観評価支援システムのフロー

を行う。評価は、橋梁形式（橋梁形式は複数の橋種から構成されている）ごとに行い、ユーザーは得られた評価結果を検査し、データや評価の重みを変更したい場合には、それらを再入力できるようにしている。

本システムでは、エキスパートシステム構築ツール KBMS (NTT ソフトウェア) を、プログラミング言語として、このツールの使用言語である Lisp を、そして、ワークステーションとして SUN-4 シリーズ (サンマイクロシステム) を用いている。

3. 景観の定量的評価支援方法

(1) ルールおよびコメントの作成方法

橋梁景観の評価に大きく影響する項目として、橋梁の形、架設地点の環境が考えられる。景観の専門家は、これらの項目を分離することなく対象とする橋梁の景観を評価している。しかし、本システムでこれらの項目を同時に評価することは困難であると考えた。そこで、今回提案する方法では、橋梁景観を次の2つの要素に分離して定量的な評価を行うことにする。

a) 単体の橋種もしくは、各橋種を組み合わせた橋梁の形態美

b) 周辺環境との調和性

そして、a), b) の評価値を加算することにより最終的な景観評価の支援結果が得られるとする。本システムで

の景観評価を行うための条件として、中景⁹⁾から橋梁の側面を眺めた場合とした。これは、1次選定で使われる一般図に対応している。

a), b) の評価は、以下のように行う。

a) 単体もしくは各橋種を組み合わせさせた橋梁の形態美
橋梁自体の形態美は、本システムでは次の方法で評価する。

i) 2径間以上の場合、最大径間長の橋種に対する形態美を評価する。

ii) 桁橋 (H桁橋, I桁橋, 箱桁橋, 鋼床版桁橋) はすべて同じ評価とする。

なお、周辺環境との調和性の評価においてもこの方法を適用する。

各橋種の景観評価のためのルールは、橋梁景観に関する文献^{9)~17)}などを参考にした。これらの文献からルールになるものを取り出し、「if~then」形式のルールで表現したが、多くの文献を参考にしても明確にルール化できるものは約50であった。景観評価ルールとして採用した数例を以下に示す。

①変断面桁では、側径間長は中央径間長の0.7~0.8倍がよい¹⁴⁾。

②下路アーチをいくつも並べた形式は、全体の印象が散漫で力点が定まらない。それに対して上路式の場合には、同じ構成でも非常に快適に見える¹⁷⁾。

これらのものは、具体的な数値や表現であるのでルール化できたが、例えば、③は数値的に明確でなくルール化できなかったものである。

③中小橋梁では、桁高/径間長、橋脚の幅/橋脚の高さが小さいほどよい¹²⁾。

また、④は、ルールにはならないが形式決定後、詳細に景観検討を行う場合に有益と考えられるものである。

④凸型の変断面連続桁橋では、側径間の桁下縁線が橋端へ向けて下り勾配になるとだらしない印象を与える。両端でこの線を跳ね上げると引き締まった印象を与える¹⁰⁾。

そこで③、④のようなものは、景観の評価結果を出力する際、コメントとして表示することにした。本システムでは、全コメント数は約270である。

本システムは、前述したように橋梁形式の1次選定を支援するためのものである。したがって、色彩(塗色)、各橋種の構造詳細などの2次選定以後に検討される項目については、コメントとして表示するが、評価の対象には入っていない。

b) 周辺環境との調和性

1次選定段階で架設地点のあらゆる環境条件を想定して、橋梁の景観をルールにより評価することは不可能であろう。そこで、周辺環境として代表的な6つの環境条件¹⁰⁾を考え、各橋種の持つ形態美が環境との調和でどの

表一 周辺環境の調和性に関する各橋種の評価

橋種	上段(鋼橋)						下段(コンクリート橋)					
	桁橋	ラーメン	上路トラス	下路トラス	上路アーチ系	下路アーチ系	ロゼ	ニルセン	上路ランガ	下路ランガ	トラスドラング	斜張橋
山が近くに見える	2.86	3.71	3.00	2.43	4.43	3.14	3.71	3.71	4.00	3.57	3.14	2.86
	2.57	3.43		1.86	4.14	2.43						3.00
河川部で山が遠くに見える	2.71	2.29	2.57	2.86	3.00	3.71	3.71	3.71	2.71	3.86	3.71	4.14
	3.00	2.29		2.29	3.43	2.71						3.71
比較的町並みが多く、建物が見える	2.86	2.29	2.57	2.29	3.00	3.14	3.71	3.71	2.43	3.00	2.43	3.71
	2.71	2.57		1.43	3.29	2.00						3.43
都市部もしくは市街地で住民が多く、建物も目立つ	3.57	2.14	1.43	1.29	2.57	2.43	3.00	3.00	2.29	2.29	2.29	2.57
	3.14	2.00		1.00	2.43	1.43						2.86
大都市、高層ビルが近くにある	3.29	1.71	1.29	1.14	2.14	1.43	1.71	1.71	1.57	1.43	1.14	1.86
	3.00	1.43		0.86	1.57	1.00						1.14
河川敷が公園や運動場に使われている	2.14	3.29	2.29	2.29	3.43	3.14	4.14	4.14	3.00	3.14	2.43	4.29
	2.00	2.29		1.29	3.14	1.71						3.71

表二 付属環境条件

- ①工場等の煙突が目立つ
- ②景勝地、整備された古い町並み
- ③周りが小高い山に囲まれた平地となっている
- ④左右に河川敷がある
- ⑤架設地点が急な谷となっている
- ⑥架設地点が扁平な谷となっている
- ⑦見通しのよい平地となっている
- ⑧河川敷を持たない河川

ように変化するかを評価するために経験3年以上の10名の上部工設計者にアンケートを行った。得られたアンケート結果を平均したものを表一に示す。表一の各得点に対する変動係数の平均値は、0.51となった。

しかし、これらの環境条件だけでは、架設地点の状況を十分に表現できない。また、環境条件に関するルールとして、例えば以下のようなものがある。

⑤見通しのよい平地や広大な河川敷に架けられる橋は等径間とする方が不等径間とするよりも景観的にまとまりのよい伸びやかな印象を与える¹³⁾。

そこで、本システムでは表一の環境条件のほかに、表二に示す8つの環境条件を付属環境として用意した。これらの条件は、周辺環境を選定した後、複数の条件が選定できるようになっている。例えば、「景勝地、整備された古い町並み」とは、日光や鎌倉などがその代表的な場所である。

(2) 異なる橋種間の景観評価

異なる橋種間において、もし適用されるルールがまったく同じものであれば、同じ条件で比較できるので、それらの評価結果の全得点により各橋種の景観評価支援が可能となる。しかし、橋種ごとに適用される景観評価のための項目は、一般に同じものとはならない。そのため、異なる橋種間の景観評価の結果を比較する方法を確立する必要がある。

本システムでは、各項目の景観評価の得点に重みを乗じることにより、それらのルールの最終的な評価としている。しかし、それらの重みを決定するのは、主観的な要素も含め、橋種間の違いも考慮しなければならず困難

表一3 周辺環境に対する経済性、走行性、景観の重み

周辺環境	重み		
	経済性	走行性	景観
山が近くに見える	1.0	0.4	0.4
田園部で山が遠くに見える	1.0	0.4	0.6
比較的町並みが多く、建物がまばらに見える	1.0	0.4	0.5
都市部もしくは市街地で住民が多く、建物も目立つ	1.0	0.6	0.8
大都市、高層ビルが近くにある	1.0	0.7	0.7
河川敷が公園や運動場に使われている	1.0	0.5	0.8

な作業となる。そこで、色々な立場の人にそれらの重みを決定してもらうためのアンケートを実施し、それらの平均値を各評価項目の橋梁の重みとした。表一1に示す各橋種に対する周辺環境の評価は、すでにアンケートにより決定されているので、ここでは、形態美および付属環境に関する評価の重みを決定することにした。

景観評価の各項目の重みを決定する場合、ユーザーの立場が偏ることを避けるために、景観評価に関して多くの知識を持つ熟練設計者および熟練技術者、景観評価に関してあまり知識を持たない設計者および技術者、そして、一般市民という3種類の立場の人たち、おのおの10名に重みを決定してもらった。設計者と技術者には、受注側、発注側の両立場の人を含め、熟練設計者あるいは熟練技術者は、経験年数10年以上の人とした。

アンケートを実施する際、5.の適用例で述べる2つの周辺環境(①都市部もしくは、市街地で住民も多く建物も目立つ ②田園部で山が遠くに見える)における橋梁形式を対象とした。

本システムでは経済性、走行性および景観の評価結果に表一3に示した周辺環境ごとに定めた重みを乗じ、最も得点が高くなる橋梁形式を第1位とした。この重みづけは、経験10年以上の一人の上部工熟練設計者により行われた。

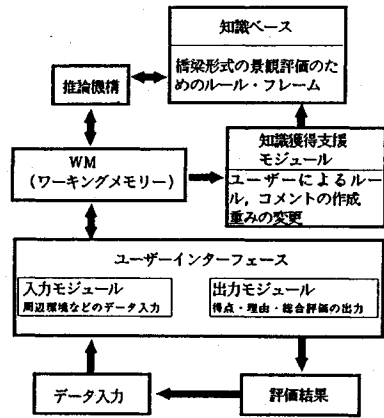
(3) 重みの変更方法

本システムで使用している重みは、前述したような方法により妥当であると思われるデフォルト値を与えているが、本システムで十分表現できない周辺環境条件などでは、それらの値を修正する必要がある。

そこで本システムでは、以下の機能によって重みを取り扱うことができるようになっている。

- ①デフォルト値を与える。
- ②平均の重みを与える。
- ③希望する項目(形態美、周辺環境、付属環境、総合評価)の重みを変更できる。

①、②は入力の際に選択できる項目であり、③は、評価支援結果を出力した後、再検討するときに選択できる項目である。①は、アンケートにより決定した重みをデフォルト値として与えている。②を選択すれば、①と



図一3 景観評価支援システムの構成

は別に、それまでユーザーにより入力された形態美と付属環境に関するルールの重みを平均したものをファイルに格納しており、それを使用できる。

4. エキスパートシステム構築上の問題点の検討

(1) 各モジュールに独立性を持たせた景観評価の方法

ここでは、図一3に示す本システムの構成に基づき、その評価方法について述べる。エキスパートシステムの特徴として、「推論機構と知識ベースが完全に分離しており、どの知識が、どんな状況で、どのように利用されるかを把握できる」ことが挙げられる¹⁸⁾。

しかし、一般にシステムが複雑になると推論機構と知識ベースを完全に独立させることは困難であり、それらを一体として扱っている場合も多い。また、知識ベースの修正、追加も知識ベースのみを対象に行えず、それにともない入力モジュール、出力モジュールなどのインターフェース部分の修正、追加が必要になることが多いようである。

そこで、本システムでは、エキスパートシステム構築上問題となる入力モジュール、出力モジュールも含めた各モジュールにおける独立性を確保した。

a) 知識の表現方法とルール

本システムに用いた知識の表現方法として、最も扱いが容易となるように、表一1に示す各橋種に対する周辺環境の調和性の得点や入力データにはフレームを、また、景観を評価するためのルールには、プロダクションルールを用いた。

b) 景観評価ルールの推論方法

図一4に示した斜張橋のケーブル形状評価ルールは、以下のように推論が行われる。ケーブル形状を入力した後、条件部が成り立てば、「ケーブル形状—理由」、「ケーブル形状—得点」、「ケーブル形状—ルール番号」に評価

```
(defrule (形態美 r2)
  "斜張橋のケーブル形状の評価"
  (or
    (frame (橋種 ?橋名 (ケーブル形状-入力 1面ファン型)
            (ケーブル形状-理由 nil)
            (評価結果-実行 する)))
    (frame (橋種 ?橋名 (ケーブル形状-入力 2面ファン型)
            (ケーブル形状-理由 nil)
            (評価結果-実行 する)))
    (frame (橋種 ?橋名 (ケーブル形状-入力 1面ハーフ型)
            (ケーブル形状-理由 nil)
            (評価結果-実行 する))))
  -->
  (modify-frame ?橋名 (ケーブル形状-理由 (getv '景観評価'理由2))
                  (ケーブル形状-得点 (* 1 (dec-weight 'K2)))
                  (ケーブル形状-ルール番号 k2))
  (modify-frame ?橋名 (評価結果-内容
    ! (append (list (list (getv ?橋名 'ケーブル形状-項目)
                          (getv ?橋名 'ケーブル形状-入力)
                          (getv ?橋名 'ケーブル形状-入力番号)
                          (getv ?橋名 'ケーブル形状-理由)
                          (getv ?橋名 'ケーブル形状-得点)
                          (getv ?橋名 'ケーブル形状-ルール番号)))
              (list (getv ?橋名 '評価結果-内容))))))
```

図-4 エキスパートシステム構築ツール“KBMS”によるルールの表現例-斜張橋のケーブル形状の評価

結果が格納される。

“?橋名”は、クラス「橋種」に含まれるすべての橋種に関するインスタンス（鋼下路連続トラス橋、鋼斜張橋…）を対象にしている。図-4中の下線部分の（dec-weight 'K2）は、この評価に乘じられる重みを計算するユーザー定義の関数である。また、「ケーブル形状-ルール番号」には、K2が格納されるが、この番号を指定することにより、ユーザーが重みを変更できる。

結局、ケーブル形状に関する入力（入力、入力番号）と出力（理由、得点、ルール番号）は、このルールの場合、以下ようになる。

```
(評価結果-内容
((ケーブル形状-項目 ケーブル形状)
 (ケーブル形状-入力 1面ファン型)
 (ケーブル形状-入力番号 39)
 (ケーブル形状-理由 この形式では、ケーブルが交錯せず、景観上よい印象を与えます。)
 (ケーブル形状-得点 1.0)
 (ケーブル形状-ルール番号 K2))
((周辺環境-項目…)…)
((径間数-項目…)…)…)
```

これらは、すべて Lisp 言語のリスト形式になっており、「評価結果-内容」というクラス「橋種」から継承された鋼斜張橋の中のインスタンス変数に、これらを1つのリスト形式にしたものが格納される。

このようにして、各橋種に対する景観評価が終了すれば、これらの評価と経済性、走行性を考慮した総合評価が行われる。経済性と走行性の評価結果は、景観の評価結果と同じくリスト形式となっており、各橋種の「評価結果-内容」の先頭に付け加えられる。そして、各橋種の「評価結果-内容」は、最後に「出力結果」という1

つのインスタンス変数にまとめられる。

出力モジュールでは、単にこの「出力結果」のリストを出力するだけでよく、出力のための特別なプログラムを作成する必要はない。このような方法を用いることにより、推論機構、知識ベースだけでなく入力、出力モジュールにおいても対象とするリストのみを扱えばよく、各モジュールの独立性が確立できるように工夫した。

(2) ルールおよびコメントのユーザーによる作成

エキスパートシステムを使用する際、重要な問題の1つとして、知識の追加がある。多くのエキスパートシステムでは、ユーザーによる知識の追加は、エキスパートシステムの構築方法を理解しなければ、ほとんど不可能である。

そこで、本システムでは、エキスパートシステムに關する専門的な知識を持たないユーザーでも景観評価ルールやコメントを追加できる機能を持たせた。この機能は、図-3の中知識獲得支援モジュールに対応している。

(3) 矛盾するルールの取り扱い

エキスパートシステムでは、専門家の知識や経験をルール化するので、ある項目を評価する場合に、ルール間に矛盾が生じる恐れがある。

「競合の解消」にはいくつかの方法があるが、本研究で取り扱っている内容は複雑であるため、現在、知識工学で提案されているような統一的処理は不可能と考え、本システムでは、以下の方法を用いた。

矛盾するルールが適用された場合には、ユーザーに矛盾するルールの組み合わせを示し、ユーザー自身がそれらのルールの重みを変更することにより、矛盾するルールを取り除いたり（重みを0とする）、その評価を下げたりすることが可能となるようにした。

5. 適用例

これまで説明してきた特徴を持つ景観評価支援システムを、2つの例（CASE-1, CASE-2）に適用した場合の評価結果とその考察について述べる。

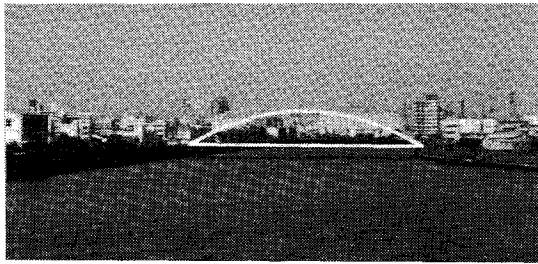
なお、1次選定では、前述したように10案程度から3案程度の橋梁形式を選定するのが一般的であるが、説明の便宜上、ここでは4案に関する景観評価を行うことにする。

(1) CGの手法による橋梁の描画結果

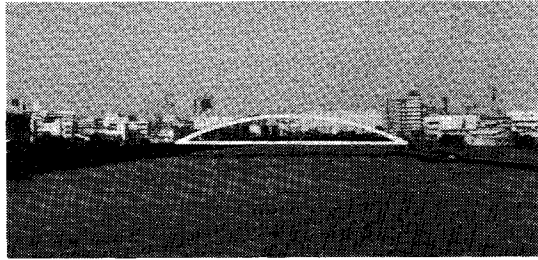
橋梁形式選定システムでは、架設地点の橋長や計画高水流量などの基本的なデータを与えることにより、径間割や橋種などが得られる。これらの結果を用いてCGのために必要なデータがワークステーションとパソコンとで自動的に作成され、選定された各形式に対して最終的に写真-1(a)~(d)のような描画結果が得られた¹⁹⁾。

(2) CASE-1の適用結果

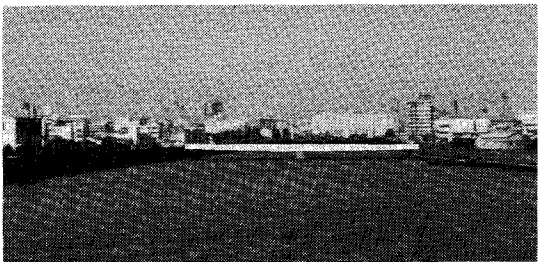
「都市部もしくは市街地で住民も多く、建物も目立つ」



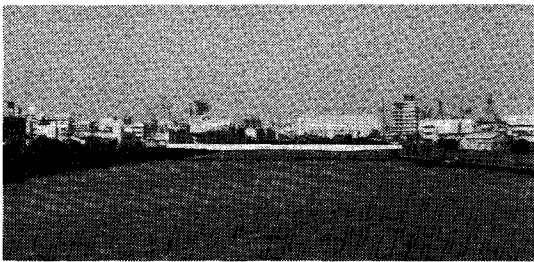
写真一 (a) CASE-1 の橋梁形式 (鋼ニールセン橋)



写真一 (b) CASE-1 の橋梁形式 (鋼ローゼ橋)



写真一 (c) CASE-1 の橋梁形式 (2径間連続鋼床版箱桁橋)



写真一 (d) CASE-1 の橋梁形式 (3径間連続鋼床版箱桁橋)

という周辺環境と「見通しのよい平地となっている」,「河川敷を持たない河川」という付属環境などを含んだCASE-1の入力条件を表一4に示す。

一例として, 3径間連続鋼床版箱桁橋の総合評価を含めた景観評価の結果と, 周辺環境のコメントの一部を図一5(a), (b)に示す。本システムでは評価結果のデータ番号, 例えば, 図一5(a)中の周辺環境という評価項目では2を指定すれば, その入力データを変更できる。同様に, 径間割では, K351を指定すれば, その評価の重みを変更できる。すなわち, 本システムでは, 短時間

表一4 CASE-1の入力データ

(単位:m)

項目	鋼ニールセン橋	鋼ローゼ橋	2径間連続鋼床版箱桁橋	3径間連続鋼床版箱桁橋
径間割	116.0	116.0	58.0+58.0	23.0+60.0+28.0
青景との関係	無関係	無関係	無関係	無関係
主桁・主脚・アーチリブ間隔	17.2	17.2	10.16	10.16
橋脚形式			コンクリート造工型	コンクリート造工型
橋脚高 (平均水位からの高さ)			2.8	3.0
橋脚幅(厚さ)			2.8	2.0
各橋梁形式特有の条件	橋脚高 1.2	橋脚高 1.2	橋脚上の桁高 2.8 側径間端部の桁高 1.7	橋脚上の桁高 2.6 中央径間中央部の桁高 1.8 側径間端部の桁高 1.3
	アーチリブ高 1.4	アーチリブ高 1.4		
	アーチライズ 18.0	アーチライズ 14.0		
基本条件	周辺環境・都市部らしく社会街地で住民も多く、建物も目立つ		付属環境:見通しのよい平地となっている 河川敷のない河川	
橋梁形式は2タイプを評価する	橋脚を自立させる		橋脚を自立させる	
橋梁特性: 直線	全幅員:15.8		有効幅員:15.0	

に多くの形式の橋梁の景観評価支援ができ, 入力条件もほぼ無制限に変えることができる。このような特徴により, これまで行われてきた景観評価に関する作業時間の省力化が可能となるとともに, 熟練設計者などが時間的制約により考慮できなかった形式についても詳しく検討できると考えられる。

この例では, ルール番号 K381とK351, K50では, 矛盾した結果が得られるのでK351のルールの重みを0とした。ルール番号K49では, 変断面桁高/中央径間長の値が0.03で0.033~0.040の範囲をはずれている。このような場合には, ファジィ理論のメンバーシップ関数の考え方を用いることにし, 重みを1.0とした場合に0.023(1/43)~0.033では0と1.0を結ぶ直線上の値, 0.033~0.040では, 1.0, 0.040~0.05(1/20)では, 1.0と0を結ぶ直線上の値とした。ルール番号K351, K50などでも同じ取り扱いとした。

本システムでは, 2径間連続鋼床版箱桁橋と3径間連続鋼床版箱桁橋という同じ橋種の景観評価支援を行っている。当然, これらの側径間長/中央径間長などの値が異なるので景観評価の支援結果は, 両者で異なったものとなっている。一方, 鋼ニールセン橋と鋼ローゼ橋では, ライズのみが異なり, それらの値も景観上よいとされている範囲内であるので同じ評価支援結果となっている。

CASE-1の総合評価の支援結果を表一5に示す。各橋梁形式の経済性は, 以下の方法で正規化した。図一5(a)の工費が最も安価となる形式と最も高価となる形式との差を比較し, 最も安価となる形式に最高点の3.0点を, 最も高価となる形式には, その差に応じ最低点である1.0から2.5点までの0.5点刻みの得点を与える。その他の形式には, 比例配分により得点を与える。なお, 走行性, 景観も同様の方法で得点を与えるが, 図一5(a)の全得点の最も高い形式には3.0点を与える。

本システムでは, 鋼ローゼ橋が総合評価1位となった。

景観評価 橋種(鋼床版箱桁橋 鋼床版箱桁橋 鋼床版箱桁橋)
径間割 (28 60 28)
全得点 5.68 順位 3

経済性 走行性 景観
5.31=1.0x2.0 + 0.6x3.0 + 0.6x1.89

総合評価 総合得点 5.81 総合順位 4
経済性 1.00 (百万円) 評価点 2.0 ルール番号 A14 重み 1.0
走行性 8.23 評価点 3.0 ルール番号 A24 重み 0.6
景観 全得点 5.68 評価点 1.89 ルール番号 A34 重み 0.8

データの更新の際に指定 重みの更新の際に指定

評価記録 データ番号 2 ルール番号 E4
評価項目 周辺環境 入力 鋼床版箱桁橋
評価理由 都市部もしくは市街地に住民が多く、建物も目立つ。
評価得点 3.57

評価記録 データ番号 3 ルール番号 K381
評価項目 付属環境 入力 見通しのよい平地となっている
評価理由 見通しのよい平地や広大な河川敷に架けられる橋は、等径間とするほうが、景観的にまとまりのよい伸びやかな印象を与えます。
評価得点 2.77

評価記録 データ番号 34 ルール番号 K351
評価項目 径間割 入力 (28 60 28)
評価理由 単独に架けられる橋の場合、3径間では、3:5:3、くらいの比率とするとき景観上良いとされています。
このルールはルール番号K381と矛盾します。
このルールはルール番号K381と矛盾します。
評価得点 0.0

評価記録 データ番号 43 ルール番号 K49
評価項目 変断面桁高/中央径間長 入力 0.03
評価理由 3径間連続変断面桁の場合、H1/L2=1/25~1/30 (0.033~0.040)、がよいとされています。L2:中央径間長、H1:中央径間の中央部の桁高
評価得点 2.49

1.0x2.49 (重み)

評価記録 データ番号 34 ルール番号 K50
評価項目 側径間長/中央径間長 入力 0.46
評価理由 ハンチを持つ桁では、側径間長は、中央径間の0.7から0.8倍程度が景観上良い印象を与えます。
このルールはルール番号K351と矛盾します。
このルールはルール番号K381と矛盾します。
評価得点 0.0

コメント 一直線ー

コメント 橋がキャンパーを持つ場合、メインスパン上ではその桁高を増加するために、桁下線の曲率は、道路線の曲率よりも大きくなければなりません。もちろん、道路線が緩急勾配状に変化している場合には、桁下線は水平であってはなりません。

コメント 連続桁において、ハンチを繰り返す形状は、橋が地上から高くなく、橋の作る空間が開平な形状は、見た目上良い印象を与えます。このような場所では桁端を円形状の曲線にするとき景観上良い印象を与えます。

図-5 (a) CASE-1の景観評価の出力結果 (3径間連続鋼床版箱桁橋)

-- 周辺環境 --

コメント 環境に対する橋架の表現方法には、次のようなものがあります。橋架の存在をかくす方法:橋架の存在が風致を害する恐れのある場合には、なるべく目立たないようにして、できるだけ橋脚の中に没入させます。例えば、橋脚に対して径間長が非常に小さな場合、橋架の存在を強調する方法:存在を強調して環境を支配させ、風景の主要素として、これを中心に新しい景観を作り出そうとします。橋架を環境と同じ調子で融合調和させる方法:橋架を環境と同じ調子で融合させて風景を助長させ、自然美に人工美を添えさせます。例えば、景観地など

コメント 自動車道路で立ち上りの高い橋を下路橋として用いると、凸型断面に対する視線誘導効果が期待できますが、この種の橋は広大な河川敷のように、橋の大きさとバランスのとれた場所でない、伸びやかな美しさを発揮し得ません。

図-5 (b) CASE-1の景観評価の出力結果 (周辺環境に関するコメント)

また、表中には、写真-1 (a)~(d)を重みのアンケートを行った立場の異なる30名に見せて順位づけしてもらった結果も示している。景観評価に関しては、本システムとアンケートの順位は一致した。

(3) CASE-2の適用結果

CASE-2においてもCASE-1と同じ方法により、写

表-5 CASE-1の総合評価の結果

評価項目	重み	第一径間橋	第二径間橋	2径間連続鋼床版箱桁橋	3径間連続鋼床版箱桁橋
経済性	1.0	2.08 (1170百万円)	2.00 (1190百万円)	3.00 (950百万円)	2.00 (1190百万円)
走行性	0.6	2.50	2.66	2.83	3.00
景観	0.8	3.00 (1)	3.00 (1)	1.00 (4)	1.89 (3)
総合得点		5.98	6.00	5.50	5.31

表-6 CASE-2の入力データ (単位:m)

項目	2径間連続鋼斜張橋トラス橋	鋼下路アンカー橋トラス	2径間連続鋼斜張橋	3径間連続非合成箱桁橋
径間割	107.5+107.5	107.5+107.5	90.0+125.0	66.2+82.6+66.2
岸上との関係	無関係	隣上	無関係	無関係
主径・主径・ア・チリブ間隔	23.6	23.6	13.6	13.6
橋脚形式	コンクリート造工型	コンクリート造工型	コンクリート造工型	コンクリート造工型
橋脚高 (平均水柱からの高さ)	10.0	9.3	9.5	8.4
橋脚幅 (岸上)	3.0	3.0	6.0	2.0
各橋架形式特有の条件	上笠桁高 0.75 下笠桁高 0.54 斜張角 66° 上下弦桁間 12.0	鋼脚桁高 2.2 ア・チリブ高 0.4 ア・チライズ 16.0	桁高 2.0 主径形状 1本柱 主径高 45.0 ケーブル形状 1面ファン型 主径片側のケーブル本数 4本	橋脚上の桁高 3.4 中央径間中央の桁高 2.8 側径間端部の桁高 2.4
基本条件	河川環境:田園部で山が遠くに見える 付属環境:見通しのよい平地となっている 橋架形式はスライズを設けずらい 橋架を目立たせる 橋架形式:直線 全覆:22.8 有効覆:22.0			

真-2 (a)~(d)のような描画結果が得られる。

「田園部で山が遠く見える」という周辺環境、「見通しのよい平地となっている」という付属環境などを含んだCASE-2の入力条件を表-6に示す。

一例として2径間連続鋼斜張橋の総合評価を含めた景観評価の支援結果と照明設備や排水管などの付属物に関するコメントの一部を図-6 (a), (b)に示す。

図-6 (a)中のルール番号K801は、ユーザーにより作成されたルールの例である。このようなルールのルール番号には、800番台を付けてその他のルールと識別できるようにしている。また、ユーザーにより作成されたコメントは、図-6 (a)の最下行にあるようにユーザーコメントとして表示する。

ユーザーは、景観評価の支援結果と各橋種ごとに表示されたコメントや周辺環境などのコメントを参考にして最終的な景観評価を行う。さらに、コメントは、橋梁形式決定後の詳細な景観検討や個性的な橋梁形式の検討を行う場合に有用な資料となり、エキスパートシステムを用いることにより、画一的な橋梁しか得られないという不安も少なくなると思われる。

表-7にCASE-2の総合評価の支援結果を示す。本システムでは3径間連続非合成箱桁橋が総合評価1位となった。

本システムとアンケートで得られた景観評価の結果で

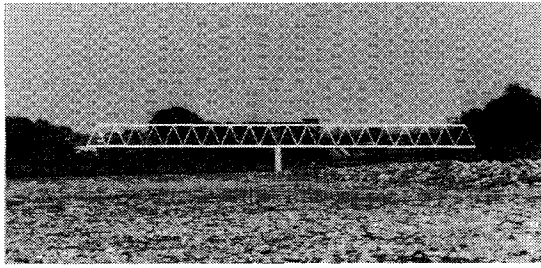


写真-2 (a) CASE-2の橋梁形式 (2径間連続鋼下路トラス橋)

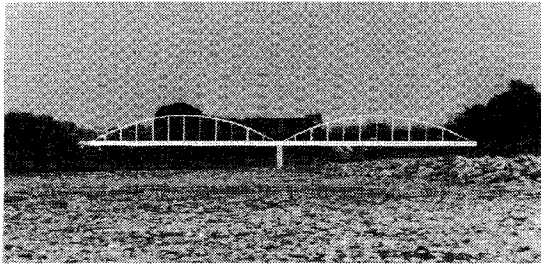


写真-2 (b) CASE-2の橋梁形式 (鋼下路ランガ橋・2連)

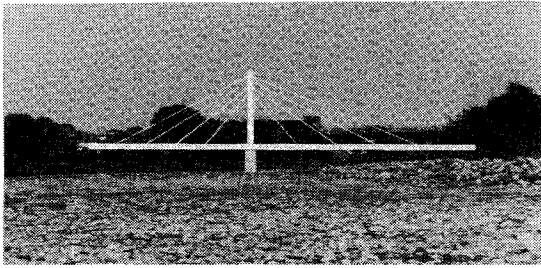


写真-2 (c) CASE-2の橋梁形式 (2径間連続鋼斜張橋)

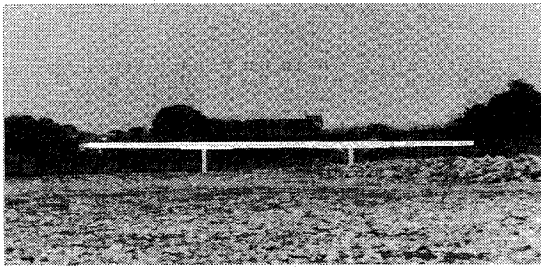


写真-2 (d) CASE-2の橋梁形式 (3径間連続非合成箱桁橋)

は、2径間連続鋼下路トラス橋の順位が大きく異なる。この理由として、本システムで採用されている全ルール数は約50と少なく、1つの橋種に採用されるルール数も少ない。そのため、採用されるルールが1つ増えることにより、評価結果が変わることがある。しかし、今後、さらに景観評価のルール数を増やすことにより、このような評価結果をなくすことができると考える。

なお、アンケートに答えてもらった設計者、技術者および熟練設計者、熟練技術者の20名に本システムを橋梁形式の1次選定に使用できるか否かを質問した。その結果、17名が使用できると答えた。

景観評価	橋種 (鋼斜張橋 鋼斜張橋)	径間割 (90/125)	全得点 4.76	順位 4
総合評価	総合得点 2.83	総合順位 4		
経済性	工費 2806 (百万円)	評価点 1.0	ルール番号 A12	重み 1.0
走行性	全得点 1.28	評価点 2.58	ルール番号 A22	重み 0.4
景観	全得点 4.76	評価点 1.5	ルール番号 A32	重み 0.6
評価記録	データ番号 2	ルール番号 E122		
評価項目	周辺環境 入力 鋼斜張橋			
評価理由	田園部で山が遠くに見える。			
評価得点	4.14			
評価記録	データ番号 39	ルール番号 K2		
評価項目	ケーブル形状 入力 1面ファン型			
評価理由	この形式では、ケーブルが交錯せず、景観上よい印象を与えます。			
評価得点	3.02			

評価記録	データ番号 30	ルール番号 K53
評価項目	径間割 入力 (90/125)	
評価理由	径間割が非対称で景観を高めています。 *****このルールはルール番号K384と矛盾します。*****	
評価得点	3.33	

評価記録	データ番号 3	ルール番号 K384
評価項目	付属物 入力 見通しのよい平地となっている	
評価理由	見通しのよい平地や広大な河川敷に架けられる橋は、等径間とするほうが、景観的にまとまりのよいゆびやかな印象を与えます。	
評価得点	-2.06	

評価記録	データ番号 40	ルール番号 K801
評価項目	主塔高/中央径間長 入力 0.36	
評価理由	2径間斜張橋の主塔高さは、中央径間長の0.36~0.45倍がよいとされています。	
評価得点	3.71	

コメント 斜張橋の桁のスレンダーさの印象は、耳縦桁に白に近い色を、主桁にはダークグレーを使うことにより強まります。

コメント 直線で配置されたケーブル (吊橋は放物線) は、単純な幾何学形状の中に緊張感と現代的センスを持ちます。

コメント 主塔は上方ほど断面を小さくしてテーパをつければ真上に向かってそそり立つ、ダイナミックな動きを感じさせます。

図-6 (a) CASE-2の景観評価の出力結果 (2径間連続鋼斜張橋)

- 付属物 --
- コメント 不必要に彫刻や装飾の飾りをつけたり、高欄や橋脚、橋台を飾りたてるのは、橋梁自体を煩雑にするので有害です。
- コメント 取付け路のガードレールとの接続部において高欄末の処理は、連続性にとって重要な要素の一つです。この場合、接続部および取付け路のガードレールを色帯によって隠すか、高欄とガードレールをつなぐ連続感をなくすと景観上よい印象を与えます。できれば取付け路のガードレールは橋の高欄と同一の形態にするべきです。

コメント 防音壁 民地側H形鋼は、煩雑な印象を与えます。壁面の装飾は、単調さに変化を与えます。スリット形状は、開放感を与えます。

図-6 (b) CASE-2の景観評価の出力結果 (付属物に関するコメント)

6. 結 論

本文では、エキスパートシステムの手法を用いた景観評価支援のための実用的なプロトタイプシステムを構築する方法について述べるとともに、適用例によりその有用性を示した。以下に本研究で得られた結論を述べる。

(1) エクスパートシステムの手法を用い、橋梁景観を周辺環境と橋梁自体の形態美の要素に分離し、さらにそれらの要素を細分化することにより、異なる形式の橋梁に対する景観を具体的に支援評価できるシステムを構築した。また、適用例およびアンケートの結果、本システムが橋梁形式の1次選定に十分使用できることが明らかとなった。

(2) 本システムでは、周辺環境や橋梁自体の特性を簡単に変更でき、一度に種々の条件を想定した景観評価

表-7 CASE-2の総合評価の結果

評価項目	重み	2段階連続 下落トラス橋	下落ラッガー橋 2連	2段階連続 鋼桁梁橋	3段階連続 半台成鋼桁橋
経済性	1.0	2.22 (1950百万円)	2.14 (2000百万円)	1.00 (2610百万円)	3.00 (1540百万円)
走行性	0.4	2.53	1.00	2.58	3.00
景観 システムの設置 アソート設置	0.6	3.00 ④	1.67 ③ ②	1.50 ④ ③	2.17 ② ①
総合得点		5.03	3.55	2.93	5.54

支援が短時間に行えるので、景観評価に関する作業の省力化が期待できる。また、専門家にとって、これまで時間的制約により不可能であった景観評価の検討も可能になると思われる。

(3) 本システムでは、ユーザーが景観評価の重みを変更でき、その平均値も自動的に計算できる。また、ユーザーによってルールおよびコメントを追加することを可能にした。このような特徴により、立場の異なる人たちが本システムを使用すれば、橋梁景観の評価法をより実用的にできると考える。

(4) 本システムでは、各モジュールを完全に独立させ、システム構築およびメンテナンスを容易とした。

(5) 景観の評価ルール間に矛盾が生じた場合、本システムでは、ユーザーにそれらのルールを示し、判断を仰ぐ方法を取った。この方法により、周辺環境に応じたユーザー自身の意見をシステムに反映させることができる。

本研究で提案した景観の定量的評価方法により、従来、景観評価上困難とされていた問題を解決する足掛かりが得られた。また、今回の手法を用いることにより、1次選定において、景観評価に大きな影響を与えるとされる色彩の概略検討が可能となるであろう。

しかし、本方法には、解決しなければならない項目もある。例えば、ここで示した2つの適用例で対象となる景観評価項目の重み以外は、同じ方法で妥当な値を決定しなければならない。また、まったく同じ橋梁形式に対して周辺環境が変わった場合、本方法では、橋梁自体の形態美に関する評価は変わらないとしているが、その評価支援結果の妥当性も検討する必要がある。

本システムでは、約270のコメントがあるが、この中には具体的な数値を与えることにより、ルールとして採用できるものが多くある。今後、このようなコメントの検討も必要である。

謝辞：本研究を行うにあたり、名古屋大学大学院・ハンマード・アミン氏には多くの有益な助言をいただきました。また、同大学院・田中圭介氏には、プログラムの作成に協力していただきました。ここに、厚くお礼申し上げます。

げます。

参考文献

- 1) 日本橋梁建設協会：鋼橋の計画，1988年10月。
- 2) 山本 宏・早川浩平：計量心理学を応用した橋梁形態の一考察，土木学会論文集，第362号/I-4，pp.267~275，1985年10月。
- 3) 古川浩平・古田 均・中尾絵理子・浅津直樹：ファジィ理論に基づく美観を考慮した橋梁設計に関する一考察，土木学会論文集，第410号/I-12，pp.335~344，1989年10月。
- 4) 杉山俊幸・深沢泰晴・辻 和政・高橋良武：サイコベクトルを用いた橋梁景観の定量的評価，構造工学論文集，Vol.35 A，pp.523~532，1989年3月。
- 5) 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.37 A，pp.669~675，1991年3月。
- 6) 白木 渡・松保重之・高岡宣善：ニューラルネットによるアーチ橋の景観評価システム，構造工学論文集，Vol.37 A，pp.687~697，1991年3月。
- 7) Nishido T, Maeda, K. and Nomura, K. : Study on Practical Expert System for Selecting the Types of River-Crossing Bridges, Proc. of JSCE, No.422/I-14, pp.121~132, Oct., 1990.
- 8) 西土隆幸・前田研一・島田清明・野村国勝：橋梁形式選定エキスパートシステムにおける橋上走行時の運転者の感覚評価に関する研究，構造工学論文集，Vol.36 A，pp.513~524，1990年3月。
- 9) 佐藤康一：橋梁と背景との景観の適合性に関する研究，構造工学論文集，Vol.37 A，pp.721~731，1991年3月。
- 10) 大泉 楯：土木構造物の景観計画，土木学会関東支部講習会テキスト「土木景観，Landscape and Civic Design」，1990年9月。
- 11) 塩崎禎郎・松本 勝・白石成人・細谷 学：周辺環境との調和を考慮した橋梁景観に関する研究，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集I，pp.740~741，1991年9月。
- 12) Wengenroth, H.W. : Bridge Engineer Looks at Esthetics of Structures, ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol.97, No.4, pp.1227~1237, Apr., 1971.
- 13) 日本橋梁建設協会：景観マニュアル1987，橋と景観，1987年12月。
- 14) Leonhardt, F. : Bridges-Aesthetics and Design-, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH. Stuttgart, Germany, 1982.
- 15) 山本 宏：橋梁美学，森北出版，1980年。
- 16) 土木学会構造工学委員会：美しい橋のデザイン・マニュアル，土木学会，1982年。
- 17) 日本道路協会：橋の美，道路橋景観便覧，1977年7月。
- 18) 上野晴樹：知識工学，オーム社，1985年。
- 19) 西土隆幸・前田研一・磯 光夫・野村国勝：橋梁形式選定エキスパートシステムにおける景観の評価方法に関する一提案，構造工学論文集，Vol.37 A，pp.699~707，1991年3月。

(1992.9.18 受付)

ADVISORY SYSTEM FOR EVALUATING THE LANDSCAPE OF DIFFERENT TYPES OF RIVER-CROSSING BRIDGES QUANTITATIVELY

Takayuki NISHIDO and Yoshito ITOH

Evaluating the landscape of bridges quantitatively has been considered to be very difficult since it involves subjective factors such as aesthetic sense. Therefore, by accumulating the knowledge of experts and clarifying the mechanism of its usage, the authors have developed an advisory system which can quantitatively evaluate the landscape of different types of river-crossing bridges. A user can select a suitable bridge type from the landscape point of view by considering the advice from this system. The authors have also studied basic problems of expert systems such as the possibility of the independent development of the rules, the knowledge base and reasoning engine respectively.
