

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

A PROPOSAL FOR THE EVALUATION OF LANDSCAPE
AT AN EXPERT SYSTEM FOR SELECTING THE TYPES OF BRIDGES

西土 隆幸* 前田 研一** 磯 光夫* 野村 国勝***

BY Takayuki NISHIDO, Ken-ichi Maeda, Mistuo ISO and Kunikastu NOMURA

Landscape as well as economy is an important element at selecting the types of bridges. It is very difficult for a designer to select the suitable bridge type, on which everybody feels beautiful. Therefore, the authors propose the way to help evaluating the landscape by using CG technique and a personal computer. The designer selects some types of bridges by using an expert system, that the authors have developed, at first. Then, the system automatically makes perspective data for the CG and sends these data to the personal computer. The designer can evaluate the landscape of these types by seeing the monitor of the personal computer.

1. まえがき

国際化、情報化あるいは都市化などの新たな風潮のもとで、我々のこれまでの生活様式は大きく変わろうとしている。このような背景から、土木構造物に対してもゆとりを感じさせる形状や景観の向上が、その使用者や地元住民から強く求められるようになってきた。特に、橋梁は土木構造物の中でも、人々の目に触れる機会が多く、横浜ベイブリッジなどのように、その地域のランドマーク的な要素となる傾向が強い。そのため、橋梁の景観はその形式を決定する際に経済性ととも大きなウェイトを占めるようになってきている。

しかし、設計者にとって橋梁形式の選定段階で、あらゆる人々から美しいと感じられる形式を選定するのは、現時点では非常に困難な作業である。一方、定量的に橋梁形式の景観を評価するいくつかの方法^{1)・2)}も提案されており、有益な結果が得られているものの、それらの方法はまだ確立されているとはいえない。

著者等は、河川橋梁を対象とする上下部工形式の選定が行えるエキスパートシステム^{3)・4)}をすでに開発し、経済性、および走行性などに対する定量的な評価を行っているが、上記の理由から景観の評価は行っていない。

そこで、今回、橋梁形式の景観を定量的に評価するのではなく、設計者自身が実際に即したパースを見て容易にその評価を行える方法を提案する。すなわち、本方法では本システムで選定された数案の形式の橋種

* 工修 川田工業(株) 技術本部中央研究室 (〒114 東京都北区西ヶ原 3-45-4)
** 工博 川田工業(株) 技術本部中央研究室長 (〒114 東京都北区西ヶ原 3-45-4)
*** 工修 川田工業(株) 技術本部長 (〒114 東京都北区西ヶ原 3-45-4)

や径間割等の選定結果を、本システム内に構築されたデータベースを用いて得られるパースデータとともにパーソナルコンピュータ（以下、パソコンと略記）に転送し、コンピュータグラフィックス（以下、CGと略記）を利用⁵⁾することにより、選定された橋梁形式をパソコンの画面に描画できる。

CGの利用による橋梁形式の描画はこれまでも行われている⁶⁾が、本方法のように、橋梁形式選定システムの結果を利用し、CG用のパースデータの作成から描画までをほぼ自動的に行えるものは、著者らの知る限りではこれまでにはない。したがって、短時間でしかもほぼ自動的に橋梁形式の描画を行えることが、本方法の大きな特徴である。

このような方法で橋梁形式の景観を評価できれば、本システムを用いることにより、この他の項目を含めた総合的な評価に基づく橋梁形式の選定が可能となり、実際の選定方法に近い作業が行えることになる。

2. 橋梁形式選定システムの全体構成

今回提案する景観の評価方法は、著者等がすでに開発した河川橋梁を対象にしている橋梁上下部工形式選定システムの中の一部として組み込まれている。改良された本システムの全体のフローを図-1に、また、その構成を図-2に示す。

本システムでは、LISP専用ワークステーション・KS-303（日本ユニシス）とエキスパートシェル・KEE（インテリコプ）とにより橋梁形式の選定が行われる。そして、景観の評価にはCGが利用され、パソコン・PC-98RL（NEC）と3次元グラフィックスソフト・ダイナパース3（ダイナウェア）とにより、それら橋梁形式の描画が行われる。架設地点の風景写真をスキャナーによりパソコンに読み込ませるためには、専用ソフト・ダイナピックスV（ダイナウェア）を用いる。また、ワークステーションとパソコン相互のデータ転送のために、KEEとPC-98RLとはクロスケーブルで接続されている。

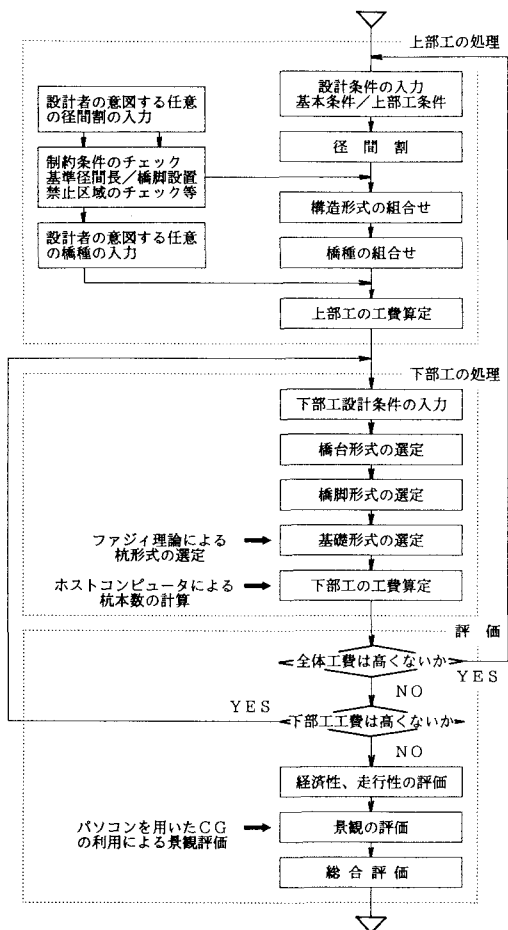
3. 橋梁形式の描画方法

図-2の「景観の評価」部分の詳しいフローを図-3に示す。本システムを用いれば、設計者は与えられた条件に基づき、景観以外の評価結果から、2、3案程度の橋梁形式を選定することができる。それらの形式について得られる基本データの他に、本システム上に構築されている橋種ごとのデータベースを使用して得られるCG用のパースデータがワークステーションからパソコンに転送される。そして、パソコン側では、それらのデータを用いて各橋梁形式の3次元座標データの作成や各部材の肉付けが自動的に行われる。以上のパースデータとCGの利用により、選定された橋梁形式がパソコンの画面に描画される。

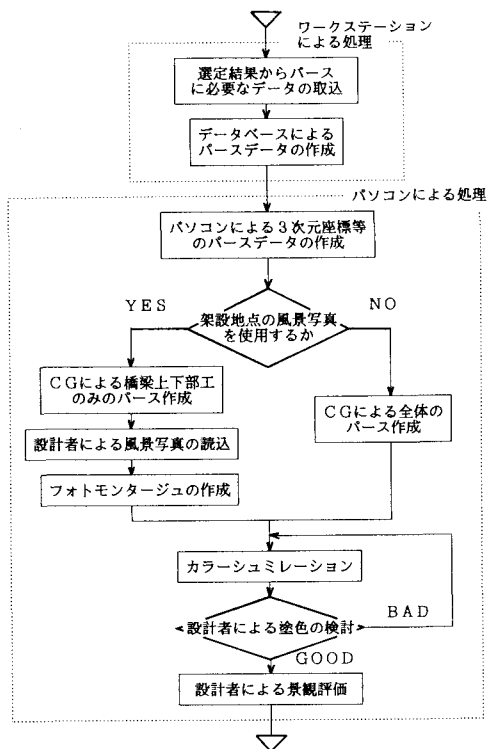
本システムでは、図-1に示す「径間割」および「橋種の組合せ」が自動的に行なわれ、それらは画面に表示される。そして、設計者は、画面を見て不必要なものを削除することもできる。また、選定された複数の橋梁上下部工形式の全体工費が高く、それらの形式以外に全体工費を下げるのが可能となる形式がある場合には、「設計条件の入力」までフィードバックできる。同様に、下部工工費が高くなる場合にも、「下部工設計条件の入力」までフィードバックできる。

本システムで得られた選定結果の中で、CGのために必要なデータを表-1に示す。しかし、前述したようにこれらのデータのみでは、選定された橋梁形式の描画はできない。鋼桁桁橋や鋼I桁橋の代表的な橋種を例にとると、本システムの選定結果だけでは主桁の本数や断面、あるいは配置などは分らず、これらの値を決定する必要がある。そこで、本方法では、各橋種ごとにそれらの不確定な値を決定するためのデータベースをメタルデザインデータなど^{7)・8)}を参考にして本システム上に構築し、そのデータベースを呼び出すことにより、それらの値を自動的に作成することにした。

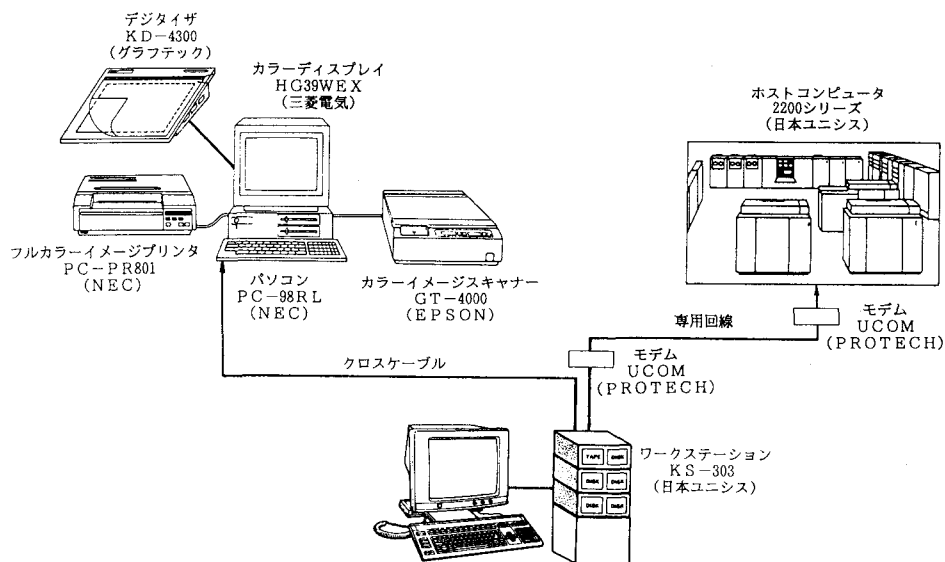
一例として、鋼連続下路トラス橋、鋼ランガー橋、および鋼斜張橋に関するデータベースの項目を表-2



図一 橋梁形式選定システムのフロー



図一 3 「景觀の評価」部分のフロー



図一 2 橋梁形式選定システムの構成

に示す。本システムでは、図－４に示すようなメタルデザインデータの図を基にしてデータベースが作成されている。この図は支間長から鋼連続下路トラス橋の格間数を求めるものである。例えば、支間長が107.5mの下路式では格間数は10となる。鋼連続下路トラス橋のデータベースの内容を図－５に示す。この図の中で、ＣＧ下弦材という項目の(50 300 300)(60 340 340)・・・は、支間長 $\leq 50\text{m}$ では b （腹板幅）＝300mm、 h （腹板高）＝300mm、 $50\text{m}<\text{支間長}\leq 60\text{m}$ では $b=340\text{mm}$ 、 $h=340\text{mm}$ となることを表している。また、ＣＧ格間数という項目の(64 7)(72 8)・・・は、支間長 $\leq 64\text{m}$ では格間数は7、 $64\text{m}<\text{支間長}\leq 72\text{m}$ では格間数は8となることを表している。

本方法では３次元グラフィックスソフト・ダイナパス３を使って、橋梁形式の描画を行うが、その際、設計者は橋梁の塗色（鋼橋のみ）を自由に選定できる。すなわち、最初はＣＧ用のパスデータを作成する段階で固定した塗色のデータが与えられるが、設計者はダイナパス３のデータを変更することにより、任意の塗色を選定できる。

河川断面では、架設地点付近の３次元座標データを利用する場合には、あらゆる角度から眺めた橋梁形式の描画が可能となる。また、より現実に近い形で景観の評価が行えるよう架設地点の風景写真をスキャナーによりパソコンに読み込ませ、それに橋梁形式のパスを重ねてフォトモンタージュを作成することもできる。その場合には、橋梁形式の描画はその風景を眺めた視点位置に限られる。したがって、任意の角度から眺めた橋梁形式を描画させたい場合には、それらの角度に対応する風景写真が必要となる。

図－３に示すように、フォトモンタージュを作成する場合には、設計者が風景写真をイメージスキャナーで読み込ませ、この風景写真と橋梁上下部工のみのパスとの視点位置を合致させる。すなわち、本システムでは、風景写真の視点位置の座標を使って、橋梁上下部工のパスと風景写真とを自動的に合成できる。しかし、その合成では両者に多少のずれを生じることがあるので、その場合には設計者がパスを拡大、縮小して微調整を行なう。なお、風景写真の視点位置は、国土地理院発行の地図を用いて求める方法とした。

表－１ ＣＧのために必要な選定結果

上部工形式	全幅員、有効幅員、橋長、径間割、支点の支持状態（連続、単純形式）、橋種、河川との斜角
下部工形式	橋台、橋脚の形状寸法、種類、河幅、河川断面

表－２ データベースの項目

橋 種	データベースの項目
鋼連続 下路トラス橋	格間数、上下弦材の断面寸法、斜材の断面寸法、斜材間隔（橋軸直角方向）、主構高、橋門構の形状寸法、高欄の形状寸法、床版の寸法
鋼ランガー橋	格間数、アーチライズ（中央、各点）、吊材の断面寸法、アーチリブの断面寸法、アーチリブ間隔（橋軸直角方向）、高欄の形状寸法、床版の寸法
鋼斜張橋	主塔の形状寸法、ケーブル本数、ケーブル配置、主桁の断面寸法、高欄の形状寸法、床版の寸法

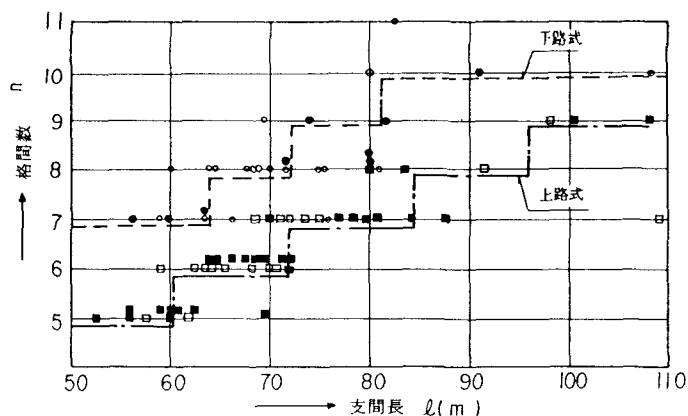


図-4 メタルデザインデータの図表の一例⁷⁾ (鋼連続下路トラス橋)

III (Output) The List of the 鋼連続トラス Unit in the BRIDGE3 Knowledge Base				
Slot	Value	Inheritance	Value Class	From Unit
CG下弦材	((50 300 300) (60 340 340) (70 380 380) (80 420 420) ...)	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG格間数	((64 ?) (72 8) (81 9) (110 10))	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG橋門構	{0.5 0.143 0.154}	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG高欄	{0.9 0.1 0.35}	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG斜材	((50 300 220) (60 340 250) (70 380 280) (80 420 310) ...)	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG斜材間隔	{0.13}	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG主構高	{0.111}	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG床版	{0.25 0.4 0.1 8}	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス
CG上弦材	((50 300 300) (60 340 340) (70 380 380) (80 420 420) ...)	OVERRIDE.VALUES	Unknown	鋼連続トラス

図-5 CGのためのデータベースの内容 (鋼連続下路トラス橋)

4. 総合評価の方法

本システムでは、作業時間の短縮を図るため、まず、経済性と走行性の評価により、数案の形式を選定し、次に、それらの形式に対する景観の評価を行うことにした。

経済性では、上下部工それぞれの工費を算定し、それらの総額の最も低いものから順位付けが行われる。また、走行性の評価では、各橋梁形式に対するエキスパンション・ジョイントの数の他に、走行時における桁の剛性に伴う振動特性と運転者に与える圧迫感や視界などの項目を含めた評価が定量的に行われる。

各橋梁形式に対する景観の評価は、設計者の判断により行われるが、経済性と走行性との項目も含めた総合評価の結果から最適な橋梁形式を選定するために、各項目の評価方法を統一する必要がある。そこで、今回は、以下を行うことにした。

経済性では、選定された形式の全体工費の最も低いものに最高点を、最も高いものに最低点を与える。そして、それらの間となる全体工費には、比例配分して点数を与える。走行性も、経済性と同様に、得られた評価の最高のものに最高点を、最低のものに最低点を与え、それらの間となる評価には比例配分して点数を与える。また、景観は5段階で評価する。すなわち、良い、だいたい良い、普通、やや悪い、悪い、の5つの評価を点数で与える。

各項目の評価が行われれば、それらに重みを乗じたものを加算することにより経済性、走行性、そして景観を考慮した総合評価が可能となる。

5. 仮想適用例

本システムの仮想適用例を以下に示す。対象とする架設地点に対する橋梁形式選定のための設計条件を図-6に示す。

まず、本システムを適用することにより、3種類の形式（鋼連続下路トラス橋、鋼下路ランガー橋、そして鋼斜張橋）を選定する。図-7は選定結果の一例である。次に、前述したように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、それらを用いることにより、選定された各形式に対して最終的に図-8のような描画結果が得られる。

図-8は各橋梁形式を側面から眺めたものであるが、前述したように任意の角度から眺めた風景写真を予め用意しておけば、図-9のように鋼斜張橋に対しては異なる角度（ほぼ正面）から眺めた場合の画面も表示できる。

設計者が図-8あるいは9の画面を見ながら景観の評価を行えば、本システムでは、経済性、走行性、景観を含めた総合評価が行える。

仮想適用例では、次のように各評価項目に点数を与えた。経済性と走行性には、最高点を3点、最低点を1点とし、それらの間の評価は比例配分した。また、景観では、最高点、最低点を経済性、走行性と同様に3点、1点としたが、それらの間の3つの評価（だいたい良い、普通、やや悪い）には、2.5点、2点、1.5点を与えた。また、各項目に対する重みは、今回は図-8の架設地点のみに限定したものとし、実際に比較設計の作業を行なっている1人の熟練設計者により決定された。すなわち、経済性：1.0、走行性：0.4、景観：0.6とした。

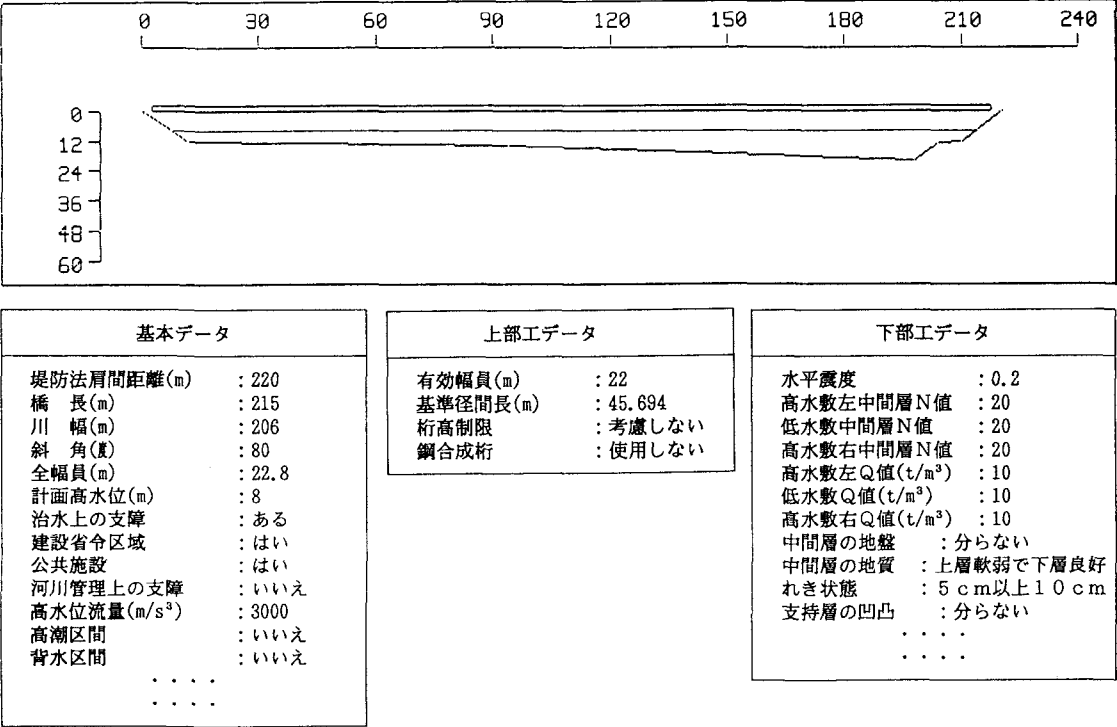


図-6 仮想適用例の設計条件

組合せ番号: [1]						
径間数 2						
径間長 107.5 107.5						
橋 種 鋼連続トラス 鋼連続トラス						
橋台橋脚						
橋 台	橋台左 (A1)	:	形式=逆T式橋台	高さ (m)=10.3	基礎形式=深礎杭	杭長 (m)=22.0
	橋台右 (A2)	:	形式=逆T式橋台	高さ (m)=10.3	基礎形式=深礎杭	杭長 (m)=22.0
橋 脚			形 式	高さ (m)	基礎形式	杭長 (m)
	P1		柱式橋脚	22.8	深礎杭	7.0
評価 : 経済性 第1位 : 走行性 7.16						
【工費内訳 (単位: 千円)】						
上部工 : 製作費 輸送架設費 橋面工費 現場塗装費 [小 計] (塗替工費 144690)						
鋼連続トラス 1161000 166480 188280 62010 1577770						
【上部工小計】 1578000						
下部工 : 本體工費 掘削/仮設費 杭基礎工費 [小 計]						
橋台左 (A1) 21550 23350 83620 129000						
橋台右 (A2) 21550 23350 83620 129000						
橋脚 (P1) 97240 11930 7830 117000						
【下部工小計】 375000						
【合 計】 1953000						

図-7 選定結果の一例

総合評価は、結局、式(1)の関数により求められる。

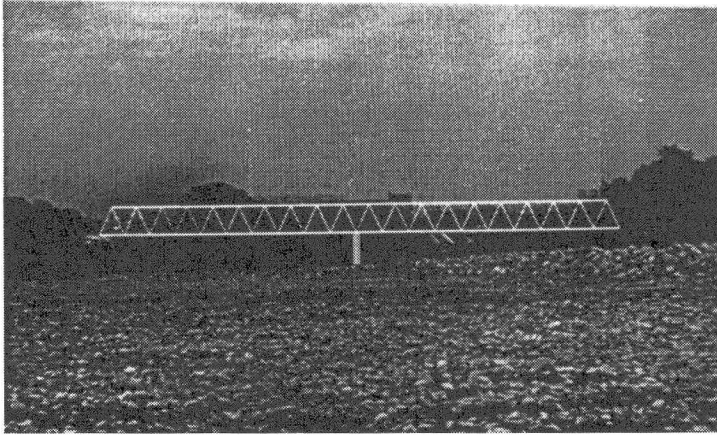
$$A_T = W_E \cdot A_E + W_R \cdot A_R + W_L \cdot A_L \quad (1)$$

ここに、 A_T は総合評価、 A_E 、 A_R 、 A_L は経済性、走行性、景観それぞれの評価、また、 W_E 、 W_R 、 W_L は経済性、走行性、景観それぞれの重みである。

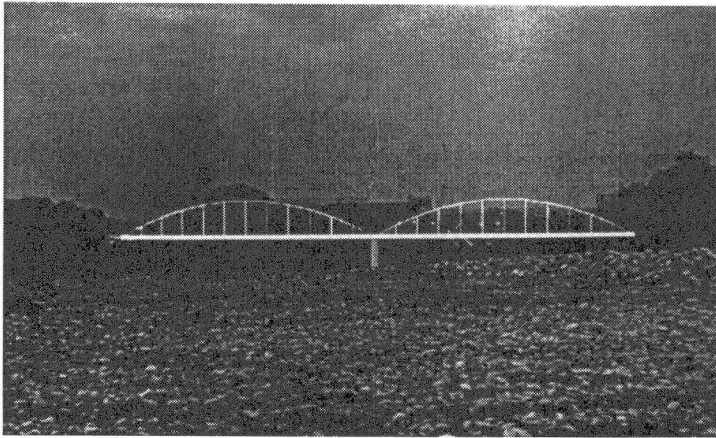
総合評価の結果を表-3に示す。この表において、経済性の評価の欄に書かれている金額は、全体工費を示している。また、景観は重みを決定した同一の設計者が評価したものである。この結果では、鋼連続下路トラス橋が最適な橋梁形式となった。もちろん、各項目の重みを変えることにより最適な橋梁形式も変わってくる。また、架設地点等によっても各項目の重みは変わってくると思われる。そのため、各項目の重みを決定する作業は非常に重要であり、さらに検討の余地が残されている。

表-3 各項目の評価結果と総合評価

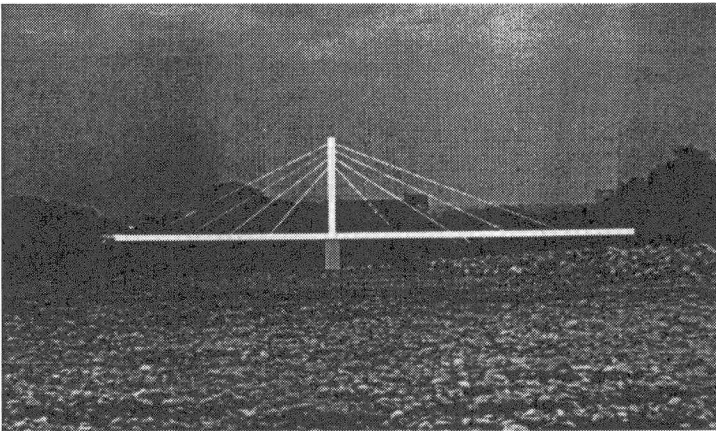
評価項目	重み	鋼連続下路トラス橋	ランガー橋	鋼斜張橋
経済性	1.0	3.0 (1953百万円)	2.9 (1997百万円)	1.0 (2606百万円)
走行性	0.4	2.9	1.0	3.0
景 観	0.6	2.0	1.5	2.5
総合評価		5.36	4.20	3.70



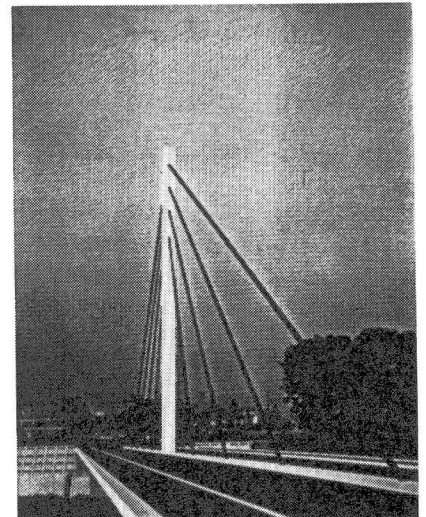
鋼連続下路トラス橋



鋼ランガー橋



鋼斜張橋



図－9 橋梁形式の描画結果（正面）

図－8 橋梁形式の描画結果（側面）

6. まとめ

今回提案した方法を仮想的に適用した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 各橋梁形式の景観の評価結果を再度、パソコンからワークステーションに転送することにより、経済性、走行性など、その他の項目を含めた総合的な評価に基づく最適な橋梁形式の選定が可能となる。すなわち、これまで単独で使用されていたそれぞれの方法を統合することにより、さらに広がりを持った利用が考えられる。
- (2) 本方法では、架設地点の風景写真と橋梁上下部工のパースの視点位置とを合致させることにより、それらの合成がパソコン上で自動的に行なえる。その結果、より現実的な景観の評価ができる。
- (3) CGを利用して橋梁形式の描画を行う場合、ほとんどの時間がパースデータの作成に費やされるが、本方法を用いることにより、短時間でしかもほぼ自動的に橋梁形式が描画できる。その結果、設計者の形式選定作業の自由度も高くなる。

今回提案した方法を著者等のシステムに取り入れたことによって、実際に行われている方法により近い形で橋梁形式が選定できるものと思われる。ただし、この方法でも橋梁形式に対する景観の最終的評価は、設計者の判断に頼らざるを得ず、今後、定量的な評価を行う方法を別に確立することが課題として残されている。また、実際の橋梁形式の選定では、これらの項目の他に施工性や保守性などの項目の評価も考慮されていることから、これらの項目を本システムに取り入れることも必要である。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 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. 36A, pp. 523~532, 1990年3月。
- 3) 西土隆幸、前田研一、野村国勝：河川橋梁の上下部工形式選定のためのエキスパートシステム構築に関する一考察、構造工学論文集、Vol. 35A, pp. 489~502, 1989年3月。
- 4) 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. 36A, pp. 513~524, 1990年3月。
- 5) 磯光夫、前田研一、西土隆幸：橋梁景観設計のためのカラーシュミュレーションシステムの開発に関する一考察、土木学会、第44回年次学術講演会、pp. 624~625, 1989年10月。
- 6) 近田康夫、城戸隆良、小堀為夫：パーソナルコンピュータ上での橋梁景観シュミュレーションシステムの構築、構造工学論文集、Vol. 36A, pp. 543~552, 1990年3月。
- 7) 長大橋技術研究会：メタルデザインデーター鋼道路橋設計資料集、1986年9月。
- 8) 日本橋梁建設協会：鋼橋の計画、1988年10月。

(1990年10月12日受付)