

橋梁景観設計プロセスに関する一考察

—橋梁景観設計支援システムの基本的枠組みと開発—

A Study on Aesthetic Bridge Design Process

-Basic concept and Development of A CAD system for structural aesthetics of bridge form-

政木 英一* 窪田陽一** 吉川正嗣***

By Hidekazu Masaki, Yoichi Kubota, Masatsugu Yoshikawa

In this paper, an aesthetic bridge design process is proposed for comprehensive CAD system. This process takes into account of civil engineers, landscape architects or environmental designers for their planning process. The authors are developing a CAD system for structural aesthetics of bridge form. This system will support planners to consider the form of a bridge from an aesthetic point of view and determine its basic dimensions at an early stage of structural design. As this system consists of CAD, expert and modelling subsystems, its users will not be required to be experts of structural analysis of bridges. This system works on PC and enables quick feedback from any stage of design process.

1 緒言

今日までに、橋梁設計における景観設計の重要性は数多く論じられてきた。そして現在、橋梁設計を行う上で景観設計はなくてはならない存在になっている。しかし、景観設計のプロセスはまだ数多くの問題を抱えており作業上様々な支障が存在していることも事実である。

現状の問題として以下のことがあげられる。

- (1) 橋梁設計のエキスパート(熟練技術者)が形状の決定の作業を担うことが多く、他の分野のプランナー、公共事業者、一般等の考えを直接的に形状の決定に反映させることが困難である。
- (2) 法令・基準等の規制が多くまた、既存橋梁等の情報検索が未だ困難であることからエキスパートの経験則にゆだねるケースが多くみられる。このことがプランニング作業を複雑化している。
- (3) コンセンサス作りのためCGの利用頻度が高くなっているが、モデリング等の作業に熟練度を要求されるため分業化され、設計作業がスムーズにいかない。

* 埼玉大学大学院 (〒338 埼玉県浦和市下大久保225)

** 工博 埼玉大学助教授 (〒338 埼玉県浦和市下大久保225)

*** 国際航業株式会社 (〒102 東京都千代田区6-2)

これらの問題を解決するには、CAD、CG、AI等のシステムを使用することが有効であると考えられる。AIの既存研究では、橋梁形式選定に関するエキスパートシステム^{1) 2) 3) 4)}やエキスパートシステム構築の為のデータベースの研究⁶⁾などが行われている。特に前者の既存研究は各選定条件から適切と思われる数種類の上部工形式を選定し、それを順位づけるシステムなどが見られるが、これは上部工形式の選定がしやすくなるという反面、プランナーの発想に制約を与えてしまう恐れがある。

現在、橋梁景観の評価手法としてCADを用いたモデリングが多く行われるようになっているが、これらの利用には橋梁諸元データがあらかじめ構造設計レベルの検討を経て存在することが前提となっている。モデリングシステムとAIが直接連動するシステム⁵⁾もあるが、これは将来景観の予測図(パース)に必要な橋梁データをデータベースを用いて作成しモデリングするものである。どちらにしても橋梁形式の選定はコンピュータで処理される。

市販されているCAD、CGのモデリングには建築指向のものが多く、土木向けの機能が整備されていない。これは、(1)設計プロセスの中での決定事項が非常に複雑であること(2)実際の設計の現場で利用される頻度が低いことの2点が挙げられる。また、すでに開発されているものも概略の構想から詳細設計までをCGを使って一貫して検討できるソフトは極めて少ない。

本研究は、これらの諸問題を解決するために、景観を考慮した橋梁形状を決定するプランナーの思考過程に極力準じた総合的なプランニングシステムの開発を試みた。本システムは、CADシステムとAIシステムを直接連動させることで橋梁形式選定に必要なパースの作成作業(プランナーの橋梁イメージをCADシステムを用いて描くこと)を効率的に行う事ができるようになる。

2 システムの構想

2-1 システムの基本構想

橋梁設計を行う時、景観設計は基本設計の下位の段階で行われているのが現状である(図-1)。このことは必然的にプランナーの発想に制限を与え自由度の少ない景観設計を行わせている。橋梁景観設計の考え方や橋梁デザインの考え方はいくつかの文献⁷⁾⁸⁾⁹⁾で論じられている。

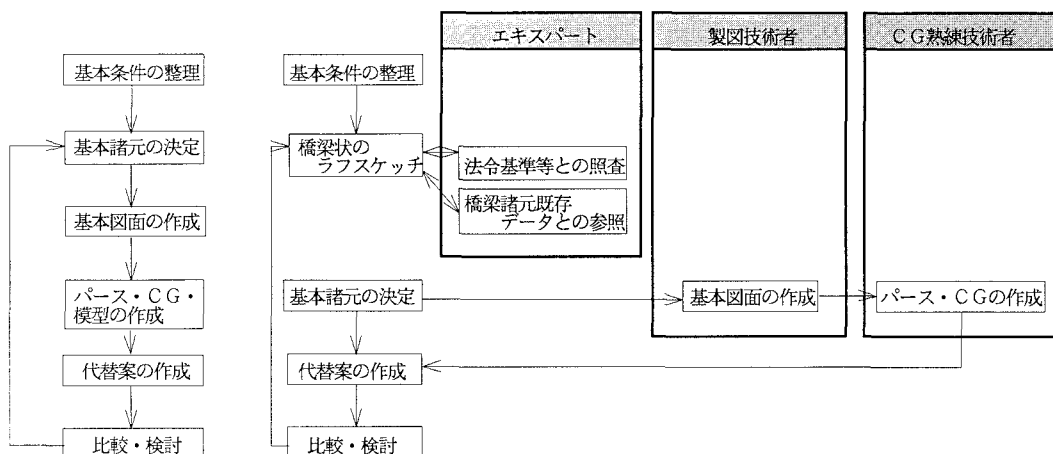
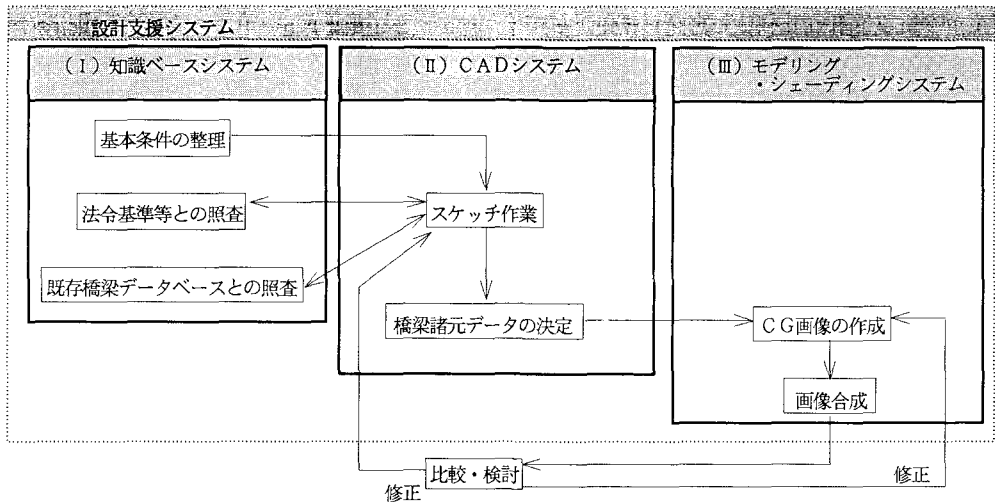


図-1 一般的な橋梁設計概略プロセス

図-2 橋梁景観設計プロセス

景観設計へのきっかけは、橋梁と環境との調和を考えることから始まるほうが自然であり、プランナーがある形状の橋梁を考えた時にその形状の橋梁が架設可能であるのかどうかの段階で、基本設計に移る流れが景観設計の本来的なあり方であると考えられる。このことを踏まえて景観設計のプロセスを考えてみると図－２のようになる。このプロセスは、プランナーの意志決定プロセスに準じたものであるが、ここでもなお作業の分担化、複雑化が起きている。本システムは、図－２の流れを再考し、その諸問題を解消すべく構想されたものである（図－３）。

本システムは（Ⅰ）知識ベースシステム、（Ⅱ）CADシステム、（Ⅲ）モデリング・シェーディングシステムの３つのシステムから構成され、それぞれは相互に連動して動作し、図－２のプロセスで、エキスパート・製作技術者・CG熟練技術者が各々作業担当しているステップを、図－３に示すようにそれぞれ知識ベースシステム、CADシステム、モデリング・シェーディングシステムが処理する。プランナーはスケッチ作業を知識ベースからアドバイスを受けながら行うことができる。また、スケッチ作業により決定した橋梁形状からシステムは橋梁諸元データを作成しモデリングまでを自動的に行う。作成された代替案は、スケッチ作業及びCG画像の作成プロセスまでフィードバックする事で、形状の修正・色彩の修正を行うことができる。



図－３ 景観設計支援システム概略プロセス

2－1－1 （Ⅰ）知識ベースシステム

（１）知識ベースの位置づけ

景観設計を行う時に最も問題となることは橋梁諸元の決定である。プランナーがいかに優れたデザインを行ってもそれが実現性のないものではその橋梁の景観検討は全く無意味なものになってしまう。一般に橋梁諸元の決定は、経験的判断、法令・基準等、の専門家の経験則に委ねられることが多く、この段階でプランナーとの意志の疎通が緩慢になりがちでプランニング作業を複雑化している。そこで、これらに必要な経験則、法令、基準等を知識ベース化する事でプランニング作業の複雑化を避け、プランナーが容易に橋梁諸元を決定できるようになる。

知識ベースとして考えられる事項としては、①設計条件知識ベース②概略構造判断知識ベース③工費算出知識ベースが挙げられる。①は法令、基準等の知識ベース化や特殊架設条件、地形、地盤条件による制約条件の知識ベース化であり。②は専門家の経験則の知識ベース化や標準設計の知識ベース化である。

(2) 知識ベースと既存橋梁データベース

橋梁の専門家は、橋梁諸元の概略データを決定するとき既存橋梁のデータや、それに基づく統計データを参照する。そこで、既存橋梁のデータをデータベースに蓄積し、専門家の考え方を知識ベース化する事で専門家のノウハウを容易に利用できるようにする。

2-1-2 (Ⅱ) CADシステム及び(Ⅲ)モデリング・シェーディングシステム

既存のCADシステムは建築指向のものが多く、土木構造物には不適であることは既に述べた通りである。そこで、土木構造物指向(ここでは橋梁)のCADシステムの開発を試みた。従来のCADシステムは平面図から3次元図へという過程をとるが、これは景観設計プロセスの概念とは異なるため、本研究はスケッチ感覚で行えるCADとして作成する。すなわち実際の描画は平面、側面、断面の各図を用いて描画するが、写真画像にリアルタイムに描画することでスケッチ感覚に近づける。ここで作成される橋梁形状を、前述した知識ベースシステムに引き渡すための橋梁諸元データもここで作成する(図-4)。また、平面、側面図に地図情報を表示することでパース作成に必要な支点や注視点等のデータの入力を簡単ににする。スケッチ作業が終了した段階のCGの合成画像は写真の上にCGを張り付けただけになっているので、既に開発している画像合成システム(LANDSCAD)¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾のプログラムの一部を用いて画像処理を施し代替案を作成する。

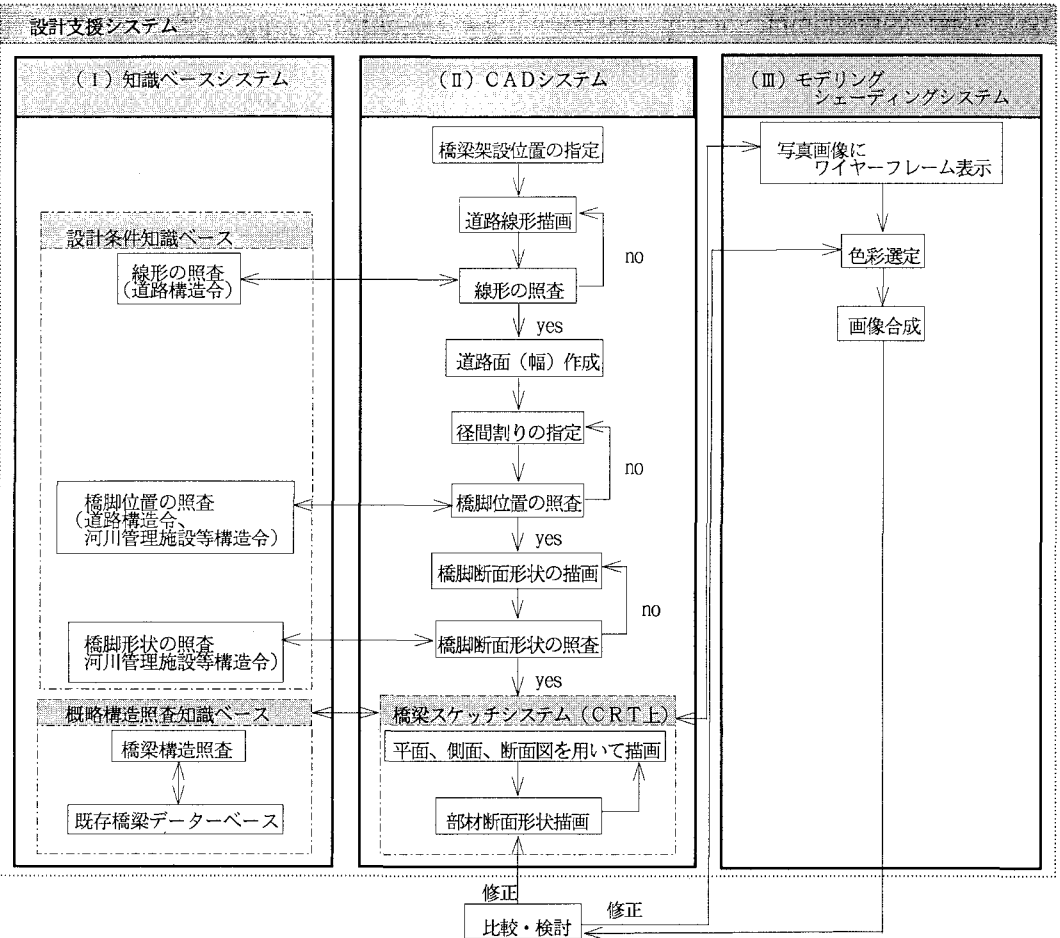


図-4 景観設計支援システムの流れ

3-1 CADシステムの構築

スケッチ作業にはAUTOCAD (GX5)を使用する。AUTOCADはPC版のCADとしては高度な機能を備えているが、土木構造物を作図するには既存のメニュー画面では不十分であり、また操作が複雑でかなりの熟練技術を要する。そこで本研究では、ソフト専用カスタマイズ言語「AUTOLISP」を用いてCADシステムの作成をすることにする。現在は、上路式アーチ橋作成のためのカスタマイズ作業を行っている。その内容は以下のようである。

(1) 作図画面の作成

AUTOCADは中身は3次元CADであるが、操作は2次元に近いため操作性が余り良くない。そこで操作性の向上をはかるため、作図平面を自動的に切り換えるためのプログラムを作成した。作成された作図平面は①4分割画面、②x-y平面画面、③x-z平面画面④y-z平面画面、⑤パース表示画面で①は②～⑤を一画面に表示する。この5つの画面を切り換えて操作することにより、3次元座標を視覚的にとらえることができるようになる。

(2) 描画プログラムの作成

アーチリブのように橋梁の作図はある程度一定の手順に従った作業となるため、各部材専用の描画プログラムを作成しておくことで作業効率がよくなる。通常、土木構造物のモデルは①部材線形→②部材断面→③部材の描画の手順で操作を行うことで簡単に作成することができるようになると考えられるため、主要な部材についてはそれぞれその線形、断面形状を用意しメニュー化した。また部材によっては断面変化が考えられるので断面寸法の変化に対応できるように考えた。現在は、床版、アーチリブ、桁(補剛桁)描画プログラムが作成されており、垂直材、クラウン部、上支構、橋門構などの描画プログラムも作成する。

3-2 知識ベースシステムの構築

3-2-1 データベースの構築

上路式アーチのデータを市販のデータベースソフトDBASE IVを用いて作成した。このデータベースと知識ベースシステムをリンクさせて実行する。収集した既存橋梁のデータは約50橋(上・中・下路式ローゼアーチ)である。ここで、作成される知識ベースは概略的な構造の検討に用いられる。

3-2-2 知識ベースの構築

(1) 概略構造検討知識ベース

専門家によるアーチ橋の概略的な構造判断の流れは図-6の様になると考えられる。そこで、このような専門家の思考過程にそのようなアルゴリズム考えた(図-7)。

今回までに作成された知識ベースの内容とその指針を以下に示す。

①データ検索知識ベース(フレームデータファイル作成)

全てのデータを常に保持しながら知識ベースシステムを実行する事は、処理速度低下、メモリ圧迫を大きくする為必要なデータを検索しそれをフレームデータに保存する。以下の知識ベースは、このフレームデータを用いて実行される。

②ライズ比の照査知識ベース

ライズ比は、これが小さいほどアーチの鋼重は増加し、たわみによる付加応力やせん断力も大きくなる。また、これが大きすぎるとやはり鋼重が増加し、横方向の安定も悪く、アーチの水平変位による付加応力が大きくなる。このため、ライズ比は上下限の両方から参照する必要があると考えられる。

③アーチリブ高さの照査知識ベース

アーチリブ高さは、同程度の(支間長×幅員)の値(±10%)で検索し、入力されたリブ高さをチェックする。また、アーチリブが変断面の場合はその平均値でチェックする。

2-1-3 CADシステムと知識ベースシステムのリンク

CADシステムと知識ベースシステム相互の関係は図-4に示す通りである。この図からも解るようにスケッチ作業の段階では、いつでも知識ベースにリンク出来るようになっている。このような体系をとることで、プランナーは橋梁形状の決定における制限を逐一把握することが出来るようになる。

3 システムの構築

本システムは全てPC上で構築される。現在のPCのレベルでは、CADシステム、モデリング・シェーディングシステムの実行速度、メモリ管理に多少の問題が残っているが、近い将来本システムを起動するのに十分なPCがでてくると思われるのでより汎用的なPC(H98)を選択した。また、本システムの構築は市販のCADシステムやエキスパートシステム構築ツールを使用し、これをカスタマイズして行っている。これは、システムの概念のプログラミング化以外のプログラムに膨大な時間をさくことを避けた結果である。図-5は本システムのハードにおける役割分担とそのプログラムを示している。

本システムの構想では、3つのシステムは並列して存在しているが実際には(Ⅱ)CADシステムがメインシステムで、その中から(Ⅰ)知識ベースシステム、(Ⅲ)モデリング・シェーディングシステムを小プログラムとして呼び出す形式をとっている。

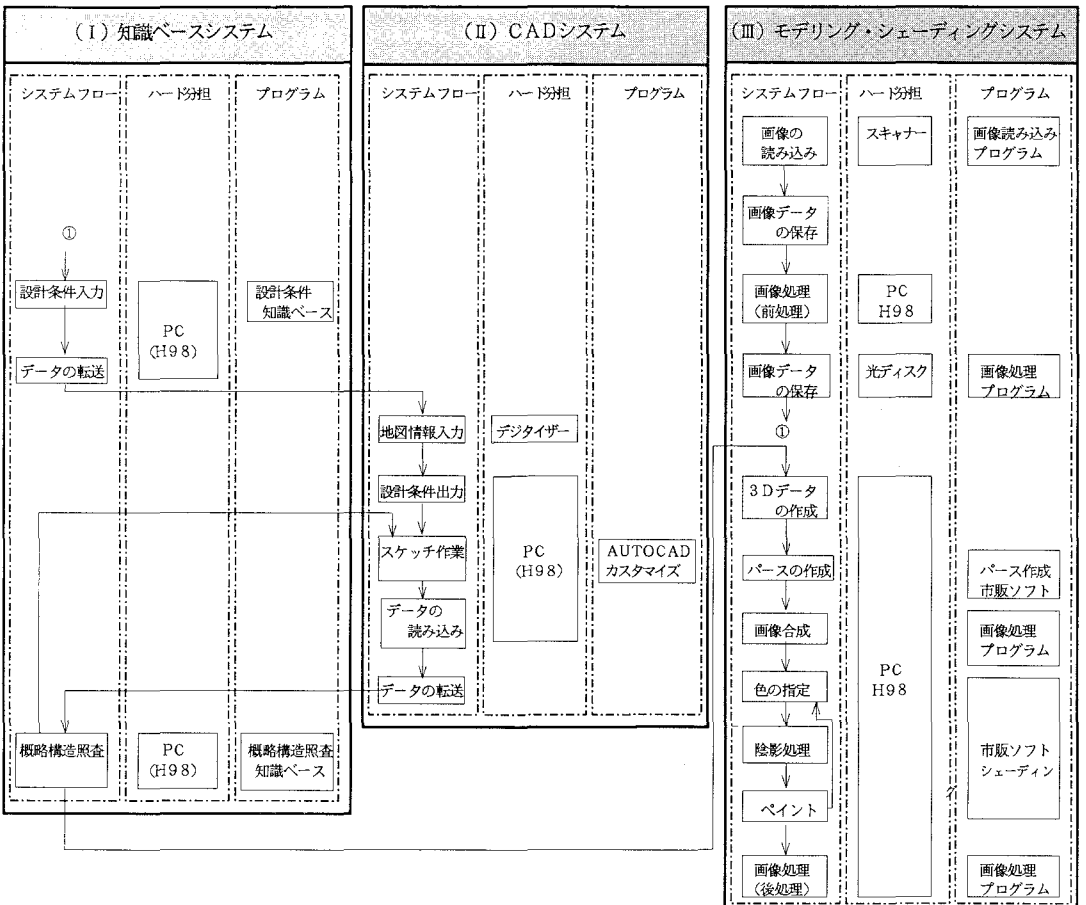


図-5 システムの流れと作業分担

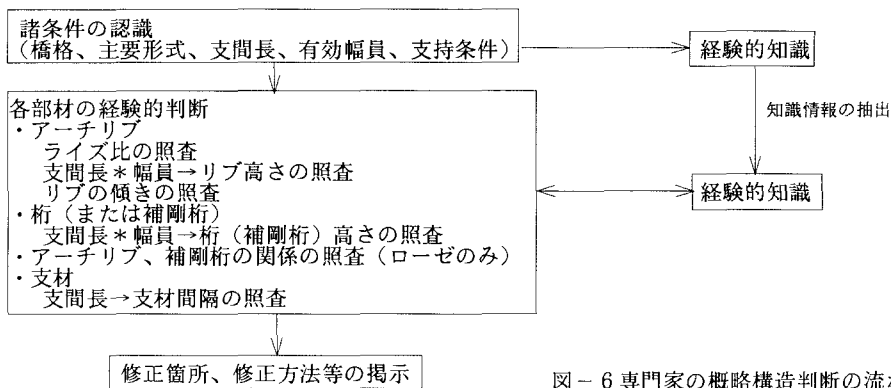


図-6 専門家の概略構造判断の流れ

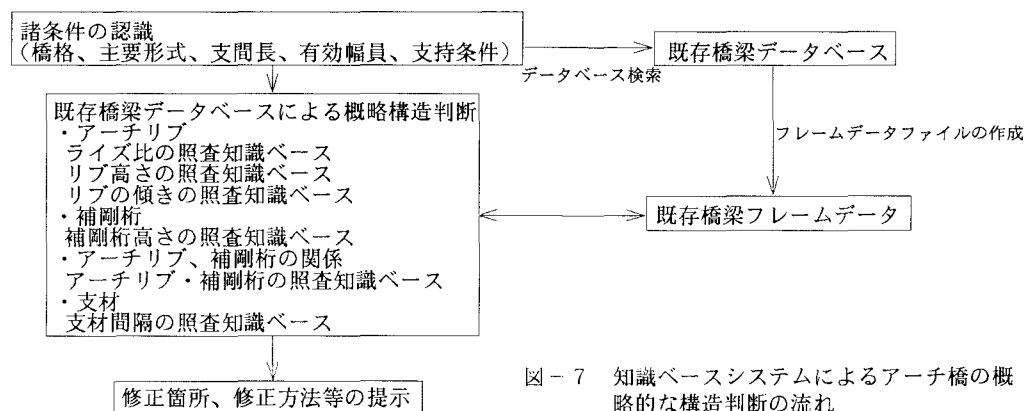


図-7 知識ベースシステムによるアーチ橋の概略的な構造判断の流れ

④補剛桁高さの照査知識ベース

アーチリブ高さと同様にして、補剛桁高さをチェックする。

また、今後作成予定の知識ベースは以下のものである。

⑤リブ高さ・補剛桁高さの照査知識ベース

ローゼアーチの場合は、アーチリブ・補剛桁の両方が曲げ応力を受け持つため双方の部材の高さには密接な関係があると考えられるので、これをチェックする知識ベース。

⑥リブの傾きの照査知識ベース

⑦垂直材間隔の照査知識ベース

ここで作成された知識ベースはそれぞれ約10～20ルールである。

(2) 橋脚位置の照査知識ベース

河川管理施設等構造令を知識ベース化し、橋梁計画における制約条件から諸々の事項の参照を行なう。知識ベース化に使用した構造令は図-8の通りである。この知識ベースは、諸元の決定をするものではなく、ユーザの入力事項から支間割等を参照しその可能性の判断を下すものである。ルールは約280ルールになった。このようにルール数が多くなった理由は、構造令を知識ベース化するのに必要なルールは100程度であるが、このソフトには配列の概念がないため疑似的な配列処理を行わせるルールを作成したためである。また、この橋脚位置チェック知識ベースはCADシステムとは連動していない。

知識ベースの作成には、市販のソフト「大創玄」を使用して作成した。このソフトは、知識ベースの作成に必要な推論機構等の殆どを採用しており、日本語入力できることが最大のメリットである(図-9)。

第20条、第66条	桁下空間の決定
第61条	橋台の位置 →橋長の決定
第62条	橋脚位置の決定及び 橋脚形状の決定
第63条	支間割りの決定
第64条	桁下高さの決定
施行規則第29条	既設橋による制約条件

図-8 河川管理施設等構造令の知識ベース化

8	ルール番号	17
もし		
かつ	1)現在、河川は改修してありますか？‘はい’	
かつ	2)計画高水位幅 < 50	
ならば	3)川幅 >= 50	
	4)最低橋長 := 計画高水位幅	
	5)適合子優先順位：または	
	6)解説	
	最低橋長決定(2)	

図-9 知識ベースのルール表現の例

3-3 実行例

現在までに作成された本システムの実行の流れを図-10に示し、その出力画面例<Ⅰ～Ⅶ>を図-11に示す。これは、上路式アーチの概略形状を試験的に決定することを試みたものである。また、前述したように知識ベースシステムは、CADシステムからこのシステムを終了させることなく実行させることができるようになっている。なお<画面Ⅶ>は、現地で撮影した景観画像に合成することができる。

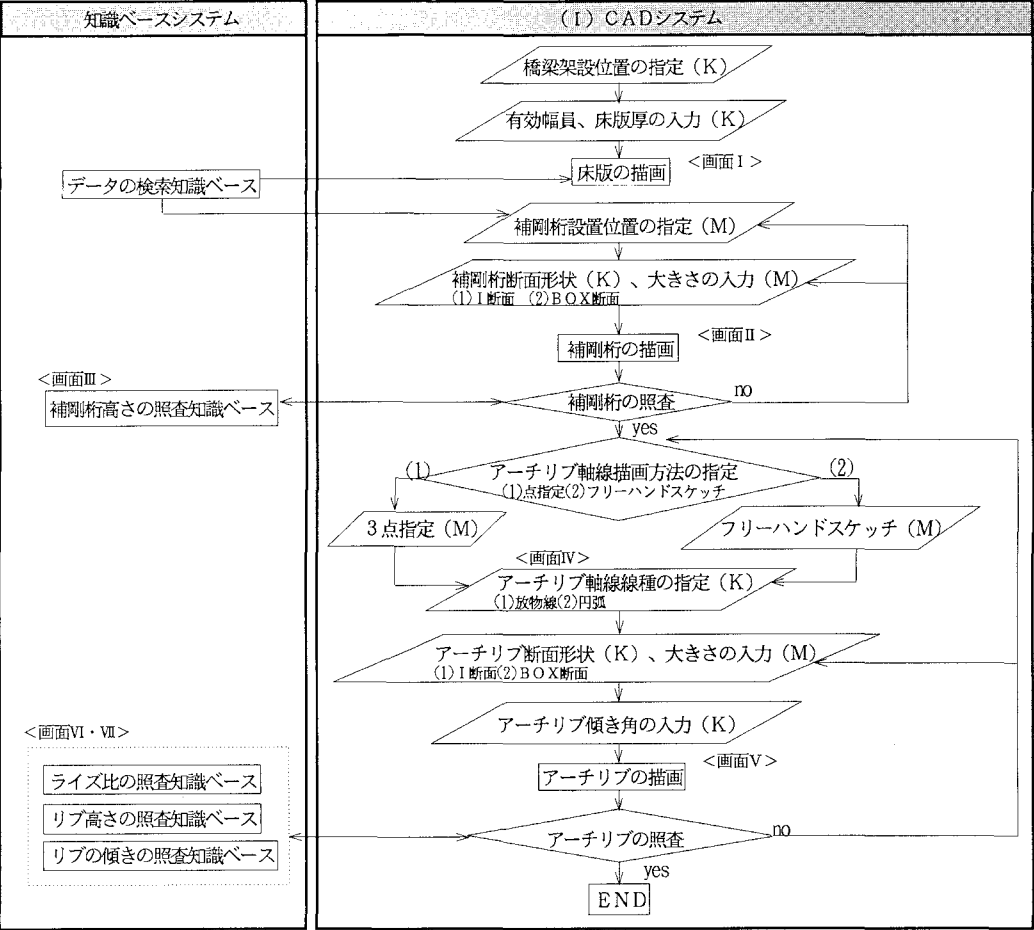


図-10 本システムの実行の流れ

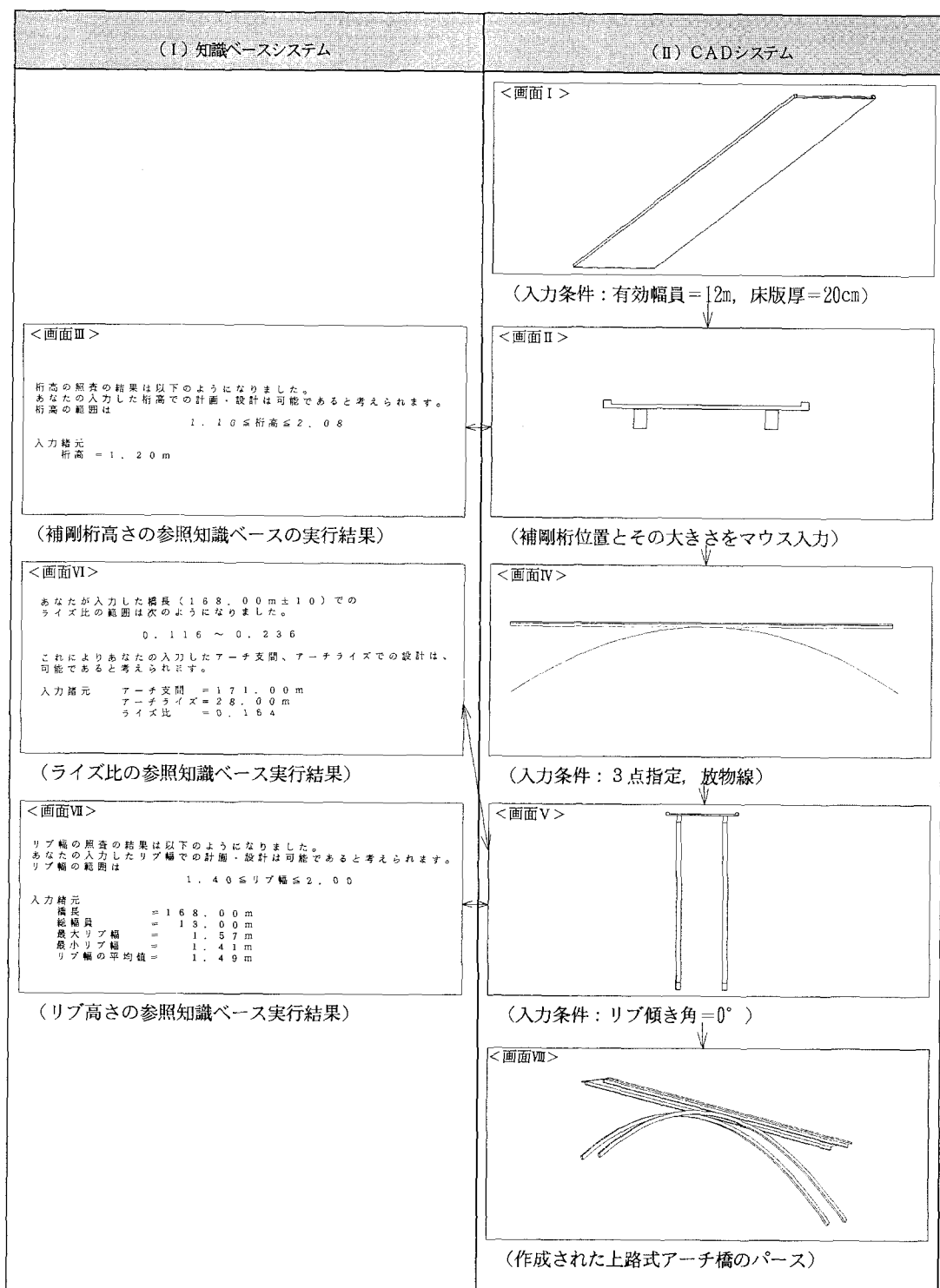


図-11 出力画面例

4 結語

本景観設計支援システムは既に述べたようにその一部を実際に作成し試験的に実行できる段階に至っている。今後更に知識ベースを充実させることが必要であるが、本システムは以下のような特徴を持っている。

- (1) フィードバックがしやすく多くの橋梁形式から検討することができるようになる。
- (2) 非熟練者による景観を考慮にいたれたプランニングが可能になる。
- (3) データベースの検索が容易になる。
- (4) CADを用いてスケッチ作業を行うため、基本図面やモデリングは自動的に作成されるようになりプランナーの作業が容易になる。
- (5) 景観設計の為のデータベース化が、橋梁諸元データ決定に有効になる。

また、課題としては次のことが挙げられる。

- (1) 既存橋梁以外のタイプの橋に対して有効になるような知識ベースとデータベースの構築を考えなければならない。
- (2) 現在考えているシステムでは、橋梁の概略諸元のみ求めることができるが詳細な実施設計レベルには至っていないので、詳細設計にまで対応できるように発展させるとにより一層有効なシステムになる。
- (3) 現在のCADシステムでは橋梁のディテールまで表現する事ができないので高欄、照明などの橋梁付属物などの表現機能の追加や、テクスチャマッピングによる質感の向上を行うことで、よりリアルに表現できるようにする。
- (4) 既存橋梁データベースを拡大する事で信頼性の向上をはかる。

参考文献

- 1) 白石成人、古田均、吉住先司：構造設計へのファジイ意思決定理論の応用に関する基礎的研究、1987.3、構造工学論文集
- 2) 白石成人、古田均、中島裕之、山本信哉：橋梁計画設計のためのエキスパートシステム構築に関する基礎的研究、1988.3、構造工学論文集
- 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研究、1989.3、構造工学論文集
- 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、1990.3、構造工学論文集
- 5) 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、1991.3、構造工学論文集
- 6) 久保田浩：エキスパートシステム構築を目的とした斜張橋情報のデータベース化、1990.10、土木学会第45回年次学術講演会
- 7) 磯光夫：橋梁景観設計のためのカラーシミュレーションシステムの開発に関する一考察、1989.10、土木学会第44回年次学術講演会
- 8) 篠原修：新体系土木工学59土木景観計画、1982、技報堂出版
- 9) 山本宏：橋梁美学、1980、山海堂
- 10) 小柳武和、篠原修、田村幸久、中村良夫、：土木工学体系13景観論、1977、彰国社
- 11) 中村秀治、寺野隆雄：土木構造物エキスパートシステム、1987、オーム社
- 12) 林隆太郎：橋梁景観設計支援システムの構築手法に関する研究、1991.2、埼玉大学修士論文
- 13) 成島正倫：画像処理技術を用いた計画代替案選定支援システム、1990.2、埼玉大学卒業論文
- 14) 遠藤暁：テクスチャマッピングを用いた景観シミュレーションシステム、1992.2、埼玉大学卒業論文

(1992年9月21日受付)