

橋梁の比較設計支援エキスパート・システムに関する研究

Study on Expert System for Selection of Bridge

茨城大学 岩松 幸雄*

茨城大学大学院 ○須原 茂 **

By Sachio IWAMATSU, and Shigeru SUHARA

土木構造物の設計は、従来より構造力学による力学的安全性の理論的解析を中心に行われ、その他の補完は、示方書、基準類と設計者の構造物設計に関する知識、経験を援用して行われてきた。一方、人工知能分野の一手法としてエキスパート・システムが、近年多方面から注目を浴び研究、開発が盛んである。エキスパート・システムは、専門家の知識や過去の経験などの表現、推論を実行するのに従来の計算機利用技術より適している。そこで本研究は、エキスパート・システムを用い橋梁比較設計の支援システムを開発することを目的としシステムの構築を行っている。今回、これまでに構築したシステムについて報告する。

【キーワード】エキスパート・システム、橋梁、比較設計、支援システム

1. はじめに

土木工学における解析や計算作業の面では、コンピュータの利用はほぼ確立されたといっても過言ではない。現在では、単なる技術的なものだけでなく、もっと広い範囲においてコンピュータを利用する努力が行われている。1960年代の後半にアメリカにおいてその概念が生まれたCADシステム(Computer Aided Design System: 設計支援システム)を含めた自動設計の普及はその現れの一つであり、現在土木工学の各分野で設計支援システムとして利用されている。しかし、橋種、支間長、橋脚の位置などは、法規、地形条件、環境条件、経済条件などの諸条件をにらみながら、設計担当者が個人の知識、経験によって決定しているといえる。つまり橋梁等の特定構造物の形式選定を行うなど、より上位の段階におけるコンピ

ュータの利用は、顕在化した形では行われていないといっても過言ではない。このような問題を解決する手段としてここ数年、人工知能(AI: Artificial Intelligence)分野の中で、とくに最近注目を浴びているエキスパート・システムがある。エキスパート・システムとは、解決すべき問題が属する領域の専門知識(専門的事実と経験的知識)をデータ・ベース化し、これを利用して十分複雑な問題をエキスパートと同程度のレベルで解決することを目標とするシステムである。そこで、筆者らは橋梁の比較設計支援エキスパート・システムの実用化を目指し、茨城大学を中心に土木研究所、(株)長大、日本ビジネスオートメーション(株)等が参加した「橋梁設計AI研究会(会長: 岩松幸雄教授)」を編成し、本研究の一環として昨年度から活動を行っている。当研究会では、昨年度 パソコン(PC-9801)上でプロトタイプの比較設計支援エキスパート・システムを作成した。パソコンでは、記憶容量や処理速度に制限があり、今後システムのバージョンアップを図ることが困難であることから構築機種を32bitのLapTop Computer(J-3100SGT)に変更し、現在システムの改良、見直しを行っている。

* 工学部建設工学科

(〒316 日立市中成沢町4-12-1)

** 工学研究科建設工学専攻

(同上)

2. システムの開発背景と位置づけ

橋梁設計等に見られる現行の構造物設計の最終段階に位置する詳細設計では、その主要な部分は力学的検証のみであるが、それとても同一力学モデルで設計計算等が行われているわけでもない。つまり橋梁の現行力学設計は橋梁上部工の各メンバー、下部工、基礎工、基礎周辺の地盤等々が同一モデルで解けるほど総合的で精緻なモデルアナリシスが可能でもないし、また安全で、安心でそして安定した構造物を導出するための力学的設計は構造物設計の大前提ではあるとしても全体でないことは論を待たない。

このように橋梁設計の場合でも構造物の構成要素を成可く多く、同一土俵上で操作すると共に、目的関数である評価要素についても力学的安全性の他に経済性、機能性、環境適合性等々の項目の各指標を時系列的な側面と共に内部、外部の影響効果の観点からも同一土俵で論じる必要もあろう。加えて、構造物の設計技術もハイ・レベルになり、これと同レベルに各評価項目を修得することは1人の技術者にとっては至難のことと言わざるを得ない。

以上のような背景および観点から、筆者らは橋梁の予備設計（比較設計）段階を対象に各専門家の知識・経験を基にしたサブ・システムを設定し、またそれらを合成したトータル・システムの構築を目的に現在研究中である。もちろん、各サブ・システム間では同一指標とし得ないもの、決定論的に設定し得ないもの、重みの違うもの等問題点は多い。また、当初から全評価指標を論理的に組み込めるはずもなく、従ってトップ・ダウン、ボトム・アップの双方よりチェックし、毎年度末に不満足でもシステムを完結させることとするようなローリング・システムでバージョンアップしていく方針である。

図-1に予備設計業務（比較設計業務）の一般的処理の流れを示す。

① 橋梁架設地点の地形、地質、隣接路線計画の状況、河川改修計画及び河川管理条件等に基づき橋長を決定する作業である。

② 橋種、支間割、構造等について十分検討を行い、適当と思われる橋種から上部工、下部工各々について2～3種類を選定する作業である。

③ ②で選定された橋種に対して概略設計を行い、経済性、構造特性等について総合比較を行うものである。

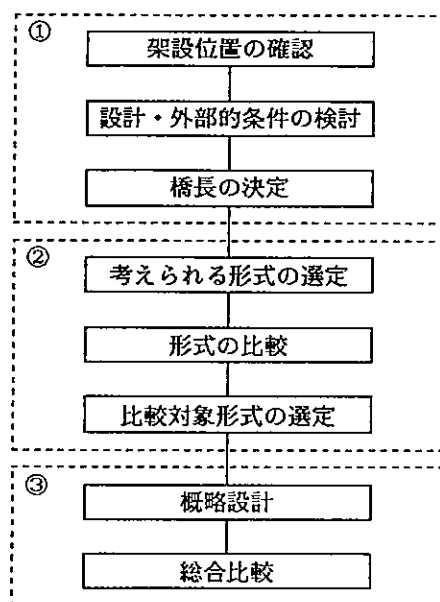


図-1 予備設計の流れ

本研究では、このような予備設計業務の内の②での使用を前提としたプロトタイプシステムの構築を行った。

3. システムの構築

本システムは、エキスパート構築支援ツールとして（株）JBAのエキスパート・シェル「Shell-Sunday」を主に利用し、数値処理及びグラフィック関係については、外部プログラムとしてBasicを用いて構築している。知識ベースは、示方書、設計標準書等の文献及び土木技術者、設計者の経験に基づく意見を参考に知識を体系化した。知識の表現形式は、条件-結論というようなif-then形式のプロダクションルールで、曖昧さを表す尺度としてとりあえず確信度を用いている。本研究では将来ファジー理論

等のより曖昧な要素を表現できる手法を用いて推論できるよう考えている。

本システムは、プロトタイプの構築から行ったのでそれによる制限、制約を以下のように決めた。また、上部工、架設工法、下部工（橋台、橋脚、基礎）の対象形式を表-1に示す。

- ・最小支間長 5m
- ・最大径間数 5
- ・斜角 70°～75°以上
- ・縦断形状は水平のみ
- ・橋軸が直線である橋（直線橋）
- ・異橋種の組合せを認めない

表-1 対象形式

上部工対象橋種		架設工法対象工法	
プレート ガーダー橋	非合成単純桁 非合成連続桁 単純合成1桁 単純合成2桁	自走クレーンによるベント工法 ケーブルクレーンによる吊工法 送出し工法 支保工式架設工法 橋出し架設工法 押出し架設工法 クレーン架設工法 エレクションガージ式架設工法	
	ボックス ガーダー橋	単純合成箱桁 単純非合成箱桁 連続非合成箱桁	
		下部工対象形式	
P C 橋	プレチン単純1桁 プレチン中空床版 プレチン単純T桁 ボスチン単純T桁 単純箱桁 連続箱桁	橋台	重力式 逆T式
		橋脚	橋り出し式（内形柱、小判柱、矩形柱） 壁式（矩形、小判）
R C 橋	中空床版	基礎	直接基礎 打ち込み杭（P C、鋼管） 中掘り杭 場所打ち杭（リバース、アースドリル オールケーシング、深礎）

4. システムの概要

本システムは、比較設計の考えをもとに上・下部工を一体として形式を選定するシステムである。本システムの基本構成は、7つのブロックからなりシステムの流れを図-2に示す。システム全体のコントロールは、操作の容易性を考えてメニュー表示し選択する方式により行っている。以下に各ブロックの概説する。

①地形データ入力

橋梁の左端を数学座標の原点とし、地形の座標データを入力する（図-3）。

②径間割り、地質条件の入力

まず、上部工を選定する条件として橋長、径間

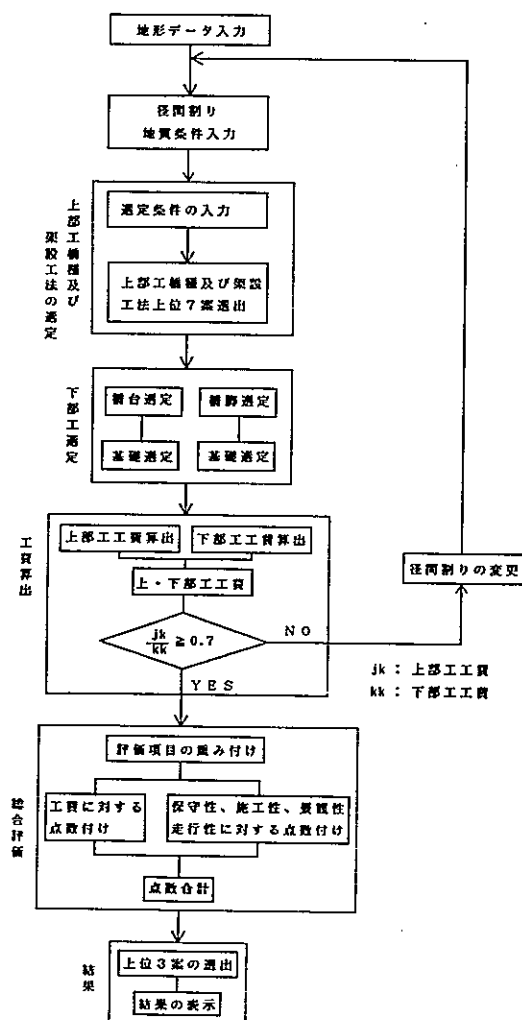


図-2 本システムのフロー図

数、スパン長、橋脚設置禁止区域を入力し、次に下部工の選定条件として橋台、橋脚設置地点の地質条件（表層、中間層、支持地盤の状態など）、環境条件（振動、騒音、隣接構造物への影響など）等を入力する（図-4、5）。

③上部工橋種及び架設工法の選定

②で入力された橋長、径間数、スパン長とユーザーの入力する条件（上部工橋種及び架設工法選定のための条件）をもとに、上部工橋種及び架設

工法上位7案を選定する。上部工橋種、架設工法の選定条件及び評価項目としてスパン長、経済性（工費）、景観性、保守性（維持・管理）、工期、施工性、設置場所、走行性、架設場所の諸条件等を取り上げた。スパン長は、各橋種それぞれ理想的なスパン長があり、実際には下部工との関係、橋長、禁止区域等の制限から思うように定まらない。そこで文献及び専門家の意見を参考に、橋種別に本システムにおける適用スパン長の範囲を定めた。また、景観性、保守性、施工性については、各橋種について文献及び専門家の意見を参考にA、B、Cの3ランクまたは5段階に評価し、それぞれに確信度をつけた。例えば景観性は、周囲に及ぼす影響が大きく非常に重要であるが、選定要素を固定化することが難しい。選定段階では、橋種と架設場所から判定する。保守性（維持・管理）は、コンクリート橋では、一般に塗装は不必要で維持費用は少ないと考えられるので、鋼橋よりはよいと考え、鋼橋は、塗装が定期的に行われないと発錆、腐食を生じるため、塗装費用から判定を行えるようにした。施工性においては、安全性、難易度、工期、管理性、架設工費などが判定要素として挙げられるであろう。架設工費は、経済性（工費）に含まれるので施工性という面からは除外し、安全性、難易度は、評価方法が非常に難しいが、過去の実績数という要素に置き換え、工期は現場での工期の長短、管理性は管理の難度という観点からランク付けを行った。経済性（工費）は、実績値を入手し、橋種別のスパン長より求める m^2 当りの回帰式を作成した。この式により経済性を判定することとした。設置場所は、景観性から観光地、都市部、一般部、施工性から平地、河川、山間部に分け、それぞれの地域別に橋種、架設工法等の条件と組み合わせたルールにより判定する。走行性において、走行性の優劣を判断するのは非常に困難であるが、振動、衝撃をできるだけ少なくすること、すなわち伸縮継手が少ないものが走行性を良好にする。したがって、橋をできるだけ長く連続させるとか、支間長を大きくとる等が考えられる。本システムでは、ジョイントの数を考慮して判定する。

<< 地形データ入力 >>

地形データのファイル名 : HITO.DAT
データの個数 : 60

DATA

DATA No.	X-DATA	Y-DATA
31	30000	-6270
32	31000	-5940
33	32000	-5610
34	33000	-5280
35	34000	-5115
36	35000	-5280
37	36000	-5650
38	37000	-5280
39	38000	-5280
40	39000	-5280

DATA No[37] X-DATA ? : 36000
Y-DATA ? : -5280

図-3

地形データのファイル名 : HITO.DAT
地形データ : 59 m
禁止区域 : なし
DATA : 2 区間

スパン長 DATA

No.	スパン長 (m)
1	31
2	28

よろしいですか (ESC KEY /) ? :

図-4

59 mの地点の地盤条件を
入力して下さい！

地盤条件	6.7
地盤の硬さ	0
地盤の軟弱	0
地盤の傾斜	5
地盤の形状	0
地盤の深さ	0
地盤の広さ	0
地盤の高さ	0
地盤の長さ	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚	0
地盤の重	0
地盤の軽	0
地盤の硬	0
地盤の軟	0
地盤の傾	0
地盤の形	0
地盤の深	0
地盤の広	0
地盤の高	0
地盤の長	0
地盤の幅	0
地盤の厚</	

スパン長と同様に適用高さの範囲を定めた。施工性は、形式別に文献及び専門家の意見を参考にランク付けを行った。下部工形式と上部工橋種との関係は、形式別に上部工橋種、スパン長等から高さや死荷重反力の関係をルール化し判定要素とした。経済性（工費）は、上部工と同様に実績値から基礎形式も考慮した工費を求める回帰式を作成した。その式より経済性を判定する。基礎の選定は、表-2に示すような各種条件と基礎形式の基礎形式選定表（施工実績により確信度を付けた）から選定する。

表-2 基礎形式選定表

	適用基礎	打ち込み杭		中継り杭	場所打ち杭			
		P	C		リバー	オレン	アイ	深
		杭	杭	杭	スクリ	スクリ	スクリ	杭
表層の状況 粘土土：N<2 砂質土：N<10 礫土：10以上	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	△ △ △	△ △ △	△ △ △	△ △ △
中間層 きわめて軟弱 軟弱 きわめて硬い層がある 大砂層がある 5m以上の砂層がある 上層軟弱で下層良好 深径 5~10cm 10~50cm	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
支持地盤の状況 傾斜している(30°以上) 凹みがある	○ △ △	○ △ △	○ △ △	○ △ △	○ △ △	○ △ △	○ △ △	○ △ △
地下水の状況 地下水位が地表面に近い 湧水量がきわめて多い 地表から2m以上の埋圧地下水 地下水深度3m/m以上	△ △ △ △ △	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	△ △ △ △ △
鉛直距離小(20m以下) 普通(20~50m) 大(50m以上) 水平距離小 大	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
支持方式 先端支持 摩擦支持	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
流動化する地盤	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
施工深度 2~5m 5~15m 15~25m 25~40m 40~50m 50~60m	○ ○ ○ ○ ○ ○	△ △ △ △ △ △	△ △ △ △ △ △	△ △ △ △ △ △	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○
水上陸上 2m以下 3~4m 5~6m 7m以上	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
施工空間 高さ制限5m未満 5m以上 横方向制限狭い 広い	○ ○ ○ ○ ○	△ △ △ △ △	△ △ △ △ △	△ △ △ △ △	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
振動、騒音	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
隣接建物に対する影響	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
有毒ガスの影響	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○

※ ○：施工実績が多い ○：施工実績がある △：施工実績が少ない
×：施工実績がほとんどない

⑤工費算出

③、④で選定された上・下部工の諸元をもとに、実績資料から求めた回帰式により工費を算出し、各案ごとに工費の詳細を表示する（図-6）。③、④では概略工費にA、B、Cのランク付け（確信度を付けた）をした工費を用いて推論させているが、ここでの工費算出は⑥の総合評価において工費の評価が他の評価に対し、評価する割合が大きいためと考えられるので、⑥での点数付けをより正確に行うためにここで工費を詳しく求めている。また、ここでは下部工工費が上部工工費の5割増し以上になるような案、つまり上・下部工の工費からみて適当でないと考えられるような案は、選定のやり直し（フィードバック）できるようにした。

⑥総合評価

橋梁選定を行う場合、評価項目（工費、保守性、施工性、走行性、景観性）の評価する割合や評価指標といったものは、単純に決まるものでなく、架設場所や評価者など様々な要素が絡み合って決まるものであり、いつも一定の割合で同じ評価指標を用いて評価されることはないであろう。

本システムでは、架設場所（観光地、都市部、一般部）による評価項目の重み付けの参考値を表示し、その値を用いるかまたは利用者が入力できるようにし、入力された重み付けにしたがって7案に対して評価を行い点数付けを行う（図-7、8）。

現在は、上述したような曖昧な要素にファジ理論の導入を行っている。

⑦結果

⑥で求めた点数をもとに点数の高い順に上位3案を結果としてディスプレイに表示する（図-9）。

第1案 工費	(万円)
2径間：単純合成1桁	18238
自走クレーンによるベント工法	980
逆T式橋台	778
重力式橋台	566
逆T式橋脚（小形壁式）	678
TOTAL	13224

図-6

重 み 付 け (一般部)					
項目	重み	/100	USER	SAMPLE DATA	
経済性	60	60	(●)		
景観性	10	10	(○)		
施工性	10	10	(○)		
保守性	10	10	(○)		
走行性	10	10	(○)		
項目	重み	/100	USER	USER INPUT DATA	
経済性	2	2	(○)		
景観性	1	1	(○)		
施工性	1	1	(○)		
保守性	1	1	(○)		
走行性	1	1	(○)		

図-7

総 合 評 価						
No.	経済性	景観性	施工性	保守性	走行性	合 計
1	51	6	6	6	9	78
2	48	6	10	6	9	79
3	45	6	6	6	9	72
4	42	6	10	6	9	73
5	55	6	10	10	9	94
6	60	8	6	10	9	93
7	48	6	6	6	9	67

図-8

第1案

2倍間：ボスデン単純T桁 (PC) 突出し架設工法
橋長 99 m スパン長 31+28 m
逆丁式橋台 橋台高 6 m 橋台基礎 18.35m
逆丁式橋台 橋台高 5 m 橋台基礎 18.25m
逆丁式橋台 (小判式) 橋台高 7 m 直接基礎
工費 118.30万円 橋脚高 7 m 直接基礎
計価 94点

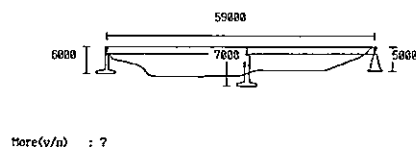


図-9

表-3 選定結果の比較

	実際の比較設計による結果		本システムによる結果	
	形 式	工費(万円)	形 式	工費(万円)
第一案	単純合成1桁	7600	ボスデン単純T桁	6810
	逆丁式橋台 直接基礎		逆丁式橋台 直接基礎	991
	逆丁式橋台 直接基礎	2330	逆丁式橋台 直接基礎	702
	小判柱 直接基礎		小判柱 直接基礎	598
	計	9930	計	9101
第二案	連続合成鋼桁	7600	単純鋼桁(PC)	6812
	逆丁式橋台 直接基礎		逆丁式橋台 直接基礎	991
	逆丁式橋台 直接基礎	2400	逆丁式橋台 直接基礎	702
	小判柱 直接基礎		小判柱 直接基礎	598
	計	10000	計	8903
第三案	ボスデン単純T桁	8950	単純合成1桁	7806
	逆丁式橋台 直接基礎		逆丁式橋台 直接基礎	991
	逆丁式橋台 直接基礎	2300	逆丁式橋台 直接基礎	702
	小判柱 直接基礎		小判柱 直接基礎	540
	計	11250	計	10039

※小判柱は小判柱張り出し式橋脚である。

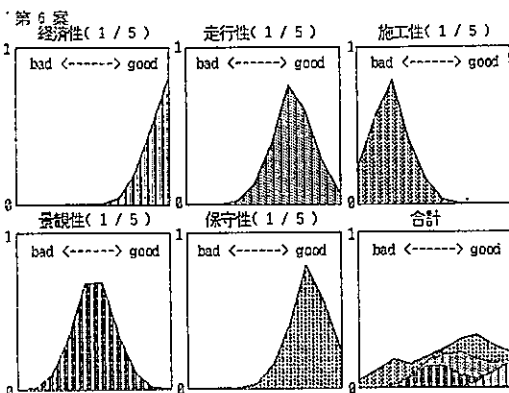


図-10

5. システムの適用例

現在、上部工橋種と同時に架設工法も選定できるように改良及び知識の見直しを行っている段階であるので、システムの適用例としてプロトタイプ作成時に検証した例を表-3に示す。表-3はシステムの実行結果と実際に行われた比較設計とを形式、工費について比較したものである。

また、現在総合評価部においてファジィ理論の導入を行っており、その一例を図-10に示す。図-10は、ある選定された案に対して、各評価項目のファジィ分布とそれらの重みを考慮し総合評価したときのファジィ分布を示した例である。

6. 今後の課題及び展望

本システムの開発を通して、今後の課題及び改良点を挙げると以下の通りである。

- (1) 知識の質的向上
- (2) システムの対象範囲の拡張
- (3) ユーザインターフェースの改良
- (4) 曖昧な要素にファジィ理論の適用

本研究は、現在プロトタイプのシステムを改良をしているという段階であり、例えば、上部工橋種でいえば桁橋を対象としているが、実際の比較設計においては、河川流量の関係や山岳部の谷の深さの関係などによって、中央径間をとばす場合に

トラス、アーチ橋などを検討橋種にいれる場合が多い。また、比較設計業務の中では、単に形式選定を行うだけでなく、形式を選定するのに先行して橋長や支間割を決定する部分も大きなウェイトを占めるものであり橋長や支間割を決める部分のシステム化についても考慮しなければならない。今後、トラス、アーチ橋といった対象橋種の拡張等の制限、制約を緩和し、システムの対象範囲の拡張を考えている。

エキスパート・システムの能力は、知識の量と質に依存する。システムの推論結果に対する信頼性を高める、すなわち知識をより洗練されたものとするために、多くの事例から検証を行い、知識の追加、修正が効率よく行わなければならない。そのために、実際に専門家が利用して知識修正を行うということが必要となる。しかし、専門家がコンピュータのことをよく理解しているとは限らず、システムの機能を理解し、知識の追加、修正を行えるようシステムを改良していかなければならない。このことは、利用者とシステムとの間、すなわち、入出力に関するユーザインターフェースの問題であり、実用的なエキスパート・システムを構築する上でユーザインターフェースの向上は非常に重要な問題である。

さらに実用的なエキスパート・システムとするには、単に推論結果を出すだけでなく、なぜそれが選定されたか、または選定されなかったかという推論過程の出力や推論結果の根拠の説明が重要であると思われる。今後、推論結果と推論過程を同時に出力するというmulti-window機能やhelp-window機能（用語検索、用語説明等）といった諸機能の追加を考えている。しかし、推論過程の出力は、システムのバージョンアップや内容理解のためには必要としても、いつでも、どこでもその出力が可能であるということは問題もないわけではない。

本システムでは、曖昧な要素を取り扱うのにとりあえず確信度を用いた。本システムにおける確信度は、適用ルールが成立したときの結論の確からしさという観点から決められており、定めるときに問題があり、また、以下の式のように確信度の計算が積み上げられていくので、適用ルールが

多くなるほど最終的な結論の確信度が高くなるという問題を有している。

確信度の計算式

$$\beta = \alpha + \frac{(100 - \alpha) \times \alpha_i}{100}$$

β : 新しい確信度

α : 古い確信度

α_i : 追加する確信度

評価項目における景観性などは、技術者の性格や学習過程（生活背景や評価者としての経験）などの人間本来の主観に起因する曖昧さが、多分に含まれる。このような主観的で曖昧な要素を数学的に取り扱うための一手法としてファジィ理論があり、確信度などよりもより柔軟に曖昧な要素を表現できるものである。エキスパート・システムは人間による判断をコンピュータに代行または支援させるものであるが、機械にのせるため知識を強引に数値化する必要は避けられない。例えば、IF（支間長が長い）THEN（クレーン架設工法が適さない）であるところを、IF（支間長＞60m）THEN（クレーン架設工法が不可）というようにである。それを補うのがファジィ理論であり、橋梁を扱うエキスパート・システムにおいても有効性があると考えられる。現在、総合評価における評価項目の重み付け、各評価項目についてファジィ理論の導入を試みている。ファジィ理論導入に関する今後の課題として、システムの判断結果と専門家の判断とが適合するように、各評価項目のメンバーシップ関数、入力関数の形状、数など設定し、修正を加えていかなければならない。すなわち、入力関数については各評価項目に影響する要因により、形状（高さ、幅など）が異なる。従って、三角形型の関数を中心に高さ、幅等の変更により結果にどのように影響を与えるのか分析を行っていく方針である。

7. おわりに

エキスパート・システムの開発は、エキスパート・シェル等のツールを用いることにより、推論機構をブラックボックスとして知識ベースを構築するだけでよく、どの知識がどんな状況で利用されるかが把握し易くかつ知識全体も体系化しやすい。このような点を考慮すると、土木設計での業務は、ほとんどが経験的知識の上に成り立っているため、エキスパート・システムの応用可能分野が非常に広いと考えられる。現に、土木設計を対象とした多くの業務がエキスパート・システムの適用対象として挙げられると共に、具体的なエキスパート・システム開発への検討段階に入り、また次の段階に入ったものもある。これらの開発の結果、土木設計用エキスパート・システムを適用できる可能性が非常に高いことが実証され始めている。本研究も構造物（橋梁）の比較設計を取り上げ、システム構築を行ったもので、土木分野においては、このような形式、工法の選定といったエキスパート・システム以外に、設計書や図面のチェック、示方書との適合、関連法規のチェック等のように一つの提示された結論、仮設を予め用意された知識に基づいて診断、判断する問題などについて、エキスパート・システムを導入して解決しようとする機運がある。

土木分野におけるエキスパート・システムは、単独システムではなく支援システムとして既存のシステムに組み込んでいくことによって適用の可能性が広がると考えられる。本研究においても、橋梁の比較設計エキスパート・システムの開発は、一つの独立したシステムとして開発するだけでなく、CADシステムや積算システム、そしてDBMS (Data Base Management System) 等を組み込んでいくことで、長期間にわたって蓄積されたソフトウェア資産を有効に活用できるという点で大きな価値があると思われる。また手法的にも、ファジィ理論の適用のみならず計画数理の援用も組み込んでより合目的的なシステムとしたい。

最後に、本システムの開発にあたり、多くの方々から知識、資料の提供、貴重なご意見を頂いた

ことを付記し、感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 岩松幸雄：土木設計論、土木研究所資料第1261号、1977年3月
- 2) 岩松幸雄：新体系土木工学 4 電子計算処理、技報堂、1984
- 3) 佐々木道夫・高尾孝二：土木工学体系 3 2 橋、彰国社、1981
- 4) 加藤正晴・柿崎博雄：新体系土木工学 4 1 橋梁上部構造（I）－鋼橋－、技報堂、
- 5) 西山啓伸：新体系土木工学 4 3 橋梁上部構造（III）－コンクリート橋－、技報堂、1980
- 6) 青木重雄・和田克哉・青木一二三：新体系土木工学 4 4 橋梁下部構造、1985
- 7) (社) 土質工学会：構造物基礎の設計計算演習、1982年2月
- 8) (社) 全日本建設技術協会：建設省制定土木構造物標準設計第6～12巻（橋台・橋脚）の手引（昭和57年改訂版）建設省土木研究所編
- 9) 日本鋼構造協会：鋼橋計画マニュアル 昭和60年3月
- 10) 土木設計エキスパート・システム研究会：土木設計エキスパート・システム研究会報告書、昭和61年10月
- 11) 日本ビジネスオートメーション（株）：Shell-Sunday、1986.12.
- 12) 岩松幸雄・須原茂・黒沼秀友：橋梁の比較設計支援エキスパートシステムに関する研究、土木学会第43回年次学術講演概要集、pp.18-19、1988.10.
- 13) 中村秀治：知識工学と土木構造物、土木学会論文集、第386号/1-8、1987.10.
- 14) 小木曾寿之・仁枝かおり・早川裕史：橋梁比較設計支援エキスパートシステムに関する研究、茨城大学卒業論文、1988.2.