

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

AN EXPERT SYSTEM FOR DESIGN PLANNING OF BRIDGE STRUCTURES

白石成^{*}

古田均^{**}

中島裕^{***}

山本信哉^{****}

By Naruhito SHIRAISHI, Hitoshi FURUTA, Hiroyuki NAKAJIMA and Shinya YAMAMOTO

In this paper, an attempt is made to develop an expert system for decision making in the design planning of bridges. In the preliminary design of middle spanned bridges, we can consider various types of bridge structures. It is not easy for inexperienced engineers to select an appropriate combination of superstructure, substructure and construction method. The present system provides several feasible solutions for choosing the types of superstructure and substructure and the method of construction. Using a so-called expert shell, it is possible to build a practical system easily. Significantly, we can share much time to acquire available knowledge and information and to store them in a data base. Several application examples are presented to illustrate and demonstrate the expert system developed herein.

Keywords: Bridge, Design Planning, Expert Shell, Expert System, Production Rule

1. まえがき

中小橋梁の形式には種々のものがあるが、主に経済的な制約から、計画・設計段階において橋梁形式・架設工法に対して十分な検討が加えられないことが多々ある。そのため製作、施工中に予期せぬ事態が発生すると全体として建設費が高くなることもしばしば見受けられる。このようなことを避けるためには、計画・設計段階において適切な形式選定及びその形式と現場の条件に最も適した架設工法について十分な検討がなされなければならない。このような条件を満足するためには、かなりの経験あるいは熟練が必要である。また、高度な知識も要求されよう。しかしながら今日のように技術が急速に発達し専門が分化すると、1人の土木技術者があらゆる分野で十分な経験をつみ、それを基に適切な設計を行うことはきわめて困難になっている。そこで、種々の意思決定段階で経験豊富な専門家の知識あるいは判断に頼ることになるが、時間的な制約などにより必要な知識、決定が迅速にえられるとは限らない。これらのことを考えると、各分野の専門

[*]	工博 京都大学教授 工学部土木工学教室	(〒606 京都市左京区吉田本町)
^{**}	工博 京都大学講師 工学部土木工学教室	(〒606 京都市左京区吉田本町)
^{***}	工修 阪神高速道路公団 工務部 課長補佐	(〒541 大阪市東区北久太郎町4丁目68)
^{****}	京都大学大学院	(〒606 京都市左京区吉田本町)

家がもつ専門知識をコンピュータに蓄積し、必要に応じて十分な経験をもたない技術者の計画・設計段階における意思決定を支援することができれば非常に有益であろう。^{1)~5)}

本研究では、橋梁構造物の計画設計に着目し、いかなる橋梁形式をいかなる工法で架設するのが最良であるかという問題に解答を与えるエキスパートシステムの構築を目的としている。本システムにおいて橋梁計画設計は、基礎形式の選定、上部工形式の選定、架設工法の選定の順に行われる。しかしながら、これらを1つのシステムとして構築すると、非常に大規模なシステムとなるので、作成上あるいは実行上困難が生じる。そこで本研究では、これら3つのものを独立なサブシステムとして構築する。ところが、このように分割してシステムを構築すると問題が生じる。すなわち、選定案の良否の判定は、推論結果に付加される確信度係数により行われ、確信度係数の最大のものが、その選定段階（基礎形式選定段階、上部工形式選定段階、架設工法選定段階の3段階）では最適であると考えられるが、3段階を一括して1つのシステムとしてとらえると、果してそれが最適解かどうかは断定できない。そこで各選定段階で確信度係数が最大となるものだけを選択するのではなく、ほかにもいくつかの候補をあげるにより実行可能な基礎形式－上部工形式－架設工法の組合せを増やし、その中から最良の解を得ることを考える。

本研究では、エキスパートシステム構築の手段として、推論機構が組み込まれた既存のエキスパートシステム開発用ツール（エキスパートシェル）を利用する。このツールは日本語で入出力が可能のため、ユーザにとって利用しやすいシステムが容易に実現できるという特徴をもっている。⁶⁾

2. エキスパートシステム開発用ツール⁶⁾

本研究で既存のツールを使用する理由は、まず第一に知識ベースシステム構築の労力を削減できることである。知識ベースシステムを開発するには知識の表現形式や推論手法を決定するなど様々な要素を決めなければならない。ツールを用いれば、限られた時間内に獲得、入力できる知識量を増やすことができる。つぎに、プロダクション・ルールと呼ばれる「IF（条件部）-THEN（実行部）型」ルールを用いることにより容易に知識を蓄積できることがある。このルールはモジュール性が高く、他の知識とは独立に知識を蓄積できる。つぎに、大規模な知識ベースを容易に実現できることがある。知識ベースが大規模になると、一元的な表現では内容がわかりにくくなる。このツールは知識がユニット化できるので、内容の理解が容易である。また、知識ベースを日本語で記述できるため、ユーザにとって非常に使い易いシステムが実現可能となる。

このツールでは、各ルールによってもたらされる確からしさ（あるいは曖昧さ）の結合関係に確信度係数（CF: Certainty Factor）を採用している。CFの値は、通常専門家によって設定されるべきものである。CFを用いることにより、入力データあるいはルールに含まれるあいまいさを比較的容易に取り扱うことができる。もちろん現時点においては、完全な論理的整合性をもっているわけではないが、その簡便さから、ここでもCFを用いている。CFの計算はつぎの手順で行われる。

1) CFは $[-1, 1]$ の値をとり、-1は絶対的否定、1は絶対的肯定を表す。

2) 条件部のCF（仮にCF_{cond}とする）は、条件部が1項のときにはその項のCFがCF_{cond}となるが、AND結合のときには、

$$CF_{cond} = \min \{CF_1, CF_2, \dots, CF_n\} \quad (1)$$

ここで、CF_k ($k = 1, 2, \dots, n$) は条件部の各項のCFである。

3) 条件部のCF_{cond}が正のときのみ実行部は実行される。このとき実行部の仮説に確信度CF_hを与えているとすると、次の値を実行部の仮説にCFとして割り当てる。

$$CF = CF_h \times CF_{cond} \quad (2)$$

つまり、ルールで記述される CF_h は、条件部の CF_{cond} が 1 のとき実行部の CF は CF_h であることを示している。

5) 複数のルールによって 1 つの仮説に CF が割り当てられたときは、つぎの方式で段階的に確信度係数を計算する。まず、 CF を正值 ($CF+$) と負値 ($CF-$) とにわけると、

$$(CF+i, CF+j) = CF+i + CF+j - CF+i \cdot CF+j \quad (3)$$

$$(CF-m, CF-n) = CF-m + CF-n - CF-m \cdot CF-n$$

こうして $CF+$ と $CF-$ を独立に計算して、最終的な結合結果 (仮に CF_{end} とする) は、

$$CF_{end} = CF+ + CF- \quad (4)$$

とする。式 (3) の上の式は確率和の計算とおなじである。そして下式は負の数の計算であり、確率和とは異なるものであるが、やはり同じように計算する。⁶⁾

3. 橋梁計画設計のためのエキスパートシステム構築

本システムでは、基礎形式選定、上部工形式選定、架設工法選定の順に推論を実行する。まず基礎形式選定について述べる。本来、基礎形式と上部工形式は一体として取扱い、経済性その他を鑑みて支間割を決めなければならない。支間割に応じて基礎形式も変わると思われるが、ここでは既に支間割は決まっているものとして基礎形式を選定する。本システムで採用した基礎形式を図 1 に示す。

以下に実際のルールをいくつか示し、その意味を示す。

IF(EX-SHIJI, T)&F(WEA-SHIJI, T)&F(SHIJI-DEP, 0:100) → H(UP-SHIJI, 0.8)

「支持層があり、支持層以下が弱い層で、支持層の深さが 100m 以下ならば、不完全支持であり、その CF は 0.8 である。」

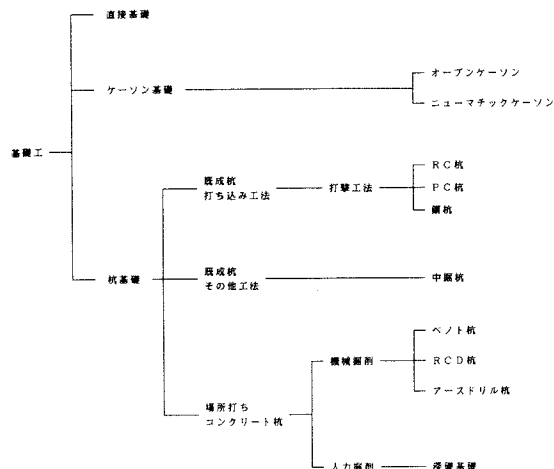


図 1 基礎形式の種類

表 1 上部工形式の種類

単線プレートガーダー
単線ボックスガーダー
連続プレートガーダー
連続ボックスガーダー
単線トラス・上路式
単線トラス・下路式
連続トラス・上路式
連続トラス・下路式
ゲルバートトラス・上路式
ゲルバートトラス・下路式
アーチ・上路式
アーチ・下路式
ランガンガーダー
逆ランガンガーダー
ローゼンガーダー
逆ローゼンガーダー
ニールセン
ラーメン、鋼クラメン
斜張橋
P/C単線プレートガーダー
P/C単線ボックスガーダー
P/C連続プレートガーダー
P/C連続ボックスガーダー
P/Cラーメン
R/C橋

```
* I F
H(HIT-KUI,0:*)
* T H E N
F(TAMAISHI,0:30)&F(NENDO,0:30)&F(KSY,T)&H(HIT-KUI,0:*)
  → H(RC-KUI,C:0.80),H(PC-KUI,C:0.80),H(MTL-KUI,C:0.80)
* E N D
```

「もし、打込杭の確信度係数が0以上の場合、玉石・転石の径が0～30mmで、粘性土層のN値が0～30で、杭のストックヤードがあるならば、RC杭、PC杭、鋼杭となり、そのCFはそれぞれ0.8である。」

条件部と実行部にH(HIT-KUI,0:*)があるが、実行部のものはCFの積を求めるためのものである。この例で打込杭のCFが0.8であるとすれば、RC杭、PC杭、鋼杭のCFは、それぞれ $0.8 \times 0.85 = 0.68$ となる。

つぎに上部工形式選定システムについて述べる。本システムで考えた上部工形式は、表1のとおりである。まず、適用支間長により採用できる上部工形式がしぼられる。つぎに表3に示された事項についての対話形式の問答の後、上部工形式がCFとともに決定される。

つぎに架設工法選定システムについて述べる。工法選定のためのシステム全体の選定過程を図2に示す。なお、架設工法は前に選定された上部工形式により採用を検討できる工法が制約をうける。これは、ルールとしてシステムに組み込んである。

以下に実際のルールをいくつか示し、その意味を示す。

```
* I F
(1:F(JOINT,F),F(JOINT,T)&F(KETA,30:*))
* T H E N
H(BENT,0:*) → H(BE-NO,1.0),H(CABLZ,0.9)
* E N D
```

「もし、現場継手がない、または現場継手があり桁下高さが30m以上の場合、ベント工法のCFが0以上ならば、ベント工法は不可能かつ他の工法へと進むCFはそれぞれ1.0,0.9。」

表2 上部工に対する
設計要因

耐風安定性
地盤の水平反力
経済性
地盤の強度
輸送方法
桁下制限の有無
高さ制限の有無
基礎の沈下の有無
走行性
美観
維持管理の容易性

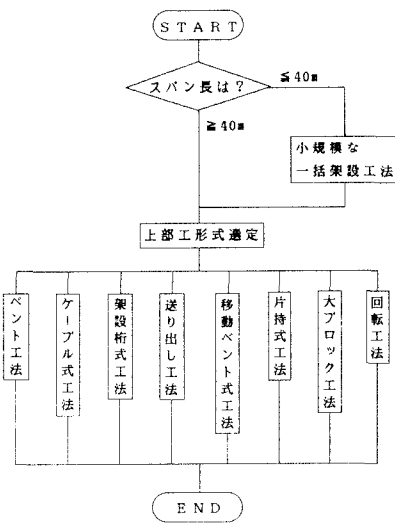


図2 架設工法選定システム

(1:F(ARCH-D, T), F(LAN, T), F(LOS, T), F(NLSN, T)) → H(BENT, 0.9)

「下路式アーチ、ランガー桁、ローゼ桁、ニールセンのうち1つが選択されたならば、ベント工法の選定過程へと進む確信度は0.9」

工法の選定では、以前に選定された上部工形式に採用できる架設工法全てについて推論が行われる。推論結果は、全ての推論が終了してからCFの大きい順にまとめて表示される。

最後に選定結果に対する検討について述べる。従来の橋梁形式、架設工法選定システムの研究では、上部工の形式選定のみ、あるいは架設工法の選定のみを対象にしていた。しかし現実の橋梁計画設計においては、ある地点に橋梁を架設するとき、安定性、経済性、施工性、維持管理性等を評価して、最適とはいえないまでも、実用上十分役に立つ計画案を得る必要があり、たとえ概略的ではあっても計画全体を1つのシステムとして取り扱う必要がある。本システムでは、橋梁下部・上部形式、架設工法を同時に扱い、それぞれに対して1つ以上の案が選定される。推論手順としては、まず基礎形式のなかでCFが最大のものを1つ選ぶ。つぎにその基礎形式を使用するという条件下で、CFが0から1までの範囲にある上部工形式が選定される。CFが最大の形式を選び、同様に架設工法が選定される。この方法は、基礎形式－上部工形式－架設工法の樹形図を、上から下へ最良の形式、工法を求めてたどっていく場合と同じである。ただ、ここで問題となるのは、本システムでは、選定された基礎形式、上部工形式、架設工法は、CFで考えるならばそれぞれ他の形式、他の工法より優れているが、1つにまとめた橋梁選定問題として考えた場合に、最適であるかという一概に断定はできないということである。この問題を解決するには、樹形図のすべてのルートをとどり、その中で妥当と考えられる実行可能解すべてについて検討すべきである。しかし、本研究のような規模の小さい樹形図ならば、すべての組合せを比較することも可能であるが、規模が大きくなるとルート数が膨大となり、すべての組合せの比較検討をすることは事実上不可能となる。そこで本研究では、CFの大きなものから2、3案選定し、選定された形式から同様に架設工法を2、3案選定して小規模な樹形図を作成して、その中から最適な組合せ（少なくとも実行可能な案）を選定することを試みる。これはCFで表現されているあいまいさを考慮するための措置であり、上位のものから2、3案選定すればある程度満足のいく実行可能解が得られるであろうと思われる。ここでつぎのような選定結果が得られたと仮定する（括弧内はCF）

基礎形式：オープンケーソン（0.7）、ニューマチックケーソン（0.6）、PC杭（0.1）

上部工形式：斜張橋（0.9）、下路式連続トラス（0.7）、連続プレートガーダー（0.3）、
連続ボックスガーダー（0.3）

基礎形式では、PC杭のCFが0.1で非常に小さいため、オープンケーソンとニューマチックケーソンを選定することにする。上部工形式では、連続プレートガーダーおよび連続ボックスガーダーのCFがそれぞれ0.3と小さいため、斜張橋と下路式連続トラスを選定することにする。斜張橋、下路式連続トラスに対する架設工法が、それぞれつぎのように得られたとする。

斜張橋：トラベラクレーンによるベント工法（0.6）

トラベラクレーンによる片持式工法（0.5）

ケーブルクレーンによる片持式工法（0.1）

下路式連続トラス：トラベラクレーンによるベント工法（0.9）

トラベラクレーンによる片持式工法（0.7）

ケーブルクレーンによる片持式工法のCFは0.1と非常に小さいため、考慮しないことにする。図3にこれらの結果の樹形図を示す。

CFの最も大きいものに着目して選定を行うと、次のような結果になる。

” オープンケーソン使用（0.7）、斜張橋（0.9）、トラベラクレーンによるベント工法（0.6） ”

つぎに、CFの積の大きいものを選定する方法をとる。これは、システムのルールの中で、（条件部）→

(実行部)の場合、実行部の最終的なCFは、条件部と実行部のCFの積をとったものであることから、基礎形式、上部工形式、架設工法の推論結果のCFの積をとることも妥当であると考えられるからである。結果はつぎようになる。

”オープンケーソン使用(0.7)、下路式連続トラス(0.7)、トラベラクレーンによるベント工法(0.9)”前者の結果でのCFの積は0.38、後者の結果でのCFの積は0.44である。このように各選定段階でCFの積が最大なものを選定していくという方法では、最良の実行可能解とはならない可能性もある。これを避けるためにも、各選定段階で実行可能と思えるものを1つに限定せず2、3選定していく方法は有効であると考えられる。

本システムでは、基礎形式の決定が上部工形式の決定に大きな影響をおよぼさない。これに対し、架設工法選定においては、上部工形式が選定要因として非常に大きな位置を占めている。従ってCFの積は上部工形式と架設工法の推論結果の間でのみ求めればよいとも考えられる。なぜならば、架設工法のCFは、上部工形式の確信度が1であると仮定した上での値であり、積をとるのが妥当であると考えられるからである。

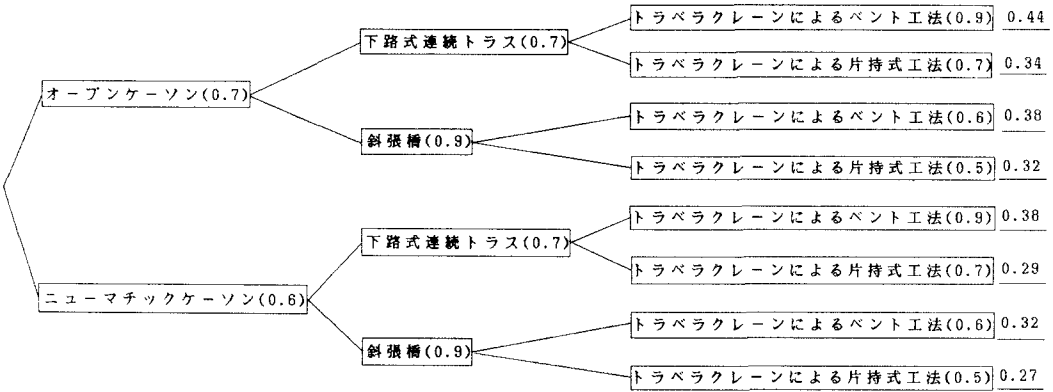


図3 樹形図

4. 適用例および考察

本研究で開発した橋梁計画設計システムを、実際に架設された橋梁について適用し、その適用性ならびに問題点について検討する。

4. 1 適用例 1

適用例として選んだ橋梁は、栃木県の六方橋(逆ローゼ橋)である。⁸⁾ 基礎形式は、橋台及び左岸橋脚が直接基礎、右岸橋脚が深礎基礎である。架設工法は、ケーブルエレクション併用によるケーブルクレーン工法を採用している。図4に上部工形式選定のための入力状況、図5に推論結果のみを示す。これらをもとに作成した樹形図を図6に示す。

以上の結果より、この地点に橋梁を架設するには、基礎形式は橋台及び左岸橋脚は直接基礎、右岸橋脚は深礎基礎、上部工形式は、下路アーチとし、ケーブルクレーンによる片持式工法、または桁上からの自走式クレーン車による片持式工法により架設するのが最良の実行可能解であると考えられる。しかし、逆ローゼ桁のCFの積0.89とこの形式のCFの積0.94を比較しても、それほど大きな差はなく、逆ローゼ桁を選定した場合も実行可能解になると考えられる。実際は、逆ローゼ桁形式で、ケーブルエレクション併用のケーブルクレーン工法であり、本システムでは、この場合のCFの積は0.76となっている。この値は他の積と比較したら小さい方である。この原因として考えられるのは、

- 1 スパン長を入力してください。
数値を入力してください。 --> 200
- 2 強風地ですか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 3 地盤の水平反力を期待できますか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 4 経済性を重視しますか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 5 地盤は軟弱ではないですか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 6 輸送方法は以下のどれですか？
1 陸上輸送
2 水上輸送
- 該当する番号を1つ入力してください。 --> 1
- 7 桁下制限はありますか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 8 高さ制限はありますか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 9 基礎の沈下を考えられますか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 10 走行性を重視しますか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 11 美観を重視しますか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 12 塗装に関する維持管理性を重視しますか？
YESかNOで答えてください。 --> N

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.99 アーチ・下路式(ARCH-DC)
- 0.99 アーチ・上路式(ARCH-UC)
- 0.94 逆ローゼ・ガーダー(ROS-RVC)
- 0.49 ゲルバートラス・下路式(G-TR-DC)
- 0.49 ゲルバートラス・上路式(G-TR-UC)
- 0.49 連続トラス・下路式(C-TR-DC)
- 0.49 連続トラス・上路式(C-TR-UC)
- 0.39 斜張橋(SHACHOC)
- 0.34 ニールセン(NLSNC)

図4 上部工形式選定の入力状況

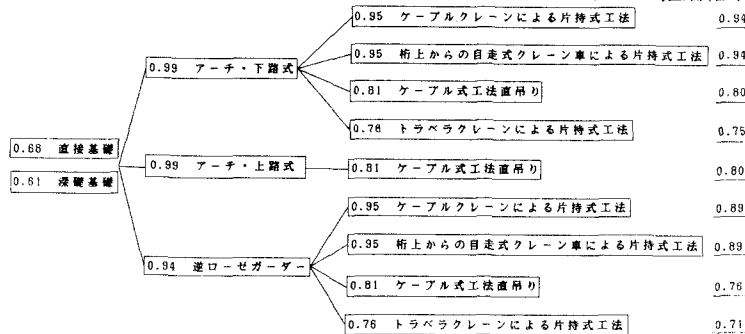


図6 適用例1の樹形図

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.68 直接基礎
- 0.65 深礎基礎

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.61 深礎基礎

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.99 アーチ・下路式
- 0.99 アーチ・上路式
- 0.94 逆ローゼ・ガーダー
- 0.49 ゲルバートラス・下路式
- 0.49 ゲルバートラス・上路式
- 0.49 連続トラス・下路式
- 0.49 連続トラス・上路式
- 0.39 斜張橋
- 0.34 ニールセン

●アーチ・下路式

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.95 ケーブル・クレーンによる片持式工法
- 0.95 桁上からの自走式クレーン車による片持式工法
- 0.81 ケーブル式工法直吊り
- 0.76 トラベラ・クレーンによる片持式工法

●アーチ・上路式

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.81 ケーブル式工法直吊り

●逆ローゼ・ガーダー

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.95 ケーブル・クレーンによる片持式工法
- 0.95 桁上からの自走式クレーン車による片持式工法
- 0.81 ケーブル式工法直吊り
- 0.76 トラベラ・クレーンによる片持式工法

図5 推論結果

- 1) 本システムのルールの不完全性
- 2) CFの値及びその取り扱い方
- 3) 情報の不足

の3つである。1)は現在のエキスパートシステムの課題でもあり、さらに専門的な知識が要求される。2)はここで用いたCFの値が正しいという保証はなく、またその合成法により値が実際の確信の度合と非常に異なるということを指している。

4. 2 適用例 2

つぎの適用例として選んだ橋梁は、大阪の大和川橋梁(斜張橋)である。⁹⁾⁻¹¹⁾ 基礎形式は、塔の下と左側の橋脚が鋼管矢板式基礎、右側の橋脚が場所打杭である。架設工法は、側径間がクローラクレーンによるベント工法、中央径間がクローラクレーンによる片持式工法を採用している。図7に基礎形式の入力状況、図8に推論結果のみを示す。これらをもとに作成した樹形図を図9に示す。

以上の結果より、この地点に橋梁を架設するには、基礎形式はオープンケーソンまたは鋼杭、上部工形式は斜張橋、架設工法はケーブルクレーンによる片持式工法または自走式クレーン車による片持式工法、というのが最良の実行可能解であると考えられる。実際の架設では鋼管矢板式基礎を用いているが、文献9)によるとこの基礎はケーソン基礎と杭基礎の中間の働きが期待できるということなので、本システムで得られた結果は妥当なものであると考えられる。また、ケーブル式については、中央径間はベントを設けることで可能だが、側径間は架設困難である、と考えられる。ケーブルクレーンは、部材が比較的小さい場合には適当であるが、斜張橋は部材重量が大きいため、自走式クレーン車を用いたほうがよいと考えられる。

- 1 支持層はありますか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 2 支持層以下の層に沈下などがあり、支持層以下が弱い層ですか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 3 支持層の深さを入力してください。 (m)
数値を入力してください。 --> 45
- 4 施工機械が現場へ入れますか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 5 現場の地形傾斜を入力してください。 (degree)
数値を入力してください。 --> 0
- 6 被圧地下水の水頭を入力してください。 (m)
数値を入力してください。 --> 0
- 7 地下水の速さを入力してください。 (m)
数値を入力してください。 --> 0
- 8 建設場所は水上ですか？
YESかNOで答えてください。 --> Y
- 9 基礎の施工用に締め切りは可能ですか？
YESかNOで答えてください。 --> N
- 10 不完全支持あるいは完全支持とするための施工深さを入力してください。
(m)
数値を入力してください。 --> 51
- 11 中間層に玉石、転石などがあればその径を、なければ0を入力してください。
(mm)
数値を入力してください。 --> 0
- 12 現場の上部空間余裕を入力してください。 (m)
数値を入力してください。 --> 100

※※推論結果は次のとおりです。
0.65 オープンケーソン(OPCSNC)
0.65 鋼杭(MTL-KUIC)

- ※※推論結果は次のとおりです。
0.65 オープン・ケーソン
0.65 鋼杭
- ※※推論結果は次のとおりです。
0.54 斜張橋
0.41 アーチ・下路式
0.41 連続トラス・下路式
0.41 連続トラス・上路式
0.14 ゲルバートラス・下路式
0.14 ゲルバートラス・上路式
- 斜張橋
※※推論結果は次のとおりです。
0.95 ケーブル・クレーンによる片持式工法
0.95 桁上からの自走式クレーン車による片持式工法
0.76 トラベラ・クレーンによる片持式工法
0.34 ケーブル・クレーンによるベント工法
- アーチ・下路式
※※推論結果は次のとおりです。
0.85 ケーブル式工法斜吊り
0.34 ケーブル・クレーンによるベント工法
- 連続トラス・下路式
※※推論結果は次のとおりです。
0.95 ケーブル・クレーンによる片持式工法
0.95 桁上からの自走式クレーン車による片持式工法
0.85 ケーブル式工法斜吊り
0.76 トラベラ・クレーンによる片持式工法
0.19 ケーブル・クレーンによるベント工法

図7 基礎形式選定の入力状況

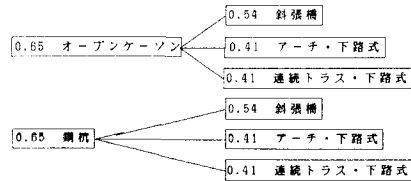


図8 推論結果

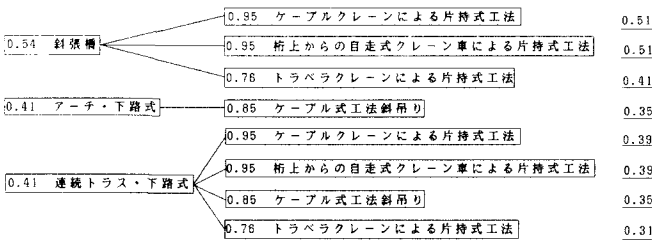


図9 適用例2の樹形図

5. 結論および今後の課題

本研究では、既存のエキスパートシステム開発用ツールを用いて、基礎形式、上部工形式、架設工法選定のためのシステムを作成した。つぎに、選定された形式、架設工法を組み合わせたものが最適な橋梁計画であるとは限らないと考え、形式、工法の選定数を増やし、その組合せの中で最良の実行可能解を得るための考察を行った。また、既存のツールを用いることの有効性を検討した。

以下に本研究で得られた結論を示す。

(1) 推論機構が組み込まれたツールを利用することにより、知識の体系化、蓄積に大部分の時間を割くことができた。また、日本語で知識の記述ができたため、利用しやすいシステムを構築することができた。ただし本システムでは、入出力のみ日本語であり、ルールは完全な日本語にはなっていないが、それも容易に日本語に直すことは可能である。

(2) CFを用いることにより、あいまいなデータやルールを用いて推論を実行することが可能となり、また、推論結果から2、3の代替案を選択するときの目安が得られた。

(3) 形式、工法を一括したものの中から最良の実行可能解を選定する場合に、CFの積を計算尺度として実行可能解の候補を得ることができた。ただ、各選定段階で得られた解のCFが小さい場合には、CFの積は非常に小さくなり、これをそのままCFとして用いて良いかという問題が残っている。

つぎに、今後の課題を以下に示す。

(1) 上部工形式を選定する際に、基礎形式に何が選定されたかについては考慮せずに推論を実行したが、本来は選定段階において相互の関連を考慮し、フィードバックシステムを導入することにより推論精度を向上させなければならない。

(2) エキスパートシステム構築において重要と考えられるのは、CFの取扱である。その合成法により、実際の確信の度合と非常に異なる場合もあるので、ルール作成の段階でCFを与えるのに十分な検討が必要である。また、この値は人間の確信の度合を表すものであることを考えると、ファジイ理論の導入を考える必要があろう。

(3) 基礎形式、上部工形式、および架設工法の選定結果の組合せ法についてのエキスパートシステムの構築も検討する必要がある。さらに各形式あるいは工法選定の実例を基にルールを増やしその有用性を高め、より実際的なものをつくる努力をする必要がある。現在、架設工法におけるルールの改善を進めている。

参考文献

- 1) 上野晴樹：知識工学入門、オーム社、1985.
- 2) 古田均、K. S. Fu、J. T. P. Yao：知識工学—エキスパートシステムの構造工学への応用、土木学会誌、第70巻、第9号、pp. 28-33、1985.
- 3) 三上市蔵、江澤義典、森澤敬文、田中成典、朝倉隆文：RC床版の点検・補修に関するエキスパートシステム、第11回電算機利用に関するシンポジウム論文集、pp. 159-166、1986.
- 4) 中村秀治、松浦真一、寺野隆雄、篠原靖志：水力構造物の寿命予測エキスパートシステムとその適用、土木学会論文集、第374号、pp. 513-521、1986.
- 5) 杉江功、宮本文穂、西村昭、梶谷義昭：橋梁診断エキスパートシステムの開発、土木学会第42回年次学術講演会論文集I、pp. 478-479、1987. 9.
- 6) (株) 東洋情報システム：推論システムBRAINS システム解説書
- 7) 谷川浩司：橋梁形式選定システムへの知識工学的手法に関する基礎的研究、京都大学修士論文、1985.
- 8) 小堀博康：六方大橋（仮称）の設計と施工、橋梁と基礎、pp. 15-23、1976. 2.
- 9) 笹戸松二、江見晋、石崎浩：大和川橋梁（長大斜張橋）の構造について、橋梁と基礎、PP. 21-27、1978. 4.
- 10) 松本忠夫、江見晋、石崎浩：大和川橋梁上部工の設計、橋梁と基礎、PP. 10-17、1979. 7.
- 11) 阪神高速道路公団、(財) 阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路湾岸線大和川橋梁工事誌、1985.

(1987年10月16日)