

実用的な橋梁架設工法選定のための エキスパートシステムの構築

京都大学工学部 正員 白石成人
京都大学工学部 正員 古田 均
阪神高速道路公団 正員 幸 和範
京都大学大学院 学生員○山本信哉

1. まえがき

筆者らは以前の研究¹⁾において、エキスパートシェルBRAINSを利用して橋梁の基礎形式、上部工形式、および架設工法を選定するためのエキスパートシステムを作成した。このシステムの特徴としては、各選定段階で確信度の高いものを2、3案選んで基礎形式－上部工形式－架設工法の組合せを増やし、その中から最良の実行可能解を得ることがあげられる。このシステムを実際に架設された橋梁に適用することにより、その有用性が確認できたが、今後さらに検討すべき課題として、以下のようなものがあつた。

- 1) システムで使用した知識および確信度は、主に文献より得られた知識であり、専門家の経験的知識が少ない。
- 2) 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、フィードバックを行いながら推論精度を向上させるべきである。
- 3) 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、確信度係数の取扱である。その合成法により実際の確信の度合と異なってくる場合もあるため、専門家により与えられた信頼性の高い確信度係数を採用すべきである。
- 4) 技術の進歩により、従来は不可能であつた形式、工法を採用できるようになっている。
- 5) 基礎形式、上部工形式、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。
- 6) 各形式あるいは工法選定について、さらにルールを増やしその有用性を高め、より実地的なものをつくる必要がある。

本研究では、上記の事項のうち、特に1)、3)、4)、6)を考慮して、架設工法だけに焦点をしばり、一人の専門家の知識を用いてエキスパートシステムの改良を行った。そのために専門家とのINTERVIEWを詳細に行い、その専門家の知識、考え方を用いて専門家と同等の判断、決定を行えるようにルールを改善した。以下に、INTERVIEWにより得られた知識、改善されたシステムの推論手順、および実際に架設された橋梁への適用例について述べる。

2. 専門家とのINTERVIEW

2. 1 知識獲得の概要

一般に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)では、知識ベースシステムのうち推論機構が予め作成されているため、知識ベースの作成のみを行えばよい。知識ベースを構築するにあたり重要となるのは、知識の表現、知識の利用、知識の獲得の3つである。知識の表現(knowledge representation)

とは、問題解決を行うための前提条件、対象、解法等に関する知識を、コンピュータで処理するために一定の形式で表現することをいう。このツールでは、知識の表現にプロダクションルールを用いているため、知識のモジュール化が容易に実現できる。知識の利用 (use of knowledge) とは、知識ベース内の知識を利用して推論を実行し、結論を得ることをいう。また、知識型エキスパートシステムは、単に結論を出すだけではなく、その結論に至った根拠の説明や、結論に関連する助言などをユーザに提示する機能も備えているべきである。このツールの推論機構はその条件を満たしている。知識の獲得 (knowledge acquisition) とは、問題領域の専門知識を獲得し、知識ベースを構築する仕事をいう。エキスパートシステム構築においては、この段階が極めて重要となる。なぜならば知識ベースシステムの能力は、獲得された知識の量と質に依存しているからである。^{2), 3)}しかし、この段階は時間がかかり忍耐のいる作業となる。知識を提供する専門家が、コンピュータのことを良く理解しているとは限らず、システムの機能や特徴を理解してもらうのが困難な場合も多いからである。また、知識ベースの質を高める際に必要とされるのは、専門家の“経験的知識”であるが、専門家自信も意識していないものも多く、これをいかに認識させるかが重要となる。知識獲得の方法に関しては、いろいろな手法が提案されている。^{4), 5)}本研究では、この知識獲得作業が中心となった。

専門家とのINTERVIEWは3回行った。1回目は、以前の研究で構築した架設工法選定システムの概要を専門家に示し、使用したルールについて検討を加えてもらった。また、橋梁を架設する際に考慮すべきさまざまな要因を示してもらい、要点をメモした。2回目は、前回得られた知識を利用して訂正したシステムの概要を、専門家に示した。また、専門家より、架設地点の利用条件から工法を選定する場合の、自筆のフローチャートを与えられた。この時点で、システムの構成がほぼ定まった。なお、この日の討論を録音し、あとで内容の整理を行った。3回目は、再び専門家より自筆のフローチャートを与えられ、その内容について討論した。ここで、ルールに与える確信度係数が未定のままINTERVIEWが終了したため、後で選定要因を列挙して専門家へ送り、確信度係数を与えてもらった。

2. 2 INTERVIEWにより得られた知識

専門家とのINTERVIEWにより得られた代表的な知識を以下に示す。

架設工法を選定する前に考慮しなければならないのは、部材の輸送方法である。都市付近では、陸上輸送の場合、法的規制の影響が特に大きいので、ブロックの寸法や輸送時期について十分に検討しなければならない。横持は輸送に比べ法律の制約が緩いため、よく利用される方法である。海上輸送の場合、現地への船の出入が可能か、または現地に水切場がある場合以外は、海上横持輸送が行われる。

架設工法を定める要因の中で最も重要な位置を占めるのは、経済性と安全性である。ベント工法は、他の工法に比べ安全性に富み、また工費も安いので最初にその採用を検討すべきである。この工法の特徴として

- ・特殊な設備が不要である。
- ・一度に架設する部材重量を小さくでき、荷役機械が小さくすむ。
- ・無応力状態での架設ができる。

⁶⁾などがあげられる。ただし、ベント基礎として杭基礎はあまり使用されない。なぜならば工費が高くなり、経済的でないからである。

使用するクレーンとして第一に考慮すべきものは自走クレーン車である。その理由として

- ・能力にあったクレーンが選べる。
- ・クレーンの調達が容易である。
- ・走行速度が速く、現場での進入退出も容易である。

などがあげられる。自走クレーン車が使用できない場合に他の工法が検討される。

ケーブルクレーンは、自走クレーン車が進入できない箇所、深い谷などの架設地点でよく利用される。塔の高さは橋長の7分の1程度を基準とする。橋長が短い場合に有利であるが、鉄塔の影響で電波障害が起こるなどの問題があるため、市街地で用いられることは少ない。また、その運転には高度な技術を必要とする。

トラベラクレーンは連数の多い橋梁に適している。桁上に軌条設備を設けるため、ベント反力が桁自重＋クレーン自重となり、桁の補強が必要となることもある。また、クレーンの組立解体場所が必要である。

ゴライアスクレーンは類似構造物が続く場合に有利であるが、単独に用いられることは少なく、また設備が高価なため余程建造費が安価でないと採用されない。

手延べ機は、桁下が重要な交通機関や河川でベント工法の採用が困難な場合に用いられる。以前は曲線桁の場合には採用されなかったが、最近では曲率が大きくない場合には用いられることもある。手延べ式工法の特徴として

- ・桁下の状況に左右されない。
- ・計画計算が明確である。
- ・手延べ機およびその取付構造等機材が若干多く、運搬費が高くなる。
- ・適用支間長は70～80mまでである。

等⁶⁾があげられる。また、送り出しに際して勾配がある場合、安全性を考慮して上り方向に送り出す方が良い。

フローティングクレーンは、ある程度の水深、幅員があり、かつ流れの弱い波浪の少ない河川・海辺・湖などで用いられる。大きな部材を一括架設する場合に便利であるが、所有する業者が限られている。

台船・移動ベント工法は危険を伴う工法であり、また作業員の熟練を要するため、ほとんど採用されることはない。

3. 架設工法選定システムの改善

3. 1 システムの概略

本システムでは輸送方法として、陸上輸送、海上輸送、海上・横持輸送を採用し、上部工形式は桁橋のみを取り扱った。また適用する架設工法を、自走クレーン車によるベント工法、ケーブルクレーンによるベント工法、トラベラクレーンによるベント工法、フローティングクレーンによるベント工法、可搬式フローティングクレーンによるベント工法、手延べ式送り出し工法の6つに限定した。ただし手延べ式送り出し工法は、手延べ機を使用する送り出し工法および引出し工法を全て含めている。前システムでは、その他ケーブルエレクション工法、架設桁（トラス）工法、片持式工法、大ブロック工法、回転工法も考えていたが、本システムで扱う桁橋には用いられることが少ないため、その他の工法として1つにまとめることにした。

前システムでは、ベント工法、送り出し工法、ケーブルエレクション工法、架設桁（トラス）工法、片持式工法、大ブロック工法、回転工法の各工法に重みを置かず、それぞれの工法について適用可否の推論を行った。これに対し本システムでは、まず輸送方法についての推論を行い、次に自走クレーン車によるベント工法についての推論を行い、その適用が可能ならばそこで推論を打ち切り、不可能ならばその他の工法についての推論を行うように変更した。

3. 2 本システムの推論手順

改善した本システムの推論手順の概略を、図1および表1に示す。まず上部工形式を選択する。本システムで採用する上部工形式は、板桁および箱桁である。次にRULE1に進む。トラックまたはトレーラーでの輸送

が不可能な場合に、海上輸送、海上・横持輸送を考える。全て不可能となった場合には、“対応措置”でブロック寸法の再検討を促し、推論を終了する。寸法を小さくできる場合には、最初から推論をやり直す。

輸送方法が決定される（結果は“対応措置”で表示）と、次に桁下高によりベント工法の可否を考える。30m以上の場合には⁷⁾ RULE7に進む。この場合ベント横取り工法、斜ベント工法⁷⁾も考えられるが、経済性、安全性を考慮して採用は考えないことにした。30m以下の場合RULE2に進む。桁下の状態を聞いてくるので、“陸地”もしくは“水面”を選択する。桁下への部材搬入が可能ならばRULE3へ、不可能であるが取付部まで横持可能ならばCF（確信度係数）設定段階へ進む。横持も不可能となったならば、“対応措置”で他の工法採用の検討を促して推論は終了する。

RULE3で自走クレーン車もしくはフローティングクレーンが進入可能となった場合RULE8へ進む。進入不可能の場合にはRULE4に進み、工事によって自走クレーン車が桁下へ進入可能となるか否かを検討する。進入可能ならばRULE8へ進む。

CF設定段階ではケーブルクレーン、トラベラクレーン、手延べ機の採用を検討するための諸要因を考え、各工法に確信度を与える。確信度係数は、他の全てのルールに対しても与えてあるが、自走クレーン車が使用できない場合に、ケーブルクレーン、トラベラクレーン、手延べ機のうちのどれを使用するかは容易に決定し難く、ここで種々の要因に対して各架設機械に確信度を与えるため、あえてこの段階をCF設定段階と名付けた。表2に要因とそれに対する確信度係数を示す。これは専門家によって与えられたものである。確率和の計算によって確信度係数が求められ、全ての架設機械について0以下となった場合、“対応措置”で他の工法採用の検討を促して推論は終了する。確信度係数が0より大きくなった場合にはRULE5、RULE6、もしくはRULE7へ進む。RULE5、RULE6、RULE7は並列的であり、CF設定段階で求められた確信度係数が0より大きい架設設備全てについて検討される。RULE5もしくはRULE6でクレーン使用が可能となったならばRULE8へ進む。

RULE8は前システムで用いたルールと同じものであるが、今回は確信度係数の改善を行い、更に有効な

表 1 RULEの説明

RULE	内容
RULE1	部材の輸送方法の決定
RULE2	桁下への部材搬入の可否
RULE3	桁下へのクレーン進入の可否
RULE4	クレーン進入のための工事の可否
RULE5	ケーブルクレーン使用の検討
RULE6	トラベラクレーン使用の検討
RULE7	手延べ機使用の検討
RULE8	ベント工法の検討

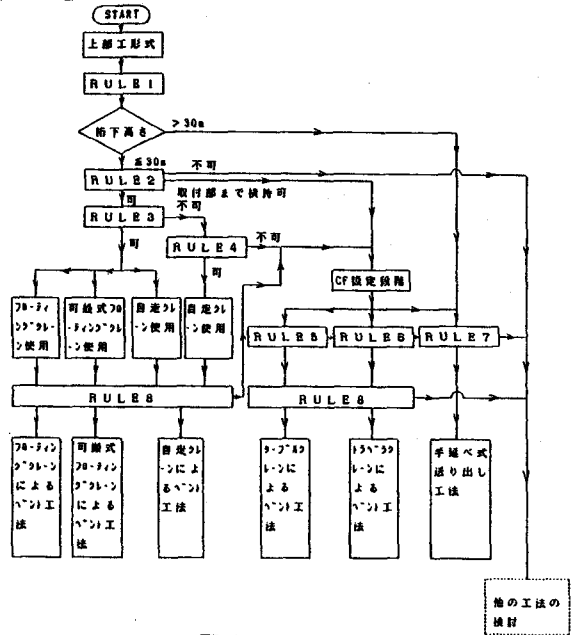


図 1 架設工法選定システム

表 2 CF設定段階のための確信度係数

要因	ケーブル	トラベラ	手延べ式
ベント組立のための小型クレーンの桁下への進入	可 0.5	可 0.5	可 0.5
ケーブルの張り渡しのための空間	不可 -1.0	不可 -1.0	不可 -1.0
既設構造物上での作業が量的に	有 0.5	有 0.5	有 0.5
既設構造物上での作業が時間的に	無 -1.0	無 -1.0	無 -1.0
縦軸方向の地組場	多く許される 0.5	多く許される 0.5	多く許される 0.5
架設地からの状況から判断すると、どれに該当するか	許されない -1.0	許されない -1.0	許されない -1.0
山間峡谷部	多く許される 0.5	多く許される 0.5	多く許される 0.5
平坦部阿川	許されない -1.0	許されない -1.0	許されない -1.0
海浜部	有 0.5	有 0.5	有 0.5
平坦な海辺部	有 0.5	有 0.5	有 0.5
鉄道、道路の横断	有 0.5	有 0.5	有 0.5
市街地	有 0.5	有 0.5	有 0.5
橋の縦断勾配	大 0.0	大 -0.2	大 -0.1
類似構造物	小 0.0	小 0.0	小 0.0
部材重量	続く 0.5	続く 0.5	続く 0.5
上部工形式は	続かない -0.5	続かない -0.5	続かない -0.5
直線橋	大 -0.1	大 -0.1	大 0.2
曲線橋（曲率大）	小 0.0	小 0.0	小 0.0
曲線橋（曲率小）	直線橋 0.0	直線橋 0.0	直線橋 0.0
桁下高さ	曲線橋（曲率大） -0.8	曲線橋（曲率大） -0.9	曲線橋（曲率大） -1.0
20m～	曲線橋（曲率小） 0.5	曲線橋（曲率小） 0.5	曲線橋（曲率小） 0.5
0～20m	20m～ -0.1	20m～ -0.1	20m～ 0.5
安全性	0～20m 0.5	0～20m 0.5	0～20m 0.5
経済性	0.5	0.5	0.5
施工性	0.5	0.5	0.5

結果を期待できるようにした。なお、ここで杭基礎が選定された場合、確信度係数が小さくなるようにルールを設定している。工費が高くなるため、ベント基礎として杭基礎はあまり使用されないからである。

自走クレーン車もしくはフローティングクレーン使用下で、RULE8の確信度係数が0.5未満になった場合はCF設定段階へ進む。特にフローティングクレーン使用の場合、地組場は必要なくなるが、所有する業者が限られているため常に利用できるとは限らない。そのためRULE8での確信度を低くしてCF設定段階へ進みやすくした。

ケーブルクレーンによるベント工法、トラベラクレーンによるベント工法、手延べ式送り出し工法の3つが全て適用不可能となった場合には、“対応措置”で他の工法採用の検討を促して推論は終了する。

推論が終了すると、“推論結果”として選定された工法を、“対応措置”として輸送方法、及びベント工法適用の場合に使用するベント基礎を、確信度係数を付加して表示する。なお、選定される架設工法は1つだけとは限らず、確信度係数が0より大きいものが全て表示される。

4. 適用例および考察

4. 1 適用例(1)

適用例として選んだ橋梁は、群馬県高崎市の高操跨線橋である(図2⁹⁾)。この橋梁は国道17号バイパスが旧国鉄高崎操車場をまたぐ部分に架かる2径間連続非合成箱桁である。架設条件として、下記のものがあげられている。

- 1) 旧国鉄高崎線、引上げ線の線路閉鎖および軌電停止など、列車運行上の支障となることは一切許されない。
- 2) 本橋は右43°の斜角を有する、4主桁からなる2径間連続箱桁の斜橋であり、架設上多くの問題点がある。
- 3) 架設重量が大きいため、桁組立てヤードとして利用する取付け部高架橋の強度に対して種々の制約がある。

これらの条件を考慮して、桁の架設は油圧送り出し装置を用いた手延べ式送り出し工法を採用している。油圧機器を用いることにより、衝撃が小さくなり、精密な制御ができる。また、オペレーターの技量はあまり必要ではなくなる。送り出し方向は、起点側からと終点側からの2案が検討されているが、起点側には5%の縦断勾配が付いており、設備が大規模となるため、終点側から2主桁ずつ2回に分けて送り出す方法をとっている。

橋梁は、橋長118.0mで支間割は58.0+58.0m、幅員22.3mであり、縦断勾配は0.15%の直線勾配である。現場は、桁下の線路の本数が多く、列車の運行も頻繁であるため、線路上の作業を極力少なくしなければならず、安全性についても十分な配慮が必要である。なおP₂およびP₃は地盤の支持力が弱い⁹⁾。

以上の条件をもとに本システムを適用した結果を述べる。図3に入力状況を、図4に推論結果を示す。部材の輸送方法については詳しく記述されていなかったため、全てYesを入力した(No.1~No.7)。そのため“陸上輸送”という結果が得られた。架設工法は、“手延べ式送り出し工法(確信度係数=1.0)”が選定されたが、その理由としてつぎのことが考えられる。

- ・桁下への部材搬入が不可能(No.10~No.12)。

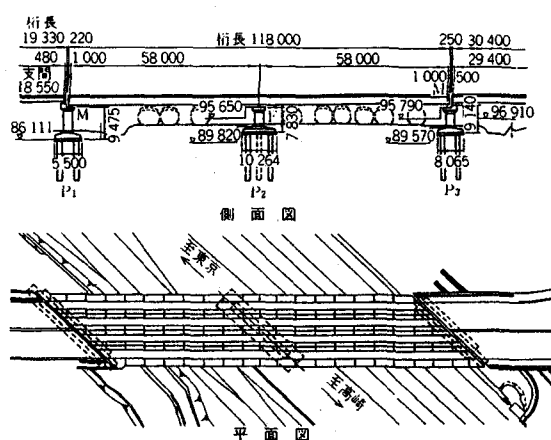


図2 高操跨線橋の側面図および平面図

- ・線路を横断している (No. 19)。
- ・既設構造物 (線路) 上での作業が、量的にも時間的にも多く許されない (No. 16, No. 17)。
- ・橋の縦断勾配が小さい (No. 20)。
- ・類似構造物が続く (No. 21)。
- ・手延べ機を使用できる (No. 25, No. 26)。

桁下への部材搬入が不可能であるため自走クレーン車は使用できない。また、跨線橋であるためペントを組み立てるための小型クレーンが桁下へ進入できず (No. 14)、ペントが立てられる用地もほとんどないため、ペント工法も不可能となっている。

本適用例では、跨線橋であるという条件のため、推論結果の確信度係数が1.0と非常に大きなものとなった。実際の架設工法は、油圧機器を用いた手延べ式送り出し工法となっ

ているが、本システムで考えている手延べ式送り出し工法は、送り出し装置としてあらゆるものを含めているため、この推論結果は妥当なものであると考えられる。

4. 2 適用例 (2)

つぎの適用例として選んだ橋梁は、国道136号函南〜大仁バイパス有料道路「伊豆中央道」にある日守大橋である (図5¹⁰⁾)。橋長は347.7m、支間割は51.7+88.3+119.2+88.5mであり、上部工形式は支間51.7mの区間が単純RC床版非合成箱桁、それ以外の区間が3径間連続鋼床版変断面箱桁である。架設地は沖積低地であり、桁下には流量が2,400m³/secの河川がある。架設現場の大部分が河川の高水敷部にあたり、P₂〜P₃間に通常の流路部がある。河川協議および漁業関係者との協議に基づき、河川流路部の使用期間は濁水期 (11月中旬〜4月末) に限定されている。架設工法は、工期、安全性、施工性を考慮してクローラクレーンによるペント工

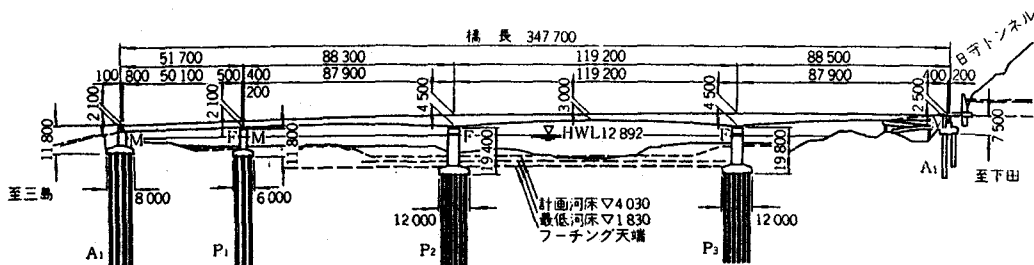


図 5 日守大橋の側面図

- 1 以下の上部工形式で、どれが選定されましたか？
1 単純プレートガーダー
2 単純ボックスガーダー
3 連続プレートガーダー
4 連続ボックスガーダー
5 曲線桁
該当する番号を1つ入力してください。--> 1
- 2 トラックまたはトレーラーでの輸送は可能ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 3 搬入時期、場所、時間、搬入量に制約はないですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 4 道路の高さ、幅、長さは大丈夫ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 5 輸送重量は大丈夫ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 6 カープは曲がれますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 7 その他法律上の制約はないですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 8 桁下高を入力してください。
0 数量を入力してください。--> 1
- 9 桁下の状態は？
1 腹地
2 水面
該当する番号を1つ入力してください。--> 1
- 10 部材を桁下まで搬送する場合、道路の高さ、幅、長さは大丈夫ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 11 既設道路を改修するか、迂回路を利用して部材を桁下まで搬送できますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 12 工事用道路を新設すれば、部材を桁下まで搬送できますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 13 部材を取付部まで搬送できますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 14 ペントを組み立てるための小型クレーンの、桁下への進入は可能ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 15 ケーブルの張り渡しのための空間は？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 16 既設構造物上での作業が、量的にどれだけ許されますか？
1 多く許される
2 許されない
該当する番号を1つ入力してください。--> 2
- 17 既設構造物上での作業が、時間的にどれだけ許されますか？
1 多く許される
2 許されない
該当する番号を1つ入力してください。--> 2
- 18 縦断方向に給送場はありますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 19 架設地からの状況から判断すると、どれに該当しますか？
1 山間峡谷部
2 平野部河川
3 海浜部
4 平野部海辺部
5 鉄道、道路の横断
6 市街地
該当する番号を1つ入力してください。--> 5
- 20 橋の縦断勾配は大丈夫ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 21 よく似た構造物が幾つありますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 22 部材重量は大丈夫ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 23 以下の項目のうち、重視するものは？
1 安全性
2 経済性
3 施工性
該当する番号を1つ入力してください。--> 1
- 24 スパン長を入力してください。
0 数量を入力してください。--> 58
- 25 取付部を手延べ機と構造物を組み立てられるだけの用地がありますか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 26 手延べ機の設置は可能ですか？
YESかNOで答えてください。--> 1
- 27 予定時間内に作業が完了できますか？
YESかNOで答えてください。--> 1

図 3 入力状況(1)

- ※ 推論結果は次のとおりです。
1.0 手延べ式送り出し工法 (OKU-TENOC)
- ※ 従って、次の措置をとるべきです。
1.0 陸上輸送 (陸輸)

図 4 推論結果(1)

法を採用している。ペントは継手付近に各1基設け、高水数部では直接基礎、低水数部ではH杭基礎としている。仮橋は幅員8.0m、全長54.0mを用いている。なお、部材の輸送方法は陸上輸送である(輸送最大ブロック長13.0m)。

本システムを適用した結果を述べる。図6に入力状況を、図7に推論結果を示す。ここでは、高水数部分を推論の対象としている。架設工法は、“自走クレーン車によるペント工法(確信度係数=1.0)”が選定されたが、その理由としてつぎのことが考えられる。

- ・桁下に流水部がなく、部材搬入およびクレーン進入が可能である(No. 9~No. 14)。
- ・桁下の地耐力が良い(No. 19)。
- ・濁水期施工である(No. 21)。

本システムでは、自走クレーン車によるペント工法もしくはフローティングクレーンによるペント工法の確信度係数が0.5以下の場合、CF設定段階へ進み他の工法についても推論を行うが、この場合は1.0と非常に大きくなったため、ここで推論を終了している。自走クレーン車とは、トラッククレーンおよびクロークレーンの総称であり、この推論結果は妥当なものであると考えられる。

つぎに低水数部分を推論の対象とした結果を述べる。図8に推論結果を示す。“自走クレーン車によるペント工法”の確信度係数が0.30とかなり小さくなっているが、その理由としてつぎのことが考えられる。

- ・低水数にペントを設置している。
- ・ペント基礎として、杭基礎が選定された。

本システムでは、杭基礎が選定された場合、ペント工法の確信度係数が小さくなるようにルールを設定しているためこのような結果が得られた。また、“ケーブルクレーンによるペント工法(確信度係数=0.50)”が、新たな推論結果として得られたが、これは自走クレーン車によるペント工法の確信度係数が0.5以下となり、推論がCF設定段階へ進んだからである。杭基礎使用のため、ケーブルクレーンの確信度係数も小さくなった。図8で、推論結果が変わる可能性について示してあるが、これは“既設構造物上での作業が量的および時間的にどれだけ許されるか”、“(トラバークレーン使用の場合に)本体の補強は必要か”の2つの質問に対し、詳しいデータがないために“UNKNOWN”を入力したからである。YES、NOもしくは数値を入力することにより選定結果もしくは確信度係数が変化する可能性がある。

- 以下の上部工形式で、どれが選定されましたか？
 - 単純プレートガーダー
 - 単純ボックスガーダー
 - 連続プレートガーダー
 - 連続ボックスガーダー
 - 曲線形
 該当する番号を1つ入力してください。--> 4
- トラックまたはトレーラーでの輸送は可能ですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 搬入時期、場所、時間、搬入量に制限はないですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 道路の高さ、幅、長さは大丈夫ですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 輸送重量は大丈夫ですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- カーブは曲がれますか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- その他法律上の制約はないですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 桁下高を入力してください。
数値を入力してください。--> 12.8
- 桁下の状態は？
 - 陸地
 - 水面
 該当する番号を1つ入力してください。--> 1
- 部材を桁下まで搬送する場合、道路の高さ、幅、長さは大丈夫ですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 輸送重量は大丈夫ですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- カーブは曲がれますか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- トラックまたはトレーラーの切り廻しはできますか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 以下のクレーンのうち、どれが桁下へ搬入できますか？
 - 自走クレーン車
 - フローティングクレーン
 - 可搬式フローティングクレーン
 - 搬入不可能
 該当する番号を1つ入力してください。--> 1
- よく似た構体がありますか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 電気設備はありますか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 橋の幅員は大丈夫ですか？
 YESかNOで答えてください。--> N
- 工事用地の敷地幅は狭いですか？
 YESかNOで答えてください。--> N
- 桁下の地耐力は良いですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 橋脚はどのようなものですか？
 - 跨線・跨道橋
 - 河川・跨谷橋
 - 高架橋
 - 渡海・海辺橋、阿口、運河
 該当する番号を1つ入力してください。--> 2
- 架設時期の状況は？
 - 満水期
 - 出水期
 該当する番号を1つ入力してください。--> 1
- 桁下に流水部がありますか？
 YESかNOで答えてください。--> N
- 桁下の地盤は良いですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- ペントにかかる荷重は小ですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y
- 全体工費はOKですか？
 YESかNOで答えてください。--> Y

図 6 入力状況(2)

※推論結果は次のとおりです。

- 1.0 自走クレーン車によるペント工法(BJCC)

※従って、次の措置をとるべきです。

- 1.0 通常のペント基礎使用(ペント工法)(NORM)
- 1.0 陸上輸送(陸輸)

図 7 推論結果(2)

※推論結果は次のとおりです。

- 0.50 ケーブルクレーンによるペント工法(BCCC)
- 0.30 自走クレーン車によるペント工法(BTCC)

※従って、次の措置をとるべきです。

- 1.0 杭基礎使用(ペント工法)(NORM)
- 1.0 陸上輸送(陸輸)

※以下の事が確認されると推論結果が変わる可能性があります。

- 多く許される(KISETSU1)
- 多く許される(KISETSU2)
- 多く許される(KISETSU3)
- 多く許される(KISETSU4)
- 本体の補強は必要ですか？(HOKYOU)

図 8 推論結果(3)

図8で、推論結果が変わる可能性について示してあるが、これは“既設構造物上での作業が量的および時間的にどれだけ許されるか”、“(トラバークレーン使用の場合に)本体の補強は必要か”の2つの質問に対し、詳しいデータがないために“UNKNOWN”を入力したからである。YES、NOもしくは数値を入力することにより選定結果もしくは確信度係数が変化する可能性がある。

5. 結論

本研究では、前システムの中の架設工法選定システムのみに焦点をしばり、一人の専門家の経験的知識を用いてシステムの改良を行った。そのために専門家とのINTERVIEWを詳細に行い、そこで得られた専門家の知識、考え方を用いて専門家と同等の判断、決定を行えるようにルールを改善した。つぎに、実際に架設された橋梁に適用し、考察を加えた。

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、ルールの改善を容易に行うことができた。また専門家により与えられた確信度係数を用いたため、更に信頼できる結果を得ることが可能となった。
- (2) INTERVIEWにより、専門家の経験的知識を得ることができた。また、INTERVIEWを繰り返すことにより、知識の獲得が容易となった。
- (3) 前システムと比較して、部材の輸送方法決定のためのルールを付け加えたこと、およびベント工法に重みを置いたという点が改善された。
- (4) 対象とする上部工形式および架設工法を限定することにより、ルールが膨大となるのを避けることができた。そのためシステムの構築が容易となった。
- (5) 改善されたシステムを実際に架設された橋梁に適用することにより、その有効性を検討することができた。

本研究で対象としている架設工法はベント工法および送り出し工法であるが、その他の架設工法についても考える必要があると思われる。また、橋梁形式は桁橋のみを対象としているので、今後は他形式の橋梁にも適用できる、より一般的なシステムを構築する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 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、構造工学論文集、Vol. 34A, pp. 667-675, 1988. 3.
- 2) 上野晴樹：知識工学入門、オーム社、1985.
- 3) 情報処理学会 編：知識工学、オーム社、1987.
- 4) 大須賀節雄、佐伯胖：知識の獲得と学習、オーム社、PP. 53-72, 1987.
- 5) Grover, M. D. : A Pragmatic Knowledge Acquisition Methodology, Proc. 8th IJCAI, pp. 436-438, 1983.
- 6) 橋梁と基礎、第16巻、第8号、1982. 8.
- 7) 日本橋梁建設協会：鋼橋架設工法の選定について、1987.
- 8) 日本建設機械化協会編：橋梁架設工事の積算・昭和62年度版、1987.
- 9) 小池克基、小池政男、村上巳代治、倉家渥美、藤森真一：高操跨線橋の架設、橋梁と基礎、第16巻、第10号、pp. 25-31, 1982. 10.
- 10) 渡辺高行、横江稔、梶山昭克：日守大橋の設計と施工－現場溶接を用いた耐候性鋼材の道路橋－、橋梁と基礎、第19巻、第7号、pp. 21-28, 1985. 7.