

御鴻池組 正員 ○大北康治  
大阪大学 小川 均  
同上 田村進一

## 1. まえがき

コンピュータ利用技術の進歩は土木設計における質的变化をもたらし、現在ではかなり複雑な構造物まで自動設計できるシステムが開発されている。しかし、設計技術者の創造的な思考（経験・カンなど）をコンピュータ化するのは困難で、設計に対する人間的思考部分は設計者本来の仕事として残されている。このため、人間的思考部分では設計者個人の経験や好み、さらには信念といったものまでが設計に混入する可能性があり、公共構造物を築造する土木分野の設計法として問題を残している。これ以外にも、土木分野では計画・施工・維持管理など個人の経験やカンが重要な役割を果す業務が多くあり、純技術的な処理ができるように基準化やコンピュータ化が進められている。

一方、コンピュータ科学においても人間的思考部分をコンピュータ化する技術が進み、医療分野では人間的思考や判断を必要とされる病気の診断を行なうシステムが完成されている。これらは、専門家(医)の専門知識をコンピュータ上に転移したものであり、エキスパートシステムと呼ばれ高い評価を受け、産業界にもその応用領域を拡げている。

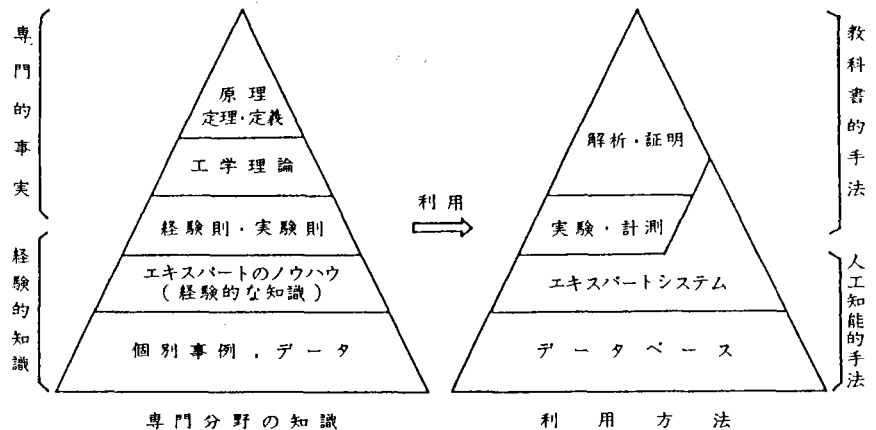
本報告では、エキスパートシステムの概略と利用可能性を検討するために試作中の基礎形式選定支援システムを紹介し、土木分野で開発可能性が高いと考えられる領域を考察する。

## 2. エキスパートシステム

専門分野の知識構造とその利用手法を図一に示す。専門分野の知識には、体系化が進み広く技術者に認められている専門的事実と各技術者が業務を通じて経験によつて得るノウハウ・個別データなどの経験的知識とがある。専門的事実は、教科書や雑誌などの印刷物に活字として表現され、解析・証明・調査・実験・計測など教科書的手法を利用して広く専門分野に役立っている。それに対し、経験的知識は経験・カン・コツ・信念などと呼ばれ、一部熟練者のノウハウとして個人的に利用されるのみである。また、経験的知識が重要な業務が多いのにもかかわらず、体系だてていないために学習することは困難である。このような経験的知識を広く利用する手法としては人工知能的手法がある。エキスパートシステムはその一例で、熟練者の持つ知識をコンピュータ上へ転移させ、その専門

知識を利用して十分に複雑な問題を熟練者と同程度の能力で解決することを目的としたソフトウェアシステムである。

エキスパートシステムの開発例を表一に示す。経験的知識が重要な医療分野に開発例が多いが、産業分野に



図一 専門知識とその利用手法

も開発領域が広がって来ていることが窺える。

3. 基礎形式の選定支援システムへの適用

現在、土木分野におけるエキスパートシステムの適用可能性を検討するために、構造物の基礎形式を選定するシステムを試作している。基礎形式の選定を問題対象に選択したのは、筆者の一人の専門領域が土質基礎工学であることを理由としている。

3-1. 基礎形式選定上の問題点

基礎形式を選定する際の一般的な手順を図-2に示す。<sup>2)</sup>基礎設計の熟練者であれば、上部構造の条件、地盤条件、施工環境条件などの情報があれば直感的に基礎形式を想定することができるであろう。しかし、通常は何らかの選定表や教科書を参考にして基礎形式を選定する。この場合にも、選定表からはある程度の目安が得られるだけで、最後の決定は設計・施工担当者の経験や判断に帰することが多い。構造物の基礎形式を選定する際に問題となる点を挙げると、

- ① 統計的(客観的)パラツキや表現上(主観上)のあいまい性を含んだ調査結果を、いかに妥当な値として設計に採用し、その結果をどう評価するか。
  - ② 基礎の選定には、上部構造の規模、設計条件、施工条件、環境条件など多くの選定条件が関係するが、どのようにして適当な基礎形式を選定するか。
    - (イ) どのような選定条件を選び、どのように重みをつけるか。
    - (ロ) 総合的に判断するにはどう考えればよいか。
    - (ハ) 選定条件のあいまいさをどのように処理するのか。
  - ③ 適合しない条件があつた場合、補助工法、修正工法を検討するのか、新たに別の工法を選択するか。
- などがある。

研究のアプローチとして、まず簡単なシステムを作り、実際の適応を通じて逐時機能を高めていく手法を採用している。現在、試作システムは②の問題についてのみを扱っている。

3-2. システムの構造および使用言語

システムの構造は推論機構と知識ベースに大別できる。(図-3) 推論機構は、要求に応じて知識ベース中の専門家の知識や経験則を参照し、結論を導き出す。知識ベースには、各種の選定表を経験的知識とし、選定表の使用法をエキスパートのノウハウとして利用している。選定表は知識ベース中でも表現形式を変えずに保持し、その使用法をモジュールとして付属させている。こうすることによつて、選定表の解釈性を良くし、選定基準の変化にも対応できる構造と

表-1 エキスパートシステムの開発事例

| 名 称        | 機 能              |
|------------|------------------|
| MYCIN      | 感染症診断システム        |
| CASNET     | 緑内障診断システム        |
| PIP        | 腎機能診断システム        |
| PUFF       | 肺機能診断システム        |
| INTERNIST  | 内科診断システム         |
| MECS-AI    | 心不全診断・治療システム     |
| DENDRAL    | 化学構造式推定システム      |
| SACON      | 構造体解析援助システム      |
| R1         | 電算機配置決定システム      |
| XSEL       | 電算機要求機能決定システム    |
| PTRAN      | 製造工程計画管理システム     |
| ACE        | 電話回線故障診断システム     |
| DIPMETER   | 石油掘削データ解析システム    |
| DELTA      | ディーゼル機関車故障診断システム |
| IERIAS     | 原子炉事故診断システム      |
| PROSPECTOR | 鉱物資源探索システム       |

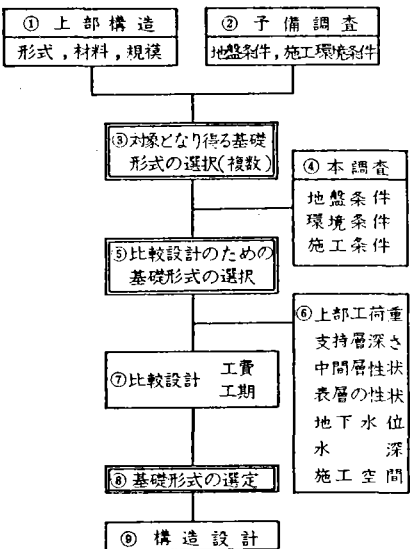


図-2 基礎形式の選定手順<sup>2)</sup>

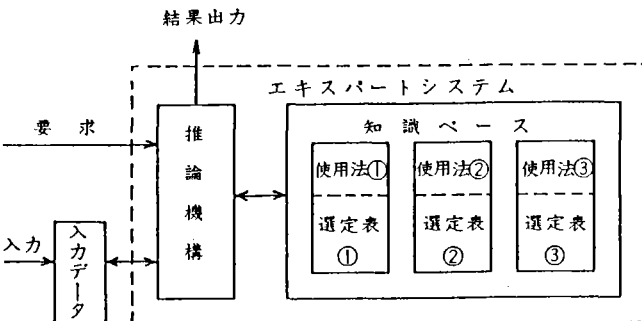


図-3 システムの構造

している。システムは、VAX-UNIX 上のC-prologで実現されている。prologは比較的人間の思考過程に似ており、バクトラック、パターンマッチング、データベースなどの機能があつて、科学技術計算言語として実績のあるFortranなどより、エキスパートシステム構築に適している。

3-3. 基礎形式の分類

基礎形式は分類目的によつて各種のものが考えられている。形式選定に必要な分類は主として施工上の分類であるが、設計や材質による分類にも関係しているため複雑な分類となる。図-4は本システムが想定している基礎形式分類を示す。現在は二重枠で囲つたレベルまで選択できるようにしているが、将来は地盤改良まで含めた選定ができることを目標としている。

3-4. 基礎形式の選定手法

あいまいな選定条件を用いて、基礎形式を選定するために、確信度・重要度・評点の三つの指標を利用している。

(1) 確信度

確信度は入力データや判定結果の確からしさを考慮する指標で、現象自体が持つ統計的確率やその現象を判断する人間が持つあいまい性を表現する。本システムでは0から1の間の値を使用する。

(2) 重要度

重要度は選定条件間の相対的重みを考慮するために導入した指標である。0から1の間の値を取る。

(3) 評点

選定表であいまいに表現された定性的判定を定量化するための指標で、使用例を表-2に示す。この例では「施工実績がほとんどない」という判定が、補助・修正工法を検討しなければ工法自体が成立しないような排他条件を示す場合が多く、評点に-1 0.0を採用した。

基礎形式の選定法は、これら三つのパラメーターを各選定項目ごとに掛け合わせ、競合する項目間で優位な項目を選定した後、その総和を取つて各基礎形式の得点とし、相対的に得点の大きな基礎形式を選択する。

3-5. 選定機能の評価

過去の基礎選定例を対象にして選定機能の評価を行つた。その結果は、20例中の18例が得点順位の2位以内に選択されシステムの有用性を示した。しかし、入力者によつては20例中の16例しか2位以内に選択されず、入力情報のあいまい性をどう処理すべきかの問題が残つた。また、2位以内に入らなかった2例の原因は、選定条件の欠除と選定条件を特定値で区切つて判定することによる誤差であつた。今後は、選定に関する知識の増加と選定条件の表現方法の改良が必要と考えられる。

4. 土木分野での適用性

土木分野においてエキスパートシステムを構築するには、エキスパートシステムを開発した方が効果的な問題とそうでない問題とを区別することが重要である。他分野で開発されているシステムから効果的と考えられる問題を類推して以下に記す。

(1) 対象の構造や動作があまりに複雑で、事前に探索木を作成することが困難な問題には、if-then ルールで

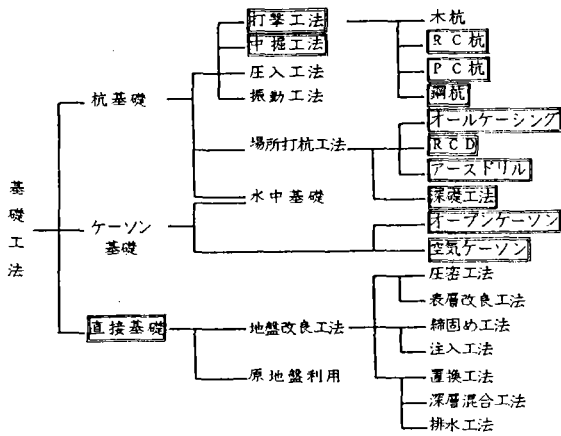


図-4 基礎形式の分類

表-2 評点の使用例<sup>3)</sup>

| 定性的判定        | 評 点    |
|--------------|--------|
| 施工実績が多い。     | 1.0    |
| 施工実績がある。     | 0.6    |
| 施工実績が少ない。    | 0.3    |
| 施工実績がほとんどない。 | -1 0.0 |

表示するプロダクションシステムが適している。

例えば、試作システムでは選定条件に関する情報が不足している場合でも、既知の情報から推論できることがある。表-3に示した表現形式の知識があれば、ボーリング柱状図が無くても、建設地盤が扇状地であるという既知の情報からルール①を適用して、中間層に砂礫層があることを推論できる。さらに、ルール②も適用すれば、湧水量が大きいことも推論できる。

表-3 if-thenルールの例

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| ルール① | もし、地盤が扇状地であれば<br>その場合、砂礫層が多い。 |
| ルール② | もし、砂礫層が多ければ<br>その場合、湧水量は大きい。  |

- (2) 境界領域に属する問題について開発するのが効果的である。その理由は、同一部門、同一分野の知識は学習することによって比較的簡単に理解できても、他分野の知識を獲得するのは困難だからである。

例えば、環境アセスメントの問題解決には、化学から生態学・生理学までを含んだ広範な知識を必要とする。それぞれの分野の専門家の知識を転移したシステムを開発することができれば、一般技術者の強い味方になりうるであろう。

- (3) 人間的思考部分は必要であるが、人間的思考による欠点(厳密で重要な判断は、事前に十分な考慮時間を必要とすること。思考の再現性が不確実なことなど。)は排除したい問題が適している。エキスパートシステムは、専門家が事前に十分検討した知識を初心者が即時に利用することを可能にする。

例えば、危機管理に適用することが考えられる。災害時にライフラインを維持管理するためには、専門家の高度な判断や十分な検討に基づく決定を必要とする。さらに、情報収集も電気信号としてシステム内へ直接入力することが可能である。

- (4) 経験的技術の伝承や初級技術者のCAIシステムに利用することができる。エキスパートシステムは、結論が導き出された理由を提示することができるため、教育用システムとして使用することもできる。

土木技術は、作業の大型化・プロジェクト化によって専門分野ごとに細分化される傾向があり、総合的な知識を要求される時には、新しい技術を習得し直す必要がある。したがって、今後は教育システムの重要性が増加すると考えられる。また、従来実践によつてのみ学習されていた経験的知識を、エキスパートシステムによつて学習することも、一部は可能になるであろう。

## 5. あとがき

システムは、ようやく移動し始めた段階であり、人間に例えれば、誕生して間もない赤子といった状態である。経験的知識は不足しており、確信度のようにあいまい性を処理する手法も確立していない。しかも、前述したように、経験的知識は熟練者各個人の間に分散して存在しており、簡単に実現することは困難である。したがって、今後このシステムを改良していくためには、何人かの熟練専門家の協力を必要としている。本報告は、土木分野におけるエキスパートシステム開発の提案と経験的知識を充足するための協力依頼を目的として、開発中のシステムを紹介したものである。なお、本システム開発には大阪大学基礎工学部情報工学科大学院生中村孝氏の協力を得た。記して謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) Barr, A / Feigenbaum, E. A.; 人工知能ハンドブック, 田中幸吉 / 淵一博監訳, 1983年, 共立出版
- 2) 建設省土木研究所; 構造物基礎形式の選定手法調査, 第31回建設省技術研究会報告, 1978年
- 3) 日本道路協会; 道路橋示方書(Ⅳ下部構造編), 昭和55年5月
- 4) 日本国有鉄道; 建造物設計標準解説(基礎構造物及び抗土圧構造物), 昭和54年5月
- 5) 塩井幸武; 道路橋基礎の形式の選定について, 基礎工, 1981.5
- 6) 矢作 恒; 一般道路における基礎工法の選定, 基礎工, 1977.4
- 7) 吉田 徹; 構造物基礎形式の選定について, 第20回建設省技術研究会報告, 1967年