

シールド施工計画支援エキスパートシステムの開発

Development of Expert Systems supported Construction Planning for Shield Tunnelling Method

錦奥村組 ○五十嵐善一*

錦奥村組 市原 義久**

By Zen-ichi IGARASHI, Yoshihisa ICHIHARA

シールド工法は、シールド機を用いて地中を掘進し、その後部で覆工しながらトンネルを構築していく工法であり、近年は軟弱地盤や市街地のトンネル工事で多数の実績をあげている。

シールド工事では、軟弱地盤から砂礫地盤までの広範囲にわたる地盤条件と急曲線等の施工条件に対応したシールド機を設計するとともに、掘削周辺部への影響を最小限におさえなければならない。従来このような工事では、専門の技術者が共同で施工計画を立案する必要があり、膨大な作業時間と労力を要した。今回、これらにAI技術を適用することによって、豊富な知識とノウハウに裏付けされた施工計画書を作成することが可能となった。

当エキスパートシステムは、知識ベースにRDB(リレーショナルデータベース)を用いて知識のメンテナンスの向上とルール数の削減をはかるとともに、推論した結果をCADで図面化できる機能を有している。

【キーワード】エキスパートシステム、シールド工法、施工計画、CAD

1. まえがき

建設工事では、自然環境と社会環境を相手に多くの問題を解決していかなければならない。

土木分野においては、ダム、トンネル、造成などの各工種により設計・施工の方法や手順が異なっており、技術者が分化・専門化する傾向が強い。このため、経験が技術者各個人の知識として存在することが多く、組織共通の知識として取り扱うことがむずかしい状況にある。

また、分化・専門化が進んだことにより、多部門にまたがった専門知識やノウハウを継承、習得することが困難になりつつある。

このような問題を解決する1つの方法として、専門家の持つ知識、経験、ノウハウを整理して

コンピュータに蓄え、これをもとに専門家と同等の仕事ができるようにするエキスパートシステムの構築、利用が進んできている¹⁾。

本報では、シールド工事における施工計画立案を支援することを目的として開発した「シールド施工計画支援エキスパートシステム」の概要を紹介する。

このシステムは、掘削径、計画路線等の施工条件と土質、地下水位等の地盤条件を入力することにより、シールド機の各種仕様を決定し自動設計を行なうとともに、施工管理基準、各種補助工法等についても検討を行ない、設計仕様書、計算書にまとめて出力することができる。

また、このシステムはDB(データベース)とCADを取り入れた計画・設計型のエキスパート

* 電算センター

(〒545 大阪市阿倍野区松崎町2-2-2)

** 技術研究所

(〒559 大阪市住之江区浜口西3-5-8)

システムである。

2. 開発目的

シールド工事の施工計画の立案では、最近の施工技術の発達あるいは環境条件などの諸条件により、より高度なものが求められるようになってきた。

シールド工事の施工計画は、経験豊かな技術者によって立案されるが、これら技術者の持つ知識、ノウハウは個人が所有しているものであり、全社的なレベルのものであるとはいえない。

本システムの開発目的は、この知識、ノウハウを整理・統合して知識ベースとして蓄え、専門家が施工計画を立案する際の援助を行なうとともに、専門家以外の技術者でも効率的に漏れおちなく施工計画を立案できるようにすることである。

また、本システムを適用することによって、次のような効果も期待できる。

- ① 施工計画の標準化ができる（人によるバラツキが少なくなる）
- ② 施工計画の省力化、合理化が図れる
- ③ 施工計画・管理に関する知識の整理、統合ができる
- ④ 専門技術者の業務が軽減できる

3. システム構成

(1) 要求機能

システム設計時の要求機能として満たされるべき要件を以下に示す。

- ① かなり大規模なシステムになることが予想されるため、推論時間をできるだけ短くする
- ② 現場や各支店・支社での利用を考慮して、ワークステーションですべて処理できるようにする
- ③ 知識の保守を容易にする（利用者による知識保守）
- ④ 推論結果として設計図面を出力する

- ⑤ 推論結果を計算書、仕様書で文書化する
- ⑥ ユーザインタフェースを使いやすいものにする（操作性、判り易さ）
- ⑦ 既開発の計算プログラム（FORTRAN）を利用可能にする

(2) システム形態

1つのワークステーション上に、図-1に示すようなシステムが構築可能であれば、上記要求機能を満たすことが可能と考えた。

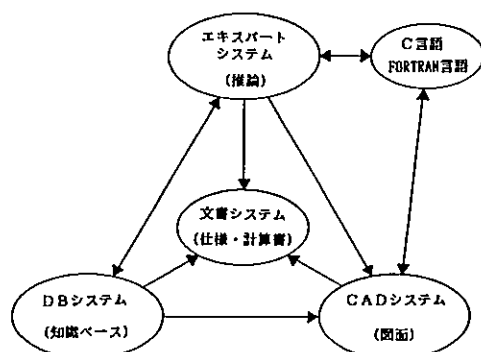


図-1 システムの形態

(3) 開発ツール

a) ハードウェア

本システムの開発マシンは、32ビットのワークステーションとし、図-2に示す構成とした。メモリは、ソフトウェア構成上12MB必要となり、OSはUNIX system V相当である。

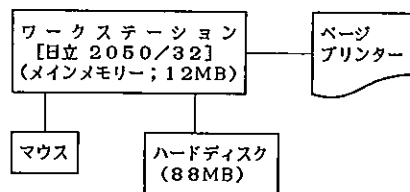


図-2 ハードウェア構成

b) ソフトウェア

基本ソフトウェア構成を図-3に示す。

① データベース検索システム

専門家の知識を表（テーブル）形式で保管し大量の情報の中から推論に必要な知識のみを効率的に取り出す。

② エキスパートシステム構築ツール²⁾

専門家のノウハウをルールとして表現して、データベースで抽出された知識をもとに推論を行なう。

③ CADシステム

上記のツールで推論された結果を図面として出力する。

なお、複雑な技術計算には、C言語、FORTRAN言語を使用する。

c) システムの特徴

システム設計時に要求された機能がおよそ満たされたことによって、その要求機能がそのまま本システムの特徴になっている。

- ① リレーショナルDBを利用して知識ベースを構築している
- ② CADシステムとの連携を取り、自動設計／作図を行なっている
- ③ 施工計画書としてそのまま使える各種仕様・計算書を出力する

- ④ グラフィックやマウスを利用した対話型システムによって、利用者の操作性を向上させている

4. 処理概要

本システムの適用範囲は、シールド機の発進から到達までの掘進工に伴う管理項目についての検討と、シールド機本体（φ2000～φ5500）の設計である。

シールド工法の種類については、泥土圧式シールド工法を対象にしている。この工法を選定した理由は、同工法の施工が多くなってきていること、また比較的新しい工法であり施工管理方法の整理、標準化が望まれていたからである。

(1) 知識ベースの構成

一般に事実や規則などの知識はフレーム型知識として記述されるが、大量の知識がある場合、推論時間や保守性の面で問題が生じる。そこで本システムでは、表（テーブル）形式の知識ベースをリレーショナルDBに構築し、この中から推論に必要な部分を取り出して、フレーム型知識に展開する方法を用いている。これにより、

- ① 推論時間の短縮
- ② ルール記述量の削減

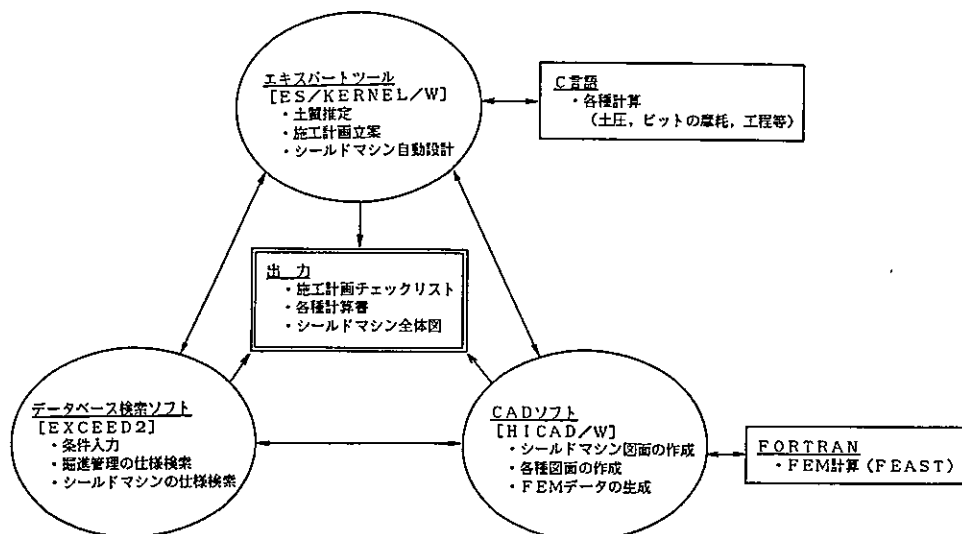


図-3 ソフトウェア構成

③ 知識保守性の向上
を図っている。

知識ベースの種類と主な項目を図-4に示す。

(2) 処理手順

本システムの処理フローを図-5に示す。条件入力、推論/計算、結果出力の3つの部分に分かれている。

a) 条件入力

① 施工条件入力

施工条件として、工事番号、工事名称、掘削径、工期、セグメント、計画線形、路線周辺構造物を入力する。また、入力条件をもとに掘進計画路線図、周辺状況図を画面出力し入力データのチェックを行なう。

② 地盤条件入力

地盤状況として、ボーリングデータより計画路線地盤の土質、地下水位を入力する。土質分類は、準備された標準土質の中から選択する。掘削断面については、細粒土分、有毒ガス・流木の有無を指定する。

1つのボーリングについての入力終了すると土圧計算を行ない地層構成とともに土圧分布が画面表示される(図-6)。

b) 推論/計算

① 適用土質推論

施工計画に関する知識ベースの各項目は、計画路線の土質、シールド掘削径、掘進距離、曲線半径などの諸条件に対して、互いに関連をもたせたデータ構造で蓄えられている。この知識ベースの中から推論に必要なデータを検索してくるための適用土質を掘削断面のボーリングデータを基に推論する。

適用土質には、シールド機設計のためのものと、掘進管理用のものがあり、後者は計画路線を複数に分割したブロック単位で求められている(図-7)。

② 標準仕様検索

推論された適用土質および他の諸条件をもとに、シールド機設計仕様、掘進管理項目に関する仕様³⁾を図-4に示す知識ベースから検索し、次の推論のための知識形式(フレーム)に展開する。

③ 施工管理推論/計算

標準土質(14分類)

: 土質定数など

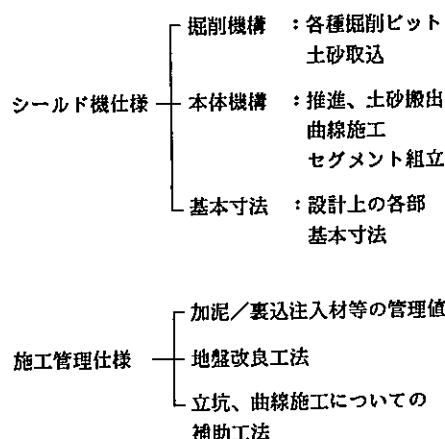


図-4 知識ベースの種類と項目

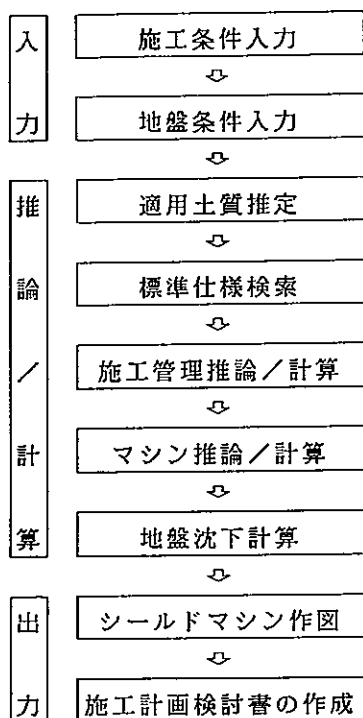


図-5 処理フロー

抽出された知識をもとに、ブロック毎に下記の掘進管理項目について推論を行なう。

- 掘進管理基準値：隔壁土圧、掘進速度などを決定する
- 裏込注入：注入方法、注入材料、配合、注入率を決定し、注入圧、注入量を計算する
- 加泥材注入：注入系統数、配合を決定し、注入率、注入量を計算する
- 曲線施工：急曲線施工に伴う薬液注入工法を決定し、注入範囲、注入量を計算する
- 発進・到達部：発進防護工、発進反力工、到達防護工に関して、薬液注入工法を決定し、注入範囲、注入量を計算する
- 工程管理：掘進工程の予測計算を行なう
- 周辺環境：掘進に伴う路線周辺に対する影響（地盤沈下、振動、地下水変動など）について検討する

④ マシン推論／計算

抽出された知識をもとに、シールド機のカッター板及び本体を自動設計する。

カッター板の設計に関しては、以下の項目について検討する。

- 地山掘削：掘削ビットの形状、配置、摩耗及び加泥注入口の配置について検討する
- 土砂取込：スリット幅と開口形状について検討する

マシン本体の設計に関しては、以下の項目について検討する。

- 地山掘削：カッタートルク計算にもとづいて、カッターモータの種類、能力、台数を検討する
- 土砂搬出：隔壁の形状及びスクリーコンベアの種類、能力について検討する
- 止水性：ロータリフィーダの径、能

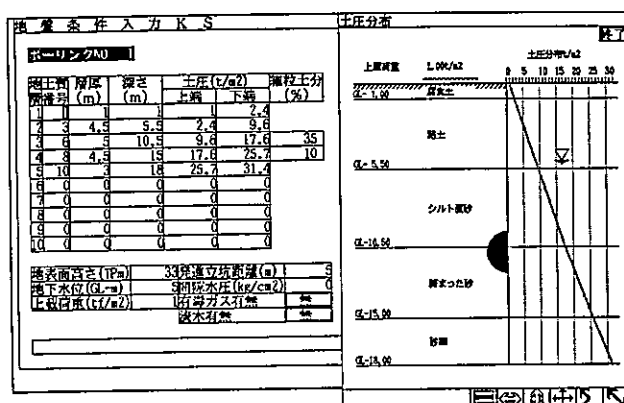


図-6 地盤情報入力画面

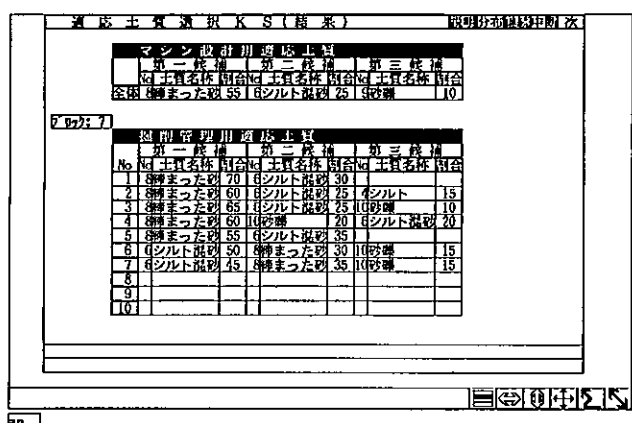


図-7 適用土質推論結果画面

- 力及びテールシールの種類について検討する
- 曲線施工：シールドジャッキの種類、能力、本数及び中折れ装置について検討する
- 部品配置：シールド機内での作業性を考慮して各部品の配置を検討し、シールド機長を決定する

⑤ 地盤沈下計算

施工管理推論によって地盤沈下の影響が懸念される場所について、FEM解析により沈下予測計算を行なう。FEM解析用データは、ボーリングデータより自動的に生成される。この沈下計算プログラムは、ホストで稼働していたものを本シス

テムに移植して利用している。

c) 結果出力

① シールド機作図

CADシステムにより、シールド機のカッター板(図-8)及び本体の計画設計図を自動作図する。

この設計図の修正は、CADシステムによりマニュアルで行なう。

② 施工計画検討書の作成

掘進管理基準値、裏込注入、加泥材注入、曲線施工、発進・到達部、工程管理、周辺環境などについての検討結果を検討書にまとめて出力する。また、これらの検討に伴う計算及びシールド機設計時に行なう計算についても、技術計算書としてまとめて出力する。

この計算書には、以下のようなものがある。

- ・土圧計算
- ・裏込注入率、注入量計算
- ・加泥材注入率、注入量計算
- ・発進・到達部の薬液注入量計算
- ・初期掘進長計算
- ・工期算定計算
- ・掘削ビットの摩耗計算
- ・カッタートルク計算
- ・シールドジャッキ能力計算
- ・中折れ量算定計算

5. 今後の課題

一般的に、エキスパートシステムを実用化するためには、システムを実務に適用することにより順次、ルール of 修正及び知識ベースの追加を行なう必要がある。本システムも、実際の事例に適用することにより改良を行ない、将来的にはシールド施工検討会において利用できるよう実用システムを目指している。

また、本システムの適用範囲をシールド後統設備工、土砂搬出工まで拡大するとともに、概略積算機能を付加することが次のステップへの課題と考える。

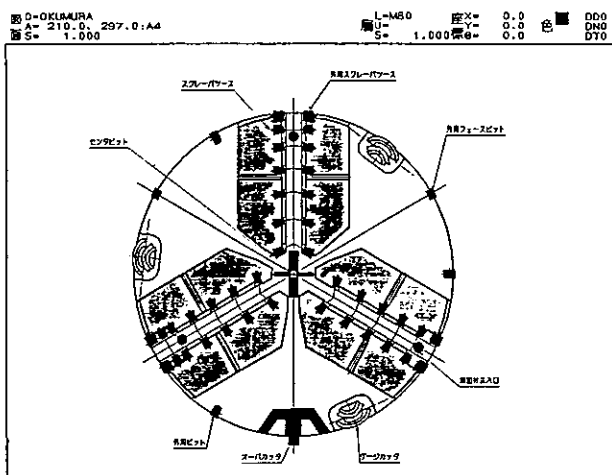


図-8 カッター板設計のCAD出力

現在は、泥土圧式シールド工法を対象として、開発を行ってきたが、この知識ベース及びシステム構築上のノウハウを利用すれば、他のシールド工法への適用も比較的容易である考える。

6. あとがき

建設業における計画・設計型のエキスパートシステムを実用化させるためには、推論結果の図面表現、文書化及び既開発の各種計算プログラムの利用が重要なポイントになると考える。本システムは、これらの機能を既存のソフトウェアツールを組合せることにより実現した例である。

なお、本システムの開発は、毎日立製作所との共同で行なったものである。

【参考文献】

- 1) 大林成行：建設分野におけるエキスパートシステムの現状と将来性、土木学会講習会『建設の情報化の現状と将来』、p.1~13、1988年1月
- 2) 江尻正員、中野善之、中所武司：人工知能、p.122~134、昭晃堂、1988年8月
- 3) 泥土加圧シールド工法協会：泥土加圧シールド工法技術・積算資料、1986年6月