

(Ⅲ-7)

シールド施工管理エキスパートシステムの開発

Development of Expert Systems supported Construction Management for Shield Tunnelling Method

(株)奥村組 〇岡 衛 *
" 五十嵐善一 *
" 市原 義久 **

By Mamoru OKA , Zen-ichi IGARASHI , Yoshihisa ICHIHARA

シールド工事は、都市部において施工されることが多いので、特に施工周辺部に対する影響に留意する必要がある。地盤沈下あるいは地下水問題などは、工事周辺部のみならず都市部の機能にまで影響する可能性があり、このようなトラブルが生じないように工事を進めることが必要である。また、最近の傾向として、施工条件が複雑になってきており、それに伴い施工技術も年々進歩し、管理技術も複雑多岐化してきている。

このような状況に対処するために、現場における工事管理を支援するエキスパートシステムが有効であると考え、開発を行った。エキスパートシステムとは、専門技術者の知識・ノウハウを整理してコンピュータに蓄えておき、これに基づいて専門技術者と同等の仕事を行うものである。

本システムは、シールドマシンによる掘削状況あるいは作業員の配置状況、資機材の入荷・使用状況、使用機械の稼働状況等の施工情報をもとに総合的に判断して、最適な施工管理を行い各種帳票・指示書を作成する機能を有している。

【キーワード】エキスパートシステム、シールド工事、施工管理

1. まえがき

近年、各方面の産業分野でエキスパートシステム(E S ; Expert System)が開発されており、実用段階に至っているものが多く見られる。建設分野においても、工法選定、設計支援、異常診断、施工機械制御など、業務における知的作業を代行する各種のシステムが開発されている。

建設工事を進めるうえで、周辺環境に悪影響を及ぼすことなく、安全に、迅速に、経済的に、高品質な構造物を構築するためには、工事マネジメントにおいて高度な管理が要求される。特に、近年は環境問題に関する関心が急速に高まってきており、工事周辺部への影響については慎重な検討が要求される。また、最近の傾向として、施工条件が複雑になってきており、それに伴い施工技術も年々進歩し、管理技術も複雑多岐化してきてい

る。

このような状況に対して、現場における工事管理を支援する技術として有効であると考えられるのがE Sである。E Sは熟練技術者の知識・ノウハウを整理してコンピュータに蓄えておき、これに基づいて熟練技術者と同等の仕事を行うものであり、多様な施工条件に対応した施工管理のノウハウを知識ベースに蓄えておくことにより、状況に応じた的確な判断を行う。

今回、シールド工法の現場施工管理を支援するE Sを開発した。このシステムを開発するにあたり、現場ではどのようなシステムのニーズが高いかを調査するために、社内のシールド工事専門技術者を対象としてアンケート調査を実施し、処理内容を決定した。

本稿では、このシステムの処理内容について説明するとともに、今後の課題について述べる。

* 本社 電算センター 06-625-3776

** 技術研究所 機電研究室 06-678-1771

2. システムの開発目的

一般に、シールド工事は都市部において施工されることが多いので、特に施工周辺部に対する影響に留意する必要がある。地盤沈下あるいは地下水問題などは、工事周辺部のみならず都市部の機能にまで影響する可能性があり、このようなトラブルが生じないような掘削管理が必要である。

また、これに加えて、品質、経済性などの向上を図るためには、工程管理、作業管理、資材管理、労務管理といった各種の施工管理を総合的に行う必要がある。

通常の現場施工においては、シールドマシンによる掘削状況あるいは作業員の配置状況、資機材の入荷・使用状況、使用機械の稼働状況などの施工情報をシールド工事専門技術者が総合的に判断して、最適な施工管理を行う。特に、シールド工法は高度に機械化されているので、マシン関連で出力されるデータも多く、地盤条件も併せて数多くの項目に対する適正な判断が要求される。

しかし、このような施工管理に関する専門知識は各熟練技術者が数多くの現場施工の経験を通して得たものであり、その知識・ノウハウは各個人のものとして存在することが多い。したがって、これらの知識・ノウハウを共通のものとして取り扱うことは困難であるのが現状であり、その継承は大きな課題となっている。

また、管理技術自体の複雑多岐化という傾向により熟練技術者にとっても的確な判断を行うのが困難な状況も増えてきており、これを支援するようなシステムの必要性も高まってきている。

このような状況に対して、各専門技術者の持っている知識・ノウハウを収集、整理して、施工管理を支援するESを構築した。このシステムは泥土圧シールド工法の施工管理を支援するシステムであり、シールド工法の進行に合わせて現場管理に関する検討を順次総合的に行う。また、筆者らは泥土圧シールド工法の施工計画を支援するESを開発し、既に実際のシールド工事施工計画に対する適用を進めている¹⁾。今回のシステムは同工法の現場施工を支援するものであり、この施工計画

支援ESと連携させることにより、計画から施工までの管理技術を支援する総合システムを構築することを目指した。

以上述べたことより、今回のシステムの開発目的を以下にまとめる。

- ①施工管理業務を支援することにより、その省力化・合理化を図る。
- ②施工情報を総合的に判断することにより、施工管理の高度化を図る。
- ③経験の少ない技術者でも、熟練技術者と同等の施工管理を行えるようにする。
- ④施工管理に関する知識・ノウハウを収集、整理することにより、施工管理手法の標準化を図る。
- ⑤計画から施工までの管理技術を支援する総合システムを構築する。

3. システム構成

このシステムの概要を図-1に示す。掘進監視システムは、オペレータの操作項目を含めたシールドマシンで計測されるデータをテレコンテレメータを用いて、事務所にあるパーソナルコンピュータに取り込みリアルタイムで掘削状況を把握し記録を行う。

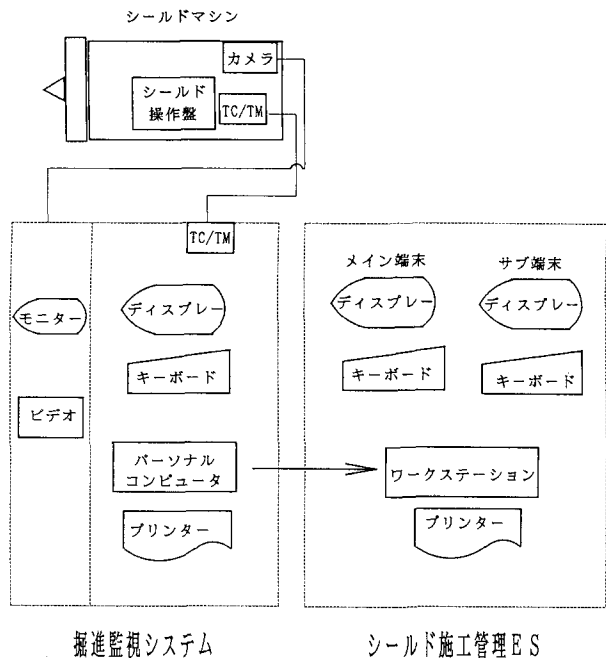


図-1 システム概要

シールド施工管理ESは、このパーソナルコンピュータに蓄えられたデータをワークステーションに取り込み推論を行う掘削・姿勢管理システムと使用者が任意に入力・計算等を行う作業管理システムの2つの部分から構成されている。

(1) ハードウェア

掘進監視システムのパーソナルコンピュータは、32ビットマシンでありOSはMS-DOSである。

シールド施工管理ESのワークステーションは、メインメモリー16MBの32ビットマシンであり、OSはUNIX system V相当である。さらに、このワークステーションは1台で複数の端末を接続することができる機能がある。この機能を利用して、掘削・姿勢管理システムはメイン端末で稼働し、作業管理システムはサブ端末から処理を行う構成とした。なお、パーソナルコンピュータとワークステーションとの間は、通信ケーブル(RS232C)で接続している。また、シールドマシンの排土状況を監視するためにビデオカメラを設置し、事務所でモニターしている。

(2) ソフトウェア

このESの基本ソフトウェア構成を図-2に示す。

①表形式計算ツール

専門家の知識や入力データを表(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

専門家の知識やノウハウをルールとして表現して推論を行う。

③CADツール

推論の基本となる地盤データ等を作成するとともに、推論結果を図面として出力する。

4. 処理概要

本システムの全体処理フローを図-3に、対象とする管理項目とその内容を表-1に示す。

処理は、各管理項目についてそれぞれの管理サイクルで繰り返し進められるが、その前処理とし

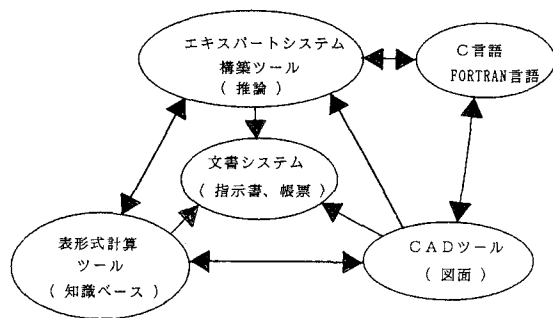


図-2 基本ソフトウェア構成

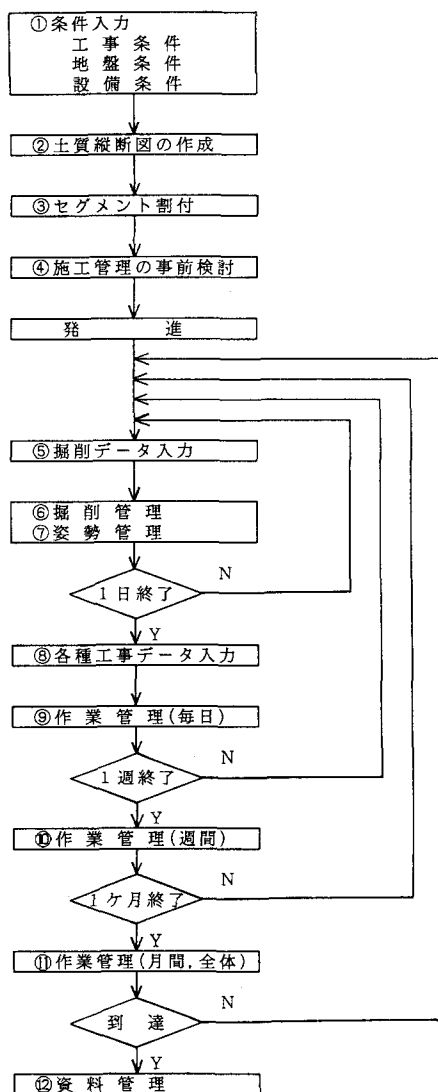


図-3 全体処理フロー

表－１ 管理項目一覧

管 理 項 目	概 要	管理サイクル					処理端末
		リング	日	週	月	全体	
掘削管理	掘削時の計測データをもとに、リング毎の掘削状態を評価し、次リングの掘削管理基準・制御基準を指示する。	○					メイン 端末
姿勢管理	シールド機の測量データをもとに、姿勢を把握し、次リングのジャッキパターン等の制御基準を指示する。	○					
作 業 管 理	工程管理			○	○	○	サブ 端末
	資材管理		○	○	○	○	
	労務管理		○	○	○	○	
	環境管理		○				
	作業打合せ簿作成		○				
	作業日報作成		○				
	掘進日報作成		○				
資料管理	工事完了後、各管理項目の実績データをデータベース化する。					○	

て図－３の①～④の処理を行う。以下にその概略を示す。

①条件入力

- ・工事条件--路線線形等の工事基本データ
- ・地盤条件--事前土質調査で得られたボーリングデータ
- ・設備条件--シールドマシン仕様等の設備データ

②土質縦断面図の作成

①の地盤条件をもとにCADツールを用いて対話形式で土質縦断面図を作成する。

③セグメント割付

入力された使用セグメントデータをもとに路線線形を考慮して、全路線について割付を行い、各リング毎にその高さで掘進坑口からの距離を計算する。

④施工管理の事前検討

各リング毎に、そのリングに対応する土質データを土質縦断面図から抽出してリング毎の掘削土質を評価し、それに対応する隔壁土圧や加泥・裏込注入量等の施工管理に関する計画値を設定する。

次に、各管理項目のサイクルについては、短いものから順に、

- セグメント１リング毎
- １日毎
- １週間毎
- １ヶ月毎
- シールド工事全体

の５種類に分類することができる。本システムではa.のサイクルに対応する管理項目（図－３の⑤～⑦）とb.～e.のサイクルに対応する管理項目（図－３の⑧～⑫）を分けて２台のディスプレイで処理するようにしており、前者の処理中でも後者の処理ができるように対処している。

掘削データの項目を表－２に示す

（１）掘削管理システム

掘削管理はシールド工事の施工管理の中心となる項目であり、切羽安定・排土状況・裏込注入等多くの管理項目を含んでいるが、これらはいずれも掘削地盤の土質により大きな影響を受けると考えられる。

そこで、本システムでは、発進前に検討した土質条件や掘削時に計測した各種のデータから掘削地盤の土質を推定する（これを評価土質と呼ぶ）。またそのリングの掘削状態を評価し、それらをもとに、次リングでの最適な管理基準および制御基準を指示する。

以下、図－４に示す掘削管理フローに従って説明する。

①計測した掘削データの読み込み

シールド掘進中に計測された掘削データは、図－１に示したように掘削完了後パーソナルコンピュータからワークステーションに転送される。掘削データには隔壁土圧をはじめジャッキストロークやピッチング等多くのデータがあるが、ここではその中から掘削管理に必要なデータを読み込む。データはそのリングの最大値・最小値・平均値・積算値および一定の掘進距離毎の計測値から構成されている。

②掘削データの統計処理

掘削状態の全体的な特徴を把握するために、基礎的な統計量（平均・分散・標準偏差および変動係数など）を求める。この際事前に、計測トラブル等による不良データは除去している。また、掘進開始直後と掘進終了直前のデータは非正常なデータであるので、統計処理の対象外としている。

③評価土質の決定

本システムでは、

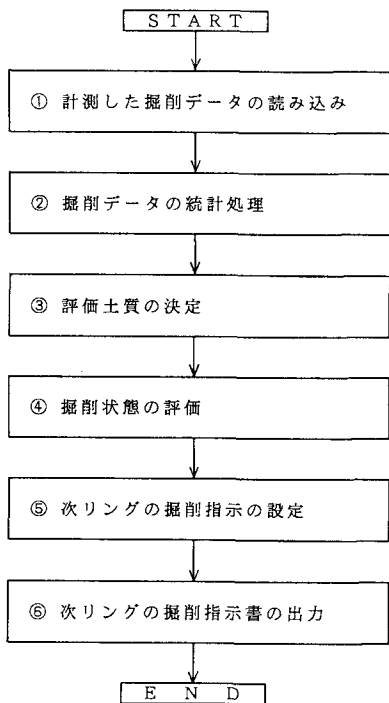
- a. 掘削データから推定（ファジィ推論²⁾）した土質
- b. シールドマシンのオペレータが排土を直接目視して判定した土質
- c. 事務所の担当職員が排土をカメラを介して判定した土質

の３種類から評価土質を決定する。評価土質¹⁾は、先に開発したシールド施工計画支援ＥＳ¹⁾の土質分類１４種類を粘性土、固い粘土、砂質土および砂礫・玉石の４種類にまとめた。なお、評価土質の決定に際してはa. ～c. の優先順位が任意に変更できるようにしている。

ファジィ推論に用いる掘削データは、隔壁土圧・カッタートルク・掘進速度・推力・スクリートルク・スクリー回転数および加泥積算量の７種類である。

表－２ 掘削データ一覧

1. リング番号
2. 隔壁土圧
3. 間隙水圧
4. カッタートルク
5. カッター回転数
6. カッター回転方向
7. スクリューコンベアトルク
8. スクリューコンベア回転数
9. シールドジャッキ推力
10. シールドジャッキストローク
11. 掘進速度
12. 加泥注入圧・流量・積算量
13. 裏込注入圧・流量・積算量
14. ピッチング
15. ローリング
16. 掘進方位角
17. 中折れジャッキストローク
18. シールドジャッキパターン



図－４ 掘削管理フロー

④掘削状態の評価

③で決定された評価土質をもとに、掘削状態がその土質に適した掘削であったかどうかを評価する。評価は、②で処理した統計量を管理目標値や過去のリングの実績データと比較して行う。

⑤次リングの掘削指示の設定

評価土質および土質縦断面図から次リングの掘削地盤の土質を推定し、その土質に適した管理・制御目標値を設定する。その時掘削評価の不良点を改善するとともに、シールドマシンの性能が十分に発揮できるように考慮する。

⑥次リングの掘削指示書の出力

掘削指示書の主な内容を以下に示す。

- ・ 評価土質
- ・ 掘削データおよび掘削評価の内容
- ・ 次リングの管理・制御目標値および上下限值
- ・ 次リングの掘削地盤の土質

(2) 姿勢管理システム

掘削地盤内におけるシールドマシンの姿勢は、掘進状況、地盤条件、シールドマシンの形状などにより、複雑に変化していく。トンネルを計画線形通りに構築するためには、シールドマシンの姿勢を正確に把握し、適正な制御を行う必要がある。この制御方法としては、シールドジャッキパターンの選択、中折れ装置の使用などがある。どのような方法で方向修正を行うかは、施工計画の段階において計画線形、地盤条件、掘削径などの施工条件を考慮して決定し、必要な装置をシールドマシンに装備する。

このシステムでは設備条件として入力したシールドマシンの仕様あるいは測量方法に合わせた姿勢管理を行う。姿勢管理のフローを図-5に示す。このフローは1リング分のものであり、このような姿勢管理を毎リング実施する。また、個々のリングの管理を通して、制御方法に関して学習させるシステムとしている。

以下、姿勢管理フローに沿って処理内容について説明する。

①基本条件・掘削データの読み込み

まず、姿勢管理を行うために必要なデータとして、基本条件および掘削データを読み込む。

基本条件の項目としては、セグメント情報、計画線形条件、事前の土質調査により得られる地盤条件などがある。また掘削データとしては、ピッチング、ローリングなどのシールドマシンの姿勢に関するデータおよびシールドジャッキパターン、中折れ装置の使用状況などの方向修正データがあ

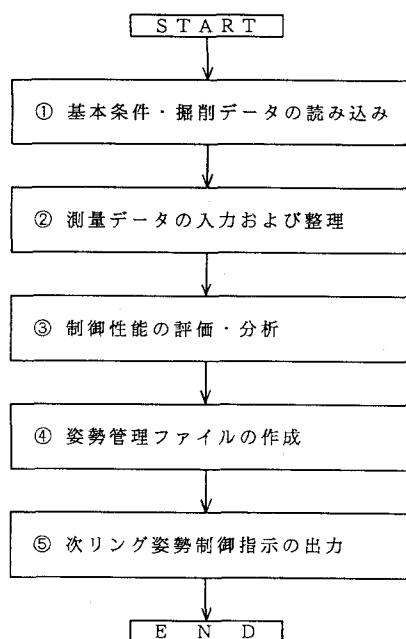


図-5 姿勢管理フロー

る。

②測量データの入力および整理

シールドマシンの位置、傾きなどの測量結果を入力し、このデータを整理して姿勢情報を得る。この測量プログラムは社内で開発した既存ソフトを、本システムに移植した。

③制御性能の評価

掘削が終了したリングの掘進に関して、方向修正の制御状態およびシールドマシンの姿勢の変化から、制御性能を評価して、以降の姿勢管理に反映する。

シールドマシンの姿勢の変化は、地盤条件、姿勢の状態などの要因に大きく影響されるものであり、姿勢制御はこれらの影響を的確に把握するとともに、線形条件を考慮して行う必要がある。

このシステムでは、制御状態と姿勢変化からシールドマシンの“曲がりやすさ”を学習し、次リング以降の制御ロジックに反映する。

④姿勢管理ファイルの作成

基本条件あるいは姿勢データ、学習内容、制御指示といった各種のデータをリング単位で整理し

てファイルを作成する。特に学習を行う際には、過去の情報がポイントとなるので、使用しやすいファイル構成とした。

⑤次リング姿勢制御指示の出力

このシステムの検討結果として出されるのは姿勢制御指示であり、モニターにより姿勢制御指示画面、プリンターにより姿勢制御指示書が出力される。

この制御指示はシールドマシンに装備されている方向修正装置を対象として出されるものである。

(3) 作業管理システム

このシステムは、現場担当職員の帳票作成、工程予測、資材発注等の業務を合理的に支援するものである。(表-1参照)

シールドマシンから送られてきた各種の計測データと、前述した掘削管理および姿勢管理で計算・加工されたデータを有効に用いて管理を行うものである。このシステムの中核は、作業打合せ簿作成業務であり、これについて詳述する。

工程通りに工事が進捗していれば、工事現場も予定通りの出来高が上がり利益も生じると考え、工程優先のシステムとした。工事を工程通りに進捗させるためには、日々適切な作業指示書を作成し、段取りよく与えられた作業を完了していくことが大切である。しかし、明日の作業予定を作成する業務は、工事全体の工程を把握し工事全般の専門知識が必要であり、E S化が望まれていた。

ここでは、作業工種の選定、労務予定、重機械の選定、資材の発注入荷、近隣住民対策、気象天候問題、技術アドバイス、安全重点項目等を取上げE S化のための軸となる知識とした。工事は、工程に合わせて順次作業工種が変化していくので、作業工種毎に知識の整理を行うことが有効であると考えた。知識整理の手法としては、作業工種を縦軸に専門知識を横軸としたマトリックス形式とした。具体的には、作業工種と使用機械・材料(発注入荷)、作業工種と安全重点項目、作業工種と技術検討項目、作業工種と近隣・天候配慮項目等のマトリックス図を作成し整理した。この作業打合せ簿作成システムの概略フローを図-6に示す。

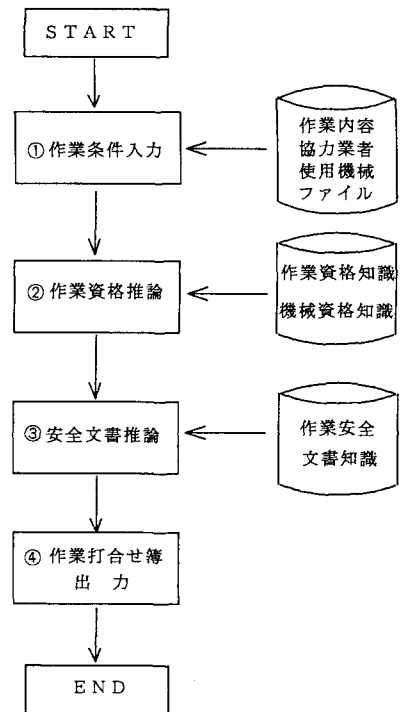


図-6 作業打合せ簿作成システム概略フロー

①作業条件入力

入力項目は、作業内容、協力業者名・人数、使用機械である。これらのデータは、予め登録されており、使用者は必要に応じて選択し入力することができる。また、前日のデータ等の過去のデータを出し利用することもできる。

②作業資格推論

作業資格推論では、入力された作業内容と使用機械のデータをもとにして、その作業を行うのに必要な資格を選定する。ここでは、労働安全衛生法、道路交通法、火薬類取締法等の知識をルール化しており、これを用いて推論を行う。

③安全文書推論

安全文書推論では、作業内容により注意すべき安全項目を推論により決定する。安全項目は、点検記録、作業環境、標識標示、作業服装等に区分けしてまとめている。このシステムでは、使用頻度の高い項目を複数推奨して表示する。使用者は、このなかに含まれる安全文書から適当なものを選択することができる。また、各安全項目および安全文書は、その使用頻度により順序を変更してい

く。これを、このシステムの学習機能とした。

④作業打合せ簿出力

作業打合せ簿の出力はワープロ形式であり、入力から出力までは10分程度で行うことができ現場の省力化・合理化に効果があると考ええる。

5. 今後の課題

本システムの開発状況としては、プロトタイプが完成したという段階であり、今後の課題としてはその実用化が挙げられる。また、既に実用化している施工計画支援ESと関係することにより、総合システムを構築する方針としている。

(1) 現場適用

本システムの知識ベースを構築するにあたっては、シールド専門技術者を対象として、ヒアリングあるいはアンケートなどの調査方法により、その知識・ノウハウを抽出したが、施工管理に関するすべての知識を収集できたわけではないので、システムの実用性を向上させるためには、実際の施工現場に適用して、知識ベースの更新あるいは追加を行っていく必要がある。

また、システムを実務レベルで使用していくためには、

- ①システムの操作性・応答性
- ②システムのメンテナンス
- ③処理結果の出力形式

などの項目が重要であり、現場適用を通して順次改良していく必要がある。

(2) 総合システムの構築

本システムを既存システムである施工計画支援ESと関係させることにより、総合管理支援システムを構築することを考えているが、その目的としては以下の2項目が挙げられる。

- ①計画から施工という一現場の管理支援
- ②現場から現場といった工事単位での施工データの利用

本システムのハードウェアは、施工計画支援ESと同機種のワークステーションを使用しており、現場施工を通して得られる施工データあるいは知識を、施工計画支援ESでも利用できる形式のデ

ータベース(表-1の資料管理)内に格納しておくことにより、上記の②の目的に対応した総合システムを構築することができる。

6. あとがき

都市部への機能集中、地下高騰などを背景として、地下空間利用の重要性・必要性はますます高まっていくものと考えられる。都市部のトンネル構築技術の主要な工法であるシールド工法は、ハード面およびソフト面において、今後も更なる技術開発が必要である。

本システムはソフト面において、シールド工事の合理化、高度化、標準化を図る要素技術になると考えている。また、施工計画支援ESあるいは自動制御システムと関係させることにより、更に高度なトータルシステムが構築できるものと考えている。

[参考文献]

- 1) 市原義久、五十嵐善一：シールド施工計画におけるエキスパートシステム適用に関する研究、土木学会論文集、第427号/VI-14、pp.95~104、1991年3月
- 2) (株)日立製作所：ES/KERNEL/W解説、pp.86~91、1989年