

シールド施工計画支援エキスパートシステム

Expert Systems Supporting Shield Tunnelling Plans

建築や土木工事では、自然環境と社会環境が相手であり、多くの要因を同時に考慮しなければならない。また、判断を下すための経験が技術者各個人の知識として存在することが多く、共通のものとして取り扱えるよう集積する必要がある。

株式会社奥村組では、実績のあるシールド工事に着眼し、専門家のノウハウを整理し、シールド工事の施工計画を立案するエキスパートシステムのプロトタイプを開発した。

本システムはAI、データベース、CADを有機的に結合し、ワークステーション2050上で良好なマンマシン特性を実現している。

最終的には、シールド施工計画から現場の施工管理まで支援できる統合エキスパートシステムを目指す。

原田 実* *Minoru Harada*
五十嵐善一* *Zen'ichi Igarashi*
市原義久** *Yoshihisa Ichihara*
奥出 聡*** *Satoshi Okuide*
田辺浩子*** *Hiroko Tanabe*

1 緒 言

シールド工事^{※1)}では自然環境、社会環境が相手であり、多くの問題を幅広い観点で配慮した設計が必要になる。すなわち、軟弱地盤から砂れき(礫)地盤まで地盤条件に対応したシールドマシンを設計し施工するとともに、掘削周辺部への影響を最小限にしなければならない。

設計、施工に際しては、

- (1) 掘削断面の土質推定、シールドマシン掘削仕様などの重要な知識が技術者各個人の知識として存在することが多く、共通のものとして取り扱うのが困難となっており、設計作業に多大な労力を必要とする。
- (2) 地盤条件は各工事ごとに変わるものであり、また、一つのシールド工事の掘削路線でも地盤条件は一定であるとは限らないため、過去の経験をそのまま利用することは困難である。
- (3) 地盤沈下、地下水への影響の評価が難しい。

など、課題も多く実務面でも苦慮しているのが実情である。

株式会社奥村組では、これらの課題に対して環境アセスメントを含めた各種解析プログラムを開発するとともに、人工知能技術、自動制御などの新手法も取り入れた完成度の高いシールド工法に関する計画、設計、施工トータルシステムの確立を目指している。

本稿では、第一段階として開発した泥土圧シールド^{※2)}施工計画支援エキスパートシステムに関し、システム構成及び処理概要について述べる。

2 設計思想

一般的な建設工事の流れを図1に示す。工事は企画に始まり、調査、計画、設計などを経て施工段階に至る。工事担当者は長年にわたる経験とデータを基に施工計画を立案し、これに基づいて工事を管理し施工を進めていく。しかし、近年の施工技術の発達、更には環境問題など諸条件によって、高度で密な施工計画、施工管理技術が要求されるようになってきた。

今回開発したシステムでは、最近都市トンネル工事で多くの施工例がある泥土圧シールド工法に関する施工計画時の検討項目を整理し、知識ベース化した。

検討項目としては、シールド機の各種装備機構、施工管理値、補助工法などがある。土質、掘削径によって各々データが異なるため、データベースを取り入れる必要がある。

本システムは、工期、掘削径、計画路線などの施工条件と、土質や地下水位などの地盤条件を入力することによって、これらの条件に適合するシールドマシンを設計するとともに、

※1) シールド工事：地下鉄道、上下水道、ガス、電気、通信線などのトンネル工事の一施工法であり、特に軟弱地盤の多い都市部で多く用いられる。

※2) 泥土圧シールド：機械掘りシールド機を用い、掘削した土砂を掘削室とスクリーコンベヤ内に充満させ、切羽の土圧と水圧に対抗させて切羽を安定させながら掘削する工法である。

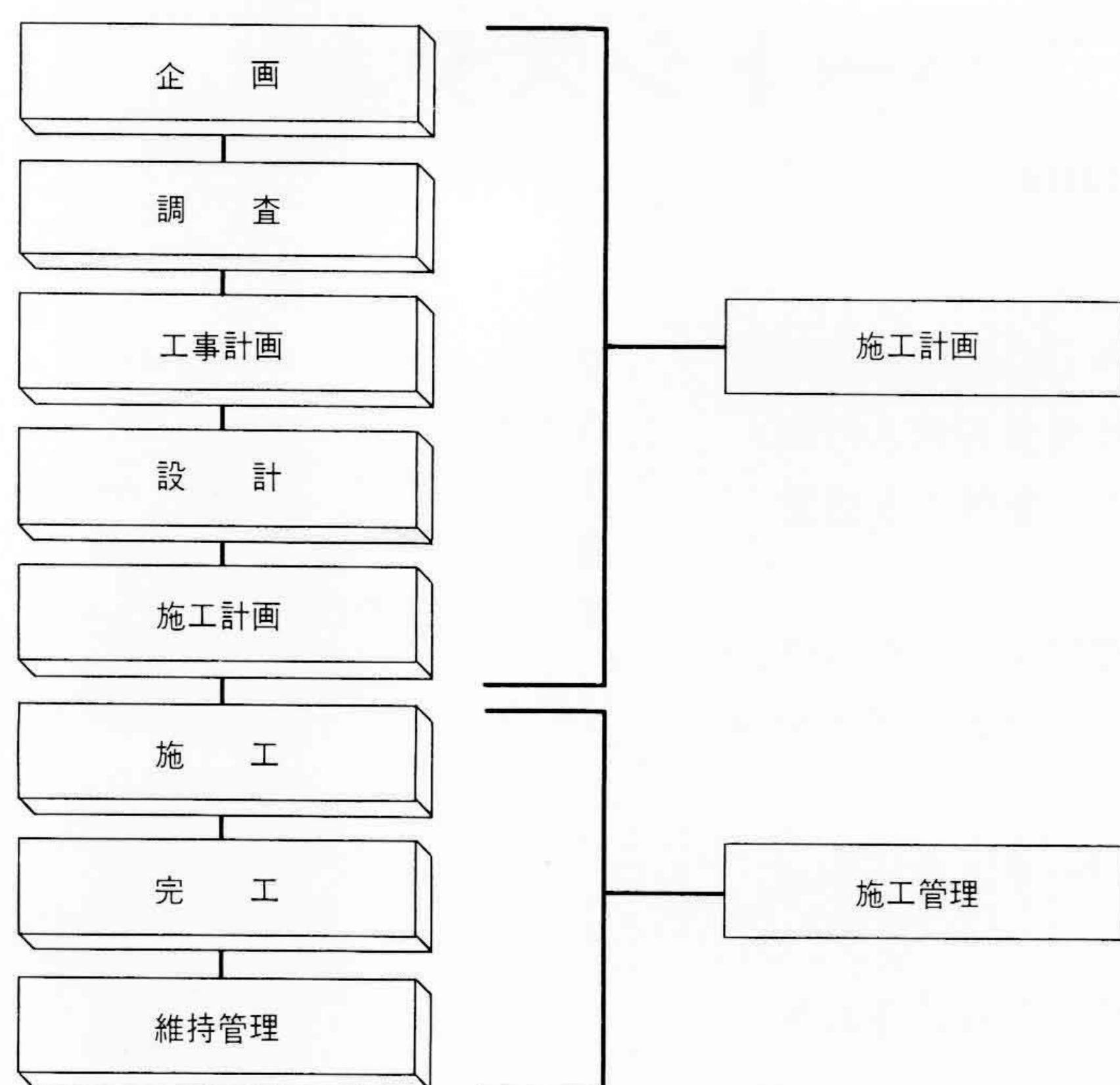


図1 建設工事フロー 一般的な建設工事の流れを示す。

施工管理基準あるいは発進、到達時の補助工法などについての検討を行う。なお、掘削路線縦断面図、シールドマシン設計図など図面表現が多いため、CAD(Computer Aided Design)を有効的に利用する。

最終的には、施工計画と連携をとった現場の施工管理も行える統合エキスパートシステムの構築をねらっている。

3 エキスパートシステムの概要

3.1 ハードウェア、ソフトウェア構成

ハードウェア、ソフトウェア構成を図2に示す。
システム全体のコントロール、データの入出力、データベ

ース検索はEXCEED2(Executive Management Decision Support System2)で行い、図面作成、解析計算はHICAD/W(Hitachi Computer Aided Design System/Workstation)で行う。

推論部分はES/KERNEL(Expert System/KERNEL)のサブルーチン形推論実行機能によって推論する。

出力装置としては、将来X-Yプロッタも考えている。

3.2 エキスパートシステムの全体構成

本システムは図3に示すとおり、EXCEED2, ES/KERNEL, HICAD/Wで作成されたサブシステムを有機的に接続し、実現している。

メインの制御はEXCEED2で行い、設計者はシステムからの誘導に従い、各サブシステムを意識することなく設計作業を進めることができる。

次に各サブシステムの概要を述べる。

(1) 施工条件の設定

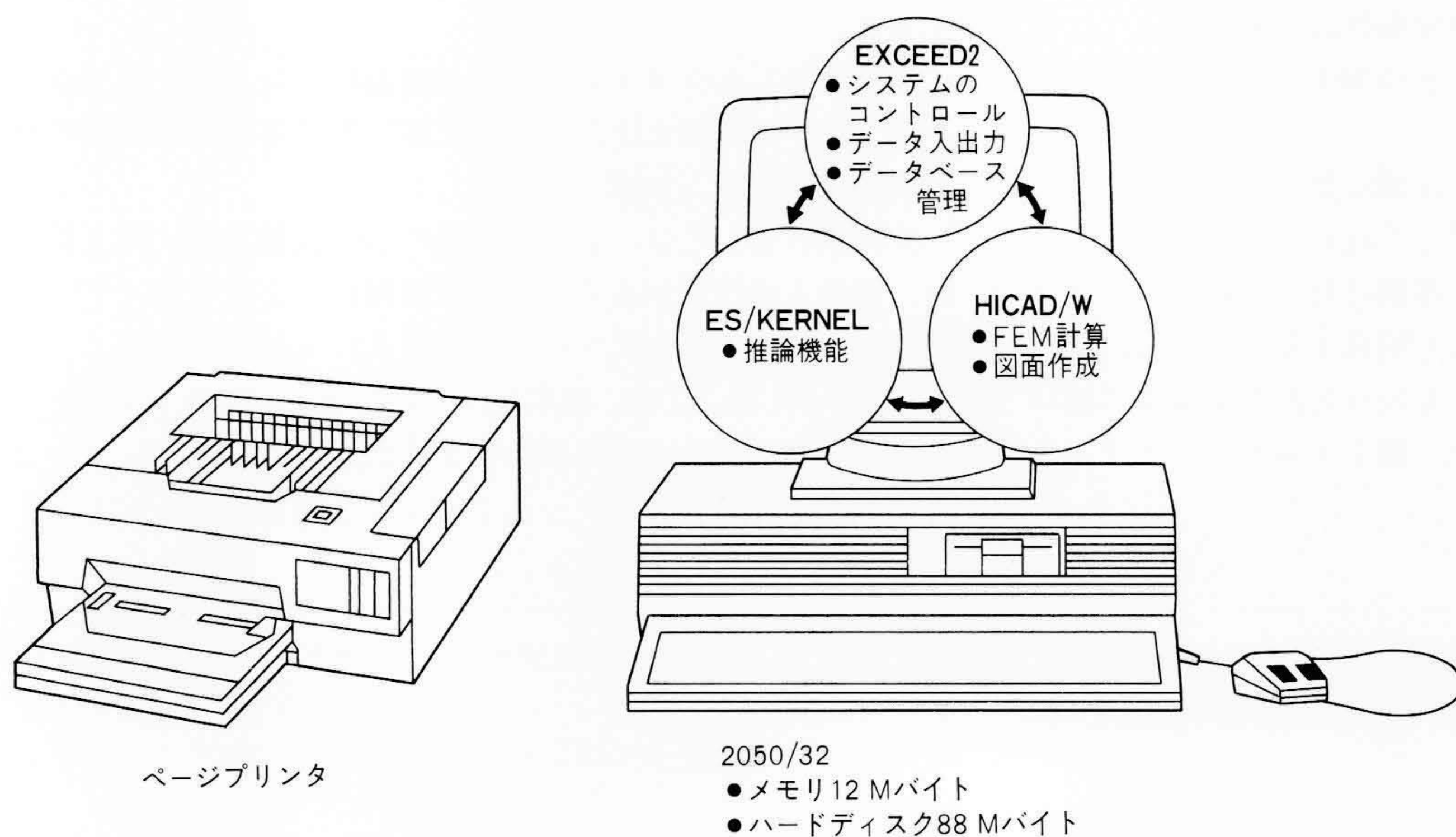
工期、掘削径、距離やこう配などの計画路線、周辺状況(重要構造物、河川、地下鉄、埋設管、井戸の有無)を設定する。

入力例を図4に示す。当処理はEXCEED2で行い、入出力結果は、EXCEED2テーブル及びUNIX^{※3)}ファイルに出力される。

(2) 掘削路線平面図の出力

(1)からのデータを入力し、HICAD/Wによって、掘削路線平面図を出力する。これによって、工事路線のイメージを確認すると同時に、(1)での入力データに誤りがないかどうかチェックを行う。

※3) UNIX: 米国AT&T社ベル研究所が開発したオペレーティングシステムの名称である。



注: 略語説明

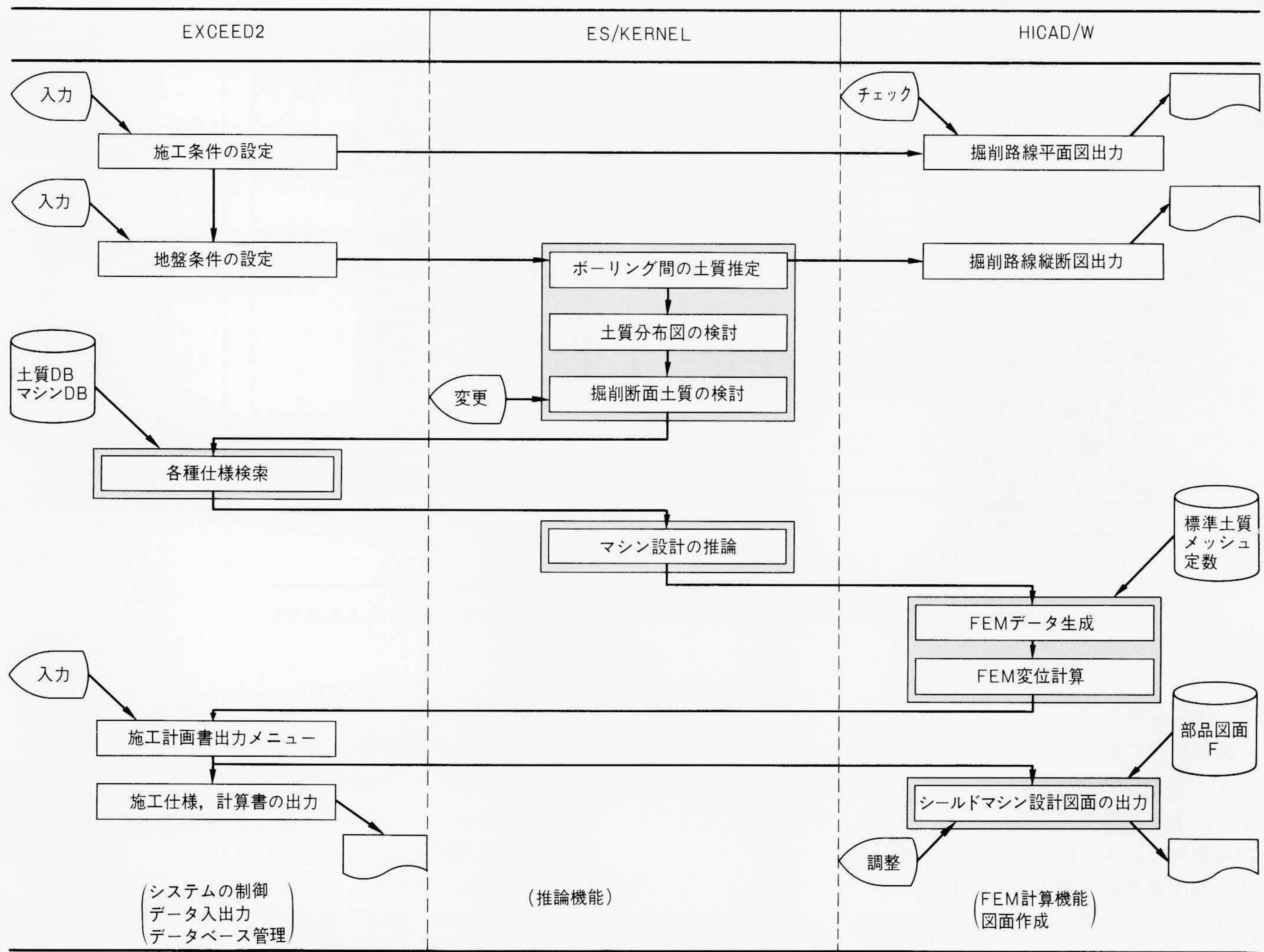
EXCEED2 (Executive Management Decision Support System 2)

ES/KERNEL (Expert System/KERNEL)

HICAD/W (Hitachi Computer Aided Design System/Workstation)

FEM (Finite Element Method)

図2 ハードウェア構成と基本ソフトウェアの機能分担 ワークステーション2050/32上でEXCEED2をコントローラとし、ES/KERNEL, HICAD/Wから構成される。



注：略語説明など F (File), は、システムの主要機能を示す。

図3 泥土圧シールド施工計画支援ESシステムフロー 本システムは、EXCEED 2、ES/KERNEL、HICAD/Wで作成されたサブシステムを、有機的に接続している。

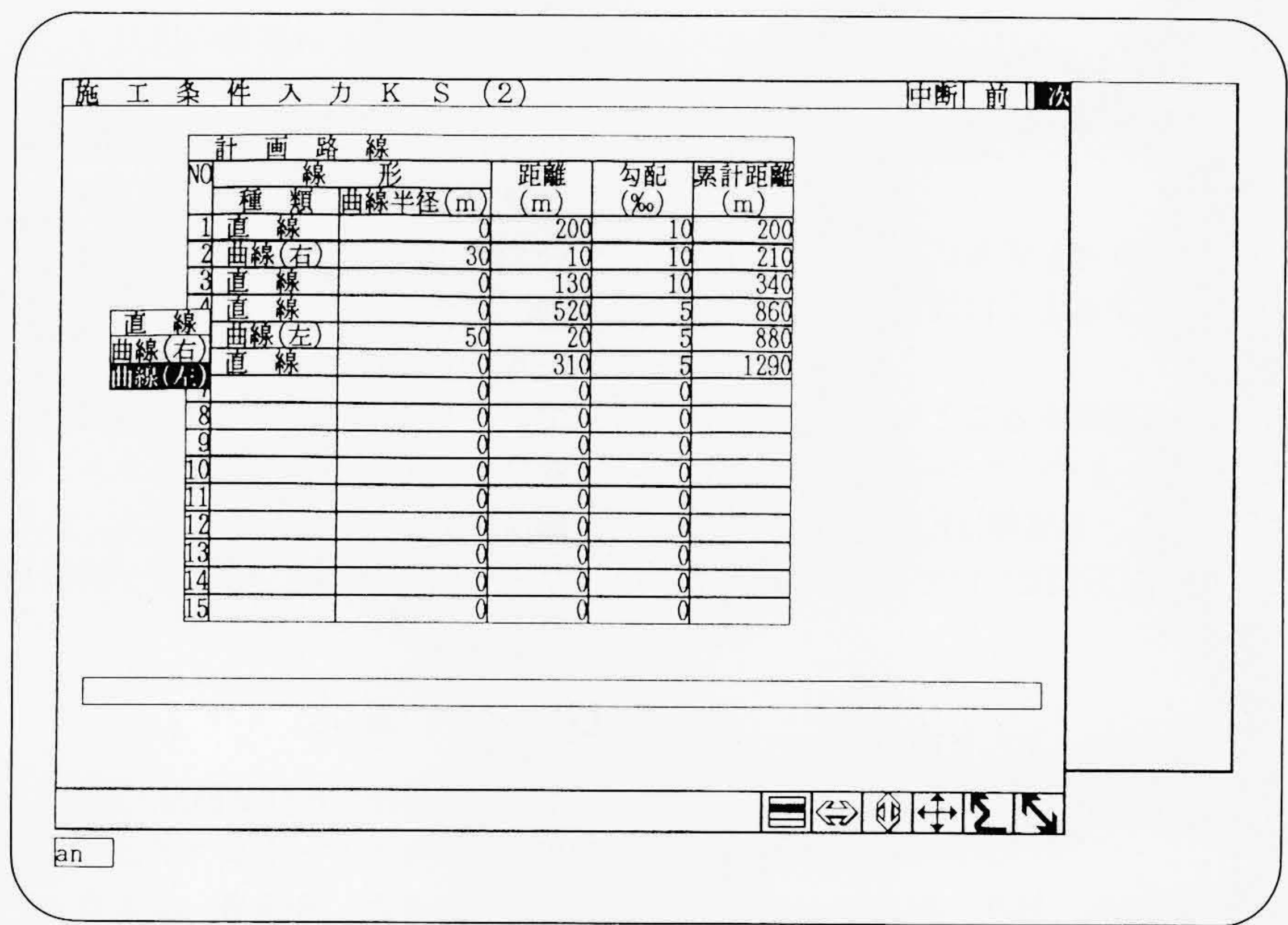


図4 施工条件入力画面例 距離やこう配などの計画路線を入力する。

地盤条件入力 K S

掘削計算中断前

ボーリングNO 1

地層番号	土質	層厚(m)	深さ(m)	土圧(t/m ²)		細粒土分
				上端	下端	(%)
1	腐植土	0.5	0.5	1	1.7	
2	軟弱粘土	3.0	3.5	1.7	6.5	
3	粘性土	4.0	7.5	6.5	13.3	
4	シルト	4.0	11.5	13.3	20.9	5
5	固い粘土	0	0	0	0	
6	シルト混砂	0	0	0	0	
7	砂質土	0	0	0	0	
8	緩い砂	0	0	0	0	
9	締った砂	0	0	0	0	
10	砂礫	0	0	0	0	
11	砂	0	0	0	0	
12	砂礫	0	0	0	0	
13	砂	0	0	0	0	
14	砂礫	0	0	0	0	

地表面高さ(TPm)	56	発進立坑距離(m)	52
地下水位(GL-m)	1	間隙水圧(kg/cm ²)	0.8
上載荷重(tf/m ²)	1	有毒ガス有無	無

土質分類

番号	分類	土質	N値	玉石(cm)
1	腐植土	腐植土	0	
2	軟弱粘土	軟弱粘土	0~2	
3	粘性土	粘土	3~8	
4	シルト	シルト	9~30	
5	固い粘土	粘土	30以上	
6	シルト混砂	シルト混砂	10~15	
7	砂質土	砂質土	15~30	
8	緩い砂	緩い砂	30以上	
9	締った砂	締った砂	40以下	
10	砂礫	砂礫	40以上	
11	砂	砂	40以下	<10
12	砂礫	砂礫	40以下	>10
13	砂	砂	40以上	<10
14	砂礫	砂礫	40以上	>10

an

図5 地盤条件入力画面例 掘削路線に沿って取得したボーリングデータを入力する。

(3) 地盤条件の設定

掘削路線に沿って取得したボーリングデータを、EXCEED2によって入力する。各ボーリングごとに地層厚、土質、地下水位、上載荷重などを設定する。各層の土圧は計算によって出力される。入力例を図5に示す。

(4) 掘削路線縦断面図の出力

(3)からのデータを入力し、HICAD/Wによって掘削路線縦断面図を出力するが、ここでは、ボーリング間の土質推定処理が必要となる。推定処理はES/KERNELによって推論される。

(5) 土質分布図の検討

(4)のデータを基に、発進立坑から到達坑までの掘削断面での土質分布を推定する。算出データはUNIX^{※3}ファイルに出力される。

(6) 掘削断面土質の検討

これまで検討した結果を基に、シールド機選定での掘削断面の支配土質を設定する。当サブシステムはES/KERNELによって推論を行う。

ルールには確信度を付け、設計者が容易に変更できるように確信度付きで複数の結果を表示するように設計した。

(7) 各種仕様の検索

当サブシステムは、設計者が意識することなく、マシン、施工に関する仕様を土質、マシン各データベースから検索し、EXCEED2のテーブルに展開する。当処理はEXCEED2の得意とする機能を十分に生かし、EXCEED2だけで全くプログラムを組まなくても済んだ。

(8) マシン設計の検討

(7)によって出力されたテーブルを、ES/KERNELのフレームに展開し、マシン本体の設計を行うために次の各機構の選定を行う。

- (a) 掘削機構(掘削ビットの種類、形状、配置)
- (b) 土砂取込み搬出機構(取込み口の形状、寸法、スクリュ

ーコンベヤの種類、能力)

(c) 曲線施工用機構(シールド機長、中折れ装置)

(d) 推進機構(シールドメインジャッキの能力、本数)

この部分は、本システムの核となる部分でデータ量が多く、複雑な構造となっている。

(9) FEM変位計算処理

これまでの検討の結果、周辺状況や土質によって地盤沈下の影響が大きいと考えられる場合には、標準土質データ、メッシュ定数データから地盤沈下の検討を行う。このために、FORTRANで記述されたホスト上での既存プログラムをワークステーション2050/32上に移植した。入力データは、ルールによって自動生成される。

(10) 施工計画書出力処理

(a) 施工仕様、計算書の出力

シールド工事での掘進工程、チェックリスト(各設計仕様、施工上の留意点)、各設計計算式など、EXCEED2によって出力する。特に推論結果については、ルールの説明機能(Explain)を活用し、決定要因を追跡できるようにした。

(b) シールドマシン設計図面の出力

(8)の推論結果を基に、HICAD/Wによって、カット板、マシンの設計図面を出力する。各部品はHICAD/W上で図面ファイルとして登録しておき、推論によって、自動的に部品検索、合成、配置を行う。また、最終図面はパラメトリック機能を用い、設計者が調整を行う。出力例を図6に示す。

4 結 言

本システムは、EXCEED2、ES/KERNEL、HICAD/Wを利用し、エキスパートシステムを効率よく構築した最初の事例である。また、今後各ソフトウェアの特長を更に生かし、専門技術者を対象とした本格的な実用システムの開発を目指す。

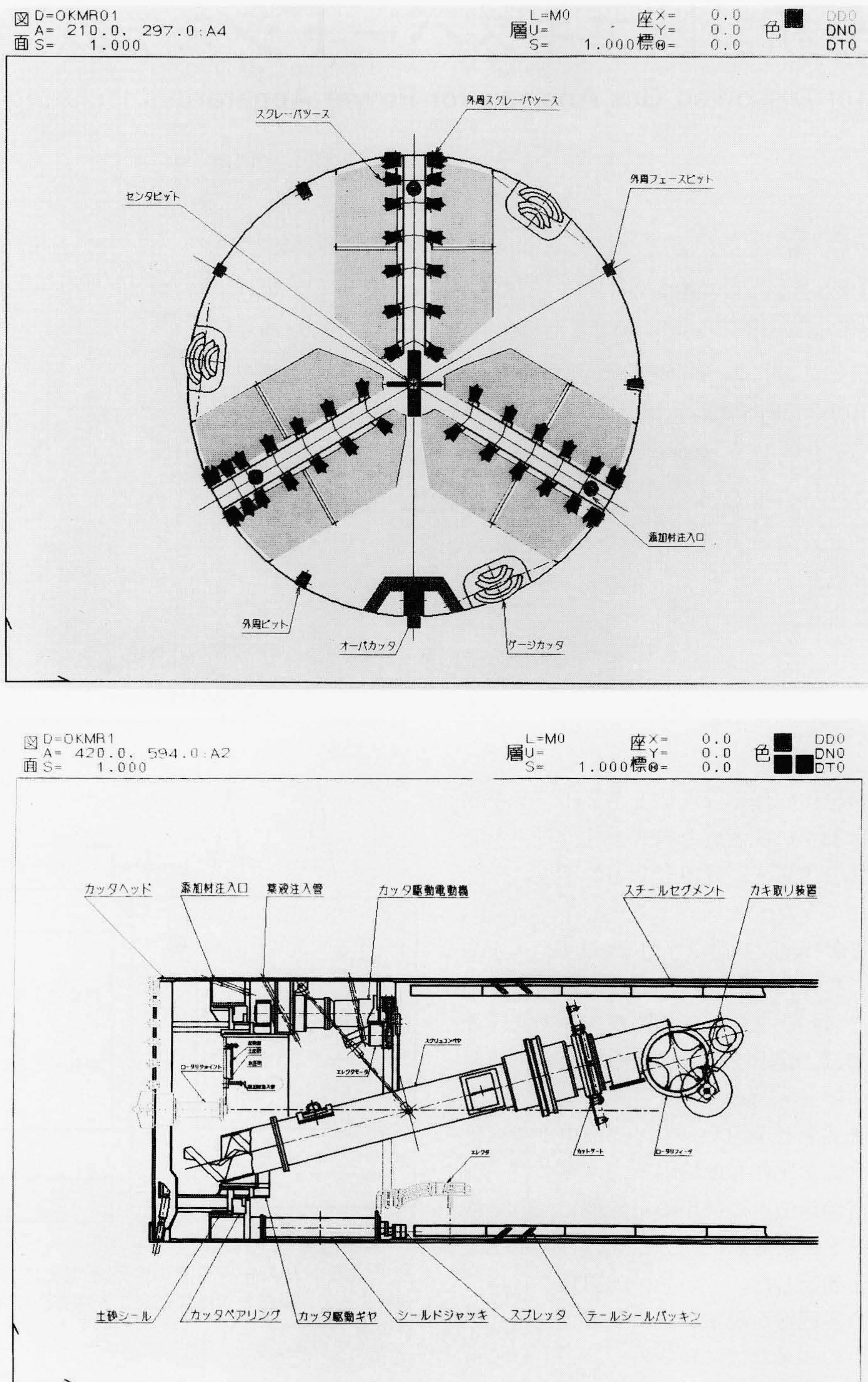


図6 泥土圧シールド機図面例 HICAD/Wによってカッタ板、マシンの設計図面を出力する。

す(昭和64年4月予定)。

本システムが本稼動すれば、次のような効果が挙げられる。

- (1) シールド施工計画の省力化
- (2) シールド施工技術の向上及び一般技術者のスキルアップ
- (3) 専門技術者の業務軽減
- (4) シールド施工に関する知識の整理と統合

今後具体的には、他工法の着手、現場の施工管理、ホストCADシステムとの連携など、アプリケーション面を充実するだけでなく、技術的にも多階層協調形推論による複数ボーリングデータからの支配土質設定、知識テラによる設計者主

導形システムなど、積極的に取り込んでいく考えである。

参考文献

- 1) 特集 知識工学の情報処理分野への応用：日立評論, 69, 3(昭和62-3)
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書(シールド編)・同解説(61年6月)
- 3) 土木学会：「建築の情報化の現状と将来」—AI・エキスパートシステム—, 講習会テキスト(63年1月)
- 4) 日経マグロウヒル社：エキスパート・システム, 理論と応用(61年11月)