

AI技術を利用した土留め設計支援システムの開発

(株)大林組 菊池慎二、小黑 博

〃 鍋本 誠、藤本啓二

〇 〃 中尾通夫

1. はじめに

最近、建設業界では労働集約型からの脱皮をめざして、情報化および機械化を進めている。当社でも全社を挙げて情報化の徹底を図っている。また、豊富な経験を持つ技術者の高齢化、減少化に対処するために、この人達のノウハウや知識の伝承および共有化についてもその方法を模索している。その方法の一つとして、AI技術やエキスパートシステムに着目し、実業務への適用を試みている。この一環として土留め設計に的を絞って、設計業務を支援するシステムを開発したので報告する。

2. 土留め設計支援システムの開発

土留めは、地盤を掘削するとき、掘削の周囲および底部地盤の崩壊を防ぐために造られる構造物である。この土留めを設計するには、掘削規模、地盤条件、環境条件、施工条件および経済性などを総合的に判断し、適切な設計を行わなければならない。情報化を前提として、土留めを設計する上での問題点を挙げてみると、

- ・適用基準が多くあり、それぞれに熟練するのに時間がかかる。
- ・計画、基本設計、詳細設計など、設計のアウトプットとして質の高いものからそうでないものまで、色々なレベルがある。
- ・対象によっては規準を外れるものがあり、この対処には熟練度が必要である。
- ・設計を行う時、施工方法の知識がないと、施工不可能な設計を行ってしまう。
- ・設計業務の中では、文書作成、資料調査などの複雑な業務が多い。

などがある。このような問題を解決し、かつ、新しい情報処理技術の適用を試行するために、設計支援システムを開発することとした。

開発システムでは、

- ・土留め設計全般を支援する。
 - ・詳細設計レベルの業務支援を行える。
 - ・土留め設計の標準化を図る。
 - ・初級技術者でも使用できる。
 - ・機械的に処理できることは、全てコンピュータで処理をする。
- などを目標とした。

3. システム概要

本システムは、図-1に示すように、土留め設計に必要な諸条件を順次与えていき、対話形式で種々の計算、検討を行い、設計を進めていく過程を支援する。プログラムは、エキスパートシステム開発用シェルを利用し、開発した。

本システムの開発に当たっては、種々の知識やノウハウの提供者となる専門技術者が4名、システムを設計するシステムエンジニアが1名およびプログラマーが2名参加した。

1) システムの特長

- ・土留め壁形式、支保工形式および補助工法として、表-1に示すように一般的に利用される形式、工法を検討対象としている。
- ・土留めの設計過程を忠実に組み込んでいる。したがって、地盤条件の設定や根入れ長計算、安定計算、断面計算など、土留めの設計で必要とされる検討や各種計算をほぼ網羅している。

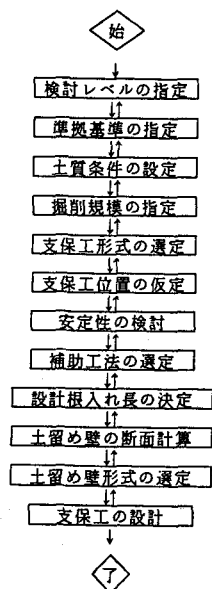


図-1 土留め設計のフロー

なお、これらの計算、検討法は、発注企業体の指針や示方書に準拠している。

- ・土質データから土留め検討用の地盤モデルを設定したり、掘削規模、地盤条件、環境条件や施工条件などの与条件から支保工形式、土留め壁形式や補助工法などを提案する推論機能を備えている。
- ・本システムは、ユーザがわずかな必須データを除いて、データ入力をしなくても、システム側から提示されるデータを選択していくだけで、処理を進めていける。
- ・画面上の図表は、必要に応じてマウスで自由に変更できる。また、多くの図表は知識ベースと直接結び付いており、図表の変更は以後の処理に影響を及ぼす。
- ・計算結果や図表などを設計計算書として出力できる。

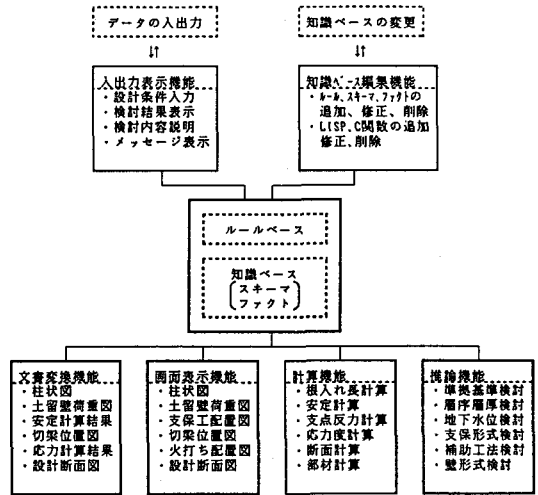


図-2 機能構成図

表-1 検討対象とした壁形式、支保工形式、補助工法

土留め壁形式	支保工形式	補助工法
・親杭掘矢板 ・鋼矢板 ・鋼管矢板 ・柱列式連続壁 ・ソイルセメント壁 ・泥水固化壁 ・地中連続壁	・切梁式 ・アースアンカー式 ・自立式	・地下水位低下工法 ・薬液注入工法 ・高圧噴射注入工法 ・深層混合工法 ・生石灰杭工法

2) 機能構成

本システムは、図-2に示すような機能を持っている。

ルールベースは、本システムの総合的なコントロールを行う部分で、ルール形式で記述している。様々な推論や必要な計算ルーチン、ウィンドウなどの呼び出しなどを行う。本システムでは、計算ルーチンはCで記述し、LISPで呼び出しを行っている。

土層構成、使用部材構成や標準的な物理量などはフレーム形式のスキーマおよびファクトで記述されている。また、メニューアイコンやグラフィックアイコンもスキーマとして定義されている。

本システムでは、検討結果をドキュメント出力できる。設計計算書として必要な計算結果や図表をフ

ァイルを介して外部システムに渡す。外部システムでは、設計計算書の雛形文書を用意しており、ユーザがこれに計算結果や図表などを取り込み編集し、設計計算書として出力する。

3) 知識表現

本システムでは知識表現として、プロダクションルールとフレームを使用している。

①プロダクションルールによる表現

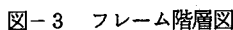
地盤モデル、支保工形式、壁形式などを提案する推論は、プロダクションルールにより行っている。支保工形式選定を行うルールの中から1例を以下に示す。

IF 周辺地盤の沈下が許される AND 粘性土
AND 粘着力 $\geq 3\text{tf/m}^2$ AND 掘削深 $\leq 3\text{m}$
THEN 支保形式は自立式である。

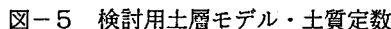
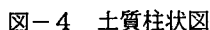
②フレームによる知識表現

本システムでは、工法名や鋼材などの階層的なデータをフレームを利用して保持している。また、設計を進めていく時、設計段階にしたがって、順次、子フレームを生成していき、再検討や複数ケースを行う場合のデータ保持を行う。これらの設計段階で生成されたフレームは、設計を終了すると消滅する。

(図-3を参照)



支保工形式には、土質・地下水位、掘削規模ならびに周辺環境等から当例では標準工法である切梁形式が選定され、土留め壁形式についても同じように鋼矢板土留め壁形式が選定されている。



その他、土留めの設計に係る土留め壁の断面算定や支保工の計算など一連の技術演算の機能も備えており、計算結果や図表はファイルに保存される（表－３）。設計計算書等の成果品は、ユーザーが保存されたファイルを基に外部システムを用いて、目的に応じた内容に編集して出力できるようになっている。

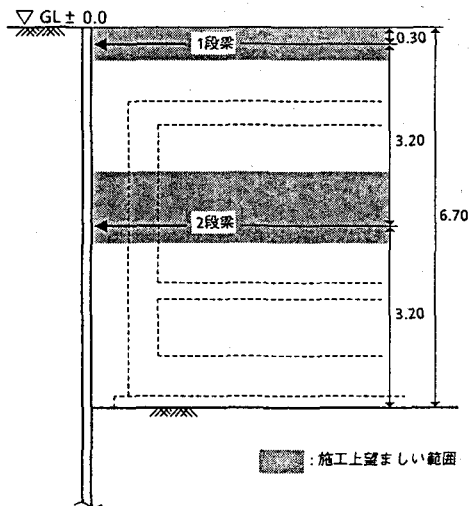


図-6 支保工設置位置

表-2 必要根入れ長計算結果一覧表

検討ケース	掘削深さ (m)	必要根入れ長 (m) (最終掘削面より)	全 長 (m)
最下段支保工設置直前	4.50	1.57	8.27
掘削完了時	6.70	3.53	10.23
ボーリング	6.70	3.28	9.98

表-3 腹起し部材の設計

段数	1段目	2段目
使用部材	H-350*350*12*19 A = 154.90 cm ² Z = 2000.00 cm ³ Aw = 37.44 cm ² ry = 15.10 cm rz = 8.99 cm	H-350*350*12*19 A = 154.90 cm ² Z = 2000.00 cm ³ Aw = 37.44 cm ² ry = 15.10 cm rz = 8.99 cm
断面性能		
設計支点反力 W (t/m)	17.78	15.92
L1 (m)	3.00	3.00
L2 (m)	3.00	3.00
軸力 N (tf)	53.35	47.77
曲げモーメント M (tfm)	20.01	17.91
せん断力 S (tf)	26.68	23.88
応力度		
$\sigma_c = N/A$	344.40	308.40
$\sigma_{bcy} = M/Z$	1000.40	895.70
$\tau = S/Aw$	712.50	637.90
断面係数		
L _y (m)	3.00	3.00
L _z (m)	0.00	0.00
L _y /b	8.57	8.57
L _z /r _z	0.00	0.00
σ_{caz}	2100	2100
σ_{bagy}	1953	1953
σ_{eay}	2400	2400
σ_{cal}	2100	2100
$\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}(1-\sigma_c/\sigma_{eay})}$	0.68	0.61
$\sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{(1-\sigma_c/\sigma_{eay})}$	1356	1213
ra	1200.00	1200.00

5. おわりに

約2年を費やして、以上報告したシステムを開発した。現在は、このプロトタイプシステムを設計者が使用し、細かな修正を行うと共に追加機能の洗い出しを行っている。今後実現していきたい機能は、事例データベースとの連係や見積システム、施工計画システムなどとの連係である。

本システムを開発するにあたって期待した効果は、設計の標準化、効率化である。土留め設計業務を詳細に見直し、設計者が異なっても適確な設計が行えるシステムの作成をめざした。さらに、設計業務の中で、計算プログラムのデータ作成や文書作成などの労力を要する作業をなるべく少なくし、本来最も時間を費やすべき検討に力を入れられるようなシステムであるようにした。現在、その効果を計測中である。

また、シェルを利用したのは、グラフィック画面を含んだプロトタイプ作成の速さに期待したためである。これは、従来のプログラム開発に比較して十分に満足すべきものであった。

最後に、エキスパートシステムを開発して感じたことを記す。

- ・ユーザにとって、データ作成やドキュメント作成は容易になった。しかし、ルールやデータなどのメンテナンスなど、システムを保持していくことは非常に労力のいる仕事である。今後、これらの労力を減らす工夫が必要であり、取り組んでいきたい。
- ・本システムの開発では、なるべく少ないルールで、うまく推論をする推論ルールを作成しようとしたができなかった。それで、細かな場合分けをしてルールを作成したため、本来の知識でない、手順をコントロールするルールが多くなった。
- ・A Iらしさを出す工夫は、開発者の能力に依るわけであるが、開発用シェルに依存する部分も多い。しかし、高機能シェルを使いこなすには相当な時間が必要で、手っ取り早くA Iシステムを作成することは難しい。知的システムの開発は、じっくりと腰を落ち着けて取り組むべき対象であると、改めて認識した。