

トンネル施工計画支援エキスパートシステムの開発について

大成建設 正 ○ 大坂 一 正 鈴木 明人
森田隆三郎 正 小山 哲

1. はじめに

本システムの開発は、トンネル技術者の専門的な知識を反映したトンネル施工計画システムを作成すると同時に、建設分野でのノウハウがエキスパートシステム概念によって明示的に記述できないかどうかを検討する目的を持って行った。

2. システム概要

トンネルの施工計画は、エキスパートシステム的な見地から見ると、計画案の比較として捉えることができる。トンネル施工計画における比較項目としては次の3点がある。

- ①施工性：実際の施工が可能かどうかの判定。
- ②工程：工期的に間に合うかどうかの判定。
- ③経済性：より安く工事ができるかどうかの判定。

トンネル工事においては、これらは主として使用機械の選定によって決定される。また、図-1システム構成数字による比較を可能とするのは使用機械の組合せによって求まるサイクルタイムである。

ここでは、図-1に示す、工期のチェックを主目的としたエキスパートシステムを構築した。エキスパートシステム開発には富士通(株)のESHELLを使用している。

本システムの対象範囲としてはNATMとし、掘削方式として発破工法、機械工法を、ずりの搬出方法としてはタイヤ工法とレール工法を対象とした。機械の選定と、工期の計算の関連図を図-2に示す。これらの各ブロックの値や全体の制御はエキスパートシステム特有の方式で処理されている。本システムには、入力データとして、地質、施工数量、施工方式、工期等を必要とし、断面形状に關

しては、インバートの有無に分けて、上半、下半、インバート等の半径を入力する方式を採用している。機械は掘削工法別に機種を変更するものとし、断面積・掘削工法等から、使用可能と思われる主要機械の組合せを複数個準備している。サイクル計算は各地層区分毎に行い、全体工期を算定している。計算された工期の評価は、現時点ではエキスパートシステム化してはならず、計算結果の表示に留めている(図-3参照)。

3. 知識表現

トンネルの施工計画をエキスパートシステム化するに際して、問題となる点の一つに、知識表現方法として、何を使用するかがある。一般的な知識の表現方法には、プロダクションルール、フレーム、LISP関

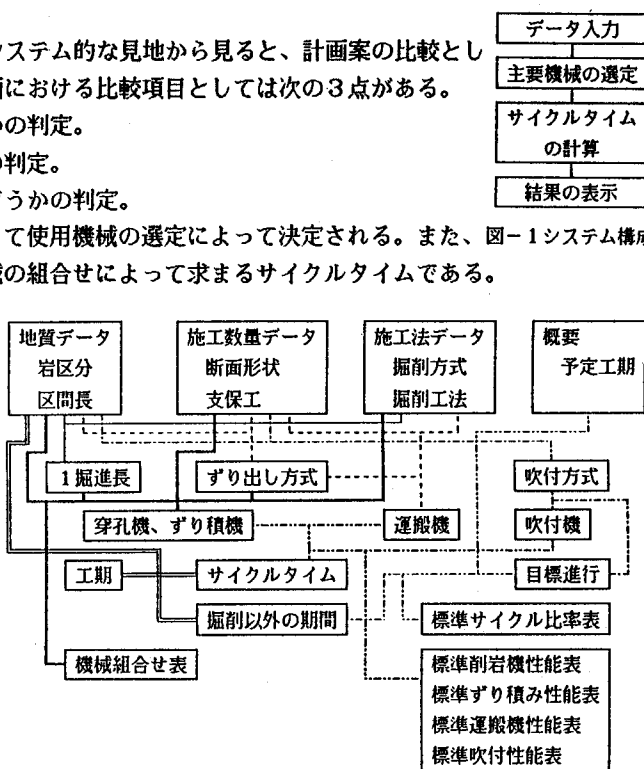


図-2 機械の選定及び工期計算関連図

数の3種類

*** サイクルタイム (分) ***

の形式が考
えられる。
ブログクシ
ョンルール
は、エクス
パートシス
テムの最も
基本的な知
識表現方法
であり、施
工計画を決
定するため
のノウハウ、
例えば、ず
り出し方式
の選定や機
械の選定な
ど、ケース
バイケース
で判断する
項目や、全
体的な制御
に使用して
いる。フレ
ームの特徴
は、フレー

区分番号	01	掘削方式	掘削工法	ショートベンチ	
掘削方式	1	断面区分	1	岩区分	1
掘削準備	: 10	穿孔	: 34.2715569	もんもん取り	: (0)
掘削機移動	: 34.2715569	ずり積準備	: 10	吹付コンクリート	: 87.0095402
装束・爆破・換気	: 45	ロックボルト	: 10.0		
ずり積	: 103.740929				
支保工	: 40				
測量、その他	: 45				
金網	: 20				
トロ入換	: (0)				
損失	: 30				
		線路延伸	: (0)		

サイクルタイム合計 : 469.293583

(1) サイクルタイム

*** 工程計算結果 ***

ずり出し方式	タイヤ
吹付け方式	湿式
トンネル延長	1000 (M)
予定工期	24 月
準備工事期間	2.0 月
坑口切付け	1.0 月
掘削期間	15.3264534 月
覆工完了期間	2.0 月
付帯工事期間	1.5 月
跡片付け	1.0 月
総工事期間	22.8264534 月
余裕工期	1.17354658 月

** 機械の変更はしますか ? (Yes / No)
====>

(2) 計算工期

図-3 工期とサイクルタイム表示例

ム間で構造を持たせることができ、その構造を利用して効率的なデータ処理が可能なことで、機械性能、サイクルタイム計算用の定数の保存に利用している。データの入出力や処理手順が明確な知識を表現するには、LISP関数などの手続き的な言語が適しており、サイクル計算等の各種計算の手続型知識および入出力処理等に使用している。ここでは、建設分野での経験が、これらの方法を用いて表現出来るかどうかを検討した。

3.1 定性的な判断

トンネルの施工計画を行う時点では地質的な情報が十分には得られておらず、計画案作成途中の決定項目はかなり定性的な判断が含まれている。定性的な判断は、ずり出し方式の選定に使用される判定表(表-1)に示されるような、○×形式で表されることが多い。このような判断を取り込む方法として、確信度とfuzzy理論があり、本システムでは確信度による方法を使用する。

表-1 ずり出し方式の選定表

判 定 要 因		仮 説	
		タイヤ	レーン
断面積	80m ² 以上	○	△
	60m ² 位	○	△
	40m ² 位	△	○
	20m ² 以下	△	◎
掘削延長	2km 以上	○	○
	200m~2km	○	○
	200m 以下	○	△
岩の硬軟	硬岩・中硬岩	◎	○
	軟岩	○	○
	未固結	△	○

確信度による方法は、採用可能な方法の一つ一つ（仮説と呼ぶ）に対して、図-4に見るように、採用した方が良い証拠と採用しない方が良い証拠を積み上げて、その差によって最終判断を行う方法である。各証拠の重みが確信度と呼ばれ、確信度が1であれば絶対に採用を、-1であれば絶対に採用しないことを意味している。最終的に得られる確信度、不確信度の差によって、各仮説の採用不採用を決定する（図-5）。本システムでは、かなりの部分

でこの方法を使用しており、確信度の設定は次の手順で行った。
 ①技術者とのヒアリングによって判断要素の抽出し、整理する。
 ②仮説、判断要因表を作成し、各目目を4段階評価した。（◎○△×で表示）
 ③判断要因の大項目のウェイトと、◎○△×のウェイトを考慮して各目目の確信度（1～-1）を決定する。④実例を対象として確信度の計算を行い、確信度による仮説の採用と技術者の判断が一致するように、各目目の確信度を補正した。
 これらの結果より、一つの表を一つの前向き推論の知識ベースとして構成した。確信度0以外の一つの目目が一つの規則に対応している。確信度の計算はLISP関数を使用した。

3.2 データベース検索

各工法の適切な機械の組合せにはかなりのバラエティがあり、組合せの追加変更が多いことを考えると、データベースの形で組合せを登録する方式が適していると考えられる。データベースの検索は図-6に示す手順で実行される。本システムでは、機械の組合せを表-2で構成している。データベースの保存および検索はESHELLの持つ機能を使用した。

3.3 フレーム

フレームはフレーム名とそのフレームに含まれるスロットから構成され、スロットには値を登録できると共に、値がないときの処理が定義できる。フレームからのデータ取り出し

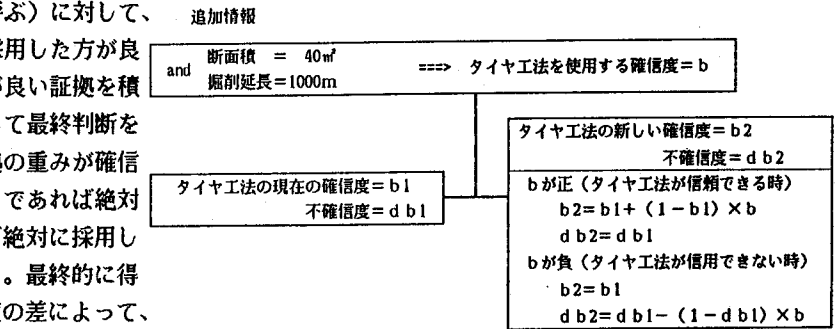
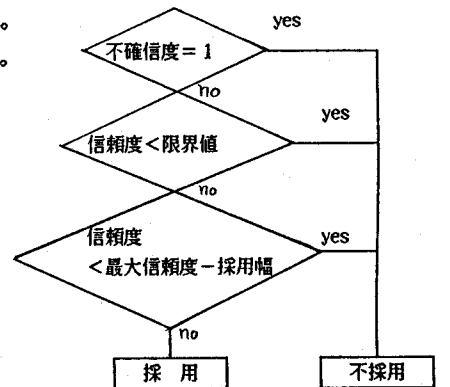


図-4 確信度による判定項目の選定



信頼度：確信度 - 不確信度
 限界値：仮説を採用しても良い下限の信頼値
 最大信頼度：全仮説の信頼度の最大値
 採用幅：仮説を採用しても良い、信頼度の最も高い仮説との信頼度の差

図-5 仮説の採用手順図

表-2 データベース登録項目

項 目	内 容
検索条件	掘削方式 掘削工法 ずり出し方式 設計断面積 最大1掘進長 地耐力 岩区分
上半、全断面 使用機械	穿孔機：タイプ、ブーム数 または掘削機械：タイプ、容量 ずり積機：タイプ、容量
下半使用機械	〃
導 坑	〃

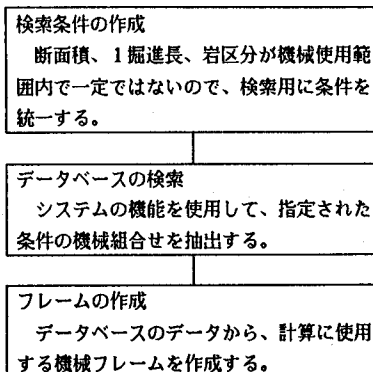


図-6 データベース検索手順図

はESHELLで準備されているLISP関数を呼び出すことによって行われる。関数では、インヘリタンス機能、デーモン機能と呼ばれる機能が組み込まれており、かなり複雑な構造のデータを容易に処理できる。

ある条件の情報をフレームから引き出すときには、キーワードを結合してフレーム名を作成し、インヘリタンス機能、デーモン機能を使用して情報を引き出している。インヘリタンス機能の使用方法を、ロックボルト準備片付け時間の検索を例として説明する。

- ①フレーム名を作成する。サイクルタイムの定数を掘削方式、掘削工法、ずり出し方式別に設定しており、それぞれ、発破工法、全断面工法、タイヤ工法であれば、フレーム名を次のよう作成する。

フレーム名 = サイクル：「掘削方式」「ずり出し方式」「掘削工法」
 = サイクル：発破タイヤ全断面

- ②フレーム「サイクル：発破タイヤ全断面」

からロックボルト準備片付け時間を取り出すために、関数FGETを呼び出す。FGETはインヘリタンス機能を使用してロックボルト準備時間スロットを探索する。インヘリタンス機能とは、指定されたフレームにデータがないときにはその上位フレームからデータを持って来る機能である。その検索手順を図-7に示す。

(SETQ ロックボルト準備片付け時間
 (@FGET サイクル：発破タイヤ全断面
 'ロックボルト片付け時間))

フレーム	サイクル：発破タイヤ全断面
上位フレーム	サイクル：発破タイヤ
穿孔1本当たりの断面積	(- 1.5 2.2 2.5)
装薬・換気・爆破時間	(- 40 60 60)
吹付準備時間	10分
測量その他	25分
損失時間	15分

4. おわりに

トンネルの施工計画をエキスパートシステム化することによって建設分野におけるノウハウの表現方法を検討し、かなりの経験がシステム化可能であると考えている。しかし、実用化を考えたときには、次の2点に注意する必要がある。

- ①建設分野での技術者の判断は技術的な裏付けが要求され、エキスパートシステムの実行結果は多くの事例で検証する必要がある。そのためには、詳細な事例データの蓄積が必要となる。

- ②エキスパートシステムの構築するにはか

なり高度のコンピュータ・人工知能の知識を必要とするため、誰にでも簡単に出来るものではない。また、知識の表現方法も必ずしも建設分野を対象としたものではない。実用化上の大きな問題点である。しかし、この点は今後かなり改善が期待できる。

本システムはプロトタイプであり、現在、各種の条件に対応できるようにデータの整備をおこなっている。さらに、実用化に向けて各種の機能の追加（グラフィック機能による視覚化など）を検討している。

参考文献

- [1]富士通：FACOM ESHELL解説書、富士通
 [2]富士通：FACOM UTILISP手引書、富士通

フレーム	サイクル：発破タイヤ
上位フレーム	サイクル：発破
標準一発破進行長（岩区分別）	(1.0 1.2 1.5 1.5)
穿孔加算長（岩区分別）	(0.2 0.2 0.1 0.1)
ずり積み準備時間	15分
地山変化率（岩区分別）	(1.5 1.6 1.8 1.9)
支保工設置時間	40分

フレーム	サイクル：発破
削岩準備時間	10分
ロックボルト準備時間	10分

図-7 インヘリタンス機能を使用したフレームの利用例