

切土のり面保護工の選定に関するエキスパート・システム

関西大学工学部	正員	三上	市蔵
復建調査設計(株)	正員	家頭	圭昌
復建調査設計(株)	正員	河野	吉次郎
復建調査設計(株)	正員	○広兼	道幸

1. まえがき

人工知能 (Artificial Intelligence) に関する研究が進み、言語理解、画像理解などさまざまな分野への応用がされている中で、最近特に脚光を浴び実用化への第一歩を踏み出したものに、エキスパート・システム (Expert System ; 以下、ESと略す) がある。土木コンサルタント分野においてもESに対する期待は大きく、コンサルタント本来の「専門知識の提供」という高度な知識を要求される業務はES向きであり、ESの実用化は今後の大きな課題である。

生活圏が都市から郊外へと広がり、郊外における宅地、道路などの整備が進むにつれて、切土のり面は増加の傾向にある。このり面を保護することは、安全面、環境保全面などより重要な問題であり、保護工の選定にあたっては、安定性、美観、施工性、経済性などを考慮した上で、慎重かつ迅速な決定が要求される。今回この切土のり面保護工の選定問題に関するESの構築に取り組み、プロトタイプを完成したので、その概要について報告する。

2. システムの構築

ESは、獲得知識を体系化した「知識ベースの部分」、ユーザーの応答に従って知識ベースに基づいて推論を行なう「推論の部分」、ユーザーに対し質疑応答を行ない推論結果を提案する「ユーザー・インターフェースの部分」より構成されている。本ESを構築するにあたり、知識ベースの部分を空にした状態のES構築支援ツール『BRAINS』を利用した。知識ベースは、日本道路公団による文献¹⁾を基本とし、種々の文献^{2) 3) 4) 5) 6) 7)}を参考にし、あわせて、土木技術者、地質技術者の経験に基づく意見も貴重な知識として、体系化した。

知識の表現は「if 施工時期が冬 then 植生による工法は適さない」のように「if ~ then」形式のプロダクション・ルールを基本としている。ルール表現は、フレーム、ブラック・ボード、意味ネットワークなどの知識表現に比べ、個々の知識に独立性が高く、知識の修正、追加、削除が容易に行なえる反面、表層的な知識表現である。「適さない」のように曖昧な表現については、確信度と呼ばれる尺度を使用した。確信度は、医療診断ES『MYCIN』において初めて使用された手法で、(-1 ~ +1)の値をとり、(-1)は絶対否定を、(+1)は絶対肯定を表わし、(-1.0 ~ +1.0)は曖昧の度合いを表わす。最終的に各工法に与えられる確信度は、条件ごとに与えられた確信度をもとに、Bayesの確率で定義される。

3. システムの概要

本ESでは、選定される工法(結論)を定義する仮説データ、工法を選定するための条件(質問)を定義する事象データ、および選定条件と工法の関連付け(ルール)を定義する知識ベース、以上3項目について知識を体系化し、質問は図-1の流れに従って行なわれ、工法が選定されていく。

工法としては、表-1に一部示すように植生によるもの(種散布工、種吹付工・・・)、植生を補助するもの(植生ネット工、土壌改良・・・)、構造物によるもの(モルタル・コンクリート吹付工、コンクリート張工・・・)があり、合計44工法を考慮した。工法はそれぞれ独自の目的、特徴を持っている。例えば、

侵食を防止するための植生工，風化を防止するためのコンクリート吹付工，落石を防止するための落石対策工，ある程度の土圧に対抗するための擁壁工などがある。

工法の選定条件は，安定性，崩壊の程度（侵食，風化・・・），施工場所などが考えられる。また，周辺の環境，施工機材のためのスペース，美観，施工性，経済性なども工法の選定には重要な条件となる。ルールは，「if 安定勾配の確保不可能 then 植生による工法は適さない」，「if 落石の危険性がある then 落石防止網などの落石対策工を併用すべきである」などのように，「安定勾配の確保不可能」，「落石の危険性がある」のような条件と「植生による工法は適さない」，「落石対策工を併用する」のような工法とをプロダクション・ルールによって表現するもので，合計81ルールより構成されている。

安定性の検討は，切土の勾配，切土の高さ，地質分類に対する質問の答と，標準のり面勾配¹⁾（表-2）および土木技術者の専門知識に基づき行なう。質問形式は一価選択型として，勾配は「～1:0.3」，「1:0.3～1:0.5」のように7ランクに区分した。

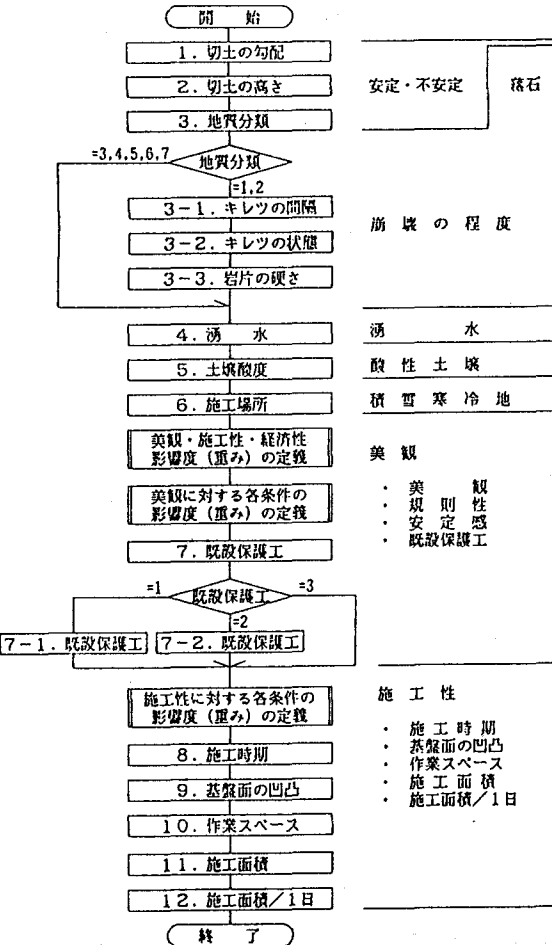


図-1 質問と工法選定の流れ図

表-1 工法一覧表（一部）

No	工 法
1	種散布工
2	種吹付工
3	植生マット工
4	張芝工
5	植生袋工
6	植生穴工
41	種散布工 + 土壌改良 + 落石防止網
42	種吹付工 + 土壌改良 + 落石防止網
43	植生マット工 + 土壌改良 + 落石防止網
44	張芝工 + 土壌改良 + 落石防止網
45	植生袋工 + 土壌改良 + 落石防止網
46	植生穴工 + 土壌改良 + 落石防止網
51	モルタル・コンクリート吹付工
52	コンクリート張工
53	もたれ擁壁工
54	石張・ブロック張工
55	石積・ブロック積工
56	ジャコ・ふとんかご工
57	井桁工
58	コンクリート・ブロック枠工（土砂・植生）
59	コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック）
60	コンクリート・ブロック枠工（コンクリート吹付）

表-2 標準のり面勾配

地 山 の 土 質	切土高	勾 配
硬岩		1:0.3 ~ 1:0.8
軟岩		1:0.5 ~ 1:1.2
砂	密実でない粒土分布の悪いもの	1:1.5 ~
砂質土	密実なもの	5 m 以下 1:0.8 ~ 1:1.0
		5 ~ 10 m 1:1.0 ~ 1:1.2
	密実でないもの	5 m 以下 1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10 m 1:1.2 ~ 1:1.5
砂利	密実なもの，または粒度分布のよいもの	10 m 以下 1:0.8 ~ 1:1.0
	または、	10 ~ 15 m 1:1.0 ~ 1:1.2
岩塊まじり砂質土	密実でないもの，または粒度分布の悪いもの	10 m 以下 1:1.0 ~ 1:1.2
		10 ~ 15 m 1:1.2 ~ 1:1.5
粘性土		0 ~ 10 m 1:0.8 ~ 1:1.2
岩塊または玉石まじりの粘性土	5 m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
	5 ~ 10 m	1:1.2 ~ 1:1.5

高さは、「～5m」、「5m～10m」のように4ランクに区分した。地質分類は、土砂、軟岩、硬岩など7つの項目に分類した。以上3つの質問について選択されたランク、項目から切土のり面の安定性を判断する。

崩壊程度の検討は、キレツの間隔、キレツの状態、岩片の硬さに対する質問の答と、文献²⁾および地質技術者の専門知識に基づき行なう。質問形式は一価選択型として、キレツの間隔は5つのランクに区分した。キレツの状態はキレツの色彩、含有物などを7つの項目に分類した。岩片の硬さは岩片をハンマーにより打診したときの音、崩壊の状態などより6つの項目に分類した。以上3つの質問について選択されたランク、項目から風化の進度などを判定する。

湧水の検討は、湧水の有無を問うて、湧水が有るときは密閉形の工法（コンクリート吹付工・・・）は避けて、開放形の工法（石積・ブロック積工・・・）を選定する。水は、斜面の安定性にも影響を与え、多くの難しい問題があるので、今後も知識の整理を続けていく。

酸性土壌の検討は、土壌酸度を問うて、土壌改良の必要性を判断する。ユーザーは、土壌酸度をpH値により入力して、酸性の強さの度合いをファジィ理論³⁾を利用して判断するものとした。ファジィ理論は、制御分野において研究が進み、酸性の強さを表わすメンバーシップ関数（Membership Function；図-2）を定義することにより、「強さ」という言葉のもつ曖昧さを表わそうとするものである。

積雪寒冷地の検討は、植生工を施工する際、凍上による植生の剝離を避けるため、植生ネットによる補助工が必要かどうかを判断するものである。施工場所を質問し、北海道、東北、北陸、中部、山陰であれば積雪寒冷地と判断する。質問の意図をユーザーに伝えるために、この質問は積雪寒冷地を判断するもので、選択した地域が、積雪寒冷地であるか温暖地域であるかを、明示することにした。

美観、施工性、経済性は主観的要素が高く、「施工場所（国立公園・・・）によっては、美観を特に重要視しなければならない」のように、工法の選定に与える影響の度合い（重み）は、技術者個人によって差が生じる。本ESにおいては、あらかじめ専門家の意見によりこれらの重みを定義し、ユーザーがその重みを変更できるよう配慮した。

美観については、「植生工を優先的に採用する」、「周りに既設保護工が施工してある場合は、できるだけ類似工法を施工する」など緑化、規則性、安定感、既設保護工などの要因が考えられる。緑化、規則性、安定感については、専門家の意見よりあらかじめ各工法を5ランクにわけ、このランクに従って確信度を与えた。選定のときは、各条件に与えた重みを考慮した上で、確信度を決定した。既設保護工は、周囲に保護工が施工されていれば、できるだけ類似工法を選定するよう判断する。質問形式は、一価選択型で実際に施工されている工法を選択して、「植生工どうしであれば、よく類似している」、「植生工と枠組工（植生）は、やや類似している」のように、各工法にあらかじめ与えられた類似度（確信度）をもとに、既設保護工に与えられた重みを考慮して確信度を決定した。

施工性については、施工時期、基盤面の凹凸、作業スペース、施工面積、1日当たりの施工面積などの要因が考えられる。施工時期は、施工する季節を問うもので、「植生工は、植生の焼ける真夏、植生の成長が遅い冬場は避けたほうがよい」などの判断をする。基盤面の凹凸は、凹凸の有無を問うもので「凹凸があれば、芝やブロックを張る工法は施工に手間がかかる」のように、施工の難易度を判断する。作業スペースは、仮設ヤードなど施工に必要な材料（芝、コンクリート・・・）、機械（クレーン車、生コン車・・・）などを設置するためのスペースの有無を問うもので、スペースがなければ、不利となる工法を判断する。施工面積は、その広さを問うもので、質問は数値入力型とし、メンバーシップ関数（図-3）により、「広さ」という言葉のもつ曖昧さを

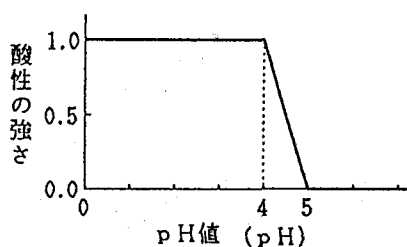


図-2 酸度の強さを表す関数

表現し、その広さによって、作業能率の向上する工法と低下する工法を判断する。施工面積と施工期間から1日当たりの施工面積を割り出すと、施工困難な工法がある。そこで、施工面積と同様に数値入力型で施工期間を問い、メンバーシップ関数（図-4）により、「広さ」という言葉のもつ曖昧さを表現し、施工困難な工法を判断する。

経済性については、1m²当たりの施工金額を問う。質問は数値入力型とした。メンバーシップ関数（図-5）により「金額の高さ」という言葉のもつ曖昧さを表わし、入力した施工金額より施工可能な工法を判断した。

知識ベースは、条件と結論の関連付けをルールにより表現する。関連付けは、確信度と呼ばれる曖昧さを表わす尺度を使用している。「安定勾配が確保できないときは、植生による工法は避けるべきである」のように絶対に選ばれてはいけない工法については、絶対否定（-1）を与える不適正マトリックス（表-3）を作成した。「植生による工法は、芝が焼ける真夏、植生の成長に適さない冬場の施工は好ましくない」のように曖昧なものについては、確信度（-1.0～+1.0）を与える確信度マトリックス（表-4）を作成した。

表-3 不適正マトリックス

条件	工法	1	2	3	4	5	6	11	12	13	14
美 既 設 保 護 観 望 工	緑 化	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	規 則 性	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	安 定 感	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	植 生	1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
		2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4
		3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
		4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
		5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
		6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
	構 造	1									
		2									
		3									
		4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		5									
		6									
	観 望	7									
		8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		10									
		11	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		12									
	工	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		14									
	な し										

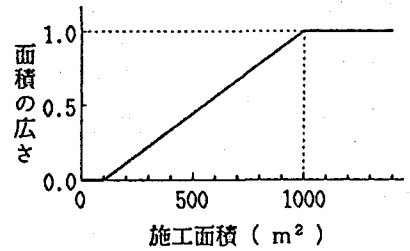


図-3 施工面積の広さを表す関数

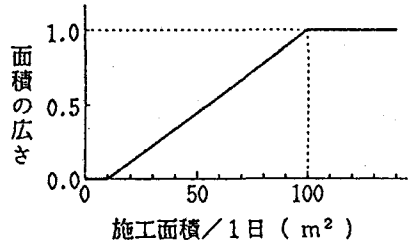


図-4 施工面積 / 1日の広さを表す関数

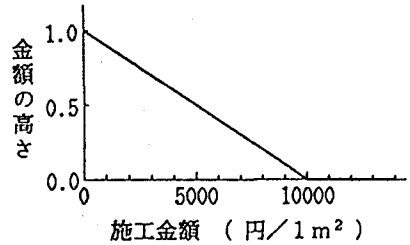


図-5 施工金額の高さを表す関数

表-4 確信度マトリックス（一部）

条件	工法	1	2	3	4	5	6
地 質 分 類	安定勾配	確保不可能	-1	-1	-1	-1	-1
	硬 岩	崩壊恐れ有	-1	-1	-1	-1	-1
		崩壊恐れ無	-1	-1	-1	-1	-1
	軟 岩	土砂化する	-1		-1	-1	
		土砂化しない	-1	-1	-1	-1	-1
	質 砂						
		砂質土					
	分	礫まじり砂質土	落石有	-1	-1	-1	-1
			落石無				
	類	粘性土					
		礫まじり粘性土	落石有	-1	-1	-1	-1
			落石無				
	湧 水	有	-1	-1	-1	-1	-1
	土壌酸性	pH4以下	-1	-1	-1	-1	-1
	施工場所	積雪寒冷地	-1	-1	-1	-1	-1

4. システムの評価

9実工事について、本ESを使って工法選定を行なってみた。結果を表-5に示す。8実工事については、実際に施工された工法が推論結果として提案された。中でも6実工事については、確信度が最も高い値となり、信頼度の高いESを作ることができた。このうち2例についての詳細を以下に示す。

(1) 一般国道54号の場合

一般国道54号におけるのり面保護工で、現場打コンクリート枠工（栗石詰）が選定された実例である。当のり面では、小段上方に礫混り粘性土を主体とする崖錐が分布しており、勾配 1:1.0、高さ 7m と大変危険な状態であった。小段下方は、勾配 1:1.3、高さ 7m で、現場打コンクリート枠工（栗石詰）が既設してある。この小段上方ののり面を、標準のり面勾配に従い、安定となるよう 1:1.3 で切り直した場合の保護工を検討するものであった。実際の業務においては、以下の①～④のような検討が行なわれた。

①安定勾配が確保されているため、擁壁などの構造物による工法は不必要である。

②崖錐が分布しているため、侵食を受けやすく、植生による工法は不適である。

③湧水があるため、密閉型の工法（コンクリート吹付工・・・）は適さない。

④長期的安定性の保持が必要なため、コンクリート・ブロック枠工より現場打コンクリート枠工が適している。また、湧水があるため、間詰めは透水性の良いもの（栗石）とする。

この例について、本ESを実行した結果、以下の①～③のような検討が行なわれ、図-6に示すように、現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック）、コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック）の確信度が、それぞれ 0.80、0.77 となった。確信度の差 0.03 は、既設保護工の影響である。

①礫混り粘性土の切土高 7m の安定勾配は、1:1.2 ～ 1:1.5 なので安定勾配は確保されている。

②湧水があるため、植生による工法および密閉型の工法（コンクリート吹付工・・・）は不適である。

③施工性、経済性による制約は受けないが、現場打コンクリート枠工（栗石詰）が小段下方に既設されているため、美観を考慮すれば、できるだけ類似工法が望まれる。

実際の業務とESでは、ほぼ同様な検討がされていることがわかった。実業務においては、長期的安定性の確保が必要と判断して、コンクリート・ブロック枠工より現

表-5 評価一覧表

施 工 場 所 実 施 工 法	ESによる推論結果	評価結果
一般国道54号 現場打コンクリート枠工（栗石詰）	0.80 現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック） 0.77 コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック） 0.74 石積・ブロック積工 0.72 井桁工 0.66 コンクリート渠工	○
宮島町（1） 種吹付工	0.84 コンクリート・ブロック枠工（土砂・植生） 0.82 現場打コンクリート枠工（土砂・植生） 0.77 落石防止網 0.74 コンクリート・ブロック枠工（コンクリート吹付） 0.74 コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック）	×
宮島町（2） 現場打コンクリート枠工（植生）	0.77 現場打コンクリート枠工（土砂・植生） 0.77 コンクリート・ブロック枠工（土砂・植生） 0.71 現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック） 0.71 コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック） 0.71 コンクリート・ブロック枠工（コンクリート吹付）	○
八千代町 落石防止網	0.81 落石防止網 0.83 現場打コンクリート枠工（土砂・植生） 0.79 コンクリート・ブロック枠工（土砂・植生） 0.78 現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック） 0.74 コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック）	○
国道2号 種吹付工	0.81 種吹付工 0.81 種吹付工 + 土壌改良 0.80 藎芝工 0.80 植生マット工 0.80 藎芝工 + 土壌改良	○
三原・東城線 現場打コンクリート枠工（栗石詰）	0.71 現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック） 0.71 コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック） 0.69 石積・ブロック積工 0.68 井桁工 0.66 コンクリート渠工	○
宮島町（3） 石積工	0.77 現場打コンクリート枠工（土砂・植生） 0.77 コンクリート・ブロック枠工（土砂・植生） 0.71 現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック） ↓ 0.66 石積み・ブロック積工	△
宮島町（4） モルタル吹付工	0.79 コンクリート・ブロック枠工（土砂・植生） 0.77 落石防止網 0.77 現場打コンクリート枠工（土砂・植生） ↓ 0.72 モルタル・コンクリート吹付工	△
町道弘法川1号 現場打コンクリート枠工（栗石詰）	0.71 現場打コンクリート枠工（栗石・ブロック） 0.71 コンクリート・ブロック枠工（栗石・ブロック） 0.69 石積・ブロック積工 0.68 井桁工 0.65 コンクリート渠工	○

場打コンクリート枠工が適切であると判断したが、E Sにおいてはこの部分が考慮されていないため、2つの工法の確信度にあまり差がでなかった。長期的安定性の確保は、交通量の多い道路沿いののり面、家屋に近接しているのり面においては、大変重要な条件であり、今後の課題としたい。

1 切土の勾配 (T) は ?

- 1 ⇒ 1 対 0.00 < T ≤ 1 対 0.30
- 2 ⇒ 1 対 0.30 < T ≤ 1 対 0.50
- 3 ⇒ 1 対 0.50 < T ≤ 1 対 0.80
- 4 ⇒ 1 対 0.80 < T ≤ 1 対 1.00
- 5 ⇒ 1 対 1.00 < T ≤ 1 対 1.20
- 6 ⇒ 1 対 1.20 < T ≤ 1 対 1.50
- 7 ⇒ 1 対 1.50 < T

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 6

↓

2 切土の高さ (H) は ?

- 1 ⇒ 0 m < H ≤ 5 m
- 2 ⇒ 5 m < H ≤ 10 m
- 3 ⇒ 10 m < T ≤ 15 m
- 4 ⇒ 15 m < T ≤

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

(一部略)

6 施工場所はどこですか ?

- 1 北海道・東北・北陸・中部・山陰 (積雪寒冷) 地域
- 2 九州・四国・中国・近畿・関東 (温暖) 地域

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 1

↓

工法の選定にあたって考慮する項目に

0から10までの重みを与えて下さい。

- 1. 美観 (緑化) を重んじる
- 2. 美観 (規則性) を重んじる
- 3. 美観 (安定感) を重んじる
- 4. 美観 (既設保護工) を重んじる
- 5. 施工性 (施工時期) を重んじる
- 6. 施工性 (基盤面の凹凸) を重んじる
- 7. 施工性 (作業スペース) を重んじる
- 8. 施工性 (施工面積) を重んじる
- 9. 施工性 (施工面積/1日) を重んじる
- 10. 経済性が良い工法を選ぶ

入力例) (10 4 2 4 6 6 6 3 9 10) ⇒ (10 4 2 4 6 6 6 3 9 10)

↓

7 周囲に既設保護工がありますか ?

- 1 植生による工法
- 2 構造物による工法
- 3 なし

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

8 構造物による工法はどれですか ?

- 1 モルタル・コンクリート吹付工
- 2 コンクリート張工
- 3 もたれ擁壁工
- 4 石張・ブロック張工
- 5 石積・ブロック積工
- 6 ジャカゴ・ふとんかご工
- 7 井桁工
- 8 コンクリート・ブロック枠工 (土砂・植生)
- 9 コンクリート・ブロック枠工 (栗石・ブロック)
- 10 コンクリート・ブロック枠工 (コンクリート吹付)
- 11 現場打コンクリート枠工 (土砂・植生)
- 12 現場打コンクリート枠工 (栗石・ブロック)
- 13 現場打コンクリート枠工 (コンクリート吹付)
- 14 落石防止網
- 15 該当なし

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 12

↓

9 施工時期は何月ですか ?

数値を入力して下さい。 --> 9

↓

10 基盤面に凹凸がありますか ?

YかNで答えて下さい。 --> N

↓

11 作業スペースはありますか ?

YかNで答えて下さい。 --> Y

↓

12 施工面積は何m²ですか ?

数値を入力して下さい。 --> 1000

↓

13 1日当たりの施工面積は何m²ですか ?

数値を入力して下さい。 --> 30

↓

※※推論結果は次のとおりです。

- 0.80 現場打コンクリート枠工 (栗石・ブロック)
- 0.77 コンクリート・ブロック枠工 (栗石・ブロック)
- 0.74 石積・ブロック積工
- 0.72 井桁工
- 0.66 コンクリート張工

※※従って、次の措置をとるべきです。

- 1 湧水の対策を検討すること

図-6 実行例 (一般国道54号の場合)

(2) 日本三景『安芸の宮島』の場合

安芸の宮島の正面玄関に位置するのり面の安定対策工を調査、検討する業務で、モルタル吹付工が選定された事例である。当のり面は、広島型と称される粗粒の黒雲母花崗岩が分布しており、勾配 1:0.3、高さ 6m と急勾配で、家屋がのり面直下まで近接している。こののり面について安定性、美観などを考慮した上で、保護工を検討するものであった。実際の業務においては、安定性を考慮した上で、石積工、現場打コンクリート枠工、モルタル吹付工の3工法が選定され、さらに以下の①、②の検討が行なわれた。

①宮島の正面玄関に位置し、公園区域内ということで、美観について検討する。

②地山斜面が急勾配で、斜面直下まで家屋が近接しているため、施工性、切土量について検討する。

石積工については、美観はよいが安定勾配となるためには、1:0.5 で地山を切り取る必要があり、かなりの切土量となる。また、施工のための資材の搬入も、家屋が近接しているために困難である。現場打コンクリート枠工については、地山に沿って施工できるため切土量は少ないが、家屋が近接しているため、作業スペースがとれない。モルタル吹付工については、地山に沿って施工できるため切土量は少なく、作業スペースもあまり必要としない。しかし、美観については、他の2工法に比べ劣るが、家屋が近接し遠景的には当のり面は遮蔽されることと、モルタルを茶褐色で着色することにより、ある程度対処できる。以上より、モルタル吹付工が選定された。

この例について、本ESを実行した結果、以下の①～③のような検討が行なわれ、図-7に示すように実際に施工されたモルタル吹付工の確信度は、0.71 となった。

①軟岩の安定勾配は、1:0.5 ～ 1:1.2 であり、安定勾配が確保されていない。

②湧水が見られないため、密閉型の工法（モルタル吹付工・・・）の施工も可能である。

③作業スペースがないため、資材の搬入、切土の搬出は困難である。

実際の業務においては、家屋が近接し作業スペースの確保が困難であるという条件が最大のネックとなり、施工性の悪い工法、安定勾配を確保するためかなりの切土を必要とする工法は、選定の対象から外されている。ESにおいては、美観、施工性、経済性の条件によって、工法を選定の対象から外すことができないが、これは3条件を工法選定のプラス要因として考えているためで、マイナス要因として考えることにより対処できる。

1 切土の勾配 (T) は ?

- 1 ⇒ 1 対 0.00 < T ≤ 1 対 0.30
- 2 ⇒ 1 対 0.30 < T ≤ 1 対 0.50
- 3 ⇒ 1 対 0.50 < T ≤ 1 対 0.80
- 4 ⇒ 1 対 0.80 < T ≤ 1 対 1.00
- 5 ⇒ 1 対 1.00 < T ≤ 1 対 1.20
- 6 ⇒ 1 対 1.20 < T ≤ 1 対 1.50
- 7 ⇒ 1 対 1.50 < T

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

2 切土の高さ (H) は ?

- 1 ⇒ 0 m < H ≤ 5 m
- 2 ⇒ 5 m < H ≤ 10 m
- 3 ⇒ 10 m < H ≤ 15 m
- 4 ⇒ 15 m < H

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

3 地質分類は ?

- 1 ⇒ 硬 岩
- 2 ⇒ 軟 岩
- 3 ⇒ 砂
- 4 ⇒ 砂 質 土
- 5 ⇒ 隙混じり砂質土
- 6 ⇒ 粘 性 土
- 7 ⇒ 隙混じり粘性土

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

4 割れ目の間隔は ?

- 1 ⇒ 0 cm < L ≤ 5 cm
- 2 ⇒ 5 cm < L ≤ 15 cm
- 3 ⇒ 15 cm < L ≤ 30 cm
- 4 ⇒ 30 cm < L ≤ 50 cm
- 5 ⇒ 50 cm < L

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

5 割れ目の状態は ?

- 1 割れ目不明瞭で、全体的に変色あり
- 2 割れ目明瞭で、粘土化し、全体的に変色あり
- 3 割れ目多く、粘土を挟み、全体的に変色あり
- 4 割れ目に薄く粘土を挟み、やや変色あり
- 5 割れ目には何も挟まず、割れ目に沿って変色あり
- 6 割れ目には何も挟まず、割れ目に沿って変色なし
- 7 該当なし

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 3

↓

6 岩片の硬さは ?

- 1 指でつぶれる
- 2 ハンマーの打撃で濁音、容易に崩る
- 3 ハンマーの打撃で濁音、われやすい
- 4 ハンマーの打撃でやや濁音、われにくい
- 5 ハンマーの打撃で金属音、われにくい
- 6 該当なし

該当する番号を1つ入力して下さい。 : 2

↓

(一部略)

13 作業スペースはありますか ?

YかNで答えて下さい。 --> N

↓

14 施工面積は何m²ですか ?

数値を入力して下さい。 --> 400

↓

15 1日当たりの施工面積は何m²ですか ?

数値を入力して下さい。 --> 100

↓

※※推論結果は次のとおりです。

0.79	コンクリート・ブロック枠工 (土砂・植生)
0.77	落石防止網
0.77	現場打コンクリート枠工 (土砂・植生)
0.74	コンクリート・ブロック枠工 (栗石・ブロック)
0.74	コンクリート・ブロック枠工 (コンクリート吹付)
0.72	モルタル・コンクリート吹付工
0.71	現場打コンクリート枠工 (栗石・ブロック)
0.71	現場打コンクリート枠工 (コンクリート吹付)
0.70	石積・ブロック積工
0.70	石張・ブロック張工

図-7 実行例 (安芸の宮島の場合)

5. あとがき

今回の切土のり面保護工の選定問題は、対象となる工法が44種類と多く、その選定にあたっては、土木関係、地質関係の幅広い知識が要求され、実務上および初級技術者の教育上、実用的なESが望まれる。

評価の結果、かなりの信頼度を得たものの、構造物による工法については、のり枠工を施工した例が多かった面も多少あるが、全体的にのり枠工が高い確信度を示した。また、植生による工法については、確信度にあまり差が見られず、問題点も幾つか残された。今後も、本ESの評価を行ない、これらの問題点に対処すると同時に、力学的立場から見た安定性 (斜面の安定計算) および、水が斜面に与える影響の知識を導入し、より実用的なシステムに仕上げたい。

本ESの構築にあたり、ES構築支援ツールを利用することで、知識の体系化、構築が主な作業となり、効率的な開発を行なうことができた。しかし、現在では知識の体系化、構築には、まだ知識技術者 (Knowledge Engineer) の必要性が高く、今後、専門家が自ら知識の構築に取り組むことにより、より一層の効率化が望まれる。

参考文献

- 1) 日本道路公団 : 設計要領 - 第一集, 1981
- 2) 土木学会 : 軟岩 - 調査・設計・施工の基本と事例, 1984
- 3) 国際ファジィシステム学会 (IFS A) : ファジィ理論の実用化, IFS A '87 専門講習会, 1987
- 4) 日本道路協会 : 道路土工 - のり面・斜面安定工指針, 1986
- 5) 奥園 誠之 : 切取斜面の設計から維持管理まで, 鹿島出版会, 1983
- 6) 日本材料学会土質安定材料委員会編 : 新稿 - 斜面安定工法 - 指針と解説, 鹿島出版会, 1983
- 7) 奥園 誠之 : これだけは知っておきたい - 斜面防災100のポイント, 鹿島出版会, 1983