

切土のり面保護工選定に関する知識ベース・システム

A KNOWLEDGE BASED SYSTEM ON SELECTING SLOPE
PROTECTION METHODS

三上市 藏*・家頭 圭昌**・河野吉次郎***・広兼道 幸****

By Ichizou MIKAMI, Keishou YAGASHIRA, Kichijirou KAWANO
and Michiyuki HIROKANE

In the case that a mountain is cut for a road construction, it is necessary to select carefully the most safe, aesthetic, constructible slope protection method. In order to fulfill this need, the civil engineers may be assisted by the expert system. In the present paper, an expert system using a personal computer is constructed and evaluated through actual field data. An expert shell is used to construct easily the system. The factors for selecting the method are weighted by using AHP. The fuzzy theory is adopted for the engineering judgements.

Keywords: expert system, slope protection methods, PC, expert shell, AHP, fuzzy

1. ま え が き

AI (Artificial Intelligence: 人工知能) に関する研究が数多くされ、近年より実務的分野への応用が研究され始めてきた。その中で ES (Expert System; エキスパートシステム) は、知識ベース・システム (Knowledge Based System) とも呼ばれ、種々の分野において研究、開発され実用的システムとして稼働しているものもある。

ES は専門家の知的業務の一部を初級技術者に代行させるとともに、初級技術者が知的業務のノウハウを習得するためにも利用されている。

土木コンサルタントの業務内容はまさに知的業務であり、初級技術者の育成を含め ES 向きである。今回、要領¹⁾、指針²⁾などが作成されていて、知識がかなり整理されていることと、システムの評価が容易にできることを考慮して、「切土のり面保護工の選定」に関する ES

をパソコンを利用して構築した。保護工の選定作業は、切土前に概略の検討を行い、切土後に対象のり面の状況を把握したうえで詳細に検討を行う。本 ES は切土後の詳細な検討を目的としている。システムの構築には、修正の容易性を考慮して、ES 構築支援ツール「創玄」³⁾を使用した。技術者個人の経験的知識による各選定条件の重要度の決定には、AHP (Analytic Hierarchy Process; 階層分析法)⁴⁾を使用し、主観的曖昧性を判断するためにはファジィ理論⁵⁾を使用した。構築した ES は、9 か所の実際の施工例をもとに評価を行った。

2. 知識ベース

今回構築した「切土のり面保護工の選定」に関する ES の知識ベースは日本道路公団による設計要領¹⁾を基本として、土木技術者、地質技術者の経験による意見も貴重な知識として整理した。知識表現には、プロダクション・ルール、フレーム、ブラックボード、意味ネットワークなどがあるが、個々の知識に独立性が高く、知識の追加、修正、削除が容易に行える「if~then」形式のプロダクション・ルールを用いた。

専門家の知識は主観的で曖昧なものがあり、その曖昧さを表現するためには、医療診断 ES 「MYCIN」において初めて使われた確信度を使用した。曖昧さは、(一

* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科
(〒564 吹田市山手町 3-3-35)

** 正会員 復建調査設計 (株) 東京事務所長
(〒151 渋谷区代々木 5-11-6)

*** 正会員 復建調査設計 (株) 道路設計課課長補佐
(〒732 広島市東区光町 2-10-11)

**** 正会員 復建調査設計 (株) 企画部 (同上)

1.0～+1.0)の値で表現され、(-1)は絶対否定を、(+1)は絶対肯定を表す。最終的に結果として与えられる保護工は確信度とともに表示される。

(1) 保護工

切土のり面保護工の主な目的は、切土後の表層変状など小規模なり面崩壊を防ぐことと、切土により失われた自然環境(美観)をできるだけ自然の姿に戻すことにある。これらの目的を満足させ、現場の状況に最も適合した保護工を選ぶためには、各保護工の特徴(目的・効果など)を十分に知ることが重要である。各保護工の特徴を知るためには、使用材料、施工方法、施工時の注意事項などが、貴重な手掛りとなる。

本ESにおいては、表-1に示すような44種類の保護工について検討した。保護工には、植生によるものと構造物によるものがある。植生による保護工としては、種散布工、種吹付工のように単独で施工されるものに加え、種散布工+植生ネット工のように種散布工を施工したうえで、雨水などによる種、土の流出を防ぐために植生ネット工を併用するものも考慮した。構造物による保護工としては、モルタル吹付工、コンクリート吹付工などを考慮した。コンクリート・ブロック砕工、現場打コンクリート砕工については、客土したうえで植生を行う土砂+植生、透水生の良い栗石、ブロック、およびのり面を密閉するコンクリート吹付、以上3種類の間詰めを考慮した。

(2) 選定条件

保護工の選定は、専門家が現地を歩き、実際に対象の

表-1 保護工一覧

番号	保 護 工	番号	保 護 工
1	種散布工	41	種散布工 + 土壌改良 + 落石防止網
2	種吹付工	42	種吹付工 + 土壌改良 + 落石防止網
3	種生マット工	43	種生マット工 + 土壌改良 + 落石防止網
4	張芝工	44	張芝工 + 土壌改良 + 落石防止網
5	種生袋工	45	種生袋工 + 土壌改良 + 落石防止網
6	種生穴工	46	種生穴工 + 土壌改良 + 落石防止網
7		47	
8		48	
9		49	
10		50	
11	種散布工 + 植生ネット工	51	モルタル吹付工、コンクリート吹付工
12	種吹付工 + 植生ネット工	52	コンクリート敷工
13	種生マット工 + 植生ネット工	53	もたれ養生工
14	張芝工 + 植生ネット工	54	石積工、ブロック積工
15	種生袋工 + 植生ネット工	55	石積工、ブロック積工
16	種生穴工 + 植生ネット工	56	ジャコゴ工、木んかゴ工
17		57	井戸工
18		58	コンクリート・ブロック砕工(土砂+植生)
19		59	コンクリート・ブロック砕工(栗石、ブロック)
20		60	コンクリート・ブロック砕工(コンクリート吹付)
21	種散布工 + 落石防止網	61	現場打コンクリート砕工(土砂+植生)
22	種吹付工 + 落石防止網	62	現場打コンクリート砕工(栗石、ブロック)
23	種生マット工 + 落石防止網	63	現場打コンクリート砕工(コンクリート吹付)
24	張芝工 + 落石防止網	64	落石防止網
25	種生袋工 + 落石防止網	65	
26	種生穴工 + 落石防止網	66	
27		67	
28		68	
29		69	
30		70	
31	種散布工 + 土壌改良	71	
32	種吹付工 + 土壌改良	72	
33	種生マット工 + 土壌改良	73	
34	張芝工 + 土壌改良	74	
35	種生袋工 + 土壌改良	75	
36	種生穴工 + 土壌改良	76	
37		77	
38		78	
39		79	
40		80	

注) 表中における、'+ 'はかつ(併用)を意味する。'・'はまたは(いずれかの保護工)を意味する。
()内は砕工の間詰め材料を意味する。

り面を調査して、現地の状況を把握し、迅速かつ慎重に行わなければならない。各保護工の特徴を知ることによって、現地における調査目的も明確となる。

保護工には、安定性を確保するためのもの、風化を防止するためのもの、落石を防止するためのものなどがある。これらの特徴より、のり面の安定性、風化の程度、落石の危険性などの選定条件が考えられる。また、施工方法については、同じ植性による保護工でありながら、種吹付工はノズルにより種を吹き付けるものであり、植性穴工はのり面に穴を掘り、そこに種を埋めていくものである。このように施工方法の一部を取り上げただけで、施工性にかかなりの差があることがわかる。

本ESにおいては、図-1に示すような検討を行っている。保護工選定条件のうち、のり面の安定性、のり面の崩壊性、湧水状態、酸性土壌、積雪寒冷地は、主に植生による保護工の適否を判断するためのものである。他の条件、美観、施工性、経済性は、主観的要素が非常に高い条件であり、各現場に適合した保護工を選定していくうえで重要な条件となる。

a) 安定性

安定性の検討は保護工を選定していくうえで、重要な条件である。安定性が確保されている場合は、施工性、美観、経済性のすべてにおいて、植生による保護工を優先すべきであり、安定性が確保されていない場合は、構

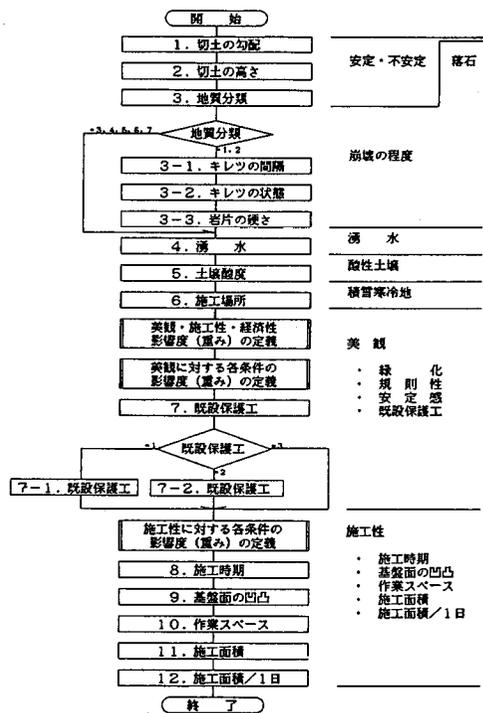


図-1 質問と保護工選定の流れ

造物による保護工を施工することにより、安定性を確保することが第一条件とされる。

安定性の検討は、一般的に表-2に示す標準のり面勾配¹⁾に基づいて行われる。この表は、地山の土質と切土高からのり面を安定に保つための勾配を経験的知識に基づいて決定し、まとめたものである。

本ESにおいては、土質、切土高、設計勾配についての質問を行い、設計勾配と標準のり面勾配の比較から、安定性の判定を行うことにした。土質については、ボーリングなどの地質調査により事前に調査され、のり面勾配の設計を行う段階では、平面図に記載されているものである。しかし、標準のり面勾配は、あくまでも経験的に決定されたものであり、現場によっては、標準にあてはまらない場合もある。このような場合については、現場の状況を現地踏査、土質試験などにより詳細につかみ、安定性を検討していくべきである。また、力学的立場からみた斜面の安定計算を行うのも1つの方法である。

b) 崩壊性

崩壊性の検討は、土質が軟岩または硬岩の場合に行う。軟岩の場合は風化による土砂化の程度を検討し、硬岩の場合は亀裂の状態により崩壊の危険性を検討する。

本ESにおいては、崩壊性の検討は表-3に示す模式的な岩盤分類²⁾に基づいて行われている。この岩盤分類はハンマーの打撃音、節理面の状態、色などにより岩片の硬さ、風化の程度を判断し、さらには、土砂化、崩壊の危険性を判定しようとするものである。これらの質問

に答えるには、現地を調査することが必要となる。崩壊性に対する知識を整理していくうえで、知識提供者が設計技術者であったので、地質的知識の要求される部分については、主として文献³⁾の知識となった。今後、地質技術者の経験的知識を整理していくことが必要である。

c) 湧水

湧水がのり面に与える影響は大きく、湧水の程度により保護工を選定する必要がある。湧水の状態に対して適応する保護工について、以下のような知識がある。

- i) 湧水が多く、のり面の安定性が確保されていないと考えられる場合は、若干の土圧に対処できるようなふとんかご工、井桁工などが適している。
- ii) 湧水は多いが、表層土砂が流される程度のものであれば、コンクリート・ブロック枠工(栗石、ブロック)などが適している。
- iii) 湧水が特に多い場合は以上のような保護工を施工すると同時に、積極的な排水対策が必要とされる。
- iv) 湧水は少ないが、のり面の安定性が確保されていないと考えられるときは、ある程度の土圧に対処できるような石積工、ブロック積工が適している。
- v) 湧水が少なく、安定性が確保されているときは、植生による保護工の施工も可能であるが、場合によっては、コンクリート・ブロック枠工、現場打コンクリート枠工を施工したうえで、植生を行う必要もある。

本ESにおいては、流出多量、常時浸み出し、降雨時のみ浸み出し、湧水なしの4項目の中から該当する状態を選定して、湧水が流出多量、常時浸み出し、降雨時のみ浸み出しの場合は、植生による保護工および密閉型の保護工は不適正であると判断している。また、湧水状態が流出多量、常時浸み出しの場合は、積極的な排水対策が必要であるというメッセージを表示するよう配慮した。

d) 酸性土壌

土壌が強酸性を示す場合は、植物の育成に悪影響を及ぼすことが多いため、土壌改良を行うものとする。

当初は、土壌を酸性化する原因(温泉余土、土丹などの海成粘土、硫化物を含む場合)から酸性土壌を判定することも考えたが、十分知識が整理されているとはいえず、本ESでは、pH値を数値で入力して酸性の度合いを判定することにした。強酸性とは、おおよそpH値で4以下の場合と考えられている。強酸性の境界をpH値4.0とすると、pH値が4.1の場合と3.9の場合では、かなり異なった意味をもってくる。このような判定を避けるため、ファジィ理論を使用することにした。「強酸性はおおよそpH値4以下である。」という知識と、専門家の意見より、酸性の強さの度合いを表わす関数(図

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
砂利または、岩塊混じり砂質土	密実なもの、または粒塵分布のよいもの	10 m 以下	1:0.8 ~ 1:1.0
	密実でないもの、または粒塵分布の悪いもの	10 ~ 15 m	1:1.0 ~ 1:1.2
粘性土	密実でないもの、または粒塵分布の悪いもの	10 ~ 15 m	1:1.0 ~ 1:1.2
		10 ~ 15 m	1:1.2 ~ 1:1.5
岩塊または、玉石混じり粘性土	密実なもの、または粒塵分布のよいもの	5 m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10 m	1:1.2 ~ 1:1.5

表-3 模式的な岩盤分類

分類記号	状況・現象	岩片の硬さ	風化の程度	節理面状態	節理間隙	コア	評価	Vp (km/s)
D	指でつぶれる		土壌化 所々に岩片	密着粘土化 われ目不明	5 cm以下 ~ 破砕 コア砂~粗砂			0.5
CL	ハンマー打撃で崩音、岩影に崩れる		内部まで風化 透岩質物 粘土化	われ目明瞭だ が粘土化密着	5 ~ 15 cm 多層~粗粒状			2.0 ~ 3.0
Cl	両音 われやすい		全体褐色化 透岩質物の変 異目立つ	開口われ目多 く、粘土を挟 む	5 ~ 30 cm ~粗粒状		透水性	
Cl	やや崩音 われにくい		全体やや褐色 透岩質物 やや変異	密着 ~やや開口 粘灰強く挟む	15 ~30 cm 多層状			
B	金属音 われにくい		われ目に近い 褐色化 節理変質なし	密着 ~やや開口 粘土挟まず	30 ~50 cm 多層状~粗粒			
A	金属音 われにくい		金属音 われにくい	密着 粘土挟まず	50 cm以上 コア砂状			4.0 ~ 5.0

一2)を定義し、土壌改良の必要性を、酸性の強さの度合いに基づいて判定することにした。

e) 積雪寒冷地

積雪寒冷地において、植生による保護工を施工する場合は、冬期の凍上による浮上り、崩落、積雪による影響、融雪水などを考慮して保護工を選定し、適切な時期に施工すべきである。

文献⁷⁾では、以下の項目のいずれか1つが該当すれば積雪寒冷地とされている。

- i) 2月の最大積雪深の累年平均(最近5か年以上の平均値)が50 cm以上の地域
- ii) 積雪深10 cm以上の日が毎年平均10日以上ある地域
- iii) 1日平均気温の累年平均が0°Cを下回り、かつ12月~2月の間に10 mmを越える降水日数が10日以上ある地域
- iv) 標高400 m以上の地域
- v) 局所的に気象条件が悪い箇所、日当たりの悪い箇所、峠になるような箇所

以上の積雪寒冷地を判定するための条件は、保護工の選定とは無関係な文献より引用したものであるが、専門家の意見に基づいて、本ESにおける積雪寒冷地の判定に使用することにした。以上の条件に該当する積雪寒冷地を調べると、ほぼ北海道、東北、北陸、中部、山陰地方となったので、これらの地方を施工場所として選択することにより、積雪寒冷地を判断することにした。ES実行時における質問に際しては、その意図(積雪寒冷地の判定のための質問であること)を明確にするよう配慮した。

f) 美 観

保護工の目的として、切土により失われた自然環境をできるだけ自然の姿に戻すことが挙げられる。さらに最近、美観を重要視する傾向にある。国定公園などの公園区域、教育施設、医療施設に近接するのり面について

は、特に美観を重要視して、コンクリートなどを材料とする冷たくて硬いイメージを与える保護工の施工を規制している。

本ESにおいて、美観を左右する要因として、緑化、規則性、安定感、既設保護工の4項目を取り上げた。

植生による保護工は緑化を行うという点で、構造物による保護工より美しい。構造物による保護工の中でも、コンクリート・ブロック枠工、現場内コンクリート枠工は、間詰めを土砂+植生とすることで、部分的に緑化が行え、やや美しいと判断できる。

井桁工、コンクリート・ブロック枠工のように、基盤面を平坦に仕上げ、同じ構造の材料を使用する保護工は、規則的で美しい。しかし、モルタル吹付工やコンクリート吹付工など、材料を吹き付けるだけの保護工は、基盤面に凹凸が残り、規則性もなく、美しく感じない。

安定感のない保護工は、いくら美しい保護工であっても、恐怖心が先にたち美しく感じない。

植生による保護工は緑化の面で美観の良い保護工であるが、コンクリート吹付工が施工されているのり面に近接する所で、植生による保護工を施工しても、その美しさは半減する。

このように、美観について検討するときは、周囲の環境および各保護工の特徴を考慮することが重要である。

g) 施 工 性

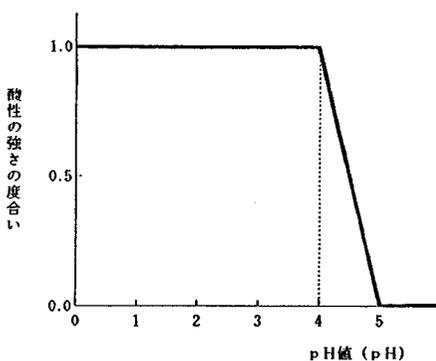
各保護工について、使用材料、施工方法などの特徴を調べていくと、施工性を左右すると思われる要因が数多くみられる。施工性の良い保護工を選定することは、経済性を良くすることとも関連して重要なことである。

本ESにおいて、施工性を左右する要因として、施工時期、基盤面の凹凸、作業スペース、施工面積、施工可能日数の5項目を考慮している。

施工時期は、植生による保護工を施工するときの適期を判定するためのものであり、植物の発芽、生育に影響を与え、施工の成否を支配する。植生による保護工の施工は、施工場所、使用する草の種類によって多少異なるが、一般的には、凍上、崩落による被害を受けやすい冬期や高温乾燥の害を受けやすい盛夏は避けた方がよい。

基盤面に凹凸があれば、芝、石、ブロックなどを張る保護工は、非常に手間がかかる。コンクリート・ブロック枠工などは、基盤面を平坦にしたうえで施工しなければならない。

作業スペースは施工に必要な資機材を搬入するためのスペース、および施工時に出てくる切土のためのスペースを意味する。のり面に対して家屋など施工の妨げとなるものが近接して作業スペースが十分にとれない場合、コンクリート・ブロック枠工のように、使用する材料自体も大きいものでかなりのスペースを必要とし、のり面



図一2 酸性の強さの度合い

価を行い知識を修正していくことが大変重要とされている。評価を現場で容易に行うため。

- ii) ユーザーが答えやすいよう、質問はできるだけ簡略化し、視覚(グラフィック)による質問を行うため。
- iii) 知識獲得は非常に困難であり、専門家自らが知識ベースを構築していくことが望まれる。汎用機用ツールは記述型のもが多く、専門家自らが知識ベースを構築していくには、対話型のパソコン用ツールが適当である。
- iv) 土木分野において、指針などの改訂、地域のもつ特異性などを考慮したとき、知識を修正する必要があると思われる。これらの修正に速やかに対処するため。

パソコンを使用する場合、処理速度や記憶容量がシステムに制限を与えがちであるが、パソコンの高性能化、低廉化はきわめて急速に実現するであろうから、楽観的に考え、当面は、対象となる問題を限定することにより解決できると思われる。

土木分野においては技術知識の変化、進歩が激しく、そのため、知識ベースの修正を頻繁に行う必要があり、ESの構築には、ツールを使用することが適当と判断される。当初、利用していた汎用機用ツール「BRAINS」も、知識表現はプロダクションルールであり、曖昧性には確信度を使用しているため、比較的容易に移植ができた。パソコン用ツールを使うことにより、次のようなこ

とが可能となった。

i) 対話型入力

整理された知識を、画面に表示されるメニューの選択により、知識ベースの構築が可能であり、現場の専門家自らが評価を進め、知識の修正を行っていくことが可能となった。

ii) 解説機能

実行結果、質問に関する解説を登録し、システムの実行時に解説の必要ときは、解説、WHYなどのメニューにより解説画面が表示され、質問の意味がわかりにくいものについては解説を入力していき、初級技術者にとっては大変使いやすいシステムを構築していくことができた。

iii) 外部プログラムとのリンク

実行時に外部プログラムを呼び出すことが可能であり、土壌酸度の強さなどのように関数値の計算を必要とする部分にも対処できた。

iv) 階層的な知識整理

中間仮説を使用することにより、知識をグループ化し階層的に整理することが可能であり、知識の追加、修正が容易となった。

本ESは、図-5に示すような知識ベースを構成している。知識ベースは、事象、仮説、処理、ルール、結論より構成されている。事象は工法の選定条件を整理したもので、複数の項目の中から状況に合ったものを選択する事象変数、数値を入力する数値変数により各条件の評価を行い保護工の選定を行う。

表-5 確信度一覧

条件	保護工	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
緑化		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
規則性		0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
安定感		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
植生	1) - 6)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
既設保護工物	1)	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	2)	0.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
	3)	0.2	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
	4)	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
	5)	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
	6)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
	7)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	8)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	9)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
	10)	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
	11)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	12)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	13)	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5
	14)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
なし		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
施工時期	1月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	2月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	3月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	4月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	5月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	6月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	7月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	8月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	9月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	10月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	11月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	12月	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
基盤面の凹凸	有	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
作業スペース	無	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
施工面積	広い	0.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
施工面積/1日	広い	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
経路	性	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1

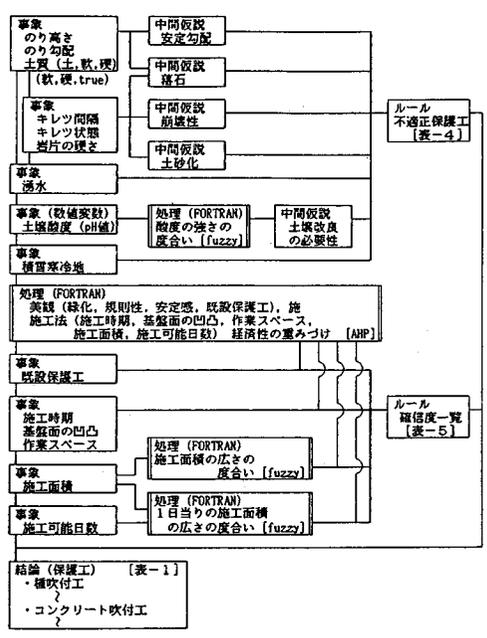


図-5 知識ベース概念図

中間仮説は事象の真偽により決定されるもので、中間的な結論として扱われる。中間仮説の概念を取り入れることにより知識をグループ化して階層的に整理することができ、知識の追加、修正が容易となる。

処理は、ツールでは対応困難な部分に、外部プログラムとリンクすることにより対応するものである。本ESにおいては、pH値から土壌酸度の曖昧さを計算するため、美観、施工性、経済性の各条件を一つ一つで比較した比較値から各条件の重要度を求めるために使用した。

ルールは事象（選定条件）と結論（保護工）、中間仮説の関連を表わすためのもので、「if~then」形式のプロダクションルールを基本としている。

結論は、事象変数の中から最終目標となる保護工を定義したものである。

4. ESの評価

本ESの評価を9か所の実際の施工例について行った。本ESを実行した結果、表—6のようになった。8実施例については実際に施工された保護工が推論結果として提案された。中でも7実施例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。

以下において、「一般国道54号」、「安芸の宮島」の2か所の実施例について詳述する。

(1) 一般国道54号

表—6 評価一覧

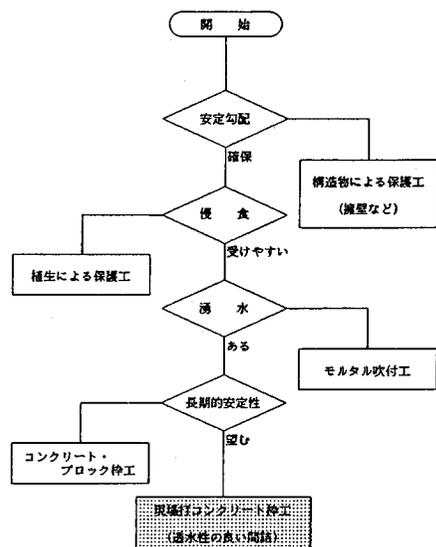
施行場所 実施保護工	ESによる推論結果	評価結果
一般国道54号 現場打コンクリート砕工(栗石)	0.75 現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック)	○
	0.72 コンクリート・ブロック砕工(栗石, ブロック)	
	0.70 石積工, ブロック積工	
	0.67 井桁工	
	0.63 コンクリート張工	
宮島町(1) 種吹付工	0.80 コンクリート・ブロック砕工(土砂+植生)	×
	0.80 現場打コンクリート砕工(土砂+植生)	
	0.76 落石防止網	
	0.68 現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック)	
宮島町(2) 現場打コンクリート砕工(植生)	0.70 現場打コンクリート砕工(土砂+植生)	○
	0.76 コンクリート・ブロック砕工(土砂+植生)	
	0.70 落石防止網	
	0.68 現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック)	
八千代町 落石防止網	0.86 落石防止網	○
	0.81 現場打コンクリート砕工(土砂+植生)	
	0.76 コンクリート・ブロック砕工(土砂+植生)	
	0.73 現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック)	
国道2号 種吹付工	0.94 種吹付工	○
	0.94 種吹付工 + 土壌改良	
	0.93 種吹付工 + 植生ネット工	
	0.93 種吹付工 + 土壌改良	
三原・東城線 現場打コンクリート砕工(栗石)	0.68 現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック)	○
	0.68 コンクリート・ブロック砕工(栗石, ブロック)	
	0.67 石積工, ブロック積工	
	0.64 井桁工	
宮島町(3) 石積工	0.63 コンクリート張工	△
	0.76 現場打コンクリート砕工(土砂+植生)	
	0.76 コンクリート・ブロック砕工(土砂+植生)	
	0.76 落石防止網	
宮島町(4) モルタル吹付工	0.67 石積工, ブロック積工	○
	0.83 モルタル吹付工, コンクリート吹付工	
	0.81 落石防止網	
	0.76 現場打コンクリート砕工(土砂+植生)	
町道弘法川1号 現場打コンクリート砕工(栗石)	0.76 コンクリート・ブロック砕工(土砂+植生)	○
	0.68 現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック)	
	0.68 コンクリート・ブロック砕工(栗石, ブロック)	
	0.67 石積工, ブロック積工	
現場打コンクリート砕工(栗石)	0.64 井桁工	○
	0.63 コンクリート張工	
	0.63 コンクリート張工	

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砕工(栗石)が選定された実施例である。当のり面では、小段上方に礫混じ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砕工(栗石)が既設してある。この小段上方のり面を、標準のり勾配に従い安定となるよう1:1.3で切りなおしたときの保護工を検討するものであった。実業務においては、図—6に示すように、以下のi)~iv)のような検討が行われた。

- i) 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保護工は不必要である。
- ii) 積雪寒冷地で崖錐が分布しているため、凍結による表面侵食を受けやすく、植生による保護工は不適である。
- iii) 湧水があるため、密閉型の保護工(コンクリート吹付工など)は適さない。
- iv) 長期的安定性の確保が必要なため、コンクリート・ブロック砕工より現場打コンクリート砕工が適している。また、湧水があるため、間詰めは透水性のよいもの(栗石)とする。

この例について本ESを実行した結果、以下のi)~iii)のような検討が行われて、図—7に示すように、現場打コンクリート砕工(栗石, ブロック), コンクリート・ブロック砕工(栗石, ブロック)の確信度が、それぞれ(0.75), (0.72)となった。ここで、確信度の差0.03は、既設保護工の影響を考慮したためである。

- i) 礫混じり粘性土の切土高7mにおける安定勾配は1:1.2~1:1.5であり、安定勾配は確保されて



図—6 実務における検討の流れ(一般国道54号)

いる。

ii) 湧水があるため、植生による工法および密閉型の保護工（コンクリート吹付工など）は適さない。

iii) 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、安定性、美観などを考慮すればできるだけ既設保護工と類似した保護工が望まれる。

実業務と ES では、ほぼ同様な検討がされている。実業務においては、長期的安定性を考慮してコンクリート・ブロック枠工より現場打コンクリート枠工が適切であると判断されたが、ES においてはこの長期的安定性に関する知識が整理されていないため、2つの保護工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、家屋に近接するのり面においては重要な選定条件となるので、知識を整理し、追加する必要がある。

(2) 安芸の宮島

日本三景の1つである安芸の宮島の正面玄関に位置するのり面の保護工を検討する業務で、モルタル吹付工が選定された実施例である。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と急勾配であり、家屋がのり面直下に近接している。実業務では、安定性、湧水状態などを考慮した

うえで石積工、現場打コンクリート枠工、モルタル吹付工の3保護工が選定され、以下のi), ii)の検討を行うために、表-7に示すような検討比較表が作成された。

i) 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。

ii) 地山勾配が急であり、のり面直下に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、現場打コンクリート枠工については、美観を保つことができ、地山に沿って施工できるため切土量は少ない。しかし家屋が近接し作業スペースがないため施工性がかなり悪い。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保護工に比べて劣っている。この現場は、公園区域内であるが、家屋が近接しているため、遠景的には当のり面は遮蔽されていることと、モルタルを茶褐色に着色することにより、ある程度美観を保つことができる。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i)~iii)のような検討が行われて、図-8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(0.83)となった。

i) 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。

ii) 湧水がみられないため、密閉型の保護工（モルタル吹付工など）も施工可能である。

iii) 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重要視され、施工性の悪い保護工、かなりの切土を必要とする保護工は、選定の対象から外されている。本ESのプロトタイプ作成時^{8),9)}において、作業スペースの知識を整理したとき、各保護工に確信度の差をあまり明確につけていなかったため、推

表-7 実務における検討比較（安芸の宮島）

保護工	検討項目	美 観	施 工 性	切 土 量
石 積 工		○	×	△
現場打コンクリート枠工		○	×	○
モルタル吹付工		△	○	○

家屋が近接し遠景的には美観に影響しないモルタルを茶褐色で着色して吹き付ける

地質分類は [7]

- (1) 硬 岩
- (2) 軟 岩
- (3) 砂
- (4) 砂 質 土
- (5) 礫石じり砂質土
- (6) 粘 性 土
- (7) 礫石じり粘性土

重要度の修正 (階層分析法) ****

- 1) 緑 化 に対する重要度 [10]
- 2) 腐 蝕 に対する重要度 [4]
- 3) 安 定 性 に対する重要度 [2]
- 4) 既 設 保 護 工 に対する重要度 [4]
- 5) 施 工 時 期 に対する重要度 [6]
- 6) 基 礎 面 の 凹 凸 に対する重要度 [6]
- 7) 作 業 ス ペ ース に対する重要度 [6]
- 8) 施 工 面 積 に対する重要度 [3]
- 9) 1日当りの施工面積 に対する重要度 [10]
- 10) 経 済 性 に対する重要度 [10]

切土の勾配は [6]

- (1) ~ 1:0.3
- (2) 1:0.3 ~ 1:0.5
- (3) 1:0.5 ~ 1:1.0
- (4) 1:0.8 ~ 1:1.0
- (5) 1:1.0 ~ 1:1.2
- (6) 1:1.2 ~ 1:1.5
- (7) 1:1.5 ~

切土の深さは [2]

- (1) ~ 5m
- (2) 5m ~ 10m
- (3) 10m ~ 15m
- (4) 15m ~

地下水位は [2]

- (1) 湧出多量
- (2) 湧出量出し
- (3) 降雨時のみ湧出
- (4) なし

比較値の入力 (階層分析法) ****

前 者	後 者	比 較 値
1) 美 観	緑 化	性 [1]
2) 施 工	経 済	性 [1]

比較値の入力 (階層分析法) ****

前 者	後 者	比 較 値
1) 緑 化	腐 蝕	性 [3]
2) 腐 蝕	安 定	性 [8]
3) 緑 化	既 設 保 護 工	[3]
4) 現 場	安 定	性 [2]
5) 現 場	既 設 保 護 工	[1]
6) 安 定	既 設 保 護 工	[-2]

比較値の入力 (階層分析法) ****

前 者	後 者	比 較 値
1) 施 工 時 期	基 礎 面 の 凹 凸	[1]
2) 施 工 時 期	作 業 ス ペ ース	[1]
3) 施 工 時 期	施 工 面 積	[2]
4) 施 工 時 期	1日当りの施工面積	[-2]
5) 基 礎 面 の 凹 凸	作 業 ス ペ ース	[1]
6) 基 礎 面 の 凹 凸	施 工 面 積	[2]
7) 基 礎 面 の 凹 凸	1日当りの施工面積	[-2]
8) 作 業 ス ペ ース	施 工 面 積	[2]
9) 作 業 ス ペ ース	1日当りの施工面積	[-2]
10) 施 工 面 積	1日当りの施工面積	[-2]

重要度の修正 (階層分析法) ****

- 1) 緑 化 に対する重要度 [10]
- 2) 腐 蝕 に対する重要度 [4]
- 3) 安 定 性 に対する重要度 [2]
- 4) 既 設 保 護 工 に対する重要度 [4]
- 5) 施 工 時 期 に対する重要度 [6]
- 6) 基 礎 面 の 凹 凸 に対する重要度 [6]
- 7) 作 業 ス ペ ース に対する重要度 [6]
- 8) 施 工 面 積 に対する重要度 [3]
- 9) 1日当りの施工面積 に対する重要度 [10]
- 10) 経 済 性 に対する重要度 [10]

工期は [2]

- (1) 植生による工法が施工されている。
- (2) 構造物による工法が施工されている。
- (3) 保護工は施工されていません。

工期に施されている工法は [12]

- (1) モルタル吹付工、コンクリート吹付工
- (2) コンクリート築工
- (3) もたれ護壁工
- (4) 石積工、ブロック築工
- (5) 石積工、ブロック積工
- (6) じゃか工、よんかんこ工
- (7) 井桁工
- (8) コンクリートブロック枠工(土砂+緑生)
- (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+緑生)
- (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) 石積防止網
- (15) 既設なし

施工時期(月) = [9]

基礎面に凹凸が [2]

- (1) ある。
- (2) ない。

作業スペースは [1]

- (1) ある。
- (2) ない。

施工面積(m²) = [1000]

施工可能日数(日) = [30]

結論を執りました。次に、結論を提示します。

- (0.75) 現場打コンクリート枠工(栗石、ブロック)
- (0.72) コンクリートブロック枠工(栗石、ブロック)
- (0.70) 石積工、ブロック積工
- (0.67) 井桁工
- (0.63) コンクリート築工

図-7 ESの実行例(一般国道54号)

