

切土のり面勾配決定支援エキスパートシステムの開発

日本道路公団試験所

山田憲夫

日本道路公団試験所

三浦 豊

基礎地盤コンサルタンツ㈱ ○岩崎公俊

1. まえがき

高速道路建設において切土のり面勾配を決定する際には、通常、過去の膨大な情報や経験をもとにして作成されている設計要領などを用いて設計が行われている。設計要領は、標準的な勾配以外に地質的な要因を考慮した場合の限界勾配なども与えるが、実際の設計ではさらに施工実績、地下水状況、植生・土地利用、保護工、社会性など非常に多くの要因を考慮して決定される。このとき、経験的な知識や判断が多く含まれているため、従来の電算技術ではシステム化が困難であった。このような問題を解決する手段として、エキスパートシステムが急速に脚光を浴び始めてきた。

本報文は、のり面設計システム構築の一環として、エキスパートシステムを利用したのり面勾配決定支援システムのプロトタイプを作成したので報告するものである。

2. システムの構築

2.1 システム構成

本システムの構成を図-1に示す。本システムは、パソコン上で起動する市販のエキスパートシステム構築用ツール TELL (岩崎技研工業㈱) を用いて作成した。システムは、通常エキスパートシステムと同様に、推論エンジン、知識ベース、ユーザインタフェースなどより構成されるが、ツールに不足する機能については Prolog プログラムを新たに追加している。これにより、次のような追加機能を付加した。

①勾配決定におけるあいまい性の表現に確信度を用いた。さらに各勾配(1:0.3~2.0)に対する確信度を勾配に対する分布で表現した。

②通常エキスパートシステムでは苦手とされる繰り返し処理を可能とした。これにより、複数段の処理が行える。

③推論の結果得られた最適な勾配の組合せをグラフィック表示した。

2.2 知識ベースの構築

のり面勾配を決定するための要因は、一般に表-1に示すものが考えられる。今回はこれらのうち、設計要領¹⁾や文献^{2), 3)}に基づき、地質、地形、地下水、植生、土地利用および施工実績など主に自然条件に関するものを採用した。これらの要因は勾配を決定するに当たって以下のように考慮した。

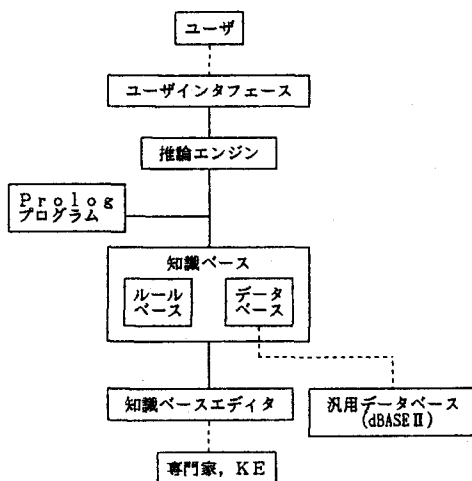


図-1 システム構成図

表-1 切土のり面勾配決定要因

要 因	内 容
★地形	斜面形状、崩壊地形、他
★地質	地質名、地質年代、風化、変質、亀裂、他
★地下水	湧水の多少
地すべり	地すべり地形と活動の有無、他
★植生	竹、松、杉、他
★土地利用	植林、畑、水田、道路、他
気象条件	豪雨、凍土、他、地域性
施工規模	長大のり面
切土形態	面切土、片切り片盛り、他
施工性	掘削しやすさ、工期、工費、土量配分、他
のり面保護工	植生工、密封型抑制工、抑止工、他
社会性	重要度、保安物件、用地幅、他
保守・管理	メンテナンスのしやすさ
★施工事例	周辺一般道、過去の高速度での実績

(注) ★；本システムで採用した要因

①地質要因；地質に応じて、一般的な地質と特殊な地質に分けて検討した。特殊な地質としては、以下の2つの手法をユーザが選択できるものとした。

・手法1---設計要領にもとづく、崩壊性要因をもつ地質

・手法2---地山条件に対応した地質区分（文献²⁾による）
またこれら以外の地質を一般的な地質とし、設計要領に示される標準勾配を適用した。図-2は手法1における代表的な限界勾配決定図を示したものである。

②施工実績；のり面勾配を決定するうえで施工実績は比較的重要な要因となる。今回は次のような2つの実績を考慮できるものとした。

・施工実績1----公団の過去の地質区分毎ののり面勾配

・施工実績2----対象地近傍の同種の地質でのり面勾配採用事例

③地形、植生、地下水；これらの要因は、のり面勾配に対する経験的な要因として、以下のものを考慮した。

・経験的要因1----地形形態分類、のり面の原傾斜角、植生状況などについての崩壊との関連性の調査結果²⁾にもとづいて考慮

・経験的要因2----文献³⁾にもとづき専門家が経験として有している定性的な要因

以上の検討要因にもとづき、全体を図-3に示すように構築した。なお、地すべりについては、地すべり地であるかどうかの概略の判定のみを行い、その疑いのあるものは検討から除外した。

知識の表現法はプロダクション・ルールを基本とした。図-3に示した各作業ブロック毎にルールブロックを形成し、各ブロックから随時必要に応じて別ブロックを起動させた。図表類や説明文はデータベースで表現し、随時ルールで参照した。特に図表データは、システム中で Prolog 言語におけるリスト表現に変換され、あるパラメータの値が入力されたとき対応する出力値（勾配など）が即座に得られるようにした。

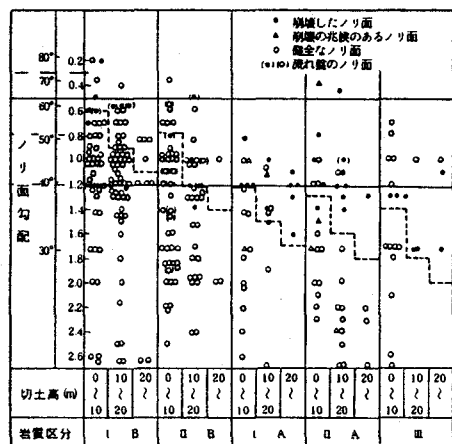


図-2 泥岩・凝灰岩に対する
限界勾配決定図¹⁾

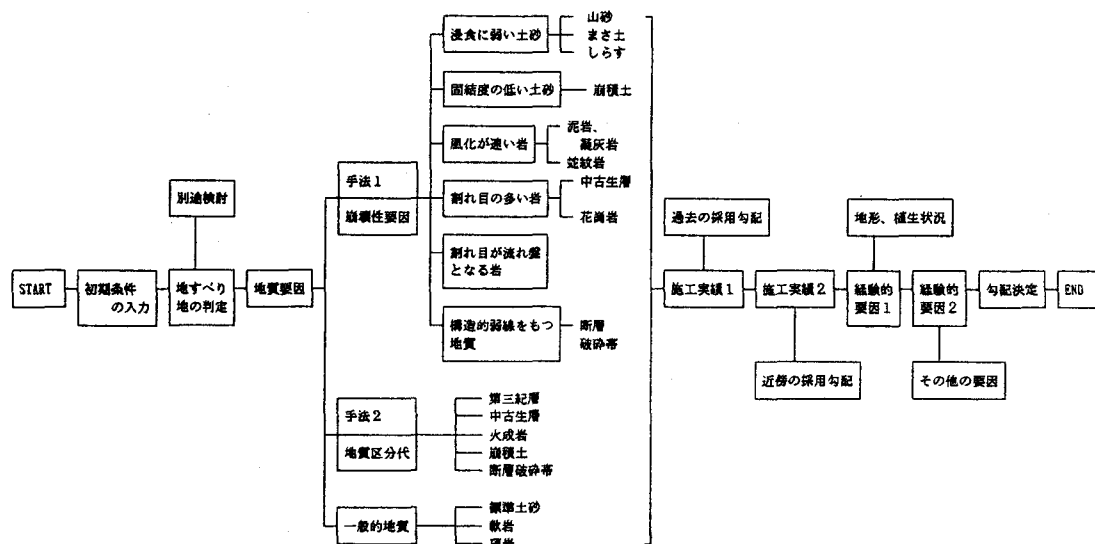


図-3 システムの作業ブロック図（ルールブロック）

また、データベースは dBASE II 互換ファイルのため、修正が比較的容易である。

ルール数は全体で 295 ルールであるが、Prolog プログラムを利用したため当初の予想よりかなり減らすことができ、そのためデバッグも比較的容易となった。

2.3 あいまい性の表現法

勾配の決定に関するあいまい性は確信度により表現した。通常、確信度は個々の結論に対して決定されるものである。一方、本システムで適用する図表類は、過去の多くの実測データにもとづいた経験的な関係である。従って、この関係より得られる限界勾配は、該当する条件における最適な勾配であると考えられるが、その前後の勾配も決して不適切であるわけではなく、別な要因を考慮すると最適な勾配が変わる可能性が十分考えられる。そこで本システムでは考えうるすべての勾配を同時に扱いそれぞれに確信度を持たせるように、勾配～確信度の分布を用いることにした。また、確信度は $-1 \sim 1$ の値をとるものとし、MYCIN の方法に従って統合化した。このような分布関数で表現する方法は、ファジィ理論におけるメンバーシップ関数と類似した考え方であると言えよう。図-4 はこのような考えで定めた確信度分布の例である。この図において、確信度が最大となる勾配が限界勾配となる。

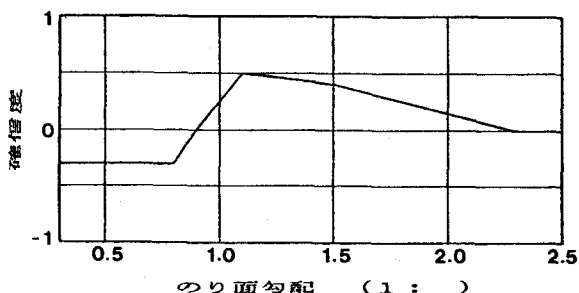


図-4 確信度分布の代表例

2.4 最適勾配の決定

本システムではいろいろな要因が加味されかつ統合化された確信度分布を求め、その確信度ピーク値を各段の最適勾配とするという考え方をを用いた。具体的には、要因グループ毎に以下のように処理した。

- ① 地質要因----あらかじめ各要因の限界勾配決定図表(図-2など)毎に確信度分布形を定めておき(境界線の信頼度などを考慮して経験的に決定)、それぞれの地質要因毎で限界勾配が決定されたら、それとピークが同じ勾配になるように確信度分布をシフトする。また、複数の地質要因を考慮する場合は、MYCIN の手法により統合化する。
- ② 施工事例----過去に施工された勾配と採用率の関係を確信度分布におきかえて、①で得られた分布に統合化する。ただし、この要因に対する重みづけも任意に変更できる。
- ③ 経験的要因----確信度分布として考慮するのは困難なため、各種の要因に勾配決定に対して評価点を経験的に与え、該当する要因の合計点数に応じて②で得られた確信度分布を左右に若干シフトした。

3. 実行例

システムの実行はおおよそ図-3に示した流れに従って行われる。ただし勾配は各段毎に決定され、最後にまとめて表示される。

- 1) 初期条件の入力----切土のり面や斜面全般に係わる質問がなされる(図-5)。のり高よりのり段数が決定される。
- 2) 地すべりの判定----地すべり地形かどうかを判定するための質問がなされる。その疑いのある場合は、メッセージを出してシステムを終了する。

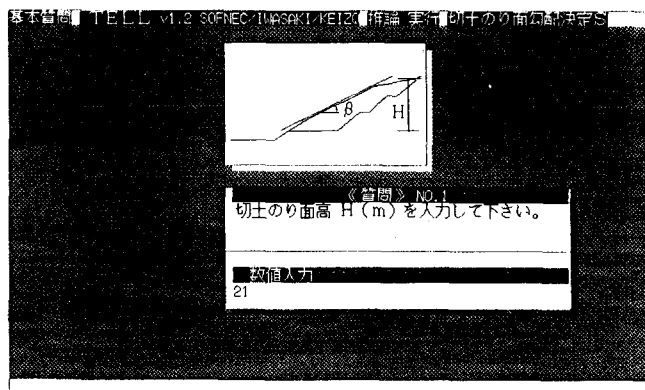


図-5 対話例(初期条件)

- 3) 地質要因----地質要因の検討方法 (1, 2) が質問され、それ以降は最後まで段数分の繰返し処理になる。入力された地質に応じた詳細な質問がなされ (図-6)、確信度分布 (図-4) が決定される。
- 4) 施工実績 1----地質に応じた過去の採用実績が3) で得られた確信度分布に統合化される (図-7)。
- 5) 施工実績 2----4) と同様に近傍での採用実績がさらに統合化される。ただし、データが少ない場合に対して、最多勾配のみを考慮するかあるいはこの実績をまったく考慮しないこともできる。
- 6) 経験的要因 1, 2----経験的な要因に関する各種の質問がなされ、その結果に応じて確信度分布がシフトされる。
- 7) 勾配決定----各段の確信度分布の最大値 (最適勾配) を用いて、最終結果図を図-8のように表示する。

4. おわりに

本システムは、設計要領などの諸資料をもとに知識ベースを構築しているが、実際に技術者がのり面勾配を検討する上では、より多くの経験的な知識を用いているものと考えられる。今後、保護工選定システムとのリンクを行うとともに、専門家の試用により問題点の抽出を行い、知識の追加・修正を行う予定である。

謝辞

本システムを作成するにあたり、日本道路公団 奥園調査役、吉村主任、羽田野氏ならびに基礎地盤コンサルタンツ㈱ 蓮岡氏、増見氏には多大なるご援助を賜った。記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 日本道路公団 (1987): 設計要領第一集
- 2) 奥園誠之 (1983): 切取斜面の設計から維持管理まで 鹿島出版会
- 3) 奥園誠之 (1983): 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

ランク	岩の見掛け	ハンマー打撃	きれつ同隔
1	新鮮で硬い	澄んだ音へにぶい音 大塊のサンプル採取可能	主に10 cm 以上
2	固結度低い 風化により軟化	にぶい音 大塊のサンプル採取困難	10 cm までが大半
3	未固結あるいは 強風化、変質	叩いた時くずれるように割れ 先鋒が容易にめり込む 不規則試料採取困難	5 cm までが大半

質問の目的は何か?

コア状況による岩質区分は次のうちどれですか?

現在段数=1
全段数=3
残り段数=21.0

選択=マウスの位置 決定=右ボタン

図-6 対話例 (詳細質問)

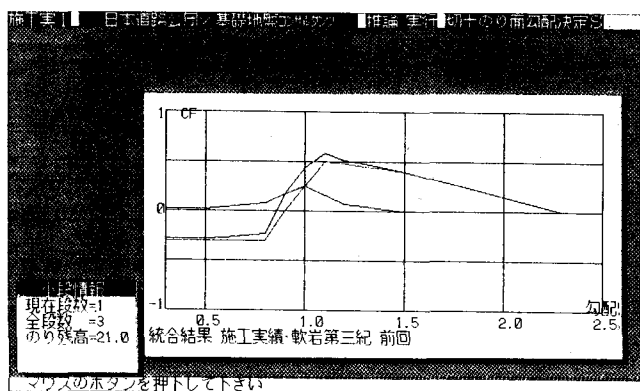


図-7 対話例 (確信度の統合結果)

(①前回までの結果、②施工実績、③統合結果)

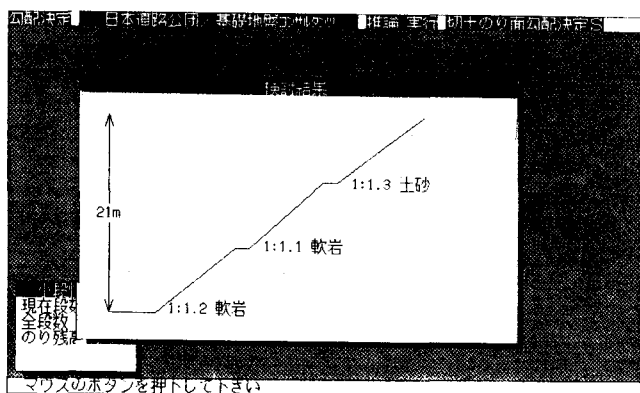


図-8 対話例 (最終結果の表示)