

神 戸 大 学 沖 村 孝
 川 崎 地 質 (株) ○ 池 尻 勝 俊
 日 本 工 営 (株) 中 西 敏 夫
 ハ・シフィク コンサルタンツ(株) 戦 忠 希
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 松村真一郎

1. はじめに

本研究は、対策を施していない自然斜面および道路切り取り法面を対象として、エキスパート開発支援ソフト「XpertRule ProtoTyper」によって、斜面の安定度に影響を及ぼす要因を分析したものである。本ソフトは、知識獲得の目的のために集められた判断例集から、その中に含まれている規則性を、「帰納的ルール生成」と呼ばれるプロセスによって抽出し、ルールツリーを自動誘導することができる。判断例の数が多いほど豊かな知識ベース（ルールツリー）を構築することができると考えられたため、兵庫県の協力を得て、特にデータ数が多い道路に関する斜面安定度調査表（落石・崩壊）のデータを入手し判断例として用いた。なお、本研究は(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部 斜面安定研究委員会における活動の一環として行った。本研究の詳細に関しては、文献1)を参照されたい。

2. 道路防災点検調査の概要

今回用いた道路防災点検調査データは、建設省道路局により作成された「防災点検ガイドブック(案)」²⁾の安定度調査表に従い、兵庫県下の道路において実施された落石・崩壊の調査データである。調査表では危険度に関わるアイテムとカテゴリー、さらにカテゴリーごとの配点が決めてられており、この配点を加算した総合点数によって危険度を判定するシステムとなっている。

3. 兵庫県の道路防災点検調査データ

本報では兵庫県下の各土木事務所及び道路公社で得られたデータを最小の単位とする。土木事務所の担当域は行政界で決定されており、土木事務所間でデータ数のバラツキがあるため、データ解析を行う際のグループ分けの方法として次の2通りを用いることとした。

①江戸時代の但馬、摂津、丹波、播磨、阿波の5つの旧国別境界でまとめる、②各事務所が管理する地域の主な地質分布の違いからまとめる。

なお、兵庫県の地質分布図³⁾から、各土木事務所の管内で最も大きな面積を占める地質（全体の40%以上）

表-1 各工事事務所の落石・崩壊データの内訳

土木事務所	データ数	旧国名	主な地質
西宮	98	摂津	流紋岩類
北摂	15	摂津	流紋岩類
豊岡	55	但馬	北但層群
八鹿	116	但馬	複合地質
道路公社(城崎)	30	但馬	北但層群
柏原	63	丹波	丹波層群
姫路	50	播磨	流紋岩類
上郡	75	播磨	流紋岩類
竜野	100	播磨	複合地質
加古川	21	播磨	高位段丘
浜坂	64	但馬	北但層群
社	61	播磨	流紋岩類
洲本	84	阿波	和泉層群

を、土木事務所管内の代表地質とみなした。このため、ある土木事務所管内で最も大きな面積を示す地質と異なった地質で調べられた斜面もすべて代表的な地質となる。また、ある地質で表される面積が40%未満の場合は「複合地質」とした。これより、各々の土木事務所及び道路公社は表-1に示したような旧国と地質に属することとなる。

4. 今回使用したデータの概要

本報では安定度調査表（落石・崩壊）に記されている全ての要因を対象とし、これらの要因の崩壊に対する影響度について地域毎、地質毎に検討した。今回使用したアイテムとカテゴリーを表-2に示す。表より、のり面のアイテム数は12、自然斜面のそれは12となり、これに〔安定度一次評価（履歴からの評価）〕がさらにアイテムとして加わる。

表-2 今回使用した落石・崩壊に関するアイテムとカテゴリー

	アイテム	カテゴリー		アイテム	カテゴリー
法面	崩壊性要因を持った地形	1:崩壊地形に該当 2:崩壊跡地・連急線明瞭・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の複数に該当 3:崩壊跡地・連急線明瞭・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の内1つに該当 4:崩壊地形に該当し、崩壊跡地・連急線明瞭・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の複数に該当 5:崩壊地形に該当し、崩壊跡地・連急線明瞭・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の内1つに該当 6:すべてに該当なし	斜面	崩壊性要因を持った地形	1:崩壊跡地・連急線明瞭の複数該当 2:崩壊跡地・連急線明瞭の内1つ該当 3:崩壊地形・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の内複数に該当 4:崩壊地形・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の内1つに該当 5:崩壊跡地・連急線明瞭の複数該当し、崩壊地形・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の複数に該当 6:崩壊跡地・連急線明瞭の複数該当し、崩壊地形・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の1つに該当 7:崩壊跡地・連急線明瞭の内1つ該当し、崩壊地形・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の複数該当 8:崩壊跡地・連急線明瞭の内1つ該当し、崩壊地形・台地の裾部・脚部浸食・イ・ハ・ハツグ・集水型斜面・土石流跡地の1つに該当 9:すべてに該当なし
	崩壊性の土質	1:浸食に弱い水を含むと強度低下しやすいなどが顕著である。2:やや顕著である。3:該当せず		崩壊性の土質	1:浸食に弱い水を含むと強度低下しやすいなどが顕著である。2:やや顕著である。3:該当せず
	崩壊性の岩質	1:割れ目や節理の密度が高い・浸食に弱い軟岩・風化が早い岩質などが顕著である。2:やや顕著である。3:該当せず		崩壊性の岩質	1:割れ目や節理の密度が高い・浸食に弱い軟岩・風化が早い岩質などが顕著である。2:やや顕著である。3:該当せず
	崩壊性の構造	1:流れ壁（層理面、弱線）に該当する。2:該当せず		崩壊性の構造	1:流れ壁（層理面、弱線）に該当する。2:該当せず
	崩壊性の構造	1:不透水性基盤上の土砂・上部が硬質で脚部が脆弱な岩などが顕著である。2:やや顕著である。3:該当せず		崩壊性の構造	1:不透水性基盤上の土砂・上部が硬質で脚部が脆弱な岩などが顕著である。2:やや顕著である。3:該当せず
	表土及び浮き石・転石の状況	1:不安定である。2:やや不安定である。3:安定している		表土及び浮き石・転石の状況	1:不安定である。2:やや不安定である。3:安定している
	湧水状況	1:湧水がある。2:しみだし程度である。3:湧水はない		湧水状況	1:湧水がある。2:しみだし程度である。3:湧水はない
	表面の被覆状況	1:裸地・植生が主体。2:複合（植生・構造物）。3:構造物主体		表面の被覆状況	1:裸地・植生（草木）主体。2:複合（裸地・草木・木本）3:木本主体
	土砂の勾配高さ	1:H>30m, 2:H<30m・i>標準, 3:15<H<30m・i<標準 4:H<15・i<標準, 5:該当なし		斜面の勾配	1:i<70度, 2:45<i<70度, 3:i<45度
	岩の勾配・高さ	1:H>50m, 2:30<H<50m, 3:15<H<30m 4:H<15m, 5:該当なし		隣接法面の変状	1:落石・崩壊・亀裂・はらみ出し・その他の変状が複数で明瞭 2:変状あるが不明瞭, 3:変状はなし
	隣接法面の変状	1:落石・崩壊・亀裂・はらみ出し・その他の変状が複数で明瞭 2:変状あるが不明瞭, 3:変状はなし		現時点の変状	1:肌落ち・小落石・ガリ浸食・パイピング孔・洗掘・盛り出し・倒木・開口亀裂・その他対策工の変状の内複数・明瞭なものあり 2:変状があるが不明瞭である, 3:変状はなし
	現時点の変状	1:肌落ち・小落石・ガリ浸食・パイピング孔・洗掘・盛り出し・倒木・開口亀裂・その他対策工の変状の内複数・明瞭なものあり 2:変状があるが不明瞭である, 3:変状はなし		落石・崩壊履歴	1:直近の対策以降、道路交通への支障が生じた 2:支障はないが、路面に達する比較的大きな履歴あり 3:法面・斜面先に留まる程度の小規模な落石・崩壊の履歴あり 4:落石・崩壊の履歴なし

5. 開発支援ソフトによる要因の分析方法

ルールツリーの一例を図-1に示す。総合評価である危険度のランク（「結果」）はルールツリーの右端に位置する葉として表現される。なお、このランクについては6.で後述している。

「結果」に対する影響度の大きなアイテムほどルールツリーの左側に配置されることとなり、図に示す幹に相当するアイテム（＝属性）をランクaとし、1番目の枝に相当するアイテムをランクb、2番目の枝に相当するアイテムをランクc・・・と各アイテムの重みを設定した。

また、ルールツリーによって事例から規則性を導き出すときに問題となることは、ノイズデータに影響を受けて合理的でない極端な分岐が発生する場合である。XPではプルーニング機能により、ノイズを含む事例からノイズを除去した一般化されたルールツリーを生成することができる^{4)・5)}。本報では地域別や地質別の判断例から上記に示すようにしてルールツリーにおけるアイテムの重みを調べ、

さらに重みの相互比較をすることによって、崩壊要因の分析を行った。

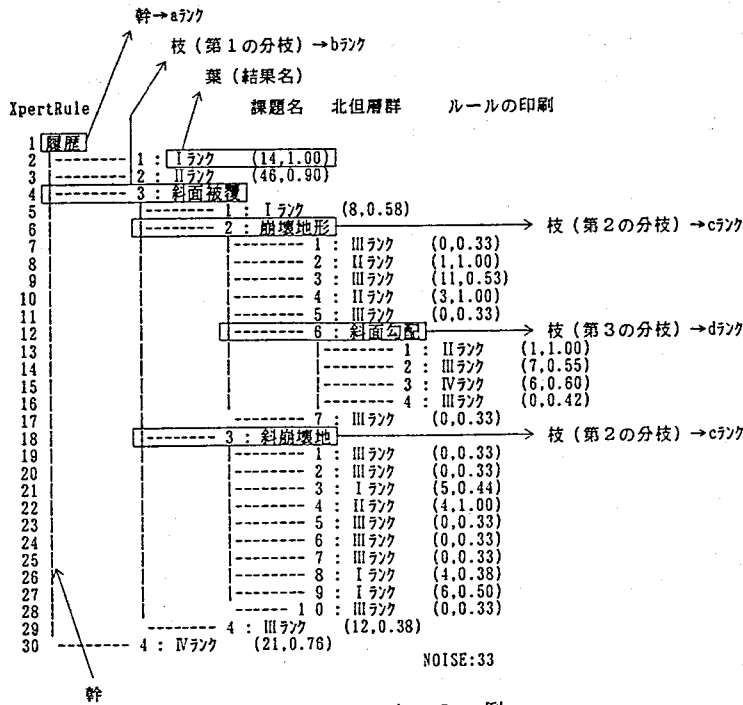


図-1 ルールツリーの一例

6. 安定度調査表（落石・崩壊）の採点および評価の一部修正

本報告の主たる目的から、安定度調査表の〔対策工の効果補正〕および〔区間重要度補正〕は考慮せず、〔安定度一次評価（要因からの評価）〕および〔安定度一次評価（履歴からの評価）〕の二つの表から得られる点数のみを対象とし、この中で最も高い点数を〔総合評価〕の「合計得点」とした。この合計得点から斜面の危険度すなわち総合評価を設定することになる。当初、〔総合評価〕を安定度調査表のランクに従って設定したが、今回のデータにおけるランクの頻度分布に大きな偏りが認められた。そこで、「合計得点」の頻度分布から判断して、ほぼ地域および地質別でランクの頻度分布に大きな偏りがないように、新たに、(Ⅰ)76点以上、(Ⅱ)75点以下～68点以上、(Ⅲ)67点以下～60点以上、(Ⅳ)59点以下の4ランクに区分し直し、このランクを〔総合評価〕とし、解析の対象とした。

7. 解析結果

兵庫県道路防災点検調査データをもとに、エキスパートシステム開発支援ツールによって、地域別および地質別のルールツリーを作成し、各々のルールツリーにおいて重要となる要因を検討した。この結果、表-3～4に示す要因が崩壊・落石の危険度に大きく影響することが判ってきた。これらの要因のうちで、崩壊履歴は危険度に最も影響する要因となるが、もとの安定度調査表における配点が他の要因と比して大きいことから、当然の結果といえる。しかし、従来の研究から重要であると考えられている勾配、高さの要因は全ての地域、地質において重要ではない結果となった。崩壊履歴以外では、危険度に大きく影響する要因は、但馬地域では斜面の崩壊性地形や斜面の被覆状況が重要と

なった。この地域では地すべり性の崩壊が多発しているため、これらの結果はほぼ妥当であったと思われる。一方、和泉層群では表層崩壊が多発するにもかかわらず、のり面の現状の変状が重要な要因と指摘され、勾配や高さは重要とならなかった。これは調査データの頻度分布があるカテゴリーに集中するという偏りがあったためであり、勾配や高さのカテゴリー区分を再考することが必要である。

表-3 地域別の重要な要因と危険度に与える影響

地域	重要な要因	危険度に与える影響
但馬	○ 崩壊履歴	過去の崩壊の規模が大きいほど危険度が高くなる
	斜面の崩壊性地形	崖地地形あるいはその他崩壊地形に該当する場合は危険度高く、崩壊地形に該当しない場合は危険度低い。
	斜面の液置状況	裸地～植生である場合は最も危険度が高く、複合及び木本主体の場合が次に危険度が高い。
摂津	○ 斜面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、該当なしの場合は危険度低い。
	法面の流れ整構造	該当する場合はやや安全で、該当しない場合は安全である。
丹波	○ 法面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、やや不安定及び該当なしの場合は危険度低い。
	斜面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、やや不安定及び該当なしの場合は危険度低い。
	斜面の崩壊性岩質	顕著である場合は危険度高く、やや顕著及び該当なしの場合は危険度低い。
播磨	○ 斜面の現状の変状	複数該当し明瞭な場合は危険度高く、該当しない場合は危険度低い。
	斜面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、該当なしの場合は危険度低い。
阿波	○ 崩壊履歴	過去の崩壊の規模が大きいほど危険度高くなる
	のり面の現状の変状	複数該当し明瞭な場合はやや危険度高く、不明瞭の場合は危険度低い。

○は特に危険度に対する影響度が高いものを示す

表-4 地質別の重要な要因と危険度に与える影響

地質	重要な要因	危険度に与える影響
北但層群	○ 崩壊履歴	過去の崩壊の規模が大きいほど危険度高くなる
	斜面の液置状況	裸地～植生である場合は最も危険度が高く、複合及び木本主体の場合が次に危険度が高い。
流紋岩類	○ 斜面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、該当なしの場合は危険度低い。
高位段丘	法面・斜面の崩壊性地形、法面の湧水状況	ルールツリーを検討すると、矛盾が多く規則性が見られない。総合評価のⅢのランクが多すぎたことによる。
丹波層群	○ 法面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、やや不安定及び該当なしの場合は危険度低い。
	斜面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合は危険度高く、やや不安定及び該当なしの場合は危険度低い。
	斜面の崩壊性岩質	顕著である場合は危険度高く、やや顕著及び該当なしの場合は危険度低い。
和泉層群	○ 崩壊履歴	過去の崩壊の規模が大きいほど危険度高くなる
	のり面の現状の変状	複数該当し明瞭な場合はやや危険度高く、不明瞭の場合は危険度低い。
複合地質	○ 斜面の現状の変状	複数該当し明瞭な場合は危険度高く、不明瞭の場合は危険度低い。
	斜面の崩壊性地形	崩壊性地形が見られる場合は危険度高いが、これに該当しない場合は危険度は低い。
	斜面の表土・浮き石・転石の状況	不安定である場合はやや危険度高く、やや不安定及び該当なしの場合は危険度低い。
	崩壊の履歴	過去の崩壊の規模が大きいほど危険度高くなる

○は特に危険度に対する影響度が高いものを示す

8. おわりに

今後、より一層多くの判断例を用い、斜面崩壊の危険度に与える要因の影響度について研究することが必要と思われる。その結果より従来より重要と指摘されている要因の評価を再度検討する必要がある。本研究をまとめるにあたり、(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部斜面安定研究委員会(藤田 崇委員長)各位のご協力を得ました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 沖村 孝・池尻勝俊・中西敏夫・戦 忠希・松村真一郎：エキスパートシステム開発支援ソフトを用いた落石・崩壊に影響する要因の分析、文部省科学研究費補助金試験研究(2)「ファジィ・エキスパートシステムによる危険斜面診断法の開発に関する研究」(研究代表者 沖村孝), pp. 107-164, 1993.
- 2) 建設省：防災点検ガイドブック(案)
- 3) 兵庫県：兵庫県地質鉱山図説明書, 1961, pp. 171.
- 4) J. Ross Quinlan: The Effect of Noise on Concept Learning, Morgan Kaufmann, Machine Learning vol. 2, pp. 149-166, 1986.
- 5) J. Ross Quinlan: Simplifying Decision Tree, International Journal of Man-Machine Studies, Academic Press Inc., London, 1987.