

平成 15 年度

デジタルカメラ撮影による岩盤斜面安定度評価システムの構築
に関する報告書

平成 16 年 3 月

平成 15 年度共同研究報告書目次

1. 研究の概要

- 1.1 研究の目的
- 1.2 提案手法の概要およびそのシステム化
- 1.3 研究体制
- 1.4 平成 15 年度の成果概要

2. 平成 14 年度までの取り組みと成果および課題の整理

- 2.1 道路防災管理システムに関する平成 14 年度までの取り組みと成果
- 2.2 道路防災管理システムに関する平成 14 年度までの課題
- 2.3 岩盤斜面安定度評価システムに関する平成 14 年度までの取り組みと成果
- 2.4 岩盤斜面安定度評価システムに関する平成 14 年度までの課題

3. 本年度の成果

- 3.1 道路防災管理システムに関する本年度の成果
- 3.2 岩盤斜面安定度評価システムに関する本年度の成果

4. まとめと提案

- 4.1 道路防災管理システムのまとめと今後の活用方法の提案
- 4.2 岩盤斜面安定度評価システムのまとめと今後の活用方法の提案
- 4.3 防災情報のデータベース化および一元管理の提案

5. 巻末資料

- 写真測量原理
- 統計解析手法（ロジット解析）理論
- 写真解析手法の改良点
- IT CITY MESSE 2003 配布パンフレット
- 岩盤斜面安定度評価システムマニュアル

第1章 本研究の目的と概要

1.1 研究の目的

我が国は、気象・地理・地質条件から見て、斜面災害の危険性が非常に高く、実際に、毎年のように各地で斜面災害が発生している。特に岐阜県は、斜面災害のポテンシャルの高い地域であり、指定危険箇所数や道路の通行止め回数が危険性の高さを物語っている(平成 13・14 年度報告書参照)。

膨大な危険斜面に対して、行政は限られた予算の中で最適な対策を行っていかなければならない。そのためには、従来のハード的な防災管理が中心の管理体制の中に、ソフト的な防災管理手法を取り入れる必要がある。また、安価で迅速に防災情報を取得する手法が必要となる。本共同研究では、ソフト的な防災管理手法、および安価で迅速に斜面情報を取得する手法を提案するとともに、各手法をシステム化することにより、提案手法の有効性を確認する。

1.2 提案手法の概要およびそのシステム化

本研究では、ソフト的な管理の一つの手法として、GIS(Geographical Information System:地理情報システム)を用いた情報管理手法を提案する。GISを用いることにより、危険箇所情報を位置データとして地図上に配置し、互いの相互関係やその他の特性を把握することができる。これにより、分散していた防災情報の一元管理が可能となり、そのため、防災計画に必要な情報を迅速に取得することができる。また、地図上で地形地質特性図の重ね合わせが可能であるため、多角的・視覚的に危険斜面の特性を把握することができる。

上記の GIS を用いた管理は、各危険箇所の情報の迅速な取得や、対象地域における異なる情報間の相関を把握に有効である。しかし、上記の手法だけでは、個別の斜面の危険性を評価することは難しい。そこで、本研究では、個別の斜面を評価する道具として、以下に示す2つの手法を導入した。

- ① 統計学に基づく斜面の危険性の評価手法
- ② 力学に基づく斜面の安定性の評価手法

統計学に基づく斜面の危険性の評価とは、これまでに蓄積されている情報(防災点検結果・施工履歴等)から、対策の必要度の高い斜面を統計的に判断するものである。また、力学に基づく斜面の安定性の評価とは、各斜面の幾何学的形状および斜面表面のき裂情報から、斜面内部の不安定部分の有無を判断するものであり、特に岩盤斜面を対象としたものである。以下では、これまでに示した提案手法のシステム化について述べる。

本研究では、効率的な情報管理および安価・迅速な情報収集を目指しているため、上記の提案手法をシステム化するにあたり、できるだけ専門的な知識や経験を排除した上で有効なシステムを構築することを目指した。全システムの基盤となるものは、GISを用いた情報管理システム(道路防災管理システム)である。このシステムを構築することにより、現在広く普及しているパソコンを使って、デジタル地理情報とリンクした情報の管理が可能となる。前述の統計学に基づく斜面の危険性の評価は、道路防災管理システム上で解析機能として動作する(以下この機能のことを統計解析システムと呼ぶ)。そのため、解析結果は必然的に地図情報(位置データ)とリンクした形で出力されるため、視覚的に対策を必要と確率の高い危険斜面の位置を把握することが可能である。また、力学に基づく斜面の安定性の評価に関しては、道路防災管理システムと別途動作するものとした。力学的に斜面の安定性を評価するためには、斜面の表面形状が必要となる。本研究では写真測量技術を採用することにより、デジタルカメラを用いて斜面の安定性評価を行えるシステムを構築した。デジタルカメラを用いた写真測量により、岩盤の斜面形状情報が取得され(三次元計測システム)、また、その情報を用いて力学的に安定度評価を行うことができる(岩盤斜面安定度評価システム)。

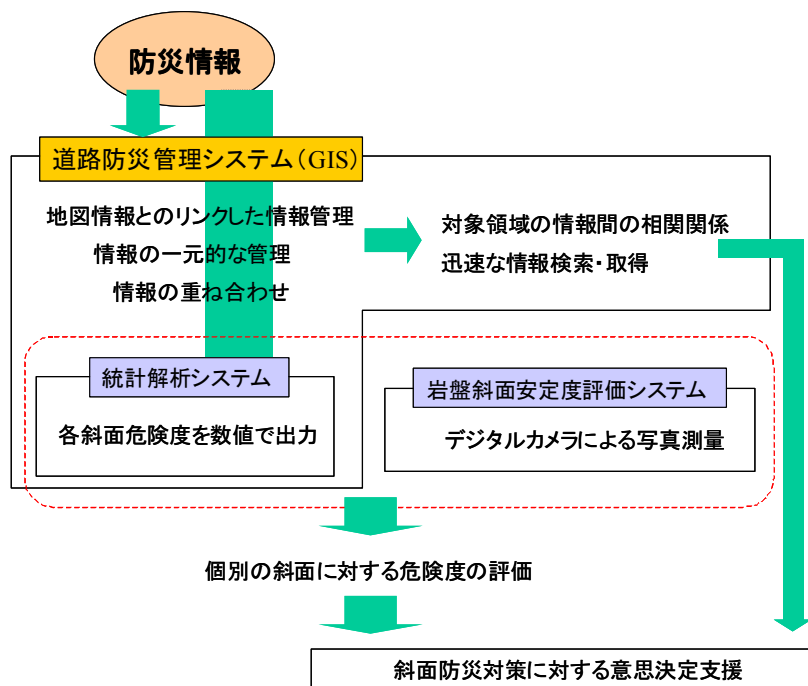


図 1-1 本研究で提案するシステムの全体像

1.3 研究体制

本研究の研究体制を以下に示す。

組織	役職	氏名	所属	担当業務
岐阜大学	教授	八嶋厚	産官学融合センターセンター長	研究総括
	助手	沢田和秀	工学部社会基盤工学科	研究総括補助
	助教授	小嶋智	工学部社会基盤工学科	地質データの整備
		森口周二	工学研究科	解析手法プログラム化
中部大学	助教授	杉井俊夫	工学部土木工学科	統計解析総括
財団法人岐阜県建設研究センター	担当課長	大西秀和	研究開発部	研究取りまとめ
	係長	舟橋勝	研究開発部	研究取りまとめ
	係長	伊藤修宏	研究開発部	研究取りまとめ
株式会社帝国建設コンサルタント	次長	鈴木 真	GIS開発システム部	システム化総括
		小嶋 正樹	GIS開発システム部	各種システム化
	課長補佐	鷲見 武富	技術部	安定度評価手法開発
川重岐阜エンジニアリング株式会社	副室長	荻本健二	営業企画室	写真取得機能開発総括

1.4 平成15年度の成果概要

ここでは、平成15年度の成果概要を示す。便宜上、道路防災管理システムと岩盤斜面安定度評価システムの成果を分けて説明する。

道路防災管理システムに関しては、平成14年度末までに、揖斐建設事務所管内を対象として、データの整備およびシステム化を行った。また、統計解析手法を導入し、揖斐建設事務所管内を対象として、過去の対策工事実施の意思決定がどのような要因で行われたかを統計解析手法により確認した。平成15年度は、揖斐建設事務所管内以外(特に平成14年度の研究結果から揖斐建設事務所管内と要因が類似していると考えられる地域:高山・美濃)の管区について要因の分析をおこなった。また、新たに、岩盤斜面の危険度に重点をおいたモデルの構築に取り組んだ。さらに、統計解析手法のシステム化を行った。(詳細は本文中3章1節参照)

三次元計測システムについては、写真解析(三次元座標算出)プログラムの見直しを行い、精度の向上および計算の安定化を図った。模型、構造物、実岩盤斜面での検証を繰り返して改良したプログラムの挙動を確認し、改良の有効性を確認した。また、三次元モデルに写真画像(テクスチャー)を貼り付けることでよりリアルに地形を表現することが可能になった。さらに、斜面崩壊跡地・実岩盤斜面を対象として、斜面の3次元化および安定度評価を行った。(詳細は本文中3章2節参照)

2章 平成14年度までの取り組みと成果および課題の整理

ここでは、道路防災管理システムおよび斜面安定度評価システムの構築に関して、昨年度までの取り組みと成果および課題について簡単にまとめる。なお、各項目の詳細については平成13,14年度報告書を参照するものとする。

2.1 道路防災管理システムに関する平成14年度までの取り組みと成果

以下では、道路防災管理システムに関する昨年度までの取り組みと成果に関してまとめる。表2-1は、これまでの主な取り組みを実施した順に示したものである。以下では、表2-1に示した取り組みと成果について簡単に説明する。

表2-1 道路防災管理システムに関するこれまでの取り組み

平成13年度	①システム内で管理するデータ（防災データ）の検討・データの抽出方法などの検討 ②GIS上でベースとなる地図・地形データの検討（防災地図） ③防災データの収集 ④道路防災管理システム（道路防災GIS）の揖斐モデル構築 ⑤3D地形図のサンプル作成（全県下モデル・揖斐モデル）
平成14年度	⑥キーワード検索機能（試作品）の開発・追加 ⑦統計解析システムの導入 ⑧揖斐管内のデータを基に統計モデル（揖斐モデル）を構築し、的中率を検証 ⑨揖斐モデルを他事務所へ適用した場合の結果の検証

2.1-① システム内で管理するデータ（防災データ）の検討・データの抽出方法などの検討

検討結果として、以下のデータを採用している。

- H8 防災点検データ（危険箇所位置・点検記録書・現場写真・スケッチ等）
- 防災カルテデータ
- 急傾斜地点検データ（危険箇所位置・がけ崩れ履歴箇所位置・点検記録書・詳細地図・現場写真）
- 地すべり地形データ

2.1-② GIS上でベースとなる地図・地形データの検討（防災地図）

検討結果として以下のデータを採用している。

- 地図（国土地理院数値地図 200000・50000・25000）
- 行政界（郡市町村界・岐阜県界）
- 道路網図（一般国道・主要地方道・一般県道）
- 表層地質図
- 標高図（国土地理院数値地図 50m メッシュのデータを使用）
- 傾斜度分布図（国土地理院数値地図 50m メッシュのデータを加工）

- 斜面方位図（国土地理院数値地図 50m メッシュのデータを加工）
- デジタル地理モデル（国土地理院数値地図 50m メッシュのデータを加工）

2. 1-③ 防災データの収集

揖斐建設事務所から防災点検・防災カルテ情報を拝借した。以降、揖斐建設事務所管内を中心としてシステムを構築していくことになる。

2. 1-④ 道路防災管理システム（道路防災 GIS）のプロトタイプ構築（揖斐モデル）

揖斐建設事務所管内を対象として、道路防災管理システムのプロトタイプを市販の GIS ソフトをベースとして構築した。これにより、紙ベースで管理されていた情報がデジタル化され、迅速な情報収集が可能となると同時に、危険斜面の地図上での位置の確認が容易になった。

2. 1-⑤ 3D 地形図のサンプル作成（全県下モデル・揖斐モデル）

国土地理院数値地図 50m メッシュからデジタル地理モデルを作成した。パソコン画面上で VRML を用いて 3次元表示することにより視覚的に地形を把握することが可能となった。

2. 1-⑥ キーワード検索機能（試作品）の開発・追加

防災点検箇所別記録の所見欄に記載されているキーワードを抽出し、危険箇所のキーワード検索を行う機能の試作品を開発した。しかし、予め設定したいくつかのキーワードのみでは、全てのデータを完全に網羅することが困難であることが判明。（同じ意味でも表現方法（文字）が異なる。また、全ての所見を設定したキーワードに対応させてデータ化できたとしても、データ更新の際に毎回所見のデータ化を行うことになり、労力は膨大となる。）そこで、任意の文字列によるキーワード検索機能を作成する必要性が確認された。

2. 1-⑦ 統計解析システムの導入

道路防災管理システム上で動作する対策優先順位の決定支援ツールとして、統計解析（ロジット解析）を採用した。

2. 1-⑧ 揖斐管内のデータを基に統計モデル（揖斐モデル）を構築し、的中率を検証

揖斐建設事務所館内の防災カルテ指定箇所に対し防災点検データ・対策工事実施箇所データをもとに、過去の対策工事実施の要因分析を行った。対策工事を実施した箇所の共通事項や傾向を抽出し、対策工事を実施した要因になったであろう複数の数値データやキーワードを揖斐モデルとして構築した。構築したモデルの再現結果は 80%という高い的中率を得た。これにより統計解析手法の対策順位意思決定支援への十分な説明力を証明することが出来た。

2. 1-⑨ 揖斐モデルを他事務所へ適用した場合の結果の検証

各工事事務所の対策要因の差異を調べるために、揖斐モデルを他事務所に適用した。その結果、地域によりの中率に差が生じ、地域によって対策工事実施の要因が異なるということが確認された。

2. 2 道路防災管理システムに関する平成 14 年度までの課題

道路防災管理システムの構築に伴い、平成 14 年度末時点までに以下のような課題が残されていた。

A 任意のキーワードによる検索機能の構築・GIS 上での動作環境の整備

防災点検箇所別記録の所見欄に記載されている文章を対象として、予め設定したキーワードを含んでいる場合は、その危険箇所を抽出できる機能を設けた。しかし、所見欄に記載されている文章の中には、同じ意味でも表現（文字）が異なるものがあり、限られた数のキーワードで全てのデータを網羅することは不可能であることが明らかとなった。また、所見欄の文章をデジタル化する際に、統一した表現に書き直す方法もあるが、この方法の場合、データが更新される度に同じ作業をする必要があり、作業に費やす労力と時間が膨大であるために不可能であると判断した。そのため、任意のキーワードによる検索機能（インターネットのサーチエンジンのようなもの）を作成するという課題が残された。

B 道路防災管理システムと統計解析システムの連動に関する改修

統計解析手法の適用性・有効性に関して検証をおこなったがシステムへの利用手法が確立されていなかった。モデルの構築する作業はシステム化が困難であることから専門家へ一任するが、構築されたモデルの二次利用とその利用手法の開発が必要になった。

C 統計解析の結果に関して、各地区で対策要因が異なっているため、地区ごと基準要因の分析が必要

統計解析手法に関する検証の中で、揖斐建設事務所管内で構築したモデルを多地域に適用した場合、再現結果の的中率にばらつきが生じていた。その理由として、地域によって対策工事实施の意思決定に関わる要因が異なっていたと考えられる。そのため、揖斐以外の他地区でもモデルを構築し、基準要因の比較を行う必要性が出てきた。

E 斜面の不安定性を考慮した統計解析

対策の優先度の決定に関しては、崩壊の危険性・崩壊が起こった際の被害規模など斜面の力学的な危険度そのものを判定する必要がある。そのため、危険度そのものを評価できる統計解析を行うという課題が残された。また同時に、斜面の力学的危険度を得る手法の開発も必要である。

2. 3 岩盤斜面安定度評価システムに関する平成 14 年度までの取り組みと成果

以下では、道路防災管理システムに関する昨年度までの取り組みと成果に関してまとめる。表 2-2 は、これまでの主な取り組みを行った順に示したものである。以下では、表 2-2 に示した取り組みと成果について簡単に説明する。

表 2-2 岩盤斜面安定度評価システムに関するこれまでの取り組み

平成13年度	<ul style="list-style-type: none"> ①写真解析（地形解析）～岩盤の安定度評価までの連続システムの提案 ②市販の写真解析ソフトによる岩盤表面の3次元モデルの作成 ③写真解析手法に関する文献調査 ④模型岩盤を用いた安定度評価手法の検証
平成14年度	<ul style="list-style-type: none"> ⑤既存の写真解析ソフトを用いた予備検証（撮影手法と解析精度） <ul style="list-style-type: none"> (a) 建築物（ふれあい会館） (b) 土木構造物（郡上郡大和町 コンクリート橋台） (c) 崩壊斜面（揖斐郡藤橋村徳山ダム近辺崩壊跡地） ⑥写真解析プログラムの作成 ⑦三次元計測システムプロトタイプの開発 ⑧自動マッチング機能の追加 ⑨模型岩盤を用いた地形解析システムの検証 ⑩三次元計測システムによる実斜面（松田地区・神崎地区）の3次元モデルの生成および光波測量結果との比較 ⑪岩盤斜面安定度評価システムプロトタイプの開発

2. 3-① 写真解析（地形解析）～岩盤の安定度評価までの連続システムの提案

危険斜面の数が膨大であるのに対し、岩盤の安定評価は専門家に一任されていた。今後、効率的に斜面の安定評価・および管理を進めるためには、管理者自身が簡易的に評価できるシステムの構築が必要である。これを背景として、写真解析手法と安定評価手法を融合した簡易的な岩盤安定度評価手法を提案した。

2. 3-② 市販の写真解析ソフトによる岩盤表面の3次元モデルの作成

写真解析を用いて、実岩盤斜面の形状が取得できるかということを検証するために、市販の写真解析ソフトを用いて実岩盤（春日村）の3次元モデルを作成し、形状を確認した。作成された3次元モデルは、実際の形状をよく表現できていた。

2. 3-③ 写真解析手法に関する文献調査

システム内にブラックボックスが出来るのを防ぐため、また、安定性評価手法へのスムーズなデータ移動を目的として、写真解析プログラムを本研究内で開発することとした。それに先立ち、写真解析手法に関する文献調査をおこない、必要な文献を収集した。

2. 3-④ 模型岩盤を用いた安定度評価手法の検証

岐阜大学が提案した安定度評価手法（鷺見・八嶋の手法）の検証をするために、予めき列面を設けた模型岩盤を用いて、解析結果の妥当性を検証した。結果は、十分な説明力を持つものであった。

2. 3-⑤ 市販の写真解析ソフトを用いた予備検証

写真解析の精度を確認することを目的として、以下の3つの対象物を市販の写真解析ソフトを用いて計測した。

- (a) 建築物（ふれあい会館）
- (b) 土木構造物（郡上郡大和町 コンクリート橋台）
- (c) 崩壊斜面（揖斐郡藤橋村徳山ダム近辺崩壊跡地）

2. 3-⑥ 写真解析プログラムの作成

写真解析プログラム Part 1 を作成した。

2. 3-⑦ 三次元計測システムのプロトタイプの開発

写真解析プログラム Part 1 の完成に伴い三次元計測システムのインターフェイスを構築した。これにより、三次元計測システムのプロトタイプが完成した。

2. 3-⑧ 自動マッチング機能の追加

写真解析により複雑な形状を取得する場合、標点が膨大となり、多大な労力を必要とする。この問題に対して、標点を自動で検索する自動マッチング機能を追加した。

2. 3-⑨ 模型岩盤を用いた地形解析システムの検証

三次元計測システムプロトタイプの動作確認を目的として、模型斜面の3次元モデルの作成を試みた。システム画面上に示された3次元モデルの形状は、実際の模型岩盤と酷似していた。（2002 技術フェアで展示：同時点での精度は不明）

2. 3-⑩ 三次元計測システムによる実斜面（松田地区・神崎地区）の3次元モデルの生成、および光波測量結果との比較

三次元計測システムを実岩盤の測量に適用。3次元モデルの生成状況を確認。同時に、実際の測量結果との比較を行い、精度の検証を行った。この時点で、市販のソフトと比べて、精度・計算の安定性に関して問題があることが明確となった。

2. 3-⑪ 岩盤斜面安定度評価システムプロトタイプの開発

安定度評価手法をプログラム化し、パラメータ入力用のシステムインターフェイスを構築した。これにより、岩盤斜面安定度評価システムのプロトタイプが完成した。

2. 4 岩盤斜面安定度評価システムに関する平成 14 年度までの課題

A 写真の撮影距離・角度が誤差に及ぼす影響の確認

実岩盤に対して三次元計測システムを適用し、3次元モデルの作成を行った。しかし撮影距離・角度が写真測量の結果にどのような影響を与えるかについては明確に示していなかった。そのため、撮影条件を様々に変化させて、結果に与える影響を確認する作業が課題として残された。

B 写真解析プログラムの精度・安定性の向上、および計算時間の短縮

撮影したステレオ写真の撮影条件が精度や安定性に大きく影響しており、解析時間や解析可否に極端な差が現れていた。検証作業により解析可能なステレオ写真の条件を得たがその許容範囲は非常に狭く、現場で条件に合う撮影を行うことは多くの場合困難であることが予測された。よってシステム側の解析可能許容範囲を拡大することが必要になった。

C 3次元モデルの結合機能の追加

対象岩盤の規模、確保できる撮影距離により、1組のステレオ写真で岩盤斜面全体の3次元モデルが生成できない問題が発生した。そのため、1つの対象岩盤を複数組のステレオ写真に分けて撮影し、互いの3次元モデルの欠損部分を補う機能が必要になった。

D 3次元モデルのテクスチャー表示（写真画像の貼り付け）

三次元計測システムで生成した3次元モデルはTINで構成されており、ビューアーでの表現としては、ワイヤーフレーム・フラットシェーディング・グローシェーディング（フラットシェーディングに陰影をつけたもの）の3種類であった。しかし、3次元モデルの中のどの部分が写真のどの部分と一致しているのかを判断することがほぼ不可能な状態にあり、これを可能にするためテクスチャーの出力と表示が必要になった。

E 写真上でのき裂位置の与え方に関する基準の作成（マニュアル）

本システムでは斜面の安定度評価をシステム上で行う際に、斜面の斜面形状とき裂面方程式のパラメータを入力値として計算を行う。き裂の位置は写真上で指定することになるが、その際、き裂の構成点位置を正確に与える必要がある。そのため、岩盤斜面安定度評価システムの使用法に関するマニュアルを作成し、その中でき裂位置の与え方について明記するということが課題として残された。

F 安定度評価結果を用いた斜面の危険度の数値化

これまでに作成された岩盤斜面安定度評価システムでは、岩盤斜面内の不安定なブロックを形成するき裂面組合せを抽出することができるが、その判定は、不安定か安定かの2択となっており、対策工事の計画を行うには情報が不十分であった。また、点検箇所ごとの比較を行うことも同様に困難であったため、対策順位決定支援への利用も出来ない状況にあった。そこで、抽出されたブロックの安全率、体積を求め危険度として明確な数値（点数）を表す必要が出てきた。

G 安定度評価結果の実斜面を対象とした検証

実岩盤斜面を対象としたシステムの検証の絶対的な経験値が不足していた。地質専門家による現場調査の結果とシステムで評価した結果との比較を行い、その信頼性を確認する必要があった。

3章 本年度の成果

本章では、本研究で得られた本年度の成果について報告する。以下では、道路防災管理システム（統計解析システムを含む）と安定度評価システムのそれぞれの成果について述べる。

3.1 道路防災管理システムに関する本年度の成果

平成15年度は揖斐建設事務所管内以外の管区について、平成14年度と同様に過去の対策工事实施の意思決定がどのような要因で行われたかを統計解析手法により確認した。また、取得した各管区の要因モデルと、意思決定の重要な要因になりえる岩盤斜面そのものの危険度との相関を調べるため、H8防災点検実施時の安定度評価記録から「危険箇所抽出モデル」の構築を行った。この「危険箇所抽出モデル」と各管区の要因モデルを比較することで過去の意思決定の妥当性を検討した。

3.1-① 過去の対策実績による「岩盤斜面の優先対策順位モデル」

平成14年度では、県内の道路に面する岩盤斜面の維持管理支援を目的として揖斐建設事務所管内を対象に、平成11年度以降の要対策リストから岩盤対策が行われてきた箇所の対策事例をロジットモデルによって分析を行い、これまでの道路斜面に対する危険回避の対策がどのように優先されてきたかを調べてきた。その結果、「事前通行規制区間」、「被災履歴」、「対策概算費/延長」が対策根拠に深く関わっていることが明らかとなった。本モデルは過去の対策実績によって社会的影響度なども含んだ対策の意思決定モデルとして本研究では「岩盤斜面の優先対策順位モデル」と呼んでいる。また揖斐建設事務所管内で作成した優先対策順位モデルを県内の他建設事務所へ適用して的中率を調べ、図3-1のような結果を得た。ここで、対策済みの的中率の高いものは、その管区で揖斐建設事務所管内の岩盤斜面の優先対策順位モデルと同様の要因が対策工事实施の意思決定に深く影響していることを示している。また、地域性が存在することも推察される。図3-2は、要対策箇所数と揖斐モデルの的中率からグルーピングされた結果を示している。的中率の高い地域・低い地域、および要対策箇所数の多い地域・少ない地域という観点でグループ分けを行っている。たとえば、美濃や大垣のように、的中率が高いものは揖斐建設事務所と同じ判断から行われている可能性が高いと推察できるため、同一のグループとなっている。また、岐阜や古川などのような的中率が低いものは、揖斐建設事務所で抽出された以外の基準要因から行われていることから、美濃・揖斐・大垣とは別グループであり、さらに要対策箇所数でグループ分けを行っている。

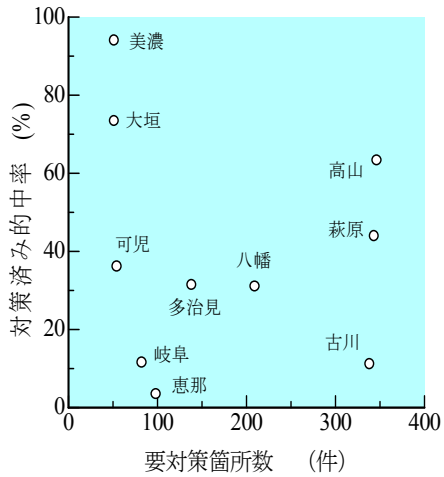


図3-1 要対策箇所数と的中率 (揖斐モデル適用)

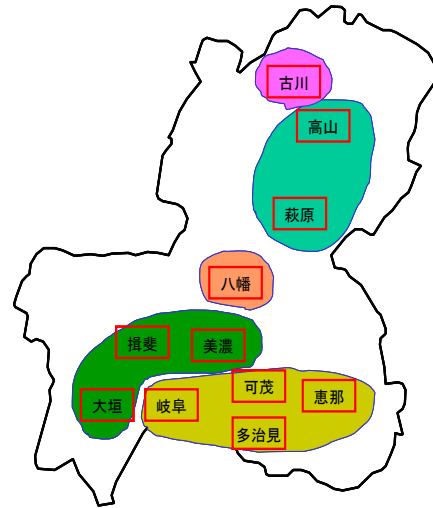


図3-2 対策の意思検定因子が類似していると考えられる地域

14年度の揖斐建設事務所管内の対策意思決定に関する「優先対策順位モデル」を他事務所管内へ適用した結果から、各事務所により対策の意思決定の因子が異なる傾向が強いことが予想されたため、ここでは高山建設事務所および美濃建設事務所管内の対策事例を用いて「優先対策順位モデル」を構築し、対策根拠となる因子として何が基準となっているのか調べた。解析には、14年度同様、ロジットモデルを使用している (ロジットモデルの理論については巻末資料参照)。被説明要因には「対策済み」、「未対策」の2つとし、説明要因 (ここでは対策のための「基準要因」と呼ぶことにする) を岩盤状況、交通、被災履歴、費用に関する要因を防災カルテからデータを抽出して解析した。表3-1に基準要因候補として解析に用いた20項目を示す。

表3-1 基準要因の説明

	基準要因	説明
X ₁	亀裂状況	防災カルテに書かれている割れ目、開口亀裂、亀裂、岩盤の亀裂の4つをまとめて亀裂状況としており、ほとんどが開口亀裂である。1-0変数で入力され、割れ目・開口亀裂・亀裂・岩盤の亀裂のどれか一つでもあれば1とし全くないところを0とした。
X ₂	転石・落石	防災カルテに書かれている転石、浮石、小落石、落石、沢部からの落石、ロックネットに小落石の6つをまとめて転石・落石とし、6つのうちどれか一つでもあるところを1とし全くないところを0とした。この中でも落石が多く危険な要素を表していると考えられる。
X ₃	湧水	水のごり、がり、湧水の3つをまとめて湧水とし、3つのうちどれかに該当している場合に1、なければ0とした。今回のデータでは、該当箇所が少なくあまり解析に関わってこないと考えられる。
X ₄	堆積物	崖錐堆積物、沢部にルーズな土砂、崩積土が堆積、土砂が道路上に堆積、土砂が道路上に散乱、土砂の押し出し、崖錐が分布、崩落土砂、土砂の押し出しの9つをまとめて堆積物とし、9つのうち一つでも該当すれば1、全くなければ0とした。
X ₅	岩盤状況	チャート流れ盤、オーバーハング、断層、マサ化した花崗閃緑岩、風化著しい岩盤、の5つをまとめて危険度の高い岩盤状況として該当する場合には1とし、全くなければ0とした。
X ₆	岩質	風化著しい岩盤、マサ化した花崗閃緑岩、水に弱い岩質の3つをまとめて軟弱な岩質として該当を1とし、全くなければ0とした。
X ₇	対策工の変形・破損	モルタルにひび割れ、モルタルに亀裂、剥離、斜面のふくらみ、ネットの破損、はらみ出しの6つをまとめて対策工の変形・破損とし、6つのうち一つでもあれば1とし、全くなければ0とした。
X ₈	崩壊	旧崩壊地、表面崩壊、崩壊、滑落崖、新規崩壊地、岩盤の崩落、転倒、斜面崩壊の8つをまとめて崩壊とし、8つのうち一つでもあれば1とし、全くなければ0とした。崩壊がある場合には一般的に対策がされる場合が多いが、ここでは規模や崩壊時期などの情報が明確でないためまとめて取り扱っている。
X ₉	事前通行規制区間	通行規制又は特殊規制があるかないかを表しているものである。1-0変数であり、通行規制、特殊規制があるところを1とし、規制がないところを0とした。規制があるところは大雨など危険なときに人が入れないので対策としてはあとに回されるのではないかと考えられる。
X ₁₀	前回の点検との差異	前回との差異というもので、差異がある場合を1とし、ない場合を0とした。前回との差異があるということは何か起こっていると考えられるので対策するかどうかに関わってくると推測される。
X ₁₁	判定	対策工が必要かカルテ対応かを表しているものである。1-0変数であり、対策工が必要を1としカルテ対応を0とした。
X ₁₂	バス路線	バスは人が交通手段として使うのでバス路線があるところから対策しているのではないかと推測される。1-0変数でありバス路線があるところを1とし、ないところを0とした。
X ₁₃	交通量(平日)	12時間のうちに何台通ったのかを表している。交通量は人の生活に関係していると思われ、対策を決めるときに関わってくるのではないかと考えられる。
X ₁₄	交通量(休日)	同上
X ₁₅	迂回路	1-0変数であり、迂回路があるところを1としないところを0とした。
X ₁₆	被災履歴	平成二年度の防災点検以降に被災履歴があるかを表しているものである。1-0変数であり、被災履歴があるところを1としないところを0とした。
X ₁₇	緊急輸送道路区分	第一次・第二次・第三次と分かれている。第一次・第二次・第三次緊急輸送道路区分であるところを1としないところを0とし1-0変数で表した。
X ₁₈	粘板岩	1-0変数であり、それぞれの岩が存在する場合を1とし、ない場合を0とした。データが少なくあまり関わってこないと考えられる。
X ₁₉	砂岩	同上
X ₂₀	対策費概算/延長	対策費概算を延長距離で除した対策費用の単価的な取り扱い。

表3-2に揖斐建設事務所管内の優先対策順位モデルと、新たに構築した美濃・高山建設事務所管内それぞれの優先対策順位モデルを示す。対策済みの中率とは先の式(1)および式(2)のロジットモデルで算出される判別確率50%以上で対策が行われているところとの的中率を示している。また、「-」で示されている要因はt検定により説明力を持たない因子として信頼度90%で棄却されている。

表 3-2 各建設事務所の優先対策順位モデル

		揖斐建設	美濃建設	高山建設
ダミー変数	θ_0	-1.111	-1.864	-0.661
	t-value	4.437	6.659	8.833
亀裂状況	θ_1	—	—	1.001
	t-value	—	—	2.879
転石・落石	θ_2	—	—	0.681
	t-value	—	—	1.832
湧水あり	θ_3	—	—	—
	t-value	—	—	—
堆積物あり	θ_4	—	—	—
	t-value	—	—	—
岩盤状況	θ_5	—	—	—
	t-value	—	—	—
対策工の変状・破損	θ_6	—	—	—
	t-value	—	—	—
崩壊あり	θ_7	—	—	0.674
	t-value	—	—	1.923
事前通行規制区間	θ_8	-1.771	—	—
	t-value	2.554	—	—
交通量(平日)	θ_9	—	—	-4.89E-04
	t-value	—	—	2.003
交通量(平日)	θ_{10}	—	—	—
	t-value	—	—	—
バス路線である	θ_{11}	—	—	—
	t-value	—	—	—
迂回路がある	θ_{12}	—	—	—
	t-value	—	—	—
被災履歴	θ_{13}	1.652	2.292	—
	t-value	1.895	3.619	—
延長距離	θ_{14}	—	—	—
	t-value	—	—	—
概算費用	θ_{15}	—	—	—
	t-value	—	—	—
概算費用／延長距離	θ_{16}	5.926	0.473	—
	t-value	3.687	1.937	—
対策済的中率(%)		68.8	90.9	62.8

美濃建設事務所管内については、揖斐建設事務所管内の優先対策順位モデルと類似していることが確認できた。ただし、事前通行規制区間については、美濃建設事務所管内では5%程度と少なく、揖斐建設事務所管内では6割強が事前通行規制区間とことなっているため、美濃建設事務所管内では棄却されているものと推察される。

高山建設事務所管内については、「崩壊」や「落石」など岩盤斜面の直接的な危険度が主な要因になって

いることが確認できる。高山建設事務所管内では、岩盤斜面に面した道路が多く、同時に要対策箇所数も他管区と比べて非常に多い。また、山岳部の道路は迂回路がないことが多く、災害が発生すると陸路が完全に遮断されるケースが多々ある。「危険度が高い」⇨「被災規模が大きい」という観点から、可能な限り、危険度の高い要対策箇所を優先的に対策して、復旧に時間のかかる大規模災害を事前に防ぎ、経済損失をおさえるという社会的背景が影響しているものと推察される。平日交通量が多いほど対策の優先順位が下がる傾向が現れた。対策箇所と平日交通量の単相関でも負の相関を得ており、道路幅員などの情報を付加して考慮する必要があるが、平日交通量の多いところでは安全性が比較的高く、このような結果が得られているのではないかと考える。

これらの結果より、建設事務所ごとに管理する斜面（要対策斜面）数の違いや社会的影響度によって対策基準が異なっていることが確認された。

3.1-② 危険箇所抽出モデル（高山建設事務所管内）

前節では、建設事務所での対策の意思決定がどのような根拠で行われてきたのかを社会的要因も含めてみてきた。しかし、これは総合的に判断された結果であり、必ずしも危険度が高いところから優先されてきたとはならない。要対策斜面が多いところ、重要な道路が少ないところ、対策費用の差などさまざまな要因が含まれており、管理行政において判断されるところにある。しかし、そのベースである危険度という指標は対策判断の一部として評価しておく必要がある。その上で社会的要因や行政サイドの制約条件が含まれてくるものとする。図3-3は優先対策順位を決定していく流れである。そこで、本節ではベースとなる安定性（危険度）の評価を行うことを考え、安定性（危険度）と優先順位の判断との相関性について調べることにした。

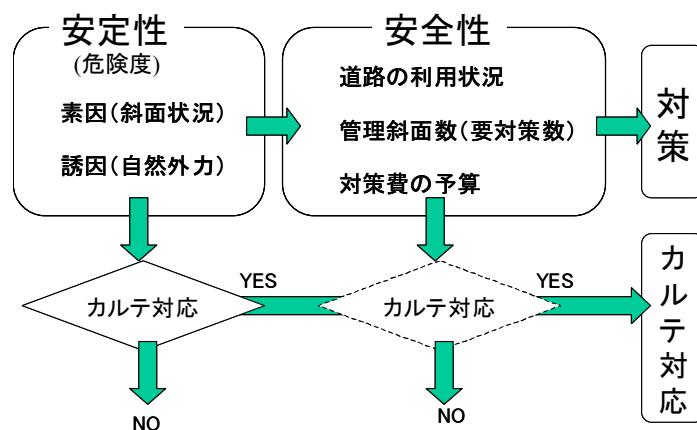


図3-3 優先対策順位決定の流れ

岐阜県における道路斜面災害危険箇所は H8 年度道路防災点検から抽出され、技術者の判断により総合評価として「要対策」、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」の3つに分けられているが、本研究では、客観的な評価を行ううえで点検データから再度ロジットモデルを構築し、危険度（Pn）を算出するモデルを構築した。道路に面する岩盤斜面には人工的に手が加えられた「のり面」と「自然斜面」の部分があるが、斜面の崩壊機構や点検項目が異なるため、両者を別に分けてモデル構築を行った。

道路危険箇所抽出には優先順位モデルを構築した高山建設事務所管内の道路防災総点検（安定度調査票）を使用し、データ数 848 箇所を用いている。統計手法を用いるためには過去の崩壊事例、非崩壊事例が必要となるが、今回は次のような対応で崩壊、非崩壊データに 848 箇所を分割した。調査票の項目に崩壊地跡とマークされているものについて崩壊斜面、そうでないところを非崩壊斜面として分析することにした。

これは崩壊地では崩壊後のデータという解釈となるが、崩壊跡地は周辺の地形状況などを取り入れて総合的に広いエリアとして判断されており、潜在的に今後崩壊する可能性があるとして判断し崩壊跡地を用いた。また、記録が無い、もしくは専門家が判断できないために崩壊地かどうか分からない箇所が存在することもあり、今回の方法をとった。本方法によって使用するデータは、848 箇所のうち、崩壊数 513、非崩壊数 335 箇所となった(表 3-3)。なお、自然斜面、のり面(人工のり面)を同じ箇所で見ているため、データ数は同じである。

表-3 危険度評価要因の説明

	要因	説明
X ₁	崖錘地形	山地の裾の部分に斜面に沿って溜まっている角レキを崖錘(talus)といい、氷結作用その他の風化作用によって崩壊堆積した地形である。1-0変数であり、崖錘地形であるところを1とし、崖錘地形でないところを0とした。
X ₂	遷急線明瞭	危険箇所遷急線の有無を表したもの。遷急線とは角度が急激に変わる面と面で構成されている線である。1-0変数であり、遷急線があるところを1とし、遷急線がないところを0とした。
X ₃	台地の裾部	表面が平坦で周囲より一段と高く、一方ないし四方を崖で縁(ふち)どられた台状の地域の裾部。ほぼ水平な地層からなる。1-0変数であり、台地の裾部があるところを1とし、台地の裾部がないところを0とした。
X ₄	脚部侵食	岩盤斜面の下肢の侵食を表したもの。1-0変数であり、脚部侵食があるところを1とし、脚部侵食がないところを0とした。
X ₅	オーバーハング	道路側に傾いている斜面の状態。1-0変数であり、オーバーハングがあるところを1とし、オーバーハングがないところを0とした。
X ₆	集水型斜面	谷地形などような水を集めるような形になっている斜面を示す。1-0変数であり、集水型斜面があるところを1とし、集水型斜面がないところを0とした。
X ₇	土石流跡地	山地の不安定な滞積土砂が、豪雨・地震などで崩落し、周囲の大転石を含んだ土砂をまき込み、渓流部を洗掘しながら流下する土石流が起こった地形を示す。1-0変数であり、土石流跡地があるところを1とし、土石流跡地がないところを0とした。
X ₈	尾根先端などの凸型斜面	尾根先端などの凸型斜面があるところを1とし、尾根先端などの凸型斜面がないところを0とした。
X ₉	浮石・転石が不安定	地山の掘削面で、自然に法面に落ちそうになっている石を浮石、基盤の岩石から離れ、流水などに押し流されたり、崖下などに転落している礫(れき)を転石。1-0変数であり、斜面の浮石・転石の状態が不安定～やや不安定なら1とし、安定なら0とした。
X ₁₀	肌落ちなど(のり面部のみ)	のり面斜面の変状で肌落ち、小落石、ガリ侵食、洗掘、パイピング孔、陥侵、はらみ出し、根曲がり、間木、亀裂、開日亀裂、その他の対策工の変状をまとめて一つとして示す。1-0変数であり、肌落ち、少落石、ガリ侵食、パイピング孔、陥侵、はらみ出し、根曲がり、間木、亀裂、開日亀裂、その他の対策工の変状があるなら1とし、肌落ち、小落石、ガリ侵食、洗掘、パイピング孔、陥侵、はらみ出し、根曲がり、間木、亀裂、開日亀裂、その他の対策工の変状がないなら0とした。
X ₁₁	落石(のり面部のみ)	隣接するのり面・斜面等の変状で落石、崩壊、亀裂、はらみ出し、その他の変状をまとめて一つとして示す。1-0変数であり、落石、崩壊、亀裂、はらみ出し、その他の変状があるなら1とし、落石、崩壊、亀裂、はらみ出し、その他の変状がないなら0とした。

表3-4に危険箇所抽出モデルの結果と図3-4に危険度要因の影響度を示す。のり面(人工斜面)と自然斜面では点検項目が異なり、肌落ち、落石はのり面部のみの要因で解析されている。のり面、自然斜面部分ではほぼ同じ要因が影響しており、そのパラメータの符号(正:外力的要因、負:抵抗力的要因)から首肯できる結果が得られている。台地の裾部や尾根先端などの凸型斜面では、すでに崩壊などによって安定した地形であることから抵抗力要因として働いたものと判断される。一方、浮石・転石や肌落ちとの要因の正の相関が高く、影響度を示す弾性値も高い(図3-4)。崩壊に関わる要因として肌落ちや浮石・転石などの変状要因の方が地形の形状よりも影響度が高いことは、防災パトロールなどの日常点検の重要性を示唆しているといえる。

表 3-4 危険箇所抽出モデル

		のり面部	自然斜面部
崩壊数		513	513
非崩壊数		335	335
ダミー変数	ζ_0	-2.541	-1.393
	t-value	6.320	6.484
崖錘地形	ζ_1	0.460	0.696
	t-value	2.744	4.327
遷急線明瞭	ζ_2	0.330	—
	t-value	1.813	—
台地の裾部	ζ_3	-1.559	-1.241
	t-value	4.627	3.746
脚部侵食	ζ_4	0.694	0.898
	t-value	2.921	3.788
オーバーハング	ζ_5	0.549	0.805
	t-value	2.490	3.681
集水型斜面	ζ_6	0.613	0.559
	t-value	3.526	3.251
土石流跡地	ζ_7	—	—
	t-value	—	—
尾根先端などの凸型斜面	ζ_8	-0.328	-0.441
	t-value	1.763	2.499
浮石・転石が不安定	ζ_9	1.232	1.385
	t-value	5.939	7.488
肌落ち	ζ_{10}	1.273	なし
	t-value	3.303	
落石	ζ_{11}	—	なし
	t-value	—	
的中率(崩壊)		81.1	75.8
的中率(非崩壊)		61.5	66.0
平均的中率		73.3	71.9

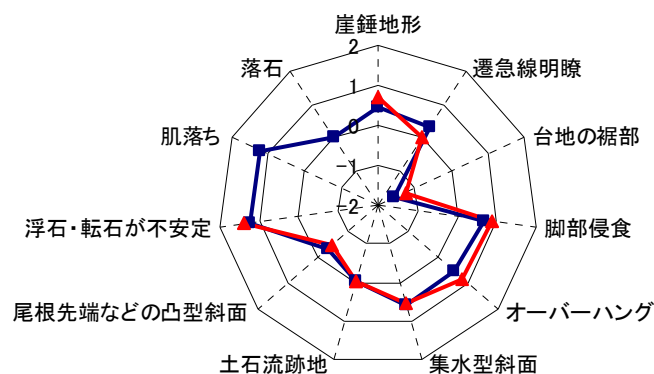


図 3-4 要因の影響度

図 3-5, 6 は、のり面、自然斜面部の構築モデルの再現結果を示す。50%を基準として崩壊、非崩壊が表現できており、的中率も 70%以上を得ている。

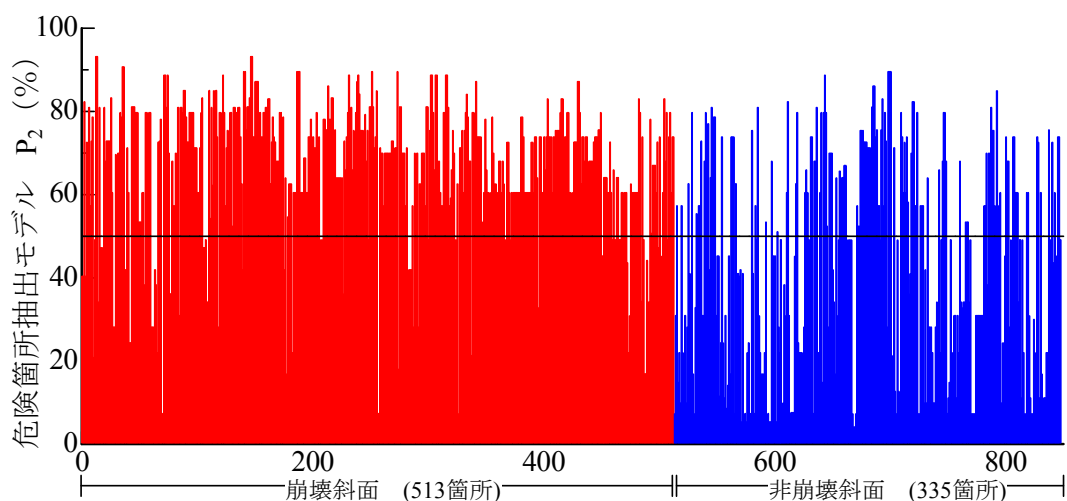


図 3-5 危険箇所抽出モデル再現（のり面部）

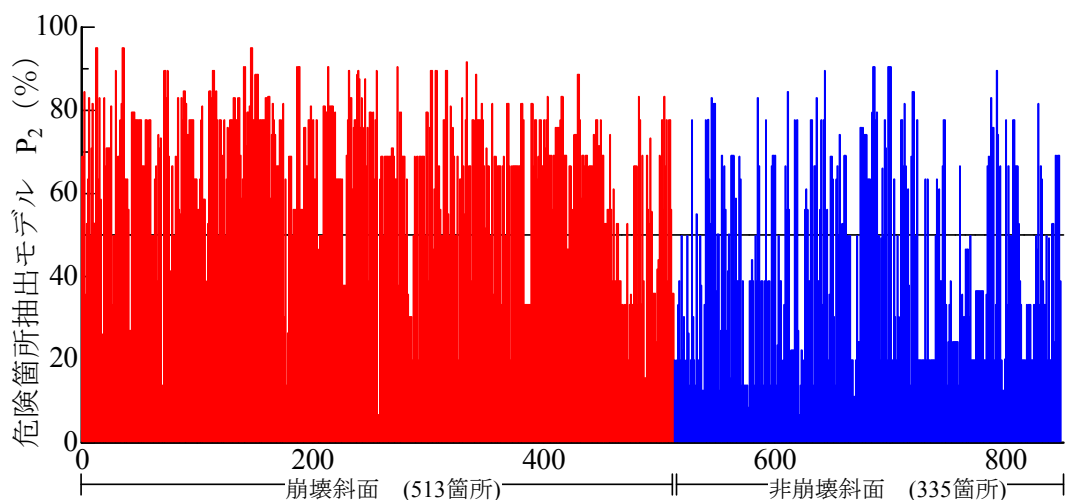


図 3-6 危険箇所抽出モデル再現（自然斜面部）

3.1-③ 優先対策順位モデルと危険箇所抽出モデル

また、図 3-7, 8 は、高山建設事務所管内の斜面についての優先対策順位モデルと危険箇所抽出モデルで算出される確率指標の比較を示している。斜面全体では両者の相関はあまりないように見えるが、対策済み箇所についてみると優先順位指標の高い中でもより危険度が高い斜面から対策されていることが推察される。また、対策済み斜面では先対策順位モデルと危険箇所抽出モデルで算出される指標は正の相関の傾向があることがわかり、高山では危険度要因を含めて対策されていることが、表 3-1 と同様と判断される。

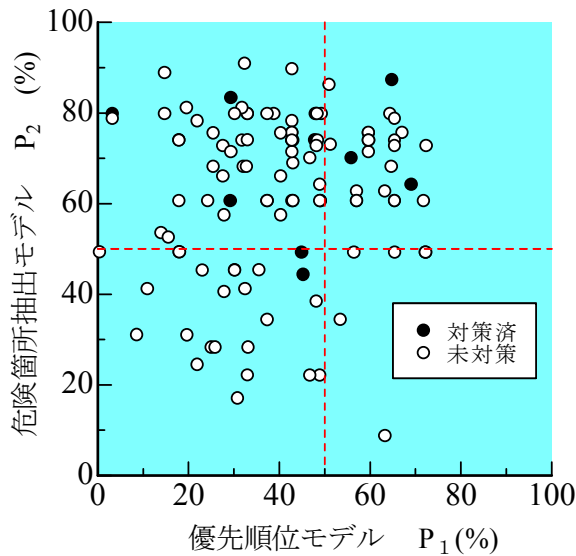


図3-7 のり面部の危険度と優先順位の指標

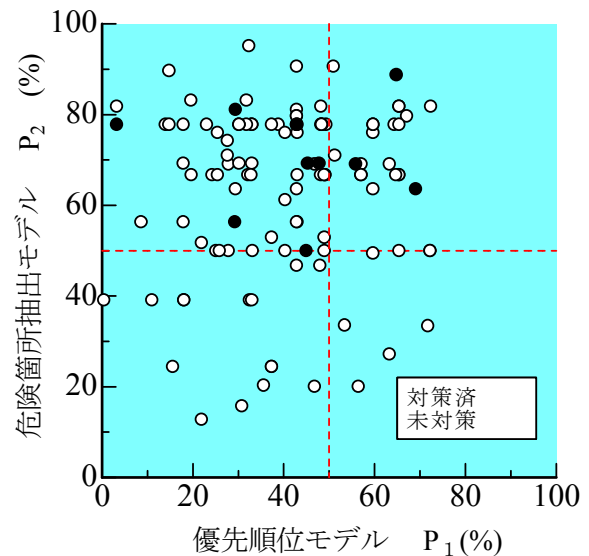


図3-8 自然斜面部の危険度と優先順位の指標

3.1-④ 危険度と総合評価

岐阜県における道路斜面災害危険箇所は H8 年度道路防災点検から抽出され、技術者の判断により総合評価として「要対策」、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」の3つに分けられているが、本研究では、客観的評価を行うため、総合評価の結果に関わらず防災点検データ全体からロジットモデルを構築し、危険度 (P_n) を算出するモデルを構築した。そこで道路に面する岩盤斜面には人工的に手が加えられた「のり面」と「自然斜面」の部分について危険箇所抽出モデルを用いて評価した結果と総合評価で「要対策」、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」の判断との相関について調べてみた。なお、ここでの危険箇所抽出モデルでは、総合評価に含まれている対策等の項目が含まれていないため、何らかの対応がとられている斜面については割愛している。図3-9、10は、点検データにおいて総合評価で示された「要対策」、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」の3つのカテゴリーごとに危険箇所抽出モデルで算出した危険度指標のヒストグラムを表したものである。「要対策」、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」の順に危険度指標が高い傾向にあるが、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」といった斜面においては危険度との明確な違いはあまりあわれていない。

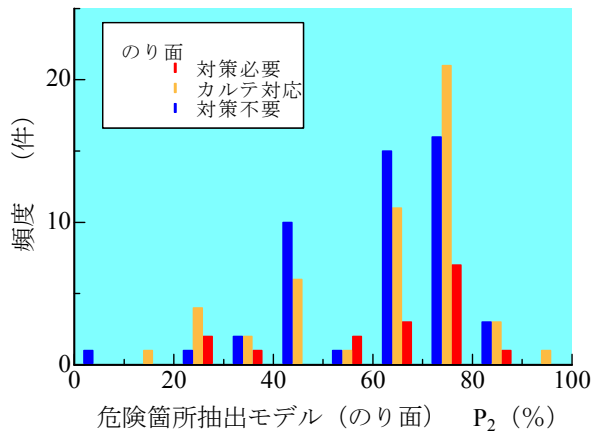


図3-9 のり面部の危険度と総合評価の関係

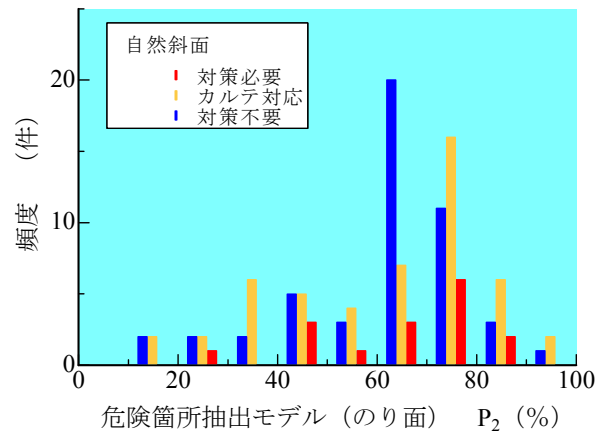


図3-10 自然斜面部の危険度と総合評価の関係

これは、高山建設事務所管内に「要対策」箇所が多く、通常危険度が高い箇所から対策を実施しているが、箇所によっては社会的背景を含めて判断されており、必ずしも危険度のみで判断されるわけではないことを示している。また、図3-11は同じく優先対策順位モデルによって算出される指標と総合評価ごとのヒストグラムである。社会的要因を含む「要対策」斜面はあまり明確に表現できていないが、「カルテ対応」、「特に対策を必要としない」斜面についてはその傾向が現れており、後者の斜面については社会的要因を含めた判断がなされている可能性が高いと考えられる。

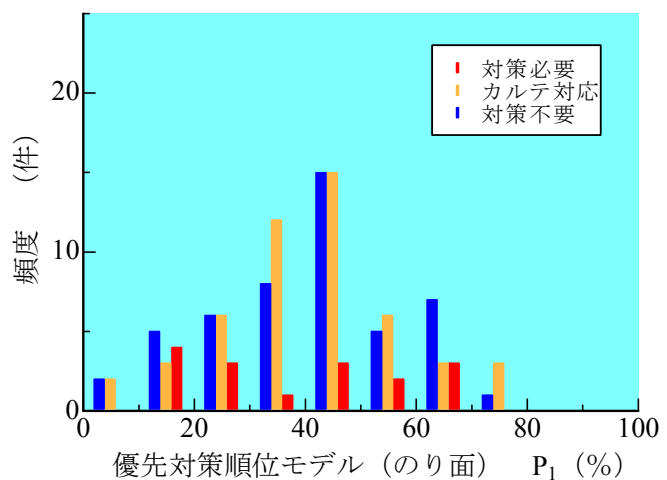


図3-11 優先対策順位モデルによる指標と総合評価

3.1-⑤ 統計解析手法のシステム化 (道路防災管理システムへの組み込み)

これまでに有効性が検証された統計解析手法をシステム化した。1章で示したように、統計解析システムは道路防災管理システム上で動作するものであり、道路防災管理システムで管理されている情報をもとに、斜面の対策必要度を判定するものである。以下では構築したシステムの詳細について説明する。

図3-12は、揖斐建設事務所管内を対象として、道路防災管理システム上で防災カルテに記載されている箇所を抽出したものである。

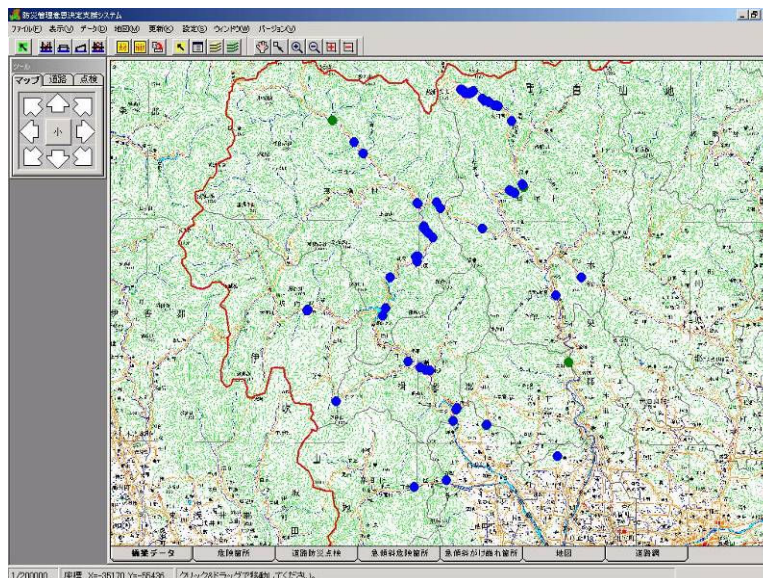


図 3-12 防災カルテ対応箇所の表示

この抽出結果に対して、統計解析システムを適用することにより、各危険斜面の対策必要度が百分率表示で出力され、地図上で解析結果を視覚的に理解することができる。たとえば、図 3-13 は対策必要度が 50% 以上のものを強調して示したものであり、図 3-14 は対策必要度を 10 段階に分けて色分け表示したものである。また、対策必要度の上位 5 位のみの表示というように、特定の条件下で表示させることも可能である。統計解析手法のシステム化、および結果の数値化（百分率表示）により、専門的な知識を用いることなく、斜面の対策必要度を算出することができる。

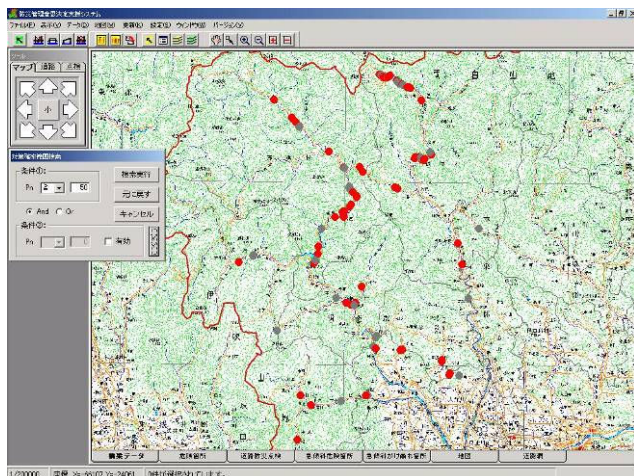


図 3-13 50%以上表示

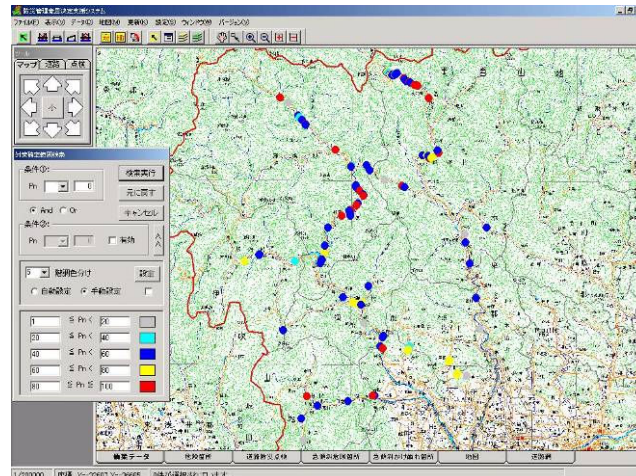


図 3-14 10段階色分け表示

3.1-⑥ キーワード検索機能

防災点検時の地質専門家による所見の中から、任意のキーワードによる文字該当検索を行う機能を追加した。「検索文字列はユーザーのキーボードによる直接入力で行う。図 3-15 に検索キーワード入力画面を示す。

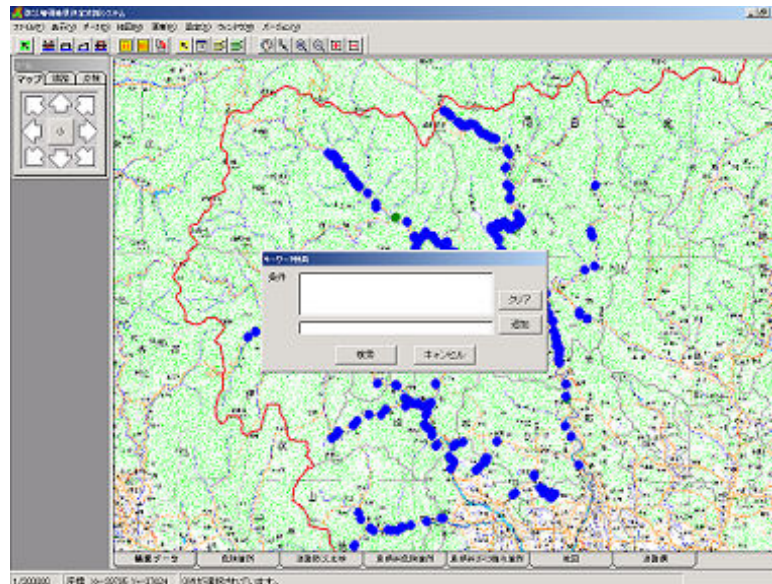


図 3-15 検索キーワード入力画面

キーワードは複数個入力が可能であり、2 個目以降は 1 個目のキーワード検索結果に対する絞込検索機能になっている。例として、「転石」と「木」をキーワードとして、検索を行った結果を図 3-16 に示す。図 3-16 に示されているように、「転石」と「木」の両方を所見に含んでいる箇所のみが表示される。

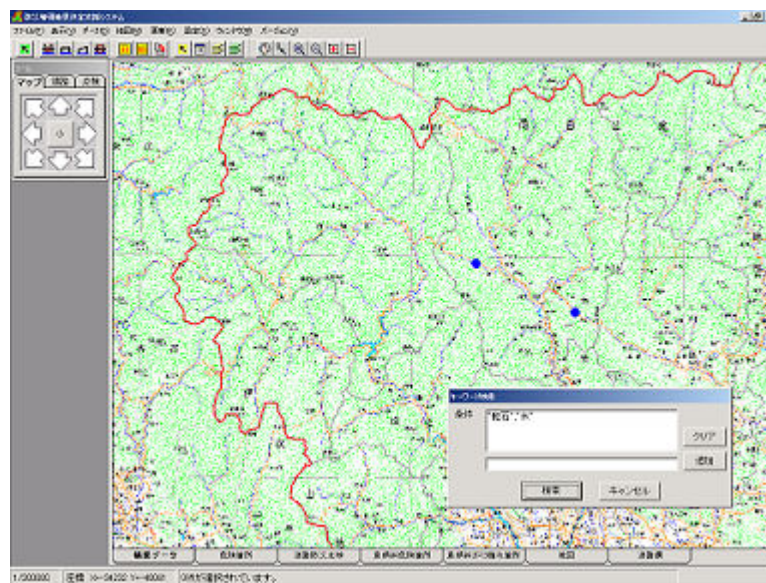


図 3-16 複数のキーワードによる検索

3.2 岩盤斜面安定度評価システムに関する本年度の成果

三次元計測システムで使用する写真解析（三次元座標算出）プログラムの見直しを行い、写真組合せや撮影条件により極端に解析可否が分かれていたシステムの解析可能許容範囲の拡大を図った。模型、構造物、実岩盤斜面での検証を繰り返し、使用できる写真組合せの割合の増加、精度の安定が確認された。また、生成した三次元モデルに写真画像（テクスチャ）を貼り付けることでよりリアルに地形を表現することが可能になった。さらに、斜面崩壊跡地・実岩盤斜面を対象として、斜面の3次元化および安定度評価を行った。

3.2-① 三次元計測システムの改良

精度に対して悪影響を及ぼす原因の一つにレンズのひずみがある。これまでレンズのひずみは写真解析計算中に算出していたが、ひずみが補正しきれていないことが検証により判明した。この問題を解決するために市販の写真解析ソフトの多くが採用しているマーカーシート撮影によるひずみの逆算取得手法を本システムでも採用した。レンズひずみは同一のカメラでも焦点距離が変わると変化するが、コンパクトカメラ等のレンズ一体型カメラではそれほどの影響は見られない。ただし、レンズ交換式カメラでは使用しているレンズの枚数が多いことなどが関係等し、ひずみの変化が大きい。そのためレンズ、焦点距離ごとのひずみ取得作業が必要になる。これにより精度は2点間距離を例にあげると約10倍向上した（次項参照）。また、三次元座標の算出はこれまで実寸を与えて計算を行っていたが内部的に単位モデルを作成し算出する手法に切り替えた（詳細は巻末資料参照）。この変更は主に計算の速度向上と成功率の向上に影響した。

3.2-② 三次元計測システムの精度の検証

前述の改良を加えた三次元計測システムを用いて、精度を検証するために、構造物を撮影し、測量を行った。写真測量の精度は写真の解像度に依存するため、解像度の異なる2種類のカメラ（320万画素、500万画素）で同条件で撮影した写真を用いて検証を行った。撮影対象とした構造物を図3-17に示す。構造物の特徴点にはターゲットを貼り付け（図3-18）、そのターゲットの3次元座標を測量した。ターゲットは構造物全体に31個設置した。ターゲット中心の正確な3次元座標を取得する為に、予め測距儀によりターゲット中心の位置座標を計測した。このとき、X軸を水平方向、Y軸を奥行き方向、Z軸を鉛直方向に設定した。この測距儀による計測結果を正解値として、システムにより出力される3次元座標との比較を行った。表3-5はシステムの実出力結果の誤差および誤差率の平均値を示している。ここで、誤差とは、測距儀による計測結果とシステムの実出力結果の差異であり、誤差率とは、撮影距離に対する3次元座標の誤差を百分率表示したものである。表3-5の結果より、写真の解像度が高いほど精度が向上することがわかる。また、平成14年度に実斜面を対象として行った精度検証では、平均誤差率が約1%程度であったことを考えると、昨年度比で誤差率が10分の1に抑制されている。本検証では平均誤差率が0.1%未満となり、斜面形状を取得するための簡易測量としては十分な精度を確保できたと思われる。



図3-17 検証に使用した構造物



図3-18 ターゲットの設置状況

表3-5 出力結果の誤差・誤差率

写真の分解能 (画素数)	誤差 (cm)			誤差率 (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
320万画素	2.2	4.4	2.7	0.09	0.18	0.11
500万画素	1.2	2.0	1.7	0.05	0.08	0.07

3.2-③ 3次元モデルのテクスチャー表示 (写真画像の貼り付け)

左右の写真のいずれかをテクスチャーとして三次元モデルに貼り付けて出力することが可能になった。三次元の形状と位置が一致した画像が表示されることで、よりリアルにわかりやすく斜面形状が把握できるようになった。以下に示すものは、模型斜面の3次元モデルについて、ワイヤーフレームによる表示と、テクスチャーを貼り付けたモデルである。

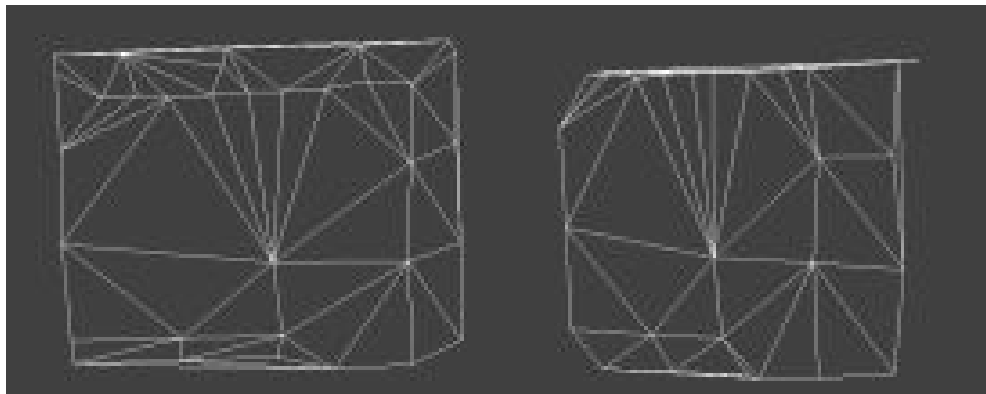


図3-19 ワイヤーフレーム表示



図3-20 テクスチャー表示

3.2-④ 自動対応機能の改良

写真測量では、写真の2次元情報を入力情報として、指定した写真上の点の三次元座標を計算することができる。そのため、自然岩盤のような複雑な形状を持つ対象物に対して写真測量技術を適用した場合、対象の表面形状を正確に表現するためには、指定する点が膨大となり、作業に要する時間が膨大となる。この問題に対して、平成14年度までに「自動対応」という機能を設けた。この機能は、一枚の写真上でメッシュ状に点を指定し、異なる写真上で同一点を自動的に検索・表示する機能である。平成14年度までに構築した機能では、斜面全体に対して一つのメッシュ領域を指定する方法を採用していた。ところが、その方法では、異なる写真間の撮影距離・撮影角度の違いによって、同一点の検索の自動化が困難なケースが確認され、そのような場合は、ユーザーが目視で確認する作業が必要であった。この問題の解決策として、図-21のように、メッシュ領域を複数指定できる仕様に改良した。これにより、自動対応機能を用いた際の、同一点検索作業の確度が向上し、ユーザーの目視による確認作業が減少し、全体として大幅な作業時間の減少を図ることができた。

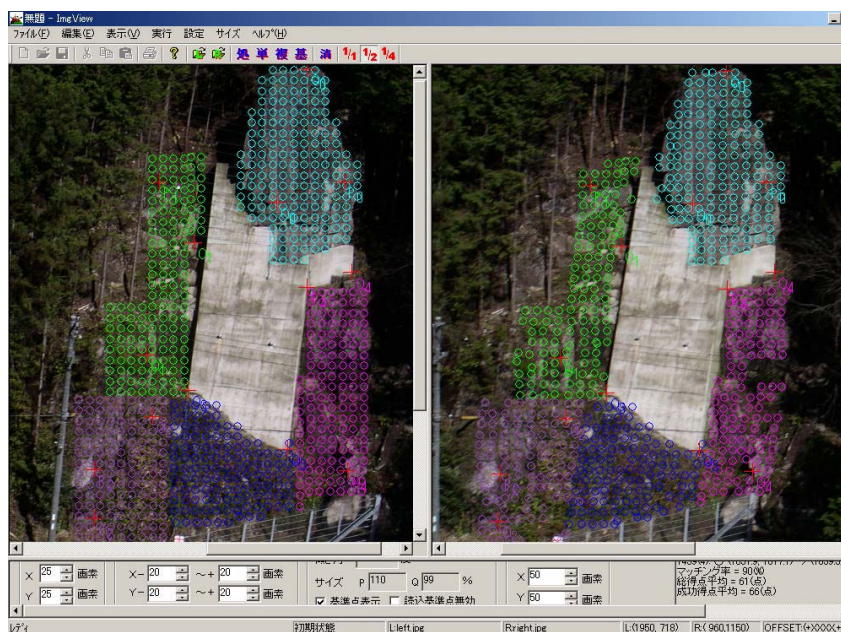


図3-21 複数のメッシュ領域を指定

3.2-⑤ 三次元計測システムの実斜面を対象とした精度の確認

平成15年8月17日に、岐阜県恵那郡申原村内で、高さ約100m、幅約70mという非常に大規模な斜面崩壊が発生した(図3-22)。図3-23, 24に本システムから出力された斜面の3次元モデルを示す。また、本システムの出力結果を光波測量結果と比較した結果を図3-25に示す。図3-25は写真3-21上に示した斜面上のA-A'断面における断面形状を示したものである。斜面中間部で光波測量と本システムから得られた結果にズレが見られる。これは、斜面中間部に倒木が堆積しており、写真測量の結果は、倒木まで含めた斜面形状を出力しているために、光波測量の結果と差異が見られたと考えられる。斜面の寸法・傾斜角等はよく表現できており、簡易的な測量としては十分な精度であると考えられる。



図3-22 斜面崩壊跡地（岐阜県恵那郡串原村）

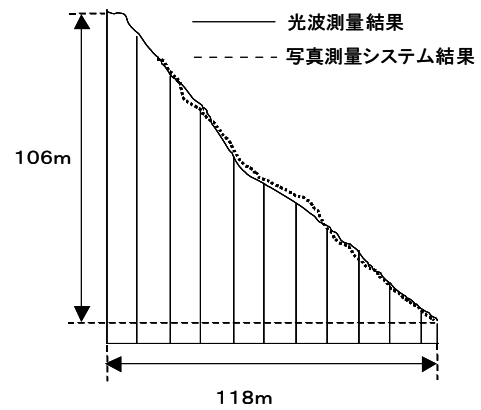


図3-24 光波測量結果との比較（A-A'断面）



図3-23 斜面表面形状 3次元モデル（正面）

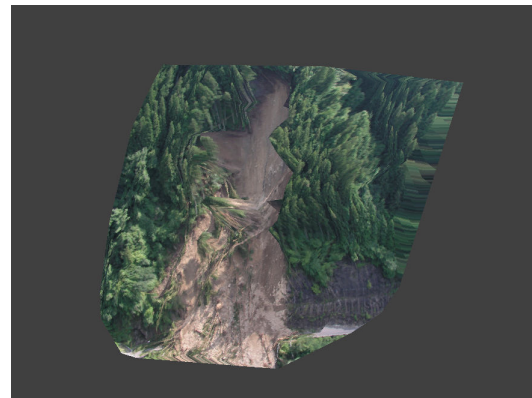


図3-25 斜面表面形状 3次元モデル（側面）

3.2-⑥ 実斜面を対象とした三次元計測システム～岩盤斜面安定度評価システムの一連の解析の実践

岐阜県加茂郡白川町内の岩盤斜面（図3-26）を対象として、写真計測および安定度評価を行った。デジタルカメラは500万画素のものを用いた。また、三次元計測システムから得られた3次元モデルを図-27、28に示す。この現場では、写真測定の精度の検証材料として、メジャーで測った2点間距離を用いた。2点間距離は7箇所計測しておいた。実測値と写真測量による結果との比較を行ったところ（表3-6）、平均誤差は約1.5cmであり、平均誤差率（撮影距離に対して2点間距離の誤差を百分率表示したものは約0.07%と非常に高い精度であることが確認された。



図3-26 岩盤斜面（岐阜県加茂郡白川町）

表3-6 2点間距離計測誤差

番号	実測	写真計測	差異	誤差率(%)
1	5.000	4.986	0.014	0.064
2	6.400	6.387	0.013	0.060
3	8.070	8.063	0.007	0.032
4	2.030	2.041	0.011	0.051
5	5.480	5.485	0.005	0.023
6	4.330	4.320	0.010	0.046
7	4.480	4.521	0.041	0.189
平均				0.066

※ 「実測」「写真計測」「差異」の単位はm



図3-27 岩盤斜面3次元モデル(正面)

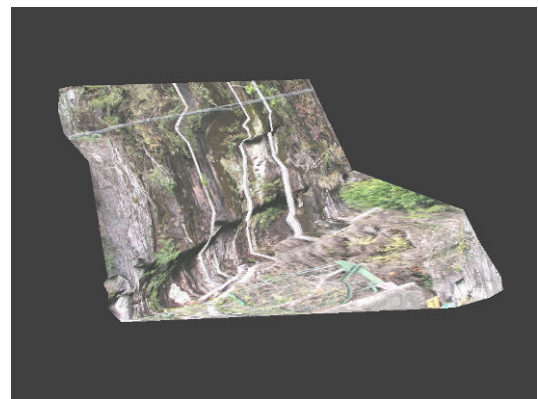


図3-28 岩盤斜面3次元モデル(側面)

続いて、安定度評価を行った。本システムでは、岩盤斜面の表面形状とき裂の位置情報により、内部の不連続面を想定し、不安定岩盤ブロックの抽出を行う。定義したき裂は全部で7箇所であり(図3-29)、これらのき裂(不連続面)で構成される全ての岩盤ブロックについて安定性評価を行った。表3-7に本システムによる評価結果を示す。▼は不安定であるという判定結果を示している。表3-7より、1-4, 2-4, 2-5, 3-5, 4-5, 4-7, のき裂の組み合わせで構成される岩盤ブロックが不安定であると評価された。また、本システムで危険であると判定された岩盤ブロックを構成するき裂(き裂番号1, 2, 3, 4, 5, 7)の3次元的位置の正確さを検証するために、3次元空間における各き裂の傾斜方向について検証した。3次元空間における平面の傾斜方向を記述する方法に、傾斜ベクトルを用いる方法がある。傾斜ベクトルとは、図3-30に示すように平面の最急傾斜方向の単位ベクトルを表し、方位角(北から東回り方向の角度) λ と傾斜角(伏角) β で記述される。つまり、方位角は、平面あるいは直線の傾斜方向を北から東回りの角度で表したものであり、傾斜角とは、平面あるいは直線と水平面の成す角度で表現される。表3-8は、本システムから得られた傾斜角・方位角について示したものである。比較のために、現場において技術者がクリノメータを用いて計測した結果を並べて示した。クリノメータによる計測は、内部の不連続面を想定して、その平均面と予想される部分の方位角と傾斜角を計測するため、完全に正解値とは限らないが、岩盤斜面の不連続面の計測には凡庸に用いられる手法であるため、今回の検証結果の比較値とした。

両者の間に大きな差異はなく、本システムから得られる結果が打倒であることが確認された。また、本システムでは、表面のき裂から定義した内部の不連続面の位置を、図3-31に示すように、視覚的に判断することができ、より正確に内部の不連続面を想定することが可能である。

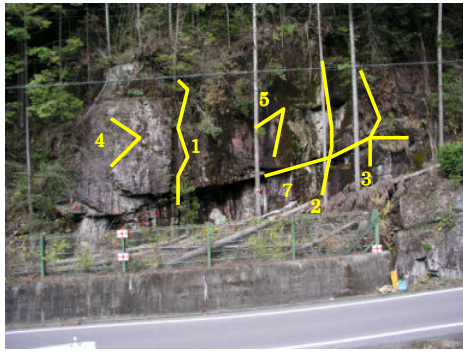


図3-29 岩盤表面のき裂の位置

表3-7 評価結果

不連続面番号	1	2	3	4	5	6	7
1				▼			
2				▼	▼		
3					▼		
4					▼		▼
5							
6							
7							

表3-8 不連続面の方位・傾斜角の比

不連続面番号	本システム		実測	
	方位角	傾斜角	方位角	傾斜角
1	192	78	226	84
2	222	74	235	85
3	225	83	250	86
4	160	76	170	80
5	168	73	182	88
7	309	17	302	10

単位：度

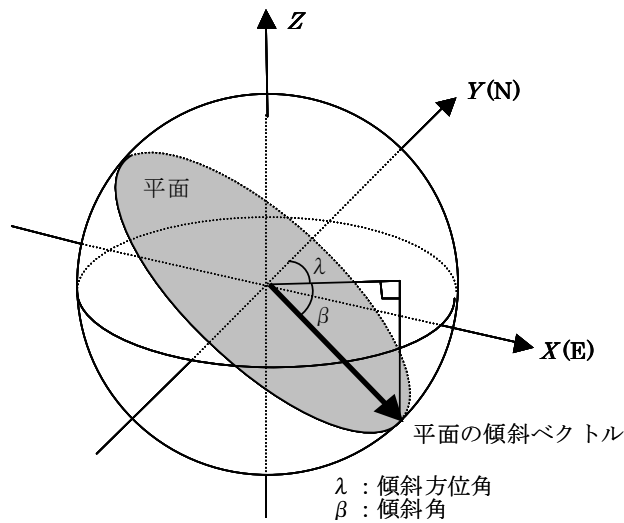


図3-30 方位角と傾斜角

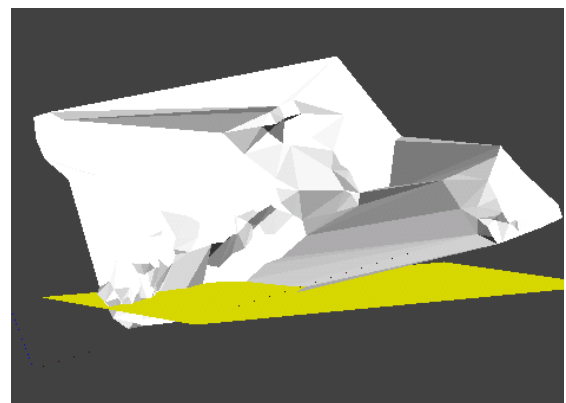


図3-31 内部不連続面の位置の視覚的確認

3.2-⑦ 3次元モデルの結合

異なる写真の組み合わせから作成した3次元モデルを結合させて、一つのモデルにする機能が課題として残されていた。これに対して、新たに、異なる写真の組から作成された2つのモデルを結合させる機能を設けた。ここでは、先に示した串原村での斜面崩壊跡地の3次元モデルを例に説明する。図3-32, 34は、斜面上部と下部のそれぞれの写真の組を示したものである。また、図3-33, 35はそれらの写真から作成された3次元モデルを示している。この2つのモデルの結合について説明する。モデルの結合には、それぞれのモデル内に含まれる3次元空間上で同一点となる点の情報を用いる。そのため、モデル同士で、重なる部分がないと結合することができない。ここで示した例では、斜面の中央部分が2つのモデルで共通部分となるため、図3-36に示す3点を結合ポイントとして、モデルを結合させた。また、図3-37は、結合作業を行う際のシステム画面を示したものである。この機能の追加により、図3-40に示すような結合モデルを取り扱うことが可能となった。



図3-32 斜面上部の写真(左写真、右写真)

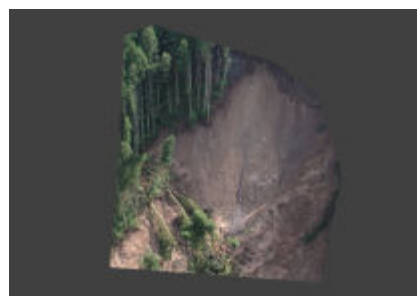


図3-33 斜面上部の3次元モデル



図3-34 斜面下部の写真(左写真、右写真)



図3-35 斜面下部の3次元モデル



図3-36 結合ポイント

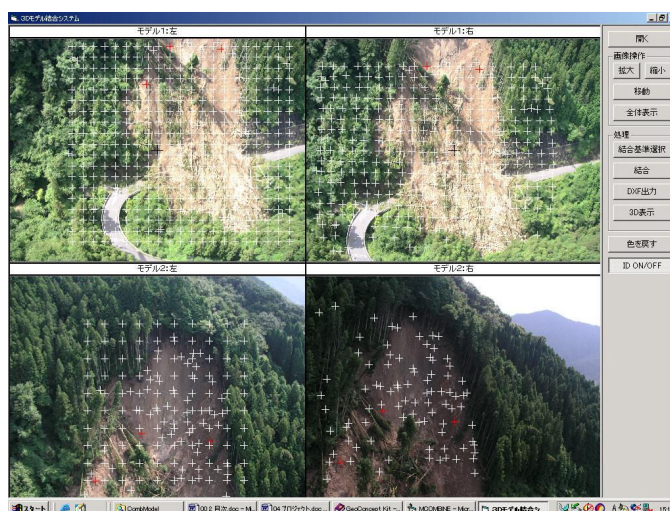


図3-37 結合システム画面

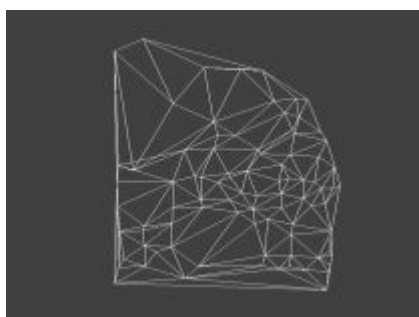


図3-38 斜面上部3次元モデル
ワイヤーフレーム表示

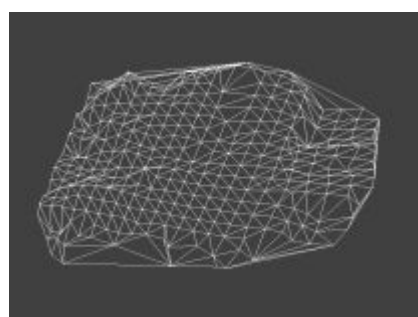


図3-39 斜面下部3次元モデル
ワイヤーフレーム表示

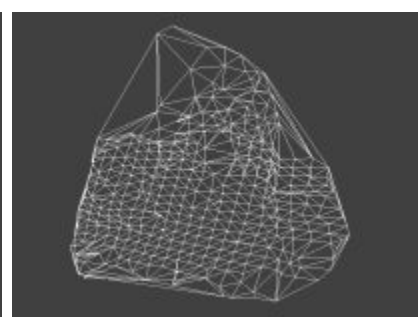


図3-40 斜面全体3次元モデル
ワイヤーフレーム表示

3.2-⑧ 岩盤斜面安定度評価システムを使用する上での注意点の整理およびマニュアルの作成

本研究では、三次元計測システムから安定度評価までの一連の作業に関する留意点をマニュアルとしてまとめた。マニュアルは、本報告書の巻末資料として示す。

4章 まとめと提案

4.1 道路防災管理システムのまとめと今後の活用法の提案

防災情報を GIS 上で地図情報とリンクさせた形で管理することにより、危険箇所間の相互関係や地域性などを確認することが可能となった。また、地形地質特性図の重ね合わせにより、紙地図では把握しづらかった異なる情報間の関係を視覚的に判断することが可能になった。さらに、統計解析システムを導入することにより、高度な技術を用いることなく、個々の斜面の対策の必要度を統計的に判断することが可能となった。道路防災管理システムの今後の活用方法として、以下の項目が挙げられる。

- ① 行政の防災対策の意思決定支援システムとしての活用
- ② 管理者のスキルアップを目的とした学習システムとしての活用

①は、本研究の目的そのものであり、構築したシステムを活用することにより、効率的な防災対策を支援することを目的としたものである。また、②に関しては、管理者が本システムを用いて、バーチャルな空間で防災対策を考えることにより、斜面防災に対するスキルアップを図ることを目的とした活用法である。

4.2 岩盤斜面安定度評価システムのまとめと今後の活用法の提案

写真解析技術と、岩盤ブロックの安定評価手法を用いることにより、デジタルカメラを使用した岩盤斜面安定度評価システムを構築した。このシステムを用いることにより現場（危険斜面）での作業は、対象斜面の写真を撮影するのみであり、迅速で安価な斜面情報の取得を実現している。また、安定度評価に必要な作業は、全てシステム画面上で行うことができ、特殊な技術を必要としない。また、本研究では、本システムを活用する上での操作手順・留意点をまとめたマニュアルを作成しているため、特に専門的な知識がなくても、使用可能となっている。岩盤斜面安定度評価システムの今後の活用方法としては、以下のような項目が挙げられる。

- ① 詳細な調査を行う前段階の予備調査手法としての活用（危険斜面の絞込み）
- ② 三次元計測システムの簡易的な測量システムとしての活用

①は、数多く分布する危険斜面に対して、限られた予算の中から安価に予備調査を行い危険度の高い斜面の絞込みを行うことを目的とした活用方法であり、本研究の中で目標とした活用方法である。②に関しては、三次元計測システムは高解像度のデジタルカメラを用いれば災害測量などの簡易的な測量の精度は十分に満たすものであり、危険な現場や迅速性を求められる場合には十分に活用出来ると思われる。

4.3 防災情報のデータベース化および一元管理の提案

防災情報をデジタル化し、一元管理することの有効性が再確認された。また、さらに、本研究の中で用いたロジット解析（統計解析手法）のように、高度な解析手法を用いる際にも、デジタルで一元管理化されたデータは有効であることが確認された。これに対して、現在では、道路防災総点検結果については統一されたフォームでデジタル化されるものの、防災カルテ情報については、統一的に管理されておらず、また、紙面上で管理されている場合が多い。道路防災総点検に比べて防災カルテの更新は密に行われるため、その情報は斜面防災を考える上で非常に有効なデータである。今後、効率的な情報の管理を進めるうえで、防災カルテ情報のデータベース化およびその一元管理は非常に有効であると考え、ここに提案する。また、これを実現するにあたり、県単位の統一された入力システムの開発が必須であると考え。さらに、岐阜県管理の道路では、建設事務所の職員による道路パトロールが、日常的に実施されている。この道路

パトロールでは、斜面からの落石や路面変状などについてチェックしており、パトロール日誌に概要が記録されている。よって、この道路パトロール日誌は、道路防災で要因を特定するために極めて有効な資料と考えられる。そのため、パトロール情報に関してもデジタル情報として一元管理・蓄積することを提案する。