

道路斜面防災統合マネジメント システムに関する研究

パシフィックコンサルタンツ(株) 関口 信康*¹
 京都大学大学院 大津 宏康*²
 パシフィックコンサルタンツ(株) 安田 亨 *³
 パシフィックコンサルタンツ(株) 伊豆隆太郎*⁴
 水文技術コンサルタント(株) 高橋 健二*⁵

By Nobuyasu. SEKIGUCHI, Hiroyasu. OHTSU, Tooru. YASUDA, Ryuutarou. IZU, Kenji. TAKAHASHI

現在の厳しい経済社会情勢の中、国を初め都道府県や政令指定都市レベルでは、社会資本の効率的・効果的な維持管理を目指すアセットマネジメントが検討・導入されている。しかしながら、規模の小さい県や市町村レベルでは、中長期的な観点からの計画であるアセットマネジメントは、早期に導入効果が見えないことからその必要性に対する認識が低く、導入が進んでいないのが現状である。一方、近年の我が国では台風、集中豪雨、地震による自然災害が多発し、尊い人命を奪うなど自然の猛威にさらされた。限られた予算の中で、明日にでも起こりうる自然災害に対し、被害を最小限に止めることの重要性が再認識されている。こうした状況の中、社会資本においてマネジメントを浸透させるためには、現在最も関心の高い防災・減災に着目し、危機管理（リスクマネジメント）と維持管理（アセットマネジメント）の両面から社会資本におけるマネジメントのあり方について検討する必要がある。このような観点から、本研究では道路斜面防災を対象に、アセットマネジメントにリスクマネジメントを融合した「道路斜面防災統合マネジメントシステム」の基本システムとしてGISをプラットフォームに構築した「斜面リスク評価システム」について提案し、実際の道路ネットワーク上の斜面に適用した場合の事例を示す。さらに、「道路斜面防災統合マネジメントシステム」について、その構築に向けた方向性を示す。

【キーワード】道路斜面リスク、GIS、道路ネットワーク

1. はじめに

国を初め都道府県や政令指定都市レベルではアセットマネジメント導入の機運が高まりつつあるものの、規模の小さい県や市町村レベルでは、中長期的な観点からの計画であるアセットマネジメントは、早期に導入効果が見えないことからその必要性に対する認識が低く、導入が進んでいないのが現状であ

る。一方、我が国では台風、集中豪雨、地震と災害が多発し、尊い人命を奪うなど自然の猛威にさらされた。限られた予算の中で、明日にでも起こりうる地震（東南海・南海や三陸沖に代表される地震災害）や集中豪雨等の自然災害に対し、被害を最小限に止めることの重要性が再認識されている。こうした状況の中、社会資本においてマネジメントを浸透させるためには、現在最も関心の高い防災・減災に

*1 大阪本社交通技術部 06-4964-2280

*2 京都大学経営管理大学院 経営管理研究部、大学院工学研究科都市社会工学専攻 教授
075-383-3260

*3 大阪本社交通技術部 部長 06-4964-2280

*4 大阪本社交通技術部 06-4964-2280

*5 取締役 043-279-2311

着目し、危機管理には日ごろの維持管理が必要不可欠であるとの理解を得ることが重要であり、危機管理（リスクマネジメント）と維持管理（アセットマネジメント）の両面から社会資本におけるマネジメントのあり方について検討する必要がある。

このような観点から、本研究は道路斜面防災という分野において、自然災害の内、発生頻度の比較的高い降雨ハザードを対象に、斜面諸元や災害資料をGIS（地理情報システム）に一元化し、斜面崩壊がいつ、どこで発生するか、経済的損失（道路斜面リスク）はどの程度かを定量的に把握し、対策の優先順位設定、斜面崩壊の危険箇所への迅速な対処など、道路斜面防災を統合的にマネジメントする手法（システム）の一つとして「斜面リスク評価システム」を提案する。この手法は、3次元地形図データからの斜面諸元（斜面高さ、平均勾配、崩壊土層厚など）の自動取得、降雨時における斜面毎の年間破壊確率の算定、迂回損失に基づく道路ネットワークのリスク評価などを行うことが可能であり、道路斜面の管理における定量的な評価手法として期待される。

また、本研究では、社会資本の管理・運営におけるLCC分析や事業優先度評価などにリスク（ Σ 破壊確率 $\times$ 損失額）の概念を導入し、意思決定において「費用と便益の不確実性」といったリスクを考慮した情報提供が可能なシステム、アセットマネジメントにリスクマネジメントを融合した「道路斜面防災統合マネジメントシステム」について、その構築に向けた方向性を示すものである。

2. 道路斜面防災の現状と課題

社会資本の管理・運営における経済社会情勢を概観すると、少子高齢化や管理する職員の減少による維持管理の人手不足、社会資本ストックの増大や施設の老朽化による維持管理費の増大、税収の低下による維持管理予算の制約など、社会資本の管理・運営をとりまく経済社会情勢は厳しい状況にある。また、国民の価値観の多様化に伴い、アカウンタビリティの確保も重要な要素となっており、客観的な評価・判断に基づく効率的・効果的な社会資本の管理・運営のあり方が問われている。

こうした状況の中、道路斜面防災の課題について見ると、「発生要因」では、自然災害の内、降雨に

よる災害が近年顕著であり、降雨ハザードへの対応や被害を最小限に止めるための降雨予測（気象学の活用）などの必要性が高まっている。斜面災害発生時の事前・事後を含めた情報提供により被害を最小限に止める「ソフト対策」面では、現在、連続降雨などに基づく通行規制が行われているが、規制基準の根拠が不明確な点もあり、斜面の降雨浸透特性（斜面内水位、水分量）を踏まえた新たな規制基準の確立や早期警戒情報の発信、避難活動の支援などが求められている。斜面对策を実施し安全性を向上させる「ハード対策」面では、現在、斜面崩壊危険度に基づく対策実施が行われているが、斜面崩壊時の迂回に伴う社会的損失の評価や通行規制の空振りリスクの評価などを踏まえた事業実施の優先度評価などが必要である。

このように、道路斜面防災においては、降雨ハザードにおけるリスクを評価した効率的・効果的な道路斜面の管理・運営が求められており、後述する「道路斜面防災統合マネジメントシステム」の構築が必要不可欠であると考ええる。

3. 「斜面リスク評価システム」について

道路斜面防災の分野において筆者ら^{1), 2), 3), 4), 5)}は、これまでに道路に隣接する斜面の補強対策を対象として、斜面崩壊により発生する損失の評価に基づく、リスク管理手法について検討を進めてきた。本研究は、これまでの筆者らの研究の知見に基づき、降雨ハザードを対象とした道路斜面の崩壊により発生する社会経済学的損失の評価に基づくリスク評価手法を用いた意思決定の支援ツールとして、斜面諸元の自動取得、降雨時における斜面毎の破壊確率の算定、迂回損失に基づく道路ネットワークのリスク評価などの解析システムをGIS上にパッケージ化した「斜面リスク評価システム」を提案するものである。

(1) 「斜面リスク評価システム」構築の留意点

道路斜面管理者が対象とする斜面は、管理路線沿いに多数存在し、道路防災点検が実施されている道路網では、点検箇所についての斜面性状資料は比較的まとまっているものの、その他大多数の斜面については、斜面範囲や勾配等の斜面諸元・基礎データが不明瞭であり、点検などによる斜面の状態把握も実施されていないのが現状である。

よって、こうした複数斜面の斜面諸元・基礎データを如何に効率的に作成し、点検や対策の実施優先度を評価する定量的な判断材料を管理者に提供できるかが、道路斜面をマネジメントする上での課題であり、「斜面リスク評価システム」構築の留意点は以下のとおりとなる。

a) 道路ネットワークを評価できるシステム構築

道路斜面は各斜面が単独で機能を果たすのではなく、道路ネットワークとして安全で快適な交通機能を果たすものである。よって、道路斜面のマネジメントにおいては、道路ネットワークとして斜面リスクを評価できるシステムを構築する必要がある。

b) 効率的に基礎データを作成可能なシステム構築

道路管理者が管理する斜面は複数存在し、斜面諸元・基礎データを作成するのに多大な時間と費用を要するため、リスク評価に用いる基礎データを効率的に作成可能なシステムを構築する必要がある。具体的には、技術者の判断を伴わない単純作業は極力自動化することが望ましい。

c) 意思決定のための情報提供が可能なシステム構築

「斜面リスク評価システム」において導かれる斜面の点検や対策における事業実施の優先度は、ある評価手法に基づく意思決定のための定量的な判断材料の一つではあるが、最終的な結論ではない。この「斜面リスク評価システム」において導き出された結果に道路斜面管理者の技術者判断を付加することで、より合理的な意思決定が可能なシステムを構築する必要がある。

また、システムに求められるこれらの性能を満足するためには、GIS をプラットフォームにシステム構築する利点として、以下の機能を十分に活用したシステムを構築する必要がある。

① レイヤー機能の活用

複数情報の属性を重ね合わせるレイヤー機能を活用し、地形図、道路網、斜面範囲、崩壊時の影響範囲、斜面リスク、航空写真、植生図、地質図などの情報を重ね合わせることで、意思決定のための定量的で多様な情報を提供可能なシステムを構築する。

② 多量なデータ処理機能の活用

3次元地形データ、複数斜面の諸元、降雨データ、道路属性データ、道路ネットワークデータなど多量なデータを処理可能なシステムを構築する。

③ ネットワーク解析機能の活用

ネットワーク解析機能を活用し、迂回路の検索や道路ネットワークとしての斜面リスク評価が可能なシステムを構築する。

④ 主題図作成機能の活用

主題図作成機能を活用し、ビジュアルでプレゼンテーション能力に優れたシステムを構築する。

(2) 「斜面リスク評価システム」の構成

本研究で提案した「斜面リスク評価システム」のシステム構成を図-1に示す。

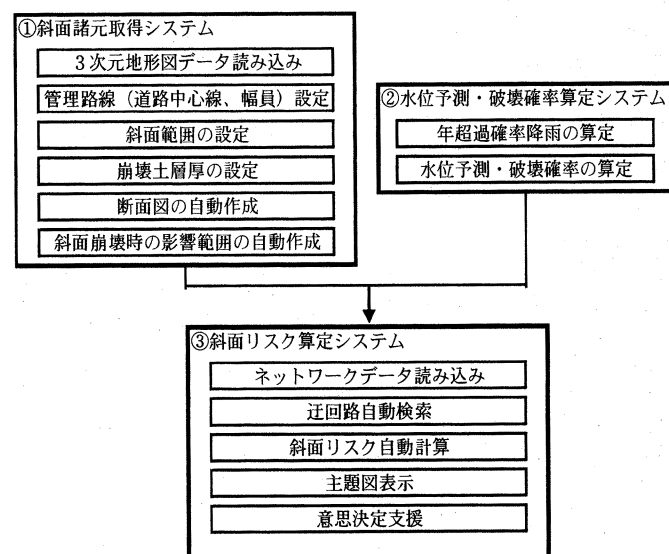


図-1 斜面リスク評価システムのシステム構成

本評価システムは、3次元地形図データから斜面の断面を自動的に作成する「斜面諸元取得システム」、降雨時の地下水位を予測して条件付き破壊確率、年間破壊確率を算定する「水位予測・破壊確率算定システム」、迂回路を自動検索して斜面リスクを自動計算する「斜面リスク算定システム」を軸としている。また、GIS でパッケージ化することによって、斜面に関連する空間情報の一元管理・解析、情報のビジュアル化、高度な情報処理を行うことが可能である。

前述した「斜面リスク評価システム」構築の留意点を中心に、各システムの概要を以下に述べる。

(3) 斜面諸元取得システム

道路防災点検が実施されている道路網では、点検箇所についての斜面性状資料は比較的まとまっているものの、その他大多数の斜面については、斜面範囲や勾配等の斜面諸元・基礎データが不明瞭であり、これらの基礎データを如何に効率的に作成するかが

課題である。

「斜面諸元取得システム」は、管理路線に隣接する斜面に対し、斜面高さ、平均勾配、崩壊土層厚などの斜面諸元を、3次元地形図データから自動的に作成することを目的としたシステムである。

まず、斜面リスクを道路ネットワークとして評価をするために、管理路線（道路中心線、幅員、始点距離標など）を設定することで、地図上に道路中心線と距離標が自動的に表示され、以降は道路測点に基づきデータを管理することになる。

次に、管理路線に面した斜面を抽出するため斜面範囲を設定する。地図上で斜面範囲を設定することで、3次元地形図データ（TIN データ）を用いて、道路測点 10m ピッチに断面図（斜面高さ、平均勾配、崩壊土層厚）を自動的に作成する（図-2、3）。

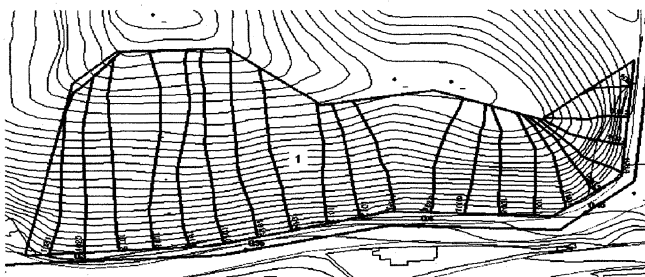


図-2 斜面抽出

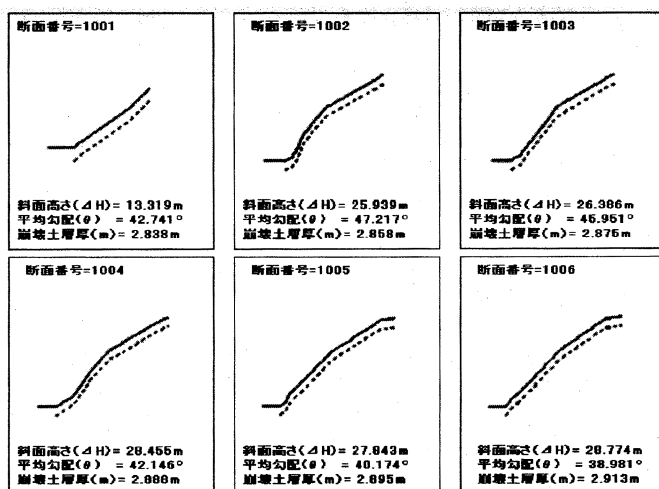


図-3 断面図作成

崩壊土層厚は、近隣のボーリングデータから数値地形モデル（TIN データ）により自動的に設定される。ボーリングデータの入力方法としては、図面上で位置を指定して入力する方法と、座標値で入力する方法を選択可能である。

また各斜面の基礎データとして、防災点検カルテ

等の斜面属性データ（防災カルテ番号、防災カルテ評価など）が管理できるシステムとしている。

断面図作成後、斜面諸元（斜面高さ、平均勾配、崩壊土層厚）や斜面属性データを比較し、斜面内で最も危険と想定され最急勾配・最大比高・最大崩壊土層厚などを有する断面を、その斜面の代表断面として抽出する。以上により抽出された断面図の諸元は、「水位予測・破壊確率算定システム」へとデータを引き継いでゆく。

なお、斜面範囲の内、降雨ハザードに伴い崩壊すると想定される範囲を設定することで、以下の算定式から崩壊時の影響範囲を自動的に図化し、住宅地図と連携して斜面崩壊時における住宅への影響を「斜面リスク算定システム」のネットワーク評価へ引き継いでゆく。

崩壊発生土量は式(1)より算定する。

崩壊発生土量 $V_0 = W_0$ (崩壊斜面幅)

$$\times L_0 \text{ (崩壊斜面長)} \times d \text{ (土層厚)} \quad (1)$$

斜面崩壊時の堆積幅は、式(2)より算定する。

$$\text{堆積幅 } W_1 = W_0 + 2W' \quad (2)$$

ここに、 W_1 は堆積幅、 W_0 は崩壊斜面幅、 W' は崩壊堆積土砂の広がり角度を 30 度として算出した崩壊発生幅である（急傾斜地崩壊危険区域の設定方法に準拠）。また、崩壊地頭部（崩壊斜面で最も高い地点）からの到達水平距離は、崩壊地頭部と道路面の比高、設定崩壊地の斜面勾配、及び平均摩擦係数より算出する。Y1（崩壊地頭部から斜面の傾斜が 30 度以上となる範囲の水平距離）、Y2（斜面の傾斜が 30 度未満となる地点からの崩壊土の到達水平距離）から算定し、Y2 は式(3)又は式(4)のうち大きい方の値を採用する⁶⁾。なお、 μ_1, μ_2, μ （平均摩擦係数）は既往の豪雨時災害事例の平均値 0.35 を採用している。

$$Y = - \frac{(\sin\theta - \mu_1 \cos\theta) \cos^2\theta \cdot H}{\{(\sin\theta - \mu_1 \cos\theta) \cos\theta - \mu_2 (1 + \sin^2\theta - \mu_1 \sin\theta \cdot \cos\theta)\} \sin\theta} \quad (3)$$

$$Y = H \left\{ \left(\frac{1}{\mu} \right) - \left(\frac{1}{\tan\theta} \right) \right\} \quad (4)$$

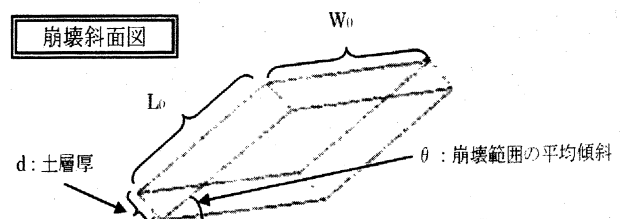


図-4 崩壊発生土量の算定

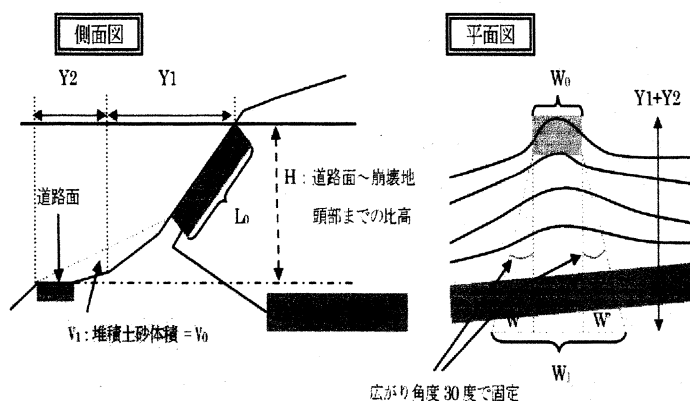


図-5 斜面崩壊時の影響範囲

(4) 水位予測・破壊確率算定システム

「水位予測・破壊確率算定システム」は、GISにより得られた斜面諸元をもとに、降雨ハザードによる斜面の年間破壊確率を算定するシステムである⁴⁾。

本システムは、気象庁の降雨観測データから年超過確率降雨を算定する「年超過確率降雨算定システム」と降雨時の地下水位を予測し、降雨時の条件付き破壊確率、年間破壊確率を求める「水位予測・破壊確率算定システム」で構成している。

「年超過確率降雨算定システム」は、基本的には気象庁における近隣の降雨観測データを用い、降雨パターンの違いによる斜面の破壊確率を確認し、最も危険な状態となる降雨パターンを判断できるように、1つの斜面に対して最大5つの降雨パターンで検討できるシステムとしている(図-6)。

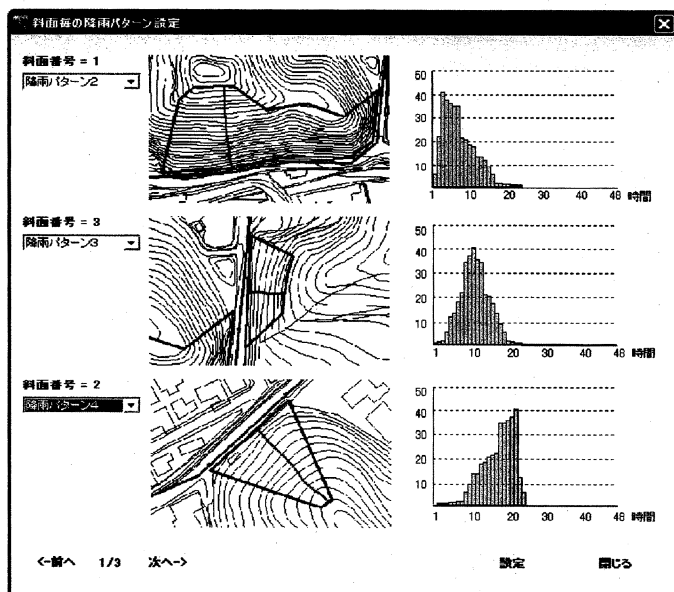


図-6 斜面毎の降雨パターン設定

また、「水位予測・破壊確率算定システム」は、3連1次元タンクモデルを用いて降雨時の斜面内地下水位を予測するシステムであり、式(5)に示す長大斜面における安定解析法を援用した性能関数を用い、強度係数($\tan \phi d, Cd$)を確率変数として、これらの変動係数(標準偏差/平均値)毎に1次近似2次モーメント法(FOSM)を用いて降雨時の破壊確率 P_f を求める方法を採用している。

$$Q = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H} \right) \cdot \frac{\tan \phi d}{\tan \alpha} + \frac{Cd}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha} - 1 \quad (5)$$

ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 γ は土の単位体積重量、 ϕd は土の内部摩擦角、 Cd は粘着力、また α は無限斜面の傾斜角、 H は崩壊土の層厚、 H_w は「水位予測・破壊確率算定システム」から求められる崩壊土中の水深である。

なお、性能関数に適用した強度係数は、現状安全率を設定した上で、逆計算にて内部摩擦角(ϕd)および粘着力(Cd)を算出し、強度係数のばらつきは、正規分布としてモデル化している。

降雨による斜面毎の年間破壊確率は、比較的頻繁に発生する小規模な降雨から極めて希にしか発生しない豪雨までを、一年間当たりにならした形で組み入れる。すなわち式(6)に示す通り想定降雨レベル毎に得られた条件付き破壊確率 $p_f(\alpha)$ に、その降雨レベルが一年間に発生する可能性を重みづけした形で合積している(図-7)。

$$P_a = \int_0^\infty p_f(\alpha) \cdot \frac{dP(\alpha)}{d\alpha} \cdot d\alpha \quad (6)$$

ここに、 $P(\alpha)$ は、降雨の発生確率、 $p_f(\alpha)$ は条件付き破壊確率、 P_a は年間破壊確率である。

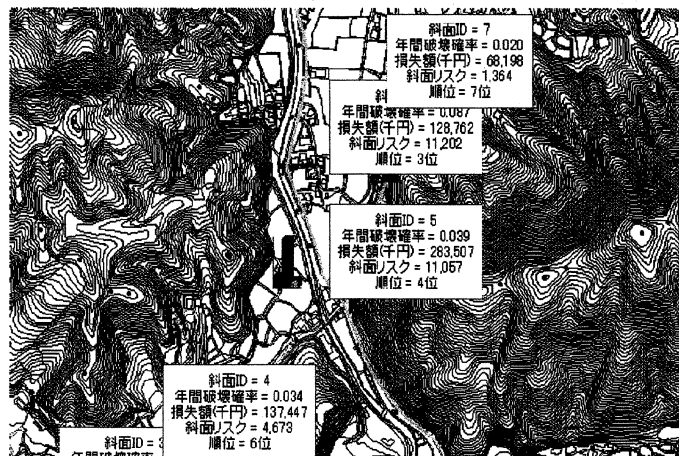


図-7 斜面毎の年間破壊確率

(5) 斜面リスク算定システム

「斜面リスク算定システム」は、「斜面諸元取得システム」，「水位予測・破壊確率算定システム」で算出された各斜面の年間破壊確率を用い，斜面が崩壊した場合の迂回路を自動検索することで，社会的損失を加味した道路ネットワークにおける斜面の年間リスクを算定するシステムである。

迂回路検索では，まずリスク算定に必要な原単位を設定する。原単位としては，後述する管理者損失，利用者損失を算定する際の人身損失，建物損失，道路復旧費などの原単位を事前に設定する。なお，各種の原単位の設定数値は，既往研究⁷⁾により示されている値を採用している。また，道路属性（旅行速度，交通量など）も事前に設定する。

迂回路検索は，GISで道路ネットワークを抽出し，各経路に対し最短時間となる迂回路を検索する。なお，検索された迂回路の延長，迂回時間等の諸元は，斜面毎の年間リスクの算定に用いる。

各斜面における年間リスクは，年間破壊確率 (Pa) と損失額 (Ci) をもとに算出する。

年間リスク Ra = 年間破壊確率 Pa × 損失額 Ci (7)

損失額は，直接的損失である管理者損失と間接的な迂回路等の利用に伴う利用者損失であり，本システムでは崩壊による被害シナリオ（崩壊土砂の到達による通行車両への被害）を仮定し，その斜面崩壊に伴う損失額を算出する（図-8）。

管理者損失 = 通行車両，搭乗者に対する損失 ($C1$)

+ 崩壊土の撤去，復旧費用 ($C2$) (8)

利用者損失 ($C3$) = 迂回損失

(時間費用 + 走行費用) (9)

損失額 (Ci) = $C1 + C2 + C3$ (10)

なお，各損失額についての具体的な算定方法は，既往研究⁸⁾により示されている方法を援用しているが，「斜面諸元取得システム」において記載した斜面崩壊時における崩壊土砂の住宅への影響（建物損失）を付加している。

以上より，各斜面の年間リスクから斜面の点検や対策における事業実施の優先度を定量的に評価することが可能となるが，本システムでは最終的な意思決定の支援として，技術者判断が可能な「意思決定」という段階を設定している。

この段階は，まず「斜面リスク算定システム」に

おいて算定された対策優先度の高い斜面を，上位3位まで絞込み，その3斜面の計算結果や断面図，平面図，航空写真，斜面諸元などを画面上に同時に表示することで，技術者の最終的なジャッジを補助する機能を設定している（図-9）。

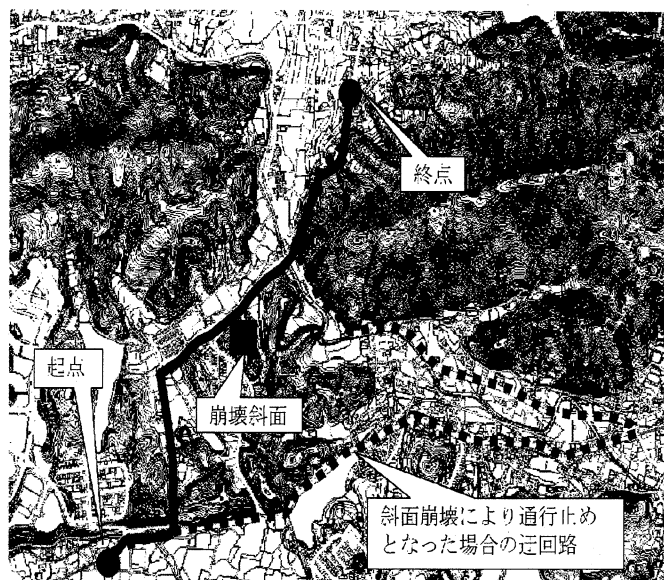


図-8 迂回路検索

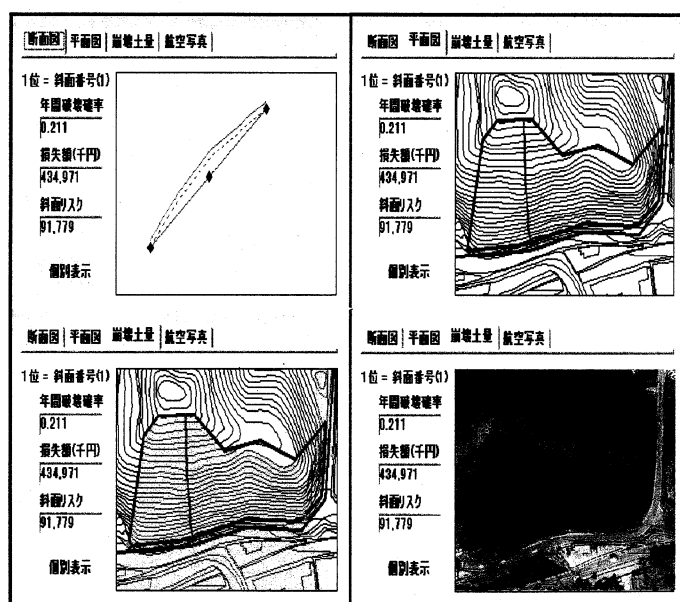


図-9 意思決定支援

4. 「斜面リスク評価システム」の解析事例

ここでは，「斜面リスク評価システム」の適用性について，実際の地形図を用いて検討を加える。ここに取り上げているリスク算定事例は，降雨パターンの違いや年間リスクの評価に用いる項目などを変動させた場合について検証している。

(1) 年間破壊確率と年間リスク

結果として得られた各斜面の年間破壊確率、損失額及び年間リスクを図-10 から図-12 に示す。

これより、斜面 No. 2 の年間破壊確率が約 0.25 で最大であり、従来の斜面崩壊危険度という観点からは、本斜面の対策優先順位が最も高いと判断される。しかしながら、迂回路検索に基づく斜面崩壊の損失額を考慮した年間リスクの観点からは、道路ネットワークにおける年間リスクが最大となる斜面 No. 1 が対策優先順位の最も高い斜面として選択されることになる。

(2) 降雨パターンと年間破壊確率

前方集中型、中央集中型及び後方集中型といった

降雨パターンの違いによる年間破壊確率の算定結果を、図-13 に示す。これより、斜面の年間破壊確率は後方集中型の降雨が最も大きくなる（危険側に働く）傾向にあることが分かる。

(3) 年間リスクへの建物損失の影響

各斜面における年間リスクの算定に建物損失の影響を考慮した場合の算定結果を図-12 に、無視した場合の算定結果を図-14 に示す。これより、建物損失の影響を考慮した場合と無視した場合において、斜面 No. 2 から斜面 No. 6 の間で年間リスクの順位が変動しており、道路ネットワークにおける年間リスクを評価する場合、建物損失が少なからず影響すること分かる。

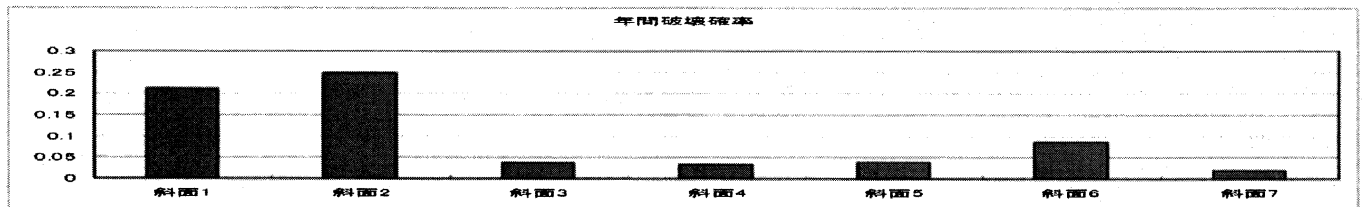


図-10 年間破壊確率

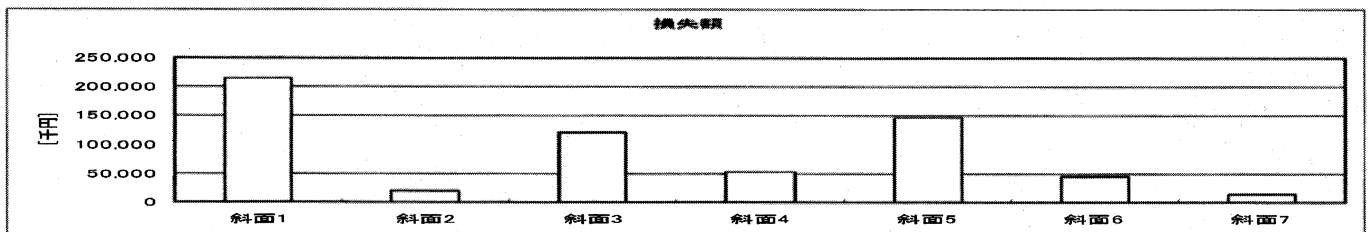


図-11 損失額

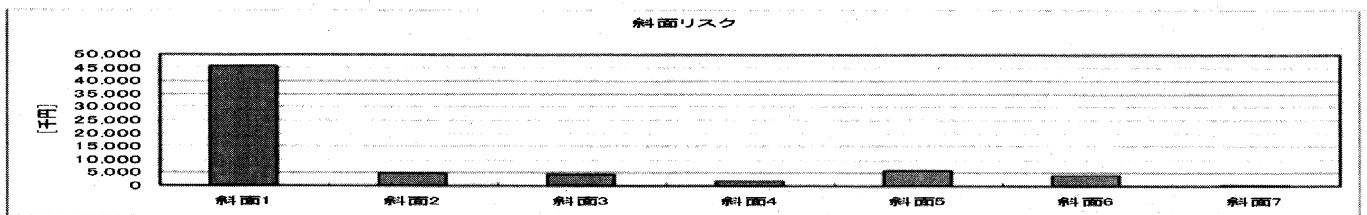


図-12 年間リスク(住宅地への影響を考慮)

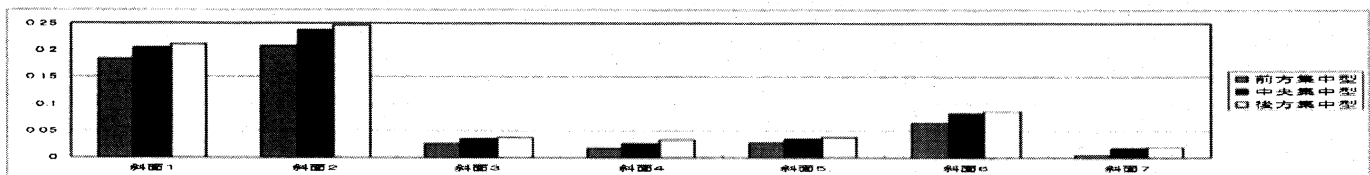


図-13 降雨パターンと年間破壊確率

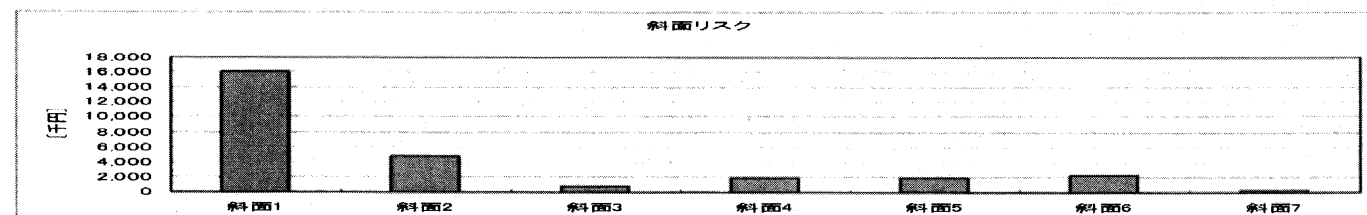


図-14 年間リスク(住宅地への影響を無視)

5. 道路斜面防災マネジメントの方向性

(1) 道路斜面防災を支える要素技術

道路斜面防災を支える要素技術としては、斜面安定評価・予測技術（安定解析モデル、ハザードモデル、斜面内水位・水分量予測モデル、対策工劣化予測モデル、逆解析システム、破壊確率算定など）、マネジメント技術（管理目標設定・危険度評価、リスク分析・損失評価、LCC算定、事業優先度評価、情報公開・アカウンタビリティ、交通規制管理など）、空間情報処理システム技術（情報がデジタル化された電子地図 DM（デジタルマップ）の取得と地形解析、斜面モデル情報の取得、GISシステムなど）、モニタリング技術（斜面内水位・水分量モニタリング技術など）等があげられる。

これらの要素技術の組み合わせから、GISをプラットフォームに、「道路斜面防災のマネジメント」における意思決定の情報提供手法（ツール）を抽出した結果を表－1に示す。例えば、前述した「斜面リスク評価システム」に交通規制管理やモニタリング

技術を付加することで、「リアルタイム交通規制管理システム」が構築される。

(2) 道路斜面防災統合マネジメントシステムの方向性

前述した要素技術の組み合わせにマネジメント・レベルを加味したマネジメントシステムの方向性を図－15に示す。マネジメント・レベルの初期段階として、3次元地形図データからの斜面諸元の自動取得、降雨時における斜面毎の年間破壊確率の算定、迂回損失に基づく道路ネットワークのリスク評価などを行う「斜面リスク評価システム」から、中長期的な視点に立って対策工の劣化予測を踏まえたLCC算定に基づき事業実施優先度評価を行う統合的なマネジメントシステムである「アセットマネジメント支援システム」まで、各管理者の置かれている状況や抱えている課題、自治体の規模（予算規模）等、それぞれの道路斜面管理者のニーズに柔軟な対応が出来る情報提供手法（ツール）を整備することが重要となる。

表－1 要素技術と情報提供手法(ツール)

要素技術			情報提供手法（ツール）				
			斜面リスク評価システム	早期警戒システム	避難支援システム	リアルタイム交通規制管理システム	道路斜面のアセットマネジメント支援システム
斜面安定評価・予測	①安定解析モデル構築	・2次元断面モデル	○	○	○	○	○
	②ハザードモデル	・ガンベル法による降雨解析 ・気象学（ドップラーレーダ）	○	○	○	○	○
	③斜面内水位・水分量予測モデル	・地下水位予測モデル ・地下水分量予測モデル	○	○	○	○	○
	④対策工劣化予測モデル構築	・構造物の性能低下予測 ・点検、補修間隔の考慮					○
	⑤逆解析システム	・カルマンフィルター ・ニューラルネットワーク				○	○
	⑥破壊確率算定	・条件付き破壊確率 ・年間破壊確率	○	○	○	○	○
マネジメント	⑦管理目標設定・危険度評価	・斜面の管理目標設定 ・斜面の危険度評価	○	○	○	○	○
	⑧リスク分析・損失評価	・破壊確率×損失額 ・対策工の性能、便益低下	○				○
	⑨LCC算定	・対策工の劣化 ・利用者損失 ・規制の空振リスク					○
	⑩事業優先度評価	・予算投資優先順位 ・意思決定手法					○
	⑪情報公開・アカウンタビリティ	・避難支援			○		○
	⑫交通規制管理	・交通規制、解除時期				○	○
空間情報処理システム	⑬DMの取得と地形解析	・傾斜、高さ等の地形解析	○	○	○	○	○
	⑭斜面モデル情報の取得	・想定崩壊土層の厚さ情報 ・地下水位の情報	○	○	○	○	○
	⑮GISシステム	・空間解析機能 ・表示機能 ・外部データベースとの連携 ・機能のパッケージ化	○	○	○	○	○
モニタリング	⑯斜面内水位・水分量モニタリング技術	・降雨時の斜面内水位 ・水分量モニタリング				○	○

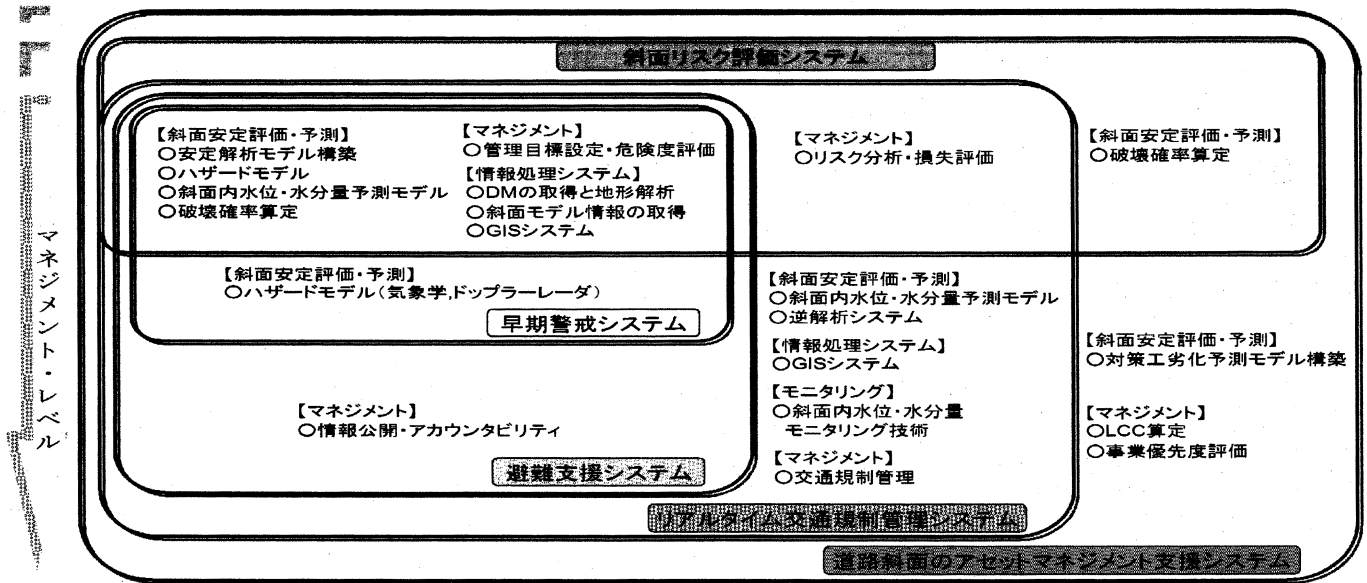


図-15 道路斜面防災統合マネジメントシステム展開の方向性

(3) 道路斜面防災統合マネジメントのシステム内容

「道路斜面防災統合マネジメントシステム」における各情報提供手法（ツール）の概要を以下に示す。

a) 斜面リスク評価システム

「斜面リスク評価システム」は、前述したとおり「道路斜面防災統合マネジメントシステム」の基本システムである。

b) 早期警戒システム

「早期警戒システム」は、気象庁発表の予測降雨量に基づき、数時間先の斜面の破壊確率を評価し、早期警戒を支援するシステムである。

c) 避難支援システム

「避難支援システム」は、現在通行規制が発生している区間情報と予測降雨量における危険度が高い斜面を迂回する避難路を検索し、ビジュアルに表示することで避難を支援するシステムである。

d) リアルタイム交通規制管理システム

「リアルタイム交通規制管理システム」は、斜面内水位・水分量のモニタリング調査でリアルタイムにデータ取得することで、斜面の安全性を評価し、交通規制管理を支援するシステムである。

e) 道路斜面のアセットマネジメント支援システム

「道路斜面のアセットマネジメント支援システム」は、道路斜面防災に関する全ての機能を用い、対策工の性能低下を考慮することで、事業実施優先度を総合的に評価するシステムである。

6. まとめ

本研究では、道路斜面防災という分野を対象に、アセットマネジメントにリスクマネジメントを融合した「道路斜面防災統合マネジメントシステム」の基本システムとなる「斜面リスク評価システム」について、事例を用いて報告するとともに、「道路斜面防災統合マネジメントシステム」構築の方向性を示した。「斜面リスク評価システム」の特徴は以下の通りである。

- ① GISのネットワーク解析機能を活用し、迂回路検索及び斜面の年間リスクを容易に検討できるシステムであり、社会的損失を加味した道路ネットワークにおける斜面リスクを評価することが可能である。
- ② 三次元の地形データをGIS上で用いる事により、これまで最も時間と費用を掛けて作成していた斜面諸元などの基礎データを効率的に作成可能なシステムである。
- ③ 道路防災点検結果等の基礎データや道路ネットワークにおける斜面リスクの算定結果などをGIS上で一元管理しており、「斜面リスク評価システム」において導き出された結果に道路斜面管理者の技術者判断を付加することで、より合理的な意思決定が可能なシステムである。

なお本論においては、「斜面リスク評価システム」を用いて、道路斜面管理者が対象とする複数斜面の道路ネットワーク上のリスクを効率的に算定し、

重点的な点検や対策の事業実施の優先度を評価する手法としての適用性について報告した。

しかしながら、「斜面リスク評価システム」の活用方法として、斜面の危険性が既に把握されている個別斜面に対して、モニタリング技術との連携により、危険性の進行具合を予測する精度を向上させることにも活用可能であると考えられる。

今後は、本論の後半に論じた「道路斜面防災統合マネジメントシステム」構築の方向性を踏まえ、道路斜面防災の統括的な管理・運営の実現に向け、「道路斜面のアセットマネジメント支援システム」までシステムを拡張・開発していく所存である。

【参考文献】

- 1) 大津宏康, 大西有三, 水谷守: 高速道路に近接する斜面を対象とした自然災害に対するリスクマネジメント手法に関する提案, 土木学会論文報告集, 土木学会論文集, No. 658/VI-48, pp. 245-254, 2000
- 2) 大津宏康, 大西有三, 水谷守, 伊藤正純: 地震に伴う災害リスク評価に基づく斜面補強の戦略的立案方法に関する一提案, 土木学会論文集, No. 679/VI-51, pp. 123-134, 2001
- 3) 大津宏康, 大西有三, 西山哲, 竹山雄一郎: 岩盤崩落による社会経済的損失を考慮したリスク評価に関する研究, 土木学会論文集, No. 707/VI-55, pp. 207-218, 2002
- 4) 高橋健二, 大津宏康, 大西有三: タンクモデル法を用いた地下水位挙動を考慮した斜面リスク評価の研究, 土と基礎, No. 51-10, pp. 15-17, 2003
- 5) 東郷智, 大津宏康, 大西有三, 伊豆隆太郎, 安田亨, 高橋健二: GISを用いた戦略的斜面アセットマネジメント手法の研究, 建設マネジメント研究論文集, Vol. 11, pp. 141-148, 2004
- 6) 新・斜面崩壊防止工事の設計と実例—急傾斜地崩壊防止工事技術指針—〔参考編〕, 社団法人全国治水砂防協会, 1996
- 7) 斜面防災研究委員会, 斜面安定評価における劣化概念の導入, (社)建設コンサルタント協会近畿支部, 2006
- 8) 道路投資の評価に関する研究委員会, 道路投資の評価に関する指針(案), 日本総合研究所, 1998

STUDY ON ROAD SLOPE DISASTER PREVENTION INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM

By Nobuyasu SEKIGUCHI, Hiroyasu OHTSU, Tooru YASUDA, Ryuutarou IZU, Kenji TAKAHASHI

In order to promote infrastructure management that takes into consideration the challenging social and economic conditions and the occurrence of many natural disasters in recent years, it is necessary to define what infrastructure management should be like from the viewpoints of both risk management and asset management. From these viewpoints, this paper proposes a GIS-based slope risk evaluation system implemented as part of the road slope disaster prevention integrated management system, and shows an example of a system applied to the evaluation of road slopes in a real road network. The slope risk evaluation system is a GIS-based package of analysis systems for a number of tasks including the automatic acquisition of slope data from three-dimensional topographic data, the calculation of the annual probability of rain-induced failure of each slope, and road network risk evaluation based on detour loss. The slope risk evaluation system is a promising tool for assisting in decision making that uses the risk evaluation technique for road slope disaster prevention. This study aims to define the direction of a road slope disaster prevention integrated management system that combines asset management and risk management.