

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

パシフィックコンサルタンツ(株) 東郷 智 *1

京都大学 大津 宏康*2

京都大学大学院 大西 有三*3

パシフィックコンサルタンツ(株) 伊豆隆太郎*1

パシフィックコンサルタンツ(株) 安田 亨 *1

水文技術コンサルタント(株) 高橋 健二*4

By Satoshi TOGO, Hiroyasu OHTSU, Yuzo OHNISHI, Ryutaro IZU
Toru YASUDA, Kenji TAKAHASHI

昨今、土木構造物の維持補修問題に対して、従来の技術論に基づく検討に加えて戦略的に維持補修予算投資を決定するというアセットマネジメントという概念が注目されるようになってきた。アセットマネジメント技術を実際問題に適用するには、性能規定、ハザードの到来に対する将来状態の予測手法、適切なタイミングで補修する意思決定手法の確立が必要である。このような観点から、本研究では戦略的マネジメントにおけるシミュレーションの手法としてGISシステムを取り上げ、斜面のリスク評価手法への適用性について論じた。本システムは、GISのデータベース機能・空間解析機能により斜面情報を一元管理し、サブシステムによりリスク評価を行うものであり、道路ネットワークにおける迂回損失を容易に検討できる特徴を有する。また、本手法を道路網に隣接する斜面に適用し、道路ネットワークを考慮した路線のリスク評価結果に基づく、斜面補強の優先順位付けの事例についても示すものである。

【キーワード】：リスク、GIS、道路ネットワーク、斜面

1. はじめに

わが国は、国土が急峻かつ複雑な地形をなすとともに、脆弱な地質であるため、梅雨時期や台風等の集中豪雨により多数の斜面崩壊が発生し、時として人命・財産を奪い、交通を遮断し、地域住民の生活に多大な影響を与えてきた。いうまでもなく、斜面は一度破壊すると重大な被害を引き起こすため、斜面破壊は道路防災上の重点対策項目であり、国土交通省では国道を対象とし、概ね5年一度、道路斜面の危険度評価として道路防災総点検が行なわれ、防災という観点から道路斜面の維持管理が検討されている。もちろん、この防災という観点からの議論は今後とも必要であるが、現在の厳しい社会情勢におけ

る維持・補修・更新の最適化という課題に対処するためには、近年注目を集めつつあるアセットマネジメントと呼ばれる観点からの検討が必要となる。

このアセットマネジメントに要求されるシステム構成を想定すると、図-1に示すように資産会計マネジメント、構造物（資産）マネジメント、点検・修繕からなるサブシステムを構築し、それらを有効に結合・運用することが基本概念であると考えられる。この3つのサブシステムを運用主体および運用期間という観点から整理すると、点検・修繕は現場を管理する技術者が緊急性の高い維持管理をおこなう段階であり、構造物マネジメントは予算執行者が5～10年程度の中期的将来の予算投資を戦略的に立案する段階であり、資産会計マネジメントはさらに上位者の長期的段階というように区分される。本論文では

*1 大阪本社 06-4964-2201

*2 国際融合創造センター 教授 075-753-3680

*3 工学研究科都市環境工学専攻 教授 075-753-5128

*4 取締役 043-279-2311

これらのうち戦略レベルである構造物マネジメントに焦点を当てている。この構造物マネジメントに関する基本的な検討事項は、以下のように要約されるであろう。

- ①構造物の現在状態規定
- ②構造物の劣化および、自然ハザード（地震・降雨等）の到来に対する将来状態予測
- ③①および②に基づく費用対効果を考慮した最適な維持補修計画の立案

道路斜面において①は道路防災点検に代表され、②・③の検討手法として、リスク管理が挙げられる。

著者ら^{1)・2)・3)・4)}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、斜面破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、これまでの著者らの研究の知見に基づき、自然災害のハザード要因として、降雨を対象とした斜面破壊により発生する社会経済的損失の評価に基づくリスク評価手法および補強対策の戦略的な意思決定の支援ツールとして GIS の活用について提案するものである。

GIS は、導入の目的として以下の4点が挙げられ、本研究では、①～③の手法を示すとともに、④におけるリスク評価の事例を示すものである。

- ① アセットマネジメントを行なう上での基礎資料となる地形・地盤情報の一元管理
- ② GIS 上へのリスク評価システムの統合
- ③ 空間分析機能による迂回路の探索
- ④ 戦略的シミュレーションによる維持管理の最適化

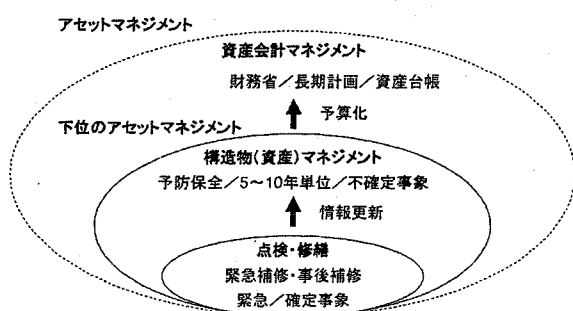


図-1 アセットマネジメントの段階的構成要素

2. リスク評価への GIS の導入方法

本研究で提案した斜面リスク評価システムを図-2

に示す。本評価システムは、定期的実施される道路防災点検結果を基に降雨時の地下水位を予測する斜面内水位予測システムと、この予測結果を基に降雨時の条件付き破壊確率を求める斜面破壊確率算定システムを軸としている。今回上記システムに GIS を導入することによって、空間情報の管理・解析、情報の視覚化、高度な情報処理を行うことが可能である。

本システムは、大きく3つのシステムに区分される。①GISによる三次元データ⁵⁾からの斜面諸元取得システム、②斜面の年間破壊確率算定システム、③GISによる道路ネットワークのリスク評価システムである。ここでは、上記のGISに関する①及び③のシステムについて概要を示す。

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、点検箇所が隣接していない斜面においては一連の斜面範囲や勾配等も不明瞭である。このような場合において、三次元データより一連の斜面範囲を抽出し、断面図の作成、崩壊土層の厚さの設定等を行うのが、「GISによる三次元データからの斜面諸元取得システム」である。

また、各斜面において年間破壊確率を算定した後、検討地点間における走行経路を探索するとともに、複数想定される経路毎の年間リスク算定を行うものが、「GISによる道路ネットワークのリスク評価システム」である。

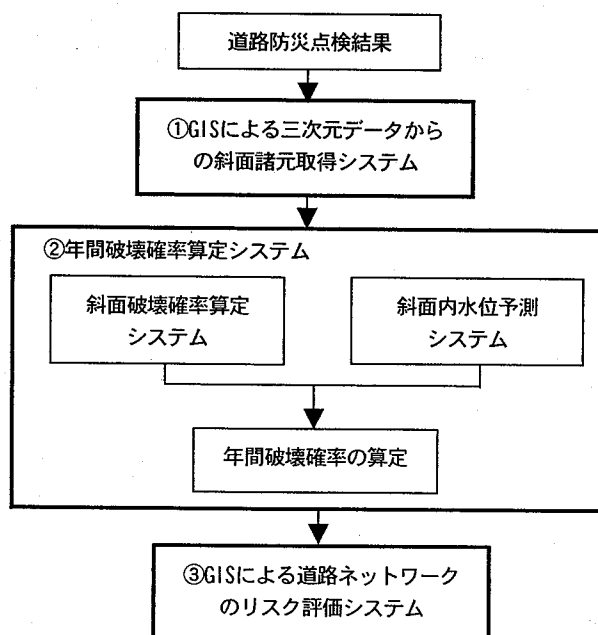


図-2 本研究における斜面リスク評価システム

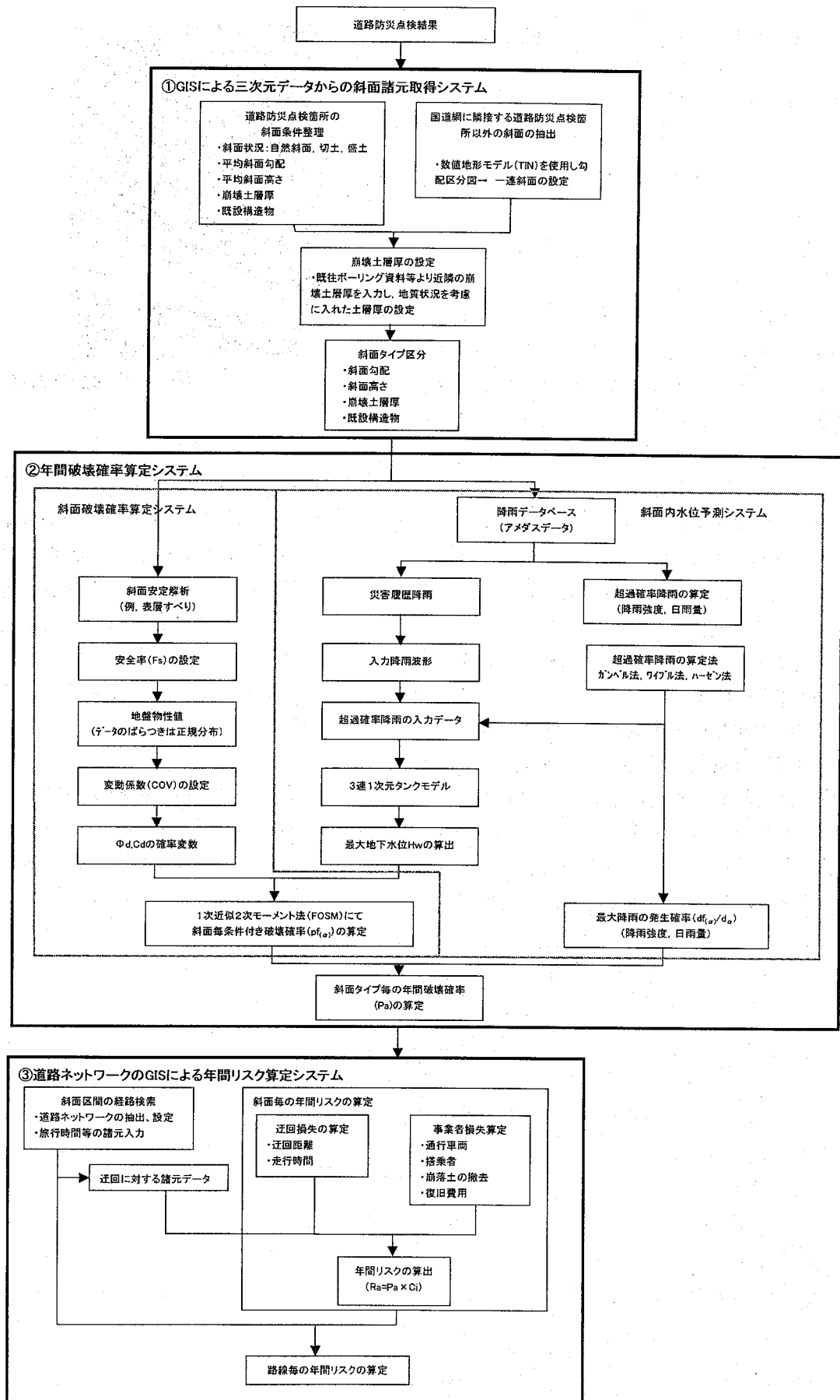


図-3 GISによる斜面リスク評価システム

3. GISを活用したリスク評価システム

本システムの構成を図-3に示す。以下では、各システムについて説明する。

(1) GISによる三次元データからの斜面諸元取得システム

GISによる三次元データからの斜面諸元取得システムは、道路網に隣接する斜面に対し、一連の斜面範囲の抽出、斜面勾配、高さ等の斜面諸元を地形図から取得することを目的としたシステムである。

まず、道路網に面した斜面を抽出するため、三次元地形図データからGISの地形解析機能により、斜面勾配・高さ・向きが連続している範囲を一連した斜面として自動抽出し、その結果をTIN (Triangulated Irregular Network の略。地表面を三角形にて三次元的に表現したモデル) を利用した勾配区分図 (TINを勾配毎に着色した平面図) をもとに補正をおこなう。

斜面範囲が設定された後、GISの地形解析機能により一連斜面内で最も標高が高い位置から、最急勾配方向に断面を自動生成する (図-5)。

断面図作成後、斜面形態 (自然斜面、切土、盛土)、地質、平均勾配、平均斜面高さの諸元をもとに一連斜面毎のデータベースを作成し、平均斜面勾配、斜面形態および地質データの組み合わせより斜面タイプの条件を設定する。本条件をもとに各斜面のタイプ

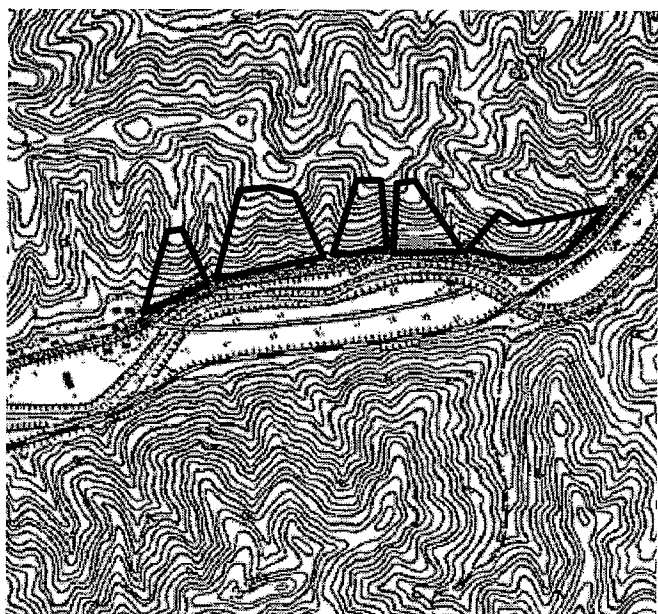


図-4 一連斜面抽出イメージ

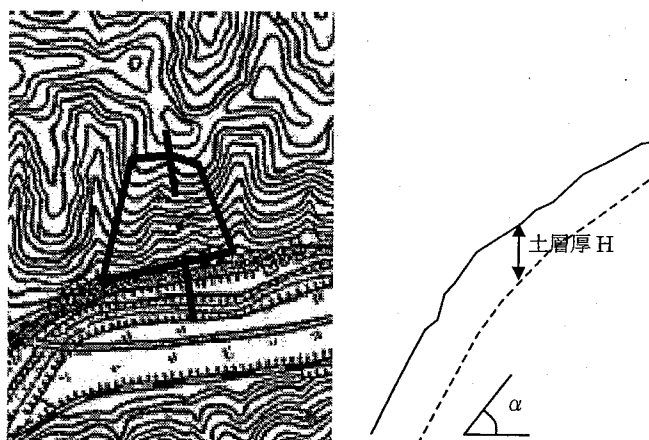


図-5 断面図作成イメージ

を自動分類する。

次に各斜面の崩壊土層厚を決定する。崩壊土層厚図は、近隣にボーリング等の調査結果が存在する場合には、その結果を用いる。調査結果がない場合には、斜面タイプが一致する既往道路防災点検箇所の土層データを参考に各斜面の崩壊土層厚を推定する。

以上により、タイプ別に区分された斜面に対し年間破壊確率を算定してゆくシステムにデータを引き継いでゆく。

(2) 年間破壊確率算定システム

図-6に年間破壊確率の表示例を示す。本システムは、GISにより得られた斜面諸元をもとに、降雨を自然ハザードとした斜面の年間破壊確率を算定するシステム⁴⁾である。本システムは降雨時の地下水位を予測する斜面水位予測システムとこの予測結果を基に、降雨時の条件付き破壊確率を求める斜面破壊確率算定システムで構成している。斜面破壊確率算定システムは、式(1)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とし、強度係数 ($\tan \phi_d, C_d$) 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 を求める方法である。

$$Q = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H} \right) \cdot \frac{\tan \phi_d}{\tan \theta} + \frac{C_d}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \theta \cos \theta} - 1 \quad \dots (1)$$

ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 γ は土の単位体積重量、 ϕ_d は内部摩擦角、 C_d は粘着力、また θ は無限斜面の傾斜角、 H は崩壊土の層厚、 H_w は斜面内水位予測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、斜面の現状安全率を設定した上で、現状安全率に合う強度係数（内部摩擦角（ ϕ ）および粘着力（ C ））を算出する。また、強度係数のばらつきは、正規分布としてモデル化する。

また、斜面内水位予測システムは、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、本評価システムでは、観測地点、降雨波形、確率年をパラメータとし降雨条件を適宜選定できる機能を付加している。

なお、降雨による年間破壊確率は、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（2）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 $pf(\alpha)$ に、その降

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する。

$$P_a = \int_0^{\infty} pf(\alpha) \cdot \frac{dP(\alpha)}{d\alpha} \cdot d\alpha \cdots \cdots \cdots (2)$$

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

（3）GISによる道路ネットワークのリスク算定システム

GISでは、路線検索が容易におこなえるとともに、路線網に旅行時間データを付加することにより、起点から終点までの最適走行時間を検討することが可能となる。本システムは、GISを利用することにより、検討地点間における複数経路を探索するとともに、各経路の年間リスクを算定するものである。

迂回路検索は、GISで道路ネットワークを抽出・設定した後、旅行時間等の諸元をネットワークに入力し、検討基点・終点を設定する。GISは、図-7に示すような起点～終点間の複数経路を自動抽出するとともに、各経路が遮断された場合に最短時間となる迂回路も検索する。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事となる。

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

年間リスク $R_a = \text{年間破壊確率 } P_a \times \text{損失額 } C_i$

損失額は、直接的損失である事業者損失と間接的

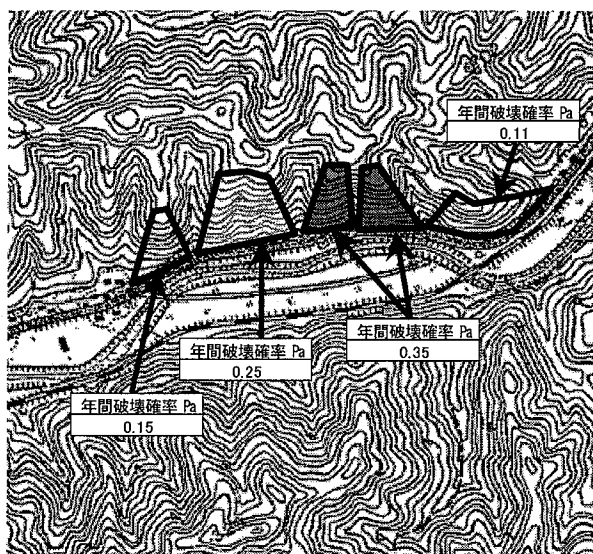


図-6 斜面毎の年間破壊確率の表示イメージ

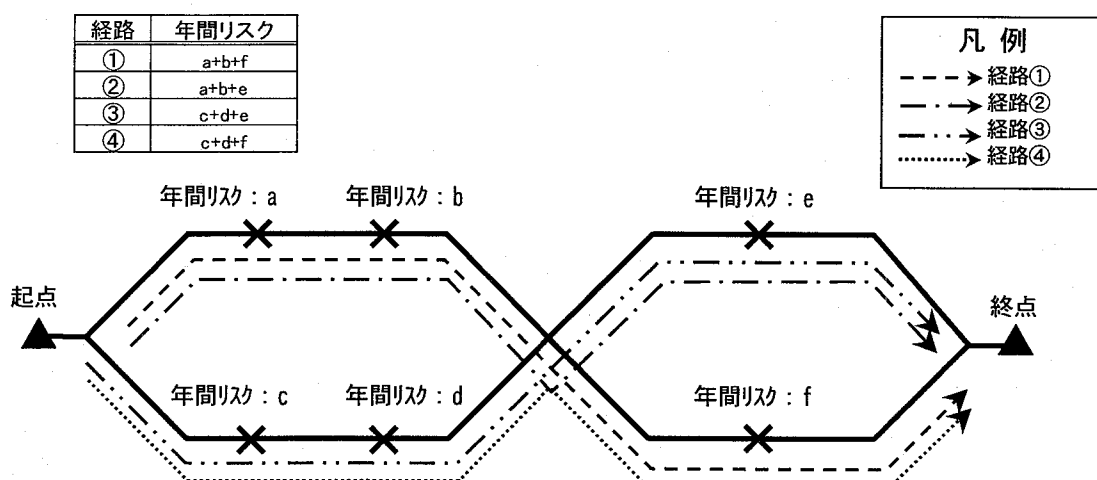


図-7 GISによる経路検索及び年間リスク算定イメージ

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（土砂到達距離による通行車両への被害の有無）を仮定し、その斜面破壊を伴う損失額を算出する。

事業者損失＝通行車両、搭乗者に対する損害（C1）
＋崩落土の撤去、復旧費用（C2）

利用者損失（C3）＝迂回損失
（時間費用＋走行費用）

損失額（Ci）＝C1＋C2＋C3

なお、各損失額についての具体的な算定方法は、既往研究^④により示されている方法を援用した。

各斜面における年間リスクと GIS による経路検索結果より、路線毎の年間リスクは各斜面の年間リスクの総和として算定した（図-6 参照）。

以上より、各斜面の年間リスクから斜面補強の優先順位付けを検討することが可能となる。

4. 解析事例

ここでは、本システムの適用性について、これまでに筆者らが示してきた斜面リスクの算定結果^④を用いて検討を加える。ここに取り上げるリスク算定事例は、図-8 に示すようなアメダス観測箇所毎に作成した降雨ハザードを用いて災害リスクを評価したものである。この解析条件については文献⁴)を参照されたいが、結果として得られた 32 箇所の斜面毎の年間破壊確率を図-9 に示す。同図に示すように、斜面 No. 27 の年間破壊確率が約 0.39 で最大で

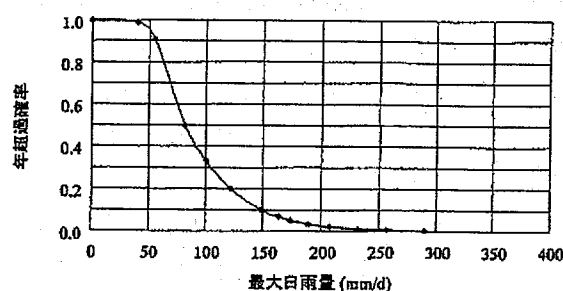


図-8 降雨ハザード曲線の事例

あり、図 1 に示す維持修繕の観点からは、本斜面の対策優先順位が最も高いと判断される。

次に、図-10 に示すように、この斜面 No. 27 を含む 8 箇所の斜面を道路モデルに当てはめ、迂回路探索および利用者損失の算定を行った。なお、検討は幹線道路に当たる国道（ルート a～b）を主体とし、最短時間となる迂回路を検索した。図-10 に年間リスクの算定結果を示す。本結果では、幹線道路に当たる国道において年間リスクが大きく、一方迂回路に当たる県道は、年間リスクは小さい傾向を示す。これは迂回路に当たる県道は走行時間が国道に対し短く利用者損失は考慮していないためであることに留意されたい。斜面毎の年間リスクは、迂回損失の影響が大きく、道路ネットワークにおける斜面の位置により、年間リスクは異なることが確認できる。

以上の結果から、斜面補強の優先順位判定を検討すると、維持修繕の観点からは、斜面 No.27 を優先すべきであるが、リスクを指標とした構造物資産マネジメントの観点からは、斜面 2 を優先すべきと

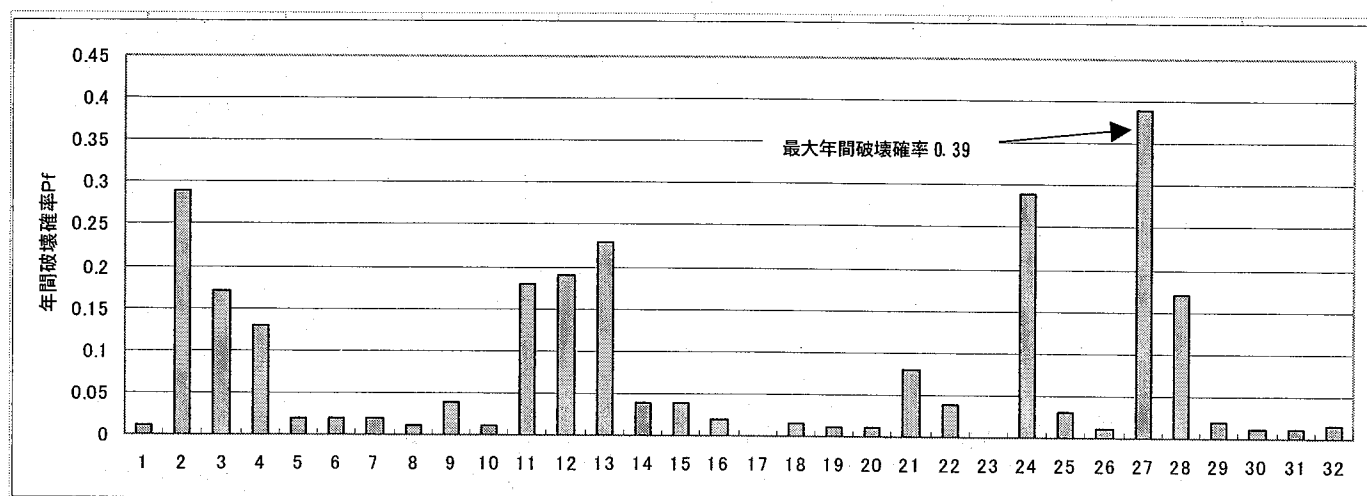


図-9 各斜面別年間破壊確率の算定結果

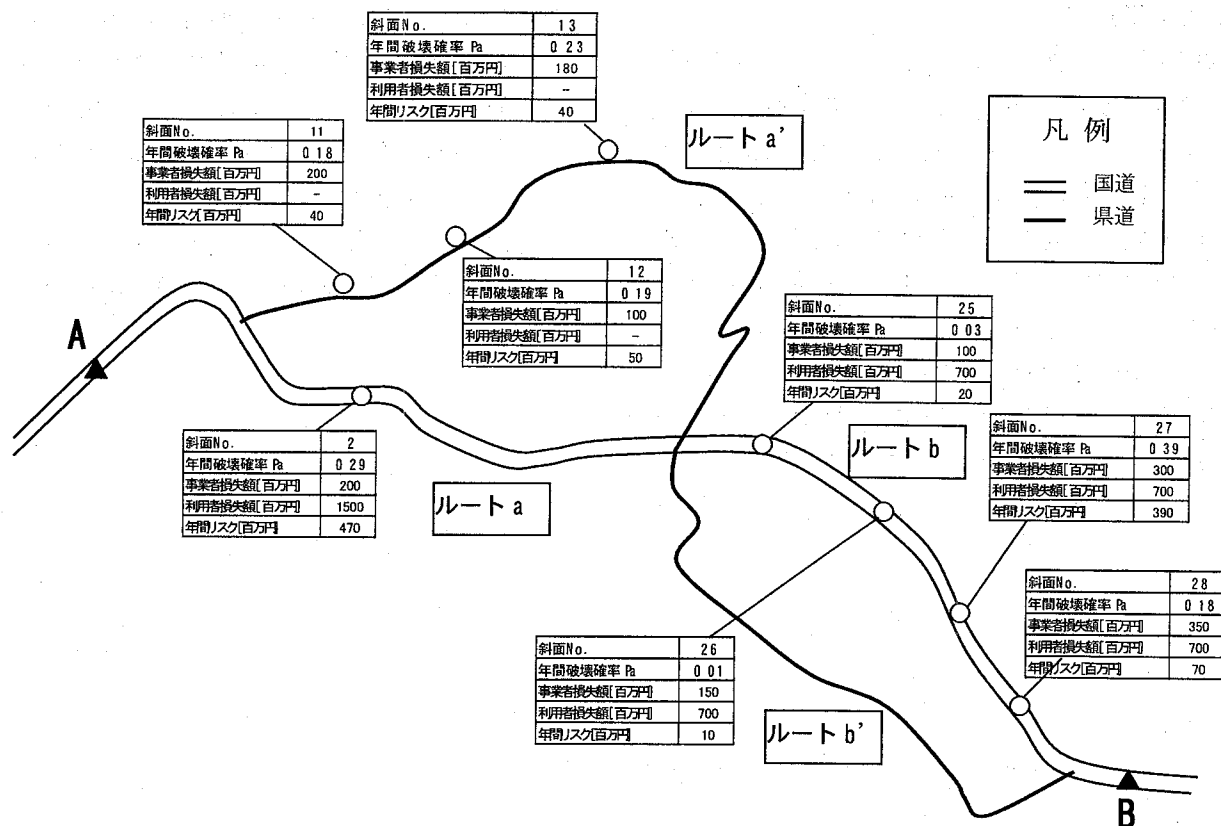


図-10 検討区間における年間リスク算定結果

考えられる。

このように、本研究で示したシステムは、GISを活用することにより、道路ネットワークにおける斜面の年間リスクを容易に算定できるシステムであり、斜面構造物マネジメントにおける戦略的な意思決定のツールとして有効に活用できるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、土木構造物に関するアセットマネジメントの一環として、降雨に起因する斜面破壊リスクの評価にGISを活用した手法を示すとともに、本手法を用いた事例をもとに戦略的マネジメントの支援ツールとしてGISの有効性を示した。本手法の特徴は以下の通りである。

- 1) 三次元の地形データをGIS上で用いる事により、斜面諸元の取得が容易になるとともに、検討の基礎データとなる断面地形および土層厚等を自動生成している。
- 2) 道路防災点検結果等の基礎データを活用したシ

ステムであり、既往データをGIS上で一元管理している。

- 3) 道路ネットワークにおける、迂回路検索および経路毎の年間リスクを容易に検討できるシステムである。
- 4) アセットマネジメントのツールとしてリスクを指標とした戦略的シミュレーションを容易に行なうことができる。

なお、本手法においては、検討区間に対し最短時間となるルートを迂回路としたが、検討区間周辺が同時に被災を被る可能性も考慮し、中～広域の道路ネットワークとした場合のリスクについても評価する必要がある。またGISの利用に当たっては三次元データの取得手法が課題として挙げられ、レーザープロファイラ等の適用についても検討を行なう必要がある。また、同手法は降雨に起因する斜面崩壊に限定せず、地震等の自然ハザードや、落石、岩石崩壊等の災害についてもシステムを開発する所存である。

【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) 中村和郎・寄藤昂・中村祐司: 地理情報システムを学ぶ, 古今書院, 1998.
- 6) 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.

A STUDY ON STRATEGIC SLOPE ASSET MANAGEMENT USING GIS

By Satoshi TOGO, Hiroyasu OHTSU, Yuzo OHNISHI, Ryutaro IZU
Toru YASUDA, Kenji TAKAHASHI

In these days, as a method of the concept of asset management of determining investment the administration maintenance besides in addition to the conventional technical theory has come to attract attention, to the maintenance repaired problem of an engineering-works road structure. Conventionally, on the road, the road is inspected the dander evaluation of a slope at once for five years, the maintenance administration is examined by a slope in terms of prevention of disasters. Naturally, this argument is necessary from now on, introduction of asset management is necessary to cope in order to a subject of optimize of the maintenance, repair and renewal. From such a viewpoint, this research adopted GIS as the technique of the simulation in strategic management, was shown that the efficient risk technical evaluation. Still more, this technique is applied to neighboring slope by road net, and it was shown that the example added to priority of reinforcement slope by come from risk evaluated result of the route in consideration of the road network.