

リスク評価に基づくアセットマネジメントによる社会基盤の戦略的整備意思決定に関する研究* Strategic decision making for infrastructure asset management based on risk analysis*

北浦康嗣**・八嶋厚***・本城勇介****・高木朗義****・倉内文孝*****
Koji KITAURA**・Atsushi YASHIMA***・Yusuke HONJO****・Akiyoshi TAKAGI****・Fumitaka KURAUCHI*****

1. はじめに

わが国の社会経済や住民の暮らしを支える道路や橋といった社会基盤施設は、地震や斜面災害など様々なリスクにさらされており、これらの早急な防災対策や適切な維持管理は必要不可欠な施策として取組んでいかなくてはならない。しかしながらその一方では、近年の公共投資縮減などの影響から防災や維持管理への投資も減少しており、膨大な社会基盤施設に対する十分な対応が困難な状況となりつつある。したがって、限られた投資でこれら膨大な社会基盤施設を有効かつ効率的に防災・維持管理していくためには、合理的な投資配分、すなわち対象構造物の選定、整備・維持管理の規模と方法、およびこれらの実施の優先順位を戦略的に決定する手法（リスクマネジメント）の開発が急務となっている。

このような背景の下、岐阜大学社会基盤工学科では岐阜県の社会基盤施設を対象として、リスクマネジメントに不可欠な地盤や構造物の危険性評価、被害損失評価、リスク対策に係る各専門分野の研究者や行政が連携して、合理的な戦略的手法の開発に取り組んでいる。ここでは、その成果の一部について報告する。

2. リスクマネジメント

本研究では、斜面の落石対策を対象とし、図1に示す一連のリスクマネジメントを実施し、この結果を現実モデルと比較することで、本研究が目指す最終成果「岐阜モデル」の将来的な実務への適用性について検討した。ただし、以下のような簡略化や仮定を置いている。

①リスクの特定:本研究では対象リスクを落石に特定し、岐阜県内で特に落石被害の多い飛騨圏域（飛騨、高山、下呂）を対象として、危険性の高い3023箇所の斜面と実際の道路ネットワークから検討した。

*キーワード：リスクマネジメント，防災計画，優先順位
**正会員，博(経)，岐阜大学助教，社会基盤工学科
***正会員，博(工)，岐阜大学理事・副学長
****正会員，博(工)，岐阜大学教授，社会基盤工学科
*****正会員，博(工)，岐阜大学准教授，社会基盤工学科

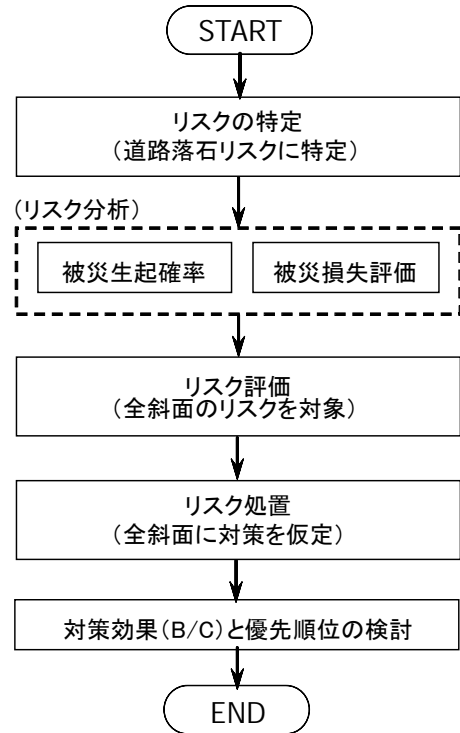


図1 本研究に置く斜面災害対策のリスクマネジメントフロー

②リスク分析:リスクは被災生起確率と被災損失評価の積として、リンク間の全斜面を対象としたリスクを式(1)、個別斜面を対象としたリスクを式(2)から推定した。

$$R_{LAS} = \left[(1 - P^1)(1 - P^2) \cdots (1 - P^N) \right] \times (D_1 + D_2 + D_3 + D_4) + D_5 \quad (1)$$

$$R_{LIS}^s = P^s (D_1^s + D_2^s + D_3^s + D_4^s) + D_5^s \quad (2)$$

ここで、 R_{LAS} や R_{LIS}^s は、道路ネットワークにおけるあるリンク間に存在する全ての斜面、あるいは特定の斜面の生起確率に起因する対象リンク間のリスクである。 P^N や P^s は、対象リンク間 N 番斜面、あるいは特定斜面の落石の生起確率であり、道路防災カルテの詳細な分析から各地域における代表的な落石素因と危険性評価による相対確率に、これまでの落石実績の再現を経て絶対確率を推定している¹⁾。

また、当該リンク間で落石が発生した際の損失は、小坂ら²⁾をもとに、 D_1 :道路復旧費、 D_2 :人身損失、 D_3 :迂回損失、 D_4 :救急医療損失、 D_5 :孤立集落損失の5種類として経済損失で評価した。これらのう

ち、孤立集落損失に生起確率を乗じていないのは、孤立する確率がゼロにならない限り、住民の潜在的リスク意識は解消されないことを仮定したためである。

③リスク評価：プロトタイプでは、当該モデルで自動的に得られる対策優先順位の現実モデルとの整合を確認するため、この段階での取捨択一は行わず、全斜面のリスクを対象とした。

④リスク処置：カルテに反映されていない高標高落石発生源や対策工の信頼性などの観点から、本来対策後も何らかの落石生起確率が存在するが、ここでは簡略化のため対策後の生起確率はゼロと仮定した。また、実施対策工に応じてその信頼性も異なり、リスクに応じた対策工の選定も将来的には検討する必要があるが、ここでは対象斜面や落石発生源などの状況に応じて、専門家が全斜面の対策工を仮定した。

⑤対策効果 (B/C) と優先順位：対策効果は、対策費 (C) と対策によるリスクの低減 (B) との費用対効果 (B/C) から評価することとした。優先順位は、潜在的にリスクの大きなリンクを参考とし、リスクの大きな斜面と対策効果から推定することとした。

3. リスク分析

(1) 被災生起確率

本研究では、「落石・崩壊」、「岩石崩壊」の生起確率を、斜面危険度として評価する。使用データは、「安定度調査表」と「落石事故データ」の2種類ある。「安定度調査表」は、道路防災対策のため1996年度に全国で実施された道路斜面の総点検の際、専門家が「落石・崩壊」と「岩石崩壊」崩壊因子について記録したものである。対象地域では、約3000箇所の斜面が、この調査の対象となった。ここで、「落石・崩壊」は浮石や転石が落下する形態で個数でカウントするものを、「岩石崩壊」は基岩が剥離・崩壊するような形態で崩壊体積の大きなものをそれぞれ点検対象としている。また、安定度調査表は、調査対象となった全斜面について、専門家が調査表に決められた項目を点検し、それぞれに定められた評点に従って斜面を点数化している（「総合評価」と呼ぶ）。さらに調査対象全斜面は、専門家により「要対策」、「カルテ対応」、「対策不要」の3段階に分類される。このデータを基に、ロジスティック回帰分析により斜面崩壊の要因（パラメータ）を選択し相対的な斜面危険度を推定する。

「落石事故データ」は、2004年度から2008年度までの5年間に、対象地域で実際に発生した落石事故データである。このデータは、データ数の上では調査表

の数と比べるとかなり少ないが、評価対象事象の生起データであり、斜面の危険度を直接示しており、絶対的事実として評価に考慮する必要がある。ただし、すべての落石事故が点検対象斜面（「調査対象斜面」と呼ぶ。）で発生したとは限らないため、点検箇所外の斜面（「調査対象外斜面」と呼ぶ。）で発生する事故データの取扱いには、注意が必要である。このデータを基に、相対的にランキングされた斜面危険度を絶対的な危険度に変換する方法を用いる。

(2) 被災損失評価

本研究では、「道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル（案）」³⁾（以下、マニュアル（案））で提案されている損失評価手法を改良するとともに、新たに孤立集落損失を加えた斜面災害リスク評価手法を提案する。マニュアル（案）では、道路斜面災害が及ぼす社会経済的損失として、道路利用者や道路施設が被る損失（直接損失）と、道路の寸断が社会全体に及ぼす経済的損失（間接損失）を考慮している。具体的な項目は、「道路復旧費」、「人身損失」、「迂回損失」、「救急医療損失」の4つである。本研究では、新たに孤立集落損失を加えた斜面災害リスク評価手法を提案する。孤立集落発生には斜面災害が大きく関係しており、斜面对策の面で孤立集落解消が重要な課題となっているからである。

a) 道路復旧費 D_1

道路復旧費は、斜面災害で使用不能となった道路を再供用するまでの復旧工事費と到達土砂の運搬処分費とする³⁾。

b) 人身損失 D_2

人身損失は、崩壊してきた土砂（落石）が車輛を直撃するあるいは、道路に到達した土砂（落石）に車輛が衝突することによって、死亡、重傷、軽傷を被る災害被災者の被害額とする³⁾。

c) 迂回損失 D_3

迂回損失は、斜面災害により道路が通行止めになることから発生する経済損失である。対象地域を含む道路ネットワーク全体での走行時間と走行距離の増加に伴う走行費用の増大分として評価する。本研究では、迂回損失を算定する際に、中京圏の道路ネットワークを用い交通量配分によって計算する³⁾。

d) 救急医療損失 D_4

救急医療損失は、斜面災害により救急医療を享受するまでの時間が増大することから救命率が低下することを人的損失として評価する¹⁾。特に、本研究では対象とする症状、症状の発生確率、救命率について改良を行った。

e) 孤立集落損失 D_5

孤立集落損失は、斜面災害により人の移動・物資の流通が困難となり、住民生活が困難もしくは不可能となることによって発生する損失を評価する。孤立集落損失の算定方法は以下のとおりである。孤立集落損失の算定は、サービス途絶回避に対する支払意思額（以下、WTP）と孤立集落地域の世帯数の積で評価する。WTPの算出に関しては、CVMに基づいて、各項目の途絶が回避されることに対するWTPをたずねることで、普段使用しているサービスの価値を把握するためのアンケート調査を実施した。得られたデータから損失の提示金額における賛同率曲線を求め、最終的にWTPの推計を行う。

4. リスク評価

対象地域における全斜面のリスク評価を行った。その際、落石の生起確率は対象期間を1年とした場合であるため、リスク R^s も1年分のリスクとなっている。孤立集落損失に落石の生起確率を乗じない理由は、孤立集落損失が住民の不安感を含めたものとして算出されており、孤立する確率がゼロにならない限り、住民の潜在的リスク意識は解消されないことを仮定したためである。対策を講じた際には、簡略化のために落石生起確率がゼロになると仮定し、対策による便益 B^s はリスクの解消に等しいとして、各斜面の費用便益比 $(B/C)^s$ を以下のように算出した。

$$(B/C)^s = \Delta R^s / C^s \quad (3)$$

ここで、 ΔR^s は各斜面の対策によるリスクの減少分、 C^s は各斜面の対策費用である。式(2)のリスクは対象期間を1年としたものであるため、式(3)の $(B/C)^s$ も1年を対象としたものになるが、後述する評価結果の中では、社会的割引率を4%と仮定して換算している。対策費 C^s の評価については、1996年の全国道路防災総点検実施時に作成された箇所別記録表に記載されている提案対策工の対策費を採用した。これは各斜面の点検を実施した技術者が記入するため、ある程度信頼度の高い情報であると考えられる。しかしながら、提案対策工の記入漏れが存在したため、そのような箇所については、実際に防災点検を行った技術者の協力を得てデータを整備した。

図2と図3は対象圏域内の「要対策」と「カルテ対応」の未対策斜面（合計1706箇所）のリスクとB/Cの頻度分布図を示したものである。B/Cが1を超える斜面は288箇所であり、効率性の観点から対策を講じるべき斜面が未だ多く残されているということがわ

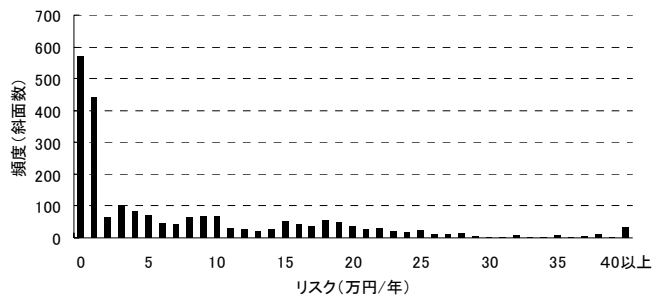


図2 リスクの頻度分布図

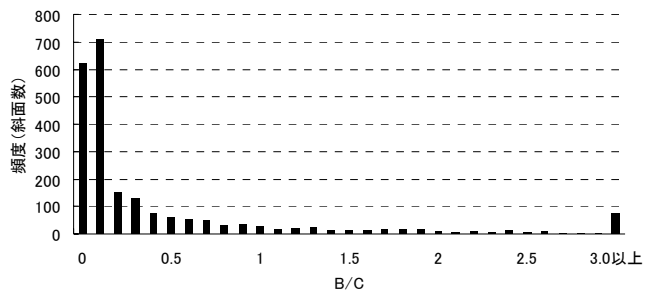


図3 費用便益比の頻度分布図

かる。図4はリスクが上位100位の斜面（図2のリスクが約27（万円/年）以上の箇所）についてリスクとB/Cの値を示したものである。図4より、必ずしもリスクが高い箇所でB/Cが高くなるというわけではないことが確認できる。また、リスクが突出して高い斜面が3箇所あり、このような斜面は対策優先度が高いと判断できる。その他の斜面についてはリスクにそれほど大きな差はないが、B/Cが突出している箇所が数箇所存在しており、このような斜面は対策の効果が高いと判断できるため、やはり対策を優先的に講じる必要がある。表1は、リスクが上位100位の斜面が存在する路線区間と、2004～2008年度の間当該路線区間で発生した落石の回数を示している。図5は表1の路線区間を地図上で強調して表示したものであり、落石発生箇所も図中に示している。表1と図5より、リスクが高い斜面が存在する路線区間では、過去に落石が多く発生している傾向があり、本研究の結果は、現実の落石のリスクを適切に表現できていることがわかる。

ここで、孤立集落損失について議論する。各集落の孤立を回避するためには、複数の斜面对策を実施する必要がある、それに対するB/Cを求めた（表2）。B/Cが1を超えるのは、13集落中5集落だけであり、効率性の観点から孤立集落を回避するための斜面对策への妥当性を説明することができない集落が多く存在することがわかった。これと斜面毎の評価結果を比較することによって幹線道路上の斜面对策と孤立集落回避のための斜面对策の効率性の観点からの優先順位を検討することが可能である。

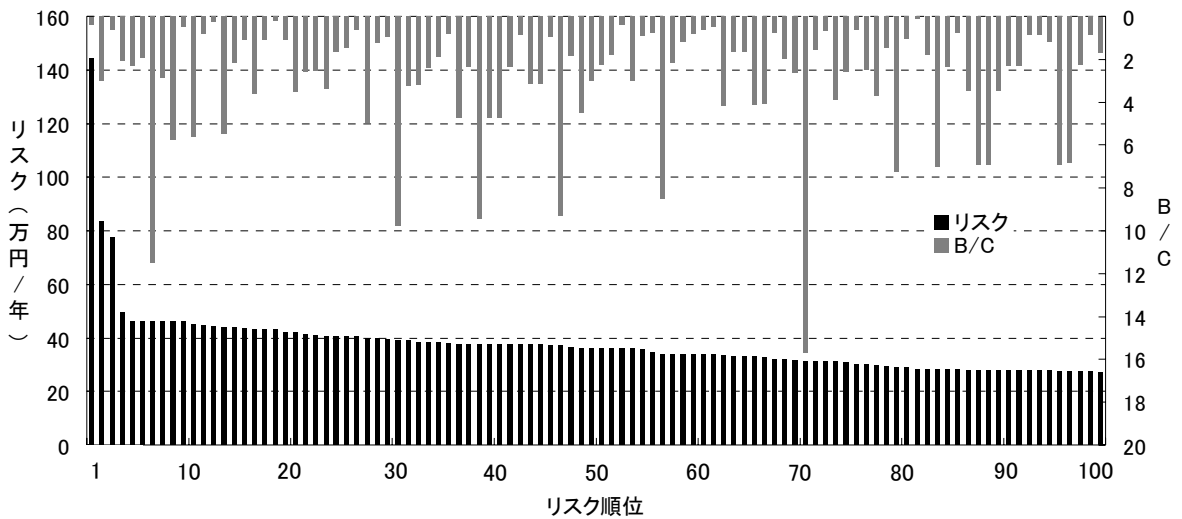


図4 リスク上位100の斜面のリスクと費用便益比

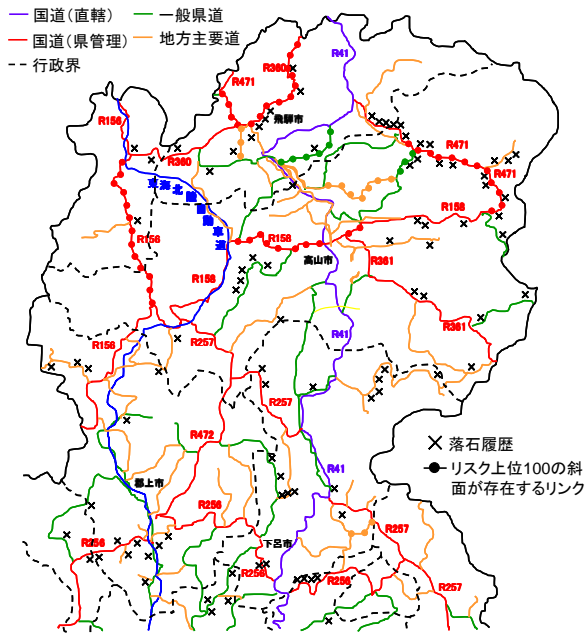


図5 リスク上位100位が存在する路線区間

5. おわりに

飛騨圏域を対象として、斜面危険度と各種経済損失の評価結果にもとづいて、落石のリスク評価について示した。得られた結果は、現実の落石のリスクを適切に表現しており、実務への適用性が高いことを確認した。

参考文献

- 1) 本城勇介ら：社会基盤の総合的リスクマネジメント (その2)：飛騨圏域を対象とした道路斜面危険度、

表1 各損失が上位100の路線区間

リンクID	路線種別	路線名	斜面数 ※1	過去の落石 被災回数 ※2
2384	国道	256号線	1	1
2283	国道	156号線	1	1
2273	国道	472号線	1	2
2262	国道	158号線	1	0
2190	国道	158号線	1	0
2171	国道	158号線	2	0
2159	国道	360号線	2	4
2148	国道	471号線	17	0
2077	国道	471号線	1	4
2064	国道	471号線	3	5
2061	国道	471号線	1	2
2040	一般県道	稲越角川停車場線	15	1
2061	一般県道	田口洞線	10	0
2067	一般県道	鼠餅古川線	4	0
2063	地方主要道	高山上宝線	38	2
2050	地方主要道	神岡河合線	2	3

※1 リスク上位100位の斜面のうち、各リンクに存在する斜面数

※2 2004～2008年度の間に各リンクで発生した落石の回数

表2 孤立集落損失を含む路線区間の評価結果

リンクID	路線種別	路線名	斜面数	リスク合計 (万円/年)	孤立集落損失 (万円/年)	B/C
2145	国道	360号線	83	892.6	437.8	0.04
2246	一般県道	御岳山朝日線	63	317.0	303.4	0.08
2256	一般県道	御岳山朝日線	3	304.4	303.4	5.44
2254	一般県道	朝日高根線	3	303.6	303.4	1.90
2040	一般県道	稲越角川停車場線	29	1075.5	435.8	1.04
2055	一般県道	打保神岡停車場線	11	181.0	175.1	0.73
2080	一般県道	檜ヶ岳公園線	7	101.7	97.7	0.21
2147	一般県道	清美河合線	41	434.9	118.1	0.19
2345	一般県道	湯屋温泉線	1	350.5	350.3	87.62
2227	一般県道	宮萩原線	5	442.3	417.5	3.95
2223	地方主要道	宮萩原線	28	447.7	417.5	0.66
2142	地方主要道	神岡河合線	16	505.8	179.2	0.87
2144	地方主要道	神岡河合線	1	192.5	179.2	2.19

第65回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, 2010.

- 2) 小坂宏彰ら：道路途絶による社会経済損失を考慮した斜面災害リスクの評価, 土木計画学研究, 2010.
- 3) 独立行政法人土木研究所：道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル (案), 2004.