

◆ 特集：道路斜面崩壊のリスクマネジメント技術 ◆

リスク評価手法を用いた道路斜面管理

小橋秀俊* 恒岡伸幸** 加藤俊二*** 田中衛**** 中野穰治*****

1. はじめに

道路斜面防災の対応策として、「対策工」「事前通行規制」「モニタリング」「カルテ等による日常管理」が挙げられ、いずれがその箇所（区間）における最適手段かの判断が必要となる。さらに「対策工」の合には、どこを優先的に実施するのか、どの程度まで対策を行うのか、「事前通行規制」の場合は最適規制雨量などについて、的確な行政判断が求められる。しかしながら現下では、この判断に資するリスクの評価手法が確立していない。そのため、合理的なリスク評価手法の開発、最新情報に基づく対応策の選定支援、地域住民や国民への説明支援を目的としたリスクマネジメント技術の確立が強く求められている。本研究は、損害保険の分野で先行しているハザードやリスクの数量化手法、提示手法を参考にして、道路防災対策ないし管理のニーズに合ったリスクマネジメント技術の開発を進めたものである。その中間成果については既に、本誌で紹介したところであるが¹⁾、本報ではその後の検討成果について述べるとともに、全体を通じての総括を行っている。

2. 研究内容

リスクマネジメント技術に関する以下の検討を行った。

- 1) 一般国道220号日南海岸区間（約30km）を対象にケーススタディを行い、リスク数量化理論のアルゴリズムの確立を図った。そのなかでは、入力定数の不確定性を結果に反映させる試みを行い、「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）」を作成した。
- 2) 一般国道18号碓氷峠区間を対象として、事前通行規制によって回避できる人身損失と発生

する迂回損失との関係について、ケーススタディを実施し、アルゴリズムの検証を行った。

- 3) 一般国道41号（中部地方整備局高山国道工事事務所管内）のケーススタディをもとに、費用対効果分析を行う場合の問題点を明らかにした。

3. 研究成果

3.1 リスク数量化理論のアルゴリズムの確立

一般国道220号日南海岸区間（約30km）を対象に、ハザードやリスクの算定手法など、アルゴリズムの確立を図り、図-6の目次構成案のような「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）」を作成した。

- 1) マニュアルにおけるリスク数量化手順は図-1のとおりで、①降雨発生確率の整理→②路線全体での降雨量と崩壊率との関係曲線（フラ

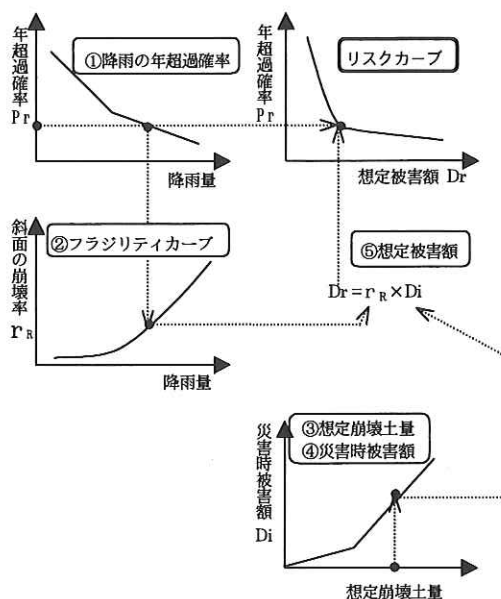


図-1 リスクカーブ（想定被害額）の作成手順

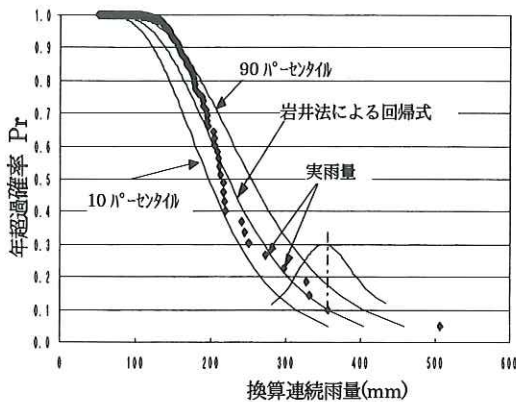


図-2 降雨の年超確率

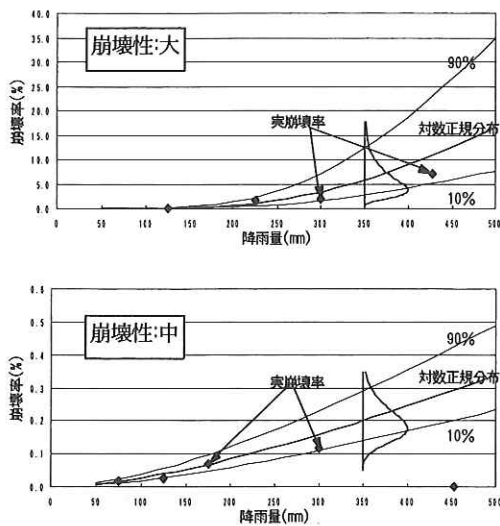


図-3 崩壊率のフラジリティカーブ

ジリティカーブ)の作成→③崩壊土量をもとにした被害額(人身損失, 道路復旧費, 迂回損失)の算定→④被害額に崩壊率を乗じ対応する降雨量にプロット→③以下の操作を沿線斜面に実施となる。

- 図-2のフラジリティカーブの作成にあたっては、区間内の斜面に対して、防災点検における地質・地形要因点を数量化Ⅱ類にかけて、降雨による崩壊のし易さで、斜面を大中小に分級し曲線を作成した。各過程にはモンテカルロシミュレーションを適用し、不確定性の幅をもたせた数量化となっている(図-2～4参照)。図-5は20年間の降雨歴及び被災歴をもとにした、想定被害額の不確定性分布である。

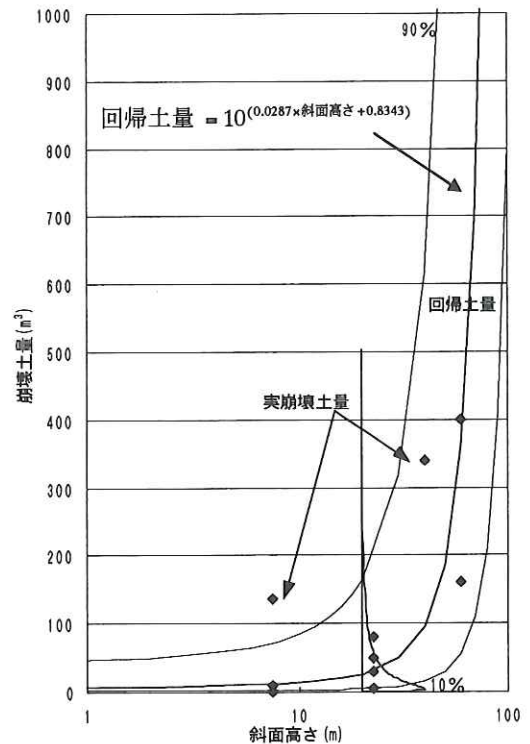
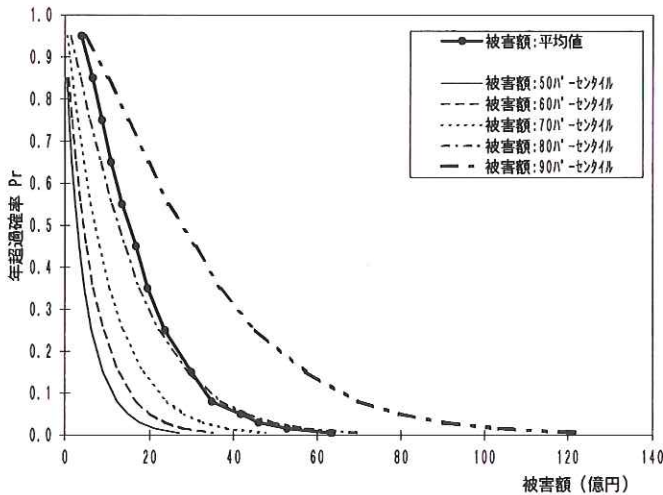


図-4 崩壊土量のフラジリティカーブ

- 本ケーススタディの結果、崩壊土量の大きな少数の崩壊のために、平均値曲線が80%タイル曲線の右側までシフトした。そして、降雨量、斜面崩壊率の不確定性に比較して、想定崩壊土量の不確定性が、想定被害額を大きく左右することが明らかとなった。崩壊土量は、土砂等による被災者数、土砂撤去に要する復旧期間、通行規制期間などを介して、人身損失、復旧費用、迂回損失のいずれにも直接影響する。そのため、崩壊土量の推定精度の向上がより重要であることが判明した。
- 事前通行規制の損失便益のケーススタディー
一般国道18号碓氷峠区間を対象として、事前通行規制雨量値に着目して、マニュアル(案)(図-6参照)に従って「回避される人身損失-通行規制によって生じる迂回損失」(便益-損失)の算定検証を行い、以下の結果が得られた。
 - 損失と便益を求める前段として、当区間のフラジリティカーブ(降雨量と崩壊率の関係曲線)を求める必要がある。しかし、当区間だ



リスクカーブの種類	想定被害額合計	比率
50パーセントタイル	4.50億円	1.00
60パーセントタイル	6.45億円	1.43
70パーセントタイル	9.73億円	2.16
80パーセントタイル	15.97億円	3.55
90パーセントタイル	32.86億円	7.3
平均値	17.62億円	3.92

- ・ 曲線（リスクカーブ）は何年に1回の確率（縦軸の逆数）で横軸以上の被害額の災害が発生するかを示す。
- ・ 想定被害額合計は曲線と両軸で囲まれた部分の面積。
- ・ 被害額80%タイル曲線とは、予想される不確定性のなかで、80%はこの曲線の内側に留まることを示し、被害額平均値曲線とは、各パーセントタイルの平均曲線である。

図-5 不確定性を考慮したリスクカーブ

目次

第1章 総説

- 1-1 マニュアルの目的
- 1-2 構成
- 1-3 用語の定義

第2章 リスク分析・マネジメント支援の基本的な枠組み

- 2-1 適用範囲と位置づけ
- 2-2 リスク分析・マネジメント支援の流れ

第3章 道路斜面災害のハザード予測・数量化

- 3-1 道路斜面災害のハザードの定義
- 3-2 ハザード予測・数量化の基本的考え方
- 3-3 既往災害履歴の統計処理による簡易予測法（生起確率法）
- 3-4 既往災害履歴の統計処理による簡易予測法（降雨・災害履歴分析法）
- 3-5 斜面特性に基づくフラジリティを反映した予測法
- 3-6 GIS技術を活用した予測法

第4章 道路斜面災害のリスク算定

- 4-1 道路斜面災害のリスクの定義
- 4-2 リスク算定の基本的考え方
- 4-3 人身損失 (D₁)
- 4-4 復旧費用 (D₂)
- 4-5 迂回損失 (D₃)
- 4-6 救急医療損失 (D₄)
- 4-7 リスクカーブの作成

第5章 道路斜面防災対策の費用便益分析

- 5-1 道路斜面防災対策の費用便益分析の方法
- 5-2 道路斜面防災対策の便益と費用の算定

第6章 リスク分析に基づくマネジメント支援技術

- 6-1 リスクマネジメント支援の基本的考え方
- 6-2 防災対策の評価と選定
- 6-3 事前通行規制の評価

第7章 リスクカーブの不確定性の取り扱い

- 7-1 基本的な考え方
- 7-2 不確定性の要因の抽出と数量化
- 7-3 リスクカーブにおける不確定性の算定

図-6 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）の目次構成

けでは統計処理に必要な被災履歴を得ることが困難という問題に直面した。そのため、同じ高崎工事事務所管内の一般国道17号、18号、50号などとデータ統合を行い、前述3.1と同様に地形地質要因点を数量化Ⅱ類にかけて降雨による崩壊のしやすさを大中小に分級し、大中小について表-1のような地域フラジリティカー

ブを描いた。そして、その崩壊率及び崩壊土量にもとづいて、表-2のような被災換算人数を算定することができた。

- 2) 表-3は事前通行規制の便益を算定した結果で、一人当たりの人身損失額の設定（総務庁方式の32,971千円/人とGNP方式の157,040千円/人）により、規制基準と「便益-損失」の関係

表-1 地域フラジリティカーブ (一般国道17号、18号、50号とのデータ統合)

連続	降雨量 [mm]	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
雨量法	崩壊性〈大〉	4.55	5.87	7.39	9.12	11.02	13.08	15.28	17.58	19.98	22.45	24.96	27.50
	崩壊性〈中〉	3.31	4.16	5.16	6.31	7.61	9.03	10.58	12.23	13.98	15.80	17.70	19.66

連続雨量法による降雨量と災害発生確率の回帰式

$$\text{崩壊性〈大〉} : 0.00833 + \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \int_{-\infty}^s E^{-\frac{a^2}{2}} da, S = -\frac{1}{0.56} \log_e \frac{R}{326} \dots\dots\dots \text{式-1}$$

$$\text{崩壊性〈中〉} : 0.01000 + \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \int_{-\infty}^s E^{-\frac{a^2}{2}} da, S = -\frac{1}{0.59} \log_e \frac{R}{326} \dots\dots\dots \text{式-2}$$

表-2 一般国道18号の碓氷峠区間における想定被害の整理

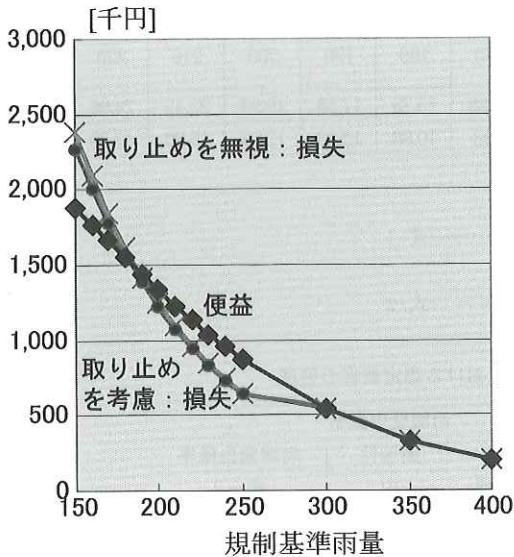
KmP	崩壊規模 [m³]	換算人数 N [人]	崩壊発生確率		
			崩壊形態	崩壊性	崩壊発生確率
31.2～31.4	40	0.0065	土砂崩壊型	中	式-2
31.3～31.4	4.19	0.0027	落石型	小	0.500 [%/年]
31.4～31.5	220	0.1432	土砂崩壊型	大	式-1
31.4～31.5	100	0.0651	土砂崩壊型	小	1.250 [%/年]
31.5～31.6	0.60	0.0004	落石型	小	0.500 [%/年]
31.5～31.6	0.60	0.0004	岩石崩壊型	－	0.385 [%/年]
33.0～33.1	0.60	0.0004	落石型	中	1.154 [%/年]

表-3 事前通行規制の損失便益分析結果 (一般国道18号線碓氷峠区間) Rs: 自主的な交通取り止め

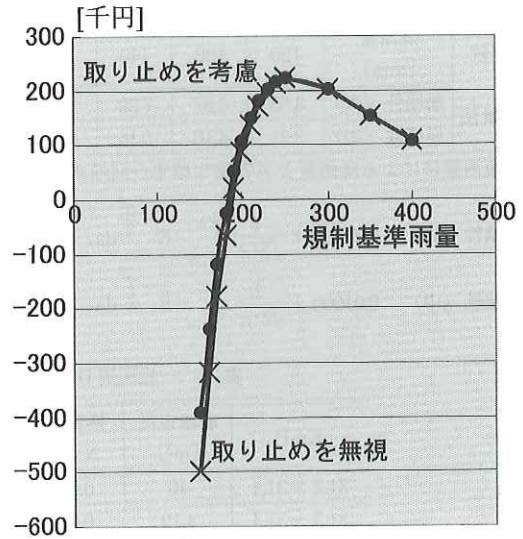
規制基準 [mm]	損失額 [千円]		I = 1億5704万円				I = 3,297万円	
			便益額 [千円]	[便益] - [損失]		便益額 [千円]	[便益] - [損失]	
	Rs を無視	Rs で補正		Rs : 無視	Rs : 補正		Rs : 無視	Rs : 補正
120	3,516	3,250	2,183	- 1,333	- 1,068	458	- 3,058	- 2,792
130	3,087	2,888	2,092	- 996	- 797	439	- 2,648	- 2,449
140	2,711	2,563	1,990	- 721	- 573	418	- 2,293	- 2,145
150	2,381	2,271	1,881	- 499	- 389	395	- 1,986	- 1,876
160	2,090	2,010	1,771	- 319	- 238	372	- 1,718	- 1,638
170	1,836	1,777	1,658	- 177	- 118	348	- 1,488	- 1,429
180	1,612	1,569	1,547	- 65	- 23	325	- 1,287	- 1,244
190	1,415	1,385	1,437	22	52	302	- 1,113	- 1,083
200	1,243	1,222	1,330	87	108	279	- 964	- 943
210	1,091	1,077	1,228	137	151	258	- 833	- 819
220	958	949	1,131	172	181	237	- 721	- 712
230	841	836	1,038	197	202	218	- 623	- 618
240	739	736	952	213	216	200	- 539	- 536
250	649	648	872	223	224	183	- 466	- 465
300	542	542	542	203	203	114	- 428	- 428
350	331	331	331	155	155	69	- 262	- 262
400	199	199	199	107	107	42	- 157	- 157

が異なっている。表-3によれば、総務庁方式では基準雨量がどの値でも損失の方が大きく、GNP方式では規制による「便益-損失」がプ

ラスになるところがみられる。図-7はGNP方式の場合について、便益と基準雨量との関係をグラフ化したものであるが、雨量値250mm



(a) 便益と損失



(b) 便益-損失

図-7 GNP方式 (I=1億5704万円の時) を用いた場合の基準雨量と便益、損失の関係

(表-3網がけ)で「便益-損失」が最大を示した。このような検討は、人身損失の軽減と迂回損失の軽減といった、相反する目的の調整を図った事前通行規制を考えるうえでの、一つの判断材料を与えるものと考えられる。また、通行規制が数年に1度程度しか行われていない当区間においては、自主的な取り止め交通(表-3で取り止め率 R_s と称しているもの)を除外しても、損益結果の趨勢に大きく影響しないことが確認された。

- 3) ただし、統計処理に必要なデータ数を確保するため、今後、斜面崩壊特性の類似した地域ブロック単位を設定し、予め地域脆弱性カーブを作成しておく工夫が必要と考えられる。

3.3 対策の費用対効果分析のケーススタディ

対策の優先順位の決定は、目標水準(例えば、1km当たり5年に1回発生する災害が所定件数以内)をクリアさせうて、被害総額の減少量(リスクカーブから把握)と対策費用との差が大きい方法から選定することとなる。そこで、一般国道41号高山国道工事事務所管内を対象に、対策優先順位を決めるための費用対効果の算定を試みた。その結果、現在の防災点検の記録法等に起因

した以下のような問題点が明らかとなり、今後改善を図っていく必要があるものと考えられる。

- 1) 発生源、降雨状況、土量(崩壊土量、路面到達土量、防護工などで捕捉された土量)、対策工の破損状況、災害及び復旧時の通行規制時間、復旧対策で想定した崩壊部位や規模(以後抑止される災害規模)など、対策後のリスクカーブを求めるための統計処理に必要となる、被災時の情報が散逸している。今後、GIS等を用いた記録蓄積に取り組んでいく必要がある。
- 2) 待ち受け擁壁工あるいは落石防護工の設置効果が、正確に把握できなくなっている。道路防災点検の記録からは、対策の直接のきっかけとなった落石崩壊の状況を知ることはできる。しかし、周辺の崩壊源が点検票に記載されおらず、それらの現状の危険性、本来見込めるはずの対策効果などが把握できない。また、仮設費を含む当該対策工の工費が、記録情報から抽出できなくなっている。
- 3) 現在の点検票における危険評価及び対策評価は、斜面個数単位で行なわれている。そのため、道路のある区間を直撃する可能性のある沿道斜面の面積、そのうち、発生源及び待ち

受け対策によって直撃が回避された面積がどの程度かといった把握ができない。

- 4) GIS等を活用して沿道斜面（尾根筋までの領域）の中で、「崩壊源が確実に把握されているエリア」、「崩壊源を把握しているが安定性に不明な点があるエリア」、「対策実施が困難と考えられているエリア」、「崩壊源を確認することが困難なエリア」、「対策によってカバーされたエリア」を面的に分別表示する方法の検討が必要となる。これにより、近年問題となっている道路敷地外からのもらい災害、要対策箇所とはされていないが災害発生危険性を否定できない場合などについても、対応策を検討できるようにする必要がある。

4. まとめ

- 1) 災害履歴、降雨履歴、防災点検の結果等を用いて、フラジリティカーブ（降雨量と斜面崩壊率の関係曲線）を求め、これを斜面崩壊規模や道路交通量等から計算した人身損失、復旧費用、迂回損失等の被害額に反映させて想定被害額を算定し、リスクカーブ（想定被害額と発生確率の関係曲線）として表示する手法を開発した。また、ケーススタディで、これらの手順の実現性を確認し、その成果を「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）」にとりまとめた。
- 2) 今後の課題として、①フラジリティカーブ作成の簡素化、②防災対策工（待ち受け対策、発生源対策）の効果の定量化、③崩壊土量、路面到達土砂量（撤去土砂量）などの被災時の各種土量、ならびに、対策工の破損状況に関

する情報の精度向上、④GISなどのハザード及びリスク算定に必要なデータを蓄積するための解析基盤の整備、⑤実用化に向けた研究などの必要性が明らかとなった。

参考文献

- 1) 田中 衛、恒岡伸幸、三木博史：道路斜面災害のリスク評価法について、土木研究センター、土木技術資料 2002年12月号, pp50-55
- 2) 高原秀夫、浜田友康、田中 衛ほか：降雨斜面災害リスクにおける不確実性の評価、地域安全学会論文集 No.4, pp1-pp6, 平成14年11月

小橋秀俊*



独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質チーム上席研究員
Hidetoshi Kobayashi

恒岡伸幸**



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路研究官（前 土質チーム上席研究員）
Nobuyuki Tsuneoka

加藤俊二***



独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質チーム研究員
Shunji Katou

田中 衛****



国土交通省四国地方整備局徳島工事事務所調査第一課長（前 土質チーム研究員）
Mamoru Tanaka

中野稜治*****



国土交通省道路局路政課補佐（前 土質チーム主任研究員）
Jyouji Nakano