

簡易的な道路斜面および舗装の経済損失算出手法の開発

A STUDY ON SIMPLE METHOD FOR ESTIMATION OF LOSS OF ROAD SLOPE AND PAVEMENT

森 幹尋*・原 龍一*・桑野 建*・森田 格**・野田 聡***
Mikihiro MORI, Ryuichi HARA, Tekeshi KUWANO, Itaru MORITA and Satoru NODA

We developed a simple spreadsheet tool for estimating potential annual loss from road slope disaster and pavement deterioration. The inputs for road slope are categorical variables for the contributing factors for disaster occurrence, a coefficient of effectiveness of structural measures for disaster occurrence, and potential magnitude of road closure (length of road closure segment of partial width and/or full width road closure). The inputs for pavement are category of pavement deterioration by pavement inspection. The authors also propose an efficient procedure for road repair/rehabilitation planning, which integrates road slope, pavement, and road drainage.

Keywords : road slope, pavement, risk assessment, risk estimate, potential annual loss, road repair, road rehabilitation

1. 背景と目的、開発の経緯

主として山岳道路において、道路斜面（自然・切土・盛土）を点検し、補修あるいは修繕計画を策定する手法は現在でもあるが²⁾、簡易ではなく一般に実用化されているとは言いがたい。また、道路斜面、舗装は別個に評価されて、それぞれに補修・修繕計画が作られているため、道路機能を向上するうえで効率的な投資の計画が立てにくい。さらに、補修・修繕の費用と効果を簡易に算出できる手法が無い場合、道路管理者は投資の説明責任が十分に果たせていない。このことは、とくに山岳道路で一層困難である。

この課題を解決するため、低予算で簡易的に山岳地帯の道路斜面・舗装を点検し、年潜在損失額を算出する手法を開発した。そして、この手法を、フィリピンおよびネパールの国道で利用しつつ、当該国で適用し易いように改善を行ってきた。

なお、本手法の検討に活用した事例は独立行政法人国際協力機構（JICA）の開発調査「ネパール国 ナラヤンガート〜ムグリン道路防災管理計画調査」、「フィリピン国 道路土砂災害危険度の評価・管理計画調査」において調査されたものである。

2. 山岳道路における補修・修繕計画策定のあり方

山岳道路の補修・修繕計画は、図-1 のフローで行うことが合理的であると考えられる。すなわち、道路斜面と舗装は別個のチェックシートを用いて点検を行い、点検範囲ごとに、それぞれの年潜在損失額を算出し、最終的には道路セグメント（延長数 m ～数 100m 単位）ごとに求めた年間の道路斜面災害リスクと舗装の劣化に伴う損失額の和として全体の年損失額を算出する。

山岳道路の点検・評価は、道路斜面を山側斜面、川側斜面、横断溪流に 3 分して実施する。また、道路の走行車線と路肩を含めた範囲の舗装の状態を点検・評価する。

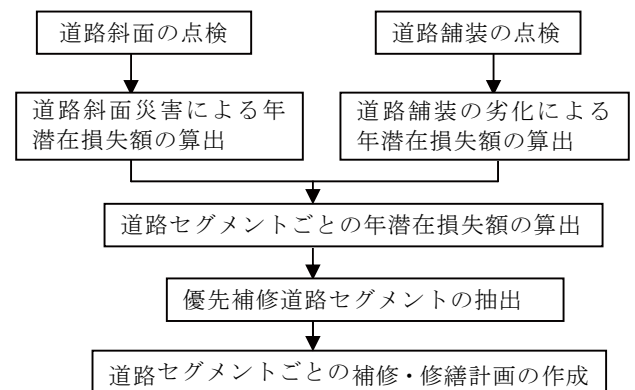


図-1 山岳道路における道路補修・修繕計画策定

道路斜面点検・評価の各斜面範囲と最終的な評価対象道路セグメントの関係は図-2 に示される。

* コンサルタント海外事業本部 地域社会事業部 水資源管理部

** 中央研究所 総合技術開発部

*** 名古屋支店 技術部

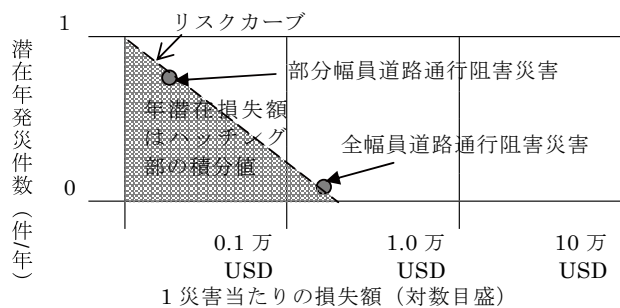
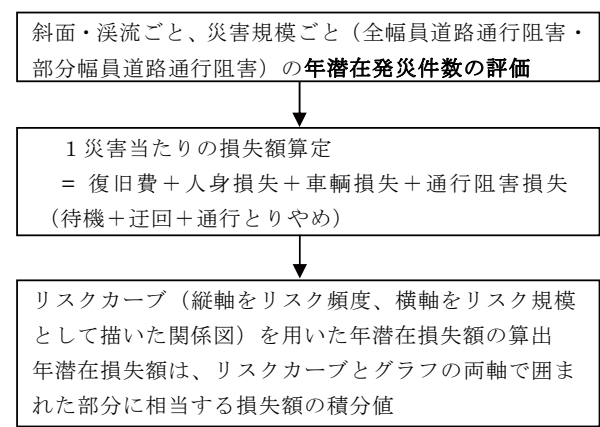


図－2 道路斜面点検・評価と最終評価道路セグメントの範囲

3. 道路斜面リスク評価

(1) 道路斜面に係る年潜在損失額算定フロー

道路斜面における年潜在損失額の算定フローを図－3に示す。



図－3 潜在年損失額の算定フロー

(2) 道路斜面リスクの各要素の評価手法

1) 道路 通行障害災害の潜在発災頻度の評価

斜面ごと、災害規模ごと（全幅員道路通行障害・部分幅

員道路通行障害）の年潜在発災頻度評価を行う。

日本の道路防災点検では、落石・崩壊、岩石崩壊、地すべり、土石流などのハザードタイプ別に評点方式で安定度評価を行っている。

しかし、本研究では簡易化のため、ハザードタイプ別ではなく、3種の斜面タイプ（山側斜面、川側斜面、横断溪流）別に安定度評価チェックシートを作成して、道路セグメントごとの安定度評価を行った。

斜面タイプとハザードタイプの関係は表－1に示すとおりと考えられる。個別斜面における道路通行障害災害は、単独のハザードタイプだけではなく、複数のハザードタイプから発生する場合がある。それゆえ、日本の道路防災点検手法は同一斜面において複数のハザードタイプの安定度評価を行っている。また、斜面崩壊と地すべり、落石と岩石崩壊のようにハザードタイプの区分が明瞭でないものもある。この研究ではそのような評価手法の煩雑さを解消するために、斜面タイプ別の安定度評価手法を採用して簡便化を図ったのが特徴である。

表－1 斜面タイプの災害タイプ

斜面タイプ	ハザードタイプ
山側斜面	落石 Rock Fall
	岩石崩壊 Rock Mass Fall
	斜面崩壊 Slope Failure
	地すべり Slide
川側斜面	道路崩壊 Road Foundation Failure
横断溪流	土石流 Debris Flow

この手法では安定度評価を最終的に年潜在損失額として求めるため、従来の斜面安定度評価の分野で用いられてきた評点や安定度大、中、小などの定性的な評価ではなく、まず、年潜在発災件数（件/年）という数量化された数値

を求める。同一斜面でも、毎年、落石を起こし、数十年に一度岩石崩壊を起こすような事例もあるように、災害規模に応じて発災頻度は異なる。災害規模と年発生件数との関係は図-4 のような災害規模を片対数としたカーブで描けると考えられる。

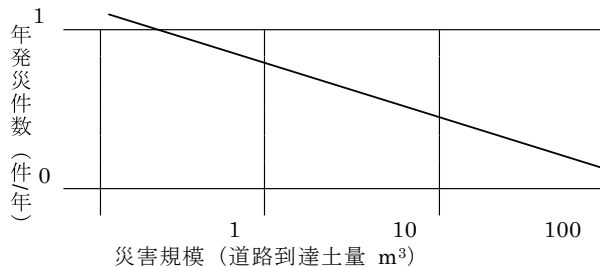


図-4 災害規模と年発災件数の関係の概念図

実際には個々の斜面において災害規模と年発生件数の関係図を描くことは多大の労力を要し、詳細な災害記録がない場合は不可能である。

よって、この研究では、災害規模を「全幅員道路通行阻害災害」と「部分幅員道路通行阻害災害（一車線以上の確保）」の2種類に限定する。

年潜在発生災害件数の算出を、図-5 を例にして解説する。

年潜在発災件数評価は各発災要因アイテム（渓流幅など）とその各カテゴリ（5m・10 m など）のチェックシートで行う。その評価は図-6 に示すような、発災頻度スコア（災害/年）という数量化されたスコア値とする。

個別斜面の年潜在発災件数は次の式で求める仕組みとした。

年潜在発災件数 = Σ （各発災要因アイテムの発災頻度スコア）× 既往対策工の効果係数

各カテゴリ災害頻度スコアは各斜面の「既往対策工施工前の年発災件数実績値」と各斜面の発災要因アイテム・カテゴリのチェックシートのデータを元に、実績値と潜在値の残差平方和が最小化するような最適解として求めた。

フィリピン国の公共事業道路省へは、実績値と発災アイテム・カテゴリのチェック結果を Excel シートに入力することにより発災頻度スコアを求めるツールを開発し（日本工営株式会社 中央研究所）、それをを用いて本手法の技術移転を行った³⁾。

発災害頻度スコアの解析例を図-6 に示す。この中で同じ発生アイテムの中で最大と最小の発災頻度スコアの差はスコアレンジと称される。このスコアレンジが大きい発災要因アイテムは比較的、年災害発生件数への影響が大きいことを示唆している。

既往対策工の効果係数は、表-2 の方針で設定する。な

お、この係数の設定は道路斜面災害のデータベースを充実させ、その解析をすることにより精度を向上させることが可能と考えている。

表-2 既往対策工の効果係数の設定ガイド

対策工の効果	既往対策工の効果係数	ハザード別の対策工のレベルとタイプ	
		小規模なハザード 道路部分幅員閉塞	大規模なハザード 道路全幅員閉塞
高効果	0.0-0.3	直接的な抑止工	大規模な直接的な抑止工
中効果	0.3-0.7	上記のうち、ハザード全体に対応できないもの。 抑制工（排水工等）	
低効果	0.7-1.0	植生工等の侵食防止	

2) 一災害の当たり潜在損失額の評価

まず、ある斜面の潜在災害規模を、全幅員の道路通行阻害災害と、部分幅員の道路通行阻害災害について、斜面のハザード状態を考慮のうえ想定する。

つぎに、その斜面の道路通行阻害災害の一回当たりの潜在被害額を、全幅員の道路通行阻害災害と、部分幅員の道路通行阻害災害のそれぞれについて求める。

道路通行阻害災害の潜在損失額（USD/ 災害）は、次の4要素の和として求める。

潜在復旧費（USD/ 災害）

潜在人身損失（USD/ 災害）

潜在車輛損失（USD/ 災害）

潜在通行阻害損失（USD/ 災害）

潜在復旧費（USD/ 災害）は、過去の実績値を元に、1 災害当たりの固定費と、道路閉塞延長当たりの単価を設定し算出する。

潜在人身損失費は、過去の実績を元に 1 災害当たりの平均死亡者数と死亡による労働喪失年数、平均年収を元に人身損失単価を設定し算出する。人身損失単価は、他に検討事例が無い場合は、次の簡易式で求めるものとする。

人身損失単価 = (国内総生産 / 人口) × 平均余命 / 2

発災害頻度スコア番号

発災要因アイテム	発災要因カテゴリ				発災頻度スコア (件/年)	
要因アイテムグループ名 地形要因						
溪流幅	3m 未満	3m 以上 5m 未満	5m 以上 10m 未満	10m 以上	FS1	0.00
発災頻度スコア(件/年)	0.06	0.02	0.00	0.00		
チェック欄	0	0	1	0		
流域面積	0.5km ² 以上	0.15km ² 以上 0.5km ² 未 満	0.15km ² 未満		FS2	-0.05
発災頻度スコア(件/年)	0.00	-0.05	-0.07			
チェック欄	0	1	0			
相当するカテゴリに 1 を入力					FS3	0.04
					FS4	0.05
					FS5	0.03
地表状況						
溪流流域に卓越する植生	裸地	草地	林地	不明	FS6	0.09
発災頻度スコア(件/年)	0.20	0.09	0.09	0.09		
	0	0	1	0		
溪流道路横断部で卓越する土質/岩質	レキ	砂	シルト、粘土	岩盤	FS7	0.13
発災頻度スコア(件/年)	0.13	0.01	0.01	0.01		
	1	0	0	0		
変状・異常						
流域における斜面崩壊状況	新しい崩壊地が 主溪流と枝溪流 の供に分布	新しい崩壊地が主溪 流のみに分布	新しい崩壊地が枝溪流 のみに分布	新しい崩壊地 が認められな い	FS8	0.05
発災頻度スコア(件/年)	0.06	0.06	0.05	0.07		
	0	0	1	0		
道路脇の土石流跡/痕跡	道路脇に土石流跡/痕跡あり		道路脇に土石流跡/痕跡なし		FS9	0.00
発災頻度スコア(件/年)	0.01		0.00			
	0					
FRCDpom: 既往対策工の効果を考慮しない場合の年潜在発災件数[件/年]						
FRCDpom = $\sum(FS1:FS9)$					0.34	
既往の対策工 (自由記入)					CEM: 既往対策工の効果係数	
チェツクダム (5 m 高 x 2 基)					CEM	
					0.04	
FRCDp: 年潜在発災件数[件/年]						
FRCDp = FRCDpom x CEM					0.01	

既往対策工の効果係数は災害対策工のタイプ、規模、相対するハザードの規模を勘案のうえ設定する。

FRCDpom: 既往対策工の効果を考慮しない場合の年潜在発災件数 [件/年] は、発災要因カテゴリに対応する発災頻度スコアの総和として求められる。

FRCDp: 年潜在発災件数は、FRCDpom に CEM(既往対策工の効果係数) を乗じて求める。

各発災頻度スコアは、実績値と潜在値の残差平方和が最小化するように最適解として求めたものであり、マイナス値となる場合もある。

図－5 年潜在年発災件数評価シート（横断溪流）の算出例

発災要因アイテム	発災頻度スコア (件/年)	スコア レンジ (件/年)											
		-0.20	-0.10	0.00	0.10	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25		
地形要因: 要因アイテムグループ I	該当スコア												
溪流幅: W	3 m $\geq$ W	0.06											
	5 m $\geq$ W > 3 m	0.02											
	10 m $\geq$ W > 5 m	0.00											
	W > 10 m	0.00											
流域面積: A	A $\geq$ 0.5 km ²	0.00											
	0.5 km ² > A $\geq$ 0.15	-0.05											
	0.5 km ² > A	-0.07											
道路横断部の溪流 勾配: G	G $\geq$ 20°	0.07											
	20° > G $\geq$ 15°	0.06											
	15° > G $\geq$ 10°	0.05											
	10° > G	0.04											
溪流部の最大傾斜 : G	G $\geq$ 40°	0.00											
	40° > G $\geq$ 30°	-0.03											
	30° > G $\geq$ 15°	-0.03											
	15° > G	-0.06											
横断部の溪流河床 と路面との比高: H	1 m $\geq$ H	0.02											
	2 m $\geq$ H > 1 m	0.02											
	5 m $\geq$ H > 2 m	-0.01											
	H > 5 m	-0.28											
地表状況: 要因アイテムグループ II	該当スコア												
溪流集水域に卓越 する植生	裸地	0.20											
	草地	0.09											
	林地	0.09											
	不明	0.09											
道路横断箇所に卓 越する溪流堆積物	ボルダー、コブル、レキ	0.13											
	砂	0.01											
	シルト、粘土	0.01											
	露岩	0.00											
変状・異常: 要因アイテムグループ III	該当スコア												
溪流集水域に卓越 する崩壊	主谷および枝谷に新たな崩壊が形成されている。	0.06											
	主谷にのみ新たな崩壊が形成されている。	0.06											
	枝谷にのみ新たな崩壊が形成されている。	0.05											
	新たな崩壊が認められない。	-0.01											
土石流の跡が道路 脇に認められる	有	0.01											
	無	0.00											

同じ発災要因アイテムの中で最小と最大の発災頻度スコアの差をスコアレンジと称する。このスコアレンジが大きい発災要因アイテムは、要因として、比較的災害発生頻度への影響度が大きいことを示唆している。

図－6 発災頻度スコアの解析結果の例（横断溪流）の年潜在発災頻度評価シート

潜在車輛損失は以下の設定を元に算出する。過去の実績を元に 1 災害当たりの平均被災車輛数を設定する。平均車輛修理費（税抜き）、保険超過金と事故調査費用（ともに保険に加入の場合）、車輛が使えないことによる業務損失（業務車輛の場合）を構成要素として算定する。

潜在通行阻害損失（USD/ 災害）は、次式により求める。

潜在通行阻害損失＝年平均日交通量 × 想定全幅員通行阻害日数 × 車輛の平均通行阻害損失額

想定全幅員通行阻害日数（日）は、過去の実績を元に、道路通行阻害延長（m）の関数として設定する。

車輛の平均通行阻害損失額（USD/ 災害）は、待機損失、迂回損失、通行取りやめ損失の3要素の和として求められる。運転手の3種の行動選択は全幅員道路通行阻害日数により変化する。この行動パターンは運転手への質問表聞き取り調査により設定する。

待機損失は、1 車輛当たりの交通時間価値単位と総待機時間の積として算出する。

迂回損失は、迂回に伴う車輛走行費用の総増分に、迂回に伴う走行時間の総増分と車輛の平均交通時間価値単位の積を加えて算出する。

通行取りやめ損失は、運転手への質問表聞き取り調査時に代替通行手段への支払い意思額を調査し、算定する。

図-7 にネパール国の主要幹線国道において算出した、車輛の平均通行阻害損失額の例を示す。

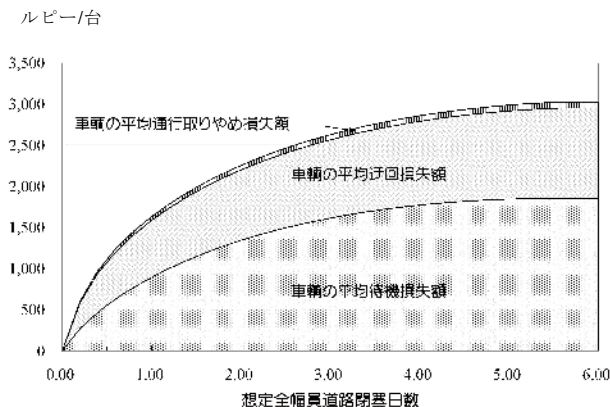


図-7 車輛の平均通行阻害損失の例
(ネパール国の主要幹線国道)

4. 舗装の劣化による年潜在損失額の算定

舗装の劣化の点検手法は、視覚状態指標など各種あるが、最終的には舗装状態を Good、Fair、Poor、Bad の4カテゴリに区分して評価する。

世銀が開発した道路開発管理アプリケーション HDM-4 を用いると、この舗装状態のカテゴリ相当する車種別の1 km 当たりの車輛走行費用単価と、走行速度が得られるので、この管理アプリケーションを利用する。

これらの数値を元に、舗装が Good よりも劣化した状態にある場合に生じる年潜在損失額を算出することが可能である。この算出は、車輛走行費用の総増分に、走行時間の総増分と当該路線の車輛の平均交通時間価値の積を加えることにより行う。

5. 補修・修繕の便益の算出と経済評価

各道路セグメントにおいては、道路斜面・舗装に係る年損失額を求め、単位道路延長あたりの年損失額の大きなセグメントを整備優先セグメントとして抽出することや、単位道路延長あたりの年損失額の目標値を設定することが可能である。

山岳道路においては地すべりや路肩崩壊等により、道路舗装や路体の損傷が進行している箇所もある。その原因は、高い地下水位や、雨水の集中・排水不良であることも多い。この場合、道路斜面・舗装・道路排水を統括した対策計画を作成することにより、効率的な損失の削減が可能になると考えられる。

対策前後の年潜在損失額の差は、対策の年便益であり、この費用と便益を解析することにより事業の経済的評価が可能である。解析により求められる経済指標を活用し、より合理的なアセットマネジメントの構築が可能となる。

6. 本手法の利点と限界

本手法は、簡便な損失評価手法により道路維持管理計画作成の省力化・効率化を図ったものである。

本手法で求められる、年潜在損失額等の経済指標の精度は、交通量調査、過去の災害履歴、斜面・舗装点検データの蓄積度やデータの精度に依存している。

よって、データの精度向上や効率化のための点検機材の整備や・点検員の訓練が必要となる。

謝辞：本手法の開発は、独立行政法人 国際協力機構 (JICA) が実施した、あるいは実施中の開発調査および技術支援プロジェクトの中で実施したものである。

- ・ フィリピン国 道路土砂災害危険度の評価・管理計画調査 (2006 年 3 月～2007 年 6 月)
- ・ ネパール国 ナラヤンガート～ムグリン道路防災管理計画調査 (2007 年 7 月～2009 年 2 月継続中)
- ・ フィリピン国 道路・橋梁の建設・維持に係る品質管理向上プロジェクト (2007 年 2 月～2010 年 3 月継続中)

本論文を作成するにあたりご示唆いただいた独立行政法人 国際協力機構、開発調査団員、技術支援プロジェクト専門家・業務調整、フィリピン国公共事業道路省、ネパール国治水砂防局・道路局の御協力をいただいた皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 編者 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資
の評価に関する指針（案）、財団法人 日本総合研究所発行、
1998
- 2) 平成 15 年度土木研究所資料、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、2003
- 3) 独立行政法人国際協力機構 フィリピン国 道路土砂災害危
険度の評価・管理計画調査 最終報告書、2007.6
- 4) Department of Public Works and Highways, Philippine,
Visual Road Condition Assessment Manual, RCOND,
Version No.8, 2007.9

