

◆ 報 文 ◆

道路斜面災害のリスク評価法について

田中 衛* 恒岡伸幸** 三木博史***

1. はじめに

道路斜面災害の発生件数は防災対策の進捗により減少してきたものの、依然、我が国には膨大な数の危険な道路斜面が存在し、また、ゲリラ雨による崩壊や大規模岩盤崩落等、対策が困難な部分での災害が目立ってきている。そのため、道路管理者は、限られた財源や管理体制の下で効果的かつ効果的な防災管理を行うとともに、国民に対して斜面災害リスクの実態や防災対策の投資効果を明示することが求められている。そこで、筆者らは、道路管理者の意志決定の支援を行うツールとして、損害保険の分野で開発されたリスクカーブを使用し、道路斜面災害のリスク評価、マネジメント手法について研究を行った¹⁾。本稿では、道路斜面災害のリスクを数量化する手法として、斜面崩壊のフラジリティカーブを求め、リスクカーブを作成する方法について紹介する。

2. リスクカーブとは

リスクカーブとは、縦軸に、災害を引き起こす誘因、たとえば降雨や地震などの年超過確率を取る。小さい年超過確率は稀な豪雨や大地震に対応する。横軸には、その誘因の大きさで発生する災

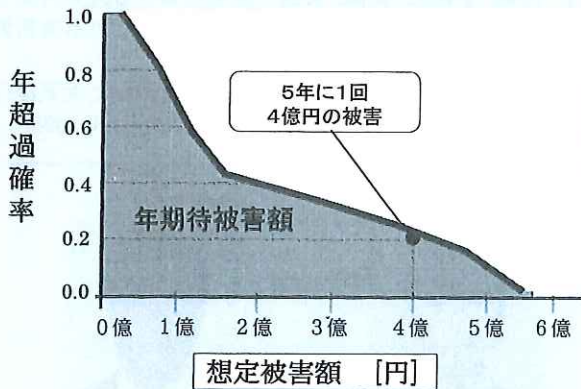


図-1 リスクカーブによる路線の想定被害の比較

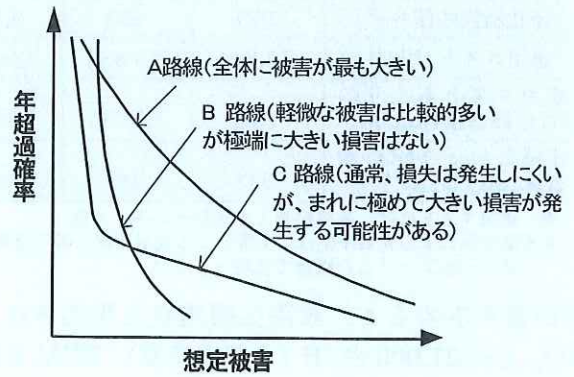


図-2 リスクカーブによる路線の想定被害の比較

害をもたらす想定被害額をとる。図-1のリスクカーブを例にとれば、年超過確率 0.2 の点のもつ意味は「5年に1回 4億円の被害」があることを示しており、これより超過確率の小さな災害では、4億円を上回る被害が生じる。また、リスクカーブで囲まれる面積は年期待被害額となる。

リスクカーブの形状からは、路線区間全体(あるいは路線区間内の個々の斜面)の抱えているリスクの大きさ、程度、特性を知ることができる。

たとえば、A, B, C という3路線のリスクカーブが図-2のように表せたとする。この場合、A路線が3路線の中でも最も被害が大きいと想定されるので、A路線から対策を実施するのが望ましいと考えられる。B路線では軽微な被害は起こりやすいが、大規模な被害は起こりにくいと想定されるので、費用のかかる対策工でなく、日常の道路管理で対応することが望ましいと考えられる。反対に、C路線の場合は、普段は被害が発生しないが、まれに大きな被害が起きると想定されるので、重大な被害の恐れのある斜面を対象に対策工を行うことが望ましいと考えられる。このように、リスクカーブを使うことにより、道路が抱えている斜面災害のリスクの現状をわかりやすく表示し、適切な対策をとることが可能となる。

3. リスクカーブの作成方法

道路斜面災害のリスクカーブは図-3の策定手

Research on the Risk Evaluation method for Slope Failures of Roads

順に示したとおり、①の「降雨の年超過確率」から番号順に算定していく。以下では、リスクカーブの作成手順を事例を使いながら具体的に説明する。なお、リスクカーブは斜面ごとに作成し、路線区間全体のリスクカーブは、区間内の個別斜面の被害額を年超過確率ごとに合計して作成する。

3.1 検討対象路線

検討は、宮崎県の国道 220 号の延長 32.5Km の路線区間 (距離標 16.5~49KP) で行った (図-4)。この区間の斜面は、風化した砂岩や泥岩が流れ盤となっており、台風や豪雨による土砂災害が頻発しているため、事前通行規制区間になっている。

この区間内の自然斜面およびのり面の斜面数および過去 20 年間の崩壊件数を表-1 に示す。

3.2 降雨の年超過確率の算定

降雨指標には式 (1) の計算される実効雨量を用いた。実効雨量は、降雨開始から着目時点までの各時間雨量に、着目時点までの経過時間に応じた低減係数を乗じて合計する連続雨量的な指標で、

表-1 斜面数および過去 20 年間の崩壊斜面数

	のり面	自然斜面
斜面数	79 斜面	103 斜面
崩壊斜面数	13 斜面	36 斜面

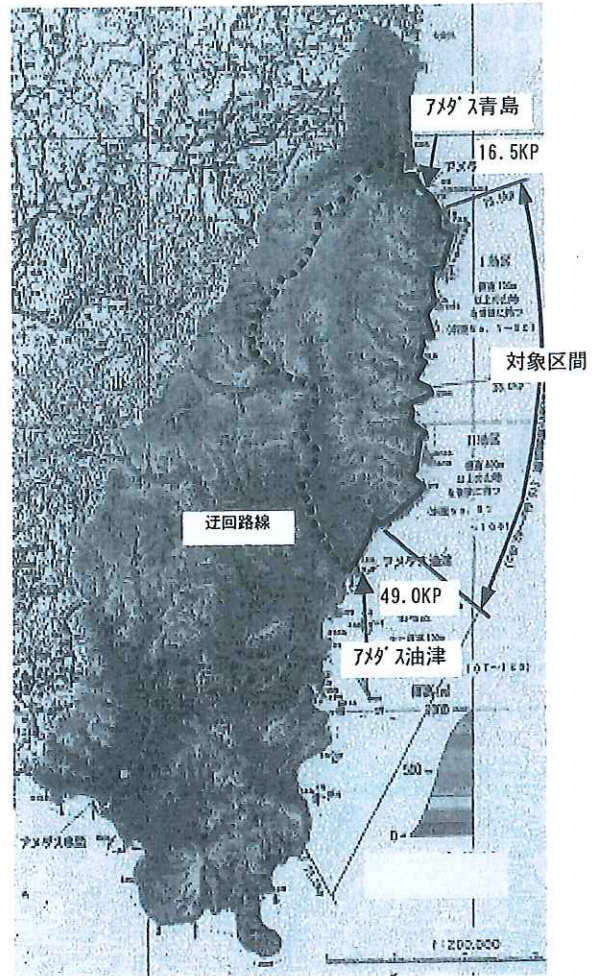


図-4 検討対象路線

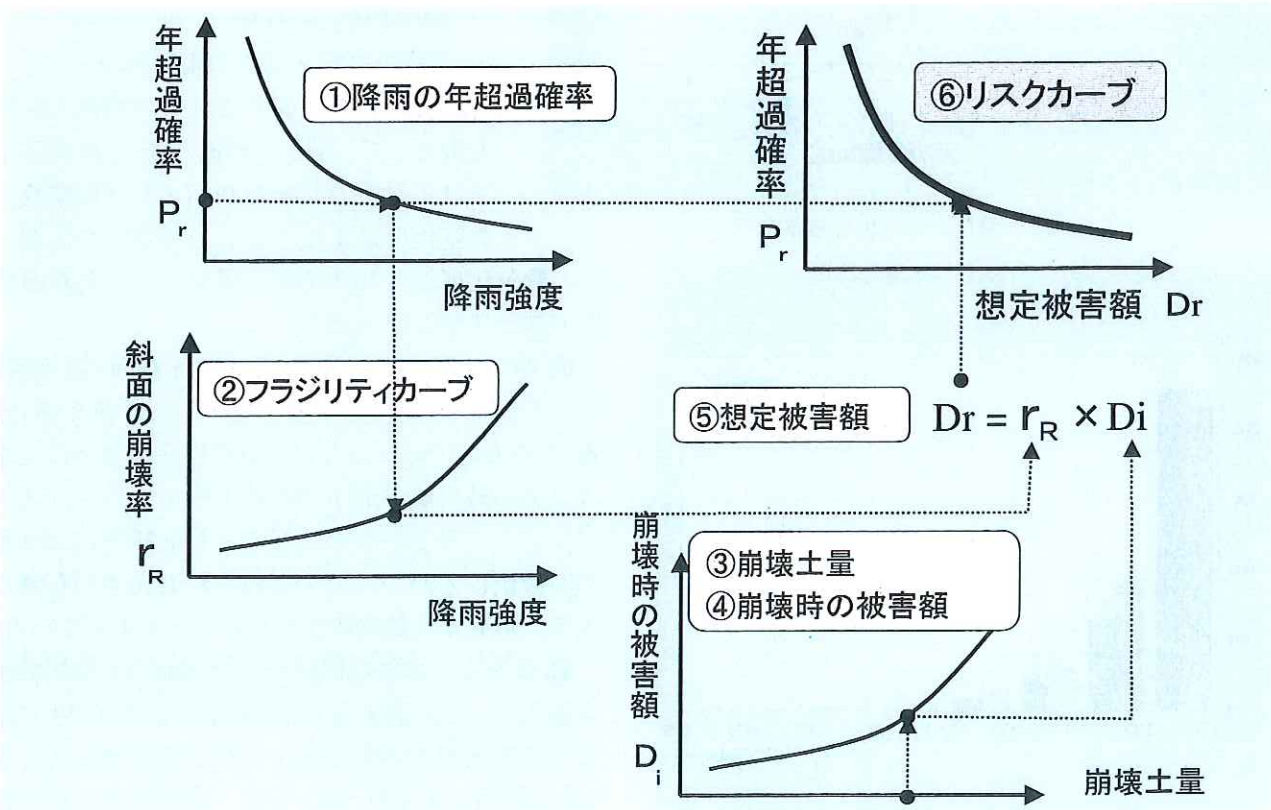


図-3 個別斜面のリスクカーブの作成手順

換算連続雨量とも呼ばれる。実効雨量は、土壤中に残る雨量の影響を表わす指標で、式中の半減期 T は土壤の排水性に応じて設定される。今回の検討では、 T は、対象路線で既往の崩壊土量と実効雨量の相関性が高い 48 時間とした²⁾。

$$\text{実効雨量 } R_W = \sum a_i \cdot R_i \quad (1)$$

R_i : i 時間前の 1 時間雨量 (mm)

a_i : i 時間前の減少係数

$$a_i = 0.5^{i/T} \quad (T \text{ は半減期 (時間)})$$

そして、実効雨量の強度に対する年超過確率については、水文の分野で使われている岩井法³⁾を用い、対数正規分布で算定した(図-5)。

また、後述するフラジリティカーブの作成のため、過去 20 年間のアメダスデータを使い実効雨量の経時変化を算定し、50mm を超える実効雨量のヒストグラムを作成した(図-6)。

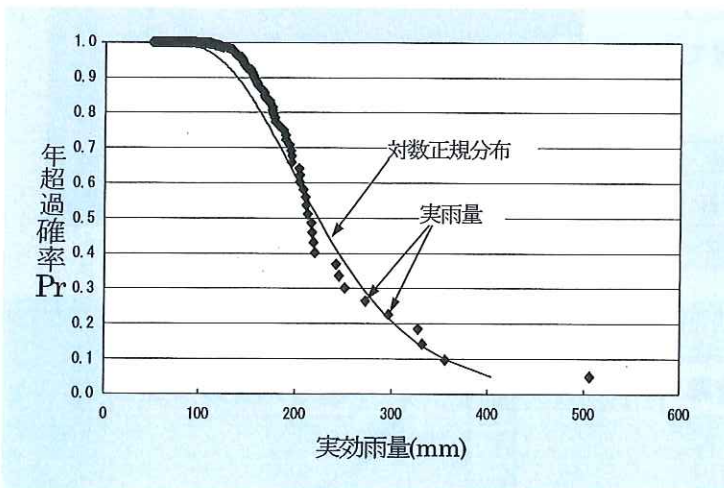


図-5 降雨の年発生超過確率

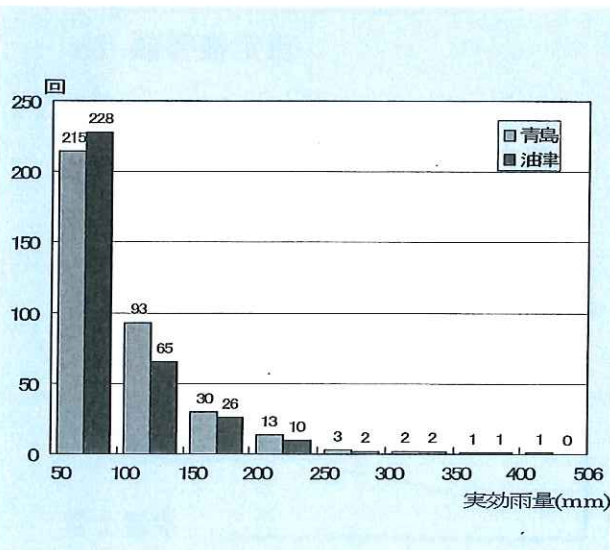


図-6 実効雨量のヒストグラム

3.3 フラジリティカーブの算定

フラジリティカーブとは降雨強度に対して崩壊する斜面の割合(斜面崩壊率)を表わすカーブであり、図-7に示す方法で作成することができる⁴⁾。斜面崩壊率は以下の方法で計算する。

$$\text{斜面崩壊率} = \frac{\text{ある降雨強度の時の崩壊斜面数}}{\text{(斜面数} \times \text{当該降雨強度の降雨回数)}}$$

なお、フラジリティカーブは崩壊形態や崩壊性が似ている斜面ごとに作成することが必要であるため、判別分析による斜面の分類を行う。以下にその概要を示す。

(a) 斜面特性による斜面の崩壊性分類

はじめに、対象路線の斜面群を、個別斜面の特性をもとに斜面の崩壊のしやすさ(斜面の崩壊性)で分類する。個別斜面特性には、国土交通省が行った道路防災点検の結果を利用する。同点検では、斜面特性のカテゴリー分類が点検項目として

設定されており、のり面(切土による斜面)および自然斜面に分けて、以下のような点検項目が挙げられている。

- ・ 「崖錐地形、崩壊性地形、オーバハンク等、崩壊性土質・岩質、流れ盤、不透水性基盤、表土・浮石・転石、湧水、表面の被覆、および当該斜面・隣接斜面の変状」の有無、
- ・ 斜面の勾配・高さの階級区分

そこで個別斜面のこれらの特性を説明変数として、個々の斜面の過去 20 年間における崩壊の有無を判別する判別関数を数量化理論Ⅱ類⁵⁾により作成した。表-2

に、数量化理論Ⅱ類の分析で得られた、各斜面特性のスコアレンジを示す。

個々の斜面の判別関数値は、各斜面の斜面特性(アイテム)に対応するスコアの合計値である。表-2のスコアレンジとは、斜面特性の違いによるスコアの最大値と最小値の差を示すもので、スコアレンジの大きいものほどその斜面特性により判別関数値に差がつく、すなわち斜面崩壊の有無に大きく影響する斜面特性であることを示している。

表-2をもとに路線区間内の全斜面の判別関数値を算出し、その値の大きさ(崩壊のしやすさ)に応じて路線区間の斜面群を 3つ(3以外であってもよい)に区分した(表-3)。なお、崩壊性大と中の区分については、対称斜面数が少なく(182 斜面)、

表-2 (1) 数量化理論Ⅱ類による判別関数(のり面)

順位	アイテム(斜面特性)	スコアレンジ
1	表土・浮石・転石の状況	0.84
2	不透水性基盤の状況	0.78
3	当該斜面の変状	0.69
4	流れ盤	0.62
5	斜面の勾配・高さ	0.41
6	湧水状況	0.32

表-2 (2) 数量化理論Ⅱ類による判別関数(自然斜面)

順位	アイテム(斜面特性)	スコアレンジ
1	斜面勾配	0.89
2	不透水性基盤の状況	0.85
3	斜面高さ	0.75
4	崩壊性地形	0.56
5	崩壊跡地・遷急線	0.45
6	オーバハング等	0.28
7	崩壊性岩質	0.20

判別関数の信頼性が万全でない可能性も考慮し、便宜的に斜面数が偏らないような方法を採用した。

(b) フラジリティカーブの作成

崩壊性大又は崩壊性中と分類した斜面群ごとに、降雨強度に対する斜面崩壊率を算定する。そして、その結果を、最尤法を用いて対数正規分布で回帰させて、フラジリティカーブを作成した(図-8)。崩壊性小と分類した斜面の崩壊率については、崩壊歴がないので、降雨量ごとの斜面崩壊率を算定できない。そのため、全のり面、自然斜面を対象に、20年間に崩壊する確率の期待値(のり面：

表-3 判別関数値による斜面の崩壊性分類

崩壊性	分類の考え方	判別関数値	
		のり面	自然斜面
大	過去20年間の崩壊斜面数が同一になるよう区分	0.7以上	0.4以上
中		-0.6~0.7	-0.7~0.4
小	過去20年間に崩壊履歴の無い斜面	-0.6未満	-0.7未満

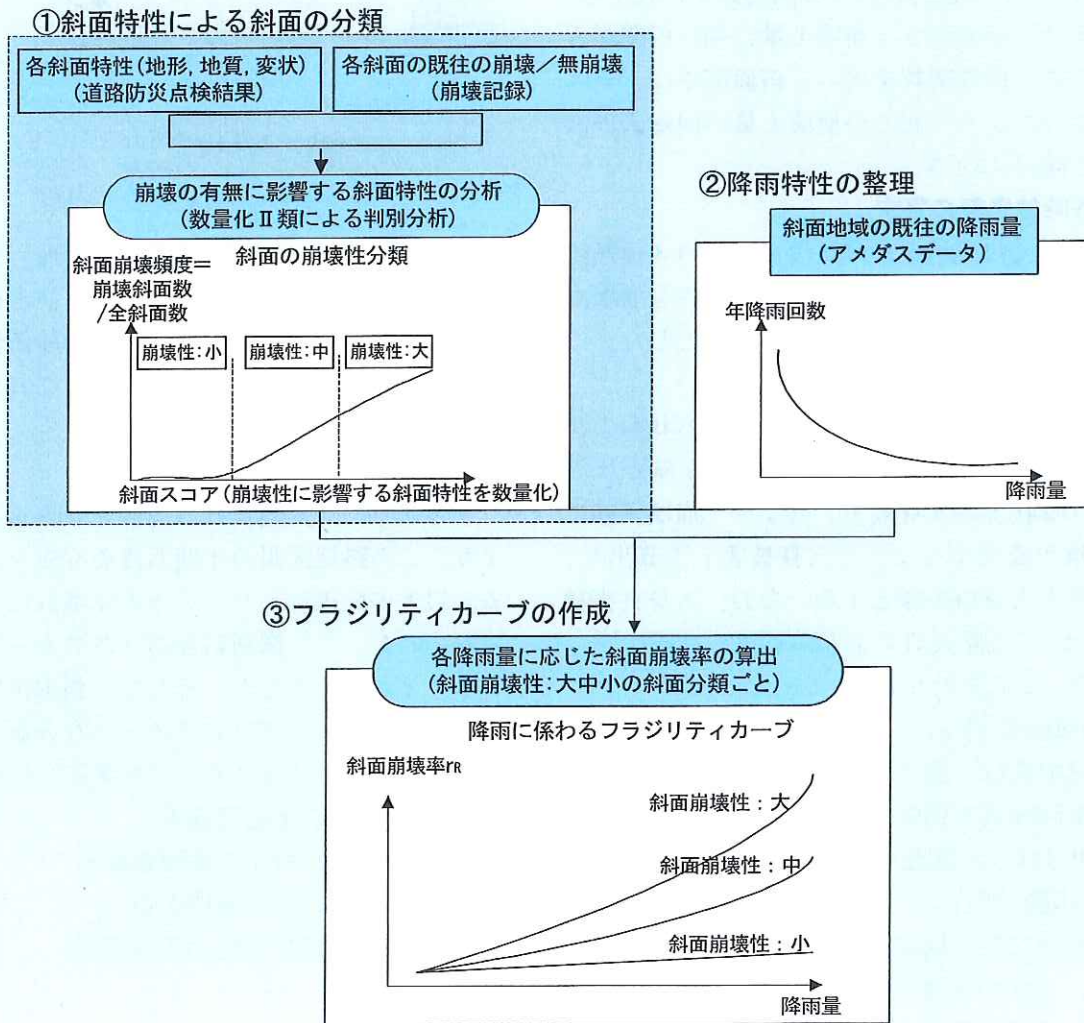


図-7 フラジリティカーブの作成方法

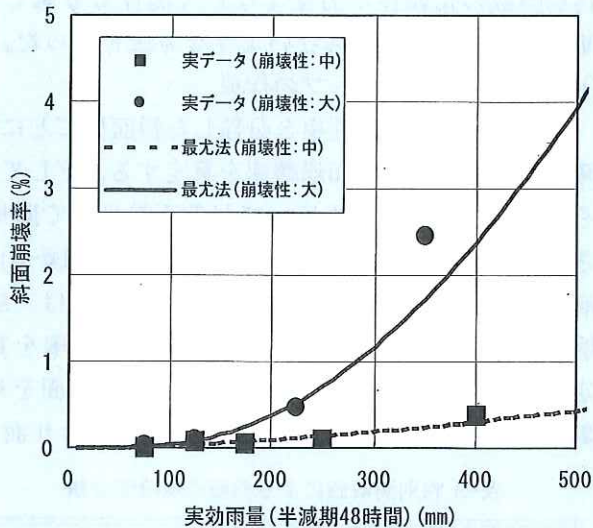


図-8 フラジリティカーブの例 (のり面)

0.82%, 自然斜面: 1.75%) を計算し、あらゆる雨量に対して一定であるとして代用した。

3.4 個々の斜面の崩壊土量の算定

崩壊土量については、既往の斜面崩壊での崩壊土量をもとに、斜面特性による回帰式を作成する。本事例では、斜面高さから崩壊土量に強い相関がみられたため、指数関数を用い、斜面高さによる回帰式を用いた。のり面での崩壊土量の回帰式の設定結果を図-9 に示す。

3.5 崩壊時被害額の算定

斜面崩壊に伴う想定被害額は、下記の3種類の損失項目の合計とし、各損失額はいずれも崩壊土量と道路交通量に基づき算出することとした。

① 人身損失 (D_1)

道路上に流出・堆積する崩壊土砂の形状および道路交通量から、「崩壊土砂中に走行車両が埋没するような状況の人身被害」および「崩壊土砂に走行車両が衝突するような人身被害」を算出し、その合計を人身損失額とする。なお、人身被害額(死亡)は、「道路投資の評価に関する指針(案)」に基づき、1名あたり3297万円とした。

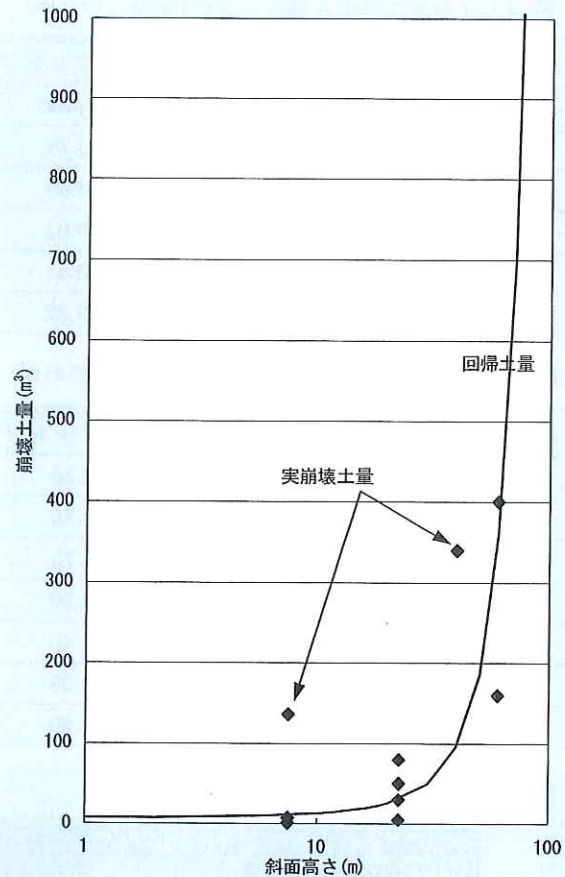
② 道路復旧費 (D_2)

道路復旧費は、過去の崩壊土量による道路復旧費用の単回帰式を作成し、これを基に算定した。

$$D_2 = 9,624.6 \times \text{崩壊土量} (\text{m}^3) + 1,361,600 \quad (\text{円})$$

③ 迂回損失 (D_3)

斜面崩壊に伴う崩壊土砂の日搬出量の目安値を設定し、これで崩壊土量を除いて復旧期間を算定する。この復旧期間中は、道路交通は迂回路を利用するものとして、迂回走行による「時間的ロス」



$$\text{回帰土量} = 10^{(0.0287 \times \text{斜面高さ} + 0.8343)}$$

図-9 崩壊土量の回帰式 (のり面)

および「走行距離に応じた経費の増加」を迂回損失として算定する。時間的ロスおよび走行経費の増加は、車両1台あたりの交通の時間価値原単位および走行費用原単位⁶⁾を参照し、これに道路交通量を乗じて算出する。

3.6 リスクカーブの作成

リスクカーブで囲まれる面積を計算することにより、この路線区間の年間期待被害額を求められる。以上の結果により、以下の4項目について算定ができたので、個別斜面のリスクカーブを図-3 に示す手順で算定した。そして、路線区間内のすべての斜面についてリスクカーブを合計することで、路線区間のリスクカーブを算定した(図-10)。

- ① 各降雨量の年超過確率
- ② 各降雨量に対する斜面崩壊率
- ③ 斜面崩壊に伴う崩壊土量
- ④ 各崩壊土量に対応する被害額

4. まとめ

本稿では、降雨に起因する斜面災害の被害額を

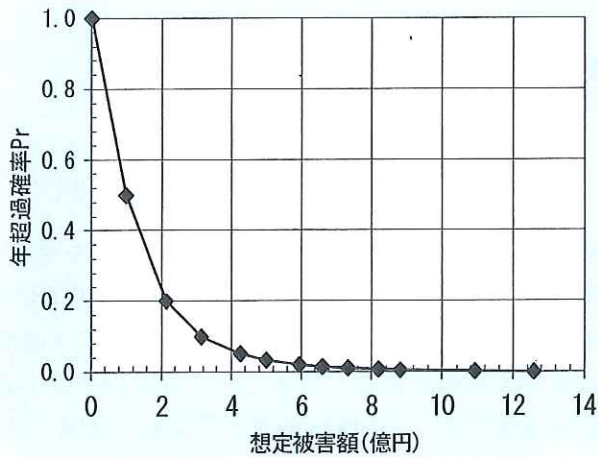


図-10 降雨による斜面崩壊に伴うリスクカーブ

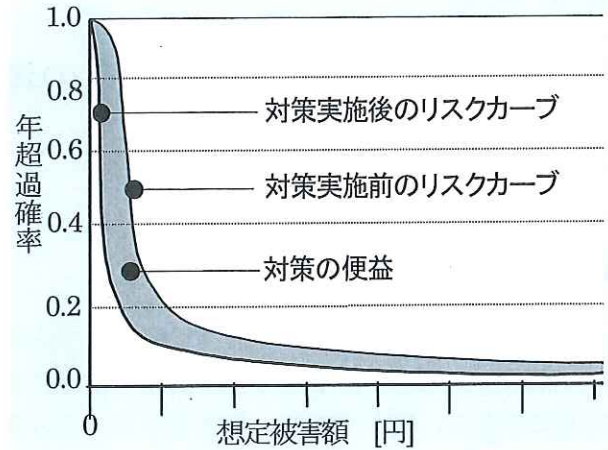


図-11 リスクカーブと対策の効果

道路防災点検結果、降雨履歴、災害履歴等を用いてリスクカーブとして算定する手法を示した。リスクカーブは、図-11のように、防災対策の実施により変形するので、その変形量(リスクの低減量)で対策の効果(便益)を明示できる。これにより、防災対策の費用便益分析が可能となり、道路管理者の意志決定を支援することが可能となる。今後は、リスクの算定に含まれる不確実性をどのように定量化し、意志決定支援に反映させていくかを検討するとともに、モデル路線において、リスクカーブを使ったリスクマネジメントについて試行する予定である。

参考文献

- 1) 三木博史、田中衛他：道路斜面のリスク評価・マネジメント技術の開発, 平成 13 年度土木研究所講演会講演集, pp87-111, 2002 年.1 月
- 2) 地盤工学会：切土法面の調査・設計から施工まで, 地盤工学実務シリーズ 5, pp450-458, 1998 年 1 月
- 3) 建設省河川局監修：(社) 日本河川協会編, 山海堂, 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 調査編, pp61-76, 1997 年 9 月
- 4) 中野穰治、浜田友康他：斜面崩壊のフラジリティの統計的評価手法, 第 36 回地盤工学研究発表会講演集 2 分冊の 2, pp2433-2434, 2001 年 6 月
- 5) 小林龍一：量理論入門, 日科技連, 1981 年 6 月
- 6) 道路投資の評価に関する指針(案), 道路投資の評価に関する指針検討委員会編, (財) 日本総合研究所, 1998 年 6 月

田中 衛*



独立行政法人土木研究所四国地方整備局徳島工事事務所調査第一課長
(前 材料地盤研究グループ土質チーム研究員)
Mamoru TANAKA

恒岡伸幸**



同 材料地盤研究グループ土質チーム上席研究員
Nobuyuki TSUNEOKA

三木博史***



同 技術推進本部総括研究官
(前 材料地盤研究グループ長)
Hiroshi MIKI