

# 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スクマネジメント手法に関する提案

大津 宏康<sup>1</sup>・大西 有三<sup>2</sup>・水谷 守<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻  
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>2</sup>正会員 工博 Ph.D. 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻  
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

<sup>3</sup>正会員 工修 モダンエンジニアリングアンドデザイン  
(〒162-0828 東京都新宿区袋町25-30-207)

本研究の目的は、高速道路に近接する斜面の地震・集中降雨等に代表される自然災害に対するリスクマネジメント手法を提案するものである。ここで提案する手法の特徴は、Event Tree (ET) を用いてハザードとなる自然災害により発生する被害状況を明確に関連づけることであり、またリスクを負う対象者として道路事業者のみならず利用者をも加えるため、リスク評価のパラメータとなる災害に伴ない生じる損益を社会工学的な観点に基づき評価することである。さらに、この手法を簡単な例題を適用した検討結果において、対策工の投資費用対リスク低減効果を明確に評価可能であることを示した。この結果より、本論文で提案する方法が、リスクマネジメント手法として高い適用性があることを示した。

**Key Words** : probability, reliability analysis, risk analysis, event tree, slope

## 1. はじめに

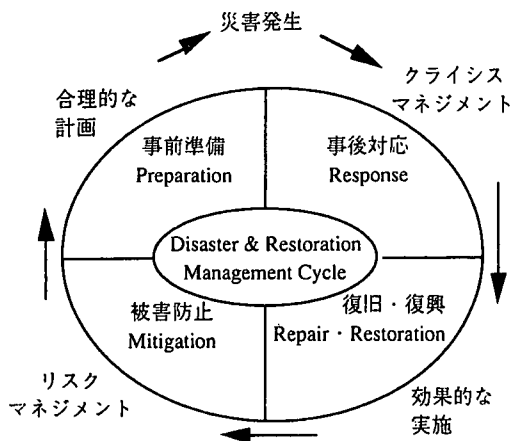
近年、阪神大震災を契機として、地震に代表される自然災害に対する危機管理のあり方が、防災の観点から重要な検討課題として注目されるようになってきた。例えば、高速道路に代表されるインフラストラクチャを想定した場合には、ひとたび自然災害によりその機能が喪失すれば国民生活に重大な支障をきたすことから、危機管理体制の立案が早急な検討課題である。このためには、自然災害に伴い発生する被害シナリオを可能な限り想定し、それぞれの被害シナリオに対してどのような支障が生じるかを推定することが不可欠な事項となる。つまり、従来の「ものづくり」優先の観点に代わり、「ものづかい」の観点からインフラストラクチャが被災した場合にはどのような被害が生じるかを推定することが、極めて重要な検討事項となる。そして、このような課題に対応する一方策として、リスクマネジメント(リスク管理)という概念が広く知られるようになってきた。

本研究の目的とする所は、上記のような社会的要

請を踏まえ、インフラストラクチャを対象とした自然災害に対するリスクマネジメント手法を提案することである。

なお、現状ではリスクマネジメントについては、クライシスマネジメント(危機管理)と等価であるかのように取り扱われている事例も認められる。しかし、本研究では、リスクマネジメントはクライシスマネジメントと異なるものとして取り扱う。すなわち、図-1に示すように、自然災害に対する時系列な対応のサイクルの中で、リスクマネジメントは災害発生前の被害防止に相当する事項であり、一方クライシスマネジメントは災害発生後の事後対応に相当する事項であると定義する。

また、リスクについては、現状では様々な定義がなされているが、広い意味では不確実な要因に伴い何らかの損失が発生する危険性を表す用語として取り扱われることが多い。その代表的な事例としては、景気変動あるいは通貨変動のような不確実性を含む要因に伴い損失が生じる危険性を表す用語である、経営リスクあるいは金融リスク等を挙げることができる。

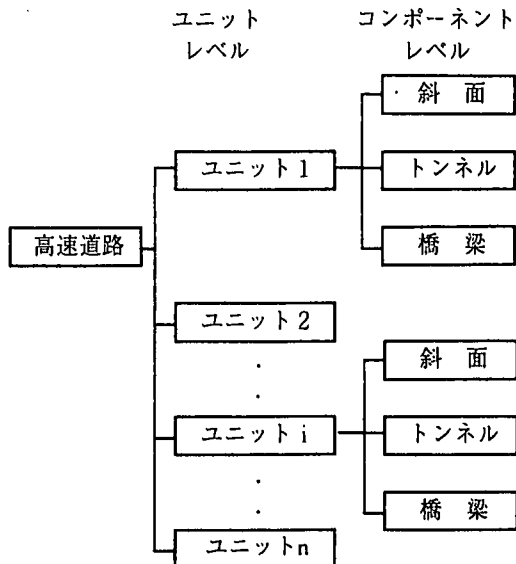


図一 自然災害に対する時系列的対応のサイクル

この事例でのリスクとは、個人あるいは企業が投資をする場合に、それに伴い損益を被る危険性を表すものである。具体的には、この場合のリスクは、投資をする際に事前に想定される被害シナリオの発生する確率と、そのシナリオの発生に伴い投資を行う個人あるいは企業が被る損益の積、すなわち損失期待値となる。さらに、この事例でのリスクマネジメントとは、ポートフォリオ分析に代表されるように、リスクの低減を図るための実行可能な方策を戦略的に立案することになる。

上記の事例と同様に、本研究で取り扱うインフラストラクチャを対象とした自然災害に対するリスクマネジメントとは、地震・集中豪雨等の自然ハザードに対する現状での施設の損失期待値となる被災リスクを定量的に評価する (*Risk Assessment*) と共に、その被災リスクを合理的に低減する (*Risk Mitigation*) 方策を戦略的に立案するものと位置付ける。

ただし、この災害により損益を被る対象者は、インフラストラクチャが本来有する公共的な性質から、先の金融リスク等と異なり事業者のみでなく、利用者をも加える必要がある。例えば、高速道路が自然災害により使用不能となり閉鎖された場合には、事業者（道路事業者）の被る損益としては、原形復旧費・サービス中断に伴う料金収入の減少・被災者への保証費等が想定され、利用者の被る損益としては、迂回による走行時間の損失あるいは営業機会喪失等に伴う損益が想定される。したがって、このような様々な損益を考慮し被災リスクを評価するためには、従来の施設が破損することに対する危険性についての力学的な検討のみでなく、その破損によ



図二 高速道路のモデル化

り利用者が具体的にどのような損失を被るかという社会工学的な観点からの検討が必要となる。そして、この場合の被災リスクは、事業者リスクと利用者リスクの和となる。

以上の事項を踏まえて、本論文では、上記のような社会工学的な観点からの検討が必要となる、インフラストラクチャの事例として高速道路を取り挙げ、そのリスクマネジメント手法について提案するものである。

ここで、高速道路は広範囲に渡る線状構造物であり、その災害リスクを評価する上では、図二に示すユニット・コンポーネントの集合体としてモデル化が可能である。つまり、高速道路へ出入りする各ランプ間がユニットに相当し、その各ユニットを構成する斜面（盛土、切土）・トンネル・橋梁（高架橋を含む）等の土木構造物がコンポーネントに相当すると解釈できる。このように高速道路をモデル化することで、自然ハザードに対して、一つのユニットの機能が損なわれること、すなわちあるランプ間が通行不可能となる危険性を評価するためには、そのユニットを構成する各コンポーネントがそれぞれの程度の損傷を被る危険性があるかを評価する必要がある。このため、厳密な意味での自然災害に対する高速道路のリスク評価は、ユニット毎になされるべきであり、またそのユニット毎のリスクは、コンポーネントとなる斜面（盛土、切土）・トンネル・橋梁（高架橋を含む）等の土木構造物毎に想定される損傷に応じて評価する必要がある。

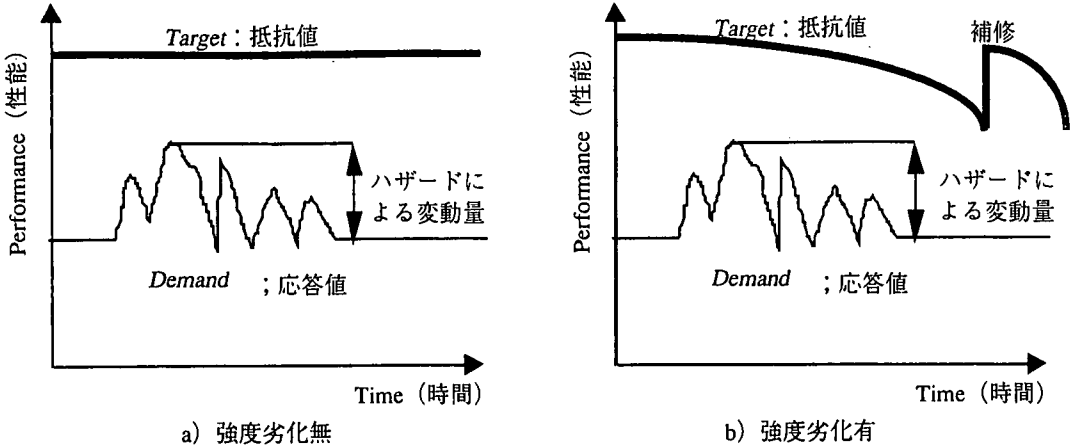


図-3 ハザードの基本的な考え方

本研究で提案するリスクマネジメント手法は、本質的には上記の高速道路のコンポーネントに相当する、上記のいずれの土木構造物に対しても適用可能である。本論文では、議論を簡素化しその方法論を明確にするために、高速道路が通行不能となる様々な被害形態の中で、過去の災害事例の多い道路に隣接する斜面崩壊に着目し、その崩壊に対するリスクマネジメントの方法についてのみ言及する。

上記のリスクマネジメント方法を立案する方法は、以下の手順からなる。

- 1) 災害の原因となる自然ハザードの設定
- 2) 想定される被害シナリオの設定
- 3) 被害シナリオの発生確率の算定
- 4) 現状でのリスクの算定
- 5) リスク低減効果の評価及びそれに基づく最適な対応策の立案

以上の手順で、想定した自然ハザードに対して算定されるリスクを指標として用いることで、対策工の費用対リスク低減効果を明確できることから、本論文で提案する手法が、合理的なリスクマネジメント手法としての有効な手段となることを示す。

## 2. 自然ハザードの影響評価および設定に関する基本概念

自然ハザードとは、災害を発生させる要因であるが、その影響はハザードとして地震を想定とした場合には、概念的には図-3の模式図に示すように表すことができる。

一般に構造物の安定性は、抵抗値（保有耐力）と

応答値の関係で議論される。例えば、通常の安定解析では、抵抗値と応答値の比が安全率として定義され、また信頼性解析では、抵抗値と応答値の比あるいは差が性能関数として定義される。

抵抗値は、その材料の特性により図-3に示すように時間空間で一定値すなわち強度劣化しないタイプと、時間とともに強度が劣化するタイプに分類される。この内、抵抗値が時間とともに強度が劣化する現象としては、地盤材料では風化による強度劣化、またコンクリート材料ではいわゆる経年劣化が挙げられる。このような考え方の下では、補修とは経年劣化した材料の抵抗値を人為的に向上する行為と捉えられる。一方、応答値は常時にはほぼ一定であるが、時間的に変動する量がハザードに起因するものである。例えば、斜面の安定問題を対象とした場合には、常時の応答値は自重に起因するが、ハザードとなる地震動に伴う慣性力が作用することで応答値が増加するものと捉えられる。

したがって、斜面の安定問題でハザードを地震動と想定した場合には、ハザードが応答値のみを変動させる問題に相当する。

前述の地震に代わり、ハザードとして降雨を想定した場合には、トンネル等の抗土圧構造物では、降雨による変動量は応答値に関連する構造物への作用水圧のみとなるため、抵抗値と応答値について地震動を対象とした場合と同様な議論が可能となる。ただし、斜面の安定問題を対象とした場合には、抵抗値は、風化による経年劣化特性を有するか否かに関わらず、時間空間で降雨というハザードの発生に伴う水位上昇すなわち、有効応力の減少により低下する。また、応答値も常時の一定値から、テンション

斜面崩壊パターンの分類

- ・パターン1：崩壊土塊が斜面内で留まる
- ・パターン2：崩壊土塊が車線まで達する
- ・パターン3：崩壊土塊が住宅地域まで達する

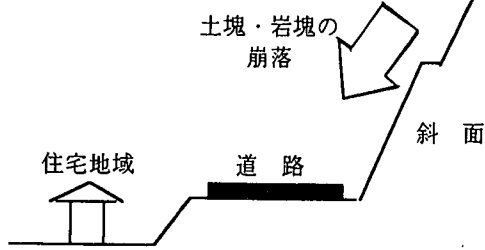


図-4 道路に近接する斜面形状および崩壊パターン

クラックに作用する水圧を想定した場合には変動量となる。

したがって、斜面の安定問題でハザードを降雨と想定した場合には、ハザードが抵抗値および応答値の両者を変動させる問題に相当する。

なお、図-3の模式図に示したハザードに伴う抵抗値および応答値の変動量を評価する上で、そのハザードの発生箇所・頻度・規模については不確定な因子が多いため、一般に確定論的に設定することが困難である。このため、設定すべきハザードの不確定性について対処する方策として、ハザードの発生を統計・確率論に基づき設定する方法が提案されてつづある。その代表事例<sup>1)</sup>・<sup>2)</sup>としては、地震の発生を過去の地震履歴に基づきモデル化し、その地域毎での地震動の発生を、地震ハザード曲線を用いて表現する方法が挙げられる。

このような観点から、本検討で示す斜面のリスクマネジメント手法では、ハザードの設定方法としては地震ハザード曲線に代表される、統計・確率論に基づく手法を用いることを基本とする。

### 3. 想定される被害シナリオの設定

特定のハザードに対するリスクを評価するためには、ハザードとそれに伴い発生する被害との因果関係を明確にする、被害シナリオを詳細に検討することが必要である。一般に、被害シナリオを設定する場合に、リスクを被る被災対象者をどのように設定するかで、その想定される被害シナリオが変化する。

例えば、高速道路に隣接する斜面の被害シナリオ

を想定する場合には、リスクを被る対象者として道路事業者だけを想定する場合と、利用者（ドライバー、近隣住民）をも含めて想定する場合には、被害シナリオが異なる。すなわち、図-4の模式図に示す道路断面を想定した場合には、自然災害による被災状況は以下の3つのフェーズに分類される。

- 1) フェーズ1：斜面の崩壊
- 2) フェーズ2：通行車両の被災
- 3) フェーズ3：近隣住宅の被災

この内、フェーズ2およびフェーズ3の被災は、斜面の崩壊規模（ここでは崩壊土塊が到達する範囲と等価）に依存する。このため、図-4に示すモデルで、崩壊土塊が斜面内で留まる場合（破壊パターン1）には、フェーズ1に後続するフェーズ2およびフェーズ3の被災は発生しない。一方、崩壊土塊が道路まで達した場合（破壊パターン2）にはフェーズ2の被災が発生し、崩壊土塊が住宅域まで達した場合（破壊パターン3）にはフェーズ3の被災が発生する。

上記の各フェーズを考慮した被災状況は、イベントツリー（Event Tree以下ETと称する）<sup>3)</sup>を用いて図-5に示すように展開することができ、この場合の被害シナリオは8パターンとなる。さらに、同図に示した各被害パターンに対して、道路事業者および利用者（ドライバー、近隣住民）が被る被害は、表-1に示すように分類できる。

ここで、表-1に示す道路事業者の損失は、斜面崩壊に伴う崩壊土塊の撤去費を含む原形復旧費、斜面崩壊後の原形復旧までに要する期間に失われる営業損益および、ドライバーまたは近隣住宅の被災に伴う補償費に相当する。また利用者の損失には道路閉鎖期間に別ルートに迂回することにより、道路利用者が被る営業損失に相当する。

このように災害発生に伴い想定される被災状況およびその被災対象者を明確にすることで、実際に災害が発生した場合の対応となるクライシスマネジメントを行う上で、重要な情報を提供することが可能となる。すなわち、事前の検討段階で被害パターンを想定することで、各被害パターンへの対策を立案できるため、実際の災害発生時には速やかな対応が可能となる。

### 4. 被害シナリオの発生確率の算定

図-5のETに展開した各被害シナリオが発生する可能性は、図-6に示すようにETの各分岐確率を

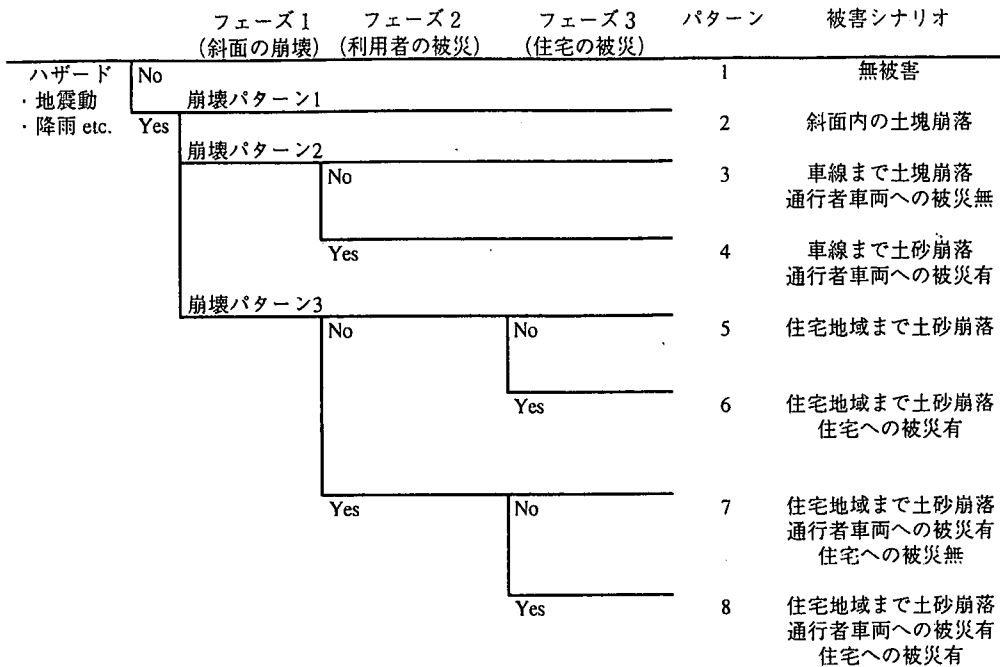


図-5 イベントツリー (ET) による被害シナリオの展開

表-1 各被害パターンの発生に伴う損失

被害パターン	対応策	事業者損失			利用者損失
		原形復旧費	営業損益	補償費	営業損失
1	必要無	-	-	-	-
2	原形復旧	○	-	-	-
3	原形復旧/通行止	○	○	-	○
4	原形復旧/通行止 ドライバーへの補償	○	○	○	○
5	原形復旧/通行止	○	○	-	○
6	原形復旧/通行止 住宅への補償	○	○	○	○
7	原形復旧/通行止 ドライバーへの補償	○	○	○	○
8	原形復旧/通行止 ドライバーへの補償 住宅への補償	○	○	○	○

○ : 考慮する  
- : 考慮しない

		フェーズ1	フェーズ2	フェーズ3	被害シナリオ	発生確率		
						*1	*2	
注) *1 ハザードレベル1: $\alpha_1$ *2 ハザードレベル2: $\alpha_2$ ( $\alpha_1 < \alpha_2$ )	No	0.90 *1 0.85 *2			無被害	$p_1 =$	0.9000 0.8500	
			パターン1					
	Yes	0.10 *1 0.15 *2	0.60 *1 0.50 *2			斜面内の土塊崩落	$p_2 =$	0.0600 0.0750
			パターン2					
			0.30 *1 0.35 *2	No 0.8		車線まで土塊崩落 通行者車両への被災無	$p_3 =$	0.0240 0.0420
				Yes 0.2		車線まで土砂崩落 通行者車両への被災有	$p_4 =$	0.0060 0.0105
			パターン3					
			0.10 *1 0.15 *2	No 0.8	No 0.9	住宅地域まで土砂崩落 通行者車両への被災無	$p_5 =$	0.0072 0.0162
				Yes 0.1	Yes 0.1	住宅地域まで土砂崩落 通行者車両への被災有 住宅への被災有	$p_6 =$	0.0008 0.0018
				Yes 0.2	No 0.9	住宅地域まで土砂崩落 通行者車両への被災有 住宅への被災無	$p_7 =$	0.0018 0.0041
				Yes 0.1	住宅地域まで土砂崩落 通行者車両への被災有 住宅への被災有	$p_8 =$	0.0002 0.0005	
						$\Sigma p_i =$	1.0000 1.0000	

図-6 各被害パターンの発生確率の算定例

設定することにより算定できる。

この内、フェーズ1に係わる分岐確率は、2.において述べたように、ハザードに対する抵抗値と応答値の関係を規定することで、従来の信頼性解析手法<sup>(4)・(5)</sup>を援用し斜面の破壊確率として算定される。したがって、図-6に例示したように、この分岐確率は想定するハザードのレベルによって変動する値となる。例えば、ハザードとして地震動を想定した場合には、想定する地震動のレベルが上がるに連れて、斜面の崩壊する確率がハザードレベルが高くなる連れて、図-6の例に示すように0.10から0.15と高くなる。また、フェーズ2およびフェーズ3の被災に係わる分岐確率も、斜面崩壊の規模および崩壊土塊が到達する範囲により規定されるので、ハザードのレベルによって変動する。すなわち、図-6に例示したように、ハザードのレベルが高くなるに連れて、崩壊土塊の規模が大きくなるため、パターン2およびパターン3の生起確率は高くなり、逆に小規模崩壊に対応するパターン1の生起確率は

減少する。ただし、フェーズ2のドライバーの被災に関する分岐確率のみは、理論的には検討対象とする道路断面を通過する交通車両数に基づき算定されるため、この確率のみハザードのレベルに依存しない。

なお、防災対策によるリスク低減効果の評価方法については後述するが、図-6に示すようにETを用いて被害シナリオを想定することで、以下に述べるような各対策の位置付けが明確となる。

- 1) グランドアンカー、ロックボルトおよび法面防護工等は、フェーズ1の斜面崩壊の発生確率を低減する方策であり、後続する被災の発生確率とは独立である。
- 2) ロックフェンスやロックシェルターは、フェーズ1の斜面崩壊の発生確率とは独立であり、フェーズ2以降の被災が発生する確率を低減する方策である。
- 3) 1), 2)に示す対策工と異なり、集中豪雨発生時の道路閉鎖および近隣住民の避難のようなクライシスマネジメントに係わる対策は、フ

フェーズ1の斜面崩壊の発生確率とは独立であり、それぞれフェーズ2およびフェーズ3の被災が発生する確率を低減する方策である。

さらに、図-3b)に示した風化等の経時的な強度低下の影響を考慮する場合には、理論的には時間 $t=t_0, t_1, \dots, t_n$ 時点での強度が定義できれば、図-5と同じ構造のETで、各時間毎の強度(抵抗値)を用いた斜面の破壊確率を算定することで、強度劣化による被害パターンの発生確率への影響が定量的に評価可能となる。

## 5. 現状リスクの算定およびリスク低減効果の評価

本検討でのリスクは、Benjamin・Cornell<sup>6)</sup>の研究に代表される古典的信頼性解析手法に準拠し、次に示す条件付き期待値として定義する。

$$R = \sum P_i \times L_i \quad (1)$$

ここで、 $P_i$ はETに展開された被害パターン $i$ の発生確率、 $L_i$ は被害パターン $i$ が発生することに伴う損失、 $R$ はリスクを表す。

したがって、リスクは数学的には損失期待値として評価される。また、2.で述べたように、風化等の経時的な強度低下の影響を考慮する場合には、同様な手法で時間 $t=t_0, t_1, \dots, t_n$ 時点でのリスクが算定される。

なお、式(1)に含まれる損失 $L_i$ は、表-1に示した被害パターン $i$ に対応する各損失の総和として表されるものであり、定量的な評価を行う上ではコスト次元で評価することが望ましい。

ここで、上述の損失 $L_i$ に含まれる各損失の設定方法についての基本的な考え方を、以下に要約する。

- 1) 道路事業者損失の内、斜面崩壊に伴う崩壊土塊の撤去費を含む原形復旧費は、想定される崩壊土塊量の関数となる工事費として算出される。また、斜面崩壊後の原形復旧までに要する期間に失われる営業損失は、その道路の1日当たりに通行料収入と道路閉鎖日数の積として算出される。このため、原形復旧費は対象とする道路・地域での格差が比較的小さくなるが、営業損失は通行車両数に依存するため、対象とする道路・地域での格差が大きくなる。
- 2) ドライバーや近隣住宅の被災に伴う補償費について、ドライバーの被災は、対象とする道路

の通常の通行車両数に基づき被災する可能性が有る人数を設定し、その人数と補償額との積として算出され、また近隣住宅の被災については、崩壊土塊の到達範囲によりその被害額を算出される。

- 3) 利用者(第三者)損失は、道路閉鎖期間に別ルートに迂回することや、経済活動に対する機会喪失により被る営業損失に相当するため、災害の発生に伴う地域経済の生産性低下を定量化する必要が有る。したがって、利用者(第三者)損失は、対象とする道路・地域毎での格差が非常に大きくなる。

上述の各損失についての定義の下で、道路事業者の原形復旧費を除く各損失は、対象とする道路の地域毎での格差が生じることから、これらの損失を評価することは、その道路の重要度あるいは価値を定量的に評価することに相当する。

なお、従来よりここに示す利用者(第三者)損失については、定量化することが困難であるとされてきた。しかし、近年土木計画学の分野では、道路の費用便益に関する定量的な評価分析手法が提案されつつある。したがって、これらの手法に準拠し、災害に伴いその便益(効用)が失われると仮定すれば、利用者(第三者)損失が定量化可能になると推定される。さらに、これらの従来は考慮されなかった損失評価は、近年新しい建設マネジメントの方式として注目されているPFIを導入するためには、不可欠な検討課題である。

以上のような基本方針の下で、例題として図-6に示すETを用いて損失 $L_i$ を仮定した場合のリスク評価結果を図-7に示す。なお、この例では道路事業者の直接損失を $U$ ( $U$ :基本ユニットとする)として、その他の損失を設定した。

図-7に示すように、設定したハザードレベルに対して、式(1)に基づき現状でのリスクが算定される。この結果では、事業者リスクおよび利用者リスクは、それぞれ1.5350 $U$ および0.5000 $U$ であり、総リスクはその両者の和の2.0350 $U$ となる。

次に、上記の現状リスクを算定した後に、そのリスクを低減するための対策工の効果を定量的に評価する方法について概説する。

ここでは、現状リスクを低減する方法として、以下の2つの改善策を想定する。

### a) 改善策1

グラウンドアンカーあるいはロックボルト等の対策工を施工することで、直接的に斜面の崩壊を制御する方策に相当する。

図-7でのETでは、フェーズ1の斜面の崩壊

フェーズ1 斜面崩壊	フェーズ2 人的被災	フェーズ3 住宅被災	発生確率 $P_i$	事業者損失			利用者損失	risk $p_i \times C_i$
				原形復旧費	営業損益	補償費	営業損失	
No 0.9 パターン1			0.9000	0	0	0	0	0.0000 U
Yes 0.1 パターン2	0.6		0.0600	U	0	0	0	0.0600 U
	0.3	No 0.8	0.0240	10U	0.5U	0	10U	0.4920 U
		Yes 0.2 パターン3	0.0060	10U	0.5U	100U	10U	0.7230 U
	0.1	No 0.8	0.0072	15U	U	0	20U	0.2592 U
		Yes 0.1	0.0008	15U	U	200U	20U	0.1888 U
	Yes 0.2	No 0.9	0.0018	15U	U	100U	20U	0.2448 U
		Yes 0.1	0.0002	15U	U	300U	20U	0.0672 U
事業者リスク：1.535U 利用者リスク：0.500U			$\sum p_i$ ： 1.0000				Risk： 2.0350 U	

図一7 リスク（損失期待値）の算定事例

確率に関する分岐確率を低減することに相当する。

b) 改善策2

- 直接的に斜面の崩壊に対抗するのではなく、道路側方にロックフェンスのような設備を設けることで、崩壊土塊が道路まで進展する危険性を制御する方策に相当する。
- 図一7でのETでは、フェーズ1の崩壊土塊の進展パターンで、パターン2およびパターン3の発生に関する分岐確率を低減することに相当する。

上述のように、この検討で示した2つの改善策の相違はその対策費用が大きく異なることであり、いうまでもなく改善策1の対策費用が、改善策2に比較して極めて高いケースを想定したものである。

上記の改善策に対して、以下のような仮定条件の下で、図一7に示すETおよび各損失を用いて、それぞれの改善策の効果を図一8に示すように仮定した場合のリスクを試算する。

a) 改善策1の効果

フェーズ1の斜面の崩壊確率が、現状の0.10から0.05に低減する。

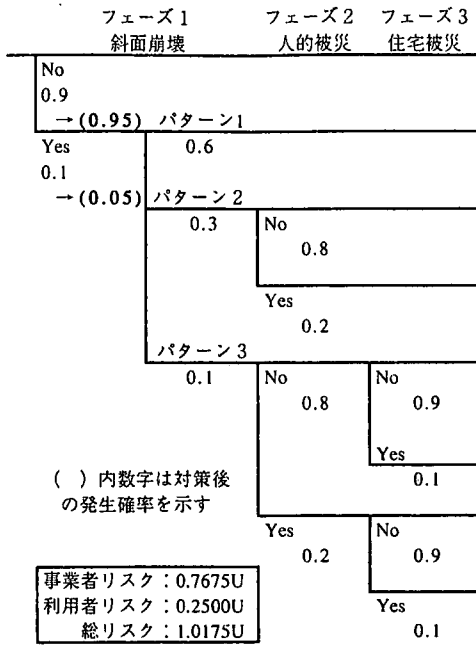
b) 改善策2の効果

フェーズ1の崩壊土塊の進展パターンで、パターン1～3の発生に関する分岐確率が、現状の0.60, 0.30, 0.10から、それぞれ0.80, 0.15, 0.05に低減する。

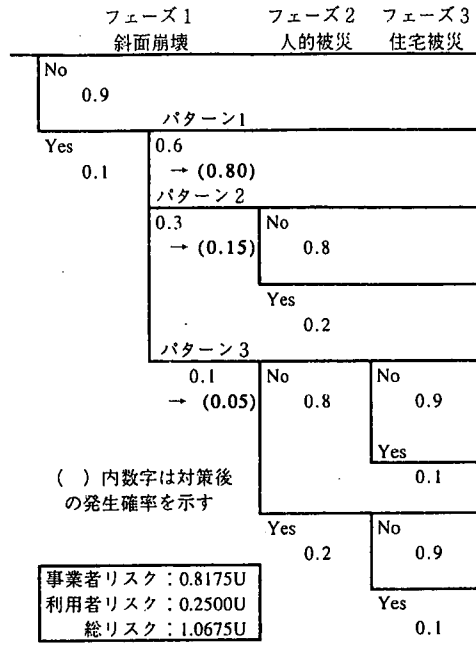
上記の条件でのリスクの試算結果を、現状リスクと併せて表一2に示す。同表に示すように、改善策1のグラウンドアンカーあるいはロックボルト等の対策工を施工し直接的に斜面の崩壊を制御することで、事業者リスクおよび利用者リスク共に、現状のリスクから約1/2に低減される。ただし、改善策2の崩壊土塊が道路まで進展する危険性を制御する方法でも、改善策1とほぼ同等のリスク低減効果が期待される。すなわち、事業者リスクの低減効果は多少改善策1に比べて劣るが、利用者リスクは全く同じリスク低減効果が発揮される結果となる。

通常、防災対策を立案する上では、対策の費用対効果が重要な検討課題となる。この観点から、ここに示した結果はあくまで試算ではあるが、この事例は膨大な対策費用を要するグラウンドアンカーあるいはロックボルト等の対策工に比べて、はるかに安価なロックフェンスのような設備を設けることでも、ほぼ同等なリスク低減効果を得られる可能性が有る





(a) 改善策 1



(b) 改善策 2

図-8 改善策の施工による分岐確率の変動

表-2 現状リスクおよび低減リスクの比較

	事業者 リスク	利用者 リスク	総リスク
現 状	1.5350U	0.5000U	2.0350U
改善策 1 斜面の崩壊確率 0.10→0.05	0.7675U	0.2500U	1.0175U
改善策 2 崩壊パターン改善 1 : 0.60→0.80 2 : 0.30→0.15 3 : 0.10→0.05	0.8175U	0.2500U	1.0675U

ことを示唆するものである。

なお、一般的に式(1)に示すリスクの評価方法を用いた場合には、各被害パターンに対する損失の設定方法があいまいであると指摘されることが多い。しかし、表-2のリスクの試算例を用いて展開した議論は、図-7に示す被害シナリオのETおよび各被害パターンに対する損失を固定した条件下で、想定される被害シナリオの中で、どのシナリオの発生を制御することが、リスクを低減する上で最も有

効な方策であるかを感度分析することに相当する。すなわち、同じ構成でのETおよび損失を用いて、最も有効なリスク低減策を感度分析する上では、各被害パターンに対する損失の設定方法のあいまいさは直接的な問題とならない。

このような観点から、本検討に示した、被害の発生シナリオをETを用いて展開し、またその各シナリオに伴うコスト次元での損失を考慮することでリスクを算定する方法は、防災対策の費用対効果を明示的に表現できるものと位置付けられる。したがって、本検討手法は、合理的な防災対策を立案すること、すなわちリスクマネジメントを行う上で極めて有効な手法となる。

## 6. おわりに

本検討では、高速道路に隣接する斜面の地震等に代表される自然災害に対するリスクマネジメント手法として、自然災害により発生する被害状況をEvent Tree (ET)を用いて展開し、各被害シナリオ

発生する確率およびそれに伴う損失の積として期待損失値（リスク）を定量的に算定する手法を提案した。この結果は、以下のように要約される。

- 1) 試算ではあるが、定量的な指標となるリスクを指標とすれば、膨大な対策費用を要する対策工に比べ、はるかに安価な対策でも、ほぼ同等なリスク低減効果を得られる合理的な対策工を立案できる可能性が有る。
  - 2) 1) に関して、被害シナリオのETおよび各被害パターンに対する損失を固定した条件下でのリスク評価は、想定される被害シナリオの中で、どのシナリオの発生を制御することが、リスクを低減する上で最も有効な方策であるかを感度分析することに相当する。このため、同じ構成でのETおよび損失を用いて、最も有効なリスク低減策を感度分析する上では、各被害パターンに対する損失の設定方法のあいまいさは直接的な問題とならない。
- 1), 2) より、本検討に示した手法は、合理的な防災対策を立案すること、すなわちリスクマネジメントを行う上で極めて有効な手法となりうる。なお、本研究では、例題を用い試算結果のみを示したが、今後本手法を実際の斜面に適用するため、関連

するデータの集積をする所存である。

#### 参考文献

- 1) Annaka, T. and Nozawa, Y. : A Probabilistic Model for Seismic Hazard Estimation in Kanto District, Proc. of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. II, 2-1-13, pp. II-107-112, 1988.
- 2) 石川裕, 奥村俊彦, 亀田弘行: レベル2地震動の評価のための活断層を考慮した確率論的想定地震, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, I-B250, pp. 500-501, 1996.
- 3) Mizutani, M.: Basic Methodology of a Seismic Risk Management(SRM) Procedure, ICCOSAR'97, vol.3, pp.1581-1588,1997.
- 4) 松尾稔: 地盤工学-信頼性設計の理念と実際-, 技報堂出版, pp.60-64,1984.
- 5) 大津宏康, 大西有三, 水谷守: 斜面の性能に着目した安定解析手法に関する一考察, 土木学会論文集, No. 631/III-48, pp. 235-243, 1999.
- 6) Benjamin, J. R. and Cornell, A. A. : Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, pp. 578-580, 1970.

(1999.12.10受付)

## THE PROPOSAL ON A METHODOLOGY RELATED TO RISK MANAGEMENT OF SLOPES CLOSED TO HIGHWAY

Hiroyasu OHTSU, Yuzo OHNISHI and Mamoru MIZUTANI

This paper proposes a methodology related to risk management of slopes closed to highway. The basic concept of this method is that by adopting an event tree, the occurrence of hazard is clearly associated with the corresponding damage scenarios. And, risk due to natural hazard is evaluated as monetary value from socio-economical viewpoints considering repair cost, compensation, the financial losses due to the interruption of highway service and so on. The result shows that the proposed methodology is very effective to establish rational risk mitigation strategy considering cost-benefit effect.