

# 期待効用を用いたリスク評価・回避について

A basic consideration on risk analysis for decision making using Expected Utility Theory

岩田地崎建設(株) 正会員 須藤敦史 (Atsushi Sutoh)

## 1. はじめに

近年,異常気象による台風災害や降雨災害が頻発しており,土石流災害が懸念される河川や地域において,その被害を軽減するために様々な施設の整備が進んでいる。

しかし,施工期間中に土石流災害のような自然災害が生じれば被害規模が巨大になる危険性があり,かつ施工期間中には厳しい条件下の作業となるため,安全対策を実施して完全な作業条件・環境にするためには時間的・経済的・技術的に大きな制約が発生する。

一方,自然災害等の発生において社会資本が被るマクロ的な被害想定やその評価に対する検討・研究<sup>1),2)</sup>などは見られるが,建設中の個々の土木構造物,特に短期的に自然災害を受ける可能性が非常に高い砂防施設における作業員などの人的な被害予測を含めたリスクアナリシス(評価)およびリスクマネジメントに対する研究は少ないのが現状である。

そこで本論文は,2004年10月23日に発生した新潟県中越地震の復旧工事である塩谷地区の緊急砂防工事において土石流災害に対するリスクアナリシスを実施して砂防工事における対策(リスクマネジメント)に応用した事例を紹介する。

## 2. リスクとリスクマネジメント

危険要因(Hazard)から特定の危険要因が顕在化(Peril)し,その結果損害(Loss)が生じる。これをリスク(Risk)と称しており図-1のように構成される<sup>3)</sup>。

危険要因(Hazard)は社会の動態的変動に関わる動態的Hazard(例えば流行や需要の変化,新技術の開発,政治・社会環境・経済の変化によってもたらされるもの)と,それらに関わらない静態的 Hazard(例えば地震,暴風雨,火災など)に分けることができる。

また危険の顕在化(Peril)は損害の原因そのものである。物的損害などに対する直接の原因であり,リスク(Risk)は人もしくは物に対する経済的な不利益(客観的発生確率とその被害損失の積)とすることができる<sup>4)</sup>。

一方,リスクマネジメントは,1930年代のアメリカ社会に登場した経営管理手法から発展したものであり,その後1970年代に企業の経営全般に体系化され,積極的にリスクの防止に努め,不可能な場合にはこれを他に転嫁することが合理的であるとされる手法である。

一般にリスクマネジメントは図-2に示すように,リスク認識・確認,リスク評価,リスク対応・処理という3つの段階に分けられる。

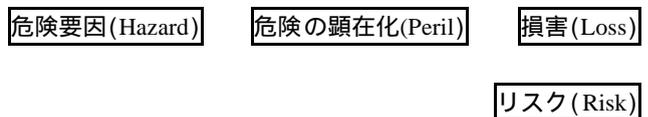


図-1 Hazard, Loss と Risk の関係

第1段階はリスクの認識・確認であり,偶発的な事態の発生によって被る経済的損害について,その可能状況を把握することを目的とする。

第2段階のリスク評価は,認識・確認されたリスク個々について,さらに詳細に調査・分析する段階である。

第3段階のリスク対応・処理は,危機状況に関わるハザードに改善を施し,事故発生の可能性や発生可能な被害規模をできる限り軽減する手段(低減・移転・回避・保有)を内容としている。

## 3. 自然災害に対するリスクアナリシス・リスクマネジメント

一般に地震,津波,台風,豪雨,その他の異常気象などの自然災害はハザードと見なされ,社会資本や構造物への影響度やその存在によってリスクが生じる。

これら自然災害のハザードの顕在化(ペリル)により,人的被害や経済的な損失へと結びつくこととなるが,損失をできる限り軽減する手段としてリスクアナリシスを通じたリスクマネジメント(図-3参照)を実施することになる。

ここで自然災害は前記のような理由により,一般的に事

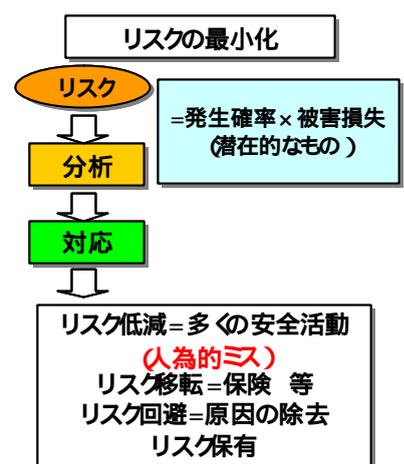


図-2 リスクマネジメントの概念

大 発生 頻度	防 止 (損害:小 頻度:大)	回 避 (損害:大 頻度:大)
	保 有 (損害:小 頻度:小)	移 転 (損害:大 頻度:小)
小	小 損害 損失の大きさ 大	

図-3 リスクの評価とその処理

前にその発生確率を予測することがきわめて難しく、また人的被害や構造物の損傷などに加えて社会的・経済的なダメージが大きいことが特徴である。

また、自然災害（事象）の発生予測の困難さおよび損害の影響度・波及効果はリスクマネジメントを考える際の重要な因子となるため、できるだけ正確にハザードのレベルを知ることがリスクの軽減につながり、また被災状況の早期把握を行うことで損害の大きさや被害の影響度や波及性の同定が可能となる。

ここで、リスク状況下における意思決定として、不確実性を定量的な評価として事象の発生確率とそれに伴う損害の大きさの積（期待効用関数）<sup>5)</sup>が用いられている。

$$R = \sum_j p_j u_j \quad (1)$$



図-5 塩谷川流域の河道閉塞分布図

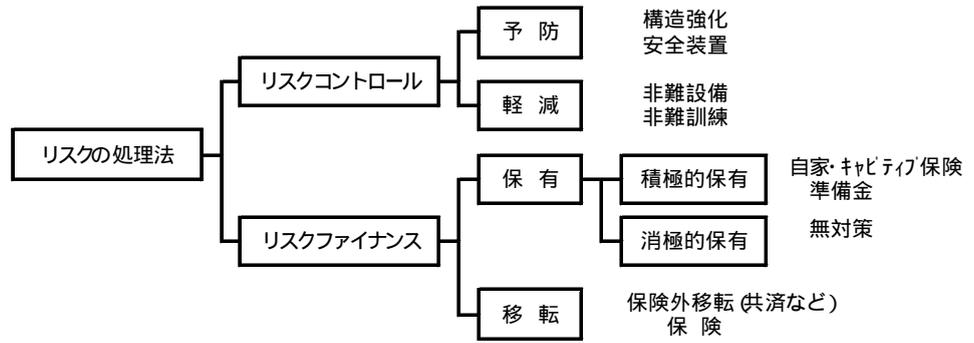


図-4 リスクの処理方法

表-1 土木工事における損害保険

保険名	特徴	主な特約
土木工事保険	土木工事において偶発的な事故により工事の目的物・工所用材料などに生じた損害	
請負業者賠償責任保険	請負作業遂行中の事故や被保険者が所有 使用または管理している施設の欠陥や管理不備による事故によって他人の生命・身体を害しまたは財物を破損したことによる損害	漏水担保特約
動産総合保険	建設機械・設備等の動産を対象として、火災による損害のみならず、盗難や破損など偶然な事故による損害	免責金額特約
労働災害総合保険 (法定外補償保険)	被保険者の従業員が業務災害によって身体の障害を被ったときに、政府労災保険の上乗せ補償 (通勤中の身体障害: 特約)	下請負人特約
労働災害総合保険 (使用者賠償責任保険)	被保険者の従業員が業務災害によって身体の障害を被ったときに、被保険者が負担する賠償	下請負人特約

$R$ : 損失期待値,  $p_j$ : 損失  $i$  の生起確率,  $u_j$ : 損失  $i$

将来において損失期待値(将来起こるであろう事象の確率とその損失の積)を求めて意思決定の評価基準としている。また、この期待効用は当然個々の主観によって異なるものであり、効用と同様に確率に影響するとして修正されたものが主観的期待効用理論である。

このような自然災害になどのリスクをコントロールする方法としては図-4 に示すような 災害リスク事象の生起確率および被害の大きさを減少させるリスク・コントロール、災害により生じた被害を社会全体に分散させるリスク・ファイナンス<sup>6)</sup>が用いられている。

一般的な土木工事における損害保険は表-2に示すように、目的とする構造物・建設資材・従業員や協力業者の労働者などに対する様々な保険商品が存在するが、リスク・ファイナンスは保険金の支払いなどで損害を補填するものであるため、社会もしくは事業者が被った総損失額が変化するわけではなく、加えて地震などのような広範囲な災害など行政的な適用が一般的である。

#### 4. 砂防堰堤工事における土石流対策

新潟県中越地震における緊急復旧工事において土石流災害におけるリスクアナリシスを実施して対策(リスクマネジメント)に応用した事例を示す<sup>7), 8)</sup>。

斜面崩壊に伴う河道閉塞(天然ダム)は芋川本流(寺野地区・東竹沢地区)に比べて大きなもの

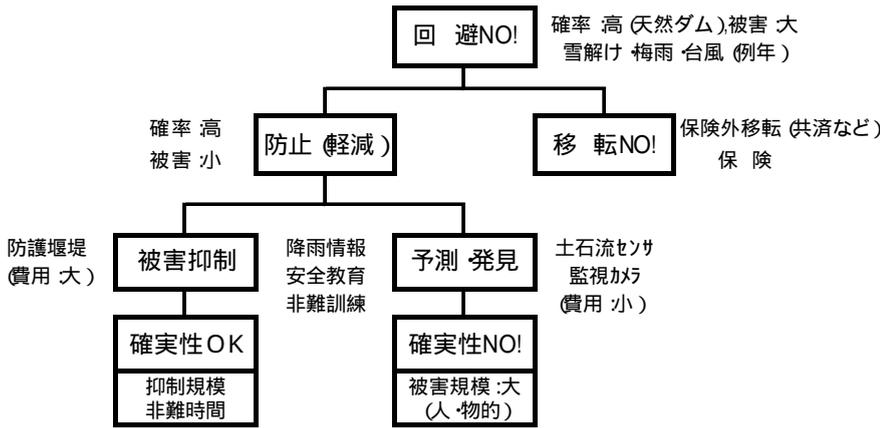


図-6 塩谷砂防におけるリスクコントロール

る危険波及時間は取れない。

土石流発生（雪解け・梅雨・台風時期）の可能性が高く、かつ地形的な条件より天然ダムをテレビカメラやワイヤー式の土石流センサーなどの監視による確実な土石流発生の特定は難しい。

土石流防護のための仮締切り（土嚢）堰堤は危険波及時間の遅延対策として有効であり、非難時間を確保が可能である。

### 5. 期待効用による対策工の検証

一般的な自然災害や経済・社会的損失に対するリスクマネジメントでは、様々なリスク状況下における最適な意思決定として、許容リスクなどの評価を伴った期待効用による選択が実施される。

ここでは土石流センサーと防護堰堤の土石流対策に対して、フォルトツリー分析<sup>8)</sup>（FTA: Fault Tree Analysis）と期待効用を評価して対策工としての検証を実施する。

フォルトツリー分析とは、対象とするリスク事象において上位の事象から対策手段を階層的に記述してフォルトツリーを構成してゆくものであり、本検討における土石流センサーと防護堰堤のフォルトツリーは図-7(a), (b)のように構成された。

ここで対策工の評価に用いた期待効用関数は、式(1)にそれぞれの初期コスト  $C$  を加えた式(2)を用いている。

$$R = C + \sum_j p_j u_j \quad (2)$$

図-7(a), (b)より、河道閉塞箇所において決壊の可能性が非常に高く、かつ数が多いため、土石流センサーの信頼性低くなった事、加えて検知・非難が想定されても現場の資機材の損害が残るなどの理由により、期待効用においても防護仮締切り堰堤（写真-1参照）に有利な結果が得られた。

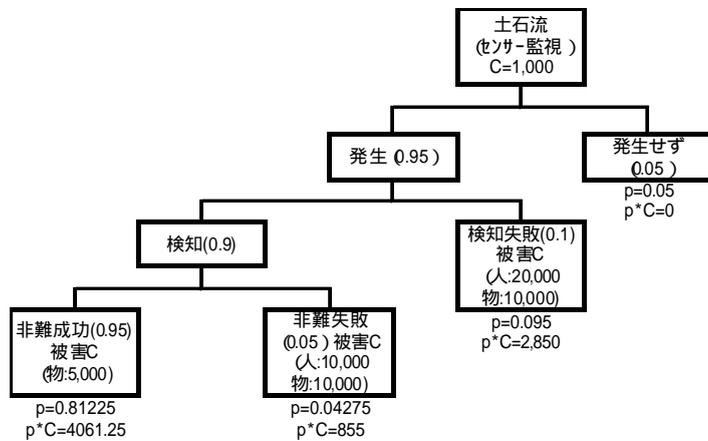


図-7(a) イベントツリー（土石流センサー）

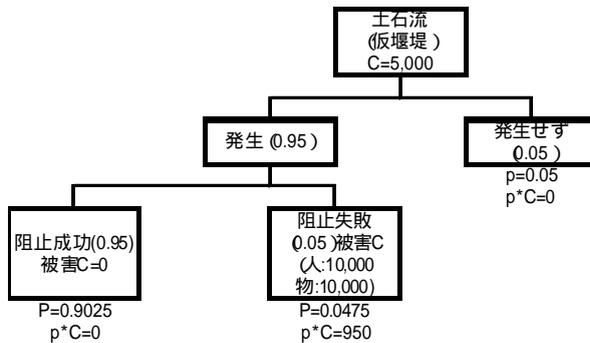


図-7(b) イベントツリー（仮締切り堰堤）

は無いものの、塩谷川においても図-5 に示すように、大小約 10 箇所河道閉塞に伴う天然ダムが存在し、そのうち 4 箇所の河道閉塞が砂防堰堤施工中の決壊が懸念された。

そこで土石流の対策工は、図-6に示すように災害リスク事象の生起確率および被害の大きさを減少させるリスク・コントロールを基本方針として、以下に示す現場の条件を考慮して策定した。

砂防堰堤の計画地点がNo.4を除くNo.1～3およびNo.5（4箇所）天然ダムから距離が短く、土石流発生から施工箇所への到達時間が非常に短く、安全な非難に必要とされ

### 6. まとめ

砂防施設のような自然災害などの被災確率が高い構造物の建設に対しては、基本的に災害リスク事象の生起確率および被害の大きさを減少させるリスク・コントロールによる対策が重要と考えられる。

### 参考文献

- 1) 小林潔, 松島格也: カタストロフ・リスクと防災投資の



写真-1 仮締切り(土囊)築堤

経済評価,第三回都市直下地震災害総合シンポジウム論  
文集,pp.169-472,1998.

- 2) 河田恵昭:都市災害の被災シナリオと人的被害予測,阪  
神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.735-  
742,1996.
- 3) Knight,F.H: Risk, Uncertainty and Profit, Houghtin  
Mifflin,1921.
- 4) 山縣登:リスクの概念とパブリック・アクセプタント,  
恒星社厚生閣,1987.
- 5) 例えば,小林孝雄:リスク分担と意思決定,ビジネスレ  
ビュー,pp.2-28,1980.
- 6) 小林潔,横松宗太:治水経済評価のフロンティア:期待  
被害パラダイムを越えて,河川技術に関する論文集,第  
6巻,pp.237-242,2000.
- 7) 須藤敦史:砂防工事中の土石流被災事例と芋川(塩谷  
地区)砂防におけるリスク回避について,第6回(平成  
19年度)技術報告会,北海道土木技術会,土質基礎研究  
委員会,pp.33-38,2008.
- 8) 例えば,井上威恭:FTA 安全工学,日科技連,1998.