

土石流被災事例と砂防工事におけるリスク回避について

Actually case of mud flow and a risk analysis and management for mud flow disasters

須藤 敦史*

Atsushi SUTOH

*工博, 岩田地崎建設(株), 土木部(〒105-8488 東京都港区新橋5丁目11番3号)

The paper proposes an approach to keep safety of the construction site for mud flow disasters using the risk analyzes and management. The proposed way to decide the safety level of risk for construction planning is estimation of risk of natural disasters such as mud flow from the viewpoint of the relation between a death toll, and decision of upper limit of risk management. Then, the decision of acceptable risk is converted into the requirement for keeping safety of the construction site, assuming the design concept of river facilities is decided the acceptable risk for mud flow disasters. Furthermore, the actually case of mud flows are compared with the requirement for design to keep safety of the construction site for mud flow disasters at the chief cities.

Key Words: risk analyzes, risk management, natural disaster, mud flow

キーワード: リスクアナリシス, リスクマネジメント 自然災害, 土石流

1. はじめに

近年,異常気象による降雨災害・大型台風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河川・砂防施設の整備が進んでいる。一方,施工期間中に土石流災害のような自然災害の被災頻度は稀少であるが,一度災害が生じれば被害規模が巨大になる危険性がある。

しかし,一般的に土石流災害を軽減するための砂防施設は急峻な地形条件に計画・建設される場合が多く,かつ施工期間中には厳しい気象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¹⁾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,1996年12月6日に長野県小谷村(蒲原沢)で発生した土石流災害において工事中の砂防堰堤の現場が被災した(危機管理)事例と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おけ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. リスクマネジメントと危機管理

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。

ここで危険要因(Hazard)は図-1に示すように,特定の危険の顕在化(Peril)の原因となるものであり,損害(Loss)の原因を構成する²⁾。危険要因(Hazard)は社会の変動に関わる動的 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。危険要因(Hazard) 危険の顕在化(Peril) 損害(Loss)

リスク(Risk)

図-1 Hazard, Loss と Risk の関係

的・物的損害または責任損害などに対する直接的原因であり、リスク(Risk)は経済的な不利益おける客観的な発生確率とその被害損失の積、言い換えれば危険要因の顕在化(Peril)の可能性に伴う損害(Loss)といふことができる³⁾。

2.1 リスクマネジメント

一般にリスクマネジメントは図-2(a)に示すように、リスクの分析・評価(認識と確認)、リスクの評価とリスク対応・処理という3つの段階に分けられる。

第1段階はリスクの分析(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、可能な限りその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、分析されたリスク個々について、さらに詳細に調査する段階である。

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損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。

2.2 危機管理

一方、危機管理は図-2(b)に示すように、危険要因(Hazard)が顕在化(Peril)した後の緊急的な対策・対応であり、計画および事前・事後(復旧)対応で構成される。

ここで危機管理における事前対応は、リスク対応・処理と同様に緊急時における避難・誘導システムや交通・情報・通信システムの管理・運営技術、復旧対策を計画しておくものもある。

一方、事後対応はリスクが顕在化した後の対応・処理ともいえず、事前対応で計画した復旧対応を実行して発生した事故や危機状況を速やかに沈静化し、その損害を可能な限り軽減する行動(Operation)を内容としている。

3. 建設中の砂防施設における土石流被災事例

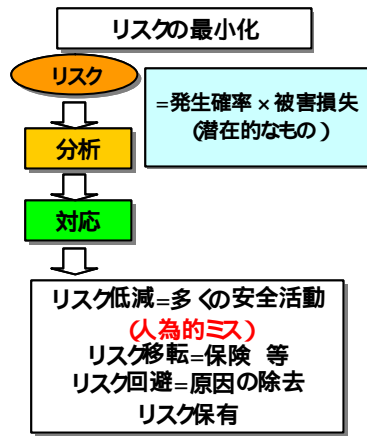


図-2(a) リスクマネジメント概念図

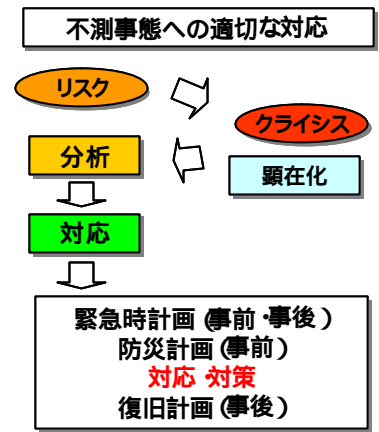


図-2(b) 危機管理の概念図

本章では土石流の被災(顕在化した自然災害リスク)に対する事後対応(復旧)の事例を示す。

小谷砂防堰堤の施工場所は、写真-1に示すように日本海(糸魚川付近)に流れる姫川に長野県と新潟県の県境で流れ込む蒲原沢下流に位置しており、1995年7月の水害で被災した国道148号新国界橋架替および長野冬季オリンピックに関連した道路改良に伴う防災工事であった。

長野県北安曇郡小谷村をはじめとする長野県北部地域では、1996年6月24~26日および土石流被災の約1年前の1995年7月11~12日において大規模な集中豪雨とそれに伴う土石流被害を受けており、国道148号およびJR大系線の災害復旧もまだ十分ではない中での緊急な砂防堰堤工事であった。

3.1 1996年12月6日長野県小谷村

(1) 小谷砂防における土石流被災

1996年12月6日午前10時40分ごろに長野県小谷村蒲原沢で大規模な土石流が発生した。

この土石流は、蒲原沢上流標高1,300m付近における沢部の河道閉塞に伴う天然ダムの崩壊が引き金となったもので、これにより施工中の谷止工2基のうち1基が全壊、1基が半壊して、さらに下流にある砂防堰堤2基のうち建設中の砂防堰堤・流路工を直撃・通過(写真-2)して姫川本流に到達した。発生した土石流は、一般的な姫川流域



写真-1 国界橋の被災(1995年7月水害)



写真-2 小谷砂防における土石流(3or4波目)

における土石流の発生時期に対して非常に珍しい 12 月初旬に発生（通常は 3 月～4 月の雪解け時期,6 月～7 月の梅雨,9 月～10 月の台風時期の 3 期に集中して発生）しているのが特徴的である。

(2) 小谷地区の降水・降雪量

小谷地区における降雪量は図-3 に示すように 1996 年 11 月下旬から 12 月上旬にかけての寒波により,12 月 1～2 日の積雪で総積雪量は 37cm に達していた。

その後,土石流災害発生の前日の 12 月 5 日には低気圧の日本海通過に伴う降雨（24 時間降雨は 47mm）があるが,その後土石流発生まで降雨は観測されていない。

この低気圧の通過により,気温が 10 程度上昇して 2 日までに積もった積雪が融解したと考えられるが,ディグリー・アワー法⁴⁾による 24 時間降雨換算量を求めると約 109mm となり,特に多いとは言えない。

(3) 安全管理の状況

1)降雨管理の状況

北陸地方建設局（土木工事共通仕様書）および工事を施工する業者間の連絡調整のために設置されている「葛葉・蒲原沢連絡協議会」においては,降雨量による警戒・退避基準は表-1 のように設定されていたが,現場詰所における 12 月 5 日の雨量計の観測値は以下に示す値であり,管理基準を上回っていなかった。

24 時間降雨量は 48.0mm（4 日 23 時～5 日 23 時）

1 時間降雨量は 7.0mm（5 日 08 時～5 日 09 時）

2)安全設備の状況

警報設備等の設置状況

土石流を検知するセンサー等の警報設備は設置されておらず,かつ監視人の配置も行なわれていなかった。

非難のための措置

緊急連絡体制は,葛葉・蒲原沢連絡協議会の連絡網を設けており,また一般的な現場においては,入場時および定期的な安全教育のみを実施しており,土石流を対象とした特別な避難訓練は実施していなかった。

3)土石流被災の理由

土石流被災として以下の理由が挙げられる。

今回の土石流が冬季（12 月）に発生した点であり,姫川流域における従来の土石流発生時期（雪解け時期,梅雨時期,台風時期）と異なった。

この地域における過去の土石流発生時の降水量より小さい値（融雪に伴う降水量換算値でも）であった。上流沢部の天然ダムによって土石流発生に前に見られる濁流や流量減少等の予兆がなかった。

以上より,従来の土石流に対する認識が一変され,土石流発生の予知・予測が非常に難しい事例であった⁵⁾。

3.2 小谷砂防堰堤の復旧

(1)復旧に対する対策

今後の砂防施設整備および小谷砂防堰堤の復旧に対して,(社)砂防学会「12.6 蒲原沢土石流災害調査委員会」などから以下の対策が示された。

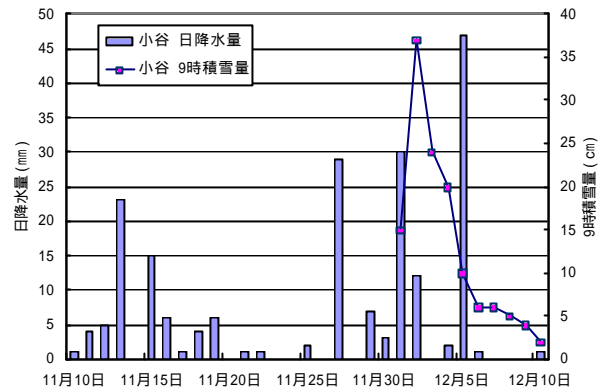


図-3 小谷における降雨・降雪量

表-1 降雨管理基準（小谷地区）

葛葉・蒲原連絡協議会		
警戒体制	6時間雨量	60mm以上
	1時間雨量	20mm以上
緊急避難	6時間雨量	50mm以上
	1時間雨量	15mm以上

流域状況の把握と工事関係者への周知

土石流発生の予知・予測手法の開発

警戒・非難体制の見直し

緊急時の災害復旧工事における無人化施工の導入

(2)小谷砂防堰堤における無人化工法

土石流災害に対する復旧工事は 1997 年 8 月 19 日に大規模な避難訓練を実施したのち,8 月 22 日に約 8 か月ぶりに無人化施工で再開された。

砂防堰堤の復旧工事は,作業員の安全確保と砂防堰堤の機能維持を主目的とし,まず沢の中に堆積した土砂をリモコン操作の重機により除去し,その後で中止されていた砂防堰堤左岸部の築造に取りかかった。

砂防堰堤の本体において,まず左岸部下層はクレーンで積み込んだ土のうを型枠代わりに使用し,次に堰堤の高さが一定の高さ以上においては,コンクリートブロックを型枠として積み重ねて,その間に高流動コンクリートを流し込んでいく方法をとっており,型枠設置とコンクリートの締固め作業を省略して沢の中に人が入らない無人化工法を採用した。

(3)小谷砂防堰堤における安全対策

新たな警戒・非難体制では,退避の基準雨量を引き下げただけでなく,人による監視を実施して完全管理を徹底した。具体的には 2ヶ所の監視小屋を設けて斜面判定土と

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 損害 損失の大きさ 大

図-4 リスクの評価とその処理

補助者それぞれ2人の監視員が常駐する。また、周辺に曇が発生して監視小屋からの視界が悪い場合は、工事を中止するなど管理基準を大幅に引き上げた。

4. 建設中の砂防施設におけるリスクアナリシス・リスクマネジメント

一般的に地震、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したリスクマネジメント(図4参照)を実施することになる。

ここで土石流災害は前記のような理由により、事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。

しかし、事象発生(ハザードレベル)をできるだけ正確に知ることでリスクの軽減につながる。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に際しての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(損失期待値)⁶⁾が用いられている。

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

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。

また、リスクの許容水準を決定するアプローチとして危険性と便益の均衡点から最適水準を求める手法としてリスク・ベネフィットアプローチ⁷⁾が挙げられる。

このような背景の下で、一般的には図-5 に示すように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⁸⁾が用いられている。

ここで建設中の砂防施設における防災に対する安全設備に対する投資は、災害の生起確率や被害額を減少させるリスクコントロールであり、緊急時における避難・誘導システムや交通・情報・通信システムの管理・運営技術、復旧計画なども重要な防災投資である。

一方、災害保険等によるリスクファイナンスは、災害が生じた場合に保険金の支払いなどにより、損害を補填するものであるが、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い。

ここで、一般的な土木工事における損害保険は目的とする構造物・建設資材・従業員や協力業者の労働者などを対象とした様々な保険商品が存在するが、被保険者の従業員もしくは協力業者の作業員に人的な被害が生じた場合には、関係者に道義的・社会的な責任が発生し、加えて被害者の心理的影響は膨大なものになるため、期待被害額を用いた便益評価によるリスクファイナンスの適用は不向きである。よって自然災害の被災確率が高い砂防施設では、社会的影響が大きい(人命に係わる)ため基本的に災害事象の生起確率もしくは被害の大きさを減少させるリスクコントロールが重要と考えられる。

5. 塩谷地区の砂防堰堤における土石流対策

本章では地震災害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。

新潟県中越地震は、2004年(平成16年)10月23日午後5時56分に新潟県のほぼ中央に位置する北魚沼郡川口町を震源として発生したマグニチュード6.8、震源の深さ13kmの直下型の地震であった。

山古志村や小千谷市では、この地震により発生した土砂崩れによって河川の河道閉塞が多数発生して複数の集落で大規模な浸水の被害が出ており、加えて下流域では

河道閉塞に伴う天然ダム決壊による土石流が発生する危険性が高いため、ポンプによる排水や河道付近の民家を撤去するなどの措置が取られた。

5.1 塩谷川(地区)における砂防堰堤

(1)塩谷砂防堰堤の計画
塩谷地区における砂防堰堤は、基本計画で決定された堰堤サイトの右岸側および工事

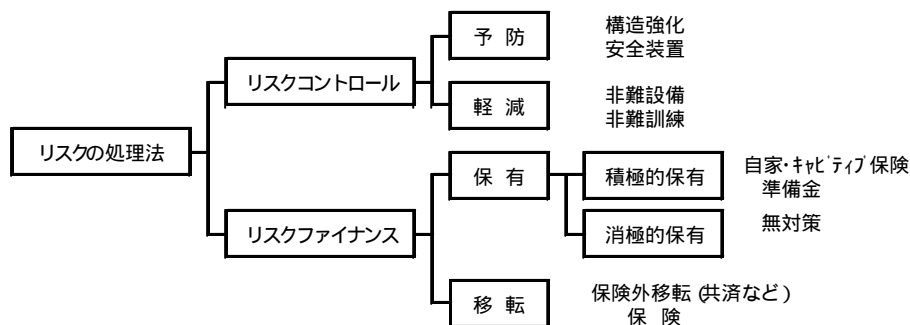


図-5 リスクの処理方法



図-6 塩谷川流域の河道閉塞分布図

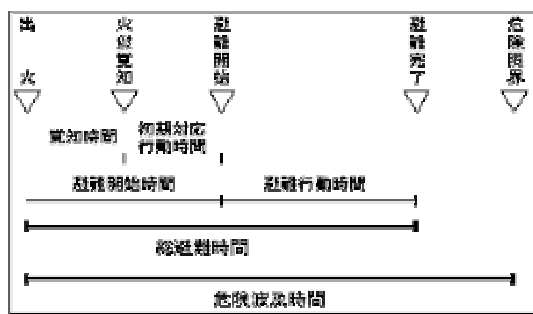


図-7 火災時の避難時間

表-2 避難開始時間(知覚時間+初期対応行動時間)

項目	時間(sec)
知覚時間	15～30
初期対応行動時間	15～30
計	30～60

用道路が雪解けによる斜面崩壊で施工できないため、ダム軸を下流に移動し、加えて工事用道路は新たに4kmの迂回路を計画した。

(2)河道閉塞に伴う天然ダムの状況

斜面崩壊に伴う河道閉塞の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は無いものの、塩谷川においても図-6 に示すように、大小約 10 箇所の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における決壊が懸念された。

5.2 河道閉塞に伴う天然ダム決壊による影響

(1)河道閉塞に伴う天然ダム決壊による影響評価

平成 16 年度芋川流域砂防計画及び河道閉塞対策検討業務委託報告書（財団法人砂防・地すべり技術センター）では、河道閉塞箇所の天然ダムが決壊した場合には、降雨

のみによって発生する土石流に比べて規模が大きく、かつその到達距離が長い（河床勾配が緩い区間まで到達する）土石流が発生することが懸念されていた。

加えて、塩谷川においても表-3 に示す様に 9 箇所のうち 4 箇所(No.1～3 および No.5)が危険な河道閉塞（危険評価値 5～6）と認知しており、砂防堰堤の施工時には何らかの土石流対策を施す必要がある。

(2)土石流対策工の検討

対策工は、災害事象の生起確率もしくは被害の大きさを減少させること（リスクコントロール）を基本方針として、以下の現場条件を考慮した。

砂防堰堤の計画地点が土石流発生危険が高い4箇所の天然ダムから距離が短く、施工箇所までの到達時間が非常に短く避難時間がない。

地形的な条件よりテレビカメラやワイヤー式の土石流センサーなどによる天然ダムの常時監視は難しい。

そこで土石流防護のための仮締切り（土嚢）堰堤を築堤して避難時間を確保し、同時に砂防堰堤の本体構造をプレキャストブロックに変更して、危険箇所である河床における作業時間の短縮を図った。

6. 土石流防護のための仮締切り（土嚢）堰堤

土石流発生時の避難時間は、図-7 に示すように火災の進展によってある空間が危険となる時間（危険波及時間）と避難が完了できるまでの時間（総避難時間）の比較で定義されている⁹⁾。総避難時間は避難を開始するまでの時間（避難開始時間= 知覚時間+初期対応行動時間）と避難を開始してから建物から退出するまでの時間（避難行動時間）から構成される。

6.1 土石流発生（緊急）時の避難時間

(1)避難開始時間（知覚時間+初期対応行動時間）

緊急事態の認識は作業員個々により若干の差異が生じるが、事前の危険予知・避難訓練などにより、その知覚は比較的早いものと想定して知覚時間は警報発令から約 15～30sec と設定した。また初期対応行動時間においても現場の作業状況により若干の差異が生じるが、作業員同士における警報の伝言などを考慮して約 15～30sec として表-2 に示す避難開始時間は約 30～60sec となった。

(2)避難行動時間

避難行動時間は作業箇所から退避箇所までの移動と考えて移動距離は100～200m程度と設定し、避難速度¹⁰⁾は小走りとして図-8による標準歩行速度1.36m/secの1.2倍（避難速度=1.632 m/sec）を採用している。

(3)総避難時間

仮締切り（土嚢）築堤において必要な防護（避難）時間は表-3のように1.53～3.05min（92～183sec）となった。

6.2 仮締切り（土嚢）築堤と防護容量（時間）

仮締切り築堤の湛水時間は、塩谷川における決壊時のピーク流量では113.3m/secおよび連続する河道閉塞の

ピーク流量の積算値で218.2m/secと算出され(表-4)、仮締切り(土囊)築堤の湛水容量は表-5に示すように堤体軸をNo.4+10として堤体の高さを計画堆砂線(EL135.5m)とした計画容量約21,000m³となった。

よって、河道閉塞に伴う天然ダム決壊による土石流を仮締切り(土囊)築堤により防護・湛水する時間を危険波及時間とすると総退避時間1.53~3.05min(92~183sec)が確保できる。ここで施工された土石流防護のための仮締切り(土囊)築堤を写真-3に示す。

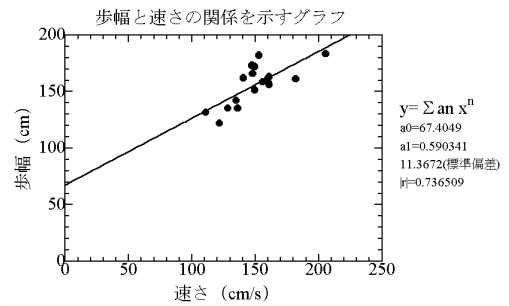


図-9 歩行速度

7. おわりに

土石流災害のリスクアナリシスを通して砂防工事におけるリスクマネジメントを以下に示す。

- (1) 工事関係者への流域状況の把握と周知が必要である。対象流域並びに周辺流域の気象(調査項目に含まれていなかった気温や積雪状況)や地形・地質特性、土砂災害危険箇所の分布状況、過去に発生した土砂災害発生状況などの情報を工事着工前に入手してこれらを基にした監視・避難の検討が必要である。
- (2) 警戒・体制のあり方やその方法の検討が必要である。現場近傍や流域に不安定な斜面が存在する場合には現行の警戒・避難基準降雨量を引き下げる必要がある。しかし警戒・避難水準の引き下げに際しては一括ではなく、現地の状況に基づき区分を設定して区分毎に基準を設けることが望ましいがこれらを詳細に決定することは非常に難しいのが現状である。
- (3) 自然災害の被災確率が高い砂防施設の建設では、社会的影響が大きい(人命に係わる)ため基本的に災害事象の生起確率もしくは被害の大きさを減少させるリスクコントロール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) Knight, F.H: Risk, Uncertainty and Profit, Houghtin Mifflin, 1921.
- 3) 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.
- 4) 中尾隆志, 佐渡公明: 融雪におけるディグリーデファクターについて, 土木学会北海道支部論文報告集 43号, pp.223-226, 1997.
- 5) 労働省: 1996年12月6日蒲原沢土石流調査報告, 1997.
- 6) 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.
- 7) 横倉尚: 社会的規制の経済学(安全規則), NTT出版, 1997.
- 8) 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,

表-3 総避難時間の設定

項目	時間(sec)
避難開始時間	30 ~ 60
避難行動時間	62 ~ 123
計	92 ~ 183

表4 ピーク時流量と湛水(避難)時間

ピーク時流量 (m ³ /s)	湛水(避難)時間
113.3	3.05min (183sec)
218.2	1.58min (95sec)

表-7 仮締切り(土囊)堤の湛水容量

測点	面積(m ²)	距離(m)	体積(m ³)
No.4+10	283.4		
No.5	344	43.3	13583.21
No.5+41.7	0	41.7	7172.4
計			20755.61



写真-3 仮締切り(土囊)築堤

第6巻, pp.237-242, 2000.

- 9) 関沢, 海老原, 中濱, 池島, 野竹: 高層ビルにおけるエレベータ避難の可能性に関する研究(その2), 平成16年度日本火災学会研究発表会概要集, 2004.
- 10) Mizuno, M., K. Harada and T. Wakamatsu: Analysis on Target Safety Level for Egress from a Fire Room and a Fire Floor in Typical Office Buildings, Fire Science and Technology, pp.402-462, Vol.23, No.5, 2004.

(2008年8月22日受付)