

道路斜面災害等による通行止め時間の縮減手法に関する調査（2）

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：材料地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：杉田秀樹、加藤俊二、稲垣由紀子

【要旨】

本研究は、道路ネットワークの信頼性を向上させるために必須条件である「通行止め時間」の縮減を達成目標とした目標達成型の防災事業を効率的に進めるため、防災管理方法および防災対策効果の評価に関する技術開発を、地質チームと合同で実施してきた。この中で、土質・振動チームは、事前通行規制や防災事業の効果を判断するための指標として「通行止め時間」を用いて防災対策のあり方に関する検討を行っている。防災事業効果の評価については、防災点検ランク毎の災害発生頻度及び災害発生規模と通行止め時間の関係を用いた簡易評価手法を提案した。また、事前通行規制基準の適正化については、災害捕捉と規制時間と観点から災害捕捉効率を求めて規制基準値及び降雨指標を設定する手法を提案するとともに、事前通行規制区間の解除・基準緩和の考え方についても整理した。

キーワード：道路斜面災害、事前通行規制、通行止め時間、評価手法

1. はじめに

道路ネットワークの信頼性を向上させ目標達成型の防災事業を進めるためには、「通行止め時間」を短縮することが必須条件である。「通行止め時間」は、主に次の3つの要素からなる。

- ①災害は発生していないが降雨時事前通行規制により通行止めとなるもの（規制の空振り）
- ②降雨時通行規制区間において災害が発生し通行止めとなるもの（規制区間内災害）
- ③事前通行規制区間外での見逃し災害等による通行止め（規制区間外災害）

実態調査によると①～③の延べ時間やその割合は地域や路線・降雨実態・災害実態等により大きく異なっている。ネットワークとしての信頼性を向上させるためには、これらの実態を踏まえて①～③を総合的・戦略的に縮減させる必要がある。①～③に対して、効果的な対応策はそれぞれ以下の通りである。

- ①防災マップ等による見逃し災害危険箇所の面的な把握・被害想定・優先対策・斜面管理
- ②事前通行規制基準の適正化による規制の空振り、基準値以下での見逃し災害の縮減
- ③普段の維持点検管理の高度化・体系化による変状箇所や老朽化箇所の迅速な発見と対応

このうち、土質・振動チームでは防災対策の効果と事前通行規制基準の適正化について、「通行止め時間」を指

標とした評価手法に関する研究を実施してきた。以下、それぞれの概要について報告する。

2. 防災対策効果の評価手法

2.1 検討概要

防災対策効果は、個々の斜面がもつリスクが防災対策の実施により低減したリスクの減少量として表すことができる。リスクは、

（事象の起こりやすさ）×（事象の影響の大きさ）

で求められる。

斜面災害の観点では、

（事象の起こりやすさ）＝（災害の起こりやすさ）

であり、災害の起こりやすさについては、災害発生の素因および要因が個々の災害によって異なる。このため、本来は、1つ1つの斜面について災害要因に対する起こりやすさを設定する必要がある。しかしながら、全斜面に対して詳細な検討を行って設定することは、素因の不確実性を解消することが困難であり、現実的ではない。そこで、防災点検の結果を活用して、点検結果の評価と過去の災害発生履歴を用いて、簡便に災害の起こりやすさを設定する方法を検討することとした。

事象の影響の大きさについては、階層構造になっており、道路ネットワークの観点から整理すると、

○第1次因子（直接事象の大きさ）

災害規模：想定あるいは発生土砂の量

○第2次因子（第1次因子の直接的影響）

通行止め時間：災害による道路閉鎖時間

迂回時間：迂回路がある場合に発生

○第3次因子（第2次因子による間接的影響）

経済活動：事業規模・交通量に依存

救急医療：集落の有無・人口に依存

となる。なお、防災対策費（災害復旧費および事前対策費）を上記分類に当てはめると、災害規模に対して直接発生するものであることから第2次因子に分類され、通行止め時間の解消に要する費用として評価できる。

このため、道路斜面の防災対策効果の評価は、災害により発生する第2次因子の道路の通行止め時間を用いて、道路ネットワークにおける各斜面および区間の保有リスクと防災対策の効果を簡易に1次評価し、さらに詳細検討を行う場合に第3次因子を用いた評価を行うのが適当と考える。このため、第1次因子である土砂量と通行止め時間を調査し、関係を整理することとした。

2.2 防災点検ランクと災害の起こりやすさ

道路防災点検において個々の斜面の安定度評価を実施しており、想定される災害種別に「要対策箇所」、「カルテ対応箇所」、「対策不要箇所」、「点検対象外箇所」の4つのランクに分類している。そこで、災害種別の点検ランク毎に発生した災害件数と、個々の斜面には幅（道路に沿った管理長）があることからそれぞれの点検ランク毎の総管理延長を求め、次式により災害種別毎に各ランクにおける災害発生確率密度（以下、災害潜在性原単位とよぶ）を求めた。

$$\gamma = \frac{N}{n \cdot L}$$

ここで、

γ ：災害潜在性原単位〔件/(年・km)〕

N：点検ランク毎の災害発生件数〔件〕

n：統計年数〔年〕

L：点検ランク毎の総管理延長〔km〕

図1に全国ベースでの災害潜在性原単位を求めた結果を示す。点検ランクの評価と災害潜在性原単位の傾向は概ね一致しており、点検ランク毎の災害の起こりやすさの簡便値として設定することが可能であると考えられる。さらに、これは点検の評価結果が概ね妥当であったことも示している。災害潜在性原単位は、基本的に災害履歴がなければ設定することができないため、ある程度の災害履歴を有することが必要である。また、災害の地域特性についても考慮が必要であり、地方整備局単位や可能であれば管理事務所単位での設定が望ましい。

2.3 災害発生規模と通行止め時間

一般国道において過去の災害で全面通行止めとなったもののうち、災害発生時刻、復旧時刻（交通開放時刻）、崩壊土砂量が報告されているものを抽出し、崩壊土砂量と災害復旧に要する時間の関係を調査した。この関係を求めるに当たっては、災害発生後に最低限の交通確保ができる状態となることを前提として、「全面通行止め災害の、復旧作業の開始から片側交通開放までの時間」として整理した。これは、災害発生の有無にかかわらず防災対策工事を実施する際には基本的に片側通行あるいは交

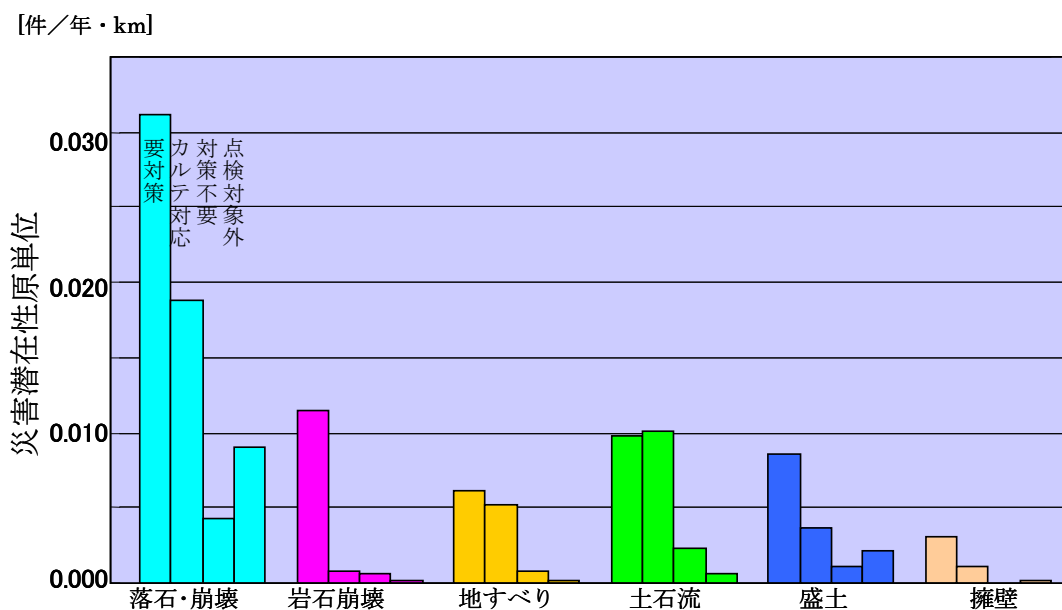


図1 災害種別の災害潜在性原単位 (全国値)

互通行となるため、災害復旧に伴う片側通行止め時間を災害発生に対する保有リスクとすることは不適当と考えられるためである。

また、災害の記録中には、同一路線で同時に複数の災害が密集して発生したものもあり、このようなケースでは全災害現場での交通開放時刻も同一のものとなる。このため、土砂量に応じて撤去時間を配分する修正が必要となる。図2に、崩壊土量と復旧日数（片側交通開放に要した時間）の関係を示す。図中の修正有は上記修正を行った同時発生災害で、修正不要は単独災害である。また、破線で囲まれた災害については、単純な土砂による道路の閉塞のみではなく、災害に伴い橋梁やトンネル坑口などの道路施設が損傷したことにより復旧が長期化したものであることを確認した。なお、このような箇所については、対策優先箇所の選定の際に考慮する必要がある。

図4.3.2で示すように、災害の復旧時間は崩壊土量にほぼ比例していると考えられ、災害が発生する可能性のある斜面（要対策、カルテ対応の斜面）について、崩壊時に発生すると考えられる土砂量を推定し、潜在する通行止め時間を推定することが可能と考える。

グラフの右下側に分布している災害は、崩壊土量の規模に比較して復旧が早いものである。これらは、規模が大きいため注意が必要である。同じ崩壊規模であっても復旧日数が異なる要因は、斜面のロケーションによるものである。復旧の難易度は、道路の形状や排土する場所の有無に影響され、例えば開削道路のように両側に斜面に挟まれている場合には復旧時間が長く、片側に広い空き地などの土砂を撤去するスペースがある場合には復旧時間も短くなる。このような個々の状況を時間評価して復旧時間を想定することは現実的ではなく、また災害規模が大きいもののリスクが過小評価とならないようにしなければならない。図2によると、一般国道においては1000m³程度で2日程度、それ以上の5000m³以上の規模災害でも概ね3日以内に片側交通開放されていることがわかる。

したがって、災害によって生じると考えられる通行止め時間（潜在通行止め時間とよぶ）の推定は、上記の状況からできるだけ安全側に評価するように簡便化して、次式によって行うのが適当と考える。

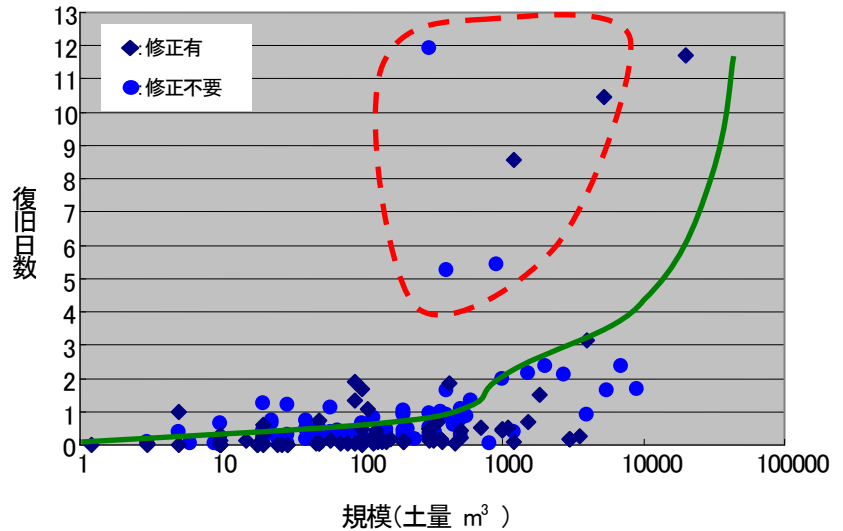


図2 崩壊土量と復旧日数の関係

推定土砂量が1000m³以下の場合：

$$D=0.002V$$

推定土砂量が1000m³より大きい場合：

$$D=0.00025(V-1000)+2$$

ここで、

D：潜在通行止め時間〔日〕

V：推定土砂量〔m³〕

2.4 防災対策効果の簡易評価手法

以下に、上記の考え方をもとに整理した、通行止め時間の減少を道路ネットワークの便益とする簡易リスク評価手法について述べる。

①個別斜面の保有するリスクの算定

まず、防災点検ランクで「要対策」、「カルテ対応」と判断された斜面を対象として個々の斜面の保有するリスク（年間潜在通行止め時間）を求めると、

$$r_d = \alpha \cdot \gamma_d \cdot D \cdot l_d / 1 \text{ 箇所}$$

ここで、

r_d ：斜面の年間潜在通行止め時間（日/年）

γ_d ：各災害種別の防災点検ランク毎の災害潜在性原単位〔件/（年・km）〕

D：潜在通行止め時間〔日〕

推定土砂量が1000m³以下の場合：

$$D=0.002V$$

推定土砂量が1000m³より大きい場合：

$$D=0.00025(V-1000)+2$$

V：推定土砂量〔m³〕。

推定が困難な場合は、想定災害発生面積（m²）×1（m）の簡便値を用いてもよい。

l_d ：道路延長上の管理斜面幅〔km〕

α : 災害潜在性原単位の重みづけ係数。

個々の斜面の安定性を考慮しない場合 :

$$\alpha = 1$$

個々の斜面の安定性を考慮する場合 :

$$\alpha = \beta_d / \beta_{avg}$$

β_d : 当該斜面の防災点検での安定度評価点

β_{avg} : 当該斜面の災害形態点検ランクの安定度評価点の地域平均値

なお、上記について対象斜面において災害履歴があり未対策の場合には $\alpha = 1$ とし、災害潜在性原単位 γ_d は当該斜面のみの履歴および管理延長で計算して与える。

②区間の保有するリスクの算定

次に、評価対象区間について上記で求めた個別斜面のリスクの総和を求める。

$$R_d = \sum_{i=1}^n r_d(i)$$

ここで、

R_d : 区間の災害による年間潜在通行止め時間 [日/年]

$r_d(i)$: 区間内の各斜面の年間潜在通行止め時間 [日/年]

対象区間に事前通行規制区間が含まれている場合には、過去の通行規制時間の統計により、事前通行規制による年間平均通行止め時間を求める。災害による通行止め時間と事前通行規制による通行止め時間の和が区間のもつリスク（時間損失）で、次式ようになる。

$$\Sigma Ri = R_d + hr$$

ここで、

ΣR : 区間リスク [日/年]

hr : 年間平均事前通行規制時間 [日/年]

③区間比較による防災対策箇所の選定

まず、対象区間に迂回路の有無を確認する。迂回路がある場合には、迂回によって生じる時間差分を減じて区間リスクの修正を行う。これは、図3に示すように、迂回路が無い場合には平時の通行時間と災害等により通行止めとなる時間の和が当該区間の移動時間となる。迂回路がある場合、この和が迂回時間までに軽減されれば、

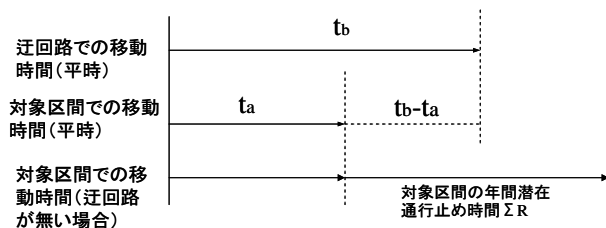


図43 迂回路の有無による区間リスクの考え方

対象区間と迂回路との移動時間に差が無くなることから、交通開放まで待っても時間損失が等しい移動となるためである。

道路ネットワークを踏まえた対策箇所の選定に当たっては、図4に示すように区間リスクの比較を行い、対策の優先区間を選定する。図では区間リスクの大きい方を選択しているが、救急医療等のための移動経路の連続性を考えて先に対策をした方が効果的である場合には、区間リスクの小さい区間を優先的に対策をするのがよい。次に、選定区間内の各斜面のリスクと対策費用を検討し、リスクの減少効果が高い斜面を選定し、当該斜面のリスクを区間リスクから減じて、再び区間リスクの比較をおこない、同様の検討を繰り返して対策箇所を順次選定していく。

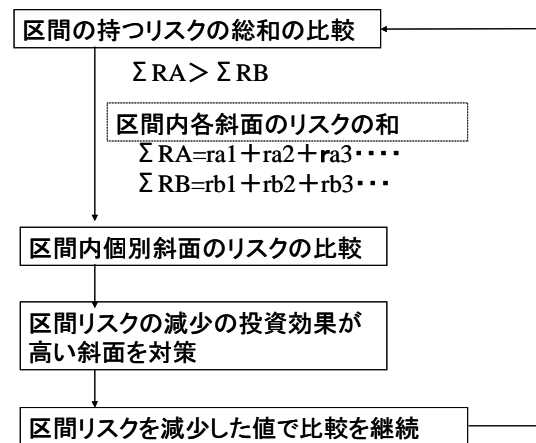


図4 区間評価を考えた防災対策の流れ

斜面災害のリスク評価については、災害によって道路利用者が巻き込まれる確率を計算して、人身損失として計上することを考える傾向が見られる。考えられるリスクを厳密に評価することは必要かもしれないが、当然交通量が多いところが優先的に選定されることになるうえ、その金額の設定方法に根拠が乏しく客観性に欠けることから、望ましくないものとする。被災確率の大小にかかわらず人の価値は同等であり、どの道路利用者も安全に通行できることを目指して斜面の防災対策を実施しているのである。したがって、防災対策の優先度を考える際には、集落の有無と救急医療経路の確保といった単純な視点で、道路ネットワークの観点から時間による客観的な評価をすることが適当と考える。

3. 事前通行規制基準の適正化

3.1 検討概要

事前通行規制基準の適正化の目的は、災害捕捉の向上と規制の空振りの減少である。道路斜面災害は、「土砂崩

壊」、「落石」、「岩盤崩壊」、「地すべり」、「土石流」といった多くの災害形態がある。これらの災害発生の素因および要因も異なり、降雨に関連するものや風化現象によるものなど多種多様である。現在の降雨による事前通行規制ではこれらの災害を同一に扱っている。このため、まず降雨による事前通行規制の目的を再確認するとともに、対象とする災害について明確にすることが必要である。これらを踏まえて、道路の管理体制も踏まえた規制方法および基準値の考え方、災害捕捉性と規制時間を考えた効率的な規制基準値の設定方法、事前通行規制区間の解除・基準緩和の考え方について検討を行った。

3.2 事前通行規制の再確認

(1) 降雨による事前通行規制の目的の再認識

事前通行規制区間の適正化を検討するに当たって、降事前通行規制区間には、通行規制区間と特殊通行規制区間の2つがあり、定義は次の通りである。

○通行規制区間：

過去の記録により危険箇所の事故発生と異常気象と間に相関関係がある場合で、異常気象による規制の基準値を定めて、これにより事前規制を実施する区間。

○特殊通行規制区間：

危険箇所の事故発生と異常気象との間に相関関係が見られない場合で、パトロール等で気象、現地の状況等により判断して危険が予想される場合に事前規制を実施する区間。

すなわち、降雨による事前通行規制区間とは、降雨により災害が発生する可能性があることを認識している箇所が存在する区間について、対策が済むまでの回避策として設定されているものである。

(2) 降雨による事前通行規制の対象災害

現在の道路における斜面防災は、道路防災点検により災害形態を分類して安定度を評価し、その結果に基づいて防災対策を実施している。事前通行規制の主旨は、前述のように降雨による自然斜面の崩壊から道路利用者を守ることにある。自然斜面の災害形態は、大きく「土砂崩壊（表層崩壊）」、「土石流」、「地すべり」、「落石」、「岩盤崩壊」に分類される。一般に、はじめの3つの災害は短期的な降雨による影響を受けて発生し、残りの2つは通常の短期的な降雨では発生せず、風化や浸食等の長期的な水の作用によって発生するものである。ただし、落石については、一端崩落した岩が斜面内にとどまり足元の土砂が降雨により浸食されて再度崩落することがあり（転石）、これについては降雨による災害として取り扱う。

なお、地すべりについては土塊の移動速度が緩やかで

あり、計測監視により対応することが可能であることから、落石や岩盤崩壊と合わせて別途対策を行うか監視による特殊通行規制に移行することも考えられる。

3.3 一般道の管理体制からの規制指標の考え方

一般国道や補助国道等においては、規制対象となる運転者と管理者が異なるうえ、常に自由通行である。さらに、管理者は通行規制用のゲートの近傍に常駐しておらず、ゲートまでの移動時間と道路交通の制御時間を考慮してある程度の降雨状況が予測できるものを指標として、通行規制を運用できる体制を構築する必要がある。したがって、一般道においては砂防分野、鉄道、高速道路におけるような瞬間的な判断を伴う時間雨量を指標に併用することは、管理体制の面から困難であり、短時間降雨予測を活用できる累積性のある単一指標で運用することが効率的である。

この場合、災害の捕捉性の観点から前述のように連続雨量ではなく先行降雨の影響を加味した土壌雨量指数や実効雨量法等の累積・減算型の指標が望ましいが、これらを指標とする場合には、交通開放の判断方法の検討が必要であるが、現行の連続雨量のリセット条件を活用して3時間2mm以下で交通開放することを基本とし、実運用時には指標値の減少状況を見ながら短時間降雨予測を踏まえて体制を検討するのがよいと考える。

3.4 降雨指標および規制基準値の設定手法

(1) 降雨指標の整理

現行の連続雨量法を含め、土壌雨量指数、実効雨量法以外で想定される累積・減算型の降雨指標の考え方を整理すると以下の通りである。

①連続雨量法

連続雨量は、降雨開始時間から交通開放のための条件（リセット条件）に達するまでの一連の雨の時間雨量を合計したもので、用いる時間雨量の個数（積算時間）は一定ではない。ある一連の雨の時間雨量の個数がk個の場合の連続雨量は、次式で表される。

$$\text{連続雨量 (R)} = \sum_{i=0}^k r(i)$$

ここで、

$$r : \text{時間雨量 (mm)}$$

この指標は、リセット直後に降雨が発生しても1からの累積となるため、先行降雨の影響が加味されない課題がある。

②積算雨量法

積算雨量は、ある一定時間に発生した降雨量の累計値で、気象情報でよく耳にする24時間雨量もその一つで一般的な指標である。ある積算時間tの積算雨量は、次式

で表される。

$$\text{積算雨量} (\Sigma t) = \sum_{i=0}^{t-1} r(i)$$

この指標は、時間 t の取り方によって一連の降雨の大きさが変わるため、ある程度長い時間を設定すれば連続雨量も包含し先行降雨の影響も加味される。すなわち、積算時間だけ無降雨状態が継続すれば指標値は 0 mm となり、途中で降雨があれば先行降雨の影響として累積される。指標値として用いる場合は、積算時間 t について検討が必要である。

③減算雨量法

減算雨量は、起算時刻までの経過時間に比例して各時間雨量を減算したうえでの累計したもので、ある積算時間 t の減算雨量は、次式で表される。

$$\text{減算雨量} (\Delta t) = \sum_{i=0}^{t-1} \frac{t-i}{t} r(i)$$

実効雨量法では、半減期を設定しているために初期に大きく減算し、その後徐々に 0 mm に漸近するものの指標値が 0 mm とならない問題がある。減算雨量は、積算期間を設定しており無降雨が継続すると指標値が 0 mm となるように、実効雨量法の課題を踏まえて本研究において単純化した新たな指標である。指標として用いる場合は、積算時間 t の検討が必要である。

④表層雨量法

表層雨量は、表層部を 1 段タンクに見立てて時間雨量 r (mm/h) の流入と一定量 δ (mm/h) の流出を想定した指標値である。任意の時間における表層雨量 ($Q(i)$) は、次のように表される。

$$\text{表層雨量} (Q(i)) = Q_{in}(i) + Q(i-1) - Q_{out}(i)$$

ここで、

Q_{in} : 流入量 (mm/h) = 時間雨量 r

Q_{out} : 流出量 (mm/h) で表面及び基層の流出量の合計値。一定値 δ (mm/h) を設定するが、 $Q(i-1) < \delta$ の時は $\delta = Q(i-1)$ とする。

この指標は、本研究において土壌雨量指数を単純した新たな指標である。指標値として用いる場合は、流出量を設定する必要がある。また、起算時間 t を設定して考慮する降雨時間を限定する方法（ここでは積算表層雨量法とよぶ）も考えられる。この場合は、次式のように表される。

$$\text{積算表層雨量} (Qt) = \sum_{i=0}^{t-1} [Q_{in}(i) - Q_{out}(i)]$$

指標値として用いる場合は、積算時間 t および流出量 δ について検討が必要である。

(2) 降雨指標および基準値の検討

検討に当たっては毎年法を用いた水文統計とする。以下、再現年数については特に断書きが無い場合は毎年法を指すこととする。

以下、時間雨量 (r)、連続雨量 (R)、12 時間・24 時間・48 時間積算雨量 ($\Sigma 12 \cdot \Sigma 24 \cdot \Sigma 48$)、24 時間・48 時間表層雨量として時間流出量 δ が 1.5 (mm/h) の場合 ($q_{24} \cdot q_{48}$) と 3 (mm/h) の場合 ($Q_{24} \cdot Q_{48}$) について検討とした事例を用いて説明する。積算表層雨量法における流出量の値は、気象における通常の弱い雨は 3 (mm/h) 未満の雨とされており、このような日常的な雨量は災害の要因とならないと考えられること、また崩壊が発生するようなゆるい土砂斜面の透水係数のオーダーが 10^{-6} (m/s) 程度であり、これを時間当りに換算すると 3.6 (mm/h) と日常の弱い雨の時間雨量の値とほぼ等しいことから、日常の弱い雨と同等量が流出することを基本とし、さらに流出量を変化させた場合の違いを確認することを目的に半減した値としている。

まず、各指標について、再現年数毎の指標値を求め、それぞれについて求めた指標値以上の年間発生時間 $h_r(T)$ を求める。表 1 に示す事例では、再現年数 $T = 1.5, 2, 3, 4, 5, 10$ [年] について実施している。この発生時間が、それぞれを規制基準値に設定した場合の年間通行止め時間となる。事例ではこの結果を用いて、各指標毎に再現年数に応じた発生時間を求める回帰式も求めている。

次に、表 2 に示すように対象区間で発生した災害について災害発生時の各指標値を調べる。この値をもとに、表 1 で示した再現確率の指標値を規制基準値とした場合の災害捕捉数と規制時間に対する災害捕捉効率を求める。各指標値の再現年数毎の規制時間当たりの捕災害捉効率については、次式で表される。

$$E_t(T) = \frac{D(T)}{n \cdot hr(T)}$$

ここで、

$E_t(T)$: 規制時間当たりの災害捕捉値

$D(T)$: 災害捕捉数

n : 資料年数で、事例では 15 年間データであることから $n = 15$ としている

表 3 に示すように災害捕捉数と災害捕捉効率を比較して規制指標および基準値について検討する。事例の事前通行規制区間の規制基準値は、連続雨量 250 mm であり、

表1 各指標毎の再現年数毎の指標値と年間発生時間(例)

| | | T | r | R | Σ 12 | Σ 24 | Σ 48 | Δ24 | Δ48 | q 24 | q 48 | Q24 | Q48 |
|---------------|-------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 雨量 | | 10 | 73.3 | 596.9 | 355.7 | 465.1 | 598.8 | 300.3 | 385.4 | 431.8 | 527.0 | 390.5 | 459.4 |
| | | 5 | 66.0 | 471.5 | 298.8 | 393.3 | 498.7 | 256.2 | 333.1 | 356.6 | 431.3 | 318.1 | 369.5 |
| | | 4 | 63.3 | 430.2 | 279.3 | 368.2 | 464.2 | 240.8 | 314.2 | 330.9 | 398.7 | 293.6 | 339.2 |
| | | 3 | 59.5 | 375.4 | 253.0 | 333.7 | 417.2 | 219.7 | 287.7 | 296.2 | 354.3 | 260.7 | 298.5 |
| | | 2 | 53.1 | 292.3 | 211.6 | 278.1 | 342.6 | 185.7 | 243.4 | 241.8 | 284.5 | 209.5 | 235.4 |
| | | 1.5 | 47.0 | 224.3 | 176.0 | 228.7 | 277.7 | 155.5 | 202.3 | 195.1 | 224.5 | 166.2 | 182.1 |
| 発生時間 hr(T) | 実測値 | 10 | 0.13 | 1.33 | 0.40 | 0.53 | 0.93 | 0.47 | 0.13 | 0.53 | 0.93 | 0.60 | 2.07 |
| | | 5 | 0.27 | 3.87 | 1.33 | 4.13 | 6.00 | 1.47 | 4.00 | 4.20 | 6.20 | 4.47 | 7.07 |
| | | 4 | 0.27 | 4.93 | 1.87 | 5.33 | 8.93 | 2.80 | 5.53 | 6.13 | 9.40 | 6.47 | 10.00 |
| | | 3 | 0.33 | 6.67 | 3.40 | 7.87 | 13.67 | 4.47 | 7.73 | 8.13 | 13.73 | 8.20 | 14.87 |
| | | 2 | 0.67 | 9.73 | 6.80 | 11.53 | 27.93 | 8.00 | 12.20 | 11.93 | 26.47 | 12.13 | 24.00 |
| | | 1.5 | 1.40 | 14.33 | 11.00 | 21.33 | 40.00 | 12.40 | 22.67 | 21.80 | 39.93 | 21.60 | 38.07 |
| | 回帰式 $\alpha \cdot T^\beta$ | α | 0.702 | 9.882 | 6.178 | 13.141 | 25.350 | 7.471 | 14.497 | 13.703 | 25.188 | 13.821 | 23.987 |
| β | -0.790 | -0.785 | -1.152 | -1.158 | -1.250 | -1.131 | -1.558 | -1.159 | -1.234 | -1.117 | -0.975 | | |

表2 各災害発生時の降雨指標値の一覧(例)

| NO. | 種別 | r | R | Σ 12 | Σ 24 | Σ 48 | Δ24 | Δ48 | q 24 | q 48 | Q24 | Q48 |
|-----|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 崩壊 | 24.0 | 156.7 | 162.3 | 183.7 | 265.7 | 153.1 | 179.3 | 161.7 | 197.7 | 139.7 | 139.7 |
| 2 | 崩壊 | 0.7 | 0.7 | 31.0 | 97.7 | 178.3 | 44.2 | 98.7 | 64.2 | 116.2 | 34.7 | 59.7 |
| 3 | 流出 | 1.0 | 414.0 | 273.0 | 416.0 | 416.0 | 286.0 | 351.0 | 390.5 | 390.5 | 368.0 | 368.0 |
| 4 | 決壊 | 3.0 | 19.0 | 57.0 | 187.0 | 410.0 | 84.4 | 192.8 | 152.5 | 339.5 | 118.0 | 269.0 |
| 5 | 落石 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6 | 地滑 | 4.0 | 432.0 | 211.0 | 420.0 | 441.0 | 223.5 | 330.8 | 385.5 | 393.0 | 351.0 | 355.0 |
| 7 | 流出 | 2.5 | 8.7 | 38.0 | 97.2 | 202.2 | 45.2 | 98.2 | 62.7 | 131.7 | 32.0 | 70.0 |

表3 各降雨指標の再現年数毎の災害補足数(例)

| | | T | r | R | Σ 12 | Σ 24 | Σ 48 | Δ24 | Δ48 | q 24 | q 48 | Q24 | Q48 |
|------------|--|-----|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 災害 捕捉数 | | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| | | 4 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| | | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| | | 1.5 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 災害捕 捉効率 | | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 5 | 0 | 0 | 0 | 0.0323 | 0 | 0.0454 | 0.0167 | 0.0317 | 0 | 0.0298 | 0 |
| | | 4 | 0 | 0.0135 | 0 | 0.0250 | 0 | 0.0238 | 0.0241 | 0.0218 | 0 | 0.0206 | 0.0133 |
| | | 3 | 0 | 0.0200 | 0.0196 | 0.0169 | 0.0049 | 0.0298 | 0.0172 | 0.0164 | 0.0097 | 0.0163 | 0.0090 |
| | | 2 | 0 | 0.0137 | 0.0098 | 0.0116 | 0.0072 | 0.0167 | 0.0109 | 0.0112 | 0.0076 | 0.0110 | 0.0083 |
| | | 1.5 | 0 | 0.0093 | 0.0121 | 0.0063 | 0.0050 | 0.0108 | 0.0059 | 0.0061 | 0.0050 | 0.0062 | 0.0053 |

連続雨量の再現年数は1.65年である。現行の連続雨量法
 においては、災害捕捉数および災害捕捉効率の観点から、こ
 の区間の規制基準値については再現年数3年程度の指標
 値まで引き上げることが可能と判断される。

また、他の指標の適用性についてみると次のように分
 析される。積算雨量法の災害捕捉性を見ると、24時間積
 算雨量の捕捉効率がよく、再現年数5年程度の基準値と
 しても現行の連続雨量法と同数の捕捉が可能である。ま
 た、48時間積算雨量法は再現年数2年程度までは災害捕
 捉数は3件と捕捉数の向上は見られる。しかしながら、

48時間積算雨量では発生時間が長いことから、通行止め
 となる時間も当然長くなるため、事前通行規制の指標と
 して用いるには災害捕捉効率は低い結果となる。このよ
 うな観点から、各指標について連続雨量の再現年数3年
 における災害捕捉効率と比較すると、再現年数5年程度
 の24時間積算雨量や24時間表層雨量がこの規制区間に
 においては効率的な規制指標値であると考えられる。

表4で求めた災害捕捉効率は、表1で示した実時間で
 求めたものである。表3で示した値でも災害捕捉効率に
 ピーク値があることを見ることはできるが、表4.2.1で

示した発生時間の回帰式を用いて災害捕捉効率を横軸に指標値の再現年数にとって表すと、図5に示すようなピーク値を持った曲線となる。

図に示すように、災害捕捉効率が大きいものは規制時間が減少し、再現年数が大きいものは規制頻度が少なくなるため空振り規制の頻度が減少することになる。同一の指標値での基準値の検討をする場合には、現行の基準値よりもピーク値が右側にある場合には、降雨状況を踏まえて基準値の緩和検討が考えられる。

また、複数の指標を比較する場合には、ピーク値が図の右上にあるものが効率的な指標値となる。

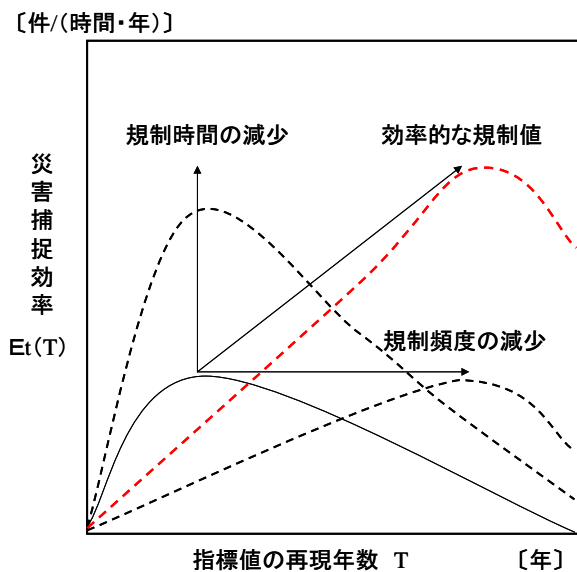


図5 指標値の再現年数と災害捕捉効率の関係

3.5 事前通行規制の基準緩和・区間解除の考え方

事前通行規制区間における通行止め時間短縮の方策は、「規制基準雨量の緩和」、「災害発生源の対策と規制区間の解除」である。前者については、降雨経験の基づき上記の対象災害危険箇所が残存しているが災害が発生しなければ、その雨量まで緩和することを検討すればよいと考える。また、降雨の再現年数以上の発生時間と災害捕捉数から災害捕捉効率を求めて、基準緩和の目標値を設定するとともに、基準を緩和して得られる便益の大きさ（総規制時間の短縮）と、残存する災害危険箇所の崩壊による時間損失（潜在通行止め時間）を考慮して検討する必要がある。

後者については、これまでの規制区間の解除・緩和の検討にあたっては、「必要な防災対策が完了後に、規制基準雨量以上の雨を経験すること」が前提となっている。この降雨経験については、防災対策工の評価と考えられている技術者が多く見受けられるが、残存する自然斜面の安定を確認するための降雨経験である。したがって、

防災対策工はこれまでの経験を踏まえて、想定される災害規模に対して斜面が安定するように設計・施工されるものであり、設計思想の観点から災害形態と規模に対して適切と判断される対策が完了した時点で、想定可能な災害への対策は終了したと考えてよい。このため、対策完了以前の降雨経験も踏まえて区間解除の検討を行うことが適切と考える。

未曾有の雨で残存する自然斜面の全てで災害が起こる可能性があることは否定できないが、災害の危険性（潜在性）が認識できないものは対策不可能であり、認識できないものまで対策の対象とするならば、全ての山地部全面に対策することが必要となり、現実的ではない。このため、防災点検など現状の技術で認識している（認識可能な）土砂崩壊、土石流および転石に対する対策が完了し、災害に対して安全であると判断し、当該道路を利用する地域住民等との合意が得られれば、規制区間を解除することが適切であると考ええる。

4. まとめ

本研究では、通行止め時間縮減の観点から、事前通行規制区間の基準や管理のあり方に関する検討を行い、防災対策の効果に対する簡易リスク評価手法および災害捕捉効率を考慮した事前通行規制指標の設定方法を構築してきた。なお、これらの考え方については「降雨時通行規制基準の適正化マニュアル案（仮称）」に取りまとめるとともに、今後国土交通省本省および各事前通行規制区間における解除・緩和検討委員会等と連携して、防災対策の進め方や規制基準の適正化に関する検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 加藤俊二, 小橋秀俊, 古谷充史, 石原寛隆: 道路斜面災害の簡易リスク評価方法に関する検討, 第62回年次学術講演会講演概要集, (社) 土木学会, 2007.9
- 2) 小橋秀俊, 加藤俊二, 石原寛隆, 古谷充史: 道路斜面災害による通行止め時間の評価に関する検討, 第62回年次学術講演会講演概要集, (社) 土木学会, 2007.9
- 3) 加藤俊二, 小橋秀俊, 古谷充史, 杉田秀樹: 道路斜面災害等による通行止め時間の縮減に関する検討, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, (社) 土木学会西部支部, p. 39-44, 2008.8
- 4) 加藤俊二, 小橋秀俊, 古谷充史: 通行止め時間を考慮した事前通行規制基準雨量の設定に関する検討, 第63回年次学術講演会講演概要集, (社) 土木学会, 2008.9