

4.2 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目的として、地質チームと合同で実施している。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。平成 20 年度は、降雨の発生時間と災害の捕捉性の観点から過去の道路災害と降雨データを分析し、降雨指標の設定に関する検討を行った。

キーワード：道路斜面災害、事前通行規制、基準の解除・緩和、通行止め時間

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。

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）

降雨時通行規制区間において災害等が発生し通行止めとなるもの（規制区間内災害）

事前通行規制区間外での災害等が発生し通行止めとなるもの（規制区間外災害）

実態調査によると、～ 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、～ を総合的・戦略的に縮減させる必要がある。～ に対して、効果的な対応策はそれぞれ以下の通りである。

防災マップ等による危険箇所の面的な把握・被害想定・優先対策・斜面管理

事前通行基準の適正化による規制の空振り・未捕捉災害の縮減

普通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・振動チームでは通行規制基準の適正化と防災対策の効果について、「通行止め時間」を指標とした研究を実施する。平成 20 年度は、規制時間および災害の捕捉性を考えた規制基準の考え方についての検討を

行った。

2. 研究方法

災害の捕捉性の観点から、道路斜面災害時の降雨データ分析を行い、複数の降雨指標を設定して災害の捕捉性の関係を求め、規制時間と災害補足効率の観点からの規制区間の解除・緩和の考え方について検討する。

2.1 降雨指標の整理

一般道における事前通行規制は、降雨の開始から終了までの 1 連の降雨量（連続雨量）を指標としている。また、規制区間に管理者が常駐しておらず、管理事務所から規制ゲートまでの移動時間を考えると 30 分～1 時間程度の移動時間を要する。さらに、自由通行といった特殊性から瞬間的に規制を実施することが困難である。このため、一般道においては、砂防分野、鉄道、高速道路における時間雨量を併用した規制方法は適していない。上記各分野においては、連続雨量法以外に土壌雨量指標や実効雨量法といった先行降雨の影響が加味された累積・減算型の指標についての適用も検討されているが、計算が複雑であったり、指標値が 0 mm にリセットされないといった課題もある。そこで、これらの指標以外に一般道の規制に適用可能性が考えられる累積・減算型の降雨指標について検討・整理する。

2.2 ケーススタディによる災害補足効率の調査

上記で整理した指標について過去の災害履歴と降雨の関連から、降雨関連災害が多く確認されている事前通行規制区間を抽出し、モデルケースとして当該区間におけ

る各降雨指標の発生確率年以上の降雨の年間発生時間を整理し、それぞれの確率年毎に災害補足効率を調査し、規制時間と災害補足率の観点から現在の基準の緩和や最適な降雨指標の設定方法について検討する。

3. 研究結果

3.1 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。

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。

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。

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

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0mm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。

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。

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

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0mmに漸近するものの指標値が0mm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0mm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。

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(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、

$$Q_{in} : \text{流入量(mm/h)} = \text{時間雨量 } r$$

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(mm/h)を設定するが、 $Q(i-1) < \text{一定値}$ の時は $Q_{out} = Q(i-1)$ 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および流出量について検討が必要である。

3.2 ケーススタディによる災害捕捉率の調査

(1) 対象区間の選定

ケーススタディの対象区間は、規制区間に以下条件の災害履歴が満遍なく含まれていることを基本として、1990~2004年の15年間における全国の直轄国道の事前通行規制区間における災害履歴を調べ対象区間を複数選定した。

<選定条件>

規制による補足災害

現行連続雨量法による捕捉災害で、災害発生時の連続雨量が再現年数1年(非毎年法)の連続雨量以上であるもの。

降雨の影響が少ない災害

現行連続雨量法による見逃し災害で、災害発生時の連続雨量が、再現年数1年(非毎年法)の連続雨量

4.2 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)

以下かつ災害発生時の48時間雨量が連続雨量以下のもの(0 [mm] で等しい場合を含む)。

先行降雨の影響が考えられる災害

災害発生時にある程度の積算雨量がある現行連続雨量法による見逃し災害で、災害発生時の連続雨量が、再現年数1年(非毎年法)の連続雨量以下かつ48時間雨量が連続雨量以上を上回っているもの。

ここでは、選定した区間のうち四国地方整備局管内の事前通行規制区間(規制基準雨量 250mm)を対象区間として調査事例を報告する。表4.3.1に対象区間における災害を示す。

表4.2.1 対象区間で抽出された災害(時系列順)

	連続雨量		積算雨量	分類
	雨量 [mm]	再現年数 [T]	48時間 [mm]	
法面崩壊	157	0.589	266	
土砂崩壊	1	-	178	
土砂流出	414	2.587	416	
道路決壊	19		410	
落石	0		0	
地すべり	432	2.869	441	
土砂流出	9		202	

(2) 水文統計の作成

連続雨量法は、増えるかリセットするかのどちらかであるが、積算雨量法や減算雨量法などの指標は、増分と減分の大小関係により、一雨のうちに増減を繰り返す波がある降雨指標である。このため、一連の連続雨量において、これらの指標値では、ほぼ雨量の等しいピークが2回にわたって発生することがある。このとき、問題となるのは、例えば極端な例をあげると2箇所のピークが

15年の1位・2位となってしまう可能性である。もし、このような豪雨が事前通行規制区間で発生した場合、事前通行規制をかけて開放するまでに15年の1位・2位の雨量が発生していることになる。このため、複数のピークを持つ可能性がある積算雨量や減算雨量などの指標を検討する場合には、非毎年法による検討はなじまない。

一方で、年最大値だけを用いて分析する毎年法を用いた場合には、どの雨量指標でも年最大値は容易に定義できるため、このような問題は発生しない。したがって、以下の検討では毎年法を用いた水文統計とし、一般的な岩井法を用いることとした。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。

検討する指標は、時間雨量(r)、連続雨量(R)、12時間・24時間・48時間積算雨量(12・24・48)、24時間・48時間表層雨量として時間流出量が1.5(mm/h)の場合(q24・q48)と3(mm/h)の場合(Q24・Q48)とした。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、これを時間当たり換算すると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た。

各指標について、再現年数:T=1.5, 2, 3, 4, 5, 10[年]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hr(T)を求めた。この時間が、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。この結果を用いて、各指標毎に再現年数に応じた発

表4.2.2 各指標毎の再現年数毎の指標値と年間発生時間

		T	r	R	12	24	48	24	48	q24	q48	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 ・T		0.702	9.882	6.178	13.141	25.350	7.471	14.497	13.703	25.188	13.821	23.987
		-0.790	-0.785	-1.152	-1.158	-1.250	-1.131	-1.558	-1.159	-1.234	-1.117	-0.975	

4.2 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）

表 4.2.3 各災害発生時の降雨指標値の一覧

NO.	種別	r	R	12	24	48	24	48	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 4.2.4 各降雨指標の再現年数毎の災害補足数

	T	r	R	12	24	48	24	48	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

生時間を求める回帰式を求めた。表 4.2.2 にこれらの結果を示す。

次に、表 4.2.1 に示す災害について各指標の災害発生時の値を調べた。表 4.2.3 に災害毎のそれぞれの降雨指標値を示す。この値をもとに、表 4.3.2 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た結果を表 4.2.4 に示す。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、次式により求めた。

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

ここで、

Et(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、今回の調査では 15 年間データであることから n = 15

この規制区間の規制基準値は、連続雨量 250mm であり、連続雨量の再現年数は 1.65 年である。現行の連続雨量法では、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考えられる。

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高く、再現年数 5 年程度の基準値としても現

(件/(時間・年))

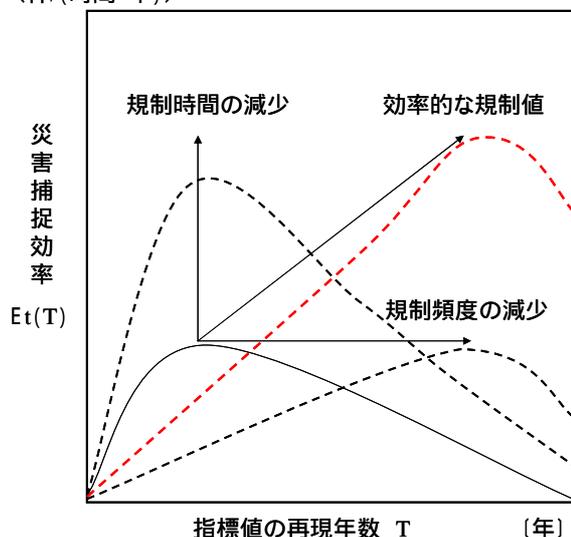


図 4.2.1 指標値の再現年数と災害捕捉効率の関係

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おいては効率的な規制指標値であると考えられる。

ここで、表4.2.4で求めた災害捕捉効率、表4.2.2で示した実時間で求めたものである。表4.2.4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4.2.2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4.2.1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、災害捕捉効率が高いものは規制時間が減少し、再現年数が高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。

なお、災害捕捉性の分析に当たっては、表4.3.2の災害NO.5の落石のように降雨と無関係の災害履歴も含まれているので、降雨指標で捕捉されないような災害の形態や発生要因等を踏まえた検討が必要である。

3.3 規制基準の見直しについて

事前通行規制区間における課題は複数あり、課題解決のためには区間内で想定される災害形態などの個々の区間の状況を踏まえて、通行規制区間の対策の進め方も含めた検討が必要ではあるが、本研究の目的は通行規制基準雨量の適正化による空振り規制の減少であることから、ここでは規制基準の見直しに限定して述べる。

まず、一番問題となるのが規制基準の再現年数が小さいため頻繁に規制をするが災害が発生していない区間である。このような区間については、経験降雨を踏まえて規制基準値を適宜引きあげていく方法が考えられる。この方法はNEXCでも実施されているもので、一般道、高速道路にかかわらず適用可能である。

次に、災害履歴もあるが空振り規制も頻繁に発生する区間である。このような区間については3.2で述べたような災害捕捉効率を調べて、ピーク値までを目安に災害捕捉数が減少しない再現年数を目標値として、上記同様経験降雨を踏まえて基準値の緩和を進めていくことが考えられる。

4. まとめ

本研究では、事前通行規制基準の適正化を目的に、通行止め時間縮減の観点から、降雨指標および基準値の評価・設定方法に関する検討を行ってきた。概要を整理すると次の通りである。

- 1) 災害捕捉数と降雨の発生時間の関係から求める災害捕捉効率により、効果的な指標および基準値の検討・設定が可能である。
- 2) 降雨指標および基準値の設定は、前述のように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、効率性の高いものを選定するのがよいと考える。
- 3) 基準値の緩和に当たっては、危険箇所が残存しているが降雨により災害が発生しなければ、経験雨量に基づきその雨量まで緩和することを検討すればよいと考える。

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、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) 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
- 2) 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
- 3) 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

A RESEARCH ON ROAD TRAFFIC MANAGEMENT FOR REDUCTION OF REGULATION TIME DUE TO SLOPE FAILURE

Abstract : The direct loss of road network by the slope disaster is regulation time on road traffic. On the prior traffic regulation by rainfall, improvement of the disaster prehensibility and the effective section cancellation of the regulation section are demanded. Therefore we analyzed relevance between past road slope disasters and the rainfall, and arranged a way of thinking for setting an effective regulation using rainfall index. In addition, we arranged a way of thinking on the basis of a purpose of the prior traffic regulation by rainfall for measures and section cancellation.

Key words : Road slope disaster, traffic regulation by rainfall, regulation time

A RESEARCH ON ROAD TRAFFIC MANAGEMENT FOR REDUCTION OF REGULATION TIME DUE TO SLOPE FAILURE (2)

Abstract : The direct loss of road network by the slope disaster is regulation time on road traffic. On the prior traffic regulation by rainfall, improvement of the disaster prehensibility and the effective section cancellation of the regulation section are demanded. Therefore we analyzed relevance between past road slope disasters and the rainfall, and arranged a way of thinking for setting an effective regulation using rainfall index. On the adequacy of the prior traffic regulation standard, we suggested the setting method of the regulation standard value and the rain index by the disaster capture efficiency and the regulation time.

In addition, we arranged a way of thinking on the basis of a purpose of the prior traffic regulation by rainfall for measures and section cancellation.

Key words : Road slope disaster, traffic regulation by rainfall, regulation time