

連続雨量による事前通行規制の妥当性の検討

Examination of Advance Traffic Restrictions based on Continuous Rainfall

村田 宗一郎¹⁾、一井 康二²⁾、比田 亘洋³⁾、佐々木 綾音⁴⁾

1) Soichiro MURATA, 博士課程前期, 関西大学大学院社会安全研究科, k194391@kansai-u.ac.jp

2) Koji ICHII, 教授, 関西大学社会安全学部, ichiik@kansai-u.ac.jp

3) Koyo HIDA, 卒業生, 関西大学社会安全学部, ichiistudents@gmail.com

4) Ayane SASAKI, 学部生, 関西大学社会安全学部, k802813@kansai-u.ac.jp

豪雨時の道路被害を防止するために異常気象時事前通行規制がある。通行規制の判断が適切でないと、通行規制前に災害が発生し危険を招くなどの問題が生じる。そこで、本研究では現行の事前通行規制の設定方法について事前通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の比較を行い、規制基準の妥当性を検討した。また、土砂災害警戒情報の発令基準との比較を行った。その結果、現行の規制基準はある程度妥当であるが、事前通行規制が実際の被害時刻よりもかなり早く規制が行われることが分かった。これは、現行の規制基準が土砂災害警戒情報の判断基準よりおおむね安全側であることによると考えられる。

キーワード：連続雨量，異常気象時事前通行規制，土壌雨量指数

(IGC : E-6)

1. はじめに

近年、我が国では、局地的大雨や台風などの豪雨により土砂災害が多発している。例えば、平成30年7月に発生した豪雨（西日本豪雨）では人的・家屋被害の発生だけでなく、道路沿いの斜面が崩壊するなど土砂災害により道路が被災した事例が報告されている¹⁾。

ここで土砂災害の発生原因は誘因と素因に分けて議論されることが多い²⁾。誘因とは土砂災害を発生させるトリガーとなる外力等のことを指す。例えば、降雨や地震の揺れなどが挙げられる³⁾⁴⁾。対して、素因とは災害発生の原因となった斜面の性質であり、崩壊しやすい地形や流動しやすい土質などが挙げられる⁵⁾。

このような土砂災害による被害の防止に対して、ハード対策は重要である。例えば、土石流対策として砂防堰堤や地すべり対策として地下水排除工などが行われる⁶⁾。しかし、ハード対策には多額の費用を必要とするため、人命が失われるなどの事態の回避には、誘因に着目した避難指示などのソフト対策も重要である。

ソフト対策の例として、我が国の国道では、豪雨時に崖崩れや落石等が発生する恐れのある区間を対象に「異常気象時事前通行規制」（以下「通行規制」とする）を発令し、通行止めを行うことで利用者の安全を確保している。しかし、通行規制の判断が適切でないと、通行規制が不必要に長時間におよぶことや通行規制前に災害が発生してしまい危険を招くなどの問題が生じる。

そこで、本研究では現行の通行規制の設定方法について通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の比較を行うことで、規制基準の妥当性を検討した。また、土砂災害

警戒情報⁷⁾の発令に用いられる土壌雨量指数の基準との比較を行った。

2. 既存の研究について

2.1 現行の通行規制の発令と解除について

図-1⁸⁾に連続雨量の決定方法を示す。降り始め時刻から当該時刻までの雨量の累積値が連続雨量であり、現在の通行規制の有無の判断の指標になる。ここで、降り始め時刻を決めるため、降雨が中断している時間が一定以上になると連続雨量がリセットされる。つまり、リセットに用いる降雨中断時間の値と規制の判断に用いる連続雨量の値が、現行の規制基準では重要である。

平成元年から平成4年では、現行の規制基準に基づく通行規制に対して、災害が発生しなかった割合（以下、「空振りの割合」とする）は約8割である。また、平成20年から平成24年の空振りの割合は約9割である⁹⁾。安全側の判断が必要とされていることをふまえると、必ずしも空振り率が高すぎるとは言えないが、より適切な判断が望ましいことは否定できない。

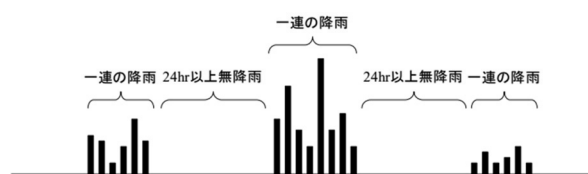
図-1 連続雨量について⁸⁾

表-1 令和2年7月豪雨で熊本県内の国道での被害発生時刻¹²⁾

路線名	区間名	被害発生時刻	地点
国道212号	阿蘇郡小国町下城	2020/7/8 2:25	A
国道212号	阿蘇郡小国町宮原	2020/7/8 2:25	B
国道219号	球磨村	2020/7/4 2:50	C
国道219号	球磨村湯前町	2020/7/5 17:00	D
国道221号	人吉市大畑町	2020/7/6 12:00	E
国道387号	阿蘇郡小国町黒瀨	2020/7/7 7:00	F
国道387号	阿蘇郡小国町北里	2020/7/8 2:25	G
国道387号	菊池市原	2020/7/6 20:20	H
国道387号	阿蘇郡小国町杉平	2020/7/8 22:00	I
国道388号	水上村舟石	2020/7/9 20:00	J
国道445号	五木村三方谷	2020/7/6 12:00	K
国道445号	五木村上荒地	2020/7/6 12:00	L
国道445号	五木村上荒地	2020/7/7 9:00	L
国道445号	人吉市	2020/7/5 20:00	M
国道445号	人吉市	2020/7/7 9:00	M

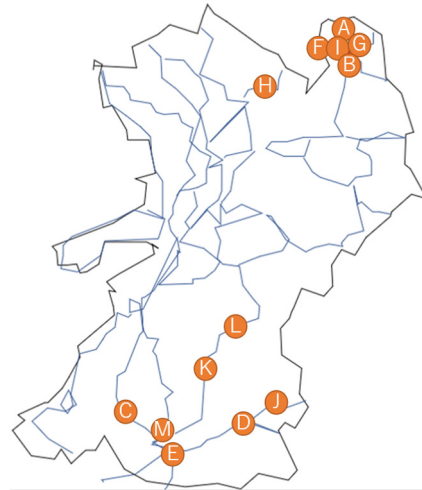


図-2 令和2年7月豪雨で熊本県内における被害地点 (13 地点)¹²⁾

2.2 土壌雨量指数を用いた事前通行規制の検討

村田・小山ら (2022)¹⁰⁾は、単に雨量だけを用いるのではなく地盤内の状態も考慮することが望ましいと考え、土砂災害警戒情報で使用されている基準と現行の通行規制基準に対して通行規制時間を比較している。土砂災害警戒情報では、土壌雨量指数と60分間積算雨量から描かれたスネーク曲線が土砂災害発生基準線 (Critical Line: 以下「CL」とする) を超過するか否かで発令の有無を判断している。ここで、判断基準となる CL は過去の災害履歴に基づき、災害補足率や発生頻度を勘案して設定されている⁸⁾。しかし、上記の研究では規制時間の比較が行われているものの、実際の災害発生の有無は検討されていない。

そこで、本検討では現行の通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の比較を行うことで通行規制基準の妥当性を検討した。また、現行の規制基準と土砂災害警戒情報の基準を比較した。

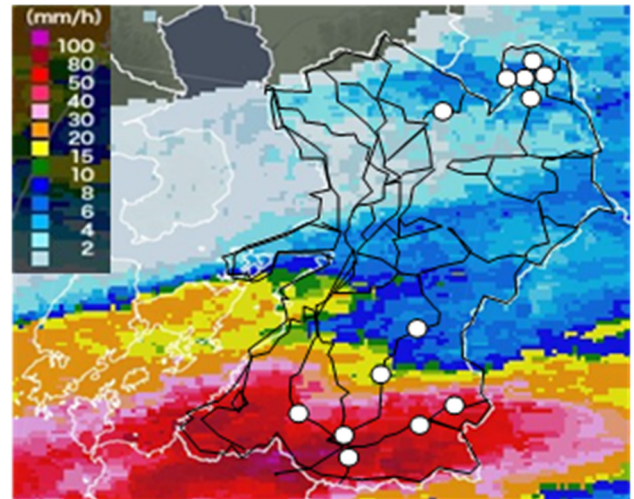


図-3 雨雲レーダー画像¹³⁾と国道の地図を重ね書きの例

3. 分析対象・分析方法

3.1 令和2年7月豪雨について

本検討では、令和2年7月豪雨において発生した国道上の道路被害地点を対象にした。令和2年7月豪雨は、2020年7月3日から7月30日にかけて日本付近に停滞した前線の影響で九州地方や中部地方など日本各地で発生した豪雨である。7月3日から7月31日までの総降水量は多いところで2000ミリを超え、九州南部、九州北部など多くの地点で24, 48, 72時間降水量が史上最大になった¹¹⁾。

この豪雨に関して、国土交通省は各地の被害を災害情報¹²⁾として発表している。本検討では災害情報第5報から第50報までに記載された被害報告のうち、被害の多かった熊本県内の国道を検討対象とした。図-2¹²⁾に熊本県内で発生した国道上の被害地点 (13 地点) を示し、表-1¹²⁾に上記の事例における被害発生時刻を示す。なお、同一地点で2回の被害が報告されている場合は最初の被害

のみを対象とした。

3.2 雨量の算定方法について

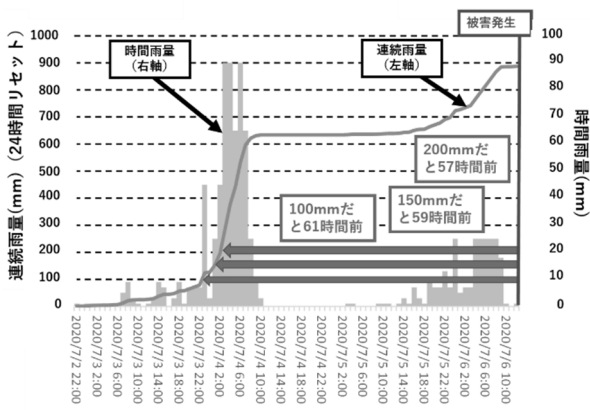
被害地点の地図を雨雲レーダー画像¹³⁾に重ね、レーダー画像のカラーから一時間ごとに雨量を算定した。

図-3に地図¹⁴⁾と雨雲レーダー画像を重ねた例を示す。同様の作業を1時間ごとの雨雲レーダー画像で行い当該地点の雨量強度が一時間続くものとして、各時刻の時間雨量を算定した。なお、雨雲レーダー画像の色を目視で判断することは困難であるため、画像のRGB値を読み取り、RGB値が最も近い値となる凡例の色から雨量を算定した。雨量は図-3中の凡例に記載されている閾値の平均値を雨量として使用した。

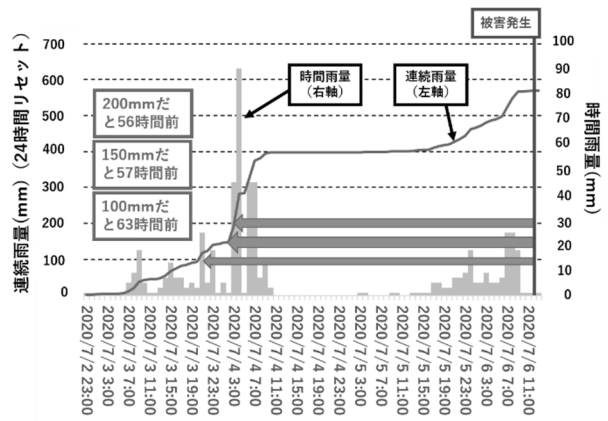
3.3 連続雨量の算定条件 (リセット時間の設定)

本検討では、連続雨量の算出において降り始め時刻の設定に用いるリセット時間を変えて、一定の連続雨量に達した時刻と実際の災害発生時刻を比較した。なお、熊

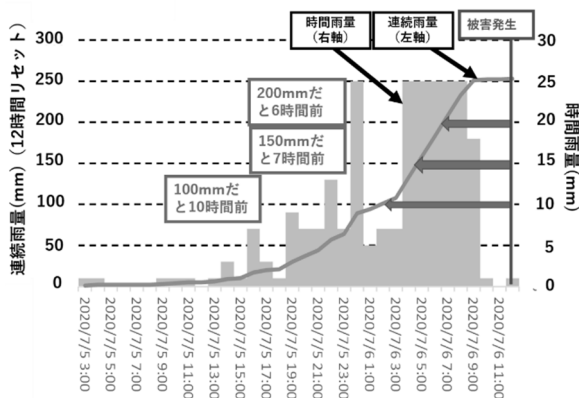
連続雨量による事前通行規制の妥当性の検討



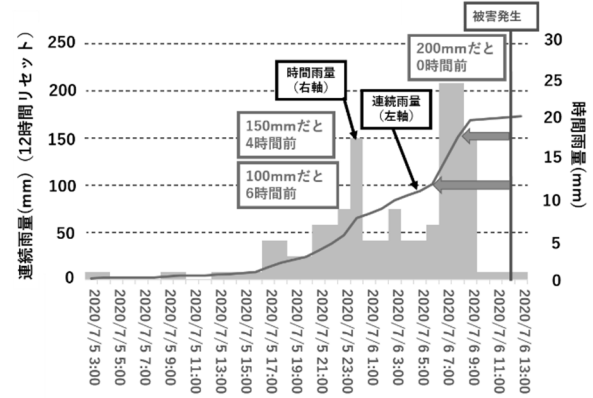
(a) 連続雨量の算出が 24 時間リセットの場合



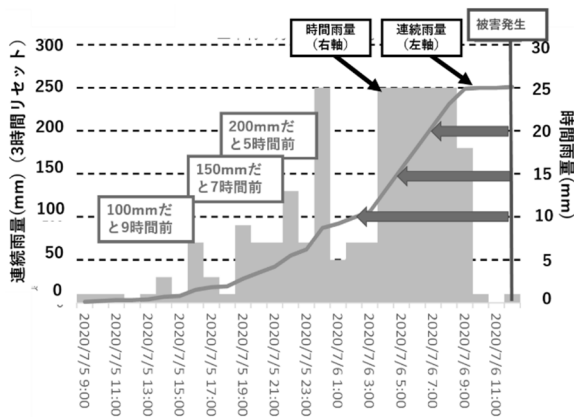
(a) 連続雨量の算出が 24 時間リセットの場合



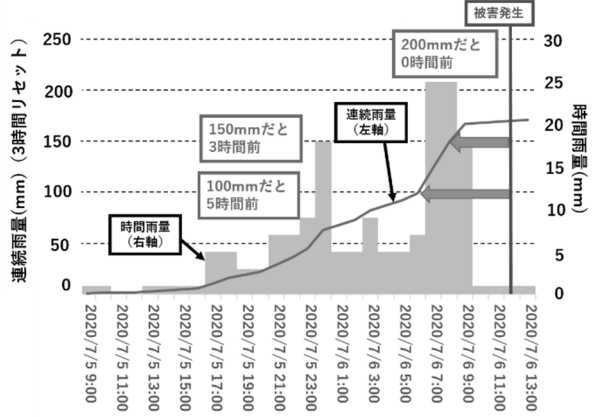
(b) 連続雨量の算出が 12 時間リセットの場合



(b) 連続雨量の算出が 12 時間リセットの場合



(c) 連続雨量の算出が 3 時間リセットの場合



(c) 連続雨量の算出が 3 時間リセットの場合

図-4 事前通行規制と被害発生時刻の比較の例
(五木村三方谷地点)

図-5 事前通行規制が機能しない事例
(五木村荒地地点)

本県の知事管理の国道の多くでは、24 時間無降雨期間がある場合に連続雨量をリセットすることとして、連続雨量 200mm を通行規制基準としている¹⁵⁾。また、熊本河川国道事務所の管理する国道 57 号のいくつかの地点でも同様の値が採用されている¹⁶⁾。そのため、本研究で使用したリセット時間は熊本県で設定されている 24 時間リセット、より短い 3 時間リセット、その間の 12 時間リセットの 3 種類とした。また、着目する連続雨量の値は

熊本県で使用されている 200mm, より少ない 100mm, その間の 150mm の 3 種類とした。

4. 分析結果

4.1 事前通行規制と実際の被害の時間差

図-4 と図-5 に検討事例を示す。図-4 は連続雨量 200mm

表-2 事前通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の差 (h)

区間名 (地点)	24時間リセット			12時間リセット			3時間リセット		
	200mm	150mm	100mm	200mm	150mm	100mm	200mm	150mm	100mm
阿蘇郡小国町下城 (A)	45.4	45.4	48.4	45.4	45.4	48.4	34.4	45.4	45.4
阿蘇郡小国町宮原 (B)	38.4	46.4	77.4	31.4	32.4	37.4	31.4	32.4	37.4
球磨村 (C)	2.8	4.8	6.8	2.8	4.8	6.8	2.8	4.8	6.8
球磨村湯前町 (D)	50	123	127	×	×	×	×	×	×
人吉市大畑町 (E)	59	61	63	6	9	14	6	9	14
阿蘇郡小国町黒淵 (F)	15	22	35	13	14	16	13	14	16
阿蘇郡小国町北里 (G)	32.4	40.4	55.4	28.4	31.4	34.4	28.4	31.4	34.4
菊池市原 (H)	17.3	19.3	35.3	17.3	19.3	35.3	4.3	11.3	17.3
阿蘇郡小国町杉平 (I)	54	61	74	×	×	×	×	×	×
水上村舟石 (J)	138	139	142	×	×	×	×	×	×
五木村三方谷 (K)	57	59	61	6	7	10	5	7	9
五木村荒地 (L)	56	57	63	×	4	6	×	3	5
人吉市 (M)	44	45	47	×	×	×	×	×	×

※通行規制開始時刻より先に災害が発生した場合は×としている

の基準だと災害発生前に事前通行規制が実施できたと判断できる事例である。24時間リセットでは、7月2日午後10時が降り始め時刻である。12時間リセットでは7月5日午前3時、3時間リセットでは7月5日午前9時が降り始め時刻である。そして、連続雨量200mmを基準とした時、24時間リセットで7月4日午前3時、12時間リセットで7月6日午前6時、3時間リセットで7月6日午前7時から通行規制となる。実際の災害発生が7月6日午後12時であり、24時間リセットでは災害発生より60時間近く前から通行規制が実施されることがわかる。また、12時間リセットと3時間リセット時では災害発生の5時間から10時間前となる。なお、リセット時間による違いは、7月4日午前10時頃から7月5日午前3時頃まで降雨が中断しており、この降雨中断をどう捉えるかの違いである。

一方で、図-5は、連続雨量200mmの基準だと事前通行規制が間に合わないパターンを含む事例である。24時間リセットのケースでは、連続雨量の値を100mmにしても200mmにしても規制の発令が災害発生より60時間近く前となる。しかし、12時間リセットと3時間リセットの時は、規制基準の連続雨量が200mmの場合に被害発生前に通行規制を行うことが出来ない。これは、リセット時間を24時間より短くすると事前通行規制よりも先に被害(見逃し)が発生するケースがあることを示している。なお、実際の通行規制は現地の条件を考慮して連続雨量200mmと異なる値が採用される場合もある。このため、現実の通行規制の有無と異なる場合もありえるが、ここでは議論をシンプルにするため、全ての地点で同じ連続雨量の値が基準として採用されていると想定して検

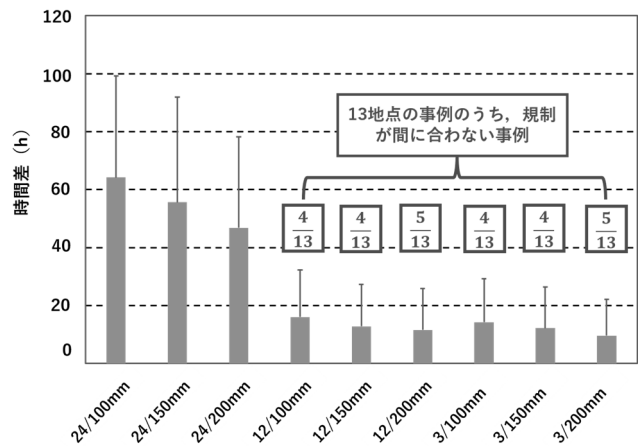


図-6 事前通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の差のまとめ

討、比較を行っている。

4.2 通行規制の開始時刻と被害発生時刻の比較

表-2に全13地点について通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の差をまとめて示す。リセット時間が12時間と3時間のケースでは、規制基準の連続雨量の値が200mmの場合、13件の道路被害のうち5件が被害発生前に通行規制が行われない。また、規制基準の連続雨量が150mmと100mmの場合は、13件のうち4件で被害発生前に通行規制が行われない。

図-6に表-2に示した時間差のまとめを示す。24時間リセットのケースでは通行規制開始時刻と被害発生時刻の差の平均値は、連続雨量の値が100mm, 150mm, 200mmの順に約64時間, 約56時間, 約47時間となる。その標準偏差は、同じ順序で約35時間, 約36時間, 約31時間

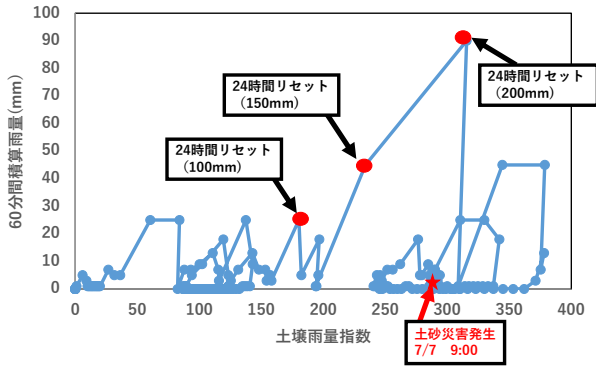


図-7 算出した土壌雨量指数と60分積算雨量から描かれたスネーク曲線の例（五木村上荒地地点）

となる。12時間リセットのケースでは、平均値が約16時間、約13時間、約12時間となり、標準偏差は約16時間、約14時間、約14時間となる。3時間リセットのケースでは、平均値が約14時間、約12時間、約10時間となり、標準偏差は、約15時間、約14時間、約12時間となる。

以上のように、リセット時間を24時間にすると規制の判断基準となる連続雨量の値にかかわらず、かなり前に規制が行われる。しかし、リセット時間が3時間と12時間では規制が間に合わないケースがかなりの割合で存在するため、道路の土砂災害による人的被害を防止するための通行規制としては妥当とは言えない。このため、熊本県の通行規制で用いられている24時間のリセット時間はかなり安全側であるものの、ある程度妥当な方法といえる。

5. 土壌雨量指数を用いた基準（CL）との比較

5.1 土壌雨量指数を用いたスネーク曲線の作成

土壌雨量指数^{17) 18)}とは降雨のうち土中に水分として含まれる量を指標化したものであり、土砂災害警戒情報の発令の判断に使われている。値の算出には、直列3段タンクモデル¹⁹⁾が用いられる。降雨は時間とともに上のタンクから下のタンクに浸透していく。つまり、土中深部への水の浸透、斜面外への水の流出という土中水の挙動を表現している。なお、タンクモデルの詳細については参考文献¹⁹⁾を参照されたい。そして、土壌雨量指数の算出に使用するタンクモデルのパラメータ¹⁸⁾は、表面雨量指数²⁰⁾を算出する際のタンクモデルのパラメータとは異なり、全国一律のパラメータである。実際の土砂災害警戒情報の発令の判断では土壌雨量指数と60分間積算雨量の値を時々刻々とプロットして作成するスネーク曲線が用いられ、土砂災害発生基準線（CL）を超えるかどうかで判断される。

図-7に今回の検討対象地点におけるスネーク曲線の例を示す。図の左下の原点から右上方向へ遠ざかるほど

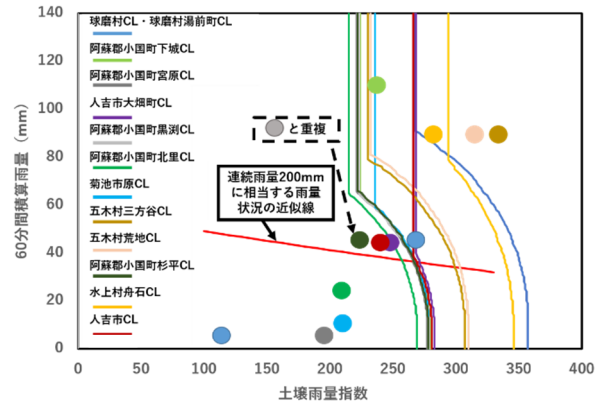


図-8 被災13地点の連続雨量200mmの雨量状況と熊本県の土砂災害発生基準線（CL）の比較

土砂災害の発生する可能性が高いと判断される。しかし、この事例では、60分積算雨量もしくは土壌雨量指数の値がピークから減少した後に土砂災害が発生している。なお、24時間リセットで連続雨量が100mm、150mm、200mmとなるタイミングもスネーク曲線上にプロットした。それぞれ、図の左下から右上方向へと連なる曲線上の点となり、土砂災害の危険性の指標としては妥当な順序である。しかし、一度、降雨が中断した後、再度降雨があり、さらに降雨が中断した後で実際の災害が発生したことがスネーク曲線から把握できる。

5.2 現行の規制基準とCLの比較

図-7と同様の方法で連続雨量200mmに相当する雨量状況を13地点全てについて求めた。結果を図-8に示すが、かなりばらつきが大きい。ばらつきが大きい理由は、降雨パターンが地点ごとに異なることの影響が考えられる。なお、阿蘇郡小国町杉平と阿蘇郡小国町黒淵は規制基準に相当する雨量状況が同じである。

ここで、中井(2009)²¹⁾は雨量指標 R' を提案する際に降雨による土砂災害危険度をリアルタイムで追従できる指標として式(1)を用いて算定される R_{fw} を提案している。

$$R_{fw} = \sqrt{(R_1 - R_w)^2 + a^2(r_1 - r_w)^2} \quad (1)$$

この時、 R_w は長期実効雨量、 r_w は短期実効雨量、 R_1 は座標系の横軸基準点に相当する雨量、 r_1 は座標系の縦軸基準点に相当する雨量、 a は重み係数である。雨量指数 R_{fw} は時々刻々の雨量状況(R_w, r_w)と基準点(R_1, r_1)の距離に相当する。つまり、同一の雨量指数 R_{fw} 値を持つ雨量状態は基準点を中心に半径 R_{fw} の円を描くことになる。

この方法を参考に24時間リセットにおける連続雨量200mmの雨量状態（現行の規制基準）と土砂災害警戒情報の判断基準を比較した。次に、上記の式(1)と同様に式(2)の形で雨量指標 R_p を定義し、連続雨量200mmに相当する雨量状況の近似線とした。なお、土砂災害警戒情報を参照して、縦軸に60分間積算雨量を、横軸に土壌

雨量指数を用いて図示している。

$$R_p = \sqrt{(R_2 - R_w')^2 + a^2(r_2 - r_w')^2} \quad (2)$$

ここで、 R_w' は土壌雨量指数、 r_w' は60分間積算雨量、 R_2 は座標系の横軸基準点に相当する土壌雨量指数、 r_2 は座標系の縦軸基準点に相当する雨量、 a は重み係数である。そして、パラメータ R_2 、 a 、 r_2 、 R_p については図-8に示した現行の規制基準に相当する雨量状況13点からの距離の合計を誤差と想定し、その値が最も小さくなるように算定した。算定結果は $R_2 = 1731,265$ 、 $a = 292,5693$ 、 $r_2 = 120,000$ 、 $R_p = 1732,373$ であり、これを図-8に実線として示す。この線は式(2)で示される現行の規制基準での連続雨量200mmに相当する雨量状況に対応して設定した線であり、線より上側で規制が実施されることになる。なお、ばらつきの大きなデータを無理やりに式(2)の形に当てはめているため直線状となっており、実用的な基準として提案できるものではない。また、図-8には被害のあった各地点の土砂災害発生基準線(CL)も示す。なお、球磨村と球磨村湯前町は使用しているCLが同じため12種類のCLを用いている。図-8を見ると、算出した現行の規制基準の雨量状況は60分間積算雨量で見た時に、土壌雨量指数が上限値から60分間積算雨量中の値に依りて下がり始める時の値にほぼ一致する。つまり、CLにおいて60分間積算雨量の影響が生じ始めるレベルの60分間積算雨量を危険として判断していることになり、先行降雨を考慮していないことをふまえた安全側の設定といえる。ただし、CLの上側に4点の雨量状況があり、これは先行降雨があるにも関わらず、降雨が断続的であったため、連続雨量がなかなか大きくならなかったケースを示している。これは連続雨量というシンプルな指標では危険を見逃してしまうような降雨パターンの存在を示唆している。

6. 結論

本研究では、現行の通行規制開始時刻と実際の被害発生時刻の比較を行い通行規制基準の妥当性を検討した。また、現行の規制を土砂災害警戒情報の判断基準(CL)と比較した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 連続雨量の設定におけるリセット時間が12時間、3時間の場合、通行規制を開始した時刻よりも先に被害が発生する事例が複数存在した。
- (2) 連続雨量を24時間リセットの条件で設定すると、通行規制が被害発生時刻よりもかなり早い段階で行われる。本研究の事例では、連続雨量200mmを基準とした時、被害発生時刻から平均51時間前となる。
- (3) 現行の規制基準である連続雨量200mm(24時間リセット)の雨量状況は土砂災害警戒情報の判断基準(CL)よりおおむね安全側である。ただし、連続雨量というシンプルな指標では危険を見逃してしまうような降

雨パターンが存在すると考えられる。

なお、今回は被災事例のみの検討であるため、無被災の事例も含めた検討も必要である。

謝辞

関西大学社会安全学部小山倫史教授には土壌雨量指数算出時に貴重なご意見を頂きました。ここに記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：令和3年の土砂災害、<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r3dosha/r3doshasaigai.pdf>, (最終閲覧日：2023年6月8日)
- 2) 檀上徹：降雨に伴う土砂災害発生メカニズムとその予測方法, 安全工学, 56巻, 6号, pp.463-469, 2017.
- 3) 国土交通省：梅雨前線及び台風第3号による大雨と暴風平成29(2017)年6月30日～7月10日(速報),
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2017/20170711/20170711.html>, (最終閲覧日：2023年6月10日)。
- 4) 国土交通省：平成28年(2016年)熊本地震～The 2016 Kumamoto Earthquake～,
https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/index.html, (最終閲覧日：2023年6月10日)。
- 5) 日本統計協会：第六五回日本統計年鑑, 総務省, pp.22-pp.23, 2016.
- 6) 青山侑他：防災士教本, 日本防災士機構, pp.216-pp.227, 2019.
- 7) 国土交通省：土砂災害警戒情報・土砂キキクル(大雨警報(土砂災害)の危険度分布),
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/doshakeikai.html>, (最終閲覧日：2023年6月10日)。
- 8) 国土交通省：土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方,
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dsk_kizyun_kensho_r0503.pdf, (最終閲覧日：2023年6月10日)。
- 9) 小山倫史：異常気象時通行規制の現状と課題及び通行規制時間の適正化に向けた取り組み, 高速道路と自動車, 高速道路協会, pp3-6, 2022.
- 10) 村田宗一郎, 小山倫史, 宮崎祐輔, 岸田潔：土壌雨量指数を用いた国道における新たな異常気象時事前通行規制の提案および検証, 地盤工学会関西支部 *Kansai Geo-Symposium 2022*—地下水地盤環境・防災・測量技術に関するシンポジウム-論文集, pp.29-34, 2022.
- 11) 国土交通省：令和2年7月豪雨令和2年(2020年)7月3日～7月31日(速報),
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2>

- 020/20200811/20200811.html, (最終閲覧日: 2023年6月10日).
- 12) 国土交通省: 令和2年7月豪雨について, https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_200704.html, (最終閲覧日: 2023年6月10日).
- 13) 日本気象協会/AlinL インターネット: 熊本県の過去の雨雲レーダー, <https://tenki.jp/past/2020/07/21/radar/9/46/>, (最終閲覧日: 2023年6月10日).
- 14) Google MY Maps: 国道マップ, <https://www.google.com/maps>, (最終閲覧日: 2023年6月10日).
- 15) 熊本県土木部道路保全課: 異常気象時における道路通行規制要領, <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/102/914.html>, (最終閲覧日: 2023年10月23日).
- 16) 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道: 防災情報, <http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/bousai/>, (最終閲覧日: 2023年10月23日).
- 17) 岡田憲治, 横原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斎藤清: 土壌雨量指数, 日本気象学会機関紙「天気」, vol48, No.5, pp.59-66, 2001.
- 18) 気象庁 HP: 土壌雨量指数, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>, (最終閲覧日: 2022年6月22日).
- 19) Ishihara, Y. and S. Kobatake.: Runoff Model for Flood Forecasting, Bull.D.P.R.I., Kyoto Univ., 29, 27-43, 1979.
- 20) 国土交通省: 表面雨量指数, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/hyomenshisu.html>, (最終閲覧日: 2023年6月10日).
- 21) 中井真司: 地域ごとの降雨特性に着目した土砂移動現象の発生予測に関する研究, 広島大学, 博士論文, 2009.

(2023年6月19日 受付)