

広島県における降雨による土砂災害の発生条件

呉工業高等専門学校 正会員 森脇 武夫
 呉工業高等専門学校 正会員 山岡 俊一
 呉工業高等専門学校 学生会員 ○村松 佑都

1. 目的

広島県は地域の70%以上が山地、丘陵を占めるとともに、水分を含むと脆くなる風化花崗岩(マサ土)が広く分布しているため、地形、地質的に土砂災害の発生しやすい地域といえる。そのため、ハード対策を進めると共に人的被害を軽減するソフト対策の運用が重要であり、ソフト対策の運用には地域ごとの災害発生特性を反映した、簡単でわかりやすい雨量指標が必要である。中井らは長期実効雨量と短期実効雨量から土砂災害の危険度を総合的に評価できる危険雨量指標 R' を提案し、豪雨による土砂災害の危険度をリアルタイムに表現することを試みてきた¹⁾。

本研究では、広島県から提供頂いた土砂災害の発生情報を用いて2001年から2015年までに発生した広島県内の土砂災害について、雨量指標 R' の値を算出し土砂災害が発生する時の降雨条件を調査するとともに、土砂災害が発生した地点の地質との照合を行い、地質特性との関連性も検証する。

2. 検証方法

2.1 雨量指標 R' の定義

これまで、長期雨量と短期雨量を x - y 座標に表示し時間経過に伴って描かれるスネークラインが災害発生の警戒基準曲線や避難限界雨量線を超えるかどうかで土砂災害の危険性を判断してきた。そのため、危険性を2值的に判断するため具体的な危険度を連続的に認識することが難しい。一方で、中井らが提案している危険雨量指標 $R^{(1)}$ は長期雨量と短期雨量の土砂災害危険度を一つの値の大小で表現したものである。雨量指標 R' は、式(1)で算出される雨量指標 R_{fw} を危険度の上昇と共に数値が上昇するように改良し、より直感的に危険性を認識しやすくした指標である。 R_{fw} は、図-1に示すように横軸 R_w (長期実効雨量)、縦軸 $a \cdot r_w$ (短期実効雨量) の座標系において、任意の降雨状況を示す点 $A(R_w, r_w)$ と基準点 $B(R_l, ar_l)$ との距離を表したもので、式(1)となる。基準点 B を中心とした半径 R_{fw} の円弧は、同一の R_{fw} 値を持つ降雨状況を表す。 R' はこうして算出した R_{fw} を用いて、短期実効雨量、長期実効雨量が共に0mmのときの R_{fw} 値 (R_{fw0}) から、任意の点の R_{fw} 値を引くことによって、 R' を算出することができ、式(2)のように表される。

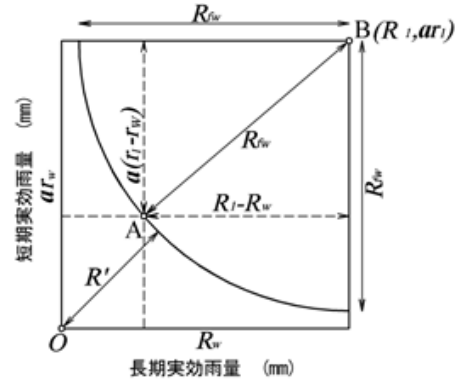


図-1 R' の関係

$$R_{fw} = \sqrt{(R_l - R_w)^2 + a^2(r_l - r_w)^2} \dots (1)$$

$$R' = R_{fw0} - R_{fw} \dots (2)$$

ここに、 R_w : 長期実効雨量(mm)

r_w : 短期実効雨量(mm)

R_l : 座標上の横軸基準点

r_l : 座標上の縦軸基準点

a : 重み係数 R_{fw0} : $R_w=0$ 、 $r_w=0$ のときの R_{fw} 値

2.2 係数の決定

R' を算出する過程で、 R_l 、 r_l 、 a の3つの係数を用いる。 R_l と r_l は円の中心点を示す係数であり、 R_w 、 r_w が R_l 、 r_l を超えてしまうと R' の値は小さくなるという矛盾が生じる。また、 R_l 、 r_l の比率 a は、クリティカルラインに相当する楕円弧を円に換算するための係数である。これまでの研究によって、広島周辺で雨量指標 R' を適用する場合には、 $(R_l, r_l) = (600\text{mm}, 200\text{mm})$ 、 $a=3$ が適切であるという結果が出ている¹⁾。これは、2005年までの降雨において出現した長期実効雨量と短期実効雨量の最大値を考慮して設定されたもので、計算すると R' の最大値は $R'=848.5\text{mm}$ となる。2005年以後、さらに猛烈な豪雨が発生した2014年8月20日広島豪雨災害では、安佐北区上原観測所において $R'=550.6\text{mm}$ を記録した。これは、これまでに測定されたことの無い R' 値であったが、 $R'=848.5\text{mm}$ を超えていなかったため今回の研究においても $(R_l, r_l) = (600\text{mm}, 200\text{mm})$ を用いることとする。

キーワード 雨量指標, 降雨特性, 地質特性, がけ崩れ, 土石流

連絡先 〒737-0004 広島県呉市阿賀南2丁目2番11号 呉工業高等専門学校 TEL0823-73-8478

3. 検証内容

3.1 各災害が発生する基準の R 値の検証

第 1 検証として、2001 年から 2015 年の期間内で発生した各土砂災害の中でも特に発生件数の多いがけ崩れと土石流において、R 階級値と災害発生確率の関連性を検証する。また、既往の研究¹⁾によって広島県内のマサ土地帯では土砂災害が発生し始める R 階級値が、がけ崩れが 125mm、土石流が 250mm と報告されていることから、各災害発生に関する R 閾値と各災害発生確率との関係性を検討した。

3.2 平年降水量と土砂災害発生関連性の検証

第 2 検証として、平年降水量と土砂災害が発生を始める R 階級値との関係性を検証し、地域の降雨履歴と土砂災害発生関連性を検証する。

3.3 地質特性と土砂災害発生関連性の検証

第 3 検証として、各災害発生地点の地質とその地質が形成された地質年代を調査し、各地質の災害発生時の R 値を比較することによって、土砂災害が発生しやすい地質特性を検証する。

4. 検証結果

4.1 被害概要

広島県内で 2001 年から 2015 年の間で土砂災害の発生件数を調査したところ、508 件の土砂災害が発生していた。内訳として、がけ崩れが 307 件(60%)、土石流が 187 件(37%)、地すべりが 5 件(1%)、山腹崩壊が 9 件(2%)であった。

4.2 第 1 検証の結果・考察

各 R 階級値ごとの災害発生件数と災害発生確率をとったグラフを図-2 に表す。災害発生確率は(災害発生件数)/(降雨回数)×100(%)として、降雨回数が 20 回に満た

ない土砂災害は除外し、連続多発的に発生した災害は 1 つの災害として集計した。

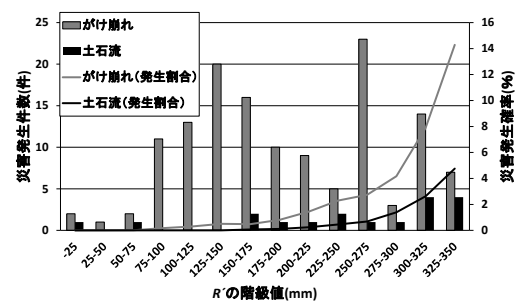


図-2 広島県内全域の災害発生状況

図-2 よりがけ崩れと土石流ともに R 階級値が増えていくにつれて災害発生確率が二次曲線的に上昇していくことが読み取れる。図-2 において、R 階級値 125-150mm におけるがけ崩れの災害発生確率は 0.51%、R 階級値 250-275mm における土石流の災害発生確率は 0.68%となり、災害発生確率によって災害発生閾値を定義した場合、災害発生確率 0.5%を超えると災害が発生し始めると設定することが出来る。

4.3 第 2 検証の結果・考察

まず、広島県内の代表的な 12 地域の平年降水量を 1000mm から 200mm ごと上に 5 つの区分に分類し調査した。その結果、1000~1200mm には尾道市と福山市、1200~1400mm は三原市、神石高原町、呉市、1400~1600mm は東広島市、三次市、広島市、1600~1800mm には大竹市と安芸太田町、1800mm~には庄原市と廿日市市が当てはまった。このことから、広島県の中でも地域によって降雨量が大きく変化することが確認でき、図-3 より、県南東部から県北西部に向かって平年降水量が段階的に増加していく傾向が確認できる。

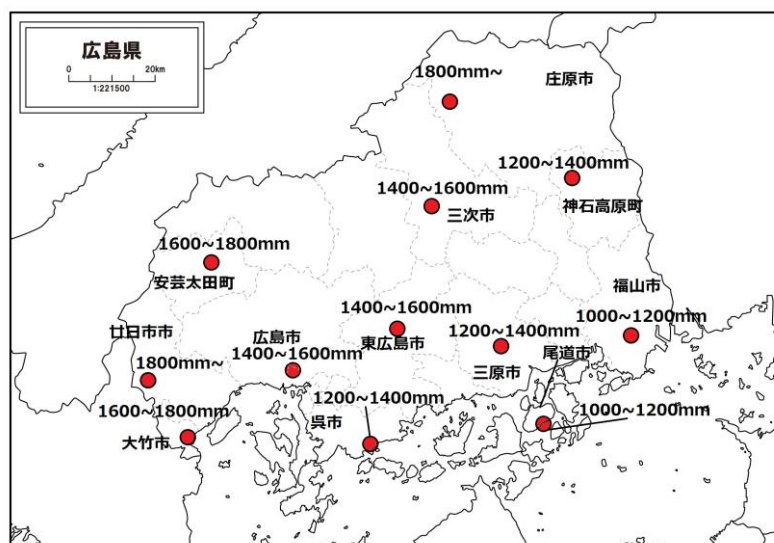


図-3 広島県の平年降水量

次に、各平年降水量ごとに土砂災害が発生を始める R 階級値を算出した。縦軸に災害発生件数と累積度数、横軸に R 階級値をとったグラフを作成し、第1検証で得られた災害発生確率が 0.5%に対応する累積度数は 20%であったためこれをを超えた点を土砂災害が発生を始める R 階級値と定義する。その結果をまとめたものを表-1 に示す。

表-1 平年降水量と R 階級値の関係

平年降水量階級値 (mm)	災害発生初期の R' 階級値 (mm)
1000mm~1200mm	75mm~100mm
1200mm~1400mm	125mm~150mm
1400mm~1600mm	200mm~225mm
1600mm~1800mm	175mm~200mm
1800mm 以上	175mm~200mm

表-1 より、平年降水量が 1400~1600mm の地域を除いて平年降水量が上昇するとともに R 階級値も高くなることが読み取れる。平年降水量が 1400~1600mm の地域で R' 階級値が高くなった原因としてこの地域には広島市が含まれており、2014 年に発生した 8.20 災害によって R 階級値が引き上げられたことが考えられる。したがって、全体的な傾向として平年降水量が多い地域では、土砂災害が発生し始める R 階級値も高くなる傾向があることが確認できた。

4.4 第3検証の結果・考察

まず、土砂災害が発生する地質特性を把握するため、2001 年から 2015 年の土砂災害発生場所の座標から地質とその地質が形成された地質年代を産総研がインターネットで配信している地質図²⁾から抽出した。広島県内で発生した土砂災害と地質の関係を表-2 に表す^{3),4)}。

2001 年から 2015 年の間で広島県内で発生した全土砂災害 508 件のうち、土砂災害が発生した場所とその地点の地質図を照合した結果、地質情報及び地質年代が確認できた災害件数は 344 件であった。土砂災害発生場所の地質を調査した結果、広島県内で発生した地質の種類は 15 種類あった。また、地質年代も幅広く存在し、一番古いもので古生代二畳紀で 2 億 8000 万年前からあり近年は人工改変地も見受けられる。土砂災害発生件数が花崗岩、花崗閃緑岩合わせて 204 件あり広島県で風化花崗岩が広く分布していることが読み取れる。しかし、花崗岩以外の地盤が分布する地域、また、その地域が形成された地質年代に関わらず一定数の土砂災害が発生する危険性があることも確認できた。それぞれの地質情報、地質年代の土砂災害に対する耐力は変わってくると考えられるため各地盤の土砂災害に対する耐力について検討を行った。検討を行うにあたり、確認された 15 地質のうち、災害事例 4 件以下と少なく統計的分析が難しいと判断した地質を除いた 8 地質で災害が発生し始める閾値となっている R 階級値を検討した。

表-2 広島県内で発生した土砂災害と地質の関係

地質年代			放射年代 (万年前)	災害発生場所の地質		固結度	生物の変遷	地質の変遷
				地質時代記号	地質			
新生代	第四紀	沖積世		H(93)	海成または非海成堆積岩類 人工改変地 扇状地堆積物	84 8 1	未固結	暖期になり海面が上昇
		洪積世	2	Q3(2)	低位段丘堆積物	2		周期的に氷期となる
	第三紀	新第三紀	170				半固結	
		鮮新世	500					
		中新世		N2(1)	非アルカリ珔長質火山岩類	1	固結	↑火山活動が活発になる
		後期中期前期		N1(3)	海成または非海成堆積岩類	3		
		漸新世	2400	PG3(2)	海成または非海成堆積岩	2		
		始新世		PG2(1)	花崗岩	1		
		古第三紀					↑哺乳類	石炭の堆積
		暁新世	6400					
中生代	白亜紀	後期		K2(268)	花崗岩 非アルカリ珔長質火山岩類 非アルカリ苦鉄質火山岩類 花崗閃緑岩 珔長質火山岩類 苦鉄質火山岩類	224 22 10 8 3 1	↑被子植物	花崗岩の貫入動力変成岩の形成
		前期		K1(1)	非海成堆積岩類	1		
	ジュラ紀	後期	1億4000				↑鳥類	
		中期		J2-3(18)	付加コンプレックスの基質	18		
	三畳紀	前期	2億0800	J1-2(9)	付加コンプレックスの基質	9	↑爬虫類	
		後期						
	二畳紀	後期	2億4200				完全固結	
		中期		P(27)	海成堆積岩類 付加コンプレックスの玄武石ブロック 付加コンプレックスの砂岩層 苦鉄質深成岩類 苦鉄質火山岩類 付加コンプレックスの基質	8 7 4 3 3 2		
		前期						
		石炭紀	2億8400					
		デボン紀	3億6000					
		シルル紀	4億0900					
古生代	オルドビス紀	後期	4億3600				↑魚類	確認されている最古の地層
		前期						
	カンブリア紀	後期	5億0000				↑有殻無殻	現在のところ発見されていない
		前期						
	先カンブリア紀		5億6400 45億0000				変成	

検討方法として、まず地質が花崗岩である災害について、縦軸に災害発生件数と累積度数、横軸に R' 階級値を取ったグラフを作成する。作成したグラフを図-4に示す。既往の研究および第1検証より花崗岩地帯で土砂災害が発生する閾値として $R'=125\text{mm}$ と設定できる。そこで、 R' 階級値 125mm~150mm における累積度数(対象の R' 階級値以下で発生した災害発生件数/全災害発生件数 $\times 100$)が、それぞれの地質における災害発生の閾値にあたると考えた。その結果、災害発生の閾値となる累積度数は、14.7%であったためこの値を災害発生の閾値と考えた。以下に各地質の特徴を示すと共に各地質において災害が発生する R' 階級値をまとめた表-3を示す。

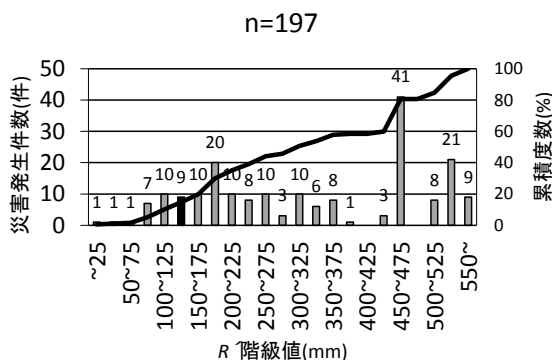


図-4 花崗岩

表-3 各地質の R' 階級値

地質名	災害発生初期 R' 階級値(mm)
人工改変地	75~100
花崗閃緑岩	100~125
花崗岩	125~150
海成または非海成堆積岩類	125~150
付加コンプレックスの基質	150~175
非アルカリ苦鉄質火山岩類	150~175
非アルカリ珪長質火山岩類	150~175
付加コンプレックスの玄武岩ブロック	225~250

検証した結果、表-3より人口改変地と付加コンプレックス玄武岩ブロックを除いて各地質ごとの地盤耐力の差は大きく変動しない事が確認できた。人工改変地は元々存在した地盤に人為的に手加えられているため、自然に形成された地質と比較して、表層土の密度と地盤固結度が低いため、小さな R' 階級値で災害が発生したと考えられる。他の地質より地盤耐力が大きい付加コンプレックスの玄武岩ブロックに関しては、海洋プレート上の玄武岩が構成要素を保ったまま大陸プレートに沈み込み高い圧力を受けることにより固結しているため地盤耐力が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

本研究では、収集した広島県内の土砂災害データと雨量指標 R' を用いて 2001 年から 2015 年までに発生した広

島県内の土砂災害と、土砂災害をもたらす降雨特性及び地質特性について検証した。以下に検証で得られた結果をまとめる。

第1検証では、がけ崩れは R' 階級値 125~150mm、土石流は R' 階級値 250~275mm から災害発生確率が 0.5% を超えて 2 次曲線的に上昇し始めることが確認できた。

第2検証では、年間降雨量が少ない地域から多い地域に向かって、土砂災害が発生を始める R' 階級値が高くなる傾向があることが確認できた。すなわち、年間降水量が 1200mm 以下の地域では R' 階級値が 75~100mm で災害が発生を始め、年間降水量が 1600mm 以上の地域では、 R' 階級値が 175~200mm と上昇し、土砂災害が発生しにくい閾値となった。

第3検証では、人工改変地及び付加コンプレックスの玄武岩ブロックを除き、地盤の違いによる地盤耐力の差は大きく変動しないという事が確認できた。

全体のまとめとして、今回の検証結果から、特殊な地盤を除いて広島県における土砂災害が発生する雨量指標として、がけ崩れ $R'=125\text{mm}$ 、土石流 $R'=250\text{mm}$ が使用できることが確認できた。今後の課題として、特に地質データによる地盤耐力の分析においてデータ数が少なく、特徴的な地盤耐力の差を確認することができなかったため、災害データ数を増やして再検証を行う必要があると考える。

6. 参考文献

- 1) 中井真司・海堀正博・佐々木康・森脇武夫：雨量指標 R' による土砂災害発生基準の設定と監視雨量 R_R の提案(地域ごとの降雨履歴特性を反映した適用の可能性), 砂防学会誌, Vol.60, No.6, pp4-10, 2008.
- 2) 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>, (最終検索日: 2018/1/12).
- 3) 高橋彦治：土木技術者のための地質学, 鹿島出版会, pp1-268, 1982.
- 4) 三木幸蔵：地盤地質学入門, 鹿島出版会, pp1-98, 1997.
- 5) 戸邊勇人：風化花崗岩類の表層崩壊と風化様式、および岩石組織との関係について (Abstract), 京都大学博士(理学)課程論文要旨, pp.1-2, 2008
- 6) 今井五郎, 福江正治, 足立勝治：地盤地質学, 株式会社コロナ社, pp1-173, 2002.