

はじめに 広島周辺には風化の進んだ花崗岩類が広く分布しており、豪雨によって崩壊やその物質の流動化(この場合は土石流化)が起き、たびたび大きな被害につながっている。崩壊土砂の流動化は斜面の不安定化の次に発生する現象だが、災害のたびにどのような崩壊が流動化したかについてはこれまでも多くの報告がある。斜面の安定・不安定に関しては安定解析によって破壊条件が満たされるかどうかを検討すればよい。しかし、破壊条件が成立して崩壊が発生した後、それが流動化につながるかどうかはまた別の条件が必要である。すなわち、流動化の条件とは破壊条件に何らかの条件を加えることではじめて満たされることになる。このような考えのもとに、ここでは、広島で起こった事例をもとに崩壊土砂の流動化について検討する。

1. 流動化が起きたときの雨 流動化が起きるような降雨の形態は単に崩壊やがけ崩れなどが起きる場合とは異なり、先行する降雨量が多いことと、その後に引き金となる短時間強雨がもたらされることが多くの災害調査から得られたほぼ共通の必要条件といえる。すなわち、降雨による水の供給が十分に地盤の含水状態が高いところに、斜面の破壊につながるインパクトが加えられることである。表1に呉周辺で起きた過去の豪雨災害の際の降雨観測値をあげる。大まかな見方をすると、昭和20年、42年の災害では「一連の降雨」についても流動性の高い現象の発生時点までに250mm程度以上の雨がもたらされていたのに対し、平成11年の6.29災害では15時までの時点で30mm程度にしかなっておらず、そこに、70mm/h前後の短時間強雨が2時間継続して土砂移動の多発につながったことがわかる。同じ呉周辺地域だが、このような異なる形態の降雨によって、前2者は流動化したものが非常に多かったことが報告されているのに対し、6.29災害ではそれほど多くはなかった。

平成11年の災害発生までの先行降雨の影響を6月23日9時以降で評価することにし、時間経過による雨の影響の低下を仮に72時間半減として実効雨量であらわすと、災害発生までの実効降雨は16時の時点で200mm程度となり、そこに、70mm/h弱の強雨が加わることになることがわかる(図1)。

2. 流動化が起きた斜面の情報 平成11年6.29広島県土砂災害検討委員会¹⁾ではがけ崩れに分類された現象の流動性に関して、がけの比高を h 、がけ下からの到達水平距離を I_2 とし(図2)、 I_2/h で評価している。その結果、検討した49事例のうち、 I_2/h が2を超えたものは3事例しかなく、1以下のものが35事例であった。また、崩壊長(斜距離) I_1 と、がけ下からの到達水平距離 I_2 との比 I_2/I_1 、および、がけ部の水平距離 L と I_2 との和 $(L+I_2)$ との比 $(L+I_2)/I_1$ の2つの指標を使って次の3つのゾーンに分けた。I. $I_2/I_1 < 2.0$ かつ、 $(L+I_2)/I_1 < 3.0$ 、II. IおよびIII以外の部分、III. $I_2/I_1 > 4.0$ または、 $(L+I_2)/I_1 > 6.0$ 、の各ゾーン。Iのゾーンには一般的ながけ崩れ37事例が属し、流動性の小さなものが該当する。IIのゾーンには比高34m(平均)、斜面勾配 44° (平均)、崩壊の上部尾根までの距離27m(平均)で、比較的比高の大きい斜面の中腹部の集水地形に発生した崩壊8事例が該当し、中間的な流動性を示した。IIIのゾーンには比高93m(平均)、斜面勾配 36° (平均)、崩壊の上部尾根までの距離40m(平均)で、比高の大きい斜面の中腹部の集水地形に発生した崩壊4事例が該当し、流動性に富んでいた。また、崩壊地原地形勾配と崩壊到達距離 $(L+I_2)$ の間には明瞭な関係がみられない、とした¹⁾。

しかし、斜面勾配を h/L の値から逆算して求めたものと報告されている値とはかなり異なっていることから、逆算して求めた勾配といわゆる等価摩擦係数にあたる $(h/(L+I_2))$ の関係をみてみると、急な斜面ほど崩れたものの流動性が小さな傾向を示していることがわかった。次に、これらが崩壊発生までに供給された水量によるものであるとすれば、たとえば、集水地形のものはそうでないものに比べて流動性がより大きくなるはずである。また、たとえ、元の斜面が急であっても、耕作地あるいは宅地などのように階段状に石積や石垣で支える構造の土地利用がなされている場所では、一般の急勾配斜面よりも大量の水が崩壊の発生までに含まれることから崩土の流動性が大きくなるのではないかと考えられる。これらの観点からそれぞれのものを抽出して、斜面勾配との関係をみたものが図3、図4である。比較のために、集水地形を呈さないものについて図5に示す。図は崩壊発生までにどのくらいの水量が含まれるかがその後の流動性に大きな影響を与えることを示すものとなっている。

3. 流動実験の結果から 土の流動化には密度と含まれる水分の条件とが特に重要であることが三軸試験の結果からわかっている。中神らはそれらの条件が流動化の挙動にどう関わってくるかを考察しているが、同時に、大きな流動化にはある程度以上の水分量が必要であることも示している²⁾。土中に含まれる水分条件は土の間隙量と飽和度により現地にあるそれぞれの表層土ごとに限界があると考えられる。すなわち、現地における堆積密度が大きいものは間隙量が小さいことから仮に飽和度が100%であっても大きな流動化に必要な水分量には達することがない。そのような斜面では湧水や地表の他の部分からの水の供給が継続的に行われな限り、流動性の高い現

象にはつながりにくいと考えられる。逆に、崩積土や盛土、耕作地などは密度も低く(間隙量が大きく)、十分に水が供給される条件で崩れた場合には流動化の条件を満たしやすいといえる。

4. 崩壊危険斜面の警戒について 上述したことをふまえると、豪雨が続いて崩壊の危険性が予想されるとき、それぞれの時点までに降った雨の影響度をあらわす何らかの指標(たとえば、実効雨量値)、集水地形の有無、湧水の有無、耕作地など(跡地も)の有無、その他集水の可能性をあわせて注意しておく必要がある。水の含まれ具合により「もしも今崩れた場合には、まだ、流動性が小さいと予想される」あるいは、「かなりの流動性を有すると予想される」などの備え方ができる可能性がある。時々刻々の降雨量の影響を把握することで流動性の高い現象の発生・非発生などのあたりまで危険性が及ぶかが推定できるようになることが望まれる。

引用文献 1) 広島県(1999):平成11年6.29広島県土砂災害検討委員会資料、第3回、第4回資料より、2) 中神・海堀(2003):非排水三軸試験でみられる砂質土の流動の分類。砂防学会研究発表会概要集。

表1 災害につながった降雨(呉周辺)

	一連の降雨について災害発生時刻までの間の					観測点と観測時刻
	最終1時間雨量(mm)	最大3時間雨量(mm)	最大4時間雨量(mm)	最大24時間雨量(mm)	総雨量(mm)*1	
昭和20年9月17日災害関連	欠	欠	113.3	221.8	約250(～22:00)	呉測候所(22時)
昭和42年7月9日災害関連	74.7(16:00-17:00)	111.0	112.8	196.1	約300(～17:00)	呉 気象庁(17時)
	75.0(16:00-17:00)	102.5	104.0	192.0	約300(～17:00)	呉土木(17時)
平成11年6月29日災害関連	70(15:00-16:00)	85	88	101	101(～16:00)	アメダス呉(16時)
	66(16:00-17:00)	142	151	167	167(～17:00)	アメダス呉(17時)
	68(15:00-16:00)	85	88	101	101(～16:00)	呉土木(16時)
	69(16:00-17:00)	144	154	170	170(～17:00)	呉土木(17時)

*1「一連の降雨」の総雨量を原則とした。ただし、データ不足のため、昭和20年のものは9月16日9時の観測値を、また、昭和42年のものは7月6日23時の観測値を起点とした。平成11年のものは6月28日24時の観測値が起点。

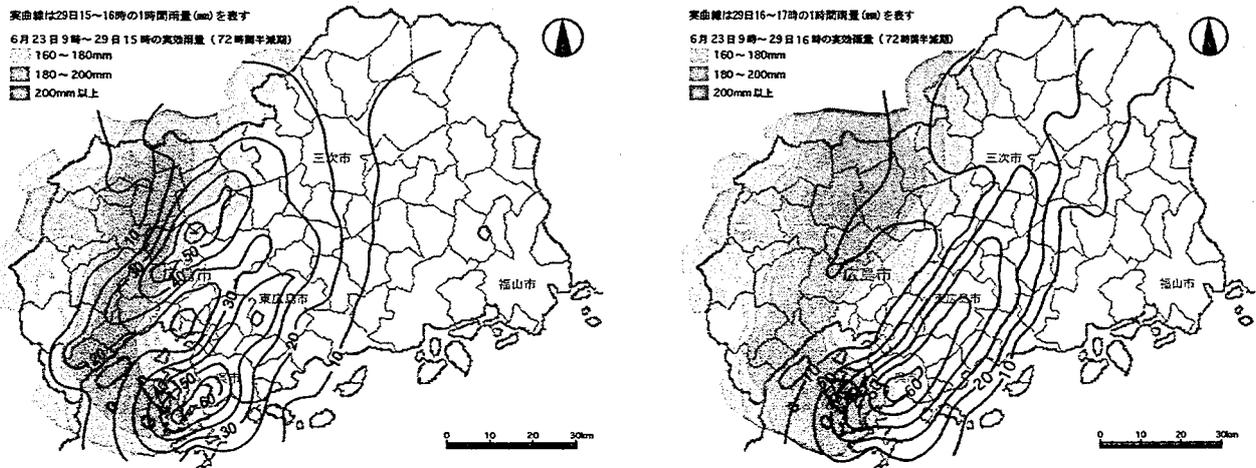


図1 平成11年6月29日災害発生につながった先行降雨(72時間半減実効雨量)と時間雨量の分布

(左) 6月29日15時までの先行降雨と16時までの1時間雨量 (右) 6月29日16時までの先行降雨と17時までの1時間雨量

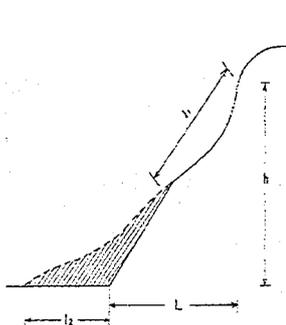


図2 記号の説明

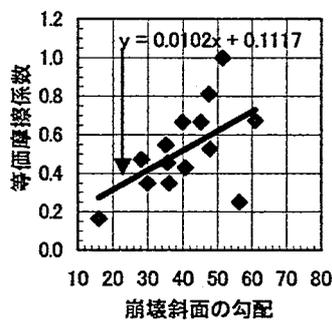


図3 集水地形で耕作地以外のもの

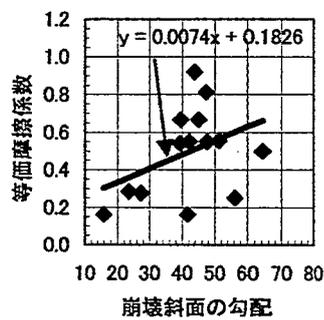


図4 集水地形で耕作地利用のもの

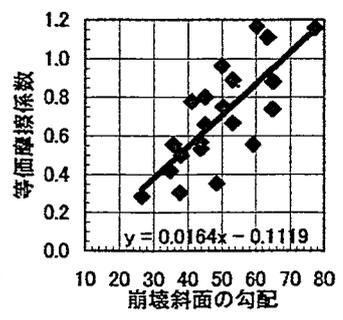


図5 集水地形を呈していないもの