

呉市の豪雨斜面災害に及ぼす強い地震動の影響

呉工業高等専門学校 正会員 ○森脇 武夫, 渡辺 聡
中電技術コンサルタント(株) 正会員 古川 智
復建調査設計(株) 正会員 中井 真司

1. はじめに

呉市では、2001年3月24日に安芸灘を震央とする $M_j=6.7$ の芸予地震によって石積み擁壁を中心に多くの斜面崩壊が起こるとともに、崩壊しなかった斜面においても少なからぬダメージを受け、その後の降雨によって多くの斜面崩壊が発生した。この芸予地震が呉市の降雨による斜面災害の発生雨量および被害形態に及ぼした影響に関して、1991年～2006年までの被害データと降雨記録に基づいて検討した結果を報告する。

2. 斜面災害の被害形態に及ぼす芸予地震の影響

表1は、呉市で1991年から2006年までに一連の降雨によって10箇所以上の被害が報告された土砂災害の概要をまとめたものである。なお、1999年6月の豪雨災害については、6月29日までに多くの被害が報告されていたため、6月24日から27日までに起こった災害と6月29日に起こった災害とを分けて整理した。表1に示すように、1991年以降の16年間で、一連の降雨によって10箇所以上の被害が報告された災害が15件、崩壊箇所が1,358箇所にも上っており、呉市では毎年のように降雨による斜面災害が繰り返されていることが分かる。

図1は過去16年間で災害の多かった地域における年間災害発生件数の推移を表したものであり、1999年6月豪雨によって崩壊危険箇所の大部分が崩壊し、その後の崩壊発生件数が激減するとともに、2001年の芸予地震が崩壊発生件数に及ぼす影響はほとんど現れていないことがわかる。

また、呉市における被害形態としては、芸予地震前後を通して崖くずれが全体の約80%を占め、芸予地震の影響が現れていない。一方、斜面崩壊が起こった場所としては、芸予地震までは土砂崖が約75%以上と大部分を占めていたが、芸予地震後は約45%へと減少し、変わって石崖が地震前の約15%から約35%へと増加し、芸予地震によって被害の起こる場所が変化していた。これは、芸予地震によって斜面はダメージを受け、その影響は図2に示すように土砂崖より石崖に強く現れ、影響は2004年頃までは残っていたが、2005年以後は芸予地震以前の傾向に戻っていることがわかる。

3. 呉市の斜面崩壊発生降雨量に及ぼす芸予地震の影響

各災害が発生したときの降雨特性を著者ら¹⁾が提案している雨量指標 R' を用いて整理し、斜面崩壊をもたらす降雨条件について検討した。 R' は、長期実効雨量 R_w (半減期72hr)と短期実効雨量 r_w (半減期1.5hr)を用いて、 $R' = R_{fw0} - R_{fw}$, $R_{fw} = \sqrt{(R_{w1} - R_w)^2 + a^2(r_{w1} - r_w)^2}$ で定義される。なお、広島地域のまさ土地帯では $R_{w1}=450\text{mm}$, $r_{w1}=150\text{mm}$, $a=3$ で、 $R_{fw0}=636\text{mm}$ によって評価できることが明らかにされている。

キーワード 斜面崩壊, 雨量指標, 2001年芸予地震, 被害形態, 限界雨量

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南2-2-11 呉工業高等専門学校 環境都市工学科 Tel. & Fax: 0823-73-8478

表1 呉市における1991年以降の斜面災害

No.	年	月 日	発生 件数 (件)	最大1時 間雨量 (mm)	最大24 時間雨 (mm)	最大1週間 累積雨量 (mm)
1	1991	7/1～7/5	92	21	119	249
2	1992	8/8	19	38	147	149
3	1993	6/30～7/4	19	13	101	251
4	1993	7/27～8/2	142	23	154	367
5	1995	7/2～7/6	211	38	155	345
6	1996	6/20～6/28	12	24	65	179
7	1997	7/8～7/13	47	38	121	281
8	1998	10/17	10	30	130	157
9	1999	6/24～6/27	22	26	107	208
10	1999	6/29	649	70	186	394
11	2001	6/19～6/24	40	17	112	216
12	2004	9/7～9/14	31	38	112	179
13	2005	7/2～7/13	16	43	163	341
14	2006	6/23～7/6	35	15	100	390
15	2006	7/20～7/26	13	12	60	167
合計			1,358			

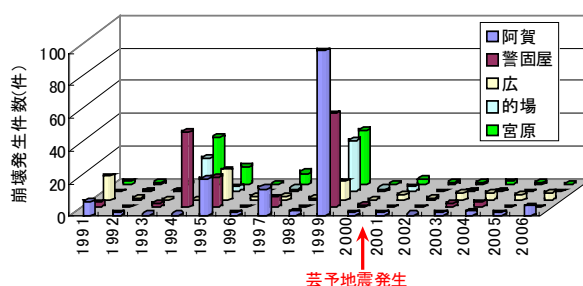


図1 被害件数に及ぼす芸予地震の影響

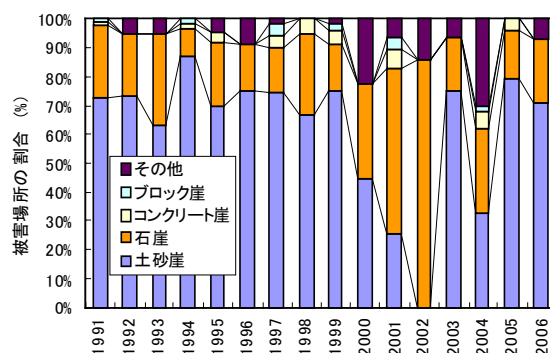


図2 被害場所の経年変化

図3は、呉市宝町9-25の気象庁アメダス雨量観測所で観測された降雨データを用いて、表1で示した各災害における一連の降雨で R' が最大となった時の短期実効雨量と長期実効雨量の関係を示したものである。この図より、芸予地震直後を除き、斜面崩壊が10箇所以上で起こるような降雨条件として、 $R' > 150\text{mm}$ が見出せる。また、図3は一連の降雨で R' が最大になったときの降雨条件を示したもので、災害の規模と関係していると考えられる。そこで、 R' の最大値 $R'_{\max}$ と斜面崩壊発生件数との関係を検討すると、図は省略するが $R'_{\max}$ が大きくなるほど斜面崩壊発生件数の増える関係が認められ、 $R'_{\max}$ が200mm以上になると100箇所以上で斜面崩壊が発生していることが明らかとなった。

次に、斜面崩壊が発生し始める R' について検討する。図4は、各災害において斜面崩壊が発生し始めた時刻の R' の値を示したものである。この図より、芸予地震前の斜面崩壊が発生するときの R' の平均値は約100mmであったが、芸予地震直後には41mmまで減少し、極めて小さな降雨で崩壊が発生していることがわかる。その後、斜面崩壊が発生する R' の値は増加し、2004年からは $R' = 70 \sim 90\text{mm}$ でほぼ一定となっているが、地震以前の R' の値より若干小さく、依然として地震の影響が残っていると思われる。なお、1995年7月2日～6日災害に関しては、崩壊発生地が呉市宝町の気象庁アメダス雨量観測局から比較的離れており、雨量観測局で観測された降雨状態が崩壊発生地の降雨状態を正しく表していなかったためと考えられる。

前述した芸予地震前後の斜面崩壊が発生する R' の値を前述の式を利用して短期実効雨量と長期実効雨量に換算すると、地震前と比べて地震直後には短期実効雨量に換算して33mm少ない $r_w = 20\text{mm}$ 、長期実効雨量に換算して100mm少ない $R_w = 60\text{mm}$ で斜面崩壊が発生し始めるようになり、その後3年程度経過すると地震前と比べて短期実効雨量に換算して22mm少ない $r_w = 41\text{mm}$ 、長期実効雨量に換算して38mm少ない $R_w = 122\text{mm}$ まで回復していることが明らかとなった。

以上をまとめると、呉市において斜面崩壊が起こり始める降雨条件として芸予地震前は $R' = 100\text{mm}$ であったものが、芸予地震直後には $R' = 40\text{mm}$ まで減少し、その後3年経過して $R' = 80\text{mm}$ まで回復していると言うことができる。また、10件以上の斜面崩壊が起こる降雨条件として $R' = 150\text{mm}$ 、100件以上の斜面崩壊が起こる降雨条件として $R' = 200\text{mm}$ が得られる。これらの R' の値から限界雨量曲線を求めると図5が得られ、これを呉市における警戒・避難の判断基準として利用することができると考えられる。

参考文献

- 1) Nakai, S., Sasaki, Y., Kaibori, M. & Moriwaki, T. : Rainfall Index for Warning and Evacuation against Sediment-related Disaster: Reexamination of Rainfall Index R_f and Proposal of R' , Soils & Foundations, Vol. 46, No. 4, pp. 449-464, 2006.

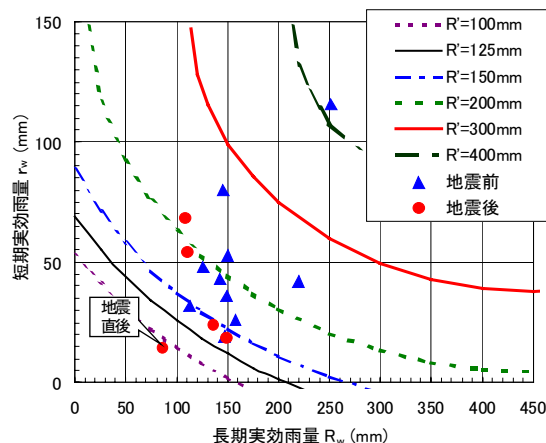


図3 最大 R' の出現時の降雨条件

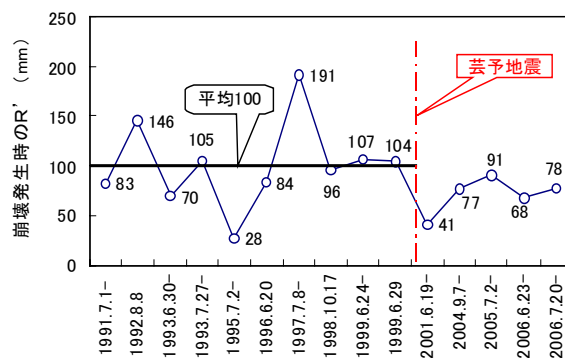


図4 斜面崩壊発生時の R' の時間的変化

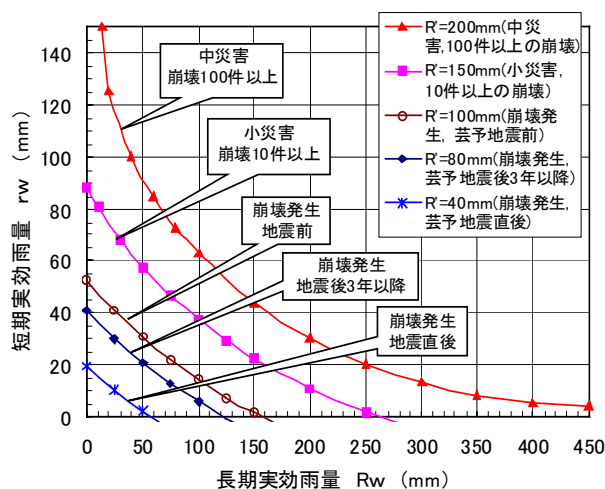


図5 呉市における限界雨量曲線