# 広島県における最近の降雨特性と花崗岩斜面の崩壊 —1999年6月29日広島県豪雨災害を例として—

Recent Rainfall Characteristics and Granite Slope Failure in Hiroshima Prefecture —Case History of the 1999 Heavy Rainfall Disaster in Hiroshima—

山本哲朗(やまもと てつろう) 山口大学教授工学部社会建設工学科

 原田
 博(はらた ひろし)

 日特建設㈱山口営業所 所長

鈴木素之(すずき もとゆき) 山口大学助手 工学部社会建設工学科

寺山 崇(てらやま たかし) 山口大学大学院理工学研究科博士前期課程 学生

1. はじめに

今日,地球環境問題の一つとして地球温暖化とそれに 伴う気候変動への関心がますます高まっている。気候変 動の影響因子は多種多様である<sup>1)</sup>が,なかでも大気中の 二酸化炭素やメタンなどの温室効果気体は地球から宇宙 へ放射される熱を吸収して気温を上昇させ,気候の局地 的変化や海面水位の上昇などをもたらすと考えられてい る。

このような気候変動が懸念されるなか,1999年6月 29日梅雨前線の活発化に伴い,西日本の各地で豪雨に よる災害が多数発生した。特に,広島市ならびに呉市の 200箇所以上で土砂災害が発生し<sup>2)</sup>,死者31名,行方不 明者1名の尊い命が失われた。広島県には土石流危険 渓流が4930箇所,急傾斜地崩壊危険箇所が5185箇所 (ともに全国1位)も存在する事実が再確認された<sup>3)</sup>。

本文では、まず1999年6月29日広島県豪雨災害にお ける斜面崩壊の概要を述べるとともに、大きな被害をも たらした集中豪雨を同地点における過去20年間の降雨 特性の観点から位置付ける。ついで、現地調査の結果、 多くの花崗岩斜面で基盤となる花崗岩とその上位に存在 するまさ土(強風化花崗岩)の境界面ですべりが発生し ていることが明らかになったので、この特異な崩壊挙動 を模擬した一面せん断試験を実施し、まさ土と花崗岩の 境界面上で発揮されるせん断強度特性について検討する。

## 過去20年間の降雨特性からみた1999年6月 末集中豪雨

著者らは災害発生時から約1箇月後の1999年8月上 旬に広島市佐伯区および呉市において斜面崩壊および土 石流の現地調査を行い,さらに同年10月上旬にも広島 市佐伯区において再調査を行って,それらの結果を文献 4)にまとめている。図―1に調査した崩壊斜面14箇所 と雨量観測所3箇所(佐伯,広島,呉)の位置を示す。 また,図―2にアメダス<sup>5)</sup>による過去20年間(1980~ 1999年)における各観測所の年降雨量の変化を示す。 全体的に内陸部に位置する佐伯の年降雨量が沿岸部に位



図-1 広島県における斜面調査地点と雨量観測所の位置



図ー2 過去20年間(1980~1999年)における年降雨量 の推移

置する広島および呉のそれに比べて大きく,文献1)で 指摘しているように,年降雨量の長期的な増加や減少の 傾向はみられない。図-3に1999年6,7月期における 同観測所の日雨量と2週間累積雨量の変化を示す。崩 壊が発生した6月29日の日雨量は97~186 mm であり, 同日までの2週間累積雨量は214~244 mm である。こ のときの日雨量と2週間累積雨量の関係を図-4に示 す。図中の限界雨量曲線は山本ら<sup>6)</sup>が提案した斜面の崩 壊・非崩壊を分ける一つの目安である。これによると, 佐伯,広島,呉の降雨量はいずれも斜面崩壊を発生させ る限界雨量よりも非常に大きいことがわかる。図-5に 過去20年間の6,7月期における日雨量と2週間累積雨 量の変化を5年ごとに示す。データは佐伯と呉のほぼ 中間に位置する広島で観測されたものである。日雨量, 報文--2665







図-4 斜面崩壊発生までの限界雨量曲線

2 週間累積雨量ともに気候変動を示す明確な傾向はみら れないが,両者のピークが2週間程度早くなっている。 図一6に過去20年間の6月期における最大時間雨量の 変化を示す。最大時間雨量はほぼ30mmであり,その 長期的な増加や減少の傾向はみられないが,1999年6 月29日,呉において最大時間雨量69mmを記録し,過 去20年間の6月期で最も激しい降雨であるといえる。 また,1945年(昭和20年)9月に呉市では最大時間雨 量113.3mm(17日18時から同日22時までの4時間の雨 量),死者数1154名を記録した<sup>3)</sup>。

## 1999年6月29日広島県豪雨災害における斜 面崩壊

今回調査した崩壊斜面は,図―1に示すように,広島市佐伯区の6箇所(地点番号:1~6),呉市の8箇所(地 点番号:7~14)の合計14箇所である。以下に,広島市 佐伯区および呉市における斜面崩壊の概要を述べる。

#### 3.1 広島市佐伯区の場合

口絵写真—40に広島市佐伯区における代表的な事例と して地点2の斜面崩壊現場を示す。この斜面は勾配約 40°であり,崩壊規模は長さ約35.5 m,幅約12.1 m およ び厚さ約1.6 m である。崩壊形態は平面すべりを呈して



図-5 過去20年間(1980~1999年)の6,7月期における日雨量と2週間累積雨量(観測地点:広島)





いた。すべり面上には新鮮な花崗岩や風化しているが形 状を保った岩が露出していた。崩土のほとんどは強風化 花崗岩(まさ土)であった。

#### **3.2** 呉市の場合

ロ絵写真-41に地点8の斜面崩壊現場を示す。斜面 の勾配は約50°であり,崩壊規模は長さ約35.0 m,幅約 12.3 m である。滑落崖の上部に位置する道路下の石積 み擁壁が破壊していた。それに伴い道路路肩の一部も崩 壊していた。すべり面上には発達した節理を有する花崗 岩が露出していたことから,ここの崩壊も未風化花崗岩 の上位にあるまさ土がすべったものと考えられる。

口絵写真-42に地点9の斜面崩壊現場を示す。当現 場は急傾斜地崩壊危険区域に指定されており,対策工と して斜面下部に擁壁工および落石防止柵工が施されてい た。斜面の勾配は約48°であり,崩壊規模は長さ約45.0 m,幅約11.0 m および厚さ約0.4 m であり,ここでも基 盤と表層の境界面で平面すべりが生じていた。また,こ

土と基礎, 49—1 (516)

調査地点番号		未崩壊 斜 面		崩壞	崩壊カノゴ			
		<b>勾配</b> (゜)	勾配 (°)	長さ (m)	幅 (m)	厚さ (m)	加坡メイノ	
広島市 佐伯区	1	42	46	37.0	26.8	3.0	平面すべり	
	2	40	46	35.5	12.1	1.6	平面すべり	
	3	41	49	35.2	20.0	2.0	平面すべり	
	4	44		40.0	22.4	1.0	平面すべり	
	5	43	_	43.4	19.6	1.2	平面すべり	
	6	32	28	50.0	15.5	3.6	平面すべり	
呉 市	7	_	_	17.5	4.6	0.6	平面すべり	
	8	50	50	35.0	12.3	_	平面すべり	
	9	48	50	45.0	11.0	0.4	平面すべり	
	10	42	46	35.0	13.1	1.0	円弧すべり	
	11	_			-	-	平面すべり	
	12			8.0	18.8	0.4	平面すべり	
	13	_	42	12.0	19.0	0.3	平面すべり	
	14	43	36	63.7	8.7	1.2	平面すべり	

表-1 斜面崩壊の諸元

の斜面の周辺部に長さ約20.0 m および幅約13.0 m の斜 面崩壊が発生していたのをはじめとして,過去に斜面崩 壊が起こった形跡がみられた。

表-1に今回調査した14箇所の崩壊斜面の諸元をま とめた。崩壊斜面の勾配はおおむね40~50°の範囲にあ り、崩壊形態は平面すべりが多い。崩壊規模は全体的に 大きく、その中で最大級のものは後述する地点1の崩 壊斜面である。これらは山口県内での斜面崩壊の規模と 比較しても全体的に大きなものであった<sup>7)</sup>。

表-2に各崩壊斜面の表層部で採取したまさ土試料の 諸物理的性質を示す。いずれの試料も土質分類は粗粒土 であり, 塑性指数 *I*<sub>p</sub> は6.7~NP である。これは長石類 等の風化度合が小さくて,粘土化が進んでいないためで あると考えられる。

#### 4. 花崗岩斜面の特異な崩壊挙動

#### 4.1 未風化花崗岩を基岩とした表層崩壊

前述したように、今回の斜面崩壊の多くは類似した形 態を示しており、その代表例として口絵写真-43に地点 1の斜面崩壊の現場を示す。この斜面の勾配は約42°で あり、崩壊規模は長さ約37.0 m、幅約26.8 m、厚さ約 3.0 m であった。すべり面上に未風化花崗岩が露出して いた(口絵写真-44中央の白い部分)。崩壊は表層のま さ土と基盤の未風化花崗岩(花崗岩)との境界面で発生 している。図-7にこの崩壊形態を模式的に示す。この



図-7 地点1の斜面崩壊パターン(模式図)

ような崩壊パターンは,過去に山口県内で発生した花崗 岩斜面での崩壊でも数多く確認されている<sup>6</sup>。

#### 4.2 貼り合わせ供試体を用いた一面せん断試験

表層のまさ土と基岩の花崗岩との境界面上で発揮され るせん断強度を求めるために,まさ土と花崗岩を貼り合 わせた供試体を用いて定圧一面せん断試験を行った。ま た,比較のためにまさ土単体の供試体を用いて一面せん 断試験も行った。試験は垂直応力 $\sigma_N$ =49,98,147 kPa の3とおり(まさ土単体の場合, $\sigma_N$ =24.5,73.5 kPa を 追加)で水浸・非水浸条件で実施した。貼り合わせ供試 体の場合,その境界面がせん断箱で規定されるせん断面 と一致するように注意した。その他の試験の詳細は文献 4)を参照されたい。以下に,試験結果を述べる。

試験終了後の貼り合わせ供試体のせん断状況を**口絵写 真**—45に示す。いずれの供試体も、せん断面には明瞭に 花崗岩が見えていたことから、まさ土と花崗岩との境界 面でせん断されたことを確認した。なお、触針式表面粗 さ測定機を用いて、花崗岩の表面粗さRをせん断方向 に沿った3測線で測定した結果を図—8に示す。3測線 の長さは概略30,60,30 mm であり、最大高さはそれぞ れ $R_{max}$ =58,32,46 µm、平均値は45 µm である。

図一9(a)に非水浸状態の場合のまさ土単体および貼 り合わせ供試体のせん断応力  $\tau$ 〜垂直変位  $\Delta H$ 〜せん断 変位 D関係を示す。まさ土単体の供試体の場合,  $\tau$ は D=7.0 mm に達しても単調に増加し続けるのに対して, 貼り合わせ供試体の場合,  $\tau$ ははじめ単調に増加してい るが,  $D=3\sim5$  mm でほぼ一定値となっている。せん 断による体積変化挙動をみると,まさ土単体の供試体の 場合には,収縮した後,若干膨張するのに対して,貼り 合わせ供試体の場合には,せん断過程を通じて収縮傾向 を示している。図一9(b)に水浸状態の場合の $\tau \sim \Delta H \sim$ D関係を示す。 $\tau \sim D$ 関係は水浸状態の場合でも非水浸 状態と同じような傾向を示している。せん断に伴う体積 変化はどちらの供試体においても収縮傾向を示している。

図―10(a)に非水浸状態の場合のまさ土単体および貼 り合わせ供試体の破壊線および強度定数を示す。貼り合

質

調査地点番号	$ ho_{ m s}$ $( m g/cm^3)$	$U_{ m c}$	D <sub>max</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	<i>F</i> <sub>c</sub> (%)	F <sub>clay</sub> (%)	<i>w</i> <sub>n</sub> (%)	<i>w</i> <sub>L</sub> (%)	<i>w</i> <sub>p</sub> (%)	Ip	土質分類
1	2.598	30.4	15.1	1.300	11.1	1.4	_	—	NP	NP	S–M
4	2.645	3.9	7.7	0.800	3.4	1.0	7.1	—	NP	NP	SP
7	2.603	164.0	11.9	0.510	26.5	9.0	15.1	29.5	22.8	6.7	SM
9	2.618	100.0	24.5	0.950	19.3	5.1	10.1	_	NP	NP	SM

#### 報文―2665



図-8 供試体表面の中央部における表面粗さ波形



**図−9** *τ~△H~D* 関係

わせ供試体では粘着力 $c_d$ =5.4 kPa,内部摩擦角 $\phi_d$ = 31.0°であり,まさ土単体の供試体では $c_d$ =6.8 kPa, $\phi_d$  =35.7°であることから,貼り合わせ供試体の方が内部 摩擦角,粘着力ともに小さくなる。図—10(b)に水浸状 態の場合の破壊線および強度定数を示す。貼り合わせ供 試体では $c_d$ =0 kPa, $\phi_d$ =26.8°であり,まさ土単体の供 試体では $c_d$ =0 kPa, $\phi_d$ =31.2°が得られた。水浸状態に おいても同様な傾向を示している。また,貼り合わせ供 試体を水浸させると,粘着力は5.4 kPa から0 kPa に, 内部摩擦角は31.0°から26.8°に低下する。この傾向はま さ土単体の場合にもいえる。以上の結果から,表層のま さ土と基盤の花崗岩の間で発生する斜面崩壊ではその境 界面で発揮されるせん断強度を考慮する必要がある。

### 5. まとめ

以上に述べた点を要約すると次のとおりである。

- (1) 広島市佐伯区と呉市で観測した雨量データから, 1999年6月29日の集中豪雨は斜面崩壊を発生させるのに十分なものである。
- (2) 過去20年間における当該地域の雨量データには 明確な変動はみられない。しかし、今回の集中豪雨 時、呉で記録した最大時間雨量は6月期では極め て大きい値であったといえる。
- (3) 多くの花崗岩斜面で、表層のまさ土と基盤となる



花崗岩の境界面ですべりが発生していた。

- (4) 上記の崩壊挙動を模擬した一面せん断試験結果から、まさ土と花崗岩を貼り合わせた供試体から得られた強度定数はまさ土単体のそれよりも小さく、水浸によってまさ土単体の場合と同様に減少する。
- (5) 表層のまさ土と基盤の花崗岩の間で発生する斜面 崩壊については,異なる土質の境界面で発揮される せん断強度を測定し,それを用いて安定計算を行う 必要がある。

謝辞:花崗岩の表面粗さの計測では山口大学工学部機械 工学科藤田武男先生に懇切丁寧なご指導をいただいた。 また,現地調査では㈱広測コンサルタントの芋岡俊彦氏, 篠崎 健氏にご協力をいただいた。以上の方々に深甚な る感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 地学団体研究会編:新版地学教育講座 15 気象と生活, 東海大学出版会,1995.
- 地盤工学会緊急調査団:平成11年6月29日豪雨による 広島県の斜面災害に関する緊急調査報告,土と基礎, Vol. 47, No. 10, pp. 40~45, 1999.
- 3) 広島県土木建築部砂防課編:広島県砂防災害史, 1997.
- 4) 山本哲朗・鈴木素之・原田 博・宮内俊彦・寺山 崇: 1999年6月末集中豪雨による花崗岩斜面の崩壊~広島 市佐伯区・呉市の場合~,平成11年の広島県豪雨災害調 査報告書,他地盤工学会調査部平成11年広島県豪雨災害 緊急調査委員会,他地盤工学会中国支部,pp.173~ 178,2000.
- 5) 気象庁:1980~1999 アメダス観測年報, 🕅気象業務支 援センター, 2000.
- 6) 山本哲朗・高本直邦・松本 直:山口県内の白亜紀花崗 岩類からなる斜面の豪雨時崩壊について、降雨と地震か ら危険斜面を守る地盤工学に関するシンポジウム発表論 文集, pp. 11~16, 1997.
- 7) 山本哲朗・鈴木素之・宮内俊彦・原田 博:1999年6 月末集中豪雨による山口県下の斜面災害,自然災害科学, 日本自然災害学会, Vol. 19, No. 2, pp. 193~203, 2000. (原稿受理 2000.9.1)