

山口県内の白亜紀花崗岩類からなる斜面の 豪雨時崩壊の特徴

高本直邦¹・山本哲朗²・松本直³

¹大学院工学研究科社会建設工学専攻

²社会建設工学科

³社会建設工学科学生

山口県内で1978～1994年度の間が生じた急傾斜地の豪雨時災害件数346のうち、174件(50.3%)が深成岩からなる斜面で生じたものであった。山口県内における深成岩のうち約98%は白亜紀花崗岩類に分類され、それらは広島型と領家型とに大別される。著者らは白亜紀花崗岩類からなる崩壊した斜面データを整理するとともに、1993、1995年の豪雨によって崩壊したものについて岩石学、土質工学、防災工学の立場から調査した。その結果、全崩壊件数のうち、90件が広島型花崗岩類からなる斜面で発生し、83件が領家型花崗岩類からなる斜面で発生していることがわかった。また、両花崗岩類の間には岩石学的な差異はあまり見られないものの、斜面表層土の力学的性質にはかなりの違いがあることがわかった。

Key Words: Cretaceous, granite, slope collapse, shear strength, permeability

1. まえがき

1993、1995 両年の梅雨期に豪雨に見舞われた山口県内各地では斜面の崩壊が頻発し、多大な被害を被った。中でも瀬戸内海に面する山陽地域の山々では土石流を伴う崩壊が発生し、花崗岩の山肌が現在でも露出しており、その被害の大きさを窺わせている。山口県内の花崗岩類としては、中生代白亜紀花崗岩類と、新生代花崗岩類とが分布するが、分布面積の圧倒的に広い白亜紀花崗岩類からなる斜面での災害が目立っており、新生代のものは県北部地域にのみ限られて産するため災害件数は少ない。また、県内の白亜紀花崗岩類は、広い分布面積を有する広島型と、南東部にのみ見られる領家型の2種に大別される^{1),2)}。

著者らは、1978～1994年度に県下で発生した白亜紀花崗岩類からなる斜面の崩壊のデータを整理するとともに、1993、1995年に崩壊したいくつかの斜面について岩石学、土質工学、防災工学の立場から調査した。本文ではそれらの結果を述べる。

2. 山口県下の白亜紀花崗岩類地域と

斜面崩壊地点

山口県の中生代白亜紀花崗岩類は、県全体面積の22.7%を占め、東西に帯状に分布している。それらは県の中央部を東西に貫く山陽帯（ここでは広島型という）と南東部の柳井、大島地域に広がる領家型とに分類されている。

図-1には、山口県内の白亜紀花崗岩類の分布とそこでの1978～1994年度の斜面崩壊発生位置、および本報告での調査地点をプロットしたものを示す。また、図-2には山口県の編集した「1978～1994年度に山口県内で発生した豪雨による斜面崩壊の災害報告書」³⁾に記載された急傾斜地災害発生件数を、基岩別にまとめたものである。1987、1988年度分のデータには基岩の記載がないため省略した。

図-2を見ると深成岩からなる斜面の崩壊件数が最も多く、1978～1994年度の全崩壊数346件中、174件(50.3%)を深成岩が占めている。なお、そのうち90件が広島型花崗岩類、83件が領家型花崗岩類からなる斜面で生じたものである。火山岩の分布面積は27.9%と深成岩の23.2%を上回るにも拘わらず崩壊件数は深成岩を大きく下回る。この結果は、災

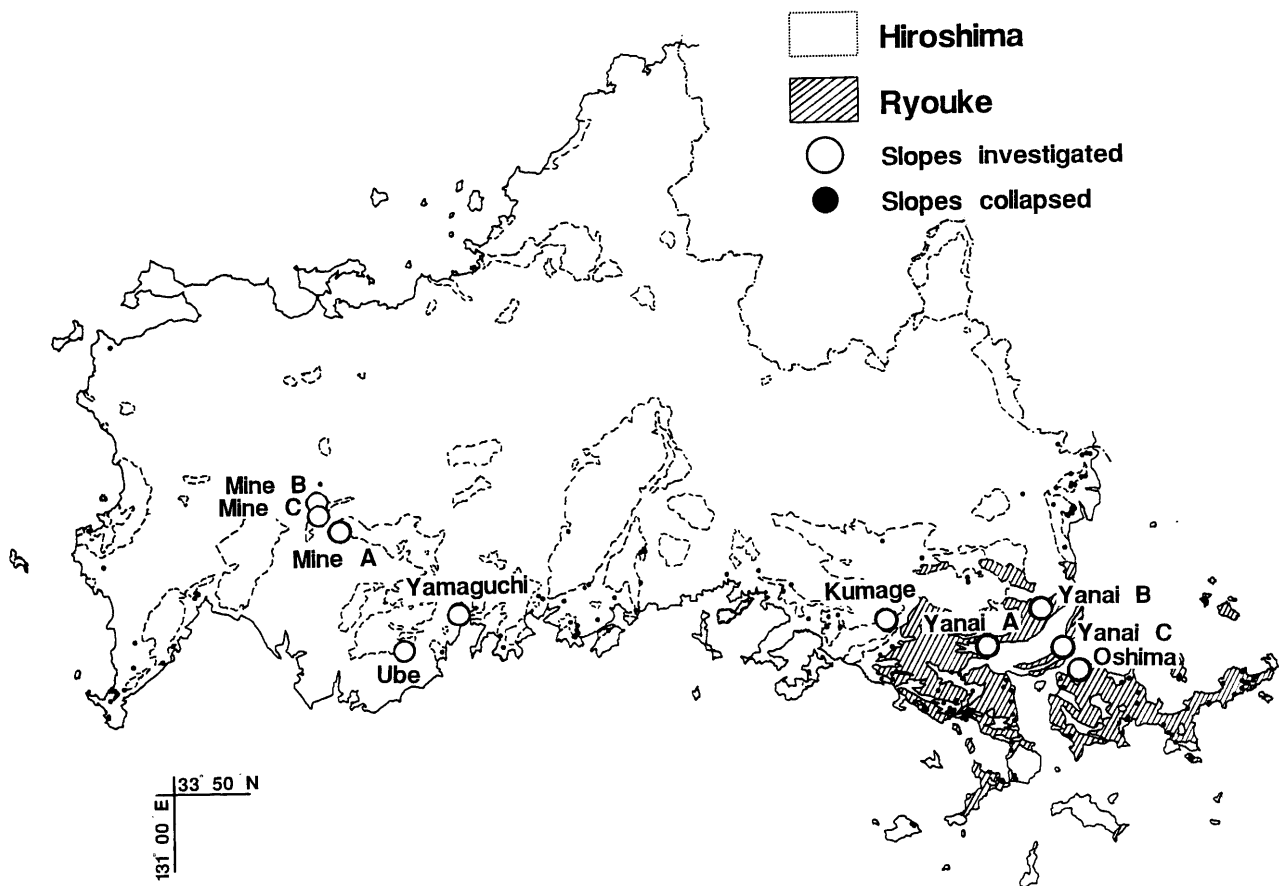


Fig.1 The distribution of Cretaceous granite and location of slopes failed during the years 1978~94 in Yamaguchi prefecture

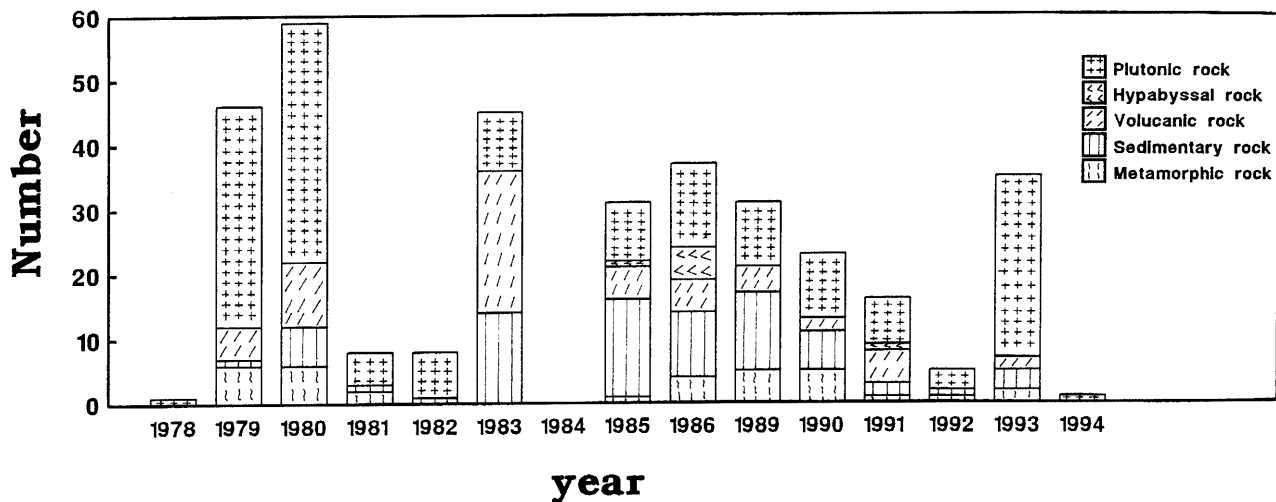


Fig.2 Number of collapse per bed rock

Table 1 Summary of slopes failed

Point	Slope No.	Granite type	Collapse scale				Collapse model	Accumulated rainfall		Date of occurrence
			Slope α (度)	Length L (m)	Width W (m)	Depth D (m)		Daily (mm)	2 weeks (mm)	
Mine A	I	Hiroshima	-	50.0	130.0	2.0	Toppling	15.0	367.0	1993. 8. 22
Mine B	I (1)		-	-	-	-	-	-	-	1987
	I (2)		-	20.0	15.0	-	-	-	-	1993. 6~8
Mine C	I		50	20.5	10.0	2.0	-	-	-	1993. 6~8
Ube	I		-	20.9	10.7	0.8	Surface	-	-	1995. 3
	II		45	7.4	6.0	1.0	Surface	126.5	355.0	1995. 7. 3
Yamaguchi	I		45	10.0	7.0	0.3	Surface	176.0	373.0	1993. 7. 27
	II		45	6.8	27.0	1.0	Surface	206.5	256.0	1995. 7. 2
Kumage	I (1)		40	15.0	15.0	-	-	0.0	179.0	1995. 5. 30
	I (2)		40	15.0	40.0	-	-	1.0	71.0	1995. 7. 24
Yanai A	I	Ryouke	40	35.0	26.0	-	Surface	134.5	292.5	1993. 7. 27
Yanai B	I		48	150.0	20.0	-	Surface	134.5	292.5	1993. 7. 27
Yanai C	I		45	6.8	5.0	1.5	Circular	-	-	1995. 6~8
Oshima	I		50	60.0	20.0	4.0	-	-	-	1993. 6~8

Table 2 Counterplans after collapse

Point	Slope No.	Counterplan
Mine A	I	Drainage boring, Bedding cage
Mine B	I (1)	Drainage boring, Drainage well, IGETA-retaining wall
	I (2)	Drainage boring
Mine C	I	Bedding cage, IGETA-retaining wall, Planting DONOU
Ube	I	Planting net
	II	Concrete cribwork
Yamaguchi	I	Concrete cribwork
	II	Concrete cribwork
Kumage	I (1)	-
	I (2)	Water chunnel work, Anchor, Pneumatically applied concrete
Yanai A	I	Concrete cribwork
Yanai B	I	Concrete cribwork, Bedding cage
Yanai C	I	-
Oshima	I	-

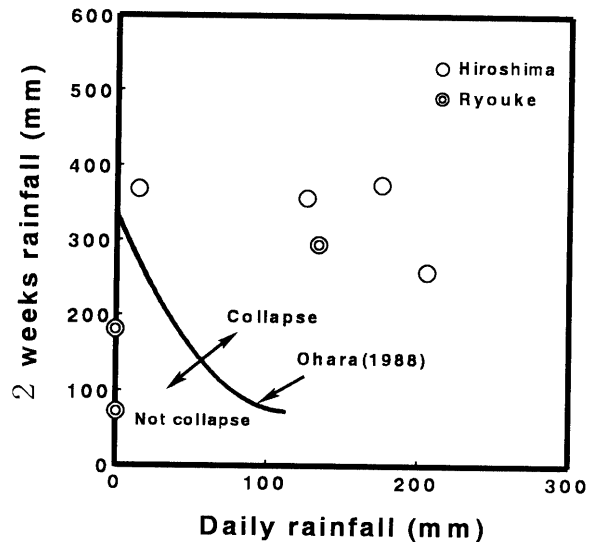


Fig.3 Amount of rainfall to cause failure of slope

害発生報告書のデータをもとにしたことと無関係ではなく、図-1の白亜紀花崗岩類の分布状況からもわかるように、我々の生活基盤が白亜紀花崗岩類の分布域にあるためであろうと考えられる。

本報告では、この白亜紀花崗岩類からなる斜面の豪雨時崩壊の例を県内の6地区10地点で調査した。その内訳は、広島型の分布域で美祢、宇部、山口の3地区5地点、領家型の分布域で熊毛、柳井、大島の3地区5地点である。

3. 崩壊した斜面の事例

各地点で崩壊した斜面の規模、崩壊のタイプ、雨量データ等を表-1、復旧工を表-2に示す。

図-3は斜面に崩壊が発生した日のわかっているものについて、崩壊前の累積降雨量を各地点ごと

に示した図である。図中、領家型に2つ非崩壊領域にはいつているものがあるが、これは熊毛の斜面のものである。それ以外は、すべて崩壊領域に含まれる。

以下に、各地区ごとに個々の斜面の崩壊状況および復旧工法を詳しく述べる。

(1) 美祢

美祢市南東部の桜山周辺に位置する3地点で、そのうち最も崩壊規模の大きかったのが美祢Aである。この地点では山頂へと向かう市道が走っており、崩壊はその市道を頂部として長さ50m、幅130m、深さ2.0mの規模で生じた。崩壊日は1993年8月22日であるが、同年の梅雨期には長雨(日雨量最大

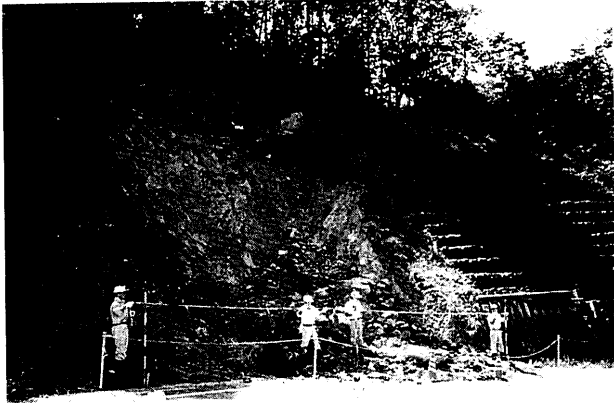


Photo.1 Photograph of slope failure at Mine C

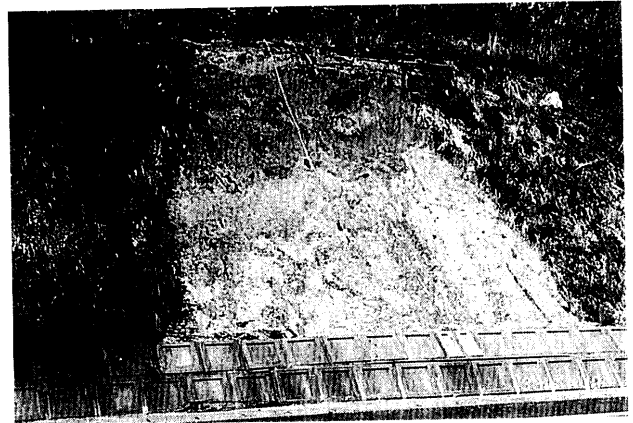


Photo.2 Photograph of slope failure at Ube



Photo.3 Photograph of slope failure at Kumage

126mm) が続き、7月27日の台風に伴う集中豪雨(日雨量最大127mm)によって、既に市道部分に亀裂が生じている。その後、8月9日から8月22日までの再度の長雨(総雨量378mm)で変状が拡大したものである。崩壊の型は転倒、陥没性型と種々の議論がありはっきりとしたことはわからない。復旧工には、斜面下端部で多量の湧水が観察されたため大孔径横穴ボーリング($\phi=200\text{mm}$)を6本施工し、布団籠を併用している。この斜面は地形上、比較的大きな谷に位置し、集水しやすい箇所にあたるため、それを構成する石英閃緑岩は著しく風化してシルト質砂となっている。

美祿Bは国道316号線沿いにあり、美祿C(写真-1)はそのすぐ直下にあり、美祿Aとは山頂を挟んでちょうど裏側に位置する。両斜面を構成する石英閃緑岩はともに風化してシルトとなっているが、ところどころに直径1m程度の岩塊が、中生代深成岩に特有のタマネギ状風化の形態を呈して残って

いる。美祿B、Cはともに崩壊発生日が不明であるが、美祿Aと同時期の豪雨により崩壊したことはわかっている。復旧工には、美祿B、Cともに井桁擁壁工が施されているが、美祿Cでは布団籠工も併用されている。

(2) 宇部

市道請川-王子線敷設のために開削された1割勾配の切土斜面の4箇所では崩壊が発生した。規模はいずれも小さく、表層すべりによる崩壊であった。当地区は半花崗岩の風化土から構成されるが、30m程度東に行くと第三紀泥岩からなる地域に達する。反対に200m西側へ向かうと三郡変成帯の分布域に入り、この地域でも1993年の豪雨時には崩壊が頻発した^{4),5)}。

この半花崗岩分布域での崩壊は1995年に生じている(写真-2)。斜面Iは、3月に崩壊しているが道路に面した斜面ではなく、道路交通に直接の影響はないため対策には植生ネット工ですませている。斜面IIは、同年7月3日に崩壊した3箇所を代表させて表-1に記載したもので、斜面表層の1m程度の深さから堅い基盤層が見られ、表層土と基盤との間にすべりが生じたものと考えられる。また、この斜面が地形的に集水しやすいことも崩壊を生じた一因である。これら3箇所の復旧工には格子砕石詰め工が施されている。

(3) 山口

宇部地区と同じく道路敷設に伴って開削された1割勾配の切土斜面が崩壊した事例である。当地区は花崗岩の著しく風化したまさ土からなるが、崩壊は深さ1m前後の表層すべりであった。斜面I、IIともに崩壊前降雨量は、崩壊を生ずるに十分な値であった。復旧工には、格子砕石詰め工が施されてい

Table 3 Result of identification of rocks

Point	Granite type	Rock	Mineral	Photo No.
Mine B	Hirosima	Quartz diorite	Quartz, Plagioclase, Biotite, Hornblende, Clinopyroxene, Chlorite, Limonite	4
Mine C		Quartz diorite	Quartz, Plagioclase, Biotite, Hornblende, Clinopyroxene, Chlorite, Limonite	
Ube		Aplite	Quartz, Plagioclase, Alkali feldspar, Biotite, Muscovite, Chlorite	
		Aplite	Quartz, Plagioclase, Biotite, Muscovite, Chlorite	
Kumage	Ryouke	Biotite granite	Quartz, Plagioclase, Biotite, Muscovite, Garnet	5
Yanai C		Biotite granite	Quartz, Plagioclase, Biotite, Chlorite	
		Biotite granite	Quartz, Plagioclase, Biotite, Muscovite, Chlorite	
Oshima		Biotite granite	Quartz, Plagioclase, Alkali feldspar, Biotite, Apatite, Chlorite	
		Biotite granite	Quartz, Plagioclase, Alkali feldspar, Biotite, Chlorite	

る。

(4) 熊毛

崩壊は北東～南西方向にのびる標高約 100m の小尾根の北西向き斜面で発生している。当地区は周南丘陵と呼ばれる花崗岩や領家変成岩からなる比較的平坦な丘陵地に属している。崩壊した斜面は、そのうち領家花崗岩からなる区域（写真-3）にあるが、崩壊時に発生した亀裂を挟んで隣接する部分は領家変成岩類泥質片岩のホルンフェルスの風化土で構成されており、地質の境界部で生じた崩壊であるといえる。

崩壊は同一斜面で2度にわたって発生しており、1995年5月30日に斜面下端部で生じた後、同年7月24日にその上部へと崩壊が波及したものである。崩壊前降雨量は図-3にも示したように、2度の崩壊日のどちらも崩壊領域には含まれていない。降雨は誘因の一つには違いないが、先にも述べたような地質境界部ということが斜面崩壊に大きく関わっているのではないかと考えられる。復旧工として、水路工、およびアンカー工を併用した吹付法砕工が施された。

(5) 柳井

柳井Aは、ダム湖に沿って走る道路沿いの切土斜面で1993年7月27日に発生した崩壊地点であり、

当日雨量 134.5mm、前2週間累積雨量 292.5mm であった。柳井Bは、柳井Aの東北東約 5km に位置する国道沿いの切土斜面であり、崩壊発生日は柳井Aと同じである。この2地点は、ともに領家花崗岩からなり表層はかなり風化が進行していた。

柳井Cは、柳井Bから国道を南東方向へ約 3km 走った位置にある切土斜面である。この斜面の下半分は領家花崗岩であるが、上半分は領家変成岩であり、崩壊はちょうどその境界部で発生し、境界上部の変成岩の風化軟岩が崩れ落ちる格好になっている。こういった地質境界部での崩壊は、熊毛の斜面でも見られ、花崗岩類からなる斜面の豪雨時崩壊の形のひとつである。当地点では崩壊の影響が、まだ国道に及ぶほどではないため復旧工はなされていないが、崩壊部に応急処置としてブルーシートが被せてある。

(6) 大島

大島瀬戸を望む標高 50m 程度の山腹で 1993 年の梅雨期に崩壊した斜面である。この斜面の上部は風化の著しく進行した花崗岩からなるが、下端から 10m 程度の高さまでは堅く締まった基盤層が存在する。また、斜面の上部には石英の岩脈が帯状に残り、それより下側の風化土層が崩れ落ちていることから、これは岩石の風化度の異なる土層間で生じた

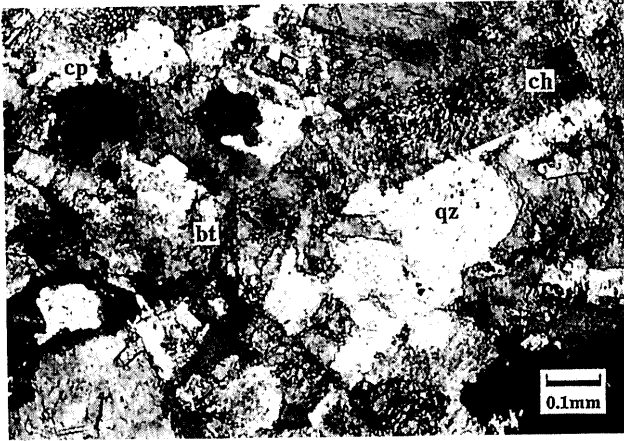


Photo.4 Photograph of polarization microscope of quartz diorite sampled at Mine C (open nicol);qz,quartz;bt,biotite ;cp,clinopyroxene;ch,chlorite



Photo.5 Photograph of polarization microscope of biotite granite sampled at Kumage (cross nicol);qz,quartz;pl,plagioclase ;bt,biotite

すべりであり、宇部地区の崩壊でみられたものと同じ形である。

4. 斜面の岩石の特徴

各斜面において採取した代表的な岩石およびその造岩鉱物名を表-3に示す。その同定は岩石薄片の偏光顕微鏡観察による。

美祿地区の岩石は、広島古期花崗岩類の石英閃緑岩である。広島花崗岩類は山陽帯に分布し、斑れい岩～花崗岩によって構成されるが、中～粗粒黒雲母花崗岩が主体をなしている。また、山口県内に分布する広島花崗岩類では中期のものが圧倒的に多いといわれている。美祿地区、美祿Cでの花崗岩の造岩鉱物は石英、斜長石の無色鉱物のほか、黒雲母、角閃石、単斜輝石の有色鉱物、そして粘土鉱物の緑泥石である。褐鉄鉱は黒雲母、角閃石の変質物である。写真-4には、美祿Cのものを示す。ここに見られるように角閃石はほとんどその姿を普通に観察することはできず、緑泥石に変わってしまっていることが多い。

宇部地区の岩石は広島中期花崗岩類の半花崗岩(アブライト)である。半花崗岩は、広島中期花崗岩類に伴い、周防変成岩中に岩脈状に貫入する優白色の岩石である¹⁾。造岩鉱物は石英、斜長石、カリ長石の無色鉱物と黒雲母、ほかに粘土鉱物の白雲母、緑泥石である。

熊毛地区の岩石は領家花崗岩類の黒雲母花崗岩

である。造岩鉱物の中には通常の花崗岩類に見られるものの他にざくろ石があるが、これは領家帯に比較的多く見られる鉱物と言われている。写真-5は、当地区の代表的な岩石の写真であるが、完晶質等粒状の深成岩特有の組成を示している。領家花崗岩類は、古期と新期に分類されているが、そのうち古期のものは褶曲を受けて、無色鉱物と有色鉱物とが縞状に配列する片麻状組織が発達し、斑れい岩～花崗閃緑岩を多く産する。新期のものは片麻状構造が弱く、主に花崗閃緑岩～花崗岩からなることが知られている²⁾。

柳井地区は柳井Cの岩石について同定を行い、領家花崗岩類の黒雲母花崗岩であることがわかった。当地点の岩石は、片麻状組織が弱く白亜紀後期に貫入した新期のものと推測される。

大島地区は領家古期花崗岩類の黒雲母花崗岩であった。造岩鉱物の中に燐灰石が見られる。そのほか無色鉱物の石英、斜長石、カリ長石、有色鉱物は黒雲母が見られ、一部長石類、黒雲母が緑泥石に変質している。

5. 表層土の諸性質

(1) 物理的性質

各斜面で採取した表層土試料に対して一連の物理試験を行った。表-4はその結果および土の分類を取りまとめたものである。すべての土試料は、当然のことながら花崗岩類の風化した、いわゆるまさ

Table 4 Physical properties and classification of surface soils

Point	Slope No.	Granite type	G_s	U_c	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	FC (%)	F_{clav} (%)	w_L (%)	w_P (%)	I_P	Soil classify
Mine A	I	Hiroshima	2.71	19.1	9.50	0.110	44.0	7.0	40.6	27.1	13.5	SM
Mine B	I		2.72	4.7	4.75	0.043	64.5	4.1	41.6	34.3	7.3	ML
Mine C	I		2.73	3.4	4.25	0.012	77.0	5.0	43.7	27.7	16.0	ML
			2.73	5.0	20.00	0.060	61.4	0.0	41.8	28.6	13.2	ML
Ube	I		2.64	61.3	10.00	0.074	38.2	11.6	41.2	22.5	18.7	CL
	II		2.63	317.0	14.30	0.550	34.4	15.0	36.0	21.4	14.6	SM
	III		2.65	227.0	9.60	0.200	42.8	18.0	39.0	19.7	13.3	SM
Yamaguchi	I		2.63	390.0	16.00	0.320	38.6	19.0	38.1	23.8	14.3	SM
			2.62	147.0	16.35	1.400	14.5	5.0	-	NP	NP	S-M
Kumage	I		2.66	80.0	2.00	0.200	33.1	11.0	-	NP	NP	SM
		2.63	45.3	6.80	0.290	26.9	6.5	-	NP	NP	SM	
		2.69	22.9	4.75	0.290	23.0	4.0	-	NP	NP	SM	
Yanai A	I	Ryouke	2.70	60.0	12.40	0.660	16.5	4.2	-	NP	NP	SM
Yanai B	I		2.62	17.0	19.00	0.470	14.1	4.0	-	NP	NP	S-M
Yanai C	I		2.64	16.2	11.90	1.220	8.8	0.0	-	NP	NP	S-M
Oshima	Above		2.62	86.8	29.10	0.420	27.7	9.0	-	NP	NP	S-M
	Below		2.69	42.4	8.00	0.280	25.7	8.5	-	NP	NP	SM

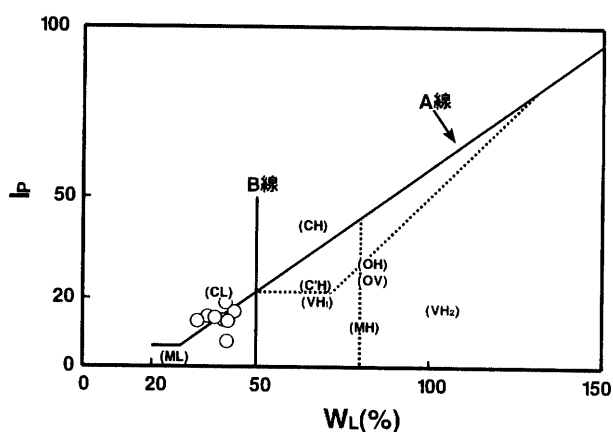


Fig. 4 Plasticity chart of surface soils

土である。宇部の斜面 I が粘質土となっている以外は、シルトからシルト質砂に分類されるものばかりである。広島型と領家型との違いに着目すると、コンシステンシー限界に端的に現れているが、広島型に比べて領家型は細粒分含有率が低いことがわかる。

図-4は、コンシステンシー限界の求められた表層土試料をすべて塑性図にプロットしたものである。A線より上にプロットされるものが4つあるが、そのうち3つは、土の工学的分類法によると細粒分含有率が50%を下回るため、シルト質砂の範疇に含まれている。

(2) 力学的性質

図-5に表層土試料の透水係数(k)と間隙比(e)の関係、図-6には透水係数(k)と細粒分含有率

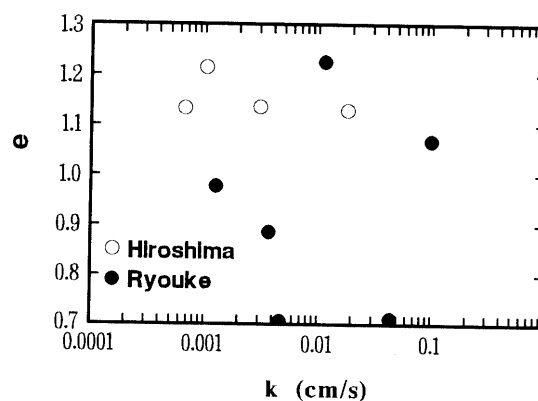


Fig. 5 Relationship between void ratio(e) and coefficient of permeability(k)

(FC) との関係を示す。また、両方とも広島型と領家型とに分けて結果をプロットした。間隙比との関係では、かなりのばらつきが見られるものの、細粒分含有率との関係において広島型はほぼ一本の曲線上に表されている。また、領家型は透水係数の分布範囲が広く、その透水係数の大きさは細粒分含有率にあまり左右されないことがわかる。

図-7は一面せん断試験の結果を、横軸に非水浸(自然)状態の内部摩擦角(ϕ_{dn}) ($\gamma_t=11.8\sim 16.4$ [kN/m³]), 縦軸に水浸状態のそれ(ϕ_{ds}) ($\gamma_t=16.1\sim 18.6$ [kN/m³]) をとり、広島型、領家型に分けてプロットしたものである。この図から広島型のほうが領家型よりも水浸時の強度低下の度合いの大きいことがわかる。これは細粒分含有率の多い広島型のほうが、水浸時に強度低下が著しいことを示して

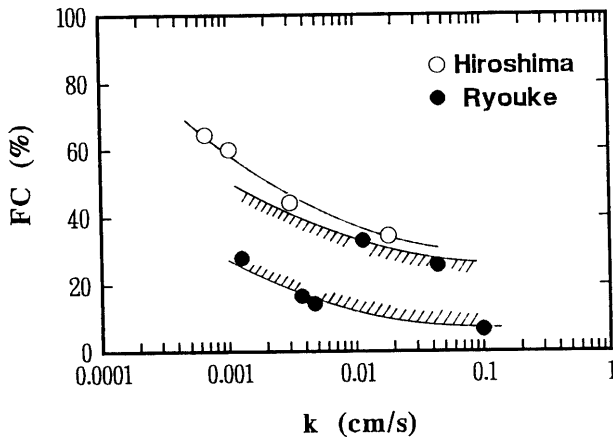


Fig.6 Relationship between fine content(FC) and coefficient of permeability(k)

いる。また、*印をつけた不攪乱試料は美祿Cのものであり、水浸によって強度が著しく低下している。

6. まとめ

1978~1994 年度に山口県下で発生した豪雨による急傾斜地災害では、深成岩からなる斜面の数が全崩壊件数の 50.3%を占め、他の基岩からなる斜面での災害発生件数を大きく上回ることがわかった。

その深成岩のうち、県内に最も広く分布する白亜紀花崗岩類について、広島型花崗岩類と領家花崗岩類との比較を試みながら、県内の6地区10地点の崩壊斜面を岩石学、土質工学、防災工学の立場から調査した。

得られた結果は次のようにまとめることができる。

- 1) 崩壊地の特色として広島型花崗岩類からなる斜面では、宇部地区に代表されるような集水しやすい地形に斜面が位置し、風化土層と基盤層との間での表層すべりが見られる。一方、領家型花崗岩類からなる斜面については、熊毛や柳井Cのように異なった地質間でのすべりが生じている。
- 2) 表層土の性質については、広島型花崗岩類の方が細粒分含有率が多く、その増加に従って透水係数が小さくなる。一方の領家型花崗岩類は、細粒分含有率が小さく、透水係数は細粒分含有率の多少に関わらず広い値の分布を示す。
- 3) 水浸による内部摩擦角の低下は、細粒分含有率の多い広島型で著しく、細粒分含有率の少ない領家型ではほとんど見られない。
- 4) 広島型と領家型の花崗岩類の間にはよく言われ

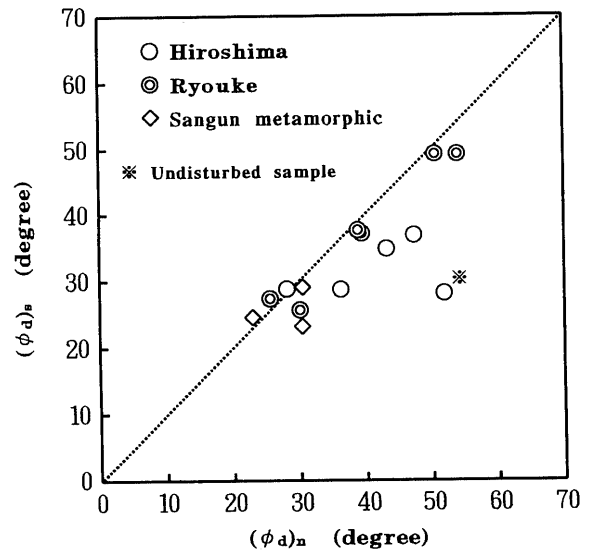


Fig.7 Internal friction of natural and submerged surface soils

るように岩石学的には明瞭な差異は見られず、領家古期花崗岩類のみが、特異な片麻状構造を呈する。
5) 崩壊斜面の復旧工法には、崩壊規模が小さい場合に格子砕石詰め工が施工され、大きい場合にはコンクリート型枠、アンカー工が施工されている。

謝辞: 山口県下での豪雨による急傾斜地崩壊の調査については資料の提供を初めとして種々の面で山口県土木建築部砂防課の方々には御協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口地学会編(編集代表西村祐二郎、松里英男)(1991): 山口県の岩石図鑑, 第一学習社
- 2) 飯泉滋, 沢田順弘, 先山徹, 今岡照喜(1985): 中国・四国地方の白亜紀~古第三紀火成活動一火成岩類の対比を中心として一, 地球科学, 39巻, 5号, pp.372~384
- 3) 山口県土木建築部: 山口県内の急傾斜地災害発生報告書(1978年度~1994年度)
- 4) 山本哲朗, 大原資生, 西村祐二郎, 瀬原洋一(1996): 山口県下の三郡変成岩からなる切土斜面に見られる豪雨時崩壊の特徴, 地盤工学会論文報告集, Vol.36, No.1, pp.123~132
- 5) 山本哲朗, 大原資生(1994): 三郡変成帯の切土のり面に見られる豪雨時崩壊の特徴について一山口県宇部市の場合一, 山口大学工学部研究報告, Vol.45, No.2, pp.27~33

(1996. 10. 15 受理)

CHARACTERISTICS OF SLOPES CONSISTING OF CRETACEOUS GRANITE
ROCKS WHICH HAVE FAILED DUE TO HEAVY RAINFALL
IN YAMAGUCHI PREFECTURE

Naokuni TAKAMOTO, Tetsuro YAMAMOTO, Nao MATSUMOTO

During the years 1978~94, 50.3% of 346 slope failures by heavy rainfalls occurred on the slopes consisting of plutonic rocks in Yamaguchi prefecture. About 98% of plutonic rocks belongs to Cretaceous granite rocks, which were divided into the Hiroshima- and the Ryouke - type. Investigation was made on slopes consisting of Cretaceous granite rocks which have failed due to heavy rainfalls during the years 1993 and 1995 from the standpoint as lithology, soil engineering, and preventing disasters. It was found from the investigation that although there is no significant difference in lithology between two types of granite rocks, there are a few differences in mechanical properties of weathered soils.