

対策工を施した斜面の崩壊事例とその土質特性

山本哲朗 (社会建設工学科)

鈴木素之 (社会建設工学科)

宮内俊彦 (社会建設工学専攻)

寺山 崇 (社会建設工学専攻)

A consideration of failures of slopes with countermeasures in Yamaguchi prefecture

Tetsuro YAMAMOTO (Department of civil engineering)

Motoyuki SUZUKI (Department of civil engineering)

Toshihiko MIYAUCHI (Speciality of civil engineering)

Takashi TERAYAMA (Speciality of civil engineering)

From the viewpoints of soil engineering, geology, and slope disaster prevention engineering, field investigations were made of 109 failures of slopes with countermeasures such as sodding, retaining walls, and rock-fall prevention walls. Furthermore, physical properties and strength parameters of the surface soils were examined.

The conclusions obtained are as follows: 1) In regard to the geology of Yamaguchi prefecture, the most slope failures occurred in the granite rock region. 2) Owing to the catchment topography, relatively small-scale failures occurred in slopes existing at the upper parts of the countermeasure works.

Key Words : local severe rainfall, slope failure, countermeasure, geology, topography, surface soil, shear strength

1. はじめに

著者らは、過去 10 年間の山口県下で降雨時に発生した斜面崩壊を対象に、崩壊に至るまでの降雨特性、斜面の地質・地形条件および表層土の土質工学的性質を調査してきた。山口県下の斜面災害の代表的なものとして、例えば、1997 年 7 月下旬に襲来した台風 9 号の場合、斜面崩壊はむつみ村、福栄村を中心とした調査範囲で 202 地点になった¹⁾。また、1999 年 6 月集中豪雨の場合には西部・北部地域の調査範囲において斜面崩壊は 87 地点であった²⁾。これらの調査でわかったことは、斜面崩壊の原因として降雨のほかには地質・地形的要因が大きく影響していることである。地質・地形的要因には斜面内に存在

する節理面や片理面等があり、これらが弱面となつてすべりが発生している。そこで著者らは超小型現場せん断試験機³⁾を開発し、その弱面でのせん断強度を測定することを試みている。

一方、崩壊斜面の多くで対策工が施されているにもかかわらず対策工の効果のおよばない斜面上部において表層崩壊が発生するケースがよくみられる。このような崩壊の特性はほとんど把握されていないため、斜面防災を考える上で全く反映されていないと考えられる。そこで、1997 台風 9 号により斜面崩壊が多発したむつみ村および福栄村で崩壊斜面の再調査を実施するとともに、現場で採取した土試料について物理試験および一面せん断試験を実施した。

本論文では、これら現場調査の結果に基づいて、その崩壊斜面の状況を記述した後、崩壊斜面の地質、崩壊規模の頻度、崩壊の素因および対策工の種類について調べることにより対策工を施した斜面上部の崩壊の特徴を述べている。また、表層土の物理的性質および一面せん断試験結果によるせん断強度特性について考察する。

2. 崩壊斜面の概況

2.1 崩壊斜面の諸元

山口県内において1997年台風9号時、1998年6月集中豪雨時、1998年台風10号時、1999年6月集中豪雨時および1999年台風18号時に発生した斜面崩壊のうち、著者らが調査を行ったものについてFig.1に示す。調査地点は354地点である。崩壊はその年毎によって様々な地域で発生しており、特に、

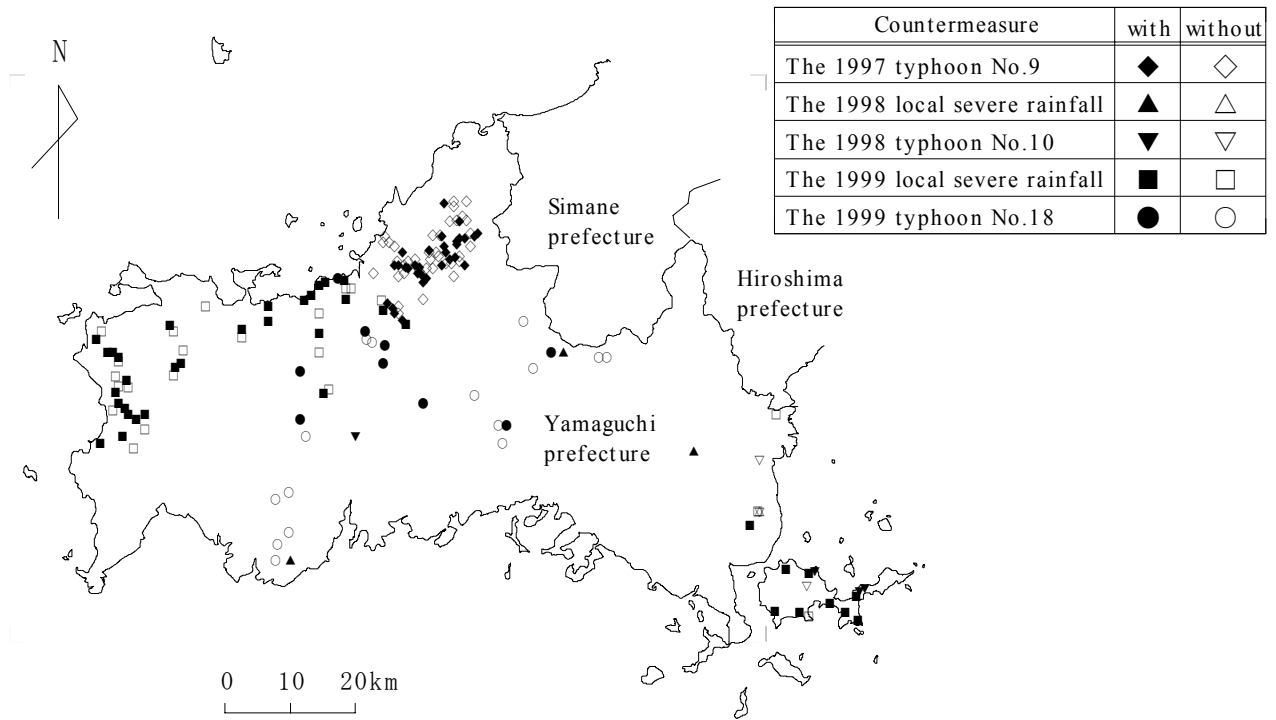


Fig.1 District of failed slopes in Yamaguchi prefecture

Table 1 Dimensions of failed slopes (Part 1)

Occurrence	Cities	Sites	Type of rocks	Inclination (degree)	Length (m)	Width (m)	Depth (m)	Endogenous factors	Two weeks rainfall (mm)	One day rainfall (mm)	One hour rainfall (mm)
The 1997 typhoon No.9	Mutsumi	Anzuke	Tuff	30	14.7	16.0	-	Infiltration topography	122	512	40
		Kandani A	Sandstone	-	10.3	12.0	-	Infiltration topography	122	512	40
		Kandani B	Sandstone	54	20.3	34.8	7.0	Infiltration topography	122	512	40
		Ushiroi	Tuff	-	6.4	13.0	-	-	122	512	40
		Era A	Tuff	-	21.1	28.0	2.5	-	122	512	40
		Era B	Tuff	45	16.0	5.0	-	-	122	512	40
		Sabaki A	Granite	-	11.4	23.5	-	-	122	512	40
		Sabaki B	Granite	42	4.2	10.0	-	Infiltration topography	122	512	40
		Tyuuou	Basalt	-	13.3	7.1	0.4	Boundary foundation	122	512	40
		Nagao	Granite	40	3.9	15.1	-	Infiltration topography	122	512	40
		Tsuziyama A	Tuff	-	24.0	14.1	-	-	122	512	40
		Tsuziyama B	Tuff	-	-	18.2	-	-	122	512	40
		Tsuziyama C	Tuff	-	31.1	47.8	2.0	-	122	512	40
		Tonogawa A	Granite	-	6.5	46.5	-	-	122	512	40
		Tonogawa B	Granite	-	3.9	18.2	-	-	122	512	40
		Hirakashige	Granite	37	27.8	11.1	2.1	-	122	512	40
		Asou A	Granite	-	21.2	15.0	-	-	122	512	40
		Asou B	Granite	-	-	-	-	-	122	512	40
Noda A	Basalt	-	25.0	-	-	-	122	512	40		
Noda B	Basalt	-	9.8	16.8	1.0	Boundary foundation	122	512	40		
Noda C	Basalt	60	6.5	17.5	0.7	-	122	512	40		

Table 1 Dimensions of failed slopes (Part 2)

Occurrence	Cities	Sites	Type of rocks	Inclination (degree)	Length (m)	Width (m)	Depth (m)	Cause of Failure	Two weeks rainfall (mm)	One day rainfall (mm)	One hour rainfall (mm)
The 1997 typhoon No.9	Abu	Ubuka	Tuff	-	33.0	28.8	3.0	-	67	132	17
		Jouman	Tuff	-	6.6	6.7	0.2	-	67	132	17
		Tabira A	Tuff	-	16.0	10.0	3.0	-	67	132	17
		Tabira B	Tuff	-	18.7	5.0	-	-	67	132	17
		Tabira C	Tuff	-	29.2	28.0	-	-	67	132	17
	Kawakami	Haihuku	Tuff	46	-	50.0	0.5	Infiltration topography	76	118	40
		Souradai	Tuff	-	19.9	10.4	-	Joint	76	118	40
		Nagatani	Tuff	-	-	29.0	-	-	76	118	40
		Ikadaba	Tuff	62	12.3	6.2	-	-	76	118	40
	Hukue	Mitake	Granite	-	21.0	16.0	-	-	133	310	25
		Kuribara	Breccia	-	29.3	4.2	-	-	133	310	25
		Sakura A	Granite	-	15.5	29.0	-	Boundary foundation	133	310	25
		Sakura B	Granite	-	7.4	15.0	-	-	133	310	25
		Sakura C	Granite	44	9.2	7.0	0.7	-	133	310	25
		Koishi	Tuff	46	6.1	13.3	-	-	133	310	25
		Ubuno	Basalt	44	14.1	13.0	-	-	133	310	25
		Maenihodani	Basalt	-	47.0	26.5	-	-	133	310	25
		Tsurugatani	Tuff	-	9.4	24.4	-	Infiltration topography	133	310	25
		Dougasako	Diorite	-	9.9	10.0	-	-	133	310	25
		Iriya	Diorite	-	5.0	6.0	-	-	133	310	25
		Hatake A	Granite	-	3.1	4.1	-	-	133	310	25
		Hatake B	Granite	-	10.5	5.0	-	Infiltration topography	133	310	25
		Hatake C	Granite	32	71.7	17.6	5.0	Infiltration topography	133	310	25
Hirawarabi		Tuff	42	9.2	7.0	-	-	133	310	25	
Besho A	Andesite	34	21.7	17.5	1.9	Infiltration topography	133	310	25		
Besho B	Andesite	-	43.7	12.0	-	-	133	310	25		
Hukitan	Basalt	-	28.8	33.6	-	Boundary foundation	133	310	25		
Hagi	Takagishi	Granite	46	32.0	9.0	0.5	-	76	118	40	
The 1998 local sever rainfall	Shutou	Hotoketouge	Shale	-	15.0	14.7	1.5	-	146	95	23
	Kano	Kaisaku	Porphyrite	-	13.0	15.0	0.6	-	201	95	19
	Ube	Shimoukegawa	Schist	45	7.0	25.0	-	Infiltration topography	194	63	16
The 1998 typhoon No.10	Kuka	Osaki	Granite	-	8.0	5.5	0.3	-	109	184	35
		Touwa	Kounoura	Granite	-	7.0	6.8	0.4	-	109	184
	Yamaguchi	Mori	Granite	-	-	-	-	-	109	184	35
		Yoshiki	Schist	45	26.3	22.3	1.5	Infiltration topography	108	110	30
The 1999 local sever rainfall	Tachibana	Aki	Granite	-	10.0	8.1	0.3	Joint	225	85	9
		Tatsuiwa	Granite	76	3.0	1.6	0.3	-	225	85	9
	Kuka	Yahata	Granite	52	5.3	8.0	0.4	Joint	225	85	9
		Oshima	Okiura	Granite	-	15.0	6.3	0.3	Infiltration topography	225	85
	Touwa	Touwa	Granite	52	14.0	6.2	1.1	Infiltration topography	225	85	9
		Tononhu	Granite	44	6.7	6.2	0.7	Infiltration topography	225	85	9
		Sare	Granite	-	27.0	18.4	2.0	-	225	85	9
	Hirano	Hirano	Granite	46	7.6	4.4	0.5	-	225	85	9
		Ohara	Granite	54	13.2	14.8	0.2	-	225	85	9
		Toyoura	Uka A	Andesite	36	8.0	9.6	1.2	-	197	192
	Toyoura	Uka B	Andesite	36	4.0	4.1	0.5	-	197	192	43
		Ukahongou	Sandstone	42	7.0	5.1	0.9	-	226	92	39
		Okuhata	Andesite	-	12.0	4.2	0.7	-	197	192	43
		Yokomichi	Tuff	-	2.3	4.0	0.8	-	197	149	41
		Yamashita	Granite	-	10.0	15.7	1.2	Joint	197	132	41
		Toyohara	Tuff	34	5.0	5.0	0.5	Infiltration topography	197	123	41
		Waita	Granite	60	4.0	4.0	1.5	Joint	197	203	43
	Toyota	Daitouge	Andesite	-	20.0	16.8	-	-	226	92	39
		Tenigadake	Porphyrite	35	15.0	14.2	2.5	Infiltration topography	226	92	39
		Tenigataki A	Andesite	35	7.0	3.4	0.3	Infiltration topography	226	92	39
		Tenigataki B	Andesite	35	10.0	3.5	0.5	Infiltration topography	226	92	39
	Houhoku	Terahatayama	Sandstone	42	8.0	4.0	1.0	-	226	92	39
		Takibe	Shale	46	3.0	4.5	0.2	Joint	240	175	51
		Tashiro A	Shale	41	20.3	22.5	2.2	Infiltration topography	240	175	51
		Tasgiro B	Shale	45	5.4	5.0	0.5	Joint	240	175	51
		Kottoi	Shale	41	18.2	6.0	0.7	-	240	175	51
		Hijuu	Tuff	46	10.0	8.4	1.2	-	240	142	51
	Mitou	Kuranoue	Sandstone	48	5.6	18.9	0.9	Infiltration topography	177	140	37
	Nagato	Yumoto	Tuff	-	21.0	13.8	-	Joint	226	92	39
	Hagi	Kawashi	Sandstone	65	6.0	3.2	0.5	-	216	156	59

Table 1 Dimensions of failed slopes (Part 3)

Occurrence	Cities	Size	Type of rocks	Inclination (degree)	Length (m)	Width (m)	Depth (m)	Cause of Failure	Two weeks rainfall (mm)	One day rainfall (mm)	One hour rainfall (mm)
The 1999 local sever rainfall	Hagi	Yamada	Sandstone	72	12.5	10.1	1.2	Joint	216	156	59
		Ii	Sandstone	49	6.0	11.6	1.0	-	216	162	59
		Tamae	Granite	-	8.0	14.8	0.8	Joint	216	156	59
		Sanmi	Sandstone	47	20.0	6.0	-	Joint	216	156	59
		Akeshi A	Sandstone	50	12.0	7.5	1.0	-	216	206	59
	Akeshi B	Sandstone	50	7.0	6.9	0.8	-	216	206	59	
	Kawakami	Souradai	Tuff	-	18.0	10.3	-	-	255	151	47
		Tachino A	Diorite	56	7.0	4.6	0.5	-	216	156	59
		Tachino B	Diorite	-	7.0	5.9	-	-	216	156	59
	Tachino C	Diorite	-	6.5	3.0	0.5	-	216	156	59	
	Misumi	Nijoukubo	Sandstone	40	20.0	16.2	2.0	-	216	202	59
		Nobase	Sandstone	44	10.0	7.0	1.0	Infiltration topography	216	177	59
Rakushihata		Andesite	45	5.4	13.0	1.1	-	177	140	37	
Yuya	Daibou	Tuff	-	5.5	3.8	1.1	Infiltration topography	240	142	51	
The 1999 typhoon No.18	Asahi	Sasanami	Tuff	59	7.0	6.2	1.3	-	156	129	73
		Akiragi	Tuff	55	7.5	6.9	0.6	-	307	73	49
	Kano	Oshio	Tuff	45	38.0	13.0	1.3	-	124	61	18
	Kawakami	Oshita	Tuff	59	15.0	23.9	-	-	156	129	73
		Shuhou	Kisui	Sandstone	50	18.0	10.4	10.4	-	123	122
	Shinsuge	Sandstone	45	12.2	8.7	0.8	Boundary foundation	123	121	51	
	Tokuzi	Yamahata	Schist	-	40.0	15.4	-	-	213	131	65
	Hagi	Kurae	Granite	-	5.0	2.9	-	-	307	73	49
	Yamaguchi	Niho	Granite	49	13.0	10.8	0.4	-	165	146	73

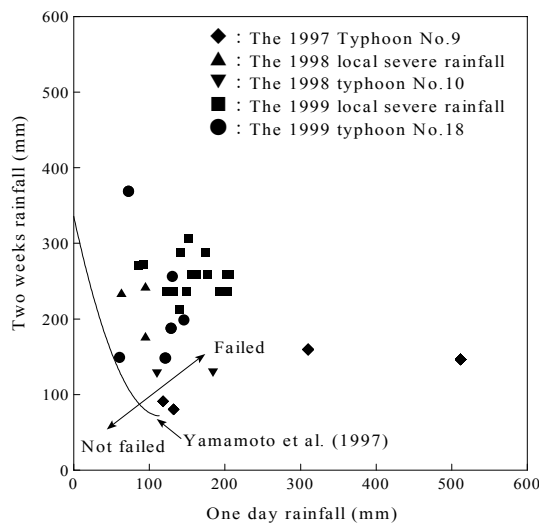


Fig.2 The amount of two weeks and one day rainfalls until slope failures.

1997 年台風 9 号時および 1999 年 6 月集中豪雨時の被害は甚大なものであった。著者らが調査しただけでもあわせて 289 地点にもものぼった。Table 1 にはこれら 354 地点のうち対策工が施工されていた 109 地点の崩壊斜面の地質、崩壊規模、崩壊の素因および崩壊時の降雨量についてまとめて示す。なお、表中の「-」は測定不能、もしくは特定できなかったものである。

Fig.2 には Table 1 に示した降雨量を元にした斜面崩壊発生時の 2 週間累積雨量と日雨量の関係を示す。プロットした点は崩壊斜面から最も近い観測所で観

測された降雨量を元にしたものである。図中に示す曲線は山本ら⁴⁾によって示されたものであり、この曲線より上方にあれば崩壊が発生するという目安となる。Fig.2 からわかるように、いずれの場合も崩壊が発生するのに十分な降雨量であったといえる。特に、1997 年台風 9 号時の日雨量は 500mm を越えているが、これは日確率雨量で調べると、200 年確率雨量を超越するものである⁵⁾。

2.2 崩壊斜面の状況

Photo.1 に 1997 年台風 9 号時に崩壊が発生したむつみ村佐波木 D の斜面を示す。この斜面の地質は花崗岩で切土勾配は 42 度である。斜面下方部には高さ 2.5m、厚さ 0.4m の擁壁工が施されていた。崩壊は斜面上方で発生し平面すべりを呈していたが、擁壁に損傷は無かった。崩壊の規模は長さ 4.2m、幅 10.0m であった。なお、斜面頭部が集水地形であったため、これが崩壊の素因になったと考えられる。

Photo.2 に 1998 年 6 月集中豪雨時に崩壊が発生した宇部市下請川の斜面を示す。この斜面の地質は泥質片岩で切土勾配は 45 度である。斜面全体に法枠工が施されていたが、崩壊により法枠工の一部がはらみ出るとともに道路のアスファルト舗装がめくれ上がった状態となった。崩壊規模は長さ 7.0m、幅 25.0m であった。本地点は斜面上方が沢地形になっていたことから集水地形であるといえる。

Photo.3 に 1998 年台風 10 号時に崩壊が発生した山



Photo.1 Sabaki



Photo.2 Simoukegawa



Photo.3 Yoshiki



Photo.4 Tashiro



Photo.5 Shinsuge

口市吉敷の斜面を示す。この斜面の地質は泥質片岩で切土勾配は45度である。斜面下方部には布団籠工が、上方部には植生工が施されていた。布団籠工は1996年に崩壊した際に施工されたものである。崩壊規模は長さ26.3m、幅22.3mおよび厚さ1.5mであり平面すべりを呈していた。崩壊面を踏査したところ、表層土は指圧で容易に崩れるほど風化が進んでおり、斜面内には発達した片理面が見られた。また、斜面頭部は集水地形であった。

Photo.4に1999年6月集中豪雨時に崩壊が発生した豊北町田代Aの斜面を示す。この斜面の地質は頁

岩で切土勾配は41度である。斜面下方部には布団籠工が、上方部には植生工が施されていた。崩壊は植生工の部分のみで発生しており、布団籠工に被害は無かった。崩壊規模は長さ20.3m、幅22.5mおよび厚さ2.2mであった。また、斜面頭部は集水地形であった。

Photo.5に1999年台風18号時に崩壊が発生した秋芳町新管の斜面を示す。この斜面の地質は砂岩で切土勾配は45度である。斜面下方部には平張りブロック工が、上方部には植生工が施されていた。崩壊は、すべり面上に基岩が露出していたことから、この境界面で発生したと考えられる。崩壊規模は長さ12.2m、幅8.7mおよび厚さ0.8mであった。

3. 斜面崩壊の特徴

地質からみた斜面崩壊の特徴を述べる。Table 1の各斜面を岩石についてまとめると、花崗岩（深成岩）33件、凝灰岩（火山岩）29件、砂岩（堆積岩）15件、安山岩（火山岩）9件、玄武岩（火山岩）7件、頁岩（堆積岩）5件およびその他の岩石11件となっている。山口県の岩石⁶⁾はその成因によって分類するとは火山岩27.9%、深成岩23.2%、堆積岩22.8%、変成岩14.1%、その他は12.0%となっている。このこ

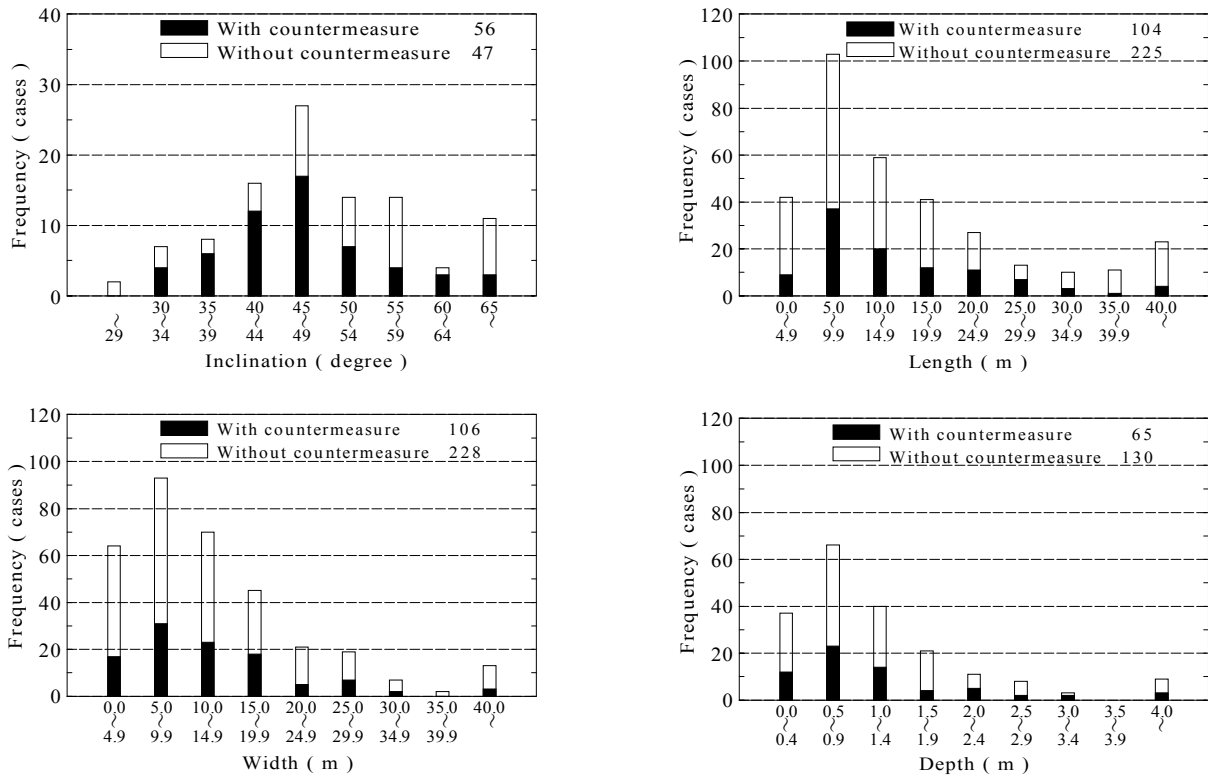


Fig.3 Frequency distribution of dimensions of failed slope.

Table 2 Type of countermeasures

Type of countermeasure	Cases
Sodding	21
Retaining wall	19
Sodding, retaining wall	15
Sodding, Retaining wall, Rockfall prevention wall	9
Retaining wall, Rockfall prevention wall	8
Rockfall prevention net work	7
Crib work	6
Spraying	4
Block pitching	3
Others	15

とから花崗岩からなる斜面が降雨時に容易に崩壊したことが明らかである。1978-1985 年における山口県の調査⁷⁾でも花崗岩斜面の崩壊が最も多いことが明らかにされている。

Fig.3 に対策工の有無毎に分けた斜面の勾配、崩壊規模の長さ、幅および厚さの頻度分布を示す。Fig.3 に示すように、対策工を施した斜面の勾配は45~49度が17地点で最も多く、崩壊規模は長さ5.0~9.9mで35地点、幅5.0~9.9mで29地点、厚さ0.5~0.9mで23地点であった。このように対策工を施した斜面の崩壊規模は中ないし小規模のものが多くを占めていることがわかる。また、対策工が施されていない斜面についても同様である。1997年台風9号時¹⁾、1999年6月集中豪雨時²⁾におけるそれぞれの場合をみても同様の傾向にあることから、崩壊としては

小・中規模のものがよく起こりやすいといえる。

斜面崩壊の素因としては、斜面頭部が集水地形であったり、斜面内に節理が存在していたこと等が挙げられる。これら素因による斜面崩壊が確認されたのは39地点で、このうち集水地形によるもの23地点、節理によるもの11地点および基盤との境界によるもの5地点である。

Table 2には対策工毎に区分した、それぞれの崩壊件数を示す。最も多いのは植生工を施した斜面で21件、次いで擁壁工19件、擁壁工+植生工15件となっている。特に目立つのは、擁壁工を施した斜面での崩壊件数が多いことである。ここで擁壁工を施した斜面の崩壊というのは、擁壁工自体は直接的には壊れず、その背後の植生工を施した切り取り斜面が崩壊するものである。このようなことから擁壁工を施す際には、その上方部に植生工以上の斜面安定の効果が見られる対策工を施す必要があるといえる。

4. 崩壊斜面表層土の土質工学的性質

4.1 物理的性質

崩壊斜面から採取した表層土試料について、土粒子の密度試験、粒度試験および液・塑性限界試験を行った。試料数は採取可能な34試料である。得られた諸物理定数をTable 3に示す。この表からわかるように、各地点での物理定数は地質にかかわらず幅

Table 3 Physical properties and strength properties of surface soils

Sites	ρ_s (g/cm ³)	U_c	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	F_c (%)	F_{clay} (%)	w_n (%)	w_L (%)	w_p (%)	I_p	Soil classification	c_{dn} (kPa)	ϕ_{dn} (Degree)	c_{ds} (kPa)	ϕ_{ds} (Degree)
Anzuke	2.619	290.0	15.8	0.32	30.1	13.0	13.9	30.9	23.0	7.9	SM	38.5	37.3	0.0	34.7
Kandani B	2.720	94.6	10.0	0.68	29.1	6.5	38.0	52.4	33.2	19.2	SM	21.5	47.1	4.4	32.3
Era B	2.659	40.6	13.1	0.17	35.5	8.0	26.4	36.4	29.2	7.2	SM	22.8	30.7	4.7	30.7
Sabaki B	2.668	54.7	2.7	0.17	40.6	9.1	30.5	45.3	28.0	17.3	SM	32.9	28.0	6.8	27.8
Nagao	2.674	47.6	3.1	0.11	45.3	11.5	24.3	37.0	29.3	7.7	SM	33.5	29.7	1.5	29.7
Tsuziyama C	2.700	41.8	15.8	0.13	44.0	8.5	27.6	48.5	35.7	12.8	SM	10.1	52.6	0.0	39.5
Tonogawa A	2.600	16.9	20.2	1.4	7.2	2.6	10.5	-	-	-	S-M	17.8	48.6	5.8	48.6
Hirakashige	2.670	30.6	4.0	0.38	24.4	3.8	44.9	39.8	29.6	10.2	SM	26.9	36.4	6.4	36.4
Noda B	2.690	15.0	8.3	0.045	64.9	12.8	31.1	38.4	24.7	13.7	MH	-	-	-	-
Noda C	2.660	16.7	3.1	0.060	60.6	11.5	31.7	38.9	31.7	7.2	ML	27.6	30.8	14.4	27.0
Tabira A	2.740	63.3	5.9	0.070	50.7	11.0	25.7	55.7	33.3	22.4	MH	-	-	-	-
Sakura C	2.650	37.1	3.5	0.15	38.4	3.7	33.3	40.7	31.2	9.5	SM	40.1	33.1	5.6	27.6
Tsurugatani	2.660	31.5	7.3	0.055	76.8	20.0	49.9	53.2	32.7	20.5	MH	-	-	-	-
Hatake C	2.530	116.7	16.2	0.92	20.6	4.4	10.6	40.9	34.1	6.8	SM	-	-	-	-
Besho A	2.666	46.9	2.0	0.13	39.5	10.1	24.4	34.5	30.1	4.4	SM	29.9	28.5	4.7	26.2
Hukitan	2.690	29.0	4.8	0.16	38.2	6.0	19.8	34.8	25.0	9.8	SM	10.1	43.1	0.0	33.0
Takagishi	2.646	75.3	18.6	0.37	23.2	6.8	14.3	23.5	20.6	2.9	SM	25.8	35.9	3.6	27.9
Hotoketouge	2.660	276.7	30.1	6.4	11.4	4.2	-	33.8	18.6	15.2	G-M	-	-	-	-
Shimoukegawa	2.680	44.6	4.8	0.13	38.1	4.8	-	32.9	19.4	13.5	SM	-	-	-	-
Yoshiki	2.690	27.3	9.5	0.040	58.3	14.8	-	34.4	25.6	8.8	ML	10.8	36.5	3.5	36.2
Yahata	2.629	142.9	23.2	1.0	48.0	8.6	-	39.2	24.3	14.9	GM	-	-	-	-
Okuira	2.644	-	6.0	0.14	55.0	22.0	-	43.5	24.5	19.0	CL	-	-	-	-
Tononhu	2.614	391.3	6.3	0.90	26.8	12.0	-	23.9	18.7	5.2	SM	-	-	-	-
Toyohara	2.643	113.6	25.6	0.50	44.2	11.0	-	26.2	17.5	8.7	SM	-	-	-	-
Tenigadake	2.706	-	14.7	0.83	35.5	19.0	-	41.6	23.9	17.7	SC	41.3	29.7	6.3	29.2
Tashiro A	2.658	15.0	7.0	0.027	85.8	20.8	-	43.5	33.2	10.3	ML	25.9	30.5	6.5	24.3
Kottoi	2.618	24.0	3.6	0.24	34.0	5.9	-	30.2	23.7	6.5	SM	-	-	-	-
Hijuu	2.697	91.2	21.4	0.52	46.8	9.0	-	48.5	22.3	26.2	GM	26.8	25.2	0.0	24.1
Kuranoue	2.697	93.8	23.3	0.30	37.7	12.2	-	31.5	22.7	8.8	SM	-	-	-	-
Tachino A	2.735	258.1	34.9	8.0	19.0	3.0	-	29.3	25.7	3.6	GM	-	-	-	-
Nijoukubo	2.659	18.8	13.3	0.15	56.1	7.5	-	30.7	21.6	9.1	CL	34.1	33.2	0.0	29.5
Oshio	2.710	53.8	17.1	2.7	9.6	2.7	36.7	-	-	-	G-M	-	-	-	-
Kisui	2.730	-	6.0	0.055	93.6	16.0	53.0	67.6	35.7	31.9	MH	27.1	23.5	15.0	22.8
Niho	2.780	70.9	14.4	0.075	49.8	8.0	22.9	36.1	26.1	10.0	GM	-	-	-	-

- : unknown data

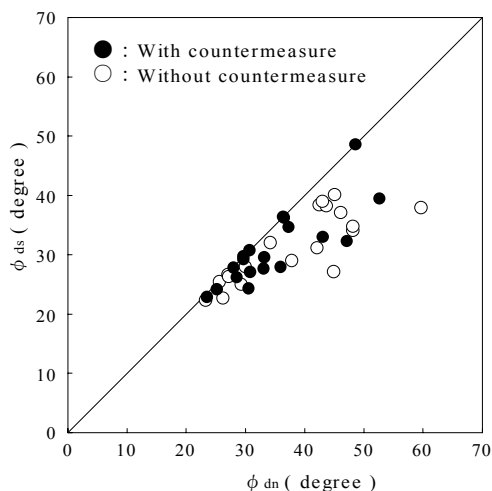


Fig.4 Internal friction angles, ϕ_{dn} and ϕ_{ds} for each surface soil under unsubmerged and submerged condition, respectively.

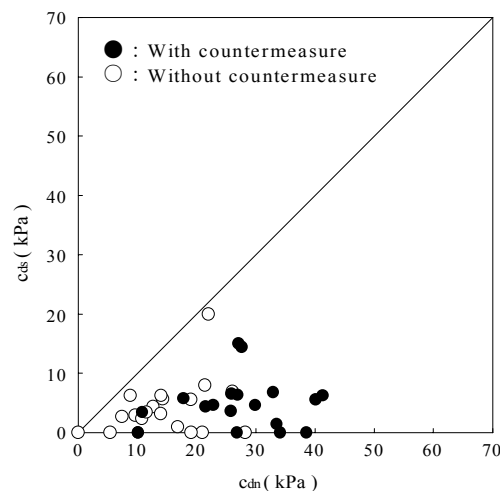


Fig.5 Cohesion, c_{dn} and c_{ds} for each surface soil under unsubmerged and submerged condition, respectively.

広く変化している。これは風化の影響が大きく作用したためと考えられる。土質分類によるとシルト質

砂 (SM) 17 試料, シルト質礫 (GM) 4 試料, 高液性限界シルト (MH) 4 試料, 低液性限界シルト (ML) 3

試料, シルトまじり礫 (G-M) 2 試料, 粘質土 (CL) 2 試料, シルトまじり砂 (S-M) 1 試料および粘土質砂 (SC) 1 試料であり, シルト質砂に分類される表層土が最も多い。崩壊斜面の表層土の多くがシルト質砂に分類されることはよく知られている。

4.2 強度特性

崩壊斜面表層土のせん断強度を求めるために定圧一面せん断試験を非水浸および水浸状態の2通りについて行った。試験条件は圧密時間 30min, せん断速度 1.0mm/min であり, 垂直応力 σ_N は 0~147 kPa のうち3通りに変化させた。対策工が施されていた斜面の表層土に対する一面せん断試験結果を **Table 3** に示す。**Fig.4** には **Table 3** を元に, 非水浸状態の内部摩擦角 ϕ_{dn} を横軸に, 水浸状態の内部摩擦角 ϕ_{ds} を縦軸にとったものを示す。比較のため, 対策工が施されていない斜面の表層土の試験結果もあわせて記す。表層土の内部摩擦角は対策工が無い場合より有る場合のほうが若干小さい値を示し, 概ね 25~40° の範囲にある。また, どちらの場合も水浸による変化は小さい。**Fig.5** は粘着力 c_d に対して **Fig.4** と同様に示したものである。非水浸時の粘着力は対策工が有る場合の方が大きな値であるが, 水浸時で見るとほぼ似たような値となっており, その範囲は c_{dn} では 20~40 kPa, c_{ds} では 0~10 kPa である。どちらの場合も水浸による変化は大きい。これらのことから水浸することによりどちらの場合も斜面表層土の強度は低下し, その減少は内部摩擦角より粘着力のほうが顕著に表れている。しかし, 対策工の有無にかかわらず, 水浸時における表層土の強度定数にそれほど差は無い。このことから対策工を施した斜面においても多くの斜面崩壊が発生するのは斜面表層土が保持しているせん断強度による違いよりはむしろ斜面の地質・地形的要因が大きいことが挙げられる。その中で特に, 前章で述べたように集水地形の影響が大きいのではないかと考えられる。

5. まとめ

対策工を施してあった崩壊斜面の現地調査および土質試験結果から得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 調査した 354 地点のうち約 1/3 は何らかの対策工が施されていた斜面である。
- 2) 崩壊斜面の地質は花崗岩が最も多いことから, 崩壊が起きやすい地質である。
- 3) 崩壊規模は対策工の有無にかかわらず, 長さ 5.0~9.9m, 幅 5.0~9.9m および厚さ 0.5~0.9m が最も多かった。

- 4) 崩壊の素因として, 集水地形が指摘できる。
- 5) 施工されていた対策工で最も多く見られたのが植生工および擁壁工である。特に, 擁壁工の場合はその上方部で崩壊が発生していることから上部斜面に何らかの対策を講じる必要がある。
- 6) 表層土の土質はシルト質砂が最も多かった。
- 7) 対策工が有る斜面表層土の内部摩擦角は非水浸・水浸時ともに 20~40° の範囲に有り, 粘着力は非水浸時で 20~40kPa, 水浸時で 0~10kPa の範囲に有る。対策工が無い所の内部摩擦角は非水浸時で 20~50°, 水浸時で 20~40° の範囲に有り, 粘着力は非水浸時で 10~20kPa, 水浸時で 0~10kPa の範囲に有る。
- 8) 上記 4), 7) から, 対策工が施された斜面の崩壊は表層土の強度よりもむしろ地質・地形的要因によるところが大きい。

謝辞

本研究に対して調査, 実験等において様々な御尽力を頂いた当時研究室学生松本 直氏(現 日特建設(株)), 葛城祐司氏(現 岡本土木(株)) および兵頭英樹氏(現 大林組(株)) に深く感謝します。

参考文献

- 1) 松本 直・山本哲朗・鈴木素之: 対策工を施した斜面の豪雨による崩壊から得た教訓, 自然災害科学研究西部地区部会報, 研究論文集, Vol. 23, pp. 17-22, 1999.
- 2) 山本哲朗・鈴木素之・宮内俊彦: 1999年6月集中豪雨による山口県の地盤災害, 土と基礎, vol. 47, No. 10, p. 46, 1999.
- 3) 山本哲朗・鈴木素之・原田 博・宮内俊彦・寺山 崇: 超簡易現場せん断試験機による不連続面のせん断強度, 第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 365-366, 2000.
- 4) 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.
- 5) 山口県土木建築部編: 台風 9 号災害記録誌, 1997.
- 6) 山口地学会編: 山口県の岩石図鑑, 第一学習社, p. 14, 1985.
- 7) 山本哲朗・大原資生: 山口県下で発生した豪雨による急傾斜地の予測のためのデータベース化, 山口大学工学部研究報告, Vol. 40, No. 2, pp. 71-79, 1997.

(平成 12 年 8 月 28 日受理)