

# 三郡変成帯の切土のり面に見られる 豪雨崩壊の特徴について

— 山口県宇部市の場合 —

山本 哲朗\*

Characteristic of Cut Slope in Sangun Metamorphic Region Failed by  
Heavy Rainfall — In Case of Ube, Yamaguchi —

Tetsuro YAMAMOTO\*

## Abstract

From the standpoint of petrology and soil engineering, an investigation was made on slopes which failed due to heavy rain during the years 1991~93 in the Sangun metamorphic region in the Ukegawa district of Ube, Yamaguchi prefecture.

It was found that the slope grounds consist of clay with gravel to silt produced by weathering of the basic schist, contact metamorphic rock and granite. Also, it was clarified that slope failure is divided into two classes: one is the slip occurred between the soil layer and soft rock with same host rock, and the other is between the soil layers with different host rocks.

## 1. まえがき

山口県宇部市南部に位置する片倉，請川から小串に至る細長くて狭い範囲の丘陵地にかけては三郡変成帯（狭義の分類では中生代高圧型の周防変成帯という）が分布している<sup>1),2)</sup>。これと同種のもは県下ではその他に山口市およびその周辺部および徳山～錦町地域の2地域に分布している。その分布状況はFig. 2に示すとおりである<sup>2)</sup>。

宇部市に分布する三郡変成帯内には中山地区の一区画が地すべり地帯に指定されていることからわかるように、三郡変成帯の地盤は降雨に対しては安定なものとは言い難い。

この三郡変成帯にある請川および川上両地区では昭和61年から道路改良工事が行われてきており、それともなつて標高125m程度の丘陵地の山腹が開削されて

切土斜面（人工斜面）が造成された。

両地区の斜面は大部分は塩基性片岩からなり、一部に泥質片岩を含むが、それが花崗岩の貫入による接触変成作用を受けて生成した接触変成岩のいずれもが著しく風化して生成した比較的ゆるい土粒子構造をもつ粘土混じり礫、粘土質砂やシルト地盤からなる。そのため斜面切取り直後から毎年のようにかなりの規模、頻度でもって豪雨時を中心にして斜面の崩壊が発生している。

とくに本年7月中旬～8月中旬の間にかけての梅雨およびその末期での集中豪雨の際には長雨と強い降雨強度の影響のせいもあって当地区内で都合10数箇所の斜面が崩壊した。

とくに請川地区の斜面では以前に豪雨で崩壊して復旧対策としてコンクリートのり枠等を施していた斜面が上記の期間中の豪雨によって再度崩壊し、のり枠が著しく破損するという被害を被った。

本報告はこの請川地区において今年の豪雨で崩壊した斜面を中心にしてその崩壊の原因を斜面を構成する

\*社会建設工学科

地盤について岩石学および土質工学的立場からの調査を行って得られた結果がのべられている。

## 2. 調査地の地質概要

今回の調査で対象とした宇部市請川地区における切土のり面の位置はFig. 1に示す。これは県道西岐波吉見線への取り付け道路として幅員9mの請川・王子線道路を敷設する際に標高125mの丘陵地を開削して作られたものである。調査はこの道路取り付け点から東方に500m間で斜面の崩壊を繰返して発生している南側の斜面を対象にして行った。

この地区の地質はFig. 2に示すように三郡変成岩(周

防変成岩)で宇部市南部で片倉、請川、北迫、西山、小串にかけて細長く分布する範囲の東端部に位置する。この変成岩は当地区では白亜紀の花崗岩あるいは第四紀地盤と境界を有する。

すなわち調査地域の地質に限定すると取り付け道路から東の方へ約500mまでは三郡変成岩でそれから東部が花崗岩と区分される。

この三郡変成帯と同種のもは県下ではこの他に山口市およびその周辺、徳山市～錦町地域の2地域に当地区よりも広範囲にわたって分布している。

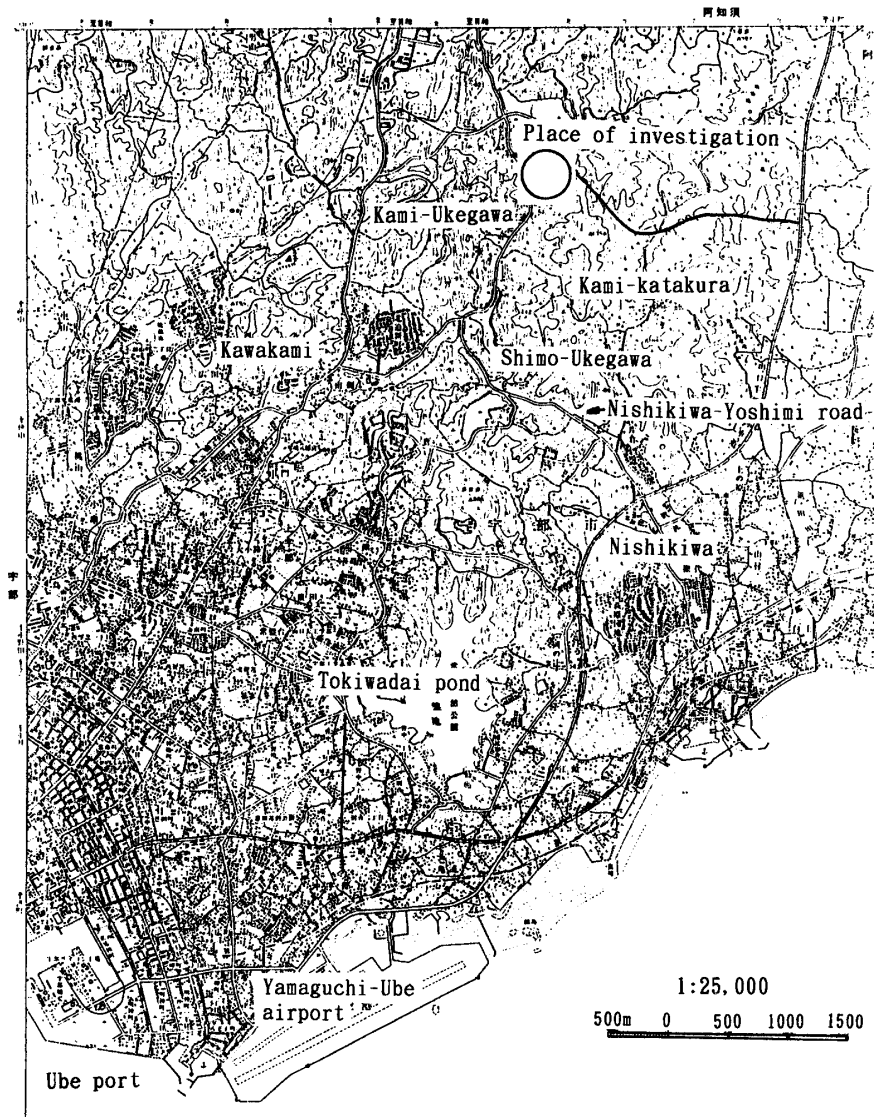


Fig. 1 Place investigated in this study (This topographical map is a part of Ube-tobu's one by Geographical Survey Institute)

### 3. 豪雨による斜面の崩壊履歴

#### 3.1 崩壊した斜面の概要

のり面勾配が1割3歩から1割5歩程度の山腹が切取られて、道路両側に勾配1割の斜面が造成された。その表面は鉄製ネットなどを用いて補強され、また植生工も併用して、おもにごく浅い部分の表層土の崩落に対する対策が講じられた。

当初からこの斜面の地盤は三郡変成岩が風化した脆い土質からなるので、降雨に対してきわめて容易に崩壊することが懸念されたが、諸般の事由によって止むを得ずに当地区に道路が敷設された。

そういう理由もあって斜面を整備した直後からこの斜面には小規模の地すべりが発生したり、また毎年のように豪雨によって斜面がすべり崩壊した。

本調査では過去に豪雨ですべり崩壊した斜面の内で復旧工を講じた斜面あるいはその近傍にあり、本年の集中豪雨で崩壊したものを中心に検討の対象にした。それはFig. 3に示す斜面I～VIの6箇所である。図中

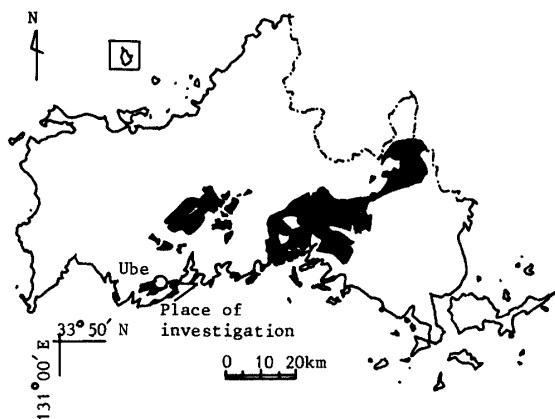


Fig. 2 Distribution of Suou metamorphic rock in Yamaguchi prefecture (On the basis of Nishimura et al.<sup>2)</sup>)

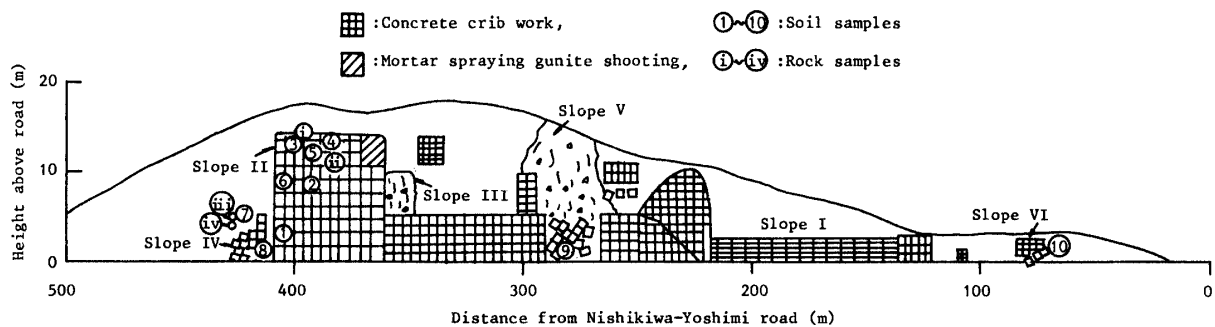


Fig. 3 Places of slopes failed, soils and rocks sampled

にのり枠工（図中に基盤の目状で示す）を記した場所での斜面の崩壊は過去に崩壊した斜面が今年に再度崩壊したものである。なお、Fig. 3では標高の縮尺が水平距離に比べて誇張して描かれている。これによると崩壊した斜面の面積の全体に対する割合は50%にも及んでいることがわかる。

6箇所の斜面について崩壊の規模、崩壊の形態および崩壊日を纏めてTable 1に示した。αは斜面の勾配である。

以下にそれぞれの斜面の崩壊の特徴をのべておく。

〔斜面I〕昭和63年の斜面切取り直後から地すべりの兆候が認められたので、その対策としての平成3年に鋼管抑止杭工（φ=350mm）および排水ボーリング工（φ=66mm）が施された。

〔斜面II〕最も規模の大きい崩壊（長さ(L)18.7m、幅(W)50.4m、深さ(D)2.5m）であり、3段階の大きいすべりが表層土内で発生した。Photo. 1 (a)は崩壊した斜面の一部の状況の写真である。またPhoto. 1 (b)は復旧のためののり枠工工事の際に崩壊した地盤を除去し、斜面を再度整地した時の写真である。

Fig. 4は斜面がすべった様子を模式的に示した図である。これから最初にまさ土と塩基性片岩の風化したシルト質砂の間ですべりが発生し、それにとまって上位の斜面が不安定になり、引き続いてシルト質砂と接触変成岩の風化したコブルとボルダーを含むシルト地盤との間ですべりが発生し、さらにこの接触変成岩の風化土と塩基性片岩の風化土との境界ですべりが発生したものと考えられる。後で記載するようにこの接触変成岩は今回の調査で初めて確認されたものである。

この斜面は平成4年にコンクリートのり枠工で復旧され、本年の豪雨では崩壊していない。

〔斜面III〕過去に崩壊して復旧工を施した斜面の直上の部分が小規模の崩壊を発生したものである。すべり面上で水平面と40度をなす層理面を有する塩基性片岩が風化した軟弱土層が確認された。崩壊部の側面には風化度が小さい花崗岩が存在していた。

Table 1 Summary of slopes failed during the years 1985~93

Slope No.	Dimension of slope			Failure type	Date	
	$\alpha$ (degree)	L (m)	W (m)			D (m)
I	49~62	22.8	49.5	8.1	Circular slip (Soil layer~soft rock layer)	Jul., 1985
II	46	18.7	50.4	2.5	Plane slip with three stages (One soil~another soil layer)	Jul. 5, 1991
III	44	7.3	11.8	1.2	Plane slip (Soil layer~soft rock layer)	Jul. 27, 1993
IV	46	17.7	16.1	0.6	Plane slip (One soil layer)	Aug. 2, 1993
V	40	13.4	42.3	1.8	Plane slip (Soil layer~soft rock layer)	"
VI	49	6.4	5.0	0.7	Plane slip (One soil layer)	"

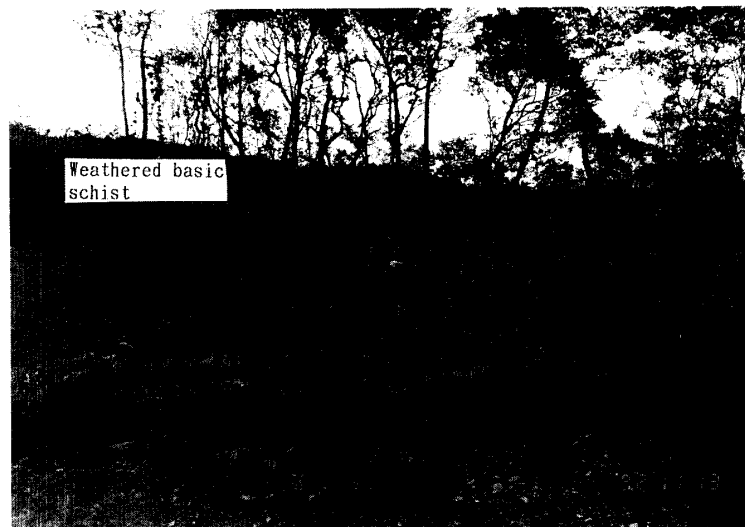


Photo. 1 (a) Photograph of a portion of slope failed II

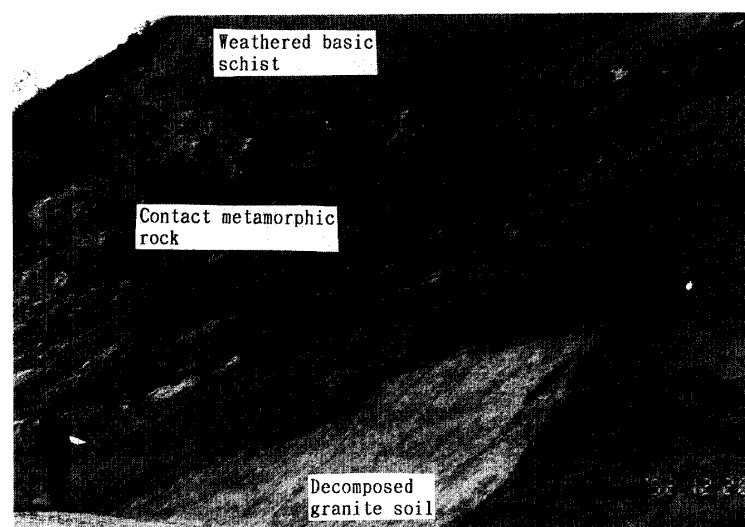


Photo. 1 (b) Photograph of a portion of slope failed II after re-cut

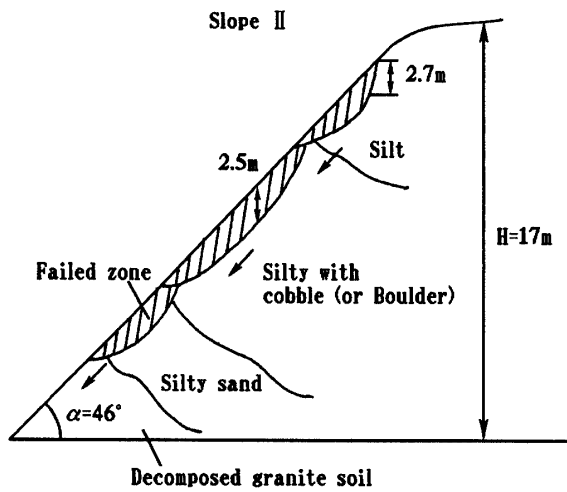


Fig. 4 Schematic diagram of slope II failed

[斜面Ⅳ] 接触変成岩の風化土とまさ土の境界で発生した、すべり深さが浅い小規模の表層土の崩壊である。

[斜面Ⅴ] 復旧対策としてのコンクリートのり枠(縦、横の長さ100×100cm, 厚み15cm)が著しく損傷を受けた斜面であり、比較的規模が大きい崩壊である。その状況はPhoto. 2に示す。また、その模式図はFig. 5に示す。これからわかるように崩壊の原因は塩基性片岩が著しく風化した土層がその下位にある風化度が小さい同軟岩上ですべることによって発生したものである。崩壊部分の両方の側面にはそれほど風化が進行していない花崗岩が露頭として確認された(Photo. 3)。

すべり面は風化した塩基性片岩の層理面に相当し、それが水平面とのなす角度は50~58度であり、この斜面ではこの面が流れ盤となっている。

すべり面にはすべった痕跡である細長い線状の引っかいたような溝が認められた。

[斜面Ⅵ] コンクリートのり枠内で発生した規模が小さい塩基性片岩の風化土の小規模のすべりによる崩壊である。

### 3.2 斜面の崩壊と降雨量の関係

1991年および1993年に崩壊した斜面に対して崩壊する当日までの日雨量の経日変化を示したのがそれぞれFigs. 6 (a), (b)である。Fig. 6 (a)が斜面Ⅱ, Fig. 6 (b)が斜面Ⅲ~Ⅵに対するものである。雨量データは当地域から約7kmの距離にある下関地方気象台山口宇部空港出張所で得られたものであるので、Fig. 6の結果を用いて当地区での斜面の崩壊特性を降雨量との関係から厳密には議論することはできない。

累積雨量として前2週間雨量を用い、それと当日雨

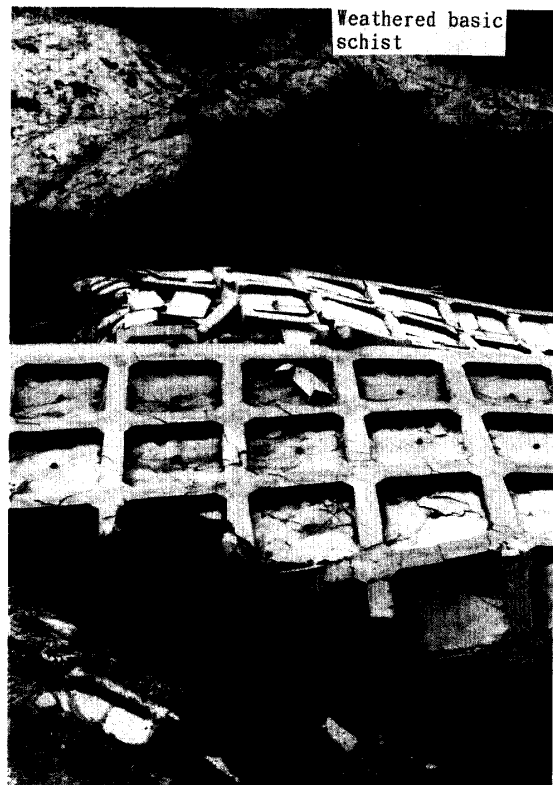


Photo. 2 Photograph of a portion of slope failed IV

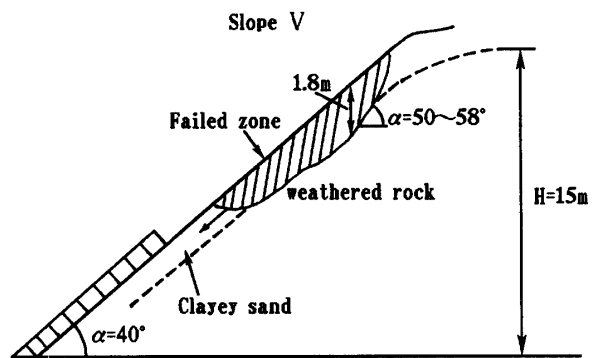


Fig. 5 Schematic diagram of slope V failed

量との関係図<sup>3)</sup>の中に崩壊斜面に対する値を図示するとFig. 7の結果が得られた。この結果を見る限り、Slope IIの崩壊は前日までの降雨量が大きく、当日雨量が小さいときに発生しているのに対して、Slopes IV~Ⅵの崩壊は両者の雨量の関係が逆のときに発生している。Slope IIIはこの2つの型の斜面の崩壊時の雨量特性の中間的なもので崩壊している。

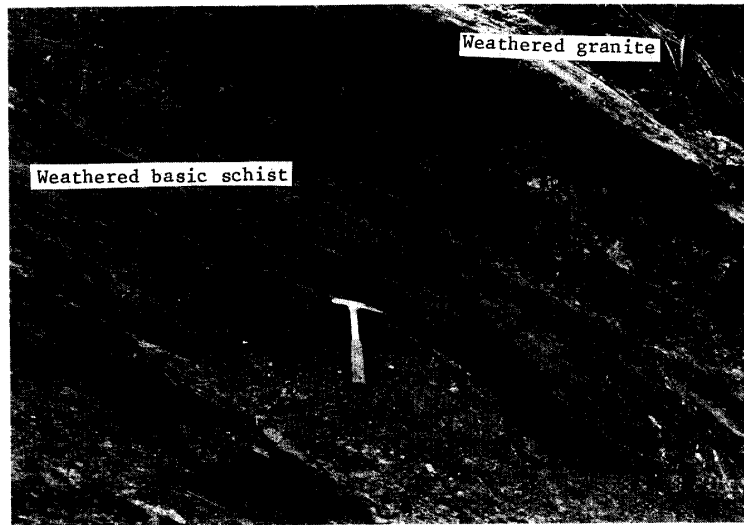


Photo. 3 Contact portion of weathered basic schist and granite observed in slope V

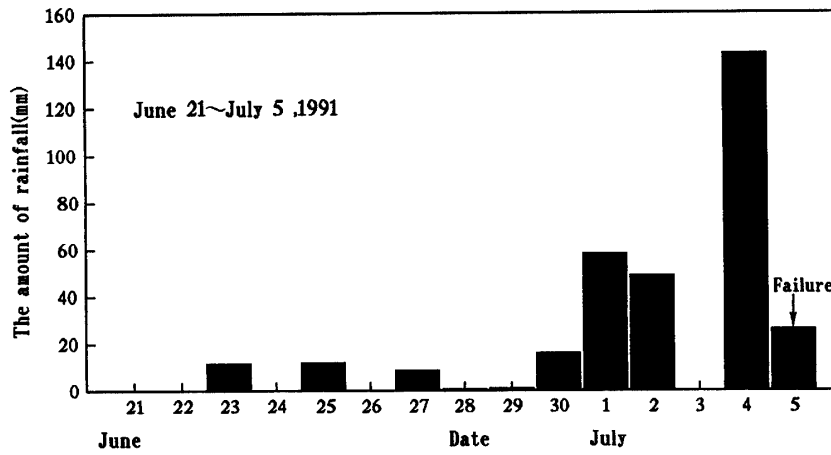


Fig. 6 (a) The amount of daily rainfall during June 21~July 5, 1991 (case of slope III)

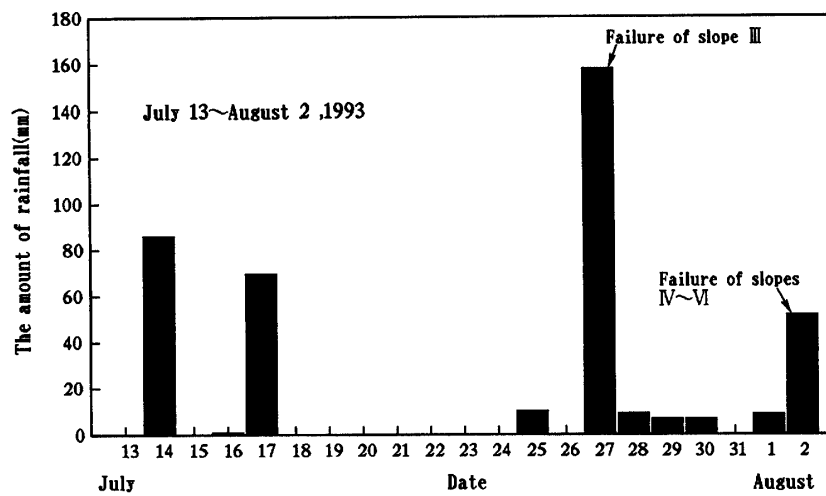


Fig. 6 (b) The amount of daily rainfall during July 13~August 2, 1993 (case of slopes III ~ VI)

4. 斜面を構成する岩石および土の記載

Fig. 3 に示した崩壊した斜面の中で露頭の観察が十

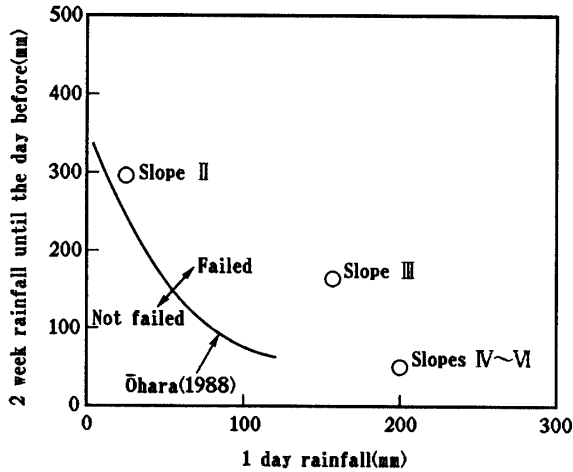


Fig. 7 The amount of accumulated rainfall until slopes failed

分できる機会があった斜面IIを中心としてNos. i ~ iv の位置で岩石試料を採取した。またNos. 1 ~ 10 の場所で土試料を採取した。

岩石についてはX線回折および顕微鏡観察によって同定を行った。土試料については通常の物理試験および一面せん断試験、一軸圧縮試験を行って土質の種類を判定し、また強度定数を求めた。以下に両者の結果を別々に記載する。

4.1 岩石

Table 2 はそれぞれの箇所で採取した岩石とその造岩鉱物を示したものである。Photo. 4 はNo. i で得られた、かなり風化が進んだ塩基性片岩の塊状試料の顕微鏡写真を示す。またFig. 8 はそのX線回折結果を示す。両方の結果からTable 2 に記しているようにこの試料の造岩鉱物として緑泥石、白雲母、斜長石、不透明鉱物が確認された。またX線回折図から粘土鉱物が存在することがわかった。

Photo. 5 はNo. ii で得られた接触変成岩の顕微鏡写真を示し、Fig. 9 はそのX線回折図を示す。これからこ

Table 2 Result of identification of roks sampled

Sample No.	Rock	Mineral
i	Basic schist	Quartz, Chlorite, Muscovite, Tourmaline, Plagioclase, Opaque mineral, (Clay mineral)
ii, iii, iv	Contact meta-morphic rock	Anthophyllite, Talc, Opaque mineral

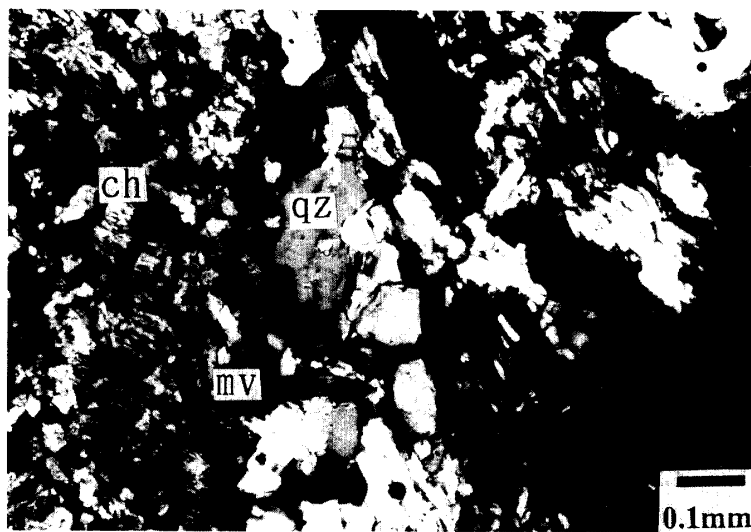


Photo. 4 Photograph of polarization microscope of weathered basic schist ① (cross nicol); qz: quartz, mv: muscovite, ch: chlorite

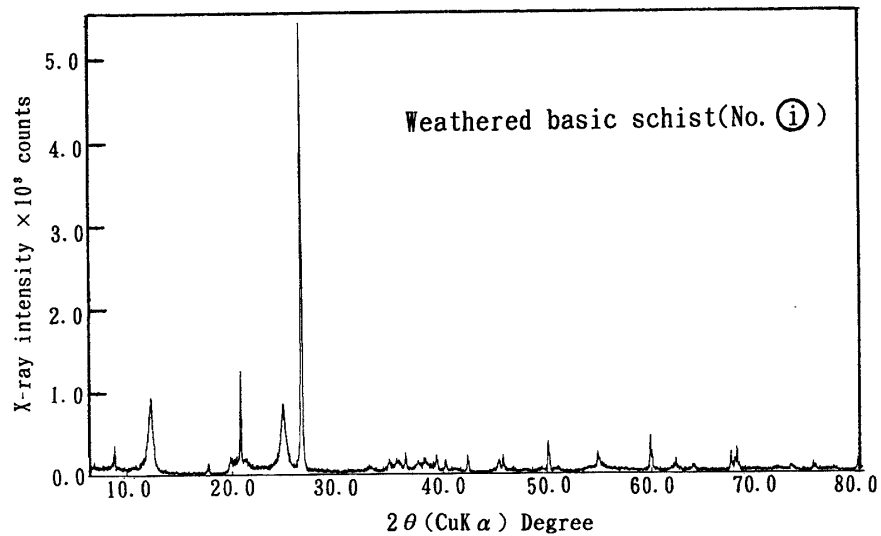


Fig. 8 X-ray diffraction pattern of weathered basic schist ①



Photo. 5 Photograph of polarization microscope of contact metamorphic rock ② (cross nicol); ant: anthophyllite, tc: talc

の岩石の造岩鉱物として直閃石、滑石、不透明鉱物が確認された。この接触変成岩は花崗岩マグマが塩基性片岩体に貫入するのに伴って、それが温度400~600°Cで非常に低い圧力下での接触変成作用を受けて生成されたものと考えられる<sup>2)</sup>。宇部市の三郡変成帯で見出された、この接触変成岩は本研究で初めて確認されたものと考えられる。

こういう岩石の鑑定の他に斜面の露頭の調査結果およびボーリング柱状図に基づいて、Fig.10に示すような斜面内の地質断面図を作成することができた。この図にみられるように接触変成岩はとくに花崗岩帯(実

際にはまき土帯)のごく近傍に分布し、その厚さは最大で8m程度に達すると推定される。また花崗岩は標高90m程度まで貫入していることから、過去に山腹が侵食されたか隆起が起こったものと理解される。

なお三郡変成帯と花崗岩帯の鉛直の境界部すなわち道路面の高さ(標高100m~105m)において基盤岩である花崗岩間にペグマタイトが挟在していた。

#### 4.2 土の分類

各箇所採取した土の粒度分布曲線はFig.11に示す。物理定数はTable 3に、塑性図の結果はFig.12に示す。



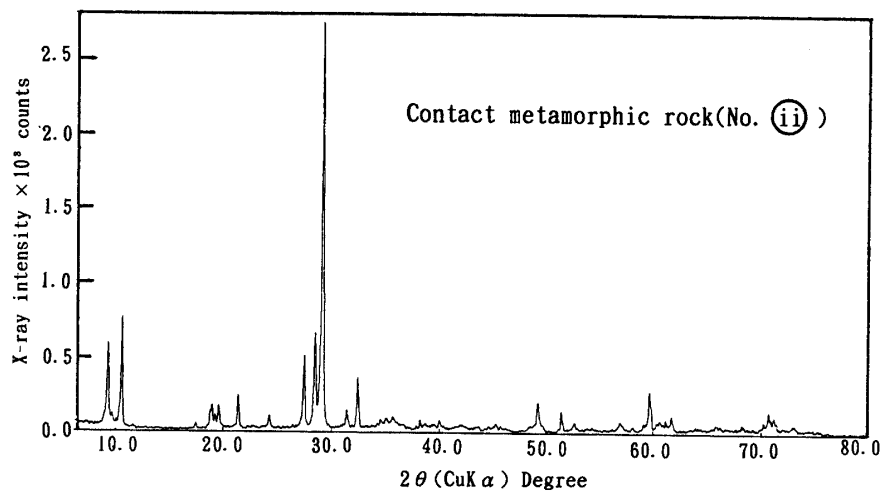


Fig. 9 X-ray diffraction pattern of contact metamorphic rock ②

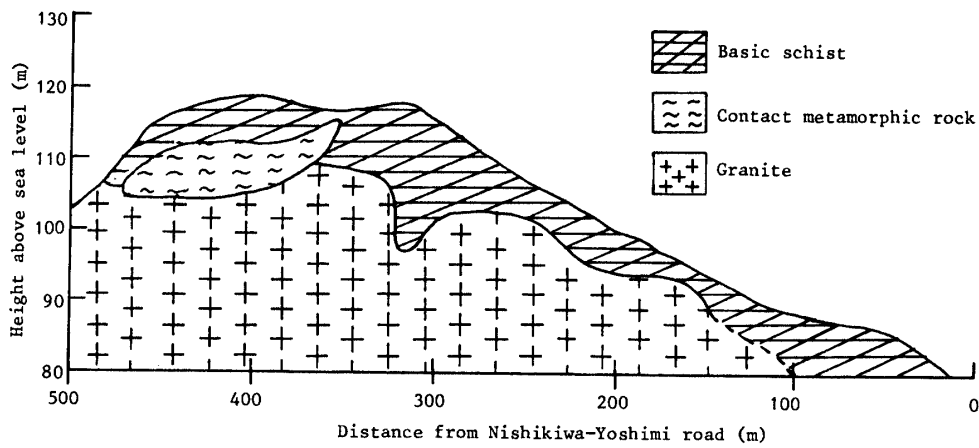


Fig.10 Geological cross-section of slope investigated

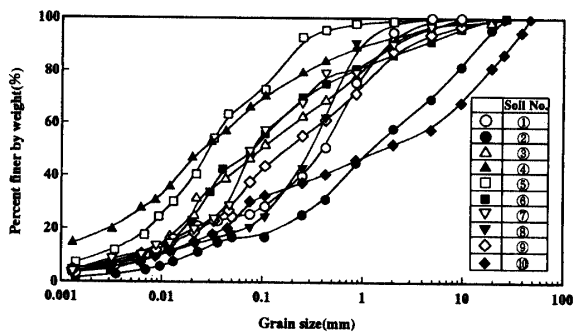


Fig.11 Grain size distribution curves of soils sampled

これらの結果からほとんどの土はシルト (ML) ないし粘土混じり砂 (S-C), 粘土質砂 (SC) の範疇に分類され, 土の種類の原因による差異は認められなかった。

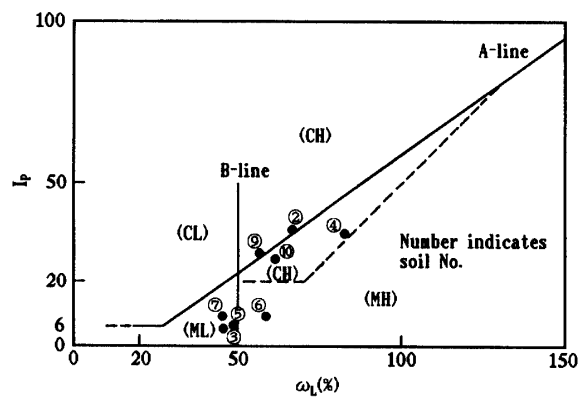


Fig.12 Plasticity chart for soils sampled

なお接触変成岩が風化して生成したNo. 3の土質はシルトであるが, この土は地形との関係から他の土に比べて採取時の含水比が高く非常に軟らかい状態である。

Table 3 Physical properties and classification of soils sampled

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$G_s$	2.63	2.81	2.68	2.93	2.79	2.71	2.71	2.61	2.70	2.82
$U_c$	81.4	119.1	32.8	—	17.0	16.5	26.0	37.3	67.0	168.0
$D_{max}$ (mm)	9.52	26.5	26.5	9.5	9.5	26.5	19.1	6.0	25.4	46.5
$D_{50}$ (mm)	0.42	1.2	0.1	0.03	0.03	0.08	0.08	0.31	0.18	1.6
FC (%)	25.3	14.0	46.3	65.8	58.8	14.0	49.6	20.5	37.5	30.2
$F_{clay}$ (%)	7.8	3.8	7.5	24.0	14.6	3.8	9.0	8.0	9.1	5.6
$w_L$ (%)	29.3	66.5	45.4	82.5	48.5	58.5	45.2	32.3	56.5	61.3
$w_P$ (%)	NP	30.6	40.0	47.7	42.1	49.4	36.0	NP	27.7	34.3
$I_p$	NP	35.9	5.4	34.8	6.4	9.1	9.2	NP	28.8	27.0
Soil type	SM	S-C	ML	CH	ML	ML	ML	SM	SC	GC

Table 4 Strength parameters of soil sample 1 and weathered rock sample i

Sample No.	Type of soil or rock	Unit weight $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Water content $w$ (%)	Cohesion $c_{cu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Angle of internal friction $\phi_{cu}$ (°)
1	Silt	17.66	24.1	6.9	24.5
1	Silt	17.54	35.4	0.0	18.0
i	Soft rock (Vertical)	14.18	13.1	4.9	60.0
i	Soft rock (Horizontal)	13.94	15.7	25.5	34.5

あった。

まさ土は2箇所採取したが、両者にはNo. 8のまさ土はNo. 1に比べて長石分に富むといった違いがあるものの、いずれもシルト質砂(SM)に分類された。

#### 4.3 土の強度定数

Table 4は原岩は同じ塩基性片岩であって風化度が著しく異なる2つの土試料、すなわち粉末状のシルト、および塊状の土試料に対して行った一面せん断試験から得られたせん断抵抗角 $\phi_{cu}$ と粘着力 $c_{cu}$ を示す。前者の試料は含水比が2とおりの場合の値、後者は供試体を作るときに切り出す方向を層理面に対して2とおりに変えた場合の値が示されている。

Table 4から含水比 $w$ が大きくなるほどシルトの粘着力およびせん断抵抗角は小さくなるのがわかる。また両方の土の粘着力 $c_{cu}$ は0~7kPa、せん断抵抗角 $\phi_{cu}$ は18.0~24.5°であってこの値は通常のシルトの値と大差はないという結果が得られた。

これに対して同じ場所で採取した塊状の土試料の場合には層理面がせん断面に垂直である供試体(Vertical)とせん断面に平行である供試体(Horizontal)では

$\phi_{cu}$ と $c_{cu}$ の両方の値に顕著な差異が生じていることがわかる。このことは本現場に見られるような層理を有する塩基性片岩が風化した地盤を含む斜面についてすべり崩壊に対する安定計算を行う場合には層理面と斜面の勾配がどういう関係にあるかを事前に知っておかねばならないことを示唆する。

また、風化の度合いが大きくなると $\phi_{cu}$ は減少するが、層理面とせん断面との向きによって $c_{cu}$ は塊状土が粉末土のそれより大きくなる場合あるいはその逆の場合があることがわかる。

塊状の試料からそれぞれ圧縮方向に垂直な層理をもつ供試体(Horizontal)と平行な層理をもつ供試体(Vertical)について一軸圧縮試験を2回ずつ行った。供試体の直径は約3.5cm、高さは約7.0cmである。得られた応力とひずみの関係をFig. 13に示す。この図から層理面の圧縮方向に対する向きにかかわらず、一軸強度 $q_u$ は10~20kPaとなり、一面せん断試験の場合にみられた層理面とせん断面との向きによる強度の差は認められなかった。これは土が脆いため所定の断面をもつ端面になるように整形することができず、断面が小さい一軸供試体ではその影響が層理面の違いによる

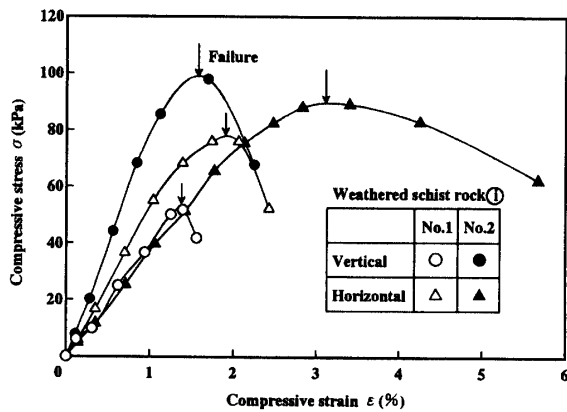


Fig.13 Result of uni-axial compression tests on weathered basic schist

$q_u$ の違いよりも大きく効くためと考えられる。

### 5. 結 論

宇部市請川地区の三郡変成岩帯(狭義の周防変成帯)の丘陵地の山腹を切り出した斜面のうち、とくに花崗岩が貫入している部分において過去5年間に集中豪雨に起因するすべり崩壊が繰返して発生している。

本文ではこの斜面に対して岩石学および土質工学の観点からの調査を行い、当地区の豪雨による斜面の崩壊の特徴を明らかにした。得られた結論は次のように要約される。

(1) 得られた斜面の地質断面によると最上位には塩基性片岩が主体で、一部に泥質片岩を含む三郡変成岩が位置し、その下方部に花崗岩が貫入しているが、両者の接触部で地質的に花崗岩と塩基性片岩の境界部の近傍に厚さ8m程度の接触変成岩が存在することが確認された。

(2) 当地域の接触変成岩は今回の調査で初めて発見されたもので、直閃石、滑石、不透明鉱物とその造岩鉱物である。

(3) 斜面の表層部には塩基性片岩および接触変成岩が著しく風化した地盤が最大厚で2m程度堆積しており、それは土質分類上はシルトあるいは粘土混じり

砂、粘土質砂の範疇に分類される。

(4) 豪雨による斜面のすべり崩壊はその規模が比較的大きいものについては2つの型に分けられる。1つは塩基性片岩が著しく風化したシルト層からなる表層土が、その層理面にそって下位のかなり風化した軟岩状態の塩基性片岩との境界ですべる型で、いわゆる表層土層のすべりである。もう一つは塩基性片岩、接触変成岩および花崗岩のそれぞれが風化した異種の地盤との境界で発生する表層土内の多段階のすべりである。

(5) 塩基性片岩が風化した塊状土の一面せん断試験によって強度定数は層理面の向きに密接に関係することがわかり、この種の地盤からなる斜面の安定性を論じる場合には層理面の向きを考慮に入れた設計計算が必要と考えられる。

### 謝 辞

この研究を行うに当たって本学部島 徹史教授には偏光顕微鏡およびX線回折計を快く使用させて頂くことなどを初めとして種々御配慮を頂いた。さらに同教授および本学教養部西村祐二郎教授には鉱物の鑑定で懇切丁寧な御教授を頂いた。また土質実験は本学部卒業生(現日本国土開発(株)) 鶴 貴之氏および本学大学院前期課程1年石川光雄氏に御手伝い頂いた。ここに記してこれらの皆様に厚く謝意を表する次第であります。

### 参考文献

- 1) 高橋英太郎他：山口県の地質，山口県立山口博物館，1975
- 2) 山口地学会編(編集代表西村祐二郎・松里英男)：山口県の岩石図鑑，1991
- 3) 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崩壊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.71~79，1990

(平成5年10月12日受理)