

花崗岩の貫入を受けた三郡変成岩からなる切土斜面の崩壊

Failure of a Cut Slope Consisting of Sangun Metamorphic Rock
Subjected to Granite Intrusion

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

松 本 直 (まつもと なお)

山口大学大学院理工学研究科博士前期課程

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

国 広 清 己 (くにひろ きよみ)

サンヨーコンサルタント(株) 課長補佐

1. ま え が き

山口県内において三郡変成岩の一種である泥質片岩にアプライト花崗岩の貫入した山腹を開削して切土斜面を作った後、ほとんど降雨に見舞われない状態で、その斜面に大規模な崩壊が発生した。崩壊はアプライト花崗岩の接触変成作用によって変質した泥質片岩とアプライト花崗岩の地質境界部、および泥質片岩の片理面といった斜面の弱い部分から発生した。

本文では、地質的に特徴のある、この斜面の崩壊を現地調査した結果、およびアプライト花崗岩の貫入を受けて変質した泥質片岩が風化した土を中心にして斜面土の諸物理的性質および室内せん断強度、および斜面地盤の貫入抵抗値を求めた結果を述べる。

2. 斜面の地形・地質

今回、崩壊した切土斜面を含む山腹は標高73.5 mの丘陵地にある。斜面を構成する泥質片岩には、随所に褶曲構造が見られ、この山腹は過去に著しい接触変成作用を受けたことが分かる。

この山腹は勾配が約1:2 (26.6度) と非常に緩く、過去に小崩壊が発生した痕跡である小さな滑落崖が認められた。山腹には杉・松を初め、その他雑木がまばらに植生している。

斜面の地質は三郡変成岩であるが、細分類では中生代トリ阿斯紀 (205~250 Ma) の周防変成岩に属する¹⁾。その岩種は泥質片岩である。斜面の北側には中生代白亜紀後期に形成された広島型花崗岩の一つであるアプライト花崗岩 (以降、アプライトという) からなる山腹があり、それ以外の斜面周囲には三郡変成岩が分布する。このアプライトは後述するように、アルカリ長石、石英からなる優白質で、通常の花崗岩に比べて黒雲母含有量がきわめて少ない。

図-1に示すように、当該斜面の泥質片岩はこのアプライトの貫入を受け、泥質片岩が完全にアプライトに置き換わったり、あるいは広範囲にわたって、アプライトによる接触変成作用

を受けて著しく変質している。斜面の右下法尻部に貫入したアプライトに代表されるように、アプライトは泥質片岩に発生した斜めの亀裂 (破壊面) に貫入しているように見受けられる。図-1の変質した泥質片岩の領域内にも部分的にアプライトが存在するが、大局的に見て変質した泥質片岩の分布域を決めた。

著者ら^{2)~4)}はこれまで山口県内で豪雨によって崩壊した塩基性片岩・泥質片岩等の三郡変成岩からなる斜面崩壊や地すべりの調査を行い、これらの斜面の岩石のほとんどは少なからず花崗岩類の貫入による接触変成作用を被っていることを明らかにした。そういった斜面と比較して、当該斜面では、泥質片岩へのアプライトの貫入状況が非常に顕著であり、この点はこの斜面の地質学上の大きな特徴であるといえることができる。

前述したように、当該斜面の泥質片岩には顕著な褶曲構造のほかに、ほぼ鉛直方向に近い節理が認められた。

図-1に、以上に述べた泥質片岩、アプライト、およびアプライトの貫入によって変質を受けた泥質片岩 (以降、変質した泥質片岩という) の斜面表面での分布状態を示す。いずれの岩石も著しく風化しており、一応、塊形状を保っているものの、そのほとんどは指圧によって容易にほぐれて土化する。

3. 斜面崩壊の経緯・状況

勾配1:1 (45度)、総延長90 m、高さ15 mの切取り斜面が作られた後、次に述べるような経緯および状況で

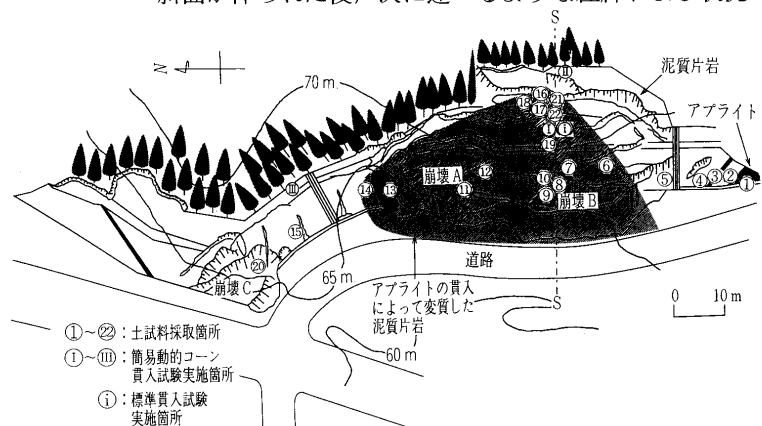


図-1 斜面崩壊の状況および斜面表面の岩石分布

事例報告

もって斜面が崩壊した。

最初に斜面に変状が見られたのは、平成9年10月20日で、変質した泥質片岩とアプライトの境界部（図—1中の崩壊部A）に小さな亀裂が発生した。当日雨量、2週間累積雨量とも1mmであった。次に11月初め、その亀裂は比較的大きな崩壊に発達し、さらに別の変質した泥質片岩とアプライトの境界部（図—1中の崩壊部B）でも、ほぼ同じ規模の崩壊が発生した。

さらに泥質片岩の片理面に沿って崩壊が発生した（図—1中の崩壊部C）。この片理面には、つるつるした黒い厚さ2mm程度の薄層が付着しており、これによってすべりが一層、容易に発生したと考えられる。これら3箇所の崩壊が発生した際の最大日雨量は7mmであったと推定された。

その後、フリーフレーム工の施工に当たって鉄筋かごを組み始めた直後、平成10年1月7日に大崩壊に至った。そのときの状況を口絵写真—6および図—1に示す。変質した泥質片岩とアプライトの境界部での崩壊状況を口絵写真—7に示す。

変質した泥質片岩部での崩壊（崩壊部A・Bを含む）は、延長60m、滑落崖の高さ3.1mにも達した。図—2(a)に示すように、測線S-Sに沿う推定した円弧状すべり面での最大崩壊厚さは4.8mに達する。

一方、泥質片岩の片理面に沿って発生した崩壊は、延長2.3m、厚さ0.5mに及んだ。その状況の一部を口絵写真—8に示す。これら大崩壊時の当日雨量は0mm、2週間累積雨量は32.5mmであった。

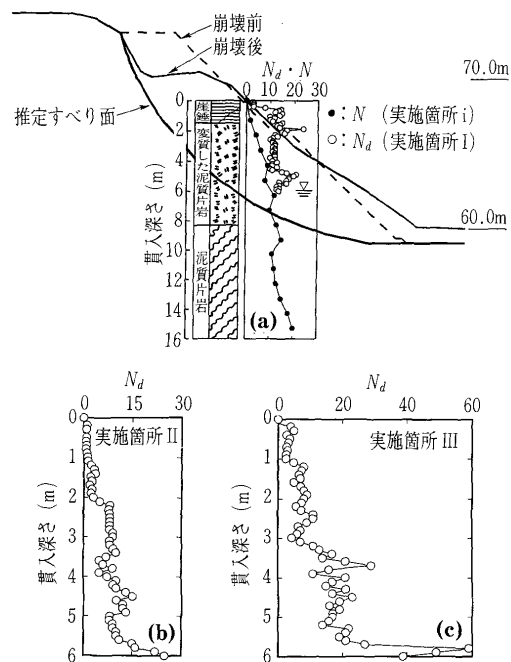
以上のように、降雨量がきわめて寡少でもって、当該斜面に亀裂が発生してから大崩壊に至っていることが注目されるが、この理由は地質境界部とか節理・片理といった弱面が斜面崩壊の素因となり、それが誘因である降雨よりも深く本崩壊に関与したことによると考えられる。

4. 斜面土の物理的・力学的性質

4.1 物理的性質

図—1に示す22箇所て採取した土試料のうち、必要な採取量が得られなかった土試料No. 2, 4および9を除いた19土試料の諸物理的性質、日本統一土質分類に従った土質名、および原岩名を表—1に示す。このうち、No. 1からNo. 20までの土試料は斜面表面で採取し、No. 21, 22の土試料はボーリングコアから得たものであり、これらの土試料の粉末X線回折試験を行って同定した含有鉱物から原岩名を決定した。表—1に示した泥質片岩、変質した泥質片岩およびアプライトの風化土には、石英、カリ長石、白雲母およびカオリナイトが含まれ、泥質片岩および変質した泥質片岩の風化土には、白雲母およびカオリナイトの含有量が多いことが分かった。さらに泥質片岩の風化土と変質した泥質片岩の風化土の間では、鉱物組成に有意な差異は認められない。

泥質片岩の風化土である土試料No. 5, 10, 15, 20および22は、灰褐色～茶褐色を呈し、低液性限界シルト（ML）あるいはシルト質砂（SM）に分類された。これ



図—2 測線S-Sに沿う推定すべり面および $N_d \cdot N$ 値の深さ分布

らの土試料の粘土分含有率（ F_{clay} ）は6.1～8.0%である。

土試料No. 20は片理面で採取した土であるが、その表面に付着していた表面の非常に滑らかな黒色の薄層土の化学分析結果を表—2に示した。表—2から分かるように、この土の強熱減量値は11.5%で、通常の粘性土と比較して大差はなく、また、この鉱物組成は土試料No. 20の場合と全く変わらなかった。これと同じ黒色の薄層土は鋸状斜面崩壊が発生した塩基性片岩の片理・節理面でも生成され、すべり破壊の素因となっている³⁾。

アプライトの影響を受けて変質した泥質片岩の風化土の土試料No. 6等は、赤紫色、そのほかに灰緑色あるいは黄褐色等、さまざまな色彩を呈する。これらの土試料の多くは低液性限界シルトに分類された。また、No. 17, 19および21の土試料のように、カオリナイトの多く含まれる土試料では F_{clay} は19.5%に達し、泥質片岩風化土の土試料の場合よりも多い。これら三つの土試料No. 17, 19および21は、粘質土（CL）に分類された。

アプライトの風化土である土試料No. 1, 3, 11および13は白色を呈し、シルト質砂あるいはシルト混じり砂（S-M）に分類された。

4.2 力学的性質

図—1の箇所I、IIおよびIIIにおいて実施した簡易動的コーン貫入試験から得られた貫入抵抗値 N_d の深さ分布をそれぞれ図—2(a), (b)および(c)に示した。箇所Iのすぐ横の箇所iで実施した標準貫入試験から得られた N 値の深さ分布を図—2(a)に併記した。図—2(a)に示す両方の貫入試験は斜面崩壊部で、図—2(b)および(c)の貫入試験は未崩壊部で行った。

岡田ら⁵⁾は土質に応じて盛土地盤の N 値と N_d 値の間には正比例の関係があることを見出した。しかし、図—2(a)から分かるように、大崩壊に至った変質した泥質片岩風化土からなる斜面地盤の場合、両者の間にはその

表一 土試料の諸物理的性質

土試料	原 岩	G_s	U_c	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	FC (%)	F_{clay} (%)	w_n (%)	w_L (%)	w_p (%)	I_p	土質分類
1	アプライト	2.61	32.6	7.00	0.600	15.8	3.9	18.3	—	NP	NP	SM
3	アプライト	2.70	17.5	9.00	0.120	41.3	4.0	24.7	37.8	NP	NP	SM
5	泥質片岩	2.71	1.0	8.00	0.045	62.6	7.5	27.5	39.2	31.6	7.7	ML
6	変質した泥質片岩	2.69	21.4	9.00	0.060	55.6	9.0	28.3	43.4	34.1	9.3	ML
7	変質した泥質片岩	2.64	13.0	0.85	0.027	96.8	15.0	31.9	39.0	29.3	9.7	ML
8	変質した泥質片岩	2.63	12.6	0.85	0.036	86.2	12.0	24.9	30.8	24.3	6.5	ML
10	泥質片岩	2.67	8.5	9.00	0.036	67.7	8.0	32.3	43.1	32.8	10.3	ML
11	アプライト	2.60	41.5	13.00	0.390	20.3	5.5	20.2	—	NP	NP	SM
12	変質した泥質片岩	2.68	14.4	9.00	0.080	48.4	7.0	28.8	37.6	33.3	4.3	SM
13	アプライト	2.58	4.9	5.00	0.600	5.8	2.5	10.9	—	NP	NP	S-M
14	変質した泥質片岩	2.62	15.5	1.00	0.026	82.8	13.0	32.4	37.2	26.8	10.4	ML
15	泥質片岩	2.60	6.0	0.90	0.034	89.9	8.0	35.7	42.3	32.2	10.1	ML
16	変質した泥質片岩	2.65	7.7	12.00	0.170	41.4	10.5	24.4	42.4	23.1	19.3	SM
17	変質した泥質片岩	2.58	52.9	6.50	0.052	58.1	19.5	39.5	40.7	22.1	18.6	CL
18	変質した泥質片岩	2.62	10.3	0.90	0.031	94.3	11.5	29.4	33.7	25.2	8.5	ML
19	変質した泥質片岩	2.63	36.2	3.50	0.030	84.2	19.5	26.4	47.6	22.2	25.7	CL
20	泥質片岩	2.71	32.5	6.00	0.130	43.2	7.0	20.5	32.7	27.0	5.7	SM
21	変質した泥質片岩	2.64	2.9	0.85	0.025	91.3	17.5	12.3	44.7	23.5	21.2	CL
22	泥質片岩	2.71	0.9	9.50	0.051	58.8	6.1	10.5	41.4	32.6	8.5	ML

表一 2 黒色薄層土の化学分析値 (単位: %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	強熱減量 (1 000°C)	有機物含有量
51.5	22.1	9.3	0.1	1.7	0.04	1.12	0.73	1.84	0.05	11.5	0.09

表一 3 土試料の強度定数

土試料	非 水 浸				水 浸			
	湿潤単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	含水比 w (%)	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (度)	湿潤単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	含水比 w (%)	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (度)
7	13.2	6.7	1.0	40.6	17.9	47.8	0.0	23.6
10	12.4	6.7	8.6	33.0	17.7	50.5	0.0	24.8

ような関係は見られない。すなわち、この崩壊した地盤では、いくつかの深さでの測定値を除けば深さ 6 m まで $N_d=12$ 程度であるのに対し、 N 値はほぼ貫入深さに比例して増加する。これは標準貫入試験に比べて簡易動的コーン貫入試験では、貫入径が小さく、また 1 回当たりの貫入抵抗値を求める深さが小さいために、崩壊した地盤の破断面、亀裂あるいは片理・節理といった地盤の不連続部の影響が試験結果に強く反映されるためと考えられる。一方、図一 2 (b) および (c) の未崩壊部Ⅱ・Ⅲの N_d は、ほぼ貫入深さに比例して増加するようである。特に泥質片岩の風化土地盤でのⅡにおける N_d は深さ 5.8 m では 60 に達する。

表一 3 には泥質片岩風化土の土試料 No. 10 および変質泥質片岩風化土の土試料 No. 7 について、非水浸・水浸状態の強度定数を一面せん断試験によって求めた結果を示す。この表から両土試料とも水浸によって内部摩擦角 ϕ_d は、ほぼ 24 度、粘着力 c_d はゼロとなることが分かる。両土試料の水浸時の強度定数は塩基性片岩等の風化土のそれら²⁾ とほぼ同じような値である。このように両土試料の強度定数は水浸によって著しく減少するが、3 節で述べたように、当該斜面の崩壊には、そのことよりも地質境界部あるいは弱面部の存在が大きく関与した。

5. ま と め

本切土斜面の崩壊には、三郡変成岩の一種類である泥質片岩にアプライトが貫入した地質境界部および泥質片岩の片理面・節理面といった斜面崩壊に対して素因となる弱面部が大きく関与したことを明らかにした。本斜面のように、崩壊の発生が地質構造の不連続面によるものの、その上下面の地盤の

N 値・強度定数に極端な差異がみられない場合、崩壊の推定には力学試験の結果では非常に難しく、事前の精査によって明らかにされた詳細な斜面の地質・不連続面、過去の崩壊痕跡に関する結果を総合する方法によることが必要であるという知見が実証的に示された。さらに、アプライトの貫入を受けて変質した泥質片岩の風化土に

は、変質していないそれに比較して粘土含有率がやや多いものがあることが分かった。崩壊の発生した変質した泥質片岩風化土地盤では、 N 値と N_d 値の間には良い相関は見られない。当該斜面の復旧対策として、押さえ盛土工が採用されて安定を保っている。

最後に土の化学分析を実施された宇部興産(株)資材事業本部長岡林茂生氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山口地学会編 (編集代表者 西村祐二郎・松里英男): 山口県の岩石図鑑, 第一学習社, pp. 159~162, 1991.
- 2) 山本哲朗・大原資生・西村祐二郎・瀬原洋一: 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崩壊の特徴, 地盤工学会論文報告集, Vol. 36, No. 1, pp. 123~132, 1996.
- 3) 山本哲朗・高本直邦・西村祐二郎・瀬原洋一: 三郡変成帯における鋸状斜面崩壊, 土と基礎, Vol. 44, No. 11, pp. 9~12, 1996.
- 4) 山本哲朗・瀬原洋一・中森克己・森岡研三: 三郡変成帯に発生した地すべりの特徴と対策, 土と基礎, Vol. 45, No. 6, pp. 17~19, 1997.
- 5) 岡田勝也・杉山友康・村石 尚・野口達雄: 盛土表層部の土質強度に関する異種のサウンディング試験結果の相関性, 土と基礎, Vol. 40, No. 4, pp. 11~16, 1992.

(原稿受理 1998.7.7)