

災害調査報告書

斜面工事現場で発生した土砂崩壊災害

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所

1. はじめに

1.1 経緯

斜面の補強工事において、土砂崩壊災害が発生した。この災害では、斜面の浮き石と雑草等を除去する作業中に岩石が崩落し、作業員 3 名が被災した。本書はこの災害の崩落規模と岩石について調査した結果を報告するものである。

1.2～1.3 略

2. 災害の概要

2.1 災害の種類

斜面の補強工事における土砂崩壊災害

2.2 発生時刻

午前 11 時 40 分頃

2.3～2.5 略

2.6 工事の概要

斜面の補強工事において、土砂崩壊災害が発生した。この災害では、斜面の浮き石と雑草等を除去する作業中に岩石が崩落し、作業員 3 名が被災した。

本工事は川を挟んで第 7 崩壊地と第 8 崩壊地の 2 箇所で行われていた。本災害が発生した場所は図 2-3 に示す第 8 崩壊地の施工現場である。

第 8 崩壊地における工事の概要は「法面清掃」、「ラス張り」、次いで、法枠用の「鉄筋の組立て」、そして「生コンの打設」である。その後法枠内に「植生基材の吹き付け」等を行うものであった。

被災者らが所属する会社(以下、下請業者という)はいわゆる「法面業者」であり、元請け会社(以下、元請業者という)の 1 次下請けとして、法面清掃、ラス張り、法枠の鉄筋組立までを行う業者であった。

第 8 崩壊地における工事は、北側部分の「1 期工事施工範囲」が当初計画された。しかし、その南側部分には浮石が多く、落石のおそれがあった。そのため、法面の上中部をそのままに北側下部の工事を行うことは危険があった。

元請業者は発注者と対策を協議した。その結果、施工範囲が当初の北側部分から、図 2-4 に示すように南側から北側まで横断的に行うことに変更することとなった。本件災害は、この変更により追加された南側の施工場所において発生したものである。

図 2-1～2-2 略

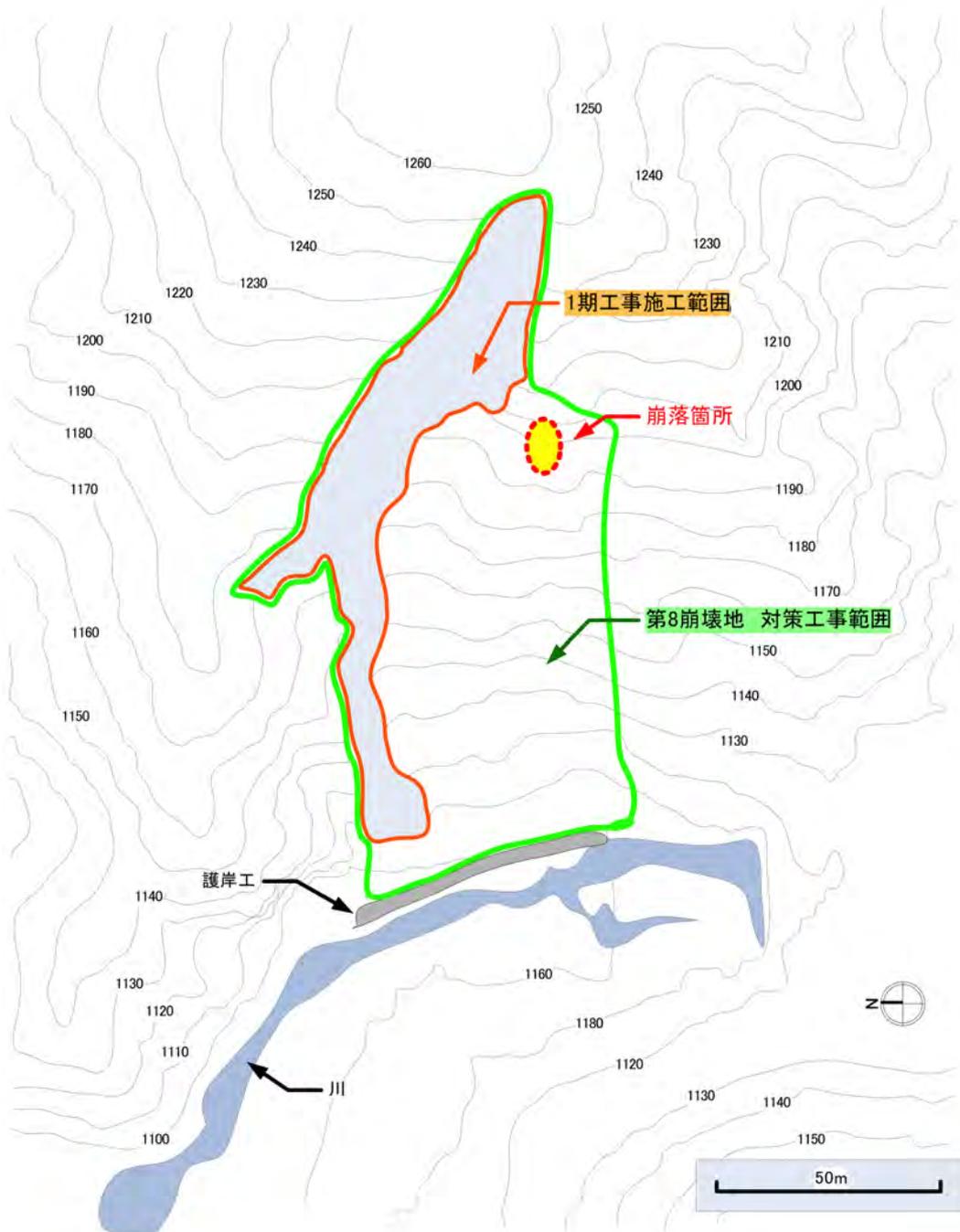


図 2-3 災害があった第 8 崩壊地における斜面補強の工事現場の場所

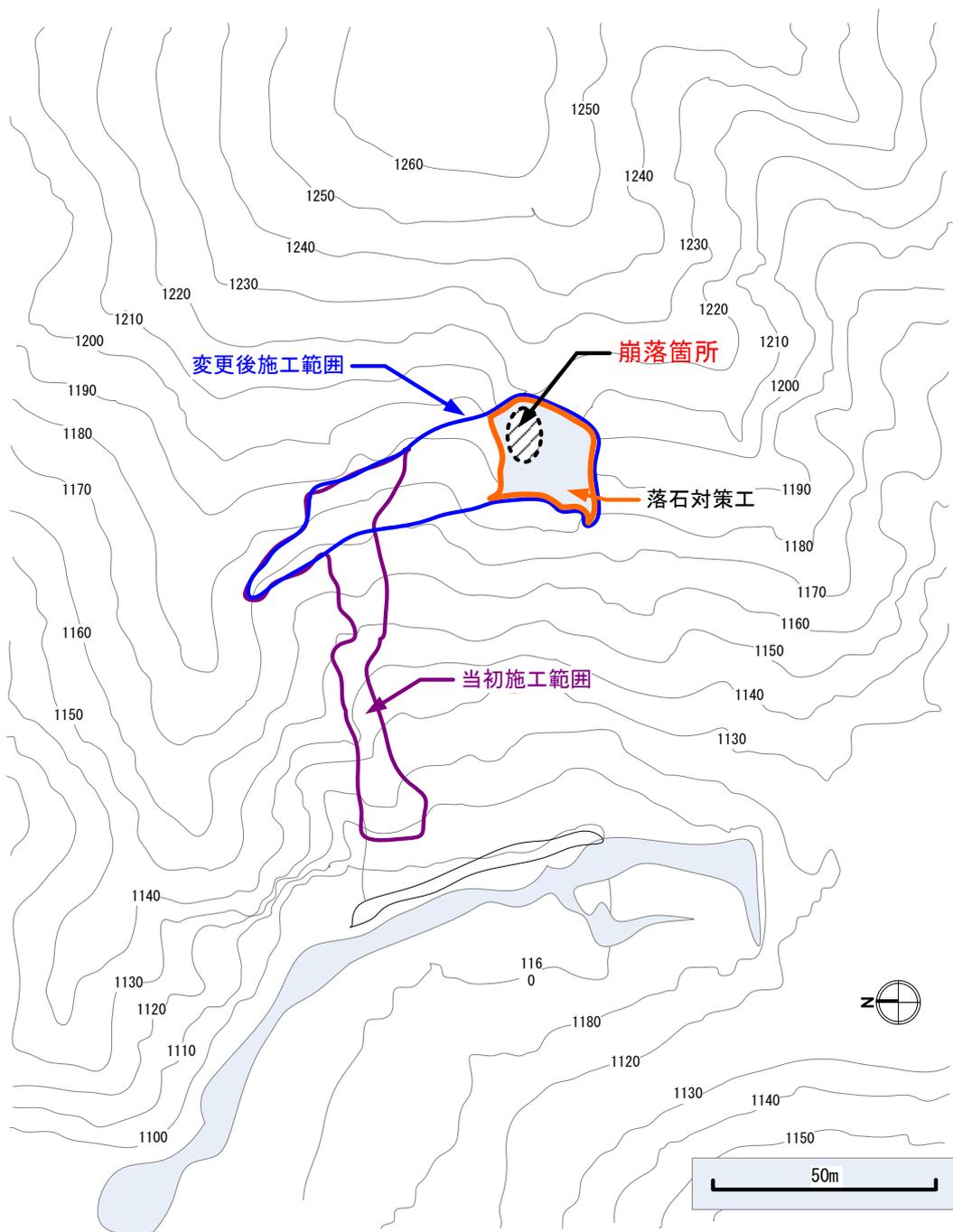


図 2-4 施工範囲の変更箇所と岩石の崩落箇所の位置関係

2.7 災害発生に至るまでの経緯

下請業者は、当該現場に災害発生日よりも 19 日前に入場し、まず、第 7 崩壊地において、親綱取付け等の段取り及び起工測量を 3~4 日間行った。その後、第 8 崩壊地に移り、親綱の段取り、法面清掃(法面上の浮石・雑草等の除去を行うもの)、及びラス張りの作業を順次実施していた。

現場に入場していた下請業者の労働者は、現場代理人の(ア)、(イ)の 2 名、ならびに本災害の被災者である(ウ)、(エ)、(オ)の 3 名の合計 5 名であった。この人員構成は当該現場入場日から災害発生日まで同じであった。一方、元請業者は、現場代理人と監理技術者の 2

名を現場に常駐させていた。

新たに施工箇所として加えられた本災害の発生場所周辺は、県有林であったため、伐採には事前に県の許可が必要であった。この許可が災害発生日の 5 日前に下りた。次に発注者は伐採の範囲を確認する必要があるために、災害発生日の 2 日後に元請業者とともに現場に入る予定であった。しかし、同県有林の周辺には浮石等があり、落石の危険があった。そのため、当該箇所の法面を清掃し、浮石等を除去することとなった。

本件災害発生日前日と当日の 2 日間に、同作業が下請業者の 5 名の労働者で行なわれた。1 日目は、主に災害発生場所の南側部分の法面清掃作業、2 日目(災害発生日)には本件災害が発生した付近の法面の清掃作業を行っていた。



写真 2-1 岩石が崩落した現場の様子

2.8 災害発生当日の状況

災害発生日は、下請業者の労働者 5 人で、午前 8 時から KY 活動を行った。当該現場には簡易モノレールが備わり、斜面の現場にはこれに乗車して移動した。移動に先立って、親綱を切り分ける作業が、モノレール乗り場前の広場で行われた。その後、モノレールに乗車して、現場へ向かい、午前 9 時 40 分前後から親綱の取り付け作業を行った。その終了後に、法面清掃作業を開始した。

5 人は親綱 5 本にそれぞれがロリップを取付けた。このうち 4 本は当日新たに取付けた親綱であった。(ア)は、以前に取付けた親綱を使用していた。5 人は平行に並ぶ配置で作業を行っていた。5 人の配置は、南側から順に(ア)、(ウ)、(エ)、(オ)、(イ)であった。(ウ)、(エ)、(オ)の 3 名が位置した場所は、馬の背状となった斜面の部分であった。(ア)と(イ)が位置した場所からは、斜面の起伏に遮られて 3 人を見ることはできなかった。

作業は、親綱にロリップを取付け、唐鍬(とうぐわ)とノコギリを使用して行っていた。唐鍬とは、柄の長さが約 1.2m で、縦 20cm、横 10 から 15cm 程度の刃が付いているものである。

岩石の崩落は 11 時 40～45 分頃に発生した。(ウ), (エ), (オ)の 3 名がいた場所の上方から岩石が崩落し, (ウ)が使用していた親綱が切れた。そして, (ウ)は約 50m 斜面を滑落した。(エ)と(オ)は足元の地山が崩れ, 親綱に宙吊り状態となった。

崩落の発生後に, (ア)は発生場所に近づき, 宙吊りのままとなっている(オ)と片足だけで法面上に立っていた(エ)の両名を発見した。その後, 駆けつけた(イ)と協力して, 両名を救出した。この時, (ウ)は発見できなかったため, 生き埋めとなったと考えた。その後, 斜面の途中で倒れている(ウ)が発見された。

(エ)は右膝下部の骨折ならびに左肩胛骨を骨折し, (オ)は顎骨折, 右鎖骨骨折, 肋骨骨折, 裂傷他を負い, とともに休業を要する重傷を負った。

なお, (ア)によると災害発生前には, 特に崩落の前兆のような現象は見られず, 突然の発生であったと述べている。

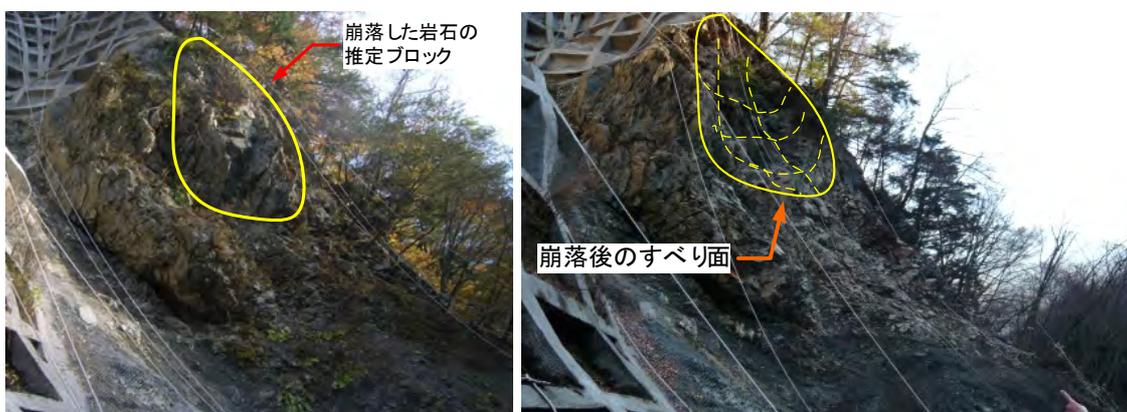


写真 2-2 崩落の発生前後における状況の比較(左:崩落前, 右:崩落後)

3. 崩落規模の推定

3.1 現場調査

現場事務所から崩落箇所までは写真 3-1 に示す小型のモノレールに乗車して山の中腹まで登り, 下車後は徒歩でロープを辿って崩落箇所まで移動した。本モノレールは現場近くまで設置されていたが, モノレール終点近くに不安定なレール部分が見つかったため, 途中までの運転に変更された。下車後の登り道は斜度が 40 度を超えて, 地表面は滑り安い状態であった。そのため, 滑落に注意しながら斜面を登った。

モノレール終点位置から崩落箇所周辺までの経路に, 工事用の仮設足場が設けられており, 崩落箇所から数十メートルの距離まで近づくことができた。観察と撮影はこの足場から実施したものである。



a) 現場敷設された小型モノレール(起点) b)急傾斜地に敷設された軌道



c)現場へ登坂中に見られた節理が発達した岩石 d)モノレール終点まで登る様子
写真 3-1 現場調査の様子

3.2 斜面状況

写真 3-2 は施工業者が撮影した崩落前の様子であり,崩落した岩石の推定ブロックを線で示している. 写真 3-3 は崩落後の様子である. この 2 つの写真を比較すると次のことがわかる.

- 1) 崩落は, 前年度までに施工され完成していた法枠工の下部より生じている.
- 2) 上部に見られる境界面の角度はほぼ垂直であり剥離したように見られる.
- 3) 崩落の上部ではえぐられたような陥没が見られる.
- 4) その下方の部分は斜面の勾配とほぼ同じであり, ほぼ平行に崩落したものと見られる.
- 5) 岩石が崩落した後の斜面を見ると, 細粒化した土砂が残存している.

細粒化した土砂は劣化した岩石が存在していたことを示している. また, 崩落時に岩石が破碎したことによって生成されたものも含む.



写真 3-2 崩落前における斜面の様子



写真 3-3 崩落後の斜面の様子

3.3 崩落箇所の計測

写真 3-4 は調査に使用した作業用の通路である。この通路は前年度に施工された法枠に添って設置されたものである。調査ではこの通路を上から下に降り、崩落箇所を観察できる位置に移動した。

写真 3-5 は作業用通路に設けられた階段である。この階段のステップは床面の角度は約 3° とほぼ水平であったため、これを利用して崩落した岩石ブロックの体積を推定することを試みた。その内容はステップの床面にカメラを固定して崩落部を撮影することと、後述するレーザー距離計を固定して、崩落幅を計測することであった。

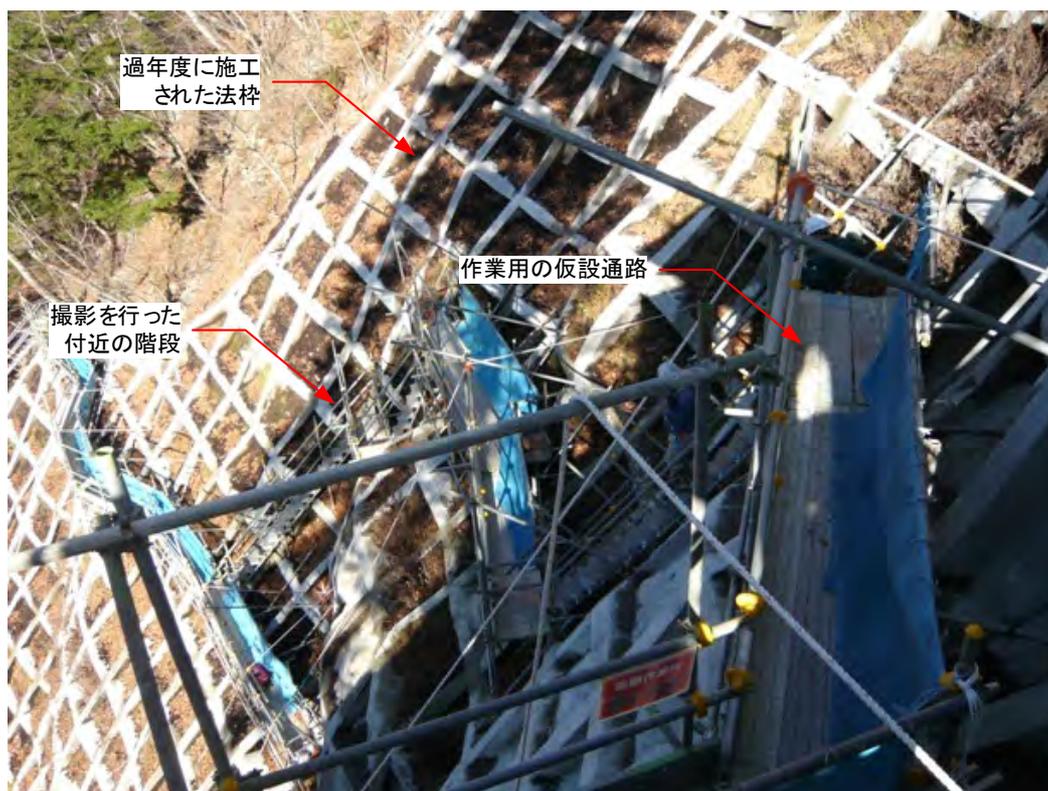


写真 3-4 斜面に設置された作業用の通路

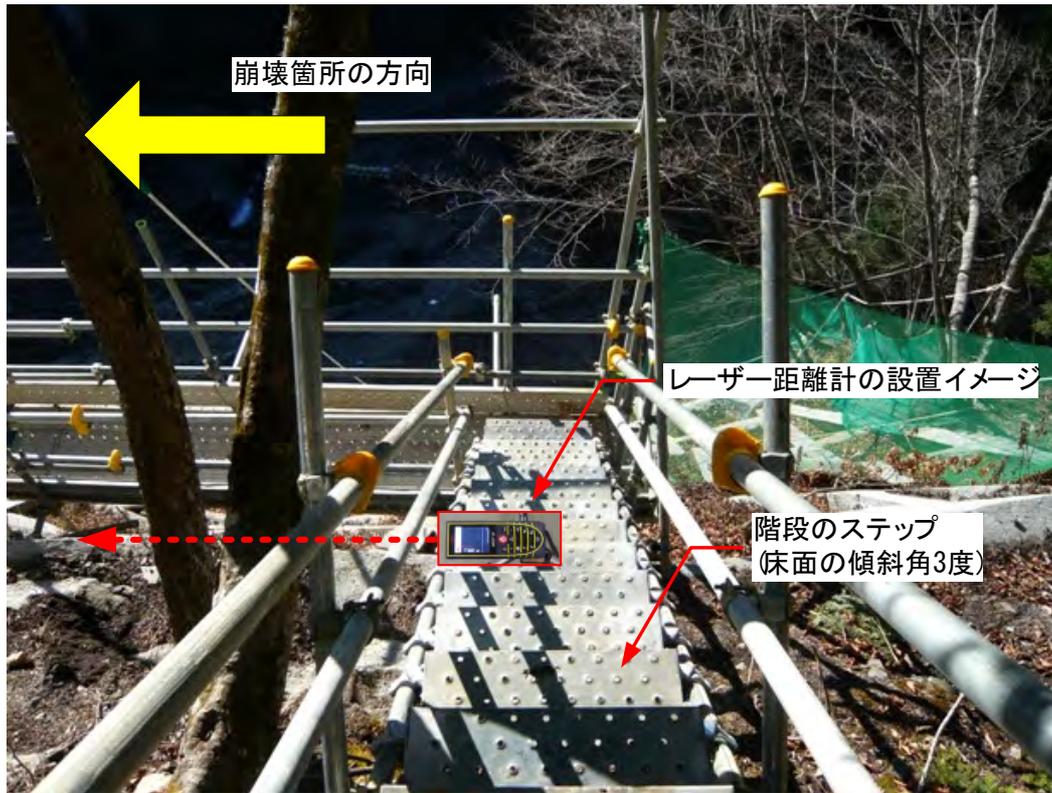


写真 3-5 作業用通路の階段とレーザー距離計の設置イメージ

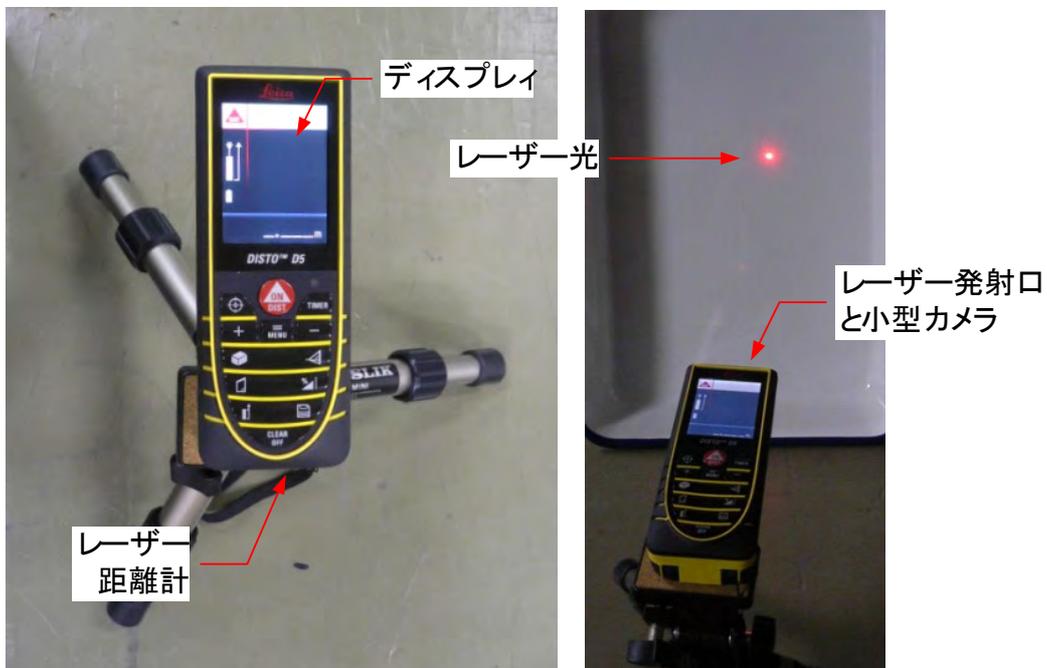


写真 3-6 長さの測定に用いたレーザー距離計

写真 3-6 は使用したレーザー距離計を示す。このレーザー距離計は Leica 社製 DISTO D5 である。測定精度は 1.0mm、測定範囲は 0.05 から 200m、角度測定は-45 度から+45 度である。本体前面にはレーザー光の発射口があり、レーザー光を照射して最大 200m まで直

線距離を計測することができる。さらに、本体上面にあるディスプレイに、計測対象物を拡大して表示する事ができるため、レーザー光を目視できない日中の計測や対象物が離れた場合の計測が可能である。

3.4 崩落した岩石の体積と重量

レーザー距離計で測定した箇所は写真 3-7 と写真 3-8 に示す A と B の 2 箇所である。この 2 箇所に対する水平距離の差から崩落ブロックの最大幅を推定した。そのためカメラと同じく崩落箇所との高さがほぼ等しい足場のステップを選び、レーザー距離計を用いて距離を測定した。

写真 3-8 は足場のステップから撮影した崩落箇所を示す。ステップから A と B の 2 箇所に対する実測距離と、その部分の傾斜角を記録した。表 3-1 は計測結果を示す。計測の結果、崩落幅の最大値(L_{AB})は約 6.2m とわかった。

次に崩落したブロックの長さを推定した。この長さは直接計測が難しいため、間接的に求めた。その方法は施工済の法枠ブロックの大きさに基づいた換算によるものである。法枠ブロックの格子は、その中心間距離が標準で 2m の正方形である。

写真 3-8 に示す近接したブロックを基準に崩落部の 3 つの長さを求めた。その長さは、崩落したブロックのすべりに対してせん断抵抗する面を接触面と考え、その長さを L1、ブロックの表面側の長さ L2、ならびに崩落したブロックの厚さ(L3)である。L1 の部分と水平のなす角を求めた。計測結果を表 3-2 に示す。



写真 3-7 主要崩落の推定ブロックと崩落幅の計測のためのレーザー照射イメージ

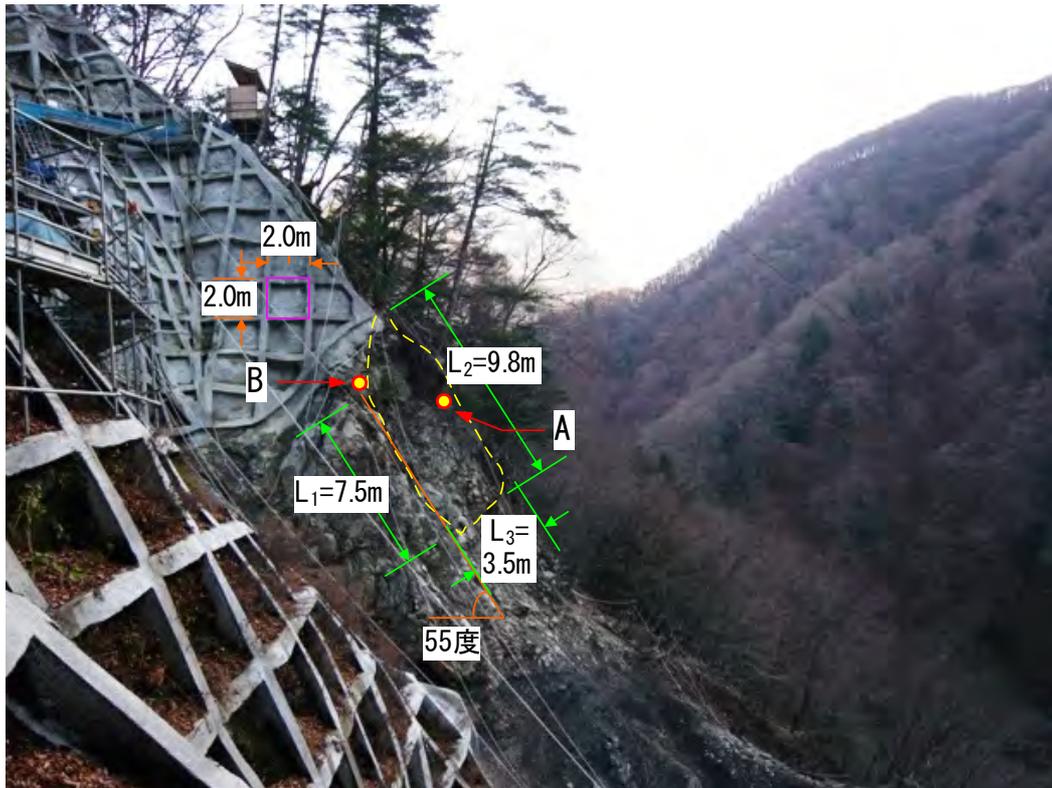


写真 3-8 崩落箇所を水平に見てレーザー計測した時のアングル

表 3-1 崩落ブロックの最大幅計測

箇所	実測距離(m)	傾斜角(度)	水平距離 ¹⁾ (m)
A	42.965	-1.3	42.954
B	36.795	-2.0	36.773
崩落幅(最大値) L_{AB}			6.181

1)実測距離に傾斜角を考慮して求めた補正值

表 3-2 崩落ブロックの断面長さ計測

名称	長さ(m)	傾斜角(度)
崩落したブロックと斜面の接触面の長さ(L_1)	7.5	55
崩落したブロックの表面側の長さ(L_2)	9.8	
崩落したブロック厚さ(L_3)	3.5	

求めた長さより崩落ブロックの外寸を図 3-1 のように仮定し、その体積(V)を計算した。なお、本計算では崩落ブロックを直方体と四角錐を連結させた形状と仮定した。この V の値は実際の崩落土量を下回らない値と考えられる。 V の値を式(3-1)により求めた結果、その値は 179.4m^3 であった。

岩石の単位体積重量(γ)は後述する試験によって求めたところ 26.5kN/m^3 であり、 V に γ を乗じて式(3-2)により重量(W)を求めると、その値は $4754\text{kN}(485\text{ton})$ である。さらに、崩落ブロックの滑落面の角度(θ)を考慮して、岩石を崩落させようとする力(W_b)を式(3-3)より計算すると、その値は $2727\text{kN}(278\text{ton})$ であった。

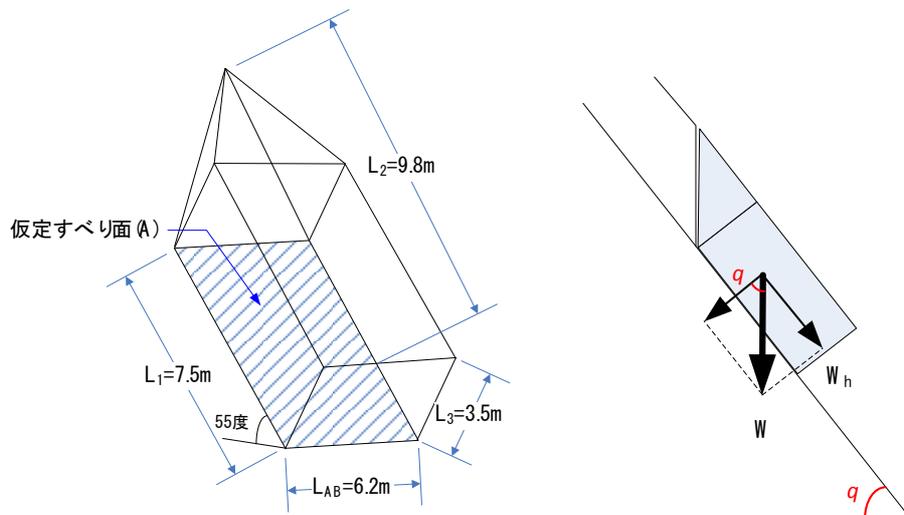


図 3-1 崩落ブロックの推定体積(V)と崩落しようとする力(W_h)
 (左：崩落ブロックの概略的な形状とその寸法，右：2次元断面にモデル化した力の構成)

$$V = L_1 \times L_3 \times L_{AB} + (L_2 - L_1) \times L_{AB} \times L_3 \times \frac{1}{3} \quad (3-1)$$

$$= 179.4(m^3)$$

$$W = \gamma \times V \quad (3-2)$$

$$= 26.5 \times 179.4$$

$$= 4754(kN)$$

$$W_h = W \times \cos \theta \quad (3-3)$$

$$= 4754 \times \cos 55$$

$$= 2727(kN)$$

$$\tau = \frac{W_h}{A} \quad (3-4)$$

$$= 59(kN / m^2)(= kPa)$$

すべり面を平面と仮定し，岩石に働いたせん断力(τ)を計算する． W_h を仮定すべり面の面積($A=7.5m \times 6.2m$)で除して求めると，式(3-4)の通り得られる．

崩落は岩石のせん断強さが τ よりも小さかったために発生したとも言える． $59(kN/m^2)$ の値は岩石と言うよりは土のせん断強さにむしろ近い．強く締め固めた関東ロームのそれに近いレベルであり，次章に述べる通常の砂岩のせん断強さに比べて 1/1000 以下である．したがって，崩落した部分の岩石は相当に劣化した状態にあったと推定される．

崩落前の岩石に見られた顕著な節理を写真 3-9 に示した．この写真から，節理の方向は滑落面に垂直に近いものが少なくとも 5 箇所(水色の線)確認でき，その節理の開口幅も大きいものである．すなわち，亀裂はある程度深部まで達しており，劣化が進行していたと推定される．

これらの垂直に発達した節理が崩落要因と考えると、受け盤構造にあった岩石が自重により破壊し、崩落した可能性がある。

一方、写真を詳細に見ると、ブロック下側に異なる向きの節理も見られる。その向きは滑落面に平行と見られ、その位置は滑落面にも近い。この部分を見ると、流れ盤的な構造に類似した節理が潜在し、滑落がその境界面で発生したとも見られる。



写真 3-9 崩落ブロックに見られた発達した節理(崩落前に撮影したもの)

4. 岩石試料の分析

4.1 岩石の物理的特性

崩落して下方に堆積していた岩石を採取し、試験を行った。試験は 2 つの岩石について行った。採取位置は図 4-1 に示す川の右岸であり、その付近の様子を写真 4-1 に示す。写真 4-2 は採取した試料の外観を示す。学会基準等に定められた試験法に基づいて試料の物理的性質を調査した。調査項目は土の含水比試験¹⁾、土の湿潤密度試験¹⁾、岩石のスレーキング試験²⁾、岩石の点載荷試験³⁾である。

写真 4-3 は土の湿潤密度試験及び岩石のスレーキング試験の様子を示す。表 4-1 には試験の結果を示す。

土の含水比試験とは自然状態すなわち原位置と同じ条件下での岩石の中に存在する水分の量を表すもので、これを定量的に表現するために含水比(w)が用いられる。含水比は、その資料に含まれる水の質量がその試料の実質部分の質量に対する割合で定義される。

岩石の密度は単位体積当たりの質量をいい、実質部分の質量と間隙内の水の質量を併せて取り扱う場合を湿潤密度(ρ_t)といい、実質部分の質量のみを扱ったものは乾燥密度(ρ_d)という。 ρ_t は式(4-1)に示す試料の質量 m と間隙も含めた体積 V の比によって得られる。

$$\rho_t = \frac{m}{V} \quad (4-1)$$

また、 ρ_d は w を用いて次式により求められる。

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{(1 + w/100)} \quad (4-2)$$



写真 4-1 岩石試料の採取位置(左：斜面上側から見た川右岸，右：採所場所の様子)

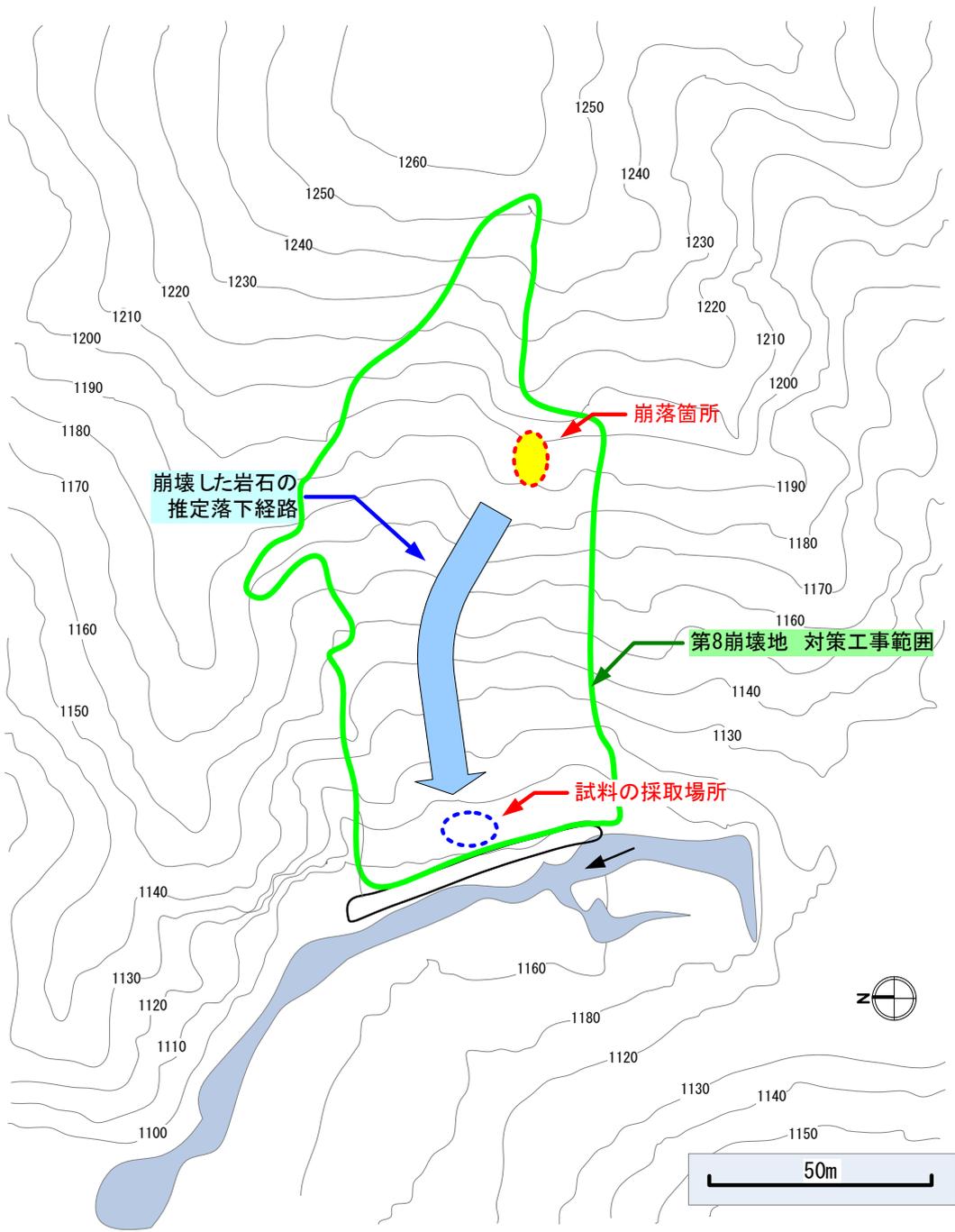


図 4-1 崩落により堆積したと思われる岩石を採取した場所



写真 4-2 現場で採取した岩石試料



写真 4-3 岩石試料に対する室内試験の様子

表 4-1 岩石試料の物理的特性

試料名称	含水比(%)	乾燥密度 (湿潤密度)	スレーキング 指数	点載荷強さ Is(MPa)
試験法	JIS A 1203 JGS 0121	JIS A 1225 JGS 0191	JGS 2124-2006	JG S3421
岩石(A)	0.2	2.632 (2.637)	0	6.49
岩石(B)	0.1	2.658 (2.661)	0	5.13

表 4-2 岩の種類とスレーキング指数の関係(JGS 3421)

岩の種類 ¹⁾	0	1	2	3	4
A タイプ	変化なし	割れ目が少しできるが供試体の原形を保っている。	全体に割れ目が多数でき、いくつかの岩辺に分かれる。供試体の原形はおおむね判別できる。	全体が細粒化し、供試体の原形は判別できない。泥状化の進行は顕著でない。	全体が泥状化
B タイプ	変化なし	割れ目が少しできるか、周辺が少し崩れる。供試体の原形を保っている。	周辺がかなり崩れ、供試体の原形は判別が難しい。	周辺のほとんどが崩れ、粒子の分離が顕著。供試体の原形はほとんど判別できない。	全体が砂状化

1) A タイプは泥岩、凝灰岩(細粒)で見られるタイプ、B タイプはシルト岩、左岸、凝灰岩(粗粒)で見られるタイプ。

含水比(w)の値は岩石(A)が 0.2%、B が 0.1% とともに値は小さい。乾燥密度(ρ_d)の値も両試料で値はほぼ一致している。

スレーキング指数とは岩石の劣化状態を表す指標であり、その試験法が JGS2124-2006

に定められている。試料を 24 時間浸潤させて、時間の経過に伴う崩壊の様子を観察する。この崩壊の程度がスレーキング指標によって区分される。この値は大きいほど試料は劣化している。スレーキング指標は岩の種類によって表 4-2 の通り、区分が異なる。両試料共にスレーキング指数は 0 であり、採取した試料に劣化は認められなかった。

4.2 岩石試料に対する点載荷試験

岩石試料の強度を点載荷試験により調査した。点載荷試験には写真 4-4 に示す装置を用いた。岩石試料を上下の 2 点で挟み込むように設置し、荷重を載荷する。

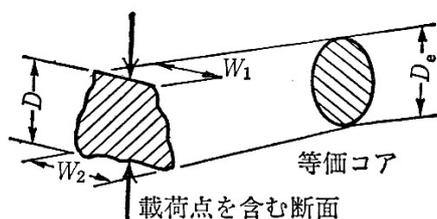


図 4-2 不規則塊における供試体寸法

写真 4-4 岩石の点載荷試験に用いた試験装置

表 4-3 点載荷試験の条件と結果

供試体	最大荷重 P (N)	載荷点間隔 L (mm)	載荷点距離 D (mm)	供試体幅		点載荷強さ I_s (MPa)	補正点載荷強さ I_{s50} (MPa)
				W_1 (mm)	W_2 (mm)		
岩石(A)	12259	57.9	36.9	31.1	50.6	6.39	6.02
	9071	45.7	64.1	40.6	59.7	2.22	2.48
	10052	28.8	39.0	37.9	52.1	4.50	4.39
	19369	26.5	28.9	55.6	65.6	8.69	8.47
	13239	22.4	28.4	26.9	41.9	10.64	9.10
				平均		6.49	6.09
岩石(B)	26969	69.1	55.0	112.1	147.4	2.97	3.97
	14465	31.1	43.8	52.9	55.6	4.78	4.99
	10297	27.9	47.7	45.9	49.8	3.54	3.67
	19369	37.1	40.8	43.6	50.2	7.95	7.90
	12014	27.2	31.8	41.7	50.9	6.41	6.01
				平均		5.13	5.31

試料が破断したときの最大荷重から点載荷強度を算出する。破壊の様相は載荷点間を結ぶ直線を含む面で割れるのが普通である。

試験を行った試料の条件と得られた結果を表 4-3 に示す。ここで、 P は載荷点に作用させた最大荷重であり、破壊時の荷重である。 L は試料の載荷距離であり、上下に試料を挟んだ載荷板の距離である。

供試体幅の W_1 と W_2 は図 4-2 に示す不規則塊における供試体寸法の測定方法に従って測定した値である。 I_s は点載荷強さであり、式(4-3)の通り P を等価コア径(D_e)で除した値である。 D_e は二つの載荷点を含む供試体の最小断面積の断面と等しい面積を有する円の直径である。 $I_{s(50)}$ は I_s を D が 50mm の基準載荷点距離における値に換算したものであり、式(4-4)で得られる。

$$I_s = \frac{P}{D_e} \quad (4-3)$$

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (4-4)$$

ここで、 F は寸法補正係数であり、式(4-5)により計算する。

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \quad (4-5)$$

一軸圧縮強さは Brock により提案されている式(4-6)を用いて $I_{s(50)}$ から換算できる。

$$q = 22I_{s(50)} \quad (4-6)$$

式(4-6)より求めた一軸圧縮強さ(q)の平均値は岩石(A)が約 134MPa であり、岩石(B)は約 116MPa である。せん断強さ(c)を $q/2$ として求めると、それぞれ 67MPa と 58MPa である。3.4 節に述べた岩石に働いたせん断力(τ)は 59kPa である。したがって、 c は τ の約 1000 倍である。しかし、崩落は岩石の c が、その自重による τ よりも小さかったために発生したものである。したがって、当該現場における岩石の劣化レベルには相当大きな差があり、 q の値は広い幅をもって分布していると見られる。

4.3 岩石(A)の観察

4.3.1 岩石の特徴

本岩石は岩片と鉱物片からなるアレナイト質である。極弱い葉理構造が認められる。淘汰度は普通程度である。淘汰度とは、礫の大きさがそろっているかを示す指標であり、大小さまざまな大きさの岩片が含まれている場合は淘汰度が悪いという。粒がそろっているときは淘汰度が良いと表現する。

粒子は角形～亜角形が多く円磨度はやや低い。脈状の二次鉱物が形成されている。花崗岩質岩を主要な碎屑起源とすると推定される。

4.3.2 構成比

鉱物片(47%) = 石英(25%) + 斜長石(12%) + カリ長石(10%) + 黒雲母(<1%) + スフェーン(<1%) + ジルコン(<1%)

岩片(50%) = 珩長質凝灰岩ないし火山岩(45%) + 花崗岩質岩(5%) + チャート(<1%)

基質(1%) = 粘土鉱物

二次鉱物(2%) = 珩長質鉱物 + 粘土鉱物 + 水酸化鉄鉱物

4.3.3 構成物の各個記載

写真 4-5 は岩石(A)の薄片を拡大し、撮影したものを示す。撮影方法はオープンニコルとクロスニコルの 2 種類である。

オープンニコルは光路に偏光子のみを差し込んだ状態で観察を行う場合を呼ぶ。試料プレパラートを入れない状態で接眼レンズを覗くと明視野(光源色の白から薄い黄色)に見える。ステージを回転させると減光は変化し、その周期は 90°角ごととなる。鉱物の種類によって偏光特性が異なり、これを利用して試料の形、色、屈折率などの測定ができる。

クロスニコルは光路に偏光子に加え、検光子を差し込んで観察を行う場合を呼ぶ。この状態で試料プレパラートを入れずに接眼レンズを覗くと暗視野に見える。これは 2 つの偏光板によって光線が遮断されているためである。

オープンニコルの場合と同様、ステージを回転させると 90°角ごとに増光・減光が起こる。また、偏光特性によって位相が乱されることにより、紫色・緑色・青色・白色・オレンジ色などの干渉色が観察される。

この増光-減光周期は消光角とよばれ、ステージの目盛りを用いて測定を行うことができる。この角度は鉱物依存であるため同定に用いられる。また、試料によって発生する位相差の量をリタレーションと呼ぶが、色変化を利用してこれを測定できる。

(1) 鉱物片

石英：粒度最大 $1.3 \times 1.0\text{mm}$ 、平均 0.3mm 大程度。角形を示すものが多く、円磨はほとんどされていない。ほとんどの粒子が波動消光を示し、塵芥状の包有物を有する。直線状または不規則な亀甲状のクラックを示す粒子が認められる。粒子の外形線は不明瞭なことが多いので、堆積後に再結晶が進んだ可能性がある。

斜長石：粒度最大 1.0mm 大、平均 0.3mm 大程度。角形を示すものが多く、円磨はほとんどされていない。明瞭な集片双晶および単純双晶を示すが、大半の結晶では変質により虫喰い状の無色粘土鉱物に交代されており、曹長石化も進んでいることがある。また、部分的に斜ゆうれん石に交代されていることもある。

カリ長石：粒度最大 $0.9 \times 0.5\text{mm}$ 大、平均 0.3mm 大程度。角形を示すものが多く、円磨はほとんどされていない。パーサイトや微斜長石構造が認められる。

黒雲母：碎屑形、変形した板状。長軸長 0.6mm 大程度。変質が進んでいるが、極淡褐色～淡褐色の多色性が認められる。

スフェーン：角形で円磨は進んでいない。 0.4mm 。ほとんど無色。割れ目が発達している。

ジルコン：自形、柱状。 0.05mm 。

(2) 岩片

珩長質凝灰岩ないし火山岩：微細珩長質鉱物＋微細無色粘土鉱物＋少量の水酸化鉄鉱物粒子からなる。全体に均質で、組織は認められない。

花崗岩質岩：粗粒な石英と長石の複数の結晶集合体からなる。石英同士の場合は縫合状を示す。

チャート： 0.7mm 程度。 0.1mm 以下のモザイク状～縫合状の珩長質鉱物＋微細無色粘土鉱物からなる。

(3) 基質

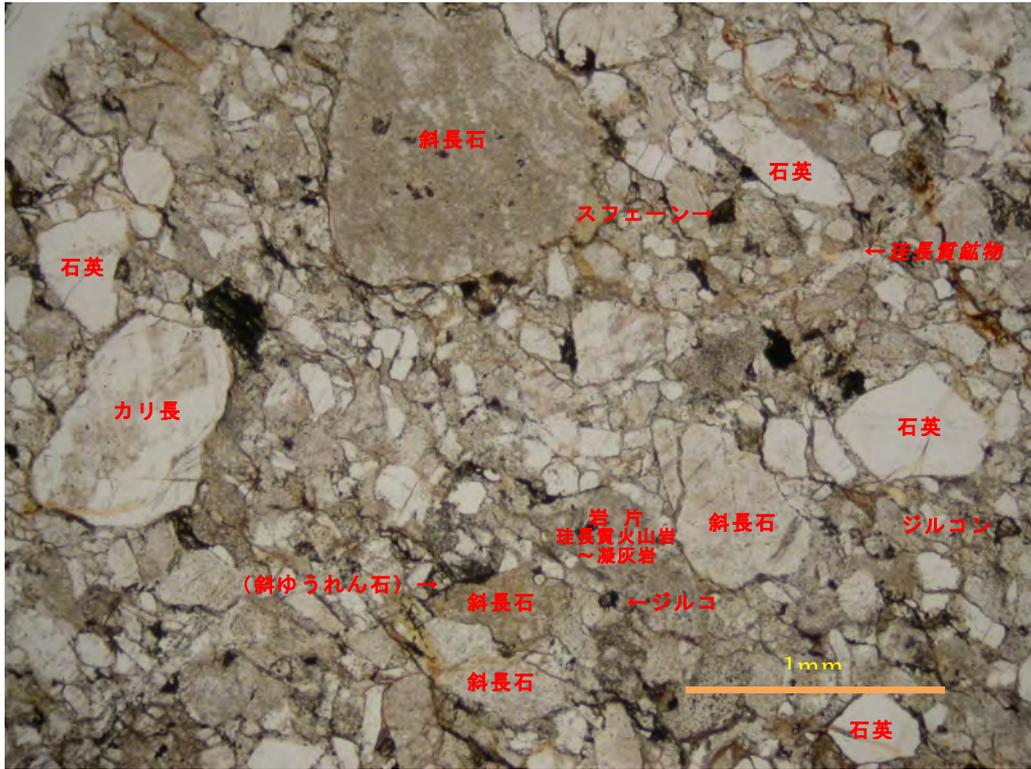
碎屑粒子間を縁取るように粘土鉱物が分布している。

(4) 二次鉱物

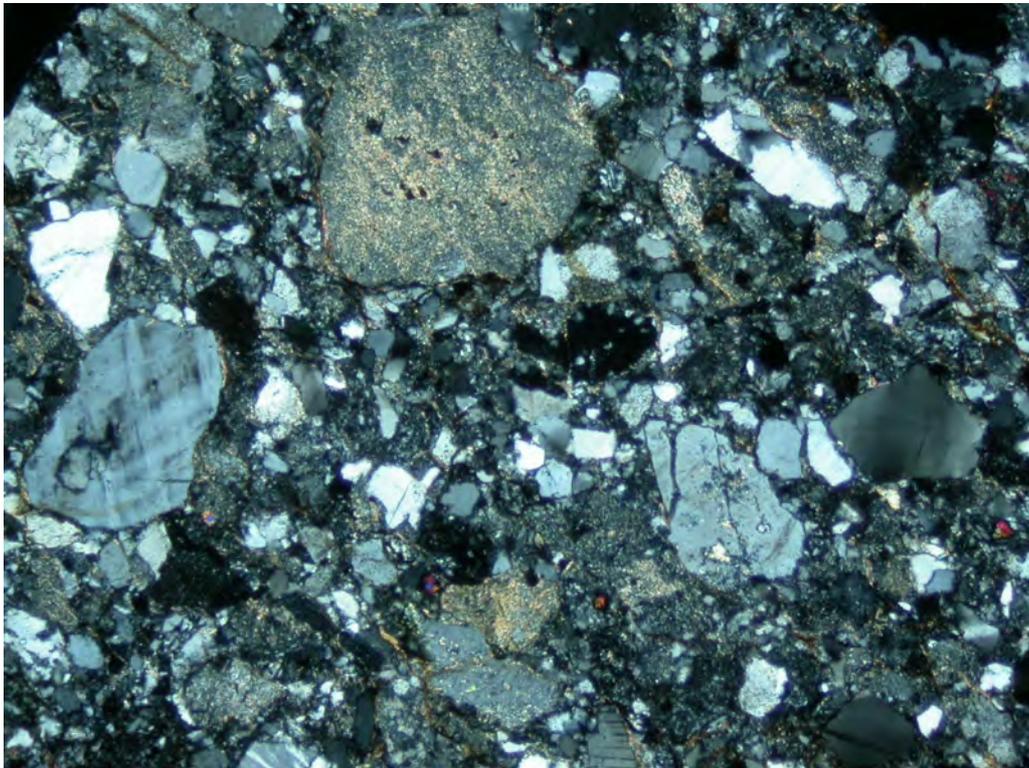
珩長質鉱物：細脈を形成する。

粘土鉱物：膨縮があって連続性に乏しい脈を形成する。水酸化鉄鉱物を伴うことがある。

水酸化鉄鉱物：基質部を中心に全体に不規則、不均質に形成されている。また、連続性に乏しい脈を形成する。



(a) オープンニコル



(b) クロスニコル

写真 4-5 顕微鏡写真による岩石(A)の観察

4.4 岩石(B)の観察

写真 4-6 は岩石(B)の薄片を拡大し、撮影したものを示す。撮影方法は同様にオープンニコルとクロスニコルの 2 種類である。

4.4.1 岩石の特徴

本岩石は岩片と鉱物片からなるアレナイト質である。弱い葉理構造が認められ、これと平行する層理面をもって極細粒砂岩と接している。淘汰度は比較的良好だが、相当量の中粒砂粒子を含んでいる。角形～亜角形が多く円磨度は全般に低い。二次鉱物による脈が形成されている。

4.4.2 構成比

鉱物片(65%) =斜長石(35%)+石英(28%)+カリ長石(2%)+白雲母(<1%)+ジルコン(<1%)

岩片(30%) =珪長質凝灰岩ないし火山岩(27%)+花崗岩質岩(3%)+チャート(<1%)

基質(2%) =粘土鉱物

二次鉱物(3%) =炭酸塩鉱物+珪長質鉱物+粘土鉱物+不透明鉱物

4.4.3 構成物の各個記載

(1) 鉱物片

斜長石：粒度最大 0.3mm 大，平均 0.15mm 大程度。角形を示すものが多く，円磨はほとんどされていない。明瞭な集片双晶を示すことが多いが，大半の結晶では変質により虫喰い状の無色粘土鉱物に交代されており，曹長石化も進んでいることがある。

石英：粒度最大 0.4mm，平均 0.15mm 大程度。角形を示すものが多く，円磨はほとんどされていない。ほとんどの粒子が波動消光を示し，塵芥状の包有物を有する。粒子の外形線は不明瞭なことが多いので，堆積後に再結晶が進んだ可能性がある。

カリ長石：粒度 0.2mm 大程度。円磨はほとんどされていない。パーサイトが認められる。虫喰い状の無色粘土鉱物に交代されていることがある。

白雲母：碎屑形，板状。長軸長 0.3mm 以下。変質はほとんどされていない。

ジルコン：自形，柱状。0.03mm。

(2) 岩片

珪長質凝灰岩ないし火山岩：粒度 0.2～0.3mm 程度。微細珪長質鉱物＋微細無色粘土鉱物＋少量の水酸化鉄鉱物粒子からなる。全体に均質で，組織や構造は認められない。

花崗岩質岩：粒度最大 0.7mm。粗粒な石英と長石の複数の結晶集合体からなる。石英同士の場合は縫合状を示す。

チャート：粒度 0.2～0.3mm 程度。0.05mm 以下のモザイク状～縫合状の珪長質鉱物＋微細無色粘土鉱物からなる。

(3) 基質

碎屑粒子間を縁取るように粘土鉱物が分布している。

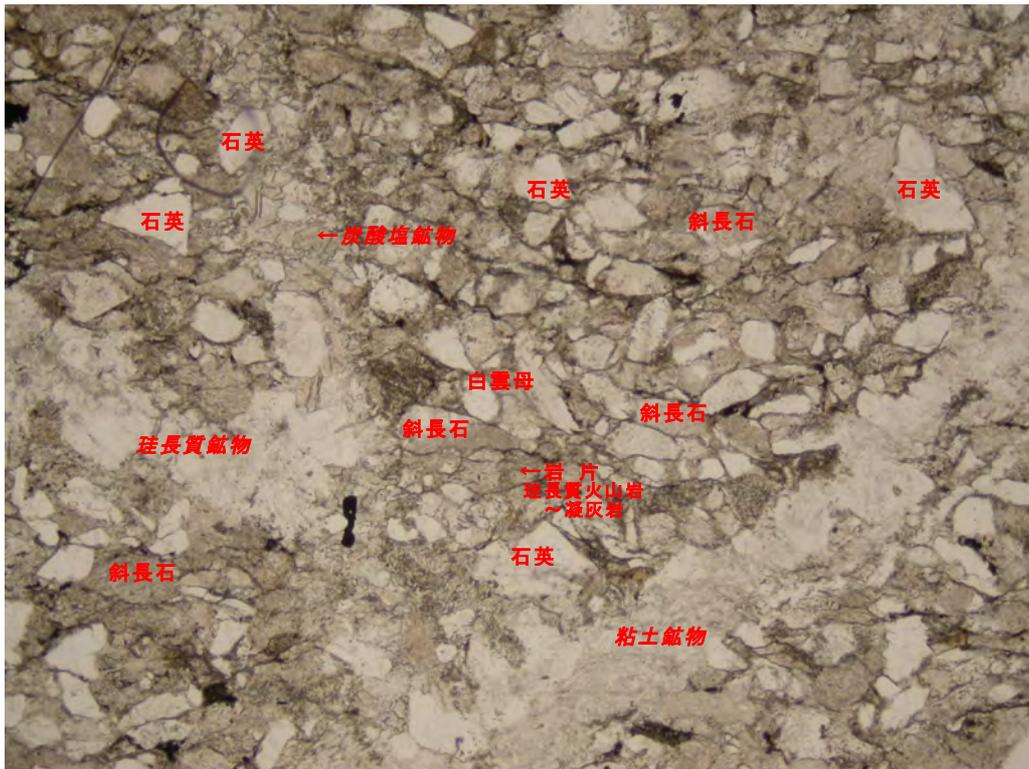
(4) 二次鉱物

炭酸塩鉱物：板状結晶の集合体が珪長質鉱物や粘土鉱物とともに連続性の良好な幅 0.5mm 程度の脈を形成している。また不規則なレンズ状，長レンズ状を形成しており，珪長質鉱物を伴う。

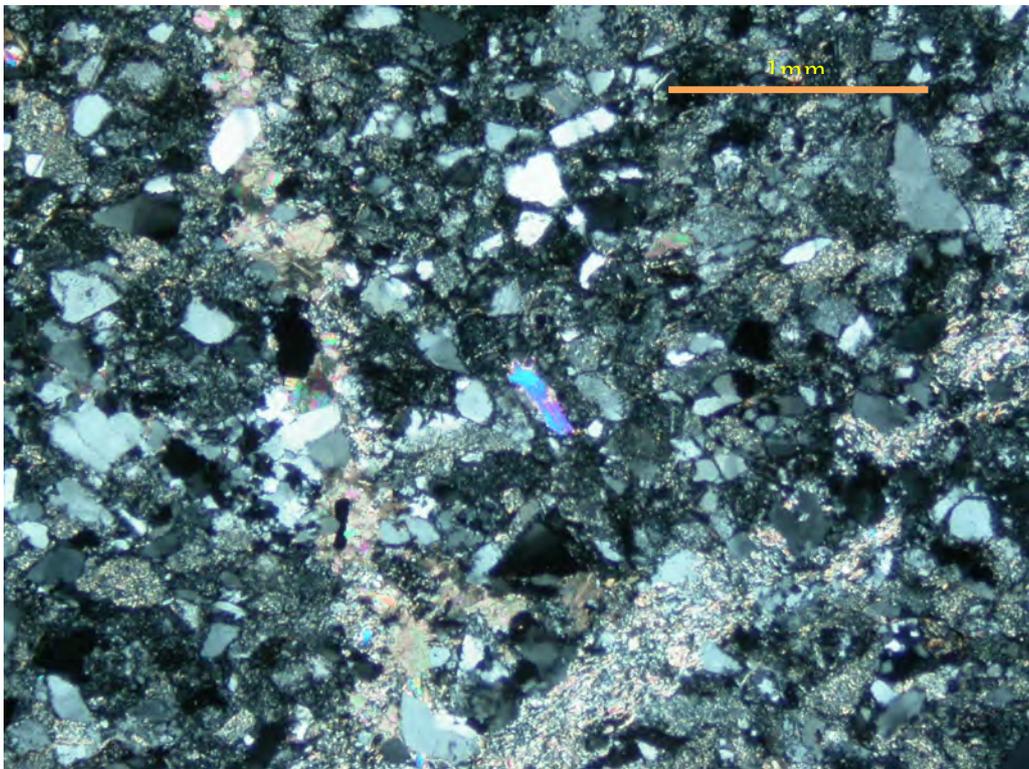
珪長質鉱物：炭酸塩鉱物とともに脈を形成する。また一部では二次成長が進んでモザイク状結晶が不規則な形状の集合体をなしている。

粘土鉱物：無色で炭酸塩鉱物や珪長質鉱物とともに脈を形成している。

不透明鉱物：全体に不規則，不均質に分布している。



(a) オープンニコル



(b) クロスニコル

写真 4-6 顕微鏡写真による岩石(B)の観察

4.5 参考文献

- 1) (社)地盤工学会：土質試験の方法と解説(第一回改訂版)，pp.61-68, pp.146-155, 2000.
- 2) (社)地盤工学会：岩の試験・調査方法の基準・解説書(平成18年度版)，pp.1～42, 2006.
- 3) (社)地盤工学会：岩の調査と試験：地盤工学会，pp.293-305.2000.

5. 本災害の考察

斜面の補強工事中において発生した岩石の崩落について、以下にその発生状況に基づいた考察を述べる。

1) すべり面付近に見られた細粒土

崩落後の斜面を見ると、細粒化した土砂が残存しており、劣化した岩石が存在していたことを示していた。また、この細粒化した土砂には、崩落時に岩石が破砕したことによって生成された細粒土も含まれている。

2) 落石と崩落の関連性

当該斜面の岩石には、かなり劣化が進んでいるものも見られ、崩落の危険が潜在していたものと考えられる。落石は崩落の予兆の一つでもあることから、落石を軽視せずに安全確保のための検討も必要である。なお、落石の頻度や規模と崩壊等の可能性の関係については、研究分野において解明が進められており、現段階では明確に言うことはできない。

3) 災害復旧工事の危険性

過去に崩壊した斜面は、不安定な部分が残存している可能性も高く、再崩壊のおそれがある。したがって、災害復旧現場の補強工事では崩壊等の危険性が一般的に高いと言える。

4) 先行工事との境界付近で発生した崩落

崩落が前年度に施工された法枠の直下より発生しており、先行工事による影響も否定できない。以前に行われた工事での斜面の観察記録や工事日誌等からの重要な情報が次の工事に生かされず同様な危険性に遭遇することもある。当該現場では、年度毎に工区を分けて工事が発注され、異なる業者が施工にあたっていた。

6. まとめ

斜面の補強工事における土砂崩壊災害について、発生原因と再発防止対策を以下に述べる。

6.1. 災害発生原因

1) 崩壊等の危険が潜在していたこと

本工事は過去に発生した斜面崩壊の復旧工事として実施されていたものであった。したがって、当該現場は崩壊の履歴を有し、通常の斜面工事に比べて崩壊等の危険性は高かったと言える。本工事では、落石が作業員に衝突する危険を防止するため、施工者(元請業者)と発注者の協議により、落石源と思われる箇所にモルタルを吹き付ける対策が選択され、追加工事として発注されたものである。したがって、今回の工事の施工範囲は崩壊等の危険性があった。

また、今回崩壊した箇所は岩石が馬の背状となって盛り上がっていたことから、周囲の岩石と比べて一層崩落の危険性が高かったことが考えられる。

2) 岩石が劣化していたこと

崩落前に撮影された写真を見ると、崩落した岩石には多くの節理が確認できる。そして、その節理の中には幅が大きく開いたものも見られ、その数も少なくない。また、節理の発達方向は一様でなく、異なる方向のものが混在している。したがって、崩落した部分の岩石は相当に劣化が進んだ状況にあったことが表面的な観察からわかる。なお、節理は周囲の岩石にも多く見られた。さらに、当該地域は大断層線に近く、地殻運動の影響で斜面の

構成岩石が劣化していた可能性も高い。

なお、採取した岩石資料のせん断強さは想定するすべり面に働いたと思われるせん断力より相当大きい値であり、その値では崩落しないことになるが、実際には崩落していることから、岩石の劣化の程度には相当な幅があったものと推定される。崩壊等の危険性は上述のような事前の落石、節理の状況、岩石の形状等を重視し判断すべきものと考えられる。

3) 崩落した岩石の落下方向で作業をしたこと

災害発生時の法面清掃作業において、馬の背状となった岩石が崩落した場合に巻き込まれる位置で作業を行っていた。

6.2 再発防止対策

同種災害の発生を防止するためには、次のような対策が必要と考える。

1) 崩壊等の危険性の評価

斜面工事では、地層構造や地山の劣化状態を調査し、崩壊等の危険性について詳細に確認・検討する必要がある。特に、過去に崩壊した履歴がある斜面では、潜在的に崩壊等の危険性が高いと考えるべきである。しかしながら、地山の崩壊等の危険性を正確に確認することは、現在のところ難しい状況でもある。弾性波法などによる地山の調査やモニタリングによる変状の計測によって危険性を評価する方法もあるが、すべての工事に使用するの是一般的に困難である。そのため、過去及び現在の地山の崩壊等の状況、作業箇所の形状等を重視し、危険を判断する必要がある。

2) 安全な工法の選択

崩壊等の危険性が高い場所での作業は、これが発生した場合に、崩壊物により被災しないような作業方法を選択して実施する必要がある。崩壊等の危険がある部分は最初に取り除く等の安全を優先した工法を選択することも有効であり、馬の背状に盛り上がった不安定な岩石はあらかじめ除去し、安全な工法を採用することも考えられる。具体的な作業方法や使用する機材等については検討が必要である。