

## 2. 吹上地区

### 2.1 吹上地区の概要

#### 2.1.1 概況

吹上地区は、群馬県嬭恋村との県境、万座峠に隣接した標高約1,800m付近に位置し(図5) 尾根部の群馬県道(通称;万座道路)から下部の林道山田入線に達する面積約6.0haの大崩壊地である。このうち崩壊地上部の4.0haについて調査を実施した。

崩壊地は、1874年3月24日(弘化4年)の善光寺地震により崩壊が発生したと伝えられ、その後、拡大と自然・人為復旧を繰り返しながら130年間崩壊地形態を続けている(写真5)。昭和33年度から昭和48年度にかけて山地治山事業が導入され、昭和57年度から昭和59年度にかけては崩壊地の一部に発生した地すべりの崩壊の対策工が、昭和59年度には林地荒廃防止(施設災害復旧)により、丸太法枠等が施工されている。さらに、平成6年度から平成7年度にかけて、県単治山事業により特殊土壌の緑化試験が行われた。



図5 位置図



写真5 崩壊地全景

#### 2.1.2 崩壊地の特徴

崩壊上部4haの平均傾斜は33°で、40°以上の急傾斜地が全体の21%を占める。地質は新第三紀後期の火山岩類で基岩が凝灰質安山岩で構成され、上位にむけて、凝灰岩 凝灰岩風化層 崩積土へ変移する。地層全域にわたって褐色を呈し、脆く、侵食を受けやすい状況下にあるといえる。崩壊形態は、風化侵食型、地滑り型、落石荒廃型に大別される(表4)。

既設土留工によって土砂移動の影響を受けない箇所に、亜高山型の植生が侵入してきているものの、上部滑落崖から多量の土石が供給され、リル・ガリーが発達する傾向を示し不安定な状態となっている。また、厳しい気象条件下に位置しており、当地特有の松川溪谷から強い風が吹上げ、山腹斜面は風衝地となっている。

#### 2.1.3 土壌酸性度

土壌酸性度を表5、流水の酸性度を表6に示す。

土壌のpH(H<sub>2</sub>O)は、pH2.7の極強酸性からpH7.5まで分布し、平均でpH4.28となっている。pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)ではpH2.1の極強酸性からpH6.6まで分布し、平均でpH3.33となっている。いずれの値もH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>で低く、潜在的に強酸性の土壌であることが認められた。

また、崩壊地内の流水は、pH3以下の強酸性水となっている。

表4 荒廃形態

形態	位置	特徴
風化侵食型	南東部	明確な湧水地がなく浅～深層の土塊の移動はない。所々に白色の硫黄臭を放つ基層が露頭し、全体的に粘性に乏しくルーズで脆弱な砂礫層となっている。既設構造物によりほぼ平衡斜面が形成されているが、局所的にガリが発達している。また、地滑り型崩壊区域とは異なり、中高木の植生が侵入している箇所もある。
地滑り型	中央上部	調査区域西側は、昭和57年度から59年度にかけて地滑り対策が実施された斜面であり、地滑り発生の誘因となる地下水を排除するための集水井工(H=16.5m)・集水ボーリング工が施工された区域である。さらに、林地荒廃防止(施設災害復旧)事業により土留工、木製法枠・水路工等が施工されている。 集水井工の設置により、斜面上部における地下水位の低下は図り得たものの、斜面の下方部から末端部に掛けては、以前として湧水の分布が著しく、地滑り型崩壊発生の大きな要因となっている。これらの湧水は、ほぼ同標高に帯状に分布し、湧水点付近から下方斜面においての崩壊の一因と考えられる。崩壊が集中している区域は、斜面長約80m、幅約100mの範囲に渡って点在し、崩壊形態は小規模な表層崩壊から地滑り型の浅層滑り崩壊が見られる。とくに、地滑り型崩壊斜面における湧水の集中が著しく、斜面長約40m、幅40～50mの浅層滑りの発生がみられ、上方斜面への拡大化の様相を呈する。なお、これらの浅層滑り発生に伴い、既往集水井の排水口(鋼管)が破壊され、現在排水が斜面内に垂れ流しの状態にあり、さらに崩壊を助長している結果となっている。
落石荒廃型	崩壊縁部	崩壊縁を成す斜面は、基岩が露頭し50以上の急斜面となっている。調査区域の南東部と北西部はこれらの斜面から落石が発生し、崩壊地谷筋(崩壊地中央部)に向かい岩塊が堆積している。とくに、調査区域起点の谷止工(昭和43年)左岸上部には岩径3.0m以上の落石が堆積している。

表5 土壌酸性度

検体No	分析項目			土色	植生有無	採取位置(cm)	標高EL(m)	採取地の植生	備考
	水素イオン濃度(pH値;H <sub>2</sub> O)	水素イオン濃度(pH値;H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	差						
S1	3.6	2.8	0.8	10YR6/4	有	10	1749.62	コメススキ	谷止工袖部堆積地
S2	3.7	2.9	0.8	N6/0	無	20	1788.07	無植生地帯	硫黄臭有り
S3	3.7	3.1	0.6	10YR8/1	無	10	1822.97	無植生地帯	硫黄臭有り
S4	4.5	3.5	1.0	10YR5/6	有	10	1826.09	セイヨウノコギリソウ、ダケカンバ、コメススキ、ヤマハハコ	亀甲金網痕跡有り
S5	3.1	2.4	0.7	10YR5/6	有	10	1773.31	コメススキ(多)	土留工背面ネット張地内、人工盛土地
S6	2.7	2.1	0.6	10YR6/6	有	10	1788.77	コメススキ	土留工背面堆積部
S7	3.7	3.0	0.7	10YR5/8	無	10	1807.54	無植生地帯	葡行地
S8	4.6	4.1	0.5	10YR6/8	無	10	1814.7	無植生地帯	湧水地・崩土
S9	7.5	6.6	0.9	10YR4/3	有	20	1814.39	C.R.F、ヤマハハコ、W・クローバー、セイヨウタンポポ、セイヨウノコギリソウ、マイズルソウ	植生土囊内部
S10	4.1	2.8	1.3	7.5YR4/4	有	10	1838.6	イネsp(芝)、ヤマハハコ	被覆率90%、上部木製法枠内、植生土囊
S11	5.2	4.2	1.0	7.5YR5/6	無	10	1846.6	無植生地帯	上部木製法枠破損裸地
S12	4.3	2.4	1.9	7.5YR4/4	有	20	1847.84	チシマザサ	崩壊地外チシマザサ草原
	50.7	39.9							
平均	4.23	3.33	0.9						
MAX	7.5	6.6	0.9					S9	
MINI	2.7	2.1	0.6					S6	

表6 流水酸性度

観測 No	水素イオン濃度( pH値;H <sub>2</sub> O )		水温 ( 5分後 )	流水 状況	測定位置	標高 EL( m )	備考
	電極投入時	5分後					
1	2.65	2.38	9.5	流水	S43谷止工放水路	1748.62	BP
2	2.36	2.36	9.6	流水	0次谷合流	1758.28	縦断No5
3	2.50	2.35	10.5	流水	S44土留工下方湧水地	1765.69	縦断No11
4	2.46	2.37	10.0	湧水	S44土留工右岸袖下	1769.23	
5	2.71	2.56	9.7	流水	支流	1775.42	硫黄臭
6	3.06	3.21	9.4	流水	S44土留工下流	1769.31	
7	5.98	5.82	7.5	流水	水路破損下	1782.34	縦断No19
8	3.01	2.94	8.1	湧水		1817.21	縦断No29
9	4.59	4.66	6.9	湧水	支流原頭部湧水地	1813.82	
	29.32	28.65	81.20				
平均	3.26	3.18	9.02				
max		5.82	10.0				
mini		2.35	6.9				

### 2.1.4 概況と特性の整理

吹上地区の概況とその特性を表7に示す。

表7 概況と特性

項目	現況	特性等
調査地の履歴	<ul style="list-style-type: none"> <li>崩壊地発生は1874年の善光寺地震による</li> <li>保安林指定は明治37年3月16日</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>崩壊発生後130年経過している</li> <li>古くから保安林指定されている</li> </ul>
治山復旧履歴	<ul style="list-style-type: none"> <li>昭和33年～61年に掛けて治山事業が導入されている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>昭和57年から昭和59年に掛けては地滑りの崩壊の対策工が行われている</li> <li>平成6～7年には県単事業で緑化試験が行われている</li> </ul>
地形	<ul style="list-style-type: none"> <li>有数の火山分布地帯に位置する</li> <li>荒廃面積約6.0ha</li> <li>このうち調査区域は上部約4.0ha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>カルデラ侵食斜面の南端側壁</li> <li>崩壊地は尾根部から松川溪谷に達する</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均傾斜は32.6°</li> <li>平衡斜面が53%を占めている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>側壁部は45°以上の急斜面</li> <li>既設治山施設の効果により平衡地形(平面的)が形成されている</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査地内は大きく3水系に区分される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常水のある流路は2水路、湧水を源流とするが、集水井排水管の破損により崩壊土塊内で垂れ流しとなっている</li> </ul>
地質	<ul style="list-style-type: none"> <li>第三紀後期の火山岩類により構成されている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>凝灰質安山岩を基岩とし、上位に向けて凝灰岩 凝灰岩風化層 崩積土へ変移する</li> <li>地層全域にわたって、ルーズで脆く、侵食を受けやすい</li> </ul>
気象	<ul style="list-style-type: none"> <li>年降水量約1,418mm程度</li> <li>平均気温4.2 程度</li> <li>最大積雪深700cm前後</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>豪雪地帯に位置する</li> <li>松川溪谷から吹上げる強い風は地名の由来となっている</li> </ul>
酸性度	<ul style="list-style-type: none"> <li>土壌酸性度12試料の平均pH( H<sub>2</sub>O )は4.23、pH( H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> )は3.33である</li> <li>最大酸性度はpH( H<sub>2</sub>O )2.7、pH( H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> )2.1と極強酸性を示す</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>植生環境による酸性度の違いは顕著に現れていない</li> <li>標高別(立地環境)では僅かであるが崩壊地上部ほど酸性度が低い傾向にある</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>流水・湧水9地点の酸性度は、平均pH( H<sub>2</sub>O )3.18である</li> <li>最大酸性度はpH2.35と極強酸性を示す</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>標高1,780m付近を境に下部は酸性度が高く、上部は低い傾向にある</li> <li>ただし最上部の湧水地では再びpH2.94と高い値を示す</li> </ul>
植生	<ul style="list-style-type: none"> <li>亜高山帯自然植生</li> <li>天然林構成である</li> <li>崩壊地内に出現する植生は29科76種確認された</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面が長く不安定な斜面の上部や白色に風化した酸性土壌が露出している区域は裸地となっている</li> <li>植生の侵入は立地の安定度が高い順に植生の侵入や群落化が見られる</li> </ul>
治山施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>7工種(うち土留工は4工法)が確認される</li> <li>谷止工は機能維持、土留工( CW、BW )は倒壊・破損により機能低下</li> <li>木製法枠工は一部安定しているものもあるが、腐食変形・破損が進行している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>破損・倒壊など治山施設としての機能低下が著しい構造物が多い</li> <li>木製法枠工の破損状況は、修景的に問題である</li> </ul>
自然環境等	<ul style="list-style-type: none"> <li>特定希少動物の生息は確認されていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>クマタカ・イヌワシ等(猛禽類)の生息情報はない</li> <li>その他貴重動物の生息は確認されていない</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>上信越国立公園内に位置する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特定植物群落に指定されている区域が計画地の周囲に分布している</li> </ul>

## 2.2 植生回復の阻害要因

荒廃形態を考慮し、当該調査地で植生回復を阻害している要因を整理すると以下のとおりとなる(表8)

<p><b>崩壊・侵食作用による表土の流出・流亡</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地滑り型土塊の不安定化</li> <li>・凍結・融解作用による表土の移動</li> <li>・積雪によるグライド</li> <li>・風による侵食(土砂移動)</li> <li>・雨水による雨滴侵食及び表面流の発生とその流下侵食力によるリル・ガリーの形成</li> <li>・上部斜面から供給される落石の影響</li> </ul> <p><b>酸性土壌の影響</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・化学的風化作用の過程で生成される硫酸酸性水による土壌の酸性化</li> </ul>
---

表8 植生回復の阻害要因

	細 分	阻 害 要 因
崩壊・侵食作用による表土の流出・流亡	地滑り型土塊の不安定化	地滑り型崩壊区内の斜面中腹～末端部において、依然として湧水が著しく、小規模な浅層すべりの発生が継続しているため不安定状態が継続し、植生の回復を阻害している。
	凍結・融解作用による表土の移動	冬期に地表面の水分が凍結融解作用により、土層の膨張・収縮によって表土が移動する現象である。初冬、早春に多量の土砂を生産する。
	積雪によるグライド	積雪の移動により地表面の土砂が剥ぎ取られる侵食を発生させる。調査地周辺は、積雪量700cm以上に達し高い雪圧が生じるなど、侵食量が大きくなると推測される。
	風による侵食(風食)	松川渓谷から吹上げる強い風により、全体的に粘性に乏しくルーズで脆弱な砂礫層を風食する。風向は、崩壊地内や周辺に生育する高木性樹種(コメツガ、シラビノ等)のクローネの偏心状態から、崩壊地下方から上方(ENE WSW)への東北東が平均状態となっていると推測される。風による細粒物質の吹飛ばし作用(デフレーション)が下方から上方に向けて卓越しているため、他の侵食作用よりも劣る。ただし、強風時には上方へ細粒物質を吹上げ、吹付ける砂粒による削磨作用(ウインドアブレーション)も発生していると考えられ、植生回復の大きな阻害要因になっていると考えられる。
	雨水による雨滴侵食	裸地斜面上に雨滴が降下する際の雨滴作用によって地表面の浸透能が低下し、表面流が発生することにより生じる。特に調査地は岩砕・礫の地表構成となっているため、雨滴降下時に発泡作用によって表面流を発生させやすいと推測される。さらに、表面流の発生は、流下するに従い侵食作用を増進させ、リル、ガリーを形成する。南東部では局部的に側壁と頭部を持つガリーが発達し、流水による土粒子の剥離と運搬に加え、下方侵食や縦侵食によって不安定となったガリー側壁と頭部が重力崩壊を発生させている。
	落石の影響	落石通過斜面は衝撃を受け、下部の谷止工や土留工での停止・堆積箇所では、落石塊と落石に伴う土砂の移動による不安定な堆積を繰返している。
酸性土壌の影響	植物に与えるストレス	化学的風化作用の過程で硫酸酸性水が生成されることにより土壌の酸性化が促進され、酸性化による土壌養分保持力の低下、養分の欠乏が主な原因となる。酸性土壌では、アルミニウムやマンガンが溶脱して、それらが過剰に吸収されることによる生育障害が発生する。さらに、それらがカルシウム、マンガン、リン酸等の植物に有用な養分と結合して不溶化することで吸収不能となり、養分の欠乏障害が発生する。

調査地は、以上のような要因が複合的に作用して植生の回復を阻害していると推測される。



## 2.3 試験区の工法設定

### 2.3.1 緑化目標

植生調査によると、当地は亜高山帯の植生帯である。周辺自然植生は、林床をチシマザサが占有し、上層は10～15m程度のコメツガ、シラビソ、ダケカンバ等で構成されている。ただし、立木密度は極めて疎で、林齢構成は約100年前後である。環境上、早期森林化に移行させることは難しく、通常の山地治山事業の緑化目標とは違う目標を設定しなくてはならない。目標群落構成は、低木性～高木性樹木を主体として設定するのが望ましいが、植生が定着しても低層のまま推移すると考えられ、森林化に移行して階層構造が成されるまで数十年の歳月が掛かると推測される。したがって、時間的な目標設定は、木製筋工の機能が低下する15年以内に、植生による被覆が完了することを目標とした。

### 2.3.2 植生工

過去の試験では、チシマザサの植栽が試みられたが早期に衰退している。治山履歴では植栽工の記載がない。豪雪、風衝地帯であることから植栽木の活着は期待できないものと考えられる。また、強酸性土壌地帯では多量の客土を行わなければ活着は期待できない。したがって、植生工は播種工とした。

### 2.3.3 緑化基礎工

調査地に植生を定着させるためには、土砂移動を抑止し、さらに凍結融解に対して抵抗力の大きい生育基盤材を選定する必要がある。

- ・雨滴エネルギーの吸収と地表流速の軽減による侵食防止
- ・凍上・霜柱の発生軽減と積雪グライドによる土砂移動防止
- ・風による風食・土砂移動の防止
- ・マルチ効果による乾燥の防止
- ・保温効果による晩霜害防止

急斜面に設置された過去の試験地では、伏工による保護はなされておらず、基盤の流亡が発生している。急斜面においては、伏工と丸太筋工による保護を検討した。

### 2.3.4 酸性対策と基盤造成

酸性対策として、植生基盤の造成厚が重要となる。過去の試験結果では5cmの基盤造成で植生導入が図れるとの見解が示されている。基盤厚5cmが一つの目安となると考えられる。ただし、pH2～3の湧水箇所や流路付近では、植生導入は不可能であると考えた。

### 2.3.5 試験工法と配合種子

試験工法は、山の神工法を基準とし、新たに基盤材を筋状に吹き付ける筋状工法を採用した。

配合種子は、亜高山帯に生育可能な樹種を選定するとともに、崩壊地内で確認されたバッコヤナギを挿し木として選定した(表9)。

表9 配合種子

名称	周辺自生の有無	発生期待本数 (本/m <sup>2</sup> )	配合数量 (g/m <sup>3</sup> )	備考
主構成種	ミズナラ	5	2976.2	
	ナナカマド	100	259.8	精実
	カラマツ	30	39.6	
	シラカンバ	250	310.6	
	イタヤカエデ	10	223.2	
補全種	ヤマハギ	30	21.1	皮付
	メドハギ	100	15.90	
草本種	ススキ	250	145.80	
	クレーピングレッドフェスク	100	8.40	

### 2.4 試験施工

地すべり性崩壊、落石荒廃地を避け、比較的安定した区域を選定し、4試験区を設定した(図6)。試験工法概略図を図7に示す。

試験施工は、平成15年6月18日~20日に実施した。

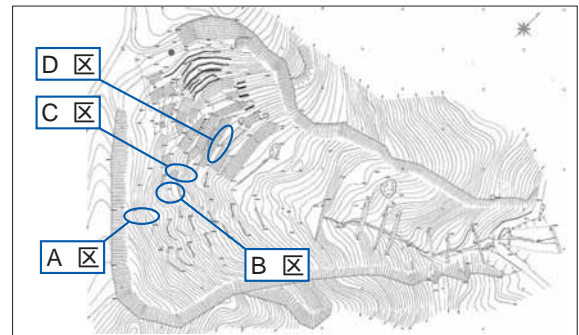
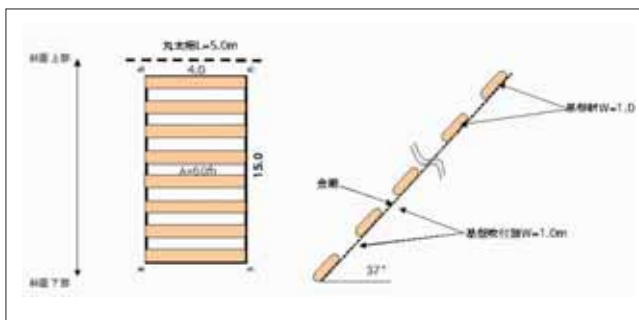
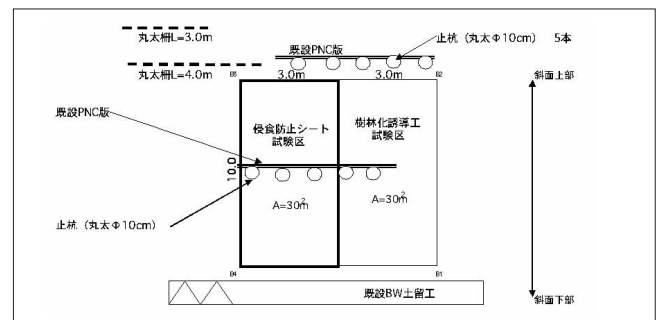


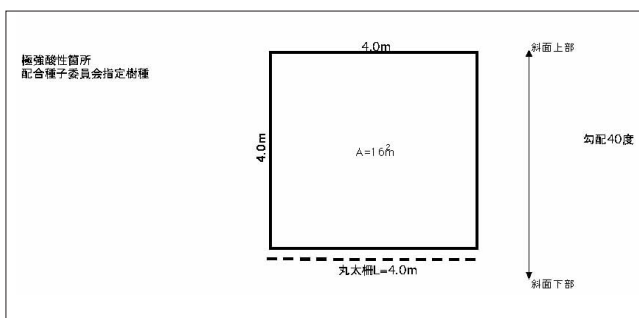
図6 試験施工地



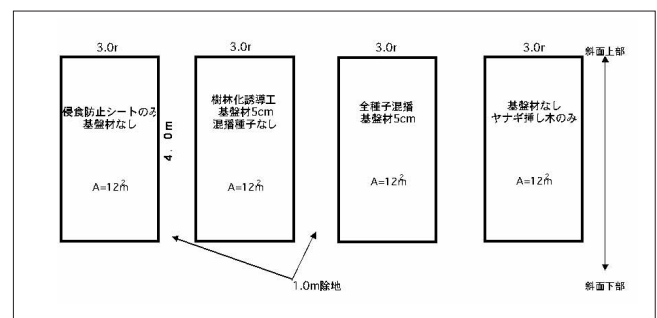
A地試験地 筋状緑化工



B地試験地 山の神工法比較



C地試験地 白濁変色土壌



D地試験地 既設小段(テラス)

図7 試験工法概略図

## 2.5 試験区の調査

### 2.5.1 調査区の設定

調査区は、1m×1mのコドラートを4試験区(A地1区、B地2区、C地1区、D地4区)それぞれ3箇所、計22箇所設定した。コドラートは、今後10年、20年後まで追跡観測が可能となるように、位置を測量し座標値データとして記録した。

- ・A地：筋状緑化工区 1区分 3箇所
- ・B地：山の神工法比較区 2区分 6箇所
- ・C地：白濁変色土壌区 1区分 3箇所
- ・D地：既設小段(テラス) 4区分10箇所

### 2.5.2 調査項目

試験施工に当たり、試験区の土壌を採取し、土壌化学性(pH、電気伝導率、中和石灰量)を調査した。その後、植生の生育状況等を1ヶ月毎に1回の頻度で実施した。調査内容は以下のとおりである。

土質調査(試験施工前)：pH(H<sub>2</sub>O)、pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、電気伝導率、中和石灰量

植生の種類、本数及び生育高さ

コドラート内の土壌硬度

現況写真の撮影



写真6 A地



写真7 B地

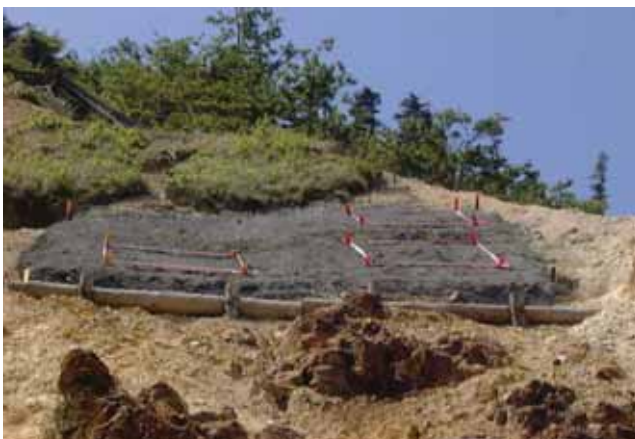


写真8 C地



写真9 D地