

強酸性土壌に起因する崩壊地の緑化工5カ年の推移

長野県長野地方事務所 林務課 主任 ○ 田淵 千春
長野県林業総合センター 育林部長 片倉 正行
(社)長野県林業コンサルタント協会 調査研究課長 松澤 義明

要旨

長野県北東部、熱水変質地帯の強酸性土壌に起因する荒廃崩壊地で緑化工を行い、5カ年にわたり効果調査を行いました。この結果、植生の発生・生育には基盤材の維持が重要なこと、施工後数年間は酸性度緩衝材（貝殻石灰）の効果が持続することがわかりました。また、土壌酸性度がpH3.0未満では植生の生育に明らかな障害が生じ、早期に再び裸地化する可能性が高いこと、また、木本緑化を促すためには、草本類の繁茂が障害になることが再認識されました。

はじめに

長野県北東部に位置する志賀高原から菅平高原地域には、熱水変質作用の影響を受けた酸性土壌荒廃地が点在しており、これらから流下する強酸性水は、魚が住めない、飲料水および農業用水として利用できないなど、流域住民にとって非常に大きな問題となっています。

須坂市の南端部、標高1,100m付近に位置する崩壊地（山の神崩壊地、面積1.3ha）は、昭和39～47年にかけて復旧が行われましたが、強酸性土壌という特殊環境によってコンクリート土留工が残ったのみで森林化に至りませんでした（図-1、図-2）。

強酸性崩壊地が発生すると、その復旧が極めて困難ですが、流入溪流で発生した崩壊のため熱水変質層からの強酸性物質の流入が生じpH2.8の強酸性湖となっていた湖沼で、崩壊地内に土壌が堆積し植生が回復することで徐々に酸性度が緩和され、約80年後の現在はpH5程度となっている志賀高原の大沼池の例もあります（樋口, 2003）。これは、強酸性崩壊地に土壌が形成され植生が発達することで酸性度が改善される好事例と考えられます。

ここでは、山の神崩壊地で、酸性水発生防止対策の一環として実施した山腹緑化工の効果について植生の成長と流出水の酸性度変化を調査検討した結果を報告します。

1 調査地の概要

(1) 位置・環境と崩壊地の現況

調査地は長野県須坂市山の神地区（北緯36度33分 東経138度19分）に位置し、標高1,060～1,140m、高低差80m、平均傾斜38°の南面した山腹に発生した崩壊地です。周辺の気象条件は、年平均降水量1,201mm、年平均気温6.7℃と、寡雨・寒冷な内陸型気候といえます。地質は、新第三紀保科玄武岩類及び閃緑岩とされていますが、熱水変質作用に伴う脱色（白濁化）が著しく原岩の判別は困難です。なお、所々に褐色で著しく脆弱化した強変質帯（数10cm～数m幅）が斜面を横断して露出しています。また卓越した節理面も視認できます。

崩壊地内では、斜面中腹の流送部が強い縦侵食を受け、侵食によって形成された側壁から多量の礫・岩塊が供給されています。既設土留工の効果により土砂移動が発生していない箇所では、僅かながらアカマツ、ヤシヤブシ、リョウブ、ネジキ等の木本が侵入成育していますが、比較的

安定しているように見える平衡地形においてはリル・ガリーの発達と、シート・エロージョンがみられました。こうした侵食作用により既設コンクリート土留工は激しい洗掘を受け、不安定な状態となっています（大崎、松澤, 2002）。



図-1 調査位置図



図-2 2001年崩壊地全景（左）と崩壊地内（右）

(2) 施工前の土壌酸度

崩壊地と周辺林分内であわせて 37 の土壌試料を採取し、pH (H₂O) を測定しました（表-1）。

測定値で最も酸性が強かったのは pH (H₂O) 2.86 で、平均値は pH (H₂O) 3.87 と崩壊地土壌は強酸性を示し、植物の侵入・成長に対し明らかに悪影響を与える土壌と推定されました。なお、強酸性を示す箇所は、崩壊地内に散在しており、山腹斜面の上部・下部、あるいは微地形との関連は認められませんでした。

表-1 土壌酸度分析結果

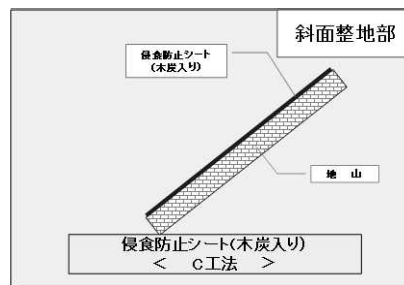
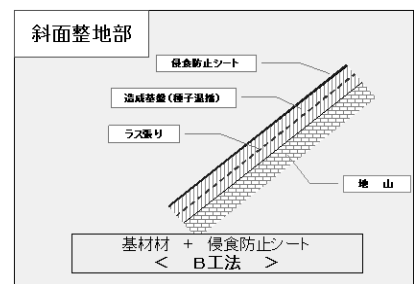
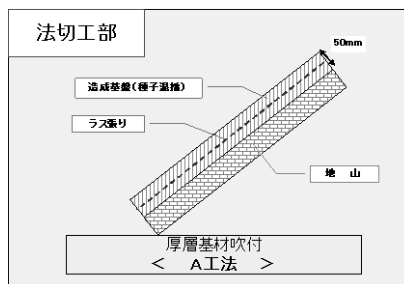
区分	最大値	最小値	平均値
pH (H ₂ O)	2.86	5.73	3.87

土壌環境分析法（1997）による

表-2 選定種子

	種	発生期待本数 (本/m ²)
木本	ミズナラ	5
	ナカマト	100
	アカメガシロ*	30
	ヌルテ	20
	アキグミ*	30
	シラカンバ	250
草本	メハギ*	100
	ススキ	250
	CRF*	100

注) *は周辺種ではない



工法名称	工種	適応部
A	厚層基材吹付工 (貝殻石灰入り)	法切工箇所 (切取地山)
B	侵食防止シート+基盤材工 (貝殻石灰入り)	斜面整地箇所 (盛土)
C	侵食防止シート工 (木炭入り)	斜面整地箇所 (盛土)

図-3 緑化工法

(3) 緑化工の種類

平成 13 年度から復旧治山事業を導入して山腹工を実施しました。緑化工は、次の点に留意し、平成 14 年秋に実施しました（図-3）。なお平成 16 年に一部追加施工しました。

ア 播種工により、低木林型～高木林型の木本植物群落造成を緑化目標としました。

イ 樹種は酸性土壌に対する耐性が高く、できるだけ周辺に存在するものを選定しました（表-2）。

ウ 酸性緩和対策として、緩効性アルカリの貝殻石灰（シェル・パウダー）を用いました。

エ 緑化基盤は、以下の 3 種としました。

A：厚さ 5cm の植生基盤＋厚層基材吹付工（上部斜面の切取地山部を対象に施工。以下、A 工区という。）

B：生育基盤材 5cm＋侵食防止シート工（中間～下流部の盛土（斜面整地）斜面を対象に施工。以下、B 工区という。）

なお、A、B 工区ともに緩衝材の貝殻石灰、種子を基盤材に混合して吹付けを行う施工方法としました。

C：木炭入りの侵食防止シート工（隣接部および下部斜面で平成 16 年秋に施工。以下、C 工区という）

2 調査方法

2003 年（施工 1 年後）、2004 年、2005 年ならびに 2007 年に基盤材の経年変化と土壌酸性ならびに崩壊地内滞流水の酸性度調査を実施しました。

（1）基盤材の経年変化

工区別、位置別にそれぞれ 3 種を与え、あわせて 9 カ所にコドラート（1×1m）を設定し、基盤材の劣化などを調査しました。

（2）土壌酸性

A 工区、B 工区における酸性度の変化について、植生の生育が認められる基盤材下部の表層下 10cm から土壌 3 試料ずつ、計 6 試料を採取して pH 測定を行いました。

（3）滞留水の酸性度

土留工間に設置されている水路工溜柵の滞留水 pH（山腹工内からの滲出流出水）測定しました（図-5）。

（4）植生変化

2007 年には侵入植生種の同定と木本類の成育状態調査を行いました。

（5）画像解析による植被率調査

コドラートをデジタルカメラで撮影し、植被率（被度）を画像解析しました（PhotoShop5.0：Adobe 社、NFCA, 2003）。

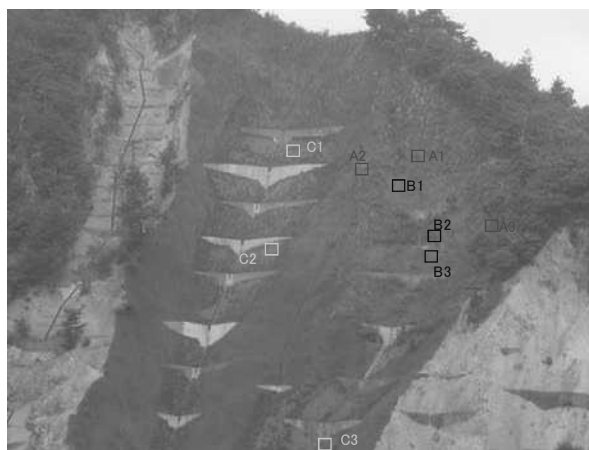


図-4 調査コードラート設置箇所
A1～A3 はA工法、B1～B3 はB工法、C1～C3 はC工法



図-5 流出水の酸性度 (pH) 調査箇所

3 結果

(1) 基盤材の変化

A工区は、2年目からコードラート内で基盤材の剥離・流亡が認められました。基盤材剥離は基礎工の金網にまでおよび、その深度は2cm程度でした。剥離の主な原因は、ノウサギ、ニホンカモシカによる踏み荒らしで、コードラート外全域でも同様な状態が見られ、3年目になると斜面中央部の残積尾根部に、50 m²ほどの基盤材剥離が発生しました。

B工区では、コードラート内の侵食防止シート破損（破れ）や剥離および植生基盤材の流亡は発生していません。なお、コードラート外では、一部にノウサギ、ニホンカモシカによる踏み荒らしが見られました。

C工区では、侵食防止シートの破損（破れ）は認められませんでした。

(2) 土壌酸性

基盤材、侵食防止シートの破損が発生していない箇所の土壌酸性度は、6試料の平均pH 6.6を示し、2001年よりも中性側の値を示しました。

これに対し、斜面中央部の残積尾根部の基盤材剥離・流亡箇所の土壌酸性度は、pH 2.8と強酸性で発芽植生の枯死が認められました。なお、施工以前(2001年)のこの地点の測定値はpH 3.25でした。

(3) 滞留水の酸性度

斜面中上部の滞留水 pH は、施工直後はアルカリで推移し、2007 年に pH7 前後になりました。

これに対して、先の pH2.8 を示した強酸性残積尾根部の斜面下部では pH3 以下に低下しています。

(4) 植生変化

ア A工区

草本がほとんど発生せず、木本のみがみられました。1 年目にアカメガシワが多数発生しましたが翌年には減少し、2 年目以降はシラカンバとアカメガシワがほぼ同数で生育し、2007 年には被度が 100% となりました。(図-6)

イ B工区

1 年目から草本 (CRF : クーピングレットフェスク) が全面発生し草丈が 60cm 以上に達し、被度 100% となりました。アカメガシワが同時に発生していましたが、CRF に被陰され 2 年目には激減し、3 年目に消失しました。このため 3 年目に B 工区地の一部で CRF に対して草刈を行ったところ、5 年目には CRF の被度が低下してメドハギが発生し、一定の効果が示されました。

ウ C工区

草本類の発生が少なく、シラカンバやナナカマドなどの木本が発生し、成長に伴い被度が上昇しました。

エ 侵入植生

2007 年に調査地内で確認された維管束植物は 26 科 47 種でした。(A 工区 : 木本 6 種、草本 11 種、B 工区 : 木本 2 種、草本 9 種、C 工区 : 木本 3 種、草本 7 種)。なお、コドラート内に侵入した木本は、アカマツ・カラマツ・オノエヤナギ (A 工区)、アカマツ・カラマツ (C 工区) でした。

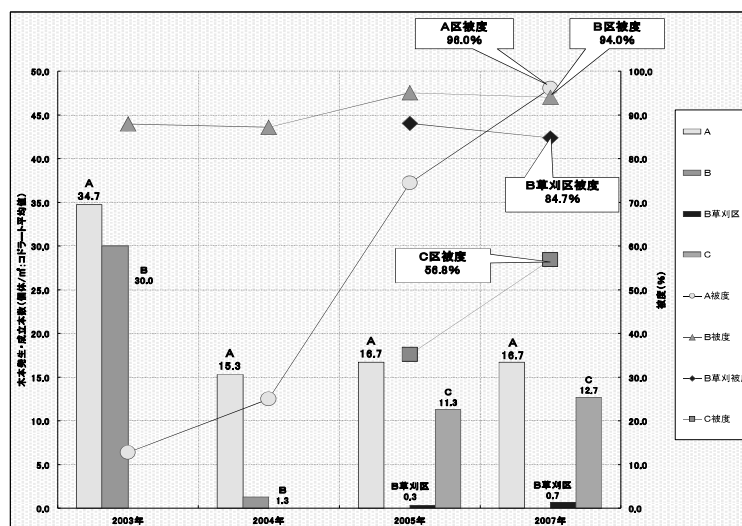


図-6 工法別の木本成立本数と被度の推移

4 考察

(1) 基盤材

基盤材が残存維持されている施工地では、木本、草本ともに植生の生育が認められ、生育基盤材の重要性が認められました。基盤材の剥離・流亡が発生した地点は、土壌酸度が pH2.8 を示していることから、強酸性水の発生により基盤材基礎工の金網が腐食したことが考えられ、耐酸性のより強い基礎工素材の必要性を感じました。

(2) 基盤材に混入した緩衝材からのアルカリ溶出と土壤酸性緩衝効果

施工直後の施工地内から流出した滞留水が高いアルカリ性を示したことは、基盤材からアルカリ成分の急激な溶出が生じたことを示しています。また、施工3年目の土壤酸度調査では、基盤材、侵食防止シートが破損していない地点で、pH5以上の値が示され、緩衝材として用いた貝殻石灰（シェルカーク）がその効果を持続していることが示唆されました。

しかし、施工地内からの流出水 pH 値は徐々に低下してきていることから、今後、基盤材からのアルカリ成分の流亡と、貝殻石灰（シェルカーク）の緩衝効果の低下が考えられます。

(3) 酸性度と植生の評価

土壤酸性度 pH3.0 未満になっていない地点では植生の発生・生育が認められ、緑化工による目標林型の形成が期待されました。しかし、pH2.8を示した箇所では、基盤材の剥離・流亡と、発芽・生育していた樹木の枯死が発生するなどの現象が認められ、再び裸地化する可能性が認められました。

(4) CRFの繁茂による木本類の成育阻害

CRFの全面被覆が、木本類の発生・生育を阻害しました。全面被覆箇所の草刈等によって他種の侵入・発生が認められたことから、CRFによる全面被覆は木本類の発生・成長を阻害することが改めて認識できました。最終的に木本緑化を目的とする場合には、CRFなどのイネ科草本の繁茂を抑制することが不可欠です。

(5) 緑化判定

施工5年目（2007年）の植生生育状態を表-6に示しました。A工区、C工区は木本類が、それぞれ16.7本/m²、12.7本/m²生育しましたが、B工区はCRFによる被覆のため木本類は成育しませんでした。なお、B工区に設定した草刈区ではシラカンバの発生が認められました。

木本類の生育結果から、「道路土工のり面・斜面安定工指針（社）日本道路協会（2000）」の基準を用いて緑化判定を行いました（表-3）。判定結果は以下のとおりです。

A工区	・・・可
B工区	・・・不可
B工区草刈区	・・・保留（経過観察）
C工区	・・・可

A工区では木本類による被度の上昇が認められ「可」と判定されました。

B工区は、CRFの被度が高くメドハギの発生は認められましたが、木本類の発生がないため、「不可」と評価しました。

B工区草刈区では、CRFの被度が低下し、木本類の発生も認められたことから「判定保留」と評価しました。しかし、CRFの被度が80%台で推移していることから、今後もCRFの発生が旺盛となる可能性があります。

C工区は、本数値は十分な値を示し、被度も56.8%に達していることから「可」と評価しました。

判定に当たっては、「道路土工のり面・斜面安定工指針（社）日本道路協会（2000）」の播種後3ヶ月の基準を用いました。

工区間の判定結果の差が、各工区のコドラート差（各工区3箇所）でないか、木本類の生育本

数および被度を用いて一元配置法による分散分析を行いました。その結果、A・B・C工区ともコドラート間に差はないといえました。写真撮影を複数月実施した2005年の被度推移について平均値を用い、工区間の被度に差があるか二元配置法（繰り返しのない）による分散分析を行った結果、有意水準1%で工区間に差がありました。さらに、播種以外の侵入種数を用いて、3工区が植生の侵入に対し全て等しいか、一元配置法による分散分析を行いました。科数、種数とも有意水準5%で工区によって差があると認められ、A工区とB工区では配合種（播種）以外の侵入植物に差があることが結論づけられました。これらの結果から、緑化判定における工区間差は、立地環境（切土部、盛り土部）等の違いに起因するものではなく、工区（工種）の差と推定されました。

表-3 施工5ヵ年の緑化判定

工法	No	2003年				2004年			
		木本	生長量max	被度	評価	木本	生長量max	被度	評価
		成立本数 (本/m ²)	(cm)	(%)		成立本数 (本/m ²)	(cm)	(%)	
厚層基材吹付工	A	34.7	4.3	32.4	可	15.3	10.3	45.8	可
侵食防止シート工	B1	30.0	1.4	84.6	判定保留	1.3	1.6	93.3	不可
草刈区 侵食防止シート工	D								
侵食防止シート工 (木炭入り)	C								

工法	No	2005年				2006年				総合判定
		木本	生長量max	被度	評価	木本	生長量max	被度	評価	
		成立本数 (本/m ²)	(cm)	(%)		成立本数 (本/m ²)	(cm)	(%)		
厚層基材吹付工	A	16.7	25.0	70.3	判定保留	16.7	111.0	96.0	判定保留	可
侵食防止シート工	B1	0.0	0.0	88.4	不可	0.0	0.0	94.0	不可	不可
草刈区 侵食防止シート工	D	0.3	1.3	72.0	判定保留	0.7	1.3	84.7	判定保留	判定保留
侵食防止シート工 (木炭入り)	C	11.3	3.5	49.4	可	12.7	107.5	56.8	可	可

※ 草刈区3年目 2003～2005年9月期の調査データ、2007年7月期

(6) 植生が流出水の酸度に与える影響の評価

山腹工施工地内において植生の地表被覆が流出水の酸性度に与えた緩衝効果は明らかにできませんでした。

おわりに

強酸性崩壊地の山腹緑化工による植生の回復と、これに伴う酸性水流出の緩衝効果について明瞭な結果を得ることはできませんでした。

熱水変質作用を受けた地帯では、水と酸素が変質作用を受けた基岩（黄鉄鉱等）に直接接触することで酸性水（硫酸性水）が発生します。前述した大沼池の事例は、植生や土壌が形成されることで、流出水の酸性度が軽減された事例と考えられ、植生や土壌の形成は、緩衝帯（層）とな

って酸性水流出の減少、または抑制を図れるものと期待できます。

今後も、本調査地において植生の生育と、施工地内からの流出水の酸性度の推移を継続調査し、植生回復と、流出水の酸性度について検討を行っていきたいと思います。

本調査結果が、下流住民の長年の課題である酸性水対策の一助となること、さらに、治山事業等による酸性土壌の崩壊地の復旧の参考となることを期待し、調査を継続していきたいと思います。

今回の取りまとめにあたり、「特殊土壌地帯における緑化検討委員会」の先生方には多大なご指導を頂きました。平成 12 年度から本調査に携わった長野県林務部の皆さん、長野県林業総合センターの皆さん、(社)長野県林業コンサルタント協会の皆さんに対し、ここに記して深甚より感謝の意を申し上げます。

引用文献

- (1) 樋口澄男 (2004) . 志賀高原大沼池の酸性化. 強酸性土壌地帯の緑化対策の基礎-調査・設計編-特殊土壌地帯における緑化検討委員会編. 分担 pp22. (社)長野県林業コンサルタント協会. 平成 16 年 3 月
- (2) 大崎智文、松澤義明 (2002) . 特殊土壌地帯における荒廃地復旧. 治山研究会. 治山. Vol147. No1. pp6-11, 平成 14 年 4 月号
- (3) 土壌環境分析法. 日本土壌肥料学会監修. 土壌環境分析法委員会編. 博友社. 1997
- (4) NFCA (社)長野県林業コンサルタント協会 (2004) . 強酸性土壌地帯の緑化対策の基礎-調査・設計編-特殊土壌地帯における緑化検討委員会編. Pp18. 平成 16 年 3 月
- (5) 道路土工 のり面・斜面安定工指針 (2000) . (社)日本道路協会. pp249 成績判定の目安