

山腹崩壊地における土壌藻類を活用した表面侵食防止工法 (BSC 工法) の UAV 施工について

津軽森林管理署金木支署	発表者	総括治山技術官	渡辺 大詞
	チーム員	森林整備官	三橋 健人
		一般職員	山崎 陽人
	チームリーダー	総括治山技術官	渡辺 大詞
	アドバイザー	支署長	高橋 毅

1. はじめに

山腹崩壊地では、下層植生が回復することで、山腹の表面侵食を防止し、崩壊を未然に防ぐことが文献等で報告されています。しかしながら、山腹崩壊地では地形の攪乱によって不安定土砂等が堆積し、岩盤や風化した土層が表面に現れる等複雑な地形が多く、現地条件によっては下層植生の回復に時間を要してしまうため、治山事業では土木的手段を用いて崩壊斜面の早期回復を目指しています。また、森林土木工事は、山間奥地で施工条件が厳しい等、現場環境の改善を求める声があり、林野庁では地域の守り手である事業者「選ばれる森林土木」を目指し、ICT 技術の導入や新工法の積極採用等の取組を進めています。これらを踏まえ、今回、表面侵食防止工法の一つで、近年導入実績が増えている BSC 工法と、作業員の負担軽減や安全確保、作業時間の短縮等の利点がある UAV (ドローン) に着目し、山腹崩壊地での活用を試みることにしました。

本発表では、山腹崩壊地における BSC 工法の UAV 施工における地上散布との比較検討や実際の取組について紹介し、施工効果と留意点について考察します。

2. BSC 工法の概要

BSC (Biological Soil Crust) とは、糸状菌類や土壌藻類、地衣類およびコケ等が地表面の土粒子や土塊を絡めて形成するシート状の土壌微生物のコロニーのことで、植生遷移の初期に見られる自然現象の一つです。崩壊地等における裸地化した斜面では、最初に BSC が形成され、草本類、木本類を経て森林へと遷移します (図 1)。

BSC 工法とは、従来の吹付工の種子を BSC 資材に置換えて施工することで、裸地化した

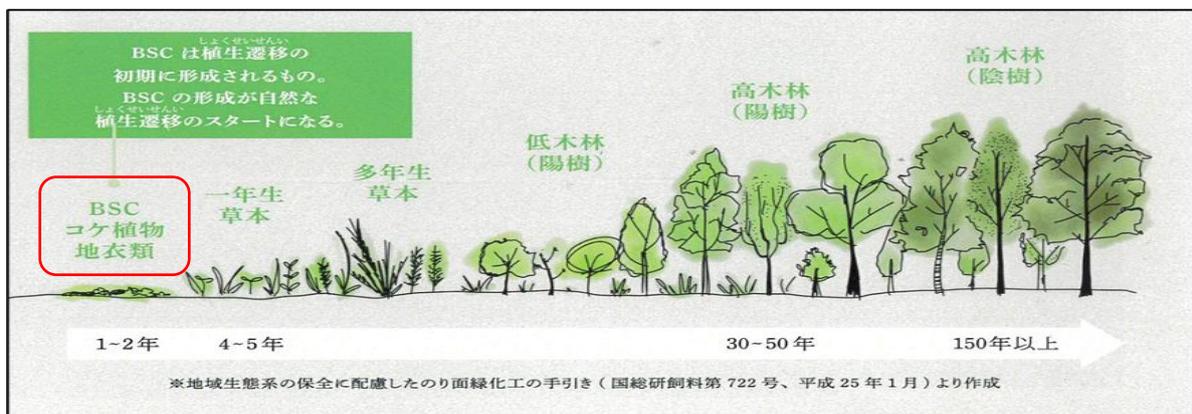


図 1 法面裸地等における植生遷移と BSC の概要

斜面に早期に BSC を形成し、自然な森林への植生遷移を促進する工法です。BSC 資材に利用される土壌藻類は、在来種として日本各地に既に自然分布しており、クローン増殖することから雑種の形成や遺伝子攪乱が生じないため、自然公園内での施工が可能です。

一方、土壌藻類はリル部（細溝）によく発達しガリ化（雨裂）を防ぐものの、山体基盤が脆い地質には適さないといった点に留意が必要です。

3. 山腹崩壊地の概要（下前治山工事）



図2 山腹崩壊地（施工地）



写真1 被害の状況

施工した山腹崩壊地は、青森県中泊町小泊の権現崎国有林内の下前地区で、日本海に面した厳しい気象条件下にあります（図2）。令和4年8月豪雨では、北日本に停滞する前線の影響で大雨となり、1.1 km離れた県の雨量観測所で24時間雨量133 mm、時間雨量28 mmを観測しました。この大雨により山腹崩壊が発生し、崩壊で発生した土砂は斜面下方に位置する保全対象の県漁港施設に流出し、木柵を破損する等の被害が発生しました（写真1）。

復旧計画は、林地荒廃の拡大防止及び不安定土砂の流出防止のため、山腹斜面はBSC吹付工をUAVにより施工し、崩壊末端部に鋼製棒土留工等を設置する計画としました。

また、BSCのUAV施工は、未崩壊地である未施工区域を除き、地形等から3つのエリアに区分し、合わせて約2,300 m²を施工することとしました。

4. 取組・研究

(1) 空中散布（UAV）と地上散布における比較検討

表1 空中散布（UAV）と地上散布の比較

	空中散布 (UAV)		地上散布 (ハイドロシーター)	
施工期間	1週間程度	◎	2週間～1箇月程度	○
品質管理 (資材配合、攪拌状況)	直接確認	○	直接確認	○
施工管理	間接的	○	直接的	◎
安全性	安全設備 特に不要	◎	安全設備 必要	○
経済性 (直接工事費)	約2,400円/m ² ワンオペ、資材見積他	○	約2,000円/m ² 資材見積他	◎
総合評価		○		○

空中散布と地上散布について、2,000 m²程度を想定し、施工期間、品質管理、施工管理、安全性、経済性を比較し整理しました（表1）。空中散布は、施工期間を大幅に短縮でき、急傾斜地等の条件が厳しい箇所に有効で、安全性も高いという利点があります。一方、施工管理は地上から直接確認ができる点で地上散布が優れており、施工単価は両者でそれほど変わらない結果となりました。これらを踏まえ、総合的には面積や現地状況に応じ比較検討のうえ散布方法を選択する必要があると考えます。

（2）施工管理と出来形管理の取組

はじめに、散布箇所の現地状況の確認と、踏査できる範囲で飛行の障害物等を確認し、必要に応じ飛行制限区域等に関する手続きを実施しました。次に、施工機材の重量等を確認したうえで実際の資材を投入し、平地において散布装置作動試験を行い、あらかじめ、標準散布速度と標準タンク開放時間を決定しました。資材配合に当たっては、品質を材料証明書等で確認したうえで、水・BSC資材・粘着剤・肥料を所定の割合で配合し、散布状況確認のため着色剤を混合しました。

飛行計画は、施工工程の順番等を色分けして作成し、吹付工 No. 1 は同一方向に 62 回、吹付工 No. 2 と No. 3 は同一方向に合わせて 54 回の飛行を計画しました。また、1 回の飛行は距離に応じて約 3 分程度で、実際の施工は 3 日間（6 月 16 日～18 日）で完了しました。

（3）施工結果

急傾斜地の No. 2 を除き、崩壊末端部を施工区 A、崩壊頭部を施工区 B として定点的に観察区域を設定し（図3）、それぞれ施工から



図3 定点観察区域

BSC の効果が発現するとされる 3 週間後、その後は 1 箇月毎に半年間、地表面から目視により観察しました。グラフ（図4）は最も近い観測所のデータを基に作成した雨温図で、折れ線が平均気温、棒グラフが降水量を表しています。

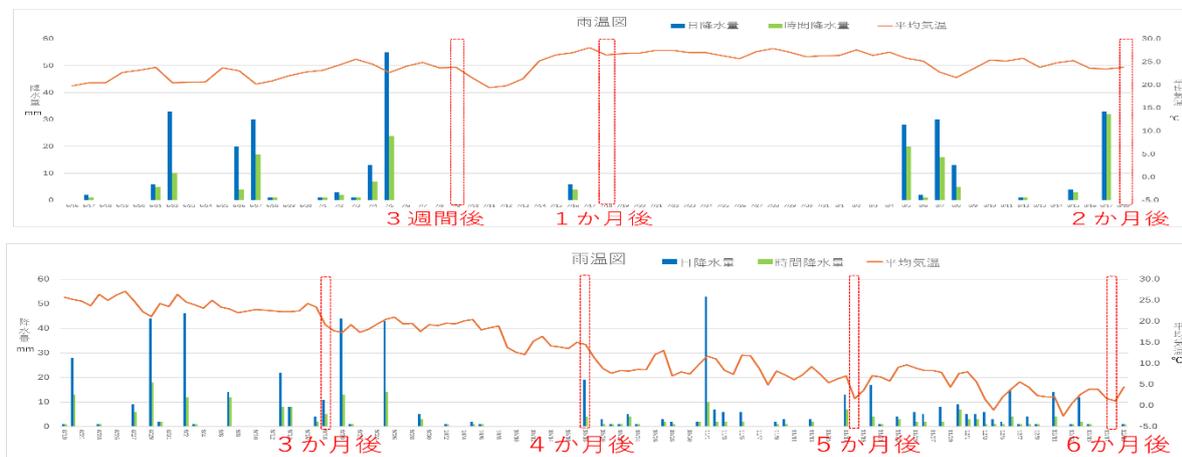


図4 雨温図（6/16～12/19）

崩壊末端部（写真2）では、施工後の降雨により3週間後には部分的にBSCの形成がみられ、1箇月後は降雨が少なかったことから、表土が乾燥しているようにみえます。2箇月後はツル性植物のクズをはじめとした下層植生の繁茂がみられ、地表面は植生の被度の増加により湿潤状態となっていました。3箇月後は、気温の上昇と降雨もあつて、さらに下層植生の繁茂が進み、5箇月以降気温が低くなると、クズの葉が枯れて地表面が露わとなり、植生基盤となる土壌が形成している様子を観察できます。



写真2 施工区A（崩壊末端部）の様子

崩壊頭部（写真3）は、礫混じりが多いですが、施工3週間後にはBSCの形成がみられます。1箇月後は、表土の乾燥がみられますが、部分的にBSCの形成を観察でき、2箇月後は下層植生が繁茂しています。3箇月後は気温も上昇し、まとまった降雨もあつてBSCの濃度が高まり、植生基盤となる土壌が形成している様子を観察でき、5箇月後はさらに下層植生が繁茂しています。

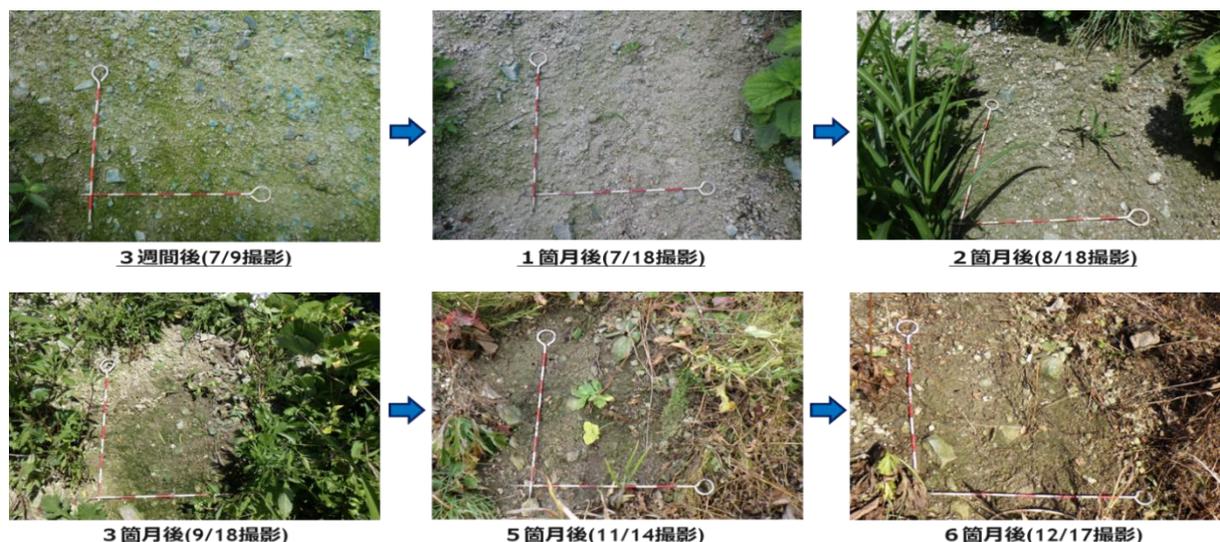


写真3 施工区B（崩壊頭部）の様子

5. 考察

立木の日陰により気温上昇が抑えられた地点では早期に BSC の形成がみられたことや、まとまった降雨により BSC の濃度が高まったことから、BSC の形成には地形や気温と降雨、日照等の現地環境が影響すると考えられます。このことから、気象情報を考慮し施工時期を決定する必要があると考えます。

さらに、表土が洗われたようにみえた箇所でも、資材に配合した粘着剤の効果もあって、その後の降雨で周辺環境を巻き込み、BSC が形成されたものと考えられます。また、下層植生の繁茂により地表面は湿潤が保たれ、資材に配合した肥料の効果も相まって、植生基盤となる土壌が形成されたと推察されます。

加えて、施工中は風速等が一定ではなく、散布によるムラが生じ、施工管理等はオペレータに依存するため、操作技術の向上が必要と考えます。

6. まとめ

BSC 工法の UAV 施工は、急傾斜地でも遠隔による施工が可能で安全性が高く、施工期間が大幅に短縮できる効果が得られ、本工事においては、施工3週間後には BSC の形成と、その後は植生基盤となる土壌が形成されました。また、散布方法は、面積や現地条件に加え経済性等を総合的に勘案し比較検討のうえ選択をします。

一方で、施工結果は現地環境に依存することから、施工時期を考慮することや、オペレータの操作技術の向上が必要と言えます。

また、施工業者提供の顕微鏡画像のとおり、目視では確認できなかった箇所でも、BSC が形成されており（写真4）、「山腹崩壊地における BSC 工法の UAV 施工は、地上散布と同様の効果が期待できる。」ことが、本研究において言えると思います。



写真4 顕微鏡画像による BSC の形成

このほか、優先度が低い小崩壊斜面等については、職員がじょうろ等で BSC 資材を散布することで、植生遷移を早期にスタートさせることも可能だと考えています。

受注者からは、「初めて BSC 工法や UAV 施工を実施したが、施工期間も短く省力的で、安全に施工できた。」「ICT 技術の導入や新工法の積極採用等の取り組みを進めてほしい。」といった声がありました。

最後に、今後も建設工事分野における UAV の技術開発・普及に期待するとともに、日頃から「森林土木技術のワークショップ」を意識しながら技術の研鑽に努め、引き続き、「選ばれる森林土木」を目指し、取組を進めてまいります。