藻類を配合した航空実播工におけるＢＳＣ形成の効果

近畿中国森林管理局島根森林管理署治山グループ　　根村　輝

１．研究の背景

航空実播工は、種子や肥料などを混合した植生基材をヘリコプターなどで運搬及び散布することにより植生回復を図る工法である。空中から散布を行うため、資材や重機の搬入が困難な奥地や、人力での施工が困難な急斜面の崩壊地でも施工可能であるという長所がある。しかし、その一方で基礎工を伴わない航空実播工では、施工後に散布した植生基材が降雨等により部分的に流亡する場合もあり、期待する植生回復が見込めない可能性があることがかねてから課題とされてきた。

そこで、土壌や植生基材の侵食防止を行い、植生回復の促進効果が期待できるものとして、本発表のテーマでもあるBSCに注目した。BSC（Biological Soil Crust）とは、植生遷移の最初期段階において、裸地にコケ植物や地衣類などが侵入し、表土を巻き込みながら繁茂することで形成されるシート状の土壌微生物のコロニーのことである（写真-1）。BSCの形成により表土が緊結されることで、土壌流出が抑えられ斜面が安定し、早期の植生回復の基盤となることが期待できる（図-1）。



写真-1　礫を巻き込むBSC

このBSCを航空実播工に取り入れることとした。

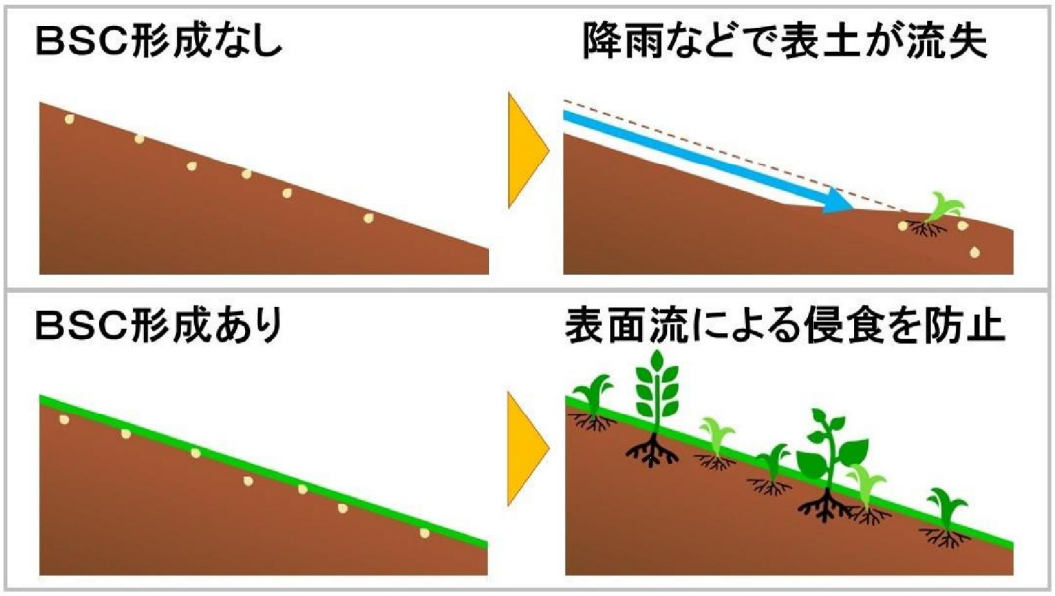


図-1　BSCの形成による表面侵食防止効果

２．施工地と施工方法

島根森林管理署が管轄する島根県浜田市に位置する柿木山国有林において、平成27年の大雨により山腹斜面が約0.8haにわたり崩落し、流木及び崩壊土砂が直下の谷に流出した。流出した崩壊土砂は土砂ダムの形成までには至らなかったが、斜面が拡大崩壊すれば約200m下流の第二浜田ダムの貯水池（写真-2）に崩壊土砂が流出し被害を及ぼす恐れがあった。このことから山腹工事を検討したが、施工箇所への重機や資材の搬入及び崩壊地内での作業が困難であったため、自然回復を期待し経過観

察を行ってきた。

しかし、崩壊発生から 8 年経過した令和 6 年時点においても植生の回復はほとんど認められなかった（写真-3）。そのため工法を再検討し、ヘリコプターによる航空実播工を実施することとした。



写真-2　崩壊地とダム（赤丸囲い）



写真-3　崩壊地（令和 6 年 2 月撮影）

しかし、今回の施工箇所が平均傾斜 40 度以上の急斜面であり、崩壊時に露出した基岩が広範囲にみられるなど表土の流失が著しいことから、通常の航空実播工では植生の回復が難しいことが予想された。

そのため、本工事では、BSC の形成を目的とした土壌藻類資材を植生基材に配合して施工することとした。植生基材の配合は従来の実播工の考え方に基づき設定した 4 種の芝類、イタドリ、メドハギ、ヤマハギ（落葉低木）の種子と肥料等の配合に、土壌藻類資材を追加したものとした。

航空実播工の施工にあたり、施工地から直線距離で約 500m の位置に作業ヤード及び仮設ヘリポートを設営した。作業ヤードでは植生基材の混合及び撹拌を行い、スラリー状（かゆ状）の植生基材を散布用バケットに充填したのち、ヘリコプターで吊上げ施工地への散布を行った（写真-4）。



写真-4　ヘリコプターによる散布の様子

本施工地において、BSC の形成により得られる効果として、以下の４項目を設定した。

・表土の固定による種子の生育環境の構築及び保全
・BSC が散布種子を巻き込むことによる種子の流失防止
・施工地周辺からの飛来種子捕捉による在来種の定着
・将来的な露岩部での植生回復

期待する効果が得られているか調査するため、施工後に BSC の形成状況や植物の発芽及び生育状況等を確認するモニタリング調査を行うこととした。

３．調査方法と結果

航空実播工による植生基材の散布を、令和 6 年 10 月に実施した。以降、数か月おきにドローン等による遠景撮影及び近景の撮影を行った（表-1）。



表-1　航空実播工施工箇所のモニタリング状況

施工直後には、植生基材に混合した着色料により斜面が施工前と比較して茶色く着色されていることから、植生基材が崩壊斜面全体に散布できていることが遠景から確認できた。

施工から約 2 ヶ月が経過した 12 月のモニタリング調査では、部分的ではあるものの、雨水による侵食部を中心に藻類が増殖し、表土や礫を巻き込みながら BSC を形成している様子が確認できた。また、同様の箇所において、芝類であるレッドトップやバミューダグラスの分布が見られた。

施工から約 4 ヶ月が経過した翌年 2 月の調査では、バミューダグラスが冬季休眠状態となり地上部が枯れ、置き換わるようにレッドトップが生長し、芝類全体の分布範囲が拡大している様子が確認できた。冬季は日中の気温が十分に上がらないことから、藻類の増殖は停滞すると予想していたが、現地では順調に分布を広げており、さらに、露岩部においても亀裂や窪みに沿って生育範囲を広げている様子もみられた（写真-5）。しかし、その一方で、植生密度が比較的低い BSC 形成箇所の一部では、小規模な表土の崩落が見られた（写真-6）。



写真-5　12 月（左）と 2 月（右）の露岩部における藻類の繁茂状況比較



写真-6　表土の剥離による崩落

施工から約 7 ヶ月が経過し、春季を過ぎた 5 月の調査では、施工地斜面の様子が大きく変わり、複数種の芝類が混在して繁茂し旺盛に生長するとともに、散布したイタドリやヤマハギの種子も発芽し生育している様子が確認できた。散布した種子の中では特にイタドリの繁茂が顕著であったが、これはイタドリに日当たりの良い場所を好む習性があり、施工箇所が南向きで日当たりの良い斜面だったためであると考えられる。さらに、散布した種子の他に在来種のオカオグルマが多数確認できたほか、代表的な先駆種であるアカメガシワやヌルデなどの落葉樹が繁茂していた。また、露岩部では藻類の増殖が亀裂や窪みから拡がり、被覆し始めている様子が見られた。

最後に施工から約 9 ヶ月が経過した 7 月の調査（写真-7、写真-8）では、表土が残っていない箇所を除きほとんどの部分を芝類が覆い、5 月に見られたアカメガシワやヌルデが大きく生長している様子が確認できた。藻類についても、露岩部において被覆範囲が広がっており（写真-9）、施工後の植生回復は非常に良好であると言える。



写真-7　遠望（令和７年７月撮影）



写真-8　近景（令和７年７月撮影）



写真-9　露岩部の藻類（令和７年７月撮影）

４．考察とまとめ

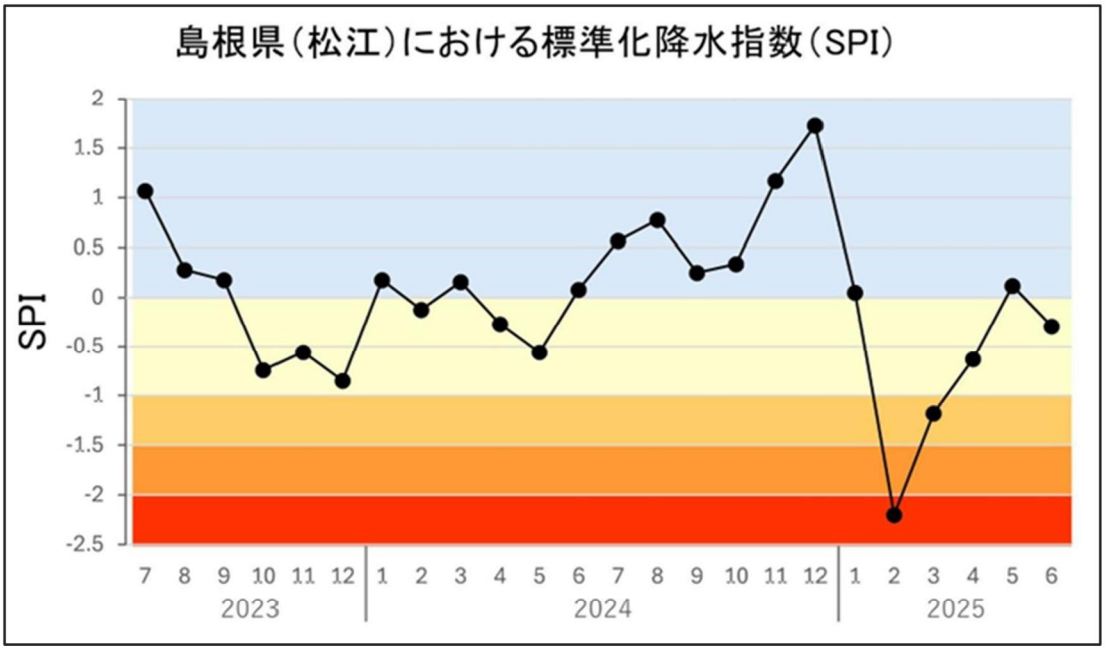
４－１　表土及び散布種子の固定

施工地は８年間にわたり植生の回復がほとんど認められない箇所だったが、施工後には、早い段階から侵食部においてBSCの形成と芝類の発芽が確認された。通常、植生基材の流亡は表面水の流れが集中する侵食部を中心に発生するため、急傾斜地の侵食部では植生の回復が遅れる傾向にある。しかし、本施工地においては、これとは対照的に、侵食部において早期の植生回復が認められた。これは、湿潤な土壌を好む藻類が、侵食部で増殖し早期にBSCを形成したことで、表土と散布種子が固定されるとともに、土壌の保水能力が向上し芝類の発芽・生育に適した環境になったためだと考えられる。

４－２　表土剥離

２月の調査では表土剥離が見られた（写真-6）。崩落した土砂は乾燥して白色に近い色であったのに対し、残った斜面内部は黄褐色であり、土砂の水分量に差が認められたことから、表土剥離の原因は乾燥ではないかと考えた。

そこで、乾燥を評価する指標として、気象庁のウェブサイトで公開されている干ばつを評価するための指標の一つである標準化降水指数（SPI）に着目し、松江における過去２年間のSPIをグラフ化した（図-2）。すると、島根県では、例年よりも湿潤傾向であった令和７年１月までから一転して、２月には50年に一度の乾燥が記録されていた。



SPI	程度の分類	現象の頻度
0 ~ -0.99	軽度の乾燥	３年に一度
-1.00 ~ -1.49	中程度の乾燥	10年に一度
-1.5 ~ -1.99	著しい乾燥	20年に一度
< -2.0	極端な乾燥	50年に一度

図-2　島根県（松江）における標準化降水指数（SPI）
（「世界の天候データツール（ClimatView 月統計値）」（気象庁）
（https://www.data.jma.go.jp/cpd/monitor/climatview/frame.php）をもとに作成）

このような異常気象によって施工地表面が急激に乾燥し、表面と内部で乾燥による収縮率の差が生じた結果、表土剥離が発生したと考えられる。また、BSC はシート状の形態をとるため雨水等による表面侵食には耐性を発揮する一方、表土剥離に対しての耐性は低く、表土の崩落に至ったと考えられる。しかし、植生密度の高い箇所では表土の剥離はあまり見られなかった。このことから発達した根系に表土剥離を抑制する効果があったと考えられる。

４－３　飛来種子捕捉及び種子の流失防止

5 月のモニタリング調査では散布した種子の内、2 月の調査では見られなかったイタドリやヤマハギの種子の発芽がみられたことから、BSC により種子の流失防止に一定の効果があったと考えられる。

また、施工以前にはみられなかった在来種の分布が認められたことから、飛来した種子を捕捉し定着させることにも一定の効果があったと考えられる。

施工後、早期に芝類が繁茂していたことや少雨が続いたことから、これらのことに BSC の形成がどの程度影響を与えていたかを評価するのは難しいが、先行研究により BSC が高い侵食防止効果を有していることが確認されていることから、藻類が表土と共に種子を巻込み BSC を形成することで、種子の流失防止効果を発揮したのではないかと考えられる。

４－４　露岩部での植生回復

以上のことから、BSC の形成により得られる効果として設定した 4 項目の内 3 項目について、本施工地において効果が表れていることが分かった。

また、第 4 項目の「将来的な露岩部での植生の回復」についても、露岩部での藻類の被覆がみられることや、落葉樹の繁茂により土壌や養分の供給が見込まれることから、十分期待が持てる結果となった。

さらに、施工から 1 年半となる令和 8 年 4 月のモニタリング調査では、露岩部に堆積したわずかな土壌でキク科の草本類が生育している様子が確認できた（写真-10）。



写真-10　露岩部で生育する草本類

５．今後の課題

今回のモニタリング調査では、施工後の初期段階における、BSC の形成過程及び散布種子の流失防止効果を観測することができなかった。そのため、今後の藻類を配合した航空実播工において、施工直後から短いスパンでのモニタリング調査や定点撮影を検討する必要があると考えている。

併せて、本施工地の今後の経過についても引き続きモニタリング調査していく予定である。

６．参考文献等

１）気象庁ウェブサイト，「世界の天候データツール（ClimatView 月統計値）」，（https://www.data.jma.go.jp/cpd/monitor/climatview/spi_commentary.html），PDL1.0（https://www.digital.go.jp/resources/open_data/public_data_license_v1.0），（最終閲覧日：2025 年 9 月 9 日）

２）小島塁・大澤和敏・松浦麻希・藤澤久子・冨坂峰人・松井宏之．藻類・菌類による被覆土壌の受食性評価および WEPP による侵食解析．土木学会論文集 G（環境）．vol.74，no.5，p.223-239，公益社団法人　土木学会，2018

３）新田壮真・矢部和弘・今富祐樹・江口文陽・徳永冠哉．微細藻類を用いたのり面保護工の機能評価．森利誌 35(2)，p.97-101，森林利用学会，2020