

土壌藻類を組み込んだ自然侵入促進型植生 マットの法面保護効果の検討

STUDY OF SLOPE PROTECTION EFFECT OF NATURAL VEGETATION
RECOVERY PROMOTION TYPE MAT INCORPORATED WITH SOIL ALGAE

松本 晶¹・富坂 峰人²・尾関 哲史³・荒木 功平⁴

Aki MATSUMOTO, Mineto TOMISAKA, Tetsushi OZEKI and Kohei ARAKI

¹多機能フィルター株式会社 (〒744-0061 下松市葉山 2 丁目 904 番地の 16)

E-mail: matsumoto@takino.co.jp

²日本工営株式会社 沖縄支店技術部 (〒900-0025 那覇市壺川 3-5-1 2 階)

E-mail: a4441@n-koei.co.jp

³日本工営株式会社 環境部 (〒102-8539 千代田区麴町 5-4)

E-mail: a5044@n-koei.co.jp

⁴徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 (〒745-8585 周南市学園台)

E-mail: araki@tokuyama.ac.jp

Key Words: *Soil Algae, Biological Soil Crust (BSC), Natural Vegetation Recovery Promotion, Erosion Control, ASTM D7101*

1. はじめに

近年、気候変動等に伴う土砂災害の頻発化及び激甚化が問題となっている。これらの土砂災害を防止するための対策として、コンクリートによる吹付工、法枠工等の構造物、植生による法面保護工が一般的に行われている。このうち、植生工は木本類等の植物により CO₂ の吸収・固定効果が期待できることから、地球温暖化対策としても有効であるといえる。

緑化分野においては、生物多様性や地域生態系の保全に配慮し、地域の在来種、特に地域性系統（在来種のうち、ある地域に共通する遺伝型をもつ集団）の植物を使用する緑化が求められるようになってい¹⁾。このような背景から、植生工では、自然に飛来する種子の定着により緑化を図る自然侵入促進工が着目されている。

一方、裸地状態の地表面に肥料等とともに、土壌藻類を散布することにより、植生遷移の最初に現れる藍藻類、緑藻類、糸状菌、地衣類、蘚苔類等によるバイオロジカル・ソイル・クラスト (BSC) を形

成し、自然侵入を促進する「BSC 工法」が開発されている²⁾。BSC 工法で用いる土壌藻類は全世界に分布する汎存種のため外来種には該当せず、無性生殖のため自生種との交雑も生じないため、自然環境への影響はないと考えられる。沖縄県では BSC 工法による赤土流出防止効果が確認された³⁾。また、日本国内のみならず、ネパール等海外でも、その効果が確認されている。ただし、BSC 工法は、基本的に通常の緑化工が適用可能な環境条件（基盤環境、水環境・気象条件等）において施工するが、施工後 BSC が形成されるまでに時間を要するため、豪雨等で散布資材が流出することが課題であった。

そのため、上記の課題を解決するために、「BSC マット」が開発されている。BSC マットは、侵食防止用植生マットに BSC 資材を組み込むことにより、施工直後から侵食防止機能を有するマットと、クラスト形成により高い保水性を有し早期植生遷移が可能となる BSC 資材の、両者の利点を活かした自然侵入促進型植生マットである。本論文では、屋外試験及び ASTM 規格の小規模降雨試験を実施し、BSC マッ

トの法面保護効果について検討した。

2. 屋外試験

(1) 試験方法

山口県周南市の徳山工業高等専門学校敷地内の南西向き斜面にまさ土を用いて勾配30度、斜面長7mの盛土を造成した。使用したまさ土の物理的性質を表-1に示す。造成した盛土に90cm間隔で木の板を設置し、合計6区画を調製した。試験は、対照区として裸地、試験区として侵食防止マット及びBSCマットを2区画ずつ敷設して、2021年5月28日から開始した。試験品の敷設状況を写真-1に、構造を図-1にそれぞれ示す。侵食防止マット及びBSCマットは、ポリエチレン製のネット及びポリエステルの不織布により構成されている。両マットの厚さは約10mmである。試験区の左側は自然植生が見られ、右側はブルーシート等で養生されており、自然植生は見られない。各区画の下端部に容器を設置し、降雨により流出した土砂量の計測を行った。また、土壌藻類の増殖や周辺からの自然侵入植生の状況等について調査を行った。

(2) 試験結果

a) 侵食防止性能

試験開始から6日後の6月3～4日の降雨で裸地_1が崩壊した。6月3日昼頃からの降雨は夜に強くなり、翌日の4日午前3時の1時間降雨量32.0mmをピークに昼過ぎまで降り続いた。降り始めからの積算降雨量は137.5mmであった。裸地_1の崩壊時刻は4日2:04であった。裸地_1は斜面中央から崩壊が発生し、土砂流出量は18kgを超えた。一方、試験区の斜面の変状は見られなかった。平均土砂流出量は、侵食防止マットは31.6g、BSCマットは1.4gとわずかであり、施工直後からの高い侵食防止効果を裏付けているといえる。

3日間の総雨量が162.9mmとなった7月7日～9日の豪雨で裸地_2が崩壊した。7月7日18時の時点で裸地_2は約9kgの土砂流出量が確認されており、この時点で裸地_2は崩壊とみなした。図-2に対照区と試験区の土砂流出量を示す。なお、裸地_1は崩壊した6月4日までの土砂流出量である。また、斜面の状況を写真-2に示す。崩壊した裸地と比較して、試験区の侵食防止マット及びBSCマットは大きな変状は見られず、土砂流出量も少ない値であった。特に、BSCマットの平均土砂流出量は裸地平均の1/4,500以下であり、高い侵食防止効果が確認された。

表-1 盛土（まさ土）の物理的性質

| | | | |
|--------|--------------|-------------------|-------|
| 土粒子密度 | ρ_s | g/cm ³ | 2.648 |
| 最大乾燥密度 | ρ_{max} | g/cm ³ | 2.002 |
| 最適含水比 | w_{opt} | % | 6.1 |
| 平均粒径 | D_{50} | mm | 1.1 |
| 均等係数 | U_c | — | 21.4 |
| 初期間隙比 | e_o | — | 0.448 |



裸地_1 侵食防止 マット_1 BSC マット_1 裸地_2 侵食防止 マット_2 BSC マット_2

写真-1 試験品敷設状況

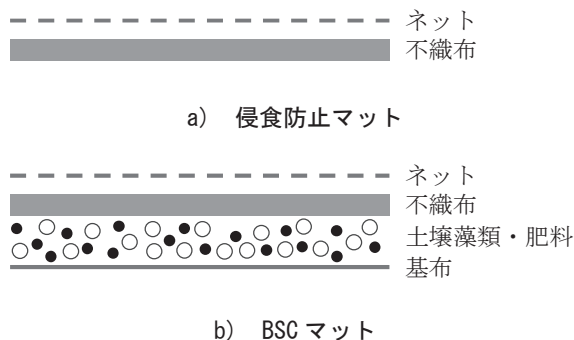


図-1 試験品の構造

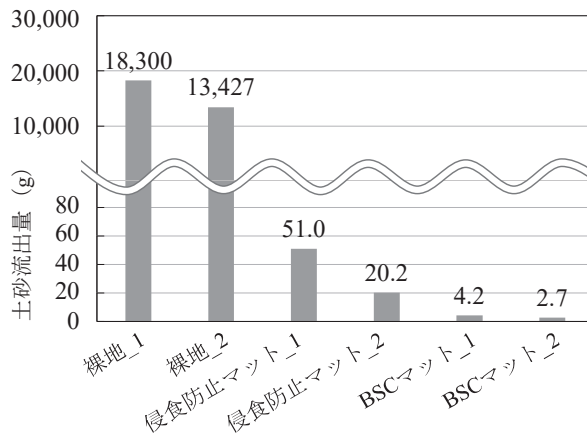


図-2 試験品の構造



裸地_1 侵食防止 BSC 裸地_2 侵食防止 BSC
マット_1 マット_1 マット_2 マット_2

写真-2 崩壊状況 (7月7日)



裸地_1 侵食防止 BSC 裸地_2 侵食防止 BSC
マット_1 マット_1 マット_2 マット_2

写真-3 施工後5か月

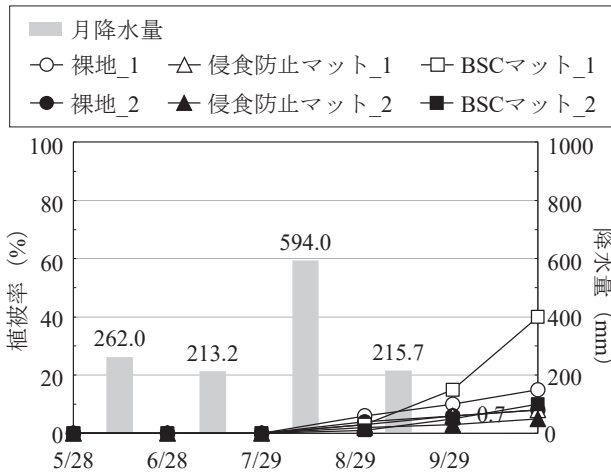


図-3 植被率

b) 植生

5 か月間の植被率の推移を図-3 に示す。施工から5 か月経過後の11 月初旬に対照区及び試験区の侵入植物の個体数及び種類の調査を行った。施工から5 か月後の斜面状況を写真-3, 植物の個体数を図-4, 種類を図-5 にそれぞれ示す。

BSC マットの植被率は裸地及び侵食防止マットに比べて、比較的高い値となった。特に9 月から10 月にかけて BSC マットの植被率が増加している。10 月の降水量は 0.7mm と非常に少なく周辺からの植生が侵入・成長しにくい条件にもかかわらず植被率が増加していることから、BSC 形成により植物の侵入が促進されたことが推測される。また、侵入植物の個体数は裸地の約 2.5 倍となり、BSC マット_1 では試験区内で唯一木本類 (アカメガシワ) が見られた。植生調査により、試験法面の周囲に自生している植物が BSC マットに侵入し、自然植生が成立したことが確認された。ここで、裸地_1 における侵入植物の種類が多い要因としては、左側の斜面からの侵入の影響があると考えられる。裸地の植物の生育範囲は土壌崩壊痕など局所的に斜面が緩やかになり、土質強度が低下したと考えられる箇所に偏るのに対し、

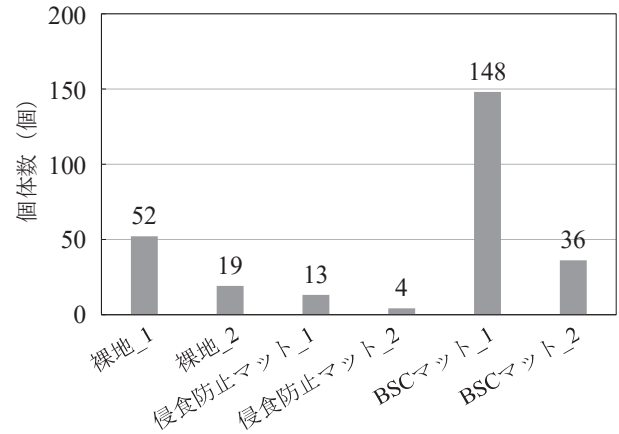


図-4 侵入植物の個体数

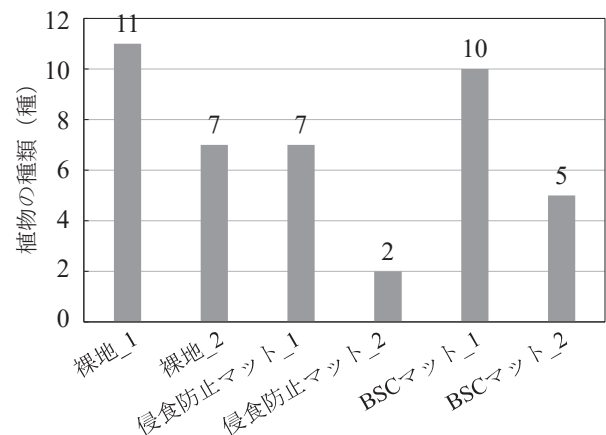


図-5 侵入植物の種類

BSC マットは全体に比較的偏りなく植物の定着がみられた。なお、自然侵入促進工の評価方法⁴⁾では施工後6 か月における成績判定を挙げているが、11 月以降は降雨が少なく、気温低下等により植物侵入も減少することから、施工後5 か月時点での評価を行った。

c) BSC 形成状況

試験開始から17 日経過時の BSC マットに目を近づけ観察したところ、不織布に広く土壌藻類 (緑藻類) が増殖しており、全体的に緑色に変化していた。

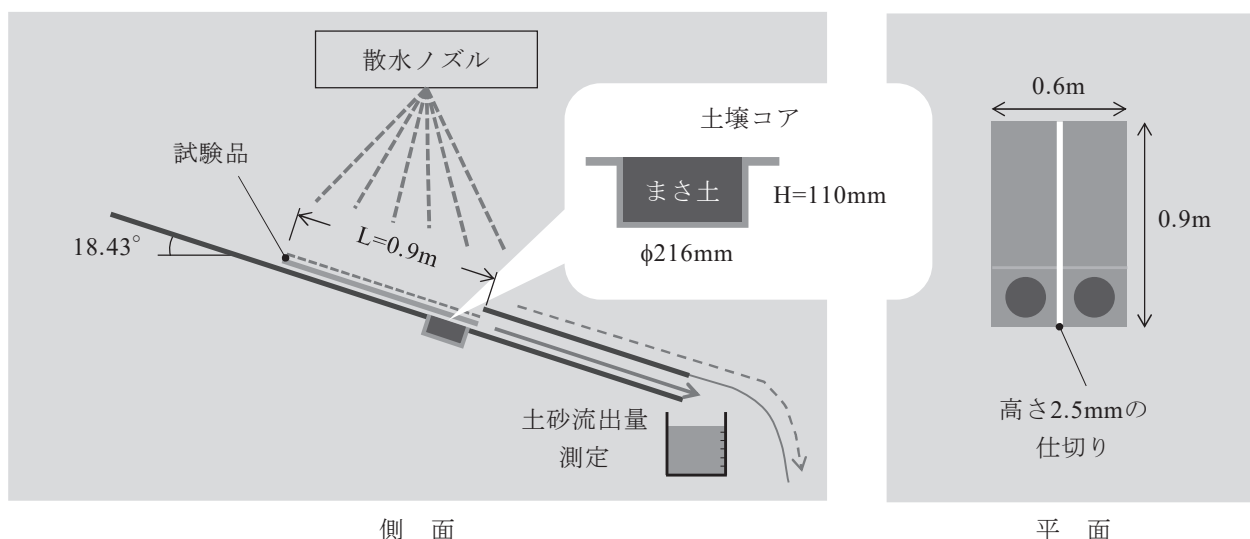


図-6 試験装置模式図

また、5 か月経過後に BSC マットをめくり背面を観察したところ、濃淡はあるが全面的に土壌藻類が分布していることが確認された。裸地及び侵食防止マットではこのような状況は見られず、BSC マット試験区では土壌藻類による BSC 形成が進んだと推測される。

3. 小規模降雨試験

本論文ではアメリカの ASTM 規格に準拠した小規模降雨試験を行った。ASTM 規格は、アメリカの標準化団体である ASTM International (旧称 American Society for Testing and Materials : 米国試験材料協会) が策定し、発行する規格である。ASTM 規格は任意規格でありながら、世界各国で法規制などの基準とされるなど、国際的に広く通用している。この ASTM 規格の中の小規模降雨試験 (ASTM D7101) に基づき、徳山高専人工降雨試験装置を改良して、試験を行った。

(1) 試験方法

試験は、降雨強度 50mm/h, 100mm/h, 150mm/h を 30 分毎斜面に与え、試験区 (侵食防止材による土砂被覆) の土砂流出量に対する対照区 (裸地) の土砂流出量の比率 (SLR : Soil Loss Ratio) で評価する。試験は裸地 (対照区) と BSC マット (試験区) について行った。試験に用いた試料は屋外試験で使用したものと同一のまさ土である。試験装置模式図を図-6、試験装置を写真-4 にそれぞれ示す。なお、ASTM D7101 の試験装置は 3 レーンあり、1 回の降雨で 3 個の土壌コアを設置できるが、今回ベースとした試験装置の幅が短かったため 2 レーンとし、2 回試験



写真-4 試験装置

を行って合計 4 回の平均値をとることとした。

試験方法は以下の通りである。

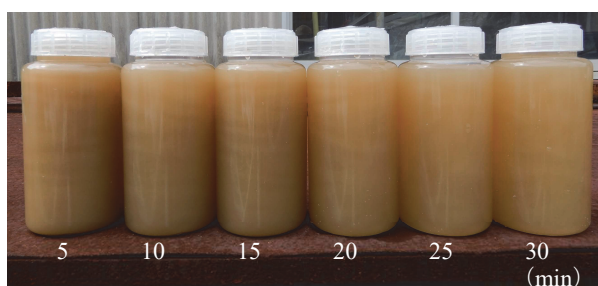
- 1) 最適含水比 $w_{opt} \pm 2\%$ のまさ土を、土壌コア容器の中に締固め度 $D_c = 90 \pm 3\%$ で締固めた。
- 2) 2 個の土壌コアを設置した試験装置を 3 : 1 (水平 : 垂直) の勾配 (18.43°) にした。
- 3) 対照区 (裸地) に降雨強度 50mm/h を与え、斜面の末端部にそれぞれ設置した容器で 5 分間の濁水を採取した。降雨時間が計 30 分まで繰り返し、これを 2 回行った。
- 4) 降雨強度 100, 150mm/h も同様に行った。
- 5) 採取した濁水を濾過して、土砂流出量の合計 (平均累積土砂流出量) を算出した。
- 6) 試験区は土壌コアにクラストを形成させるために、BSC マット敷設後 4 週間養生した。養生後の土壌コアを設置し、試験装置上部に BSC マットを敷設した。

表-2 強熱減量分析結果

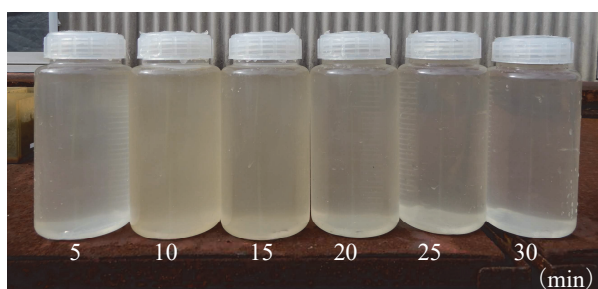
| 区分 | | 強熱減量 分析結果 (%) |
|------------------|----------|---------------------|
| マット | 破片等 | 9.1 |
| | 藻類 | |
| BSC層 (BSC+肥料) | 肥料 | 33.5 |
| | 溶解 懸濁 | |
| 土粒子 | | 57.4 |

表-3 土砂流出量と SLR

| 降雨強度 (mm/h) | 土砂流出量(g) | | SLR |
|----------------|----------|--------|-----|
| | 裸地 | BSCマット | |
| 50 | 88.6 | 0.8 | 106 |
| 100 | 203.2 | 1.1 | 177 |
| 150 | 465.9 | 1.6 | 294 |
| 平均値 | — | — | 192 |



a) 裸地



b) BSC マット

写真-5 100mm/h 濁水サンプルの状況

- 7) 試験区も対照区と同様に2)~5)を行った。
- 8) 試験区は、得られた平均累積土砂流出量について、敷設したBSCマットの単位面積質量を考慮した補正を行った。
- 9) 裸地の平均累積土砂流出量を試験区で得られた

平均累積土砂流出量で除したものが、各降雨強度での土砂流出比 (SLR) となる。ここで、SLR は各降雨強度と土砂流出量の実測値から回帰曲線を作成し、そこから求めた補正土砂流出量より算出した。

(2) 試験結果

BSC マットの土砂流出量は土壤藻類などの有機物等が含まれていることから強熱減量値を測定 (表-2 参照) し、得られた結果より補正を行った。土砂流出量と SLR を表-3 に示す。表-3 より対照区の裸地に比べて、試験区の BSC マットの土砂流出量は極めて小さい値となった。BSC マットの平均 SLR は 192 であり、高い侵食防止機能が示された。アメリカで行われた同規格の試験結果では、アメリカ製侵食防止マットの平均 SLR は 5.0~14.0 となっており⁵⁾、BSC マットの SLR が非常に高いことが示唆される。濁水サンプルを比較すると、裸地に比べ BSC マットは濁度が低くなった (写真-5)。なお、表-2 に示したように BSC マットの土砂流出量には、試験時に試験装置上部に敷設した未養生の BSC マットから流出した藻類資材や肥料等が含まれている可能性があることから、表-3 の値は安全側の数字となっている。

4. まとめ

本論文では、屋外試験及び小規模降雨試験を実施し、BSC マットの法面保護効果について検討を行った。試験で得られた知見を以下に示す。

- ・ BSC マットの侵入植物の個体数は裸地斜面の約 2.5 倍で、侵食部にのみ植生が見られた裸地と異なり、全体に偏りなく植物の定着がみられた。
- ・ BSC マットの屋外試験における平均土砂流出量は裸地平均の 1/4,500 以下であった。
- ・ BSC マットの平均土砂流出比 SLR は 192 となり、侵食防止機能は高いといえる。

屋外試験において BSC マットの植生形成状況は裸地と比べて早く、かつ良好であり、土砂流出量も抑えられることが分かった。また、小規模降雨試験においても、高い侵食防止効果が裏付けられた。

今後は、BSC マットの植生の侵入能力の向上のために、飛来種子の捕捉を向上させるネットの仕様等を検討する予定である。

また、今回の小規模降雨試験では、ASTM 規格に準拠して勾配は 18.43° としたが、国内の一般的な斜面勾配⁴⁾と比較すると非常に緩勾配である。同規格の試験で勾配を変化させた場合、勾配が急になるに

従って試験品の土砂流出量は増加することが示されている⁶⁾。これを踏まえて、国内の盛土・切土法面の勾配に合わせた試験条件の選定を検討する必要がある。

謝辞：本研究を行うに当たり徳山工業高等専門学校の上俊二特命教授，桑嶋啓治准教授，福田靖技術長には多大なるご協力を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 今西純一：地域性系統の植物による緑化の必要性—外国産在来種の使用に伴う生態系への影響，日本緑化工学会誌，47巻，第3号，pp.351-354，2022.
- 2) 下村幸男，富坂峰人，島田政好，小林豊，藤澤久子，栗原淳一，桜井亘，田方智，小澤聖，南雲不二男，千川

- 明，中野武登：土壌微生物を応用した土砂流出防止技術の開発，こうえいフォーラム，第15号，pp.21-29，2007.
- 3) 小島墨，大澤和敏，松浦麻希，藤澤久子，富坂峰人，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，pp.I_233-I_239，2018.
- 4) 公益社団法人日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針（平成21年度版），p.266，2009.
- 5) Sprague, C.J. and Sprague, J.E. : Testing and Specifying Erosion Control Products, Conf. XXXXVI, International Erosion Control Assoc., San Antonio, TX., 2016.
- 6) V. K. Midhal and S. Suresh Kumar : Influence of woven structure on coir rolled erosion-control products , Geosynthetics International, 20, No.6, pp.396-407, 2013.

(2022. 5. 30 受付)