

火山性荒廃地における東京クレセントロール工法の治山緑化機能の評価

菊池輝海^{*1)}・上條隆志²⁾・小川泰浩³⁾・岡部宏秋⁴⁾・石森良房⁴⁾

- 1) 筑波大学生命環境科学科 (現：横浜市戸塚区戸塚土木事務所)
 2) 筑波大学生命環境系
 3) 国立研究開発法人森林総合研究所
 4) 株式会社伊豆緑産

摘要：2000年噴火後の三宅島では、高濃度火山ガスの影響のため、現在も山腹に荒廃斜面が見られる。森林総合研究所と(株)伊豆緑産は、島内での継続的な緑化試験を経て、東京クレセントロール工法を開発した。本研究では、本工法の定量的データを観測し、その治山緑化機能を明らかにすることを目的として、資材の捕捉土砂量と植生定着量の計測を行い、他工法との比較を行った。結果、本資材はピット領域に最大 1 kg/m^2 以上の土砂を堆砂させ、他工法と同等の土砂捕捉能力を示した。また、他工法よりもハチジョウススキの自然侵入と定着を促進させる能力を示した。本工法の施工地に播種・植栽を行うことで、緑化効果を高めることが示された。

キーワード：火山性荒廃地、東京クレセントロール®, リル, 緑化, 土砂捕捉

1. はじめに

噴火により地表に堆積し新規に形成された火山灰層は、細粒のため固結度が高く、浸透性が著しく低い状態にある。このため、弱い降雨でも容易に地表流が発生する¹⁾。植生を欠く裸地状態の山腹斜面では、表土の侵食抵抗力が低く、地表流による土砂の流出が発生しやすい⁵⁾。

こうした火山性荒廃地では、早急な砂防処理と植生の回復が必要とされる。荒廃斜面において、地表流の侵食によって形成される溝状のリル地形は、豪雨時には移動土砂の流路となり、下流で合流するガリーに土砂を供給するため、土砂災害と密接に関連する。一方で、緩傾斜の斜面において、リルの溝地形が草本植物の散布種子を捕捉すること、またリル内の湿潤な水分環境が植生の生育と定着を促進することが示されている²⁾。このように、土砂流出の発生源である一方、荒廃斜面の植生回復の足がかりとなる潜在性を持つリルは、治山・緑化工法の施工対象として大変重要である。

従来の谷止工は、大量の土砂を効率的に止めるため、大規模なガリー地形を対象とするものが主流だった。しかし近年、

小規模のリル・ガリーを対象とする新しい治山・緑化工法として、東京クレセントロール工法(以下、本工法)が開発された³⁾。本工法は、2000年噴火後の三宅島緑化試験地において、国立研究開発法人森林総合研究所が行ってきた継続的な緑化試験の中で開発された。本工法は、施工対象をリルとし、東京クレセントロール®(以下、ToCR)と呼ばれる資材を設置するものである。流路内の移動土砂を止める小規模の谷止工としての能力を有しながら、地表の安定化によって植生定着基盤を整える機能を期待する。2012年よりモニタリング調査が実施され、ToCRの一部の能力が確認された⁶⁾。しかし、本工法の持つ土砂捕捉能力、緑化促進能力等の治山機能について、定量的な観測は行われていない。

そこで、本工法の試験施工地である三宅島南西斜面において、本工法の持つ治山緑化機能を定量的に評価することを本研究の目的とする。

2. 調査方法

2.1 試験斜面

試験斜面は、火口縁から約1 km 南西にある山腹斜面で、

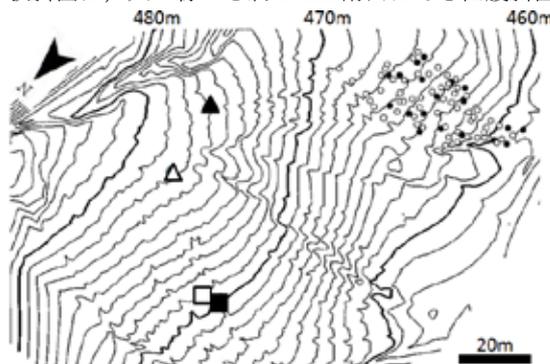


図-1 調査斜面の地形図

- A 試験地 □ToCR ■対照区 △木柵と土嚢 ▲石礫
 B 試験地 ○ToCRプロット ●対照プロット

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒251-0047 神奈川県藤沢市辻堂 6-8-14 E-mail : te04_kikuchi@yahoo.co.jp

緯度 34°04'21.4", 経度 139°31'11.6" 付近に位置する(図-1)。村営牧場の跡地であり, 2000年噴火による火山灰の堆積, および高濃度火山ガスの流下によって既存植生はほぼ全滅した。しかし, 火山ガス(SO₂)の排出量は経年的に減少し, 2014年の平均値は日当たり300t以下にまで低下しており³⁾, 斜面にはハチジョウススキ(*Miscanthus condensatus* Hack.)が自然侵入によりまばらに生育する。斜面の平均勾配は10.9°である。試験斜面のうち, A試験地では捕捉土砂量とハチジョウススキの自然侵入株の計測を行い, B試験地では植被率の比較を行った。

2.2 試験資材

ToCRは網材と中詰材で構成され, 各材をシート状に敷いて海苔巻き状にローリングしたのち, その両端を絞り込み紡錘体とする。両端には, ToCRを斜面に固定するためのループ等を取り付ける。設置にあたっては, ToCRを三日月状に湾曲し, 両端の2点をアンカーに接続して地表に固定する。詳細なToCRの仕様と特長は小川ほか(2014)⁶⁾に譲る。本研究で用いたToCRは, A試験地ではステンレス製の網材, 現地発生のスコリア・木質チップと不織布からなる中詰材で構成され, 弧長は1.5m, 中央径は25cm, 重量は約25kgである。B試験地で使用したToCRはナイロン製の網材(漁網), 木質チップと不織布の中詰材で構成され, 弧長は1.0m, 中央径は15cmである。施工地はリルの流路内とした(図-1)。

2.3 試験方法

2.3.1 A試験地の試験方法

他工法との比較を行うため, 同一斜面上に深さ幅ともに5-30cm程度のリルに, 木柵と土嚢により作成した堰, および石礫を積み上げた堰を作成し, 同様の計測を行った。木柵と土嚢による堰は, 径約7cmの丸太を用いた簡易的な木柵を, リル底に垂直に打ちつけて固定した。さらに, 木柵とリルの壁面との間にできた隙間を埋めるように, 土嚢を敷いた。石礫堰は, 現地で得られた径10cm強の石礫を複数個, リルの流路を塞ぐためToCRと同じ形態(三日月形)に組み置いた。それぞれの工法は資材高さが地表面から20-25cm程度となるように合わせた。図-1より, 各施工地点におけるリルの集水面積, 集水域長, 集水域内の最大標高差, および平均傾斜を算出した。また, 対照区との比較も行った(表-1)。この試験地において, 以下の項目を計測した。

1) 土砂量の計測

本工法は確実に流出土砂を捕捉するか, どの程度の土量を

表-1 各施工地点の地形環境

施工地点	集水面積 (m ²)	集水域長 (m)	最大標高差 (m)	傾斜角 (°)
ToCR	112.6	57.8	10.0	9.5
対照	92.9	64.4	11.0	9.4
木柵と土嚢	95.7	37.7	4.3	6.3
石礫	162.0	28.0	4.0	8.7

捕捉し, 下流への流亡を抑止できるかを検証するため, 各工法の上流側堆砂領域(ピット領域)の捕捉土砂と, 各工法の1m下流に設置した土砂受け箱(約50×40×30cm)に堆砂した流亡土砂の体積量を測定した。なお, 対照地点は土砂受け箱の土砂量のみを計測した。また, 捕捉土砂と流亡土砂からサンプルを採取し, 乾燥重量を求めて体積値を重量値に換算した。重量値は地点ごとのリルの集水面積で除し, 単位面積当たりの重量とした。併せてサンプルの粒度分析を行った。ピット領域が満砂してオーバーフローする前の土砂捕捉能力を把握するため, 調査毎にピット領域を排土した。計測は2014年4月から翌年2月まで, 約一月の間隔で行い, 計9回の反復データを得た。

2) ハチジョウススキの自然定着株数の計測

ToCR・木柵と土嚢・石礫それぞれの構造・特性の違いが現地自生種の自然侵入と定着に与える影響を比較する目的で, 各工法の周囲5cm内に存在するハチジョウススキの株数と各株の高さを計測した。株数は各工法の資材投影面積で除し, 単位面積当たりの値とした。調査時期は2014年6月(施工後9ヶ月)と同年10月(施工後1年)である。

2.3.2 B試験地の試験方法

本工法による緑化促進効果を検証するため, 先行研究⁶⁾で使用した, ToCRを用いて緑化を行った斜面において, 以下の解析方法で植被率の比較を行った。導入植物はハチジョウススキ, ハチジョウイタドリ(*Fallopia japonica* var. *hachidyensis* (Makino) Yonek. et H.Ohashi.), サルトリイバラ(*Smilax china* Linn.)を用い, 表-2の方法で緑化した。

ToCRが中央に来るように, 1×2mのプロットを60点設けた。また, 対照プロットとしてリルの流路を中央に据えたプロットを20点設けた。施工から約2年が経過した2014年5月に, 各プロットを真上から撮影した。画像から植生を示す緑色のピクセル数をカウントし, 全体のピクセル数で除すことで各プロットの植被率を算出した。画像の解析にはAdobe Photoshop CS6 Extended(ver.13.0)を用いた。また, 両群間の差を見るため, Mann-WhitneyのU検定を用いて解析を行った。

3. 結果と考察

3.1 土砂捕捉量

期間ごとの各地点におけるピット領域の捕捉土砂量, およ

表-2 ToCR一個当たりの緑化植物の導入方法

(小川ら2014⁶⁾より引用)

植物種	緑化形態	方法	播種量の目安
ハチジョウススキ	花穂	ロール下部に差し込み	10-20穂程度(150g)
ハチジョウイタドリ	翼果	ポケットに播種	ひと掴み(10g)
サルトリイバラ	苗	ポケットに植栽	30cm剪定苗1つ

び下流の土砂受け箱に堆砂した流亡土砂量を表-3に示す。図中の※は、期間中に激しい土砂移動が生じたため、ピット領域が満砂状態となり、資材を乗り越えて土砂が下流へ流出するオーバーフローが発生していたことを示す。そのため捕捉土砂量、および流亡土砂量について正確に計算できなかった。土砂受け箱のみを設置した対照地点では、ほとんどの期間において、土砂受け箱の容積を越える土砂が流れ込み、オーバーフローが生じていた。

表-3より、ToCRは他工法と同等にピット領域で土砂を捕捉した。流亡土砂量は対照区に比べ低い値となった。また、他工法に対して相対的に流亡土砂量が少ない傾向が読み取れた。これは、ToCRの形態がリルの窪地形に適應すること、そして自重により地表と密着し、隙間から土砂が流亡するのを抑えたことなどが理由と考えられる。粒径ごとの土砂量の比較からは、明瞭な傾向は読み取れなかった。

観測期間内の捕捉土砂量と流亡土砂量を合計し、年間の発生土砂量を求めたところ、少なくとも45 t/ha以上の土砂が発生することがわかった。オーバーフローの計測期間も加味すると、実際はこの値以上の流出が起きていると考えられる。本試験地付近の荒廃斜面における、小面積矩形エリアからの土砂流出は、2003年に年間当たり9.4 t/ha、2004年では9.2 t/haであった⁴⁾。これと比較すると、本試験地の流出土砂量は大変高い値を示している。これは、本研究の対象エリアが水と土砂の集中するリル内であるためと考えられる。

本試験においてToCRにより創出されたピット領域は、満砂時で1 kg/m²以上の土砂を捕捉した(表-3, 回収日7/31)。これは、傾斜が10°程度の緩傾斜のリルに5つ以上のToCRを施工することで、年間の流出土砂に対応することができることを示唆する。また、ToCRにはピット領域の堆砂物からかかる土圧による破損や大きな変形などは見られず、試験期間を通して土砂捕捉機能が低下することはなかった。

以上より、ToCRは少なくとも年間45 t/ha以上の土砂流出が生じる過酷なリル内の環境において、他工法と同等かそれ以上に土砂を捕捉し、より土砂流亡を防ぐ能力を発揮する

と考えられる。

3.2 植生定着量

3.2.1 ハチジョウススキの定着株数

図-2より、ToCR設置地点では、2014年6月と10月のいずれの計測時においても、他工法よりもハチジョウススキの定着数が多かった。10月時点では単位面積当たり60を超える株が定着し、最大のものは高さが21 cmまで成長していた。

いずれの地点においても、株はピット領域よりも堰の下流側に多く定着していた。木柵と土嚢・石礫の施工地点では、株は堰付近の地表に根付いていたが、ToCR施工地点では、地表だけでなく、約8割の株がToCRの中詰材のひとつである不織布(多機能フィルター)に直接根を張って定着していた(写真-1)。中詰材の保水環境が生育に必要な水分を供給し、根を展開できる生育基盤として機能することがわかった。また、ToCR施工地点のみ、10月時点においてカジイチゴ(*Rubus trifidus* Thunb.) 2株とユノミネシダ(*Histiopteris incisae* J.Sm.) 4株が見られ、ハチジョウススキ以外の種の侵入を確認した。

3.2.2 植被率の比較

図-3より、植被率はToCRプロットで有意に高かった(P<0.01)。平均植被率はToCRプロットで13.5%、対照プロットで4.6%となった。導入植物はピット領域だけでなく、ToCRの下流域でも多く定着しているのが確認された。これは、ToCRが下流への土砂流亡を抑制したことで、下流の環境が安定化し、流された種子の定着を促進したためと考えられる。また、ここでも同様に、ハチジョウススキがToCRの中詰材に直接根付いているのを確認した。以上より、本工法は植生工と組み合わせることで、その緑化効果をさらに高めることがわかった。

4. 今後の課題

本研究では、ピット領域が満砂に至る前の土砂捕捉能力を確認した。しかし、流路に施工した堰堤は、一度満砂すれば効果が終わるわけではない。複数の堰堤を施工することで、

表-3 調査期間ごとの捕捉土砂量および流亡土砂量

土砂回収日	貯留期間 (day)	捕捉土砂量(kg/m ²)			流亡土砂量(kg/m ²)			
		ToCR	木柵・土嚢	石礫	ToCR	木柵・土嚢	石礫	対照
4/23	42	0.73※	0.55※	0.51※	0.12※	0.22※	0.14※	0.31※
6/3	40	0.40	0.35	0.35	0.02	0.07	0.10	0.40※
6/28	25	0.25	0.27	0.23	0.01	0.06	0.04	0.26※
7/31	36	1.26※	0.94※	0.80※	0.18※	0.20※	0.13※	0.26※
8/23	22	0.33	0.28	0.26	0.02	0.04	0.04	0.21
10/1	39	0.56	0.40	0.43	0.03	0.05	0.06	0.29※
10/29	28	0.16	0.16	0.24	0.01	0.04	0.03	0.14
12/9	41	0.24	0.22	0.44	0.02	0.04	0.05	0.24※
2/4	57	0.14	0.21	0.39	0.00	0.07	0.06	0.25※

※オーバーフロー

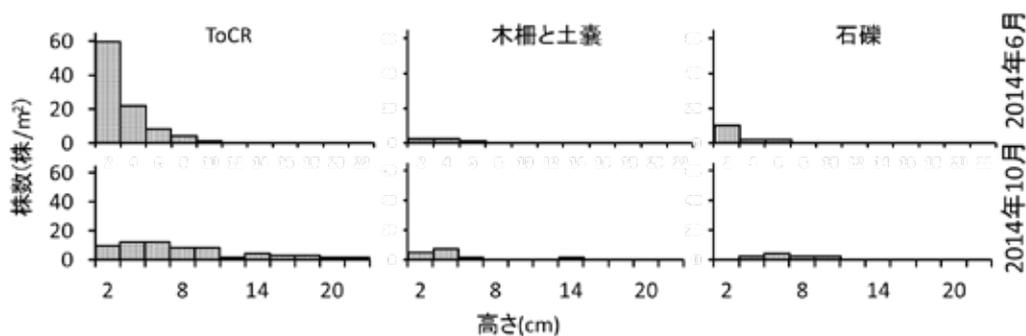


図-2 A 試験地におけるハチジョウススキの高さと株数



写真-1 ToCR の中詰材に定着するハチジョウススキの様子

流路に面的空間を創出し、下流へ移動する土砂と水の運動エネルギーを軽減させる持続的な効果が見込まれる。資材サイズが小さい本工法でも、こうした効果を期待できる。それを実証するためには、施工後の長期的な観測が必要となる。

土砂流出の続く荒廃斜面に対し、本工法に併せて在来種による播種や植栽を実施することで、その土地本来の自然な山腹地形を残したまま、また地域固有の植物相を攪乱せずに、より確実に効果的な治山・緑化を行うことができると考える。それに備えて、本工法と組み合わせることでより高い緑化効果を発揮する植物種の選定を実施する必要がある。

本工法は、個数やサイズ、配列次第で、ガリー侵食や面状侵食にも効果が期待される。施工対象地も火山性荒廃地に留まらず、土砂流出の激しい林床や法面などにも対応可能と考えられる。そうした期待される多面的機能と応用性を実証するために、様々な立地・条件の下、継続的な試験を実施し、多視点からの評価を行うことが求められる。また、本工法のような新たな視点からの治山・緑化技術に係るデータを充実させることは、火山性荒廃地、そして他の治山事業対象地への対応に関する貴重な知見が得られると考えている。

謝辞：試験地の使用については三宅村にご協力いただいた。本工法を用いた試験の実施には、森林総合研究所と株式会社伊豆緑産、東京都三宅支庁の協力を得た。観測器材は筑波大学地球環境科学研究科地形学研究室にお借りした。本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費(D-1106)「三宅島2000年噴火後の生態系回復過程の解明と管理再生に関する研究」

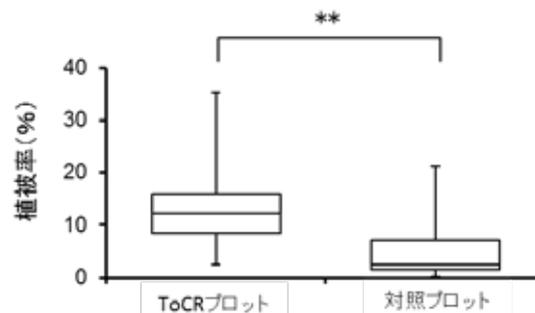


図-3 B 試験地におけるプロットの被率植の比較 (**: $P < 0.01$)

ならびに森林総合研究所政府外受託研究「環境保全型治山緑化資材の評価および施工技術の開発」の成果である。

引用文献

- Collins, B. D., and Dunne, T. (1986) Erosion of tephra from the 1980 eruption of Mount St. Helens. Geological Society of America Bulletin, 97:896-905.
- 菊池輝海 (2012) 三宅島 2000 年噴火後の植生回復におけるリル地形の影響. 筑波大地球, 学位卒業論文, pp. 20-21.
- 気象庁(更新: 2014 年 12 月 15 日). "三宅島の二酸化硫黄放出量". 気象庁ホームページ. http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/320_Miyakejima/320_So2emission.htm (参照: 2014 年 12 月 7 日).
- 黒川潮・小川泰浩 (2010) 東京都三宅島雄山噴火災害跡地における土砂流出量の観測. 砂防学会誌, 63(4): 59-62.
- 西澤敦彦 (2013) 噴火から 12 年経過した三宅島雄山における森林復旧計画の策定. 砂防学会誌, 66(2): 69-73.
- 小川泰浩・岡部宏秋・石森良房・西澤敦彦・広瀬光一郎・足利陽史 (2014) 治山緑化に寄与する環境保全型ロール資材の開発. 日本緑化工学会誌, 40(1): 191-194.
- 高橋剛一郎 (1988) 溪流環境の保全に関する砂防学的研究. 北海道大学農学部 演習林研究報告, 45(2): 371-453.
- 東京都総務局. "平成 25 年度東京都職員提案制度受賞提案一覧". 東京都公式ホームページ. <http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2014/01/20o1r402.htm> (参照: 2015 年 3 月 3 日).

(2015.6.30 受理)