

雲仙普賢岳の航空緑化斜面における3年間の表面流出・土砂流出観測

小川泰浩¹・清水 晃²・清水貴範¹・大丸裕武¹・宮縁育夫¹

摘要 : 1996 年以降の航空緑化工によって植生被覆が進行した斜面の施工実態を把握するため、雲仙普賢岳火砕流堆積斜面に試験地を設定し、1998 年 8 月から約 3 年にわたり表面流出・土砂流出を観測した。航空緑化工によって試験地に導入された植物は順調に生育し、特にヤマハギ (*Lespedeza bicolor* var. *Japonica* Nakai) は、樹高成長とともに側枝の成長も進んでいることが明らかになった。試験地における植生は上層が木本、下層が草本という多層構造を形成していた。約 3 年の観測期間では表面流出量や土砂流出量が減少傾向であった。これは、試験地における植生が土砂流出や表面流の発生を抑制していることが一因であると推察された。

キーワード : 雲仙普賢岳, 航空緑化工, 表面流出, 土砂流出

Key words : Unzen volcano, aerial seeding work, surface runoff, sediment discharge

1. はじめに

1990 年から 4 年以上にわたる雲仙普賢岳の噴火活動に伴い、山腹には火砕流による土砂が大量に堆積した。土砂流出を抑えて山腹斜面を早急に安定化させるため、噴火活動終息宣言がなされた翌年の 1996 年と 1997 年に九州森林管理局長崎森林管理署および長崎県島原振興局が大規模な航空緑化工を実施した²⁾。山越ら³⁾は 1996 年から 1997 年にかけて赤松谷流域の斜面に試験地を設け土砂流出観測を行い、斜面からの土砂流出が減少傾向になることを明らかにした。また、西田ら⁴⁾は 1997 年の 7 月から 9 月に赤松谷流域斜面の裸地・緑化地において土砂流出観測を行い、緑化地からの土砂流出が裸地より減少していることを明らかにした。しかし、現地では大規模な航空緑化工の後も斜面に航空緑化が施工されて植物の被覆がさらに進んでおり、これまでの報告は緑化初期の結果であるため植生被覆が大幅に進行した斜面における航空緑化の施工実態が明らかにされていない。そこで、本論では山腹に定着した植生と施工の実態を把握するため、約 3 年間の表面流出・土砂流出観測結果を報告する。

2. 試験地および航空緑化工の概要

試験地は、赤松谷流域の火砕流堆積物に覆われた斜面(北緯 32°44', 東経 130°19')に位置している(図-1)。この斜面は 1996 年の 4 月に長崎森林管理署が航空緑化工⁵⁾を実施した区域である。試験地を設定した日は 1998 年 8 月 27 日である。試験地最下部の標高は 365m, 集水面積は 2773m², 斜面傾斜は 15 度である。試験地およびその上流域斜面の航空緑化に採用された工法は、種子散布時に水を使用するスラリー工法⁶⁾であり、液体状に加工された 11 種類の緑化植物

種子がヘリコプターから空中散布された。1996 年以降の試験地上流域に行われた航空緑化工の概要を表-1 に示す。1999 年・2000 年に行われたスラリー工は小規模であり、溶岩ドーム周辺の急斜面に形成されたガリに対し施工された。一方、肥料を空中散布する施工(追肥)は施工面積に変動があり、1998 年を除き毎年施工された。1999 年は追肥だけでなく、施工地を追肥する区域と肥料・種子を同時に空中散布(追肥追播)する区域にわけて航空緑化が実施された。試験地を設定した区域は追肥のみが施工された。試験地設定時から定着していた主な植物は、導入種についてはヤマハギ (*Lespedeza bicolor* var. *Japonica* Nakai), ウィーピングラブグラス (*Eragrostis curvula* Ness), メドハギ (*Lespedeza cuneata* G. Don), ススキ (*Miscanthus sinensis* Anderss.), 侵入種についてはイタドリ (*Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc.) であった。

3. 調査方法

3.1 表面流出・土砂流出の観測

試験地では雨量・表面流流量・流出土砂量を観測した。雨量観測は、試験地設定当時から 1999 年 10 月 25 日までは試験地から東へ 350m 離れた地点(未緑化試験地⁴⁾)で行い、1999 年 10 月 26 日以降は試験地の最下流端で行った。また、雨量観測は 0.5mm 転倒ます型雨量計を用いた。雨量データに欠測が生じた際には、南へ約 2.5km 離れた標高 200m の地点(深江)のアメダス雨量データを用いて補完した。表面流出・土砂流出の観測は、試験地の下流端に設置された流出量観測施設で行った。この観測施設は、沈砂池(長さ 1.8m, 幅 0.44m, 高さ 0.5m)と量水堰(長さ 0.6m, 幅 0.43m, 高さ 0.4m)により構成されており、はじめに表面流とともに

¹ 森林総合研究所九州支所, Kyushu Res. Center, For. and Forest Prod. Res. Inst.

² 森林総合研究所, For. and Forest Prod. Res. Inst.

表-1 試験地上流域に行われた航空緑化工の概要*

Table 1 Aerial seeding works from 1996 to 2001.

施工年月	1996年4月		1997年4月		1999年3月		1999年3月		2000年3月		2001年3月	
	スラリー	追肥	スラリー	追肥	スラリー	追肥	追肥播種	スラリー	追肥	追肥	追肥	
施工面積(ha)	124.21	124.21	1.96	47.73	26.38	1.23	53.87	59.17	ha当たりの配合(kg)			
植物種												
トールフェスク	74.3		71.3				71.3					
クレーピングレッドフェスク	31.1		30.1				30.1					
ウィーピングラブグラス	3.4		3.4				5.1					
パミュダグラス	3.1						3.4					
ススキ	2.5											
ヨモギ	8.3						8.2					
メドハギ	41.6		38.6			18.8	41.6					
コマツナギ	5.9		5.9				5.9					
イタチハギ	29.7		24.7									
ヤマハギ	9.0		9.0				32.4	13.5				
ヤシヤブ	16.9		14.9				15.2	14.9				
アカマツ							2.0					
肥料												
普通化成肥料												200.0
高度化成肥料	400.0	200.0	300.0	200.0	100.0	600.0	300.0	300.0				
速効性肥料(60日タイプ)	700.0		200.0	200.0	200.0	400.0	200.0	200.0				
速効性肥料(180日タイプ)	300.0		500.0	400.0	300.0	400.0	300.0	300.0				
速効性肥料(360日タイプ)		700.0	300.0	400.0	300.0	300.0	500.0	300.0				
溶性りん肥	300.0											200.0
土壌改良材	3000.0		900.0				1100.0					
保食防止剤	2200.0		1600.0				2000.0					
糞材・分散材			44.0				40.0					
着色剤	40.0		40.0				40.0					
用水	8800.0		11200.0				11200.0					

*長崎森林管理署提供資料による

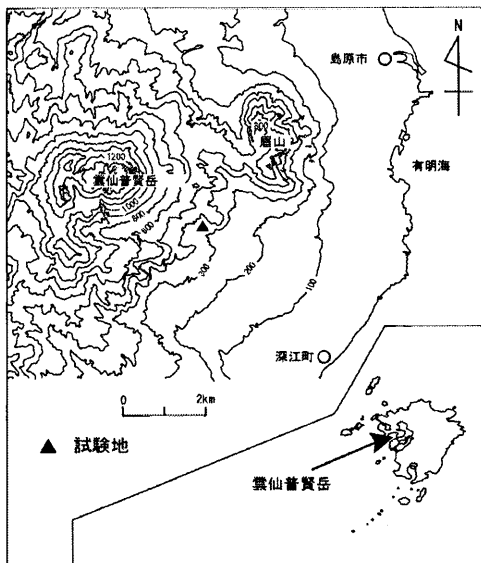


図-1 試験地の位置

Fig. 1 Location of the study site.

に流出した土砂を沈砂池で捕捉し、次に沈砂池を通過した表面流の水位を量水堰に設置した圧力式水位計で測定した。この観測施設は西田ら³⁾や山越ら⁴⁾とほぼ同じものであるが、流量観測の精度を上げるために量水堰に設置した三角堰は西田ら³⁾や山越ら⁴⁾が採用したものよりも鋭角である30度を採用した。表面流の流量は、量水堰で計測された水位を流量検定で作成した水位流量曲線から流量に変換して求めた。以上の観測項目のうち雨量および流量は1分間隔でデータロガーに自記記録し、沈砂池で捕捉された流出土砂は観測データ回収の度に持ち帰って重量を測定した。流出土砂の測定間隔は1週間から1ヶ月程度である。

3.2 植生調査

試験地における植生の実態を把握するため2000年と2001年に植生の被度を調査した。被度調査には、草地の植生調査に使用される線状被度法を採用した¹⁾。試験地の下部に10mの調査ラインを斜面縦断方向(東西方向)、斜面横断方向(南北方向)に各1本とり、このラインを通過している植物に対して種類別に被覆の長さを記載し被度を求めた。草本は基底被度を測定し、木本は冠部被度と樹高を測定した。また、筆者らが調査する以前の1996年から1999年に試験地周辺の9地点では植生調査が定期的に行われていた²⁾。このうち1地点の調査は筆者らの植生調査地点より約50m上流の地点で行われていたため、この調査結果も参照した。

4. 結果及び考察

4.1 1996年航空緑化工以降の植生の実態

試験地設定当時(1998年8月)の地表は、大礫が露出している場所を除くと、植物で覆われていた。表-2に植生調査の結果を示す。面積当たりの植生被覆率は1996年から1997年にかけて急速に増加し、1997年にはほぼ100%に達し、以降は100%であった。草本・木本の平均生育高も1996年から1999年にかけて上昇し、植生が順調に生育していることが認められた。筆者らが2000年・2001年に行った調査ではライン上の草本の平均生育高は約1mであり、ライン上に成立していた木本(ヤマハギ)の生育高は2.1~2.3mであった。2000年の試験地の植生は、草本だけの単層的な群落構造ではなく、ヤマハギが上層(1~2m)、イタドリ・ススキ・メドハギが中層(1m前後)、ウィーピングラブグラスが下層(0.5m前後)という多層構造が形成されていた。また、2000年・2001年の被度調査では木本の被度が増加しており、樹高成長とともに側枝の成長(被覆)も進んでいることが明らかになった。緑化工施工後の復旧が早いところでは、数年で植物群落の垂直的区分が急速に発達する¹⁾といわれており、調査結果からも試験地周辺の植生は順調に復旧していると考えられた。

表-2 植生の平均生育高と被度の推移

Table 2 Coverage and average height of the vegetation.

調査年月	1996年7月	1997年7月	1998年7月	1999年7月	2000年8月	2001年9月
草本生育高(cm)	17.3	96.5	94.5	102.9	100.0	100.0
木本生育高(cm)	5.2	24.8	66.7	100.0	213.8	233.4
面積当たり被覆率(%)	30.9	98.8	100.0	100.0	100.0	100.0
草本被度(%)	-	-	-	-	46.1	39.2
木本被度(%)	-	-	-	-	32.4	45.3

注)1996年から1999年の調査結果は文献2)から一部を抜粋した。
2000年と2001年の調査結果は著者らによる。
-はデータなしを示す。

表-3 各年毎の観測結果

Table 3 Annual observation result.

	年雨量 (mm)	多雨期雨量 (mm)	年流出量 (mm)	年流出土砂量 (kg)
1998*	291.0	-	0	0
1999	2672.5	1870.5	91.81	8.01
2000	2074.5	1030.5	17.82	0.21
2001	1964.5	1115.5	0.51	0

* 1998年は、8月27日から12月31日の観測結果である。

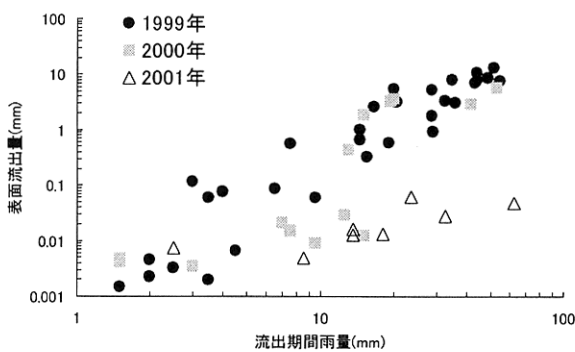


図-2 流出期間雨量と表面流出量の関係

Fig.2 Relationships between rainfall and surface runoff.

表-4 1999年6月24日と2001年9月30日の降雨流出

Table 4 Hydrological conditions on June 24, 1999 and September 30, 2001 .

	1999/6/24	2001/9/30
降雨		
流出期間雨量(mm)	19.0	23.5
24時間先行雨量(mm)	51.5	52.0
60分先行雨量(mm)	16.5	16.5
30分先行雨量(mm)	11.0	9.5
20分先行雨量(mm)	8.5	7.5
10分先行雨量(mm)	5.5	4.5
5分先行雨量(mm)	4.5	3.0
最大1分雨量(mm)	1.5	2.0
最大3分雨量(mm)	2.5	4.0
最大5分雨量(mm)	3.5	5.5
最大10分雨量(mm)	6.5	7.0
流出		
継続時間(min)	58	62
最大流量(mm/min)	0.035	0.005
総流出量(mm)	0.57	0.061
流出率(%)	3.0	0.3

4.2 表面流出・土砂流出の推移

表-3 に各年毎の雨量・表面流出量・流出土砂量の観測結果を示した。1998年8月から12月および各年の1月から4月は表面流出が発生していない期間であった。年間を通して表面流出が発生しやすい時期である6月から9月の期間(多雨期)の雨量を見ると、1999年が最大値を記録し、2000年と2001年は1999年の約60%であった。流出土砂量も1999年に最大を示し、2000年は1999年の2.6%となり、2001年には流出土砂が見られなくなった。このような土砂流出の急減は、3年間で最も年雨量・表面流出量が多い1999年に試験地内において容易に移動する土砂の大半が流出してしまったためであると考えられる。また、2000年以降の降雨で土砂流出がほとんど見られない状態は、試験地で順調に生育している植生が不安定土砂の生成・移動を抑制しているためであると推察された。次に、観測期間の表面流出について検討した。山越ら³⁾の解析を参照して3年間の表面流出に対し表面流出発生期間の雨量(以後、流出期間雨量と呼ぶ)と表面流出量の関係として図-2に示した。2000年の流出期間雨

量15mm以上の降雨に対する表面流出は、1999年と同様の傾向を示す一方、流出期間雨量7~15mmの範囲では1999年の表面流出よりも減少している傾向が見られた。2001年の流出期間雨量15mm以上の表面流出は、1999年・2000年の表面流出に比べ表面流出量が非常に少なかった。この結果により表面流出の発生に直接関与する土壌表層の浸透能が回復傾向にあると考えられた。なお、観測期間中の2000年、2001年は流出期間雨量15mm以上のデータ数が1999年よりも少ない状況である。従って、豪雨時に発生する表面流出の経年変化を詳細に検討するためには、さらに観測データを蓄積する必要があると考えられた。

4.3 降雨条件が類似した表面流出の比較

観測期間に得られた結果から、類似した降雨条件で異なる時期に発生した表面流出を比較することによって、表面流出の実態を詳細に検討した。先行降雨や表面流出発生時の降雨が類似している表面流出は、今回の観測期間では1組しか得ることができなかった。比較の対象となった表面流出は観測開始から10ヶ月が経過した1999年6月24日ならびに

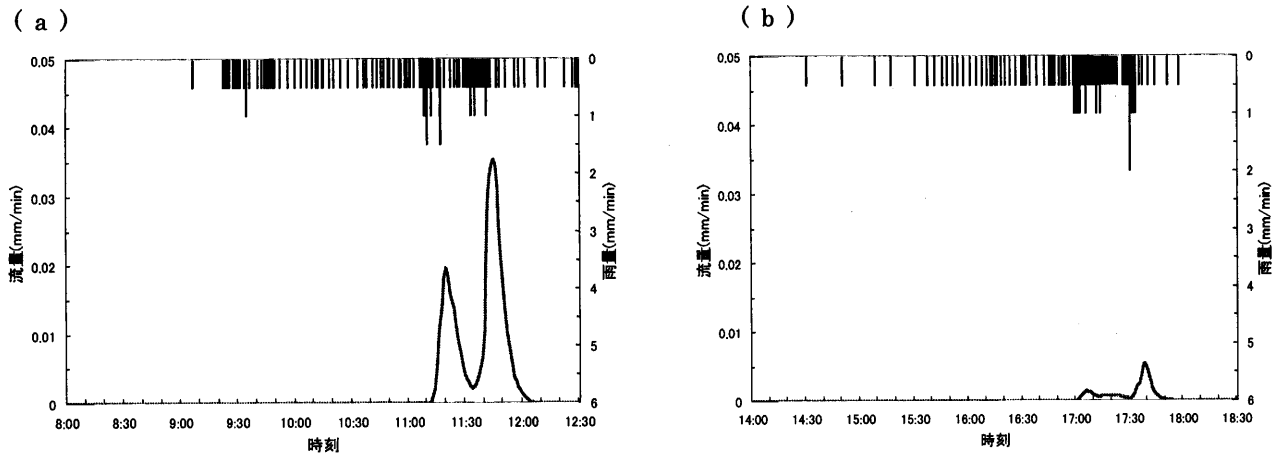


図-3 降雨と表面流出の結果 (a) 1999年6月24日, (b) 2001年9月30日

Fig.3 Hydrograph of surface runoff. (a) June 24, 1999, (b) September 30, 2001.

観測開始から3年以上が経過した2001年9月30日であった。表-4に両者の表面流出発生に関する降雨条件を示し、図-3に降雨と表面流出の結果を示す。流出期間の降雨強度を比較すると1999年の表面流出は、2001年よりも小さい降雨強度で発生していることが認められた。2001年の最大降雨強度は1999年より大きい値であるにもかかわらず、最大流量は1999年の約15%であり、総流出量も1999年の11%であった。以上の結果、流出期間雨量が20mm程度のあまり大きくない降雨では、地表面が緑化植物で被覆された後も植生の生育が進むことによって、表面流出がさらに減少していることが示唆された。

5. まとめ

航空緑化が行われてから2-5年が経過した雲仙普賢岳の火砕流堆積斜面では、緑化施工初期よりも植生がさらに生育し、導入植生による多層的な群落構造が形成されつつある実態が明らかになった。3年間の観測結果では、観測期間で最も年降雨量・総表面流出量が多い年であった1999年に比較的多量の土砂が流出したが、その後の2年間は土砂流出がほとんど見られず、植生により土砂流出が抑制されていることが示唆された。1999年と2001年に類似した降雨条件で発生した表面流出の比較により2001年の最大流量・表面流出量がともに1999年に比べ減少していることが明らかになった。これは植生が表面流出の発生を抑制していることを示唆している。しかし、異なる時期の表面流出を比較した結果は流出期間雨量が20mm程度の限定されたものであるため、豪雨時に発生している表面流出に対しては表面流出特性の変

化をさらに検討する必要がある。

九州森林管理局長崎森林管理署の山田茂氏、高森好文氏には、航空緑化に関する資料を提供して頂きました。長崎県島原振興局農林部林務課山地復興班の関係諸氏には、試験地設定および観測の継続に際し多大なご協力を頂きました。森林総合研究所の佐々朋幸氏ならびに森林総合研究所九州支所の野田巖氏・出田元起氏には、観測施設の設置に際しご協力を頂きました。皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 岩川幹夫(1970) 植生調査, 林野庁監修, 治山調査法, 千代田出版, pp.247-284.
- 2) 長崎県山地災害対策室・島原振興局山地災害復興課(2000) 雲仙・普賢岳みどりへの一歩, 292pp.
- 3) 西田顕郎・小橋澄治・水山高久(1998) : 雲仙普賢岳火砕流堆積斜面における植生回復による表面流・土砂流出の変化, 日本緑化工学会誌, 23(4) : 249-255.
- 4) 小川泰浩・清水晃・宮縁育夫・清水貴範(2000) : 雲仙普賢岳火砕流堆積斜面の緑化地・裸地における表面流・土砂流出観測, 日本林学会九州支部研究論文集, 53 : 133-134.
- 5) 山越隆雄・諏訪浩(1998) 雲仙普賢岳火砕流堆積斜面における植生回復に伴う表面流・土砂流出特性の変化, 砂防学会誌, 51(3) : 3-10.
- 6) 吉田正一(2000) 雲仙・普賢岳噴火災害地の航空緑化, 第35回治山林道研究発表論文集 : 315-319.

(2002.6.29 受理)