

アテ（ヒノキアスナロ）人工林における表土浸食量

小倉 晃・高橋大輔*

要旨：石川県鹿島郡中能登町石動山県有林で、ヒノキアスナロ（以下、アテ）人工林の表土浸食の実態および表土浸食防止機能の評価方法開発を行った結果、間伐手遅れのアテ林分では、下層植生が消滅、林床被覆物・表土の流出が起こり、4.6~11.7t/ha/yr 流出していると推測された。また、立木密度と傾斜からアテ人工林における年間浸食量の予測方法を確立した。さらに、USLE 式におけるアテの作物管理係数が明らかになったが、林小班単位での USLE 式による表土浸食防止機能評価はさらなる検討が必要であった。

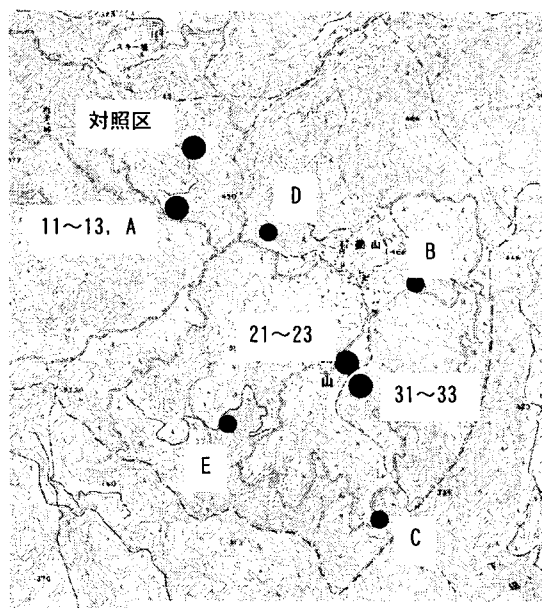
I はじめに

近年、人工林における施業の遅れから林冠が閉鎖し、林床植生の消失した林分が増加傾向にある。全国的にはこのような状況のヒノキ林において表土が浸食し、公益的機能を損なうことが問題となっており、その調査事例は数多く見られる（服部ら 1992、井川原 2005、松本 1996、三浦 2002、西山 2003）。石川県のアテ林でも同じ状況の林分があり、表土浸食が見られるが、その実態は明らかにされていない。また、アテの葉はヒノキと似ており、ヒノキより大きく厚い鱗片葉を有している。このため、アテの葉リターはスギに比べ細片化、移動しやすく地表保護効果が乏しくなると考えられる。そこで、本研究ではアテ人工林の表土浸食状況の実態を明らかにし、アテ人工林における表土浸食土砂量を予測することを目的とした。また、森林の水土保全機能評価を行うために、土壌浸食の研究に広く利用される USLE (Universal Soil Loss Equation) 式の林小班単位での使用について検証を行った。なお、USLE 式の森林域への適用性に関しては、Kitahara et al (2000) により報告されている。

II 材料と方法

1 試験地の概要

試験地は石川県鹿島郡中能登町石動山県有林（図-1）に設定した。石動山県有林は、北は七尾市に東および南側は富山県氷見市に接しており、山頂の標高は 565m、面積は約 550ha、人工林率は 72%でその多くはスギであるが、山頂付近はブナを中心とした広葉樹林が広がっている。アテは約 52ha 植栽されており、その半分以上が 50 年生以上である。アテ林の浸食土砂量測定は下層植生密度が異なる林分で行った。また、USLE 式の検討を行うために樹種の異なる 5 林分で浸食土砂量の測定を行った。



国土地理院発行「能登二宮」25,000 分の 1 の一部を使用

図-1 試験地位置図

2 アテ人工林の土砂浸食量測定方法

アテ人工林における表土浸食量を計測するために、2004 年の 6 月から 11 月まで服部ら (1992) に従い浸食土砂量測定装置（図-2）を設置した（以下これによって測定された浸食量を「面の浸食量」と呼ぶ）。浸食された土砂は 1 ヶ月毎に回収し、リター、石礫 (2mm 以上)、細土 (2mm 以下) に区分し、それぞれの乾燥重量を測定した。

3 石動山県有林における USLE 式の適用方法

石動山県有林での林小班単位の USLE 式を用いた浸食量予想は北原 (2002) に従った。USLE 式は、次式で示される。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

ただし、A：土壌流亡量 (t/ha/yr)、R：降雨係数、K：土壌係数、L：斜面長係数、S：傾斜係数、C：作物管理係数（被覆管理係数）、P：保全係数である。なお、R を含め本研究すべての降水量は全

*石川県森林管理課

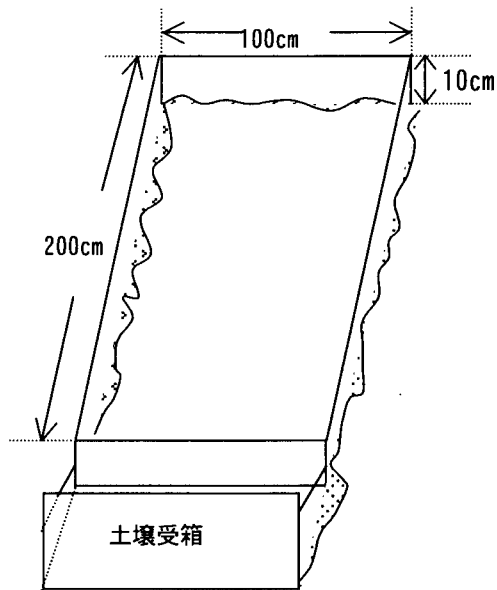


図-2 土砂浸食量測定装置

沢地方気象台観測の石川県七尾市の資料を使用した。また、KおよびSは森林調査簿のデータを使用、Lは施業図より判読し算出、Cは北原（2002）に従い、スギ：0.0060、ヒノキ：0.010、広葉樹：0.0077である。アテの作物管理係数(C)は、2004年の土砂浸食量結果より算出した。Pに関しては、崩壊地は少なく、崩壊地でも治山施工が行われていることから、すべて治山施工地の係数を使用した。

4 USLE 式の検証のための土砂移動量測定方法

USLE 式検証のために、森林総合研究所が考案した土壌受け箱（図-3、塚本 1999）を 2005 年 7 月から 11 月まで設置した（以下これによって測定された移動量を「線の移動量」と呼ぶ）。設置方法は塚本（1999）に従い、1 林分につき 10 個を等高線方向に 1m 間隔で設置した。移動した土砂は 1 ヶ月毎に

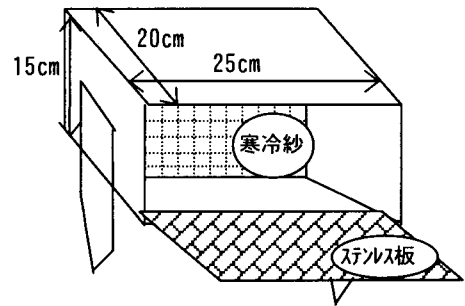


図-3 土砂移動量測定装置

回収し、リター、石礫（2mm 以上）、細土（2mm 以下）に区分し、それぞれの乾燥重量を測定した。

III 結果と考察

1 土砂浸食量測定林分の概要

面の浸食量測定林分については、測定装置を中心に 10×10m のプロットを取り、樹種名、胸高直径、樹高、立木密度、傾斜、下層植生および A₀ 層の被度を調査した。また、線の移動量測定林分については、土壌受け箱の斜面上部に 10×10m のプロットを取り、同様の調査を行った。面の浸食量測定林分では 1×1m のコドラートをプロット内に 3ヶ所設置し、下層植生の地上部をすべて刈り取り、乾燥重量を測定した。調査結果は表-1 のとおりである。なお、各林分の標高は 400~500m の位置にあり、半径 1km 以内に位置していることから、林分間の降雨量の差は無いと考えた。また、下層植生と A₀ 層の被度に関しては、目視で行い、低：25%前後、中：50%前後、高：75%前後、密：100%とした。下層植生の無い林床では、一部裸地化し、明らかに表土の流出の跡が見られた。

2 面の土砂浸食量とアテの被覆管理係数

面の土砂浸食量の測定は下層植生量の中程度の

表-1 調査林分の概要

プロット名	樹種	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	立木密度 (本/ha)	収量比数	傾斜 (°)	下層植生	A ₀ 層	測定年度 (年)	備考
11	アテ	27.6	17.1	800	0.71	31	中	高密	2004	
12	アテ	21.4	13.2	1300	0.79	32	低	高密	2004	
13	アテ	25.5	15.3	1000	0.81	26	中	中	2004	
21	アテ	23.4	13.9	900	0.63	40	無	中	2004	
22	アテ	19.7	13.9	1500	0.78	41	無	中	2004	
23	アテ	21.4	14.3	1300	0.77	42	無	中	2004	
24	アテ	22.2	14.7	1300	0.82	38	無	中	2004	
31	アテ	24.8	16.9	800	0.58	34	高	高密	2004	
32	アテ	27.8	15.9	700	0.65	31	高	高密	2004	
33	アテ	31.2	17.1	400	0.44	33	高	高密	2004	
A	アテ	22.5	17	1100	0.67	32	低	高密	2005	
B	ヒノキ	42	30	700	-	15	密	高密	2005	
C	スギ	22	17	1100	0.63	30	低	高密	2005	
D	ブナ	32	21	300	-	25	密	高密	2005	林床はササ
E	スギ	26	19	900	0.68	35	中	高	2005	
対照区	裸地	-	-	-	-	31	-	-	2004	

林分で3ヶ所 (No. 11~13)、下層植生の無い林分で4ヶ所 (No. 21~24)、下層植生が豊かな林分で3ヶ所 (No. 31~33) と対照区 (裸地) 1ヶ所の計11ヶ所で測定を行った (付表-1)。土砂浸食量を細土と礫の合計とし、表-2 に示した。なお、年間浸食量は測定期間中 (2004年5月20日~2004年11月25日) の降水量と近年10年間 (1996~2005年) の平均降水量 (ただし冬季期間中の1~3、12月は除く) から按分した。年間浸食量は、0.1~11.7t/ha/yrで、平均浸食量は3.5t/ha/yrであった。これはヒノキ人工林の浸食量 (西山 2003) の結果と同じような値となった。また、対照区の土砂浸食量を100%とした場合、下層植生が少ない林分で1.4%、ほとんど無い林分で8.6%、多い林分で0.4%であった。また、USLE式から算出したそれぞれの被覆管理係数は0.0006~0.1055、平均:0.0313であった。なお、被覆管理係数は各林分の土砂浸食量を対照区で割って算出した。以上のように、傾斜に若干の差はあるが、下層植生が多く、林床被覆率が高いと土砂浸食量は少なく、下層植生が少なく林床被覆率も低いと土砂浸食量は多くなった。この結果は既存のヒノキ林の研究と同様の結果となった (三浦 2002, 西山 2003)。

表-2 土砂浸食量

プロット名	土砂浸食量 g/m ²	年間浸食量 t/ha/yr	被覆管理係数	浸食割合	下層植生量 g/m ²	Ao層
11	164.4	2.5	0.0222		62.4	高
12	137.2	2.1	0.0185	1.4%	2.7	密
13	14.0	0.2	0.0019		66.2	密
21	305.3	4.6	0.0412		7.6	中
22	414.7	6.2	0.0560	6.5%	13.3	中
23	781.0	11.7	0.1055		7.3	中
24	412.8	6.2	0.0558		28.3	中
31	4.8	0.1	0.0006		72.9	密
32	72.1	1.1	0.0097	0.4%	147.5	密
33	9.3	0.1	0.0013		615.4	密
平均	231.6	3.5	0.0313	3.1%	—	—
対照区	7,403.8	110.9	—	—	—	—

3 成林したアテ人工林における土砂浸食量予測式

立木密度と下層植生量の関係は図-4 によって示され、立木密度が低いほど下層植生量が多くなった。立木密度と土砂浸食量の関係は密度が高くなると土砂浸食量は多くなる傾向を示した (図-5)。また、一般に年浸食量を予測する場合、その情報源は森林簿であることから、重回帰モデルにより傾斜と立木密度を要因として、成林したアテ人工林における年間浸食量を予測した (図-6)。

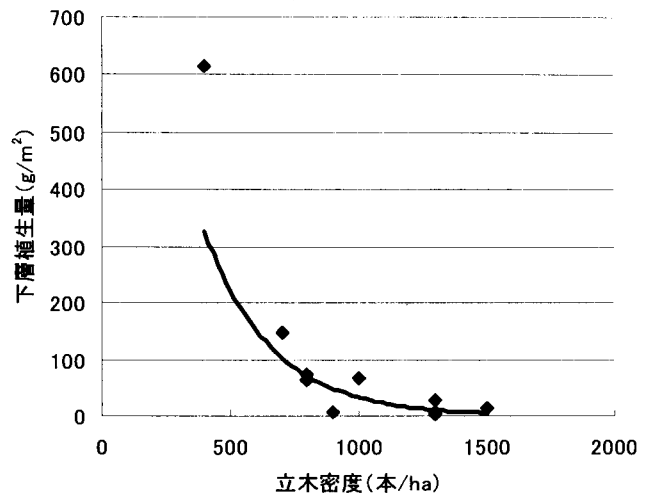


図-4 立木密度と下層植生量の関係

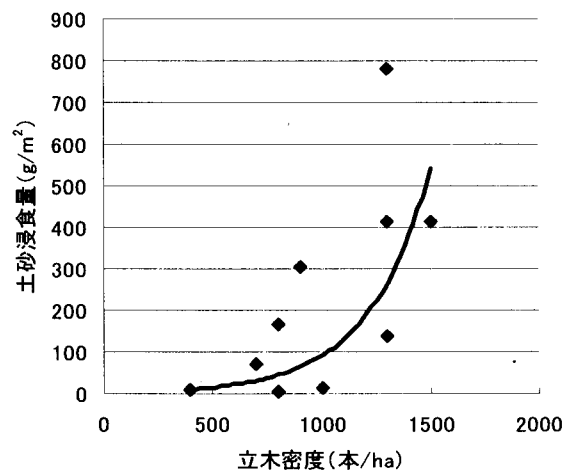


図-5 立木密度と土砂浸食量の関係

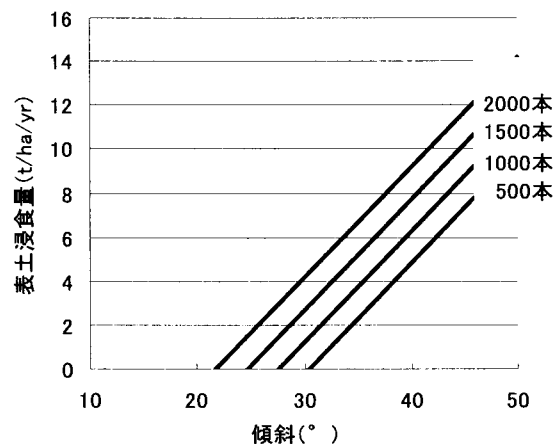


図-6 成林したアテ人工林における土砂浸食量予測

$$\text{年間浸食量} = 0.0029 \times \text{立木密度} + 0.5022 \times \text{傾斜} - 16.7419$$

重回帰式の当てはまりは有意水準 1% で有意であった。

4 USLE 式による林小班単位での浸食土砂量の推定

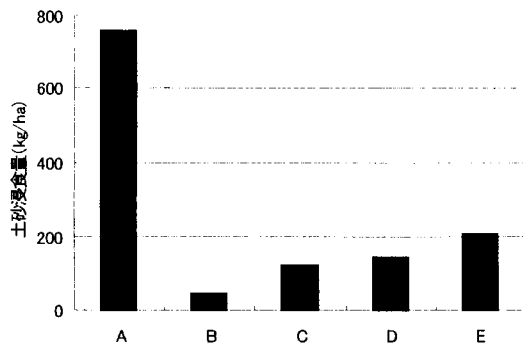


図-7 USLE 式による土砂浸食量予測

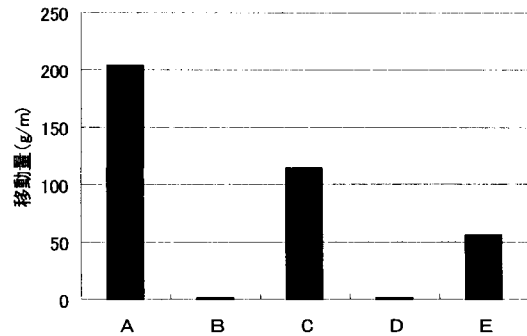


図-8 土砂移動量

アテの被覆管理係数が明らかになったことおよび既存の資料から、線の浸食量を測定した5林分の表土浸食防止機能評価をUSLE式に基づき林小班単位で評価した(図-7)。評価の結果、アテ林(A)で高く、傾斜の緩いヒノキ林(B)で低かった。また、スギ林に関しては傾斜が急であるEがCよりも多くなった。ブナ林(D)については、スギ林と差はあまりなかった。なお、降雨係数(R)は、2005年の測定期間中(7月4日~12月6日)の降雨量から算出した。

5 線の土砂移動量

USLE式の表土浸食防止機能評価について検証を行うために林分A~Eで測定した結果(図-8、付表-2)、下層植生の乏しいアテ林(A)で移動量が多く、下層植生の多い・傾斜の緩やかなヒノキ林(B)、下層植生の多いブナ林(D)で移動量が特に少なかった。下層植生の無いスギ林(C)はアテ林(A)の半分程度の移動量であった。また、下層植生があるスギ林(E)は無い林分(C)よりも傾斜角があるにもかかわらず、半分程度の移動量であった。これらは井川原(2005)の報告と似た傾向であった。

リター量(表-3)について見てみると、全林分で落葉時期に多くなった。また、下層植生の無いスギ林(C)とアテ林(A)を比較するとアテ林では測定期間中を通してリターの流亡が見られることから、アテの葉はスギに比べ鱗状で壊れやすく、流亡しやすいと思われる。このようなことからアテ林における下層植生の存在は非常に重要なことである。

6 面と線による土砂浸食量の考え方

面積当たりの土壌流量と斜面の一定幅を通過する物質量は原理的に直接比較できない。しかし、三浦(2002)によると“土壌浸食強度が最大レベルにある林地斜面においても、斜面長が4mの枠囲い法

表-3 移動リター量

	A		B		C		D		E	
	g/m	%	g/m	%	g/m	%	g/m	%	g/m	%
7月	20.6	22.6	0.9	7.1	1.6	8.1	4.7	6.5	1.5	6.7
8月	13.8	15.2	0.5	4.0	2.2	11.2	2.9	4.0	0.9	4.0
9月	15.7	17.3	2.7	21.4	4.6	23.4	14.9	20.6	6.2	27.8
10月	7.3	8.0	1.4	11.1	1.0	5.1	16.7	23.0	1.8	8.1
11月	33.6	36.9	7.1	56.3	10.3	52.3	33.3	45.9	11.9	53.4
合計	91.0		12.6		19.7		72.5		22.3	

で測定された流亡土壌量と、枠なしトラップ法で測定された移動土砂の量とは、評価単位の次元の違いほどには本質的な違いがない”という理由から、浸食量の多い少ないという比較では、面積当たりの土壌流量と斜面の一定幅を通過する物質量を比較しても問題が無いと思われる。よって、USLE式による表土浸食防止機能評価の検証に線の土砂移動量を使用しても問題が無いと考えた。USLE式による予測値と線の移動量の実測値を比較してみると、どちらもアテ林(A)で大きい値を示すことは一致したが、その他の林分では予測と大きく異なった。下層植生の多い・傾斜の緩やかなヒノキ林(B)、下層植生の多いブナ林(D)は土砂移動量がほとんど無かった。これらの林分では下層植生が密で林床被覆物が密であることから、これらが雨滴衝撃から表土を保護し、浸食を起りにくくした。このことは既存の研究と一致する(井川原 2005、三浦 2002、塚本 1998)。また、スギ林についてみると、傾斜は若干急であったが、下層植生密度が中程度の林分(E)が、下層植生の無い林分(C)の半分程度であったことも、下層植生と林床被覆物の被度に差があったからと思われる。よって、USLE式を林小班単位で使用する場合、作物管理係数(C)は樹種だけでなく下層植生や林床被覆物の被度または立木密度(収量比数)を考慮すべきである。

7 問題点および今後の課題

本研究におけるアテ人工林の土砂浸食量の計測期間が約半年であり、計測地点も 10 ヶ所と限られていることから、県内のアテ林分すべてを評価するには観測期間、計測地点数共に不十分であると思われる。よって、長期にわたり多様な林分、多様な地点での計測結果を追加し、今後、予測式の修正をしていかなければならない。また、林小班単位での USLE 式による表土浸食防止機能評価の検証についても観測期間、計測地点数共に不十分ではあるが、林小班単位での USLE 式の適用には下層植生と林床被覆物の被度を考慮する必要がある。これに関しては他の研究機関の結果もふまえ、データの蓄積、係数の多様化を検討する必要がある。

引用文献

- 1) 服部重昭, 阿部敏夫, 小林忠一, 玉井幸治 (1992) 林床被覆がヒノキ人工林の浸食防止に及ぼす影響. 森林総研研報 36 ; 2-33.
- 2) 井川原弘一 (2005) ヒノキ人工林と表土流出 (1) - 表土流出からみたヒノキ林 -. 森林のたより 624 ((社) 岐阜県山林協会).
- 3) Kitahara Hikaru, Okura Yoichi, Sammori Tohiaki, kawanami Akiko (2000) Application of universal soil loss equation (USLE) to mountainous forest in japan. J. For. Res. 5 ; 231-236.
- 4) 北原 曜 (2002) 全体計画 (流域保全型) における USLE を用いた山腹荒廃地の浸食量予測. 治山 47 (6) ; 7-14.
- 5) 松本博行 (1996) 急傾斜地における表土流亡危険度判定技術の検討について. 愛媛県林業試験場研究報告 17 ; 1-22.
- 6) 三浦 覚 (2002) 森林の林床被覆が有する土壌浸食防止機能の評価手法に関する研究. 学位論文.
- 7) 西山嘉寛 (2003) 岡山県北部のヒノキ人工林における水土流出実態の解明. 岡山林試研報 19 ; 1-15.
- 8) 塚本次郎 (1999) 移動土砂量の簡易測定方法. (森林立地調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 博友社, 東京) ; 195-196.
- 9) 塚本良則 (1998) 森林と表土保全 - 表土保全のメカニズム - (森林・水・土の保全. 朝倉書店, 東京) ; 80-88.

付表-1 面の土砂浸食量結果

プロット名	単位	6月				7月				8月				9月				10月				11月				合計				
		細土		小計		細土		小計		細土		小計		細土		小計		細土		小計		細土		小計			細土		小計	
		リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫		リター	礫	リター	礫
11	kg/ha	270	47	48	365	127	29	14	169	225	35	17	277	164	21	28	213	413	45	451	909	201	66	40	308	2,241				
12	kg/ha	121	5	31	157	258	47	40	345	274	32	36	342	124	9	99	232	385	43	514	943	59	15	13	87	2,105				
13	kg/ha	8	0	17	25	8	0	5	12	57	1	14	72	17	0	27	45	26	0	642	668	23	1	18	42	863				
21	kg/ha	251	109	114	474	189	44	56	299	261	60	108	429	188	36	113	340	989	481	283	1,754	279	161	165	606	3,894				
22	kg/ha	779	334	12	1,125	319	60	18	397	407	156	115	679	381	86	77	544	1,115	324	433	1,872	157	30	49	235	4,851				
23	kg/ha	1,388	400	43	1,831	978	200	51	1,229	683	206	147	1,037	983	399	154	1,546	1,547	463	284	2,295	430	121	59	610	8,548				
24	kg/ha	818	296	348	1,462	746	126	284	1,156	730	93	128	951	291	53	385	728	788	89	2,221	3,099	93	4	29	127	7,523				
31	kg/ha	2	0	2	4	2	0	8	11	13	0	9	22	1	0	64	65	13	0	220	233	15	2	14	31	365				
32	kg/ha	208	13	22	243	90	1	17	109	84	9	35	128	40	2	122	163	219	35	831	1,084	20	2	11	33	1,760				
33	kg/ha	8	0	29	37	16	13	3	31	33	1	36	70	7	0	130	138	12	0	837	849	3	0	66	69	1,195				
対照区	kg/ha	4,228	3,331	2	7,561	30,408	13,367	20	43,995	745	199	22	966	9,990	3,704	49	13,743	5,157	2,550	79	7,332	115	46	41	202	74,202				
降雨量	mm				229				144				74				82				246						921			

注) 期間は 6月 2004/5/20~6/24
 7月 6/24~7/21
 8月 7/21~8/24
 9月 8/24~9/21
 10月 9/21~10/22
 11月 10/22~11/1である。

付表-2 線の土砂浸食量

プロット名	単位	7月				8月				9月				10月				11月				合計	
		細土		小計		細土		小計		細土		小計		細土		小計		細土		小計			
		リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫	リター	礫		
A	g/m	37	15	21	73	44	16	14	74	31	14	16	61	22	12	7	41	7	6	34	46	277	
B	g/m	0	0	1	1	0	1	0	1	0	3	3	0	0	0	1	1	0	0	0	7	7	14
C	g/m	15	31	2	48	19	19	2	40	8	9	5	22	4	4	1	9	2	4	10	17	135	
D	g/m	0	0	5	5	0	0	3	3	0	0	15	0	0	1	17	18	0	0	33	33	74	
E	g/m	15	4	1	21	7	9	1	16	1	7	6	15	4	5	2	11	1	3	12	15	78	
降雨量	mm				223				258				121				166				242		1,010

注) 期間は 7月 2005/7/4~7/21
 8月 7/21~8/25
 9月 8/25~10/4
 10月 10/4~11/2
 11月 11/2~12/1である。
 移動量は土壌受け箱10個の平均値である。なお、プロットCについては9個の平均値である