4. 表土流出防止工による放射性物質の移動抑制効果の検証

(1) 目的

傾斜の急な箇所で落葉等除去等を実施した場合、表土等が移動するおそれがある。このため、一般的な表土流出防止工について、施工前、落葉等除去後、施工完了後の土砂等及び土砂等に含まれる放射性セシウムの移動量等を測定し、表土流出防止工による放射性物質の移動抑制効果を検証した。

(2) 試験地と試験方法

1) 試験地の概要

試験地は、平成 25（2013）年度に設定した川内試験地内のスギ林（B 区）隣接地のスギ林である。スギ林（B 区）（50 年生）と同一林分で、斜面方向は南西、小沢に面した傾斜 32～35 度の山腹下部斜面に設定した。幅 7m、水平距離 10m（斜面長約 12m）の作業区を連続して、5 区画設定した（図 4-1、図 4-2）。過年度事業においては、アカマツ・広葉樹混交林（田村試験地）での試験も実施した。

川内試験地の概要を表 4-1 に示す。落葉等を除去後、表土流出防止工として、丸太筋工、植生土のう筋工及び植生シート工を施工した（図 4-3、図 4-4、図 4-5）。これらの 3 つの作業区の他に、落葉等除去のみの対照区、無作業区を設定した。

丸太筋工は、深さ 10cm 程度に水平階段切付をした後、直径 10cm×長さ 2m の丸太を 2 段に重ね、3 本の杭に固定して設置し、施工部分での洗掘を避けるために、工作物設置時に掘削した土砂を利用し背面を埋め戻して、20～30cm の水平部を作成した。また、将来腐朽等により、自然状態に還元させせることを考慮して、斜面から突出しない構造とした。斜面長約 3m の間隔で合計 4 列の筋工を設置した。

植生土のう筋工は、幅 50cm×長さ 30cm×厚さ 10cm の土のうを 2 段に重ねて筋状に設置した。下段は、現地採取土砂を中詰めした土のうで、上段は、基材、種子及び肥料が中詰めされた完成土のうを使用し、斜面長約 3m の間隔で合計 4 列の筋工を設置した。

植生シート工は、幅 1m×長さ 10m のジュート繊維（麻）ネットで、裏面に野草・低木種子及び肥料が接着されている盛土法面用の植生シートを用いた。

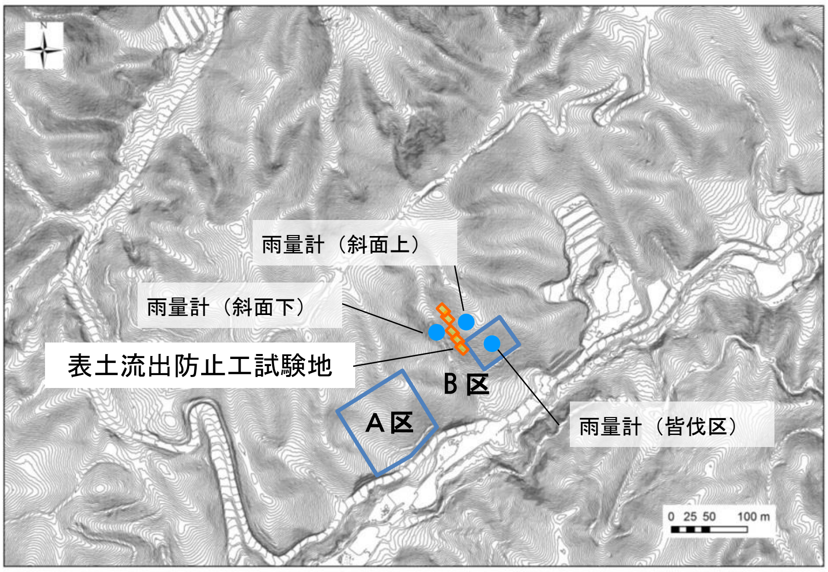


図 4-1　表土流出防止工試験地の位置（川内試験地）

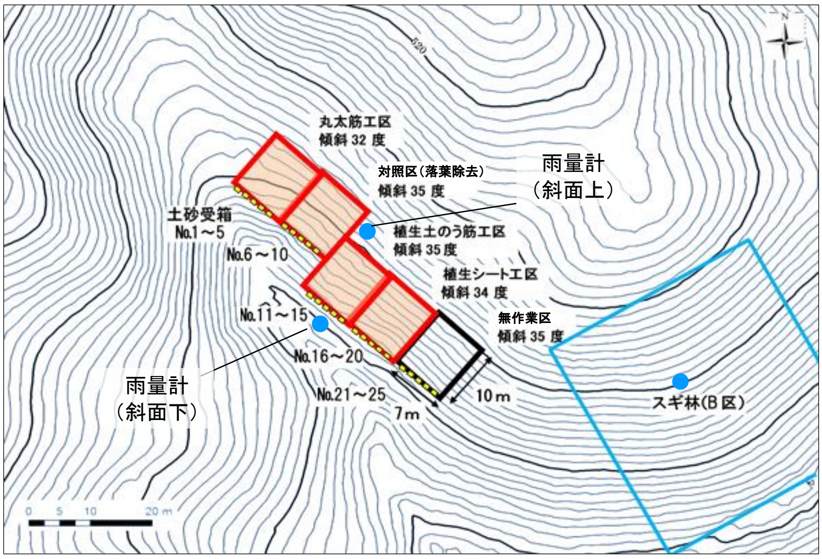


図 4-2　作業区の工法別配置（川内試験地）

1 つの作業区画は幅 7m、奥行 水平距離 10m(斜面長約 12m)

表 4-1　川内試験地の概要

作業区	林相（林齢 [1]）	面積	平均斜度	被覆・草本緑化	空間線量率 [2]	初期沈着量 [3]
丸太筋工	スギ林（50 年生）	70m^2	32°	自然侵入期待	2.8 μ Sv/h	1,120 kBq/m^2 スギ林（B 区）
植生土のう筋工		70m^2	35°	線的緑化	2.7 μ Sv/h	
植生シートエ		70m^2	34°	全面緑化	2.6 μ Sv/h	
対照区(落葉等除去のみ)		70m^2	35°	–	2.5 μ Sv/h	
無作業区		70m^2	35°	–	2.4 μ Sv/h	

1　令和元(2019)年度時点
2　空間線量率は平成 25(2013)年 11 月 21 日に測定した各作業区内 2 地点の平均
3　第 3 次航空機モニタリング公表値より算出(平成 25(2013)年 11 月時点に補正)

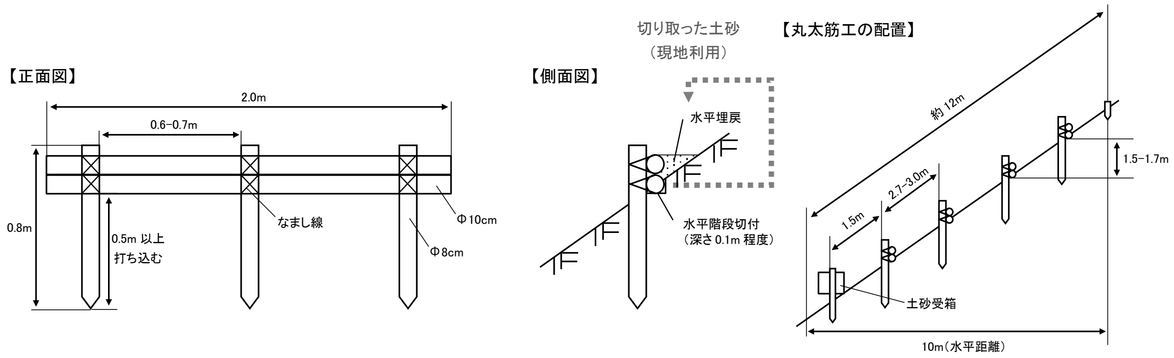


図 4-3　丸太筋工標準図

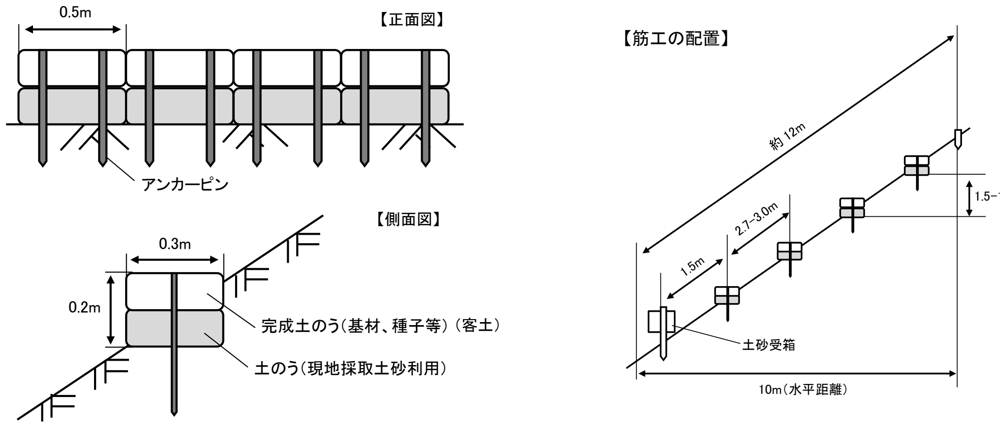
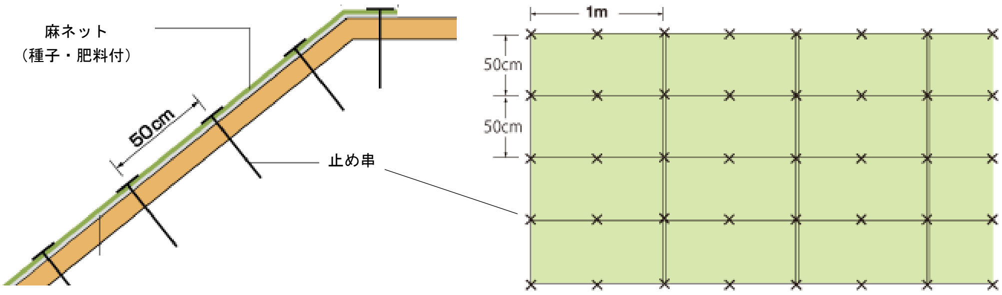


図 4-4　植生土のう筋工標準図



出典）日本植生株式会社 製品カタログ

図 4-5　植生シート工標準図

表 4-2　表土流出防止工区の施工日（川内試験地）

区　分	施工日
落葉等除去	2013/11/26
土砂受け箱設置	2013/11/27
観測開始	2013/12/ 6
表土流出防止工施工	2014/ 1/29

2014/1 （施工直後）	2014/9/2 （1年目）	2015/6/30 （2年目）	2016/6/27 （3年目）

写真 4-1　作業区の林床植生の推移（川内試験地）

2017/6/29 （4年目）	2018/6/25 （5年目）	2019/5/31 （6年目）	2020/6/26 （7年目）

写真 ４１　作業区の林床植生の推移（川内試験地）（続き）

2) 試験方法

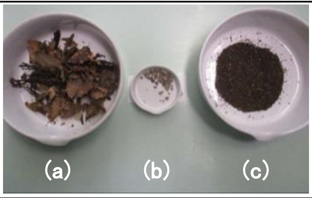
① 土砂等移動量、放射性物質等の測定

表土等の移動量として、各作業区の斜面最下部に設置した土砂受け箱で捕捉した土砂等の量を測定した。土砂受け箱は、幅 25cm×高さ 15cm×奥行き 20cm で、開口部の下端にアルミ板エプロンをつけて土中に差し込み、背面にネット（寒冷紗）を張り、両側から杭で固定した（図 4-6）。この土砂受け箱を幅 7m の試験区画に 1m 間隔で 5 個設置した。丸太筋工、棚積工、植生土のう筋工の各作業区では、土砂受け箱は各施工物から斜距離で 1.5m 離して設置した。

土砂受け箱で捕捉した土砂等の採取は、1 ヶ月に 1 回を基本とした。試料は、ふるいを用いて落葉等有機物と径 2mm 以上の石礫、径 2mm 以下の土壌粒子に分別した（表 4-3）。

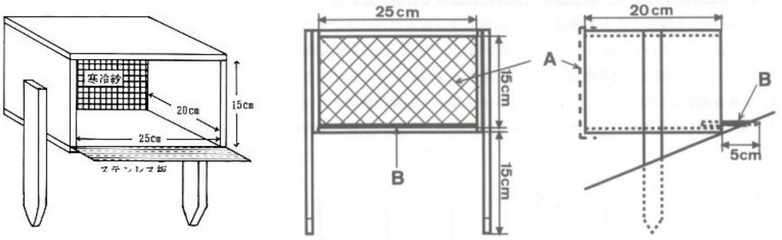
これらの試料について、7 章の方法にしたがって放射性セシウム（Cs-137）濃度等を測定した。

表 4-3 土砂等の分別

試 料	ふるいによる分別	分別後の試料およびメッシュサイズ）
(a) 落葉等有機物	同左	
(b) 礫	径 2mm 以上の石礫	
(c) 細土	径 2mm 以下の土壌粒子	

得られたデータは以下の指標を用いて整理した。

- 土砂等移動量（g/m）:
  任意の期間に斜面上で幅 1m の等高線に沿った線上を通過する落葉等有機物及び礫、細土の重量。土砂受け箱の流入口は幅 25cm であり、観測された土砂等の量を 4 倍して 1m 幅の移動量に換算した値。
- 日当たり土砂等移動量（g/m/日）: 土砂等移動量を観測期間日数で除した値。
- 土砂等移動レート（g/m/mm）:
  土砂等移動量を観測期間中の降水量（mm）で除した値。土壌侵食強度を表す特性値。
- 放射性物質濃度（kBq/kg）: 重量当たりの放射性物質量。
- 日当たり放射性物質移動量（Bq/m/日）: 放射性物質濃度に日当たり土砂等移動量を乗じた値。
- 放射性物質移動レート（Bq/m/mm）: 放射性物質濃度に土砂等移動レートを乗じて算出。



A:寒冷紗のネット、B:アルミ板エプロン

出典）「表層土壌の移動を測る」（森林総合研究所、1993.7）、「森林立地調査法」（森林立地調査法編集委員会、2010.7）

図 4-6 土砂受け箱の標準模式図

作業日		採取	摘要
	2013/11/26		落葉等除去
	11/27		土砂受け箱設置
作業後（施工前）	12/6		観測開始
	2014/1/8	○	
	1/26	○	
表土流出防止工施工、欠測(1/27～1/29)			
施工後1年目	2014/1/29		観測開始
	4/2	○	積雪(2014 年 2 月)
	5/1	○	
	6/3	○	
	6/27	○	
	7/29	○	
	9/2	○	
	9/16	○	
	10/3	○	
	11/3	○	
	11/27	○	
	12/26	○	
施工後2年目	2014/12/26		観測開始
	2015/3/18	○	積雪(2015 年 1～2 月)
	4/21	○	
	5/21	○	
	6/30	○	
	7/30	○	
	8/28	○	
	9/16	○	台風 18 号(9/10)
	10/29	○	
	11/28	○	
	12/21	○	
施工後3年目	2015/12/21		観測開始
	2016/3/15	○	積雪(2016 年 1～2 月)
	5/25	○	*1
	6/27	○	*1
	7/26	○	*1
	9/1	○	*1
	9/27	○	*1
	10/31	○	*1、*2
	11/29	○	*1、*2
	12/24	○	*1、*2
施工後4年目	2016/12/25		観測開始
	2017/3/7	○	積雪(2017 年 1～2 月)
	4/28	○	*1、*2
	5/29	○	*1、*2
	6/29	○	*1、*2
	7/31	○	*1、*2
	8/28	○	*1、*2
	9/27	○	*1、*2
	11/8	○	*1、*2
	11/29	○	*1、*2
	12/21	○	*1、*2
施工後5年目	2017/12/22		土砂受け箱交換
	12/22		観測開始
	2018/ 3/14	○	
	4/26	○	
	5/31	○	
	6/25	○	
	8/ 3	○	
	8/30	○	倒木ありこれ以降 No.16 除外
	10/ 3	○	
	10/31	○	
	11/26	○	
	12/26	○	
施工後6年目	12/26		観測開始
	2019/4/29	○	
	5/31	○	
	6/25	○	
	8/29	○	
	10/1	○	
	10/18	○	台風 19 号(10/12)
	11/19	○	
	12/23	○	
施工後7年目	12/23		観測開始
	2020/2/25	○	
	5/14	○	
	8/11	○	
	10/15	○	
	12/24	○	試験終了

表 4-4　土砂等の採取情報

*1 データ除外あり(川内試験地の植生シート工区 No.18):箱直上に倒木
*2 データ除外あり(川内試験地の対照区 No.7):アルミ板エプロンと斜面の間に隙間があり、土砂等が採取できていないため
*3 データ除外あり(田村試験地の無作業区 No.11,12):箱直上の斜面の崩れにより細土が多かったため

＜参考＞　土砂等移動レートのオーダー比較

図 4-7 は、土砂等移動レートに関する既往の研究成果より、林地の種別（林相）毎に移動レートの分布範囲を示したものである。ここでは、傾斜 25 度以上の斜面で実施された試験結果をまとめており、アカマツ、スギ、落葉広葉樹、ヒノキについては、非撹乱林地斜面である。

これによると、非撹乱林地における移動レートは、全体で 0.01～1 g/m/mm の範囲に分布することが示されている[13]。その中では、アカマツ林における移動レートが最も低く、0.01～0.1 g/m/mm の範囲となっている。また、川内試験地と同じスギ林については、0.1～0.5 g/m/mm の範囲となっている。

なお、この土砂等移動レートには落葉等有機物が含まれるものもあるが、主に細土の移動レートを示している。

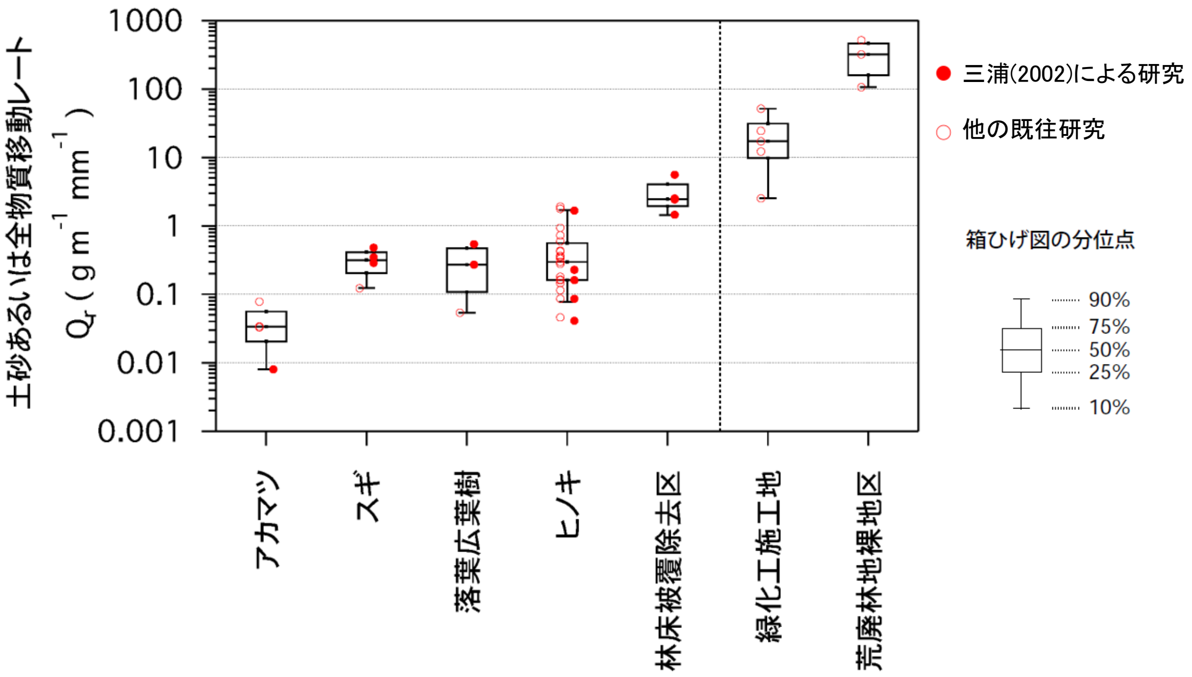


図 4-7　土砂あるいは全土砂等移動レートのオーダー比較 [13]

[13] 三浦覚（2002）: 森林の林床被覆が有する土壌侵食防止機能の評価手法に関する研究, 東京大学博士論文, p113-128（第 7 章）

② 林床被覆率及び植被率の測定

各土砂受け箱の斜面直上部の 1m²（1m×1m）の範囲について、土砂受け箱の試料を回収するごとに写真を撮影し、林床被覆率及び植被率を調査した。

林床被覆率は、草本層や植物遺体、岩、根系といった土壌（A 層）以外の地表面の被覆の割合を指し、植被率は、高さ 80cm 未満の植物体が地表面を覆う割合を指す（図 4-8、図 4-9）。本調査では林床被覆率、植被率ともに 10%単位で記録した。

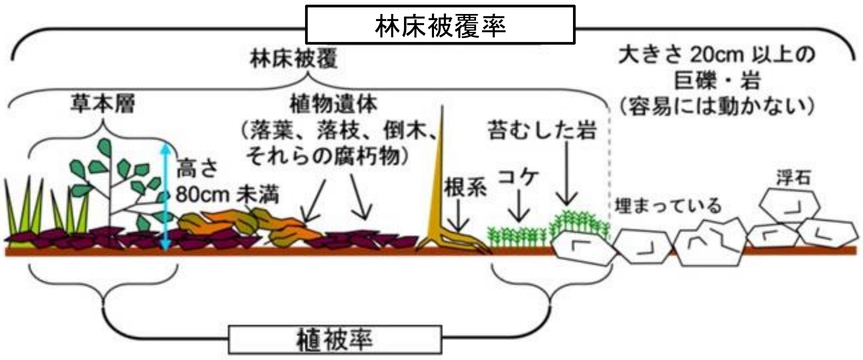


図 4-8 被覆率の判定基準（「森林生態系多様性調査 調査マニュアル」より抜粋・改変）

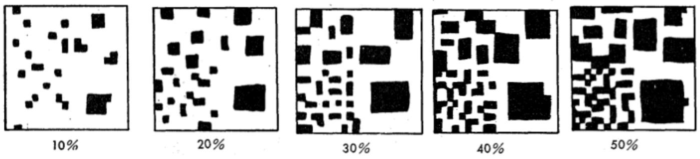


図 4-9 林床被覆率・植被率の面積割合の目安

③ 林床照度

各試験地の植生回復に関わる要因としての林床の光環境を把握するために、林床照度を測定した。

表 4-5 照度測定の概要

項目	摘要
使用機材	コニカミノルタ製 照度計 T-10 3台
測定位置・数	林内（移動測定）：各作業区の斜面の中心で左中右の3点 林内（長時間測定）：土砂受け箱No.1、No.11付近 試験地付近の林冠開放地（固定） 測定高さ…地上約1m
測定時間	移動測定：1点あたり5分 長時間測定：0.5時間連続測定（2018年9月実施時は2時間）
測定日時	移動測定：2020年9月8日の11時台、9月9日の9～10時台 長時間測定：2020年10月15日の10～11時台
天候	くもり（ただし9/9は晴れ）

写真 4-2　照度の測定

④　降雨量の測定

降雨量は、7 章に記載した方法にしたがって測定した。

本試験地の降雨量の概況として、月合計降水量を図 4-10 に示す。

移動レートの算出には、試験地と同じ林内に設置した林内雨量計（図 4-1）で観測した降雨量を用いた。観測期間及び期間降雨量を、章末の付表（表 4-7）に示す。

林内雨量計は、当初、川内試験地の表土流出防止工が施工されている斜面とは異なる箇所に設置されていたが、平成 29(2017)年 7 月に、同じ斜面に雨量計を 2 基設置した。

観測値の採用に当たっては、周辺の開放地に設置した雨量計による降雨量及び最寄りのアメダス川内観測所での観測降水量との比較を行い、異常値の確認や欠測値の補間を行った。今年度は、令和元（2019）年 10 月 12 日に、台風 19 号により、アメダス川内観測所では観測史上最大日雨量（428 mm）を記録した（図 4-10）。

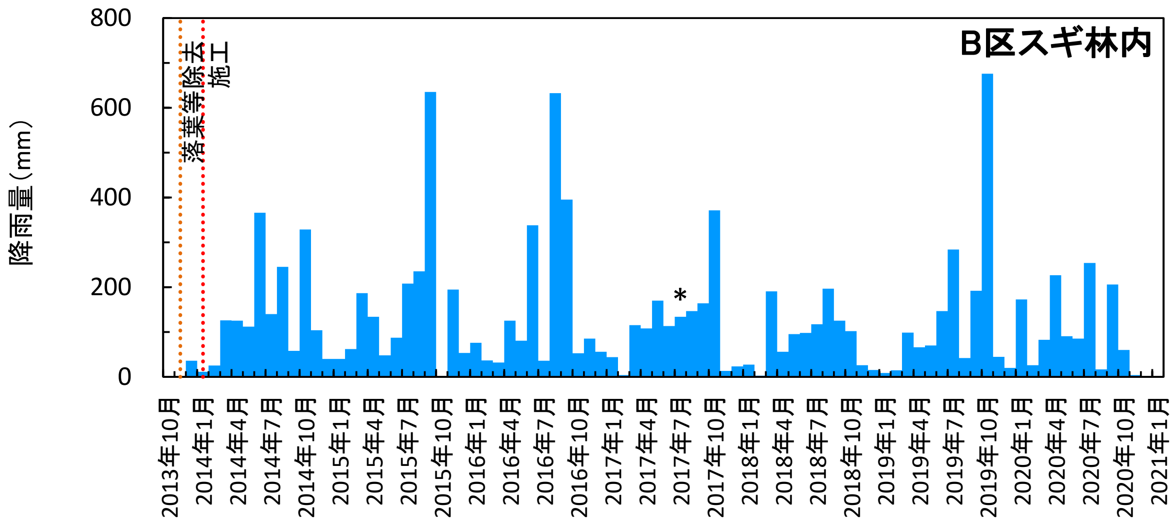


図 4-10　川内試験地における月合計降雨量

*平成 29(2017)年 8 月以降は、表土流出防止工と同じ斜面に新設した雨量計による観測値。

(3) 試験結果及び考察

1) 土砂等移動量

川内試験地では、表土流出防止工施工後からの土砂等移動量を観測しており、令和 2（2020）年度で施工後 7 年目になる。1 日当たりの土砂等移動量の推移を図 4-11 に示す。平成 28（2016）年度までの調査で、土砂等移動量は、降雨量の多い時期に増加し、特に細土については、期間降雨量と同様の推移変動を示すことがわかっている。

観測した 7 年間を通して、落葉等有機物は、作業種間に大きな差はなく、ほぼ同じ傾向で推移した。

細土は、施工後 2 年目までは、植生シート工が他の作業区より低い移動量で推移し、3 年目以降は、どの作業区もほぼ同じ傾向で推移した。また、3 年目の台風 10 号前後で、植生シート工の移動量が顕著に増加した。これは、同程度の降雨量であった 2 年目の台風 18 号のときに比べて多い移動量であった。5 年目は、細土の移動に作業種間で目立つ違いはみられず、6 年目は丸太筋工及び土のう筋工が比較的低い移動量で推移し、他方、植生シート工がやや高い移動量で推移した。

礫は、概ね細土と同様の傾向であった。

4 年目である平成 29（2017）年度の最終調査月となる 12 月に、全ての土砂受け箱を付け替えている。無作業区の細土の移動量が 2 年目から 4 年目にかけて、非常に低い値で推移したが、付け替え後の平成 29（2017）年 12 月以降、無作業区での細土・礫の移動量が作業区における移動量と差が小さくなった。この原因として、平成 29（2017）年度以前の調査では、エプロン先端と斜面の隙間から細土と礫がもれていた可能性が考えられたが、記録画像からはその状況は確認できなかった。無作業区の土砂受け箱では、箱の入り口に堆積有機物が引っ掛かって溜まり、その量が増えていった状況が調査時に確認されており、画像からも増えている状況が確認できる（写真 4-3）。このため、細土の移動を堰き止めて、「無作業区」としての通常の移動よりも少なくなった可能性がある。

なお、付け替え後の土砂受け箱入り口の様子の変化を写真 4-4 に示す。令和元（2020）年 9～10 月の台風等による降雨量（p.115 表 4-7 参照）の多い時期に、堆積有機物が比較的多く移動したが、入り口付近に著しく蓄積された状況はなく、今年度まで正常に観測されたものとみられる。

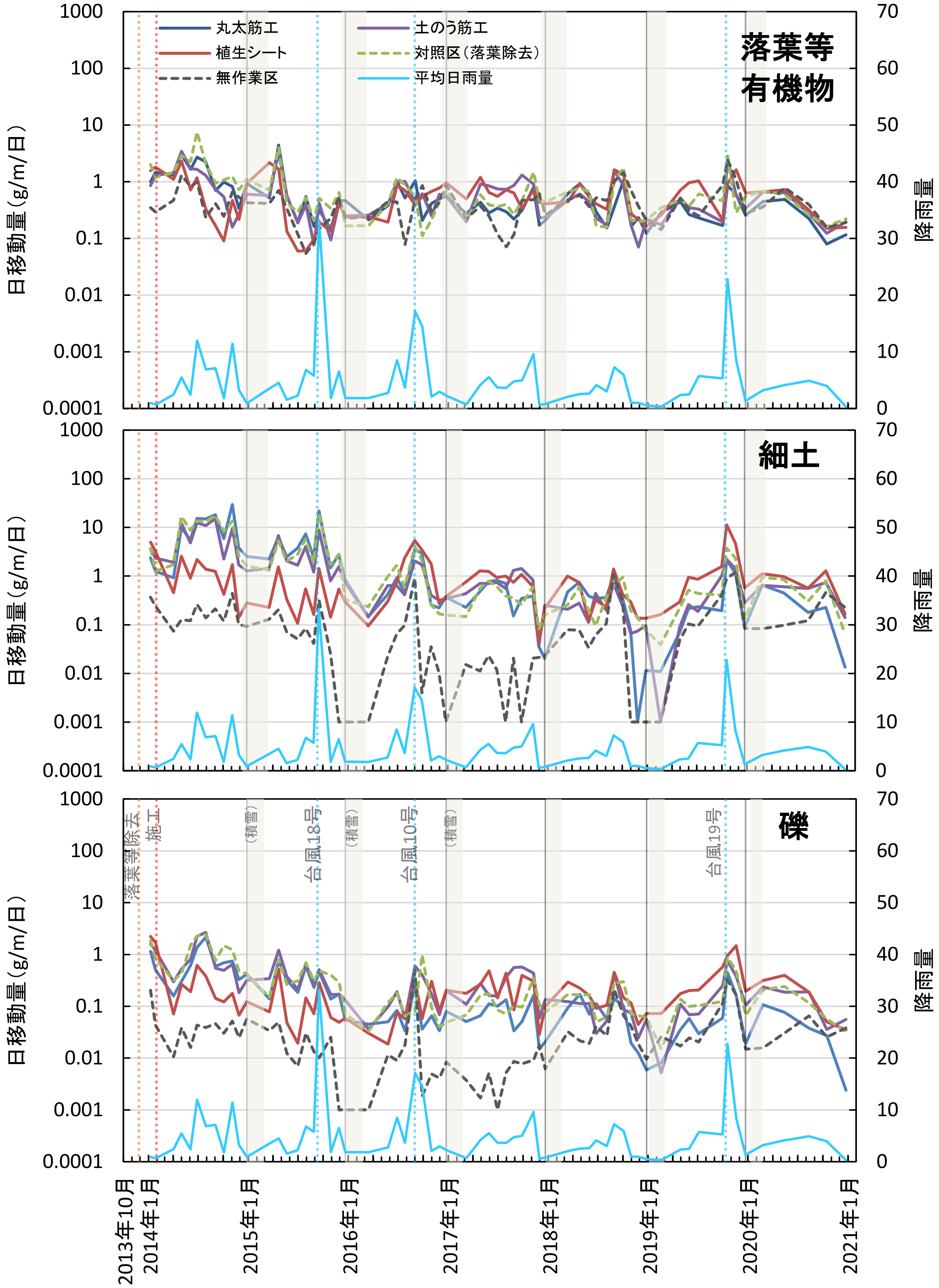


図 4-11　1日当たりの土砂等移動量の推移（川内試験地）

日移動量は、対数目盛で表す。日移動量が 0（採取量が 0）の場合、グラフ上は 0.001 として図示した。
水色の折れ線グラフは、期間中の平均日雨量（mm/日）を示す。

平成 26（2014）年 6 月　　平成 29（2017）年 9 月

写真 4-3　無作業区の土砂受け箱直上の堆積有機物の状況（2017 年 12 月付け替え以前）

平成 30(2018)年 5 月
（付け替えから 5 か月）

令和元(2019)年 7 月
（付け替えから 1 年 7 か月）

→

令和元(2019)年 10 月 1 日
（降雨量多かった時期）

→

2019 年 10 月 18 日
（台風 19 号後）

2020 年 5 月

写真 4-4　無作業区の土砂受け箱直上の堆積有機物の状況（2017 年 12 月付け替え以後）

2）移動レート、年間積算移動量等

川内試験地における落葉等除去後の林床被覆率、土砂等及び放射性セシウム（Cs-137）の移動レートの推移を図 4-12 に示す。放射性セシウム（Cs-137）の移動への影響や関係性を確認するため、林床被覆率とそれぞれの推移を上下に並べて比較した。土砂等移動レートと林床被覆率には関係があり、1 年目から 2 年目にかけて、林床被覆率が上昇すると、土砂等移動レートが低下した。

表土流出防止工の作業種間の違い及び年毎の推移を評価するため、土砂等及び放射性物質の年平均移動レートを求め、Steel-Dwass 多重比較検定を行った（図 4-13、図 4-14、表 4-8）。また、放射性物質の積算移動量を年単位で整理した（図 4-16、表 4-8）。

1、2 年目の細土の年平均移動レートは、植生シート工が他の作業種より有意に低かった。3 年目以降は、工種間の差がなくなった。ただし、6 年目以降は、逆に植生シート工が他の作業区よりも移動レートが高かった。

植生シート工の推移についてみると、1）で言及した土砂等移動量の傾向と同様に、移動レートについても細土は 2 年目まで低く推移し、その後 3 年目以降は 2 年目よりも高くなって推移した（図 4-12）。年平均で細土の移動レートをみると、植生シート工は、3 年目以降 7 年目まで同程度で推移しており（図 4-14）、長期的な観測結果から、2 年目の低い移動レートは、一時的なものであったことが示唆される。その要因としては、導入種のイネ科植物の残存密度が 2 年目まで高かったことが考えられ、導入種の残存による林床被覆が高い期間は、移動レートが低くなる効果があった可能性がある。

なお、土のう筋工及び植生シート工について、導入種の遷移状況を、写真 4-6（p.112）に示した。

川内試験地では、3 年目には、対照区を含む全ての作業区において、細土の年平均移動レートが 0.13～0.28g/m/mm の範囲にあり（表 4-8）、作業種間の差がみられなくなった。非撹乱林地のスギ林における移動レート 0.1～0.5g/m/mm（図 4-7）の範囲にあり、各作業区の年平均移動レートは 3 年目からほぼ変化がない。川内試験地においては、施工から 3 年目以降、土砂等及び放射性セシウムの移動状況は、安定したと推察される。

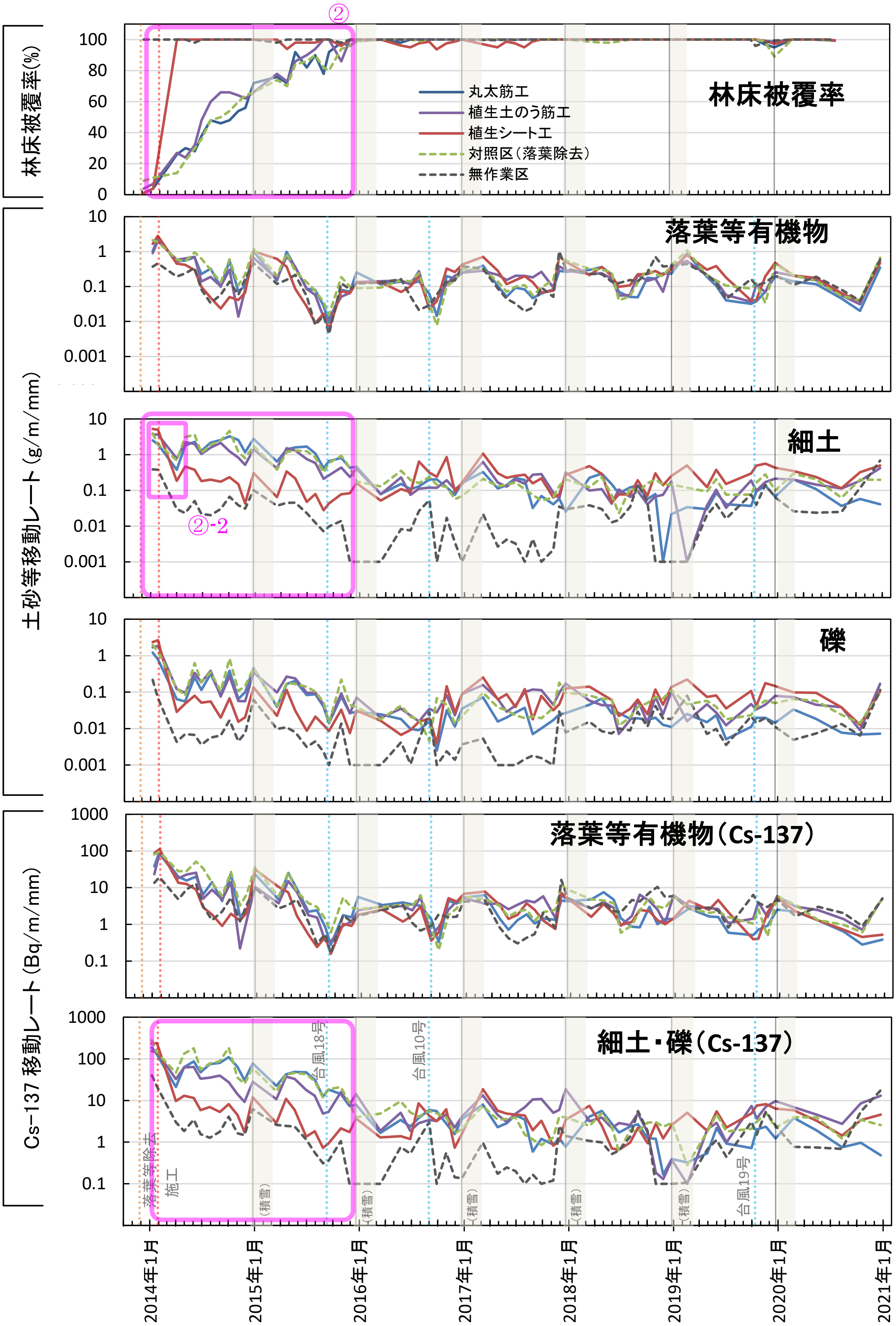
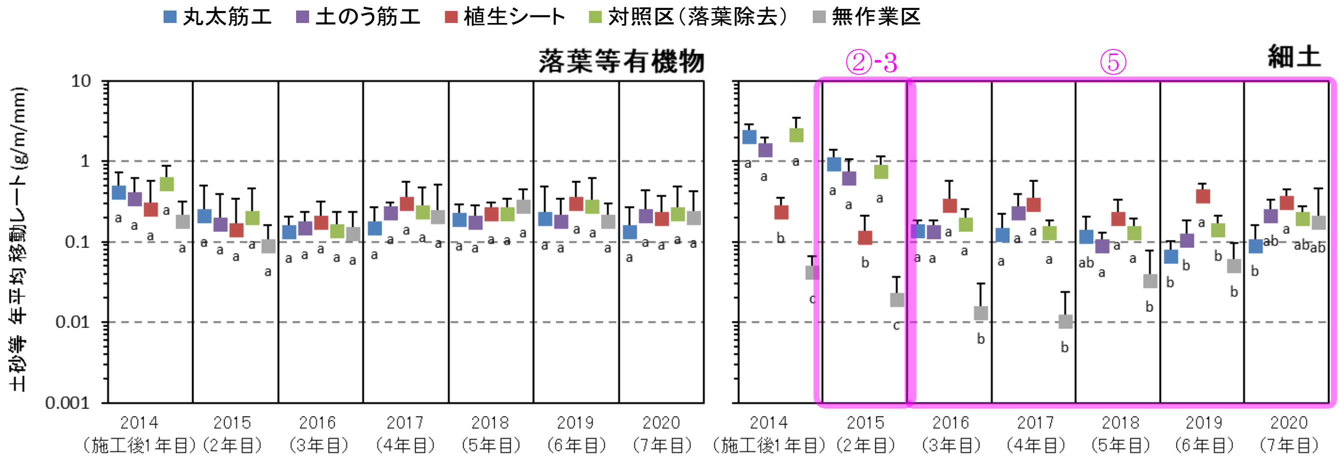


図 4-12　林床被覆率、土砂等及び放射性セシウム（Cs-137）移動レートの推移（川内試験地）

移動レートは、対数目盛で表し、土砂等移動レートが 0（採取量が 0）の場合、グラフ上は 0.001 として図示した。 放射性セシウム（Cs-137）移動レートが 0 の場合には、グラフ上は 0.1 として図示した。*平成 29（2017）年 8 月以降は、新設した雨量計 2 基の平均値を解析に用いた。

ピンク色枠・番号は、4）考察（p.114）と対応

＜土砂等　年平均移動レート＞



＜放射性セシウム（Cs-137）年平均移動レート＞

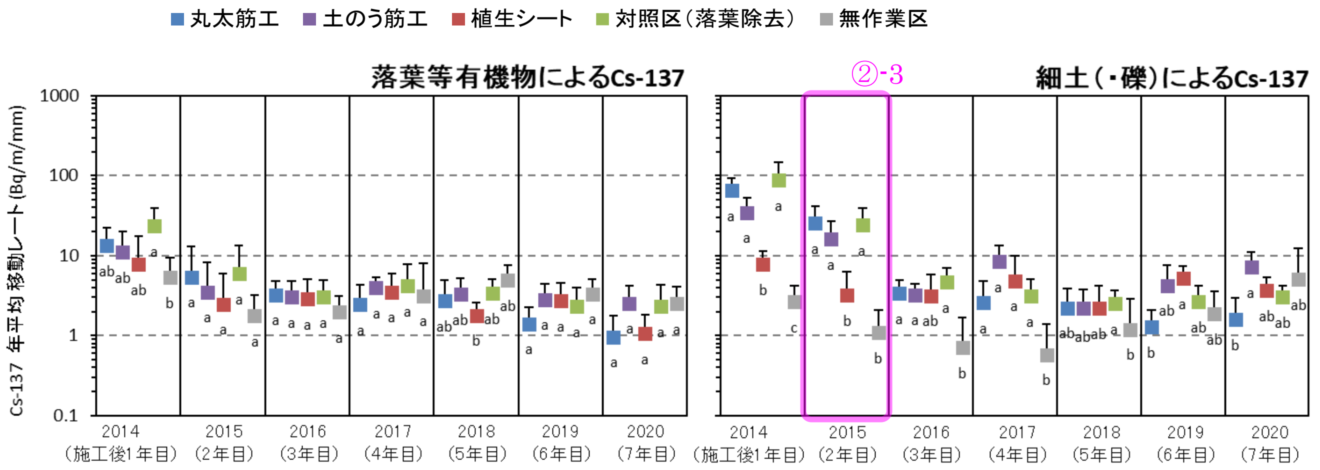
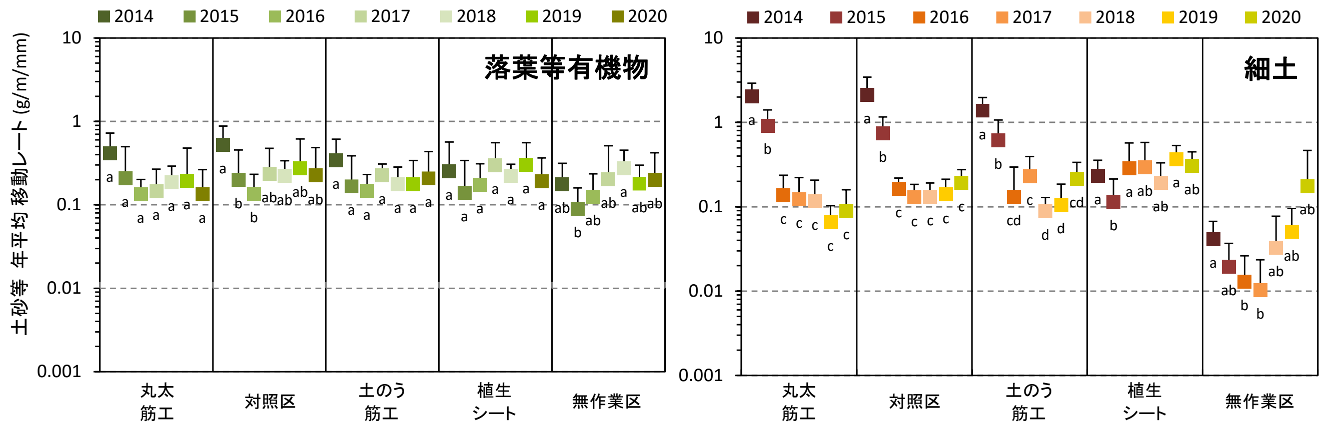


図 4-13　土砂等及び放射性セシウム（Cs-137）年平均移動レートの作業種間比較（川内試験地）

エラーバーは標準偏差を示す。 平均値は、採取回毎の移動レートを相加平均で求めた値。 異符号（アルファベット）は、作業種間で有意差（$p<0.05$）が認められたことを示す（Steel-Dwass 多重比較検定）。

ピンク色枠・番号は、4）考察（p.114）と対応

＜土砂等　年平均移動レート＞



＜放射性セシウム(Cs-137)　年平均移動レート＞

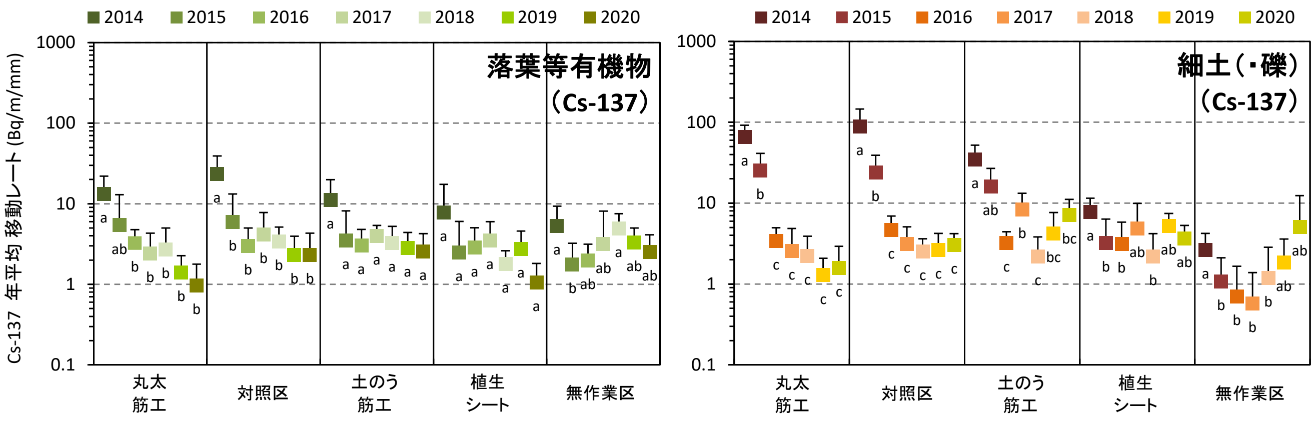


図 4-14　土砂等及び放射性セシウム（Cs-137）年平均移動レートの年比較（川内試験地）

エラーバーは標準偏差を示す。 平均値は、採取回毎の移動レートを相加平均で求めた値。 異符号(アルファベット)は、年平均値間で有意差($p<0.05$)が認められたことを示す(Steel-Dwass 多重比較検定)。

ピンク色枠・番号は、4）考察（p.114）と対応

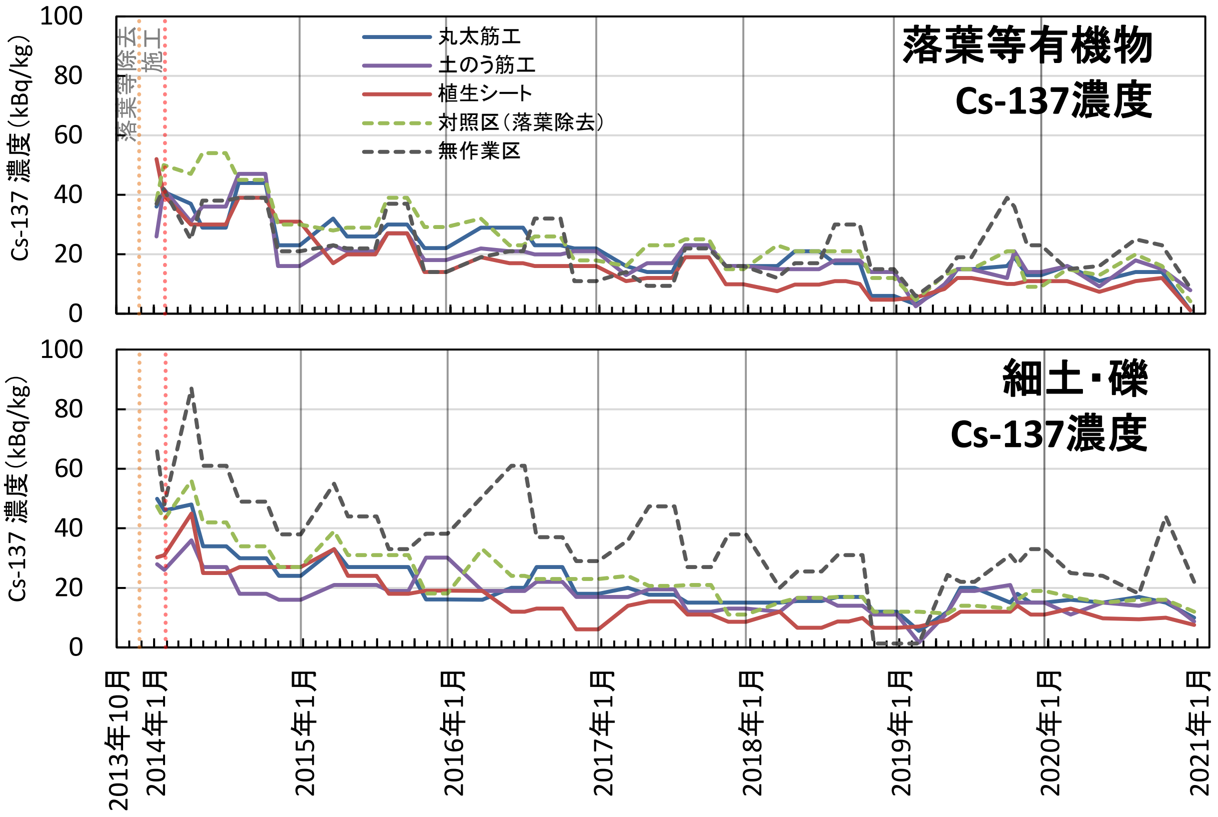


図 4-15　土砂等の放射性セシウム（Cs-137）濃度の推移（川内試験地）

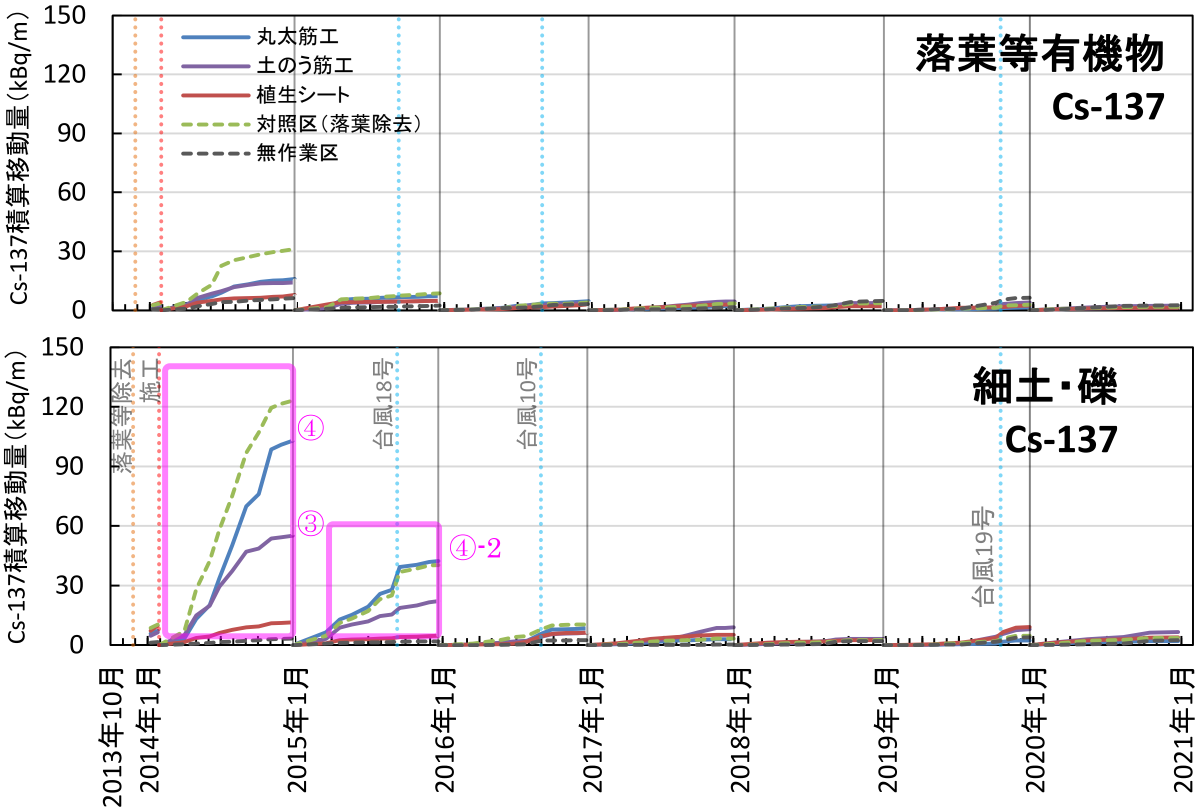


図 4-16　放射性セシウム（Cs-137）年間積算移動量（川内試験地）

ピンク色枠・番号は、4）考察（p.114）と対応

3） 林床被覆率及び植被率、本数密度、相対照度

川内試験地における林床被覆率、植被率の推移を図 4-17 に示す。

林床被覆率は、どの作業種も 4 年目と同様にほぼ 100%で安定して推移した。植被率は、5 月～7 月にかけて最大となり、植生シート工、植生土のう筋工、対照区は最大 70～80%、無作業区、丸太筋工区は最大 50%程度であったが、令和 2（2020）年度には作業種の差がなくなり、最大 50～60%程度となった。

なお、林内の光環境の状況としては、林外との相対照度は、川内試験地は 4%程度とみられ、2018 年より低下した（図 4-18、表 4-6）。

植生シート工、植生土のう筋工は、導入種のイネ科植物により植被率が高かったが、施工から 3 年経過後の平成 29（2017）年度には概ね衰退した。

林床被覆率が 2019 年 12 月前後に一時低下したが、これは 2019 年 10 月の台風 19 号により地表の堆積有機物が移動したことによるものであり、翌年すぐに回復した。

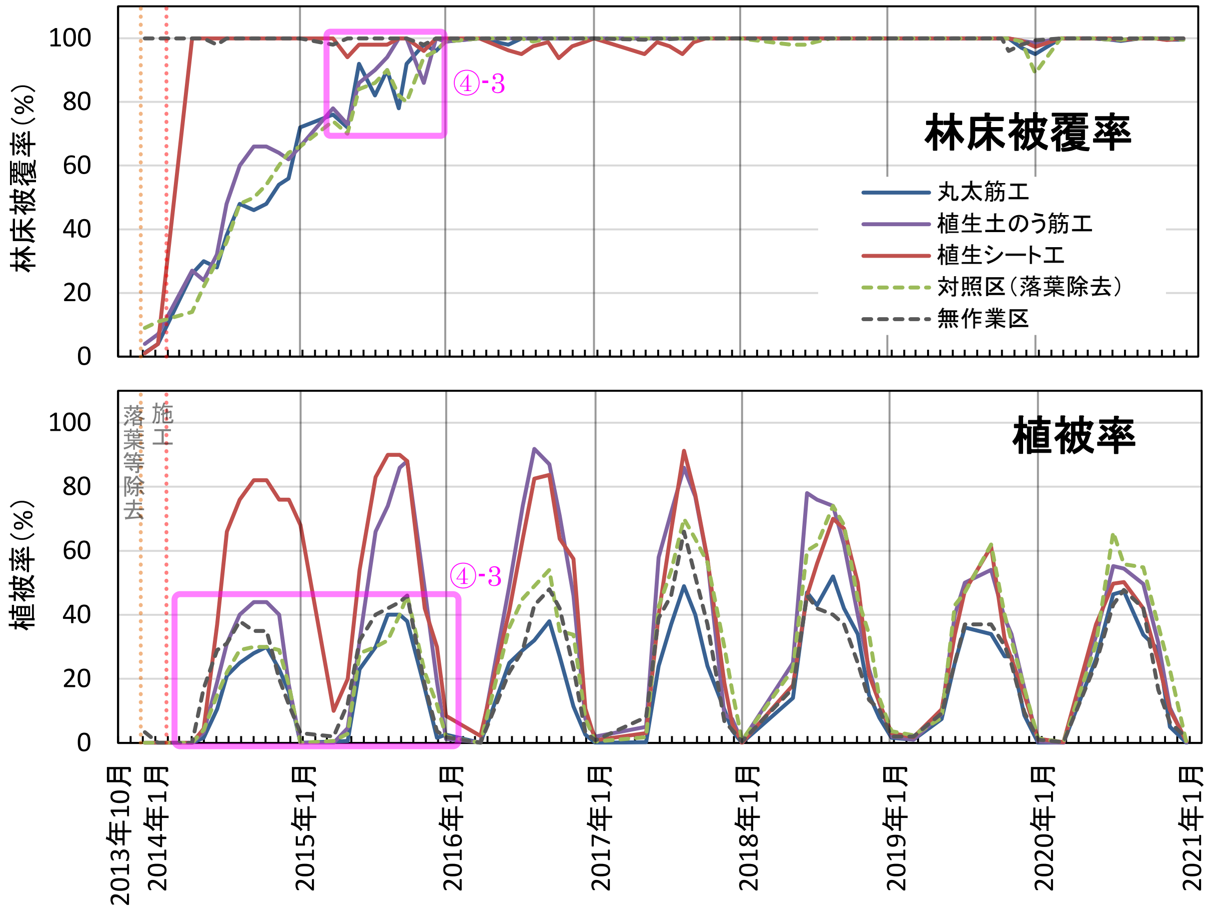


図 4-17 林床被覆率及び植被率の推移（川内試験地）

ピンク色枠・番号は、4）考察（p.114）と対応

平成 27 2015 年 7 月	平成 28 2016 年 7 月	平成 29 2017 年 7 月	平成 30 2018 年 7 月	令和元 2019 年 8 月	令和 2 2020 年 7 月

丸太筋工(No.4)

植生土のう筋工(No.11)

植生シート工(上:No.17　下:No.20)

対照区(落葉等除去)(No.8)

無作業区(No.24)

写真 4-5　土砂受け箱直上の植生の推移（川内試験地）

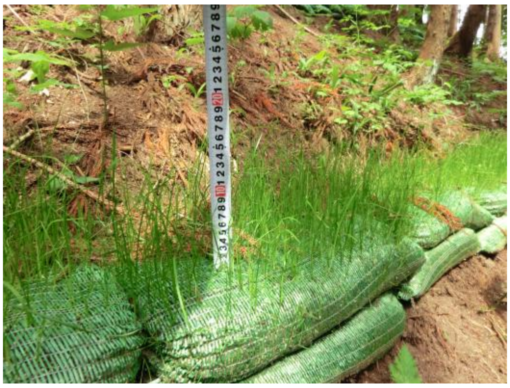
土のう筋工	植生シートエ
 2014/6(1 年目)	 2014/6(1 年目)
 2015/6(2 年目)	 2015/7(2 年目)　密度が高く、斜面全体に繁茂
 2016/5(3 年目)	 2016/7(3 年目)　　残存
 2017/4(4 年目)わずかに残存、生育期にほぼ衰退	 2017/6(4 年目)　　ほぼ衰退

写真 4-6　土のう筋工及び植生シートエの導入種（イネ科植物）の遷移状況

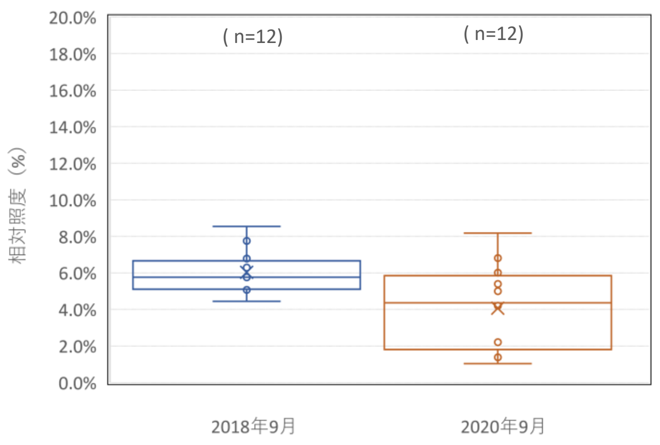


図 4-18　川内試験地における林床の相対照度（平成 30（2018）年 9 月調査との比較）
箱内の横線は中央値、×は平均値、エラーバーは最大値・最小値を示す.

表 4-6　川内試験地における林床の相対照度

		川内試験地	
		2018年9月	2020年9月
相対照度	平均値	6.0%	4.1%
	最大	8.5%	8.2%
	最小	4.4%	4.4%
	長時間	4.8%	4.9%

4） 考察

過年度事業で試験を実施した田村試験地では、施工前から観測を行った結果、落葉等除去後は土砂等及び放射性セシウムの移動レートの上昇が確認され、落葉等除去は、放射性セシウムの移動に大きく影響することが明らかになった。

放射性セシウムの年間積算移動量は、落葉等有機物よりも細土による量が 3 倍程度（表 4-8[①]）多いことから、特に細土の移動を抑制することが重要であると示唆される。

本試験では、土砂等及び放射性セシウムの移動レートが林床被覆率の上昇に伴って低下したことが確認された（図 4-12 [②]）。林床全面を被覆した植生シート工、木材チップ散布工で、施工後速やかに移動レートの減少がみられ（図 4-12 [②-2]）、施工後 1 年目の年平均移動レートを比較すると、他の作業区より有意に低かった（表 4-8、図 4-13 [②-3]）。それ以外の工種についてみると、土のう筋工は、移動レートでは対照区と有意な差がなかったものの、放射性物質の積算移動量は対照区と比較して 1／2（1 年目 45%、2 年目 55%）（表 4-8、図 4-16[③]）であり、導入種による筋状の繁茂・植被が移動抑制につながったとみられる。ただし、土のう筋工は、中詰め材を現地採取する場合は、林床の撹乱が起こりやすくなることに留意が必要である。丸太筋工は、施工後 1 年目は落葉等除去のみの対照区と比較して、積算移動量が約 8 割に抑えられた（表 4-8、図 4-16 [④]）。2 年目以降は対照区と差がなくなり[④-2]、効果は限定的であった。丸太筋工区と対照区は、ともに、2 年目には 80%以上に回復した林床被覆によって土砂等の移動が抑制され、下層植生による植被にも差がなかった（図 4-17[④-3]）ため、土砂等の移動に差が生じなかったものと考えられる。

丸太筋工は、表面流の分散や植生基盤となることで土砂等及び放射性セシウムの移動を抑制する効果が期待されるが、丸太筋工から 1.5m の位置に土砂受け箱を設置した本試験では、丸太筋工による移動抑制効果を正確には観測できなかったと考えられる。

なお、皆伐や強度間伐をした場合や荒廃林地等においては、施業による林床の撹乱や、浸透能の低下等により、表土が流出しやすい状況も想定される。丸太筋工は、表面流による浸食が大きい斜面では、効果的な工法として、一般的に認められた工法である。

川内試験地では、細土の移動レートは、どの作業種も施工後 3 年目で、既往研究（図 4-7）で示された非撹乱林地における移動レートと同程度のレートまで低下したことが分かった。3 年目以降、作業種間に大きな差は無く、0.1g/m/mm 前後で推移している（図 4-13 [⑤]）。無作業区における細土の移動レートは、令和元（2019）年度の年平均値が 0.05g/m/mm であり、無作業区と差がなくなったことからも、土砂等の移動は安定したとみられる。

＜付表＞

表 4-7　観測期間及び期間中の降水量（川内試験地）

観測年	回数	観測開始	観測終了	期間日数	林内雨量計 降雨量（mm）	アメダス[14] 降水量（mm）	備考
	（落葉等除去）	2013/11/26	2013/11/26	1	－	－	
	施工前 1	12/6	2014/1/8	33	31	48	
	施工前 2	2014/1/8	1/26	18	12	20	
	（施工）	1/26	1/29	3	－	－	
施工後1年目	施工後 1	1/29	4/2	63	152**	316	積雪あり*
	施工後 2	4/2	5/1	29	159**	195	
	施工後 3	5/1	6/3	33	79	72	
	施工後 4	6/3	6/27	24	287	165	
	施工後 5	6/27	7/29	32	220	279	
	施工後 6	7/29	9/2	35	249	227	
	施工後 7	9/2	10/3	31	56	85	
	施工後 8	10/3	11/3	31	354	272	
	施工後 9	11/3	11/27	24	78	54	
	施工後 10	11/27	12/26	29	27	72	
施工後2年目	施工後 11	12/26	2015/3/18	82	286	246	積雪あり*
	施工後 12	2015/3/18	4/21	34	154	133	
	施工後 13	4/21	5/21	30	47	59	
	施工後 14	5/21	6/30	40	89	127	
	施工後 15	6/30	7/30	30	204	230	
	施工後 16	7/30	8/28	29	167	150	
	施工後 17	8/28	9/16	19	**631**	548	**台風 18 号(9/10)**
	施工後 18	9/16	10/29	43	79	80	
	施工後 19	10/29	11/28	30	195	154	
	施工後 20	11/28	12/21	23	43	34	
施工後3年目	施工後 21	12/21	2016/3/15	85	156	173	1 月下旬に積雪*
	施工後 22	2016/3/15	5/25	71	196	182	
	施工後 23	5/25	6/27	33	280	186	
	施工後 24	6/27	7/26	29	106**	62	
	施工後 25	7/26	9/1	37	**633****	557	**台風 7,9,10,11 号**
	施工後 26	9/1	9/27	26	377	278	
	施工後 27	9/27	10/31	34	71	69	
	施工後 28	10/31	11/29	29	86	72	
	施工後 29	11/29	12/24	25	56	56	
施工後4年目	施工後 30	12/24	2017/3/7	73	51	69	12 月下旬に積雪*
	施工後 31	2017/3/7	4/28	52	220	158	
	施工後 32	4/28	5/29	31	171	99	
	施工後 33	5/29	6/29	31	114	67	雨量計 2 基新設
	施工後 34	6/29	7/31	32	116	156	
	施工後 35	7/31	8/28	28	133	118	
	施工後 36	8/28	9/27	30	150	124	
	施工後 37	9/27	11/8	42	402	349	
	施工後 38	11/8	11/29	21	13	23	
	施工後 39	11/29	12/21	22	17	32	

[14] 気象庁 HP（http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php）より川内観測所の降水量データをダウンロード

観測年	回数	観測開始	観測終了	期間日数	林内雨量計 降雨量（mm）	アメダス[14] 降水量（mm）	備考
施工後5年目	施工後 40	12/21	2018/3/14	83	173	208	雨量計 1 基新設
	施工後 41	2018/3/14	4/26	43	110	129	
	施工後 42	4/26	5/31	35	92	106	
	施工後 43	5/31	6/25	25	104	139	
	施工後 44	6/25	8/3	39	118	80	
	施工後 45	8/3	8/30	27	196	204	
	施工後 46	8/30	10/3	34	201	217	
	施工後 47	10/3	10/31	28	27	37	
	施工後 48	10/31	11/26	26	26	23	
	施工後 49	11/26	12/26	30	16	19	
施工後6年目	施工後 50	12/26	2019/2/18	54	18	18	アメダスのデータを採用
	施工後 51	2019/2/18	4/29	70	165	165	アメダスのデータを採用
	施工後 52	4/29	5/31	32	80	107	
	施工後 53	5/31	7/5	35	200	269	
	施工後 54	7/5	9/30	87	**460**	456	**台風 15 号(9/9)**
	施工後 55	9/30	10/18	18	**410**	496	**台風 19 号(10/12)**
	施工後 56	10/18	11/19	32	267	214	
	施工後 57	11/19	12/23	34	45	48	
施工後7年目	施工後 58	12/23	2020/2/25	64	205	205	アメダスのデータを採用
	施工後 59	2020/2/25	5/14	79	327	327	アメダスのデータを採用
	施工後 60	5/14	8/11	89	435	506	
	施工後 61	8/11	10/15	65	257	266	
	施工後 62	10/15	12/24	70	23	38	試験終了

降雨量は、同じ試験地内のスギ林（B区）に設置した雨量計で観測した林内雨量。 平成 29(2017)年 8 月以降は同じ斜面に新設した雨量計による観測値の平均値を用いた。 本試験で使用した雨量計はヒーターなしのため、積雪あり（*）の雨量は参考値（ただし、アメダス等と比較の上、明らかに融雪水を計測したと判断される値は除外した）。 アメダスは、最寄りのアメダス川内観測所（川内村字小山平）の降水量。 雨量計の故障による欠測（全期間欠測（**））は、同じ試験地の皆伐区（B 区）や他試験地及びアメダス等との比較の上、推定値を求めて補間した。

表 4-8 土砂等及び放射性セシウム（Cs-137）年平均移動レート、放射性セシウム（Cs-137）年間積算移動量（川内試験地）

		観測年	丸太筋工		土のう筋工		植生シート		対照区（落葉除去）		無作業区	
			平均値±標準偏差		平均値±標準偏差		平均値±標準偏差		平均値±標準偏差		平均値±標準偏差	
土砂等 年平均 移動レート (g/m/mm)	落葉等 有機物	2014	0.42 ±0.31	a	0.34 ±0.27	a	0.25 ±0.31	a	0.53 ±0.35	a	0.18 ±0.14	a
		2015	0.21 ±0.29	a	0.17 ±0.22	a	0.14 ±0.20	a	0.20 ±0.26	a	0.09 ±0.07	a
		2016	0.13 ±0.07	a	0.15 ±0.08	a	0.17 ±0.14	a	0.14 ±0.10	a	0.12 ±0.11	a
		2017	0.15 ±0.12	a	0.23 ±0.08	a	0.30 ±0.26	a	0.24 ±0.24	a	0.20 ±0.31	a
		2018	0.19 ±0.11	a	0.18 ±0.11	a	0.22 ±0.08	a	0.22 ±0.12	a	0.27 ±0.18	a
		2019	0.19 ±0.29	a	0.18 ±0.16	a	0.30 ±0.25	a	0.28 ±0.34	a	0.18 ±0.12	a
		2020	0.13 ±0.13	a	0.21 ±0.23	a	0.19 ±0.17	a	0.22 ±0.26	a	0.20 ±0.22	a
	細土	2014	2.03 ±0.88	a	1.38 ±0.60	a	0.23 ±0.12	b	2.13 ±1.31	a	0.041 ±0.026	c
		2015	0.92 ±0.49	a	0.61 ±0.46	a	0.11 ±0.10	b	0.74 ±0.42	a	0.019 ±0.017	c
		2016	0.14 ±0.05	a	0.13 ±0.05	a	0.28 ±0.28	a	0.16 ±0.09	a	0.013 ±0.018	b
		2017	0.12 ±0.10	a	0.23 ±0.16	a	0.29 ±0.29	a	0.13 ±0.06	a	0.010 ±0.013	b
		2018	0.12 ±0.09	ab	0.09 ±0.04	a	0.19 ±0.14	a	0.13 ±0.06	a	0.033 ±0.045	b
		2019	0.07 ±0.04	b	0.11 ±0.08	b	0.37 ±0.16	a	0.14 ±0.07	b	0.050 ±0.045	b
		2020	0.09 ±0.07	b	0.21 ±0.12	ab	0.30 ±0.14	a	0.19 ±0.08	ab	0.176 ±0.290	ab
	礫	2014	0.190 ±0.150	a	0.194 ±0.131	a	0.052 ±0.036	b	0.303 ±0.258	a	0.012 ±0.018	c
		2015	0.077 ±0.063	ab	0.105 ±0.084	ab	0.029 ±0.032	b	0.100 ±0.072	a	0.005 ±0.005	c
		2016	0.018 ±0.011	ab	0.039 ±0.027	a	0.037 ±0.049	ab	0.028 ±0.020	a	0.005 ±0.009	b
		2017	0.026 ±0.019	a	0.094 ±0.048	ab	0.087 ±0.069	b	0.057 ±0.053	b	0.005 ±0.009	c
		2018	0.026 ±0.017	ab	0.045 ±0.031	ab	0.073 ±0.045	a	0.059 ±0.030	a	0.017 ±0.011	b
		2019	0.017 ±0.007	a	0.038 ±0.021	abc	0.111 ±0.067	c	0.042 ±0.015	bc	0.021 ±0.025	ab
		2020	0.015 ±0.012	a	0.067 ±0.061	a	0.070 ±0.042	a	0.052 ±0.033	a	0.029 ±0.048	a
Cs-137 年平均 移動レート (Bq/m/mm)	落葉等 有機物	2014	13.23 ±8.79	ab	11.11 ±8.80	ab	7.76 ±9.64	ab	23.42 ±15.62	a	5.32 ±3.99	b
		2015	5.41 ±7.52	a	3.51 ±4.63	a	2.48 ±3.54	a	5.90 ±7.32	a	1.77 ±1.47	a
		2016	3.25 ±1.52	a	3.05 ±1.74	a	2.85 ±2.18	a	3.01 ±1.99	a	1.98 ±1.17	a
		2017	2.43 ±1.89	a	3.99 ±1.38	a	3.50 ±2.49	a	4.17 ±3.63	a	3.15 ±4.96	a
		2018	2.71 ±2.28	ab	3.29 ±1.95	ab	1.78 ±0.82	b	3.38 ±1.75	ab	4.93 ±2.58	ab
		2019	1.40 ±0.87	a	2.82 ±1.57	a	2.73 ±1.86	a	2.32 ±1.63	a	3.33 ±1.68	a
		2020	0.97 ±0.81	a	2.55 ±1.70	a	1.05 ±0.76	a	2.32 ±1.99	a	2.52 ±1.58	a
	細土	2014	65.47 ±26.64	a	34.57 ±17.66	a	7.84 ±3.64	b	88.31 ±57.83	a	2.63 ±1.59	c
		2015	25.24 ±16.12	a	16.02 ±10.97	a	3.22 ±3.13	b	24.03 ±15.19	a	1.08 ±1.03	b
		2016	3.40 ±1.55	a	3.24 ±1.18	a	3.15 ±2.69	ab	4.64 ±2.29	a	0.70 ±0.96	b
		2017	2.57 ±2.29	a	8.37 ±4.90	a	4.86 ±5.10	a	3.12 ±1.99	a	0.57 ±0.81	b
		2018	2.22 ±1.68	ab	2.20 ±1.62	ab	2.20 ±2.01	ab	2.52 ±1.11	a	1.19 ±1.65	b
		2019	1.28 ±0.79	b	4.22 ±3.45	ab	5.19 ±2.26	a	2.63 ±1.60	ab	1.85 ±1.75	ab
		2020	1.58 ±1.35	b	7.15 ±3.95	a	3.68 ±1.62	ab	3.03 ±1.16	ab	5.07 ±7.36	ab
Cs-137 積算移動量 (kBq/m/年)	落葉等 有機物	2014	15.9 (17.6)		14.2 (15.7)		7.8 (8.6)		31.1 (34.4)	①	6.2 (6.8)	
			51%		46%		25%		100%		20%	
		2015	7.4		4.9		4.8		8.6		2.3	
			86%		57%		56%		100%		27%	
		2016	4.6		3.8		3.0		4.0		3.2	
			115%		96%		75%		100%		81%	
		2017	2.2		4.5		3.0		3.6		1.6	
			60%		126%		84%		100%		44%	
		2018	3.2		3.8		2.1		3.6		4.7	
			88%		104%		58%		100%		129%	
		2019	1.5		3.9		2.4		2.8		6.4	
			51%		139%		87%		100%		226%	
		2020	0.5		0.6		0.5		0.7		0.3	
			66%		90%		67%		100%		49%	
	細土 ・礫	2014	103.0 (113.9)	④	55.1 (60.9)	③	11.4 (12.6)		123.1 (136.1)		3.3 (3.6)	
			84%		45%		9%		100%		3%	
		2015	42.2		22.2		4.6		40.3		1.8	
			105%		55%		12%		100%		4%	
		2016	8.4		6.2		6.2		10.4		2.4	
			80%		60%		60%		100%		23%	
		2017	2.9		9.0		5.2		3.3		0.3	
			89%		272%		157%		100%		8%	
		2018	2.8		3.1		2.6		2.6		2.0	
			110%		119%		99%		100%		78%	
		2019	2.3		8.0		9.1		4.7		3.9	
			49%		170%		193%		100%		82%	
		2020	0.8		1.4		1.2		0.8		0.2	
			96%		173%		147%		100%		19%	

Cs 積算移動量には 365 日換算の値を（ ）で示す。Cs 積算移動量の平均値の下段に、対照区を 100%として比較した各作業区の割合を示す。 土砂等移動レート及び Cs 移動レートの平均値は、採取回毎の移動レートを相加平均で求めた値。異符号（アルファベット）は、作業区間で有意差（$p<0.05$）が認められたことを示す（Steel-Dwass 多重比較検定）。

ピンク色枠・番号は、4）考察（p.114）と対応