

令和3年度

「耐久性のある作業道及び集材路等の作設手法の確立に向けた実態調査」
報告書

令和4年3月

林野庁森林整備部整備課

目 次

第 1 章 調査の目的と概要	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査概要	1
1.3 調査期間	2
1.3.1 調査期間	2
1.3.2 調査スケジュール	2
1.4 有識者からの意見聴取	2
1.4.1 有識者メンバー	2
1.4.2 会議の開催	3
1.4.3 有識者からの意見	3
第 2 章 文献調査	5
2.1 地域特性を反映した指針	5
2.1.1 調査概要	5
2.1.2 調査結果	6
2.2 国有林の調査事例	6
2.2.1 調査地の概要	7
2.2.2 有用な事例	29
2.3 その他文献等	31
2.3.1 文献の要約	31
2.3.2 文献の概要	34
第 3 章 現地調査の概要	36
第 4 章 現地調査の結果	37
第 5 章 データの整理分析	38
5.1 作設指針の適用状況	38
5.2 被災形態、箇所等	47
5.2.1 被災形態別	47
5.2.2 被災形態と斜面傾斜	51
5.3 幅員と斜面傾斜	53
5.4 排水施設と被災	54
5.5 被災要因に該当する指針の項目の抽出	55
5.6 林業機械との関係	58

第6章 後続調査に向けた提言	61
6.1 現地調査の課題	61
6.2 調査地の選定	62
6.3 指針の見直しに関して	62

第 1 章 調査の目的と概要

1.1 調査の目的

近年、異常な天然現象が多発しており豪雨による森林作業道、集材路（搬出路等と同義）や土場の被災、これに関連する土砂流出等の発生が懸念される等、課題が浮き彫りになりつつある。特に、森林作業道は平成 22 年の森林作業道作設指針策定から 11 年が経過したものの、これらの課題の関連性について十分な検証は行われていない。

また、令和 3 年 4 月に主伐時における伐採・搬出指針を策定したところであるが、未だ集材路及び土場の施工状況は十分に把握されていない。

このような背景から森林作業道、集材路及び土場の施工状況・被災実態、植生状況に応じた林地崩壊等の現地の実態を把握することを目的とする。

1.2 調査概要

本調査は、以下に記す事項について、調査を行うものとする。

(1) 事前準備

事前準備は発注者と十分協議を行い、各種調査を適切に遂行するために行うものである。有識者からの意見聴取、指針及び文献の収集、現地調査候補地の情報収集等の準備をする。

(2) 有識者からの意見聴取

森林作業道は路網の一部であり、路網整備、作業システム等との関連が深いため、これらに詳しい学識経験者や業界団体等の有識者から聞き取り等による技術的指導や助言を受けるものとする。聴取結果は、調査項目・内容等に反映させる。

(3) 文献調査

地方公共団体等が独自に定める指針、マニュアル、類似の案件等の収集等により情報収集を行い、整理する。

(4) 現地調査

現地調査は森林作業道、集材路及び土場、林地崩壊地について実施する。調査地は令和元年以降の主だった被災県及び、急傾斜地における森林作業道等が多いと想定される都道府県から、資料収集・検討を行い選定する。比較対象として、地質、土質、傾斜、経過年数等の条件が異なる箇所や非被災箇所においても調査を行うこととする。

(5) データの整理、分析

現地調査結果について、作設指針の条件別、被災形態別に分析し、森林作業道と崩壊発生の関連性、幅員と斜面傾斜の関係、被災形態と斜面傾斜の関係、ならびに作設指針、主伐時における伐採・搬出指針の適用状況を整理するとともに課題を整理する。

(6) 報告書の作成

調査の成果を報告書にとりまとめる。

1.3 調査期間

1.3.1 調査期間

令和3年12月20日～令和4年3月18日

1.3.2 調査スケジュール

本調査のスケジュールは次のとおりである。

表-1.1 調査スケジュール

項目	12月	1月	2月	3月	備考
準備					
有識者からの意見聴取					
文献調査					
現地調査					
森林作業道等の実態のとりまとめ					
報告書の取りまとめ					

1.4 有識者からの意見聴取

1.4.1 有識者メンバー

本調査では、会議を開催して学識経験者や業界団体等の有識者から技術的指導や助言を受け、これを参考に調査を実施した。

有識者メンバーは以下のとおりである。

表-1.2 委員会名簿

(順不同, 敬称略)

名称	氏名	所属
有識者	酒井 秀夫	一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会 会長 東京大学名誉教授
〃	鈴木 秀典	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業工学研究領域 森林路網研究室長

1.4.2 会議の開催

調査期間中、次表のとおり、webによる2回の会議を開催した。

表-1.3 会議開催 (敬称略)

	開催年月日	出席者
第 1 回	令和4年1月14日(金)	有識者：酒井秀夫 林野庁：担当者 事務局：奥谷由行、鈴木貴浩
第 2 回	令和4年1月20日(木)	有識者：鈴木秀典 林野庁：担当者 事務局：奥谷由行、鈴木貴浩

1.4.3 有識者からの意見

調査にあたっては、有識者からの意見を受け、本業務の遂行に反映させることとした。主な意見は以下のとおりである。

【調査実施方法について】

- ①林業機械が大型化しており、切土で幅員を広げることが多いので、使う車両と切土の関係のデータを取った方がよい。
- ②作業道の盛土は土工量を少なくするため、大量の残土が出ることは少ない。残土処理が行われている場合、谷沿いに盛土をすることが多いので、水抜きが設置されているかを調べる必要がある。
- ③集中豪雨が予想される地域では、丸太を組んだだけの洗越は危険である。洗越の構造を確認した方がよい。
- ④崩壊の原因は、作業道作設上の問題点と地形・地質等の問題をセットに考えた方がよい。
- ⑤崩壊の原因は、現地調査結果のみでなく、斜面傾斜、地形、地質等を広範囲で考える。
- ⑥残土を使用して土場が作られている（盛土主体）場合、構造物や排水などが設置されているかを確認する。
- ⑦掛け流しの盛土や立木に横にした丸太を渡した土留は、危険。現地にあれば、事例として入れる。

【その他】

- ①林業の現場において指針の内容を守った作業道等が作設されるためにはどうしたらよいか？議論が必要。
- ②集中豪雨が予想される地域では、丸太を組んだだけの洗越は危険であるため、鉄板を渡すあるいは簡単な橋梁にする等の検討が必要である。
- ③皆伐施業においての林地残材の処理、溪流の保全（溪流保護）について（例：スリットダムや川を汚さない）、もう一步踏み込んだ指針が必要になる可能性がある。将来、森林認証などと絡んでくるかも知れない。

以上の提言を受けて、現地調査表を一部追加するなどを行い、現地調査を実施した。

第2章 文献調査

2.1 地域特性を反映した指針

2.1.1 調査概要

林野庁が作成している森林作業道作設指針（以下、「作設指針」という。）は基本的な内容が記載されており、実際の運用にあたっては、それぞれの地域の地形・地質、気象条件、これまでの森林作業道作設実績を踏まえつつ、都道府県の作設指針を改正し、適切な整備に努める旨が記述されている。

森林作業道作設の良し悪しは、現地の地質、土質等に大きく左右される。我が国には、マサ土やシラス等、地域独自の土質を有している所も少なくない。ここでは、都道府県が定める作設指針から地域性があるものを抽出し、あわせて具体的に数値として示されている項目を拾い出し、整理を行う。

(1) 縦断勾配

縦断勾配の制約について、具体的な数値が示されたものは、次表のとおりとなっている。

「ホイール車」で14%、「クローラ車」で18%、特殊土では「マサ土」の場合に7%以下、7%を超える場合にコンクリート路面工等の侵食防止を行うこととの記載があった。

表-2.1 縦断勾配

最急縦断勾配			条件（土質、車両の種類）	都道府県
基本的	例外的			
概ね18%	概ね25%	短区間に限る	—	林野庁作設指針
14%	18%	短区間に限る	ホイール車両	愛知県
18%	25%	短区間に限る	クローラ車両	
7%	7%を超える	コンクリート路面工等 侵食防止施工	マサ土	岐阜県
—	46%（25°）	連続した50m	クローラ車両	奈良県

(2) 路面排水

路面の横断排水の設置間隔について、具体的な数値が示されたものは、次表のとおりとなっている。

「地形・地質及び縦断勾配に応じ」50mに1箇所、特殊土では「マサ土」の場合に15m以内ごとの記載があった。

表-2.2 路面排水

路面(横断排水)設置間隔	条件	県名
	土質等	
路面水がまとまった流量と ならない間隔で設置	-	作設指針
50mに1箇所	地形・地質及び縦断勾配に応じ	愛知県
15m以内ごと	マサ土	岐阜県

(3)路面の補強

路面の補強に関して、条件、種類等について具体的に示されたものは、次表のとおりとなっている。

「黒ぼくや粘土質のローム」の場合に砕石、「ヘアピンカーブ」の場合にコンクリート路面工との記載があった。

表-2.3 路面の補強

路面補強等	条件	県名
	土質等	
走行に危険が予想される場合	-	作設指針
砕石	黒ぼくや粘土質のローム	愛知県
コンクリート路面工等を検討	ヘアピンカーブ	〃

2.1.2 調査結果

都道府県が定める作設指針から地域性があるものや具体的に数値として示されている項目の拾い出しを行い、作設指針の概要を確認した。一部の県では、地域に根ざした指針を作成しているところもあるが、林野庁版の作設指針を準用している自治体も少なくなかった。耐久性のある森林作業道の作設をより一層推進していくためには、地域の実情に適合した独自の作設指針の作成を進めていくことが重要と言える。

2.2 国有林の調査事例

国有林で作設された作業道(集材路)の調査事例を紹介するとともに、耐久性等に係る有用な事例を抽出した。

なお、内容の一部括約、表・写真番号等は、本報告書にあわせて振り直し等を行っている。

引用文献：公益社団法人 国土緑化推進機構（緑と水の森林基金）事業助成：
「森林施業と水土保全機能に関する調査及び資料収集・分析 平成27～29年度報告書」
株式会社 森林テクニクス、株式会社 森林土木施設研究所

2.2.1 調査地の概要

関東森林管理局の茨城、磐城、利根沼田、吾妻、塩那の各森林管理署管内において、地形の起伏、地質の異なった地域を対象に調査が実施されている。調査内容は、皆伐1年～7年経過した森林作業道並びに集材路作設箇所を中心に土砂崩壊の発生状況や土砂侵食、土砂流出の状況が把握されている。

以下に調査概要を抜粋した。

表-2.4 現地実態調査地

管 理 署	地 形 (起伏)	地 質	気 象		調 査 年 次
			年平均降水量 (mm)	年平均気温 (℃)	
茨 城	小	花 崗 岩	1,400	13.1	H27
磐 城	小	花崗岩質岩石	1,428	12.9	H27
利根沼田	大	凝灰角礫岩	1,099	11.6	H28
吾 妻	中	安 山 岩	1,275	11.9	H28
塩 那	大	安山岩質凝灰岩	1,482	12.5	H29

注1：地形・地質は土地分類図（国土交通省国土調査課）による主なもの

注2：気象は森林管理署等最寄り観測所の平均値

(1) 茨城(H27調査)

①森林作業道作設に用いられている機械

ザウルスロボ（掘削、盛土）

②主として伐採に用いられている機械

グラップル（森林作業道から遠いところはウインチ）：集材

ハーバスター：玉切り

フォワーダ、中トラック：運材

③調査地の伐採年度

H22、H24、H26

④H22皆伐地（調査時：施業後5年経過）

- ・地質は花崗岩地帯で、表層には風化土層が載っている
- ・伐採した後は表層崩壊が発生しやすい状況になる可能性が高い。対岸では森林があるにもかかわらず表層崩壊が発生していた。
- ・一部森林作業道の急勾配区間でリル侵食（侵食深15cm程度）がみられ、急峻な森林作業道では地表流処理をする必要がある。
- ・森林作業道の路肩盛土部分に亀裂（L=10.6m、W=0.1～0.2m、H=0.2～0.3m）発生箇所があり、その谷側斜面に小規模な崩壊地が発生している。



写真-2.1 全景



写真-2.2 森林作業道の路肩決壊



写真-2.3 森林作業道の路肩盛土部分の亀裂発生
箇所 (L=10.6m、W=0.1m、H=0.2m)

⑤H24 皆伐地 (調査時：施業後 3 年経過)

- ・本流沿いの森林作業道は敷砂利を施してある。大面積皆伐の場合、伐採箇所から土場までの距離が長い為、丈夫な森林作業道を作設していると思われる。ただし、勾配 14% 区間で路面侵食が生じている。
- ・本流と支溪の間の尾根に取り付く森林作業道の勾配は 23%~30% と急である。
- ・支溪や本流上流部の森林作業道切取法面には花崗岩の他に泥岩が露出している。
- ・支溪左岸斜面は傾斜が急で森林作業道下の崩壊地が多い。
- ・支溪右岸斜面の森林作業道下の崩壊地は幅 8m、頭部の勾配は 5 分 (1.5/0.8) と急峻である。
- ・支溪右岸斜面の森林作業道には路肩に亀裂 (L=3.0m、W=0.5m、H=0.6m) が発生している箇所がある。
- ・亀裂発生箇所は、切取法高が 2.4m と高く、多量の残土を盛土に流用したため、必要以上の幅員 (4m) となり、路肩が不安定となったものと思われる。

- ・支溪右岸斜面の森林作業道は上部が緩斜面となっている、勾配変化点に作設されており、崩壊発生と関連があると思われる。
- ・本流上流部左岸斜面にも森林作業道に起因した崩壊地が発生している。急な谷に近接した2段の森林作業道を作設したため、斜面の縦方向に森林作業道を挟んで3個の崩壊地が連続して発生している。規模の大きなものは長さ4m、幅20m程度である。崩壊面には泥岩も露出し、その走向はS38° E、傾斜は60°である。
- ・本流上流部左岸と支溪左岸の北西向き斜面が急峻で崩れやすい。
- ・傾斜が緩い斜面には崩壊地は発生していない。
- ・切取高の高い法面部での崩落が目立つ。
- ・本流下流部右岸斜面の森林作業道には、切取高が高い法面があるが、やや硬い花崗岩が露出して比較的安定している。残土は路肩に盛らず、近くの傾斜の緩い谷で処理している。
- ・本流下流部右岸斜面にも森林作業道下の崩壊地が発生している。盛土が決壊したものである。
- ・本流下流部右岸斜面の森林作業道肩の盛土に亀裂が発生している箇所があるが、勾配の緩い谷部であるため、決壊しても下流へ流出するおそれはない。



写真-2.4 全景



写真-2.5 本流と支溪の間の尾根に取り付く森林作業道（勾配23%～28%）



写真-2.6 森林作業道下の崩壊
(支溪左岸斜面)



写真-2.7 森林作業道路肩の亀裂
(支溪右岸斜面)



写真-2.8 森林作業道上の崩壊地
(本流上流)



写真-2.9 森林作業道の植生侵入状況
(支溪上流部) 左岸斜面

⑥H26 皆伐地 (調査時：施業後 1 年経過)

- ・ 森林作業道を設置する際に山側の切土量を少なくするため、森林作業道の縦断勾配を現地形に合わせて変化させるようになっていた。森林作業道は波打つように曲線を描くが、斜面安定の面からは良い方法のように思われる。
- ・ 森林作業道は、切土高が一定で特に高い箇所がなく、地形なりに上手く作設されている。
- ・ 森林作業道谷側に伐採木を活用した杭木 (長さ 2m 以上) を設置し、その背面に枝条を堆積させている。集材直後に森林作業道上で枝を落とし、玉切りしているためと考えられる。
- ・ 森林作業道路面の滞水箇所が確認されるが、排水処理が必要である。



写真-2.10 全景



写真-2.11 切土高が一定で地形なりに上手く作設されている森林作業道



写真-2.12 森林作業道谷側の枝条処理
(伐採木を活用した杭木を設置)



写真-2.13 森林作業道路面の滞水箇所
(排水処理が必要)



写真-2.14 森林作業道の素掘り横断溝

(2) 磐城 (H27 調査)

①森林作業道作設に用いられている機械
不明

②主として伐採に用いられている機械
不明

③調査の伐採年度
H22、H24、H26

④H22 皆伐地 (調査時：施業後 5 年経過)

- ・勾配変化点直下の急斜面尾根部に、森林作業道と関係ない崩壊地も発生しているが、中腹部で収まっている。
- ・花崗岩地帯のマサ土は侵食されやすいため、崩壊地は自然復旧しにくい状況にある。
- ・森林作業道の切取法面に花崗岩 (花崗閃緑岩) やロームが露出している。



写真-2.15 全景(ヒノキ植栽地)



写真-2.16 森林作業道下の崩壊地



写真-2.17 急斜面尾根部の崩壊地



写真-2.18 森林作業道下の崩壊地



写真-2.19 急斜面尾根部の崩壊地

⑤H24 皆伐地（調査時：施業後3年経過）

- ・ほとんどの崩壊地が森林作業道沿いに発生している。
- ・森林作業道の幅員は3.6mである。
- ・森林作業道沿いの崩壊地は、ロームが厚く堆積する箇所（崖錐堆積物）で発生している。
- ・森林作業道の切取法面が拡大し、崩落土砂が路面を埋め尽くしている箇所がある
- ・森林作業道幹線（沢沿い、幅員3.0～3.6m）は路面の両側にスギ植栽済である。
- ・路面の盛土部に侵食されている箇所がある
- ・森林作業道幹線の急勾配箇所（ $\theta = 20^\circ$ ）に路面侵食が発生している。
- ・沢の渡河地点に丸太を活用した横断溝が敷設されている。
- ・森林作業道切取法面に砂岩（阿武隈変成岩—珪質片麻岩）が露出している



写真-2.20 全景(ヒノキ植栽地)



写真-2.21 森林作業道下の崩壊地



写真-2.22 高密度の森林作業道



写真-2.23 森林作業道切取法面の砂岩露頭
(阿武隈変成岩一珪質片麻岩)

⑥H26 皆伐地（調査時：施業後1年経過）

- ・森林作業道の切取法面に花崗岩（花崗閃緑岩）やローム・泥岩（阿武隈変成岩一珪質片麻岩）が露出しており、対象地は2つの地質に区分されることが分かる
- ・ロームの切取法面にリル侵食が発生している箇所がある。
- ・森林作業道の切取法面は枝条で被覆して侵食を防止している箇所がある。
- ・森林作業道の路面侵食が発生している箇所がある
- ・丸太杭と横木で抑止した盛土箇所は、締め固め不足。
- ・森林作業道路路面からの流入水により林内侵食が発生している箇所がある。



写真-2.24 全景



写真-2.25 集材路路面の植栽状況
(枯れているものが見られる)

(3) 利根沼田 (H29 調査)

①森林作業道作設に用いられている機械

ザウルスロボ (グラップル+バケット)

②主として伐採に用いられている機械

グラップル、ウインチ：集材

プロセッサ：玉切り (2m)

フォワーダ、中型トラック：運材

チェーンソー：伐倒

③調査の伐採年度

H23、H25、H27

④H23 皆伐地 (調査時：施業後 7 年経過)

- ・地質は中生代ジュラ紀の堆積岩類で、急峻な地形となっている。
- ・H28 にカラマツを植林
- ・山脚部は 50° から 60° の急崖で、モルタル吹付工やブロック積土留工で山脚固定が図られている。
- ・丸太柵工の柵高が 2m 以上あり、無理な構造と考えられる。(図-2.1)
- ・南側の山梨沢に面した斜面では、平成 28 年 9 月の豪雨により最上段の森林作業道から崩壊地 (表層崩壊) が発生している。
- ・崩壊地の規模は延長 100m、平均幅 8m 程度、傾斜は 40° 程度である。
- ・表層土はかなり薄く、基岩表面には亀裂が多く発達していて樹木根系がそこに侵入して表層土を支えているように見える。
- ・皆伐によって根系が腐朽し、表層崩壊発生の可能性を高めたことも考えられる。
- ・伐採後 6 年経過しているので、根の腐朽はかなり進行していたと考えられる。
- ・崩壊の原因として皆伐の影響も考えられるが、森林作業道が山腹斜面を数回横切っているため、切土による斜面の不安定化が原因であることも考えられる。



写真-2.26 山脚部のブロック積土留工



写真-2.27 地質は中世代ジュラ紀の堆積岩類で、急峻な地形となっている。



写真-2.28 最上段の森林作業道から表層崩壊が発生している。



写真-2.29 崩壊発生源
(上部から下部層を望む) 基岩が露出しており、これが不透水層となり、崩壊発生したものと考えられる。



写真-2.30 等高線沿いに作られた集材路

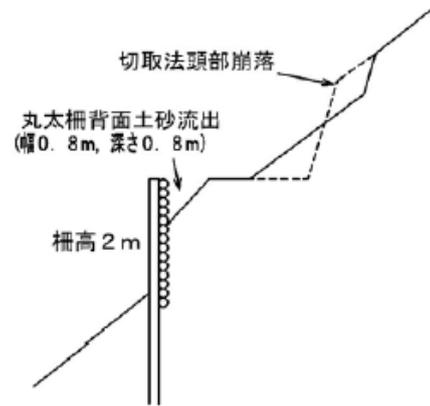


図-2.1 森林作業道横断見取図
丸太柵工の柵高が2m以上あり、無理な構造と考えられる。

⑤H25 皆伐地 (調査時：施業後5年経過)

- ・地質は新第三紀中新世の火山岩類で、軽石、ローム、泥岩、砂岩、チャート、石灰岩等の多様な地層が確認される。
- ・スギを植林 (年度不明)
- ・30° 前後以下の緩傾斜区域が広いため森林作業道周辺の崩れは少ないが、今後荒廃が拡大する可能性がある。
- ・集材路間隔は30~40m程度で高密度であるが、グラップルによる木寄のための間隔と思われる。
- ・森林作業道の急勾配箇所には路面にガリー (最大深40cm) が発生している。

- ・森林作業道の勾配 30%以上の区間で、深さ 30~40 cmのガリーが形成され、特に轍部分の侵食が顕著である。
- ・森林作業道の切取法面の高さは 2m程度以内に抑えられている。
- ・森林作業道の切取法面は侵食が進んで上部がオーバーハングし、切り株が崩落しそうな箇所もある。



写真-2.31 森林作業道近景



写真-2.32 新第三紀中世層の火山岩類で、軽石、ローム、砂石等の多様な地質が確認される。



写真-2.33 森林作業道の路面が侵食され、



写真-2.34 森林作業道の路肩に発生した亀裂土砂流出が確認される。



写真-2.35 森林作業道の切取法面の侵食が進行し、切株が崩落しそうである。

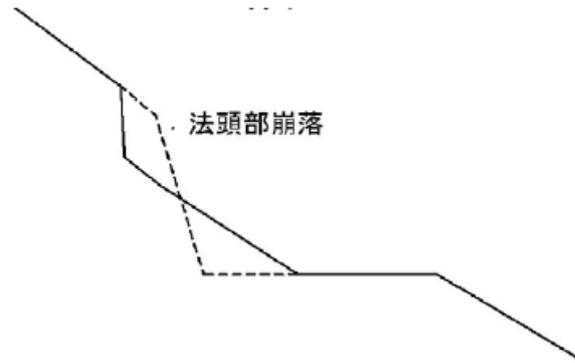


図-2.2 森林作業道横断見取図

⑥H27 皆伐地（調査時：施業後 5 年経過）

- ・地質は第四紀更新世の火山岩類で表層には軽石が分布している。
- ・前生樹はスギで、植栽はまだ行われていない。
- ・水平に設置された森林作業道の間隔が必要以上に狭く（20 ～30m程度）、密度の高い路網となっている。片側からグラップルだけで十分にとどく。
- ・森林作業道の路肩から、土砂流出が認められる。
- ・森林作業道切取法面の下部に伐採木や枝条を利用した柵工が設置されている箇所がある。



写真-2.36 森林作業道の近景



写真-2.37 第四紀更新世の火山岩類で、表層には軽石が分布している。



写真-2.38 集材路の路肩から、土砂流出が認められる。



写真-2.39 集材路切取法面下部に、伐採木や枝条を利用した柵工が設定されている箇所が存在する。



写真-2.40 集材路の設置間隔が、10m未満

⑦H29 皆伐地（調査時：施業後1年経過）

- ・地質は第四紀更新世の火山岩類を母材とし、地形は急峻である。表層には粗しょうな火山噴出物（軽石、火山灰）が広く分布するが、尾根部では礫層が確認される。
- ・崩壊跡地の微地形が確認されることから、施業前から荒れた山であったと思われる。
- ・前生樹はスギで、1伐3残後の皆伐と思われる。
- ・溪床に土砂や枝条を埋めて森林作業道と利用したため、溪岸が侵食している箇所がある。
- ・森林作業道の切取法面の高さは比較的低く抑えられているが、部分的に侵食や崩壊が確認され、大規模なもの（幅10m、長さ6m程度）では崩土が路面に堆積している。
- ・切取法面が拡大した箇所では、伐採木を利用した丸太柵工を設置し、斜面の安定を図っている箇所がある。

- ・斜面の等高線に直交して斜面上部に登る非常に急峻な森林作業道の急勾配箇所（40～45％）では、水流が確認され路面侵食（表面侵食、リル侵食）が発生している。
- ・盛土の決壊や亀裂（深さ 30 cm程度）の発生のほか、路肩から盛土面への土砂流出が確認される
- ・森林作業道の要所には丸太横断溝（丸太 3 本）が設置されている。



写真-2.41 森林作業道近景



写真-2.42 第四紀更新世の火山岩類を母岩とし、地形は急峻である。



写真-2.43 森林作業道近景



写真-2.44 新第三紀中世層の火山岩類



写真-2.45 森林作業道の急勾配箇所、路体維持のため丸太横断工が設置されている。

(4) 吾妻 (H29 調査)

① 森林作業道作設に用いられている機械

バックホウ (0.45m³)

② 主として伐採に用いられている機械

プロセッサ：枝払い、玉切り

フォワーダ、トラック：運材

③ 調査の伐採年度

H23、H25、H27

④ H23 皆伐地 (調査時：施業後 6 年経過)

- ・地質は新第三紀中新世の火山岩類で、地形は比較的急峻である。
- ・前生樹はスギで、スギ植栽済みである。
- ・森林作業道はほぼ水平に開設され、切取高が低いため土砂流出が少なく、植生も侵入しつつあり、森林作業道による林地損傷は目立たない。
- ・森林作業道のり面の切取高さが 2m を超える箇所が存在しているが、植生の侵入が確認される。
- ・森林作業道の盛土箇所に丸太組み工 (横丸太のみ) を設置している箇所があるが、路肩からの土砂流出が見受けられる。
- ・森林作業道の急勾配箇所では、丸太敷設による路面侵食防止が図られている。
- ・路面水を処理する箇所 (素掘り横断溝) の流末において、枝条による侵食防止が図られている。
- ・隣接する 59 か 2 林小班 (H23 皆伐) 内には、森林作業道上の急斜面に 1 箇所の小崩壊が発生し、通行不能となっている。
- ・急峻な窪地形に 4 段もの森林作業道が開設されているが崩壊等は確認されない。
- ・周辺区域で 40° 以上の急傾斜地では森林作業道周辺の崩壊が見られる。



写真-2.46 森林作業道近景



写真-2.47 新第三紀中世層の火山岩類で、地形は比較的急峻である。



写真-2.48 集材路はほぼ水平に開設されている。切取高が低いため土砂流出が少なく、植生も侵入しつつある。



写真-2.49 急峻な窪地に4段もの集材路が開設されているが、崩壊等は確認されない。

⑤H25 皆伐地（調査時：施業後 4 年経過）

48 ら林小班

- ・地質は新第三紀中新世の堆積岩類である。
- ・スギの伐採地で、植え付けはまだ実施されていない。
- ・地形が緩いため、ササ等の植生が密生し、林内侵食等は認められない。
- ・森林作業道も切取法面が低く、植生も侵入して安定している。



写真-2.50 森林作業道近景



写真-2.51 森林作業道は切取法面が低く、植生が侵入して安定している

48 ま林小班

- ・地質は新第三紀中新世の堆積岩類で急斜面である。
- ・スギの伐採地で、植え付けはまだ実施されていない。
- ・森林作業道の切取法面が拡大している箇所が見受けられる。
- ・森林作業道の路肩からの土砂流出が認められる。



写真-2.52 森林作業道全景



写真-2.53 森林作業道の切取法面が拡大している箇所が見受けられる。

⑥H27 皆伐地（調査時：施業後 2 年経過）

- ・地質は第四紀完新世の火山岩屑で、地形は急峻である。表層はロームで、その下部に火山岩屑、固結した黒土が層を成している。
- ・スギの植栽中である。
- ・森林作業道の盛り留め箇所は切り株を高くし、杭代わりに用いている。
- ・一部に森林作業道法肩からの土砂流出や切取法面の拡大が認められる。
- ・フォワーダによる路面沈下が見られる。
- ・森林作業道路面に良質土（黒土）を敷きならしている。
- ・高さ 2m を超す切取法面（最大 4m）がある。
- ・森林作業道で、丸太による路面排水が行われている。



写真-2.54 森林作業道全景



写真-2.55 森林作業道の切取法面が拡大している



写真-2.56 森林作業道の盛り留め箇所は切株を高くし、杭代わりに用いている。

(5) 塩那 (H30 調査)

① 森林作業道作設に用いられている機械

ザウルスロボ (グラップル+バケット)

② 主として伐採に用いられている機械

フェラーバンチャー：伐倒、集材

プロセッサ：枝払い、玉切り、集材

ザウルスロボ (グラップル+バケット)：集材

ハーベスター：伐倒、枝払い、玉切り、集材

フォワーダ：運材

チェーンソー：伐倒

③ 調査の伐採年度

H24、H26、H28

④ H24 皆伐地 (調査時：施業後 6 年経過)

- ・ H25 春にスギを植林
- ・ 森林作業道は等高線に沿って開設され、施業が行われている
- ・ 斜面の平均傾斜は約 30° である。
- ・ 下から 2 段目の森林作業道の切取りのり面が拡大している箇所がある。大きいものは長さ 8m、幅 4m 程度となっている。(写真-2.57)



写真-2.57 法頭上部が崩落
浮き上がった根株含む崖が残留

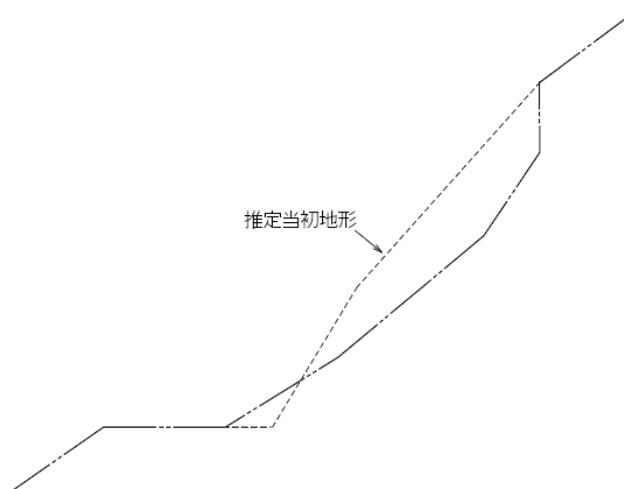


図-2.3 左写真の断面と当初の推定地形線

⑤H26 皆伐地（調査時：施業後 4 年経過）

- ・ H29 春にスギを植林
- ・ 森林作業道は等高線に沿って開設され、施業が行われている
- ・ 斜面の平均傾斜は約 20° である。
- ・ 20%以上の急勾配集材路では、丸太を敷設して路面侵食防止に効果を発揮している。
- ・ 地形が緩いため、等高線状に開設された集材路周辺も安定している。
- ・ 等高線に沿って開設された集材路の路肩に枝条や残材を集積した地拵えを行っており、土砂崩落・流出防止に効果を発揮している。
- ・ 枝条等の残材は、斜面上や森林作業道の路肩部分に丸太杭で囲って丁寧に集積されている。



写真-2.58 20%以上の急勾配区間の丸太及び枝条の敷設状況。



写真-2.59 地形が緩いため集材路の悪影響は生じていない。



写真-2.60 集材路に沿って枝条・残材を集積した地拵えを行っている。



写真-2.61 残材集積が途切れた箇所での
土砂流出



写真-2.62 尾根部に置かれた大径残材集積所

⑥H28 皆伐地（調査時：施業後2年経過）

- ・地拵えは、斜面上部の森林作業道沿いに部分的に行われているのみで、今後、灌木の刈り払いも含めた林地整備を行い、植栽を行う予定。
- ・森林作業道が作設されているが目立った土壌流出はない。
- ・上部斜面は急だが下部には緩斜面が広がっている。
- ・森林作業道勾配が15%程度以上の区間で表面侵食が始まっている。
- ・20%以上区間では、路面に枝条を敷設して侵食防止を図っている。
- ・急勾配区間が長くなる箇所では、粗朶・枝条を敷設した横断工が設置されている。
- ・森林作業道の切り取り高さは概ね2m以下であるが、表層崩落が進んでいるため、法頭には不安定な崖が形成され、崩落拡大の危険性がある。
- ・枝条等の残材は一部で集積され、丸太杭で囲われているが、多くは伐採時のまま広範囲に放置されている。今後整理される予定である。



写真-2.63 丸太敷設による横断排水
フォワード等の走行には支障がない。



写真-2.64 伐根が浮き上がった状態の切り
取りのり面



写真-2.65 流水侵食が進んだ路面



写真-2.66 枝条散布で侵食防止を図った路面



写真-2.67 皆伐後、植栽作業に向けて地拵え作業を実施中
伐採残材が未整理の状況

2.2.2 有用な事例

同報告書から森林作業道等作設及び耐久性向上に関わる優良な事例、参考となる事例を抜粋し、以下に示した。

(1) 路面の保護

縦断勾配が急な箇所における侵食防止としての路面の保護



写真-2.68 急勾配区間での丸太敷設路面（塩那）

写真-2.69 延長約 50mの敷砂利路面
（塩那）

(2) 路肩保護、崩壊防止



写真-2.70 集材路に沿って枝条・残材を集積した地拵え（塩那）



写真-2.71 残材集積が途切れた箇所での土砂流出（塩那）

(3) 排水施設



写真-2.72 丸太敷設による横断排水（塩那）
フォワード等の走行には支障がない。



写真-2.73 丸太と枝条敷設の横断工（塩那）



写真-2.74 30%勾配区間での路面枝条敷設
（塩那）



写真-2.75 素掘り横断工（塩那）

2.3 その他の文献等

森林作業道、集材路、皆伐、土砂移動（流出）、林内走行等をキーワードとして、本業務に関連する文献を調査した。結果を表-2.5に示した。

表-2.5 文献調査結果

NO.	論文名・著者等	雑誌名・出版先	日付	備考
1	作業道の環境保全効果と路網整備に関する考察 酒井 秀夫、有賀 一広ほか	日本森林学会誌	2002	84巻2号P.125-129
2	森林作業道の土砂流出抑止手法(スギの枝状散布) 小倉 晃	現代林業 全国林業改良普及協会	2012.12	P.38-41
3	林業機械の走行回数と枝条量の違いが土壌圧密に与える影響 橋本 徹、相澤 州平ほか	北方森林研究 北方森林学会	2013.2	61号P.107-108
4	再造林放棄地内の作業路、法面および伐採跡地での土砂移動について 佐々木 重行、芽島 信行ほか	九州森林研究 九州森林学会	2009.6	62号P.206-207
5	作業道を通じた間伐林分から溪流への浮流土砂流入－生田原国有林の事例－ 阿部 俊夫、佐々木 尚三ほか	北方森林研究 北方森林学会	2014.2	62号P.91-94
6	皆伐されたスギ人工林における伐出路跡の土壌特性と植生構造 高橋 由佳、安田 洋ほか	日本森林学会論文集 日本森林学会	2009	D16
7	作業道における土壌物理性と土砂移動 佐々木 重行、津田 城栄ほか	日本森林学会論文集 日本森林学会	2006	P3e39
8	枝条による作業路の土砂流出防止効果 佐々木 重行、檜崎 康二ほか	日本森林学会論文集 日本森林学会	2007	Pb2-39
9	急増する作業道から災害を出さないための注意点 小山 敢	日本森林学会論文集 日本森林学会	2011	G04
10	作業路の植生回復と土砂流出の関係 小倉 晃、小谷 二郎	日本森林学会論文集 日本森林学会	2012	日林論123-pb056
11	作業路の土砂流出抑制法 小倉 晃、小谷 二郎	日本森林学会論文集 日本森林学会	2011	日林論122 Pb1-55
12	林内走行による皆伐集材の土壌への影響 古川 邦明、横井 秀一ほか	日本森林学会論文集 日本森林学会	2011	日林論122 Pb1-84

2.3.1 文献の要約

表-2.5に示した文献の要約を表-2.6に示した。

表-2.6 文献の要約

NO.	要 約 【】内は論文名
1	<p>【作業道の環境保全効果と路網整備に関する考察】 森林作業を推進していく上で路網の整備は不可欠であるが、道路開設を連続した林冠のギャップ形成と考えれば、ギャップによって促進された林縁木の材積成長の増加によって、道路開設による道路支障木の材積損失はとくに考慮しなくてもよいことが裏付けられた。集材費用の低減効果を高めるためにも 20～100m/ha 以上の路網開設が望ましいが、道路の排水能力が高ければ、通常の道路密度で雨水の分散排水機能を果たすことができる。作業道の集水枡および側溝には林地の移動土砂を捕捉する機能もあり、作業道は適切に施工されれば環境保全効果も高い。</p>
2	<p>【森林作業道の土砂流出抑止手法（スギの枝状散布）】 森林作業道は近年非常に多く開設されているが、その一部では次回施業まで一定期間使用せずに残置する道が見られ、排水処理を適切に行わなければ、土砂流出や濁水発生、路線の破損による被害など、土砂災害の誘因となることが懸念される。土砂流出抑止対策として、枝払いで発生した枝条を路面に散布した場合、被覆割合を増加させると、土砂移動レートが減少することがわかった。森林作業道の路面に枝条を散布することは、路面の雨滴侵食およびシート侵食を軽減し、表面流・濁水発生の防止になる。</p>
3	<p>【林業機械の走行回数と枝条量の違いが土壌圧密に与える影響】 北海道内の森林において、林業機械が林内走行した場合の林地攪乱を明らかにするため、機械の走行回数と林地に散布する枝条量を重枝条区・軽枝条区・無枝条区に変えて、土壌圧密に与える影響を調べた。データはばらつきが大きく、軽枝条区で走行回数が増えるにつれて土壌の貫入抵抗が高くなった以外は、走行回数が増えても貫入抵抗が高くなる傾向は見られなかった。機械走行の土壌に対する影響は、土壌自体の固さやその空間的な不均一性によってマスクされる程度だった。</p>
4	<p>【再造林放棄地内の作業路、法面および伐採跡地での土砂移動について】 材価の低迷による収益性の低下や植栽・育林コストの増加により、九州においても、再造林放棄地における水土保持機能への影響が懸念されている。再造林放棄地内の土砂移動についての調査では、作業路からの土砂の流亡は搬出機械の轍跡が主な流路となっており、降水時には掘削を伴いながら水が流れたと考えられた。法面では、雨滴衝撃によって土砂の貯留より流亡が多いと考えられた。伐採跡地では、雨滴や表面流で土壌の表層が侵食されていると考えられた。作業道・法面で植生が存在する場合には、細土貯留量は少なく、土砂の流亡が軽減されると考えられた。</p>
5	<p>【作業道を通じた間伐林分から溪流への浮流土砂流入－生田原国有林の事例－】 溪流への浮流土砂の流入に関して、特に集材路や林道などの作業道の影響が大きいと考えられているものの、その実証的研究は少ない。そこで、作業道が溪流を横断する上下流で浮流土砂濃度を調査した。浮流土砂濃度は、作業道上流に比べて下流側で高く、森林施業に起因する浮流土砂が作業道を通じて供給されていることが確かめられた。作業道より上流側では、最大濃度は未攪乱流域と同じオーダーで、明瞭な施業の影響は認められない。流域での著しい濁水発生を防ぐためには、作業道からの浮流土砂流入を防ぐことが最も重要といえる。</p>

表-2.6 文献の要約

NO.	要 約 【】内は論文名
6	<p>【皆伐されたスギ人工林における伐出路跡の土壌特性と植生構造】 林業機械の伐出路跡が林地に高密度に残った場合、それらが伐採後の森林の更新に与える影響が懸念される。そこで、伐出路跡の土壌特性と更新稚樹の発生状況を調査した。伐出路跡では、機械の踏圧と表層剥離の影響を受けて、保残区に比べて明らかに理化学性が不良な状態のままであることが示された。更新稚樹は先駆性の低木が主体であることから、天然更新による森林の成立は困難であり、植栽などの更新にも土壌改良等の処置が必要であると考えられた。</p>
7	<p>【作業道における土壌物理性と土砂移動】 作業道は森林施業を行う上で必要不可欠であるが、土砂の流亡の危険性など、水土保全機能に及ぼす影響が懸念されている。そこで、作業道の土壌孔隙と土砂移動について報告する。土壌孔隙では、作業道の開設だけでは、全孔隙率の低下は少ないが、攪乱により保水性に関わる小孔隙率が低下する。また、機械走行による踏み固めにより、土壌中の水の移動に関わる大・中孔隙率や保水性に関わる小孔隙率が低下すると考えられた。轍は、転圧の影響により土壌硬度が高く、保水性に関わる粗孔隙率が低くなる。また、土砂の移動量が多いのは、降水時に雨水が轍を流路して流れるためと考えられた。</p>
8	<p>【枝条による作業路の土砂流亡防止効果】 作業路での土砂流亡は、搬出機械による転圧と雨滴衝撃による土壌表面の孔隙の目詰まりによる浸透能の低下と、表面流に対する抵抗物が無いため発生すると考えられる。そこで、作業路表面にスギ枝条を設置して、土砂流亡防止効果について検討する。傾斜が急の作業道では、枝条設置後の降水量に対する細土の移動量が低下した。枝条を設置しない箇所では、設置前後の降水量に対する変化はなかった。搬出作業が終了した作業道においても、表面を枝条で覆うことで、雨滴衝撃や表面流による土砂移動を抑止する効果があることが分かった。</p>
9	<p>【急増する作業道から災害を出さないための注意点】 急増する安価な作業道から災害を出さないために、鳥取県が独自に開発した、GISを利用した簡易ルート計画法と、盛土の締固めの簡易検査法を紹介する。 大橋慶三郎氏によって考案されたタナを通る図上ルート検討の“色分け図”について、作業道の構造を考慮に入れて傾斜区分した色分け図を、10mDEMによりGISを利用して簡易に作成した。 盛土の転圧不足による施工不良があった場合、弱点部に亀裂が入る場合が多い。作業道の盛土検査として簡易貫入試験を適用することで、低コストでかつ簡易な盛土検査方法が開発できた。</p>
10	<p>【作業路の植生回復と土砂流出の関係】 作業路の植生回復の経年変化について、裸地状態の作業路と枝条散布の作業路で調査し、また、植生回復と土砂流出の関係について調査を行った。植生の経年変化は、開設後1・2年目は裸地の方が植生の回復が早い。3年目には両者とも同程度の植生に覆われ、5年目に低木層と草本層が、7年目に森林化状態に達した。土砂流出も時間の経過とともに流出が少なくなったが、裸地の場合では2年目まで多くの土砂が流出した。植生が回復する3年目には両者ともにスギ林の平均的な土砂流出量以下となった。</p>

表-2.6 文献の要約

NO.	要 約 【】内は論文名
11	<p>【作業路の土砂流出抑制法】 作業路からの土砂流出の実態と、土砂流出を抑制するために路面をスギの枝条で被覆した効果について検討した。被覆割合ごと、開設直後・1年目前半・1年目後半の区分で測定し、いずれの試験区も開設直後に土砂移動が多く、年月と共に減少した。路面を枝条で100%被覆した場合には、土砂移動量は林分と同じ程度であった。裸地状態の作業路からは、林分の百倍以上の土砂が移動した。路面表面を枝条等で覆うことで土砂の流出は抑制することができ、被覆率が高いほど土砂流出抑制力が高かった。</p>
12	<p>【林内走行による皆伐集材の土壌への影響】 グラップルローダ走行跡に植えたヒノキが集団で枯れる被害が発生した。そこで、走行による土壌への影響を明らかにするため、走行跡の土壌貫入強度と土壌理化学性の変化について調査した。土壌の貫入抵抗の計測結果では、繰り返し走行による土壌の締固めで走行区の貫入抵抗は大きくなると予想したが、非走行区との差は認められなかった。土壌理化学性の調査結果では、粗孔隙量が減少し、細孔隙量は増加した。林内走行により、粗孔隙量が大きく減少し、苗の成育に必要な水分条件が悪化したことが枯れた原因の一つと考えられる。</p>

2.3.2 文献の概要

表-2.6 から本業務に関連する項目毎に要約の概要を以下にまとめた。なお、()内は論文NOを示す。

(1) 林地の土砂移動

- ・作業道の集水枘および側溝には林地の移動土砂を捕捉する機能がある。(1)
- ・作業道は適切に施工されれば環境保全効果も高い。(1)
- ・作業路からの土砂の流亡は搬出機械の轍跡が主な流路となる。(4)
- ・作業道・法面で植生が存在する場合には、細土貯留量は少なく、土砂の流亡が軽減される。(4)
- ・土砂の移動量が多いのは、降水時に雨水が轍を流路して流れるため。(7)
- ・作業道の開設だけでは、全孔隙率の低下は少ないが、攪乱により保水性に関わる小孔隙率が低下する。(7)

(2) 枝条による土砂流亡防止効果

- ・枝払いで発生した枝条を路面に散布した場合、被覆割合を増加させると、土砂移動レートが減少する。(2)
- ・森林作業道の路面に枝条を散布することは、路面の雨滴侵食およびシート侵食を軽減し、表面流・濁水発生の防止になる。(2)
- ・路面を枝条で100%被覆した場合には、土砂移動量は林分と同じ程度である。(11)
- ・裸地状態の作業路からは、林分の百倍以上の土砂が移動する。(11)
- ・路面表面を枝条等で覆う被覆率が高いほど土砂流出抑制力が高い。(11)

(3) 森林作業道等の維持管理

- ・搬出作業が終了した作業道においても、表面を枝条で覆うことで、雨滴衝撃や表面流による土砂移動を抑止する効果がある。(8)
- ・盛土の転圧不足による施工不良があった場合、弱点部に亀裂が入る場合が多い。(9)
- ・簡易貫入試験を適用することで、低コストでかつ簡易な盛土検査方法が開発できた。(9)

(4) 濁水発生防止

- ・森林作業道の路面に枝条を散布することは、表面流・濁水発生の防止になる。(2)
- ・浮流土砂濃度は、作業道上流に比べて下流側で高く、森林施業に起因する浮流土砂が作業道を通じて供給されている。(5)
- ・流域での著しい濁水発生を防ぐためには、作業道からの浮流土砂流入を防ぐことが最も重要。(5)

第3章 現地調査の概要

第3章については非公表とする。

第4章 現地調査の結果

第4章については非公表とする。

第5章 データの整理分析

5.1 作設指針の適用状況

現地調査の結果から作設指針の適用状況を分析する。

(1) 縦断勾配

作設指針では「基本的には概ね10°（18%）以下」と記述されている。最急勾配18%以下の適用の割合を現地調査の結果から分析した。適用率は86%と概ね作設指針に準拠していた。（表-5.1、図-5.1）このうち、18%以下の内訳をみると10%以下が44%と半分近くを、15%以下が79%と約8割を占めている。（表-5.2、図-5.2）これは運材車両4t～10t積トラックの使用に配慮して、縦断勾配を設定しているものと考えられる。

また、26の被災箇所のうち、被災形態別に割合を調べると縦断勾配に関連するものは20箇所77%で、そのうち、路面の洗掘または洗掘+路肩崩壊が6箇所23%を占めている。（表-5.3、図-5.3）

6箇所のうち5箇所はB地区、残り1箇所はC地区で、日最大雨量357mm（B）、510mm（C）の豪雨に路面洗掘されたものである。

路面洗掘また路肩崩壊を最小限に抑えるためには、集中豪雨等にともない路面を流下する水の影響を最小限とすることが重要で、最急縦断勾配の緩和や横断排水施設の小まめな設置を行うことが有効と考えられる。また、オペレータへの聞き取りによると踏査時にハンドレベルを使用せず、経験値で計画している地区もあることから、踏査時のハンドレベルの使用が、課題としてあげられる。

表-5.1 縦断勾配18%以下の適用率

勾配(%)	件数	割合
18%以下	48	86%
18%超過	8	14%
計	56	

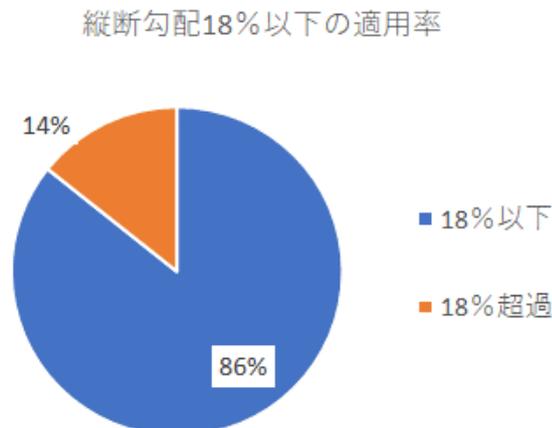


図-5.1 縦断勾配18%以下の適用率

表-5.2 縦断勾配 18%以下の内訳

勾配(%)	件数	割合
5%以下	9	19%
5%超10%以下	12	25%
10%超15%以下	17	35%
15%超18%以下	10	21%
計	48	

縦断勾配18%以下の内訳

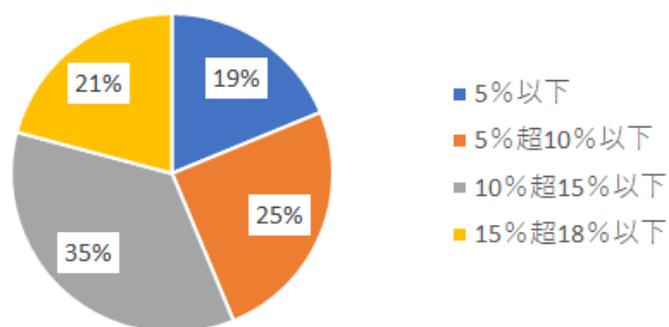


図-5.2 縦断勾配 18%以下の内訳

表-5.3 被災形態別の割合

被災形態	件数	割合
路面洗掘	1	4%
路面洗掘+路肩崩壊	5	19%
法面崩壊	6	23%
路肩・路体崩壊	14	54%
計	26	

※赤字は縦断勾配に関連する被災形態

被災形態別の割合

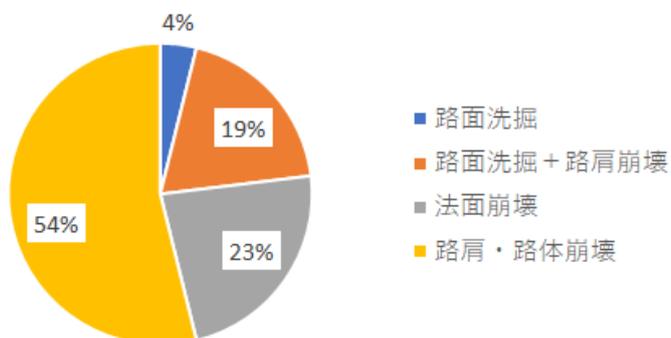


図-5.3 被災形態別の割合

(2) 切土高

作設指針では「ヘアピンカーブの入口など局所的に 1.5m を超えざるを得ない場合を除き、切土のり面の安定や機械の旋回を考慮し 1.5m 程度以内とすることが望ましく、なおかつ高い切土が連続しないよう注意する。」と記述されている。

切土高 1.5m 以下の適用割合を現地調査の結果から分析した。適用率は 28% (表-5.4、図-5.4) で、その内訳をみると 1.0m 超 1.5m 以下が 46% と最も多く、次いで 0.5m 超 1.0m 以下の 36% と続く。(表-5.5、図-5.5)

被災した 26 箇所のうち、切土に関連する法面崩壊は 6 箇所 (23%) で、切土高の内訳は、10m、15m、その他 4 箇所 (崩壊規模が大きかったため、計測不可) となっている。(表-5.6) このうち、切土高 15m の箇所は、風化した表層土が豪雨により崩落したものであり、切土高 10m の箇所は、高い切土で露出した風化岩の亀裂が凍結融解により拡大し、集中豪雨により崩壊に至ったと考えられる。他の 4 箇所は、豪雨時の地下水上昇に伴い発生した法面からの湧水が崩壊を助長したと考えられる。

なお、非被災箇所は、いずれも崩れにくい締まった礫質土や岩の斜面であった。

表-5.4 切土高 1.5m の適用率

高さ(m)	件数	割合
1.5m以下	11	28%
1.5m超過	28	72%
計	39	

※測定不能 4 件を除く

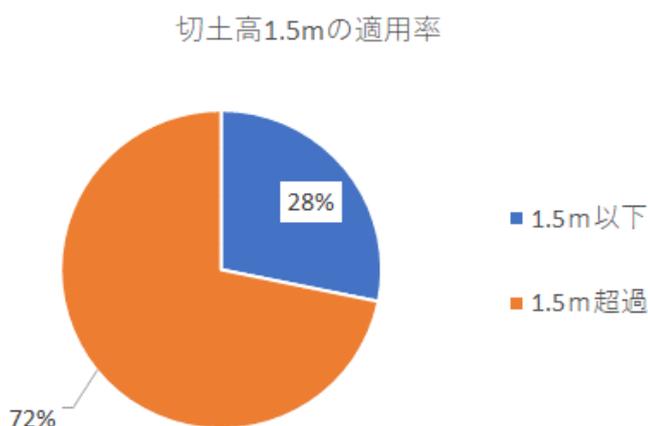


図-5.4 切土高 1.5m 以下の内訳

表-5.5 切土高 1.5m 以下の内訳

高さ(m)	件数	割合
0.5m以下	2	18%
0.5m超1.0m以下	4	36%
1.0m超1.5m以下	5	46%
計	11	100%

※測定不能 4 件を除く

切土高1.5m以下の内訳

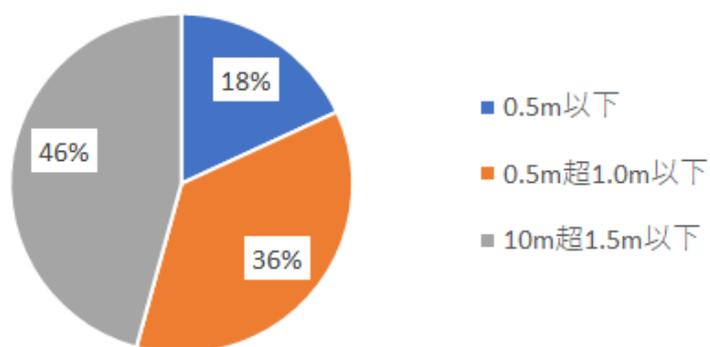


図-5.5 切土高 1.5m 以下の内訳

表-5.6 被災形態別の割合（再掲）

被災形態	件数	割合
路面洗掘	1	4%
路面洗掘+路肩崩壊	5	19%
法面崩壊	6	23%
路肩・路体崩壊	14	54%
計	26	

※赤字は切土高に関連する被災形態

(3)切土のり勾配

作設指針では「切土のり面勾配は、よく締まった崩れにくい土砂の場合は6分、風化の進捗又は節理の発達遅い岩石の場合は3分を標準とし、地質や土質等の条件に応じて切土のり面勾配を調整する。」と記述されている。切土のり勾配の内訳をみると、3分超6分以下が72%、次いで0超3分以下が13%となっていた。(表-5.7、図-5.6)

調査個所においては、切土のり勾配は地質や土質等の条件に応じて、概ね作設指針の標準値が適用されていた。

表-5.7 切土高 1.5m以下の内訳

切土のり勾配	件数	割合
0(直)	2	5%
0分超3分以下	5	13%
3分超6分以下	28	72%
6分超8分以下	0	0%
8分超	4	10%
計	39	

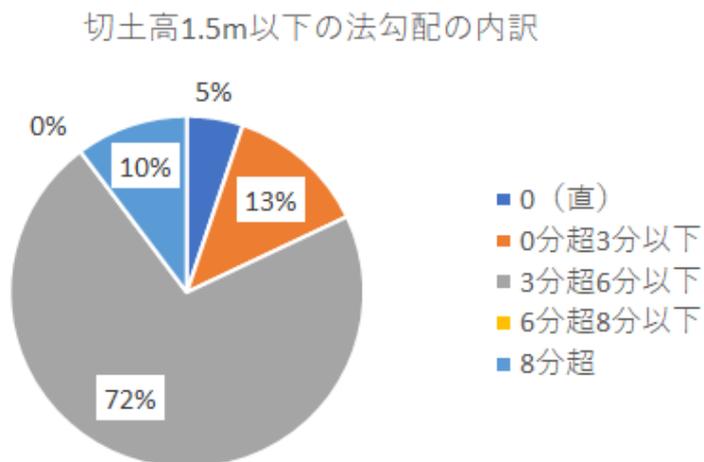


図-5.6 切土高 1.5m 以下の内訳

(4) 盛土高

作設指針では「盛土高が2 mを超える場合は、1割2分程度の勾配とする。」と記述されており、最大の盛土高さは示されていない。現地の盛土の高さ別の割合は表-5.8、図-5.7のとおりであり、2m超 5m以下が50%と最も多く、次いで2m以下が33%となっている。最大高さは8mの非被災箇所、締固めに適した礫質土で盛土が作設されていた。また、14の盛土箇所のうち、締固め等が不足し、クラックが発生していたところは2箇所で、測定不能だった2箇所を除く10箇所は概ね指針に沿った適切な作設がなされていた。

表-5.8 盛土の高さ別の割合

高さ(m)	件数	割合
2m以下	4	33%
2m超 5m以下	6	50%
5m超 10m以下	2	17%
計	12	

※測定不能2件を除く

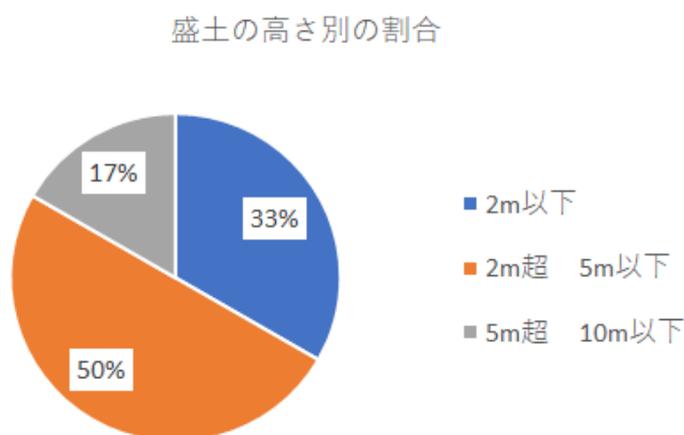


図-5.7 盛土の高さ別の割合

(5) 排水施設の設置状況

作設指針では「排水施設は、路面の縦断勾配、当該区間の延長及び区間に係る集水区域の広がり等を考慮して、路面水がまとまった流量とならない間隔で設置する。」と記述されている。

排水施設の設置状況を使用されていた工種別に整理すると、最も多く使用されていたのは横断排水で55%、次いで暗渠28%、洗越は11%であった。

(表-5.9、図-5.8) このうち、横断排水を種類別に見るとコンクリート製70%、次いで素掘り20%であった。(表-5.10、図-5.9)

次に横断排水の設置数を単独と、複数(例:50m間隔で設置)別にみると単独50%、複数50%と同じ割合で設置されていた。(表-5.11、図-5.10)

横断排水を設置間隔別に見ると50m間隔が80%、60m間隔が20%となっている。(表-5.12、図-5.11)

横断排水の適切な設置は、路面水を処理し、路面洗掘や路肩崩壊のリスクを軽減することに繋がる重要な事項である。

オペレータへの聞き取りによると踏査時に排水施設の設置などを意識した踏査がなされていないことから、集水区域をイメージした横断排水の設置を行うことが、課題としてあげられる。

表-5.9 排水施設の工種別使用割合

種類	件数	割合
横断排水	10	55%
暗渠	5	28%
洗越	2	11%
側溝	1	6%
計	18	

排水施設の工種別使用割合

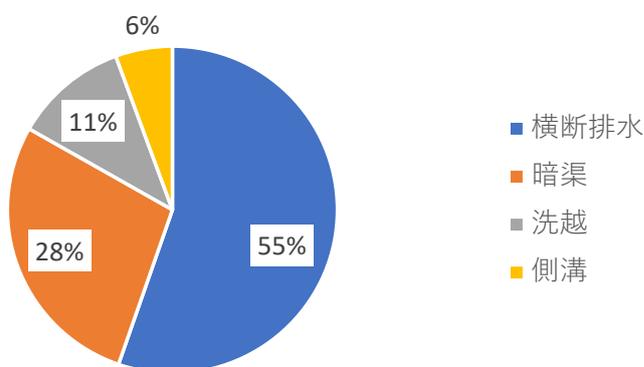


図-5.8 排水施設の工種別使用割合

表-5.10 横断排水の種類別使用割合

種類	件数	割合
コンクリート	7	70%
素掘り	2	20%
土盛り	1	10%
計	10	

横断排水の種類別使用割合

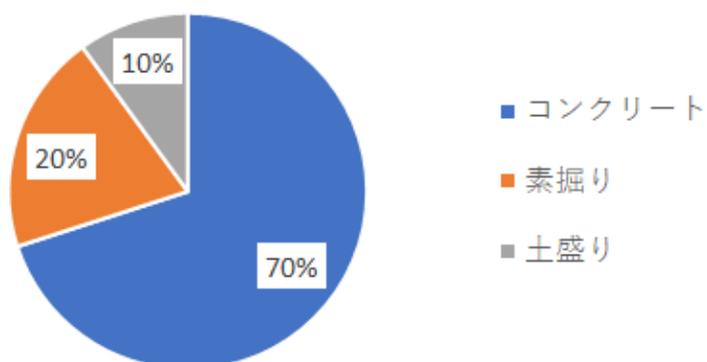


図-5.9 横断排水の種類別使用割合

表-5.11 横断排水の設置数

区分	件数	割合
複数	5	50%
単独	5	50%
計	10	

横断排水の設置数

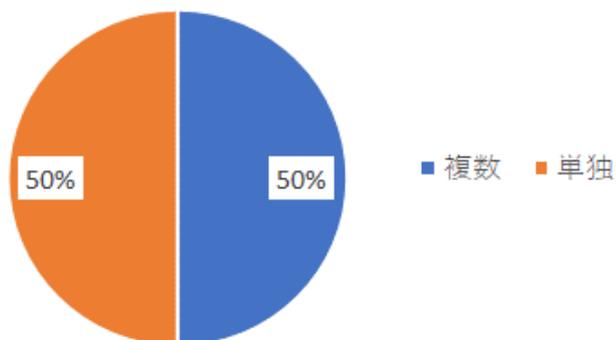


図-5.10 横断排水の種類別使用割合

表-5.12 横断排水の設置間隔の割合

設置間隔	件数	割合
50m	4	80%
60m	1	20%
計	5	

横断排水の設置間隔の割合

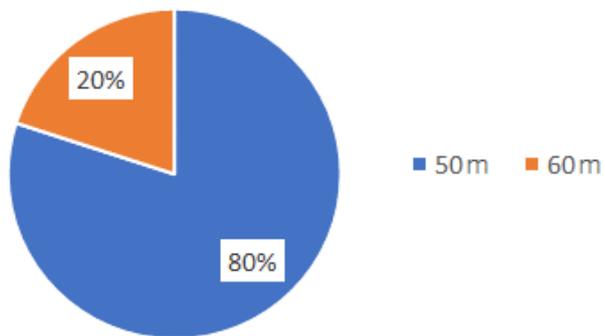


図-5.11 横断排水の設置間隔の割合

5.2 被災形態、箇所等

5.2.1 被災形態別

現地調査の結果から被災形態、箇所等と被災の関係を分析する。

(1) 被災形態別の被災割合

被災形態別の被災割合を調べた。(表-5.13、図-5.12)

路肩崩壊の割合が最も高く 54%、次いで法面崩壊の 23%、路肩崩壊+路面洗掘の 19% となっている。路肩崩壊+路面洗掘を含めた路肩崩壊箇所は、被災箇所の 7 割 (19 箇所) を占めている。その約半数の 10 箇所は盛土箇所、残り 9 箇所は地山の路肩となっている。(表-5.14、図-5.13)

作業道等の路肩崩壊は、一般的に盛土箇所で発生するケースが多い。しかし、調査路線においては、地山箇所での路肩崩壊が盛土箇所と同数程度発生していることから、被災要因として、地質的な影響に加え、豪雨時の湧水など雨水の影響が被災に大きく関係しているものと考えられる。

表-5.13 被災形態別の割合

被災形態	件数	割合
路肩・路体崩壊	14	54%
路面洗掘+路肩崩壊	5	19%
法面崩壊	6	23%
路面洗掘	1	4%
計	26	

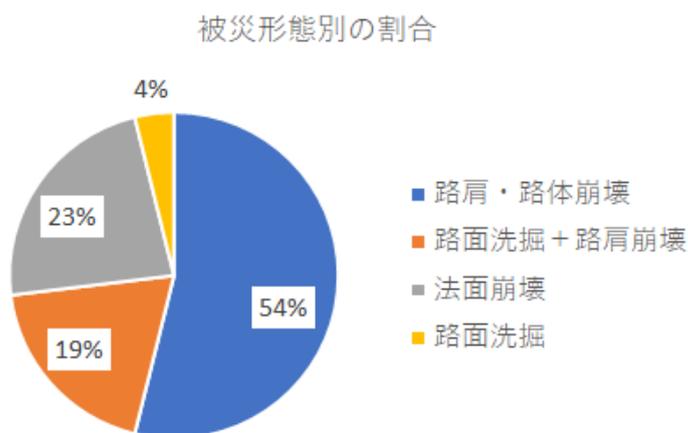


図-5.12 被災形態別の割合

表-5.14 路肩崩壊箇所の法面の状態

区分	件数	割合
盛土	10	53%
地山	9	47%
計	19	

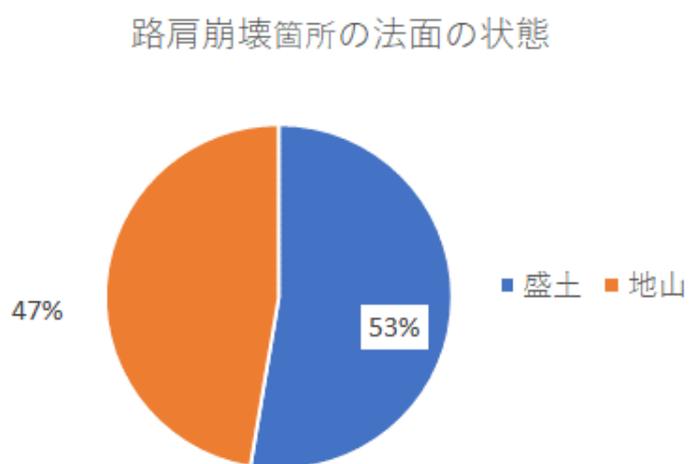


図-5.13 路肩崩壊箇所の法面の状態

(2) 被災箇所 の 地形

被災箇所を尾根、沢(常水の有無を問わず)、平衡斜面、凹地の地形ごとに分類し、被災の割合を調べた。(表-5.15、図-5.14)

被災割合が最も高かったのは、凹地の46%、次いで平衡斜面の42%となっている。

凹地の被災割合が高いのは、凹地が比較的脆弱な地盤に位置しており、ここに集中豪雨による地表水や路面水が浸透したため、崩壊したと考えられる。

沢や凹地は地形上、盛土により森林作業道を作設することとなる。作設にあたっては、豪雨時など路面を流れる水の影響を極力少なくするため、手前の地山箇所において、横断排水溝を設置することが重要である。

表-5.15 地形別の被災割合

被災箇所 の 地形	件数	割合
尾根	1	4%
沢	2	8%
平衡斜面	11	42%
凹地	12	46%
計	26	

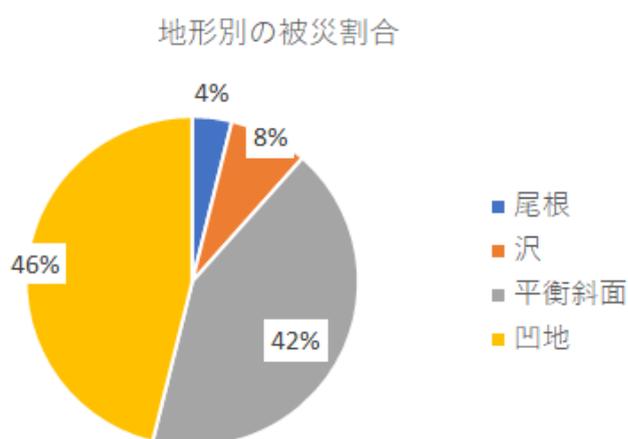


図-5.14 地形別の被災割合

5.2.2 被災形態と斜面傾斜

(1) 斜面傾斜別の被災割合

斜面傾斜別の被災割合を傾斜別に 10° 括約で 50° まで調べた。(表-5.16、図-5.15)
被災割合が最も高かったのは、30° 超 40° 以下の 46%、次いで 40° 超 50° 以下の 31% となっている。斜面傾斜が 30° を超えると被災割合が上昇する。

地区別に調査箇所で測定した傾斜を見ると、

A 地区は平均傾斜 33° (min:15° ~max:40°)

B 地区は平均傾斜 40° (min:30° ~max:48°)

C 地区は平均傾斜 36° (min:20° ~max:48°)

と何れの地区も平均傾斜で 30° 超~40° 以下の範囲にある。

表-5.16 斜面傾斜別の被災割合

斜面傾斜	件数	割合
20° 以下	2	8%
20° 超30° 以下	4	15%
30° 超40° 以下	12	46%
40° 超50° 以下	8	31%
計	26	

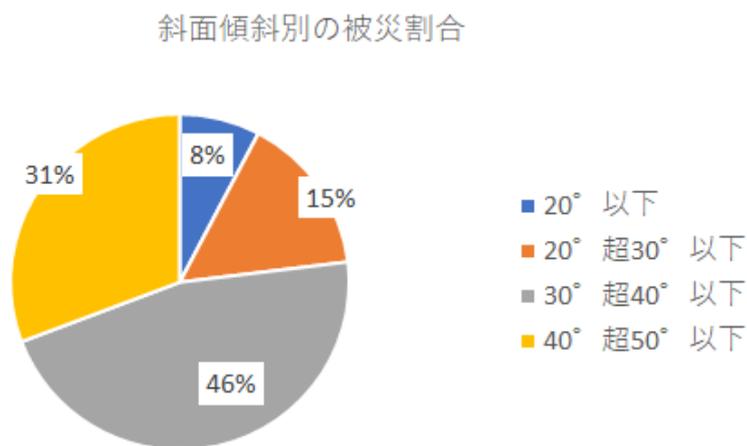


図-5.15 斜面傾斜別の被災割合

(2) 法面崩壊と斜面傾斜

被災形態のうち、2番目に件数の多かった法面崩壊と斜面傾斜の関係を調べた。(表-5.17、図-5.16)

割合が最も高かったのは、40°超50°以下の50%、次いで30°超40°以下の33%となっている。斜面傾斜が30°を超えると被災割合が上昇する。

表-5.17 法面崩壊の斜面傾斜別割合

斜面傾斜	件数	割合
20°以下	0	0%
20°超30°以下	1	17%
30°超40°以下	2	33%
40°超50°以下	3	50%
計	6	

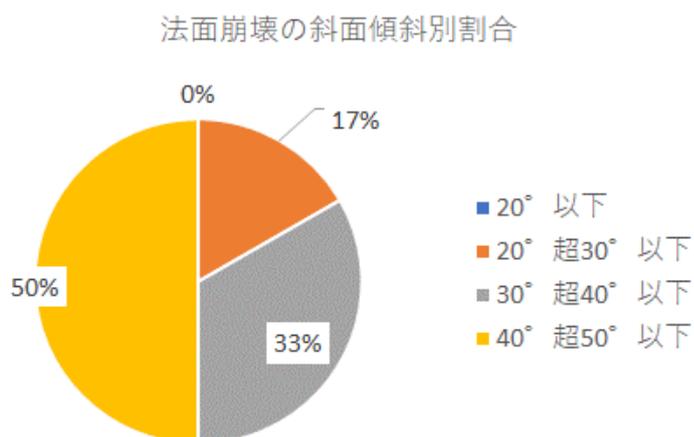


図-5.16 法面崩壊の斜面傾斜別の被災割合



写真-5.1 崩壊と土砂の状況
粘着力のない砂礫が主体



写真-5.2 最大切土高10m (H-3) の状況

写真-5.1～5.2は、最大切土高10mの被災箇所である。高い切土で露出した風化岩の亀裂が凍結融解により拡大し、集中豪雨により崩壊に至ったと考えられる。

安定しているように見える斜面でも、岩石の性質、亀裂の状況、凍結融解や降雨の影響等により大きな崩壊に繋がる可能性があるため、高い切土は極力避けた方が良い。

また、低い切土でも、土質等の条件により崩れ易い場合には、丸太柵などの構造物を使用することが有効である。



写真-5.3 丸太柵 高さ2m (N-6)

5.3 幅員と斜面傾斜

森林作業道は、土工量の縮減を通じた作設費用の抑制を図る等の観点から、作業システムに対応する必要最小限の規格で計画することが必要である。幅員は使用する林業機械、運材車両の大きさに関係し、切土高、盛土高に大きく影響を与える。調査地の基本的な幅員、斜面傾斜（平均傾斜）と最大切土高の関係をみると、表-5.18のとおりである。

表-5.18 地区別の平均傾斜と最大切土高

地区名	幅員 (m)	平均傾斜 (°)	最大切土高 (m)
A	3.0	33	2
B	3.5	40	10
C	3.0	36	15



写真-5.4 切土高 2mの箇所



写真-5.5 切土高 15mの箇所

一般に 35° 以上の急傾斜地では、①～④により森林作業道を作設することになる。

- ①盛土高を高くする
- ②盛土+構造物の組合せ
- ③切土高を高くする
- ④①～③の組み合わせ

調査地では切土を主体としていたため、写真-5.5 に示す高い切土が存在していた。高い切土、盛土を抑えるためには、踏査を念入りに行い、森林作業道のルートを検討することが重要である。

5.4 排水施設と被災

被災した全 26 箇所において排水施設の有無と被災の関係を調べた。(表-5.19、図-5.17)

排水施設が設置してある場合の被災率は 23%、これに対し、設置なしは 77%と設置した場合の 3 倍となっている。限られた条件、路線数の調査結果であるが、排水施設を適切に設置することの重要性が現れた結果となっている。

表-5.19 排水施設の有無と被災の関係

区分	件数	割合
排水施設あり	6	23%
排水施設なし	20	77%
計	26	

排水施設の有無と被災の割合

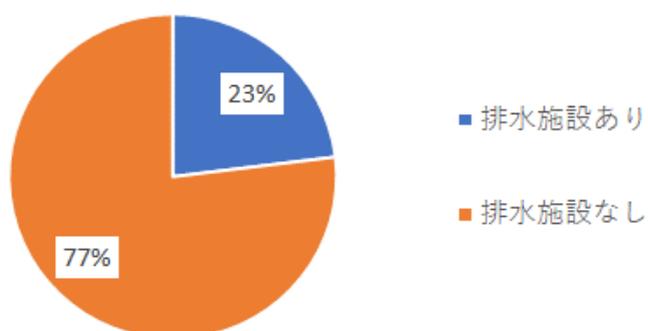


図-5.17 排水施設の有無と被災の関係

5.5 被災要因に関連する指針の項目の抽出

現地調査の結果から被災要因に関連する指針の項目を抽出する。

被災箇所毎の被災形態と被災要因について第4章に示した総括表（表-4.2）から抜粋した。（表-5.20）また、作設指針に示された規格構造に関する項目（縦断勾配、切土高、切土勾配、横断排水の有無等）の中から表-5.20の被災要因として関連するものを表-5.21の右欄に整理した。表-5.21から被災要因に関連する指針の項目の割合を整理した。（表-5.22、図-5.18）

被災要因に関連する指針の項目は、縦断勾配 47%、横断排水の設置 37%の2つが大きなウエイトを占めている。急な縦断勾配、横断排水の有無が、被災要因として大きく関わっていることになる。

急な縦断勾配に起因する路面水の影響をコンクリート路面工や横断排水の小まめな設置により軽減することで、路面洗掘や路肩崩壊の防止につながり、結果的に被災しにくい作業道作設につながると言うことができる。

表-5.20 被災形態と被災要因

NO.	地区	調査箇所	被災の形態	被災要因
1	A	H-1	法面崩壊	集中豪雨による表層崩壊
2	A	H-2	路肩崩壊	集中豪雨による路面水、転圧不足
3	A	H-3	路肩崩壊	集中豪雨による路面水
4	B	H-1	法面崩壊	集中豪雨+湧水+地質
5	B	H-2	路体崩壊	集中豪雨による路面水+法面水+湧水
6	B	H-3	法面崩壊	法高+集中豪雨+凍結融解+土質
7	B	H-4	路肩崩壊+路面洗掘	集中豪雨による路面水+法面水+土質
8	B	H-5	路肩崩壊+路面洗掘	集中豪雨+湧水+土質
9	B	H-6	路面洗掘	集中豪雨による路面水+法面水
10	B	H-7	路肩崩壊+路面洗掘	集中豪雨+溪岸崩壊(呑口閉塞)
11	B	H-8	法面崩壊	集中豪雨+湧水+地質
12	B	H-9	路肩崩壊+路面洗掘	集中豪雨による路面水+法面水+湧水
13	B	H-10	路肩崩壊+クラック	集中豪雨+湧水+土質
14	B	H-11	路肩崩壊	集中豪雨+湧水+土質
15	C	H-1	路肩崩壊	集中豪雨による路面水の集中
16	C	H-2	路肩崩壊	集中豪雨等+湧水+地質
17	C	H-3	路肩崩壊	集中豪雨等+路面水
18	C	H-4	路肩崩壊	集中豪雨による路面水の集中
19	C	H-5	路肩崩壊	集中豪雨等+沢水の増水
20	C	H-6	法面崩壊	集中豪雨+法面水
21	C	H-7	路肩崩壊+路面洗掘	集中豪雨等による路面洗掘
22	C	H-8	路肩崩壊	集中豪雨等による路面水(縦断)+地質
23	C	H-9	路肩崩壊	集中豪雨等+地質
24	C	H-10	路肩崩壊	集中豪雨等による路面水
25	C	H-11	路肩崩壊	集中豪雨等による路面水
26	C	H-12	法面崩壊	集中豪雨+湧水+土質

表-5.21 被災形態と被災要因に関連する指針の項目

NO.	地区	調査箇所	被災の形態	被災要因に関連する作業道構造
1	A	H-1	法面崩壊	
2	A	H-2	路肩崩壊	縦断勾配、転圧不足、横断排水
3	A	H-3	路肩崩壊	縦断勾配
4	B	H-1	法面崩壊	
5	B	H-2	路体崩壊	横断排水
6	B	H-3	法面崩壊	切土高
7	B	H-4	路肩崩壊+路面洗掘	横断排水
8	B	H-5	路肩崩壊+路面洗掘	
9	B	H-6	路面洗掘	縦断勾配、横断排水
10	B	H-7	路肩崩壊+路面洗掘	管の大きさ
11	B	H-8	法面崩壊	
12	B	H-9	路肩崩壊+路面洗掘	縦断勾配、横断排水
13	B	H-10	路肩崩壊+クラック	縦断勾配
14	B	H-11	路肩崩壊	
15	C	H-1	路肩崩壊	縦断勾配、横断排水
16	C	H-2	路肩崩壊	縦断勾配
17	C	H-3	路肩崩壊	縦断勾配、横断排水
18	C	H-4	路肩崩壊	縦断勾配、横断排水
19	C	H-5	路肩崩壊	横断構の大きさ
20	C	H-6	法面崩壊	
21	C	H-7	路肩崩壊+路面洗掘	縦断勾配
22	C	H-8	路肩崩壊	縦断勾配、横断排水
23	C	H-9	路肩崩壊	縦断勾配
24	C	H-10	路肩崩壊	縦断勾配、横断排水
25	C	H-11	路肩崩壊	縦断勾配、横断排水
26	C	H-12	法面崩壊	切土高

表-5.22 被災要因に関連する指針の項目の割合

項目	件数	割合
縦断勾配	14	47%
横断排水	11	37%
排水断面不足	2	7%
切土高	2	7%
転圧不足	1	3%
計	30	

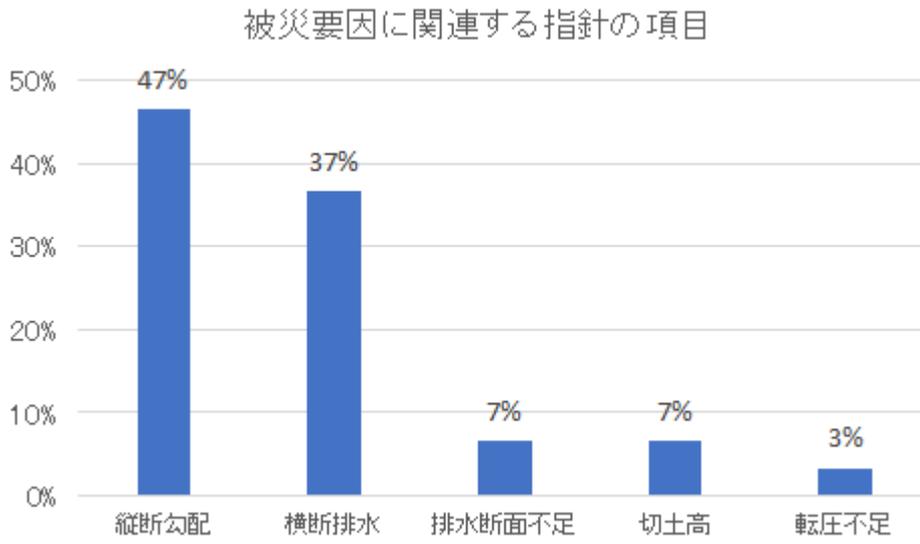


図-5.18 被災要因に関連する指針の項目の割合

5.6 林業機械との関係

作設機械、幅員、最急縦断勾配、切土高、土質、林業機械を表-5.23に示した。森林作業道作設には各地区、路線ともに0.45クラス以上のバックホウを使用し、高性能林業機械も0.45クラスをベースとしたマシンを使用している。このため、幅員は3.0m～3.5mを確保している。

(1) 盛土と土質

各地区とも礫質土、砂質土が主体で盛土の締固めに適した土質である。重量のある0.45クラスで作設し、4t～10t積のトラックを運材車両として使用している。

表-5.23 調査路線の最急縦断、最大切土高、作設機械等

地区	路線	幅員 (m)	最急縦断 勾配(%)	最大 切土 (m)	切土法勾配 (1:n)	土質	作設機械 (m3)	林業機械	運材車両
A	a作業道	3.0	17.0	1.0	0.6	砂質土	0.45 クラス	グラブブル プロセッサ 0.45クラス	フォワーダ 4t車
	b作業道		30.0	2.0	0.6	砂質土			
	c作業道		18.0	2.0	0.6	砂質土			
	d作業道		20.0	1.2	0.6	シルト			
	e作業道		23.0	—	—	砂質土			
	f作業道		30.0	2.0	0.6	砂質土			
B	a作業道	3.5	16.0	10.0	0.6	砂質シルト	0.45 クラス	スイングヤーダ プロセッサ 0.45クラス	運材: 10t積 車
	b作業道		14.0	6.5	0.6	砂質シルト			
	c作業道		19.5	3.1	0.6	礫質土			
	d作業道		3.0	1.0	0.3	砂質土			
C	a作業道	3.0	11.0	4.0	0.3	礫質土	0.7 クラス	スイングヤーダ プロセッサ 0.45クラス	運材: 7t積車
	b作業道		16.0	5.0	0.3	礫質土			
	c作業道		15.0	3.0	0.6	礫質土			
	d作業道		16.0	15.0	0.6	砂質土	0.45 クラス	グラブブル ハーベスタ 0.45クラス バックホウ 0.45クラス	運材: 7t積車 運材: 4積車
	e作業道		18.0	2.0	0.6	礫質土			
	f作業道		24.0	3.2	0.5	礫質土			
	g作業道		12.0	3.0	0.6	礫質土			
	h作業道		16.0	4.0	0.3	礫質土			
	i作業道		7.0	4.0	0.3	礫質土			

(2) 林業機械と切土高

各地区ともバケット容量 0.45m³クラスの高性能林業機械を使用しており、作設指針に示された幅員 3.0m またはそれに余裕幅 0.5m を加えた 3.5m を幅員としている。特に B 地区の平均傾斜は 40°、C 地区は平均傾斜 36° と両地区とも傾斜 35° 以上の急傾斜地であり、作設指針で記述された 25° を大きく超過している。

これらの地区では、急傾斜地で作設が困難な盛土を極力行わず、切土を高くして（一部は 15m）所要の幅員を確保しているが、付加体や粘性に乏しい性質のある土質、豪雨の影響により、一部の切土のり面では崩壊が生じていた。

今後、林業機械の大型化にともない、切土で幅員を広げる（切土が高くなる）ことが懸念されることから、切土のり面の安定を図ることは重要となる。

切土工は、作設指針に記述されているように切土のり面の安定が図られるよう適切に行い、高い切土が連続しないよう注意する。また、地質や土質等の条件に応じて切土のり面勾配を調整することが重要である。

切土のり面の土質が、土砂の場合は固結の状態や礫の混入状態、湧水の有無等、岩石の場合は、岩の硬さと破碎の程度、割れ目やキレツの状況等を確認することが重要である。

(3) 運材車両と縦断勾配

縦断勾配を使用されている運材車両別に見ると、フォワーダを使用している A 地区は（17%～30%）、これに対し、ホイール車を使用している B 地区は（3%～19.5%）、C 地区は（7%～24%）となっている。B、C 地区は、運材時の車両のスリップ等安全性を考慮して作設したものと考えられる。

(4)集材路と土場

①集材路

集材路は「第2章 文献調査」の国有林の事例で示したとおり、以下の事例が有効である。特に「路面枝条敷設」は土砂移動防止の機能があることが論文で記述されている。

- ・急な縦断勾配区間での路面保護のための丸太敷設（写真-2.68）や敷き砂利（写真-2.69）
- ・路肩保護、崩壊防止のための枝条残材を利用した木柵（写真-2.70～2.71）、路面枝条敷設（写真-2.74）
- ・適切な排水のための丸太敷設横断排水（写真-2.72）や枝条敷設による横断排水（写真-2.73）、素掘り横断溝（写真-2.75）

また、「第4章 現地調査」に示したように、幅が狭い施業実施区域における小刻みなスイッチバックと急な縦断勾配による路面水の集中に起因する崩壊（写真-4.65、4.67）に留意する必要がある。

②土場

土場は森林作業道に隣接して比較的小規模に作設されていたこともあり、大きな地形の改変もなく、切土、盛土の高さも低く抑えられ、特に支障はなかった。（写真-4.12）、（写真-4.99～100）

第6章 後続調査に向けた提言

6.1 現地調査の課題

本年度の調査を踏まえ、現地調査を行う上での課題を整理した

(1) 時間的ロス

調査対象地の設定については、主として被災箇所を調査することから近年に被災した地域を中心に選定することになる。被災後は、調査対象となる作業道だけでなく、そこに至る林道、市町村道、国道等のライフラインが通行止めになっている場合が多い。調査地に至るまでに迂回することによる時間的なロスが少なくない。このため、調査できる路線数も限られる。今年度の実績では、1日2路線程度となる。したがって、調査には十分な時間的余裕を見込んだ方がよい。

(2) 現地確認

設計図書等の保管期間が5年となっているため、作設から5年を経過した作業道の計画図、位置図等の資料が廃棄されているケースがあり、調査にあたり調査者単独で調査地を探すことが困難な場合がある。

(3) 航空レーザーデータの利用について

本年度調査において、現地調査地の選定、事前調査等に航空レーザーデータの使用を試みた。しかし、データ量が膨大で処理にも時間がかかるため、森林作業道ならびに集材路の崩壊等箇所の確認には適さなかった。今後、航空レーザーデータを効率的に使用するは、崩壊箇所などピンポイントで調査を行う場合が有効と考えられる。

(4) 集材路と土場の調査

本年度調査では、集材路と土場の調査数が少なかったため、主伐時における伐採・搬出指針の適用状況や課題を整理できていない。今後は、集材路と土場の調査件数を増やすことが必要である。

(5) 排水施設に関するデータ

本年度調査結果から排水施設の有無による被災状況の割合を調査したところ、排水施設が設置していない箇所の被災率が高かった。

また、被災要因に関連する作設指針の項目のうち、縦断勾配、横断排水の設置の2項目のウエイトが高いことが明らかとなった。このうち、横断排水に関するデータ、特に設置間隔に関するものが少なかったことから、今後は横断排水設置間隔等に関するデータの収集を行うことが必要である。あわせて、横断排水の設置間隔と縦断勾配、被災との関連などを検討することが必要である。

6.2 調査地の選定

(1) 地域の特性（作業システム）

森林作業道の作設を含む作業システムは、作業道の幅員、高性能林業機械の組み合わせ、木材の搬出手段など地域毎に異なることが少なくない。例えば、スイングヤーダ+プロセッサ、運材は10t積トラックの場合とフォワーダを使用する場合は、作業道の幅員、路体の強度等が異なってくる。この組み合わせは、作業道作設方法に直接関わる内容であり、作業道の壊れやすさと直結する。また、地域によっては、作業道作設後に改築を実施し、林道に格上げするところもある。このような地域では、縦断勾配の取り方、構造物の種類など作業道の作設方法も異なってくる。

これらを踏まえ、調査地の選定に当たっては、作業システムの異なった地域を調査することが必要である。特に今年度はバケット容量 0.45m³ クラスの林業機械+ホイール車(4~10t積トラック)の使用を前提とした作業道(幅員 3m~3.5m)が多かったため、今後は0.26 m³クラス等の林業機械+フォワーダ等の使用を前提とした作業道(幅員 2m~2.5m)の調査も行う必要がある。

(2) 土質

今年度の調査は、土質的には砂岩や礫岩が主体であった。これらは作業道を作設する際に盛土の締固めが容易な土質である。今後は粘性土など締固めが難しい土質地域も選定し、盛土の施工状況や路肩崩壊の状況などのデータを収集する必要がある。

6.3 指針の見直しに関して

(1) 指針等の周知について

作業道の作設はオペレータが行うが、集材路は素材生産業者が実施している。「森林作業道作設指針」、「主伐時における伐採・搬出指針」の対象者が必ずしも同一ではない。

これら指針を周知する場合には、この点も十分に留意する必要がある。

(2) アンケート調査と簡易なチラシの作成

今年度は、現地調査で作設指針の適用状況を確認したが、森林作業道作設指針ならびに主伐時における伐採・搬出指針の認知度、理解度を調べるため、現場で作業するオペレータを対象にアンケート等による聞き取り調査を実施する必要がある。また、理解度を上げるため、簡易なイラスト入りのチラシ等の作成も検討する必要がある。