

令和２年度
森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす
効果等に関する検討調査

報 告 書
(概要版)

令和３年３月

林 野 庁 治 山 課

目 次

1. 業務概要	2
1.1 業務目的	2
1.1 業務数量	3
2. 根系調査	4
2.1 調査項目	4
2.2 根系調査	4
2.2.1 調査概要	4
2.2.2 調査結果	8
2.3 エリートツリー	12
2.3.1 調査目的	12
2.3.2 調査場所	12
2.3.3 T/R 率調査	12
2.3.4 水平根引抜き試験	14
2.3.5 エリートツリーまとめ	15
3. 航空 LP による災害発生地とスギ林の関係	16
3.1 愛媛国有林スギの調査	16
3.2 高知国有林スギの調査	17
3.2.1 施業前後の航空 LP データによる差分比較	17
3.2.2 散布図による森林解析	20
3.2.3 散布図による森林解析（立木密度ごと）	22
3.2.4 森林解析結果と施業履歴情報	25
3.2.5 土砂崩壊防止機能区分図の作成	26
4. 崩壊防止機能区分図の評価	30
4.1 手引の評価点 P 、 ΔC 、 Wr の違いと使い分け	30
4.1.1 現地調査結果でみる ΔC と Wr	30
4.1.2 ΔC と Wr の相関関係	31
4.1.3 P 、 ΔC 、 Wr の相互比較	32
5. まとめ・次年度計画	36
5.1 本業務で得られた成果	36
5.2 次年度計画案	38
5.2.1 残された課題	38
5.2.2 次年度計画案	39
6. 検討委員会	41

1. 業務概要

1.1 業務目的

これまで森林と表層崩壊の関係については、森林が崩壊箇所数や崩壊頻度、崩壊面積を減少させていることが統計的に証明されているものの、表層崩壊防止機能と森林整備との関係については研究事例が少なく、崩壊防止機能を高めるための森林整備手法の確立までには至っていない。

表層崩壊防止機能と森林整備の関係については、伐採された樹木の根の腐朽による根の引抜き抵抗力の低下や本数調整伐等の森林整備手法との関係については十分な知見は得られていない状況にある。

一方、水土保持機能が低下した過密な人工林等を対象に治山事業による森林整備を進めているが、近年、表層崩壊に伴う流木の発生が全国各地で発生しており、平成 29 年に九州北部で発生した豪雨災害では人工林の表層崩壊に伴う流木により大きな被害が発生している。

このような被害を軽減するため、特に 0 次谷や山地災害危険地区等、山腹崩壊の発生する恐れの高い箇所においては、事前防災の観点から、治山事業により表層崩壊防止機能を高める森林整備を積極的に行っていく必要がある。

このため、樹木根系による表層崩壊防止機能に関する知見の整理と調査を行い、早生樹の活用など最新の造林技術の導入等についても視野に入れた表層崩壊防止機能に着目した森林整備手法について検討を行う。

業 務 名：令和 2 年度 森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査

契約期間：令和 2 年 5 月 21 日より令和 3 年 3 月 19 日まで

発 注 者：林野庁森林整備部治山課

〒100-8952 東京都千代田区霞が関 1-2-1

TEL：03-6744-2309 FAX：03-3503-6499

監 督 職 員：金子 守男 課長補佐

受 注 者：国土防災技術株式会社

〒330-0074 さいたま市浦和区北浦和 2-12-11（代表）

TEL：048-833-0422 FAX：048-833-0424（代表）

管理技術者：大野 亮一

照査技術者：田中 賢治

担当技術者：佐藤 亜貴夫 田中 淳
高田 香 尾崎 智香
吉井 彩香 加藤 昭広

1.1 業務数量

業務数量一覧を表 1.1 に示す。

表 1.1 業務数量一覧

項目		数量	仕様書の対応項目番号	報告書対応目次、頁
(1) 山腹崩壊発生地と森林状態等との関係に関する調査	①令和元年度の本事業において立案した現地調査計画表（別添資料1）、調査項目（別添資料2）及び根系調査方法（別添資料3）に基づき、現地調査を実施する。	1 式	3.(1)①	2 章 p.2-1～2-34
	②上記①で調査したデータを基に、森林の「崩壊防止機能区分図」を判定するための評価点算出方法を確定させる。	1 式	3.(1)②	5 章 p.5-1～5-26
	③「崩壊防止機能区分図」（別添資料4）に施業履歴情報を反映させる方法を提案する。	1 式	3.(1)③	6 章 p.6-1～6-6
(2) 検討委員会の開催	4名の有識者からなる検討委員会を開催する。	3 回	3.(2)	8 章 p.8-1～8-2
(3) 報告書のとりまとめ	(1)及び(2)について、報告書にとりまとめる。	1 式	3.(3)	—

2. 根系調査

森林の表層崩壊防止機能は樹木根系によりその多くが発揮されると考えられることから、次の2種類の現地調査を実施する。

- 2018年広島豪雨災による崩壊地及びその近辺における現地根系調査（水平根、根量、簡易貫入試験等）。
- エリートツリーを対象とした樹木性状調査、根系抵抗力試験。

2.1 調査項目

調査項目を表 2.1 に示す。

表 2.1 調査項目

区分	調査項目	細目	内容	備考
根系調査 5箇所	地上部情報	単木（調査候補木）	樹高、胸高直径、樹冠長率、樹冠面積	調査候補木を含む林分情報を整理する。
		周辺対象木	立木情報、位置、胸高直径、密度	
		低木	樹種、樹高、根元直径、地上部重量	
	根系	水平根	樹種、直径、本数	
		根量	ヒノキ根系重量	
	土壌調査	断面調査	断面の観察 SH 貫入試験（10 箇所）	層位、土壌硬度、土色等の調査を行う。
エリート ツリー 5本	調査地選定	ヒアリング	作業性、林齢等	
	樹木性状調査	単木 T/R 率	樹高、直径、樹冠長率、地上重量、地下重量、水平根、垂下根の割合	
		水平根引き抜き試験	調査木	

2.2 根系調査

2.2.1 調査概要

(1) 調査目的

荻住¹は、樹木と根系の生長に関して、胸高断面積が深く関わることを明らかにしている。林分単位でみたとき、胸高断面積合計は胸高直径と立木密度から算出される。

北原²（2010）は、立木間の中央部分で根量はもっとも希薄で、崩壊が発生する際の側壁部分は立木間中央部であるとする考え方にに基づき、さまざまな地域、樹種、林齢で立木間中央部での水平根の量を調査した。その上で、水平根による崩壊抵抗力を安定解析に反映させ、根系と崩壊防止機能を論じている。北原による森林の崩壊防止力 ΔC は、林野庁委託事業「平成 26 年度土砂流出防止のための森林施業方法に関する調査委託事業³」において、より詳細に検討され、胸高断面積合計と ΔC が比例関係にあることが判明した。

¹ 荻住昇(2010)：最新樹木根系図説、誠文堂新光社、2066pp.

² 北原曜（2010）：森林根系の崩壊防止機能、水利科学、No.311、p.11-37

³ 林野庁(2015)平成 26 年度土砂流出防止のための森林施業方法に関する調査委託事業報告書、p.4-29.

根系による森林の防災力を評価するには、阿部が著書「森林と災害⁴」で主張するように、垂直根、水平根の区分に関わらず、土中に存在する根量全体で評価するという新しい評価軸がある。根量全体で評価するという発想は、林分の胸高断面積合計と ΔC がリンクするという北原の研究結果とも基本的に合致する内容といえる。

しかし、北原の ΔC と阿部の根量の関係を同一の樹木にて調査した事例はなく、本調査によってその関係性を整理することを目的とする。

なお、根系調査の樹種はすべてヒノキである。

(2) 調査内容

(i) 調査方法

2018 年広島豪雨災による崩壊地及びその近辺における現地根系調査、以下①および②を行う。また簡易貫入試験等を実施し、土壌特性を把握する。

- ①水平根の立木間中央までの根量（重量）
- ②立木間中央に露出する断面直径を樹種と共に測定する

(ii) 測定方法

手順は以下とする。

1. 掘削範囲を 20cm 掘り、そこに位置する根を全て切り取る。この時に、a) 樹木の生根と b) ヒノキで間伐後経過した古い根に分ける。
2. 掘り取り後、エアー洗浄し、a)、b)の重さをそれぞれ計量[W_r 算出根拠データ]する。
なお、根重量は a)のみとなる。これが根の生重量となる。
3. 代表サンプルを選び、試験室等に持ち帰り、水洗いしたのち乾燥重量を測定する。
4. 生重量と乾燥重量の減少率を計算し、根量の乾燥重量を測定する。
5. 立木間中央部分にあたる場所の樹種と根径を測定[ΔC の算出根拠データ]する。

(3) 調査場所

調査場所は、表 2.2 に示す広島県呉市にある野路山国有林の 5 箇所である。

⁴ 中村太士・菊沢喜一郎編著（2018）：森林と災害、第 2 章 表層崩壊（執筆担当：阿部和時）、共立出版

表 2.2 調査場所

樹木 No	林小班	林齢	胸高直径 [cm]	樹高 [m]	法令等
16	540 林班た小班	24	12	7	水源涵養保安林 国立公園普通地域
5	540 林班は1小班	37	16	14	水源涵養保安林
17	540 林班は2小班	36	18	13	水源涵養保安林
15	542 林班ち小班	46	20	17	水源涵養保安林 国立公園第三種特別地域
14	544 林班り小班	60	22	17	国立公園第三種特別地域



540 林班 た小班 24 年生



540 林班 は2小班 36 年生



540 林班 は 1 小班 37 年生



542 林班 ち小班 46 年生



544 林班 り小班 60 年生

2.2.2 調査結果

樹木情報および根重、 ΔC の調査結果を表 2.3 に示す。

表 2.3 根系調査結果まとめ

林小班		540 た		540 は 2		540 は 1		542 ち		544 リ	
ID		16		17		5		15		14	
林齢		24		36		37		46		60	
胸高直径[cm]		13.5		18		19		21		23	
樹高[m]		8.85		15		14.8		16.45		16.6	
材積量[m ³]		0.052		0.197		0.156		0.265		0.318	
施業回数		1 回		2 回		2 回		2 回		3 回	
施業履歴（間伐率） （森林簿・林班沿革簿等より）		11 年生 14%		11 年生 14% 20 年生 35%		11 年生 14% 20 年生 35%		15 年生 14% 33 年生 35%		16 年生 14% 39 年生 35% 45 年生 35%	
施業後経過年数 （2020 年度現在）		14 年		12 年		12 年		14 年		14 年	
LYCS 想定※1	胸高直径 [cm]	14		18.5		18.5		20		23	
	立木密度 [本/ha]	2,462		1,522		1,522		1,360		843	
	立木間距離 [m]	2.0		2.6		2.6		2.7		3.4	
	断面積合計 [m ² /ha]	37.9		40.9		40.9		42.7		35.0	
毎 木 調 査 結 果 小 班 の 標 準 地	平均胸高直 径[cm]	10.8		25.2		19.4		17.6		27.2	
	立木密度[本 /ha]	2,548		1,300		1,592		1,950		1,170	
	断面積合計 [m ² /ha]	23.3		64.8		47.1		47.4		68.0	
調査 2 立 木	2 立木 DBH[cm]	13.5 ×	13.5 ×	18 ×	18 ×	19 ×	19 ×	21 ×	21 ×	23 ×	23 ×
		14.5	14	18	19	19	21.5	24	17.5	20	23.5
	立木間距離 [m]	2.1	1.9	2.5	1.6	2.3	3.1	2.7	1.5	3.2	3.4
	立木密度[本 /ha]	2,268	2,770	1,600	3,906	1,890	1,041	1,372	4,444	977	865
水 平 根 根 重 [kg]	断面積合計 [m ² /ha]	37.5	42.6	40.9	110.8	53.9	37.8	62.4	106.9	31.2	37.5
	1 掘削量当	1.67	2.81	4.08	2.29	5.30	2.62	3.43	4.30	5.67	7.57
	1 層	15.3	12.5	3.0	12.4	1.9	5.0	30.4	37.4	4.0	5.8
	2 層	1.1	4.2	1.0	10.6	1.0	4.9	2.0	0.6	0.8	3.2
ΔC [kN/m ²] ※2	3 層			4.2	2.9	1.8	1.5	0.9	1.7	0.4	0.8
	4 層					3.2			1.2		
	合計	16.4	16.7	8.3	25.9	8.0	11.3	33.3	40.9	5.2	9.8
	※3										

※1：林齢と施業回数・施行時期より推定した小班の標準的な値

※2：調査断面は幅 0.5m であるため、2 倍した値

※3：野毛（2002）、相馬（2004）、岩名（2009）の回帰式から算出した値を平均

(1) 根重と材積量

根系調査を実施した樹木の胸高直径、樹高から計算した材積量と根重の関係を示す。なお、根重は、1本の樹木に対して2方向の水平根重の合計値としている。つまり、1本の樹木の水平根重量を示す値と考えられる。結果は、標本数が5と少ないためか関係性は見られないが、やや傾向はあると思われる。材積量は地上部のバイオマス量を示す値であり、この値と測定した根重量の関連性が高いということは、根重は樹木1本の根系環境を示す値と思われる。

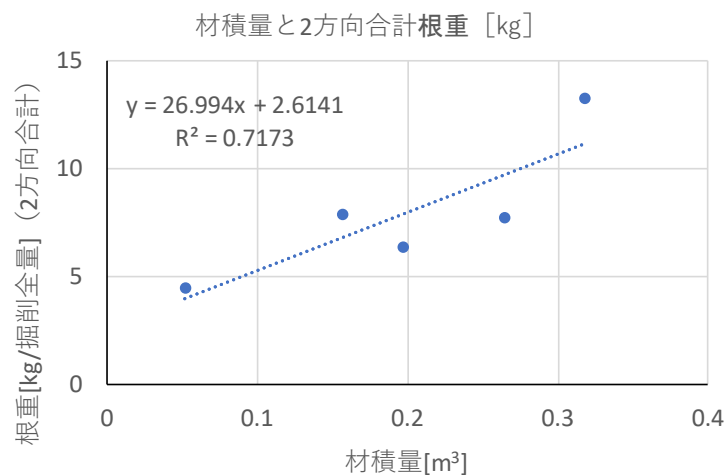


図 2.1 材積量と根重

(2) 根量と ΔC の関係

本調査は、2立木間中央までの水平根重量と、2立木間中央断面に出現する水平根の根直径、樹種の区別を行った。樹種ごとの根直径の値を活用し、断面の合計引き抜き抵抗 (ΔC) を算出した。

図 2.2 根重 (水平根) と ΔC の関係は、相関性が低いという傾向を示す。

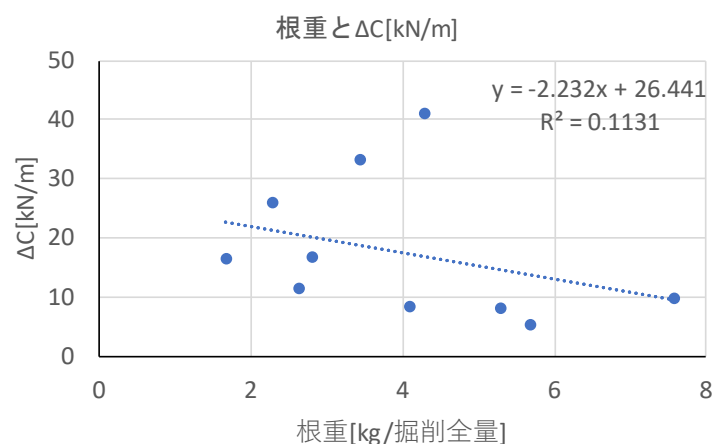


図 2.2 根重と ΔC の関係

(3) ΔC と断面積合計

ΔC は、断面積合計[m²/ha]（胸高直径と立木密度から算出）と関連性が高い。本調査の立木密度の算出方法は、①根系調査を実施した2立木間の距離から換算した立木密度と、②小班の毎木調査から算出した立木密度がある。

図 2.3 ΔC は①2立木間の距離から換算した断面積合計と ΔC は高い相関関係を示す一方、②小班毎木調査結果から算出した断面積合計との関連性は低い。

ΔC は、狭い範囲の根系情報を整理しやすい指標といえる。

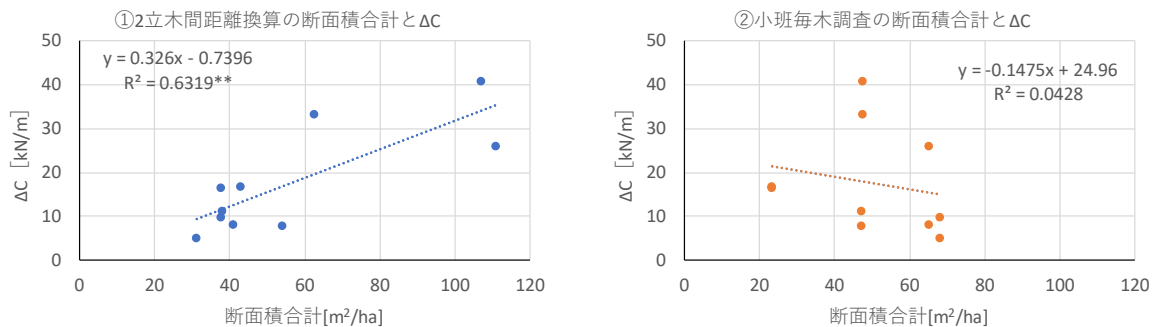


図 2.3 断面積合計と ΔC の関係

(4) 根重と断面積合計

図 2.4 は、①2立木間の距離から換算した断面積合計 2立木間距離から換算した断面積合計と②小班毎木調査結果から算出した断面積合計と根重の関係を示したものである。

いずれも相関関係はないが、②小班毎木調査結果から算出した断面積合計の方は寄与率が高く、関連性が高い。

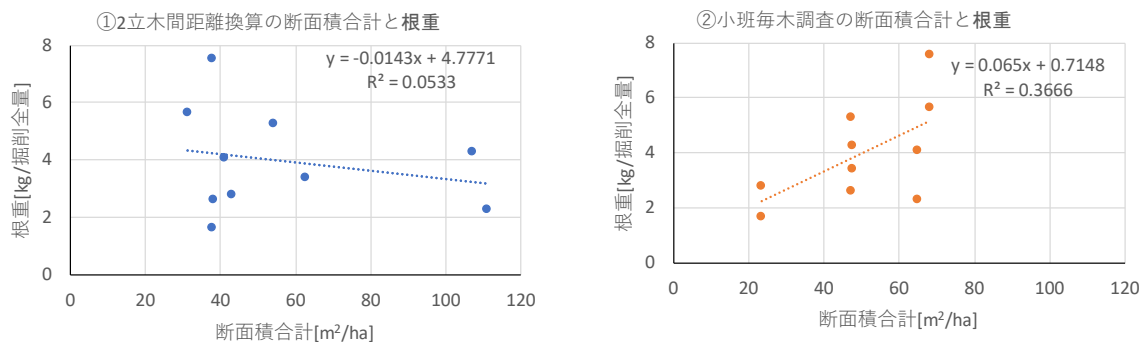


図 2.4 断面積合計と根重の関係

(5) まとめ

- 2立木間から換算した断面積合計では 100m²/ha 以上という、最多密度以上の想定しにくい値が存在する。

- 2 立木間という狭い範囲を見るとそのような密度は存在するが、林分全体をみると現実的とはいえない。土砂崩壊防止機能を評価するという使い方をする場合、根量の方が説明しやすい指標であるかもしれない。
- ΔC は2立木間の狭い範囲の林分情報を特徴づける値であり、根量は小班などもう少し広い範囲の林分情報を特徴づける値といえる。

2.3 エリートツリー

2.3.1 調査目的

エリートツリーの成長特性は優れるが、地下部（根系）について早期成長を確認した事例は少ない。

エリートツリーの同齢林でも胸高直径の異なる調査木を選定し、胸高直径と地下部の関係を整理する。

2.3.2 調査場所

調査場所は、森林総合研究所 林木育種センターより紹介を受けた九州森林管理局内の検定林中から、林齢などを考慮して「宮崎森林管理署都城支署 黒原国有林 3017 林班ほ小班」および、「熊本森林管理署 熊野岳国有林 159 林班と 1 小班」を選定した。

調査場所および検定林の諸元を（表 2.4）に示す。

表 2.4 提案を受けた検定林

検定林名	所在地	森林管理署	林班	植栽年、月	林齢
九熊本 162 号	宮崎県えびの市	宮崎森林管理署 都城支署	黒原国有林 3017 ほ	2012.3 植栽	9
九熊本 147 号	熊本県玉名市	熊本森林管理署	熊野岳国有林 159 と 1	2004.3 植栽	17

2.3.3 T/R 率調査

(1) 調査木の諸元

調査木は、それぞれの検定林内の毎木調査結果から平均的なものとその前後の値を選んだ。加えて、枝下高を測定し、材積量は森林総合研究所が公開している幹材積計算プログラムを使用し計算した。幹材積計算プログラムは、林野庁計画課監修「立木幹材積表（東日本編・西日本編）」（1970）に基づいている。調査木の諸元を表 2.5 に示す。

表 2.5 調査木諸元

場所	樹齢	品種	樹木番号	胸高直径 [cm]	胸高断面積 [cm ²]	樹高 [m]	生枝下高 [m]	樹冠長率	材積量 [m ³]
都城	9	九育 2-63	M	7.0	38.5	5.20	0.3	94%	0.011
都城	9	九育 2-18	J	10.0	78.5	7.44	0.5	93%	0.031
都城	9	九育 2-63	O	11.5	103.9	6.32	0.5	92%	0.033
熊本	17	九育 2-152	D	13.0	132.7	10.65	5.0	53%	0.074
熊本	17	九育 2-99	A	16.0	201.1	11.30	6.9	39%	0.116

⁵ 川野康朗・岡田康彦(2019)：エリートツリーの開発・普及による「緑の国土強靱化」へ向けて，水利科学，63，21－39.

(2) 調査手順

(i) 地上重量の測定

調査木を伐倒後、枝下高から先端までの着葉部分を 3 等分して各区分毎に葉量と枝量を測定した。葉は、緑部分（幹先端の緑部分を除く）すべてとした。枝は、幹から分枝し、葉を除く部分とした。幹は先端までの部分とした。

(ii) 地下部の重量

地下部の重量は、隣接する立木間中央までと直根の伸びる深さまでを掘り取り後、1cm 程度以上の太い根と 1cm 程度未満の細い根にわけ重量を測定し、根の重量とした。なお、表層付近の細い根は、隣接する樹木の根も含まれている場合もあるが、調査木自体も隣接する立木へ根が伸びていると考え含まれるすべての根を採取し測定した。

(iii) 乾燥方法

地上部および地下部ともに、試料をサンプリングした後に、105 度の恒温器にて重量低下がなくなるまで乾燥させた。

(3) 調査結果

T/R 率の測定結果を表 2.6 に示す。過去のスギの胸高断面 と T/R 率との関係と比較すると、エリートツリーも、従来のスギと変わらない値を取ると推定される。また T/R 率の高い（地上部割合の高い）3 本は 9 年生で葉の量が多い。若齢のため樹幹長率が高く、枯れ上がっていない個体であることから高い値をとったと思われる。このことを考慮すれば、エリートツリー全体の T/R 率の平均はもう少し低くなることが想定される。

表 2.6 調査結果

樹木 番号	樹齡	胸高 直径 [cm]	胸高断 面積 [cm ²]	樹高 [m]	樹冠長 率	重量 [kg]				T/R 率
						葉	枝	幹	根	
M	9	7.0	38.5	5.20	94%	5.92	1.25	4.86	3.15	3.82
J	9	10.0	78.5	7.44	93%	10.73	2.27	10.92	6.46	3.70
O	9	11.5	103.9	6.32	92%	14.25	3.01	11.76	7.79	3.73
D	17	13.0	132.7	10.65	53%	9.28	1.94	22.09	11.13	2.99
A	17	16.0	201.1	11.30	39%	8.53	1.76	34.13	15.47	2.87
平均										3.42

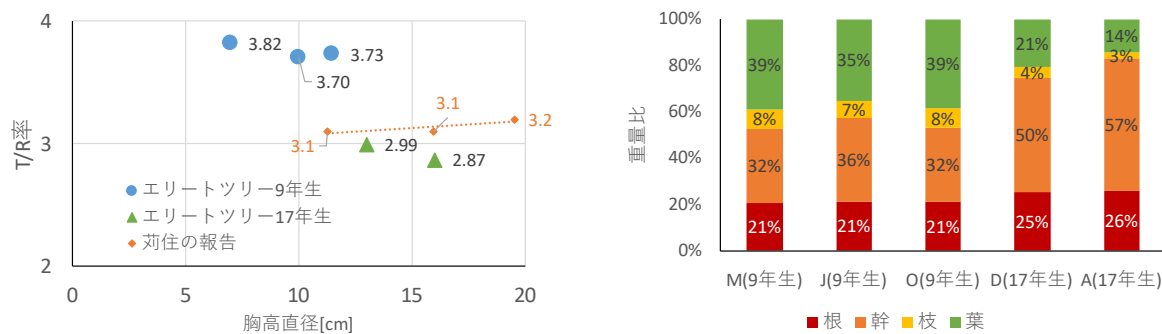


図 2.5 左図；T/R 率と胸高直径の関係、右図；樹木部位の重量割合

2.3.4 水平根引き抜き試験

エリートツリーの根が有する強度を引抜き試験により確認した。

水平根の引き抜き抵抗力は、立木間中央の ΔC の算出に繋がる試験となる。荷重計と引抜き器具を使い、根を 1 本ずつ調べ、そのときの引抜き抵抗力を調査する。

エリートツリーの調査結果と過去の試験の引抜き試験⁶⁷⁸で得られた引抜き抵抗力の回帰式から根直径 5 および 10mm の値をプロットしたものを図 2.6 に示す。

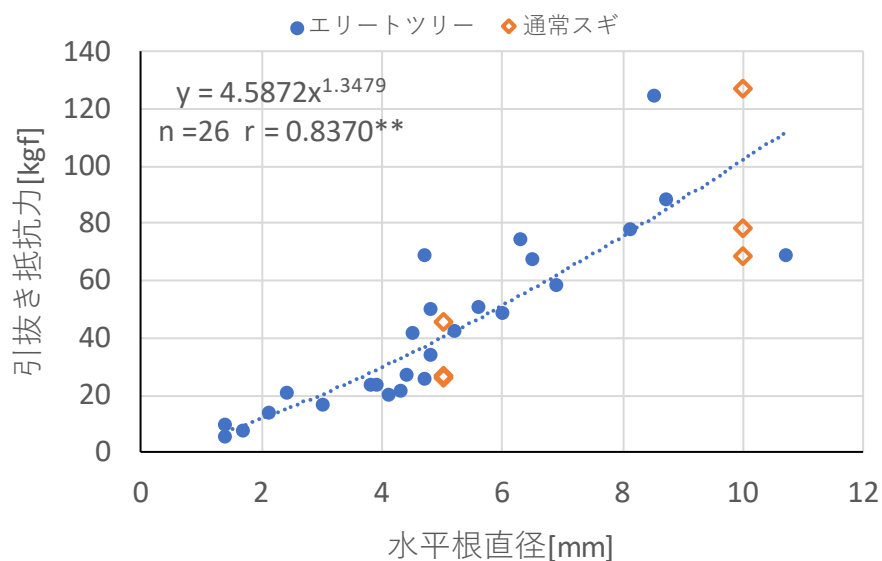


図 2.6 水平根引き抜き試験結果

⁶ 阿部ほか(1996)現位置一面せん断試験によるスギ根系の斜面崩壊防止機能の研究、日本緑化工学会誌、22 (2)、95-108.

⁷ 石垣ほか(1989)樹木根系が斜地の安定効果にはたす役割についてⅢ —土壌緊縛力について—、日本大学農獣医学部学術研究報告、46、150-156.

⁸ 森岡ほか(1989)集材用ワイヤーロープの支柱としての立木の強さ (Ⅳ)、引抜に対する細根の抵抗、日林誌、71(4)、155-159.

2.3.5 エリートツリーまとめ

- 今回調査した 5 本は、9 年生 3 本（胸高直径 7～11.5cm）T/R 率は、3.75、17 年生 2 本（13～16cm）T/R 率は 2.93 であった。平均すると、3.42 であった。一方、荊住の一般的なスギの報告では、同程度の胸高直径の T/R 率は 3.1 である。
- 9 年生のエリートツリーの T/R 率の平均値が高くなったのは、若くまだ枯れ上がっていない林分の個体を測定したため、葉の量が多く含まれていたためである。このことを考慮すれば、エリートツリー全体の T/R 率の平均はもう少し低くなることが想定される。
- 17 年生のエリートツリーでは、従来の報告よりも T/R 率が低い（地下重量の値が高い）結果となった。
- これらを踏まえ、今回の調査結果からは、エリートツリーでも通常のスギとほぼ同等の T/R 率を持つと判断できる。
- エリートツリーの根系引抜き調査結果からは、従来のスギと同程度の抵抗力を有することが確認された。
- 以上のことから、エリートツリーにおいても、従来のスギと同程度の根系の抵抗力を有すると推定できるが、調査個体数や樹齢など、より多くのデータの蓄積が必要である。

3. 航空 LP による災害発生地とスギ林の関係

3.1 愛媛県国有林スギの調査

スギ林の森林解析対象地として、愛媛県及び、広島県内の国有林を設定したが、広島県ではスギ林自体が少なく、崩壊の発生したスギ林が非常に少なかったため、愛媛県の国有林を対象とすることとした。そこで、愛媛県の国有林で崩壊地を含む範囲を確認した。

検討を実施するうえで、必要な森林情報のうち、主なデータを以下に挙げる。

①林齢	②立木密度	③樹高	④胸高直径	⑤根量	⑥ ΔC
⑦安全率	⑧施業履歴	⑨勾配	⑩雨量	⑪崩壊地データ	

確認したエリアは愛媛県肱川と南予である。

しかし、図 3.1 に示すように、肱川で 4 小班、南予で 5 小班と両者ともにスギ林に崩壊地を含む小班は少なかった。また、樹種 1 でスギの登録がある小班であっても、混交している場合が多く、オルソ写真による目視により広葉樹等から崩壊が発生している箇所も見られる。そのため、崩壊地を含む小班数が山腹崩壊発生地と森林状態等に関する関係を示すうえで、不足することも考えられ、場合によっては、広島県・愛媛県以外の国有林を対象地に含めることを考慮する必要がある、判断した。

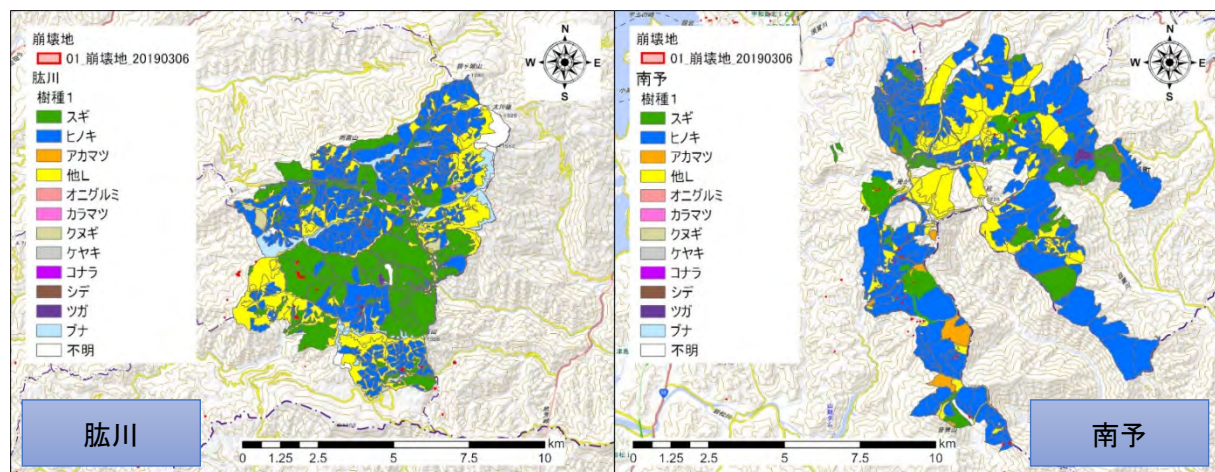


図 3.1 愛媛県国有林内の樹種と崩壊地データの重ね合わせ図
(左：肱川の一部、右：南予の一部)

3.2 高知国有林スギの調査

愛媛県国有林でのスギ林データの解析が難しいと判断したので、高知県国有林について精査する。

3.2.1 施業前後の航空 LP データによる差分比較

施業による森林の土砂崩壊防止機能への影響力を可視化するため、施業前、及び施業後の各データの差分値を算出し比較検証した。

検証対象小班は以下の条件を満たす高知県安芸市、香美市、及び大豊町に属する 56 小班とした。

- ・ 施業前の航空 LP データと施業後の航空 LP データの両者がある。
- ・ 施業前の航空 LP データが ALS 解析の実施可能な点密度である。
- ・ 10ha 以上である。
- ・ 施業前の航空 LP データ取得年と施業後の航空 LP データの取得年の間に森林施業が実施されている。

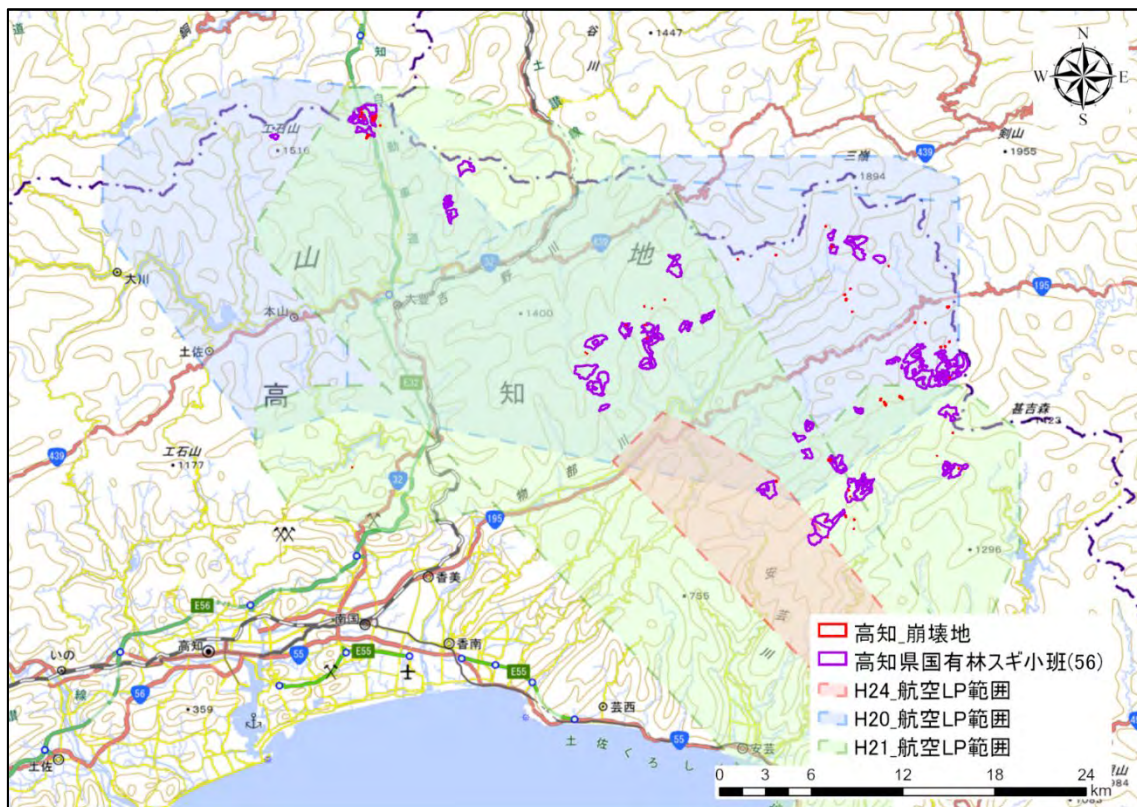


図 3.2 調査対象の 56 小班と崩壊地（紫色：小班、赤色：崩壊地）

56 小班のうち、8 小班は崩壊地を含む小班であった。

施業前の航空 LP データが複数年度取得されている小班については、最新施業が実施された年度と最も近いデータを森林解析に使用した。

表 3.1 では、 ΔC 、及び Wr の両者共に、増加した小班では施業前の立木密度は 950 本/ha 前後であるが、施業後は ΔC で 732 本/ha、 Wr で 701 本/ha となり、図 3.3 の示す、 ΔC 、及び Wr の最も高くなる立木密度 800 本/ha 付近と近い値となった。また、図 3.3 は昨年度の広島国有林におけるヒノキ林の立木密度と ΔC の関係（図 3.4）の散布図と似ている傾向が見られた。しかし、本検証の対象範囲のスギ林については、若齢林のデータがないため、壮齢林と高齢林のみで示された結果であることは留意されたい。

表 3.1 ΔC と Wr の増減ごとの立木密度（小班平均）

No	区分	①施業後 立木密度 平均(本/ha)	②施業前 立木密度 平均(本/ha)	③①と② の変化率 (%)	④林齢 平均	⑤施業後 胸高直径 平均(cm)	⑥胸高直径 差分平均 (cm)
1	ΔC 増加 (34 小班)	732	960	23.7	49	33.7	6.3
2	ΔC 減少 (21 小班)	491	866	43.2	57	39.7	7.6
3	Wr 増加 (41 小班)	701	938	25.3	51	34.5	6.4
4	Wr 減少 (15 小班)	468	875	46.5	56	40.2	7.9

※区分のうち、 ΔC については、1 小班が差分値 0 であったため、増加減少の合計が 55 小班となっている。

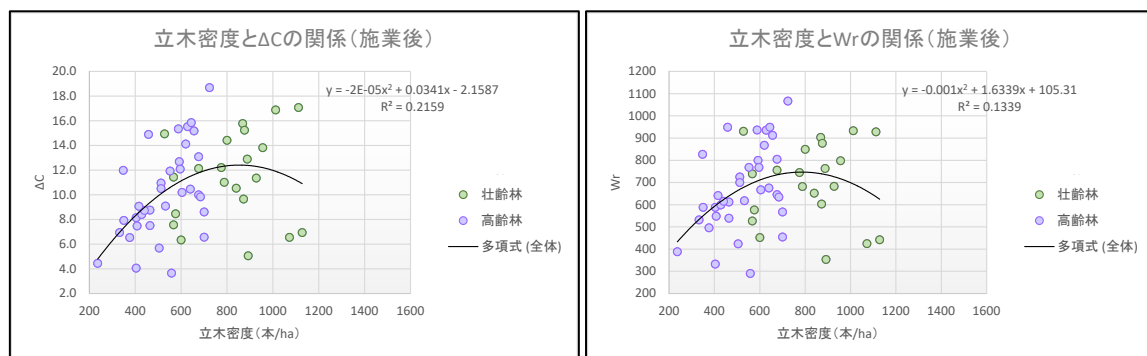


図 3.3 高知スギ林の立木密度と根系による崩壊防止力（左： ΔC 、右： Wr ）

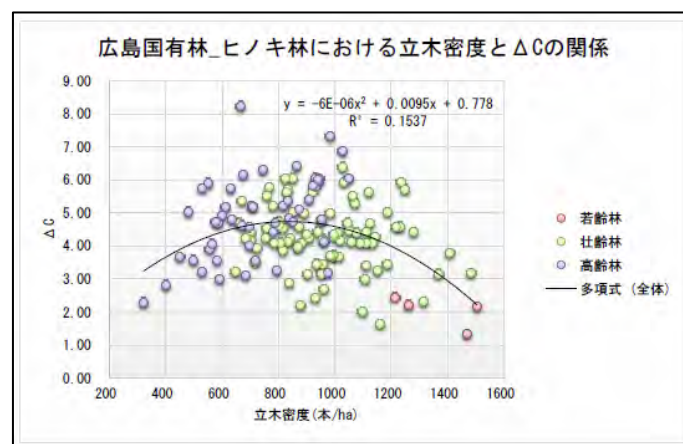


図 3.4 広島ヒノキ林の立木密度と ΔC

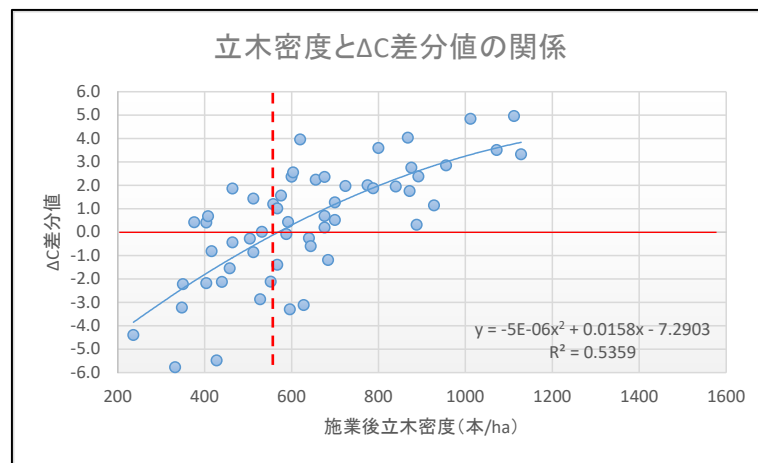


図 3.5 立木密度と ΔC 差分値

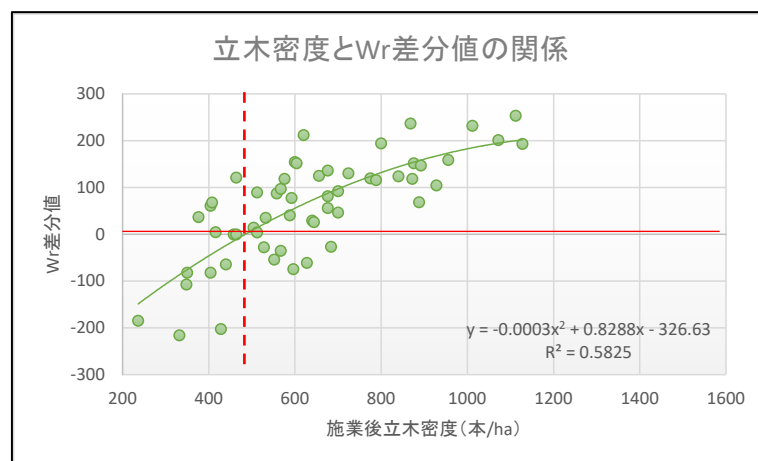


図 3.6 立木密度と Wr 差分値

図 3.5、及び図 3.6 では、森林施業により、根系による崩壊防止力が発揮される立木密度を示す。 ΔC では施業後の立木密度が約 580 本/ha 以上から差分値が増加に転じ、施業後の立木密度が高いほど、崩壊防止力が発揮される結果となっている。 Wr では立木密度が約 480 本/ha 以上から差分値が増加に転じ、 ΔC と同様の傾向が見られた。

以上のことから、高知スギ林における対象 56 小班について、施業前後の差分比較から、以下のことがわかった。

- ・ 根系による崩壊防止力 (ΔC 、及び Wr) の最も大きくなる立木密度は約 800 本/ha である。
- ・ 立木密度が約 580 本/ha 以上から、 ΔC による崩壊防止力が発揮される。
- ・ 立木密度が約 480 本/ha 以上から、 Wr による崩壊防止力が発揮される。