

(別冊)

## 7 森林の管理水準に関する資料集

## 目次

1. 森林管理水準に関する主な知見の解説.....	2
(1)間伐による水源涵養機能の向上.....	2
(2)間伐による風倒被害防止・土壌保全機能の向上.....	4
(3)各機能向上のための施業とその指標.....	5
2. 用語解説.....	8

## 図表目次

図 1 育成単層林の維持.....	9
図 2 育成複層林への誘導.....	9
図 3 天然生林の例.....	10
図 4 植栽～主伐までの作業の流れ.....	11

## 1. 森林管理水準に関する主な知見の解説

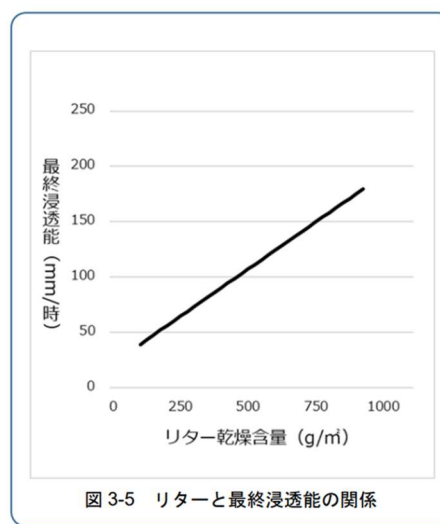
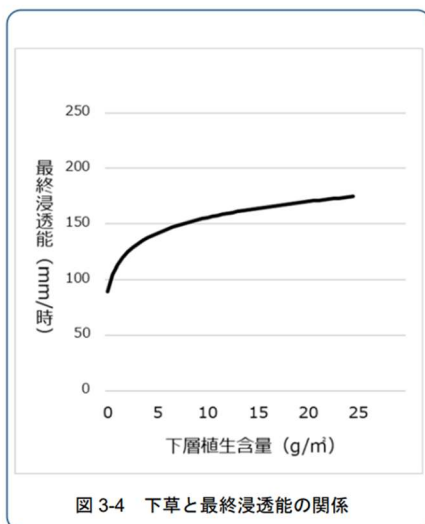
- 特例措置を適用する際、適用の判断基準として、特別な数値指標を設定する必要はなく、通常の経営管理を行う場合と同様の取り扱いで問題ありません。
- 通常、森林整備の必要性については、森林の現況や社会的状況等を総合的に勘案して、判断することになります。判断の根拠となりうる現況としては、森林の疎密状態、目視的な指標(下層植生の有無、地表面の露出度等)、地形的な要因(森林の傾斜度、地質等)などがあります。添付の資料(参考1、参考2)では、形状比、相対幹距比、樹冠長率、傾斜勾配などの数値と、森林状況との関係などに係る研究成果を参考情報として掲載しています。
- また、森林の実地の状況は、地域によって、樹種・林齢を含めて、大きく異なります。どのような数値指標に基づいて判断するかは、都道府県単位で、研究機関の知見等に基づき、対応願います。
- 以下に、添付の資料(参考1、2)の一部を抜粋して解説します。

### (1)間伐による水源涵養機能の向上

#### ① 浸透能の増大

間伐は、林内の光環境を改善して下草の生育を促すことにより、森林土壌による雨水の浸透能を高めます。

下図に示したとおり、森林の中で人工の雨を降らせた際に、どれくらいの量まで林床に水が浸透するのか(浸透能)を調べた実験では、下草やリター(枯葉や落ち葉、倒木など)の量が多いほど、浸透能が高くなることが明らかになっています。(図表集 p.3, No.2)



(図 3-4、図 3-5 出典：恩田裕一 (2014)「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 - 減災・森林・水循環 -』築地書館、77 ページをもとに作成)

出典：水源の森林づくりガイドブック p.12

## ② 林床植生状態の向上

立木がない裸地の照度に対する林内の照度の比を「相対照度」と呼びます。一般に、高木になる樹種が健全に生育するには、20～30%の相対照度が必要と言われています。

下表からは、「相対照度 20%以下」では林床植生が乏しいのに対して、「相対照度が21%以上」で林床植生が豊富になることが分かります。従って、間伐により開空度が高まり、相対照度が上昇すれば、林床植生が豊かになります。(図表集 p.8 No.8)

開空度	相対照度	林床植生の状態
0～8%	5%以下	林床植生ほとんどなし
9～17%	6～20%	林床植生がわずかに生育
18～27%	21～30%	林床植生に富む
28～45%	31～50%	陽性の雑草木に富む
46%以上	51～100%	陽性の雑草木に極めて富む

注1：早稲田 および センター研究部資料に基づく暫定的な表

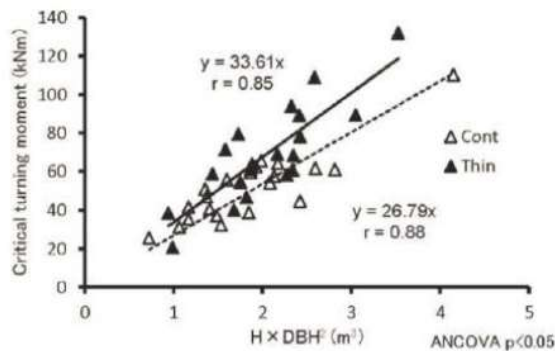
出典：神奈川県（2003）「神奈川県 水源の森林づくり 広葉樹林整備マニュアル 水源かん養エリア編」P33

## (2) 間伐による風倒被害防止・土壌保全機能の向上

### ① 風倒被害に対する抵抗力

間伐を適切な時期に実施することにより、根系(木の根の部分)が発達し、風倒被害に対する立木の抵抗力が増大します。

下図のとおり、胸高直径(DBH)と立木密度が同じスギ林であっても、間伐履歴があるスギ林は、間伐履歴の無いスギ林と比較して、引き倒し抵抗モーメントが大きい(根がしっかりと張っていて倒れにくい)傾向があります。(図表集 p.12 No.4)



(藤堂・山瀬ら 2015、文献番号 88)

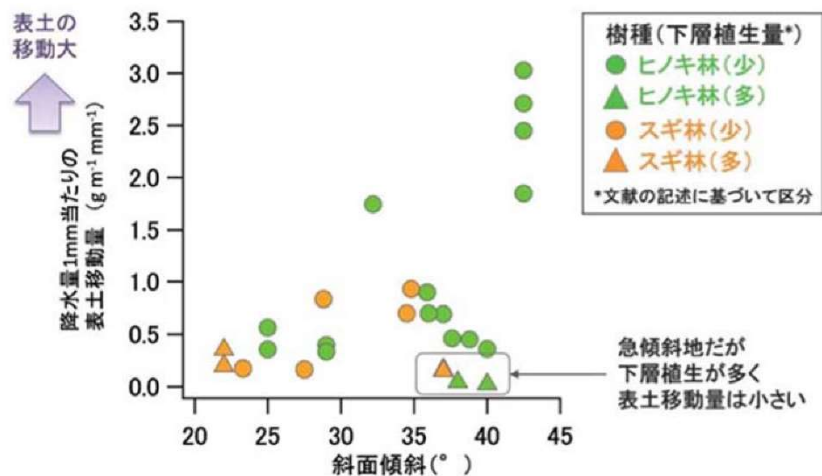
図 2.26 間伐区と対照区における樹木の引倒し抵抗モーメントと  $H \times DBH^2$  の関係

出典：令和元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 p.2-31

### ② 表土移動量と斜面傾斜の関係

下層植生が豊富にあると、斜面の傾斜が急であっても、土壌保全の効果が高まります。

下図のとおり、下層植生が少ないと、傾斜が急になるほど表土の移動量が大きくなりますが、下層植生が豊富であると、急斜面であっても、表土の移動量が少なく抑えられます。(図表集 p.21 No.20)



出典：森林総合研究所 (2010) 「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」 P22

(3)各機能向上のための施業とその指標

① 針葉樹林における森林整備の指標値

針葉樹林における森林整備を検討する際の指標値については、「土砂流出防止機能の高い森林づくり指針」(平成27年3月林野庁)において、以下のように示されています。

森林整備の目的を崩壊防止林とするか、土砂流下緩衝林・土砂捕捉林とするかによって指標値は異なりますが、目指すべき形状比は「80以下」、樹冠長率は「30%以上」とされています。(なお、本表の指標値は、林齢30年以上を想定しています。)(図表集 p.16 No.11)

指標	樹種等	崩壊防止林		土砂流下緩衝林・土砂捕捉林		
		優先度	崩壊防止林	優先度	土砂流下緩衝林	土砂捕捉林
断面積合計	スギ	◎	45m <sup>2</sup> /ha以上	○	40m <sup>2</sup> /ha程度	
	ヒノキ	◎	35m <sup>2</sup> /ha以上	○	35m <sup>2</sup> /ha程度	
胸高直径	スギ	○	22cm程度	◎	23cm以上	25cm以上
	ヒノキ	○	20cm程度	◎	20cm以上	20cm以上
本数密度	スギ	○	1200本/ha	○	960本/ha	770本/ha
	ヒノキ	○	1200本/ha	○	1200本/ha	1100本/ha
収量比数		△	0.7~0.8	△	0.7程度	0.6~0.7
形状比		○	80以下 <sub>※</sub>	△	80以下	
相對幹距比		△	20%程度	△	20%程度	
樹冠長率		△	30%以上	△	30%以上	

※気象害(風害・雪害)が懸念される場合、形状比をより下げることが望ましい。

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針(概要) p.5

## ② 間伐率

水源涵養機能発揮の観点から、林床を水が浸透しやすい状態にするためには、間伐を行い、下草を発達させることが重要です。間伐率については、通常は材積率で3割程度ですが、林分の状況に合わせて検討する必要があります。

下図に示したとおり、非常に混み合っている森林を下草が育ちやすい状態にするためには、4割以上の間伐が必要という研究結果もあります。(図表集 p.8 No.9)

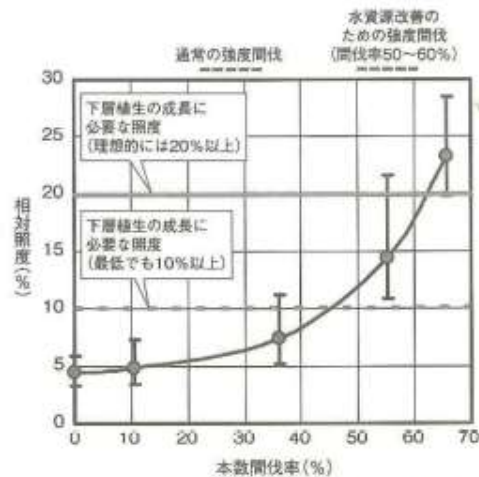


図 相対照度と本数間伐率の関係

出典：恩田裕一（2014）「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」蔵治光一

郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 - 減災・森林・水循環 -』築地書館

### ③ 皆伐後の抵抗力

樹木根系による土壌の捕捉効果は、伐採された樹木の根系が腐朽することで低下する一方、植栽された苗木の根系が成長することで上昇します。

下図に示したとおり、伐採後、植栽を行っても、土壌の捕捉効果は20年生程度までは、弱い状態が続きます。皆伐後に植栽を行わず植生のない状態が続くと、土砂が流出し、崩壊を招くおそれがあります。(図表集 p.32 NO.40)

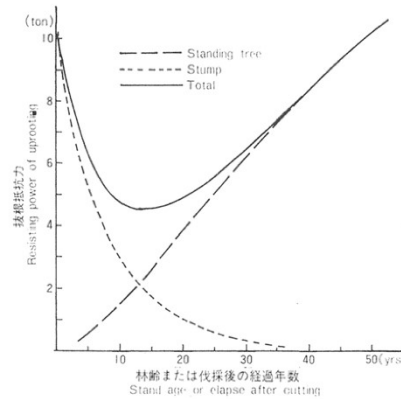


Fig. 13 林齢または伐採後の経過年数と  
抜根抵抗力の関係(スギ)

出典：滋賀県（2018）「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」（北村（1981）「伐根試験を通

して推定した材木根系の崩壊防止機能」)



## 2. 用語解説

いくせいたんそうりん 育成単層林	森林を構成する林木を皆伐により伐採し、単一の樹冠層を構成する森林として人為により成立させ維持される森林。
いくせいふくそうりん 育成複層林	森林を構成する林木を帯状若しくは群状又は単木で伐採し、一定の範囲又は同一空間において、林齢や樹種の違いから複数の樹冠層を構成する森林として人為により成立させ維持される森林。
てんねんせいりん 天然生林	主として自然に散布された種子等により成立し、維持される森林。
しゅぼつ 主伐	次の世代の森林の造成(更新)を伴う森林の伐採。
かんぼつ 間伐	育成段階にある森林において樹木の混み具合に応じて育成する樹木の一部を伐採(間引き)し、残存木の成長を促進する作業。この作業により生産された丸太が間伐材。一般に、除伐後から、主伐までの間に育成目的に応じて間断的に実施。
じごしらえ 地拵	植栽(植付)を行う前に伐採跡地の片付けを行う作業。
ほいく 保育	植栽終了後、育成の対象となる樹木の生育を促すために行う下刈、除伐等の作業の総称。
じよぼつ 除伐	育成の対象となる樹木の生育を妨げる他の樹木を刈り払う作業。一般に、下刈を終了してから、植栽木の枝葉が茂り、互いに接し合う状態になるまでの間に数回実施。
したがり 下刈	植栽した苗木の生育を妨げる雑草や灌木を刈り払う作業。一般に植栽後の数年間、毎年、春から夏の間実施。

いくせいたんそうりん  
 <育成単層林>

森林を構成する林木を皆伐により伐採し、単一の樹冠層を構成する森林として人為により成立させ、維持される森林。

「森林・林業基本計画」では、

- ・林地生産力が高く傾斜が緩やかな場所に位置する育成単層林は、木材等生産機能の発揮を期待する育成単層林として維持
  - ・水源涵養機能等の発揮を期待する森林は、皆伐面積の縮小・分散や長伐期化
  - ・急傾斜地又は林地生産力の低い森林は、育成複層林に誘導
  - ・希少な生物が生育・生息する森林は、必要に応じて、天然力を活用し、針広混交の育成複層林又は天然生林に誘導
- することとしている。



図 1 育成単層林の維持

いくせいふくそうりん  
 <育成複層林>

森林を構成する林木を帯状若しくは群状又は単木で伐採し、一定の範囲又は同一空間において、林齢や樹種の違いから複数の樹冠層を構成する森林として人為により成立させ、維持される森林。

「森林・林業基本計画」では、現況が育成複層林の森林は、引き続き育成複層林として維持することとしている。

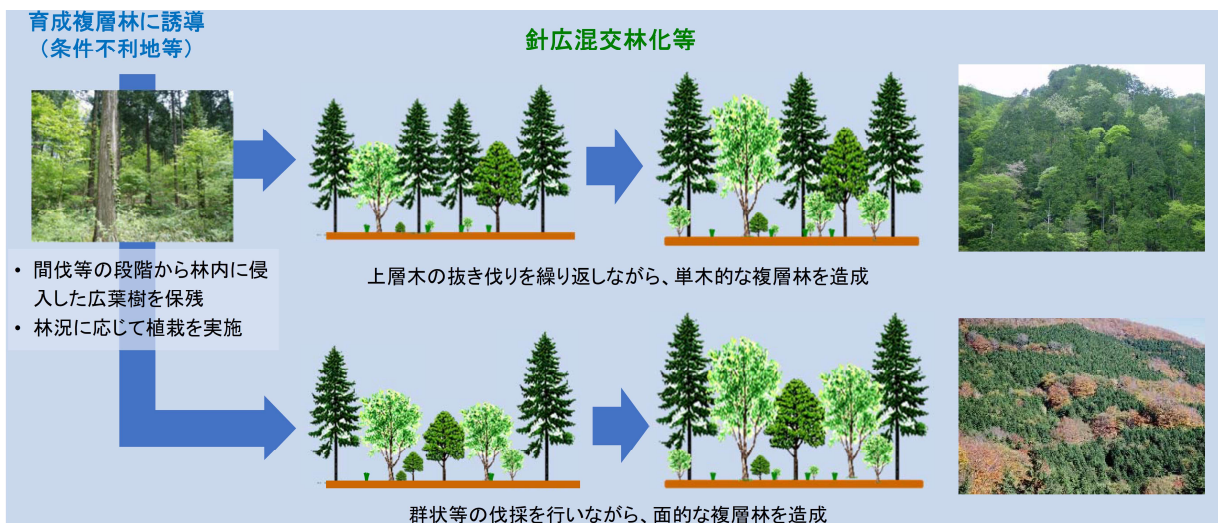


図 2 育成複層林への誘導

### ＜天然生林＞

主として自然に散布された種子等により成立し、維持される森林。「森林・林業基本計画」では、原生的な森林生態系や希少な生物が生育・生息する森林は、自然の推移に委ねることを基本に天然生林として維持し、必要に応じて植生の復元を図るとともに、公益的機能の発揮のため継続的な育成管理が必要な森林は、育成複層林に誘導することとしている。



図 3 天然生林の例

### ＜主伐＞

「全国森林計画」では、次の世代の森林の造成(更新)を伴う森林の伐採を指し、「皆伐」と「択伐」が該当する。

### ＜間伐＞

育成段階にある森林において、樹木の混み具合に応じて、育成する樹木の一部を伐採(間引き)し、残存木の成長を促進する作業。この作業により生産された丸太が「間伐材」。一般に、除伐後から、主伐までの間に育成目的に応じて間断的に実施。相対的にどのような樹高であるか、幹の形はどうか、成長は劣っていないか、などといった立木の形質に基づいて、伐採する対象を選定する「定性間伐」と、林木の形質によらず、間伐率に応じて機械的に伐採木を決める「定量間伐」がある。定量間伐の中でも、「列状間伐」は、高性能林業機械の導入による作業効率の向上、選木作業の省力化等による間伐経費の削減に有効な手段として用いられている。

### ＜地拵＞

苗木を植え付けるのに先立って、植栽予定地の雑草の仮払いや伐採木の跡片付け、伐採していない立木の除去などを行う作業。植え付けた苗木が容易に成長することを目的とするとともに、植栽やその後の保育作業を効率的に行えるように実施する。

ほいく  
<保育>

植栽終了後、育成の対象となる樹木の生育を促すために行う下刈、除伐等の作業の総称。林木と雑草木との競争をやわらげ、森林として確実に成立させる作業(下刈、つる切、除伐)、林木同士の競争をやわらげ、成長を促す作業(除伐、枝打ち、間伐)、林木の形を良くして木材の品質を高める作業(つる切、枝打ち、間伐)などに分類される。



図 4 植栽～主伐までの作業の流れ

森林管理水準に関する知見の整理結果

	水源涵養機能 林野庁資料	都道府県等提供資料	論文の知見	山地災害防止・土壌保全機能 林野庁資料	都道府県等提供資料	論文の知見	その他
<p>間伐の効果</p> <p>・樹冠遮断蒸発や蒸散によって森林が消費する水が減る。【No.1】</p> <p>・林内の光環境を改善して下草が育つようにし、雨水が浸透しやすい森林土壌を守る。【No.2】</p> <p>【栃木県佐野市唐沢山の例】</p> <p>・栃木県佐野市唐沢山では、本数 50% の間伐で、年間の蒸散量が約 170mm 減少、年間の地面からの蒸発量が約 120mm 増加したことにより、森林が消費する水量が 50mm 減少した。</p> <p>※) Xinchao Sun et al. (2014) "The effect of strip thinning on tree transpiration in a Japanese cypress", Agricultural and Forest Meteorology 197.</p> <p>Xinchao Sun et al. (2015) "The effect of strip thinning on forest floor evaporation in a Japanese cypress plantation", Agricultural and Forest Meteorology 216.</p>	<p>・水源の森林づくりガイドブック (H30)</p> <p>・都道府県 ・森林総合研究所 ・県研究機関 等</p>	<p>【秋田県】</p> <p>・下層間伐では水流量は大きく増加しないが、湯水緩和機能が認められる(湯水期においては、その影響が大きい)。</p> <p>・間伐区の植生被覆率は 4 年前後でピークを迎え、その後再び低下。およそ 10 年以上の経過で再度の間伐の検討が必要。【No.3】 ※1</p> <p>【森林総合研究所】</p> <p>・間伐により表層土壌の水分が増え、河川の流量も増えると考えられる。【No.4】 ※2</p> <p>・強度間伐を行っても、間伐後 6 年程度で通常間伐と同程度までに林分の葉量が回復。【No.5】 ※2,3</p> <p>※1) 秋田県農林水産部森林整備課(2014)「スギ人工林の間伐と森林機能」</p> <p>※2) 森林総合研究所(2010)「間伐遅れの過密林分のための強度間伐施策のポイント」</p> <p>※3) 森林総合研究所四国支所(2016)「これからの森林づくりのために持続的な人工林管理のヒント」</p>	<p>・ヒノキ人工林における 50% 列状間伐により、蒸発散量に占める樹冠遮断量、樹木蒸散量の割合が 4 割台から 3 割台へ減少し、林床蒸発量の割合が 12.7% から 31.4% へ増加した。蒸発散量全体は年間 20.4% 減少。 ※1</p> <p>・間伐の実施により、立木密度が下がることで樹冠遮断量や蒸発散量が減少。結果として、土壌への水供給量の増加が期待。【No.6】 ※2</p> <p>・間伐(本数率約 50%) により水資源の貯留率が 5 年間平均で約 15% 向上 ※3</p> <p>・スギ林・アテ林では間伐により、土壌の浸透性が向上(ただし、その効果は林床被覆度だけでは説明できず)。【No.7】 ※4</p> <p>・強度間伐により林内を明るくしても、間伐後 5 年程度で林内相対照度が 15% を下回る。 ※5,6</p> <p>※1) Xinchao Sun et al(2017) 「Change in evapotranspiration partitioning after thinning in a Japanese cypress plantation」 Trees 31</p> <p>※2) 小松光 (2007) 日本の針葉樹人工林における立木密度と遮断率の関係、日本森林学会誌 89 (3), 217-220</p> <p>※3) 南光ほか (2010) 荒廃ヒノキ人工林の強度間伐が森林水源涵養機能に与える経済効果の試算、水文・水資源学会誌 23 (3), 437-443</p> <p>※4) 小松 義隆ほか (2014) スギおよびアテ人工林における浸透性と林床被覆および透水係数の関係 水文・水資源学会誌 第 27 巻 第 3 号</p> <p>※5) 兵藤博ら (1986) 「間伐率をかえた林内相対照度の変化と樹下植栽木の生長」日本林学会関西支部大会講演集, 37, p.171-174</p> <p>※6) 河原輝彦 (1988) 「複層林誘導のための林内照度のコントロール」森林立地, 30(1), pp.1-13</p>	<p>【1】</p> <p>・間伐を実施すると、一時的に土砂流出防止機能が低下するため、弱度の間伐を複数回実施するなどの配慮が必要である。(間伐後の土砂流出防止機能はおおよそ 5~10 年で回復。) 【No.1】 【No.2】</p> <p>・胸高直径は大きくなるほど崩壊防止力も大きくなる。 ※1</p> <p>・無間伐林分と、間伐を 2 回行った林分 (20 年生と 30 年生で本数 30% 伐) の比較では、間伐を行った林分の方が、斜面安全率が 0.05 程度大きい。【No.3】 ※2</p> <p>【4】</p> <p>・間伐により抵抗力が増大する。仮に、同じ胸高直径、立木密度のスギ林であっても、間伐履歴があるスギは、間伐履歴の無いスギと比較して引き倒し抵抗モーメントが大きい傾向がある(根系の発達に差があるため)。【No.4】 ※3</p> <p>※1) 阿辻ら (2013) 「林分における崩壊防止力二次元分布図の構築」中部森林研究 61</p> <p>※2) 林野庁 (1999~2001) 「災害に強い国土づくりのための間伐方法に関する調査報告書」</p> <p>※3) 藤堂・山瀬ら (2015) 「間伐がスギの最大引き倒し抵抗モーメントにもたらす影響」日本緑化工学会誌 41(2)</p>	<p>【岐阜県】</p> <p>・ヒノキ林の場合、下層植生が既に衰退してしまっただけでは埋土種子がわずかしかなく、近くに母樹がない場合は林外からの供給種子が少なく、供給されても表土とともに流れるおそれがある。これらの場合、間伐で林床を明るくしても植生の回復は困難な場合がある。 ※1</p> <p>【奈良県】</p> <p>・表層崩壊の発生した場所の調査・分析を行ったところ、人工林における間伐実施・未実施よりも、雨量や地形要因の方が崩壊発生率に影響。 ※2</p> <p>・間伐時の年齢と間伐後の経過年数との関係から、20 年生までの若齢林で間伐し、4~5 年経過した頃が最も崩壊しやすい。 ※2</p> <p>【森林総合研究所】</p> <p>・ 35~40° を超えるような急傾斜地においては、どんなに丁寧に森林管理を行っても豪雨時の表土の動きを完全に抑えることは不可能。 ※3</p> <p>【秋田県】</p> <p>・間伐すると、一時的に土砂移動量が増えるが、2~3 年後には元に戻る。【No.5】 ※4</p> <p>※1) 岐阜県森林研究所(2015) 「ヒノキ人工林の表土流出を防ぐために」</p> <p>※2) 奈良県農林部(2016) 「災害に強い森林づくり奈良県ガイドライン」</p> <p>※3) 森林総合研究所四国支所(2016) 「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」</p> <p>※4) 秋田県農林水産部森林整備課(2014) 「スギ人工林の間伐と森林機能」</p>	<p>・間伐後も下層植生が発達しないため、ヒノキ林では、下層植生が衰退する前に間伐を行う必要がある。 ※1</p> <p>・ヒノキ林の表土流出を防ぐためには早め早めの間伐によって下層植生の植被率が 50% 以下にならないよう管理することが必要。 ※2</p> <p>・本数率 30% 間伐により、スギ人工林では間伐前にいずれも 50% 未満であった植被率が間伐 3 年目には 50% 以上に増加したのに対し、ヒノキ人工林では間伐前にいずれも 1% 未満であったのが間伐後も 10% 未満と低かった。土砂流出量はスギ人工林で減少か同程度に推移したが、ヒノキ人工林では増加した。 ※3</p> <p>・ヒノキ人工林では、間伐後 5 年間は崩壊防止機能が一時的に低下するが、それ以降は立木の成長により機能が增大(間伐後 30 年で間伐遅れの森林の 2 倍程度となる)。 ※4</p> <p>・ヒノキ人工林では、若齢林(適期)に間伐を実施しないと、土壌の浸食量が約 10 倍となる。 ※5</p> <p>・間伐林の立木の引き倒しモーメントは、無間伐林のそれより大きく、胸高直径が大きい立木ほど顕著。【No.6】 ※6</p> <p>・間伐により地中に根の進出空間が確保されることで、根の直径が大きくなり(根量が増加し)、立木の引き抜き抵抗力が高まる。【No.7】 【No.8】 【No.9】 ※7,8,9</p> <p>【特に 20 年生までの間は間伐により表層土中の根系量が増加。 ※9 / 立木の引き抜き抵抗力は生育場所によらず根元直径から推定できる。 ※10 / 根系発達は胸高直径から推定できる。 ※4</p> <p>・間伐を行うことで立木間距離が広がり、根鉢が水平に広がるので、同じ胸高直径の立木でも、間伐木の方が抵抗モーメントが大きい。 ※11</p> <p>・崩壊規模が小さく、胸高直径が大きい林分であれば、崩壊土砂を捕捉する事例が多い。【No.10】 ※12</p> <p>※1) 横井秀一ら (2008) 「間伐後 3~5 年を経過したヒノキ人工林の下層植生」岐阜県森林研究所研究報告 37, pp.17-22</p> <p>※2) 渡邊仁志 (2015) 「表土流出の予防に適した間伐を考える 冊子 ヒノキ人工林の表土流出を防ぐために を改定」森林のたより 741</p> <p>※3) 奈良雅代ら (2014) 「東京都多摩地域スギ・ヒノキ人工林における間伐後 3 年間の土砂流出量の経年変化」東京都の雨林総合研究センター研究報告 9, pp.7-14</p> <p>※4) 北原曜 (2010) 「森林根系の崩壊防止機能」水利科学 311 号, pp.11-37</p> <p>※5) 工林荒廃と水・土砂流出の実態(恩田裕一編、岩波書店 2008)</p> <p>※6) 藤堂千景ほか (2014) 「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について」砂防学会誌, Vol.67, No.</p>	<p>・公益的機能の種類によらない事項</p> <p>・その他の機能に関する事項</p> <p>【岐阜県】</p> <p>・過密林では、上層間伐をしても、下層の残存木の成長の回復が見込まれず、上層木を残す間伐とした方がいい。【No.1】 ※1</p> <p>・胸高直径が大きくなると風害に対する抵抗力が増す。【No.2】 ※2</p> <p>・間伐回数が少ないカラマツ防風林においては根返り等の被害が発生しやすい。【No.3】 ※3</p> <p>・立木の安定性向上には早期間伐が有効。間伐の遅れは各立木の直径成長速度の低下や枯れ上ガリの助長を招く。 ※4</p> <p>※1) 岐阜県森林研究所(2014) 「木材生産のための過密林の間伐のしかた」</p> <p>※2) 鳥田宏行 (2009) カラマツの風害に関する力学的評価 日林誌 91:120-124</p> <p>※3) 鳥田宏行(2006) 「2002 年台風 21 号により北海道十勝の防風保安林に発生した風害の要因解析」日本森林学会誌 88(6)pp.489-495</p> <p>※4) Wilson, J.S. and Oliver, C.D.(2000) Stability and density management in Douglas-fir plantations. Can. J. For. Res. 30 : 910-920</p>

					2,pp.36-41 ※7) 木下篤彦ほか(2013)「スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討」砂防学会誌, Vol.65, No.5, pp.11-20 ※8) 山場淳史ほか(2008)「根系引抜抵抗力による林野火災跡地植栽樹種の土壌緊縛作用の評価」日本緑化工学会誌 34(1), pp.3-8 ※9) 掛谷亮太ほか(2016)「スギ林分の間伐が根系生長と表層崩壊防止機能に与える影響」日本緑化工学会誌 42(2), pp.299-307 ※10) 山瀬敬太郎ほか(2015)「異なる土壌環境下における根系構造と引き抜き抵抗力の関係」日本緑化工学会誌 41(2), pp.301-307 ※11) 藤堂千景ほか(2015)「間伐がスギの最大引き倒し抵抗モーメントにもたらす影響」日本緑化工学会誌 41(2), pp.308-314 ※12) 林拙郎ほか(2012)「森林斜面における立木の崩壊土砂への影響」砂防学会誌, Vol.65, No.4, pp.24-31		
	<b>水源涵養機能</b>		<b>山地災害防止・土壌保全機能</b>			<b>その他</b>	
間伐が必要な林況  ※ 目標林型に関する事項を含む	<ul style="list-style-type: none"> <li>林内の明るさが、林外の概ね5分の1以下。森林内が暗く、下草が少ない。</li> <li>過密状態にある。また、成長が十分でない。</li> <li>相対幹距14~17で過密、14未満で超過密。形状比80以上の場合、混みすぎ※1</li> </ul> <p>※1) 矢作川森の健康診断実行委員会(2016)『森の健康診断の10年』東京大学演習林出版局</p>	<p>【神奈川県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>相対照度20%以下では林床植生が乏しく、21%以上では豊富である。【No.8】※1</li> </ul> <p>【長野県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>収量比数0.65以下とすることで、相対照度20%を確保できる場合が多い※2</li> </ul> <p>※1) 神奈川県農政部水源の森林推進課(2003)「神奈川県 水源の森林づくり 広葉樹林整備マニュアル 水源かん養エリア編」 ※2) 長野県林務部(2008)「災害に強い森林づくり指針」</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒノキ林の土壌の浸透能は他の樹種に比べ低い。※1,2</li> <li>相対照度が10-20%を超えると林床被覆率が100%に達する。※3,4</li> <li>相対照度が10%を下回ると、林床植生は育たない。※5</li> </ul> <p>※1) 藤枝基久(2012)「林地の浸透能」,山林, pp.67-73 ※2) 小松義隆ほか(2014)「スギおよびアテ人工林における浸透能と林床被覆および透水係数の関係」水文・水資源学会誌 第27巻 第3号(2014) pp.125-134 ※3) 復層林施業研究班(1983)「人工林の複層林施業に関する研究(II)林内光環境の変動」林試研報, 323, pp.33-84 ※4) 清野嘉之(1990)「ヒノキ人工林における仮想植物群落の動態と制御に関する研究」森林総研研報, 359, pp.1-122 ※5) 山本一清ら(2008)「下層植生に配慮した森林管理の試み、人工林荒廃と水・土砂流出の実態(恩田裕一編)」岩波書店 pp.183-191  </p>	<p>【①】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>崩壊防止力の高い森林の目安として以下の数値を提案 <ul style="list-style-type: none"> <li>形状比：80以下</li> <li>相対幹距比：20%程度</li> <li>樹冠長率：30%以上</li> <li>収量比数：0.6~0.8</li> <li>胸高直径、立木密度、胸高断面積合計については、スギ、ヒノキ別に提示【No.11,12】</li> </ul> </li> <li>その上で、崩壊防止力の高い森林を育成するには、より大きな胸高断面積合計の林分を目指すことが望ましいと提言【No.13】</li> <li>傾斜勾配10°未満の森林では、胸高直径を大きくして、立木が土砂の流下を抑制する機能を高めることとする。</li> <li>渓床勾配10°地点で森林が土砂を捕捉するための胸高直径の目安【No.14】 <ul style="list-style-type: none"> <li>ヒノキ林：20cm以上</li> <li>スギ林：25cm以上</li> </ul> </li> <li>収量比数が大きいと崩壊が起きやすい。※1</li> </ul> <p>【②】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂崩壊防止機能が相対的に低い森林【No.15】 樹種：マツ&lt;ヒノキ&lt;スギ 立木密度：~600本/ha、1,800本/ha~ 胸高直径：20cm未満</li> <li>カラマツ林では、立木密度が1,000本/ha程度で崩壊防止力が最大【No.16】※2</li> </ul> <p>【③】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜勾配30°以上の森林では、適期に実施することで、太い根系を多くして崩壊防止力を高めることとする。※3,4,5</li> <li>ヒノキ林では、立木密度が800~1,000本/ha程度で崩壊防止力が最大【No.17】</li> </ul> <p>※1) 田中淳ほか(2015)「土砂流出災害における崩壊地の微地形の特徴と森林の関係」日緑工誌 41(2), 326-330</p>	<p>【岐阜県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ヒノキ林の細土移動量は、同一斜面に植栽されたスギ林の4倍、アカマツ林の18倍【No.18】※1</li> <li>ヒノキ林は林床の落葉落枝や下層植生がなくなりやすいため表土流亡の危険性が潜在的に高い。斜面傾斜20°以上で特に危険性は潜在的に高い。下層植生が乏しい場合や地表付近に植生が無い場合も危険性が高い。細根の露出または土柱・段差が目立つ場合、小さい礫がむき出しになっている場合は表土流亡の兆候である。【No.19】※1</li> </ul> <p>【森林総合研究所】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>表土流亡の危険が特に高い人工林の条件は、以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 林内が暗く下層植生がほとんど見られない</li> <li>b. 林床が落葉で覆われておらず、土壌の表面がよく見える</li> <li>c. 30度以上の急斜面</li> </ul> </li> <li>下層植生が少ないと急傾斜地になるほど表土移動量が大きくなり、下層植生が多いと急傾斜地であっても表土移動量が小さく抑えられている。【No.20】※2</li> </ul> <p>【三重県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>立木密度と樹高から、立木の混み具合を評価する目安として相対幹距比のグラフを提示。【No.21】</li> <li>溪流付近では、流木対策として、傾斜木、根の浮き出しがある木、胸高直径30cm未満で成長見込みのない生育不良木を中心に伐採することとした。</li> <li>胸高直径30cm以上であれば倒伏のおそれがないという試験結果あり。※3</li> </ul> <p>【滋賀県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>立木密度は、1,000~1,200本/ha程度を目標とし、適正本数の目安として、相対幹距比を提案【No.22】</li> <li>樹冠長率40%以上が望ましい</li> </ul> <p>【兵庫県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>平均胸高直径が30cm以上の箇所は災害緩衝林としての機能が備わっているとし、収量比数を見ながら間伐を実施することとし、30cm未満の林分のうち、樹冠長率20%以下の林分については、間伐による成長が見込めないものとして、皆伐・改植も検討するよう提案【No.23】※5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒノキ林では、林床の被覆率が幼齢~若齢期(20年生前後)に著しく低下するため、40年生以降の壮齢期に回復するまでの間、雨滴浸食の恐れあり。【No.24】※1</li> <li>スギ、ヒノキ、アテ人工林において、下層植生の被度が低いと土壌流出が多い。【No.25】※2</li> <li>根元が露出したヒノキ立木は引き倒し抵抗力が低い。【No.26】※3</li> <li>同じ胸高直径であれば、ヒノキの方がスギよりも最大抵抗モーメントが大きい。【No.27】※4</li> <li>わずかであるが、崩壊地は未崩壊地よりも、過密で、樹高が高く、胸高直径が小さい傾向があった。※5</li> </ul> <p>※1) 三浦覚(2000)「表層土壌における雨滴浸食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価」日本林学雑誌 82(2), pp.132-140 ※2) 小倉晃ほか(2008)「林種および下層植生被度が異なる人工林の土壌流出量」石川県林業試験場研究報告(40), pp.27-28 ※3) 島田博匡(2018)「根元付近の根系が露出したヒノキ立木の引き倒し抵抗力」日緑工誌 44(1), 123-126 ※4) 島田博匡ほか(2017)「三重県中部地域におけるスギ・ヒノキ立木の引き倒し抵抗力」日本緑化工学会誌 43(1), pp.138-143 ※5) 田中淳ほか(2015)「土砂流出災害における崩壊地の微地形の特徴と森林の関係」日緑工誌 41(2), 326-330</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>溪床に近く(溪床からの高さが20cm以下)、傾斜が大きい(20°以上)と流木が発生しやすいが、胸高直径が大きいと耐え得ることもある。【No.4】【No.5】※1</li> <li>収量比数が高い(例えば、0.8以上)で風倒被害に遭いやすい。※2</li> <li>樹冠長率が低く、形状比が高い森林ほど、風倒被害に遭いやすい。※3</li> <li>カラマツ・トドマツは形状比70未満または樹冠長率0.45以上(カ8マツ)、0.55以上(トドマツ)の林分で風害に強い。被害確率は、形状比や樹冠長率の変化に伴って徐々に変化するのはなく、ある閾値を境に急激に変化する。※4</li> </ul> <p>※1) 藤堂千景ほか(2014)「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について 砂防学会誌, Vol. 67, No. 2, p. 36-41 ※2) 島田宏行(2006)「2002年台風21号により北海道十勝の防風保安林に発生した風害の要因解析」日林誌 88(6) ※3) 澁谷正人ほか(2011)「北海道中部の針葉樹人工林における風倒被害と樹形」森林立地 53(2), 53-59 ※4) 澁谷正人ほか(2011)「北海道中部の針葉樹人工林における風倒被害と樹形」森林立地 53(2), pp.53-59</p>

			※1)伴博史ら(2011)「カラマツ根系の崩壊防止力と立木密度の関係」中部森林研究 59 ※3)北原曜(2010)「森林根系の崩壊防止機能」水利科学 No.311 ※4)今井裕太郎ら(2009)「ヒノキ根系の崩壊防止力に及ぼす間伐の影響」中部森林研究 57 ※5)伴博史ら(2010)「カラマツ根系に及ぼす間伐の影響」中部森林研究 58	※1)岐阜県森林研究所(2015)「ヒノキ人工林の表土流出を防ぐために」 ※2)国立研究開発法人森林総合研究所四国支所(2016)「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」 ※3)三重県農林水産部(2019)「災害に強い森林づくり」の評価のためのガイドライン」 ※4)滋賀県(2018)「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」(林野庁(2016)「山地災害危険地区調査要領」) ※5)兵庫県(2015)「災害に強い森づくり 事業検証報告書 2015」		
	<b>水源涵養機能</b>		<b>山地災害防止・土壌保全機能</b>		<b>その他</b>	
間伐率	<p>・非常に立木が混み合っている場合は、下草が育ちやすい状態にするために4割以上の間伐率が必要【No.9】</p> <p>・ただし、本数を急激に減らす場合、風害や雪害等による倒木や折損被害の発生のおそれあることに留意。</p> <p>【愛知県豊田市の例】</p> <p>・5~6割の超強度間伐により風倒被害が発生。</p> <p>・1,000本/ha未満では下層植生のカバー率が概ね100%。他方、1,600本/ha以上ではカバー率が大幅に低下。</p> <p>※) 豊田市ウェブサイト http://www.city.toyota.aichi.jp/shisei/gyoseikeikaku/sangyo/1024463.html</p>	<p>【秋田県】</p> <p>・50%強度間伐によって林地到達雨量は増加するものの、その増加量は降水量の約2%にとどまった。</p> <p>・伐採率が高いほど下層植生がより回復する。【No.3(再掲)】※1</p> <p>※1)秋田県農林水産部森林整備課(2014)「スギ人工林の間伐と森林機能」</p>	<p>・間伐後3年以内に下層植生を増加させるための目安として本数間伐率で35%程度以上。※1</p> <p>・間伐率が大きくなることで水流出量(基底流出)が大きくなるが、皆伐や群状伐採よりは小さい傾向。【No.10】※2</p> <p>※1) 石井哲(2005)「林地保全を考慮した間伐率等の研究」岡山県林業試験場研究報告 21,pp.15-42 ※2) Bui Xuan Dung et al.(2012) Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest. Journal of Hydrology 444-445 (2012) pp.51-62</p>	<p>【森林総合研究所】</p> <p>・無間伐や通常間伐(20~30%程度)と比較して、強度間伐(40%以上)では直径成長が促進され、形状比が改善する。【No.28】【No.29】※1【No.30】※2</p> <p>【長野県】</p> <p>・現況森林が適正管理されていない場合は、主林木は高齢・大径木へ誘導して保残しつつ、林内相対照度で30%程度を確保できる適正密度とするための早期の強度間伐を行う。</p> <p>・間伐の基準は、相対照度約20%以上を確保できる収量比数 <math>R_y=0.65\sim0.70</math> とする。※3</p> <p>【兵庫県】</p> <p>・間伐による成長が見込める林分(樹冠長率20%超)では、収量比数 <math>R_y=0.5</math> 程度を目指す強度間伐を実施。ただし、過去に雪害が起こった場所や危険性のある箇所では弱~中程度の間伐を数回繰り返す。※4</p> <p>【三重県】</p> <p>・立木間隔は上流から流れてくる流木が通過しない程度とする。一度の整備で極端に本数密度を低くすることは、倒木発生の危険性を高めるため避ける。※5</p> <p>※1)独立行政法人森林総合研究所(2010)「間伐遅れの過密林分のための強度間伐実施のポイント」 ※2)国立研究開発法人森林総合研究所四国支所(2016)「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」 ※3)長野県林務部(2008)「災害に強い森林づくり指針」 ※4)兵庫県(2015)「災害に強い森づくり 事業検証報告書 2015」 ※5)三重県農林水産部(2019)「災害に強い森林づくり」の評価のためのガイドライン」</p>	<p>・よほど強い間伐を行わない限り崩壊が発生しやすい状態にはなりにくいが、強度の間伐を行うと斜面安全率は低下する(それでも、1.0を下回らない)。※1</p> <p>・間伐は崩壊防止機能を高めるが、強度の間伐を行うことで立木の間隔が広がり、崩壊防止機能を低下させる場合もあるので留意が必要。【No.31】※2</p> <p>・間伐率を高くすると残存木から伐倒木側への根系伸長が遅れることから望ましくない。※3</p> <p>・間伐により立木間隔が広がっても、適切な森林管理の下であれば、問題ない(林齢に伴い、立木が成長し、抵抗力が増す【No.32】※4</p> <p>※1) 阿部和時ら(2004)「間伐が森林の持つ表層崩壊防止機能に及ぼす評価手法の開発」日本地すべり学会誌 41巻3号 ※2) 伴博史ほか(2009)「間伐がカラマツ根系の崩壊防止機能に及ぼす影響」中部森林研究 No.57,pp.179-182 ※3) 北原曜(2010)「森林根系の崩壊防止機能」水利科学 311号, pp.11-37 ※4) 木下篤彦ほか(2013)「スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討」砂防学会誌, Vol.65, No.5, pp.11-20</p>	<p>【森林総合研究所】</p> <p>・間伐率が高いほど下層植生の増加が期待できる。過密林分で強度間伐を行う場合、40%~50%程度の下層間伐とするのが無難。(気象害発生は間伐率が高い林分ではなく、上層間伐や列状間伐など林内に劣勢木が残る間伐で高い。)</p> <p>・ただし、台風の頻発地域や南向き斜面においてはリスクを高めるおそれがあり、通常間伐が望ましい。</p> <p>・また、75%など極端な強度では水分ストレスで枯死のおそれがある。※1</p> <p>・間伐後5年以内の林分で風害が多発していることを踏まえ、頻繁に台風が来る地域では強度間伐を避ける。</p> <p>・また、過去に風害が発生した場所、風害が発生しやすい地形(開けた南東~南西向き斜面、尾根の鞍部、暴風が来る方向に開いた谷流域、谷筋の支流分岐点・湾曲点、暴風方向と一致する谷流域)、風害を受けやすい林況(形状比70~80以上、樹冠長率50%以下、20年生以上)のいずれかである場合も強度間伐を避ける。</p> <p>・それ以外の場所では比較的高めの間伐率でもリスクは小さい。※2</p> <p>・混み具合(収量比数)が0.7の時に0.6まで間伐する通常の間伐では根返りすると予測された樹木は生じなかったが、0.9になった林を0.6まで一気に間伐した場合では、根返りすると予測された樹木がおよそ3割に及んだ。0.9の林を0.8までの間伐に抑えた場合、根返りすると判定された樹木をずっと減らすことができた。但し、その場合は繰り返し間伐しなければならない。※3</p> <p>※1)国立研究開発法人森林総合研究所四国支所(2016)「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」 ※2)独立行政法人森林総合研究所(2010)「間伐遅れの過密林分のための強度間伐実施のポイント」 ※3)独立行政法人森林総合研究所気象環境研究領域(2010)「気象災害に強く環境緩和機能の高い森林を目指して」</p>
間伐方法	<p>・優勢木が健全に成長を続けられるように、間伐木を選ぶ。</p> <p>※ 間伐の種類、選木方法など</p>	<p>・スギ・ヒノキが混在する43年生林分における列状間伐では、伐採幅に応じた5年後の林内相対照度に大きな差はなかった。※1</p> <p>・群状間伐は通常間伐より植生回復の程度が大きいことがわかった。※2</p>	<p>【①】</p> <p>・列状間伐は、林内に弱部が連続するようになり、立木間中央からの崩壊の危険性を高める点に注意を要する。</p>	<p>【岐阜県】</p> <p>・過密林では胸高直径の小さい木が残っても間伐後の成長はほとんど見込めないため、下層間伐により立木密度を下げつつ、上層木を残す選木を行う。※1</p> <p>・下層植生を豊かにする場合、弱度間伐を数年おきに実施することが最善だが、次善策として群状間伐がある。伐採群では</p>	<p>・列状間伐の伐採列と定性間伐の伐採箇所と、土砂移動量は変わらない。【No.34】※1</p> <p>・長伐期実施を選択した場合に、斜面安定性が高く、崩壊防止機能の点で有利。【No.35】※2</p> <p>※1) 溝口拓明ほか(2018)「間伐方法の違いが表土流出に及ぼす短期的影響」森林立地 60(1), 23~29 ※2) 阿部和時(2005)「森林の持つ斜面崩壊防止機</p>	<p>【新潟県】</p> <p>・伐採木の選定は形質・形状が相対的に劣勢なものを優先するよう定性的に行うが、形質や配置が均一な林分は、定量的な列状伐採を実施する。【No.6】※1</p>

		<p>※1) 宮崎潤二 (2011)「異なる伐採幅の列状間伐が下層植生に及ぼす影響」九州森林研究 64</p> <p>※2) 渡邊仁志 (2015)「表土流出の予防に適した間伐を考える 冊子 ヒノキ人工林の表土流出を防ぐために」を改訂 森林のたより 741</p>		<p>20m2以上の大きさのギャップを確保することを目安とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・群状間伐は、通常の間伐よりも植生の回復の効果が高く、強度間伐よりも残した部分の林内環境の変化が穏や【No.33】※2</li> </ul> <p>【長野県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・間伐後、立木間隔（幹距）をできるだけ均等にするようにする。※3</li> </ul> <p>※1)岐阜県森林研究所(2014)「木材生産のための過密林の間伐のしかた」</p> <p>※2)岐阜県森林研究所(2015)「ヒノキ人工林の表土流出を防ぐために」</p> <p>※3)長野県林務部(2008)「災害に強い森林づくり指針」</p>	<p>能」日本緑化工学会誌 31(3), pp.330-337</p>	<p>【神奈川県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・群状間伐では、ギャップのサイズは10m 四方 (0.01ha)程度とし、緩斜面を中心に1haに10～20箇所 (0.1～0.2ha)程度、適当な間隔を開けて伐倒する。※2</li> </ul> <p>【岐阜県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・列状間伐は伐採列の林冠閉鎖が大きく破られ林分構造が急激に変化するため、間伐後、一時的に冠雪害の危険性が高まるおそれ【No.7】※3</li> </ul> <p>※1)新潟県(2017改訂)「治山事業における保安林整備技術指針」</p> <p>※2)神奈川県農政部水源の森林推進課(2003)「神奈川県 水源の森林づくり 広葉樹林整備マニュアル 水源かん養 エリア編」</p> <p>※3)岐阜県森林研究所(2014)「木材生産のための過密林の間伐のしかた」</p>
	<b>水源涵養機能</b>		<b>山地災害防止・土壌保全機能</b>			<b>その他</b>
<p>作業道の作設等における留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水が湧き出ているような場所は避ける。</li> <li>・路面に集まる水や湧水を安全に処理する。</li> <li>・路体の締固めを適切に行う。</li> <li>・切土や盛土による地形改変はできる限り小さくする。切土は高さをできる限り小さくする。切土高が150cm以上、地山傾斜が30°超の場合、崩壊が起こりやすい。【No.11】※1</li> </ul> <p>※1)独立行政法人森林総合研究所・石川県農林総合研究センター林業試験場・岐阜県森林研究所(2012)『森林作業道開設の手引きー土砂を流出させない道づくりー』</p>			<p>【鳥取県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一時的に使用した路網と土壌は必要に応じて埋戻す等して植生の回復を促す。長期にわたり使用する路網と土壌は、荒れた箇所の補修を行い、路面排水等の必要な処理を行う。</li> <li>・斜面勾配34度以上での路網作設は丸太組など路側構造物が必要となり、災害を発生させないよう十分な注意が必要。38度以上では切土法面が不安定で崩壊の危険が高くなり、可能な限り路網作設を避けるべき。45°以上では路網作設は不可。</li> <li>・0次谷では路網を開設した場合、湧水等により盛土が崩壊しやすい。</li> <li>・地すべり地形の中央では、路網を開設した場合、落石がよく生じる。</li> <li>・断層に沿って路網を作設すると、断層に沿った範囲すべてで破碎された断面が出て無数に崩壊が起きる。断層を通過する場合はできる限り最短距離で通過し、破碎帯をできるだけけさないようにルート設計する。</li> <li>・異なる強度・透水性の岩盤が接する地質境界は崩壊が起こりやすい。路網を作設する場合、地質境界は最短距離で通過する。地質境界に沿って作設した路網は、長期的には廃道となる。</li> <li>・上流の崩壊等の土砂が堆積した緩んだ地盤で、湧水や表面流が発生しやすい場所(崩積土)で路網を開設する場合には、2mを超える高切にならないようにし、湧水や表面水の処理を十分に行う。</li> <li>・湧水のある場所では豪雨時に流量が増加する可能性があり、路網を作設する際は増水した水の流れを止めない工法(洗い越しなど)を選択。※1</li> </ul> <p>【滋賀県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・災害リスクの高い林分では地形改変に災害リスクを伴うので、細心の注意が必要。※2</li> </ul> <p>【奈良県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・県内での表層崩壊の発生状況を踏まえた専門家の意見では、作業道等を起因とした崩壊の割合が非常に多く、特に排水の対応が非常に重要である。※3</li> </ul> <p>※1)鳥取県農林水産部 森林・林業振興局づくり推進課・林業試験場(2019)「主伐と更新等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・林内路網が崩壊や侵食を引き起こす要因になる。また、車両走行による地表面の圧密が土壌物理性の低下や植生回復の遅れに繋がる。※1</li> <li>・集材路の設置は溪流沿いを避け、流路への浮遊土砂の流れ込みを防ぐ。※1</li> <li>・路網開設時、路面を枝条被覆した場合、被覆しない場合と比較して土砂流出量が約5分の1となった。※2</li> <li>・また、ホイール式の車両が通行する場合枝条被覆は困難だが、沈砂池の設置によって粒径0.106mm以上の礫や砂は捕捉され、濁水中の浮遊物質濃度は3分の1に低下した。※2</li> <li>・約40年生トドマツ林での一部皆伐及び3割列状間伐実施後に、各施業区及び集材路で降雨後の土砂流出量を調査したところ、皆伐区での土砂流出量は対照区の20倍程度で、伐採跡地が植生に覆われた1年後は3.5倍程度に減少した。一方集材路では皆伐区の2倍弱と、全試験区でも最も土砂流出量が多く、1年経過後も同様の傾向が見られた。※3</li> <li>・列状間伐の作業道跡は大量の土砂が間伐直後に流出。浸透能の低下も著しいが半年後にはある程度は回復する。【No.36】※4</li> <li>・作業道は林床と比較し、細土、礫、有機物の移動が多いが、作業道にスギ枝条を散布したところ、それらの移動量が減少した【No.37】。ただし、短期間の散布では土壌硬度などの改善までには至らない。※5</li> <li>・高性能林業機械(スウィングヤーダ)を用いた列状集材で、集材後3ヶ月間の間、林地攪乱により林床植生バイオマスの低下と土壌流出量の増大をもたらした※6</li> <li>・作業道のうち、土砂流出が最も多かったのは、フォワーダの軌跡。※7</li> <li>・植生が回復した作業道は、植生がない作業道よりも土砂流出が少ない。【No.38】※7</li> </ul> <p>※1) 佐藤弘和 (2006)「浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法」日本森林学会誌 88 (1), pp.50-59</p> <p>※2) 白田寿生 (2012)「路網開設にともなう濁水被害を防ぐ方法」ぎふ森林研情報 81</p> <p>※3) 長坂有ら (2011)「森林施業後の林床被覆の違いが表土流出に及ぼす影響」日本森林学会北海道支部論文集 59</p> <p>※4) 溝口拓明ほか (2018) 間伐方法の違いが表土流出に及ぼす短期的影響 森林立地 60 (1), 23～29</p> <p>※5) 佐々木重行ほか (2010) 作業路での土砂移動と枝条散布による抑制効果,福岡県森林研報 (11), pp.33-38</p> <p>※6) 山田康裕 (2003)「列状間伐林における高性能林業機械を用いた集材が林地に与える影響について」</p>		



				<p>に関する手引き」</p> <p>※2)滋賀県(2018)「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」</p> <p>※3)奈良県農林部(2016)「災害に強い森林づくり 奈良県 ガイドライン」(岡橋清隆(2013):平成25年度「災害に強い森林づくり」現地検討会発表資料「林業家から見た「災害に強い森林づくり」」)</p>	<p>九州森林研究 56</p> <p>※7) 佐々木重行ほか(2009)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、九州森林研究 62,pp.206-207</p>	
	水源涵養機能		山地災害防止・土壌保全機能			その他
その他 施業に おける 留意点				<p>【三重県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溪流沿いでは、間引木は流木になるおそれのない場所へ除去する。</li> <li>・山腹部では木が倒れても溪流に到達するまでに止まるように、渓岸部から概ね50mの範囲で伐採し、等高線に沿って並べる。※1</li> </ul> <p>【滋賀県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・間伐木を流域内からの除去することが困難な場合は、玉切りし筋置きするなど、林内に安定した形で固定。※2</li> </ul> <p>【岐阜県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・伐倒木の枝葉を樹幹から払い、樹幹を等高線方向に地面に置いて、地面に枝葉を散布することで、伐倒木をそのまま放置する場合と比較して土砂流出量をおよそ10分の1にとどめることができる。【No.39】 ※3</li> </ul> <p>【森林総合研究所】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・若齢級の林分で保育間伐する場合は、倒した木を適当な長さに切って等高線に沿って並べることで表土流出の防止に役立つ。※4</li> </ul> <p>【鳥取県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・枝条残材を現場に残す場合は、出水時の谷川への流出や雨水を堰き止めて林地崩壊を誘発することがないように、谷川や溪流部へ廃棄しないようにする。※5</li> </ul> <p>※1)三重県農林水産部(2019)「「災害に強い森林づくり」の評価のためのガイドライン」</p> <p>※2)滋賀県(2018)「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」</p> <p>※3)岐阜県森林研究所(2015)『ヒノキ人工林の表土流失を防ぐために』2015年改訂版</p> <p>※4)国立研究開発法人森林総合研究所四国支所(2016)「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」(山瀬敬太郎・田中義則(2003)ヒノキ人工林における間伐木を利用した丸太筋工の効果、森林立地 45:89-92)</p> <p>※5)鳥取県農林水産部 森林・林業振興局づくり推進課・林業試験場(2019)「主伐と更新等に関する手引き」</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トラクタ集材では走行回数が多いと低木類の発達が遅れたが、植生が再生しない場所は見られなかった。※1</li> <li>・浮遊土砂の増加を抑えるため、流路沿いに緩衝林帯を設けることと、林地を攪乱しないことが必要。※2</li> </ul> <p>※1) 近藤道治ら(2006)「森林施業が森林環境におよぼす影響」長野県林業総合センター研究報告 20</p> <p>※2) 佐藤弘和(2006)「浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法」日本森林学会誌 88(1), pp.50-59</p>	<p>【秋田県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・形状比80以上または樹冠長率40以下の林木が多い林分は風雪害を受けやすく、強度間伐はリスクを高めるため避けるべき。※1</li> </ul> <p>※1)秋田県農林水産部森林整備課(2014)「スギ人工林の間伐と森林機能」</p>
皆伐に 関して				<p>【滋賀県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・保全対象(民家等)からの距離が2km以内にある場合は、保全対象に土砂が到達するので、皆伐を禁止する。</li> <li>・樹木根系による土壌の保全能力は、伐採後植栽しても20年程度は弱まるため、崩壊の危険性がある場所での皆伐には十分な配慮が必要。【No.40】</li> <li>・皆伐後に植栽を行わず植生のない状態が続くと崩壊を招く。植栽する際は必ずシカ食害への対策が必要。※1</li> </ul> <p>【兵庫県】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平均胸高直径30cm未満で間伐により成長が見込めない林分(樹冠長率20%以下)は間伐による大径化をあきらめ、部</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林伐採は、浮遊土砂の量的増加を招く。浮遊土砂流出の抑制に配慮した森林施業の一つとして、架線集材が挙げられる。※1</li> <li>・同一のヒノキ林分の皆伐区(伐採後1年目にヒノキ植栽、2,3年目に下刈り)と間伐区で伐採後3年間の土壌侵食量を調査したところ、皆伐区の土壌侵食量は3.7~19.1倍あり、伐採後の年数の経過につれて間伐区の土壌侵食量は減少したが、皆伐区では反対に増加した。皆伐区では植栽・下刈りなどで地表を攪乱する期間が長かったことが影響していると考えられる。※2</li> <li>・皆伐は間伐と比べ、土砂、細土、リターの移動量が大きい。【No.41】 ※3</li> <li>・伐採後5~7年経過すると斜面の不安定化が最も顕著となり、斜面崩壊が出現しやすい。植栽しても20年ほどはリスクが介在。【No.42】</li> </ul>	<p>【北海道】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・植栽にあたって、多樹種をパッチ状に植栽すると、風の被害を受けにくくなる。※1</li> </ul> <p>※1) 北海道水産林務部林務局森林整備課(2018)「風倒木被害のリスクを軽減する森林づくり」</p>

		<p>※1) 真坂英一ら (2007) 「千葉袋山沢流域における伐採による月流出量変化」日本森林学会誌 89(4)</p> <p>※2) 真坂英一ら (2005) 「新第三紀層流域における 70 年生スギ・ヒノキ林伐採による年流出量の変化」日本森林学会誌 87(2)</p> <p>※3) Bui Xuan Dung et al.(2012) Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest. Journal of Hydrology 444-445 (2012) pp.51-62</p> <p>※4) 小林繁男 (1982) 「森林の皆伐に伴う土壌の変化」ペドロジスト, 26 (2), pp.150-163</p>		<p>分皆伐を行い、土石流に対する抵抗力が強い樹種(ケヤキ等)を植栽し、樹種転換を図る。 ※2</p> <p><b>【鳥取県】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・皆伐は、伐採中や伐採後の公益的機能が一時的に低下する(機能が回復するのに概ね 20 年程度必要となる)ため、伐採や路網の開設を起因とする山地災害の発生リスクがない事前に確認することが重要。</li> <li>・発生リスクが高い場合は、大面積の皆伐を避け、局所的に群状の残存域を設けるなど慎重な対応が必要。</li> <li>・特に山地災害の発生リスクが高い地域では、施業予定地の直下や下流 2km 以内に住家等の保全対象施設がある場合、皆伐作業を避ける。</li> <li>・事業地が花崗岩地帯で平均勾配 30° 以上の急斜面で選線線を含む場合、皆伐を避ける。 ※3</li> </ul> <p>※1) 滋賀県(2018) 「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」</p> <p>※2) 兵庫県(2015) 「災害に強い森づくり 事業検証報告書 2015」</p> <p>※3) 鳥取県農林水産部 森林・林業振興局づくり推進課・林業試験場(2019) 「主伐と更新等に関する手引き」</p>	<p>※4</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スギの伐採後の引き抜き抵抗力は 20 年で消失。【No.43】 ※5</li> <li>・植栽樹種は対象となる立地条件で地上部を最も大きく成長させることのできる樹種を優先すべき。 ※6</li> <li>・伐採後に植栽を行わなかった場合、斜面勾配が急になると崩壊面積率も急激に増加する。【No.44】 ※7</li> </ul> <p>※1) 佐藤弘和 (2006) 「浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法」日本森林学会誌 88 (1), pp.50-59 (堀田紀文ら(2001) 「森林流域における浮遊土砂流出への伐採への影響」 112 回日林講)</p> <p>※2) 田中伸治 (2015) 「皆伐が森林土壌に与える影響を調べました -ヒノキ人工林での事例-」森林のたより 742</p> <p>※3) 中森由美子ら (2012) 「急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土、土砂、リター移動量の変化」日本森林学会誌 94, pp.120-126</p> <p>※4) 黒岩知恵ほか (2004) 「森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究」砂防学会誌：新砂防 57(2), pp.16-26</p> <p>※5) 阿部和時 (2005) 「森林の持つ斜面崩壊防止機能」日本緑化工学会誌 31(3), pp.330-337</p> <p>※6) 山崎淳史ら 「根系引抜抵抗力による林野火災跡地植栽樹種の土壌緊縛作用の評価」日緑工誌 34(1) (阿部和時(1998) 「樹木根系の斜面崩壊防止機能」森林科学 22)</p> <p>※7) 黒岩知恵ほか(2012) 「地形形状と森林伐採や植栽状況を考慮した崩壊予測に関する研究」砂防学会誌, Vol. 65, No. 3, pp.12-20</p>	
	<b>水源涵養機能</b>		<b>山地災害防止・土壌保全機能</b>		<b>その他</b>	
その他	<p>・シカの食害がある場合、林内を明るくしても下草が失われて土壌が保護されない。シカの侵入の懸念がある場合、対策が必要となる。</p>	<p>・下層植生の消失は、雨滴衝撃により土壌表面に難透水性の被膜(クラスト)が形成されることで、土壌の浸透能を低下させる。 【No.12】 ※1</p> <p>・下層植生の発達したヒノキ人工林の表面流出率が 2% であるのに対して、下層植生の消失したヒノキ人工林では 34.3%。 ※2</p> <p>・スギ林・アテ林はヒノキ林よりも浸透能が高い。 【No.13】 ※3</p> <p>※1) 湯川典子ほか (1995) 「ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響 (1) 散水型浸透計による野外実験」日本林学会誌, 77 (3), pp.224-231</p> <p>※2) Gomi et al.(2008) "Evaluation of storm runoff pathways in steep nested catchments draining a Japanese cypress forest in central Japan: a geochemical approach". Hydrological Processes 24 (5): 550-566.</p> <p>※3) 小松 義隆ほか (2014) スギおよびアテ人工林における浸透能と林床被覆および透水係数の関係 水文・水資源学会誌 第 27 巻 第 3 号</p>	<p><b>【4】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・立木は存在するだけでも抵抗力として、すべり形状を裸地と比較して複雑にし、斜面の安定度を上昇させる。 【No.45】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・林床が植生やリターで被覆されていると表面流が発生しにくい。【No.46】 ※1,2</li> <li>・雨滴侵食が起きやすい下部斜面や凹地形で、林床被覆による雨滴侵食防止の効果が高い。 ※1</li> <li>・下層植生が優占する 40 年生スギ人工林の土砂移動量に対して、優占する下層植生のない 30 年生ヒノキ人工林の土砂移動量は約 10 倍。 【No.47】 ※3</li> <li>・土壌水分が飽和状態にあるときは、引き抜き抵抗力が自然含水時の 3 割減となる。 【No.48】 ※4 (一方で、抵抗力は土壌水分条件によって変化しないとする調査結果もあり。 ※5</li> </ul> <p>※1) 平田令子ほか (2015) 立地環境および林相の違いが林床被覆を通して表土侵食に与える影響 森林立地 57(2), 109-116</p> <p>※2) 荒木誠ほか (2005) 「間伐は森林の土壌を守るか」森林科学 44, pp.26-31</p> <p>※3) 渡邊次郎ほか (2013) 「森林構成と土砂流出防止効果」福島県林業研究センター 研究報告 (46), pp.41-50</p> <p>※4) 北原曜 (2010) 「森林根系の崩壊防止機能」水利科学 No.311</p> <p>(相馬健人ら(2006) 「土壌水分状態がヒノキ根系の引き抜き抵抗力に及ぼす影響」中部森林研究 54)</p> <p>(岩名祐ら(2009) 「飽和条件下におけるヒノキ根系の引き抜き抵抗力」中部森林研究 57)</p> <p>※5) 深見悠矢ほか(2011) 「土壌水分等の条件が異なる場合の立木引き抜き試験」日本森林学会誌 93, pp.8-13</p>	<p>・斜面が急になるほど、斜面に対して吹き降ろす風よりも、吹き上げる風に対して、根返りに対する抵抗力は弱くなる。 ※1</p> <p>※1) 茅島信行ほか(2010) 「斜面傾斜地における根系分布の偏りがスギの引き抜き試験に与える影響」森林立地 52(2), pp.49-55</p>	



## 図表集

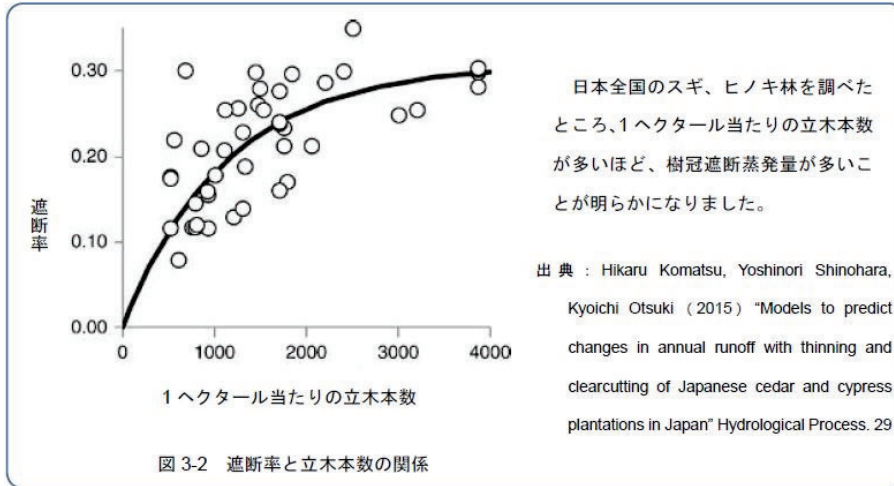
### 内容

水源涵養機能 .....	3
No.1 .....	3
No.2 .....	3
No.3 .....	4
No.4 .....	5
No.5 .....	6
No.6 .....	6
No.7 .....	7
No.8 .....	8
No.9 .....	8
No.10 .....	9
No.11 .....	9
No.12 .....	10
No.13 .....	10
山地災害防止・土壤保全機能 .....	11
No.1 .....	11
No.2 .....	11
No.3 .....	12
No.4 .....	12
No.5 .....	13
No.6 .....	14
No.7 .....	14
No.8 .....	15
No.9 .....	15
No.10 .....	16
No.11 .....	16
No.12 .....	17
No.13 .....	17
No.14 .....	18
No.15 .....	18
No.16 .....	19
No.17 .....	19
No.18 .....	20
No.19 .....	20
No.20 .....	21
No.21 .....	21
No.22 .....	22
No.23 .....	22
No.24 .....	23
No.25 .....	23
No.26 .....	24

No.27 .....	24
No.28 .....	25
No.29 .....	25
No.30 .....	26
No.31 .....	26
No.32 .....	27
No.33 .....	27
No.34 .....	28
No.35 .....	28
No.36 .....	29
No.37 .....	30
No.38 .....	31
No.39 .....	32
No.40 .....	32
No.41 .....	33
No.42 .....	33
No.43 .....	34
No.44 .....	34
No.45 .....	35
No.46 .....	35
No.47 .....	36
No.48 .....	36
その他.....	37
No.1 .....	37
No.2 .....	37
No.3 .....	38
No.4 .....	38
No.5 .....	39
No.6 .....	39
No.7 .....	40

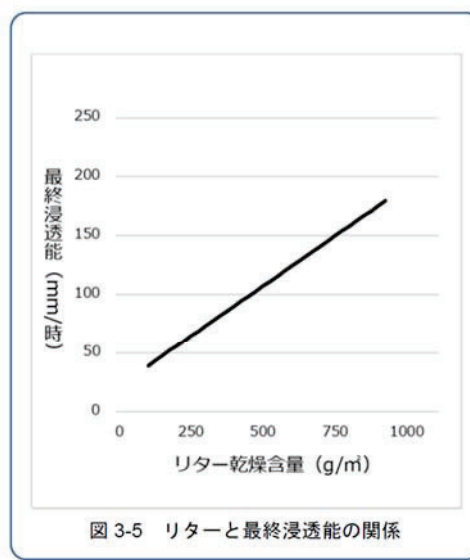
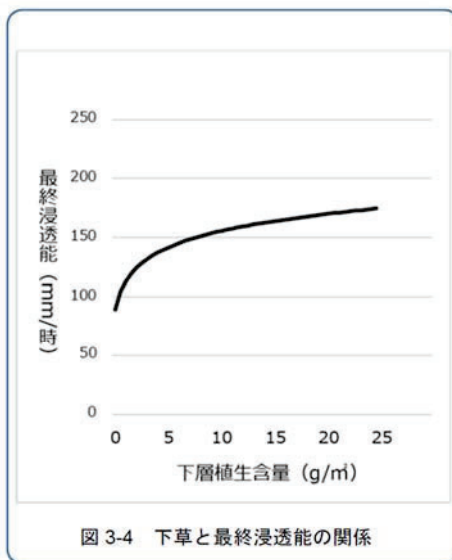
# 水源涵養機能

## NO.1



出典：水源の森林づくりガイドブック p.10

## NO.2



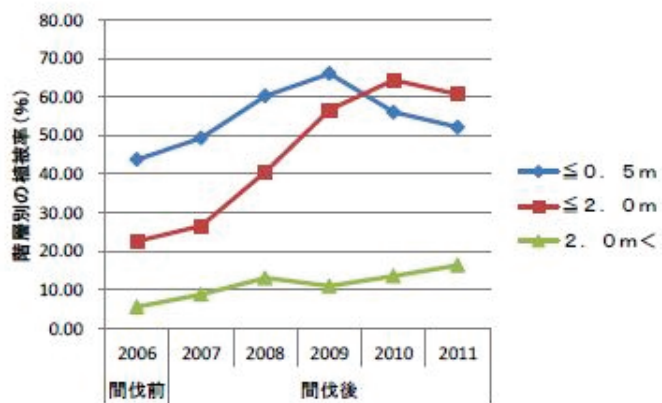
(図 3-4、図 3-5 出典：恩田裕一 (2014)「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 - 減災・森林・水循環 -』築地書館、77 ページをもとに作成)

出典：水源の森林づくりガイドブック p.12

(A) 無間伐林



(B) 間伐林



(C) 皆伐林

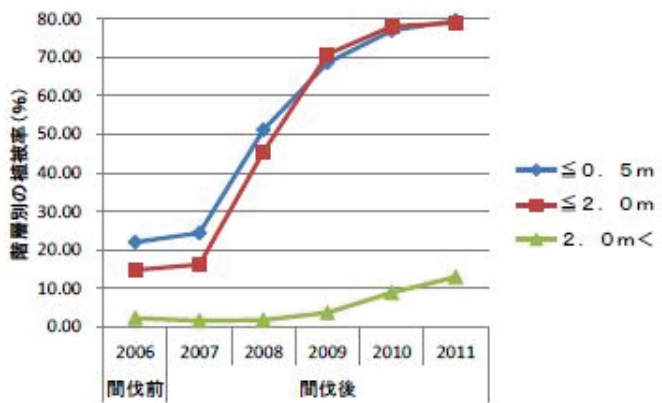
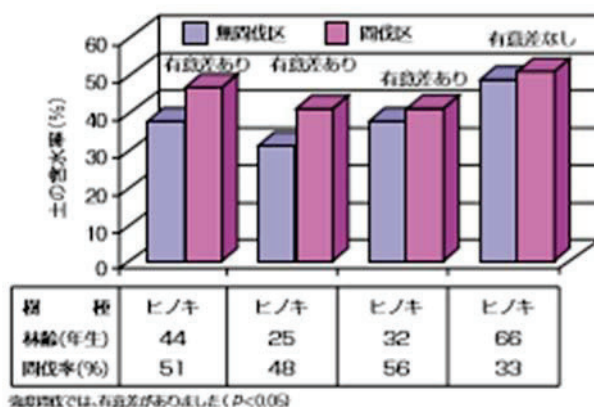
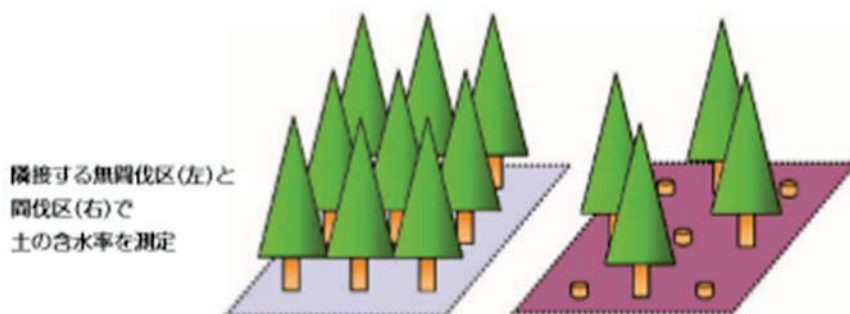


図7. 間伐の有無・程度の違いによる下層植生の被覆率の推移

注1) 間伐等の処理は2007年3月でその前後の推移を示す

注2) 地表から0.5m以下、0.5~2.0m、2.0m以上の3つの階層別の被覆率

出典：秋田県農林水産部森林整備課(2014)「スギ人工林の間伐と森林機能」

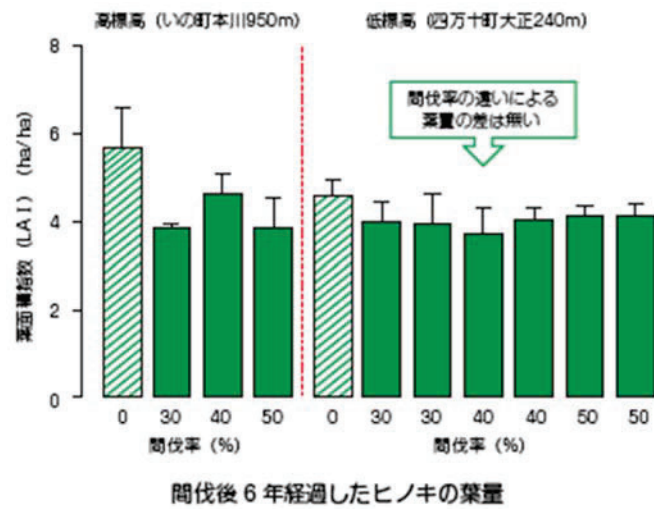


土の含水率は、無間伐区より間伐区のほうが湿っているという傾向がありました。



間伐する → 樹木が減る → 蒸発・蒸散が減る  
 → 土に含まれる水が増える  
 → 河川の流量が増える





出典：森林総合研究所（2010）「間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント」P1

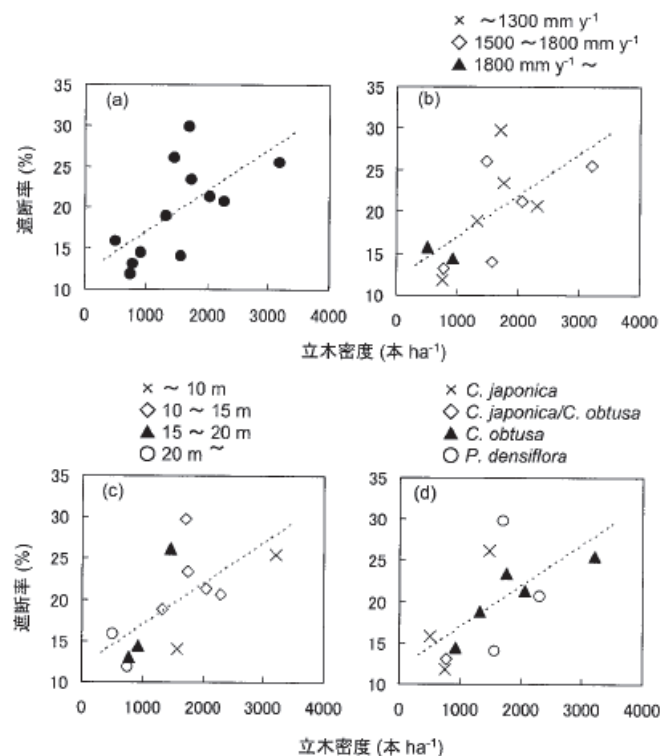


図-1. (a) 針葉樹林における立木密度と遮断率の関係  
 回帰直線は、遮断率 [% ] = 0.00498 × (立木密度 [本 ha<sup>-1</sup>]) + 12.0  
 で表現される。(b) 図-1aに同じ。ただし、年降水量で場合分け  
 されている。(c) 図-1aに同じ。ただし、樹高で場合分けされて  
 いる。(d) 図-1aに同じ。ただし、樹種で場合分けされている。

(3) ,pp.216-220

NO.7

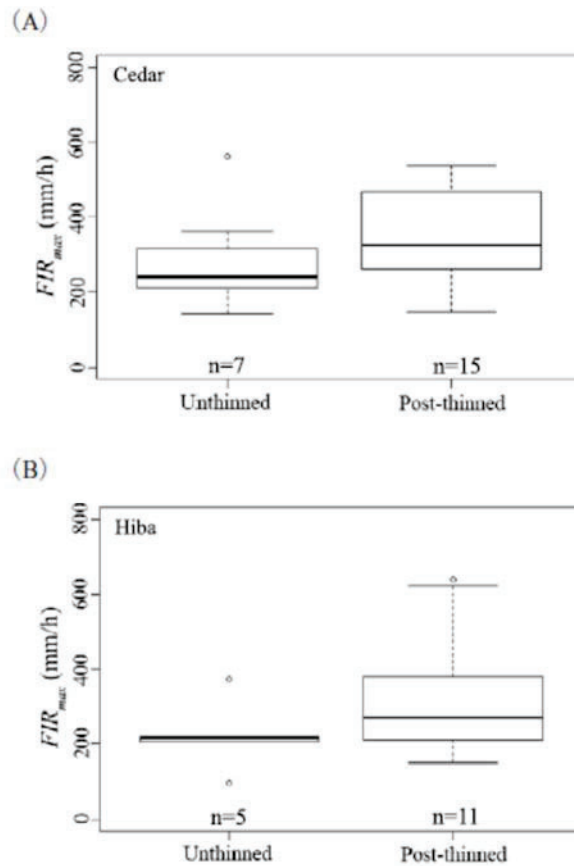


図-3 間伐の有無と最大最終浸透能 ( $FIR_{max}$ ) の関係  
(A) スギ林 (B) アテ林  
箱は値の25%から75%まで、箱内の線は中央値で、ひげは最大と最小値を示している。

NO.8

開空度	相対照度	林床植生の状態
0～8%	5%以下	林床植生ほとんどなし
9～17%	6～20%	林床植生がわずかに生育
18～27%	21～30%	林床植生に富む
28～45%	31～50%	陽性の雑草木に富む
46%以上	51～100%	陽性の雑草木に極めて富む

注1：早稲田 および センター研究部資料に基づく暫定的な表

出典：神奈川県（2003）「神奈川県 水源の森林づくり 広葉樹林整備マニュアル 水源かん養エリア編」P33

NO.9

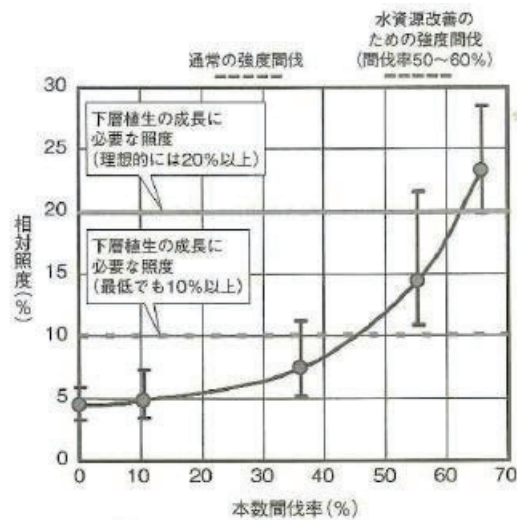
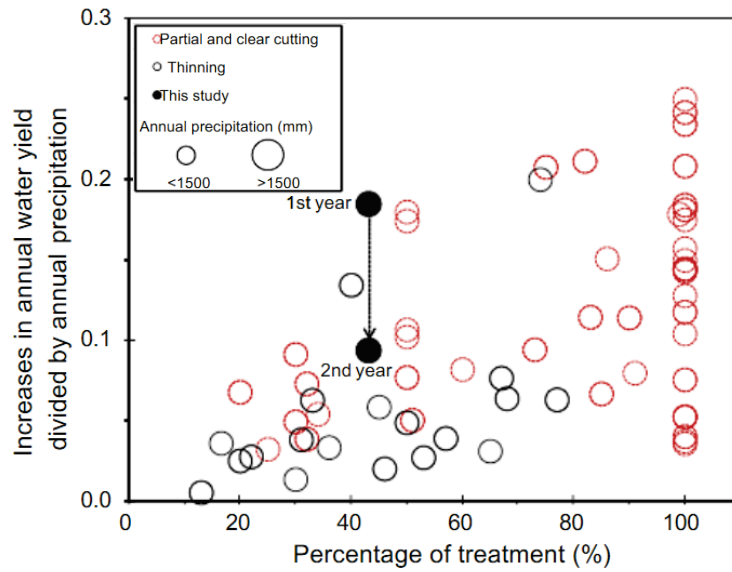


図 相対照度と本数間伐率の関係

出典：恩田裕一（2014）「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 -減災・森林・水循環-』築地書館

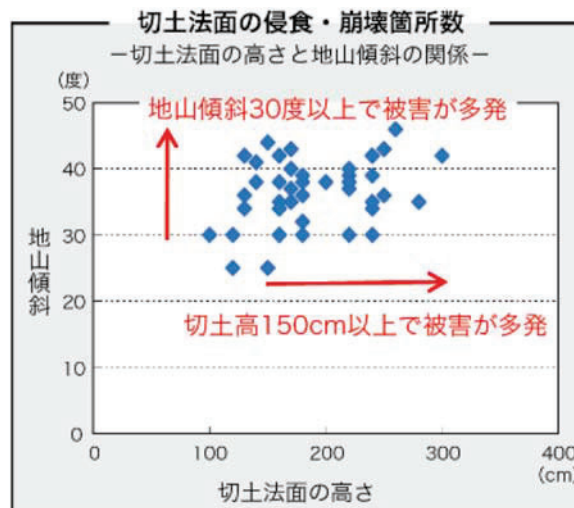
出典：水源の森林づくりガイドブック p.24

NO.10



出典 : Bui Xuan Dung et al.(2012) Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest, Journal of Hydrology 444–445 (2012) pp.51–62

NO.11



図：切土法面の侵食・崩壊箇所数  
(提供：森林総合研究所)

出典：水源の森林づくりガイドブック p.36

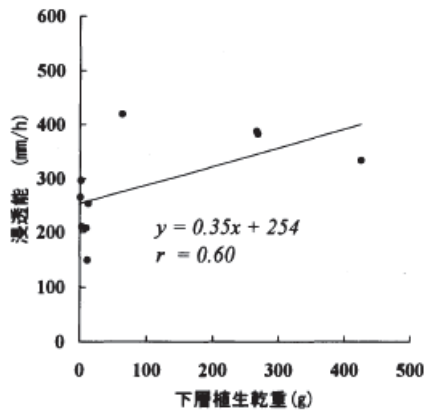


図-7. 下層植生と浸透能の関係

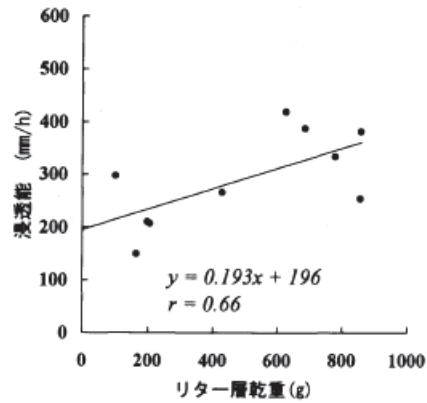


図-8. リター層乾重と浸透能の関係

出典：湯川典子ほか（1995）「ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響（I）散水型浸透計による野外実験」日本林学会誌,77（3）,pp.224-231

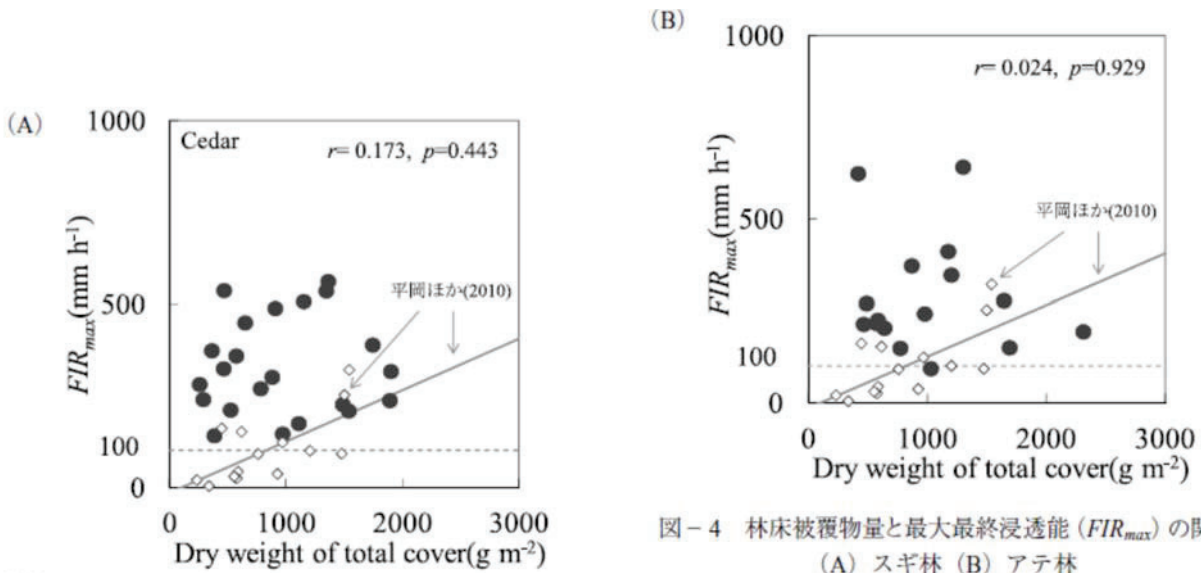
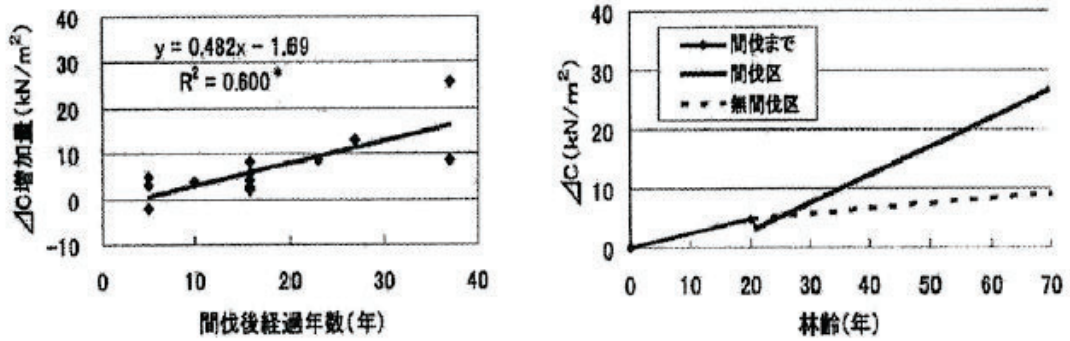


図-4 林床被覆物量と最大最終浸透能 ( $FIR_{max}$ ) の関係 (A) スギ林 (B) アテ林

小松 義隆ほか（2014）スギおよびアテ人工林における浸透能と林床被覆および透水係数の関係 水文・水資源学会誌 第27巻 第3号

NO.1



(ヒノキ人工林, 今井 2009)

図 5-22 間伐後の経過年数に伴う $\Delta C$ 増加量 (左図) と $\Delta C$ の経年変化モデル (右図)

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（解説） p.70（今井裕太郎・北原曜・小野裕（2009）：ヒノ

キ根系の崩壊防止力に及ぼす間伐の影響，中部森林研究，No.57，p.175-178.）

NO.2

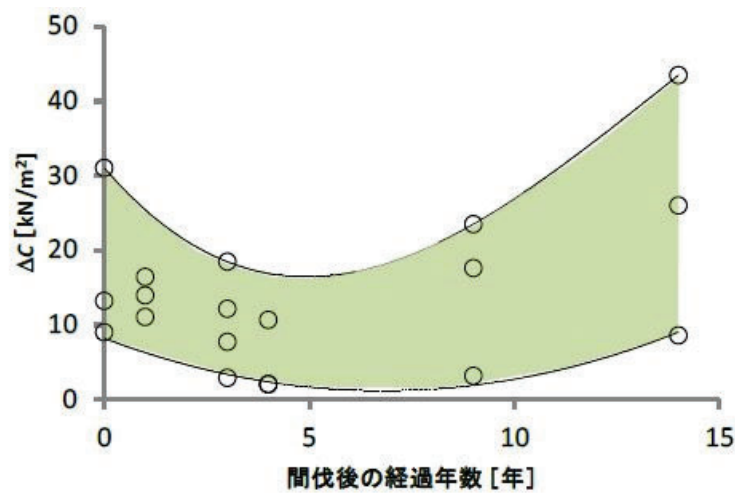


図 5-25 間伐後の経過年数と崩壊防止力 $\Delta C$  (林野庁<sup>18</sup>, 阿蘇のスギ)

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（解説） p.72（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）

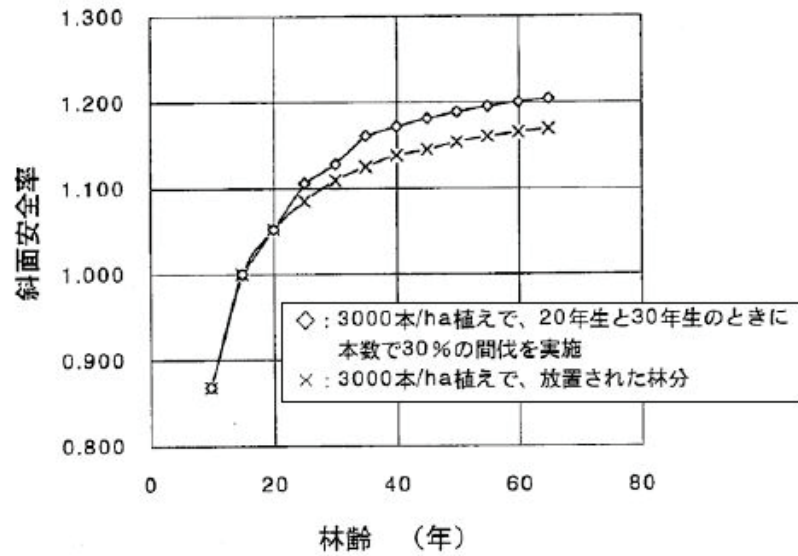
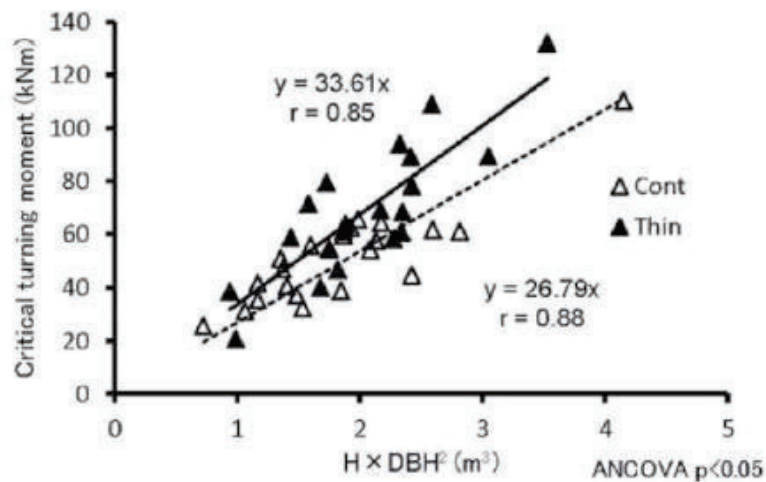


図 5-24 間伐林分と放置林における斜面安全率の違い (林野庁, 1999)

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（解説）p.71（林野庁（1999-2001）：災害に強い国土づくりのための間伐方法に関する調査報告書）



(藤堂・山瀬ら 2015、文献番号 88)

図 2.26 間伐区と対照区における樹木の引倒し抵抗モーメントと H×DBH<sup>2</sup> の関係

出典：令和元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 p.2-31

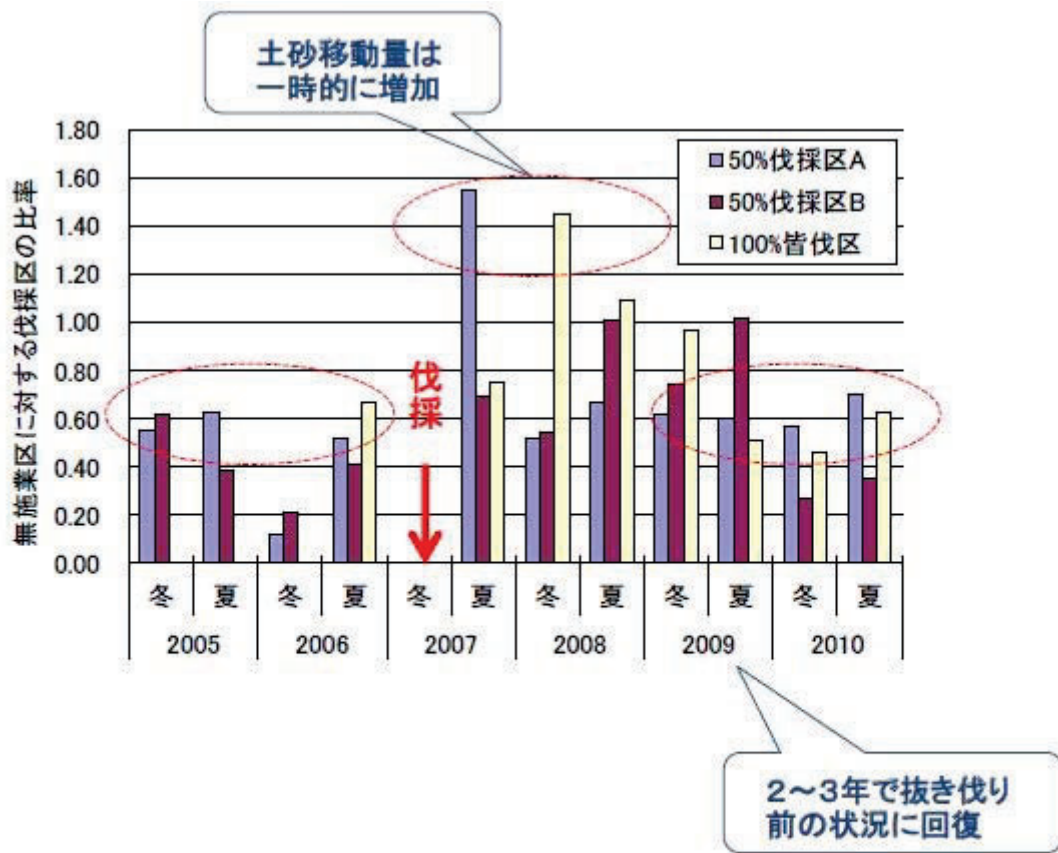


図9. 隣接した無間伐林と比較した間伐林の土砂移動量

注1) 無間伐林の移動量に対する比率  
注2) 皆伐区を含む

出典：秋田県農林水産部森林整備課(2014)「スギ人工林の間伐と森林機能」



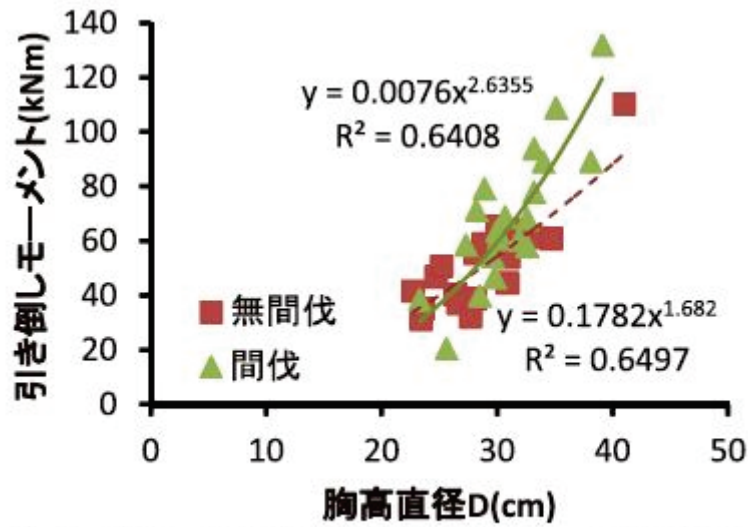


図-6 間伐の有無が胸高直径と引き倒しモーメントの関係式に与える影響

出典：藤堂千景ほか（2014）「「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について」砂防学会誌，Vol.67，

No.2，pp.36-41

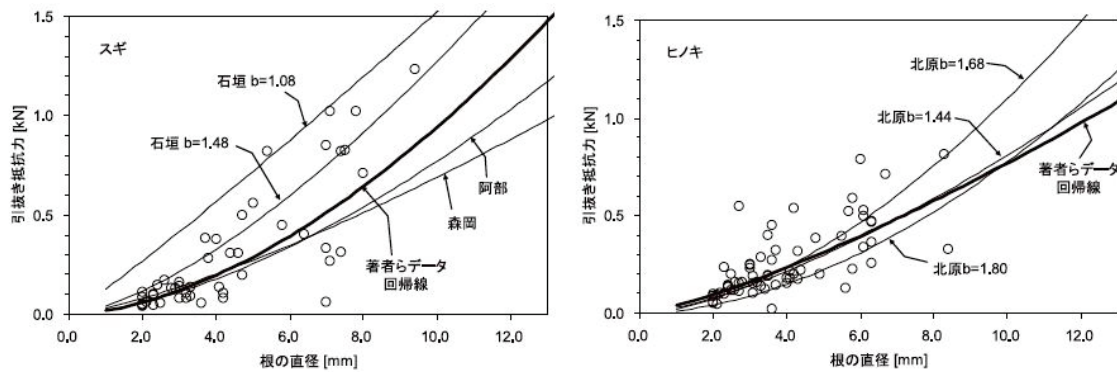


図-3 測定された引抜き抵抗力と根直径の関係  
Fig.3 XY plot of measured pulling resistance force to root diameter

出典：木下篤彦ほか（2013）「スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討」砂防学会誌，

Vol.65，No.5，pp.11-20

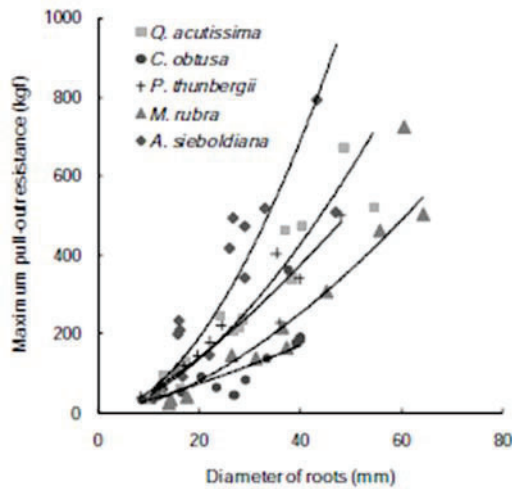


図-2 根の直径と最大引抜抵抗との関係  
 Fig. 2 Relationships between diameter of roots and maximum pull-out resistance

出典：山場淳史ほか(2008)「根系引抜抵抗力による林野火災跡地植栽樹種の土壌緊縛作用の評価」日本緑化

工学会誌 34(1), pp.3-8

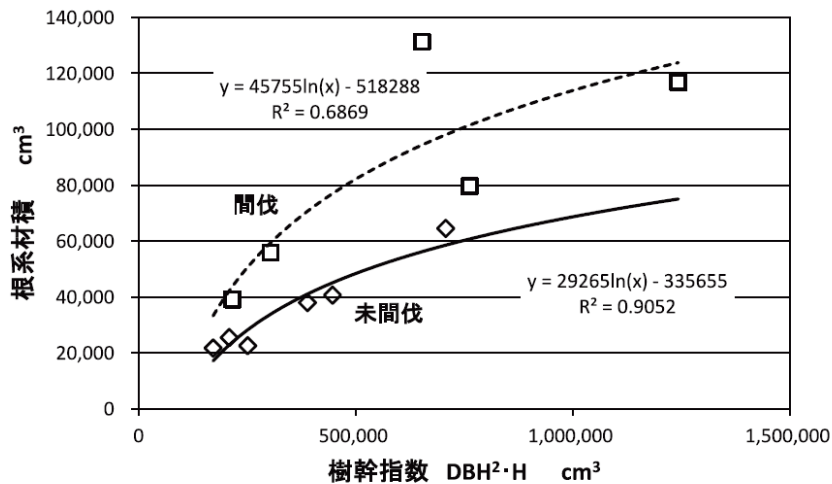


図-2 間伐林分と未間伐林分に生育している調査木の樹幹指数と根系材積の関係

出典：掛谷亮太ほか(2016)「スギ林分の間伐が根系生長と表層崩壊防止機能に与える影響」日本緑化工学会

誌 42(2), pp.299-307

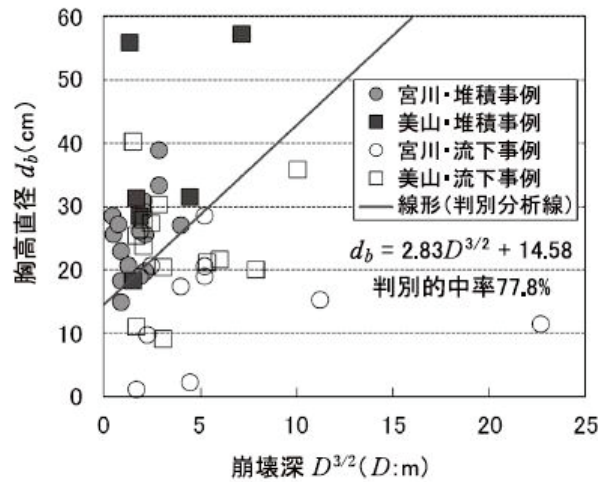


図-19 流下事例と堆積事例の判別分析結果（横軸を  $D^{3/2}$  とした場合）

Fig. 19 Result of discriminant analysis concerning flow case and sediment case (Horizontal axis is  $D^{3/2}$ )

出典：林拙郎ほか(2012)「森林斜面における立木の崩壊土砂への影響」砂防学会誌, Vol. 65, No. 4, pp.24-31

指標	樹種等	崩壊防止林		土砂流下緩衝林・土砂捕捉林		
		優先度	崩壊防止林	優先度	土砂流下緩衝林	土砂捕捉林
断面積合計	スギ	◎	45m <sup>2</sup> /ha 以上	○	40m <sup>2</sup> /ha 程度	
	ヒノキ	◎	35m <sup>2</sup> /ha 以上	○	35m <sup>2</sup> /ha 程度	
胸高直径	スギ	○	22cm 程度	◎	23cm 以上	25cm 以上
	ヒノキ	○	20cm 程度	◎	20cm 以上	20cm 以上
本数密度	スギ	○	1200 本/ha	○	960 本/ha	770 本/ha
	ヒノキ	○	1200 本/ha	○	1200 本/ha	1100 本/ha
収量比数		△	0.7~0.8	△	0.7 程度	0.6~0.7
形状比		○	80 以下 <sub>※</sub>	△	80 以下	
相対幹距比		△	20%程度	△	20%程度	
樹冠長率		△	30%以上	△	30%以上	

※気象害（風害・雪害）が懸念される場合、形状比をより下げることが望ましい。

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（概要） p.5

NO.12

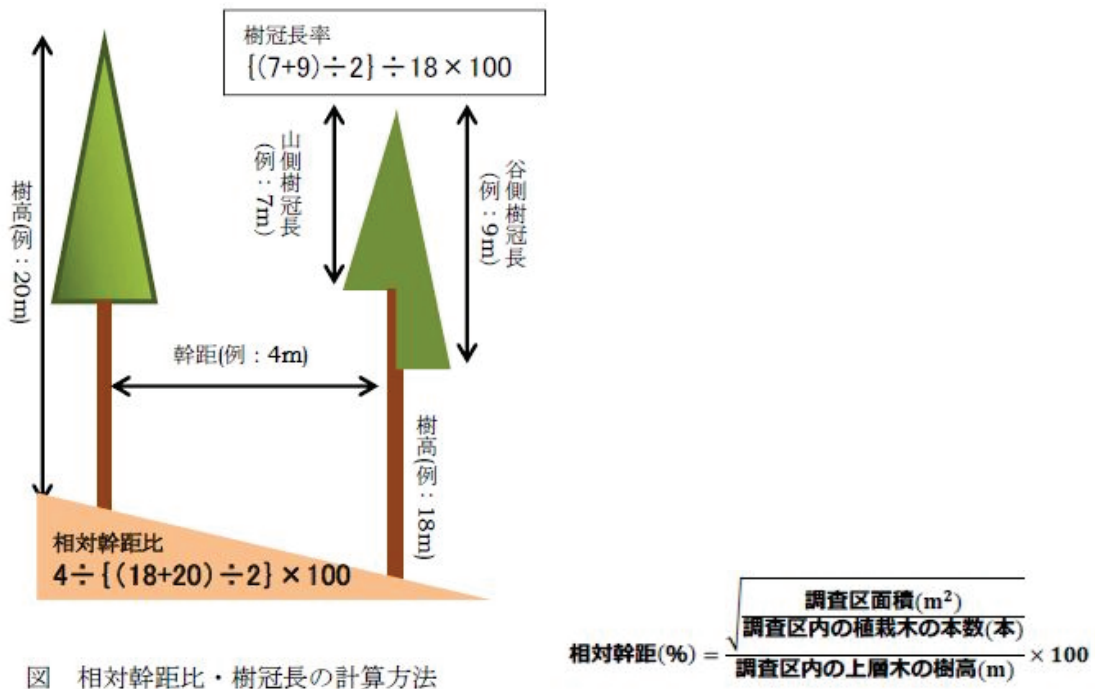
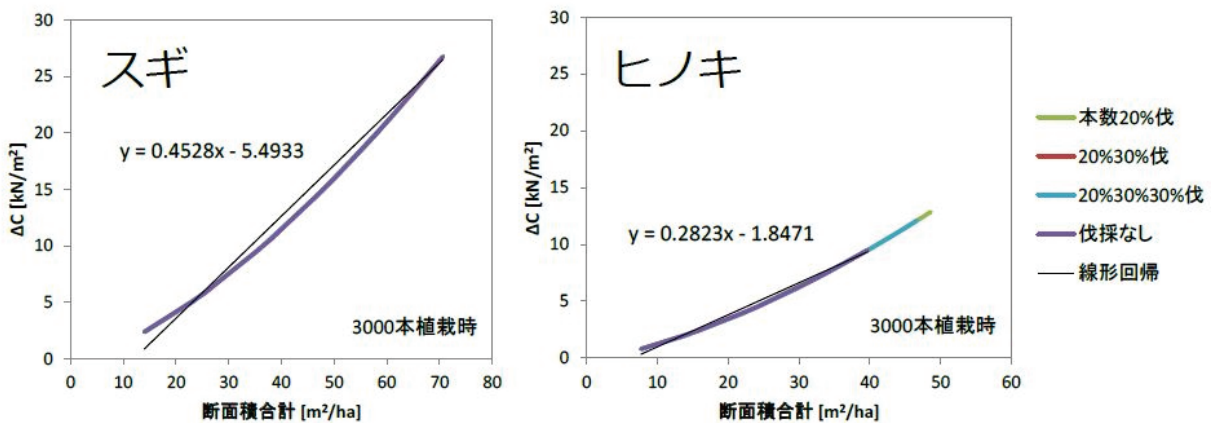


図 相対幹距比・樹冠長の計算方法

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（概要） p.6、水源の森林づくりガイドブック p.19

NO.13

崩壊防止力 $\Delta C$ と断面積合計



出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（解説） p.52

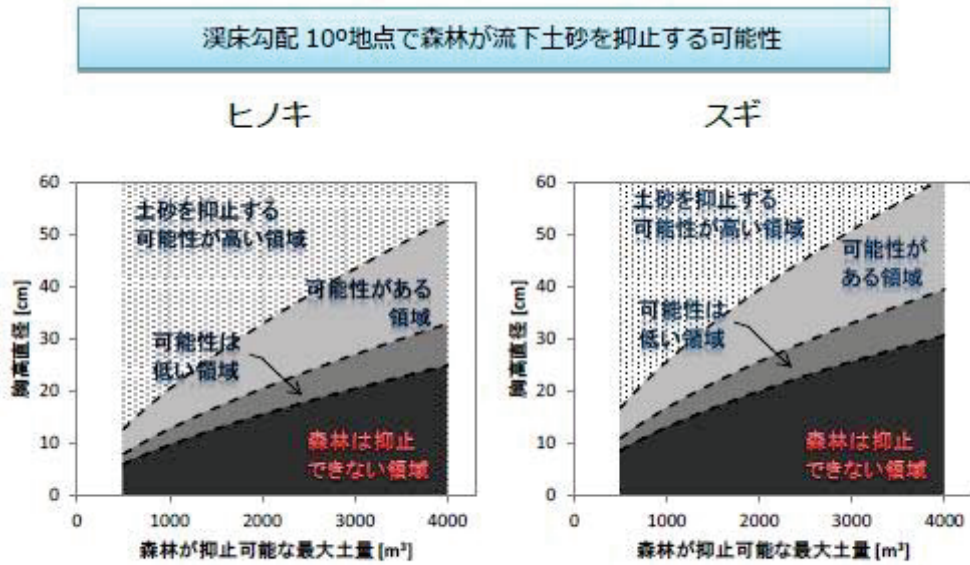


図 5-20 森林が流下土砂を抑止する可能性 (ヒノキとスギ)

出典：土砂流出防止機能の高い森林づくり指針（解説） p.68

樹種(P1)		立木密度(P2)			胸高直径(P3)	
区分	点数	本数 (本/ha)	点数		胸高直径 (cm)	点数
			針葉樹人工林	針葉樹人工林以外		
A (参考樹種: スギ、 針・広天然生林)	1.6	400~600	0.5	0.5	10~15	0.2
		600~800	0.8	0.8	15~20	0.5
B (参考樹種: ヒノキ、 広葉樹二次林)	1.2	800~1,600	1.0	1.0	20~25	1.0
		1,600~1,800	0.7	1.0	25~30	1.9
C (参考樹種: マツ類)	0.8	1,800~2,000	0.4	1.0	30~35	3.0
					35~40	4.4

出典：平成 27 年度流域山地災害等対策調査委託事業報告書  
 付属資料「流木災害対策の必要な森林を抽出する手法」手引書（案） p.30

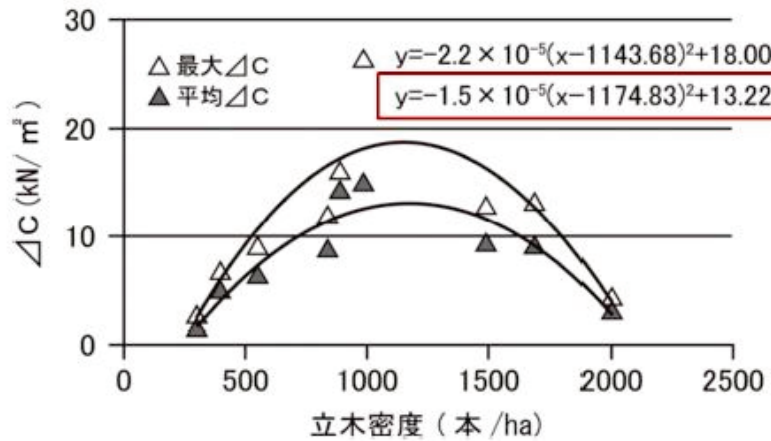


図 4.14 平均、最大ΔCと立木密度の関係

(出典: 伴、北原、小野(2011)「カラマツ根系の崩壊防止力と立木密度の関係」中森研 No.59[論文]2011)

出典：平成27年度流域山地災害等対策調査委託事業報告書付属資料  
「流木災害対策の必要な森林を抽出する方法」手引書（案） p.26

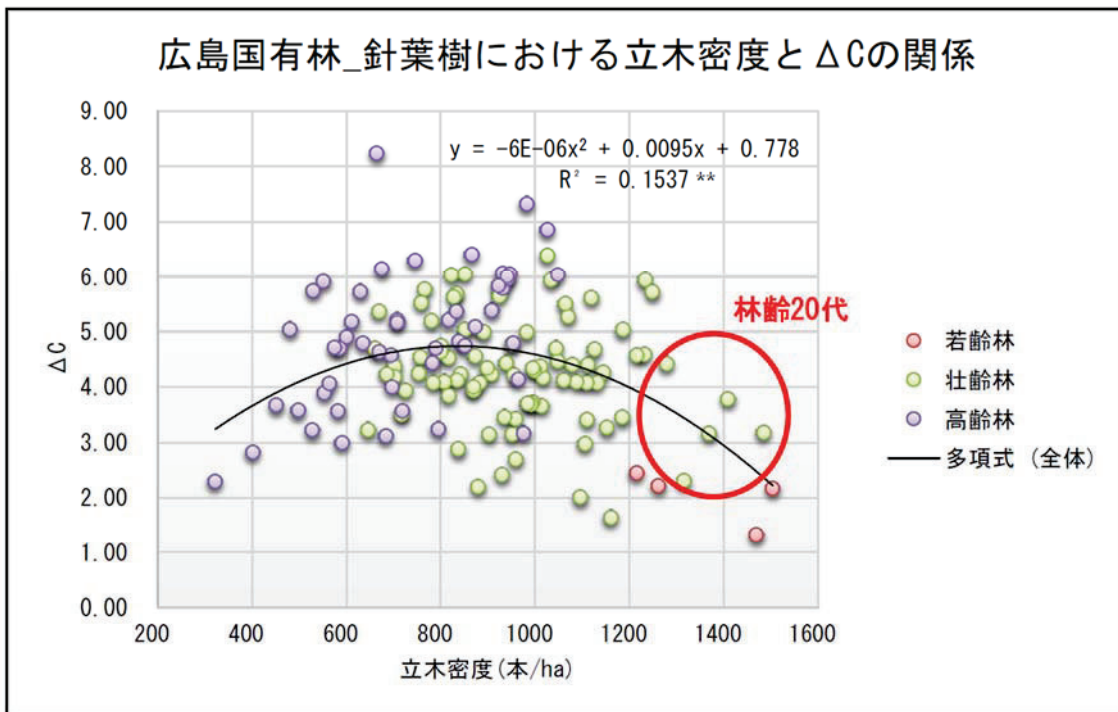


図 4.45 ヒノキ林における立木密度とΔCの関係

\*\*1%有意  
\*5%有意

出典：令和元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 p.4-37

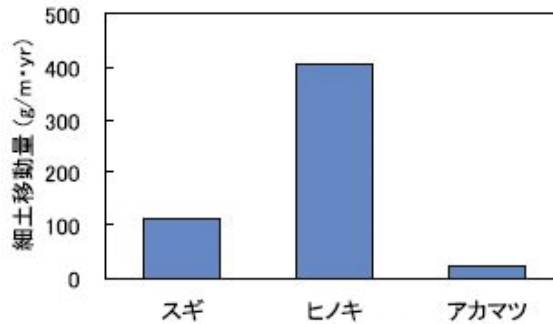
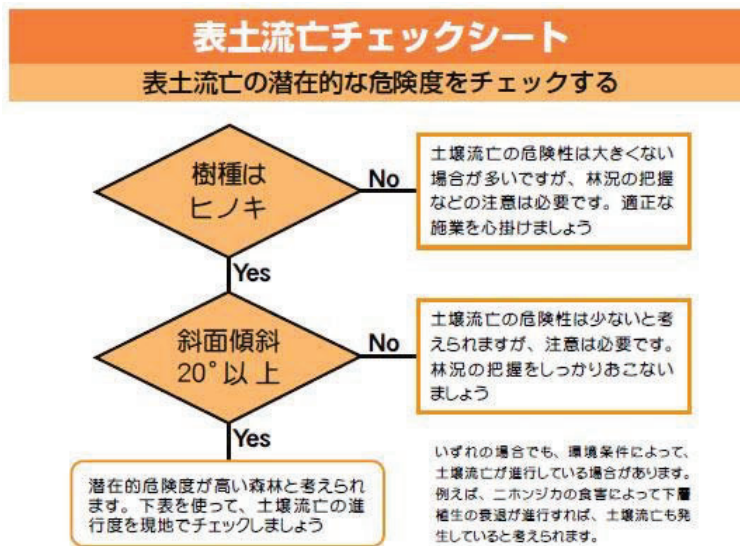


図 1.4 樹種の違いと細土移動量

出典：岐阜県森林研究所(2015)「ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために」



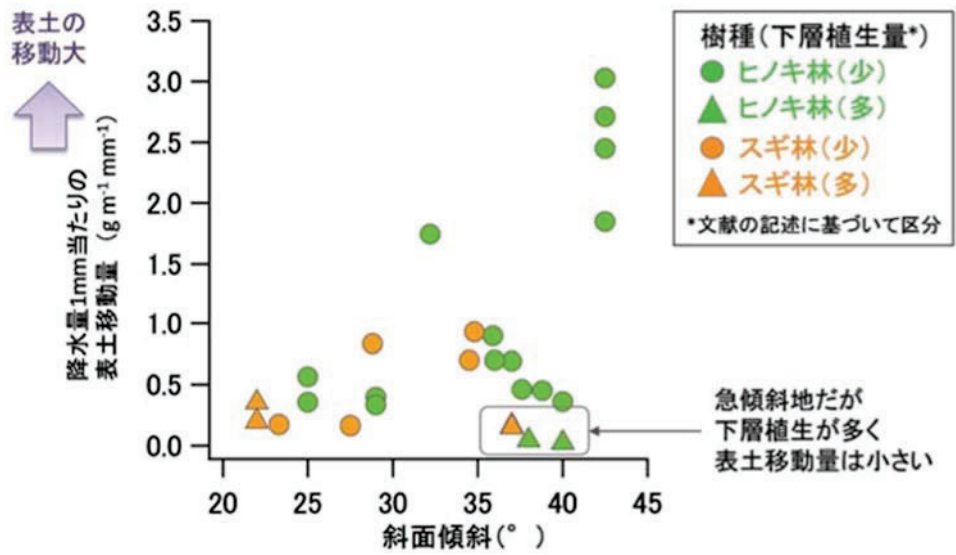
### 表土流亡の進行度を判定する

・地表面を観察し、細根の露出、石礫、土柱・段差の有無を確認します

確認項目	状態	チェック	点数	判定
細根の露出	目立つ		2	1点がひとつでもあれ ば、表土流亡の初期 段階です  1点が2個以上あれば、 表土流亡が進行しつ つあります  2点がひとつでもあれ ば、かなり表土流亡が 進行しています
	ある		1	
	なし		0	
石 礫	目立つ		2	
	ある		1	
	なし		0	
土柱・段差	目立つ		2	
	ある		1	
	なし		0	

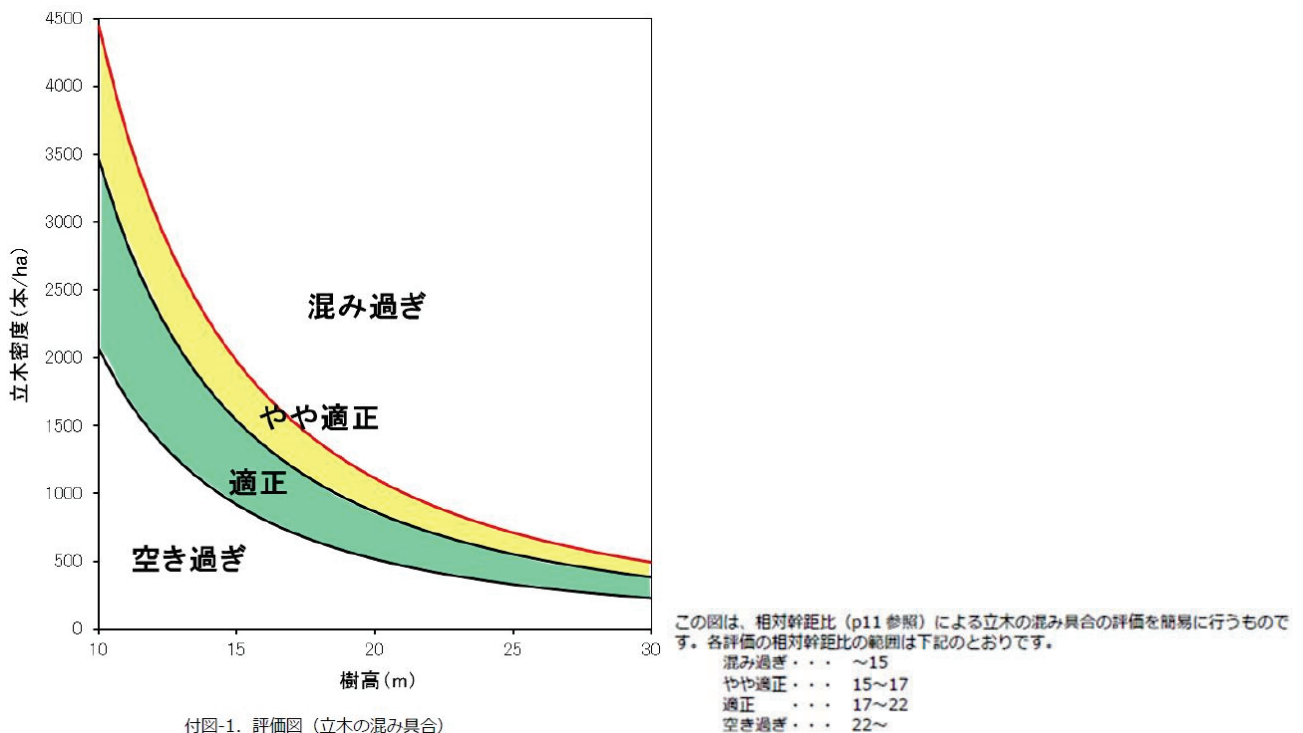
出典：岐阜県森林研究所(2015)「ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために」

NO.20



出典：森林総合研究所（2010）「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」P22

NO.21



出典：三重県農林水産部（2019）「「災害に強い森林づくり」の評価のためのガイドライン」



NO.22

適正樹間距離の早見表

(スイカの楕)

(適育樹種：杉・ヒノ、適用地：遊歩路)

表内の数値は平均樹間距離(m)

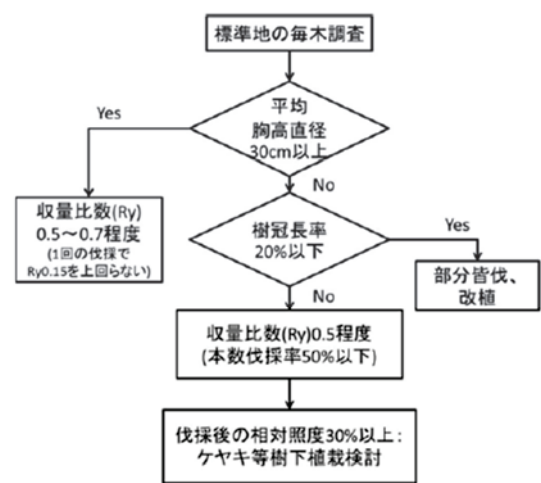
	上層木の平均樹高 (m)																																			
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30													
3000	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83		
2900	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	
2800	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
2700	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92
2600	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
本 2500	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2400	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
2300	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
2200	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
数 2100	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
2000	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
1900	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
1800	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
/ha 1700	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
1600	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
1500	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58
1400	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
1300	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
1200	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
1100	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
1000	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
900	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33
800	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54
700	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78
600	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08	4.08
500	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	4.47	
400	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
300	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	
200	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	

  適正本数 (Sr20.4~17.5)   
   要間伐 (Sr17.4~14.5)   
   緊急に間伐 (Sr14.4以下)

※1 Srとは、樹木間隔を樹高の何%にするかを示した数値で、<平均樹間距離/樹高×100>で算出できます。  
 ※2 表内の口で囲んだ欄は、Sr15~18の施業モデル例を示しています。(1回の間伐でSrが4以上変化することは避ける)  
 ※3 本表はあくまで目安なので、土壌条件、方位、遺伝的性質等によりある程度の調整が必要です。

出典：滋賀県（2018）「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」

NO.23



但し、過去に雪害が起こった箇所および雪害の危険性がある箇所では、強度間伐は行わず、弱～中程度の間伐を数回繰り返すこと

図IV-2-3 災害緩衝林の整備フロー図 (図IV-2-1~3、表IV-2-1は藤堂ら2014)

出典：兵庫県（2015）「災害に強い森づくり 事業検証報告書」P21（藤堂千景ら（2014）「「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について」）

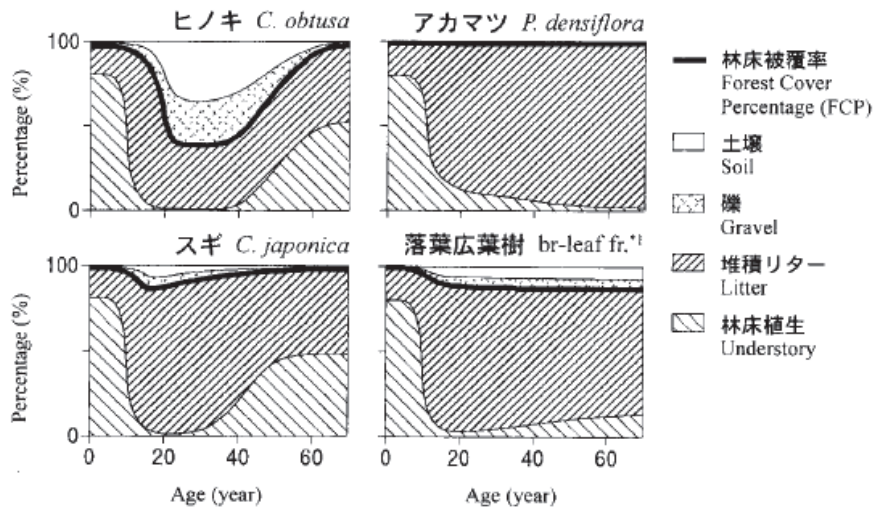


図-5. 林齢の変化に伴う林床要素ごとの占有率ならびに平均林床被覆率の変動模式

出典：三浦寛（2000）「表層土壌における雨滴浸食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価」日本林學會誌 82（2）,pp.132-140

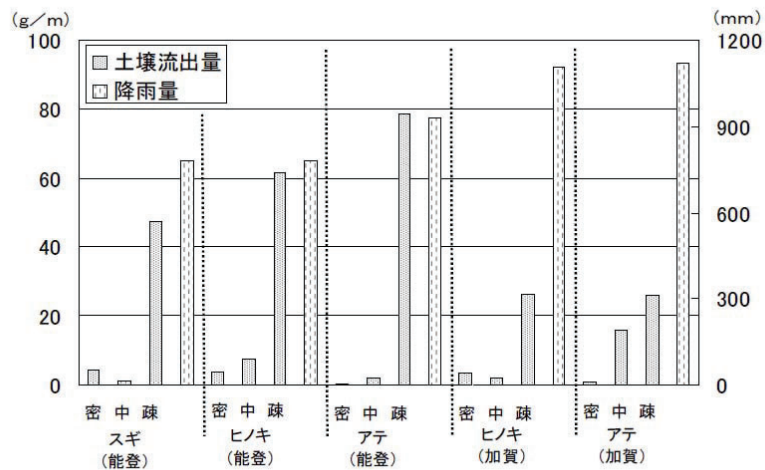


図-1 各林分における下層植生被度と土壌流出量の関係-全期間-

出典：小倉晃ほか（2008）「林種および下層植生被度が異なる人工林の土壌流出量」石川県林業試験場研究報告 (40), pp.27-28

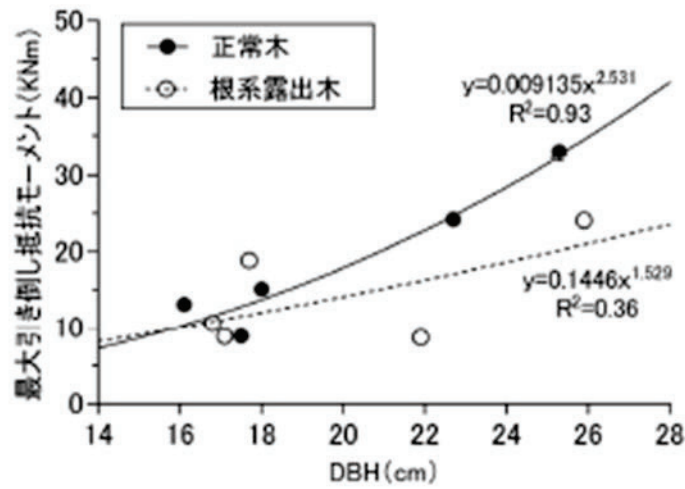


図-3 DBH と最大抵抗モーメントの関係の比較

出典：島田博匡(2018)「根元付近の根系が露出したヒノキ立木の引き倒し抵抗力」日本緑化工学会誌 44(1), pp.123-126

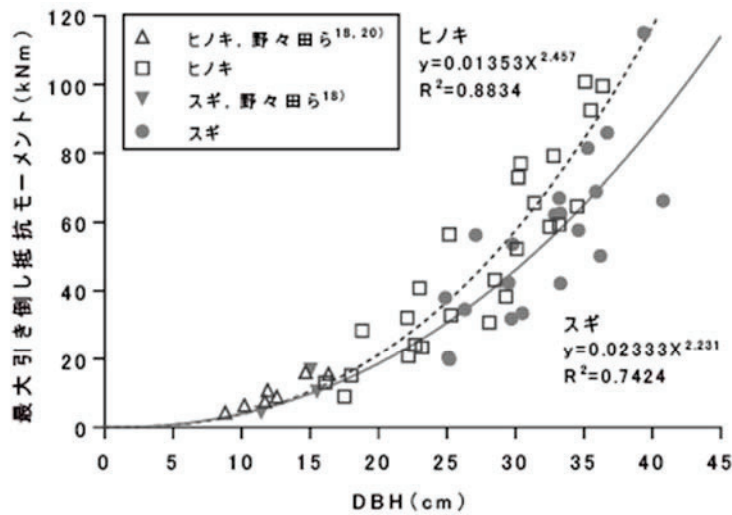
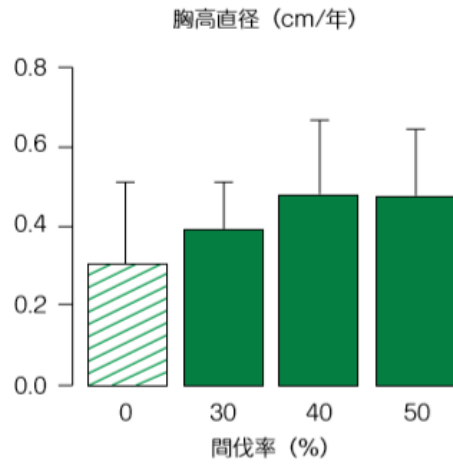


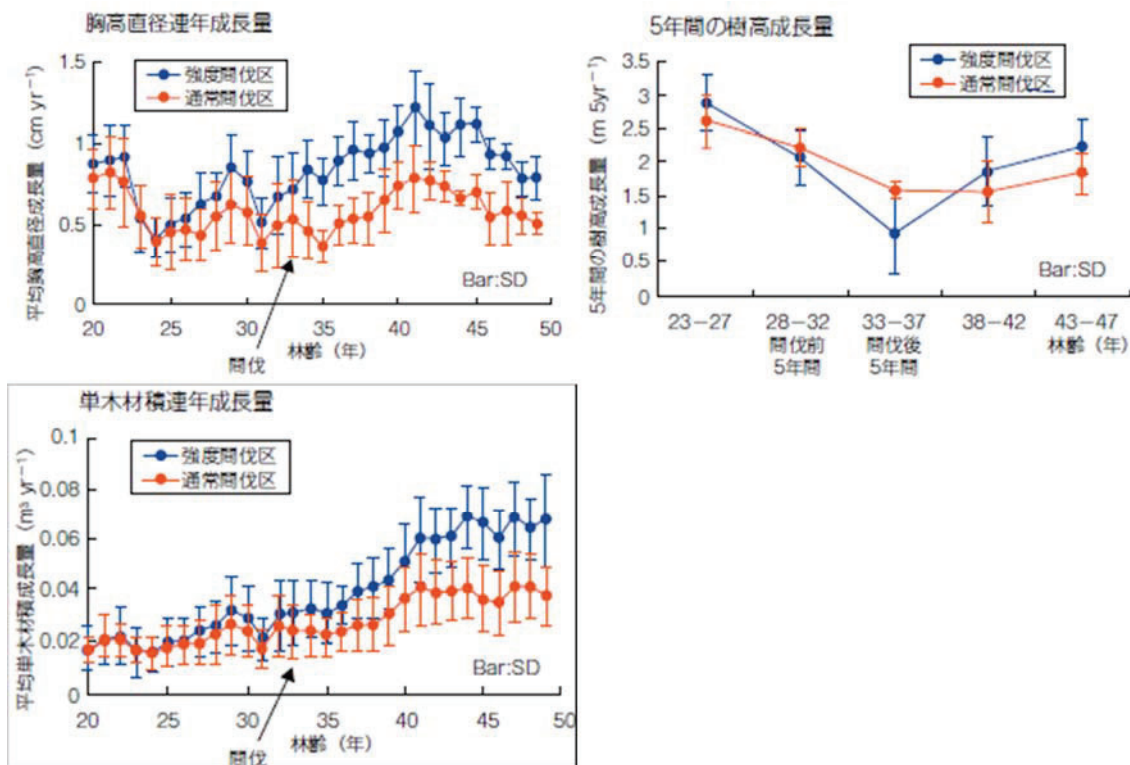
図-3 DBH と最大抵抗モーメントの関係

Fig. 3 Relationship between DBH and critical turning moment.

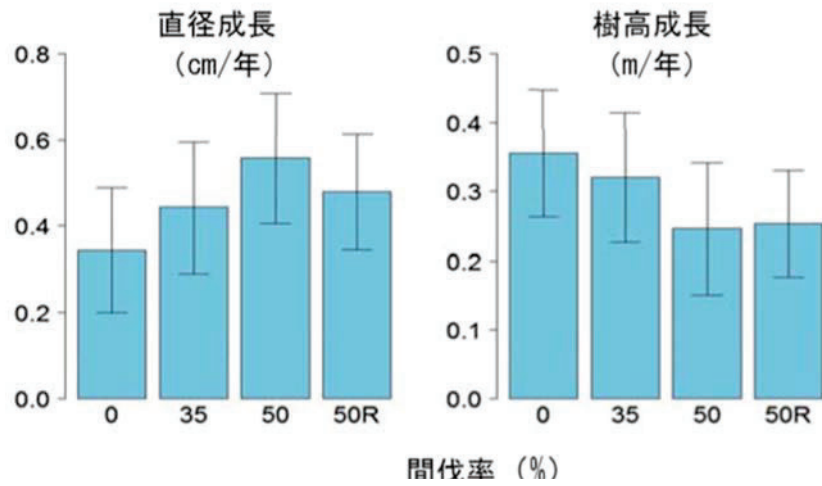
出典：島田博匡ほか(2017)「三重県中部地域におけるスギ・ヒノキ立木の引き倒し抵抗力」日本緑化工学会誌 43(1),pp. 138-143



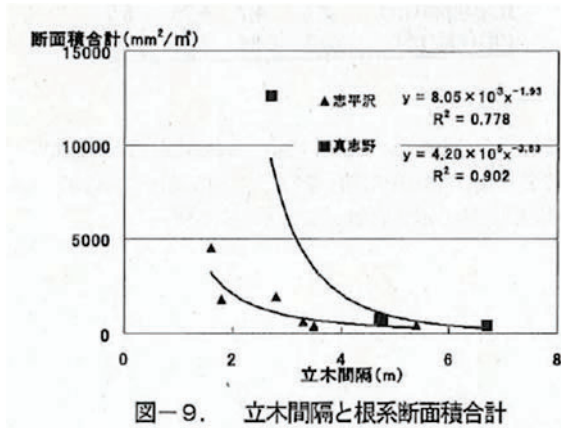
出典：森林総合研究所（2010）「間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント」P2



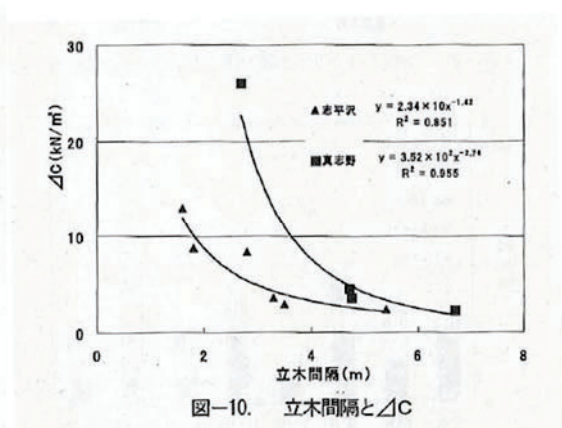
出典：森林総合研究所（2010）「間伐遅れの過密林分のための強度間伐施業のポイント」P4



出典：森林総合研究所（2016）「これからの森林づくりのために 持続的な人工林管理のヒント」P16



図一9. 立木間隔と根系断面積合計



図一10. 立木間隔とΔC

出典：伴博史ほか（2009）「間伐がカラマツ根系の崩壊防止機能に及ぼす影響」中部森林研究

No.57, pp.179-182

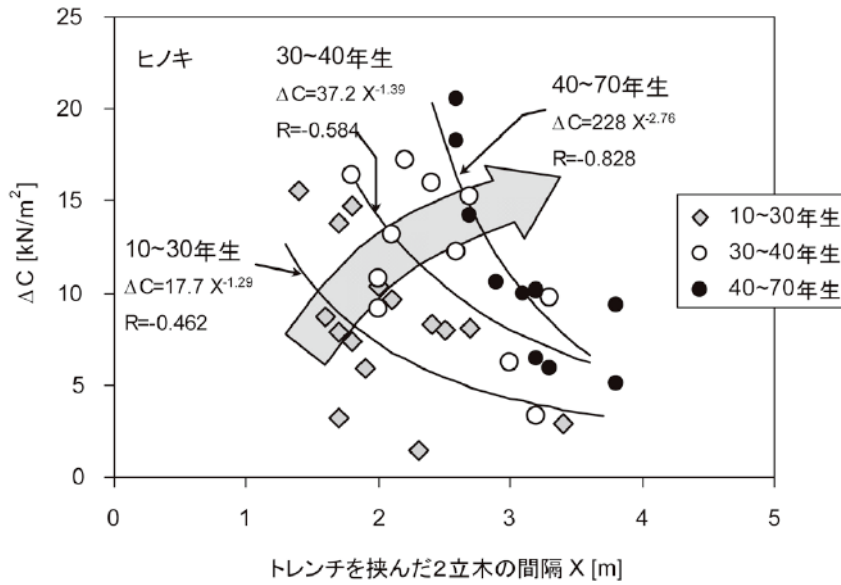


図-10 ヒノキの断面抵抗  $\Delta C$  と立木間隔（林齢別）

出典：木下篤彦ほか（2013）「スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討」砂防学会誌，

Vol.65, No.5, pp.11-20

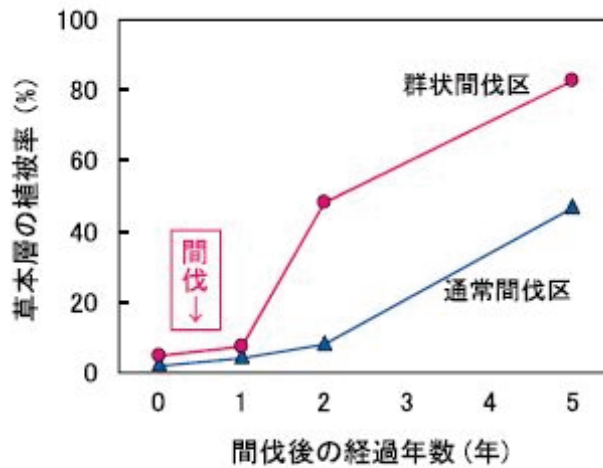


図 3.12 間伐試験地における下層植生の回復経過

出典：岐阜県森林研究所(2015)「ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために」

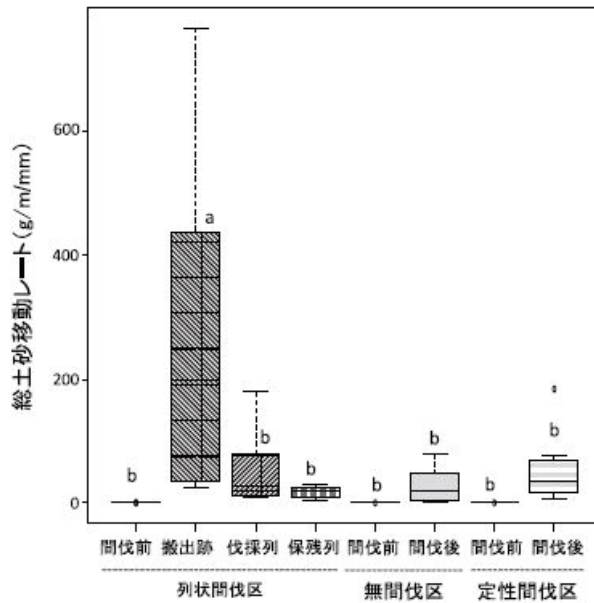


図-4. 各処理区における間伐前後の総土砂移動量レートの比較  
 図中の異なるアルファベットは、処理・間伐前後間で有意差があることを示す(p < 0.05)。ボックスは四分位範囲(25~75パーセントイルの範囲)を示し、ボックス中の線は第二四分位数(中央値)を示す。上下のエラーバーは四分位範囲の1.5倍の範囲内にある最大値および最小値をそれぞれ示す。エラーバーよりも外側の値は外れ値として白丸で示されている。

出典：溝口拓朗ほか(2018)「間伐方法の違いが表土流出に及ぼす短期的影響」 森林立地 60 (1) , pp.23~

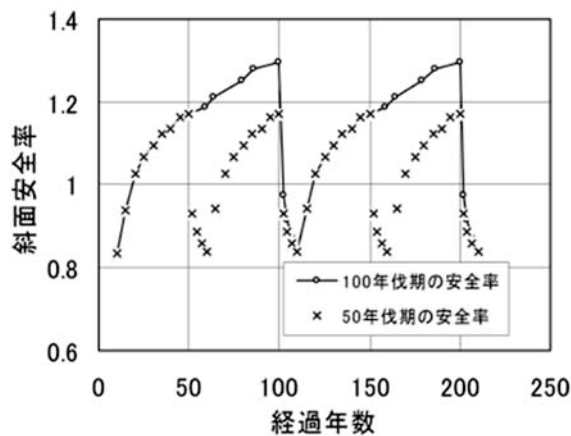


図-12 50,100年伐期スギ林分における斜面安全率の経年変化

出典：阿部和時（2005）「森林の持つ斜面崩壊防止機能」日本緑化工学会誌 31(3), pp.330-337

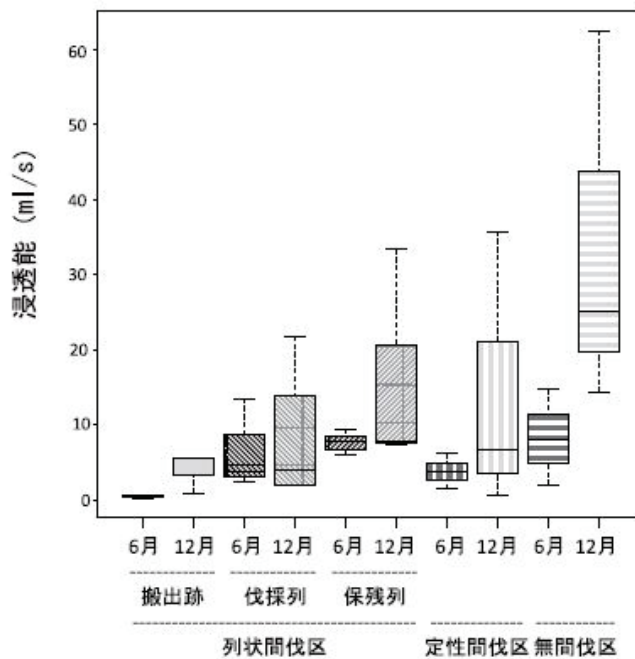


図-9. 間伐直後から6か月後までの各区分における浸透能の変化  
 ボックスは四分位範囲(25~75パーセントイルの範囲)を示し、ボックス中の線は第二四分位数(中央値)を示す。上下のエラーバーは四分位範囲の1.5倍の範囲内にある最大値および最小値をそれぞれ示す。

出典：溝口拓朗ほか(2018)「間伐方法の違いが表土流出に及ぼす短期的影響」 森林立地 60 (1) , pp.23~



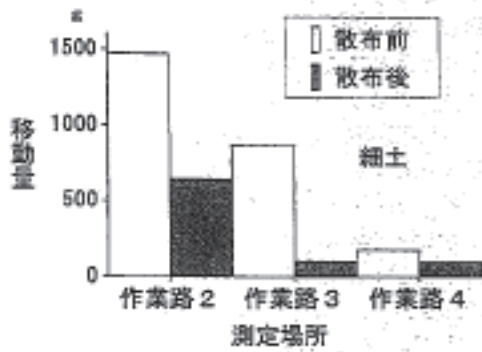


図-9. 細土の移動量の変化

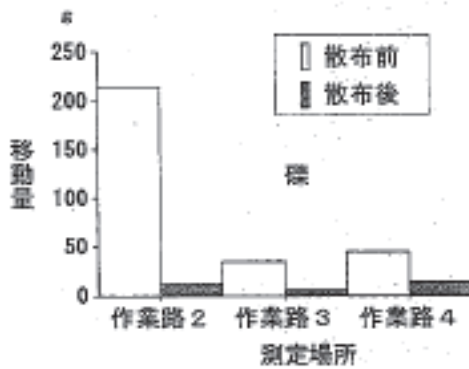


図-10. 葉の移動量の変化

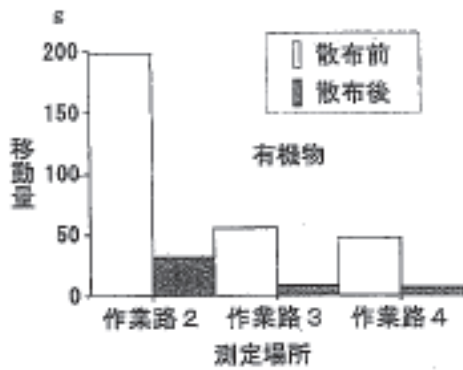


図-11. 有機物の移動量の変化

作業路 2：植生がほとんど見られない急傾斜（平均傾斜 20°）  
 作業路 3：植生がほとんど見られない中傾斜（平均傾斜 17°）  
 作業路 4：植生がほとんど見られない緩傾斜（平均傾斜 12°）

出典：佐々木重行ほか（2010）「作業路での土砂移動と枝条散布による抑制効果」福岡県森林研報（11），

pp.33-38

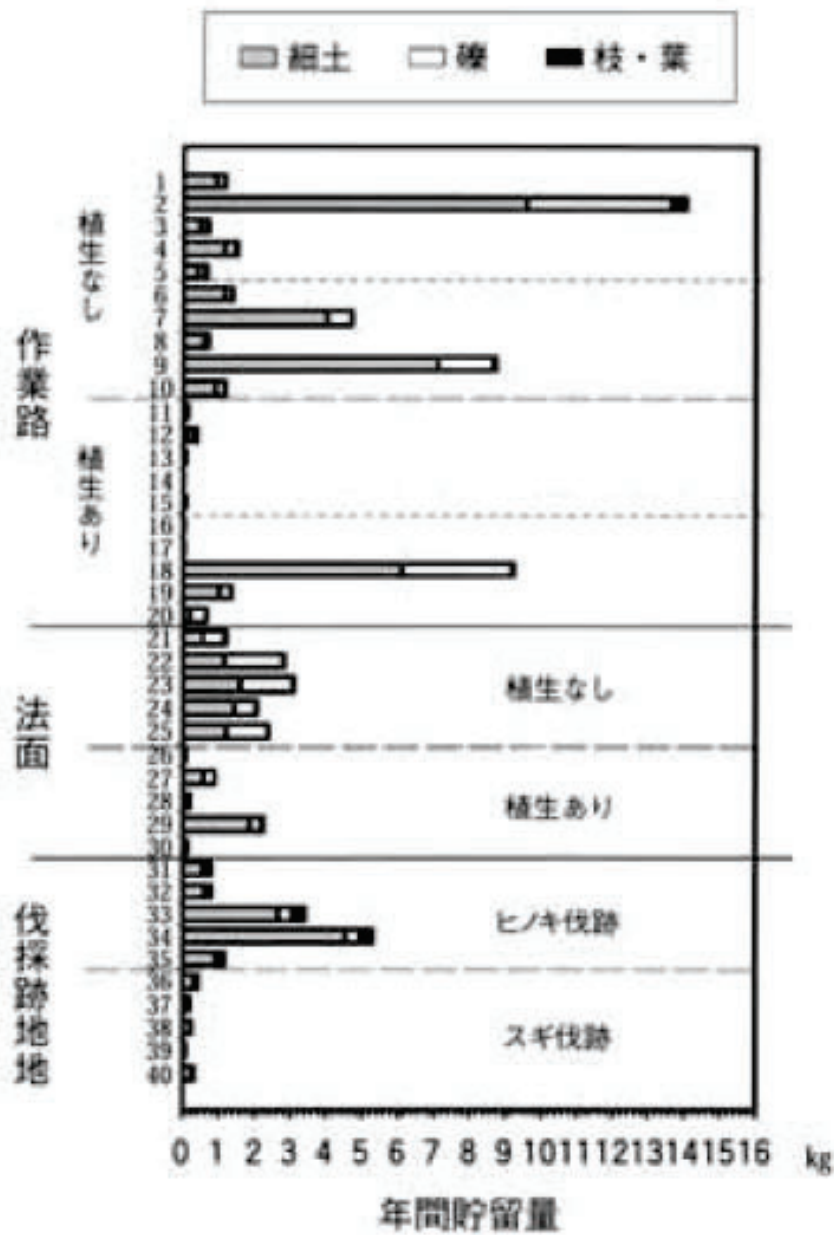
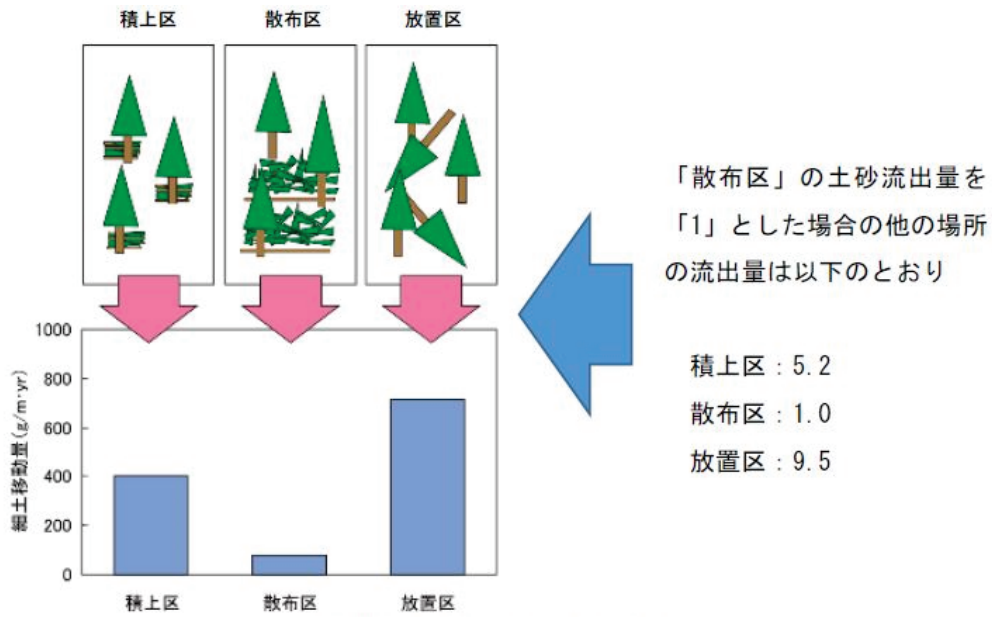


図-1. 各測定地点の細土、礫、枝・葉の年間貯留量

出典：佐々木重行ほか（2009）「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」九

州森林研究 62,pp.206-207



図：間伐木の処理方法と細土移動量

出典：岐阜県森林研究所（2015）「ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために」

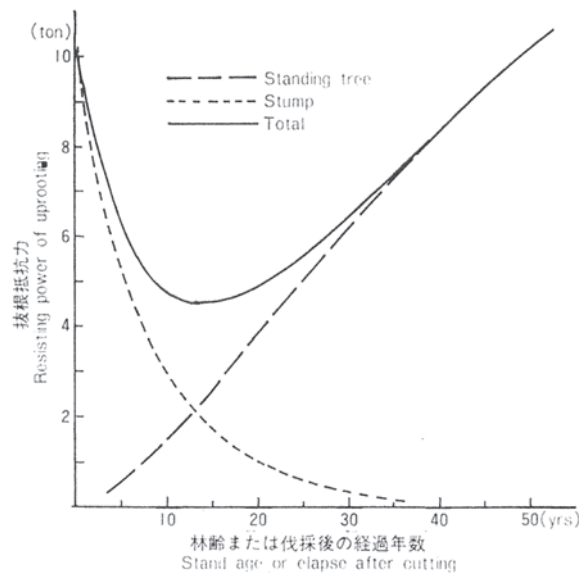


Fig. 13 林齢または伐採後の経過年数と抜根抵抗力の関係（スギ）

出典：滋賀県（2018）「琵琶湖の保全・再生の視点に立った森林整備指針」（北村（1981）「伐根試験を通して推定した材木根系の崩壊防止機能」）

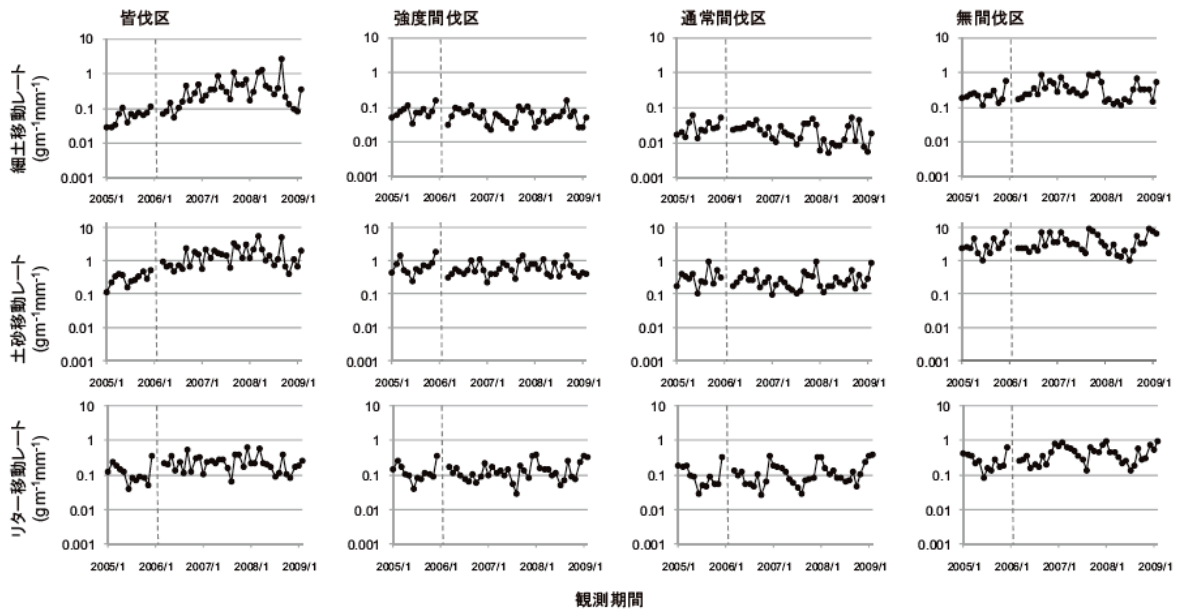


図-1. 各処理区における細土，土砂，リターの平均物質移動レート ( $g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ ) の月変化  
 図中の破線は，皆伐，間伐処理の実施時期を示す。

出典：中森由美子ら（2012）「急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土，土砂，リター移動量の変化」日本森林学会誌 94,pp.120-126

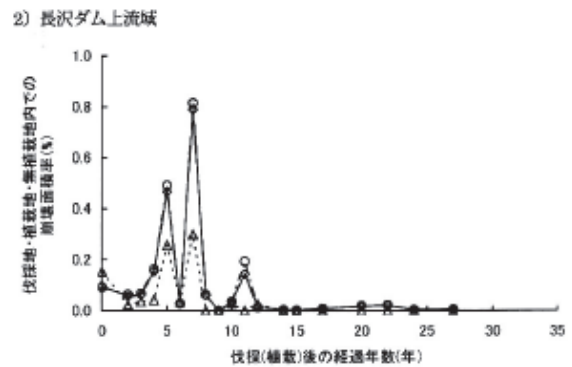
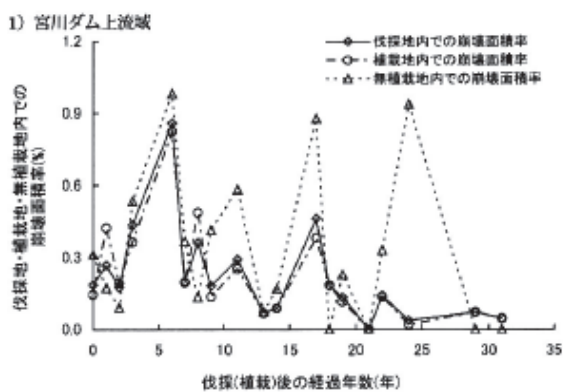


図-5 森林伐採もしくは植栽後の経過年数に伴う崩壊発生状況の相違

出典：黒岩知恵ほか（2004）「森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究」砂防学会誌：新砂防 57(2), pp.16-26

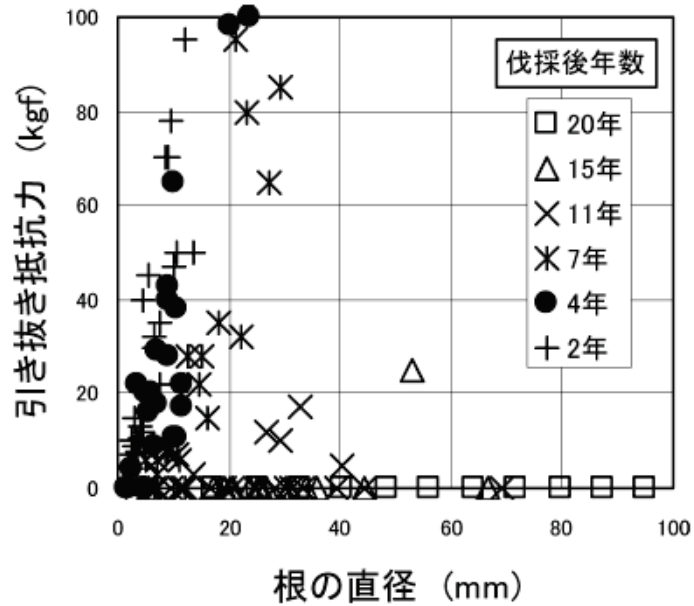


図-11 伐採後の経過年数が異なるスギの引き抜き抵抗力と直径の関係

出典：阿部和時（2005）「森林の持つ斜面崩壊防止機能」日本緑化工学会誌 31(3), pp.330-337

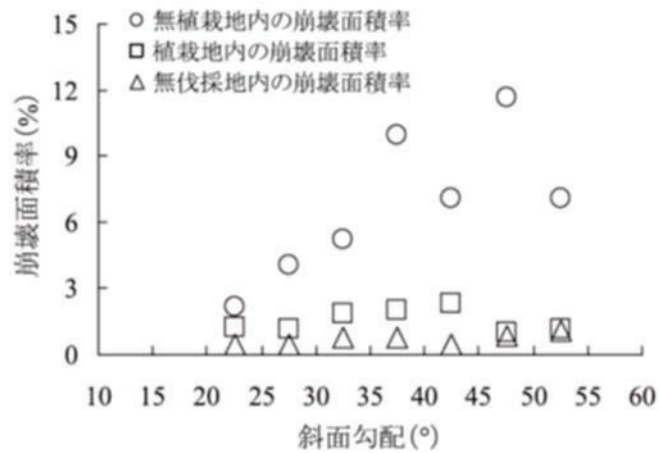
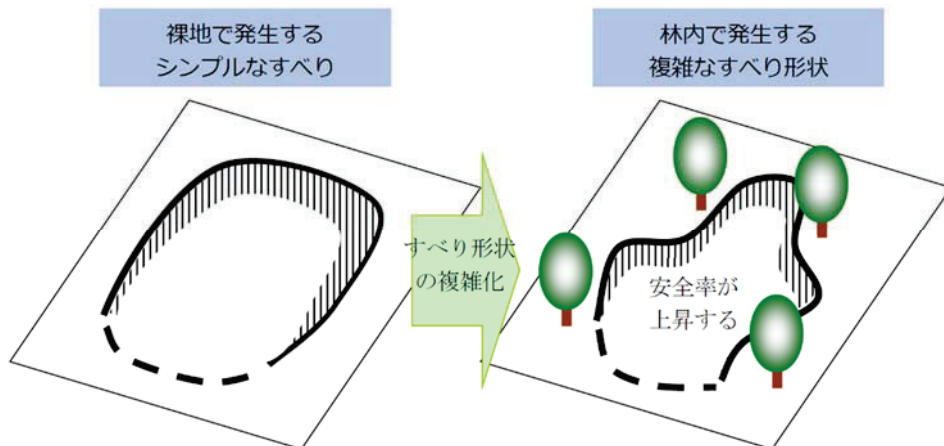


図-4 無伐採地・植栽地・無植栽地における斜面勾配と崩壊面積率との関係（宮川ダム上流域）

出典：黒岩知恵ほか(2012)「地形形状と森林伐採や植栽状況を考慮した崩壊予測に関する研究」砂防学会

誌, Vol.65, No.3, pp.12-20



出典：令和元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 p.2-37

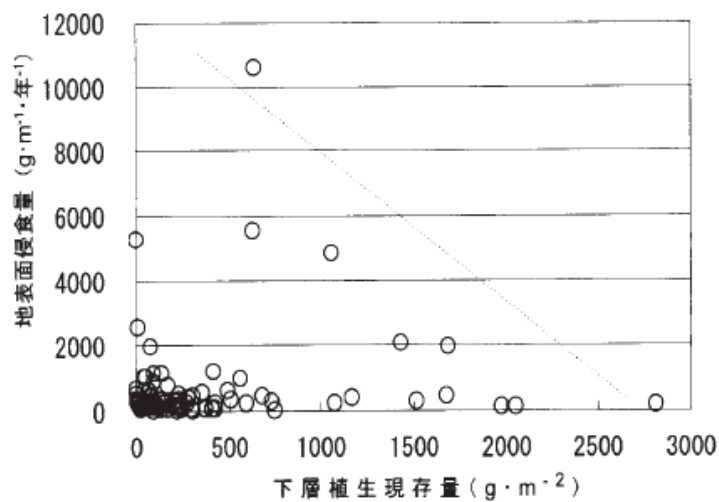
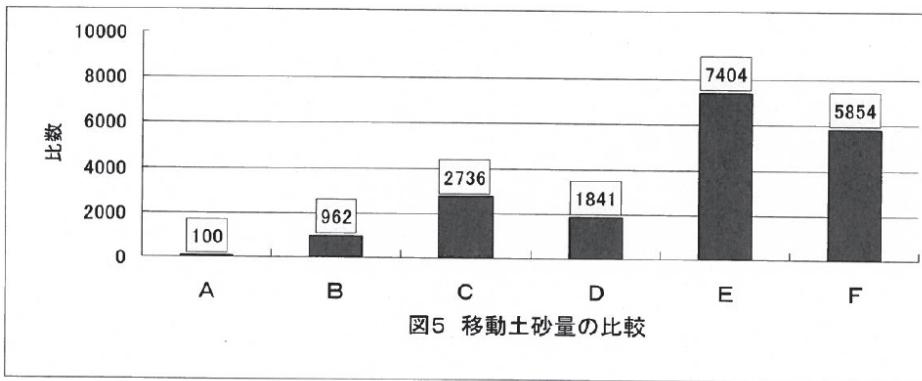


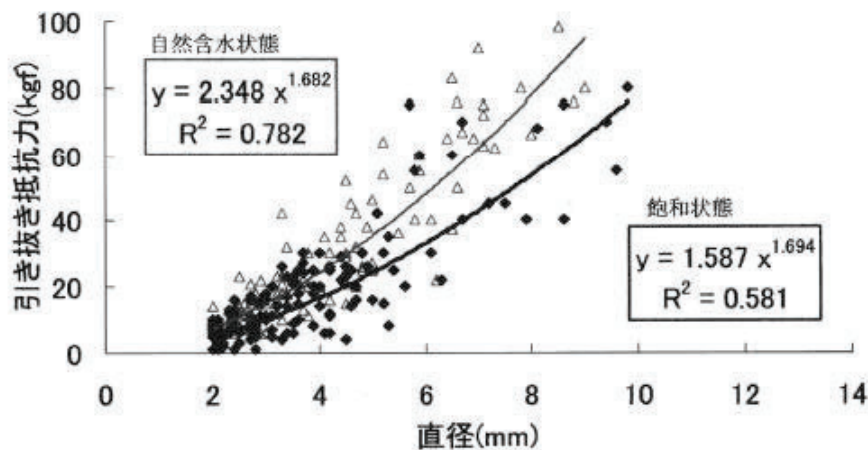
図-3 下層植生現存量と地表面侵食量 (林野庁 1999 を一部改編)

出典：荒木誠ほか（2005）「間伐は森林の土壌を守れるか」森林科学 44, pp.26-31



- A: スギ人工林の林床
- B: ヒノキ人工林の林床
- C: 植生が芽生え始めた小規模な斜面
- D: 植生が侵入し始めた小規模な斜面
- E: 植生が見られない大規模な斜面
- F: 植生が見られない小規模な斜面

出典：渡邊次郎ほか（2013）「森林構成と土砂流出防止効果」福島県林業研究センター 研究報告（46），pp.41-50



図—4 土壌の自然含水状態と飽和状態の違いによる根系引き抜き抵抗力の違い（危険率1%で有意）  
 （相馬2006，図—3の信大構内演習林と手良沢山演習林で，土壌水分状態が同じならば場所による有意差が無かったので，両地の資料をまとめたもの，100kgf ≒ 1kN）

出典：北原曜（2010）「森林根系の崩壊防止機能」水利科学 311号，pp.11-37

NO.1

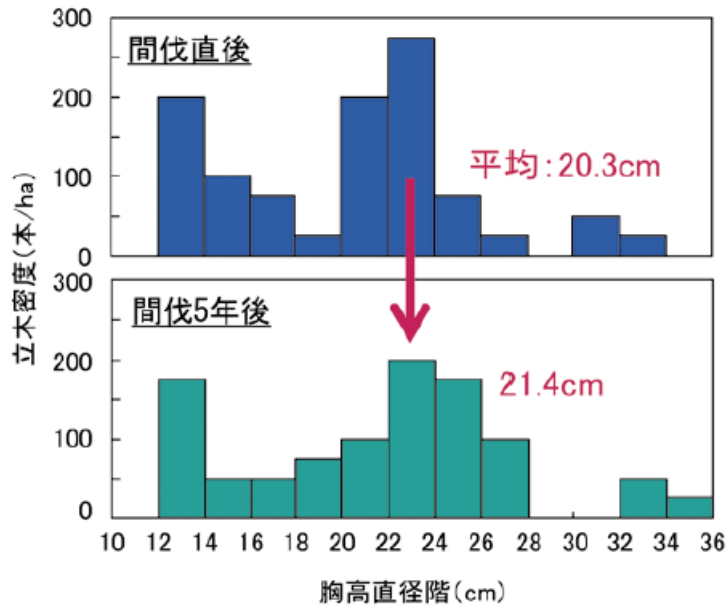


図2.10 ヒノキ過密林における  
上層間伐直後と間伐5年後の胸高直径階分布

出典：岐阜県森林研究所（2014）「木材生産のための過密林の間伐のしかた」P12

NO.2

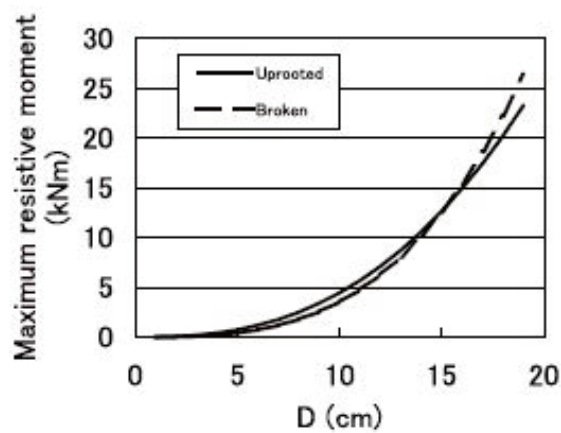


図-6. 胸高直径 ( $D$ ) と最大抵抗モーメントの関係

出典：鳥田宏行（2009）「カラマツの風害に関する力学的評価」日本森林学会誌 91, pp.120-124



NO.3

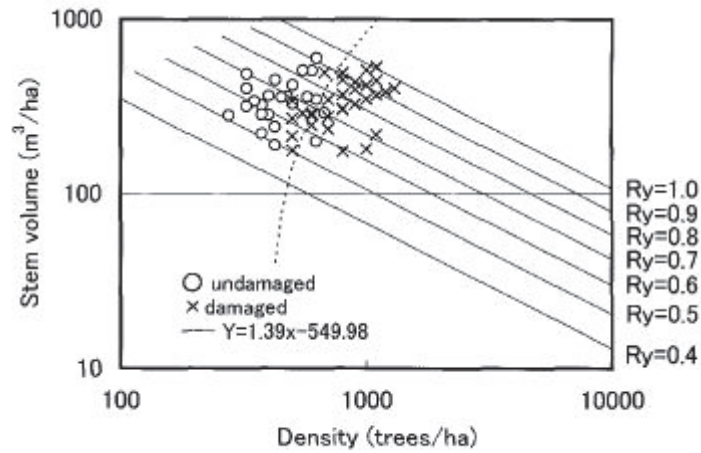


図-3. カラマツ無被害林と被害林の林分条件比較

出典：鳥田宏行(2006)「2002年台風21号により北海道十勝の防風保安林に発生した風害の要因解析」日本森林学会誌 88(6)pp.489-495

NO.4

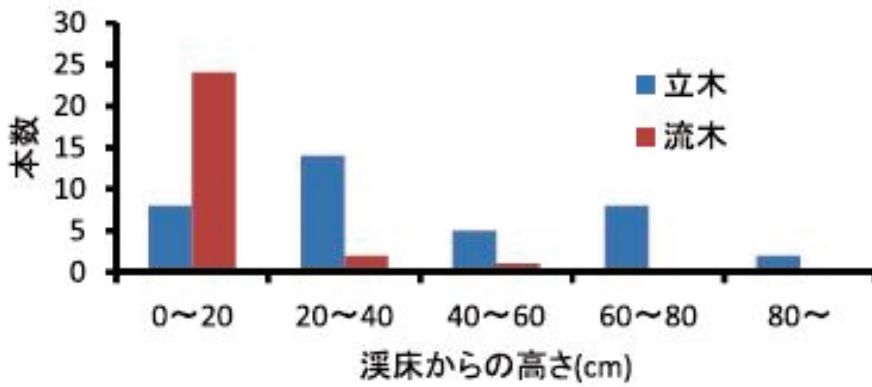


図-2 流木となった木, ならなかった木の溪床からの高さ

出典：藤堂千景ほか(2014)「「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について」砂防学会誌, Vol.67,

No.2, pp.36-41

NO.5

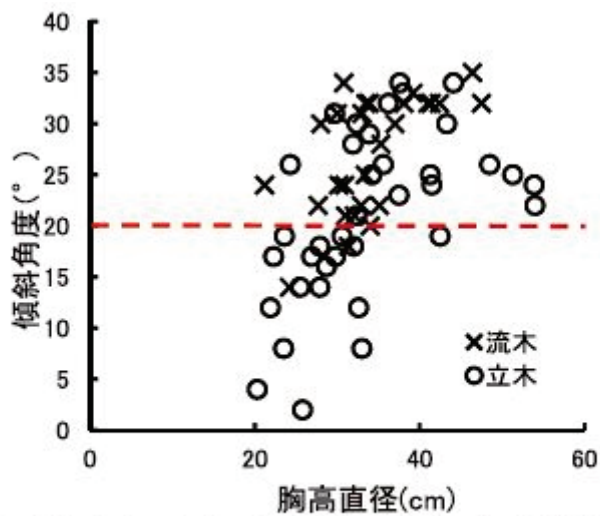
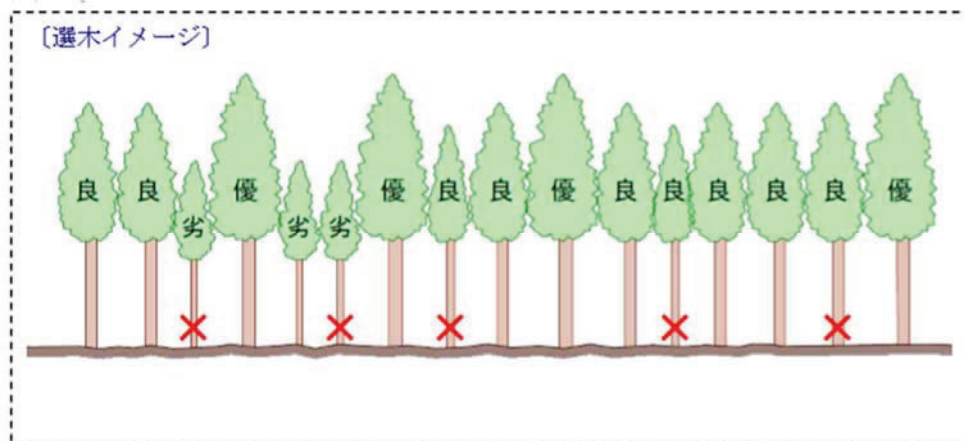


図-3 流木となった木，ならなかった木の胸高直径と木の存在箇所の溪床縦断勾配

出典：藤堂千景ほか（2014）「「災害に強い森づくり」に向けた森林整備について」砂防学会誌，Vol.67，

No.2， pp.36-41

NO.6



出典：新潟県（2017）「治山事業における保安林整備 技術指針」 P19

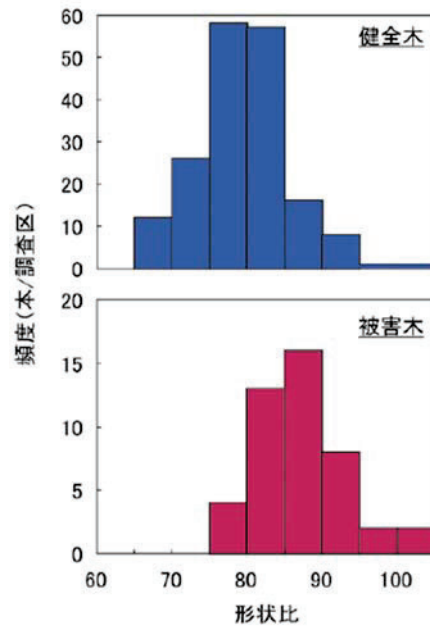


図2.8 冠雪害発生数と形状比の関係

出典：岐阜県森林研究所（2014）「木材生産のための過密林の間伐のしかた」P11