

昭和 61 年 度



国有林野事業特別会計 技術開発試験成績報告書

(完 了 分)

昭和63年 3 月



02000-00043109-6

林 業 試 験 場

昭和61年度国有林野事業特別会計
技術開発試験成績報告書

目 次

1. 地域性を考慮した集材方法の最適化 (Ⅱ)	1
2. 林業機械の自動制御と造林作業機 (Ⅱ)	53
3. 次代検定林等の調査データの立地要因による修正方法の開発	101
4. 多雪地帯における雪食による林地荒廃の実態とその防止技術	121
5. 治山用鋼製施設の安全設計・施工技術	135
6. スギ, ヒノキ材の葉枯らし, 巻枯らし等林内乾燥試験	155

地域性を考慮した集材
方法の最適化(Ⅱ)

地域性を考慮した集材方法の最適化(Ⅱ)

— トラクタ集材作業における副作業について —

I 試験担当者

機械化部作業科長	奥 田 吉 春
“ 作業第1研究室	辻 井 辰 雄
“ “	豊 川 勝 生
“ 作業第2研究室	井 上 源 基
“ “	今 富 裕 樹

Ⅱ 試 験 目 的

我が国の伐出技術は時代の要請とともに変遷し、それなりに生産性向上やコスト軽減の役割を果たしてきた。しかしここ30年間を見ると伐出作業の中の集材工程における機械は集材機やトラクタといった機械が今だ中心的な役割を果たしており、集材作業の技術体系はほとんど変わっていない。また、これらの体系ははっきりと確立したものではなく、その作業仕組あるいは適用の仕方は各地で各様に行われており、現場ごとに最も適した集材作業システムとして体系化されたものとはなっていない。今日の林業をとりまく厳しい経済的環境の下で、生産コストの低減あるいは生産性の向上を推し進めるためには、これらに変わる新しい機械を含む技術開発を基本的な考えにおきながらも、早急にそのような機械の出現が望めない現段階では、集材機や、トラクタを用いた集材技術あるいはその集材方法の体系化を確立する必要がある。これらの機械を通して伐木から運材までの所謂伐出工程の作業仕組の再編の必要性について明らかにすることが将来の伐出作業のシステムを考える上でも必要となるように思われる。

本研究は、こうした意味から現在実行されている集材作業のあり方について明らかにしようとしたものであり、特に各集材現場に適した集材方法の選択システムを確立しようとする場合の諸々の関係について事例分析を基に明らかにしたものである。本研究に関しては既に第Ⅰ報の中間報告により主に主作業についての分析が試みられ、集材機及びトラクタ集材作業の実態把握や類型化、さらにそれらの集材法の選択に影響を与える要因について論じられた。

本報告では、一見、非生産的工程と考えられる副作業の問題を取り上げ、その計量評価方法について検討しようとするものである。

本報告書の分析の視点は以下のとおりである。

1. トラクタ集材における副作業の現状について
 - 1) 集材作業における副作業の実態
 - 2) 山土場に関する現状

表－1 集材方法別所要人工数と生産性（皆伐 伐採率100%）

項目	伐区面積	件数	1 伐区当たり	1 伐区当たり	1 伐区当たり所要人工数(人工)	生産性(m³/人工)				
集材方法			伐区面積 ha	素材生産量 m³	主作業	副作業	計	主作業	副作業	計
トラクタ	3ha未満	23	2.28	803.7	273.4	34.5	307.9	3.14	32.0	2.61
	3ha～5ha	45	3.98	1148.1	367.9	52.2	420.1	3.22	39.0	2.73
	5ha～10ha	39	6.74	1711.1	614.1	73.5	687.6	2.83	28.7	2.49
	10ha以上	19	18.16	4175.9	1521.4	220.3	1741.7	3.12	58.5	2.40
	計及び平均	126	6.66	1716.1	600.8	80.9	681.7	3.07	37.5	2.52
架線集材	3ha未満	79	1.95	794.3	307.4	99.4	406.8	2.97	11.0	2.23
	3ha～5ha	99	4.05	1185.9	442.2	142.5	584.7	2.91	10.4	2.18
	5ha～10ha	111	7.03	1931.7	784.0	208.0	992.0	2.68	11.6	2.10
	10ha以上	34	14.52	3371.4	1539.4	345.8	1885.2	2.43	11.8	1.93
	計及び平均	323	5.66	1576.5	642.2	175.9	818.1	2.79	11.1	2.14
合計及び平均		449	5.94	1615.7	630.6	149.2	779.8	2.87	18.5	2.25

表－2 集材方法別所要人工数と生産性（択伐 伐採率20%以上40%未満）

項目	伐区面積	件数	1 伐区当たり	1 伐区当たり	1 伐区当たり	所要人工数(人工)	生産性(m ³ /人工)			
集材方法			伐区面積 ha	素材生産量 m ³	主作業	副作業	計	主作業	副作業	計
トラクタ	3ha未満	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	3ha～5ha	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	5ha～10ha	1	9.96	750.0	195.0	65.0	260.0	3.85	11.5	2.88
	10ha以上	34	64.10	3492.9	826.3	203.4	1029.7	4.23	35.3	3.39
	計及び平均	35	62.52	3414.5	808.3	199.4	1007.7	4.22	34.6	3.39
架線集材	3ha未満	25	1.29	125.8	51.3	19.7	71.0	2.72	8.1	1.93
	3ha～5ha	6	4.10	412.3	178.0	69.2	247.2	2.71	9.1	1.97
	5ha～10ha	2	7.84	476.5	208.0	50.0	258.0	3.13	9.2	2.09
	10ha以上	2	12.72	903.5	339.0	57.5	396.5	2.67	18.2	2.30
	計及び平均	35	2.79	239.4	98.4	32.1	130.5	2.74	8.9	1.96
合計及び平均		70	32.66	1827.0	453.4	115.8	569.2	3.48	21.8	2.68

り所要延べ人工数は平均818.1人工、その内、主作業人工数は642.2人工、副作業人工数は175.9人工であり、副作業率は21.5%を占めている。また伐区面積ごとに見ると、架空線集材において小面積伐区の副作業率がやや低い傾向がみられるが、全体的にみれば、伐区面積の大小による副作業率の顕著な差異は見られない。

表－2は択伐（伐採率20%以上40%未満）の場合を示したものである。トラクタ集材における1伐区当たり所要延べ人工数は1007.7人工、その内、主作業人工数は808.3人工、副作業

- (1) 山土場の実態把握
- (2) 山土場作設能率
- (3) 山土場作設の事例
- 3) トラクタ集材路に関する現状
 - (1) トラクタ集材路の実態把握
 - (2) トラクタ集材路作設及び補修能率
2. トラクタ集材作業における副作業の見方と評価
 - 1) トラクタ集材における集材土場の評価
 - (1) 集材土場数の見方と最適土場数
 - i) 集材面域から土場までの平均集材距離の算定
 - ii) 最適土場数の算定
 - (2) 集材土場の設定位置のパターン化とその要因及び適正土場位置の算定
 - i) 集材土場位置パターンの判別
 - ii) 適正土場位置の算定
 - 2) トラクタ集材におけるトラクタ集材路網計画
 - (1) トラクタ地形区分と最適集材路網
 - (2) トラクタ集材路網の配置計画

Ⅲ 試験の経過と得られた成果

1. トラクタ集材における副作業の現状について

1) 集材作業における副作業の実態

現状の集材作業はいろいろな作業条件及び集材方法により実行されているが、このような現状においてよりよい集材方法を選択していく場合、作業能率やコストがかなり重要視される。このような意味から実際の集材作業では集材効率を向上させるための作業方法の改善や副作業の軽減が必要となってくる。

ここではトラクタ集材における副作業の現状分析にはいる前に、まず、現状の集材作業における副作業の実態をおおまかに把握する意味で、トラクタ集材及び架空線集材における所要人工数について述べる。

表－1～表－3は皆伐（伐採率100%）と択伐（伐採率20%未満、伐採率20%以上40%未満）に分けて各集材方法別に1伐区当たりの所要人工数を示したものである。

表1は皆伐の場合を示したものである。調査件数はトラクタ集材126件、架空線集材323件である。トラクタ集材における1伐区当たり所要延べ人工数は平均で681.7人工である。その内、主作業人工数は600.8人工、副作業人工は80.9人工を占めており、副作業率（副作業人工数／1伐区当たり所要延べ人工数）は11.9%となっている。一方、架空線集材では1伐区当

表-3 集材方法別所要人工数と生産性(択伐 伐採率20%未満)

項目	伐区面積	件数	1伐区当たり	1伐区当たり	1伐区当たり所要人工数(人工)	生産性(m ³ /人工)
集材方法	伐区面積 ha		素材生産量 m ³	主作業	副作業	計
トラクタ	3ha未満	-	-	-	-	-
	3ha~5ha	-	-	-	-	-
	5ha~10ha	-	-	-	-	-
	10ha以上	11	69.31	3211.5	802.6	239.7
	計及び平均	11	69.31	3211.5	802.6	239.7
架空線集材	3ha未満	10	1.61	118.6	39.6	24.0
	3ha~5ha	2	3.70	119.5	37.5	8.5
	5ha~10ha	-	-	-	-	-
	10ha以上	-	-	-	-	-
	計及び平均	12	1.96	118.6	39.4	21.4
合計及び平均	23	34.17	1597.9	404.4	125.0	530.2

率は199.4人工であり、副作業率は19.8%となっている。一方、架空線集材は伐区の大きさとして3ha未満の小伐区がほとんどであり、1伐区当たり所要延べ人工数は130.5人工、その内、主作業人工数は98.4人工、副作業人工数は32.1人工である。副作業率は24.6%である。

表-3は択伐(伐採率20%未満)の場合を示したものである。トラクタ集材においては調査例すべてが10ha以上、架空線集材ではほとんどが3ha未満である。トラクタ集材では1伐区当たり所要延べ人工数では1042.3人工、その内、主作業人工数は802.6人工、副作業人工数は239.7人工であり、副作業率は23%である。架空線集材における1伐区当たり所要延べ人工数は60.8人工、その内、主作業人工数は39.4人工、副作業人工数は21.4人工、副作業率は35.2%となっている。

以上の結果から伐採方法別に副作業率をみていくと、トラクタ集材の場合、皆伐：11.9%、択伐(20%以上40%未満)：19.8%、択伐(20%未満)：23%となっており、皆伐作業に比べ択伐作業の方が副作業率は高い。また、択伐作業では択伐率が低い伐区の方が副作業率は高いことがわかった。一方、架空線集材においてもトラクタ集材と同様の傾向を示しており、副作業率は、皆伐：21.5%、択伐(20%以上40%未満)：24.6%、択伐(20%未満)：35.2%となることが示された。択伐区においては、伐区面積が皆伐区と同一と仮定した場合、その伐区に必要とされる土場作設、トラクタ道作設及び架空線の架設撤去等の副作業には皆伐の場合と同程度の人工数が必要になるものと思われる。その一方、伐区から集材される集材量は皆伐に比べ少ないので、その結果、択伐においては皆伐に比べ副作業率が高くなっているものと考えられる。また集材方法別にみれば、架空線集材はトラクタ集材に比べ皆伐で9.6%、択伐(20%以上40%未満)で4.8%、択伐(20%未満)で12.2%も副作業率が高いことが示された。

トラクタ集材及び架空線集材について所要人工数に占める副作業人工についてみてきたが、以下においてはトラクタ集材を中心として、副作業の実態把握及び副作業に関する諸要因との関係について分析を行った。トラクタ集材における副作業としては集材路(トラクタ道)の作設、補修及び山土場の作設等が主な作業であることからこれらの作業を中心として分析を行った。

2) 山土場に関する現状分析

(1) 山土場の実態

国有林における現行のトラクタ集材の大部分は全幹集材であり、造材作業、巻き立て作業、積み込み作業等の作業は、主に山土場で行われることが多い。従って、山土場は作業の場として重要な位置を占めるといえる。ここでは、まず山土場の実態を把握する意味で、山土場の現状について述べる。

表-4は人・天別伐採方法ごとに土場の現状を示したものである。表からわかるとおり、伐区面積や伐採材積の大きい伐区、つまり集材規模が大きい天然林択伐や天然林皆伐(皆伐と択伐が分離できない伐区)では1伐区当たりの土場数が多くなる。すなわち、択伐では1伐区当たり平均3.6個所、皆伐では平均2.2個所の土場が作設されている。また天然林択伐、天然林皆伐の伐区の土場面積は天然林皆伐、人工林に比べて広く、それぞれ平均値で1057m²、745m²となっている。天然林皆伐と人工林皆伐を比較すると、1伐区当たりの土場数はほとんど同じであるが土場面積は天然林の方がやや広い傾向を示した。

ここで、1伐区当たり土場数と土場面積についてさらに少し詳しく分析してみる。図-1は伐区面積と土場数の関係を示したものである。図は天然林皆伐と人工林皆伐を比較したものである。皆伐作業における1伐区当たりの土場数はその大部分が1土場であり、伐区面積が大きくなるにつれて土場数も増えている。天然林皆伐と人工林皆伐では伐区面積が等しい場合、土場数は天然林皆伐の方が多少多い。しかし、皆伐の伐区面積はその大部分が10ha以下であるのでその範囲内では両者間の差はほとんどみられない。図-2は同じく天然林択伐

表-4 人・天別伐採方法と土場の現状

	伐区面積	伐採材積	土場数	土場面積	総土場面積
	(ha)	(m ³)	(個所)	(m ²)	(m ²)
天然林皆伐	7.8	1426.6	1.6	626	998.6
天然林択伐	63.8	3952.0	2.6	1057	4309.1
天然林皆択伐	36.6	3355.7	2.2	745	1912.3
人工林皆伐	7.0	2069.7	1.5	485	702.2

(注)土場面積は1個所当たり面積
総土場面積は1伐区当たり面積

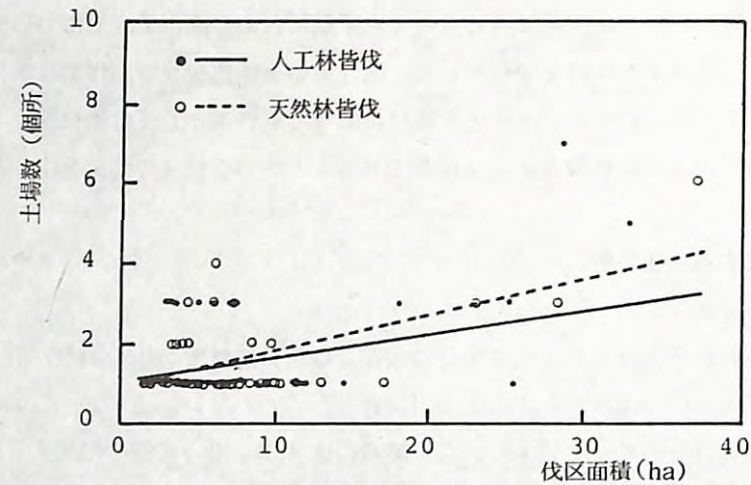


図-1 伐区面積と土場数の関係

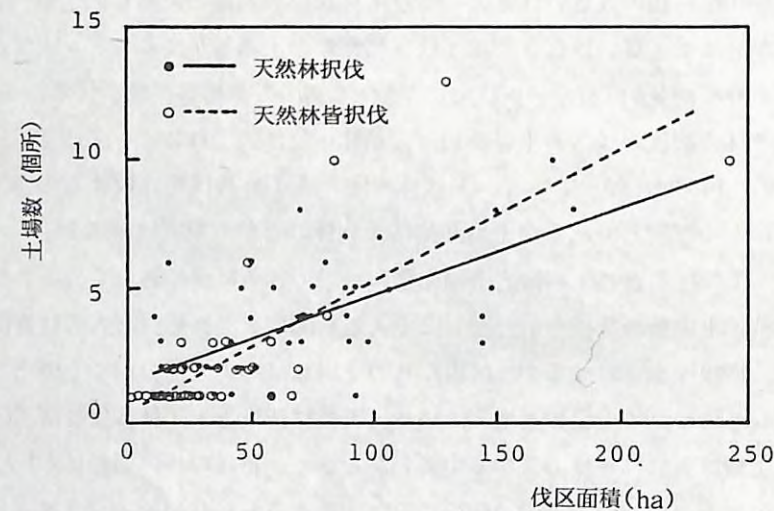


図-2 伐区面積と土場数の関係

と天然林皆択伐について比較したものである。伐区面積及び土場数は幅広く分布しているが、前述の図-1と同様、伐区面積と土場数に関しては正の比例関係がみられる。また1土場当たりの対象伐区面積は両者間には顕著な差はみられない。ちなみに各伐採方法別の1土場当たり対象伐区面積の平均値を示すと、天然林の場合、皆伐：5.3 ha，択伐：20.4 ha，皆択伐：18.8 ha，人工林皆伐：5.4 haであった。

図-3，図-4は人・天別及び天然林における伐採方法別の1個所当たり土場面積の分布を示したものである。図-3より、人工林では400 m²未満が最頻値であり、土場面積が広くなるにつれて頻度は減少していることがわかる。また、天然林では400～800 m²に最頻値が

ある。図-4は天然林について伐採方法別に示したものであるが、択伐については他の二つと異なり、一様な分布傾向を示している。

山土場においては盤台が作設され、造材作業はこの盤台上で行われている。造材作業は移動式玉装、固定式玉装、チェーンソー等を用いて行われているが、現状では移動式玉装を使用するが多い。また、固定式玉装は人工林のみで使用されている。ここで人・天別に使

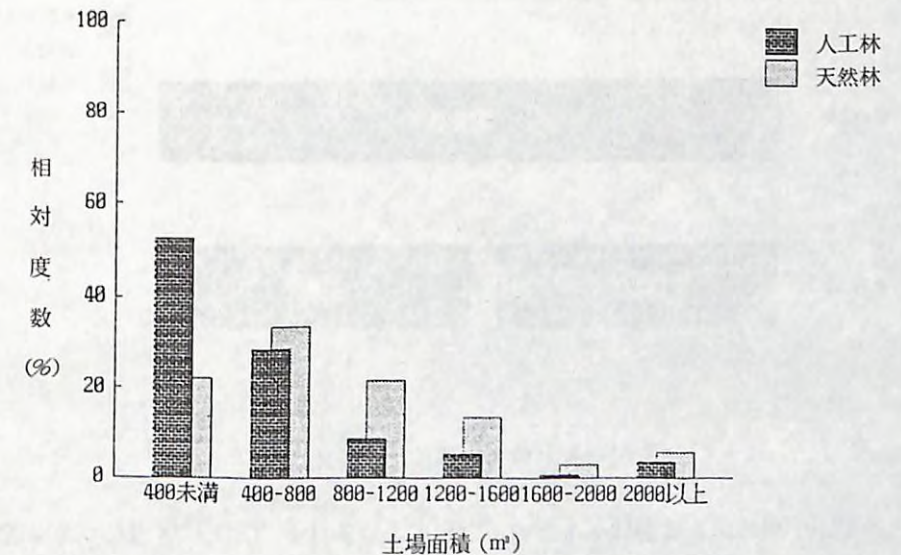


図-3 土場面積の分布

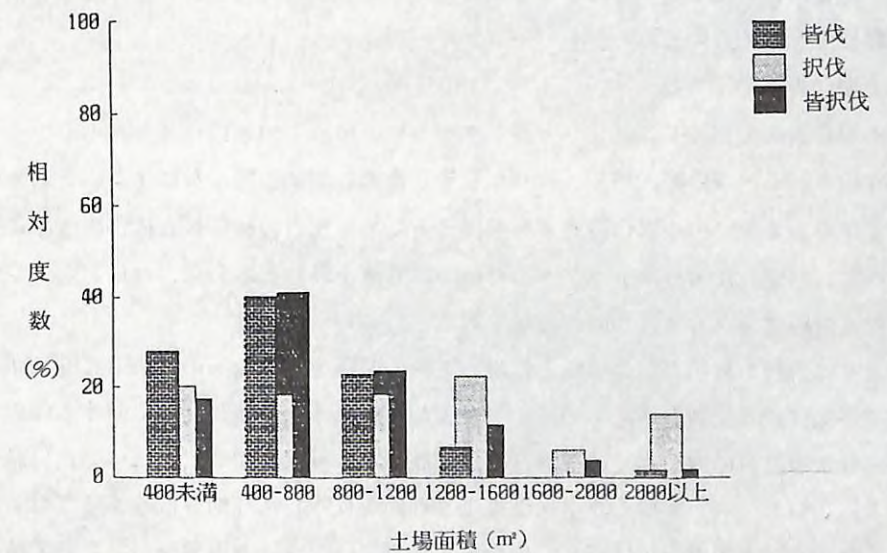


図-4 伐採方法別土場の分布(天然林)

用されている盤台の種類について調べたのが図-5である。現在のところ盤台の種類は木製盤台、鋼製盤台、土盤台の3種類あるが、図-5から明らかなように天然林のほとんどは土盤台である。また、人工林においては木製盤台と土盤台がほぼ半数を占め、一部鋼製盤台もみられる。

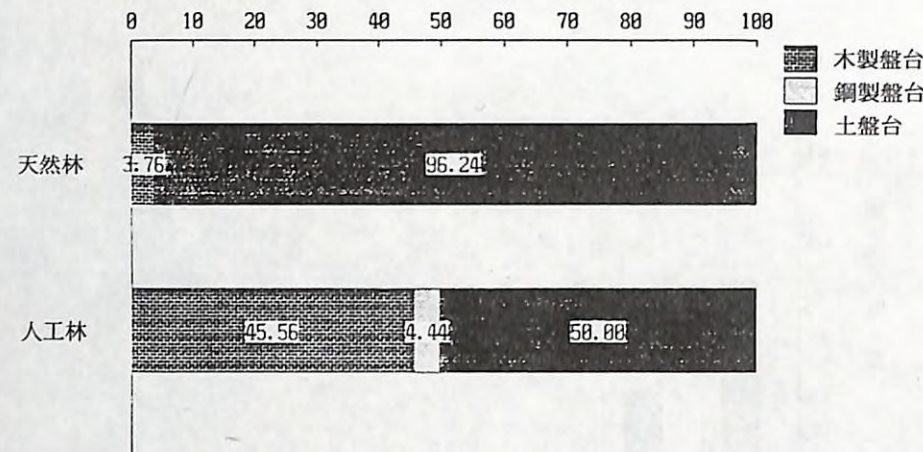


図-5 盤台の構成比率 (%)

ここで山土場に関する現状をまとめると次のようになる。(1) 1伐区当たり土場数及び1個所当たり土場面積は伐区面積、伐採材積等に左右される。つまり、天然林択伐、天然林皆伐のように集材規模が大きい伐区ほど土場の規模も大きい。(2) また山土場に作設される盤台は、天然林においてそのほとんどが土盤台であり、人工林では土盤台と木製盤台がそれぞれ約半数程度を占めている。

(2) 山土場作設能率

山土場作設にあたっては通常、トラクタやバックホウ等の重機により地取りあるいは盛土して作設される。この際、地形条件や土質等が作業能率に影響を及ぼす要因と考えられるが、ここではおおまかに山土場作設能率を把握するために盤台の種類ごとに作設能率について調べてみた。前述したようにトラクタ集材においては土盤台と木製盤台がほとんどを占めているので、分析にあたってはこの2種類を対象として行った。

図-6は盤台の種類ごとに面積と作設人工数の関係を示したものである。面積が広がるにつれて当然作設人工数も増えている。また図からわかるように、面積に対する作設人工数の増加率は木製盤台の方が高く、土盤台の作設能率が木製盤台のそれに比べて良い結果となっている。土盤台においてはトラクタ等により地面をならしたり切り取りするだけで簡易に作設できるので、木製盤台に比較して作設人工数が少ない。一方木製盤台については、通常、造材盤台、積み込み盤台の部分が丸太により組み立てられる場合が多いものと思われる。

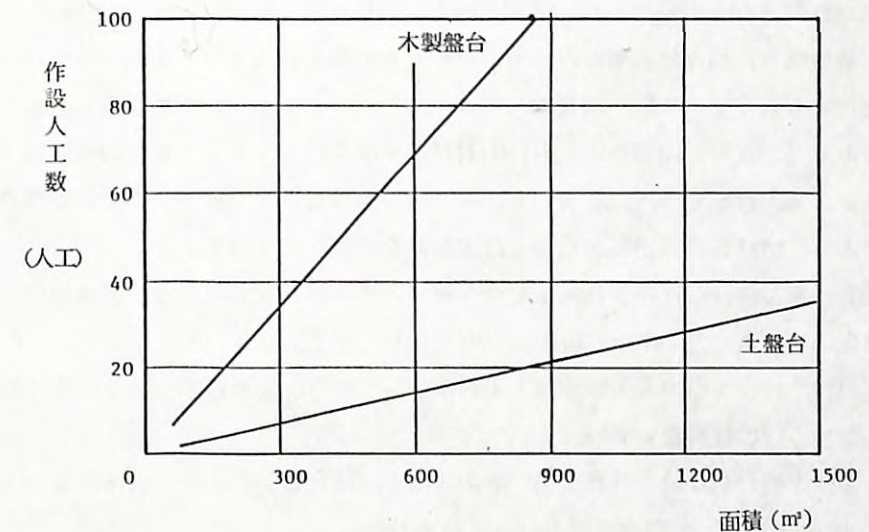


図-6 盤台の大きさと作設人工数

従って、この丸太組み立てに手間がかかるために人工数が増え、土盤台に比べて作設能率が悪くなっているものと考えられる。

ここで作設能率の平均値をみると、木製盤台は、約 $8.7 \text{ m}^2/\text{人工}$ 、土盤台は約 $42.6 \text{ m}^2/\text{人工}$ である。

(3) 山土場作設事例

前節においては山土場作設の能率について述べたが、ここではもう少し具体的に作設人工、作設経費等について把握するために事例を紹介しよう。

表-5は調査地№1、№2における土場の作設条件を示したものである。調査地№1は木

表-5 土場の作設条件

	調査地 NO1	調査地 NO2
地形条件	平均傾斜 31° 複雑さ 単純 地質 堅強	平均傾斜 17° 複雑さ 単純 地質 軟弱
盤台の種類	木製盤台	土盤台
造材方法	移動ソー	チェーンソー
面積	荷卸し : 128 m ² 造材 : 144 m ² 積込 : 100 m ² 合計 372 m ²	荷卸し : 132 m ² 造材 : 220 m ² 合計 352 m ²

製盤台が作設された土場である。当調査地では賃借りによるバックホウで土場が作設された。また、造材盤台、積み込み盤台の部分のみが丸太で組まれており、荷卸し盤台は地山を切り取っただけのものであった。調査地№2は手持ちのトラクタにより地山をならした程度の土盤台であった。なお、両調査地ともに国有林の事業実行地であったが、調査地№2は請負業者による事業実行地であった。表-6、表-7は両調査地における土場の作設経費を示したものである。諸経費の算出にあたっては実績値を基礎として計算した。

表-6は木製盤台が作設された土場の事例である。諸経費の内訳は、機械経費：47,900円、賃金：250,000円、作設材料費：300,410円、合計598,210円である。ここでは丸太組み立てのために作業員の人工数が22人工数かかっており、また移動玉装のための敷板、盤台作設のための作設材料費も多い。

表-7は土盤台が作設された土場の事例である。諸経費の内訳は、機械経費：29,909円、賃金：48,000円、合計77,909円となっている。

ここで両調査地について比較すると、機械経費については調査地№1の場合は賃借り、調査地№2の場合手持ち機械であるが、1日当たりの経費はほとんど差がない。機械運転手の所要人工数については、調査地№1と調査地№2の土場面積が同じであるにもかかわらず調査地№1の方が1人工多くかかっている。これは、調査地№1の方が地形条件、地質条件が厳しく（平均傾斜31度、土質堅強）また、丸太組みのための基礎作りに少し手間がかかったものと思われる。作業員賃金については、調査地№1では丸太組み立てのために所要人工数が調査地№2に比べて多い。また、作設材料費については調査地№2ではかかっていない。

表-6 土場の作設経費（調査地№1）

		（単位：円）	
費用項目	内 訳	備 考	
機械経費	機械賃賃料	37,500	作設人工数 機械運転手 2.5 人工
	燃料費	10,400	作業員 22.0 人工
			作設機械 中型バックホウ（賃賃）
			賃賃料 15,000 円/日
小 計		47,900	燃料費 4,160 円/日 （実績値）
賃 金	機械運転手	30,000	作業員賃金 機械運転手 12,000 円/日
	作業員	220,000	作業員 10,000 円/日
小 計		250,000	
作設材料費		300,410	
小 計		300,410	
合 計		598,210	

表-7 土場の作設経費（調査地№2）

		（単位：円）	
費用項目	内 訳	備 考	
機械経費	機械損料	25,461	作設人工数 機械運転手 1.5 人工
	燃料費	4,448	作業員 3.0 人工
			作設機械 中型トラクタ
			（償却期間 5年）
小 計		29,909	燃料費 2,965 円/日 （実績値）
賃 金	機械運転手	18,000	作業員賃金 機械運転手 12,000 円/日
	作業員	30,000	作業員 10,000 円/日
小 計		48,000	
合 計		77,909	

合計金額を比べると、調査地№1は598,210円、調査地№2は77,909円であり、土盤台が作設された調査地№2の方が520,301円安くなっている。

以上の結果から明らかなように、木製盤台においては丸太組み立てのために人工数及び作設材料費が必要となるので土盤台に比較して割高になる。作業現場の条件によっては丸太組み立てによる木製盤台が必要となる場合も少なくないが、この場合には作設経費を節減するためにできるだけ簡素化させることが必要である。

3) トラクタ道に関する現状分析

(1) トラクタ道の実態

トラクタ集材におけるトラクタ道（集材路）は作業の基盤となる施設であり、特に地形条件の厳しいわが国においてはトラクタ集材に欠くことのできない重要な役割を果たしている。効率的な集材作業を実行していく上でこのトラクタ道は各作業現場に適応した密度ならびに配置が望まれる。

トラクタ道に関わる諸要因としては、地形条件、伐区面積やその形状、出材量等が考えられる。ここでは人・天別あるいは伐採方法を中心とした見方からトラクタ道とこれに関する諸要因についての分析を行った。

表-8は人・天別伐採方法とトラクタ道の概要を示したものである。トラクタ道密度は各方法ともに100mを越えており、天然林皆伐における密度が最も高い。次に人工林皆伐、天然林皆伐と続き、天然林択伐が最も密度が低い。一方、伐区内におけるトラクタ道総延長は当然のことながら伐区面積が広い天然林択伐、天然林皆伐において長く、1伐区当たりの平均値を示すと、天然林択伐で6274m、天然林皆伐で4301mであった。

図-7、図-8はトラクタ道路網密度とha当たり出材量（ha当たり伐採材積）との関係

表-8 人・天別伐採方法とトラクタ道の現状

	伐区面積 (ha)	トラクタ道密度 (m/ha)	トラクタ道総延長 (m)
天然林皆伐	7.8	142.3	1056.7
天然林択伐	63.8	103.7	6273.5
天然林皆択伐	36.6	131.1	4300.5
人工林皆伐	7.0	131.4	820.3

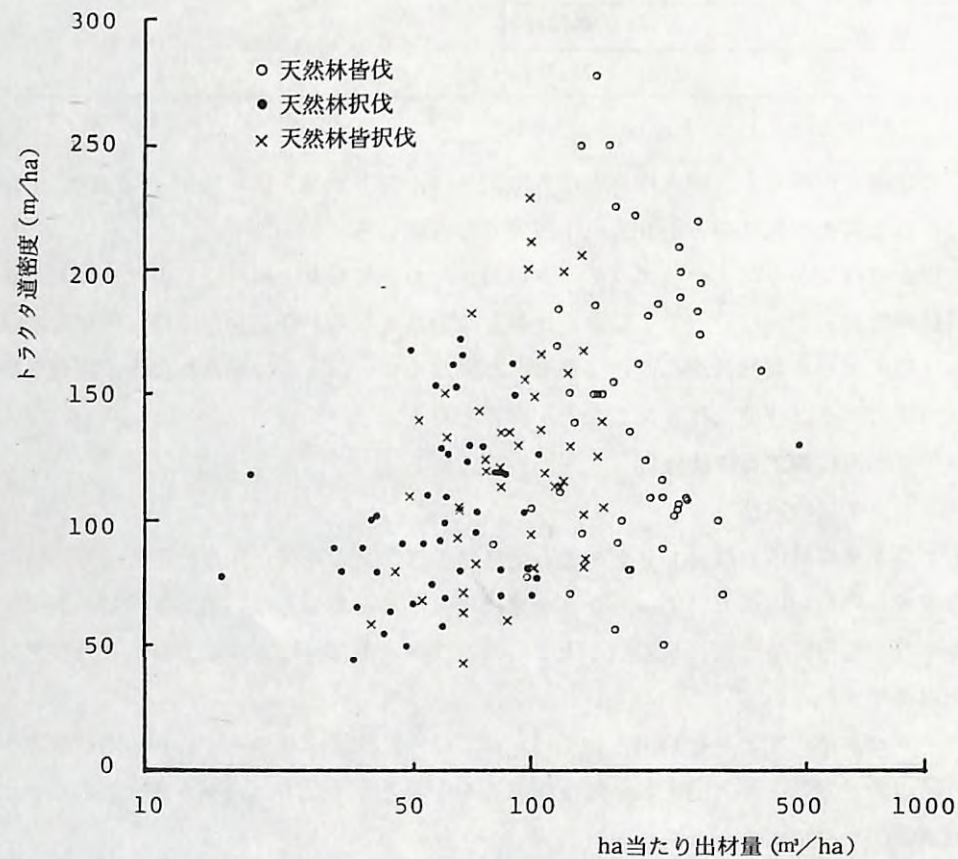


図-7 出材量とトラクタ道密度の関係

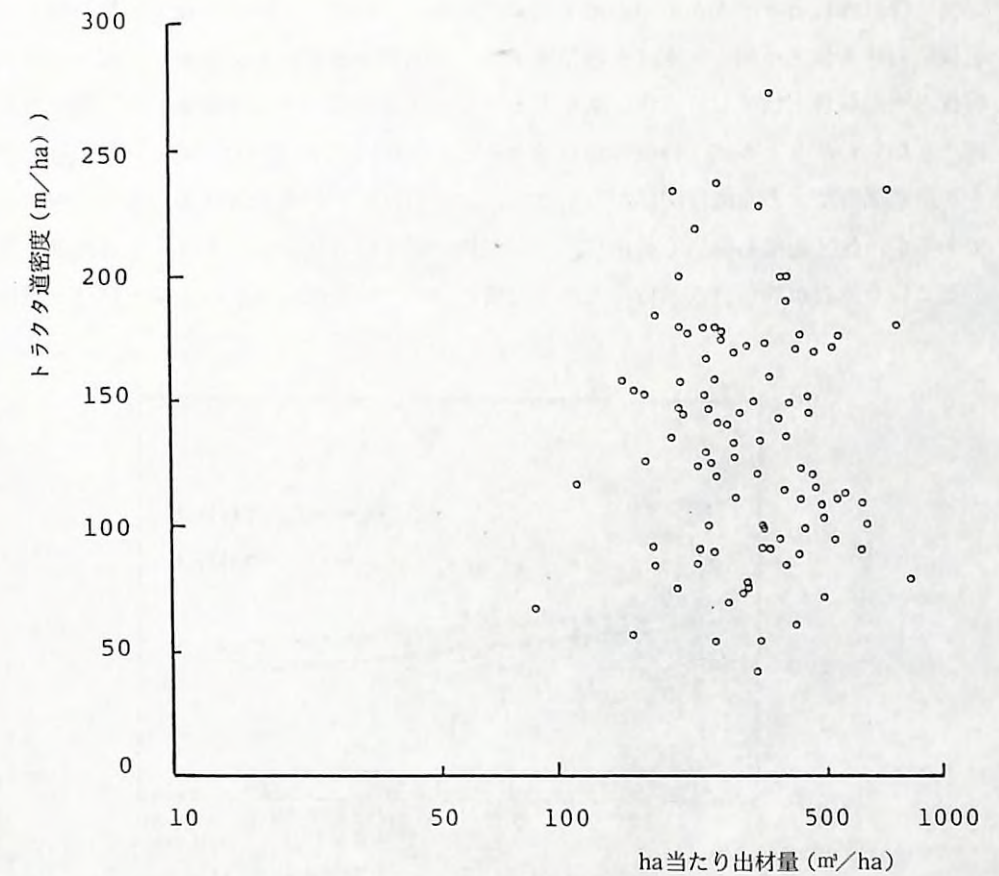


図-8 出材量とトラクタ道密度の関係(人工林皆伐)

を人・天別に示したものである。図-7は天然林の場合であるが、図から明らかなように、トラクタ道密度はha当たり出材量が大きくなるに従って高くなる傾向がみられ、特に天然林択伐、天然林皆択伐においてその傾向が強いことがわかる。また、ha当たり出材量が大きくなるにつれてトラクタ路網密度の増加率は小さくなる傾向がみられる。図-8は人工林皆伐の場合であるが、天然林の場合に比べてha当たり出材量が多いがトラクタ道路網密度とha当たり出材量との間には関係がみられない。

以上のように天然林、特に択伐、皆択伐においてはha当たり出材量が多い伐区にはトラクタ道が多く作設される傾向があり、逆にha当たり出材量が少ない伐区にはできるだけトラクタ道を少なくして作業を実行している傾向が伺える。一方、人工林皆伐においてはha当たり出材量も300～400m³/haあたりに集中し、トラクタ道路網密度とha当たり出材量との間にはあまり関係がみられない。人工林皆伐では材が伐区全域に様に分布しているためにトラクタ道は伐区内にまんべんなく導入されるものと思われる。この結果、トラクタ道路網密度とha当たり出材量との間には関係がみられなかったものと推察される。

次に伐区面積とトラクタ道路網密度との関係を見てみよう。図-9は天然林皆伐と人工林皆伐における伐区面積とトラクタ道路網密度との関係を示したものであり、図-10は天然林択伐と天然林皆伐における伐区面積とトラクタ道路網密度との関係を示したものである。図-9からわかるように、皆伐の場合ほとんどの伐区が10 ha以内にあり、伐区面積とトラクタ道路網密度との間には関係がみられない。一方、図-10は天然林択伐及び皆伐の場合であるが、伐区面積も幅広く分布し、伐区面積が広くなるに従ってトラクタ道路網密度が減少していく傾向がみられる。特に天然林択伐においてその傾向が強い。図-11は天然林択伐

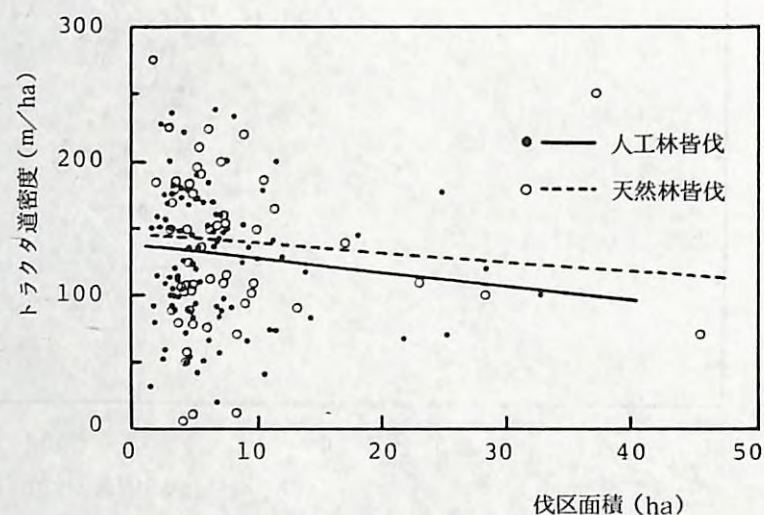


図-9 伐区面積とトラクタ道密度の関係

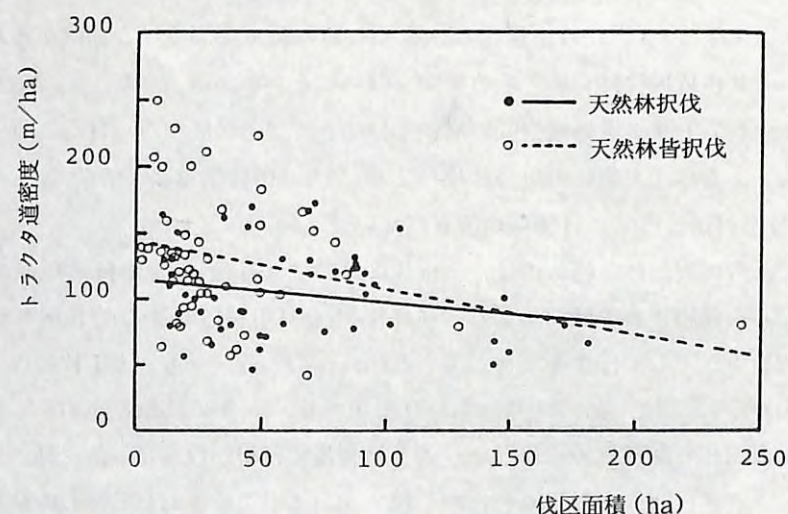


図-10 伐区面積とトラクタ道密度の関係

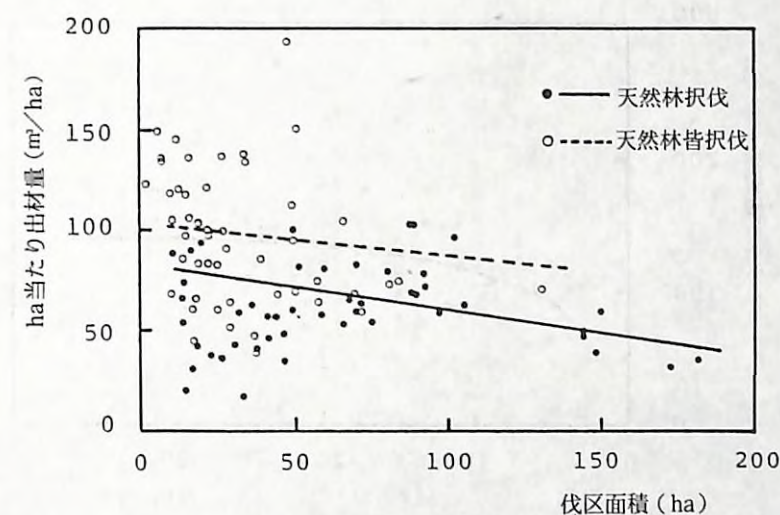


図-11 伐区面積と集材量

と天然林皆伐について伐区面積と ha 当たり出材量の関係を見たものであるが、図からわかるとおり伐区面積が広くなるにつれて ha 当たり出材量も減少している。つまり前述のトラクタ道路網密度と ha 当たり出材量の関係からわかるように、天然林択伐、天然林皆伐においては伐区面積が大きい伐区ほど ha 当たり出材量が少なく、ha 当たり出材量が少ないためにトラクタ道路網密度が低くなっている。

次に地形条件として傾斜とトラクタ道路網密度との関係について調べてみる。

トラクタは地形が急になると登坂や転倒に対する条件から林内への導入は難しくなる。その場合作設施工を施すトラクタ道が導入される。実際の作業においてはウィンチロープによる木寄せ距離はほぼ一定に行われているものと思われるが、地形が急になればウィンチロープ引き上げ作業が困難になることからさらにトラクタ道が作設されるものと思われる。また、トラクタ道の迂回率も増し全体としてのトラクタ道路網密度は増加するものと推察される。

図-12~15は人・天別伐採方法ごとに傾斜とトラクタ道路網密度との関係を示したものである。図からわかるとおり、顕著ではないが地形傾斜が厳しくなるにつれてトラクタ道路網密度もわずかながら増加している傾向がみられる。以上のように現状のトラクタ道路網は傾斜が厳しい林内において多く導入されている傾向がある。

(2) トラクタ道作設能率及び補修能率

トラクタ道作設能率は当該集材地の地質、地形条件さらには作設機械等の要因に影響を受けることも考えられるが、一般に作設延長に伴って人工数も増大していく。図-16はトラクタ道の作設総延長と作設人工数の関係を地形条件(20度以上、20度未満)別に示したものであ

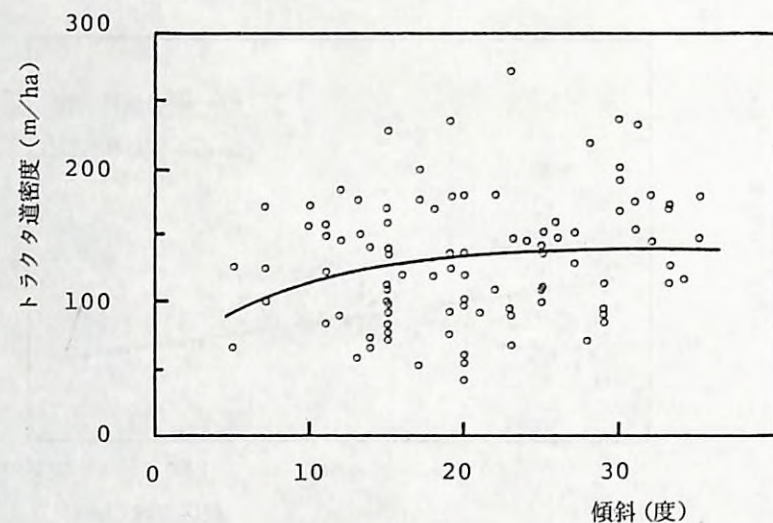


図-12 傾斜とトラクタ道密度の関係（人工林皆伐）

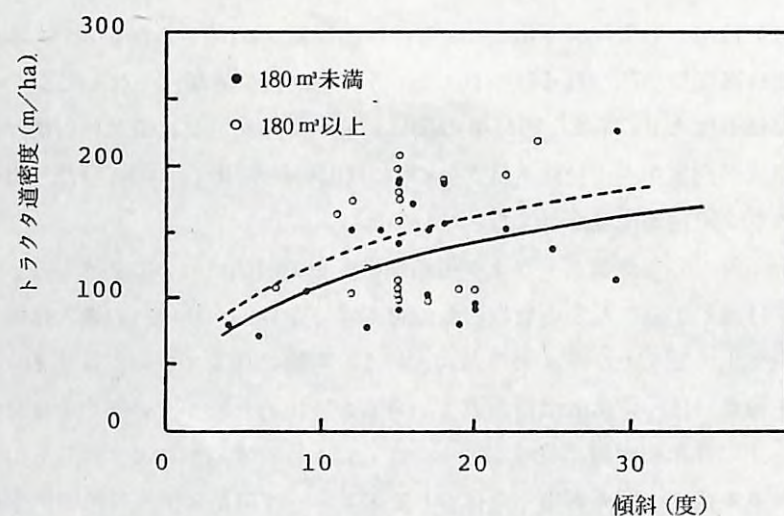


図-13 傾斜とトラクタ道密度の関係（天然林皆伐）

る。図からわかるように、作設総延長が増大するに従い人工数も増加している。また地形条件別にみれば20度未満の林内の方が能率はよさそうに見えるが、20度以上のそれに比べると明らかな差はみられない。トラクタ道作設においては通常のり面切り取り作業がおこなわれ、この場合、当然地形が急な個所ほど切り取り土量が増え、単位作設延長当たり人工数は増えるものと推察される。今回の調査分析はアンケートによったために地形条件との関係が明確にできなかったものと考えられる。ここで地形条件を考慮しない場合のトラクタ道作設人工数を図-16より推定すると、作設延長が2000 m、4000 mの場合作設人工数はそれぞれ18人

工、32人工となり作設効率は111 m/人工、125 m/人工となる。

次にトラクタ道補修能率であるが、補修にあたってはトラクタ道の使用期間、地質、天候等により補修人工数も異なってくると思われるが、基本的にはトラクタ道の総延長距離に比例して増加する。図-17はトラクタ道総延長と補修人工数の関係を示したものである。図からわかるとおり、少しバラツキはみられるもののトラクタ道総延長に比例して補修人工数は増加している。図から補修人工数を推定するとトラクタ道総延長距離が2000 m、4000 mの

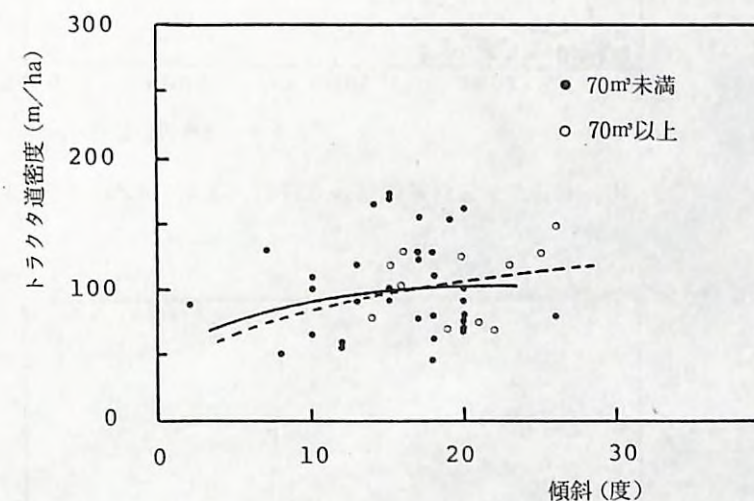


図-14 傾斜とトラクタ道密度の関係（天然林択伐）

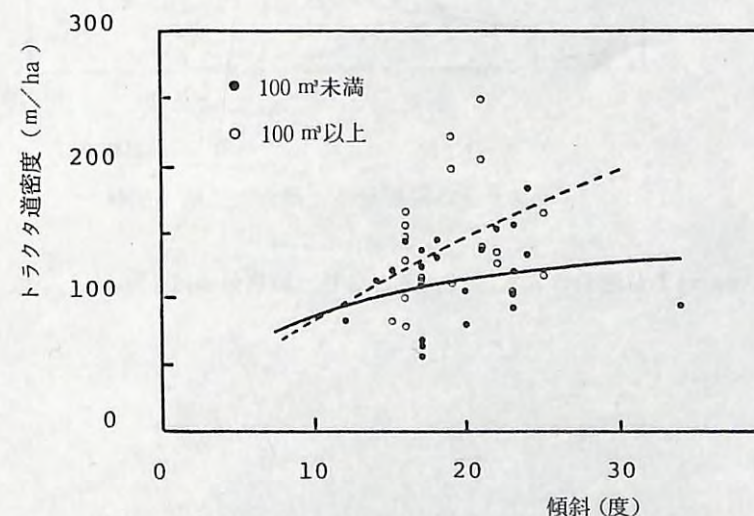


図-15 傾斜トラクタ道密度の関係（天然林皆伐）

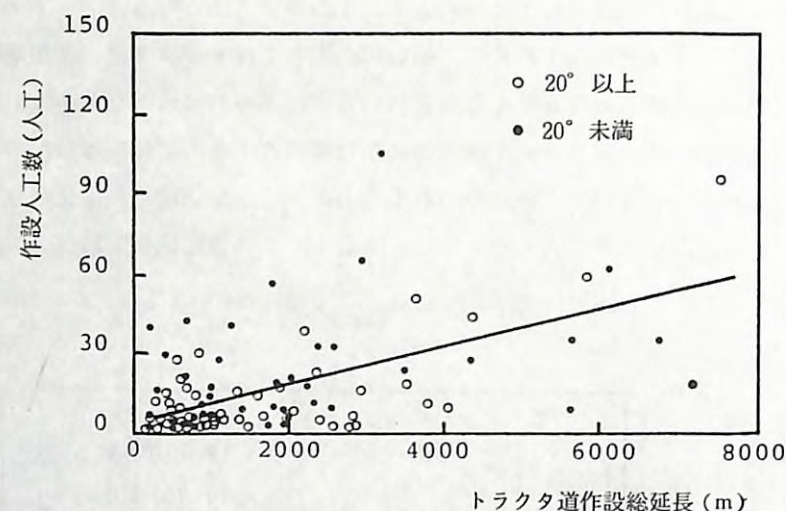


図-16 トラクタ道作設総延長と作設人工数の関係

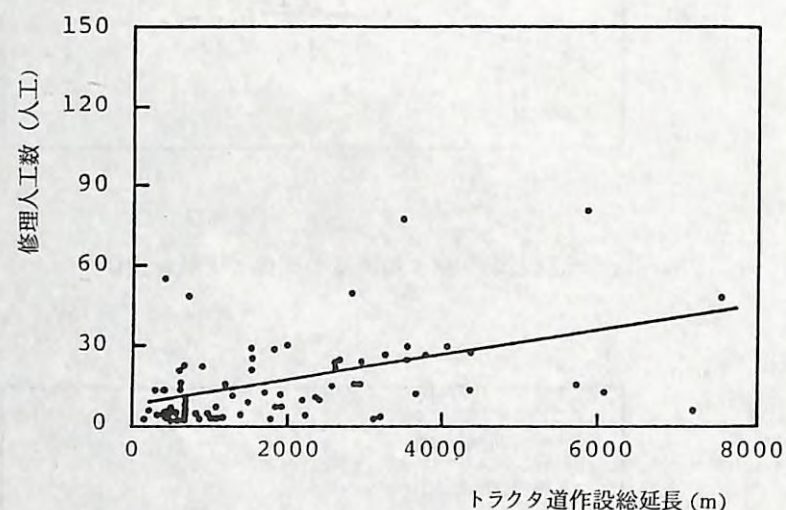


図-17 トラクタ道作設総延長と補修人工数の関係

場合補修人工数はそれぞれ17人工、26人工となり、補修効率は118 m/人工、154 m/人工となる。

(今富裕樹)

2. トラクタ集材作業における副作業の見方と評価

架線集材に比べトラクタ集材を選択する場合の大きな利点の一つとして、比較的簡易な集材技術により施業上の条件に沿った集材を適宜に実行できることが上げられる。これはトラクタが機動性に富むという特徴とともに架線集材における架線の架設や盤台の作設等の副次的作業が少ないことにも関係している。したがって、トラクタ集材作業においては副作業は問題にされることが少なく、その評価方法は明らかにされていない。しかし、トラクタ集材にとって一見非生産的工程と考えられる副作業の問題は集材技術を展開する場合の欠くことができない条件であり、生産性向上をはかる上で重要な役割を果たすと思われる。なぜならばトラクタ道の作設や土場の作設といった副作業は単に主作業のための補助的手段でしかないように思われるが、トラクタ集材にとって適正なトラクタ道の密度や配置あるいは適切な土場位置の設定は伐出作業を集約的に実行し、生産性を高める上で不可欠の要素である。こうした意味から、集材路の作設や土場の作設等の副作業の良否は、見方によっては伐出作業全体の成否を決定するものといえる。

ここではトラクタ集材における副作業工程としてのトラクタ道および土場の作設に当たりのあり方について、特に事例分析を基に計量地理学的側面からその評価法について検討を行った。

1) トラクタ集材における集材土場の評価

トラクタ集材作業における集材土場は、トラクタ集材路網がリンク(線)に対しノード(点)の関係にあり、どちらか一方が不備であっても適正な集材作業は完結しない。集材に際して土場を先に決めるか、それとも集材路の導入を先に決めるかという問題はさておき、これらの2者の関係は相互に関連し合ったかたちで構成されている。

集材土場を計量地理学的な立場から評価しようとする場合その視点として次のような項目が考えられる。

- ① 集材土場敷の適正規模の問題。
- ② 集材土場敷における荷下し場、造材場、巻立て場、貯材場、仕分け場、積込み場等の最適レイアウトの問題。
- ③ 最適土場敷の問題。
- ④ 適正な土場位置の問題。

ここでは、上の項目から特に③④の問題を取り上げ検討を行った。

(1) 集材土場敷の見方と最適土場敷

ある集材面域に土場施設を「いくつ」設置したらよいかという問題は、後述する「どこに」設置するかという問題とともに集材施設計画の中心課題である。これらの「施設量(数、規模)」とその「配置」は別個に取り扱われるものではなく、相互にバランスよく決定することが計画の上で重要である。

この種の問題は、都市工学や計量地理学の分野でいう施設配置問題あるいは地理学的最適化問題の1つと考えられる。しかしこれらの分野で取り扱われる問題の多くは人間行動ある

いは社会的条件にウェイトが置かれるのに対し、集材土場の問題では木材搬出という単一目的の立場から主に地理的条件に重点を置いた最適化問題として扱われる。

ここでは、土場密度（単位面積（ha）当りの土場数）や土場の規模と平均集材距離の関係について検討するとともに最適土場数について理論的な考察を行った。

i) 集材面域から土場までの平均集材距離の算定

山土場などの点的施設の規模や数あるいは配置を論ずる場合、その中心的命題は伐倒木から土場施設までの集材距離であるといえる。

図-18は、土場数や土場施設規模を算定する場合のフローチャートを示したものである。図からわかるように、土場数および規模を算定するには集材距離が重要な役割を演ずることになり、土場数が決まれば集材距離を通して土場の規模が決定され、また土場の規模が決まれば集材距離を媒介として土場数が決定されることになる。すなわち集材距離によって土場数および土場規模の一応の目安を得ることができることがわかる。

土場までの集材距離を算定しようとする場合、2つの場合が考えられる。1つは材を最も近い土場へ搬出するという仮定から、土場を配置したときの集材距離である。この集材面域は各土場へ搬出する伐倒木の地点が重ならない領域に分割されるのであるが、この領域すなわち Voronoi 領域の各母点を土場と考えた場合の領域内の距離を論ずるものである。他方もう一つの場合は、各土場の圏域を問題とするよりも、複数土場で集材面域全体を対象とすることを想定したもので、伐倒木の地点から最も近い土場までの距離を論ずるものである。

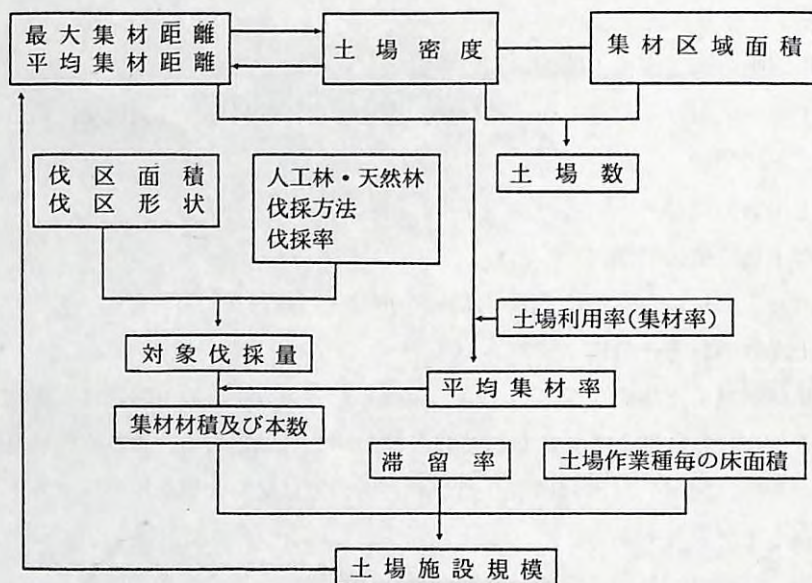


図-18 土場施設の数と規模の関係

ここでは前者の場合を Voronoi Diagram 法、後者を Nearest Neighbor Distance 法と呼称し、それぞれの平均集材距離についてみる。

図-19は Voronoi 線図による各土場に対する集材領域を示したものである（図は、斜線をほどした領域にある伐倒木は土場 P_i に集材することを示したものであり、右図は左図を拡大したもので Voronoi 分割の幾何学的な性質を示したものである）。Voronoi 多角形の各母点 P_i を土場と考えると、Voronoi 線図の性質からその平均集材距離を算定することができる。詳細については参考書等にゆだねるとして、いま ha 当りの土場数を ρ とすると、各領域の各土場へ集材する平均集材距離 \bar{l} は式(1)で表される。

$$\bar{l} = \frac{1}{6} \left[2Z + \frac{X^2}{Y} \ln\left(\frac{Y+Z}{X}\right) + \frac{Y^2}{X} \ln\left(\frac{X+Z}{Y}\right) \right] \\ = 40.5422 / \sqrt{\rho} \quad (1)$$

$$\text{但し, } X = \frac{16}{9\pi\sqrt{\rho}} \times 100, \quad Z = \frac{3}{4\sqrt{\rho}} \times 100, \quad Y = \sqrt{Z^2 - X^2} \text{ である。}$$

またもう一方の圏域を問題としないで、任意の点から最も近い土場までの集材距離については、土場の分布がポアソン分布に従っているとすると、集材距離 l の確率密度関数からその平均集材距離の期待値 \bar{l} が式(2)のとおり算定することができる。

$$f(l) = 2 \times 10^4 \rho \pi l e^{-10^4 \rho \pi l^2} \\ \bar{l} = \int_0^{\infty} l f(l) dl = \frac{1}{2\sqrt{\rho}} \times 100 \quad (2)$$

但し、 ρ は ha 当りの土場数である。

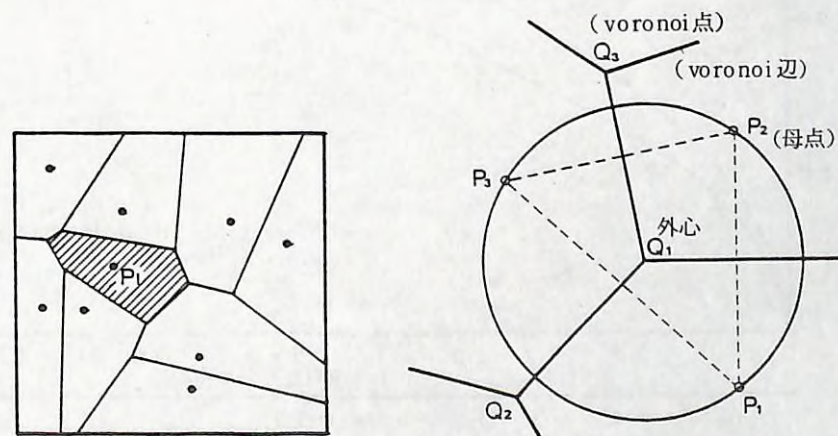


図-19 Voronoi 線図による集材領域と土場及び集材距離

図-20は、上述のそれぞれの場合について、土場密度（ha 当たりの土場数）と平均集材距離の関係を示したものである。図から明らかなとおり、各平均集材距離は土場密度が小さい程、すなわち1土場当たりの集材面積が大きい程長くなる。また集材の圏域を問題とする Voronoi 分割による集材の場合の平均集材距離は集材圏域を問題としないで土場へ集材する場合の平均集材距離に比べて短くなることがわかった。

ii) 最適土場数の算定

トラクタ集材作業において最適な土場数あるいは土場密度を算定する場合2つの方法が考えられる。1つは静的立場から土場数を決定しようとするものであり、土場までの集材費、土場間の道付け費および土場開設費等の総費用を最小にする方法である。また他方は動的立場からの解明といえるもので、所謂トラクタ待ち時間や土場作業待ち時間および荷掛け作業待ち時間等の総待ち時間を最小にする土場数の算定法である。これらの2方法によって得られた最適土場数は必ずしも一致したものではなく、むしろ両者の評価値を同時に満足する土場数が最適な土場数となる。しかし、ここでは、待ち時間の問題は取り上げないで前者の静的立場からの最適土場数について理論的に検討した。

ある集材面積に対し最適土場数を算定する場合、それに係る集材総費用（又は集材所要

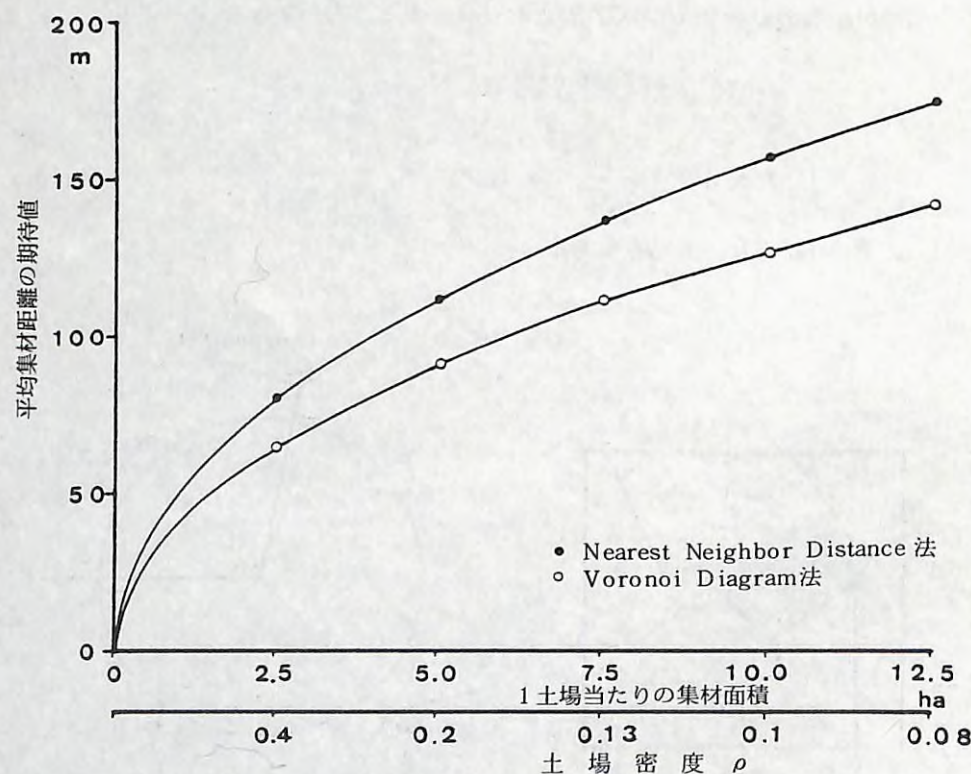


図-20 土場密度と平均集材距離の関係

人工数)を最小にすることを目的関数とすると、土場数のパラメータに対しおおまかにいて3つの費用関数が考えられる。すなわち、1つは土場までの集材距離に関する集材費であり、1つは土場の規模あるいは設置場所の地形条件等に関する土場開設費である。さらにもう1つは既設道から土場までおよび土場間の道付け等の費用である。これらの費用は土場密度が大きくなるに従って集材費は減少し、土場開設費や土場間の道付け費用は逆に増大する関係となることが推察される。

いま、土場数の多少に対し直接変動しない費用を固定費として一定とおき、土場数の多少に関する費用の合計をTとおくとTは(3)式のとおり表される。

$$T = a \cdot w \cdot A \bar{l}_1 (1 + \eta_1) + b \cdot n \bar{l}_2 (1 + \eta_2) + c \cdot s_A n \quad (3)$$

但し、a: 単位材積当たり単位m当たりの集材費（又は所要人工数）b: 単位m当たりの道路作設費（又は所要人工数）、c: 1土場当たり土場面積当たりの土場開設費（又は所要人工数）、w: ha 当たりの出材量 (m³/ha)。A: 対象集材域の面積 (ha)。s_A: 1土場当たりの土場面積 (m²)。n: 土場数。 \bar{l}_1 : 平均集材距離 (m)。 \bar{l}_2 : 土場間の平均距離 (m) ($\bar{l}_2 = 32 \times 100 / (9\pi\sqrt{\rho})$)、ρはha 当たりの土場数)。 η_1, η_2 : 迂回率。である。

ここで、 \bar{l}_1, \bar{l}_2 及び n は土場密度 $\rho (= n/A)$ の関数で与えられることから、(3)式にそれぞれを代入すると、ha 当たりの総費用 $T_A (= T/A)$ は次式のとおり土場密度 ρ の関数で表される。

$$T_A = T/A = 50 \cdot a w (1 + \eta_1) \frac{1}{\sqrt{\rho}} + \frac{32 \times 10^2}{9\pi} b (1 + \eta_2) \sqrt{\rho} + c \cdot s_A \rho \quad (4)$$

$$(\text{又は}) = 40.5422 a w (1 + \eta_1) \frac{1}{\sqrt{\rho}} + \frac{32 \times 10^2}{9\pi} b (1 + \eta_2) \sqrt{\rho} + c \cdot s_A \rho \quad (5)$$

但し、(4)式は(2)式、(5)式は(3)式の \bar{l}_1 を適用したものである。

(4)式のそれぞれの係数を式(6)で与えると T_A は、(7)式となる。

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 50 \cdot a w (1 + \eta_1) \quad (\text{又は } k_1 = 40.5422 a w (1 + \eta_1)) \\ k_2 &= 32 \times 10^2 \cdot b (1 + \eta_2) / 9\pi \\ k_3 &= c \cdot s_A \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\therefore T_A = k_1 \frac{1}{\sqrt{\rho}} + k_2 \sqrt{\rho} + k_3 \rho \quad (7)$$

式(7)から、ha当たりの総費用 T_A は土場密度 ρ の関数で表され、 ρ の変化によって増大する関数項と減少する関数項の合成関数で示される。

すなわち、総費用を最小にする土場密度 ρ は、

$$\frac{dT_A}{d\rho} = 0 \text{ より}$$

$$\rho = \left(\frac{1}{\left(-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}\right)^{\frac{1}{3}} + \left(-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}\right)^{\frac{1}{3}}} \right)^2 \quad (7)$$

となり、最小値を有することになる。但し、 $P = -k_2/k_1$ 、 $q = -2k_3/k_1$ である。

図-21は、1例として、費用の代わりに所要人工数を評価値とした場合の最小所要人工数を与える土場密度の関係を示したものである。

算定に用いた各係数は第1報の事例分析より求められた平均的な値であり、表-9のとおりである。図は天然林の場合について示したものであるが、図中の数字は①：集材作業の人工数、②：土場間の作業路作設人工数（連絡路作設人工数）、③：土場開設人工数、であり、④は①、②、③の合計所要人工数を示している。図からわかるように、集材作業人工数は、

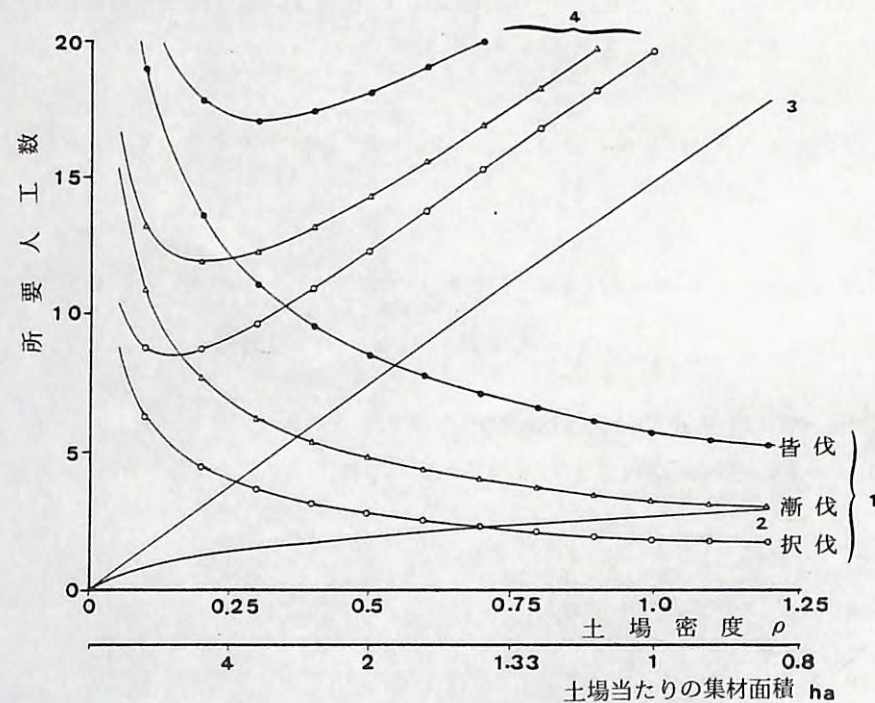


図-21 伐採方法別、最小所要人工数を与える土場密度（天然林の場合）

表-9 最適土場数算定のための各種作業の所要人工数の評価値

評価値	天然林			人工林	
	皆伐	択伐	漸伐	皆伐	間伐
集材作業 a (人工数/㎡・m)	0.75E-3	0.1E-2	0.85E-3	0.95E-3	0.3E-2
平均的出材量 w (㎡/ha)	200	50	100	300	75
連絡路作設作業 b (人工数/m)	0.025 (40m/日)				
土場開設作業 c (人工数/㎡)	0.03 (土場の大きさ500㎡)				

土場密度が高くなるに従って減少しており、土場間の作業路作設人工数および土場開設人工数は土場密度の増大とともに増大し、総所要人工数は両者の合成関数で表され、ある土場密度において最小所要人工数を与えることがわかる。

これらの関係は人工林についても同様であるが、最小所要人工数を与える土場密度は出材量によって異なる。図-22は、それぞれ伐採方法について ha 当たりの出材量と最小所

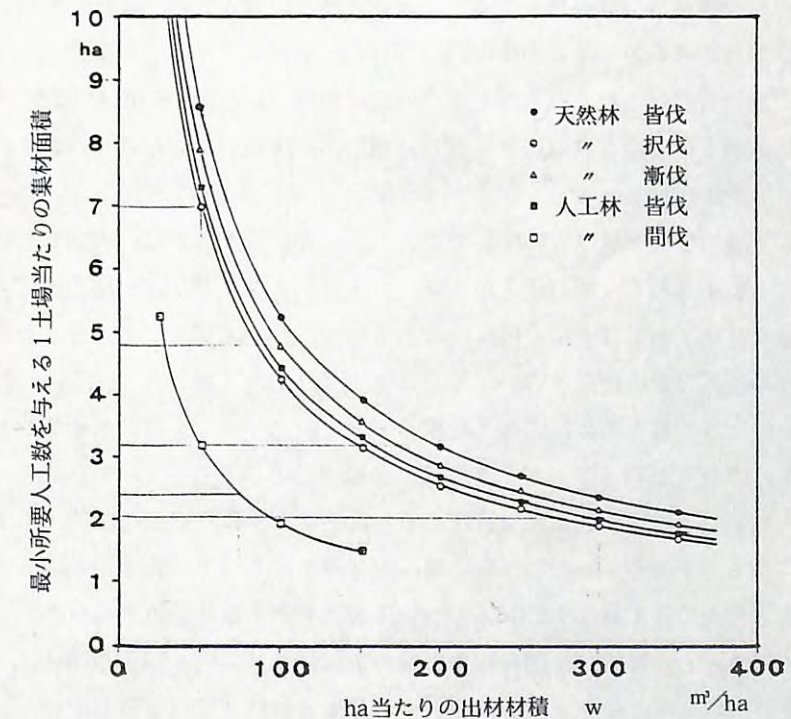


図-22 出材材積と最適土場数の関係

要人工数を与える1土場当たりの伐区面積の関係を示したものである。図からわかるように、1土場当たりの最適伐区面積は、各伐採方法ともha当たりの出材量が大きくなるに従って減少する。また各伐採方法について平均的なha当たりの出材量について表-9に示しているが、それらの値を図-22に適用すると1土場当たりの最適伐区面積は、皆伐(天)では3.2ha、皆伐(人)では2ha、択伐では7ha、漸伐では4.8ha、間伐では2.4haとなることがわかる。

以上のように、最適土場数は各現場の作業条件や各作業毎の評価値が与えられれば、およその数値が理論的に算定することが可能となる。

(2) 集材土場の設定位置のパターン化とその要因及び適正土場位置の算定

トラクタ集材における集材土場は、架線集材の場合と異なり、工作資材を使用した高規格の土場は少なく、平土場あるいは簡単な掘削ま盛土等の施工により開設した土の土場が主流である。したがってその設置は比較的容易であるため各所に様々に設定されるように見える。しかし一見不規則に見える設置場所も、現場の諸条件、例えば、伐採方法、伐採面積、出材量、伐区形状あるいは地形条件、林道と伐区との位置関係などの因子により制約を受けることになり、それぞれの現場条件に従った土場位置が決定されることになり、それぞれの土場位置にもある法則性が見い出される場合が少なくない。

例えば、土場位置の設定に関しては次のような特徴を有していることが多い。

- ①林道、作業道等の既設道になるべく近い箇所に設置される(輸送ポテンシャル条件)。
- ②平均集材距離を短くする箇所に設置される(集材ポテンシャル条件)。
- ③上方集材を避けるためなるべく標高の低い箇所に設置される(位置ポテンシャル条件)。
- ④土場敷が十分確保される広さを有し、地形が平坦かつ単純な所に設置される(地場ポテンシャル条件)。

一方、土場の位置を伐区との関係で見ると図-23に示すとおり、大別して次の3タイプに分類できる。すなわち土場が伐区から離れた場合(Aタイプ)、土場が伐区に隣接している場合(Bタイプ)および土場が伐区内にある場合(Cタイプ)である。これらの各々のタイプは上述の位置設定の特徴からいうと、Aタイプは①の「輸送ポテンシャル条件」を満足させることになり、Bタイプは③の「位置ポテンシャル条件」を満足させることが多い。またCタイプは②の「集材ポテンシャル条件」を満すことになる。

ともあれ集材土場を「どこに」設定するかはトラクタ集材路網の配置とも関連して集材作業を展開する上で欠くことのできない問題となるが、ここでは先ず上述の3タイプの土場位置の設定と種々の作業条件との関係について調査事例を基に分析を行った。

分析の対象とした資料は、国有林野事業の集材作業技術例(昭和56年及び昭和57年度調査)であり、特にトラクタ集材を主流とする北海道営林局管内を取り上げた。またここでは1伐区に1土場を有した集材現場事例を取り上げている。調査事例数は、北海道局9例、旭

土場位置	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
土場が林道に隣接する場合			
土場が林道に隣接しない場合			

図-23 集材土場位置のパターン

川支局36例、北見支局14例、帯広支局11例、函館支局10例、合計80調査例である。

分析に当っては、伐区域、林道、作業道及び土場位置等を記載した1/5000の対象地の地形図を基に各計量要因を計測した。またその他の定性、定量要因については調査表から求めた。

分析の手法としては、土場の立地選好を各種の立地因子を基に総合的に表現する指標を求め、その指標を用いて立地の可能性の大小を推定することを目的としていること、また質的な立地因子が含まれることから、数量化理論第Ⅱ類を用いた。

i) 集材土場位置パターンの判別

集材土場の立地因子は、大別して、集材費に関係する因子、既設道から土場まで道付けする費用に関係する因子および対象伐区周辺の自然条件やその他の環境立地因子に分けられる。

ここでは、土場位置タイプの判別に対し表-10に示す立地因子を取り上げた。

先ず、土場位置の異なるA、B、Cの3タイプを外基準とし、各要因による判別を行った結果を示すと図-24のとおりである。図から明らかなように各タイプのスコア合計の平均値はAタイプ、Bタイプ、Cタイプの順に大きくなっているが、BタイプとCタイプでは判別できず、ほとんど同一のパターンに属することを示している。しかし、AタイプとB、Cタイプでは明らかに異なるパターンであることが示された。そこで、BとCタイプを同一のグループとしてAタイプとの判別結果を示すと表-11及び図-25のとおりである。

表-10 土場位置パターン分類の分析結果（3分類の場合）

立地因子	カテゴリー	カテゴリー内容	サンプル数	カテゴリースコア	レンジ	偏相関係数
集材条件	伐採方法	1 皆伐	31	-0.01215	0.02836	0.18613
		2 皆択	30	0.00229		
		3 択伐	19	0.01621		
	伐採面積	1 10ha以下	31	-0.01253	0.05062	0.34324
		2 10~20	24	-0.01790		
		3 20ha以上	25	0.03272		
	伐区形状	1 0.5以下	22	0.01003	0.03127	0.23326
		2 0.5~0.6	20	0.00175		
		3 0.6~0.7	23	-0.01907		
		4 0.7以上	15	0.01220		
	出材量	1 1000m ³ 以下	23	-0.05152	0.07805	0.44840
		2 1000~1500	20	0.01258		
		3 1500~2000	16	0.02351		
		4 2000m ³ 以上	21	0.02653		
道路作成条件	既設道からの距離(伐区最短まで)	1 0	37	0.00337	0.00831	0.06329
		2 100m以下	24	-0.00494		
		3 100m以上	19	-0.00032		
	伐区重心と最短既設道間の傾斜	1 10度以下	32	0.02486	0.04898	0.35400
		2 10~15	22	-0.02413		
		3 15度以上	26	-0.01018		
周辺の立地条件	既設道から伐区への到達難易度	1 容易	25	0.02959	0.06586	0.38236
		2 中程度	30	0.00556		
		3 困難	25	-0.03627		
	周辺の地形傾斜	1 15度以下	13	-0.04419	0.06672	0.33449
		2 15~20	32	-0.00211		
		3 20~25	21	0.01555		
		4 25度以上	14	0.02253		
	周辺の地形の複雑度	1 極めて容易	8	-0.00597	0.03288	0.21800
		2 容易	17	0.02371		
		3 中程度	20	-0.00172		
		4 困難	35	-0.00917		
	周辺の既設道の路網密度	1 0 m/ha	22	-0.06855	0.12590	0.59759
		2 0~10	19	-0.02220		
		3 10~20	23	0.04401		
		4 20m/ha以上	16	0.05735		

図-25 からわかるようにAタイプとB、Cタイプはここで取り上げた要因に対し明らかに判別が可能であり、正判別率（適中率）は99.2%であった。すなわち、各要因のスコア合計が約0.08（判別境界値）以下ではAタイプの土場位置に設置されやすく、それ以上ではBまたはCタイプの土場位置に設置されやすいことを示している。また、この判別に対して最も影響力を与える要因は、伐区周辺（伐区内も含む）の既設道の路網密度であるこ

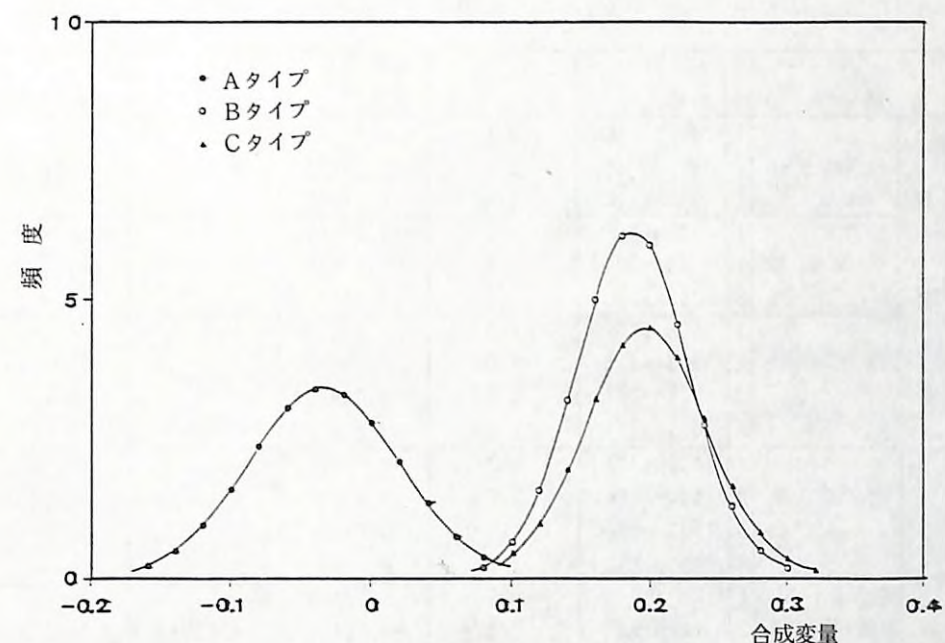


図-24 土場位置パターンの判別（正判別率 69.445%）

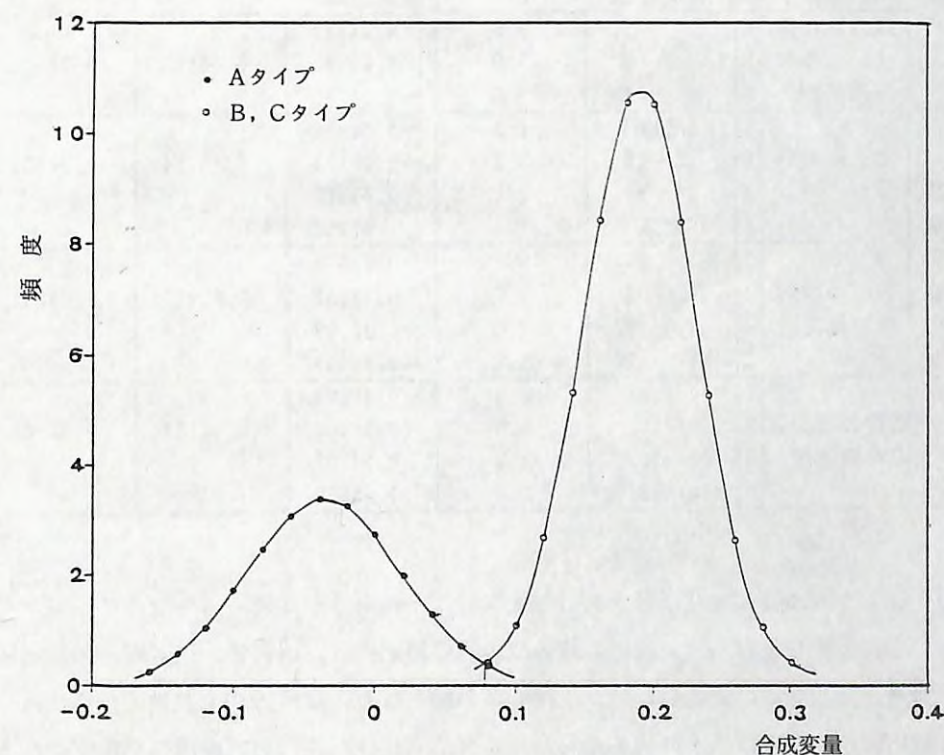


図-25 土場位置パターンの判別（正判別率 99.210%）

表-11 土場位置パターン分類の分析結果（2分類の場合）

立地因子	カテゴリ	カテゴリ内容	サンプル数	カテゴリスコア	レンジ	偏相関係数
集材条件	伐採方法	1 皆伐	31	-0.01240	0.02756	0.18169
		2 皆択	30	0.00322		
		3 択伐	19	0.01515		
	伐採面積	1 10ha以下	31	-0.01165	0.04975	0.33763
		2 10~20	24	-0.01801		
		3 20ha以上	25	0.03174		
	伐区形状	1 0.5以下	22	0.01027	0.03366	0.24283
		2 0.5~0.6	20	0.000057		
		3 0.6~0.7	23	-0.01953		
		4 0.7以上	15	0.01413		
	出材量	1 1000m ³ 以下	23	-0.05250	0.07755	0.45202
		2 1000~1500	20	0.01466		
		3 1500~2000	16	0.02426		
		4 2000m ³ 以上	21	0.02506		
道路作設条件	既設道からの距離(伐区最短まで)	1 0	37	0.00308	0.00744	0.05630
		2 100m以下	24	-0.00436		
		3 100m以上	19	-0.00049		
	伐区重心と最短既設道間の傾斜	1 10度以下	32	0.02363	0.04690	0.33853
		2 10~15	22	-0.02328		
		3 15度以上	26	-0.00939		
	既設道から伐区への到達難易度	1 容易	25	0.02882	0.06582	0.37930
		2 中程度	30	0.00682		
		3 困難	25	-0.03700		
周辺の立地条件	周辺の地形傾斜	1 15度以下	13	-0.04552	0.06754	0.34007
		2 15~20	32	-0.00175		
		3 20~25	21	0.01617		
		4 25度以上	14	0.02202		
	周辺の地形の複雑度	1 極めて容易	8	-0.02478	0.03620	0.23023
		2 容易	17	0.02552		
		3 中程度	20	-0.00199		
		4 困難	35	-0.01069		
	周辺の既設道の路網密度	1 0 m/ha	22	-0.06633	0.12163	0.58003
		2 0~10	19	-0.02069		
		3 10~20	23	0.04207		
		4 20m/ha以上	16	0.05530		

とがレンジ及び偏相関係数とも最も大きいことからうかがえる。ちなみに、レンジの大きい順に要因を上げると、伐区周辺の既設道の路網密度、出材量、伐区周辺の地形傾斜、既設道から伐区への到達難易度、伐採面積の順となり、伐採方法や既設道から伐区までの最短距離等の要因は小さい値を示した。すなわち、伐区周辺の既設道の路網密度が小さい程、出材量は少ない程、伐区周辺の地形傾斜が平坦な程あるいは既設道から伐区への到達難易

度が容易な程集材土場の位置は伐区の外に設置されやすいことを示している。

以上の分析の結果から、集材土場位置の見方は、大きく分けて、土場が伐区から離れて在るか伐区の中や周辺に在るかに分類されること。また土場位置を伐区から離れて設置するかあるいは伐区の中や周辺に設置するかを選択はここで取り上げた要因によりかなり規定されること。などが明らかとなった。

ii) 適正土場位置の算定

i) で述べたとおり、土場位置の見方は大まかに見て、伐区の外か内（周辺も含む）に分けられ、各現場の条件によってそのどちらかに決められることが調査事例から明らかとなった。

ここでは、これらの結果をさらに進めて、集材面積の「どこに」設定したらよいかについて検討してみる。

表-12は、先の調査事例について70%以上を占める伐区周辺及び伐区内に土場が設定されたものについて、実際の土場地と立地可能地と考えられる場所および不可能地と考えられる場所を取り上げ、土場の立地選好についてその類似性（適合度）を示したものである。表に示す値は事例総数に対する各項目に該当した事例数の比率を示したものであるが、その値が1に近づく程相関が高くなる。表からわかるように、実際の土場は立地可能地として載げた項目の場所に多く立地されており、立地不可能として載げた項目の場所には立地されていないことがわかる。また立地可能地として載げた項目のうち既設道に最も近い場所が最も適地として選択されており、続いて標高の最も低い場所、平均集材距離が最も短かくてすむ場所の順となっている。これらの結果からもわかるように、適正な土場位置は、先にも述べたとおり、先ず「輸送ポテンシャル条件」「集材ポテンシャル」「位置ポテンシャル条件」が満される場所であることが考えられる。さらにそれらの場所は土場敷が十分確保でき、平坦で単調な地形であるなど地場ポテンシャル条件が整っていることが適正土場位置として望ましいことが推察できる。しかし、これらの条件を全て満足する場所は少ない。例えば既設道に近くなるが集材距離は長くなったり、あるいは集材距離が短くなるが上方集材面積が大きくなるなどむしろ背反事象となることが少なくない。すなわちこれらの事象に対する評価値の合計が最も妥当なところが最適土場位置として決定される。

いま、最適土場位置を算定するにあたって上の条件を満足するための諸費用を考えると最適土場数の算定の場合と同様、次の費用が考えられる。

- ① 既設道に近い場所→（道路作設費）
- ② 集材距離が短い場所→（集材費）
- ③ 上方集材面積が少ない場所→（集材費）
（集材域において標高の低い場所）
- ④ 土場箇所の地形が急峻及び複雑でない場所→（土場開設費）

表-12 土場立地した場所と検討した場所の類似度

土場の立地適用地		1	2	3	4	5	6	7
実際の土場地		1	1	0.667	0.053	0.368	0	0
立地可能地	既設道に最も近い地	2		1	0.035	0.491	0	0.053
	平均集材距離が最も短くなる地	3			1	0	0	0
	標高が最も低い地	4				1	0.035	0.158
立地不可能地	既設道から最も遠い地	5					1	0.404
	平均集材距離が最も長くなる地	6						1
	標高が最も高い地	7						

57ヶ所

すなわち、集材面域内の各点に対し、上の各費用を算出し、総費用が最小となる点が最適土場位置として決定することができる。

そこで、上の項目について①～③の費用を T_1 ④の費用を T_2 とおくと、総費用 T は次式のとおりに表される。

$$T = T_1 + T_2 \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = aX_1 + (b_1w_1\bar{\ell}_1 + b_2w_2\bar{\ell}_2) \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_2 = cX_3 \end{array} \right. \quad (10)$$

但し、 X_1 ：既設道から土場までの距離(m)。 $\bar{\ell}_1, \bar{\ell}_2$ ：下方集材部分及び上方集材部分の平均集材距離(m)。 a ：単位m当たりの道路作設費(円/m)。 b_1, b_2 ：下方集材及び上方集材の単位材積当たり単位m当たりの集材費(円/m³・m)。 w_1, w_2 ：下方集材及び上方集材の出材量(m³)。 c ：m²当たりの土場開設費(円/m²)。 X_3 ：土場敷の面積(m²)。

また、下方集材部分及び上方集材部分の面積を a_1, a_2 とすると、全体の集材面積 A の平均集材距離 X_2 および出材量 w は次式(11)、(12)で表される。

$$X_2 = \frac{a_1}{A}\bar{\ell}_1 + \frac{a_2}{A}\bar{\ell}_2 \quad (11)$$

$$w = w_1 + w_2 = \frac{a_1}{A}w + \frac{a_2}{A}w \quad (12)$$

さらに、下方集材と上方集材の単価の比を次式(13)で与えると、 T_2 は式(14)となる。

$$\mu = (b_2 - b_1) / b_1 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} T_2 &= aX_1 + b_1wX_2 + b_1w\mu\bar{\ell}_2 \cdot \frac{a_2}{A} \\ &= aX_1 + b_1w \left(1 + \mu \cdot \frac{\bar{\ell}_2}{X_2} \cdot \frac{a_2}{A} \right) X_2 \end{aligned} \quad (14)$$

ここで $\left(\frac{\bar{\ell}_2}{X_2} \cdot \frac{a_2}{A} \right)$ の値を Z とすると例えば、矩形モデルとした場合次式(15)で与えられるが、図-26に示すとおり、 k 及び t によって多少異なるが近似的には $\frac{a_2}{A}$ に比例する。

$$Z = \frac{kr^2 + tr}{2kr^2 - 2kr + t + k} \quad (15)$$

但し、 r ：上方集材の面積比 $\left(\frac{a_2}{A} \right)$ 、 k ： $k = b / a$ 、(a ：コンター方向の平均長、 b ：最急傾斜方向の平均長)、 $t = 2m^2 - 2m + 1$ 、 m ：同一標高値における土場位置の変数。

すなわち、図からわかるように Z の値は $\frac{a_2}{A}$ に対し $\frac{a_2}{A} < 0.5$ では多少下の値となり、 $\frac{a_2}{A} > 0.5$ では多少上の値となることから、補正値 ϵ を与えてやると Z は近似的に次式(16)で表される。

$$Z = \frac{a_2}{A} (1 + \epsilon) \quad (16)$$

但し、 ϵ は k 及び t を無視し一定とした場合、 $\left(1 - \frac{a_2}{A} \right) \left(\frac{a_2}{A} - 0.5 \right)$ から $\epsilon = a_1(a_2 - a_1) / 2A^2$ となる。

式(16)を式(14)に代入すると T_1 は次式となる。

$$T_1 = aX_1 + b_1w \left\{ 1 + \mu \left(1 + \epsilon \right) \frac{a_2}{A} \right\} X_2 \quad (17)$$

以上の結果から、最適土場位置を算定することができるのであるが、ここでは、より実用性を考えて2段階に分けて決定する方法を用いた。すなわち第1段階では、先ず集材面域全体に対し大まかな土場位置としての適正範囲(領域)を算出し、第2段階では、それらの適正範囲から最も良い箇所を選択する方法である。第1段階では評価値 T_1 を用い、第2段階では評価値 T_2 を用いるのであるが、第1段階での算定は、それぞれ、既設道からの距離の分布図、平均集材距離の分布図および上方集材面積率の分布図を作成し、それぞれについて重み付けをしたものをオーバーレイすることにより、適正土場位置の範囲が算出できる。

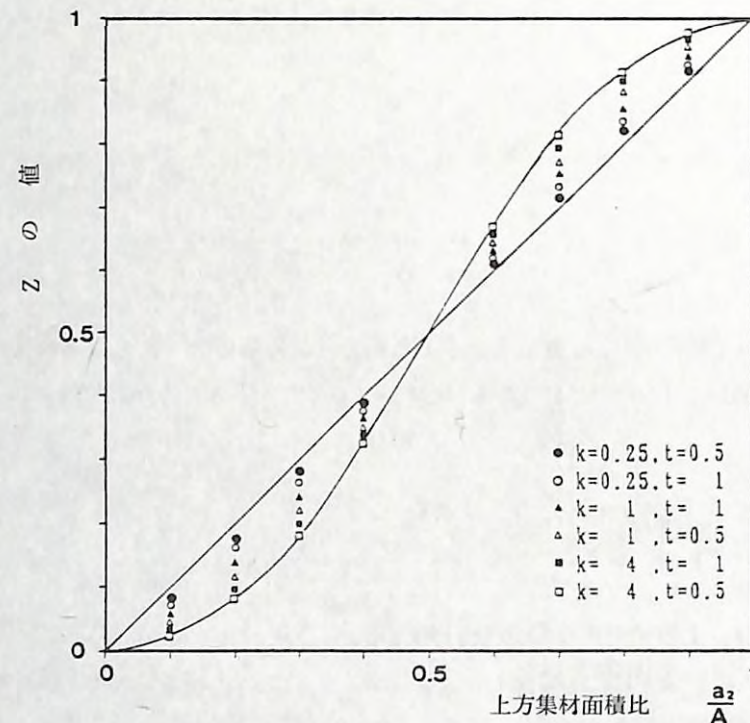


図-26 上方集材の平均集材距離と上方集材の面積比の関係

図-27は、最適土場位置の算定のフローチャートを示したものである。図-27の流れに従って実際のトラクタ集材現場を対象に土場配置計画の適用例を示す。

ここで使用した集材費関連の数値は次のとおりである。機械の出力級：6t～10t級クローラ、機械の価格：900万円、荷掛け・集材作業組人数：2人、機械全損料率：0.0365%，燃料日使用量：26ℓ，潤滑油使用量：0.6ℓ，平均木寄せ距離：15m，1日の実働時間：6時間。また上方集材と下方集材の単価は、搬出路の傾斜によりけん引荷重が変化し功程に影響を及ぼすことから、その単価比はここでは近似的に次式により与えた。

$$\mu = \left\{ \mu_L (\mu_t - \tan \theta) / \mu_t (\mu_L + \tan \theta) \right\} - 1 \quad (18)$$

但し、 μ_t ：粘着係数、 μ_L ：抵抗係数、 θ ：上方集材部の平均傾斜である。さらにその他の費用項目として、道路作設単価は500円/m～5000円/mまで変数で与え、土場開設単価はⅢ章の表-5及び表-7に示す土の土場例の値を参考にした。

以上の費用に関する数値をもとに最適土場位置の算定を行った。

図-28は、北海道営林局管内の集材現場例であるが、それぞれ「既設道が伐区の外に在る場合」「既設道が伐区に隣接した場合」および「既設道が伐区の中に在る場合」の1例である。これらの事例について、各評価項目ごとにその最適土場位置を示すと図29～31とな

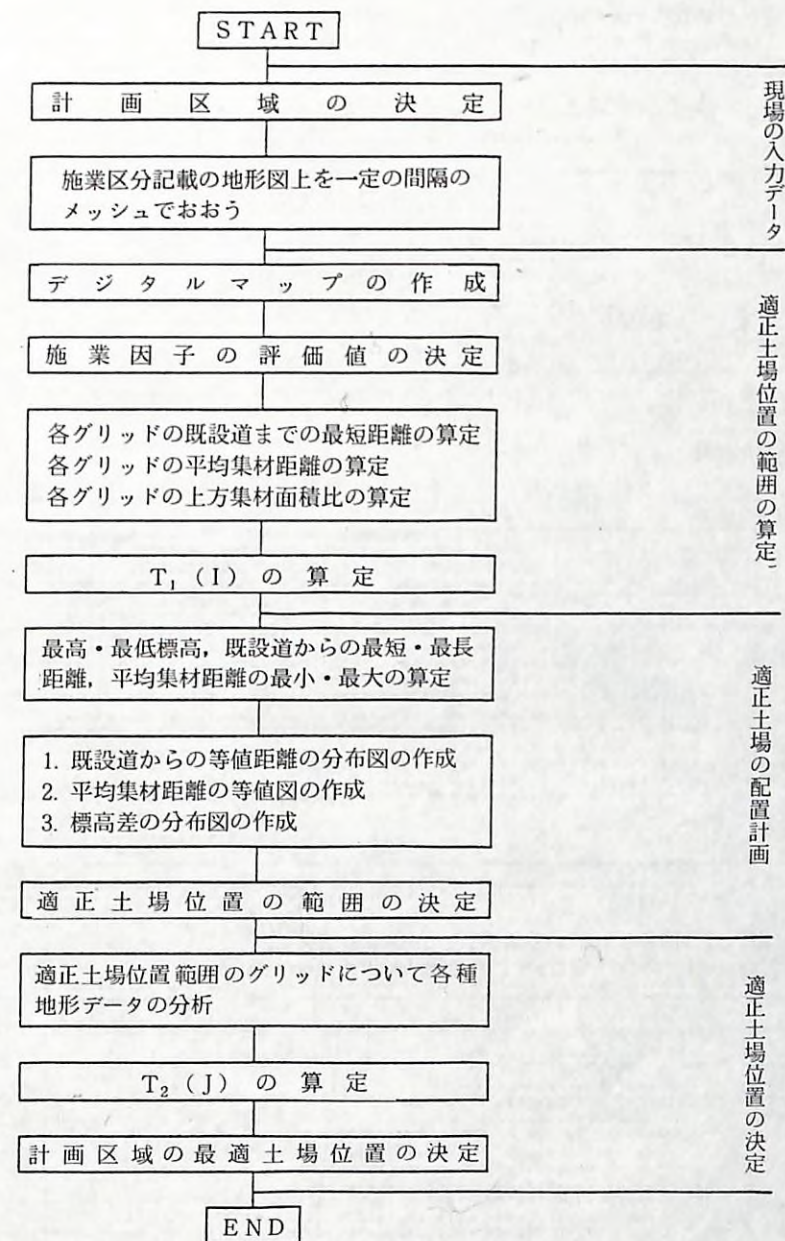
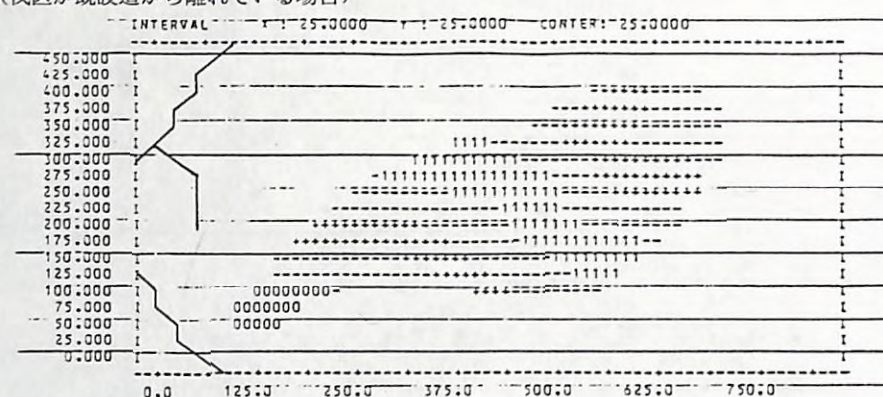


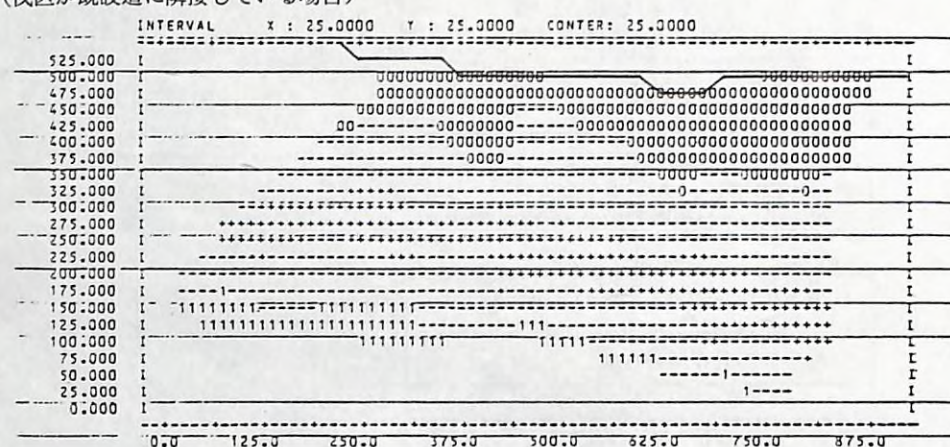
図-27 土場配置計画のフローチャート

る。各図はそれぞれ上から④「既設道までの道付けに関する評価」⑤「集材に関する評価」および⑥「上方集材に対する評価」であり、図中の数字は、それぞれの評価項目について最大となる場合と最小となる場合の差を20等分し、土場位置として適正である順に数値を与えたものである。すなわち、記号Aで示す位置は費用が最も少なくてすむ範囲であり、土場設定位置として適している範囲を示しており、大きい数字を示す位置ほど土場設定位

(伐区が既設道から離れている場合)



(伐区が既設道に隣接している場合)



(伐区の中に既設道が開通されている場合)

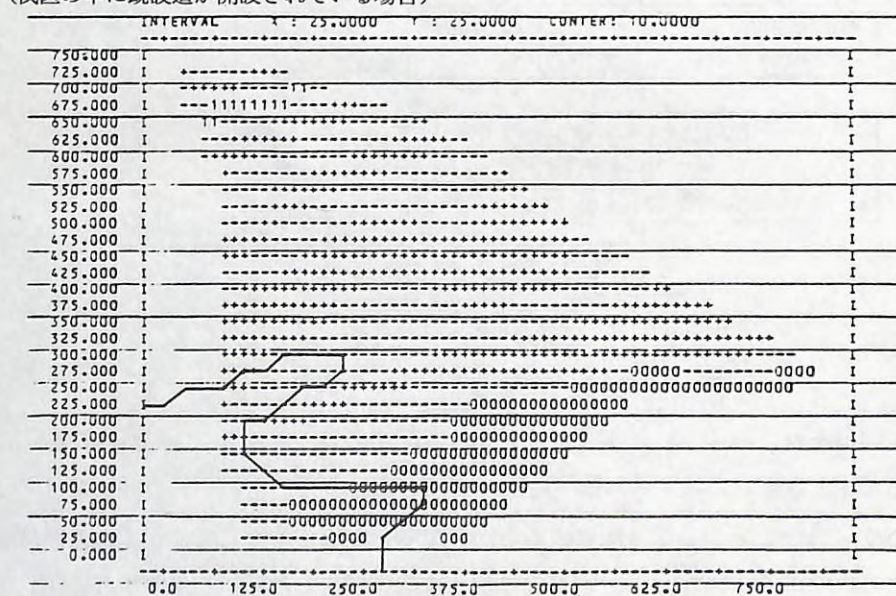


図-28 適用対象地の地形図および伐区と既設道の位置関係

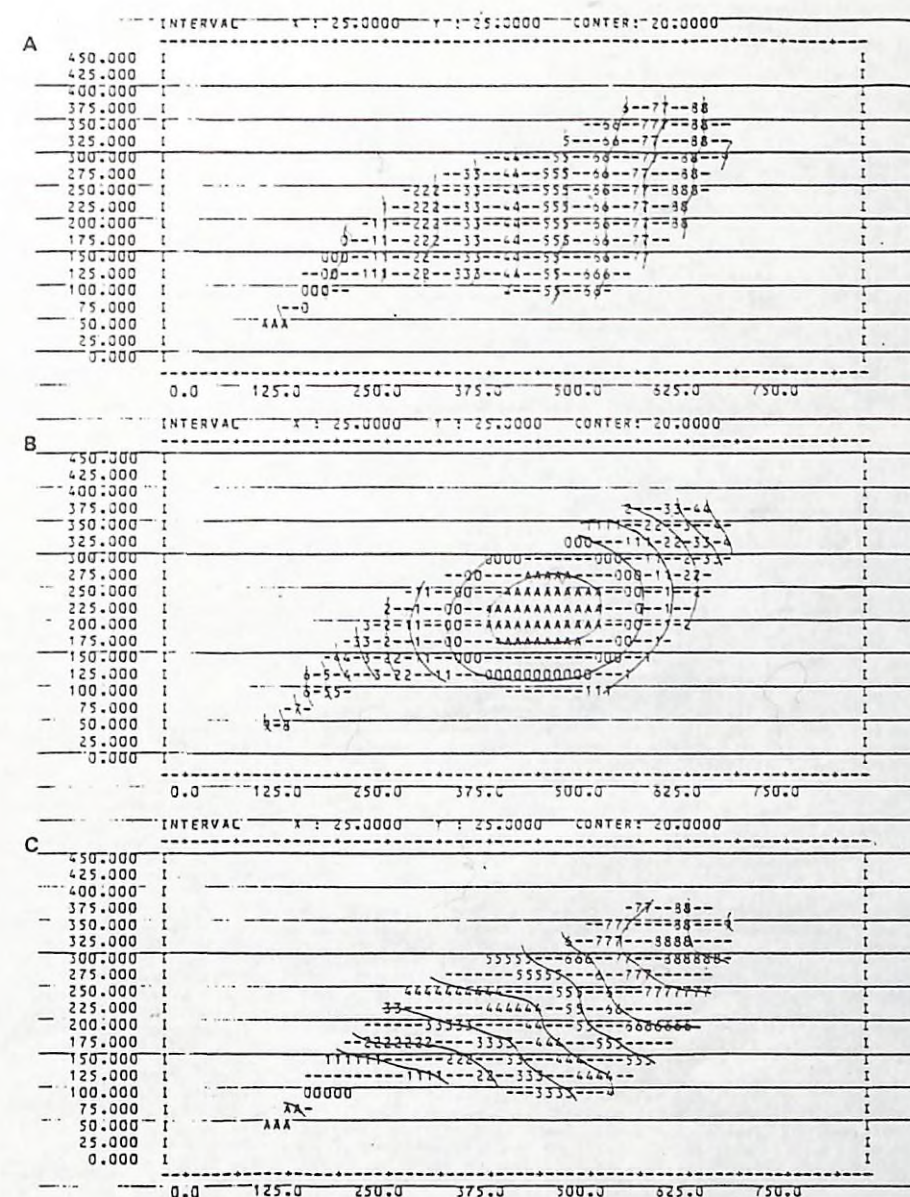


図-29 適用対象地の各評価項目ごとの適正土場位置の範囲
(伐区が既設道から離れている場合)

置として不適当であることを示している。図からわかるように各事例とも、④図では既設道に近い所ほど、⑤図では平均集材距離が短い所ほど、また⑥図では上方集材の面積比率が小さくてすむ所ほど、適正土場位置となることが示されている。

図-32は、各評価項目ごとに先に示した費用係数による重み付けをしてオーバーレイしたものである。この値は式(17)の T_1 に相当するわけであるが、前図と同様に適正土場位置の範囲

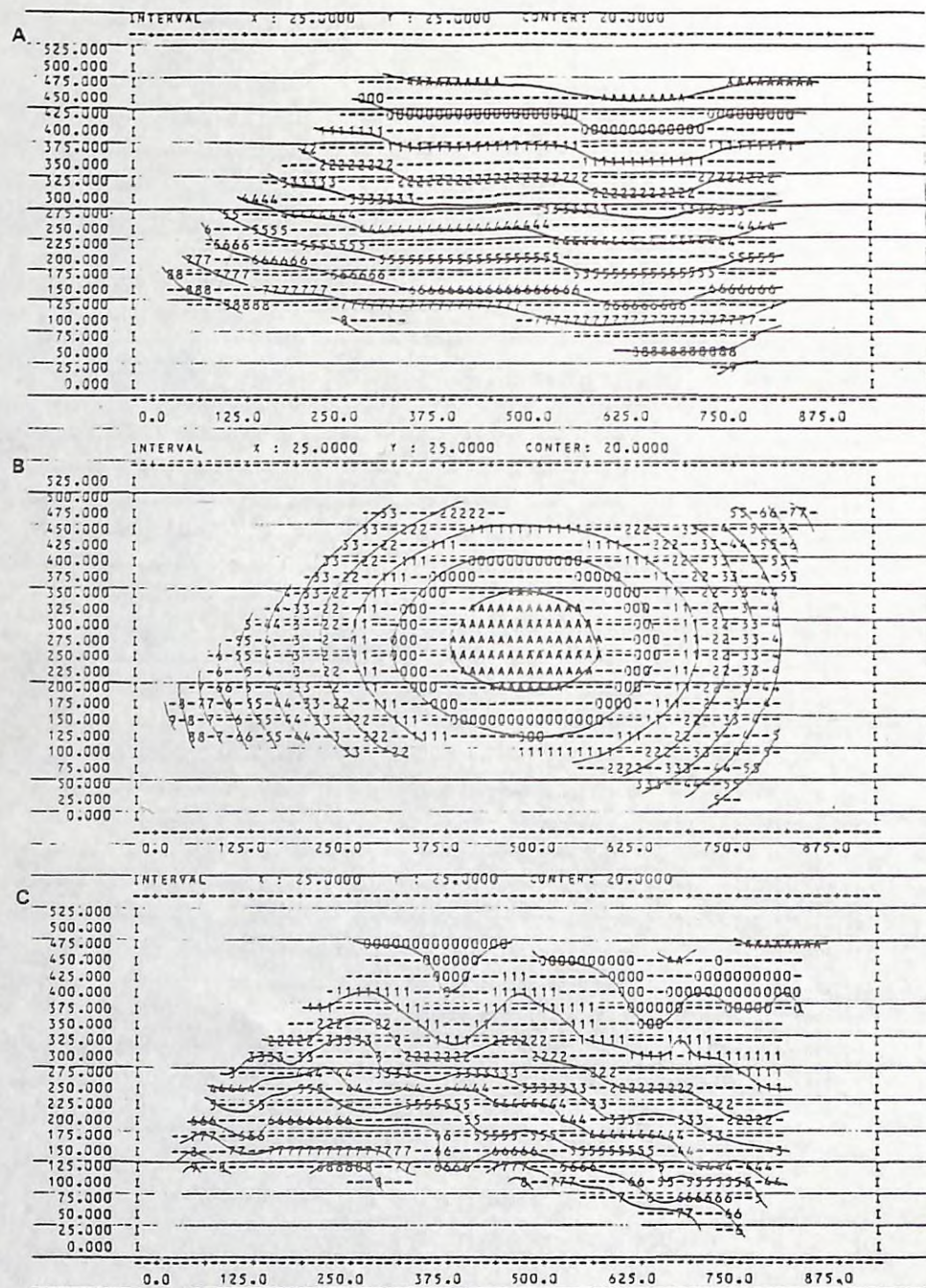


図-30 適用対象地の各評価項目ごとの適正土場位置の範囲
(伐区が既設道に隣接している場合)

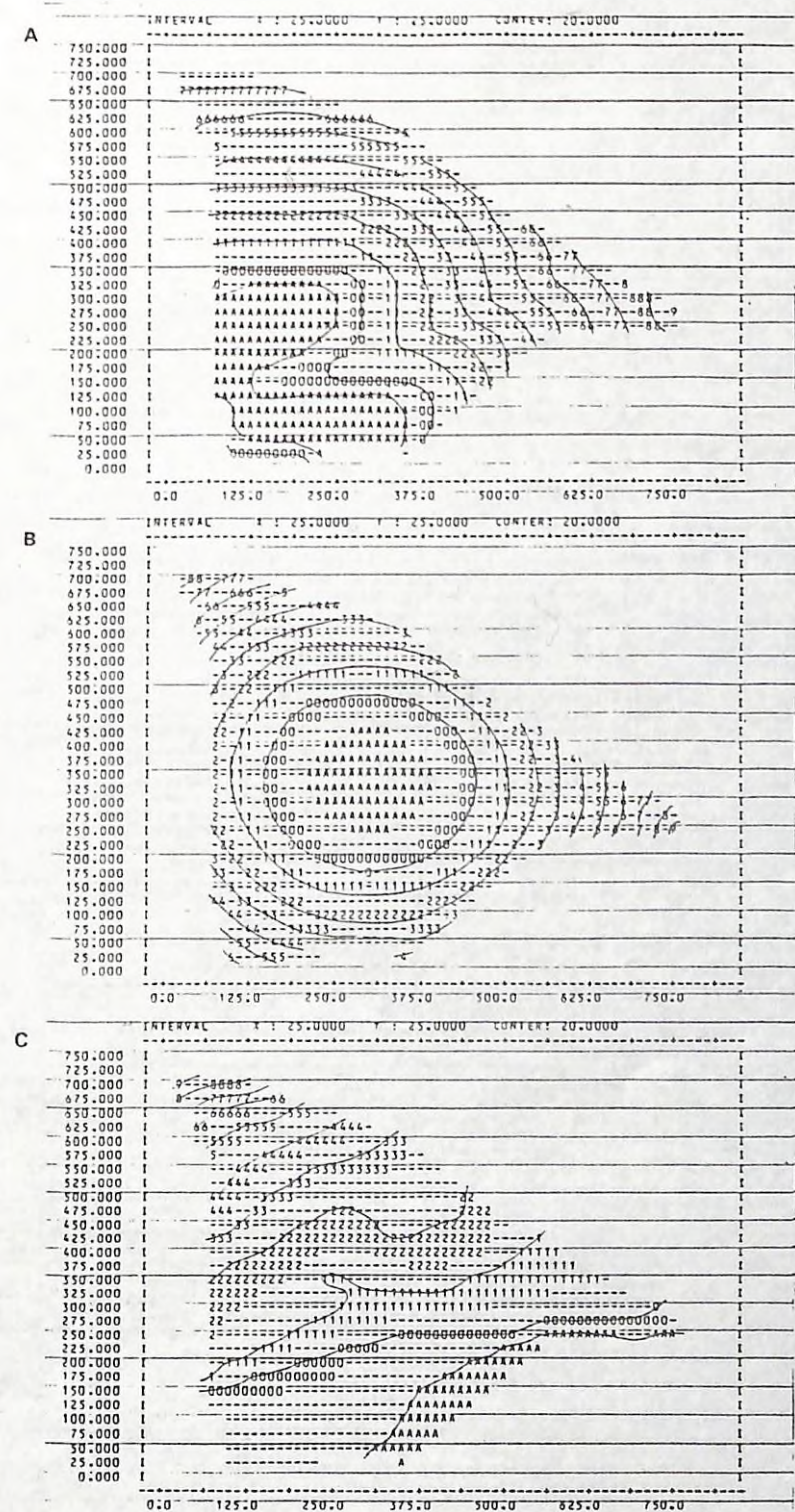
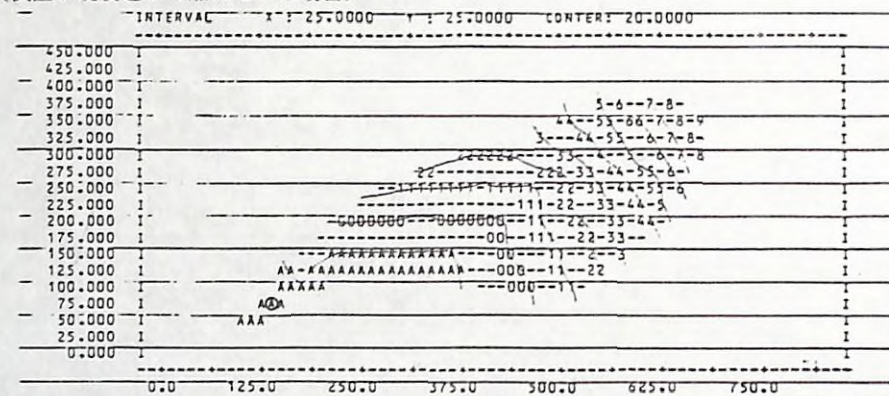
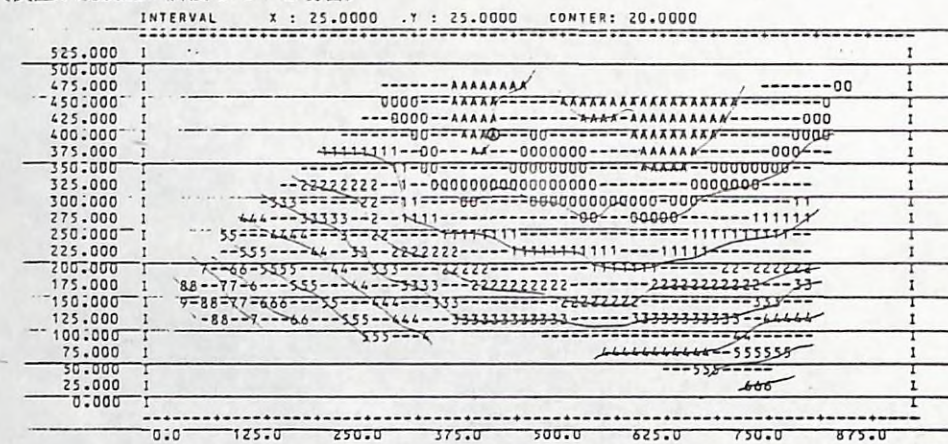


図-31 適用対象地の各評価項目ごとの適正土場位置の範囲
(伐区の中に既設道が開設されている場合)

(伐区が既設道から離れている場合)



(伐区が既設道に隣接している場合)



(伐区の中に既設道が開通されている場合)

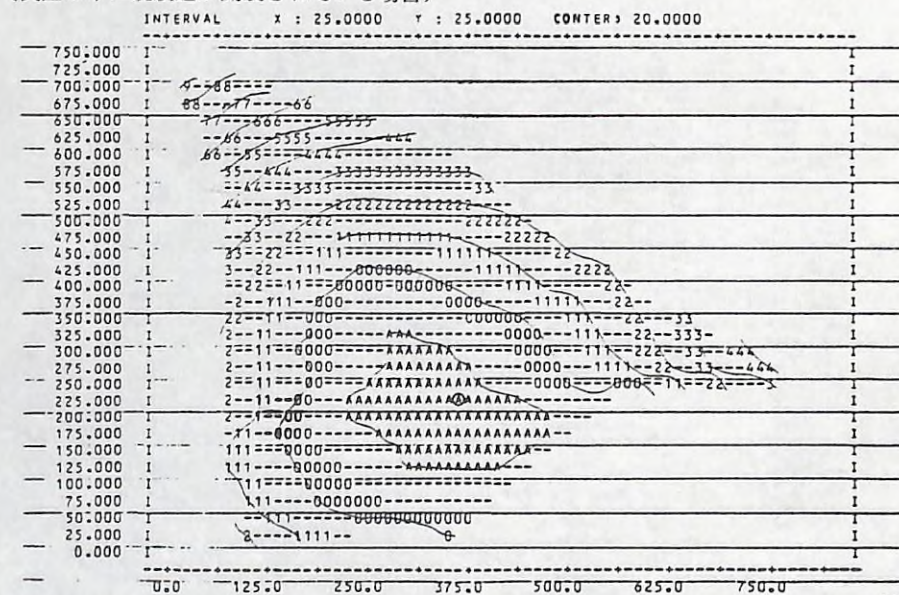


図-32 土場配置計画における適正土場位置の範囲

を記号Aで示している。但し、ここではそれぞれの費用係数は、道路作設単価：1000円/m、集材単価（下方集材の場合）：5円/m²・m、土場開設単価：223円/m²としたものである。また各調査地毎の評価値は、出材量（A地：136m³/ha、B地：127m³/ha、C地：79m³/ha）、μの値（A地：6.22、B地：2.31、C地：0.84）であり、迂回率η₁、η₂はそれぞれ0としたものである。図中の白丸印は、適正土場位置の範囲からさらに土場開設費が最小となる地点、すなわち地形条件が最も良い地点を示している。

以上のように、集材現場の土場位置の選定は、基本的にはここで示した考え方を用いれば、従来の経験則による計画より客観的かつ合理的な土場配置計画が可能となる。

2) トラクタ集材におけるトラクタ集材路網計画

トラクタ集材作業におけるトラクタ集材路は、林道や作業道と違って、工作物の設置や路体の施工は少なく、また一定の計画のもとで作設される場合が少ないため、その路網の配置や形態は様々に見える。しかし、このトラクタ集材路も、現場の条件や集材関連条件によりその導入の仕方や作設の仕方に制限が加えられることになる。

従来、トラクタ集材路の導入方法は、各現場の経験や勘によってそれぞれ導入し、作設されてきたが、今日の厳しい経済状況あるいは森林環境保全等の社会的な要請などを考えると、従来の経験則の方法からさらに進んだ客観的かつ合理的な、しかも森林や地域の特性に応じたきめ細かな集材路網導入法を見出すことが必要と思われる。

トラクタ集材路網の見方は、伐区域にトラクタ集材路が「どの程度」「どこに」および「どの様に」導入しているかということである。すなわちこれはトラクタ集材路網計画の最も基本となる問題であり、それぞれ次のテーマに帰着する。

- ① トラクタ集材路網密度の問題。
- ② トラクタ集材路網の配置の問題。
- ③ トラクタ集材路網の形態の問題。

これらの問題については既に第1報や文献等で明らかにしているのので、ここではトラクタ集材路網計画の概要について述べることにする。

(1) トラクタ地形区分と最適集材路網

トラクタ集材路網の構成や形態は、現場の条件、例えば、地形、地表条件、伐採面積、伐区形状、林道・作業道と集材区域の位置関係土場の位置あるいは伐採方法、出材量などの要因により制約を受ける。これらの諸因子ごとの関係については第1報において論じたが、ここではこれらの要因全体が集材路網パターンにどのように影響を及ぼしているかについてみる。

分析の対象資料は、先に取り上げた北海道営林局管内の1伐区に1土場を有した集材現場事例である。これらの資料を基に現場条件によるトラクタ集材路網パターンの判別を行った。外的基準に用いたトラクタ集材路網の違いはここでは機能的分類表示（f値）の値によりそ

れぞれ均一状集材路網（Aグループ）、ランダム状集材路網（Bグループ）および集塊状集材路網（Cグループ）に分け、各要因に対する判別の可能性について検討した。

取り上げた要因は表-13に示すとおりである。判別結果は表-13や図-33のとおりである。

まず図から明らかなように、均一状集材路網グループほど、各要因の属性からの合成変量の値が小さくなり、集塊状集材路網グループほど、その合成変量の値は大きくなる。またランダム状集材路網グループは両者の間にグループ分けされていることがわかる。すなわち、これら3グループは、ここで取り上げた要因によってかなり判別が可能となることが正判別率（適中率72%）の数値からもわかる。次に、これらの判別に対して大きな影響力を与える要因をみている。表からレンジの大きい要因は、地形傾斜、地形の複雑度、既設道から伐区までの距離等となり、偏相関係数の大きい要因は、地形傾斜、伐採方法、地形の複雑度などとなる。また伐区形状や伐採面積はレンジおよび偏相関係数とも小さいことがわかる。すなわち、これらの結果から、トラクタ集材路網パターンは地形条件に大きく左右されることが推察できた。

以上のことから、トラクタ集材路網の配置はここで取り上げた要因によりかなり規定されることになるが、そのうちでも特に地形傾斜の要因がトラクタ集材路網の導入に重要な影響を与えることから、各地形条件に対して技術的にも経済的にも妥当なトラクタ集材路網の密度や配置について検討を加えた。

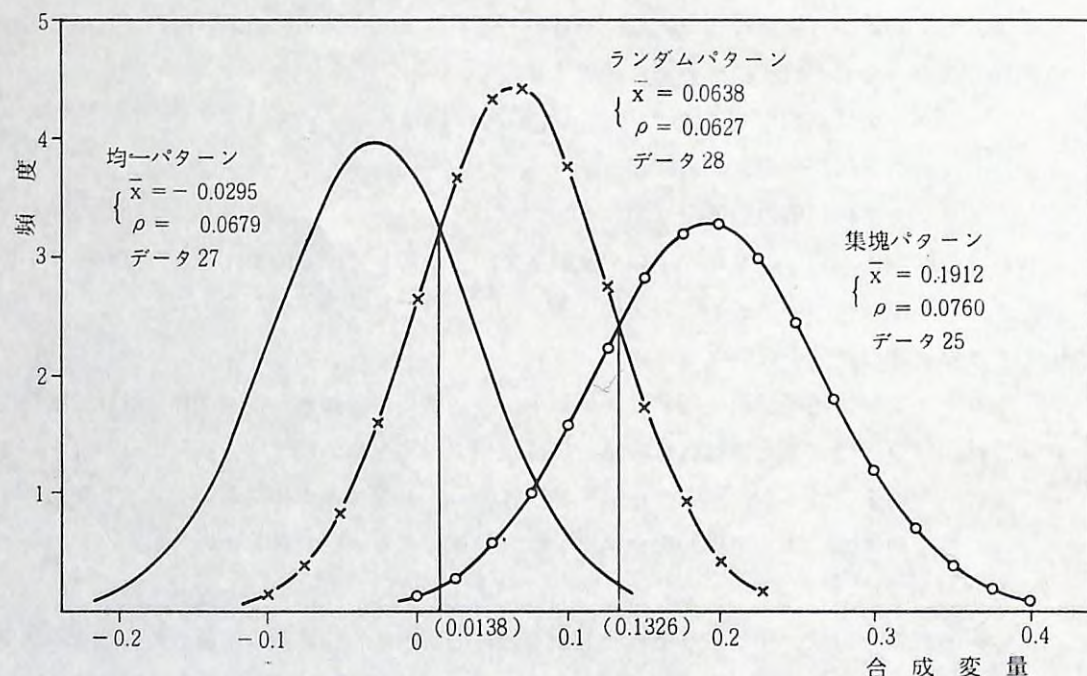


図-33 集材路網パターンの判別（正判別率 72.128%）

表-13 集材路網パターン分類の分析結果

要 因		カテゴリー	カテゴリー内 容	サ ン プ ル 数			カテゴリー ス コ ア	レ ン ジ	偏 相 関 係 数	
				均 等 配 置	ランダム 配 置	集 塊 配 置				
集材路網条件	伐採方法	1	皆 伐	14	11	6	-0.05856	0.11051	0.40466	
		2	皆 択	7	14	9	0.02761			
		3	択 伐	6	3	10	0.05195			
	伐採面積	1	10 ha 以下	10	11	10	0.02133	0.05361	0.22958	
		2	10～20	8	11	5	-0.03227			
		3	20 ha 以上	9	6	10	0.00453			
	伐区形状	1	0.5 以下	9	7	6	-0.01077	0.04625	0.20705	
		2	0.5 ～ 0.6	5	6	9	0.03329			
		3	0.6 ～ 0.7	7	9	7	-0.01295			
		4	0.7 以上	6	6	3	-0.00874			
	出 材 量	1	1000㎡以下	6	9	8	0.00873	0.07112	0.29699	
		2	1000～1500	4	9	7	0.02507			
		3	1500～2000	5	4	7	0.01656			
		4	2000㎡以上	12	6	3	-0.04605			
	地形条件	地形傾斜	1	15度以下	5	8	0	-0.08864	0.23401	0.64259
			2	15～20	18	9	5	-0.05057		
3			20～25	4	9	8	0.03501			
4			25度以上	0	2	12	0.14537			
地形の複雑度		1	極めて容易	5	1	2	-0.09806	0.13190	0.37041	
		2	容 易	6	8	3	-0.02263			
		3	中程度	7	5	8	0.03385			
		4	困 難	9	14	12	0.01406			
その他の	周辺の既設道の路網密度	1	0 m/ha	5	9	8	0.06621	0.09938	0.24883	
		2	0 ～ 10	8	7	4	-0.02753			
		3	10～20	9	8	6	-0.01752			
		4	20m/ha以上	5	4	7	-0.03317			
	既設道から伐区までの距離	1	0	10	11	16	0.04141	0.12223	0.33207	
		2	100 m 以下	10	11	3	0.00014			
		3	100 m 以上	7	6	6	-0.08082			
	土場の位置	1	伐区の外	5	12	6	0.04622	0.07172	0.21728	
		2	〃 の 周辺	11	11	10	-0.01330			
		3	〃 の 中	11	5	9	-0.02550			

これらについての算定方法あるいは算出過程の詳細は文献等に委ねるが、トラクタ集材地形の傾斜区分ごとの最適集材路網の密度や配置および路網型等についての結果を示すと表-14のとおりである。結果を概要すると次のとおりである。

- ① 各トラクタ集材路網型とも、地形傾斜が急になる程その集材路網密度は小さくなり、集材率（地形の制約で集材ができなくなる集材木を考えた場合の集材予定量に対する集材可能量の比率）を確保するためには木寄せ距離を大きくしなければならないこと。またトラクタ集材路網の配置は地形傾斜が急になるに従って偏りが大きい集塊状パターンとなる。すなわち、平坦地では均一状集材路網パターン、中斜地ではランダム状集材路網パターン、急斜～急峻地では集塊状路網パターンとなる。
- ② 地形傾斜区分ごとの最適集材路網型は平坦～緩斜地（20%以下）では単線型や放射型路網であり、道付けをしないで林内集材走行する集材搬出方式が良く、ウィンチによる木寄せ距離はなるべく短かくし伐倒木近くまでトラクタを導入する方法が好ましいこと。中斜地（20～33%）では集材距離が最も短かくてすむ樹枝型路網を適用することが好ましく、平均集材距離がほぼ15mになるように集材路網を配置する方法となる。また急斜～急峻地（33%以上）では、集材率を確保するために、幹線作業路を設ける必要があり、幹線作業路を設けた幹線樹枝型及び幹線道型路網を適用した集材方法が好ましいこと。などとなる。
- ③ 平均的な択伐地（出材量50m³/ha）と皆伐地（出材量100m³/ha）に対し最適平均木寄せ距離は、択伐地の方が皆伐地に比べ多少大きくなるが、地形傾斜区分ごとにみると、平坦地では約5m、中斜地では15～17.5m、急斜～急峻地では17.5～20mとなる。

表-14 トラクタ地形区分と最適集材路網型、最適平均木寄せ距離および土場数

地形傾斜 (%)		～ 10	10 ～ 20	20 ～ 33	33 ～ 50	50 ～
地形傾斜の種類		平坦地	緩斜地	中斜地	急斜地	急峻地
集材路網密度		極 密	密	中	疎	極 疎
集材路網パターン 機能的分類 (f値)		～ 1.0	1.0 ～ 1.33	1.33 ～ 1.57	1.57 ～ 1.67	1.67 ～ 2.0
集材路網型		単線型 放射型	単線型 樹枝型	樹枝型 放射複合型	幹線樹枝型 幹線道型	幹線道型 幹線樹枝型
集材搬出方法		フリーウェイ型	フリーウェイ型	半フリーウェイ型	道付け型	道付け型
択伐	平均木寄せ距離 ■ 土 場 数	5.0 3 ～	10.0 2 ～ 3	17.5 2	19.0 1	20.0 1
皆伐	平均木寄せ距離 ■ 土 場 数	5.0 3 ～	7.5 3	15.0 2	17.5 2	19.0 2

- ④ 伐区当たりの土場面積を一定とした場合、地形傾斜が平坦になるに従って土場は分散した方が好ましい。

以上のように、トラクタ集材現場の地形条件がわかると、表-14を適用することによりおよそその集材路網密度や集材路網型あるいは最適な平均木寄せ距離がわかることになる。ここではトラクタ機種や上げ荷・下げ荷、木寄せの違い等の関係については考慮していないが、ここで得た結果に補正值等を与えてやればトラクタ集材作業の予測の判断基準として利用が可能となり、トラクタ集材路網計画の立案の際の有効な指針となる。

(2) トラクタ集材路網の配置計画

集材作業に対し適切な技術システムを選択し、しかも経済的にも適切な集材を実行するためには、それぞれの集材現場の条件に調和した集材計画を立てることが必要であり、その計画の中心となるのは林道、作業道を含めた集材路網の配置計画であると考えられる。

ここでは全体の集材路網計画の概要を示すとともに、そのうちの特にトラクタ集材路の配置計画について具体的な集材路導入計画の手順についてあらましを述べる。

全体の集材路網計画は、大きく分けると地帯区分の作成、適正な土場数・土場位置の算定、幹線作業路（作業道）の路線選定及びトラクタ集材路網の配置計画からなり、互いに調整され全体的に総合化されている。それらの内容を示すと図-34のとおりである。この集材路網計画は、当該の1伐採地を対象とするものから数年にまたがる複数個の伐採ヶ所を有する小流域や面域を対象とするものまで広く適用が可能な総合的集材路網計画である。

これらの集材路網計画システムのうちトラクタ集材路網計画について示すと図-35のとおりである。トラクタ集材路網計画は大別して段階ごとにトラクタ集材路の路網型の決定、トラクタ集材路網の配置計画およびトラクタ集材路線の選定と評価からなっているが、具体的な集材路網導入計画の手順は図-36のとおりであり、それぞれのステップに従って作業が実施されることになる。

各ステップの作業は以下のとおりである。これらのステップごとの作業と評価についての詳細は文献を参照されたい。

- (1) ステップ1 現場入力データの収集。
- (2) " 2 トラクタ集材路網型の決定。
- (3) " 3 概括的な土場位置の範囲と数の算定。
- (4) " 4 トラクタ集材路網の配置の算定。
- (5) " 5 環境保全等を考慮した集材路網の配置の評価検討。

以上のように、トラクタ集材路網配置計画は、ステップ1からステップ5を順次実行することにより、集材路網導入計画図を求めることができる。図-37は、これらの配置計画の適用例の1例を示したものである。

実際にこれらの集材路網計画を適用する場合には、それぞれの事業現場の目的に応じて、

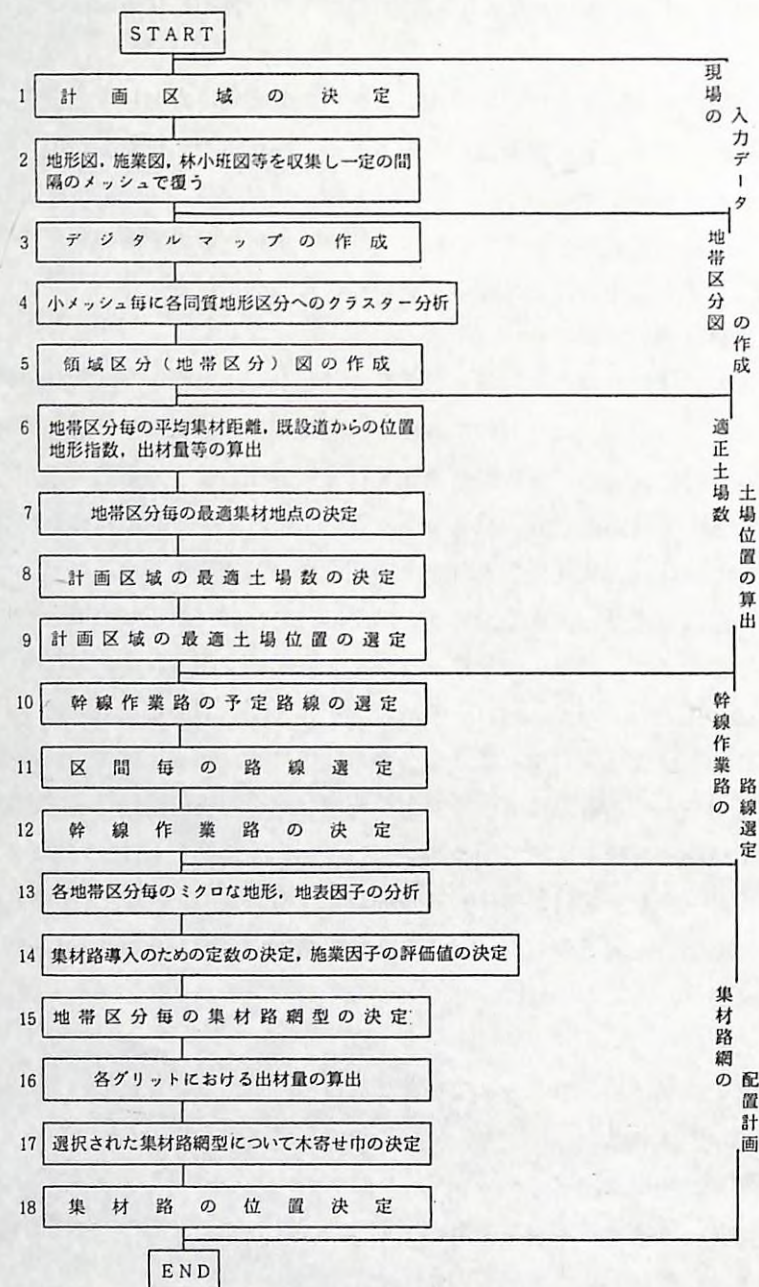


図-34 全体の集材路網計画の流れ

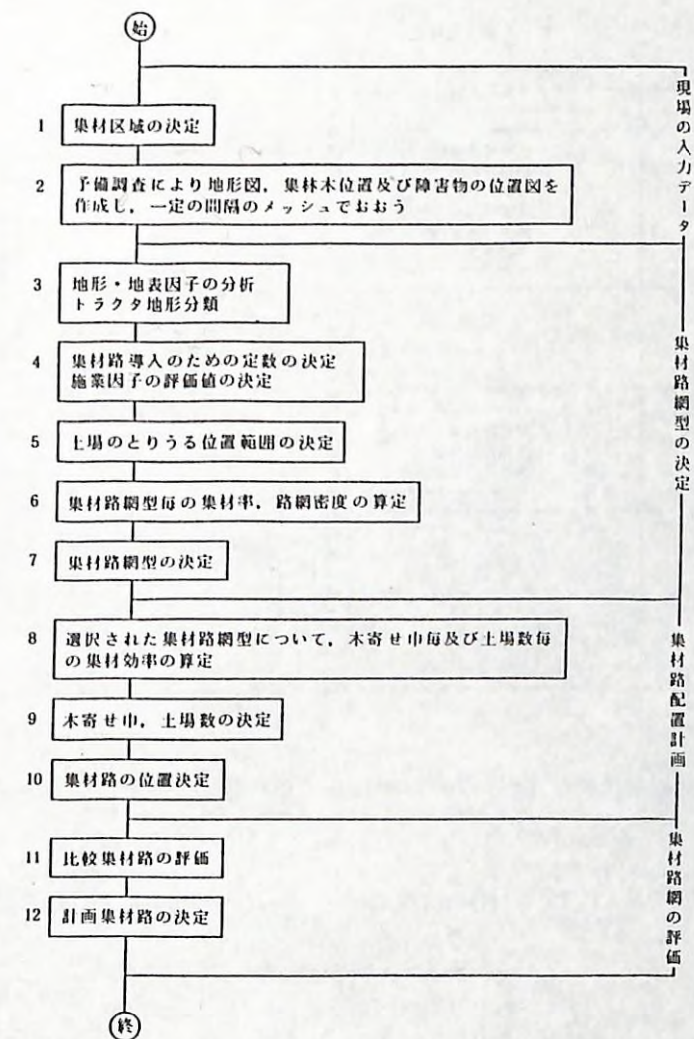


図-35 トラクタ集材路網計画のフローチャート

それぞれの評価対象について同様の路網配置を行い、幾つかの比較路線から目的に合った路線を選択することが必要となる。このような方法を電算機やパソコンを用いて図上で繰り返し実行することにより、従来の経験や勘に比べ、合理的かつ客観的なトラクタ集材路網の選定が可能となる。

(井上源基)

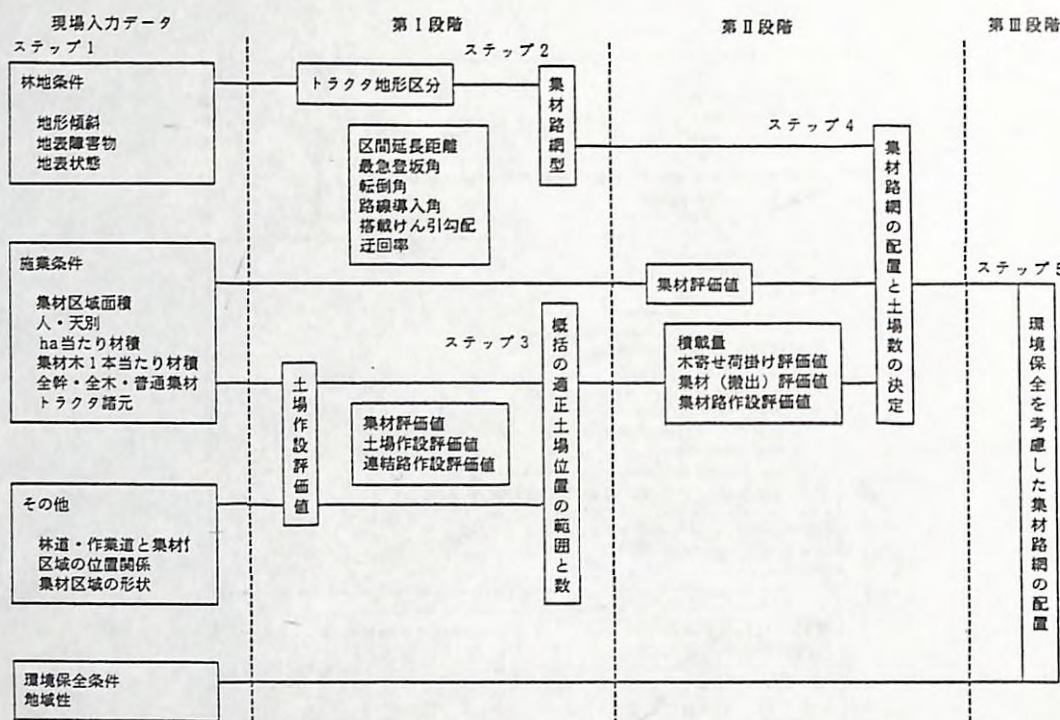


図-36 具体的な現場入力データによる集材路網配置計画の算定過程

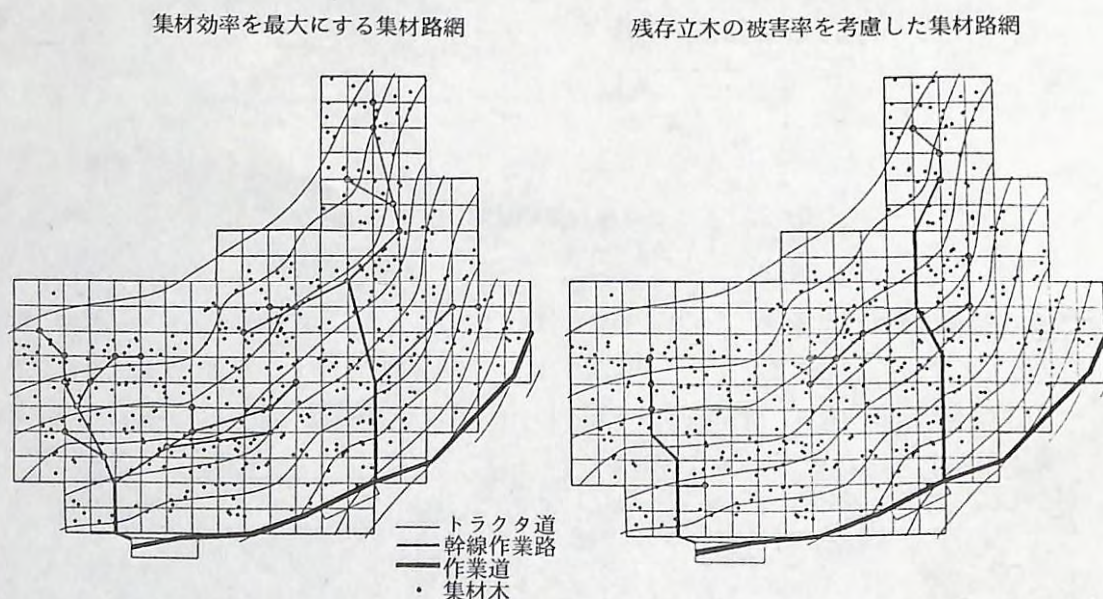


図-37 集材効率を最大とする集材路網および残存木立の被害率を考慮した場合の集材路網の配置結果（伊那営林署管内）

IV あとがき

この報告書の目的は、当初は集材作業に係る要因相互間の影響関係の分析をととして、集材方法のあり方を検討し、全国国有林を中心に各種集材作業に対し技術的にも経済的にも最も妥当な集材方法を選択するための指針を得ることにあつた。しかし、時間的な制約もあって、ここでは集材機による架線系の集材やモノレール系の集材あるいは最近、民有林などで盛んに使われている小型運材車による集材といった集材作業についてはほとんど言及することができず、主にトラクタ集材作業についての評価検討に終始してしまつた。

しかしながら本研究で得た成果は、トラクタ集材作業に限らず、他の集材作業に対しても今後の集材技術を考える場合の参考となると思われる。

ともあれ、これからの集材技術開発の基本的考え方を生産性向上と定めると、機械の選択とこれを用いる作業システムの明確化が必要となるが、その場合本研究で論じた考え方をさらに普遍させて、自然条件あるいは社会的条件に適合した技術を検索するための総合的なシステム化が必要となる。

参 考 文 献

- 1) 奥田吉春外3名：地域性を考慮した集材方法の最適化に関する研究（I），第94回日林論 1983
- 2) 辻井辰雄外3名： " " (II), "
- 3) 豊川勝生外3名： " " (III), "
- 4) 井上源基外3名： " " (IV), "
- 5) 奥田吉春外2名： " " (V), 第96回日林論 1985
- 6) 今富裕樹外2名： " " (VI), "
- 7) 井上源基外2名： " " (VII), "（未提出）
- 8) 奥田吉春外4名：地域性を考慮した集材方法の最適化（I）（中間報告）国有林野技術開発報告 1986
- 9) 林業機械化協会編：トラクタ集材と集材路，232 pp. 林業機械化協会，東京 1986

林業機械の自動制御と
造林作業機 (Ⅱ)

林業機械の自動制御と造林作業機（Ⅱ）

I 試験担当者

機械化部・機械科・機械第2研究室

三 村 和 男
山 田 健

II 試験目的

造林作業の機械化は、伐木集運材作業の機械化に比べてその遅れが指摘されて久しく、労働強度の軽減、労働の生産性の向上と安全性の確保のできる機械化の促進は古くて新しい重要な研究課題である。

林業用トラクタなど車両をベースマシンとする自走式の造林作業機の開発・改良は、皆伐した跡地に植付けを行ういわゆる皆伐新植形の人工林施業に対応した作業機と天然林で自然にまかせておいては天然下種更新の困難な林地で後継樹の育成をはかるいわゆる天然林施業に対応した作業機等について、それらを積極的に推進しなければならない。

皆伐新植形における造林作業の機械化は、地拵作業、植付作業、下刈作業等の作業が対象となる。地拵作業及び下刈作業では、数種類の刃形の異なるフレイル式カッタ刃を考案試作して、ササ類の刈払動力試験から刃形別の所要動力とその特徴について比較検討を行った。植付作業は、とくに機械化の遅れている作業種で、ポット苗、山出し苗（裸根）などの苗木を対象として自動的に植付けをすることを目標に開発・改良の試験研究を進めなければならない。これまでに、林地に植付け床造成のための切削・耕うん装置等の試作及び動力性能試験と山出し苗用の植付け爪の試作及び植付け試験を行った。

天然下種更新形における造林作業の機械化は、稚樹の発生が困難な林床あるいは稚樹が発生しても後継樹として育ちにくい林床などで、種子の着床と稚樹の発生の促進及び稚樹を後継樹として育成することのできる作業機等について、それらの適応を検討しなければならない。これまでに、ブナ天然林のササ型林床で稚樹の発生を促進するためレーキドーザによるササ根系の切断・排除試験を行い、ササ根系の切断・排除に適したレーキの爪について検討を行った。

松くい虫による松の枯損は、昭和53年度には更に200万㎡を超える材積の立木枯損と云う激甚な被害をもたらした。この松くい虫（マツノマダラカミキリ）の後食を防除するために、動力噴霧機を利用した薬液散布が行われるようになり、とくに航空機による空中散布のように樹高以上の高所からノズル噴霧することが若枝に薬液がかかりやすく有効とされている。そこで、移動車に動力噴霧ポンプ、薬液タンク、伸縮ブーム、配管およびノズル等を装備した塔上薬液散布移動車（森林防災スプレーヤー）について、塔上薬液散布試験及び荷重分布試験等を行い、管の摩擦損失、重心の位置などに検討を加えた。

Ⅲ 試験の成果と得られた成果

次の順序で得られた成果を報告する。

1. 刈払作業機 (2), (3), (6)

1) フレイル式カッタ刃の形状と試験装置

2) 刃形別の刈払所要動力

3) ササの種類と刈払所要動力

2. 造林用植付作業機 (4), (5), (7)

2-1 林地切削・耕うん装置

1) つめ付き円板コールド形切削装置

(a) 構造

(b) 切削所要動力

(c) 結果と考察

2) ラダーチェーン形切削装置

(a) 構造

(b) 切削所要動力

(c) 結果と考察

2-2 苗木挟持挿入装置

1) 植付け爪と挟持挿入装置

2) L形植付け爪の寸法

3) 植付試験と考察

3. 天然下種更新とトラクタ造林作業機 (8)

1) レーキドーザの開発・改良

2) レーキの爪の試作

3) ササ根系の切断・排除試験と考察

4. 塔上薬液散布移動車 (1)

1) 構造

2) 荷重分布

3) 散布試験と考察

1. 刈払作業機 (2), (3), (6)

単位面積当りの生立容積の大きいササなどの刈払いには、地面と平行な横軸に多数のフレイル式カッタ刃を取付けたフレイルモーアが有効であることはすでに報告済みのことである。

今回は、フレイル式カッタ刃の形状と刈払所要動力に検討を加えた。すなわち、形状のことなる7種類のカッタ刃を考案試作して、本州の海拔1200mカラマツ人工林地帯に自生する根曲り

竹(チシマササ)の刈払動力試験を実施した。

1) フレイル式カッタ刃の形状と試験装置

カッタ刃は、Y-35, Y-35-35, Y-45, U-角, U-丸, V-35, 熊手と呼称することにした7種類である。これらの仕様諸元の概要、形状及び寸法を表-1, 図-1~7に示した。

表-1 フレイル式カッタ刃の仕様諸元

項目	種類	Y-35	Y-35-35	Y-45	U-角	U-丸	V-35	熊手
形状	形状	Y字形	Y字形	Y字形	U字形	U字形	V字形	四辺形
	屈折角	35度	33度	45度	角形	丸形	屈折角33度	刃縁凸凹
	内刃	内刃	内刃	内刃	外刃	外刃	内刃	
重量	N	8.24	8.21	8.55	11.17	10.61	9.63	8.10
	(kgf)	(0.841)	(0.838)	(0.872)	(1.140)	(1.082)	(0.983)	(0.826)
重心の位置の回転半径(m)		0.232	0.232	0.233	0.230	0.225	0.221	0.228
慣性力(1500rpm) KN		4.80	4.78	5.00	6.46	6.01	5.36	4.64
	(kgf)	(490)	(488)	(510)	(659)	(613)	(547)	(474)
カッタ刃24枚の総重量								
N		197.89	197.21	205.25	268.30	254.67	231.33	194.36
	(kgf)	20.18	20.11	20.93	27.36	25.97	23.59	19.82

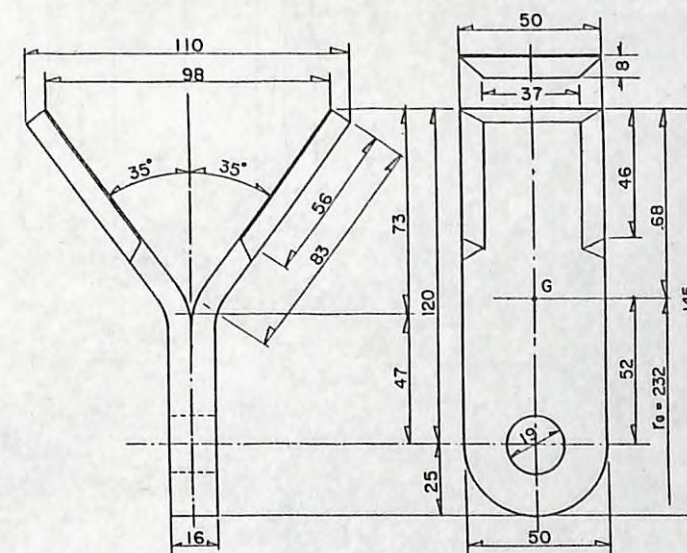


図-1 Y-35形カッタ刃

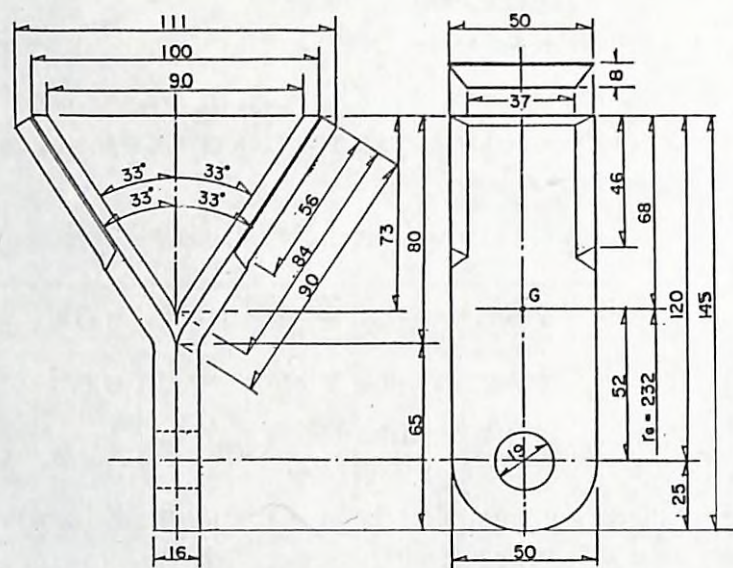


図-2 Y-35-35形カッタ刃

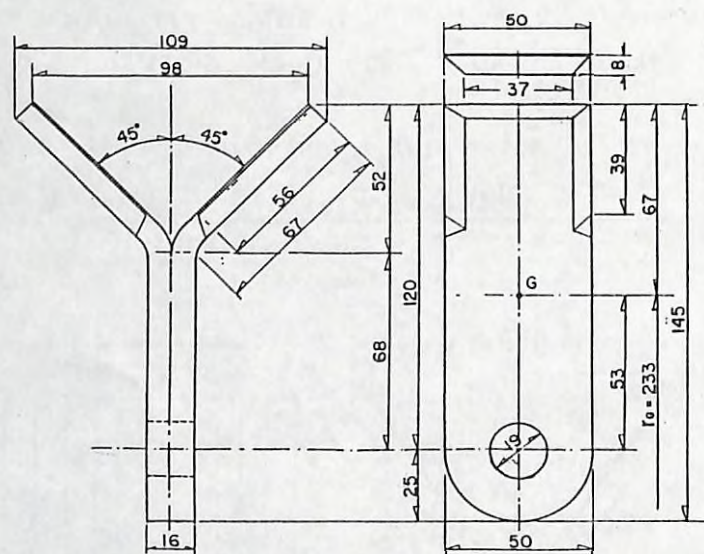


図-3 Y-45形カッタ刃

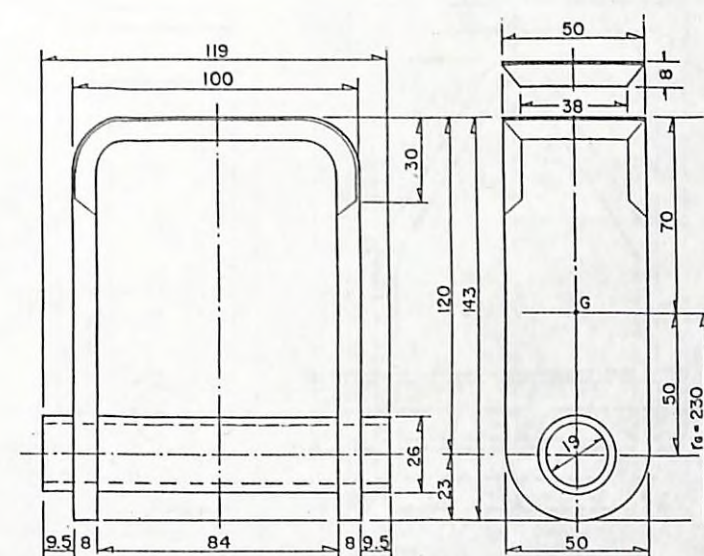


図-4 U-角形カッタ刃

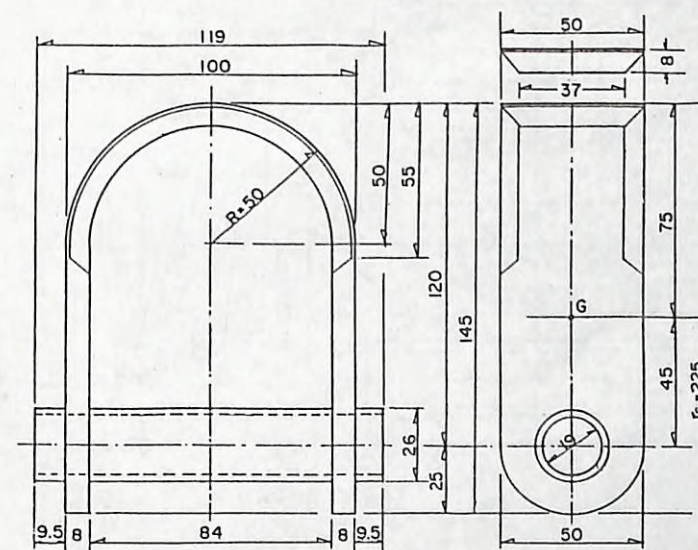


図-5 U-丸形カッタ刃

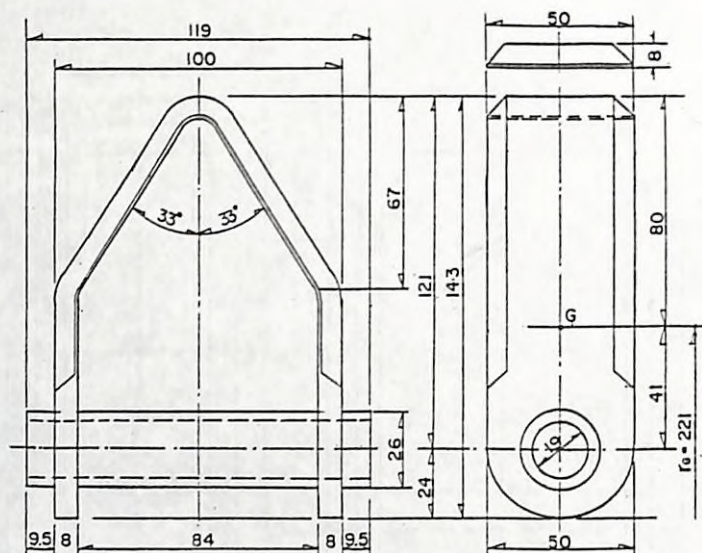
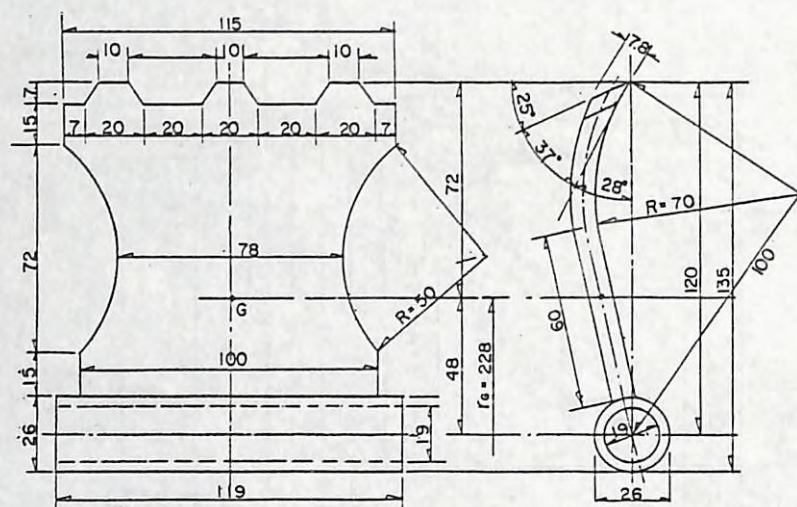


図-6 V-35形カッタ刃



図一7 熊手形カッタ刃

7種類の形状は、Y字形の形状では図-1のように上に開いた部分の交点の屈折角を35度としたY-35形、図-3の屈折角を45度としたY-45形、図-2のように屈折角が33度で交点の位置を刈取物にあたる方の前部を深く、反対に後部となる方を浅くすることにより回転方向に投影面を設けたものをY-35-35形としてY形のグループを3種類、U字形の形状では図-4のように曲げかたを角ばって曲げたものをU-角形、図-5のように半円形に曲げたものをU-丸形としてU形のグループを2種類、V字形の形状では図-6のように屈折角を33度としたV-35形、四辺形の刃縁に矩形状の凸凹をつけた図-7の熊手形などである。

図-8 カッタ刃取付位置展開図(○印)

カッタ刃の慣性力 (F_{mi} N) は、次式により算出した。

カッタ刃の慣性力 (F_{mi} N) は、次式により算出した。

$$F_{mi} = W_C / g \cdot r_G \cdot \omega^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 W_C ：カッタ刃 1 枚の重量 ($N = kg \cdot m/s^2$)、 g = 重力の加速度 ($9.80665 m/s^2$)、 r_G ：カッタ刃の重心の位置の回転半径 (m)、 ω ：角速度 (rad/s) である。図-9 は、回転速度別の慣性力の大きさと傾向を示した。慣性力は、最も小さい熊手形から最も大きい U 字形では 1.4 倍の差がみられる。

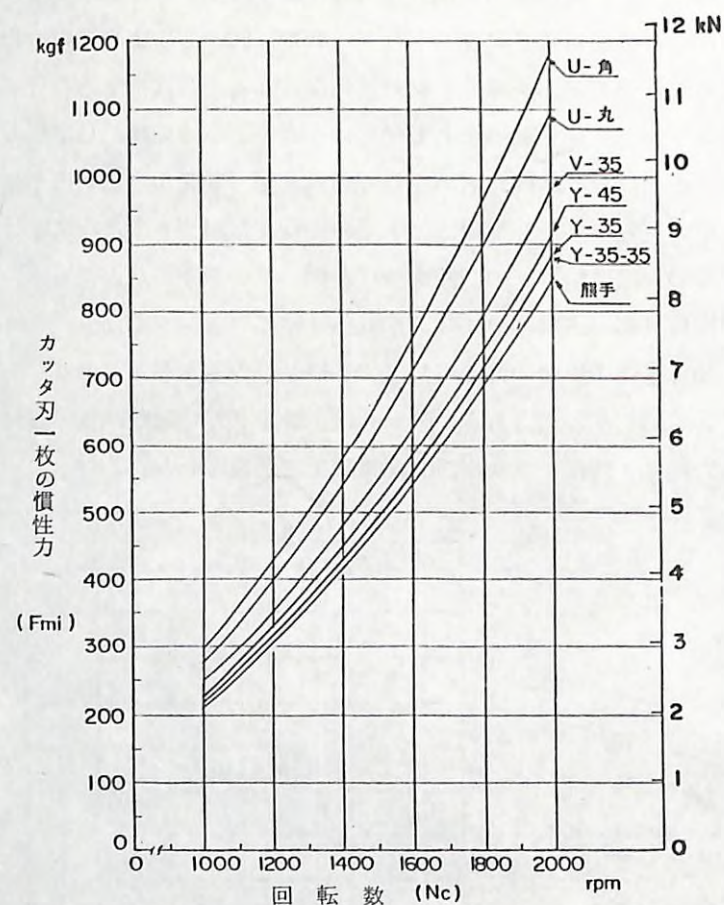


図-9 カッタ刃（図-1～7）の慣性力

試験装置は、表-2および写真-1に仕様諸元の概要とT-50形ホイールトラクタに装着して試験中の模様を示した。本装置は、ホイールトラクタの三点支持装置に懸架して、動力はPTO軸から万能継手を介して伝達される。動力の伝達は、万能継手からかさ歯車箱へ入り回転数を2倍に増速するとともに回転軸を直角に向きを横にとり巻掛け伝動装置へ伝達する。巻掛け伝動装置は、Vベルト3本掛けで1.4倍に増速して最終軸のフランジ形ロータ軸へ伝達する。従って、本装置の駆動系統は2.8倍の増速となる（減速比 $i = 0.3558$ ）。

表-2 刈払試験装置の仕様諸元

寸法・重量	全長×全巾×全高 刈 払 幅 重 量	1610 × 2010 × 1005 mm 1506 mm 9.8 kN (1 t)
伝動装置	歯 車 箱 巻 掛 け 伝 動 全 減 速 比	まがりばかさ歯車、減速比 $i_g = 0.5$ Vベルトプーリ、5 V-3本、 減速比 $i_v = 0.7116$ $i = 0.3558$
フランジ形ロータ軸	主 軸 フ ラ ン ジ	直径中実軸60mm、長さ1620mm 直径中空軸101.6mm ($t = 10$ mm) 直径420mm、厚さ6mm、枚数13、 間隔120mm、区画数12
カッタ刃	刃 形 最大回転半径 ク リ ア ラ ンス	7種類（図-1～7、表1参照） 300mm 刃の先端から地面まで150mm
装着	三 点 支 持 入 力 軸	カテゴリー2および3適用 スプライン軸の呼び35適用



写真-1 T-50形ホイールトラクタに装着した試験装置

2) 刃形別の刈払所要動力

刈払試験は、昭和58年10月猪苗代営林署管内猪苗代事業区94林班_み1小班の海拔1200m地帯に自生する根曲竹を対象に実施した。

試験地は、面積約0.5ha内のササの密度、地形の凸凹、樹木の有無などを考慮して8つのブロックを設定した。ササの密度は、各ブロック内で1m×1mの大きさのプロットを数プロットづつ抽出して、1㎡当りのササの重量(葉、枝、秆)、根元直径、秆高、本数等を測定して、ササのみかけの生立容積を把握した。

ササの単位面積当りのみかけの生立容積($D_s = 0.0016 \sim 0.01 \text{ m}^3/\text{m}^2$)は、(2)式により算出した。

$$D_s = \sum_{i=1}^{n_b} \frac{\pi d_s^2}{4} \cdot \ell \quad (2)$$

ここに、 d_s :ササの秆の根元直径、 ℓ :秆の高さ、 n_b :本数である。重量は、23.5~125 N/㎡ (2.4~12.8 kgf/㎡)であった。

刈払試験の方法は、フランジ形ロータ軸が1回転したとき刈払い走行した距離に対するササのみかけの生立容積($V_s \text{ m}^3/\text{rev}$)をかえて行った。この V_s は(3)式により算出した。

$$V_s = D_s \cdot V_t / n_c \cdot B \quad (3)$$

ここに、 V_t :刈払い走行速度(m/s)、 n_c :ロータ軸の回転数(S^{-1})、 B :刈払い幅(1.506 m)である。

刈払所要出力(D_{mc})は、カッタ刃を取付けたフランジ形ロータ軸の空回転時の所要出力を P_{oc} 、 V_s に対する刈払い時の正味の所要出力を P_{nc} とすれば(4)式で示される。

$$P_{mc} = P_{oc} + P_{nc} \quad (4)$$

同様に刈払所要トルク(T_{mc})は、フランジ形ロータ軸の空回転時の所要トルクを T_{oc} 、 V_s に対する刈払い時の正味の所要トルクを T_{nc} とすれば(5)式で示される。

$$T_{mc} = T_{oc} + T_{nc} \quad (5)$$

図-10は、図-1~7のカッタ刃による V_s に対する刈払所要動力の大きさと傾向を示した。図から、横軸にフランジ形ロータ軸が1回転したときに刈払いしたササのみかけの生立容積 V_s をとり、縦軸にその時の所要出力 P_{mc} 、所要トルク T_{mc} を示した。 V_s の大きさは、 $50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{rev}$ 付近から $150 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{rev}$ の範囲である。所要トルクは、実測値をプロットすると一次の実験式で示される実線のような傾向で、 V_s の増加に比例して増大している。刃形別では、 $Y-35 < Y-45$ 、 $Y-35-35$ 、 $V < U < \text{熊手}$ の順に大きいトルクを必要とし、とくにU形と熊手形はほかの刃形よりも相対的に大きい値を示した。刈払所要出力は、実測値をプロットする

と実線のような傾向で所要トルクの場合と同様熊手形が最も大きい出力を必要とした。

以上のことから刃形別の刈払い所要動力は、Y形のグループが小さい動力ですみ、なかでもY-35形が最も小さい動力ですむようである。V-35形は、Y形のグループの大きい方に入っている。U形及び熊手形が供試刃の中でも大きい動力を必要とし、熊手形が最も大きい動力を消費した。この熊手形の所要動力の大きい要因は、カッタ刃の刃縁とササの秆が直交して刈払いすること、カッタ内の前面に刈取物を乗せて羽根のようにはね上げる作用をすることなどが考えられる。

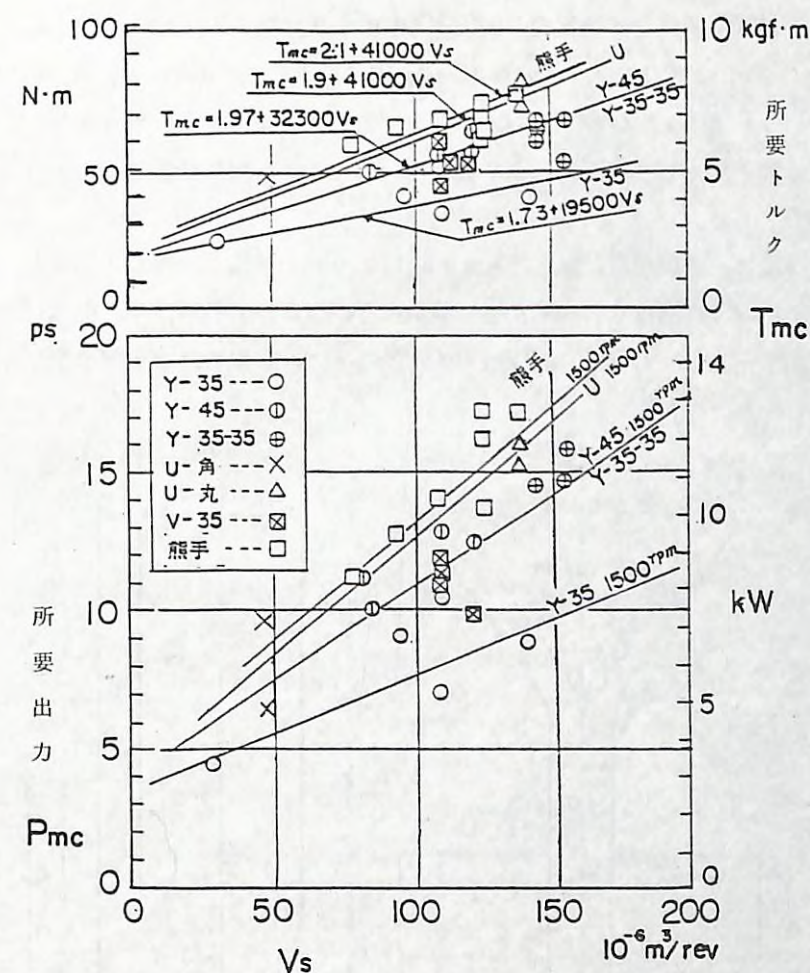


図-10 刃形別(図-1~7)によるチシマザサの刈払所要動力

3) ササの種類と刈払所要動力

ササの種類は、チマキザサ、チシマザサ、アツマネザサの3種類である。供試カッタ刃は、形状の似かよったカッタ刃で、チマキザサの刈払いにはY-35形カッタ刃、チシマザサの刈払

いにはY-35形カッタ刃(図-1)及び熊手形カッタ刃(図-7), アツマネザサの刈払いにはY-35形カッタ刃(図-11)及び四辺形カッタ刃(図-12)などを使用して, Y形及びY形によるチマキザサ, チシマザサ, アツマネザサの刈払所要動力の比較及び熊手形と四辺形によるチシマザサ, アツマネザサの刈払所要動力の比較を試みた。

チマキザサは, 草津営林署管内の海拔 1000 m カラマツ人工林地帯に自生し, 桿の根元直径は比較的細く 0.8 cm 位までで, 本数は多く 200 本/m²位のところもあり, 桿高は 2.0 m 位までになる。このチマキザサをY-35形カッタ刃で刈払いしたときの刈払所要動力の大きさと傾向を図-13に示した。

チシマザサは, 猪苗代営林署管内の海拔 1200 m カラマツ人工林地帯に自生し, 桿の根元直径は 0.5 ~ 1.8 cm, 本数は 19 本/m² ~ 73 本/m², 桿高は 1.5 ~ 3.0 m 位で, 重量は 23.5 N/m² (2.4 kgf/m²) ~ 125.5 N/m² (12.8 kgf/m²) であった。このチシマザサをY-35形カッタ刃(図-1)と熊手形カッタ刃(図-7)で刈払いしたときの刈払所要動力の大きさと傾向は図-10のとおりである。

アツマネザサは, 茨城県筑波地区で松くい虫により松の枯損した跡地に自生し, 桿の根元直径は 0.2 ~ 1.6 cm, 桿高は 0.3 ~ 4.7 m, 本数は 34 本/m² ~ 123 本/m², 重量は 25.5 N/m² (2.6 kgf/m²) ~ 124.5 N/m² (12.7 kgf/m²) であった。このアツマネザサをY-35形カッタ

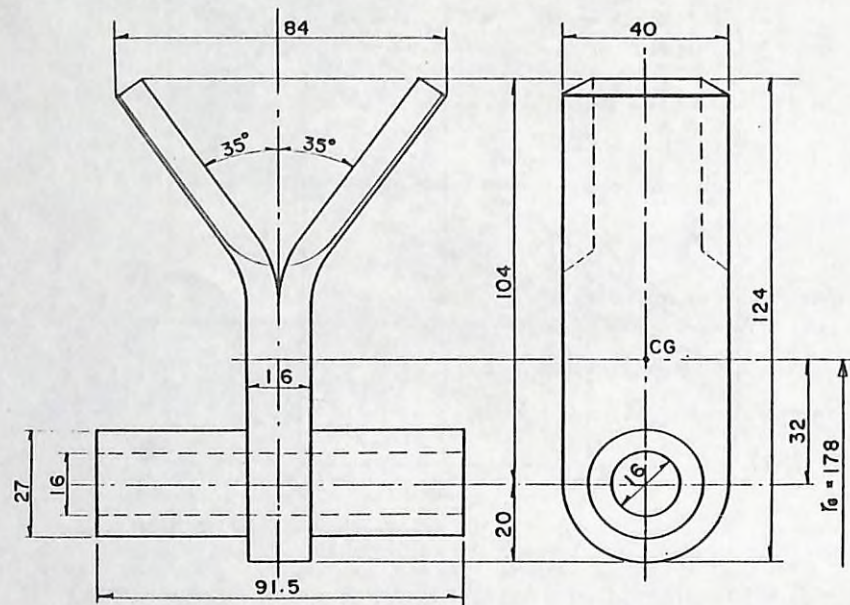


図-11 アツマネザサの刈払試験に使用したY-35形カッタ刃(重量 7.63 N \div 0.778 kgf, 回転半径 $r_G = 178$ mm, 1600 rpm における慣性力 = 3,895 N \div 397 kgf)

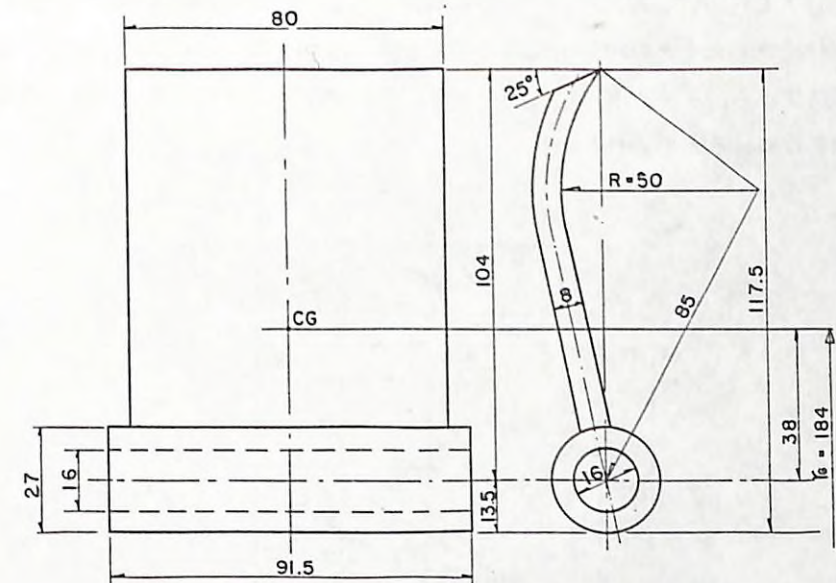


図-12 アツマネザサの刈払試験に使用した四辺形カッタ刃(重量 6.88 N \div 0.702 kgf, 回転半径 $r_G = 184$ mm, 1600 rpm における慣性力 = 3,633 N \div 370 kgf)

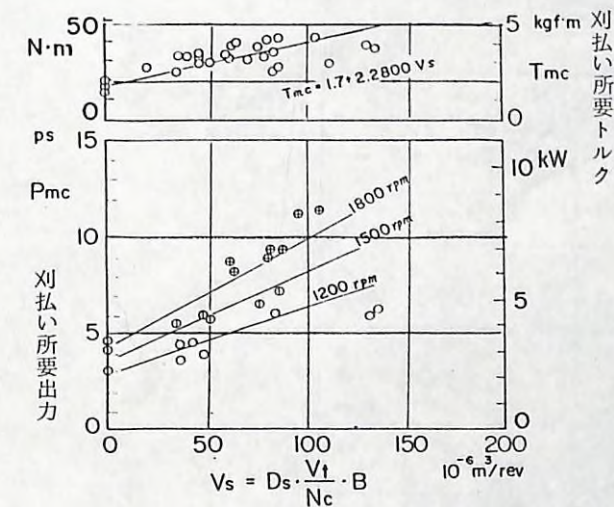


図-13 Y-35形カッタ刃によるチマキザサの刈払所要動力

刃（図-11）で刈払いしたときの刈払所要動力の大きさと傾向を図-14に、四辺形カッタ刃（図-12）で刈払いしたときの刈払所要動力の大きさと傾向を図-15にそれぞれ示した。

以上の結果から、チマキザサ、チシマザサ、アヅマネザサなどササの種類と刈払所要動力の間には顕著な差はみとめられない。

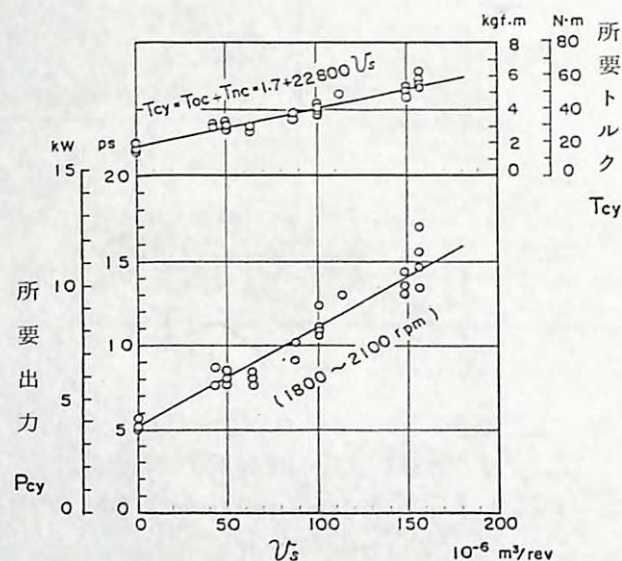


図-14 Y-35形カッタ刃（図-11）によるアヅマネザサの刈払所要動力

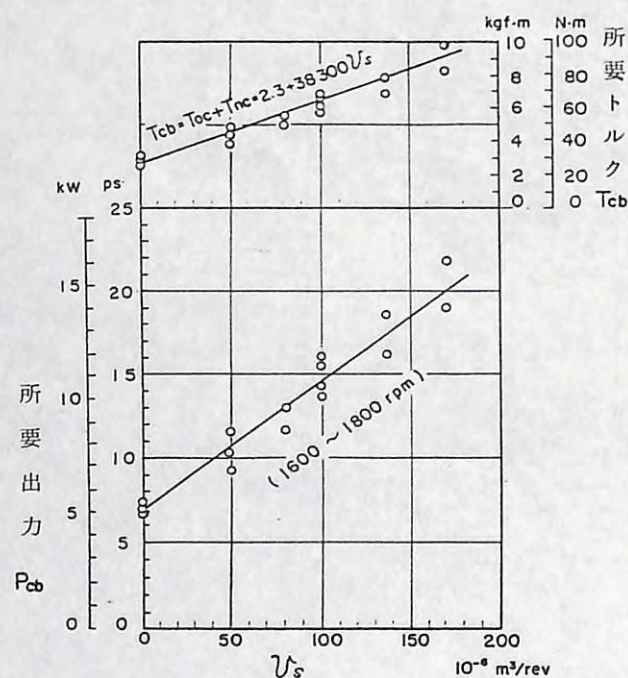


図-15 四辺形カッタ刃（図-12）によるアヅマネザサの刈払所要動力

2. 造林用植付作業機 (4), (5), (7)

山出し苗の植付作業は、一時期に集中して行うことから同時に多数の人手を必要とし、将来はこの人手に頼ることは一層困難となり機械力を駆使しなければならないことが予想される。欧米では、この種の山出し苗形、ポット苗形の自動植付機の試作品はもちろのこと数機種の商品も出ている現状である。

我が国では、実験機及び試作機の試験が行われた経緯はあるが実用機としての段階には至っていない。そこで、我が国の林地と植付け方法、樹種等に見合った自動植付機の開発・改良のための性能資料の蓄積を図るとともに実用化を推進しなければならない。

造林用自動植付機は、林地残廃物除去装置、林地切削・耕うん装置、苗木選別及び送り装置、植付けピッチ検出装置、苗木挟持挿入装置、垂直保持締固め及び転圧装置、その他の機構から構成し、これらをシステム化することにより山出し苗、ポット苗等の植付けの機械化を図るものである。これまでに前述の機構のうち林地切削・耕うん装置、山出し苗用の挟持挿入装置の植付け爪などについて検討を行った。

2-1 林地切削・耕うん装置

山出し苗を植付けるには、切削・耕うん及び根系の切断などを行い植付け床を造成しなければならない。この植付け床の造成には、切削・耕うん抵抗の小さい、苗木の活着・成長によりよい効果の期待できる機構を備えた切削・耕うん装置が望ましい。そこで、2種類の装置を試作して動力性能試験を行った。

1) つめ付き円板コールド形切削装置

つめ付き円板コールド形切削装置は、表-3に仕様諸元、図-16につめ付き円板コールドの寸法、図-17につめの寸法と円板コールドへの取付位置、写真-2に装置全体をそれぞれ示した。

表-3 つめ付き円板コールド形切削装置の仕様諸元

つめ刃	鋼板厚さ：6mm，屈曲角：30° 切削幅：40mm，後退角：15°
円板コールド	鋼板厚さ：10mm，直径：600mm 歯数：36，歯高：34mm
歯車箱	かさ歯車，歯数 17：17 $i = 1.0$ 平歯車，歯数 11：30：30 $i = 2.727$
切削幅	90mm

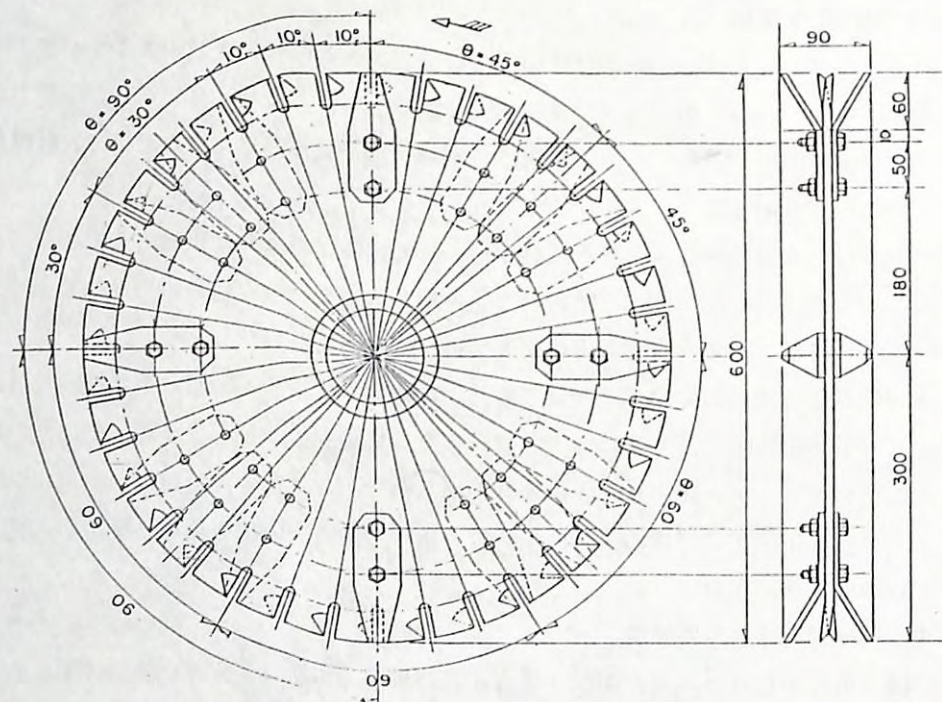


図-16 つめ付き円板コールド

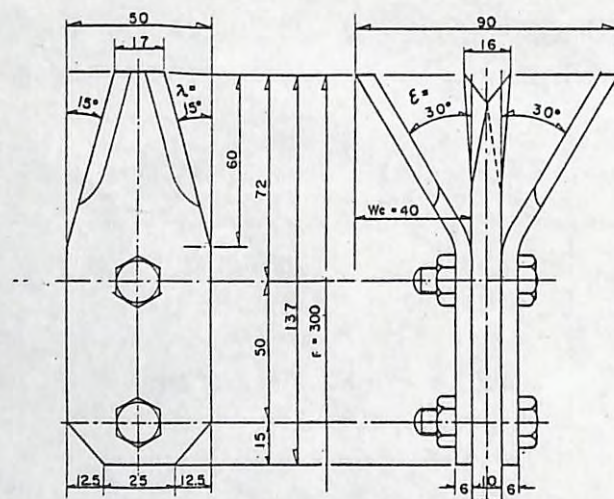


図-17 つめの寸法と円板コールドへの取付

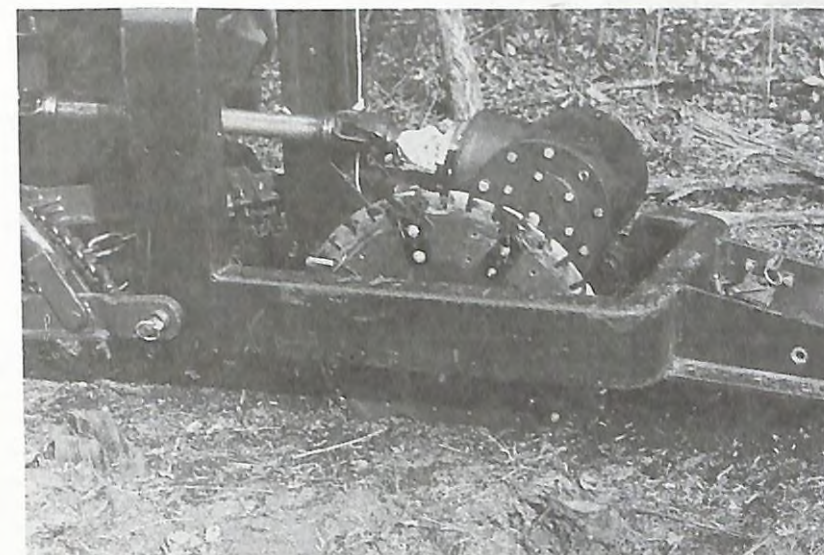


写真-2 つめ付き円板コールド形切削装置

(a) 構造

本装置は、つめ、円板コールド、動力伝動装置及び取付枠から構成する。円板コールドは、厚さ10mm、直径600mmの鋼板の円周上を36等分（10度毎）して、円心方向に34mmの切込みを入れ一つ毎に交互に片側からやすりをかけて36枚の歯を構成した。歯は、一つ毎に交互に左右に折り曲げて振り分けあさを設け、歯先における開き幅（あさり）は16mmである（図-16, 17）。つめは、厚さ6mm、幅50mmの鋼板を屈曲角（ ϵ ）を30度、先端に至る後退角（ λ ）を15度として、円板コールドには左右対称にボルトナットで取付けた（図-17）。つめの取付位置は、円板コールドの中心角（ θ ）を30度、45度、60度、90度の位置につめの先端が円板コールドの外周上に合うように固定した。つめの取付け組数（ n ）は、円板コールド両側面対称に2枚を1組として、それぞれ $\theta = 30$ 度では12組、45度では8組、60度では6組、90度では4組である。

本装置は、トラクタの三点支持装置に懸架し、動力の伝達は、PTO軸から万能継手を介して伝動装置の入力軸へ、伝動装置では、1組のかさ歯車で直角に向きをかえてさらに3枚の平歯車を経て最終の出力軸につめ付き円板コールドを取付けた。

(b) 切削所要動力

動力試験は、林試構内林業機械実験フィールドの土質別試験地及びコナラ林地において行った。この供試地の土の条件は表-4のとおりである。

試験の方法は、円板コールドのつめの取付け組数を12組、8組、6組、4組の4種類、回転数を低速域の100～130rpmと高速域の160～200rpmの2段階のそれぞれの組合せで行い、切削走行速度は0.3～0.54m/sの範囲で行った。

表-4 供試地の土の条件

	砂 地	赤 土	コナラ林地
三角座標分類法	砂	砂質ローム	—
含水比 %	14	80	50~55
硬 度 kPa	表面 190~390 (2~4)	中層 780~980 (8~10)	表面 190~390 (2~4)
(kgf/cm ²)	底面 490~780 (5~8)	底面 980~1070 (10~11)	底面 490~780 (5~8)
切削幅×深さ cm	9×16~18	9×16~18	9×15~18

速度比 (V_o) は、次式により算出した。

$$V_o = 60 V_t / \pi D \cdot N_c = V_t / V_c \quad (6)$$

ここに、 V_t : 切削走行速度 (m/s), D : つめ付き円板コールドの直径 (0.6 m), N_c : 同回転数 (rpm), V_c : 同周速 (m/s) である。速度比は、車輪のスリップなどにより多少の差がみられるが $V_o = 0.083 \sim 0.09$ の範囲にあった。

リード (f m/rev) は、次式により算出した。

$$f = 60 V_t / N_c = P \cdot n \quad (7)$$

ここに、 P : ピッチ (mm), n : つめの取付け組数 (12, 8, 6, 4) である。リードは、 $f = 0.16 \sim 0.17$ にあった。

つめ 1 組当りの切削走行した距離すなわちピッチ (P mm) は、次式により算出した。

$$P = 1000 (60 V_t / N_c \cdot n) \quad (8)$$

つめ付き円板コールドによる切削所要出力 (P_c kW) は、空回転時の出力を P_{oc} , 切削時の正味の出力を P_{nc} とすれば次式により表される。

$$P_c = P_{oc} + P_{nc} \quad (9)$$

同様に切削所要トルク (T_c N·m) は、次式で表される。

$$T_c = T_{oc} + T_{nc} \quad (10)$$

ここに、 T_{oc} : 空転時の所要トルク, T_{nc} : 切削時の正味の所要トルクである。

比トルク (T_a N/m²) は、切削所要トルク (T_c), 切削幅 (b), 切削深さ (h) とすれば次式で算出した。

$$T_a = T_c / b \cdot h \quad (11)$$

各供試地における切削所要動力および比トルクの大きさと傾向を図-18, 19, 20に示した。

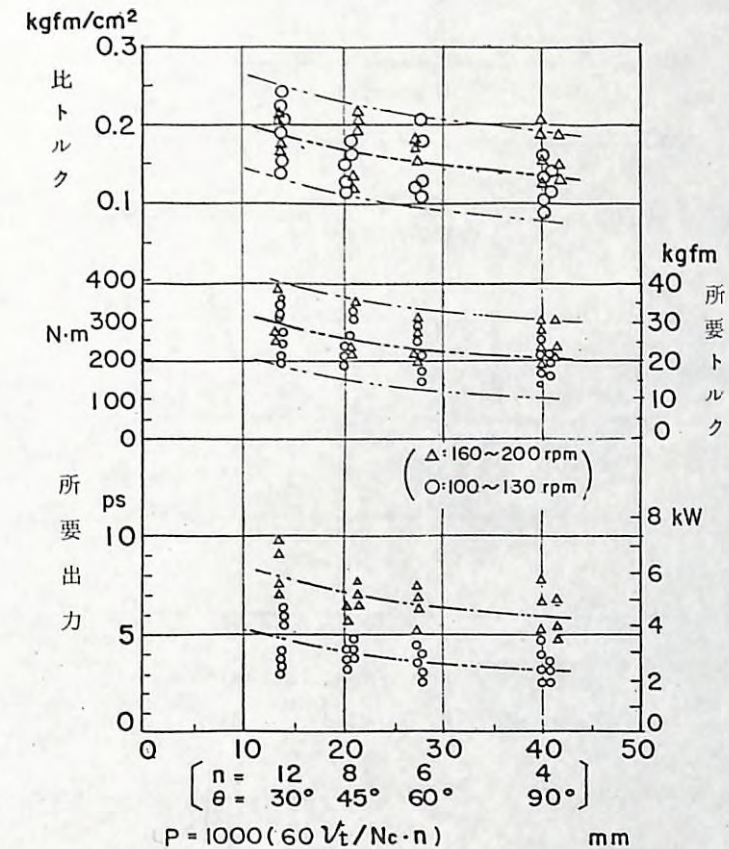


図-18 砂供試地におけるつめ付き円板コールドの切削所要動力

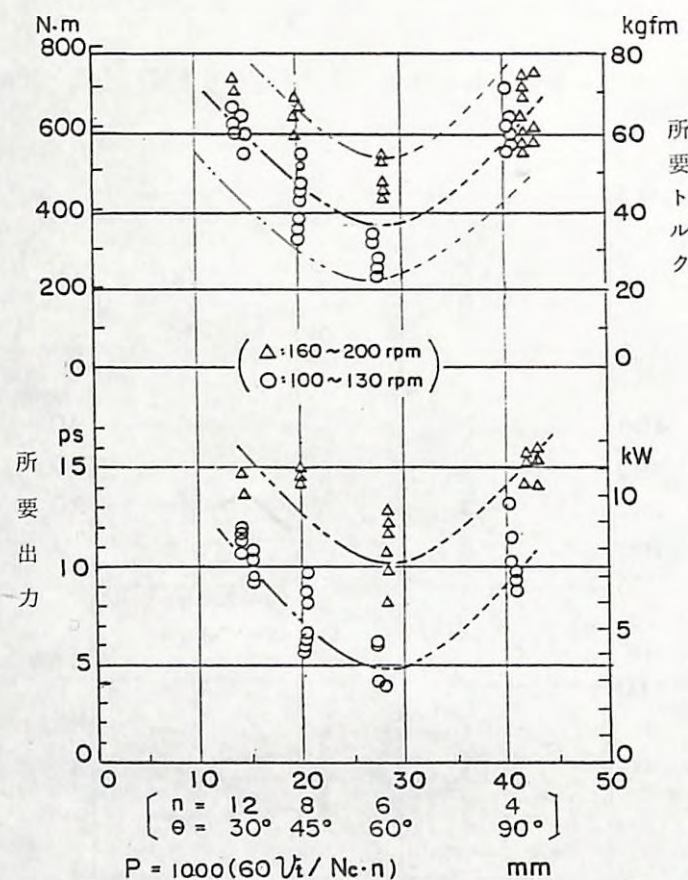


図-19 赤土(砂質ローム)供試地におけるつめ付き円板コーラタの切削所要動力

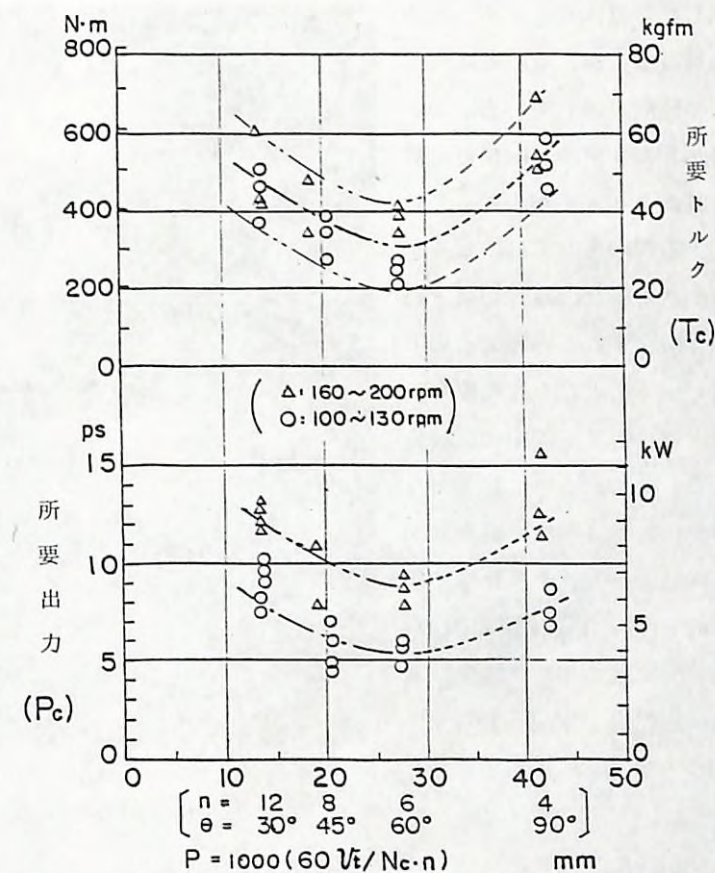


図-20 コナラ林供試地におけるつめ付き円板コーラタの切削所要動力

(c) 結果と考察

砂供試地における切削所要動力及び比トルクは、図-18のとおり、図から横軸にピッチPをとり、 $P=14\text{mm}$ から 40mm の範囲においては縦軸の所要出力、所要トルク、比トルクともにピッチが大きくなるに比例してゆるやかな凹曲線の傾向で低減している。すなわち、 $P=14\text{mm}$ ($\theta=30^\circ$, $\eta=12$)の平均の所要トルクは $300\text{ N}\cdot\text{m}$ ($\div 30\text{ kgfm}$)、所要出力は高速回転で 6 kW ($\div 8\text{ PS}$)、低速回転で 3.5 kW ($\div 5\text{ PS}$)であるのに対して、 $P=40\text{mm}$ ($\theta=90^\circ$, $\eta=4$)では、平均の所要トルク $200\text{ N}\cdot\text{m}$ ($\div 20\text{ kgfm}$)、所要出力は高速回転で 4.3 kW ($\div 5.8\text{ PS}$)、低速回転で 2.3 kW ($\div 3.1\text{ PS}$)とそれぞれ低減している。この傾向は、農用作業機のロータリによる耕うんピッチと所要動力の傾向と類似している。

赤土供試地における切削所要動力は、図-19のとおり、図から横軸にピッチPをとり、 $P=14\text{mm}$ 付近から 40mm 付近では縦軸の所要出力、所要トルクともに $P=28\text{mm}$ を底とするV字形曲線の傾向を示している。すなわち、所要出力及び所要トルクは、 $P=14\text{mm}$ 付近から 28mm にかけては

急な傾向で低減し、これよりピッチを大きくして $P=40\text{mm}$ 付近までは、これを境にして反転して急増の傾向を示している。このように所要動力がピッチ $P=28\text{mm}$ 付近で最低値を示し、それよりピッチが小さくても大きくても増大する要因としては、ピッチ $P=28\text{mm}$ よりも小さい場合には、切削・耕うんの際に細かく粉碎することによるのではないかと考えられる。赤土供試地の硬度は、表-4のとおり砂供試地、コナラ林供試地に比べて深さ 18cm の底面で $0.98\sim 1.07\text{MPa}$ ($10\sim 11\text{kgf/cm}^2$)と硬く締めかためられた状態であった。また、土は円板コルタにねばつくことはなかった。

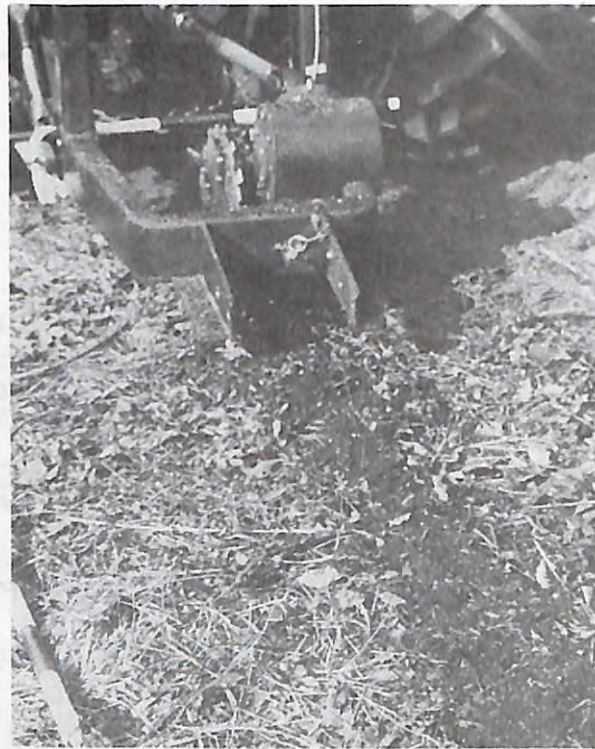


写真-3 コナラ林供試地におけるつめ付き円板コルタの切削跡地

コナラ林供試地における切削所要動力は、図-20のとおり、図から横軸にピッチをとり、縦軸の所要出力、所要トルクは赤土供試地と同様の傾向を示している。すなわち、所要動力は、 $P=28\text{mm}$ 付近で最低値を示し、それよりもピッチが小さくても大きくても増大の傾向である。この要因としては、供試地の土の条件は表-4のとおり深さ 18cm 位の底面の硬度は砂供試地とは同じくらいであったが、深さ 10cm 位までは多数の根系がまじり、長さ 1m の切削距離の間の根の本数は、直径 $10\sim 13\text{mm}$ のものが $1\sim 2$ 本、同 $5\sim 9\text{mm}$ が数本、同 $1\sim 4\text{mm}$ の細根が多数含まれており、この根系の切断による影響が考えられる。写真-3は、コナラ林供試地における切削試験あと地の状況である。

以上、つめ付き円板コルタ形切削装置による切削所要動力は、砂供試地ではピッチを大きくするに従えゆるやかな凹形曲線で低減傾向にあったが、赤土供試地及びコナラ林供試地などでは土壌硬度が硬いとか、根系の介在による抵抗などと考えられる要因によりピッチ $P=28\text{mm}$ 付近において最低値を示し、それよりもピッチが小さくとも大きくともV字形曲線で増大の傾向であった。

2) ラダーチェーン形切削装置

ラダーチェーン形切削装置は、表-5に仕様諸元、図-21に切削刃の寸法、図-22に切削刃

の配列、図-23にラダーチェーンの側面図、写真-4,5に切削試験中の様子をそれぞれ示した。

表-5 ラダーチェーン形切削装置の仕様諸元

歯 車 箱	かさ歯車	歯数 17:17	$i = 1.0$
	平歯車	歯数 11:30:30	$i = 2.727$
ラダーチェーン	スプロケット、歯数13、ピッチ円 132.67mm		
	単列ローラチェーン、ピッチ 31.75mm 、#50 全リンク数50、切削刃10リンク中7枚 最大切削幅 200mm 、最大切削深さ約 300mm		

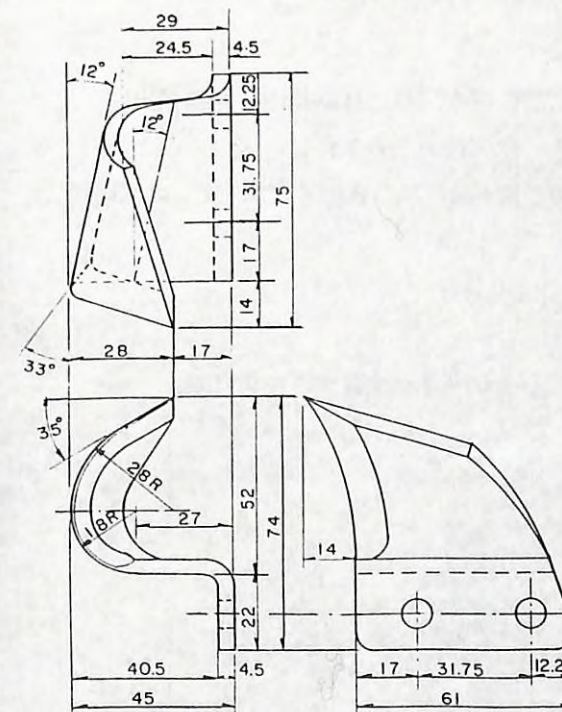


図-21 切削刃の寸法

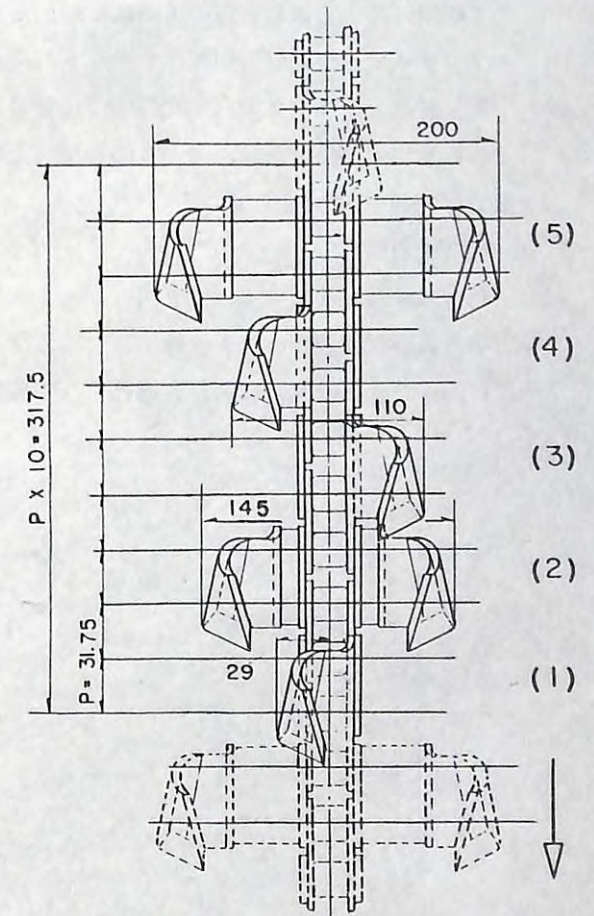


図-22 ラダーチェーン形切削装置の切削刃の配列

(a) 構造

ラダーチェーン形切削装置は、単列ローラチェーン、切削刃、動力伝動装置及び取付枠等から構成する。切削刃（図-21）は、ソーチェーンのチップ形切削刃に似た刃形で上刃と横刃で土壌を切削する。切削刃の取付けと配列は（図-22）、単列ローラチェーンのブラケットにスペーサ等を介して左切削刃と右切削刃をそれぞれの切削幅となるように取付け、ローラチェーン10リンクの間には、左あるいは右のどちらかの切削刃で切削幅29mm、左・右の切削刃で145mm、左および右の切削刃で110mm、左・右の切削刃で200mmの順の配列で、全50リンクにはこの配列を5組設けた。この切削刃は、梯子状に配列されて送られるのでラダーチェーンと云うことにした。

ラダーチェーンは、図-23の側面図で示したとおり、上部の駆動軸スプロケットと下部の遊動輪軸、中間くらいの位置にチェーン張力調整用のスプロケット軸の3点を結ぶ3角形の形状でエンドレスに回転する。ラダーチェーンの送りは、上部の駆動軸スプロケットにより駆動されて切削刃は上方より下方の遊動輪に向かって送られ切削を行い、遊動輪で折返し張力調整用スプロケットを経て駆動軸スプロケットへ戻る。

本装置は、トラクタの三点支持装置に懸架し、動力はPTO軸から万能継手を介して伝達する。伝動装置の歯車箱は、表-5の仕様諸元のとおり入力軸から出力軸のラダーチェーン駆動軸では $\frac{1}{2.727}$ に減速している。

(b) 切削所要動力

動力試験は、前項のつめ付き円板コールド形切削装置と同様に林試構内林業機械実験フィールドの土質別試験地及びコナラ林供試地等で行った。供試地の土の条件は、表-6のとおり、硬度は山中式土壌硬度計により表層部及び中層部の側面、最深部の底面等で測定し、含水比は400

表-6 供試地の土の条件

	砂 供 試 地	赤土供試地	コナラ林供試地
三角座標分類法	砂	砂質ローム	—
含 水 比 %	10	31~35	33~35
硬度 KPa(kgf/cm ²)			
表 層 ~5cm	49~147 (0.5~1.5)	19~294 (0.2~3)	49~392 (0.5~4)
中 層 10~15cm	147~441 (1.5~4.5)	294~980 (3~10)	392~686 (4~7)
底 層 20~30cm	254~441 (2.6~4.5)	784~1961 (8~20)	637~1610 (6.5~16.4)
根 系 の 有 無	無	無	太い根系無し
切削幅×深さ cm	20×18~22	20×18~28	20×20~30

cc採集円筒に供試土を採集し、乾燥して求めた。

試験の方法は、ラダーチェーンの速度と切削走行速度及び切削深さをかえて、つまり単位切削体積をかえて行った。

単位切削体積 (V_c m³) は、次式により算出した。

$$V_c = V_t / V_s \cdot \ell_s \cdot A_s \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 V_t : 切削走行速度 (m/s), V_s : ラダーチェーンの速度 (m/s), ℓ_s : ラダーチェーンの全長 ($50 \times 31.75 \text{ mm} = 1.5875 \text{ m}$), A_s : 切削断面積 (切削幅 0.2 m × 深さ = m²) である。この単位切削体積は、ラダーチェーンの全長が1周する間に切削走行して切削した体積である。

写真-4はコナラ林供試地における切削試験中で、写真-5は切削跡地の状況である。

ラダーチェーン形切削装置による切削所要出力 (P_s kw) は、ラダーチェーン空転時の所要出力を P_{os} 、切削時の正味の所要出力を P_{ns} とすれば次式により表される。

$$P_s = P_{os} + P_{ns} \quad \dots\dots\dots (13)$$

同様に切削所要トルク (T_s N・m) は、ラダーチェーン空転時の所要トルクを T_{os} 、切削時の正味の所要トルクを T_{ns} とすれば次式で表される。

$$T_s = T_{os} + T_{ns} \quad \dots\dots\dots (14)$$

砂供試地、赤土供試地、コナラ林供試地における切削所要動力の大きさと傾向を図-24に示した。

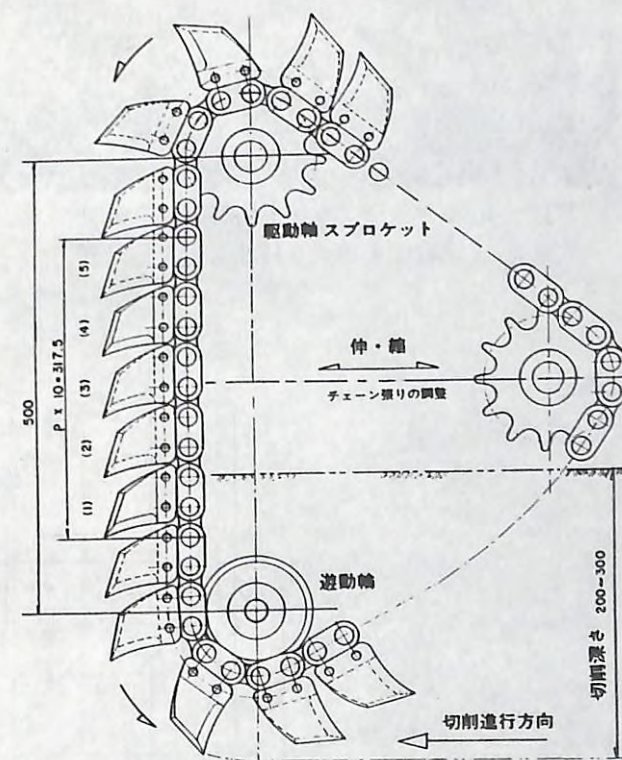


図-23 ラダーチェーン形切削装置の切削刃の回転方向と切削進行方向



写真-4 ラダーチェーン形切削装置の切削試験中（コナラ林地）



写真-5 切削跡地（コナラ林地）

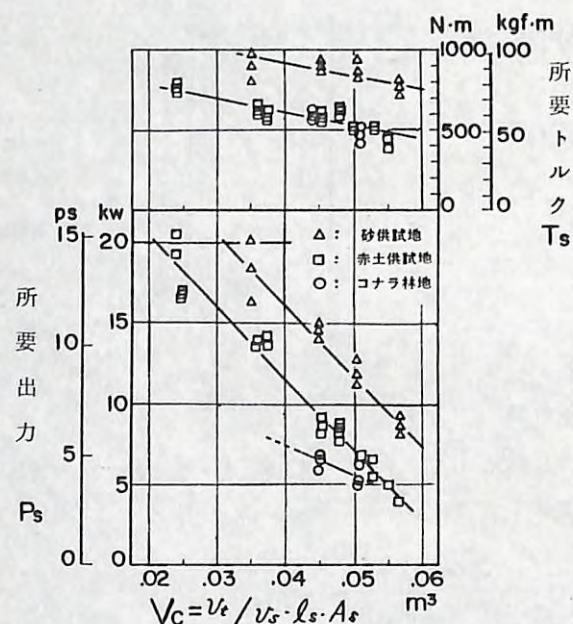


図-24 ラダーチェーン形切削装置の切削所要動力

(c) 結果と考察

ラダーチェーン形切削装置による切削所要動力は、図-24のとおり横軸に単位切削体積 V_c をとり縦軸には駆動軸スプロケットにおける切削所要出力 P_s 及び所要トルク T_s をとり実測値をプロットした。図から、砂供試地、赤土供試地、コナラ林地における切削所要出力及び所要トルクは、単位切削体積を $V_c = 0.025 \text{ m}^3$ 付近から 0.055 m^3 に増大することにより低減傾向にあり、それらの大きさは砂供試地 > 赤土供試地・コナラ林地の順とみられる。砂供試地で大きい所要動力を必要としたことは、比重（無機質土 2.65～2.85）の高い砂の粒子が切削刃に付着して回転したことからと考えられる。

以上、ラダーチェーン形切削装置による切削所要動力は、前項のつめ付き円板コルタ形切削装置よりも大きく、傾向は小形トレンチャ(1)、農用作業機ロータリなどと同様に単位切削体積の増大にともない低減していた。

2-2 苗木挟持挿入装置

苗木挟持挿入装置は、山出し苗木の冠・幹あるいは根系などを保持または挟持して、あらかじめ切削・耕うんした土壤中へ挿入する場合に適切な形状と大きさ及び挟持する適当な強さを備えていなければならない。今回はL形植付け爪と挟持挿入装置について検討を行った。

1) 植付け爪と挟持挿入装置

苗木を挟持して土壤中へ挿入する機構には、2枚のディスクで挟持するタイプとディスクの片面にポケット形のゴム製挟持板で挟持するタイプ及び2本の植付け爪で挟持するタイプなどが考えられる。今回は、2本の植付け爪で挟持するタイプについて試作及び試験を行った。対象とした樹種は、スギ、ヒノキ、カラマツの山出し苗である。

挟持挿入装置は、苗木をつかむ適当な力を植付け爪に伝達するとともにシステム化して機械力で行う場合を想定して、それに向く構造について検討した。今回は、挟持挿入装置への苗木の挟持、土壤中へ挿入、苗木を垂直位置に放置等の操作は人力で行うようハンドル等を備えた。

2) L形植付け爪の寸法

植付け爪の形状は、側面からみるとL字形であるのでL形植付け爪と呼称することにした。L形植付け爪は、L字形の横棒の部分で苗木の根系を左右から挟み、縦棒の部分で所定の深さへ挿入案内するものである。

図-25は、山出し苗の苗丈と根の長さの分布を示したものである。この苗丈と根の長さは、スギ1回床替え2年生（小苗～中苗）、ヒノキ1回床替え3年生（中苗～大苗）、カラマツ1回床替え3年生（小苗～大苗）のそれぞれ50本つづの実測値をプロットしたものである。図から、根系の長さは苗丈の大きさにはあまり関係がないようである。これは、掘取機で掘り上げるとき、根切刃の深さが一定のところを通過するためと考えられる。しかし、樹種別における根の長さは、スギの平均16cm位（10.5～23cm）、ヒノキの平均19cm位（14.5～23cm）、カラマツの平均25cm位（16～35cm）と樹種間に差があり、とくにスギとカラマツでは平均値で9cm

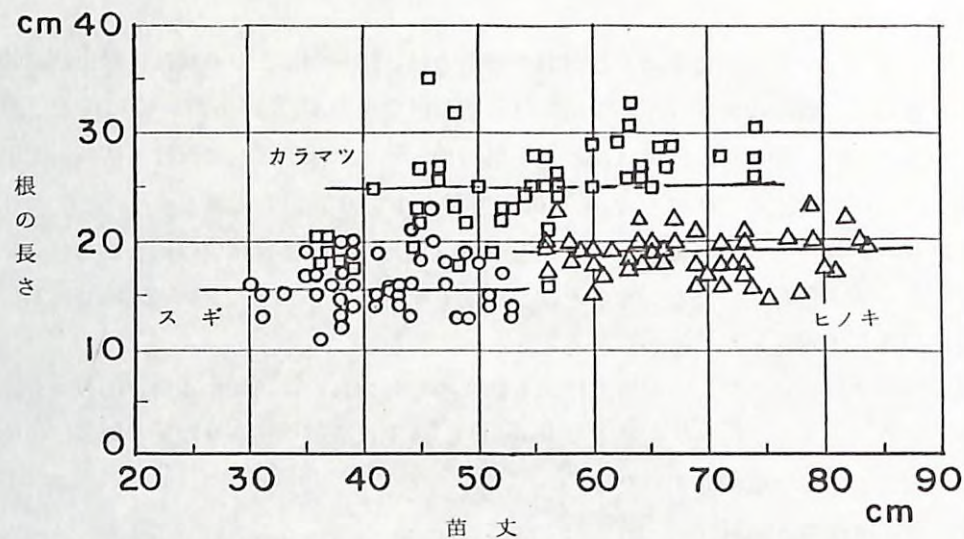


図-25 山出し苗の苗丈と根の長さ

○印：スギ，△印：ヒノキ
□印：カラマツ

の差があった。根系の広がり、自然のふくらみで測定したところ5～15cm位であった。

以上、苗木の大きさからL形植付け爪の寸法を検討した。カラマツ苗の根系の平均長さを25cmとしてこの1/3位のところ、つまり根の先端から8cm前後のところを挟持すれば、その位置から根元までの長さは17cm位（挟持したときには重さで沈むのでこれより短くなる）となる。従って、根系の貫入深さを地面から苗木の根元までを5～6cm前後とみれば、地面から根系を挟持した位置までは22cm（＝17＋5）前後となる。

以上のことからL形植付け爪の寸法は、根系を挟む横棒の部分の長さを余裕をもって220mm（幅25mm）、植付け深さを与える縦棒の部分の長さを余裕をもって270mm（幅50mm）として図-26に示した。

根系を挟む強さは、L形植付け爪で根系を挟持して土壌中へ挿入案内するとき、挟む力が弱いと途中ではずれてしまい、強すぎると根に損傷を与えることが考えられるので、爪と根系との間に根系がはずれないですむ適当な摩擦力を保持できる挟み力の強さを確かめなければならない。そこで写真-6は、挟持した苗木を人力で挿入案内できるようにハンドル等を設けた挟持挿入装置である。本装置は、左右2枚のL形植付け爪を取付ける部分には板ばね2枚、挟む力を与えるコイルばね2個、植付け爪を開閉するカム及び操作ハンドル、挿入時の支持ハンドル及びアーム、苗木樹冠支え、足掛けバー等から構成している。

挟み力（Q）は、次式により算出した。

$$Q = P \cdot \ell_a / \ell \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここに、P：圧縮コイルばねの圧縮力＝ $K\delta$ ＝～196N、20kgf（素線直径2.8mm、コイル平均直径17.8mm、有効巻数7、自由長50mm）、K：ばね定数1.82、 δ ：たわみ（～11mm）、 ℓ_a ：支点から圧縮コイルばねの中心線までの距離（105mm）、 ℓ ：支点からL形植付け爪の爪先までの距離（430mm）である。

図-27は、L形植付け爪の爪先の位置（0、5、10、15cm）における挟み力（Q）の計算値と実測値を示した。図から横軸には2枚の爪で根系を左右から挟んだときに根系の厚さの分が爪と爪との開き幅としてとり、縦軸にはそのときの開き幅に対する爪先の位置別の挟み力（Q）を示した。挟み開き幅は、挟んだとき根系が比較的広がっている場合には10～20mmにあるが、根系がダンゴ状で多い場合は20～40mm位にあるようである。挟み力（Q）の強さは、コイルばねの調整により設定した。すなわち、苗木の根系を挟持してあらかじめ切削・耕うんした土壌中に挿入案内するときに、途中で苗木がはずれない摩擦力を保持できる力は、30N（3kgf）前後から45N（4.5kgf）位の強さが適当と考えられる。

挟み力の測定は、小形荷重センサ（直径12.2mm）、厚さ3.3mm、最大荷重容49N（5kgf、K社社LM-5KA型）を爪先の各位置で挟み、挟み開き幅はそれぞれの幅になるようにスペーサを入れて設定し実測した。

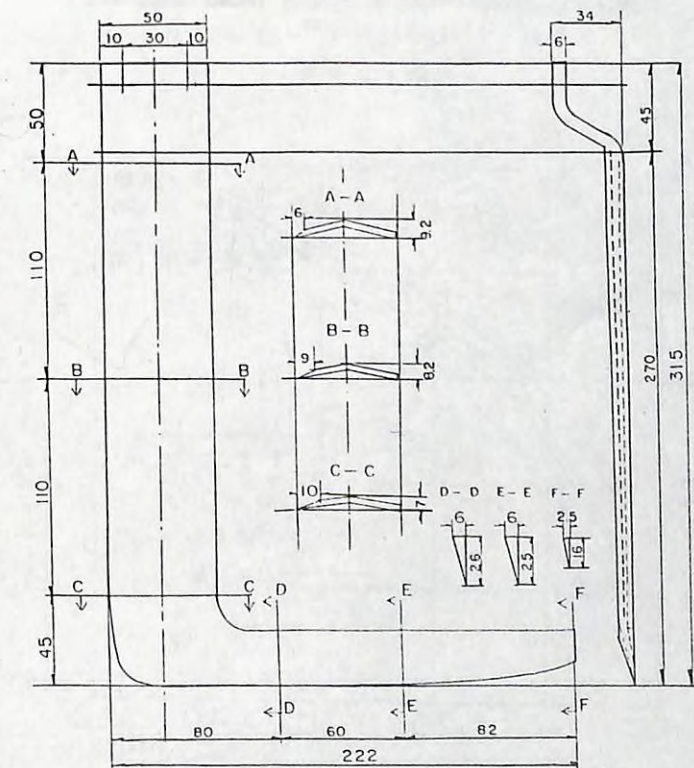


図-26 L形植付け爪の寸法



写真-6 L形植付け爪と挟持挿入装置（スギ苗）

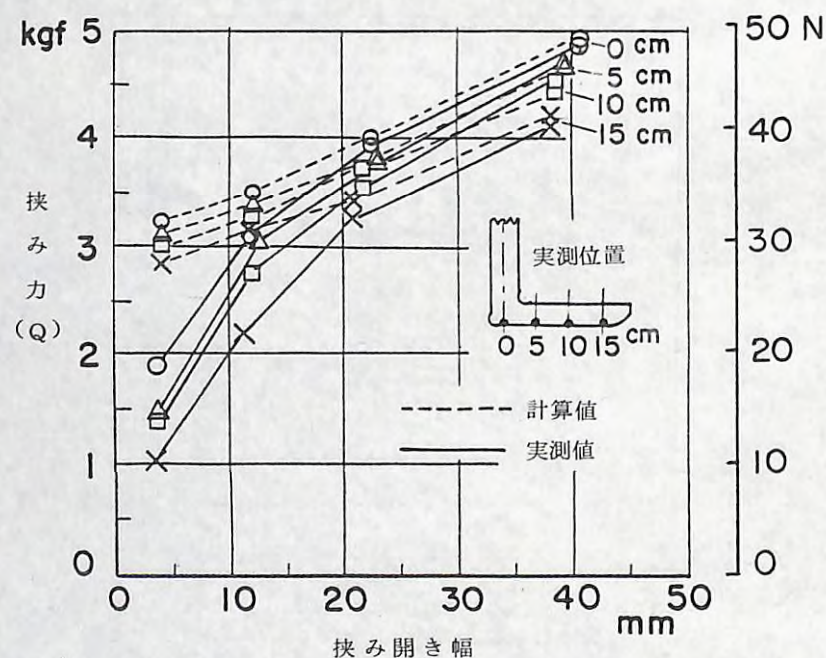


図-27 L形植付け爪の爪先における挟み開き幅と挟み力

3) 植付試験と考察

植付試験は、山出し苗のスギ、ヒノキ、カラマツの樹種について行った。苗丈は、スギの30～53cm、ヒノキの56～64cm、カラマツの36～74cmで、小苗から大苗まで含まれていた。植付方法は、林試構内のコナラ林地において前項の切削装置で切削・耕うんしたことを想定して、人力により鍬で耕うんしたあとに写真-6のように苗木をL形植付け爪に挟持して、写真-7のように土壌中に挿入して苗木が垂直に立つ位置で挟みを開き放置する。そのまゝL形植付け爪を引き抜き苗木の回りを足で踏み固めた。

この植付試験から、スギ苗は比較的根系は少なくてやわらかいため挟むと扁平になり易く土壌中に挿入する抵抗も小さく容易であった。ヒノキ苗は、根系がダンゴ状になっているため挟む位置によっては爪の外側へ大きくはみ出してしまい、土壌中へ挿入する抵抗も大きく労力を必要とした。このダンゴ状の根系は、苗丈に比例して大きくなるので、この種の根系をもつ樹種については苗丈の小さい方が望ましい結果を得た。



写真-7 L形植付け爪により挿入・垂直位置に放置して引抜くところ

3. 天然下種更新とトラクタ造林作業機

1) レーキドーザの開発・改良

レーキドーザは、古くからトラクタ造林作業機として地拵作業等に使用されてきている。国有林では、北海道、青森、秋田、前橋の各営林局管内で地拵作業に使用しており、とくに北海道、青森の各局では独自にレーキの開発と改良が行われてきている。

近年、有用広葉樹の天然林施業、複層林施業の促進が強くもとめられるようになり、これらの施業における技術の開発と普及の推進が緊要となってきている。そこで、天然下種更新においてトラクタ造林作業機がどう対応できるかについて、レーキドーザから検討を開始した。

2) レーキの爪の試作

ブナ天然林のササ型林床では、稚樹の発生に乏しく、したがって後継樹がないために天然林施業を困難にしている。このササ型林床は、ササの根系を切断・排除することにより、落下した種子の着床と発芽の促進を期待できることはすでに指摘されているところである。そこで、

レーキドーザによる地拵作業は、国有林では古くから行われており多くの研究発表がある。これらの発表資料を調査したところ、ササ類の根系を切断して排除するには、現在使用しているレーキ（RD形レーキ、写真-8）の爪（図-28）は正味の貫入深さが不足であるので、もう



写真-8 RD形レーキ（CT-35形トラクタ用）

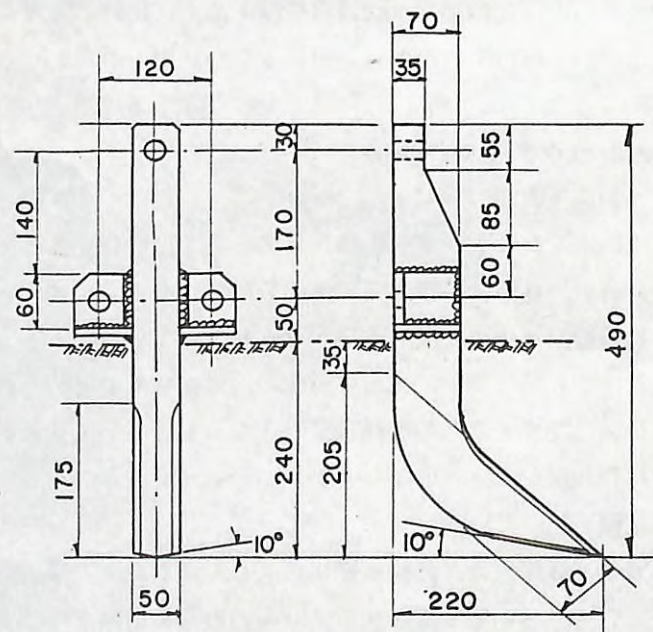


図-28 RD形レーキの爪（普通爪）の寸法

CT-35形トラクタのRD形レーキ（写真-8）の爪（以下普通爪と云う）の寸法は図-28のとおり、爪の取付板の下面から爪の先端までの長さすなわち最大貫入深さは240mmである。レーキの爪は、通常土壤中に貫入して前進するときは爪の取付板の下面から地表まで少なくとも10～15cm位のクリアランスをもって凸凹等に対応するようにしている。

以上のササ根系の深さの分布及び取付板の下面から地表までのクリアランスなどを考慮して、試作爪(1)の最大貫入深さは、正味の貫入深さを200 mm、クリアランスを150 mmと仮定して350 mmとした。写真-9は、RD形レーキに試作爪(1)を取付けたところ、図-29は、試作爪(1)の寸法を示した。

爪の抵抗は、爪を土壤中に貫入して押すとき正面の投影面積に比例して増減するものと考えられるので、貫入深さを深くすることによる投影面積の増加をわずかにとどめる目的から爪の正面からの投影面をくさび形とした。

3) ササ根系の切断・排除試験と考察

ササ根系の切断・排除試験は、長野営林局飯山営林署管内往郷山国有林58林班い小班のブナ天然林のササ型林床において、面積は約13haを対象に昭和61年9月～10月に実施した。

レーキドーザは、表-7の仕様諸元のとおりに、CT-35D形クローラトラクタにRD形レーキ

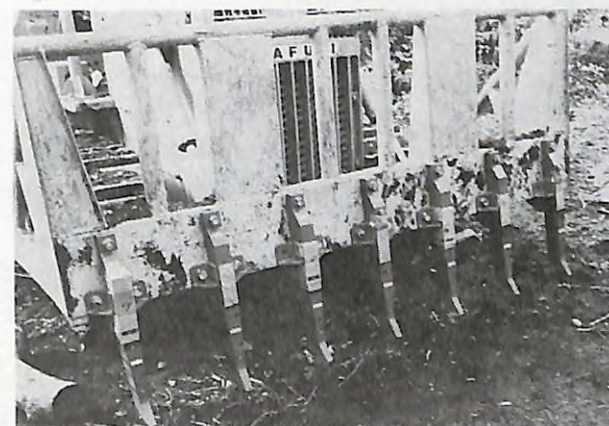


写真-9 RD形レーキに試作爪(1)を取付

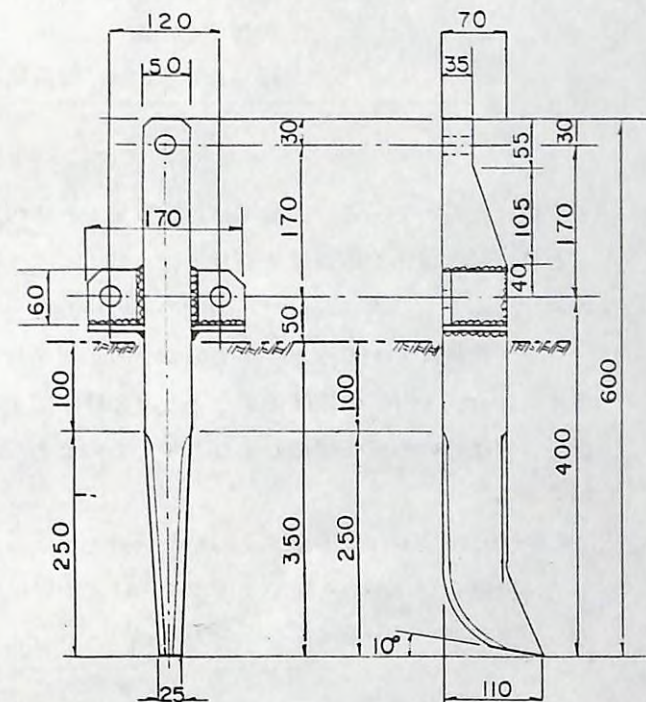


図-29 試作爪(1)の寸法

表-7 レーキドーザの仕様諸元

トラクタ	CT-35D形クローラトラクタ
エンジン	整備重量 70.9 kN (7,230kgf) いすゞ 6BB1 形ディーゼルエンジン 定格出力 : 46.3 kW (63 PS) 最大トルク : 255 N・m (26 kgfm / 1500 rpm) 排気量 : 5,393 cc
レーキ	RD 型, 7 本爪, 2080 × 1140 mm 普通爪の最大貫入深さ 240 mm 試作爪(1)の最大貫入深さ 350 mm
寸法	全体 466 × 2080 × 2580 mm 履帯中心距離 1330 mm 接地長 1795 mm, 履帯幅 400 mm

を取付けたものである。試験では、RD 形レーキの普通爪による場合と普通爪をとりはずしてかわりに試作爪(1)を取付けて交互に行った。レーキの爪は、取付間隔 300 mm (但し両端の 1 本のみ 325 mm) で 7 本を取付け、両端の爪の中心から中心までの距離は 1850 mm である。

ブナ天然林は、100～200 年生のブナの母樹をはじめミズナラ、キハダ、カンバ等の上木の下に約 10～50 t/ha の密度のチマキザサの林床である。この林床に稚樹を発生させて後継樹を育て、複層林の形成を促進しようとするものである。地形は、東向きの 3～8 度程度の緩傾斜地である。

CT-35D 形クローラトラクタの粘着係数 (μ) は、ロードセルをワイヤロープで伐根に固定して、他端をワイヤロープでトラクタのけん引桿につなぎ、トラクタの履帯を駆動したときスリップ直前のロードセルにかかる力 (F_t) を測定して次式により算出した。

$$\mu = F_t / W_t \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 W_t : トラクタの重量 7.23 t (70.9 kN) である。粘着係数は、ササの有無により表-8 のような値であった。従って、この粘着係数からササ根系を切断・排除した跡地におけるトラクタの押す力を推定すると、ササ根系を剥ぎ取った土では 3 t ～ 4.0 t 程度で、これに下り勾配分を加味すると 3.3 t ～ 4.9 t 程度と推定される。

切断・排除試験の方法は、レーキドーザは下り勾配方向に前進しながらササ根系を切断し、桿と一緒に数 m 毎に両側のササ生地に排除した。ササ根系の切断・排除の幅は、レーキドーザで 1 回で押す幅とした。写真-10 はササ型林床を写真-11 のようにササの根系と桿と一緒に押して排

表-8 CT-35D 形クローラトラクタの粘着係数

条 件	粘 着 係 数	含 水 比 %
サ サ 生 地	0.69 ～	—
ササ根系を剥ぎ取った A～B 層	0.41 ～ 0.55	34.2



写真-10 ブナ天然林のササ型林床の1例



写真-11 試作爪(1)によりササ根系を切断して桿と一緒に押している状況

除した跡地の1例は写真-12のとおりである。

図-30は、50×50mのプロットNo1である。ササ根系の切断・排除した部分を斜線で、母樹の位置に樹種名と胸高直径を示した。斜線の部分は、幅員1.9～2.6mで平均2.17m、隣接する斜線の部分とは8～10mの間隔である。表-9は、プロットNo1内の母樹の本数、排除した斜線の部分の延長距離などからha当りについて推定した値と、ササ根系の切断・排除の正味の切程を示した。

以上、レーキドーザによるササ根系の切断・排除試験から、普通爪と試作爪(1)を比較すると、普通爪は、爪の正味の貫入深さ(10～15cm位)が浅いために1回の押しでは根系の残る場合が多い。試作爪(1)は、この点普通爪よりも深く貫入(20cm位)できたので1回の押しで切断・排除が可能であった。

レーキドーザによるササ根系の切断・排除試験を実施して、これまでの概要を報告した。

今後は、ササ根系の切断・排除に適したレーキドーザの爪について、今回使用した普通爪、試作爪(1)及び新しく試作を予定している試作爪(2)その他について、寸法、形状、抵抗の大きさなどの分析を行い、最も適した爪の選定資料を取得する。また、プロットNo1内におけるブナの母樹の本数は、母樹保残法による本数よりも約1/2と少ないので、ブナの山引き苗の植付けを行い、下種更新による稚樹の発生と併せて後継樹の追跡調査を実施する。



写真-12 試作爪(1)によりササ根系の切断・排除した跡地の1例(幅員平均2.17m)

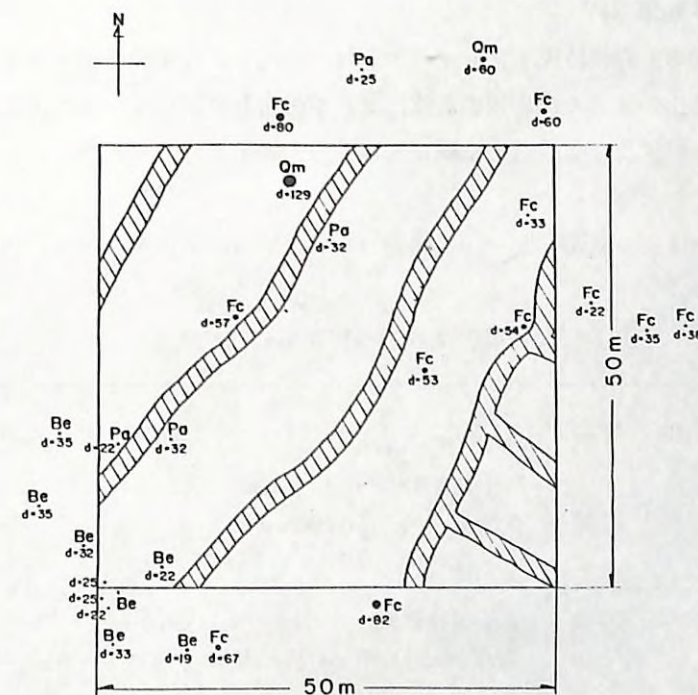


図-30 ブナ天然下種更新地の50×50mのプロットNo1

Fc: ブナ, Qm: ミズナラ, Pa: キハダ
Be: ダケカンバ

表-9 母樹の本数、切断・排除距離、切程

樹 種	胸高直径	本 数	ササ根系の切断・排除および切程	
ブ ナ	52 cm	16本/ha	平均幅員	2.17 m
キ ハ ダ	29	12	延長距離	778 m/ha
ミ ズ ナ ラ	129	4	延 面 積	1689 m ² /ha
ダ ケ カ ン バ	24	8	切程(正味・下り勾配)	128～199 m/hr

但し、ha当りについては、50×50mプロットNo1からの推定値

4. 塔上薬液散布移動車 (1)

塔上薬液散布移動車（森林防災スプレーヤー）は、車両部と作業装置部から構成し、伸縮ブームを垂直に立てて塔上のノズルから松の若枝に薬液を散布して、松くい虫の後食を防除する装置である。荷重分布の測定及び薬液散布試験における圧力降下について検討した。

1) 構造

本装置は、仕様諸元の概要を表-10、伸縮ブーム格納時の全体図を写真-13に示した。

表-10 塔上薬液散布移動車の仕様諸元

寸法・重量	全長×全巾×全高 重 量	アウトリガ 全長時, 5500×3500×20,400mm 伸縮ブーム 同上格納時 5500×2300×2500mm 空車時 58.8kN (6t) 装備時 78.4kN (8t)
移動車	形式 軸距・輪距 最低地上高 最小旋回半径 走行速度 エンジン	4輪四輪駆動 (TCM-NCD35) 2800mm, 1850mm 305mm 7500mm (最外輪中心) 前進 0.8~60km/hr, 後進 ~7km/hr 4サイクル水冷直列, 4気筒, 排気量 3856cc 最大出力 80.9kw / 3200 rpm (110 PS) 最大トルク 259.87 N・m / 1900 rpm (26.5 kgfm)
散布装置	動力噴霧ポンプ 吸水量・最高圧力 薬液タンク 伸縮ブーム 散布ノズル高 ノズル吐出量・圧力 ノズル方向制御	横形3連往復動 130ℓ/min (700rpm), 2.94MPa (30kgf/cm ²) 200ℓ 伸縮式, 油圧シリンダ駆動 地上より 8m, 12m, 16m, 20m 100ℓ/min, 1.97MPa (15kgf/cm ²) 遠隔操作 (有無・無線)
油圧装置	P T O 軸 油 圧 ポ ン プ 油 圧 モ ー タ 油 圧 シ リ ン ダ	副変速機より タンデム式ギヤ形, 1064rpm 40ℓ/min (動力噴霧ポンプへ), 7ℓ/min (油圧シリンダへ) 最高圧力, 17.16MPa (175kgf/cm ²) ピストン形, 23.6cc/rev, $\eta = 0.93$ 歯車箱, 減速比 22:49, $i = 2.2272$ アウトリガの伸縮 伸縮ブームの起伏, 伸縮

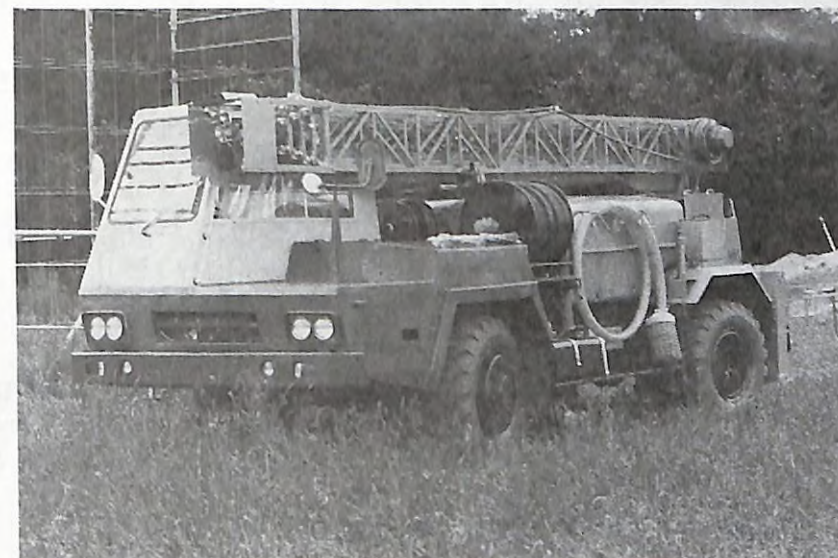


写真-13 塔上薬液散布移動車

車両部は、軟弱地でも機動性をもたせるため4×4輪駆動、主変速機と副変速機から前進10段、後進2段により広い速度域を備え、とくに散布作業時では超低速の減速比 $i = 445.4$ から約0.23 m/sを設定できて、公道上では高速度16 m/s (60km/h)で走行することができる。この車両に動力噴霧機等の作業装置を積載すると装備重量は8tとなる。

作業装置部は、動力噴霧ポンプ、薬液タンク、配管・ホースリール及びノズル、伸縮ブーム、アウトリガ、油圧ポンプ・油圧モータ及び油圧シリンダ等から構成する。

油圧ポンプは、タンデム式ギヤ形を副変速機のPTO軸により駆動し、1台の油圧ポンプから発生した油圧は油圧モータを駆動して動力噴霧ポンプを作動する。もう1台の油圧ポンプから発生した油圧は、伸縮ブームの油圧シリンダ、アウトリガの油圧シリンダなどへ供給してロットを作動する。

動力噴霧ポンプは、強制平弁式 (ピストン式) 三連往復動形 (シリンダ直径47mm, ストローク36mm) で、油圧モータ及び歯車箱を経て約800rpmの回転数で駆動されて最高圧力2.94MPa (30kgf/cm²)、最高吸水量150ℓ/minの性能をもっている。薬液タンクの容量は、2000ℓである。

配管・ホースリール及びノズルは、動力噴霧ポンプから吐出した薬液は送水管と余水管に分岐し、余水管へは約20%が流れて薬液タンクへ戻り、送水管へは約80%が流れてノズルへ圧送される。送水管へ流れた薬液は、鋼管エルボ、T形分岐管等を経て伸縮ブームの基部にもうけたホースリールへ、このホースリールは、長さ20mの高圧ゴムホース (外径32.6mm, 内径19mm, 内面耐油ゴム中間補強層合成繊維) が巻き込まれている。図-31は、ホースリールからノズルまでの配管の概要を示した。高圧ゴムホースの引出し長さは、伸縮ブームを1段ずつ伸ばすことにより5.7m, 9.7m, 13.7m, 17.7mとくり出してブーム上部の配管へ接続した。ブ

ーム上部の配管は、鋼管ベンド、エルボ、ゴムホース等により約1.8 m下方へ下ろして電磁弁を経由して、再度長さ2 mのゴムホースで上方へ立ち上げノズルブロックへ接続した。

伸縮ブームは、トラス構造の箱形棒の中から漸次小形の箱形棒をくり出して基柱を含めて5段全部伸ばすと地上からノズルまでの高さは20mである。格納時は、ブームを最も縮めた基柱（高さ8 m）を車両後部を支点にして車両の前方へ倒し固定した状態である（写真-13）。

2) 荷重分布と重心の高さ

装備重量8 tにおける四輪の荷重分布は、伸縮ブーム格納時、ブームの基柱を直立8 m（写真-14は格納時より直立時に移る状態）及びブームを全部伸ばした直立20 m（写真-15）等において測定した。荷重分布の測定値は、伸縮ブームの状態によりその時の軸重及び輪重について表-11に示した。軸重は、ブーム格納時とブーム直立時では後軸へ5～6%の荷重の移動がみられる。左右の輪重は、当然のことながらブームのいずれの状態でもかわりはないとみることができる。

重心の位置は、14°30'の傾斜地に秤量計を設置して、装備重量8 tにおけるブーム格納時及びブーム直立8 mのと

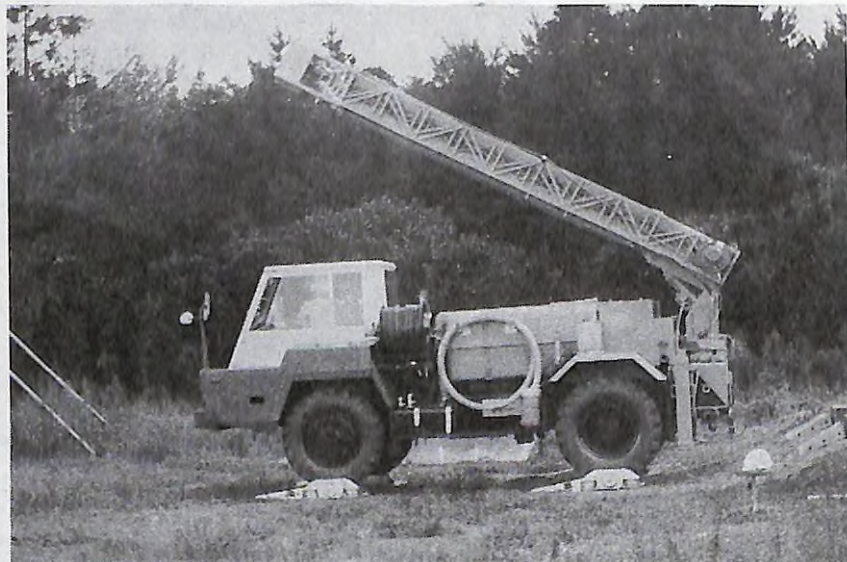


写真-14 ブーム格納時から直立に移る状態

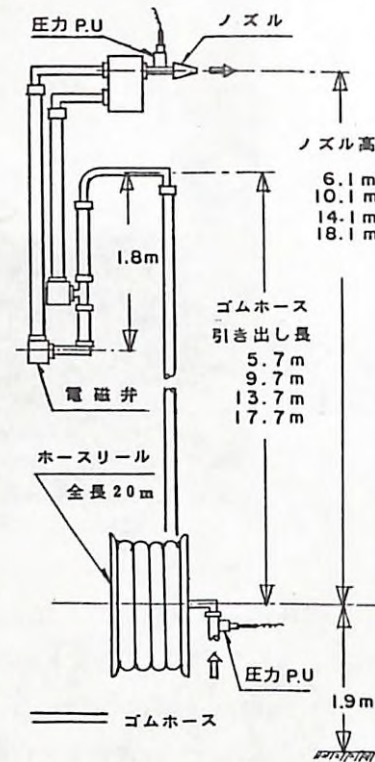


図-31 ホースリールからノズルまでの配管の概要



写真-15 ブーム直立時全長20m

表-11 塔上薬液散布移動車の装備重量時における荷重分布

軸	重	前 軸		後 軸	
		値 (t)	%	値 (t)	%
軸	ブーム格納時	33.73 (3.44)	43.0%	44.71 (4.56)	57.0%
	ブーム直立8m	29.32 (2.99)	37.4%	49.13 (5.01)	62.6%
	ブーム直立20m	29.22 (2.98)	37.2%	49.22 (5.02)	62.8%
輪	重	左 輪		右 輪	
		値 (t)	%	値 (t)	%
輪	ブーム格納時	39.12 (3.99)	49.8%	39.32 (4.01)	50.2%
	ブーム直立8m	38.54 (3.93)	49.2%	39.91 (4.07)	50.8%
	ブーム直立20m	38.63 (3.94)	49.2%	39.81 (4.06)	50.8%

単位 kN, () は t

きの荷重分布を測定(写真-16)して計算で求めた。

前車軸中心から重心までの水平距離(ℓ)は、次式により算出した。

$$\ell = \frac{L \cdot W_r}{W} \quad \dots\dots\dots (17)$$

ここに、 W ：装備重量(8t)、 W_r ：後車軸荷重(t)、 L ：軸距(2800mm)である。
重心の高さ(h_G)は、次式により算出した。

$$h_G = \frac{L(W_f' - W_f) + (R_f - R_r)W_f' \tan \theta}{W \tan \theta} + R_r \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここに、 W_f ：車両水平時の前軸荷重、 W_f' ：車両傾斜時の前軸荷重、 R_f ：車両傾斜時の前輪の半径、 R_r ：車両傾斜時の後輪の半径、 θ ：車両傾斜角(14°30')である。

図-32は、ブーム格納時とブーム直立8mのときの重心の位置を図示したものである。重心の位置は、ブーム直立8mのときには格納時よりも後軸へ157mm(=1753-1596)、高さでは157mm(=1330-1173)高くなる。ブーム直立20mは、傾斜地では危険を伴うことが予想されるため測定しなかった。



写真-16 重心の高さの算出に必要な事項の計測(傾斜角14°30')

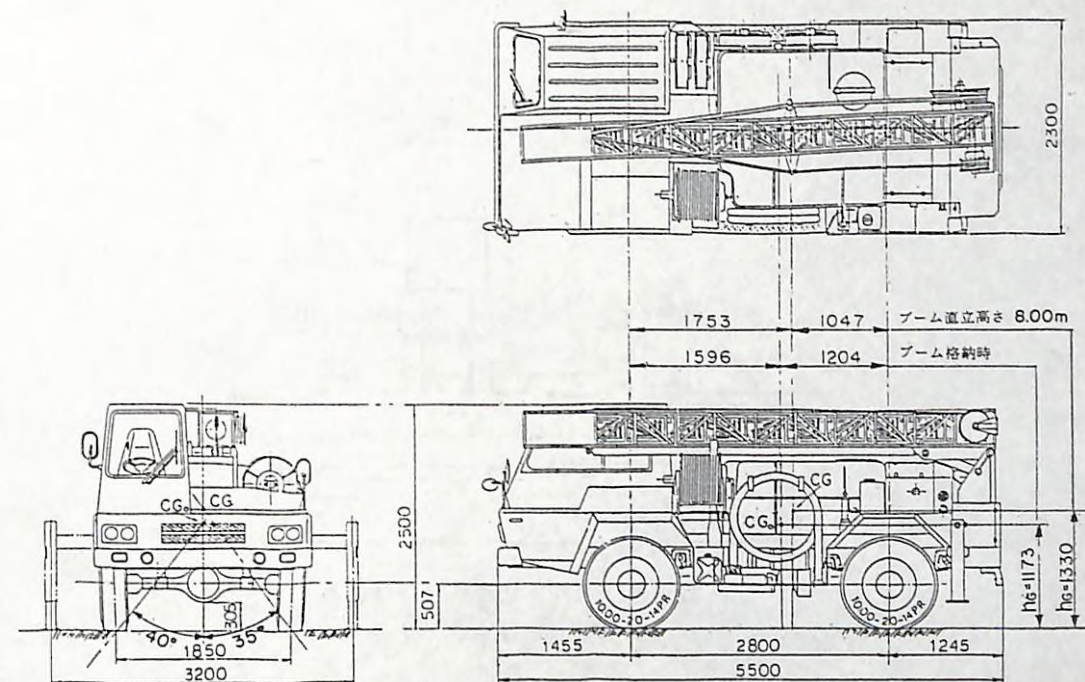


図-32 塔上薬液散布移動車のブーム格納時の寸法と装備重量時の重心の位置(CG₀:ブーム格納時, CG:ブーム直立8m時)

3) 散布試験と考察

薬液の散布試験は、ノズルの高さ別に管路を圧送する薬液の圧力、ノズルから噴霧した吐出量及びエンジン回転数、ポンプ回転数等の測定を行った。

ノズルの高さは、伸縮ブームの基柱を直立にした8m(地上からホースリールの軸心まで1.9m、これよりノズルまで6.1m)から、段階的に伸ばして12m(同1.9m+同10.1m)、16m(同1.9m+14.1m)、20m(同1.9m+同18.1m)と伸ばした。圧力は、図-33に示したひずみゲージ式圧力ピックアップをもちいて、ホースリール入口(最高圧力4.9MPa≒50kgf/cm²)及びノズル入口(最高圧力1.96MPa≒20kgf/cm²)で測定した。流量は、図-34に示した渦流量計(最高圧力3.92MPa≒40kgf/cm², 最大流量150ℓ/min)をもちいて、余水管と送水管に分岐した後の送水管路内に設置した。エンジン及びポンプの回転数は、電磁式パルスセンサをもちいてそれぞれ測定した。噴霧ノズルは、図-33のような直進形(到達形)を使用し、噴霧方向の制御は、ノズル取付部のスイベルとモータにより、水平方向と上下方向の遠隔操作(有線、無線)で行う。

図-35は、横軸にノズルの高さ(ホースリールの軸心からノズルまで)をとり、縦軸にホースリール入口圧力(P_1)及びノズル入口圧力(P_2)と吐出量を取り、これらの実測値をプロットし実線で傾向を示した。供試装置の管路の摩擦損失水頭とくに高圧ゴムホースの摩擦損失係

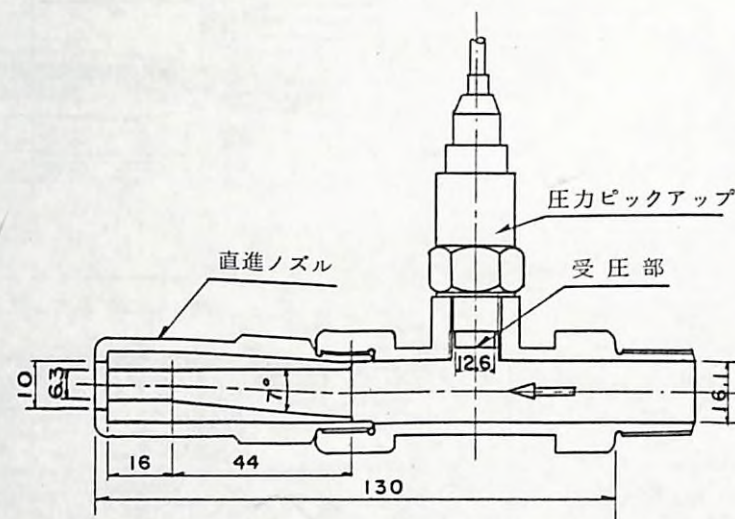


図-33 直進形ノズル（到達）及びひずみゲージ式圧力ピックアップ

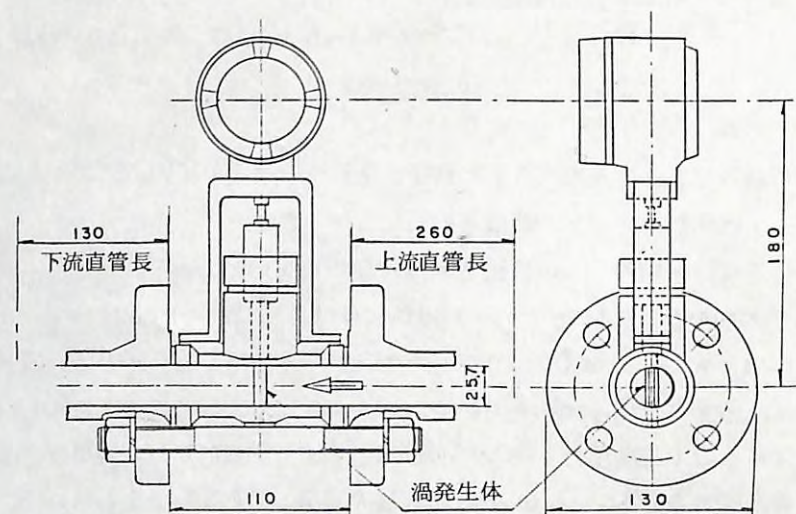


図-34 渦流量計

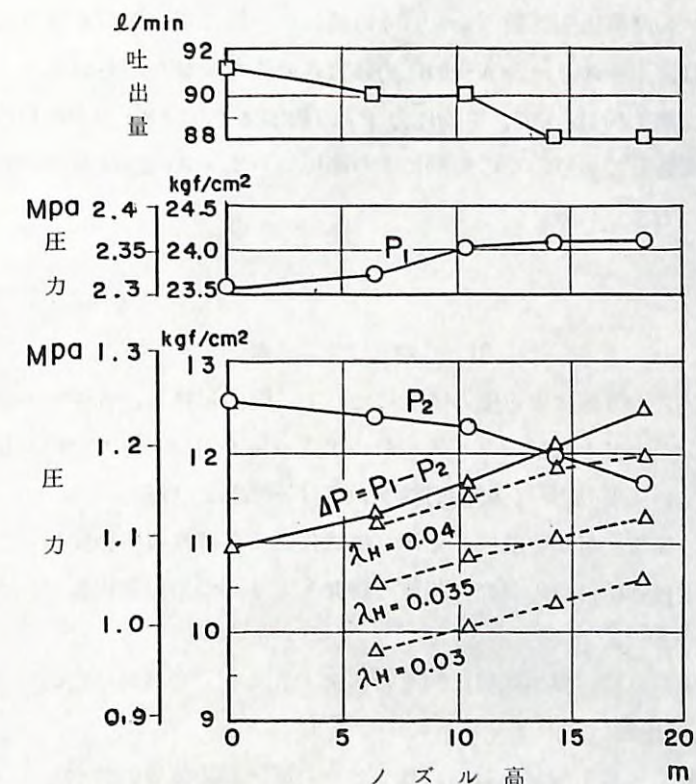


図-35 ノズル高別の圧力と吐出量

数 (λ_H) について、各値を与えた場合の計算値を波線で示した。

管の摩擦損失水頭 (h) は、流れの相似則から次式により算出した。

$$h = \Delta P / r = P_1 - P_2 / r = \lambda \cdot L / d \cdot V / 2g \quad (19)$$

ここに、 r : 薬液の比重、 ΔP : 区間内の圧力降下 ($P_1 - P_2$)、 λ : 管の材質による摩擦損失係数、 L : 管長、 d : 管の内径、 V : 流速、 g : 重力の加速度である。

供試装置の管路は、図-31のようにホースリール入口からノズル入口までの区間である。この区間の管路は、引抜鋼管、エルボ、ベント、弁、高圧ゴムホース等で、レイノズル数は $Re = 105,800 \sim 136,000$ とすれば摩擦損失係数は、引抜鋼管で $\lambda = 0.0185$ 、エルボの全損失係数 $\xi_e = 1.2$ 、ベントの全損失係数 $\xi_b = 0.14$ 、弁の損弁係数 $\xi = 0.08$ を用いることにした。そして、高圧ゴムホースの摩擦損失係数 (λ_H) は、各種実験式により求めるとおおよそ $\lambda_H = 0.02 \sim 0.04$ の値をとるようであるので、 $\lambda_H = 0.03, 0.035, 0.04$ の値を用いることにした。それらの係数を式 (19) に代入して求めた。

摩擦損失水頭は、実測値の傾向に最も近い計算値は高圧ゴムホースの $\lambda_H = 0.04$ ($Re = 100, 200, V = 5.294 \text{ m/s}$) を用いた場合であった (図-35)。

高圧ゴムホースの摩擦損失係数 $\lambda_H = 0.04$ の値は、一般に用いている値でも最も高いものである。このことは、ホースリール入口の圧力に大きい圧力変動がみられ、ポンプ回転数（800 rpm）の3倍の周期（40 Hz）で、平均圧力 P_1 の約27%（0.588～0.686 MPa，6～7 kgf/cm²）の大きさで変動しており、この変動により高圧ゴムホースの内径断面に変形を生じ λ_H を大きくしたものと考えられる。

引用文献

- (1) 三村和男：塔上ノズル噴霧による圧力降下について，64回日林論，657～658，1983.
- (2) 三村和男・広部伸二・井上源基：フレイルモーア式カッタ刃によるササの刈払い抵抗（Ⅰ）—供試カッタ刃と刈払い所要動力—，95回日林論，631～634，1984.
- (3) 三村和男：ササの種類と刈払い抵抗，58年度機械化部研究業務報告会要旨，27—28，1984.
- (4) 三村和男：造林用自動植付機の開発に関する研究（Ⅰ）—つめ付き円板コールドタの切削抵抗—，96回日林論，657～660，1985.
- (5) 三村和男：造林用自動植付機の開発に関する研究（Ⅱ）—L形植付け爪の諸元，37回日林関東支論，257～258，1986.
- (6) 三村和男・広部伸二・井上源基・辻井辰雄：ササ刈取・収集装置の開発（Ⅰ）—試作機の動力性能—，97回日林論，665～668，1986.
- (7) 三村和男：造林用自動植付機の開発に関する研究（Ⅲ）—ラダーチェーン形切削装置の切削抵抗—，98回日林論，721～723，1987.
- (8) 三村和男・山田 健：天然下種更新とトラクタ造林機械（Ⅰ）—レーキドーザの爪の試作とササ根系の切削試験—，98回日林論，719～720，1987.

次代検定林等の調査データの 立地要因による修正方法の開発

次代検定林等の調査データの 立地要因による修正方法の開発

I 試験担当者

造林部遺伝育種科長	勝 田 柁 (主査)
“ 遺伝育種第1研究室	明 石 孝 輝
“	松 崎 智 徳
土壌部地質研究室	河 室 公 康
九州林木育種場	戸 田 忠 雄
“	西 村 慶 二

II 試験目的

精英樹選抜育種事業による選抜効果の判定や、各精英樹の今後の育種材料としての評価のため次代検定林が設定され、すでに10年以上のデータが集積されている。次代検定林は農作物の畑地における検定と異なり、林地の斜面の上下にもとづくような立地変化があり、そこから得られたデータを直接分析しても、その立地の影響のため正しい系統評価ができない場合がある。多くの次代検定林は乱塊法で設定されているが、この方法は、立地変化を反復効果として除去できるように、反復間に立地変化が生じるようにとり、反復内をなるべく均一にして、その中に各系統をランダムに配置して検定精度を向上させることにねらいがある。このため乱塊法を林地に適用する場合は、斜面の上下に反復をとり、立地変化を反復効果として除去できるようにしなければならない。しかし、実際の検定林では、傾斜方向と平行して反復を配置してある場合もある。また、設定時に予測できなかった立地変化が、データ採取時に認められる場合等、系統評価は歪められる。このようなデータについての立地修正法について述べる。

III 試験の経過と得られた成果

1. 土壌の物理的要因によるデータ修正

土壌の物理的要因によるデータ修正は、九州林木育種場管内の次代検定林（菊池矢部スギ2種検定林第1試験地）と、関東林木育種場管内のカラマツ高峯遺伝試験林および福島県管内スギ次代検定林（いわき市田人大字荷路夫字焼倉1-1）の3箇所で行った。

1) 菊池矢部スギ2種検定林第1試験地の立地修正

この検定林は、スギの12クローンを3反復の乱塊法で1プロット10行×5列=50本で植栽してある。本試験では、このプロット平均値をデータとして用いた。以下にデータ修正の基本的な考え方を述べる。

林地に乱塊法で設定された検定林から得られたデータ（プロット別平均値）は次のような数

学的モデルで示される。

$$X_{ij} = m + C_i + B_j + E_{ij} + e_{ij}$$

この式において

X_{ij} : i 系統の j 反復区のデータ (プロット平均値)

m : 全データを通ずる平均値

C_i : i 系統の効果

B_j : j 反復の効果

E_{ij} : i 系統の j 反復区のデータにともなう立地効果 (マクロな環境効果)

e_{ij} : i 系統の j 反復区のデータにともなうミクロな環境効果 (測定誤差を含む)

この式の中のマクロな環境効果 E_{ij} を取り除くことがデータ修正の目的である。その方法として、まずマクロな環境効果の原因となる因子を説明変数とし、データを従属変数とした重回帰式により各データに含まれるマクロな環境効果を推定する。その推定値と実際のデータとの差が、立地修正されたデータであり、その値の数字的モデルは上式から E_{ij} 項を取り除いたものとなる。なお、この試験ではスギサシキクロンが材料であるから系統はクロンである。

この試験で取り上げた説明変数は表-1のとおり9変数であり3反復を通じ一つの重回帰式で推定することとした。説明変数の中で凸凹とあるのは、プロットの四隅の一定高から対角線方向へ水平に紐を引き、プロットの中心である交点での平均高を求めデータとした。

立地効果を説明する最適変数の選択法として、逐次増減法を用いた。この結果、得られた変数は有効深度、25cm位置の硬度、頂上方向への傾斜角度、頂上方向の直角方向への傾斜角度が選定された。この重回帰式についての重相関係数は0.457であった。回帰分析の結果は表-2のとおりであり、有意ではなかったが有意に近い値が得られた。この重回帰式で推定される値には、クロン効果を含まないで著しく重相関係数の高い重回帰式が得られることはあり得

表-1 説明因子の一覧表

説明因子	記号	備考
A ₀ 層の深さ	AL	
B ₁ 層を含めた深さ	BL	無い場合はALと同じ
B ₂ 層までを含めた深さ	TL	100 cm以上は100 cm
根の多い部分の深さ	RL	A層内での
10cm深さの硬度	SH	地面下10cm位置
25cm深さの硬度	DH	地面下20cm位置
窪みの程度	RO	プロット中心位置の
縦の傾斜高度	CA	斜面の頂上方向
横の傾斜高度	RA	CAと直角方向

ない。すなわち、各データに含まれるクロン効果が大きいければ大きいほど重相関係数は小さくなる。したがって重相関係数の大きさや回帰式の有意性にこだわることは適当ではない。得られた重回帰式は次のとおりである。

表-2 重回帰式の検定のための分散分析

要因	d. f.	S. S.	M. S.	F
回 帰	4	4.417	1.104	2.484
残 差	31	13.778	0.444	
全 体	35	18.195		

$$Y = 1.308 + 0.0244TL + 0.1551DH - 0.0426CA + 0.0916RA$$

修正によってデータの精度向上が認められるかどうかは、修正前後のデータの分散分析を行い、修正後のクロン間差の検定精度が向上したかどうかによって決定される。この結果は表-3に示すとおりであり、修正前に有意性の認められなかったものが修正後に有意性が認められ修正効果が確認された。なお、修正データの分散分析で()内に示した数値は、回帰分析の自由度と平方和を、誤差の自由度と平方和からそれぞれ差し引き求めた誤差、すなわち、重回帰式分の自由度の減少を取り入れた誤差である。この値でクロンを検定した結果は()内に示してあるが、この結果においてもクロン間に有意性が認められ精度向上が確認された。

表-3 修正前後のデータについての分散分析

要因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	0.295	0.148	0.318	0.332	0.166	0.679
クロン	10	8.039	0.804	1.732	7.952	0.795	3.251** (2.598)*
誤 差	20	9.285	0.464		4.892	0.245	
(誤差)	(16)				(4.892)	(0.306)	
全 体	32	17.169			13.176		

註) () は回帰分の自由度を減らして検定

2) カラマツ高峯遺伝試験林の立地修正

この試験地に植栽されてある材料は、カラマツの人工交配により得られた家系別苗木を乱塊法で設定したものであり、この試験地内の2反復について立地修正を試みた。

立地修正で取り上げた説明変数は、土壌の物理的性質であり、A層の深さ、土壌の有効深度、10cm深さと25cm深さの土壌硬度、表土の容積重、表土の粗孔隙量、表土の細孔隙量、表土の全孔隙量、根の容積、固相部分容積、液相部分容積、最大容水量、最小容水量、透水性、ササの

伸びである。

修正するための重回帰式は、統計的に有意に得られたが、この重回帰式を用いて修正したデータについての分散分析の結果には、修正効果が全く認められなかった。

なお、ここで取り上げた説明変数は、その測定に多くの手間を要するので實際上、利用価値の低いものであり、精度向上の認められなかったこととあわせ、この方法の試験の継続を断念した。

3) 福島県スギ次代検定林の立地修正

この試験では、前述の重回帰式の説明変数に取り上げた土壌の物理的因子の中で、現地で容易に調査できるものとして、土壌の有効深度、A層の深さ、深さ10cmと20cm位置の土壌硬度とした。しかし、従属変数を樹高と胸高直径とした重回帰式には全く有意性が認められず、この方法の継続を断念した。

2. 植栽配列の流れにそって修正する方法

1) 九州林木育種場管内のクローン検定林における適用例

この検定林は、熊本県菊池郡旭志村桜ヶ水国有林5林班い小班、1968年設定のスギのクローン検定林である。立地修正を前提として設定したため反復を斜面と平行にとってあり、図-1に示すように、乱塊法で設定された状態の各プロットの両側をはさみ斜面方向へ5列の

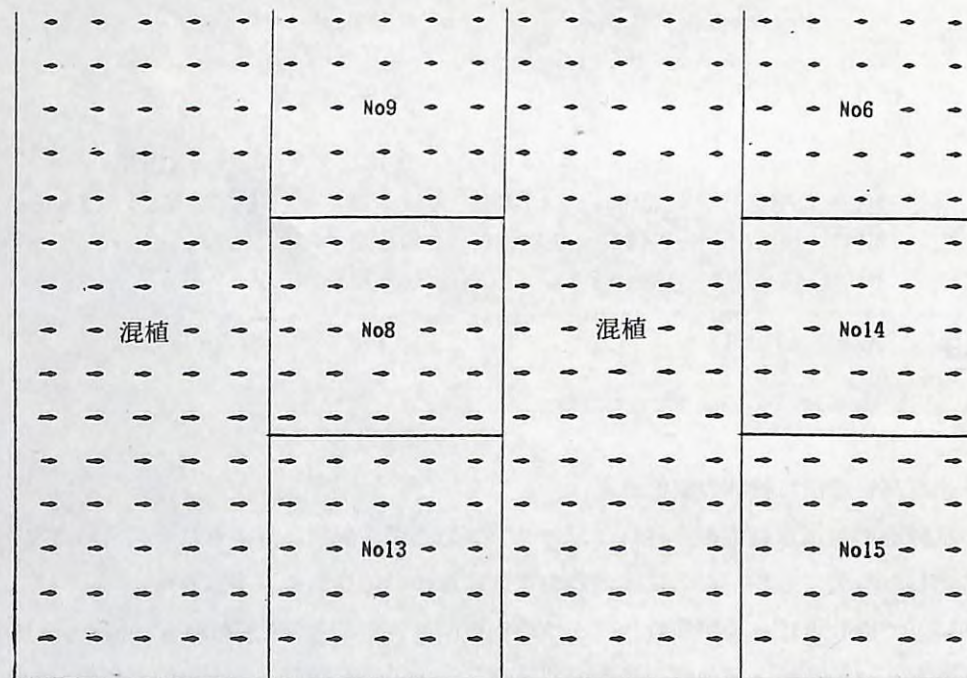


図-1 立地修正を前提とした次代検定林のプロット配置の一部分

立地修正用の材料が植栽されている。

修正の第1の方法は、各個体の植栽配置上の行または列番号を説明変数とし、各個体のデータを従属変数とした重回帰式により立地効果を推定し、その推定値と未修正データとの差を修正データとする方法である。なお、立地効果についての数学的モデルは、前節で説明した数学的モデルと同様である。本例での重回帰式の計算には、修正区である単木混交植栽区のデータのみを用いた。

第2の方法は、行列の番号の代わりに各プロットの配置上の行、列の番号を、また、各個体のデータの代わりにプロット平均値を用いる方法である。この重回帰式の計算には、クローン単植区のプロット平均値と、それに隣接する単木混交植栽区のデータを、単植区と同じ大きさのプロットに区画し平均値を求めデータとした。

両方法とも説明変数として、行、列の1次から4次までを用い、その他、対角線方向の立地変化を捉える方法として、明石(1976)を用いた。この方法は行、列の番号から対角線方向の番号を算出し、その1次から4次までの説明変数を行、列番号とあわせて重回帰式を求める方法である。

5年生時のデータについて第1の方法で得られた重回帰式は次のとおりである。

$$Y = -2286.797155 + 0.0X_1 + 0.0X_1^2 - 0.0352271X_1^3 + 0.000319X_1^4 \\ + 176.0981328X_2 - 1.2046188X_2^2 + 0.0X_2^3 - 0.0000097X_2^4 \\ - 96.9877929X_3 + 0.6593182X_3^2 + 0.0X_3^3 - 0.0000033X_3^4 \\ + 0.0X_4 + 1.123472X_4^2 - 0.0074876X_4^3 + 0.0000366X_4^4$$

この重回帰式の第1項は定数であり、 X_1 は行番号、 X_2 は列番号を示す。 X_3 は植栽地の左下隅から右上隅への対角線方向の立地変化を示し、 X_4 は右下隅から左上隅への対角線方向の立地変化を示し、この対角線方向への変数はそれぞれ次式により算出される。なお、係数のゼロとなった項は不要であるが説明の便宜上記載した。

$$X_3 = X_1 + X_2 - 1$$

$$X_4 = X_1 + M - X_2$$

この式の中のMは、行または列の最高番号である。

表-4は、修正結果を示すものであり、修正効果を表わすために、反復ごとのクローン平均値を修正前後について求めた。この値をデータとして、同一反復については修正前後のデータ間について相関係数を求め、異なる反復間については修正前と修正後の両データについて相関係数を求めた。同一反復の修正前後についての相関係数(対角線上の値)は、その値が低い程、

表-4 立地修正前後の各反復のクローン別平均値をデータとして求めた反復間の相関係数(樹高5年生)

反 復	反復 1	反復 2	反復 3	混 植
反復 1	0.872	0.353	0.461	0.792
反復 2	0.609	0.818	0.218	0.619
反復 3	0.726	0.615	0.425	0.619
混 植	0.865	0.774	0.654	0.996

註) 対角線の右上の数値は未修正データの異なる反復間
対角線上は同じデータの修正前後
対角線の左下の数値は修正データの異なる反復間

大きい修正が行われたことを示し、異なる反復間の相関係数(修正前が対角線の右上、修正後が対角線の左下)は、その修正前後の値を比較し、修正後の値の大きさ向上で修正効果が示される。同表の同一反復として示した混植区では、0.996と値が大きく、ほとんど修正されなかったことを示し、反復3では、0.425と小さく、大きく修正されたことを示す。修正前の反復間では、反復2と反復3の値が0.218と小さいが、修正後には、0.615と精度向上が認められ、その他の反復間でも相当の精度向上が認められる。

第2の方法は10年生時のデータについて適用した。その重回帰式は次のとおりである。

$$Y = 7.4264481 - 29.133286X_1 - 8.513877X_1^2 - 1.083224X_1^3 \\ + 0.046112X_1^4 + 0.83354X_2^2 - 0.05937X_2^3 - 15.772627X_4 \\ + 3.423554X_4^2 - 0.248039X_4^3 + 0.005997X_4^4$$

この重回帰式の算出において、各変数の3次項までの重回帰式で修正効果を検討したが修正向上が認められなかった。このため上記した重回帰式の説明変数の4次(X_1^4)にみられるとおり、各変数の4次までを取り入れて検討し、この重回帰式を得た。

表-5に修正結果を示すが、記載は表-4と同様の要領である。ただし、混植区についての立地修正は実行しなかった。同表で注目されることは、修正前の異なる反復間の相関係数3個の中で、マイナス相関が2個もあることである。このことは、反復単位のクローン平均値の精度に信頼性のないこと

表-5 立地修正前後の各反復クローン別平均値をデータとして求めた反復間の相関係数(樹高10年生)

反 復	反復 1	反復 2	反復 3
反 復	0.736	-0.049	0.183
反復 2	0.517	0.616	-0.308
反復 3	0.676	0.609	0.784

註) 対角線の右上の数値は未修正データの異なる反復間
対角線上は同一反復の修正前後のデータ間
対角線の左下の数値は修正データの異なる反復間

を示すことだが、修正後は、最低でも反復1と反復2の値が0.517と精度向上が認められる。この両反復の各クローン平均値が修正によって、どのように変化したかを図-2~図-4に示した。

各図ともX軸とY軸のそれぞれに異なる反復のクローン平均値をとった相関図である。いずれの図も修正後が修正前よりも対角線に近付き、データの精度向上が明らかである。

同じデータについて、分散分析で検討した結果は、表-6のとおりであり、未修正データでは全く、クローン間変動が認められなかったが、修正データではクローン間差が有意に認められた。また、表の下部に示すように、クローン間を検定するにあたり、重回帰式の自由度13を、誤差の自由度から差し引いて得た誤差の平均平方で検定しても有意であった。全反復を通ずる各クローン平均値が修正により、どのように変化したかを図-5に示した。同図は、X軸とY軸に修正前後のデータにもとづくクローン平均値をとった相関図であるが、両群の各クローン平均値に大きな違いは見られず相関係数0.89と大きい。つまり、未修正データでの反復単位でのクローン平均値の信頼性は低くても、3反復を通じた平均値の信頼性はそれほど低くなかったことを示す。それにもかかわらず、未修正データではクローン間に有意性を見出すことができなかった。この理由は、未修正データでの誤差分散の大きさに起因し、修正データの誤差

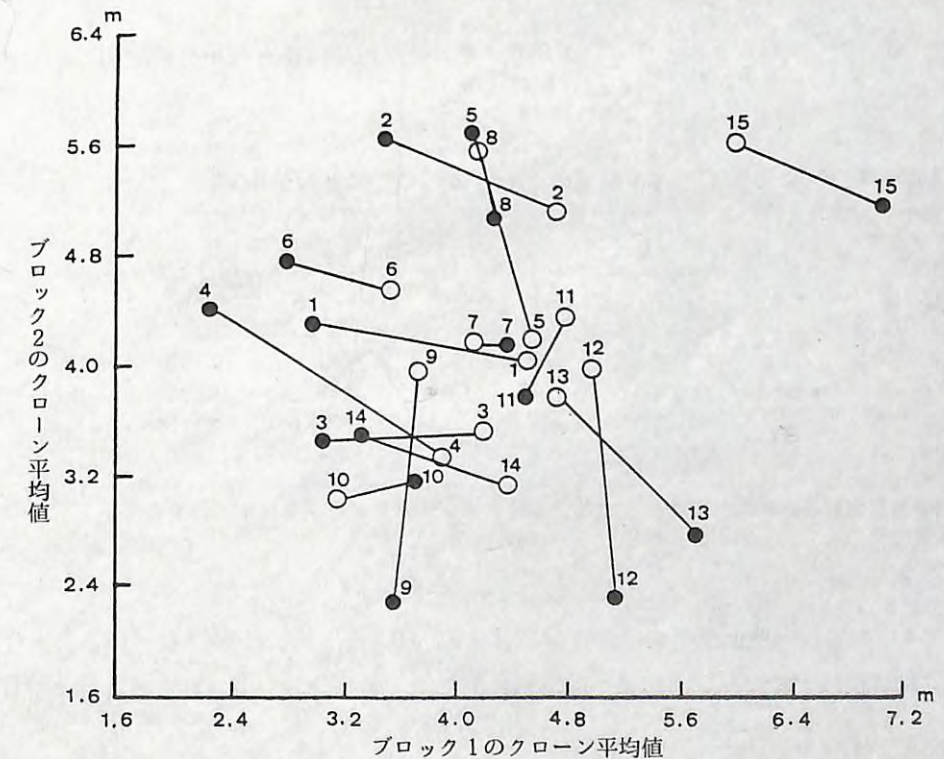


図-2 ブロック1とブロック2のクローン平均値の修正前後の相関図(黒丸が修正前、白丸が修正後)

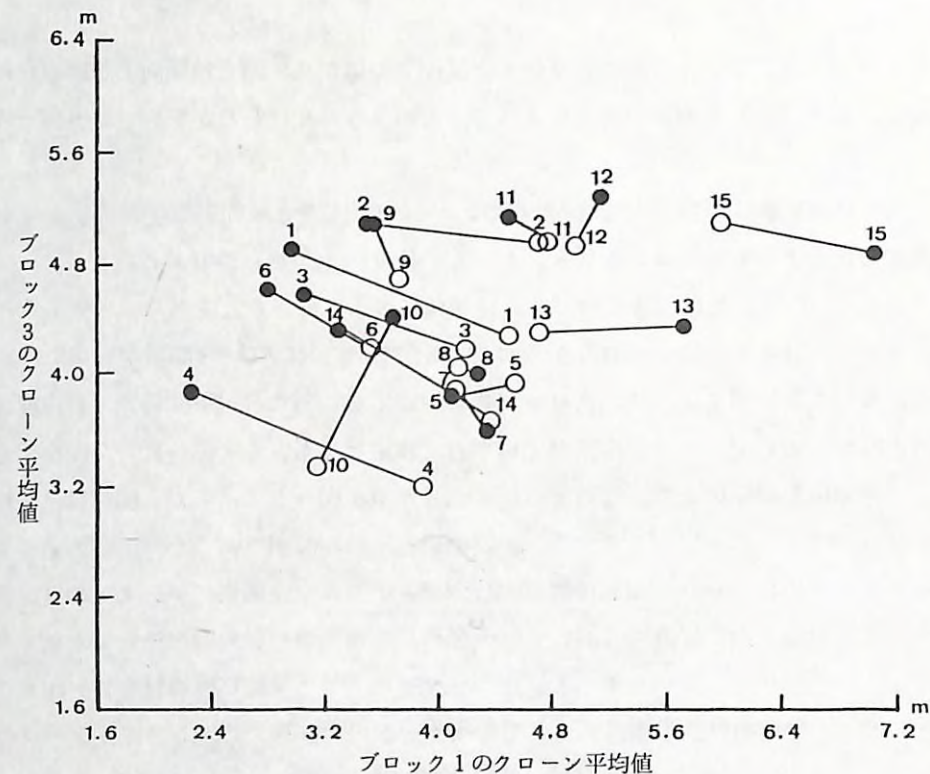


図-3 ブロック1とブロック3のクローン平均値の修正前後の相関図
(黒丸が修正前, 白丸が修正後)

表-6 修正前後のデータについての分散分析

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
ブロック	2	270.125	135.063	1.269	31.875	15.938	0.792
クローン	14	1305.625	93.259	0.876	1452.250	103.732	5.157 **
誤 差	28	2979.250	106.402		563.188	20.114	
全 体	44	4555.000			2047.313		

回帰の自由度を誤差の自由度から差し引き修正データのクローンを検定した場合
誤差の自由度=15, 誤差の平均平方=37.546, $F = 2.762^*$

分散 20.114 に対し, 未修正データの誤差分散は 106.402 と, 約 5 倍に達している。すなわち, この立地修正は, クローン平均値への影響は小さく, 誤差分散を小さくすることに寄与した。

以上はあらかじめ検定林の中に修正区を設けてある場合の結果であるが, 乱塊法においても, 各系統がランダムに配置されていることを前提としてこの方法を適用できる。

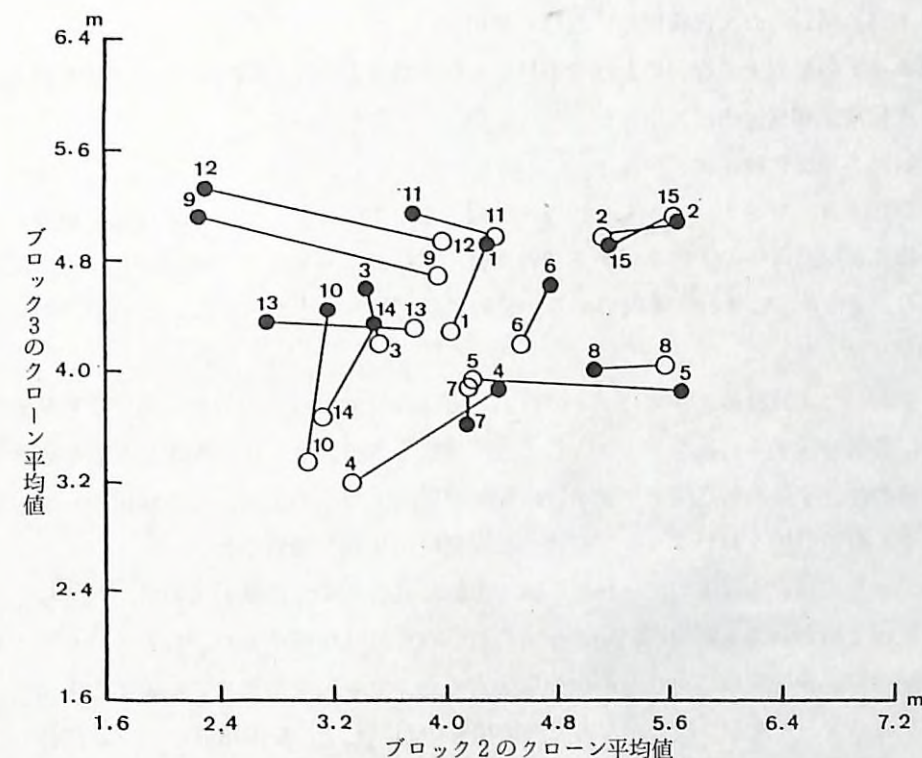


図-4 ブロック2とブロック3のクローン平均値の修正前後の相関図
(黒丸が修正前, 白丸が修正後)

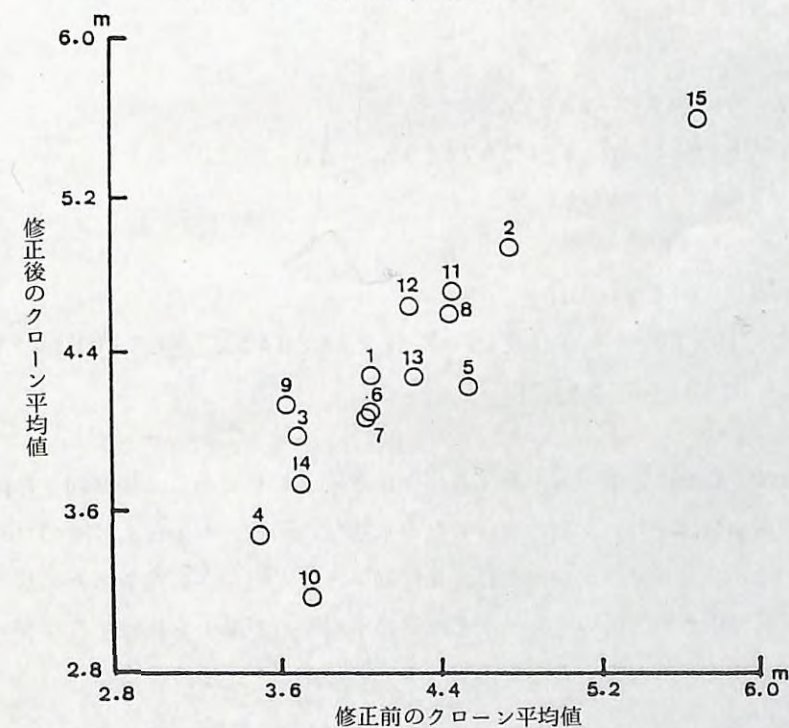


図-5 全ブロックを通じてのクローン平均値の修正前後の相関図

2) 関西林木育種場管内の次代検定林における適用例

植栽プロットの配置上の行列における番号を説明変数とした重回帰式による方法を関西林木育種場の次代検定林9箇所に応用した。

(1) 西大阪局2号次代検定林

スギの16クローンを1プロット(10行×10列)100本単位で3反復の乱塊法で植栽した10年生の樹高と胸高直径のデータである。各反復内には16クローンだから16プロットが配置されており、その配置は4行×4列であり、分析にはプロット平均値を用いたので、1反復内ごと16データとなった。

前に説明したと同様に、各プロットの行、列方向の位置番号と対角線方向の番号を説明変数とし、各プロット平均値をデータとして重回帰式を求め立地変化を推定した。その推定値と実測値の差、すなわち修正データがどの程度精度向上をしたかは、この修正データと未修正データの分散分析を行いクローン間差の検定精度の比較で検討した。

このデータでは、1反復のデータに1個の重回帰式を求め、連続して設けられている2反復と3反復を総合して1個の重回帰式を求め、それぞれ立地修正した。なお、行や列の数の少ない場合は、説明変数にあまり高次の項をとると、クローン効果まで推定値の中に含めることになるので、1次や2次の項など低次の項を中心として、修正精度の向上と照合しながら最適の重回帰式を選択した。このような配慮は以下の検定林についても同様である。得られた重回帰式は次のとおりである。

樹高について

$$\text{反復1} \quad Y = 380.875 - 28.975X_2$$

$$\text{反復2, 3} \quad Y = 91.94776 - 129.087479X_3 + 20.559525X_3^2 + 0.971796X_3^3$$

胸高直径について

$$\text{反復1} \quad Y = 5.1375 - 0.505X_2$$

$$\text{反復2, 3} \quad Y = 0.857004 - 0.402179X_2 + 2.152845X_3 - 0.310621X_3^2 + 0.015625X_3^3$$

修正結果は表-7(樹高)と表-8(胸高直径)に示すとおりであり、精度向上は認められなかった。この理由は、クローン数が少ないために行数、列数とも少なく、そのために重回帰式の推定値の中にクローン効果が含まれ、立地効果として除去されたものと判断される。このことは、修正前後の分散分析のクローンと誤差の平均平方の減少を比較すればクローンの減少が誤差の減少に比較し大きいことから明らかである。

表-7 西大阪局2号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	7872.1	3936.1	1.000	5340.8	2670.4	0.712
クローン	15	112621.5	7508.1	1.907	75746.5	5049.8	1.346
誤 差	30	118137.9	3937.9		112591.0	3753.0	
全 体	47	238631.5			193678.3		

表-8 西大阪局2号次代検定林のデータについての分散分析(胸高直径)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	0.90500	0.4525	0.394	0.95953	0.4798	0.451
クローン	15	36.09665	2.4064	2.093 *	21.38573	1.4257	1.339
誤 差	30	34.48834	1.1496		31.94386	1.0648	
全 体	47	71.48999			54.28912		

(2) 西大阪局3号検定林

スギクローンの検定林で前述の2号検定林と全く同様のクローン数と配置方法であり、植栽材料も数クローンが異なるだけで同様に10年生時の樹高と胸高直径のデータである。

各反復が独立して設定されているので、3個の重回帰式を求めて立地修正を試みた。得られた重回帰式は次のとおりである。

樹高について

$$\text{反復1} \quad Y = 67.875 + 98.325X_1 - 19.625X_1^2 + 20.505X_2 - 44.25X_2^2$$

$$\text{反復2} \quad Y = 195.925 + 37.8X_3$$

$$\text{反復3} \quad Y = 262.125 - 18.675X_1 + 163.9625X_2 + 36.4375X_2^2$$

胸高直径について

$$\text{反復1} \quad Y = -1.05 + 2.3725X_1 - 0.4625X_1^2 + 3.6375X_2 - 0.7875X_2^2$$

$$\text{反復2} \quad Y = 1.82875 + 0.6475X_3$$

$$\text{反復3} \quad Y = 3.6 - 0.275X_1 + 1.9X_2 - 0.475X_2^2$$

修正結果は表-9(樹高)と表-10(胸高直径)に示すとおりである。実測データの分散分析ですでに精度向上は認められており、修正は必ずしも必要ではなかったが、方法の吟味のために行ったが精度向上は認められなかった。前データと同様で、クローンの平均平方の減

表-9 西大阪局3号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	256.0	128.0	0.044	255.0	127.5	0.080
クローン	15	162795.0	10853.0	3.723**	67493.0	4499.5	2.813**
誤 差	30	87453.0	2915.1		47978.0	1599.3	
全 体	47	250504.0			115726.0		

表-10 西大阪局3号次代検定林のデータについての分散分析(胸高直径)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	2.05005	1.02502	1.322	2.04981	1.02490	2.646
クローン	15	47.78955	3.18597	4.110**	17.80200	1.18680	3.064**
誤 差	30	23.25366	0.77512		11.61865	0.38729	
全 体	47	73.09326			31.47046		

少量が誤差のそれに比較して大きく、クローン数の少ないことが原因と判断される。

(3) 西大阪局8号検定林

スギクローンの検定林でクローン数やクローン別本数、樹齢等、前者、前々者のデータと同様である。ただし、3反復は積み重ねるようにしてあるため、各反復は連続しており、このため、重回帰式は3反復を通じた1個を用いて立地修正を行った。得られた重回帰式は次のとおりである。

樹高について

$$Y = 367.64031 + 0.576578 X_1^2 - 0.026588 X_1^3 + 3.010945 X_2^2$$

胸高直径について

$$Y = 4.480257 + 0.001323 X_1^2 + 0.022277 X_2^2$$

修正結果は表-11(樹高)表-12(胸高直径)に示すとおりであり、精度向上は認められなかった。理由は前者、前々者と同様のことが考えられる。なお、この検定林は、プロット間に未植栽部分を含んでおり、現地を踏査していないが相当に複雑な地形であることが推測され、そのことによって立地変化をあらわす重回帰式が得られなかったことも考えられる。

(4) 西大阪局13号検定林

スギサシキ36クローンの検定林で、各プロット4行×4列=16本であり、連続した5反復が設けられており、その5年生時の樹高のデータである。この検定林は反復4で1プロット、

表-11 西大阪局8号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	23385.0	11692.5	2.119	31449.0	15724.5	2.766
クローン	15	230075.0	15338.3	2.779**	169845.0	11343.0	1.992
誤 差	30	165563.0	5518.8		170541.0	5684.7	
全 体	47	419023.0			371835.0		

表-12 西大阪局8号次代検定林のデータについての分散分析(胸高直径)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	2	2.42432	1.2122	1.356	3.36035	1.6802	1.822
クローン	15	26.79858	1.7866	1.999*	22.44482	1.4963	1.622
誤 差	30	26.81714	0.8939		27.66699	0.9222	
全 体	47	56.04004			53.47217		

反復5で7プロット、道路工事のため失われている。この欠測プロットについての未修正データは、最小二乗法(明石1981)で補正した。修正データについては、実在しただけのプロットのデータを用い5反復を通じて一個の重回帰式を求めた。その重回帰式を用い、補正した欠測プロットを含め全プロットのデータを修正した。得られた重回帰式は次のとおりである。

$$Y = 38.654968 + 2.943625 X_1^2 - 0.671406 X_1^3 + 0.035885 X_1^4 + 19.250671 X_2 - 1.087824 X_2^2 + 0.019037 X_2^3$$

分散分析の結果は表-13のとおりで未修正データですでにクローン間に有意性があり、修正によってやや精度が向上した。まだ樹齢が若いので樹齢経過によって、立地反応の増加することも考えられさらに精度向上の可能性はある。

表-13 西大阪局13号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	4	10845.7	2711.4	4.349**	591.0	147.8	0.291
家 系	35	92658.8	2647.4	4.246**	80632.0	2303.8	4.531**
誤 差	131	81673.0	623.5		66598.0	508.4	
全 体	170	185177.4			47821.0		

(5) 西大阪局18号検定林

西大阪13号検定林と同様のスギサシキ36クロンの検定林で、各プロット4行×4列=16本であり、連続して6反復が設けられており、5年生時の樹高のデータである。6反復を通じて1個の重回帰式で修正した。得られた重回帰式は次のとおりである。

$$Y = 158.350662 + 10.803801X_1 - 1.441037X_1^2 + 0.06417X_1^3 - 0.918341X_2 - 0.002061X_2^3$$

修正結果は表-14のとおりで未修正データですでにクロン間に有意性があつたが修正によってさらに精度が向上した。

表-14 西大阪局18号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	5	7233.0	1446.6	4.185**	1416.0	283.2	1.019
家 系	35	106896.0	3239.3	9.370**	101698.0	3081.8	11.083**
誤 差	140	57039.0	345.7		45879.0	278.1	
全 体	179	171168.0			148993.0		

(6) 西大阪局21号検定林

西大阪18号検定林と同様のスギサシキ36クロンの検定林で、各プロット4行×4列=16本であり5年生時の樹高のデータである。6反復が設けられているが、反復1と反復2が連続し、反復3から反復6が連続している。このため、連続した反復群別に2個の重回帰式で立地修正を行った。その重回帰式はつぎのとおりである。

$$\begin{aligned} \text{反復1, 2} \quad Y = & 30.4469238 - 34.99118X_1 + 5.691176X_1^2 \\ & - 44.877029X_2 + 9.175045X_2^2 - 0.749728X_2^3 \\ & + 0.020976X_2^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{反復3~6} \quad Y = & -4.989794 - 18.44693X_1 + 90.356247X_2 \\ & - 15.650193X_2^2 + 1.23759X_2^3 - 0.034007X_2^4 \\ & + 0.649028X_2^5 \end{aligned}$$

修正結果は表-15のとおりで未修正データですでにクロン間に有意性があつたが修正によって精度が向上した。

表-15 西大阪局21号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	5	224104.0	44820.8	27.491**	210277.2	42055.4	37.726**
クローン	33	359637.0	10898.1	6.684**	307916.0	9330.8	8.370**
誤 差	165	269015.0	1630.4		183934.8	1114.8	
全 体	203	852756.0			702128.0		

(7) 西大阪局20号検定林

ヒノキ精英樹自然受粉種子による28家系の5年生時のデータである。各プロット5行×5列=25本で6反復が設けられている。反復1から反復3が連続し、反復4から反復6が連続している。このため連続した反復群別に2個の重回帰式で立地修正を行った。その重回帰式は次のとおりである。

$$\text{反復1~3} \quad Y = 187.287918 - 0.629264X_1^2 - 2.958899X_2$$

$$\begin{aligned} \text{反復4~6} \quad Y = & 139.212677 + 7.741495X_1 - 1.449688X_1^2 \\ & - 0.725457X_2^2 + 0.119767X_2^3 - 0.004449X_2^4 \end{aligned}$$

修正結果は表-16のとおりで未修正データですでに家系間に有意性があつたが修正によってさらに精度が向上した。

表-16 西大阪局20号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d. f.	未修正データ			修正データ		
		S. S.	M. S.	F	S. S.	M. S.	F
反 復	5	5586.0	1117.2	4.355**	1069.0	213.8	1.358
家 系	27	18341.0	679.3	2.648**	13245.0	490.6	3.115**
誤 差	135	34628.0	256.5		21259.0	157.5	
全 体	167	58555.0			35573.0		

(8) 西大阪局25号検定林

ヒノキ精英樹自然受粉種子による32家系の5年生時の樹高のデータである。各プロット5行×5列=25本で6反復が設けられている。反復1から反復3までと反復4から反復5が連続し、反復6が独立している。このため連続した反復群別に3個の重回帰式で立地修正を行った。各重回帰式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{反復1} \sim 3 \quad Y &= 347.297852 + 0.307859X_1^3 - 0.347206X_2^2 \\ &\quad - 3.461806X_4^2 + 0.300491X_4^3 - 0.007228X_4^4 \\ \text{反復4, 5} \quad Y &= 259.928284 - 1.481105X_1^2 - 0.00025X_2^3 \\ \text{反復6} \quad Y &= 232.89375 - 23.4375X_1 - 1.399265X_2 \end{aligned}$$

修正結果は表-17のとおりで未修正データですでに家系間に有意性があったが修正によってさらに精度が向上した。

表-17 西大阪局25号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d.f.	未修正データ			修正データ		
		S.S.	M.S.	F	S.S.	M.S.	F
反 復	5	26772.0	5354.4	8.638**	16564.0	3312.8	20.035**
家 系	31	39974.0	1289.5	2.080**	19561.0	631.0	3.816**
誤 差	155	96074.0	619.8		25629.0	165.3	
全 体	191	162820.0			61754.0		

(9) 西大阪局26号検定林

ヒノキ精英樹自然受粉種子による26家系の5年生時の樹高のデータである。この検定林は大きく2箇所に分断されており、6反復設けられているが各反復とも2箇所に分断して配置されている。したがって、乱塊法の基本である反復間に立地間差をとる配置としては適当でない。2箇所内、1箇所は面積が大きくデータ上でみた立地変化から判断し2箇所の重回帰式で修正することとした。したがって、次の3箇所の重回帰式を用いた。

$$\begin{aligned} \text{1区画の1} \quad Y &= 154.8 + 48.7X_1 - 5.542857X_1^2 \\ \text{1区画の2} \quad Y &= 207.50987 + 16.350898X_1 - 0.235924X_1^3 \\ &\quad - 0.29092X_2^2 \\ \text{2区画} \quad Y &= -22.95568 + 100.647487X_1 - 19.667163X_1^2 \\ &\quad + 0.971065X_1^3 + 14.213731X_2 - 0.028569X_2^3 \end{aligned}$$

設定当初の反復区分に従い未修正データと修正データを分散分析した結果は、表-18のとおりであり、未修正データには家系間に有意性は認められなかった。しかし、修正により、この条件下で家系間に有意性が認められた。

乱塊法の基本に戻り、反復間に立地間差が生じるように、2箇所のそれぞれについて、改めて反復区分を行い、未修正データと修正データについて分散分析を行った。なお、この区分において、区分できないプロットが生じ、結果として1反復が減少し5反復となった。ま

た、5反復としても不足するプロットについては、最小二乗法で補正した。結果は表-19のとおりであり未修正データでは、反復間変動が大きくなり、このため誤差分散が小さくなり家系間差を有意に検出できた。修正データではさらに精度が向上した。

表-18 西大阪局26号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d.f.	未修正データ			修正データ		
		S.S.	M.S.	F	S.S.	M.S.	F
反 復	5	17446.0	3489.2	4.569**	680.0	136.0	0.418
家 系	25	23372.0	934.9	1.224	25790.0	1031.6	3.167**
誤 差	125	95459.0	763.7		40716.0	325.7	
全 体	155	136277.0			67186.0		

表-19 西大阪局26号次代検定林のデータについての分散分析(樹高)

要 因	d.f.	未修正データ			修正データ		
		S.S.	M.S.	F	S.S.	M.S.	F
反 復	4	23371.0	5842.8	13.148**	3745.0	936.3	4.229**
家 系	25	19557.0	782.3	1.760*	20774.0	831.0	3.753**
誤 差	93	41333.0	444.4		20591.0	221.4	
全 体	122	84261.0			45110.0		

3. まとめ

土壌の物理的因子を説明変数とした重回帰式による立地修正は、検定林によっては有効な場合があるが、適用範囲は極めて少ないと判断される。これに対し植栽配置の行列を説明変数とする方法は、九州林木育種場管内の次代検定林の適用の例にみられるように有効な場合がある。この方法を関西林木育種場管内の次代検定林に適用した結果は次のように結論される。

関西林木育種場管内の次代検定林についての重回帰式による立地修正は、系統数の少ない検定林では修正効果が認められなかったが、系統数の多い検定林では立地修正により、データの精度が向上した。この理由は、系統数が少ない場合は行と列数も少なく、系統効果が行列の番号の大きさに比例するため、重回帰式の推定値の中に含まれ、立地効果として除去されたものと判断される。系統数の多い場合、すなわち、行、列数の多い場合は、植栽地の立地変化が暫時変化するとして求めた重回帰式に対し、系統配置がランダムであることから、系統効果が行列番号との交絡の程度は少なく、行、列番号を説明変数とした重回帰式の修正でデータの精度が向上したものと判断される。

したがって、系統数の少ない検定林で、実測値で系統間に有意性が見出せないデータについての取り扱いは今後残された問題である。

今回提供された検定林データは、未修正ですでに系統間差が有意に検出されたものが多かった。

立地修正が重要となるものは、未修正では系統間差が有意に検出できないデータについてであり、そのようなデータで適用されることで本研究の成果が認められよう。

なお、1 検定林の中で適地を誤った箇所のあるデータの取り扱い、プロットが谷筋より尾根方向に列状植栽された検定林の地形が、平衡斜面でない場合等のデータの取り扱いについては、単純に重回帰式の適用だけで解決できないと考えられるので今後残された問題である。

本試験の実行に当り、関西林木育種場からデータの提供をうけ、また、同場や関東林木育種場および福島県林試の方々から多面にわたり協力を得た。厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 明石孝輝：重回帰式利用による試験地内のマクロな立地効果の除去，林試研報 № 280, 1976.
- 2) 明石孝輝・大庭喜八郎・川村忠士：次代検定林に関するデータ解析プログラムの開発，昭和56年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書，1981.

多雪地帯における雪食による 林地荒廃の実態とその防止技術

多雪地帯における雪食による林地荒廃の実態とその防止技術

I 試験担当者

防災部防災第1研究室	工 藤 哲 也
”	松 岡 廣 雄
”	山野井 克 己
”	(故)佐 伯 正 夫
十日町試験地	大 関 義 男
”	庭 野 昭 二
前十日町試験地	渡 辺 成 雄

II 試験目的

多雪・豪雪地帯の急斜山腹における森林の皆伐跡地では、積雪によって誘発される荒廃裸地が生じる現象が見られ、林地保全・土砂災害防止のうえから見過ごすことのできない問題となっている。既往の荒廃地とその復旧対策に関する研究は、雨水が主要な要因である場合がほとんどで、雪食荒廃地についての調査研究はきわめて少ない。この研究では、簡易な斜面積雪のグライド抑制方法と植栽適樹種を検討し、雪食の発生機構と雪食荒廃地の進行の実態解明とともに、効果的な防止・復旧対策についての実行結果を報告する。

III 試験の経過と得られた成果

1. 偏平半球による斜面積雪のグライド抑制方法

従来実施されてきた雪崩の発生予防施設は、階段工・雪崩防止柵・雪崩防止林など約10種類ほどある。これらの施設の大部分は積雪グライド（移動）を完全に止めて、雪崩の発生を防ぐように設計されているため、想定以上の豪雪年に遭遇すると、防止柵などは破損して機能が失われることがしばしばあった。もちろんその構造強度を大にすれば良いのであるが、経費の面からあまり強大にしたり、現在以上に密に配置したりすることは実際には困難である。

このグライド抑制方法は、斜面に適当な間隔で配置した偏平半球状の構造物によって、斜面全体の積雪を除々に流動させながら抑制し、雪崩発生を防止することを第一の目的とするが、階段工・柵工などと併用してその間の積雪の移動をさらに少なくする利用法もある。この方法を林試十日町試験地で実験した結果は以下のようである。

1) 構造と特徴

図-1に偏平半球状積雪グライド抑制工の構造を示す。1セットは①偏平半球状構造物（鋼

製またはコンクリート製)②吊下げ用フック③連結用フック④固定杭, から成る。この構造物は偏平半球であるために, 構造物に接する積雪層が徐々にせん断破壊を起こしてゆっくり流動するので, この構造物に加わる積雪移動圧は, 積雪の移動を完全に阻止する構造物に比べて小さく, 構造物を保持する鉄棒は本体より数倍長い。したがってその強度はそれほど大きくなくてもよく, 経費も比較的安い。

2) 現地試験

昭和58~59年冬に傾斜40度の裸地斜面にグライド抑制工を設置し, その効果を調べた。この冬は3月には最大積雪深(水量)が368cm(1372mm)にも達し, 昭和56年にも匹敵する豪雪年であった。図-2に各試験区の積雪グライド状況を示す。試験区No.1は無施工区で, 他の試験区の対照区である。試験区No.2は雪崩防止柵との併用試験区で, 防止柵は斜面上端から19m下方に配置され, グライド抑制工は柵の上側に水平方向および上下に2.5m間隔(160個/10アール)に配置されている。試験区No.3は, 抑制

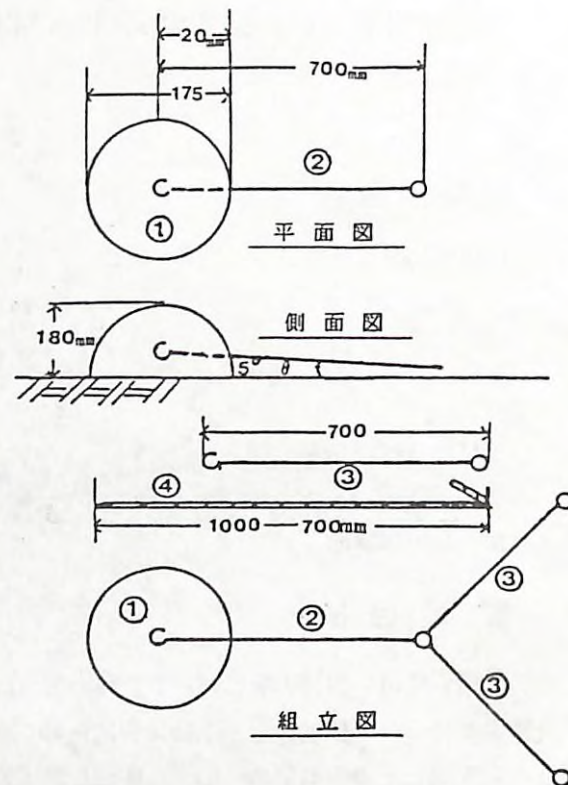


図-1 偏平半球状積雪グライド抑制工の構造

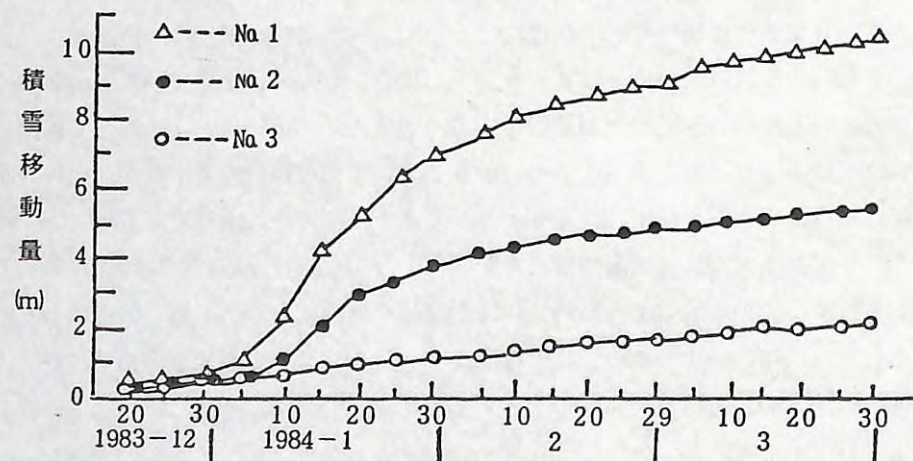


図-2 各試験区の積雪グライド状況

工の1.5m間隔区(500個/10アール)である。

積雪のグライド測定はどの試験区でも, 斜面上端より5m下方で行った。この位置は, 斜面では最もよく積雪の滑る位置であり, No.2においても防止柵の影響が及んでいないところである。図-2で見ると, 試験区No.1では, 3月16日までの積雪積算移動量は780cm, 日平均では8.5cmで雪崩の発生しやすい状態となった。試験区No.2では, 2月上旬に斜面上方にクラックが発生した。3月16日までの積雪積算移動量は455cm, 日平均では5.7cmであった。また防止柵に加わる雪圧は, 積雪量がほぼ同じ年の約70%程度に減少した。試験区No.3では, 3月16日までの積雪積算移動量は176cm, 日平均では2.2cmで, この試験区では雪が消えるまで, 斜面積雪は安定していた。試験区No.1の積雪グライド量を100として比較すると, No.2では58%, No.3では23%までグライド量が減少している。以上のような実験結果から, このグライド抑制構造物を適度に配置すれば, 斜面積雪を安定させることが分かった。

2. 植栽適樹種

多雪地帯に適応する樹種を選定する基準として次の事項があげられる。

- 着雪性が小さいこと
- 樹体が倒伏しにくいこと
- 成長がよいこと

これらの条件にあてはまる樹種を選定するため, 新潟県魚沼地方の多雪地帯に多く自生する樹種10数種類を選び, 各樹種10~20本について, 樹幹に荷重をかけ倒伏性の難易を調べた。また樹木枝条の着雪性を明らかにするため, 実験と観察を行った。さらに, 若齢広葉樹(15~20年生)の成長量を固定試験地で調べた。

樹木の倒伏性の難易把握は次のように行った。樹幹に人工的に荷重を加え, それに伴う倒伏角の変位を樹種ごとに測定した。まず自然状態で幹3m位置から根元を結ぶ線と鉛直とがなす角度(θ_1)を測り, 次いで幹の3m位置に荷重(W)をかけ, 同様に鉛直となす角度(θ_2)を測定する。このようにして荷重による変位角 $\theta_3 (= \theta_2 - \theta_1)$ から, 各樹種の樹幹倒伏係数 θ_3/w (荷重1kg当りの倒伏度)を求める。調査の対象樹種は, 次に掲げる針葉樹1種類, 広葉樹19種類で, 調査本数は約200本にのぼった。

針葉樹: スギ

広葉樹(高木・亜高木): ブナ・イタヤカエデ・ミズナラ・ウリハダカエデ・ウワミズザクラ・

ホホノキ・ヤマモミジ・リョウブ・クルミ・ケヤキ・ミズキ

広葉樹(低木): ミヤマカワラハンノキ・オオバクロモジ・マルバマンサク・タニウツギ

各樹木に対する測定結果から, 同じ様な倒伏傾向を持つ樹種を5つのグループに分けて図-3に示した。直径は根元から1.2m位置の値をとった。図で見ると, 各樹種とも直径が大きくなるに従って, 倒伏係数が小さくなる。直径が6cmをこえる太さになると, 樹種間の差および各

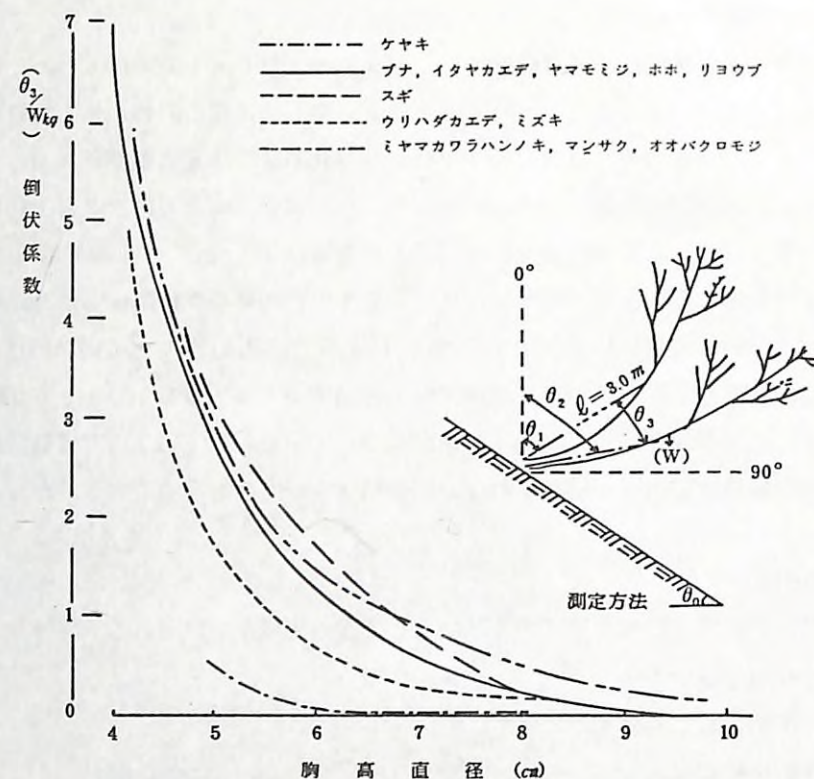


図-3 樹種別にみた倒伏性の難易

グループ間の差も小さくなる傾向がみられる。さらに直径が9cm程度になるとグループ間の差はほとんどなくなってくる。

次に直径が5～6cmの段階で倒伏係数の大きい(倒伏しやすい)順に樹種と係数をあげる。

- ミヤマカワラハンノキ・オオバクロモジ・マルバマンサク・タニウツギでは平均3.2
- スギでは2.7
- ウワミズザクラ・ホホノキ・クルミ・ミズキでは平均2.6
- ブナ・イタヤカエデ・ミズナラ・ウリハダカエデ・リョウブでは平均2.3
- ケヤキでは1.4

aのグループは、雪崩常習地に多く生育する灌木性の樹種である。最も倒伏係数の小さかったケヤキは、一般的に幼齢期の生長が遅く、樹幹は他樹種に比べて硬い。

樹木の着雪性について調べた結果は以下のようなものである。降雪時、樹木の枝葉に積もる雪は次第に容積と重量を増し、冠雪となって樹木を傾斜させる。いろいろな樹種の冠雪の発達を明らかにするために、十日町試験地構内で樹木の冠雪実験をおこなった。供試樹種は多雪地帯に多く生育している樹種のうちから、樹形にそれぞれ特徴のあるヤマモミジ、リョウブ、ホホノキ、カラマツ、スギなど7種類とした。その結果、冠雪がよく発達するのは、気象条件としては、気温が(+)

表-1 樹種別枝条構成

樹種	リョウブ	ヤマモミジ	ミズナラ	ブナ	ホホノキ	カラマツ	スギ
調査本数 (本)	2	2	2	2	1	3	4
平均樹幹長 (m)	1.5	1.8	1.7	1.7	1.0	1.2	1.2
平均直径 (cm)	1.8	1.7	1.8	1.9	1.5	1.7	2.2
枝の平均分岐度(度)	38	30	50	38	27	72	53
1次枝平均本数(本)	20	19	17	16	6	32	32
全枝条延長 (m)	15.5	18.2	20.0	21.2	3.0	34.0	37.6

から(-)に移行し、雨—みぞれ—雪になる場合であり、樹木側の条件としては、枝の分岐角が狭く、小枝の本数・枝の総延長の長いほど多くなることが判明した。そこで実験に用いた各供試木の枝条構成を調べた。供試木は樹高5～6mの樹木の梢頭部を1.0～1.8mに切り取ったものを用いた。測定結果を表-1に示す。各樹種の分岐状態についてみると、カラマツが最も直角に近い分岐角で平均72度、リョウブ・ブナ・ヤマモミジは30～37度で、最も狭かったのはホホノキの27度であった。また幹から分岐している1次枝の本数はスギ・カラマツで平均32本、リョウブ・ブナ・ヤマモミジ・ミズナラなどはあまり大きな差がなく16～20本で、最も少なかったのはホホノキの6本であった。1次枝から4次枝までの総延長を比較すると、カラマツ・スギが34～38m、リョウブ・ブナ・ヤマモミジ・ミズナラでは15～20m、ホホノキで約3mであった。

この調査の結果、冠雪の発達しやすい樹形を持つ樹種はスギ・カラマツで、次いでミズナラ・リョウブ・ブナ・ヤマモミジとなり、冠雪しにくいのはホホノキ型の樹種であることが分かった。以上、樹木の着雪性・樹幹の倒伏難易性・生長性の要素を総合すると、多雪地に望ましい樹種は次のように考えられる。

斜面上部：ブナ・イタヤカエデ・ウリハダカエデ・コバノトネリコ・ウダイカンバ
 斜面中腹：上記樹種のほかにスギ・リョウブ・ハンノキ・ホホノキ・トチ
 斜面下部：スギ・ホホノキ・クルミ・ウワミズザクラ・キハダ

3. 雪食の発生機構と雪食荒廃地の推移

多雪・豪雪地帯の急斜面では森林のみならず、皆伐後の伐根にも雪崩発生を防止する効果、すなわち雪崩防止杭としての効果が期待されてきた。

しかし現実には、豪雪地である新潟県中魚沼郡の山地では、森林の皆伐後大規模な雪食の発生と進行が見られた。雪食の発生機構とその推移を以下に述べる。

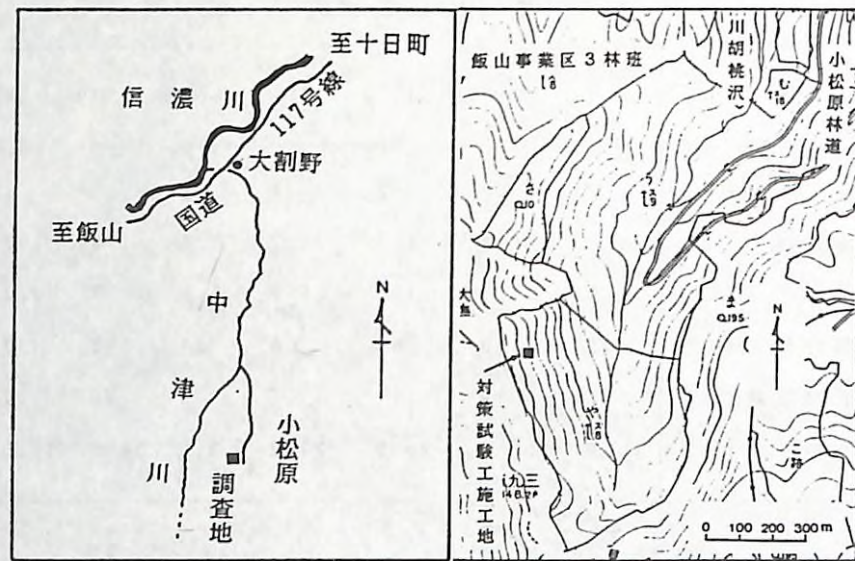


図-4 調査地の位置と地形

1) 調査地の概況

調査は新潟県中魚沼郡中里村の中津川支流川胡桃沢の最上流域にある小松原国有林（長野営林局飯山営林署管内飯山事業区3林班）で行った。対象流域はほぼ南北に流れる沢に沿って細長い形状を持ち、その両側の東西斜面の中腹以上は、35～40度の急斜面地が占めている。調査地の最上部や小班の最高地点は約1350mで、冬季の積雪深は4～4.5mとみなされる豪雪地である。地質は第三紀安山岩、土壌はBd型である。調査地の位置と地形を図-4に示す。

2) 雪食の発生機構

小松原国有林3林班では、昭和43～45年に320haの天然生ブナ林（林齢190年）が皆伐され、伐採跡地の大部分にスギが植栽された。伐採から5～7年目にあたる昭和50年の現地観察では、伐採木の根の腐朽が進行し伐根の転倒が始まった。樹種はブナ・ウワミズザクラ・イタヤカエデ・ホホノキなどが多かった。伐根の直径・伐根高と転倒との関係を調べた結果を図-5に示す。健全であった伐根は直径50cm以下、伐採高50cm以下のものが大多数を占めたのに比べ、転倒・脱落した伐根は直径の大きさにはあまり関係なく、伐採高50cm以上のものに多く見られた。このことは、伐採高が高くなれば斜面雪圧によるモー

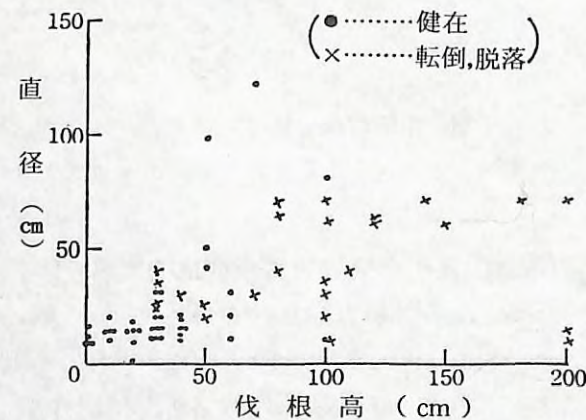


図-5 伐根の直径・高さと伐根の状態

メントが大きくなるので、より転倒しやすくなるものと考えられた。なお、直径が細く伐採高が低い伐根が健全であった理由は、移動圧のモーメントが小さいだけでなく、萌芽して生存したことも一因と思われる。また一般的傾向として、形状比（伐採高／直径）の小さいズングリ型伐根は、形状比の大きいものよりも2年ほど遅く脱落し、傾斜が緩くても風背の吹き溜り斜面にある伐根の方が、急斜面の伐根より早く脱落した。

伐根が脱落・転倒すると、地表には孔状の裸地ができる。孔の大きさは伐根の根の張り方や、深さ・土質によって異なるが、直径50cm程度のブナ伐根の転倒では深さ40cm、直径1.8m以上の楕円状裸地が出現する（雪食初期）。そして地表上の巨大な突出物となった転倒伐根は斜面雪圧によって、表土をブルドーザーの排土板のようにえぐりながら年々下方へ滑動し、2～3年の内に筋状裸地を形成する（雪食中期）。以上の過程を図-6に示す。

3) 雪食荒廃地の推移

雪食荒廃地の拡大の実態を把握するために、昭和52年、57年に撮影された空中写真（山796, C5-14(S.52.9) および82-24, C5-13(S.57.6)）を用いて、小松原国有林3林班う・さ・や小班約80ha内の雪食地の面積と個数を調べた。面積を読み取る際に、通常の空中写真では歪みの影響をまぬがれないので、1/5,000の正射写真を作製して、ミニマスターにより面積を読み取った。

両年度の正射写真上で読み取った雪食地の個数を面積規模別に集計し図示すると、図-7のようである。雪食地の発生総数は、52年時点（伐採後7～9年）で350となったが、さらに5年を経た57年には590と1.7倍にも増えた。裸地面積が10㎡以下の雪食地は、伐根が脱落・転倒後の円形状のものが多かったが、52年では全体の73%を占めた。これに対し57年には10㎡以

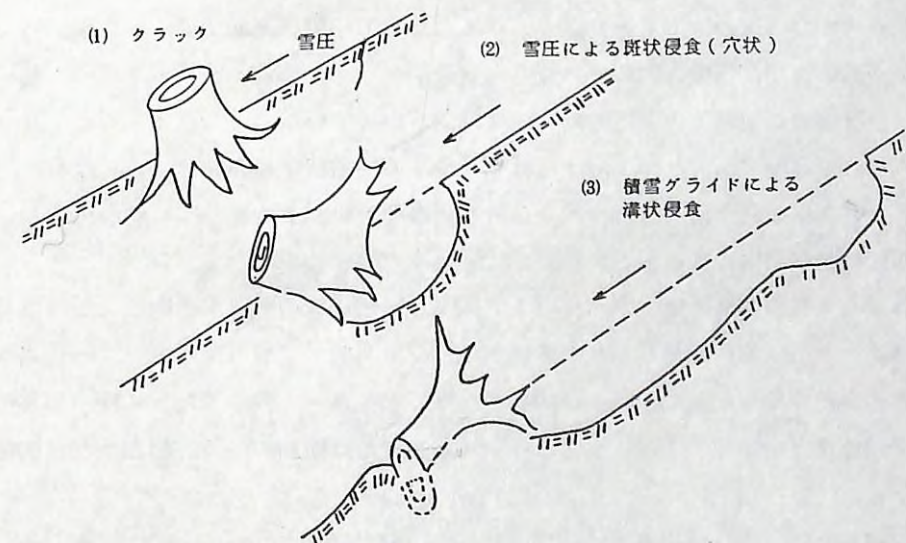


図-6 斜面雪圧による雪食の進行

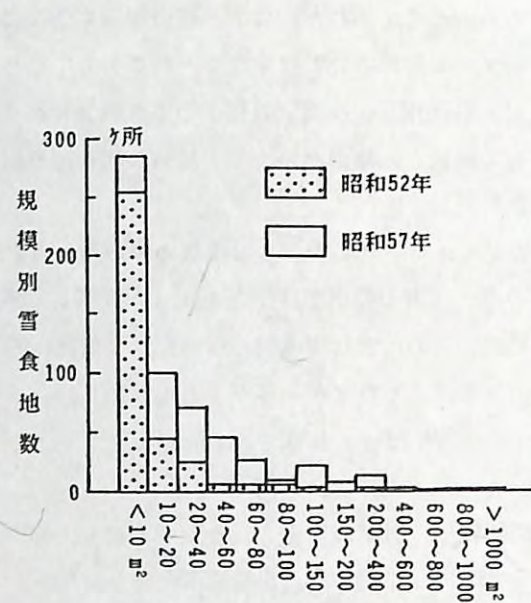


図-7 雪食地数の分布

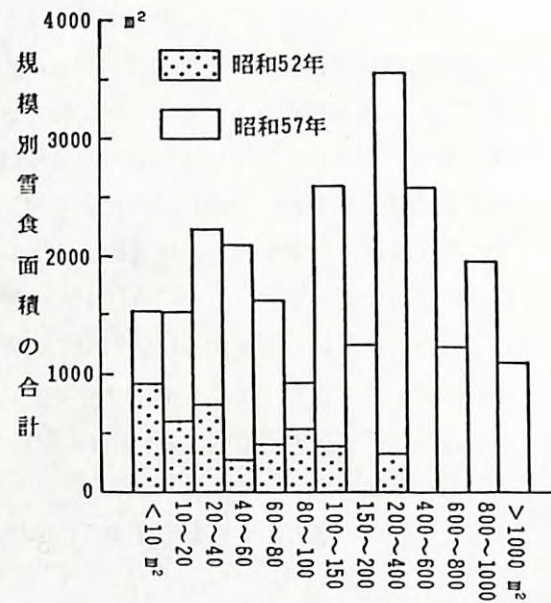


図-8 雪食地面積の分布

下の箇所数はやや増加したが、その割合は49%までに低下して、裸地面積の大きな雪食地が増えた。次に両年における雪食地の総面積についてみると、52年には4,330 m²であったが、57年には7.1倍の30,600 m²にも拡大した。この状況を裸地面積の規模別にあらわしたのが、図-8である。図からわかるように、1階級の面積は52年には小雪食地は大きく、おおむね大雪食地は漸減する傾向があるが、57年には100 m²以上の大雪食地面積が大きな割合を占めるようになった。また雪食裸地の形状からみると、52年には円形斑状および筋状の裸地面がほとんどで、雪食初期から中期へ進行中であったが、57年に至るまでに斑状・筋状の裸地が縦横につながり、急速に大面積の裸地が形成されていった(雪食後期)。

一方、伐採後の斜面積雪の安定性については、う小班でいくつかのクラックと1カ所の雪崩発生がみられる程度であったが、52年にはう・や小班で雪崩が散発するようになり、記録的な豪雪のあった56年の融雪期には、う・や小班西側斜面のいたるところで雪崩が発生し、以後これらの斜面は雪崩発生常習地と化した。

この時期の雪食地の拡大は、積雪グライドによる転倒伐根の滑動が原因である裸地形成は少なく、灌木と3 m以上に成長したスギ造林木とその根系層が全層雪崩によって一体となって剥落する形態が多くなった。58~61年春の現地観察によると、この全層雪崩に伴う雪食地拡大と裸地の表面侵食は一層激しく進行しており、スギ造林地は傾斜のゆるい斜面下部に団地状に残在している。

一方、調査対象とした川胡桃沢上流域80 haの、東側急斜面で発生した雪食地は52年にはなく、57年には5カ所(合計面積90 m²)のみであった。これは急斜面の上半分(ま小班の一部)

が、伐採されずに残った天然生林で覆われているためと思われ、激しい荒廃地となった西側斜面と比べ、著しい対照を見せている。

4. 雪食対策試験工の施工と効果

前述のように雪食地の発生と拡大は、積雪のグライドあるいは全層雪崩によって引き起こされるものである。したがってその防止を図るためには、なんらかの方法によって積雪層の移動を軽減・抑止しなければならない。このため、小松原国有林の雪食地において対策試験工を実施し、その効果を検討した。

施工地は3林班や小班的西側(東向き)斜面で、山腹の上部に位置する標高1,200 m地点である。ここでは雪食により植被がほとんどなく、裸地面のところどころにススキ・ササが残る程度で、40度前後の急斜面のため雪崩常習地となっていた。

施工地の大きさは幅45 m、斜面長20 mほどで、その中に階段工と偏平半球グライド抑制工(1で既述)・植栽工の間隔を変えた3区を設定した。施工は飯山営林署が担当し、昭和59年10月に完成した。施工地の展開図と断面図を図-9に示す。3区の設定は次のようである。

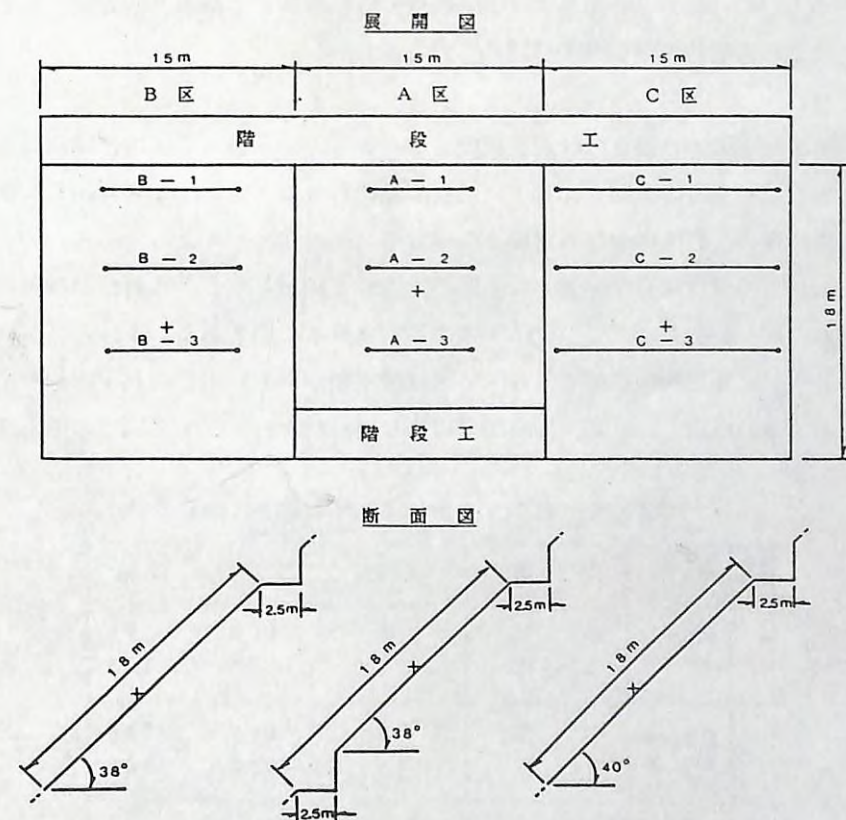


図-9 雪食対策試験工の状況 (A-1~C-3は侵食測定用の測線、+印は積雪移動量測定杭)

A区：15m×15m，ブナ植栽 1.8 m間隔，傾斜38度，（対照区）

B区：15m×18m，偏平半球グライド抑制工，ブナ植栽 1.8 m間隔，傾斜38度

C区：15m×18m，偏平半球グライド抑制工，ブナ植栽 2.5 m間隔，傾斜40度

植栽されたブナは山引き苗が用いられた。試験工の効果を検討するために，昭和60年から62年までの積雪期と融雪後および根雪前に現地調査を行い，施工地における雪崩発生の有無と，積雪グライド量・土壌侵食量，グライド抑制工，ブナ植栽木の状況を調べた。その結果は以下のようである。

1) 雪崩発生の状況

施工前には雪崩発生の常習地であった施工地では，60年～62年の3冬季の現地踏査によって，雪崩は発生しなかったことが明らかになった。このことはA・B・C各区の中心位置と下部に，積雪前に設けた積雪移動杭を用いた積雪移動量によっても確認できた。表-2は3冬季の各区における積雪移動量（中心と下部6m位置）を示す。A区はグライド抑制工を持たないが，斜面の上下に階段工が施工されているため，グライド量は，3区の内では小さいことが多かった。C区でのグライド量は，B区より3例中2例まで大きく，グライド抑制工の配置密度の違いが現れたものと思われる。3冬季のグライド量は，3区を通して最大2m程度で極めて小さく，当試験工による雪崩防止効果は十分認められた。

2) 土壌侵食

雪食対策試験工の土壌侵食の状況を把握するために，A・B・C区内に定測線を3本ずつ設け，融雪後（6月）と降雪前（10月）に横断測量を行った。昭和60年6月から62年6月までに得られた各時期の，各区における平均土壌侵食深は図-10に示すようである。また，積雪移動による雪食地での侵食深（平均値）の1例を，表-3に示したが，これは試験工施工地から約700m離れた同一斜面（標高1,100m）にある雪食裸地の値である。1区と2区は伐根の転倒腐朽により生じた矩形状の裸地であり，3区は灌木類が面的に剥落した平滑地である。侵食深は各区とも4本の測線を設けて，横断測量により得られた。1区・2区での侵食深は7cm前後

表-2 試験工における積雪移動量（cm）

No	測定月日	位 置	A 区	B 区	C 区
1	昭和60年 6 月	中 部	50	100	70
		下 部	40	95	115
2	昭和61年 6 月	中 部	100	100	230
		下 部	130	50	200
3	昭和62年 6 月	中 部	80	240	--
		下 部	140	80	200

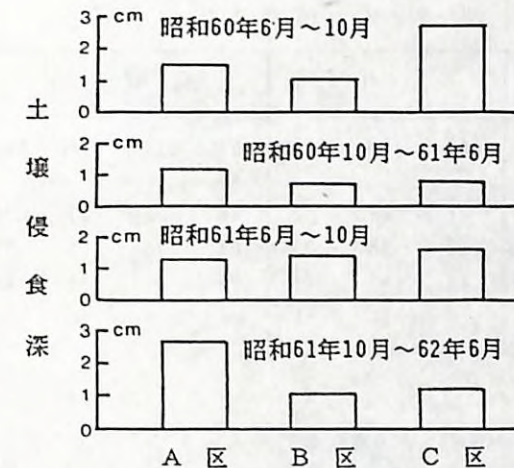


図-10 各試験区における土壌侵食深

表-3 雪食裸地における侵食深

No	面 積 (m ²)	方 位	傾 斜 (度)	積 雪 深 (m)	侵 食 深 (cm)
1	77	N E	37	3.0	6.5
2	115	N E	38	3.0	7.5
3	221	N E	37	3.0	1.3

* 昭 和 56年 10月 ～ 57年 5月

でかなり多く，3区では基岩が露出しているため1cm強と少ない。これに対し試験工施工地における侵食深は，ほとんどの場合1cm前後であり，A区で62年に若干多かった。61年・62年ともA区における侵食深はB・C区より常に大であった。前述のように施工地では雪崩発生の見られなかったこと，およびグライド量も少なかったことから，どの区でも積雪移動による侵食は，ごく僅かであったといえる。無雪期（6月～10月）の侵食深は60年のC区が2.7cmとやや大きかったほかは，1.0～1.6cmと小さかった。調査期間中，施工地内で最も大量の土砂移動は，階段工法面上部の崩落によるもので，いずれも融雪期に起こったと思われる。上部階段では施工直後の60年春に，幅45mのうち33mで19.6m³におよぶ多量の土砂が崩落した。61年・62年の崩落量は3.2m³・2.8m³であった。A区の下部階段では60年・61年に7.5m³・3.7m³崩落した。

3) 植栽木の生育

A・B・C区内に植栽された山引きブナの消長を60年6月から62年6月までの各時期に調べた。その結果を表-4に示す。表中，A・B区で年によって調査数が異なるのは，補植が行われたためである。また平均伸長量が年毎の平均苗長の差とならないのは，61年・62年6月に生

表-4 ブナ植栽木の生育状況

試 験 区	A 区			B 区			C 区		
調 査 年(6月)	60年	61年	62年	60年	61年	62年	60年	61年	62年
調査本数	21	42	42	30	36	37	30	30	30
活着(生存)率(%)	52	38	29	87	75	68	70	53	27
平均苗長(cm)	43	39	41	62	52	55	65	54	63
平均伸長量(cm)	—	-14	-1	—	-7	8	—	-8	0

存する同一個体の、前年との差をとったためである。表で見るように、ブナの活着率(生存率)はA区で悪く、植栽後3年目の62年6月にはC区と同様に、30%まで低下している。また各区における年毎の上長生長は、62年のB区のほかはマイナスか横ばい状態である。活着率(生存率)低下と生長阻害の原因は、すべての植栽木が毎年野兎の喰害を受けるためであり、現状ではブナ植栽木の正常な生育は期待できないと思われる。

Ⅳ あとがき

本研究で行った雪食対策試験工により、施工地周辺における雪崩の発生は防止され、地表侵食も僅少となった。試験工の問題点としてはまず、直切りの階段法面が崩落するので、整地と法面保護が必要である。次に、ブナ植栽木は野兎害が著しく、正常な生育をしないので、スギなど他の樹種に転換しなければならない。

調査地内の雪食地拡大は現在も進行中であり、このまま放置すれば西側急斜地は全面的に裸地化する恐れがあるので、早急な復旧事業の実行が望まれる。

治 山 用 鋼 製 施 設 の 安 全 設 計 ・ 施 工 技 術

I 試験担当者

防災部治山第二研究室

陶 山 正 憲

(研究協力機関)

東京営林局治山課

前橋営林局治山課

長野営林局治山課

名古屋営林支局治山課

II 試験目的

国有林治山事業においては、従来、治山施設には一般にコンクリートが採用され、これを材料とした重力式構造がその主流をなしてきた。しかしながら、昭和43年頃から、鋼材の特徴を活かした鋼製ダム類が開発され、各地の治山現場でこれが施工されるようになった。鋼製構造物は従来のコンクリート構造物に比べて、材質の均質性や施工法の面で優れ、さらに工期短縮、通年施工の要求にも十分対応が可能であるため、適所に鋼製の治山施設を採用・配置すれば極めて効果的である。このような鋼製施設の安全性や部材の耐久性を考慮した設計・施工基準(統一的な指針)を早急に確立するための基礎資料を得るのが、本技術開発試験の目的である。

III 試験の経過と得られた成果

本試験は、昭和59年度から61年度まで3年間実施されたものであり、この期間中に東京営林局管内(昭和59年度、60年度)、前橋営林局管内(昭和59年度、60年度)、名古屋営林支局管内(昭和60年度、61年度)、大阪営林局管内(昭和60年度、61年度)、及び長野営林局管内(昭和61年度)でそれぞれ実態調査が行われた。これらの調査結果をもとにして、

- ① 鋼製治山施設の施工実績と問題点
- ② 鋼製治山施設の安全設計法
- ③ 鋼製施設採用上の留意点と今後の問題点

などについて検討したので、以下にその成果の概要を研究項目ごとに示す。

1. 治山施設の施工実績と問題点

1-1 鋼製治山施設の種類

鋼製治山施設の施工実績としては表-1.1、また現在鋼製治山施設として一般に販売されてい

るもの、ないし試験的にせよ施行実績のあるものとしては、表-1.2のようであり、その工種別特徴は表-1.3のとうりである。

これらの構造物を機能および構造形式で分類すると、表-1.4のようになる。

表-1.1 治山用鋼製施設の工種別施工実績

項 目		主 要 用 途	年 度				
			57	58	59	60	61
鋼製施設使用量(1000t)			21.8	20.0	22.1	22.0	22.0
工種別内訳(%)	自在枠	石詰めダム，土留	54	50	52	52	55
	バットレススクリーン	治山ダム	25	27	21	23	22
	擁壁	治山，林道用土留	7	8	9	8	7
	エキスパンドメタル	治山，林道法面緑化	9	10	12	13	12
	H－BB鋼	林道橋	5	5	6	4	4

表-1.2 鋼製治山施設の施行実績

名 称	販売開始時期	販 売 会 社 名
(1) 鋼製バットレススクリーンダム	S. 41	日鉄建材工業株式会社
(2) 井ゲタ鋼枠	S. 44	住金鋼材工業株式会社
(3) ビームタイプダム	S. 47	日鉄建材工業株式会社
(4) 鋼製自在枠	S. 49	同上
(5) 鋼製スリットダム	S. 51	新日本製鉄株式会社
(6) 鋼製続枠	S. 53	川鉄建材工業株式会社
(7) 格子形鋼製ダム	S. 54	株式会社神戸製鋼所
(8) 鋼製箱枠	S. 56	住金鋼材工業株式会社

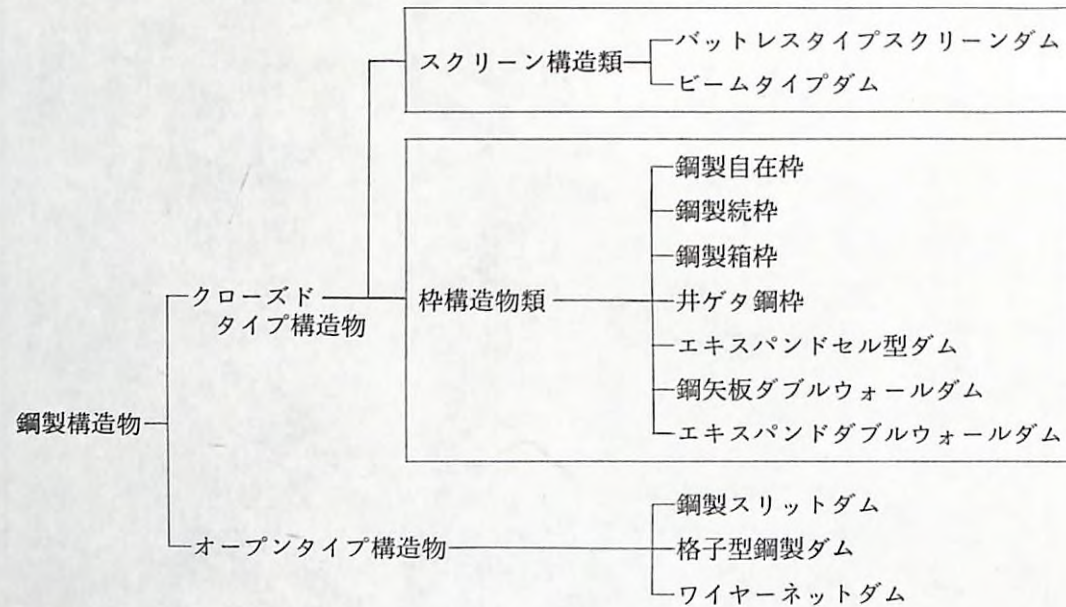
上記以外で試験的に施工されたものは次のようである。

名 称	施工時期	施 工 事 業 所
(9) エキスパンドセル型ダム	S. 49	神通川水系砂防工事事務所など
(10) ワイヤネットダム	S. 49	松本砂防工事事務所など
(11) 鋼矢板ダブルウォールダム	S. 53	北海道庁
(12) エキスパンドダブルウォールダム	S. 58	道路公団人吉工事事務所など

表-1.3 各メーカーの鋼製治山ダムの概要

名 称	日鉄建材工業(株)	住金鋼材工業(株)	川鉄建材工業(株)	新日本製鉄(株)	日鉄建材工業(株)
構 造	鋼製自在枠	鋼製箱枠	鋼製続枠	鋼製スリットダム	鋼製スクリン堰堤
ダム高	2~6m	2~14m	2~10m(5段組み)	2~10.5m(本体部高さ)	3~9m(本体部高さ)
主たる使用材料	H型鋼、山型鋼 平鋼(折曲げ加工) 中詰用材	H形鋼 ネジ鉄筋 中詰用石材	角形鋼管 平鋼 中詰用石材	コンクリート 大径鋼管	コンクリート H型鋼
使用実績	昭和49年から	昭和44年から井ゲタ鋼枠 昭和56年から箱枠	昭和53年から	昭和51年から	昭和41年から

表-1.4 鋼製治山施設の分類



1-2 鋼製治山施設の特徴

鋼構造物をダムの分野に利用する場合、鋼製ダムは平常時の流出土に対する貯留または透過の観点から、機能的にクローズドタイプとオープンタイプに分類される。クローズドタイプは透水性はあるが流出土砂の透過は計画上期待できないものである。オープンタイプは、大洪水に備えて平常時の流出土砂はすべてを透過させ、計画的にダムの空容量を確保するものである。なお、現在のスクリーンダムは水と細粒土砂は透過するので、コンクリートダムや枠構造物等に比べれば、満砂までの時間が長くなることや、平常時に湛水することがなく、堆砂が河床とほぼ平行して進行するので、流木を止める効果があるなどの利点がある。しかしながら、現在の構造を見直して、スクリーン間隔やフレーム構造が中小洪水時の流出土砂を通過させうるものとなるのであれば、オープンタイプに分類される。

1-3 鋼製治山施設の問題点

1-3-1 一般的な問題点

鋼製治山施設に関する一般的問題点としては、鋼材の材質とその許容応力、腐食摩耗等を考慮した余裕厚や最小板厚などがあげられる。特に、鋼製施設は、腐食による耐久性について一般に通念的な疑問が存在しており、これに関する十分な検討が必要となる。

(1) 鋼材の材質と許容応力

鋼材の材質については、構造物の重要性、補修の困難さ、耐候性、溶接性などの観点から治山施設としての使用規格を定める必要があるが、現在は統一的な基準がない。また、許容

応力についても、現在治山施設としての基準が定められていない。この許容応力については、土石流の衝撃力のような動荷量を受ける場合の取り扱い、例えば塑性領域まで考慮するか否かなどについての問題がある。

(2) 鋼材の腐食・摩耗に対する耐久性

鋼材の耐久性についての疑念が鋼製施設の採用にあたって問題となることが多い。これについては錆に関する問題と、断面がマシブでないことに帰因する、摩耗に対する耐久性に問題が分けられる。

錆に関しては、水や土に接する他の土木構造物と同様な問題であり、一般の河川では現在各社が製作している余裕厚片面 1.5 mm で問題はない。河川水の PH 度など環境条件による鋼製施設の適用条件や錆代の見積りおよびメッキなどの防食対策についての考え方を整理する必要がある。

また、治山施設は、一般に流砂の激しい箇所に設けられるため、ダムの水通天端部などの摩耗に対する考え方についても検討を行い、錆に対する問題を含めて、鋼材の余裕厚、最小板厚および防食対策、摩耗防止対策について設計上の基準を決める必要がある。

1-3-2 構造物の安定性

(1) 安定計算法

構造物の全体としての安定性については、基本的にはコンクリート構造物と同様、転倒、滑動および基礎地盤に対して安全であるか否かについて検討すればよいが、鋼製施設の場合はその前提として構造物が一体として働くことが保証されていなくてはならない。そのためには、各部材が確実に連結していて過度に変形しないことが必要である。

現在施工されている鋼製ダムの設計においては、それぞれの方法で安定計算を行っているが、特に構造物の一体性に関する検討方法がまちまちである。

例えば枠構造物が水圧等の水平力に抵抗する要素としては、枠の骨組構造の強さと、中詰材のせん断変形に対する抵抗が考えられるが、二つの要素の共同作用として考えるか、どちらかの単独作用として考えるかについて、その取扱い方が整理されていない。

このようなことから、鋼構造物の一体性に関する考え方、計算方法について検証することが必要である。

(2) 荷重

安定計算を行ううえでの荷重の組合せ、及びその大きさについては、現在コンクリート構造物に準じて行われている。しかしながら、鋼製施設は、コンクリート構造物のような一体となった剛体ではないため、荷重の組合せや数値についてはコンクリート構造物とは違った見方で検討を要するものと思われる。

鋼構造物は堤体内に水が透過するため、浮力や自重についての取扱いや土石流の衝撃力などについては、特に検討を要する事項である。

(3) 安全率

安全率についても、現在はコンクリート構造物に準じているが、鋼製施設としての安全率について検討を要するものと思われる。

特に鋼製施設は、変形を伴うが、変形に対する許容値についても検討が必要であろう。

1-3-3 構造計算

(1) 構造計算法

現在行われている鋼構造の計算法は、鋼材の弾性範囲内を許容応力とする許容応力度法によっており、一般的には問題ない。また、枠構造物では、前述したように、中詰材と骨組材との抵抗力の分担をどうするかといった問題や、中詰材の工学的性質と土圧の考え方など検討すべき課題が多い。

鋼構造物に土石流などの動荷重が作用した場合の部材の応答関係については、メーカーなどにより一部研究が行われているが、現段階では今後の検討に残されている部分が多い。

また、前記のような動荷重を受ける場合の設計法については、許容応力度法によらず、塑性領域まで考慮した極限設計法の適用についても検討することが必要となるかも知れない。これは、鋼製治山施設は、構造物としての機能を失わない範囲であれば、部材の一部の変形は許容してもよいのではないかとこの考え方によるものである。

(2) 部材の連結

鋼製施設は、部材の連結部の強度が構造物としての一体性を保証しているといっても過言ではなく、非常に重要な部分である。

現在の連結部の設計では、作用応力を基に継手設計を行っている例が多いが、設計の考え方について整理しておくことが必要であろう。

1-3-4 構造物の機能および形状

(1) オープンダムの開口間隔

スリットダムや格子形ダムのように、平常時の流砂はダムを流下させ、洪水時には大粒径の土砂により開口部を閉塞して貯砂させることを期待する場合には、開口部の間隔の決め方に問題がある。

現在は、水理模型実験の成果などにより決めているが、今後、現地での観測などを含め検討を要する問題と考えられる。

(2) 構造物の形状

今までに施行された鋼製ダムの被災例を見ると、土石などの衝撃による水通部、袖部の破壊や洗堀によるものが多い。

このため、特に衝撃に対する配慮が必要であり、水通天端や袖の構造について十分検討することが必要と考えられる。

また、ダム下流の洗堀対策についても検討が必要であろう。

2. 鋼製治山施設の安全設計の検討

2-1 鋼材

2-1-1 規格

鋼製治山施設に起用される鋼材は、表-2.1に示す規格に適合するものを標準としている。

但し、この規格以外のものを使用する場合には、事前に十分検討を加える必要がある。

2-1-2 最小板厚

最小板厚に関する各種基準を参照すると、水門扉では鋼板で6mm以上、形鋼では5mm以上と規定されている。その理由としては、腐食や摩耗の起りやすい環境にあるので、その下限値として規定されている。従って、鋼製治山ダムに用いる鋼材の最小板厚は6mmを原則としている。

表-2.1 鋼製治山施設用鋼材の規格

鋼材は下表に示す規格に適合するものを標準とする。但し、十分な検討を加えた場合には、これ以外のものを使用してよい。		
鋼材の種類	規格	鋼材記号
1. 構造用鋼材	JIS G3101 一般構造用圧延鋼材	SS41, SS50
	JIS G3106 溶接構造用圧延鋼材	SM41, SM50 SM50Y
	JIS G3114 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	SMA41 SMA50
2. 鋼管	JIS G3444 一般構造用炭素鋼管	STK41, STK50
	JIS G3466 一般構造用角形鋼管	STKR41 RTKR50
	JIS G5201 溶接構造用遠心力鋼管	SCW50-CF
3. 接合用鋼材	JIS B1180 六角ボルト	
	JIS B1181 六角ナット	
	JIS B1251 ばね座金	
	JIS B1256 平座金	
	JIS B1186 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット	F8T, F10T, F11T
4. 棒鋼	JIS G3112 鉄筋コンクリート用棒鋼	SR24, SD24 SD30, SD35
	JIS G3109 PC鋼棒	
5. エキスパンダメタル	JIS G3351 エキスパンダメタル	SPHC

2-1-3 許容応力度

鋼構造計算に用いる許容応力度は、表-2.2に示す値が採用されている。また、材料の継手部分では、その効率を考慮しなければならない。なお、主部材には座屈の危険がないように十分考慮しなければならない。

安定計画に用いる数値は、ダムの重要度が高い場合には、原則として実例によって求めるが、その他のダムでは既設ダムで用いられた数値が、下記および表-2.3に示す数値を参考にする。

- (1) 鋼材の密度 7.85 t/m³
- (2) コンクリートの単位体積重量 2.3 t/m³
- (3) 流水の単位体積重量 1.2 t/m³

ただし、異常な土砂流出を示す河川では別途考慮する必要がある。

- (4) 堆砂見掛単位体積重量 1.5 ~ 1.8 t/m³
- (5) 中詰材料 原則として表-2.3に示す範囲とする。

一般に、碎石・河床礫では、円礫（玉石）状と角ばった碎石状のものなど、その形状の他に材質や粒度分布によって性質が異なるので、適切な値を採用するのが望ましい。また砂礫の場合も同様であるが、特に締固めの程度による影響が大きいので注意する必要がある。

中詰には、玉石や碎石あるいは河床礫のような堅硬で大径のものを用いるのが望ましいが、現地の状況によっては、河床砂礫を利用する方がメリットが大きい場合があると考えられる。このような小径のものを用いる場合には、確実な流出防止策を講じておかなければならない。この対策として、ジオテキスタイル材料を利用する場合には、その材料は強度、耐久性が十分保証されており、また万一の場合に備えて難燃性であることが望ましい。

2-1-4 部材の連結

鋼製治山施設の施工にあたっては、いかなる形式を採用する場合にも、必ず部材の連結が必要となる。従って、この連結部の強度がダムの一体性を保証することになるので、主要部材の連結部については十分な強度を持つように設計しなければならない。

部材の連結部の構造は、次の事項を満たすように設計する必要がある。

- (1) 応力の伝達が明確であること。
- (2) 構成する各部材において、偏心がないように注意すること。
- (3) 出来るだけ応力集中を発生させないこと。
- (4) 極度の残留応力や二次応力を発生させないこと。

2-1-5 腐食対策

鋼製治山施設には、鋳代を見込むか、鋳代と亜鉛メッキを併用することによって、耐久性を保証する必要がある。

鋳代は、酸性河川でないこと、清澄な大気中であること等を前提として、片面1.5mmを標準にしている。ただし、摩耗の恐れのある場合には別途考慮する必要がある。

表-2.2 構造用鋼材の許容応力度

- (1) 構造用鋼材の許容応力度は、下表のとおりとする。

構造用鋼材の許容応力度 (kg/cm²)

鋼 種	SS41 SM41 SMA41	SS50	SM50	SM50Y SM53 SMA50
応力度の種類				
軸方向引張応力度（純断面積につき）	1,400	1,700	1,900	2,100
軸方向圧縮応力度（総断面積につき）	1,400	1,700	1,900	2,100
曲げ引張応力度（純断面積につき）	1,400	1,700	1,900	2,100
曲げ圧縮応力度（総断面積につき）	1,400	1,700	1,900	2,100
せん断応力度（総断面積につき）	800	1,000	1,100	1,200
支圧応力度（鋼板と鋼板）	2,100	2,500	2,500	3,100

- (2) アンカーボルト、ピンおよび仕上げボルトの許容応力度

アンカーボルト、ピンおよび仕上げボルトの許容応力度は下表に示す値とする。

アンカーボルトなどの許容応力度 (kg/cm²)

鋼 種	SS41	SS50 S30C	S35C
部材の種類			
せん断 応 力 度	ア	600	700
	ン	1,000	1,200
	カ	900	1,050
曲げ応力度	ボ	1,900	2,300
支圧応力度	ル	2,100	2,500
	ト	2,100	2,500
	仕	1,050	1,250

- (3) 鉄筋コンクリート用棒鋼の許容応力度は下表に示す値とする。

(kg/cm²)

	SR24, SD24	SD30	SD35
引張応力度	1400	1800	2000
圧縮応力度			

(4) 鋼管の許容応力度は下表のとおりとする。

鋼管の許容応力度

(kg/cm²)

鋼 種	SS41, SM41 SMA41, STK41	SM50, STK50	SM50Y, SMA50
軸方向引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,900	2,100
軸方向圧縮応力度 (総断面積につき)	$\frac{\ell}{r} \leq 20$ 1,400 $20 < \frac{\ell}{r} < 93$ $1,400 - 8.4(\frac{\ell}{r} - 20)$ $\frac{\ell}{r} \geq 93$ $\frac{12,000,000}{6,700 + (\ell/r)^2}$	$\frac{\ell}{r} \leq 15$ 1,900 $15 < \frac{\ell}{r} < 80$ $1,900 - 13(\frac{\ell}{r} - 15)$ $\frac{\ell}{r} \geq 80$ $\frac{12,000,000}{5,000 + (\ell/r)^2}$	$\frac{\ell}{r} \leq 14$ 2,100 $14 < \frac{\ell}{r} < 76$ $2,100 - 15(\frac{\ell}{r} - 14)$ $\frac{\ell}{r} \geq 76$ $\frac{12,000,000}{4,500 + (\ell/r)^2}$
曲げ引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,900	2,100
曲げ圧縮応力度 (総断面積につき)	1,400	1,900	2,100
軸方向力及び曲げモーメントを受ける部材	(1) 軸方向力が引張の場合 $\sigma_t + \sigma_{bt} \leq \sigma_{ta}$ かつ $-\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$ (2) 軸方向力が圧縮の場合 $\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$		
せん断応力度 (総断面積につき)	800	1,100	1,200

記号は次のとおりである。

ℓ : 部材の有効座用長 (cm)

r : 部材総断面積の断面二次半径 (cm)

σ_t, σ_c : 断面に作用する軸方向引張力による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_{bt}, σ_{bc} : 断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_{ta}, σ_{ca} : 許容引張応力度及び弱軸に関する許容軸方向圧縮応力度 (kg/cm²)

σ_{ba} : 許容曲げ圧縮応力度 (kg/cm²)

(5) 棒鋼をタイロッドとして使用する場合の許容応力度は下表に示す値とする。

(kg/cm²)

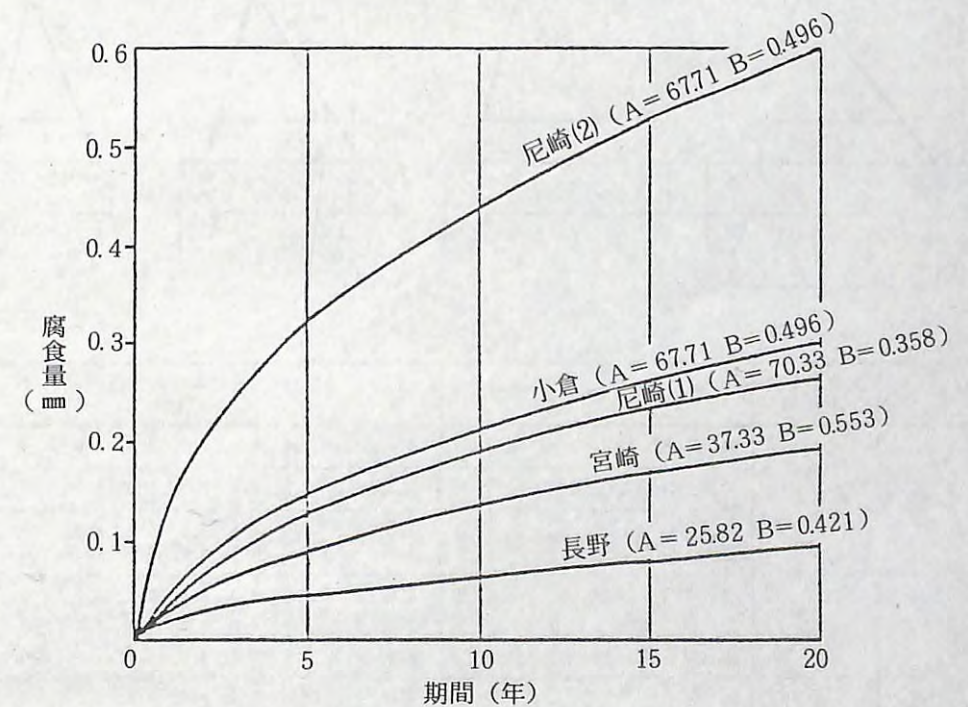
鋼 種	SS41		SS50		高 張 力 鋼		
	φ40mm以下	φ40mm以上	φ40mm以下	φ40mm以上	30	40	50
降伏点応力度	2400以上	2200以上	2800以上	2600以上	3300以上	4000以上	4500以上
許容引張応力度	960	880	1120	1040	1320	1600	1800

なお、鋳代のかわりに亜鉛メッキのような防食対策をほどこす場合には、摩耗が危惧されないことを前提として、鋳代を片面 0.5 mm とした上で、500 g/m² の亜鉛メッキを実施するのを標準とする。また、ボルトのメッキは 350 g/m² 以上とし、鋳代は特に見込まなくてよい。

各種環境下における鋼材の腐食量について、調査結果の 1 例を示すと図-2.1 のようになる。

表-2.3 中詰材料の種類

種 別	単位体積重量 (τ/m ³)	内部摩擦角 (度)
割石 (一般のもの)	1.8	40
割石 (もろい材質のもの)	1.6	35
割ぐり石	1.8	40
切込砂利	1.8	30
玉石	1.8	35
砂 礫	1.6	30



(鉄鋼協会, 腐食防食討論会論文集 昭和46年)

図-2.1 鋼材の地域別腐食量 (SS41 の場合)

2-2 鋼製バットレススクリーンダム (図-2.2)

安定計算に用いる荷重は、原則として自重と静水圧であるが、ダムの高さや形式によっては堆砂圧、浮力(揚圧力)、地震時の慣性力と動水圧などについても検討するのが安全である。まず、ダムに作用する力を工種別に図示すると図-2.3のようになる。ここで、自重と静水圧については別に問題はないが、堆砂圧の計算は、

$$P_v = W \cdot h, \quad P_H = C \cdot W \cdot h$$

$$W = W_b - (1 - P) W_0$$

$$P = (W_a - W_b) / W_a$$

で表わされる。ここで、 P_v と P_H は堆砂圧の鉛直と水平分力、 C は堆砂の内部摩擦角によって決まる土圧係数、 W と W_b は堆砂の水中と空中の単位容積重量、 W_a は堆砂土粒子の密度、 W_0 は水の比重、 h は堆砂面から任意点までの深さ、 P は堆砂の間隙率である。また、バットレス・スクリー

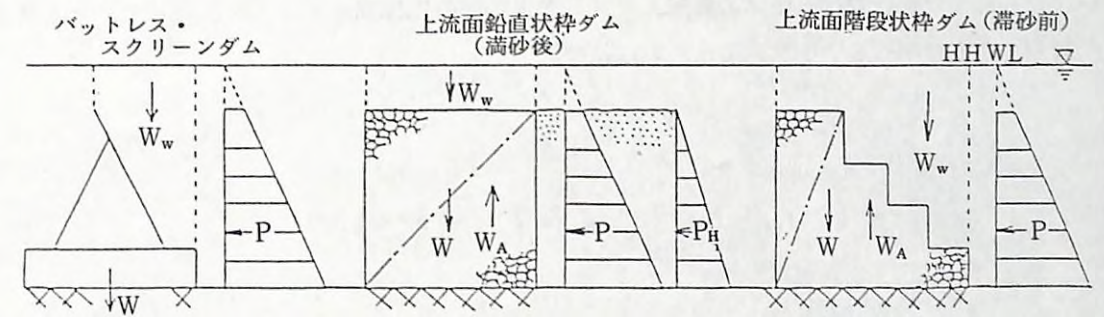


図-2.3 鋼製ダムに作用する力 (P : 静水圧, P_H : 堆砂圧, W : 自重, W_w : 水の重量, W_a : 浮力)

ーン構造のように、コンクリートフーチングを基礎とするダムの場合には、コンクリートダムの場合に準じて、揚圧力を計算する必要がある。これはダム底全面に鉛直上向きに働き、基礎地盤の種類で異なる。ダム底上流端から長さ x の点における揚圧力 (U_x) は、次式で表わされる。

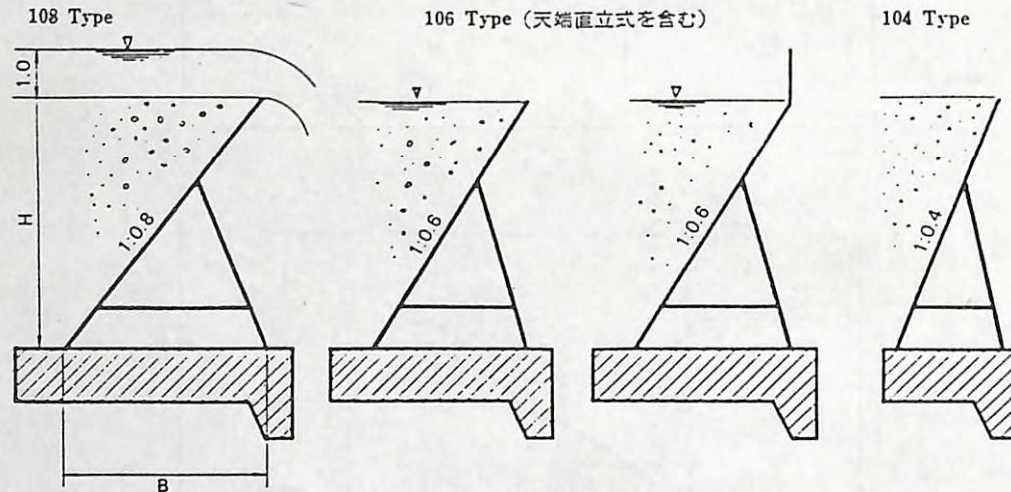
$$U_x = W_0 [h_2 + \mu \cdot \Delta h (1 - x/\ell)] ; \Delta h = h_1 - h_2$$

ここで、 μ は揚圧力係数で $1/3 \sim 1$ の値、 h_1 と h_2 はダム上・下流側の水深、 ℓ はクリープ長である。なお、揚圧力の最大値はダム底上流端に発生し、その値は $h_2 + \mu \cdot \Delta h$ である。次に、安定計算は水通し部の2次元断面について行うが、前提条件として理想的な一体構造物としての部材結合と弾性域内での変形が保証されねばならない。安定条件としては、①ダムに働く合力がミドルサード内に入ること、②ダム底と基礎地盤の間、または基礎地盤内で滑動しないこと、③基礎地盤に発生する最大応力が地盤の許容支持力以下であること、などである。

さて、バットレスダムのように上流面に土砂が堆積することが予想される構造物では、竣工時よりも満砂後の方が鋼骨組に苛酷な荷重が働くので、このような予想荷重に対する構造解析を十分行っておく必要がある。また、枠構造物は重力構造物の一種であり、枠組と中詰めが一体として機能することが保証されねばならない。従って、外力あるいは内力による変形に対しては、鋼製枠組と中詰めが一体となって抵抗するように期待される。しかしながら、この中詰め材料の応力～ひずみ関係のような弾性的性質を解析的に求めることは不可能であり、その工学的な評価は現在困難である。これについては、次節で若干の検討を加える。

2-3 鋼製自在枠ダム

自在枠に外力が作用すると、壁材と中詰めはそれぞれ異なった挙動を示し、中詰めにはダイヤラント現象が生じ、せん断応力の発生～構造系全体の破壊に至る過程をたどる。従って、自在枠の安定計算は、重力式構造物としての条件を満たすと共に、枠組を一種のセル壁体と仮定し、予想外の力によって壁材のねじれや変形が生じて、中詰め物が流出しない限り、構造系全体としての安定が保持されるように、セル壁体の安定性を検討する必要がある。



シリーズ	上流面勾配 (B/H)	越流部 非越流部の別	フレームの高さ H (m)
108 タイプ	0.8	越流部 (越流水深 1.0)	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0
		越流部 (越流水深 1.5 および 2.5)	5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5
		非越流部	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5
106 タイプ	0.6	越流部	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0
		非越流部	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0
		非越流部 (直立式)	4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0
104 タイプ	0.4	越流部	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0
		非越流部	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 6.0

図-2.2 バットレススクリーンダムの種類

自在枠の安定計算は、壁体の変形モーメントと中詰の抵抗モーメントを比較して、せん断変形に対する安全率 (S) を次式で求めればよい。

$$S = M_1 / M_2$$

$$M_1 = P \cdot h \cdot \cos \theta$$

$$M_2 = r \cdot H^3 (K_p - K_a) (3 - \beta \cos \phi) \cos^2 \phi / 24 \beta^2$$

ここで、

M_1 : 壁体の変形モーメント

M_2 : 中詰の抵抗モーメント

H : 壁 高

B : 壁 幅

P : 外 力

h : 外力の作用点までの高さ

θ : 壁面に対する外力の作用角

r : 中詰の単位体積重量

β : B/H

K_p : ランキンの受働土圧係数

K_a : 同主動土圧係数

ϕ : 中詰の内部摩擦角

中詰のせん断変形に対する抵抗の計算法は、鋼矢板セル式係船岸の設計計算法であり、この種構造物の解析法としては、ほぼ確立された方式である。抵抗モーメントの計算では、変形を許す場合と許さない場合が考えられる。前者は、セル体のせん断変形を1~2%程度許して、中詰が塑性化した場合に対応している。従って、一般に治山ダムの場合には、多少変形しても機能的に支障はなく、また静的荷重に対しては進行性の変形ではないので、せん断変形に対する抵抗は変形を許す場合の計算をすればよい。また、安全率については、設計荷重に対しては1.2以上、チェック荷重に対しては1.1以上とするのが適当である。ただし、高さ10m以上で集落に近接する構造物については、変形を許さない場合の計算をする必要がある。

上流面が傾斜している場合、換算壁体幅の算定が困難であるが、便宜的には断面積の等しい仮想の矩形断面の幅を採用すればよい。

2-4 鋼製擁壁工

鋼製擁壁工は、①地すべりの押え盛土の基礎工や保護工、②地すべり末端の小崩壊や小規模すべりの抑止、③軟弱地盤における盛土の保護工、④湧水の多い箇所における斜面や法面の保護工、などのような目的に使用すると効果的である。

擁壁工の断面の安定計算に用いる荷重は、自重と土圧である。土圧については、図-2.4のよ

うな二つのケースが考えられる。すなわち、

- (1) 押え盛土のような盛土の保護擁壁にかかる土圧
- (2) 小規模地すべりや崩壊抑止のための擁壁にかかる土圧である。

3. 鋼製施設採用上の留意点と今後の問題点

3-1 鋼製治山施設採用上の留意点

治山事業に鋼製施設を採用する場合には、次の諸点に十分留意する必要がある。

3-1-1 鋼製ダム

鋼製ダムの採用に当っては、原則として

- (1) 溪床幅が広く、鋼材使用部分が多く、経済的に有利な場合
- (2) 流木などが多く、流木と土・砂・水の分離が容易な場合

であって次の条件を満たす必要がある。

- ① 土石流、大転石の流下の可能性のない所
- ② なだれによる破損のおそれのない所
- ③ 下流に保全対象が近接している場合は、すでにその上流にコンクリートダムが築設されている所

3-1-2 鋼製自在枠

(1) 治山ダム

- ① 転石、流木、土石流などの流下に極めて弱いので、流水のある所は原則として計画しない。但し、地盤が軟弱でコンクリートでは施工不能な場合はやむをえない。
- ② やむをえず計画する場合は、安定計算の因子を十分検討し災害時にも十分耐えられるものであること。施工が安定計算の条件に合致することが可能な計画であること。(特に埋

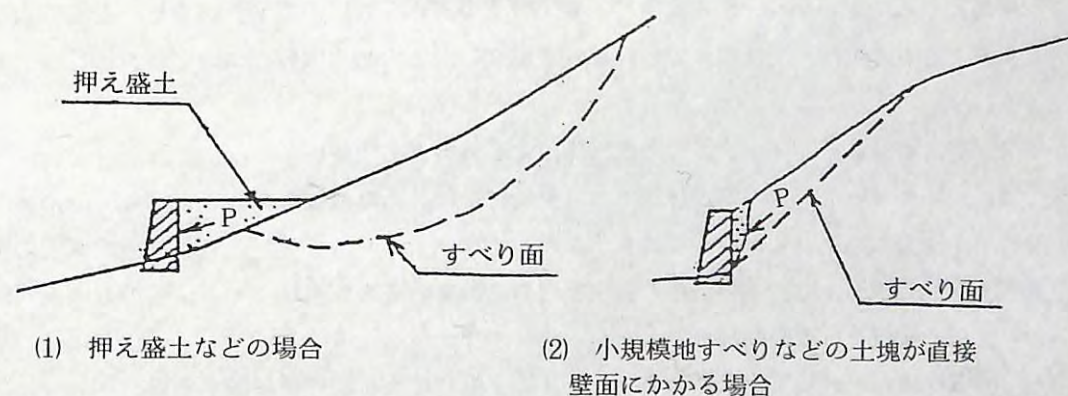


図-2.4 擁壁に作用する2種類の土圧

戻しをしなければ安定しないものもある。)

(2) 土留工, 護岸工

① 原則として地盤が軟弱又は地すべり地などで排水の必要があり又は移動の可能性があるもの以外は採用しない。

② 計画する場合は他の施設との関連を安定計算上においても十分検討すること。

3-1-3 エキスパンドメタル使用の簡易土留工

(1) 原則として筋工として使用し土留工としては使用しない。

(2) 筋工の場合は原則として2段までとし, 土質的に礫質が多い場合でも3段までとする。

(3) 地下水などが背面に帯水する箇所の計画は, 出来るだけ避けるか排水を十分考慮する。

3-1-4 落石防止柵工

(1) 安定計算は実際の石の大きさ, 予想される高さを十分調査し, 十分な安全性をもった構造で行うこと。

(2) 落石の衝撃力を緩和させるために, 古タイヤの配置などを計画することができる。

(3) 落石防止柵は森林の造成の補助手段として行うのがたてまえであるので, 必ず森林造成を計画すること。

3-1-5 鋼製U字フレーム

鋼製U字フレームは重量が比較的軽いので多く使用されるが, 山腹の盛土の箇所は盛土の沈下により浮き上がることが多く, 地表水が水路に乘らないことが多い。水路設置の位置, 高さを十分考慮し, また浮き上がらないよう杭などを計画すること。

3-2 鋼製治山施設に係る今後の検討事項

各種鋼製治山施設の実用化にあたり, 今後は次の諸点に十分検討を加える必要がある。

3-2-1 鋼製治山施設の安全性と耐久性に関する実態調査

既設の鋼製スクリーンダム, 鋼製土石流減勢工(底面スクリーンダム), 鋼製枠ダムのような溪間工やエキスパンドメタル使用の山腹土留工の劣化, 破損の実態を調査し, 動的外力を推定するとともに工種・工法別に安定計算式を確立し, その適用限界について検討を行う必要がある。

3-2-2 鋼製スクリーンダムの天端に作用する外力と応力解析

現行のスクリーンダムの安定計算では, 天端付近の外力は微少であると仮定して, 補強部材等は全く使用されていない。それにもかかわらず, バットレスタイプのスクリーンダムの全被災件数中の70%以上は, 天端張出部の倒伏で占められているのが現状である。その原因と対策について更に検討を行う必要がある。

3-2-3 土石流減勢工(底面スクリーンダム)の構造と堆砂機構に関する検討

土石流減勢工の施工に当り, その構造の基本となる要素を摘出し, 土石流の大きさと構造規模について力学的に検討するとともに, 流出土砂の堆砂機構, および効果的な排砂方法に関す

る実用化試験を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) 岸岡 孝: 治山ダムに作用する動水圧, 日林誌, 46(8), 294~298, 1964
- 2) 水山高久: 砂防ダムに作用する土石流衝撃力とその問題点, 新砂防, 112, 40~43, 1979
- 3) 林業土木施設研究所: 落石危険地実態調査報告書(黒松内営林署管内497, 498および510林班) 函館営林支局, 1981
- 4) 林業土木施設研究所: 鋼製えん堤(保水タイプ)等に関する営業用技術資料, 日本林業土木株式会社, 1983
- 5) 鋼製砂防構造物研究会: 鋼製砂防構造物に関する研究報告書, (財)砂防・地すべり技術センター, 1983
- 6) 陶山正憲: 治山鋼製施設の劣化現象とその要因分析(Ⅰ) 治山鋼製施設の劣化と安全設計に関する検討, 36回日林関東支論, 159~160, 1984
- 7) 陶山正憲: 同上(Ⅱ) 鋼製土留工の設計基準と劣化実態に関する検討, 96回日林論, 611~612, 1985

スギ，ヒノキ材の葉枯らし，
巻枯らし等林内乾燥試験

スギ・ヒノキ材の葉枯らし、巻枯らし等林内乾燥試験 — 林内乾燥法の確立 —

I 試験担当者

木材部乾燥研究室長	鷺 見 博 史
木材部乾燥研究室	佐 藤 庄 一
同 上	齋 藤 周 逸
木材部加工技術科長	中 野 達 夫

II 試験目的

木材需要の低迷状態を打開するため、林野庁は昭和59年6月、「国有林野事業の改善に関する計画」を策定し、昭和60年度から実施されることになった。改善計画はいくつかの課題より成るが、中でも「需要動向に即した生産・販売の推進」は重要な柱の一つになっている。これに呼応して各営林署では、ユーザーのニーズに合った良材を提供して行くことが肝要であるとして、葉枯らし材の生産を段階的に拡大、推進し、これによって含水率が低く揃い、しかも色つやの良好な素材を販売して行くことを目指している。

葉枯らし施業についてはすでに戦前から有名林業地等で実施されているが、系統的に究明した技術資料の集積に乏しく、作業の方法や葉枯らしの効用に対する評価も各地区でまちまちである。とくに評価については、多くの場合、単に経験的または主観的なものが風評として伝えられているに過ぎない。

今後国有林が葉枯らし材の生産を発展的に推進して行くにあたり、作業の基準や指針などいわば統一的なマニュアル作りが急がれ、このために必要な具体的資料を実験によって得るのが本試験の目的である。

III 試験の経過と得られた成果

1. 試験の時期と試験地の概況

試験の対象樹種は樹齢約70年のヒノキ、スギ造林木で、試験地は東京営林局大子営林署管内に設定した。林分の立木密度は約900本/haである。試験の時期、試験地などの概要を表-1にまとめて示した。なお試験期間の設定に当たっては、虫害を避けるため梅雨期をはずすよう考慮した。

第1回めの試験を実施した59林班ぬ小班（ヒノキ）は、すでに一部皆伐したオープンスペースに隣接しているため、葉枯らし中の原木への通風、陽光の照射は極めて良好であった（写真-1）。また、60林班い5小班（スギ）は林道沿いにあり、葉枯らし材が相当時間日照を受ける位置にあった。

表-1 試験の時期、試験地の概況

回	試験期間	季節呼び名	試験地	対象樹種
1	60.8.1-60.10.14 (74日間)	夏季	59林班ぬ小班 60林班い5 小班	ヒノキ スギ
2	61.4.8-60.6.16 (69日間)	春季	59林班ち1 小班	同上
3	61.9.16- 61.12.4 (79日間)	秋季	同上	同上

注 東京営林局大子営林署管内

しかし、地形はやや急峻、狭隘な谷筋のため、伐倒した葉枯らし材の枝葉がやや重なり気味であり、通風条件はヒノキ材の場合よりも不良と判断された。(写真-2)。

第2回目以降実施の59林班ち1 小班は、標高約500mの尾根沿い、南西向き斜面の林分で、日照、通風ともおおむね良好である(写真-3)。供試木を間伐的に伐倒した結果、樹冠のうっ閉率は70~80%と推定された。

なお、当該いずれの林分も枝打ちがよく行われており、ヒノキ、スギ材とも枝下高は樹高の60~70%であった。

2. 試験の進め方

1~3回のいずれの試験においても、供試材はヒノキ、スギ材とも同数を選んで実施した。すなわち、表-2に示すように、両樹種とも原則として5個体を初期含水率測定用、10個体を葉枯らし用とした。

初期含水率は、伐倒直後に4.0m(ヒ



写真-1 ヒノキ材の葉枯らし
(第1回目試験)



写真-2 スギ材の葉枯らし
(第1回目の試験)

ノキ)または3.7m(スギ)に玉切りし、玉切った部分から、厚さ3~4cmの円板を採取して全乾法で測定した。葉枯らし材の含水率は、10個体のうち5個体を約1ヶ月間林内に伐倒放置した後、また5個体を約70日間放置した後、上述のように玉切り、玉切り部分の円板試料で測定した。葉枯らし材はすべて皮つきとした。なお、春季の試験では、枝葉をそのまま付けた状態のまま放置するもの(完全枝葉付き)と下枝



写真-3 ヒノキ、スギ材の葉枯らし
(第2, 3回試験)

表-2 供試木および測定事項

試験時期	供試原木	平均胸高直径 (cm)	測定事項	処理	備考
夏 季	5本	H: 28, S: 30	初期含水率		
	5本	H: 30, S: 32	葉枯らし32日後の含水率	完全枝葉付き放置	
	5本	H: 28, S: 35	葉枯らし74日後の含水率	同上	樹高の約50%
	3本	H: -, S: 35	巻枯らし74日後の含水率	立木のまま放置	同上
春 季	5本	H: 28, S: 29	初期含水率		
	5本	H: 28, S: 32	葉枯らし69日後の含水率	完全枝葉付き放置	樹高の約50%
	5本	H: 30, S: 30	同上	1/3枝葉付き放置	樹高の約20%
	3本	H: -, S: -	巻枯らし69日後の含水率	立木のまま放置	
秋 季	5本	H: 28, S: 30	初期含水率		
	5本	H: 32, S: 31	葉枯らし33日後の含水率	完全枝葉付き放置	樹高の約40%
	5本	H: 30, S: 31	葉枯らし78日後の含水率	同上	

注 H: ヒノキ, S: スギ
樹齢はいずれも65~75年生
供試原木数はヒノキ、スギおのおの数を示す。

の相当量を除去したもの(1/3枝葉付き)の二種類の処理を行い、他の季節では完全枝葉付き処理のみを行った。

上述したように、葉枯らし材の含水率は玉切った部分の円板試料によって測定したが、葉枯らし中の含水率をより小間隔で測定するため、玉切り時および玉切り時以外の適当な時点で、直径30mmの手廻し式木工鋸(リングオーガー)により木屑試料を採取し、これによる含水率も測定した。

葉枯らし材の伐倒方向については、尾根側に伐倒するか谷側に伐倒するかによって乾燥度が異なるとする見方もある。しかし、本試験に先立ち筆者らが他の林分（水戸営林署管内）で予備実験したところ、方向による有意差が認められなかったため、本試験では地形の関係から、おおむね横（ほぼ水平）方向に倒置することとした。

さらに葉枯らし試験と平行して、夏季と春季の試験においては巻枯らし試験を実施した。巻枯らしはヒノキ、スギ材各3個体について行い、地上高約30cmの箇所においてチェーンソーで円周状（幅約20cm）に辺材部を心材深さまで切除した後、立木の状態で放置した。

3. 樹高方向の初期含水率

春季および秋季にヒノキ、スギ材各5個体を伐倒した後3番玉まで玉切りし、玉切り箇所ごとに厚さ3~4cmの円板を採取し、辺材部、心材部および円板全体の平均の別に初期含水率を測定した。測定結果を図-1, 2に示す。季節別に見ると、ヒノキ材では春季と秋季とで初期含水率にほとんど差がないといえ、

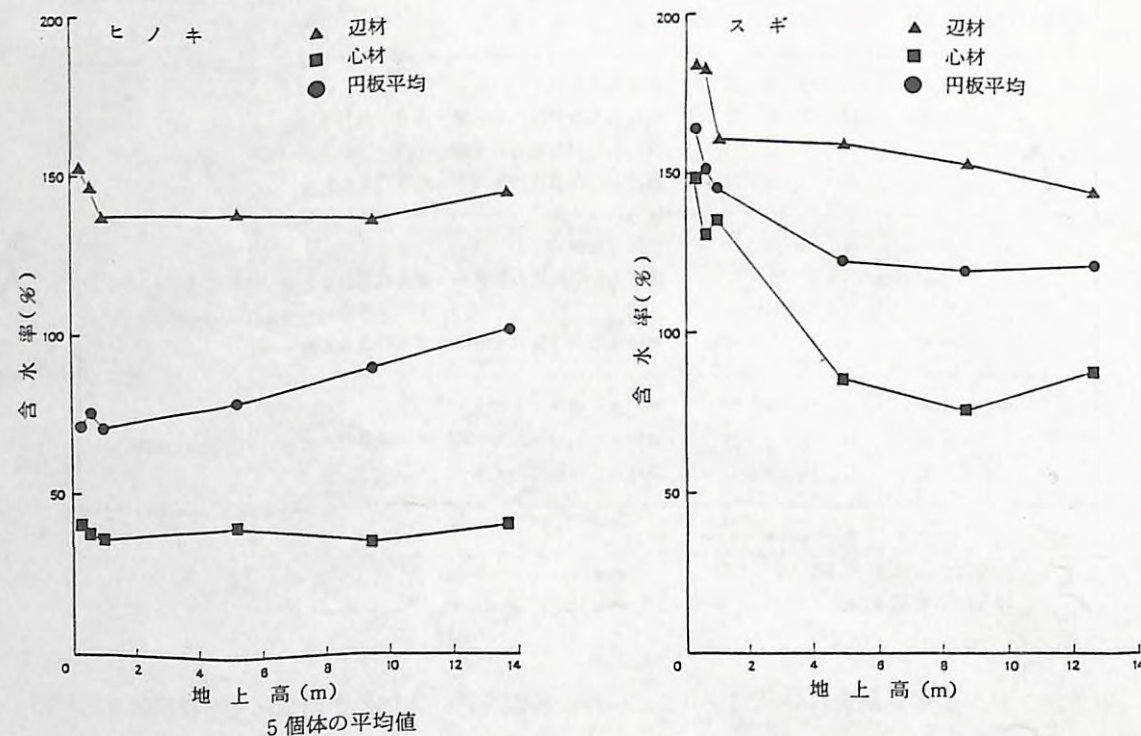


図-1 樹高方向の初期含水率（春季伐倒材）

スギ材では秋季の材の地上高の低い部分の辺材含水率が異常に高い。後者の場合の高含水率は、サンプルの個体差によるものと見るべきで、時期による本質的な差はほとんどないと思われる。

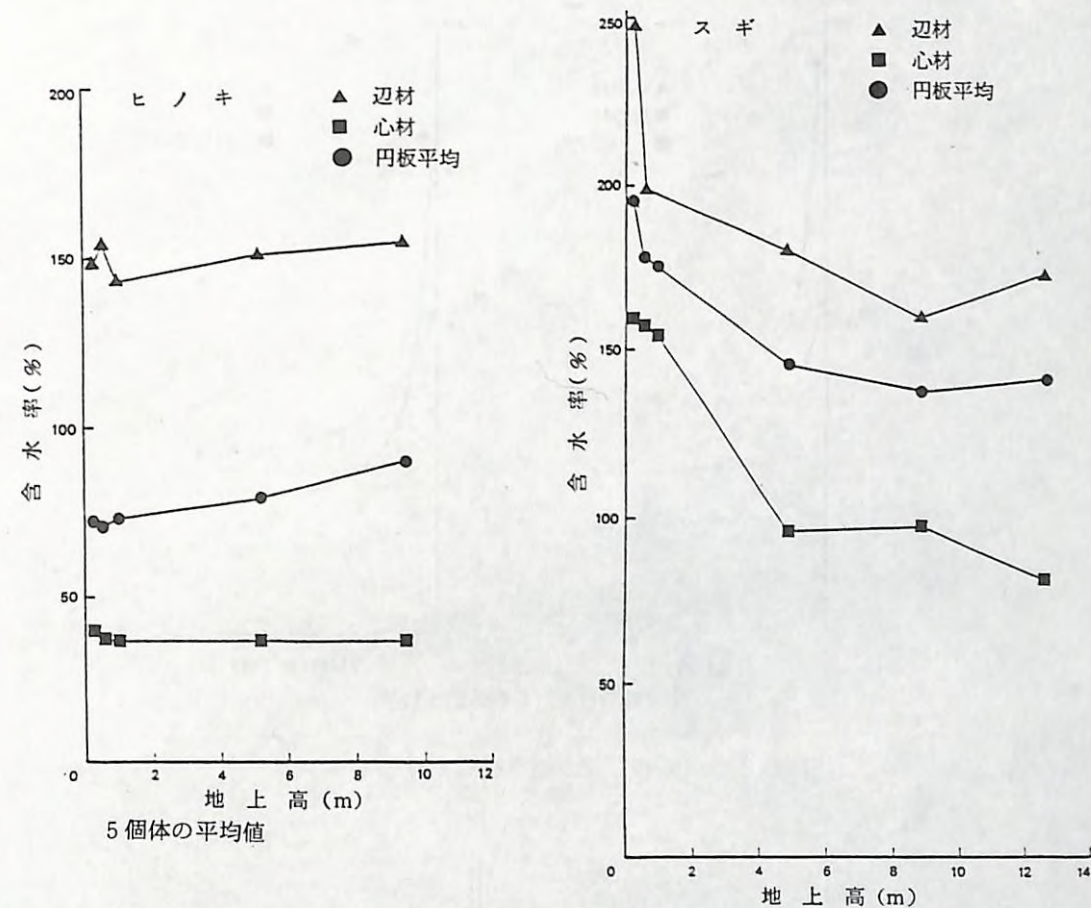


図-2 樹高方向の初期含水率（秋季伐倒材）

また樹種別に見ると、地上高約1mまでの低部の材の辺材部初期含水率は両樹種とも高く、とくにスギ材でこのことが顕著である。この傾向は、既往の文献からもうかがい知れる。心材含水率については、ヒノキ材では季節にかかわらず、また地上部の高低にかかわらずほぼ一定の値（40~45%）を示す。これは夏季の試験においても全く同じことが観測されている。スギ材の心材含水率については、個体による差が著しく一定の傾向をつかみ難いが、地上高約2mまでは含水率が高く、それより上部ではほぼ一定の含水率になっていると見なしてよさそうである。

辺、心材を含めた平均含水率については、地上高の低い部分を別にすれば、ヒノキ材で70~100%、スギ材では100~130%であった。

4. 葉枯らし期間中の乾燥経過

約70日間林内に放置した葉枯らし材の乾燥経過を、夏季、秋季の別に図-3, 4に示す。測定値

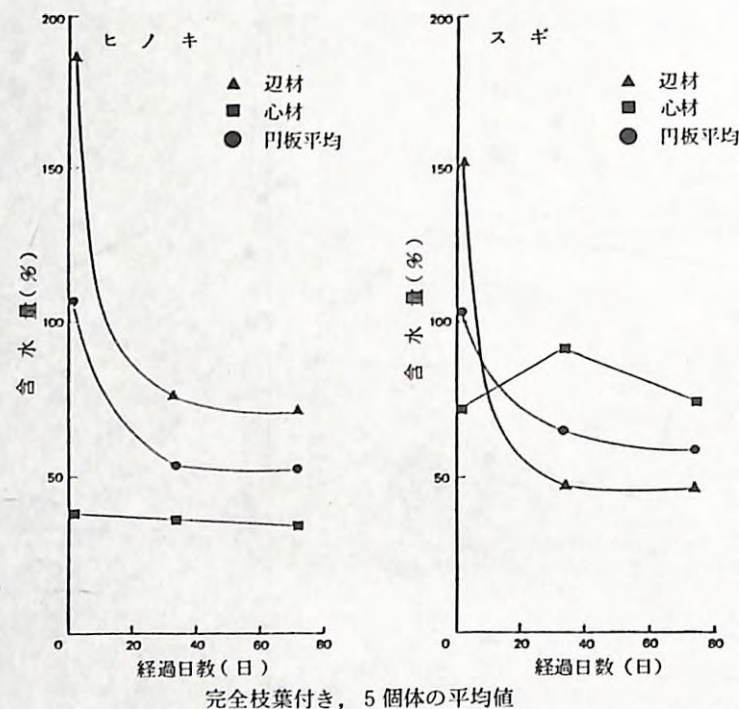


図-3 葉枯らし材の乾燥経過(夏季)

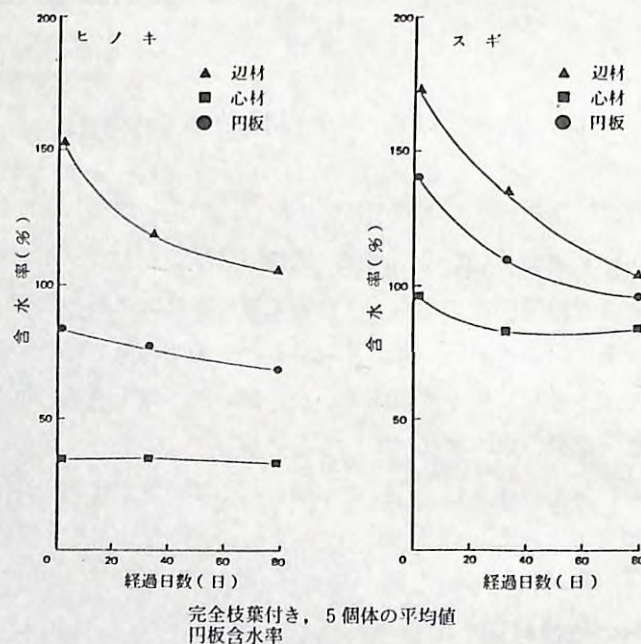


図-4 葉枯らし材の乾燥経過(秋季)

は初期含水率の安定している二番玉の両端から得た2枚ずつの円板の平均含水率で、ヒノキ、スギ材とも5個体の平均値である。また、これらの測定点は互いに個体が異なる。春季の試験においては円板による途中経過を測定しなかったため図示していない。

夏季、秋季いずれの季節にあっても辺材部の含水率低下が顕著であるが、葉枯らし開始から30～40日経過までの期間における含水率低下速度が極めて大きい。これに対し、心材部の含水率はほとんど低下しないか、低下してもその量は極めてわずかである。個体差の大きなスギ材でははっきりしないが、ヒノキ材ではこの傾向が明瞭である。辺心材を含めた平均含水率で見ると、約70日間の葉枯らしによって、夏季の場合、ヒノキ材は初期に約105%の含水率が約50%に低下し、スギ材は約100%の含水率が約60%に低下している。また秋季には、ヒノキ材は約80%の含水率が約65%に、スギ材は約140%の含水率が約95%まで低下している。途中経過が得られていないので春季のものは図示されていないが、ヒノキ材では約95%から約60%に、スギ材では約125%から約80%まで低下した。

いま、含水率の変化を、容積密度数や辺心材率を勘案して単位材積あたりの重量(kg/m^3)に換算しその変化を示すと図-5のようになる。図から明らかなように、夏季および春季の重量減少が

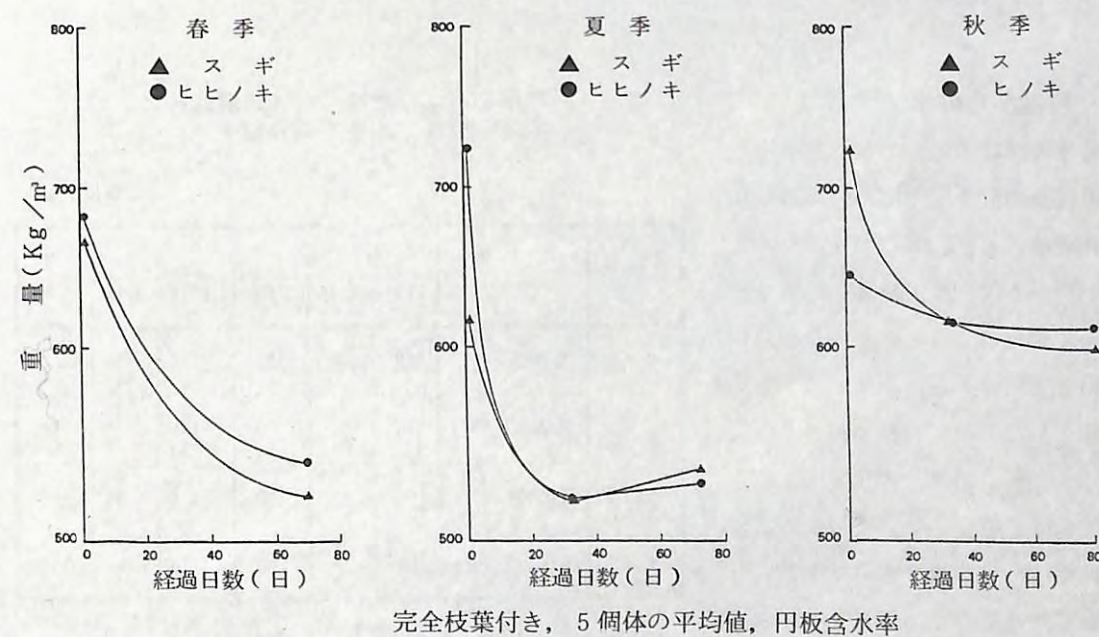


図-5 単位材積当たりの重量の減少経過

著しく、秋季の減少量はこれよりやや劣る。このような季節による減少量の違いは気象条件に左右されるものと考えられ、参考のため茨城県気象月報(日本気象協会水戸支部発行)から当該試験時期における大子地区の気象値を抜粋して整理すると表-3のようになる。これらの気象値は当地の測候所におけるもので、葉枯らし試験を行った現地のものではないため測定結果と直接的な照合は

表-3 大子地区の気象値

試験の呼び名と時期	月平均気温(℃)	月間日照時間(hr)	月間降水量(mm)
夏季 60年 8,9月	25.7, 20.5	190.6, 102.6	156, 127
春季 61年 4,5,6月	10.5, 15.1, 18.7	146.4, 128.0, 82.7	100, 125, 110
秋季 61年 9,10,11月	21.2, 13.4, 8.0	99.5, 105.2, 127.7	192, 73, 29

できないが、気温、日照量、湿度、風速などが乾燥経過に大きな影響を及ぼしたものと考えてよからう。

いずれの季節においても葉枯らし材の含水率(重量)の低下は、葉枯らし開始後40~50日ではほぼ横ばい傾向になるので、乾燥という観点からすれば、これより長期の葉枯らしは非効率的といえる。以上の測定結果に基づき、仮に葉枯らしを50日間実施した場合の乾燥の程度を推測し整理すると表-4のようになる。

5. 枝葉からの水分蒸散

春季の試験においては、葉枯らし材の枝葉の量を変えて水分蒸散効果を比較検討した。すなわち、ヒノキ、スギ材とも伐倒後、枝葉を除去せずそのまま放置するもの(完全枝葉付き、各5個体)と、下部の枝葉を約1/3除去したもの(1/3枝葉付き、樹高の10~15%に相当、各5個体)の二群に分けて調査した。なおこの試験では葉枯らし期間の途中で玉切りを行わなかったため、期間中の円板による含水率は計測されていない。

前項と同様にして、二番玉の両端の円板から求めた含水率、辺心材率、容積密度数から単位材積あたりの重量を計算し、その変化を二つの群で比較すると図-6のようになる。図から明らかなように、完全枝葉付き材は1/3枝葉付き材よりも重量減少が大きく、葉からの水分蒸散の効果が認められる。本試験では両者の差は、ヒノキ材で約16kg/m³、スギ材で約25kg/m³であり、含水率に換算すると3~5%の差に相当する。このことから、葉枯らしをより効果的に行うには枝葉はできるだけ

表-4 伐倒時および葉枯らし50日経過後における原木の推定含水率(概算値)

単位: %

樹種	時期	夏季			秋季		
		辺材	心材	平均	辺材	心材	平均
ヒノキ	伐倒時	180	35	105	150	35	80
	葉枯らし50日	75	30	50	110	35	70
スギ	伐倒時	150	70	100	170	90	140
	葉枯らし50日	50	70	60	120	80	100

注: 二番玉の含水率を想定したもの。

除去しない方がよいといえる。ただし、乾燥が進行するに従って枝は硬くなり、造材時の枝落し作業が困難になることを考慮すれば、伐倒時にある程度の枝打ちを行うことの方がより現実的と思われる。

6. 巻枯らし材の含水率変化

夏季および春季にヒノキ、スギ材各3個体を巻枯らし処理し、平行して行った葉枯らしの終了時に伐倒して円板の含水率を調べた。事情により夏季は地上高約30cmの部分の円板を、春季は地上高約1mの部分の円板を用いた。測定の結果、夏季の場合、ヒノキ材の含水率は65%、スギ材は125%であった。また、春季の場合、ヒノキ材は73%、スギ材は147%であった。このことから、巻枯らし材は葉枯らし材に比して乾燥状態は不良であるといえる。とくにスギ材は初期含水率が高いこともあり、約70日程度の巻枯らしでは大幅な含水率低下は期待できないと考えてよい。なお、伐倒時の葉の色はほとんど生材のそれに近く、一見して乾燥が進行していないことが伐倒前から予想された。

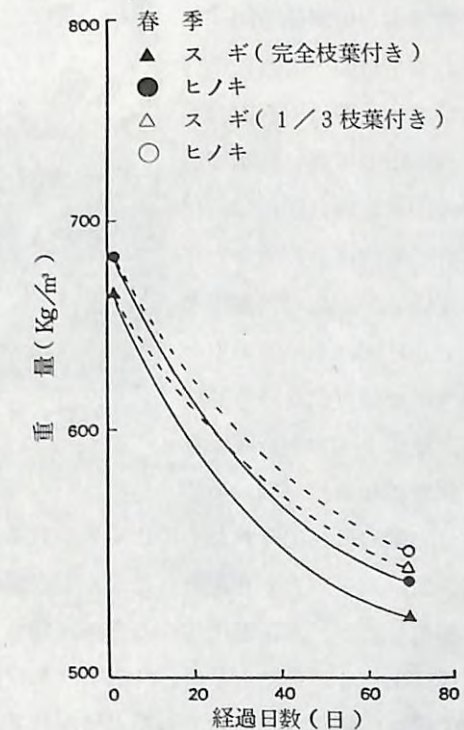


図-6 枝葉の付着量の違いによる単位材積当たりの重量減少経過

7. 葉枯らし放置材の天地側の含水率

林内に伐倒放置した葉枯らし材樹幹の地面に面した側(地側)と上部(天側)とで、含水率が異なるかどうかを調査した。春季に約70日間葉枯らししたヒノキ、スギ材各15個体について、二番玉の両端から円板を採取し、円板の天地の側を区別して含水率を測定した。同一円板内であっても部位によって含水率が異なるので、15個体の平均値で比較した。その結果、ヒノキ材の場合、天側が82.3%、地側は85.0%、スギ材では天側が62.8%、地側が77.8%で、いずれも地側の含水率の方がやや高いことがわかった。このことから、水分の蒸散は葉部からのほかに樹幹部からもある程度行われることが推測される。

8. 木工錐（リングオーガー）試料による含水率測定精度

木工錐の形状は直径30mm、刃の部分の長さ約30cmである。これによって樹幹に直角に樹心部まで切り込み、排出される木屑を迅速にポリエチレン袋に採取し、含水率を測定した（写真4）。木屑試料によって求めた含水率と、至近部分から得た円板の含水率との関係を図-7に示す。ヒノキ、スギ材のいずれについても、木工錐試料の含水率は円板の含水率より低めであり、とくに高い含水率域において両者の差が著しい。図には辺材部と心材部とに分けて測定した値が入り混じって示されているが、高い含水率の測定点は主として辺材部のものである。高い含水率の場合には材が軟かいので切削しやすい反面、錐によって水分が絞り出されるような状態になる。このために含水率は実際よりも低めに測定されたものと考えられる。また、辺材部は心材部よりも木屑の絶対量が少ないため、測定誤差が大きく現われたことも影響している。第1回目の試験の際には直径約5mmの生長錐を使用した。木工錐に比べると測定精度は問題にならないほど不良であった。以上の結果から、円板によらない葉枯らし材の含水率の測定法としては、本試験で用いたような直径の比較的大きな木工錐が、軽便で効果的であると思われる。



写真-4 木工錐（リングオーガー）による含水率測定用試料の採取

一方で、樹幹の同一円周上でわずか1～2個所から木屑を採取する方法は、部位による含水率のばらつきを考えると大いに疑問である。従って、葉枯らし材の乾燥経過をより正確に把握するには、最終的には円板によらざるを得ないであろう。

9. 葉枯らし材の乾燥経費節減効果の試算

一連の測定結果に基づき、葉枯らし原木から製材品を採取した場合に、生材原木から得た製材品と比較してどの程度の乾燥経費の節減が見込まれるかを検討してみる。簡単のため、ここでは心持ちの12cm柱角を例にとって試算することにする。試算に当たり、12cmの柱角は一般にヒノキ材では直径16～18cmの原木から、スギ材では18～20cmの原木から製材されるものと想定すると、柱角の横断面における心材率（面積比率）は、ヒノキ材で85～95%、スギ材で60～70%と推定される。次いで、乾燥日数や経費試算に必要な資料として、除湿乾燥法によって生材を乾燥する際の所要日数および経費試算例を表-5に示す。本試験で扱った葉枯らし材の樹幹径は上記柱角適寸材の径よりも大きい。これによって以下の推論に大きな矛盾は生じないと考えてよい。

いま、柱角（製材品）の心材率をヒノキが90%、スギが65%と仮定し、表-4、5の資料を勘案

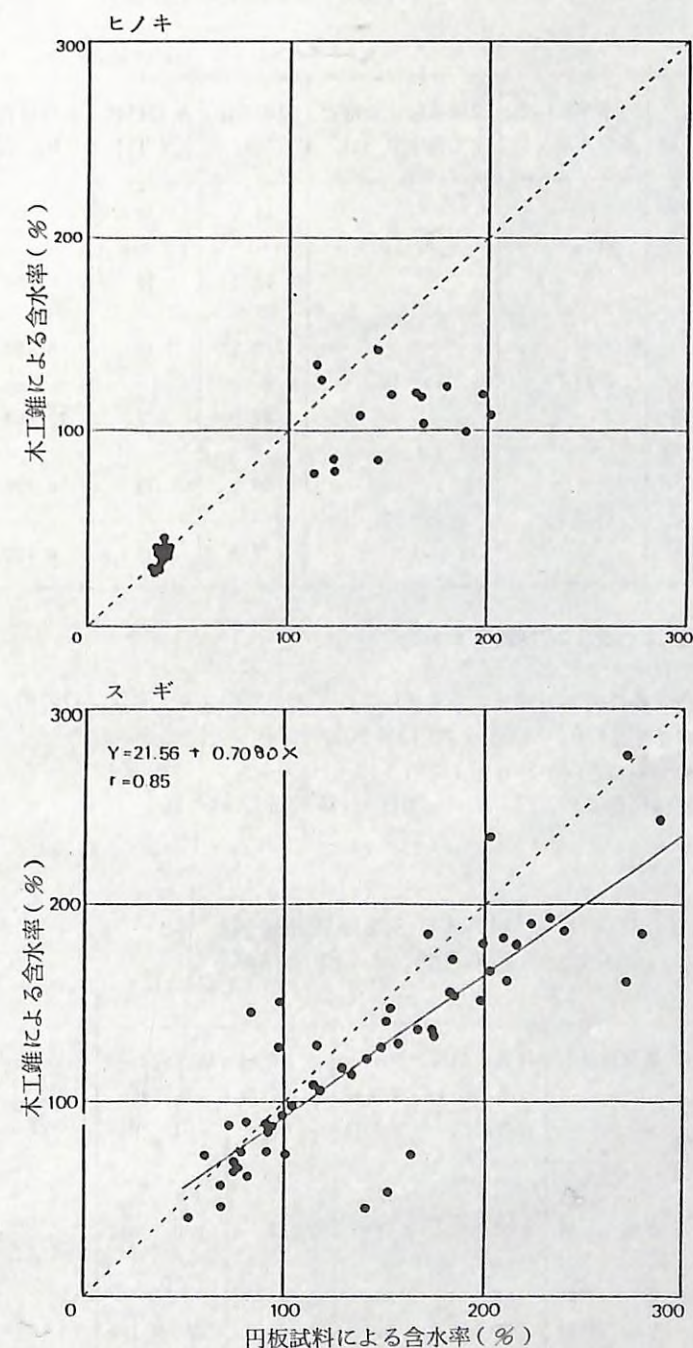


図-7 木工錐試料と円板との含水率の違い

して、50日間の葉枯らし材から製材した柱角の乾燥日数および経費の低減額を算定すると表-6のようになる。この場合、乾燥によって仕上げるべき目標含水率を、ヒノキ材で20%以下まで、スギ

表-5 心持ち柱角(生材)の除湿乾燥経費概算

(昭和62年現在)

樹種	初期含水率(%)	含水率計による含水率(%)	全乾法による推定平均含水率(%)	公称寸法(cm)	所要日数(日)	乾燥経費(円/㎡)
ヒノキ	50	20以下	20-30	10.5	10	5,600
				12.0	12	6,800
スギ	110	20以下	25-40	10.5	17	9,600
				12.0	22	12,400
		25以下	30-55	10.5	12	6,800
				12.0	15	8,400

算定基礎

- (1) 設備償却, 金利, 管理費含まず。
- (2) 乾燥室14㎡×2室
人件費(操作者30万円×0.3+棧積み作業員1万円×8人日): 17万円/月
電力料等(15,000kwh×20円): 30万円/月
月額単価(17万円+30万円): 47万円/月
日額材積単価(47万円÷28㎡÷30日): 560円/㎡・日

表-6 葉枯らし材の人工乾燥経費節減効果
(12cm心持ち柱角についての試算)

樹種	製材用原木	柱角の初期含水率(全乾法)(%)		人工乾燥(除湿式)	
		夏季伐倒	秋季伐倒	低減日数(日)	低減経費(円/㎡)
ヒノキ	生材	50	47	2-4	920-1,840
	葉枯らし材	40	44		
スギ	生材	100	120	3-6	1,380-2,760
	葉枯らし材	65	95		

注 心材率: ヒノキ90%, スギ65%とする。

乾燥の仕上げ含水率: ヒノキ20%以下, スギ25%以下の場合。いずれも電気式含水率計による。

人工乾燥経費単価{(電力料30万円+人件費9万円)/28㎡×30日}: 460円/㎡・日

材で25%以下まで(いずれも電気式含水率計による)と想定している。

表-6の試算例から明らかなように, ヒノキ材の製材品は, 元来, 辺材率が小さいために生材であっても初期含水率が比較的低いことから, 葉枯らしによる乾燥経費の節減比率はスギほど大きくはないといえる。なお, この試算は多くの仮定や推測を前提となされているため, 事情のそれぞれ異なる工場によっては, 必ずしも実態と一致しないこともあり得る。

10. 今後, 葉枯らしを進めて行くに当たって

このたびの試験結果や既往の成果などを勘案し, 今後, 葉枯らし作業を進めて行くに当たって留意すべき点を, 以下に箇条書きで記す。

- (1) 木材の乾燥という視点からすれば, 葉枯らし期間は40~50日ではほぼ目的は達せられる。
- (2) 枝葉は伐倒時にある程度除去してもよいが, 梢端部(樹高の10~15%に相当する部分)の枝葉は除去しない方がよい。
- (3) 樹皮付き材の場合は, 虫害を避けるため放置期間が梅雨期にかからないようにする。
- (4) 積雪地方の冬季の葉枯らしは, 乾燥の効果は少ない。
- (5) 葉枯らし材の伐倒に当たっては, 日照や通風の良好な場所を選び, 互いの枝葉が重ならないようにする。
- (6) 短期間(2~3ヶ月)の巻枯らしは乾燥の効果が少ないばかりでなく, 巻枯らし処理した大径材は風倒の危険がある。

成果の公表

1. 佐藤, 鷺見, 中野: 葉枯らしによる素材の林内乾燥(第1報), 第36回日本木材学会大会要旨集, 270(1986.4)
2. 林試乾燥研: 葉枯らし試験に関する中間報告書(於林野庁), (1986.8)
3. 齋藤, 鷺見, 佐藤, 中野: 葉枯らしによる素材の林内乾燥(第2報), 第37回日本木材学会大会要旨集, 92(1987.4)

関連文献

1. 森庄一郎: 吉野林業全書, 247pp., 伊藤盛林堂(1893)
2. 農商務省山林局編: 木材ノ工芸的利用, 1308pp., 大日本山林会(1911)
3. 清水元: 秋田杉と葉枯らしに関する参考資料, 林曹会報No.177, 秋田大林区署, 1-45(1931)
4. 大島愨郎: 葉枯材の色に就いて, 林曹会報No.179, 秋田大林区署, 9-19(1931)
5. 矢沢亀吉: ヒノキ, サワラ樹体各部に於ける生材比重, 含水率, 絶乾比重, 収縮率及辺・心材等に就いて, 岐阜農林専門学校学術報告 第52号, 1(1944)

- 6.矢沢亀吉：スギ樹幹及枝条に於ける辺・心材別の生材比重，絶乾比重，生材含水率並に体積収縮率等に就いて，岐阜農林専門学校学術報告 第68号，1（1950）
- 7.長岐喜代次：秋田杉への郷愁，228pp.，東北紙工（1969）
- 8.榊源助：わが吉野川上林業，151 pp.，大日本山林会（1970）
- 9.岩田，野原，大塚：スギ，ヒノキ丸太の林内乾燥について，岐阜県林業センター研究報告No.9，49-59（1981）
- 10.鷺見博史：見直される葉枯し・巻枯しによる素材の乾燥，林業技術No.524,11-14（1985）
- 11.阪井茂美，山本雅彦：スギ丸太の林内乾燥試験，徳島県林業総合技術センター研究報告No.23，2-8（1985）
- 12.菊池，大山，遠藤：葉枯らし材等の生産・販売について，昭和59年度業務研究発表集，秋田営林局，1-6（1985）
- 13.曾我忠行：葉枯らし乾燥材の生産・販売について，昭和59年度業務研究発表集，東京営林局,116-118（1985）
- 14.小川義信：人工林ヒノキにおける葉枯らし材生産の考察，昭和59年度業務研究発表論文集，名古屋営林局，109-113（1985）
- 15.井口三郎：スギの巻枯しによる付加価値の向上試験について，昭和59年度業務研究発表集録，大阪営林局，132-133（1985）
- 16.谷本明夫：葉枯らし材生産による販売メリット増加策，昭和59年度国有林野事業に関する技術開発研究考案発表集，高知営林局，52-53（1985）
- 17.横田作苗：収入の増加対策と実行結果，同上，54-55（1985）
- 18.岡本光貴：スギ葉枯らし材の生産と販売結果，昭和60年度国有林野事業に関する技術開発研究考案発表集，高知営林局，156-159（1986）
- 19.阿萬太：葉枯らし材の生産と販売結果，同上，160-161（1986）
- 20.渡辺実，長谷川肇：乾燥材（巻枯らし）生産について，昭和60年度業務研究発表集，秋田営林局，44-47（1985）
- 21.両角実：葉枯らし材生産の一考察，昭和60年度業務研究発表論文集，名古屋営林支局，41-47（1986）
- 22.太子・水戸営林署：販売価格から見た葉枯らしの効果，昭和60年度技術開発実施報告書，東京営林局，126-131（1986）
23. J. Vissen, H.F. Vermass : Biological - Drying of Pinus Radiata and Eucalyptus Cladocalyx Trees , Jour. of The Inst. of Wood Science 10(5), 197 - 201, South Africa (1986)
- 24.逸見享：伐採木の林内乾燥による経済効果試験，昭和58年度愛媛県林業試験場業務報告書，45-46（1987）

- 25.松園暢方：巻枯らしによる素材乾燥と有利販売，昭和61年度大阪営林局創立100周年記念業務研究発表集録，大阪営林局，166-170（1987）
- 26.杉田一成：スギ材の葉枯し乾燥，木材の乾燥講習会テキスト（宮崎県），7-11（1987）

I 試験担当者

林産化学部抽出成分研究室	林	良	興
”	大	原	誠
”	加	藤	厚

(研究協力機関)

林産化学部化学加工研究室

東京営林局

水戸営林署

大子営林署

II 試験目的

葉枯らし(葉干し)或いは穂枯らしは、林木を伐倒後枝葉を付着したまま林内に放置し、葉の蒸散力を利用して材の乾燥を促す方法をいう。葉枯らしは元来、人力に頼っていた運材作業を容易にするため行われた。40日間の葉枯らし処理で材重量の平均2割程度の重量減少が報告されている。¹⁾ 葉枯らしの効果は乾燥のみでなく、心材色は鮮明になり、辺心材共に光沢が良くなる(秋田地方)^{1,2)} とか、心材が増加する(吉野地方)と言い伝えられている。そのため「アク抜き」、「シブ抜き」とも称され、材の外観を重要視する酒樽材生産や床柱生産のために実行されたことがある。

林野庁では、近年に於ける材価低迷を打開する一策として高品位材の生産を目的として葉枯らし材の生産を試み、乾燥材であることと同時に、色、艶等の外観も良いと一定の評価を得ているようである。⁴⁻¹¹⁾ しかし、葉枯らし処理の効果を積極的に推める既往の科学的なデータはほとんど無い。特に、材成分の変化について研究した例は見られない。著者らは東京営林局、水戸営林署、大子営林署の協力を得て葉枯らし材の化学的材質評価を行うための基礎的資料を得て技術体系を確立するために供する目的で昭和60、61年度の二年間で研究を実施した。

葉枯らし効果を樹木生理的に見れば、樹木は伐倒後一定期間生きており、生理的機能を持ったまま急激に水分を失って、遂に機能を停止する変化の過程と捉えることができる。樹木の水分減少による生理的变化が成分に及ぼす影響はエチレンが最も顕著と見られるが、エチレンは心材(成分)形成や変色材形成の引き金になっていると考えられている。^{12,13)} また、外因による樹体の傷害でエチレンが生産されることが知られている。樹木に対し外部からエチレンを投与した際は着色材が形成されa)デンプンの消失、b)脂質含有量の増加、c)フェノール含有量の増加、d)着色材の形成部位及びその近傍の細胞中ではパーオキシダーゼ、フォスファターゼ、リパーゼ、ATPアーゼ、スクシネートデヒドロゲナーゼ等の蓄積が観察されている。¹⁴⁾

心材形成では水分減少によるストレスや炭酸ガスストレスによりエチレンが発生し上記のような酵素系が誘導され、代謝系が切り替わり、デンプンなどの貯蔵物質が心材物質形成に転換されると Hillis¹³⁾ は提唱している。スギ材には数種のノルリグナン類が含有され心材色と密接な関係があると考えられている¹⁵⁾。ヒドロキスギレジノールは酵素酸化により高分子の心材色と同様の性質を示す成分に変換される¹¹⁾。また、辺材部における虫害や腐朽菌による変色現象とノルリグナン類との関係が研究されている¹⁶⁾。

これらの既往の成果を背景に、本研究では葉枯らしの効果を、伐倒後の樹体成分の変化量を対照木と比較することにより評価した。伐倒現場での内生エチレンの測定は困難であるので、色、艶等に関与し、伐倒後に変化すると推定される 1) 含水率、2) デンプン含有量、3) 全脂質量 (ベンゼン抽出物量)、4) メタノール抽出物量、5) 全フェノール性物質質量 (メタノール可溶性蛋白質も含む) を定量し、それぞれ比較を行った。さらに、材色を測定し対照区材と比較した。

Ⅲ 試験の経過と得られた成果

1. 研究方法の概要

1) 試料の採取方法

東京営林局水戸営林署管内の茨城県と栃木県の境界に位置する鷲子山国有林の76年生スギ造林地を試験地とした。凹地形のほゞ等高線沿いに成長の類似したスギ25本を選び、番号を付した。第1回目、1985年7月31日にスギ15本を伐倒した。その中の5本 (I群, 31/J) について元口 (I-1) 及びそこから4m毎 [(I-2), (I-3)] の部位で40cmの試料を採取し、第1回目の試料とした。残りの10本は葉を付けたまま林内に放置し葉枯らしを行った。約1ヶ月後の9月3日 (II群, 3/S) 及び3ヶ月後の11月8日に同様に玉切りし (III群, 8/N) 葉枯らし試料を採取した。それぞれ試料採取した同じ日に、新たにスギ5本づつを伐倒し、上記同様に玉切りして対照区試料 [(IV, 3/S), (V, 8/N)] を採取した。試料は玉切りした後、乾燥を防ぐため、直ちに、ゴム系速乾性ボンドを木口へ塗付し、ビニール袋に入れて搬送し、サンプル調製を開始するまで4°Cの低温室へ保管した。

2) 試料の調製及び分析法

製材の際、始めに接着剤を塗付した両側1/3をチェーンソーで切断除去し、次に帯鋸盤で分割し、材色測定用、含水率測定用、白線帯、心材、辺材の試料を採取した。含水率測定は、製材後直ちに105°Cの乾燥器に48時間入れて行った。材色測定用試料についても、直ちに70°Cで48時間乾燥させ、成分を不活性化した後、調湿室 (RH, 75%) に置き調湿した。

抽出成分分析用試料は以下のように調製した。回転かんな機を用い、辺、心材の各木口削片を作り、これを電子レンジに3分間かけた後、一昼夜風乾させた。次に家庭用ミキサーと遠心粉碎機で木粉とし、あらかじめ含水率を測定して、ベンゼン及びメタノールで逐次抽出した。抽出にはソックスレー抽出器を用いた。メタノール抽出物は、少量のメタノールで再

溶解し、水で一定量にして、Lowry法¹⁷⁾によりフェノール量を定量した。

一方、調製した木粉を更に自動ふるい機にかけ、150メッシュを通過した細かいふるい分を集め、これをデンプン定量用試料とし、分析に際し、含水率を測定した。デンプンの定量法は過塩素酸抽出/ヨウ化カリ比色法¹⁸⁾によった。材色測定は試片表面を平滑に削り、RH75%, 22°Cで調湿した後、デジタル測色色差計算機 (AUD-SCH-3, スガ) を用い、直径3cmの測色窓で心辺材別に測色し、L* a* b*法で表示した。各試験区の5個体の部位各のL* a* b*値の平均値を算出した。

2. 得られた成果の概要と検討

7月31日伐倒して、直ちに玉切りした試料 (I群)、そのまま1ヶ月葉枯らし処理し9月3日に玉切りした試料 (II群)、同様に、3ヶ月葉枯らし処理し、11月8日に玉切りした試料 (III群)、II群を玉切りした日に立木を伐倒し採取した対照試料 (IV群)、および、同様にIII群の対照試料 (V群) 各5本計25本から夫々3部位で試片を採取した。試片を辺・心材に分割し計150個の試料について6項目の分析を実施した。データは部位、個体により変動したので、各群毎の辺心材別のデータの平均値およびその区間推定 ($\alpha = 0.05$) をおこない、比較した (図-1~6)。材色については各群毎に3部位の夫々のL* a* b*値を平均し、図上にプロットして3点の位置およびそれにより囲まれる領域を比較した (図-7)。

1) 含水率

今回の試験では含水率測定用試片の採取を移行帯を挟んだ辺心材を混合した部位としたため、もともと移行帯の含水率は低いと云われ、又、帯幅も一定でないため材全体の含水率は正確に比較できる値は得られていない (図-1)。しかし、葉枯らし法の乾燥効果は既往の結果でも20~30%程度の含水率の減少が報告されており今回の試験でも1ヶ月で平均10.5%、3ヶ月で27%の減少がみられた。辺心材毎に測定すればさらに大きい値が得られると考えられる。

2) デンプン含有量

葉で光合成されたグルコースは樹体内各所に輸送されて樹体の形成に用いられるが、過剰になると辺材柔組織中にデンプンとして貯蔵される。辺材部でのデンプン含有量の変化は甚だ大きい結果が得られた (図-2-A)。対照区生立木の辺材中では既に蓄積されたデンプンと常に供給されるそれとで含有量は増加しつづけている。特にIV (3/S) からは急激に増加してV (8/N) ではI (31/J) の約2.8倍に達している。これはIからIVの時期は材形成に消費されていた転流糖がこの頃から蓄積に切換えられたことを示している。他方、葉枯らし区ではIで伐倒後、針葉から糖の供給が途絶え、それでも辺材部では生理機能を維持し続けているので、それまでに辺材柔組織中に存在するデンプンが分解、消費されて多様な二次代謝がおこなわれるためデンプン含有量はI→II→IIIと減少、使い盡されていく結果とな

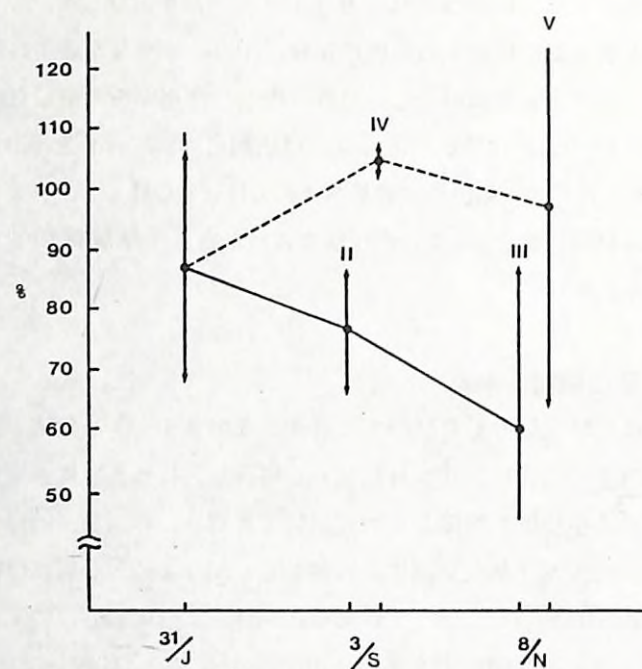


図-1 含水率の変化

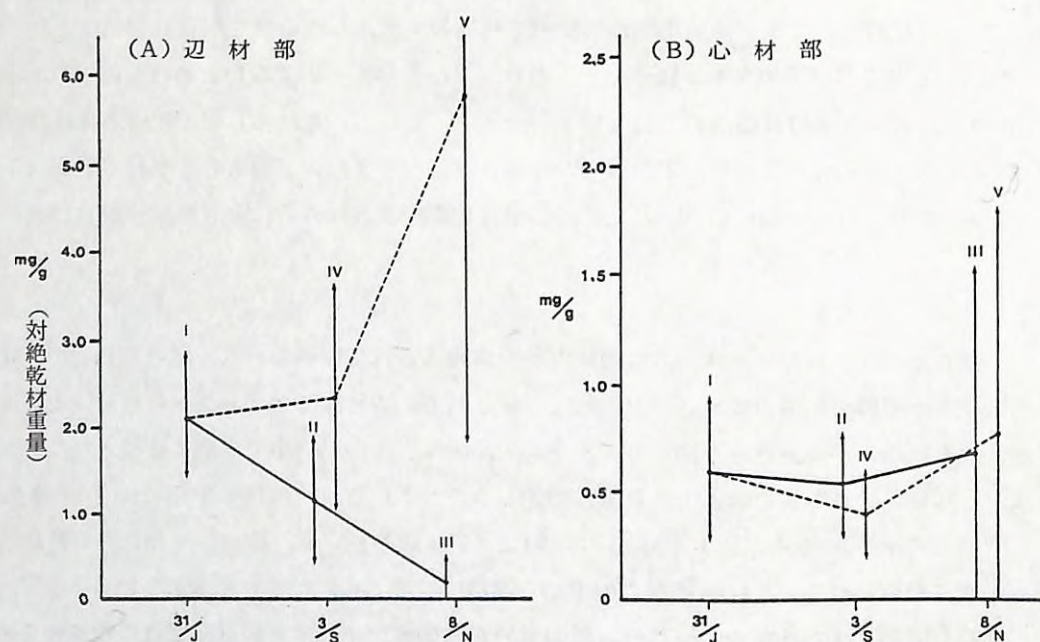


図-2 葉枯らし材および対照区材のデンプン含有量（絶乾材 1g 中のデンプン含有量で示す）・I：7月31日伐採新鮮材，II：1ヶ月葉枯らし区，III：3ヶ月葉枯らし区，IV：1ヶ月対照区新鮮材，V：3ヶ月対照区新鮮材

っている。

心材部は死んだ組織であり，一般には生理機能はないとされる。得られた結果（図-2-B）では対照区，葉枯らし区共デンプン含有量の変化はほとんど無く一般的知見を裏付けている。

3) ベンゼン抽出物（全脂質量）

ベンゼン可溶部は，通常，脂肪酸類や樹脂酸類，テルペン，エステル類等で構成されている。得られた結果（図-3-A, B）では，対照区においても葉枯らし区においても辺心材共に同じ変化のパターンを示した。辺心材部（図-3-A）では両群の統計量的差は見られないが，平均値では季節及び時間と共に抽出物量は微増している。最終的にIIIとVにおいて対照区の方が含有量が大きくなったのはデンプン供給力のちがいと共に，立木にあっては生命活動を維持しつづけて蓄積されるのに対し，葉枯らし材では生理機能が低下ないし停止したことの現れであろう。心材部（図-3-B）ではI（31/J）の含有量と比べ他の時期では抽出物の減少が見られた。この時期の対照区と葉枯らし区での差は殆んど無い。この頃になると立木でも水分流動が殆んど停止して成分の移動も無くなり，さらに成分の高分子化が起って溶出され難くなることも考えられる。

4) メタノール抽出物

辺心材のそれぞれにおいて対照区，葉枯らし区共類似した成分変動を示す。辺心材部（図-4-A）では31/J から 3/S にかけて含有量が増加（I～IV）または横這いの後，8/N

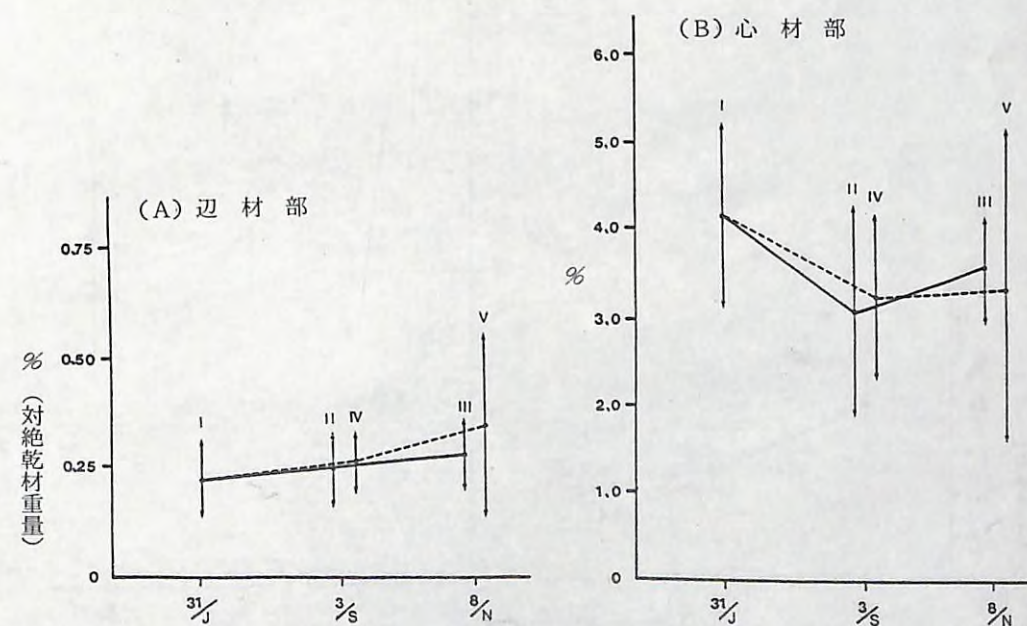


図-3 葉枯らし材および対照区材の総脂質含有量（ベンゼン可溶部）・I：7月31日伐採新鮮区材，II：1ヶ月葉枯らし区，III：3ヶ月葉枯らし区，IV：1ヶ月対照区新鮮材，V：3ヶ月対照区新鮮材

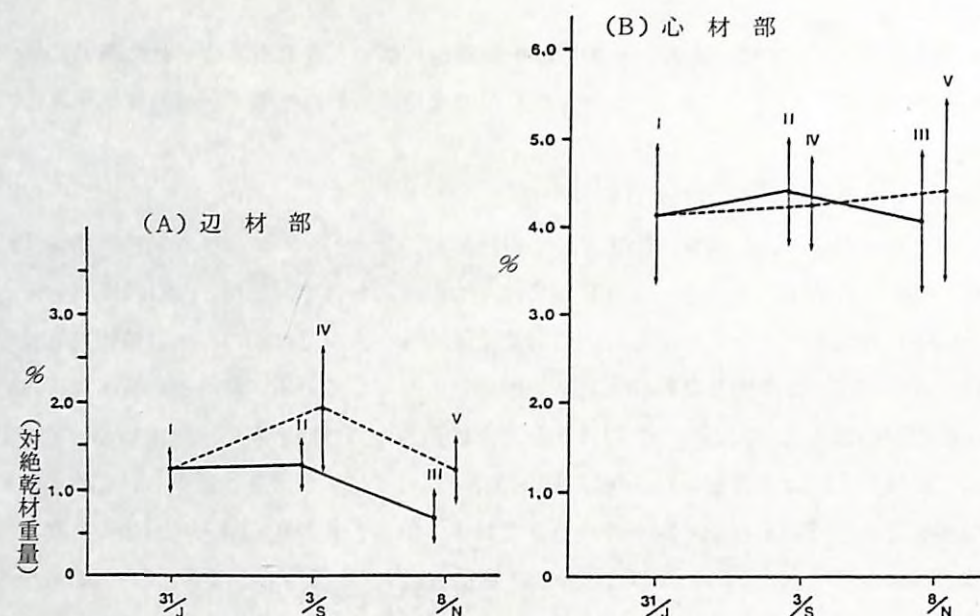


図-4 葉枯らし材および対照区材のメタノール抽出物含有量。I：7月31日伐採区新鮮材，II：1ヶ月葉枯らし区，III：3ヶ月葉枯らし区，IV：1ヶ月対照区新鮮材，V：3ヶ月対照区新鮮材

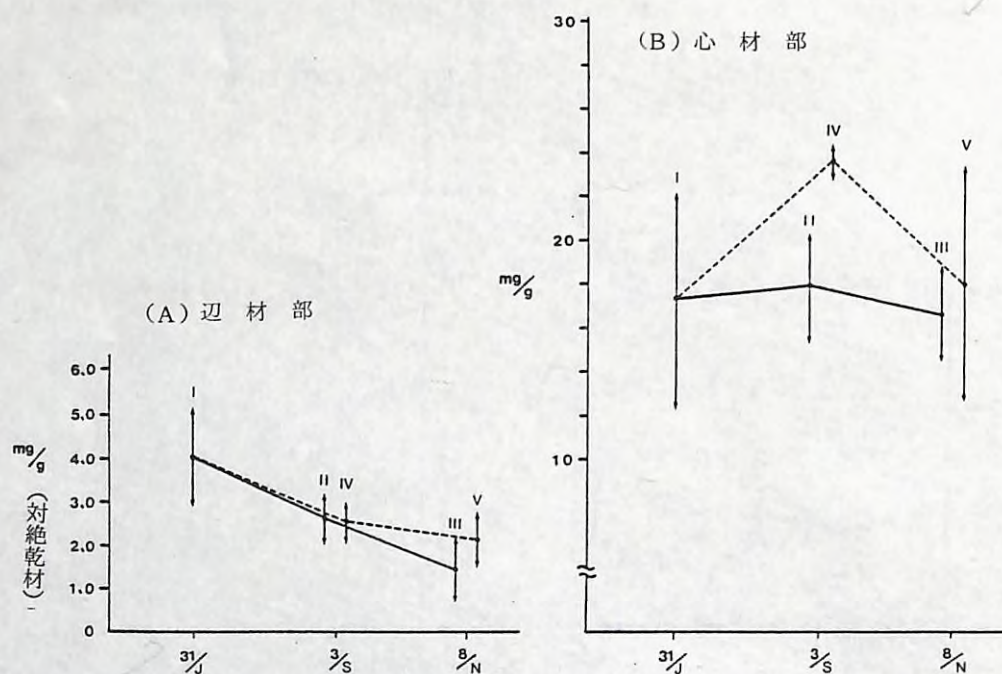


図-5 葉枯らし材および対照区材のメタノール抽出物中の全フェノール含有量（絶乾材1g当りの含有量で示す）。I：7月31日伐採新鮮材，II：1ヶ月葉枯らし区，III：2ヶ月葉枯らし区，IV：1ヶ月対照区新鮮材，V：3ヶ月対照区新鮮材

に向って減少する。この抽出物中の全フェノール量を測定すると図-5 Aに示すように両区共31/J から減少している。メタノール抽出物から全フェノール量を除去した抽出物量を図-6に示した。31/J から3/Sにかけて観測された対照区の抽出物量の増加は非フェノール性成分によるものであり、糖の存在量と密接な関連があるものと見られる。これは葉枯らし区で抽出物量が増加せず、横這いとなっていることからも推定される（図-4-A）。心材部のメタノール抽出物量（図-4-B）は殆んど変化が無いが、平均値では対照区において季節と共に微増し、葉枯らし区では最終的に微減している。この成分内容で、全フェノール量（図-5-B）は全体の変動パターンは類似しているけれども、対照区立木のIV（3/S）において明らかに増加して他とは有意の差を示している。このメタノール抽出物量は二群間に差が無いところから（図-4-B，図-6），この時期に多量の遊離フェノールが存在し、その後、不溶性の重合物に変化したか、または、何らかの不溶化の機構が形成されたかも知れない。葉枯らし区でこの様な顕著な傾向が見られない理由は、葉枯らし材では水分通導停止の時期がもっと早いと考えられる。

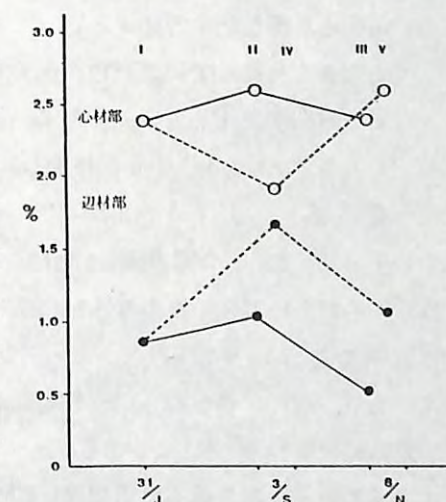


図-6 メタノール抽出物中の非フェノール性物質

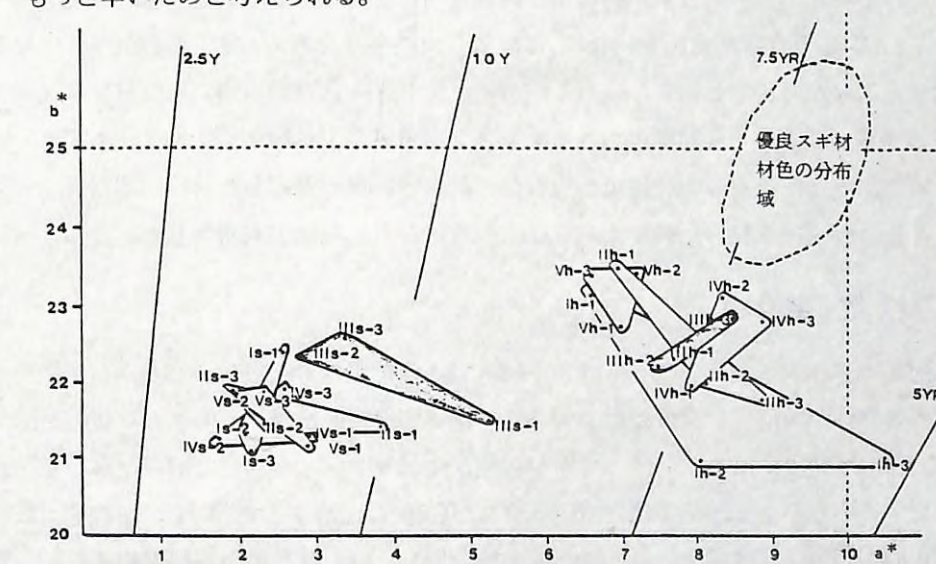


図-7 葉枯らし材および対照区スギ材の材色。I：7月31日伐採区新鮮材，II：1ヶ月葉枯らし区，III：3ヶ月葉枯らし区，IV：1ヶ月対照区，V：3ヶ月対照区，s：辺材，h：心材，1：地上0.5m，2：地上4.7m，3：地上9.1m

5) 材 色

辺材部の材色(図-7, Is—Vs)は葉枯し区で特徴ある変化を示した。I, IV, Vの対照区群では a^* (2.1~2.6), b^* (21.5~21.8)を中心に材色が分布しているのに対し、葉枯らし区ではⅡsが a^* (4)と黄色度が増えはじめ、Ⅲs(3.7, 21.2)では完全に他の群とは隔って a^* (赤色度), b^* (黄色度)共大きい値となっている。葉枯らし材では対照区よりも赤色、黄色とも深色化する結果となっている。心材部材色の変化(図-7, Ih—Vh)はI群において大きく分散していた材色が季節的にも葉枯らし処理によっても赤色度が減少し黄色度が増加する方向へ変化している。季節的対照区ではIh(8.2, 21.7)→IVh(8.4, 22.9)→Vh(6.9, 23.2)と中心が移動しより深色化するのに対し、葉枯し区ではIh(8.2, 21.)→Ⅱh(8.0, 22.5)→Ⅲh(8.0, 22.6)とほぼ一定の位置に収斂した。

以上の結果から、今回実施した葉枯らし処理は、試験時期を一年のうち、スギの生長期から生長休止—心材形成期に丁度重なる様に選んだため、季節変化による成分変動と葉枯らし処理による成分変動がほぼ類似したパターンを示す結果となった。従来、心材部では生理的に死んでおり、季節にかかわらず成分変動がないと考えられてきたが、非生理的であれ季節的には一定の成分変動のパターンがあることが示された。これは酵素、あるいは含有水分、酸素等の影響によるものと推定される。予想通り葉枯らし区の辺材部でデンプン含有量が減少する一方、辺材部のベンゼン抽出物は減少せず遊離フェノール量が減少する事実、さらに、辺材色が葉枯らし処理で黄赤色方向に深色化すること等から、経験的に従来から云われてきた「艶が良くなる」、「シブが抜ける」、また「心材が増える」等の葉枯らし処理の効果については或る程度支持できる結果となった。また、心材色が対照区で季節的により黄色方向に深色化するのに比べ、葉枯らし処理では一定の材色(7.5YR, 優良スギ材色と同色相)に収斂した結果から考えると「黒心が赤心になる」といった口承もあながち否定し切れないものがある。デンプン含有量の高い木材はクイムシや青変菌の被害が多いことから辺材部におけるデンプン含量の減少は耐久性を増すとも考えられる。

以上を総括すると乾燥や辺心材材色の均質化、耐久性の良い安定した材質の木材を生産するといった観点から考えると葉枯らし処理はある程度の改善をもたらすと判断された。

IV 残された問題点

今回行った研究は葉枯らし区と対照区の成分を統計的に比較する方法に依ったが、対象試料が造林木であっても各個体の遺伝的形質の変動が大きく一定ではない。今後、この様な形質の集団的比較により葉枯らし効果を研究するには、同一母樹から押木により増殖した形質の揃った林分を選定して研究する必要がある。また、1個体内で伐倒直後から葉枯らし終了までの期間に連続的、或いは定期的に葉枯らし処理のもたらす成分、材色等への各種効果を分析するための試料採取法ないし研究法の創案が必要であろう。さらに、内生エチレンや変色成分の詳細な追跡や季節を変えての試験も葉枯らし効果の正確な評価のために実施される必要がある。

おわりに

表記した各協力機関の各位および研修期間中に実験に協力された福岡県大川工業試験場古田正範氏に深謝申し上げます。

V 研究発表

- (1)林良興, 大原誠資, 古田正範, 基太村洋子, 黒須博司: 葉枯らし材の化学的評価。「スギ葉枯らし材の成分と材色変化」, 第36回, 日本木材会発表要旨, 332頁(1986).
- (2)林良興, 大原誠資, 古田正範, 黒須博司, 基太村洋子: スギ葉枯らし材生産過程における材成分と材色の変化, 木材学会誌投稿中.

文 献

- 1) 清水 元: 秋田杉と葉枯しに関する参考資料, 林曹会報(秋田営林局), (177), 1~45(1931).
- 2) 大島 生(愨郎): 葉枯し材の色について, 林曹会報, (179), 9~19(1931).
- 3) 榊 源助: わが吉野川上林業, 大日本山林会(1970). [松山将壮, 木材工業, 40(9), 8~13(1985).]
- 4) 両角 実: 葉枯し材生産の一考察, 業務研究発表集(名古屋営林局)41~47(1985).
- 5) 菊地和俊, 大山末治, 遠藤隆之: 葉枯し材等の生産・販売について, 業務研究発表集(秋田営林局), 1~6(1984).
- 6) 曾我忠行: 葉枯し材(林内乾燥材)の生産・販売について, 業務研究発表集(東京営林局), 116~118(1984).
- 7) 小川義信: 人工林ヒノキにおける葉枯し材生産の考察, 業務研究発表集(名古屋営林局), 109~113(1984).
- 8) 井口三郎: スギ巻枯しによる付加価値の向上試験について, 業務研究発表集(大阪営林局), 132~133(1984).
- 9) 阿萬 太: 葉枯し材の生産と販売結果, 業務研究発表集(高知), 160~161(1985).
- 10) 谷本明夫: 葉枯し材生産による販売メリット増加策, 業務研究発表集(高知営林局), 52~53(1984).
- 11) 横田作苗: 収入の増加対策と実行結果, 業務研究発表集(高知営林局), 54~55(1984).
- 12) N. D. Nelson: Xylem ethylene, Phenol-oxidizing enzymes, and nitrogen and heartwood formation in walnut and cherry, *Can. J. Bot.* 56, 626~634(1978).
- 13) W. E. Hillis: "Secondary Changes in Wood", in "The Structure, Biosynthesis, and Degradation of Wood", ed by F. A. Loewus and V. C. Runeckles, P. 247, Prentice Hall Press(1977).

- 14) J.D.Patel and K.V.Bhat : Induction of discolored wood in *Samanea saman*,
IAWA *Bulletin* vol. 5 (2), 152 (1984).
- 15) Y.Kai, F. Teratani : 木材誌, 23, 499 (1977).
- 16) 高橋孝悦, 荻山絃一 : スギ傷害材のフェノール性成分 (第3報), 木材誌, 31(8), 677—683
(1985).
- 17) 菅原 潔, 副島正美 : 生化学実験法 7, 蛋白質の定量法, 1977, P. 95
- 18) F.R.Humphreys and J.Kelly : A method for the determination of starch in wood,
Anal Chim. Acta., 24, 66—70 (1981).