

受入ID: 1519990825D00045

昭和 54 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 55 年 12 月



02000-00043100-5

林業試験場

昭和 54 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. リモコン自動制御機及び造林用作業機	1
2. 立地条件に応じた路網作設法	61
3. 豪多雪地帯の造林技術の体系化	71
4. 成木施肥の体系化	103
5. 林業薬剤の環境に及ぼす影響と合理的な使用法	121
—殺そ剤—	
6. 崩壊危険地帯における保全的森林施業法	135
7. 急斜法面における緑化工法	185
8. 亜高山荒廃地域における緑化工法	213
9. 海岸緑化技術の確立	233
10. 治山ダムクラックの発生要因及び開口変位量の分析	257

リモコン自動制御機及び
造林用作業機

リモコン自動制御および造林用作業機

本技術開発試験研究については、一部報告ずみのものをのぞいて、おおよそ年代順に、

第1章 リモコン自動制御およびトラクタ

第2章 造林用作業機

に大別して、開発改良した各種機械の仕様概要・機械性能・作業性能等について、えられた成果を報告する。

I 試験担当者

機械化部	山脇 三平
" 機械科	兵頭 正寛
" " 機械第2研究室	三村 和男
" " "	鈴木 皓史
" " 林道研究室	福田 章史

II 試験目的

林業作業者の後継者不足から、老齢化がすすみ、各種の条件がからんで、林業生産の停滞が問題視されている。このため林業作業の労働強度の軽減および省力を伴った労働生産性の向上が重視され、その手段として、林業機械の自動制御化・リモートコントロール化による安全無公害化も達成した生産性の向上が切望されている。よって無線あるいは有線によるリモートコントロール方式の開発・改良試験を開始し、着々成果をあげつつある。また木寄せワインチつきフォーワーダ、間・抾伐・小面積皆伐地の集材に適した小形ホイールトラクタおよびリモコンワインチつきホイールスキッタの試作を実施し、試作各機の機械および作業性能をあきらかにした。油圧チーンソー式伐倒機の輸入・国産両機の機械性能をあきらかならしめ、この種トラクタ伐倒機の国産化に役立つ基礎資料を獲得したほか、R O P S トラクタの試作を行ないその機械性能をとりまとめた。さらに、緑化樹需要の増大に併い、緑化樹木掘取作業の省力化が必要とされているが、輸入機の性能試験のみならず、国産新機種の開発を指導し、同機の性能試験を実施し、機械および作業性能をあきらかにした。ついで、高密造林地の刈払いに適したフレイルモーアの開発・改

良の要請に答えて、改良試作を終了した。

III 試験の経過と得られた成果

1. リモコン自動制御およびトラクタ

- 1-1 2胴ウインチつきフォーワーダ
- 1-2 2.65tアーティキュレーテッド・ホイールトラクタ
- 1-3 リモコンウインチつきホイールスキッド
- 1-4 トラクタ伐倒玉切機
- 1-5 ROPSトラクタ
- 1-6 自走式簡易リモコン集材機

2. 造林用作業機

- 2-1 ツリースペード
- 2-2 小形歩行式樹木掘取機
- 2-3 フレイルモーア

1. リモコン自動制御およびトラクタ

1-1 2胴ウインチ付フォーワーダ

緩傾斜林地では、本機が林内の伐倒地点まで進入して、運転者によるワンマン作業で玉切伐をローダで積込んで林道端まで木寄せを行なう。

中～急傾斜林地では、開設した作業道に本機を設置してウインチによる地引き木寄せおよびローダのブームを元柱として2胴ウインチによる架線方式の木寄せ等が可能である。すなわち、木寄せ兼集材車ともいえる林業機械で、本機を試作するとともにその機械および作業性能に検討を加えた。

(1) 構造

フォーワーダの主要諸元は表-1のとおりである。構造およびローダ、グラップルの作動、2胴ウインチによる地引き木寄せの概要等を図-1に示した。

エンジンクランク軸からギヤ、プロペラシャフトを介して回転動力を伝達およびロット、ピン等を介して力を伝達する、いわゆる機械駆動系統、油圧を介して動力を伝達する油圧駆動系統をブロックダイヤグラムで示したもののが図-2である。

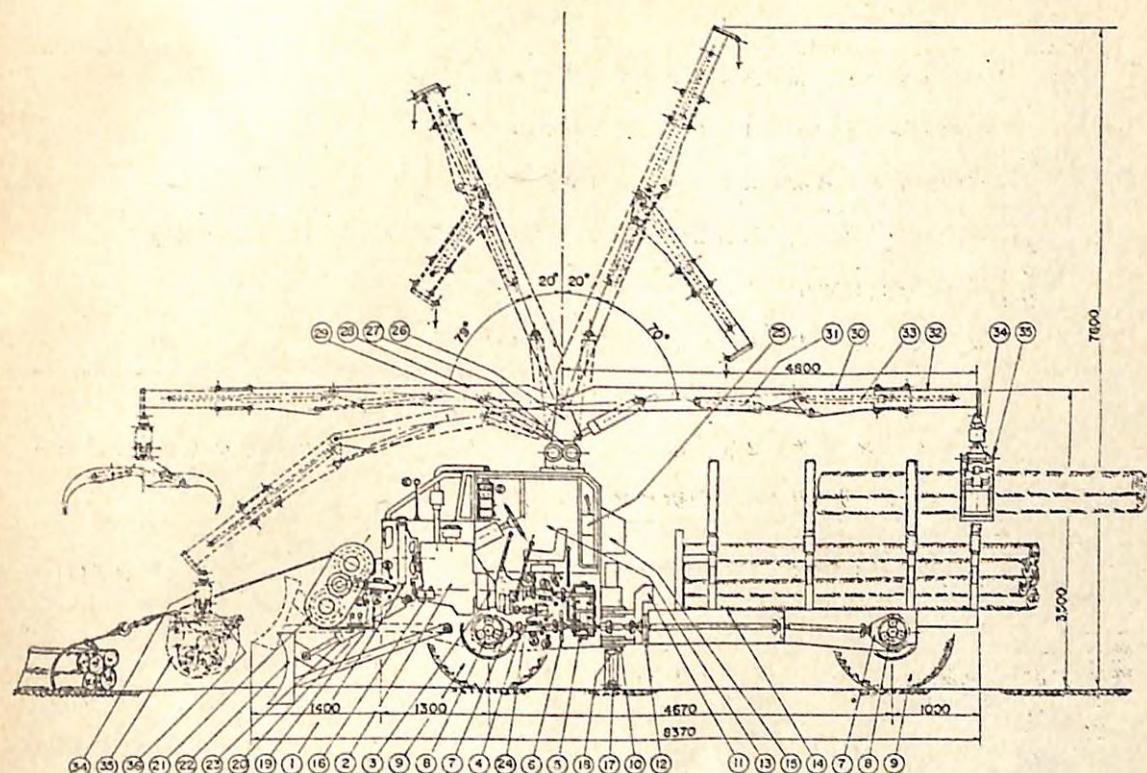


図-1 2胴ウインチ付フォーワーダ

図-1 の説明

区分	No.	名 称	区分	No.	名 称	区分	No.	名 称
車 体	1	ラジエタ	ウ	15	オイルタンク	29	油圧シリンダ(上下)	
	2	ディーゼルエンジン	イ	16	オイルポンプ	30	センターブーム	
	3	クラッチおよびトランスミッション	ン	17	アウトリガ	31	油圧シリンダ(屈折)	
	4	ユニバーサルジョイント	チ	18	油圧シリンダ	32	アウターブーム	
	5	トランスファーボックス	ド	19	ウインチ駆動軸	33	油圧シリンダ(伸縮)	
	6	ディスクブレーキ	ー	20	ウインチコントロールレバー	34	油圧シリンダ(旋回)	
	7	ノースピンドファレンシャル	ア	21	2胴ウインチ	35	丸太つかみグラブ	
	8	プラネットリー減速機	ウ	22	ドーザ	36	油圧シリンダ(開閉)	
	9	車 輪	ト	23	油圧シリンダ			
	10	前・後車体屈折ピン	リ	24	オイルポンプ	A	FMテレメータトルクピックアップ	
	11	前・後車体屈折ストッパー	ガ	25	コントロール操作弁	B	同 上 用 1次、2次アンテナ	
	12	前・後車体回動スイーベル	ー	26	旋回装置	C	FMテレメータ回数計数ピックアップ	
	13	運転台	装	27	油圧シリンダ(旋回)	D	中継送信装置	
	14	荷 台	置	28	メインブーム	E	送信空中線	
計測ピックアップ								

表-1 フォーワードの主要諸元

車体	全長・全幅・全高 軸距・輪距・駆動 整備質量・積載量	8340・2440・2470 mm 4700 mm, 2023 mm・4輪駆動 9650 kg, 4000 kg
エンジン	名称・形式 気筒数・行程容積 最大出力	DA220ディーゼル, 四サイクル水冷直列予燃焼室式 4-4084 cc 67 PS / 2200 rpm
作業装置	ローダ ウインチ アウトリガ	最長吊上げ荷重 900 kg / 4800 mm 2胴, 最大張力 2000 kg / 60 m/min 卷込容量 $\phi 12 \times 200 m$ 車体屈折ピン部側面, 左右各1脚

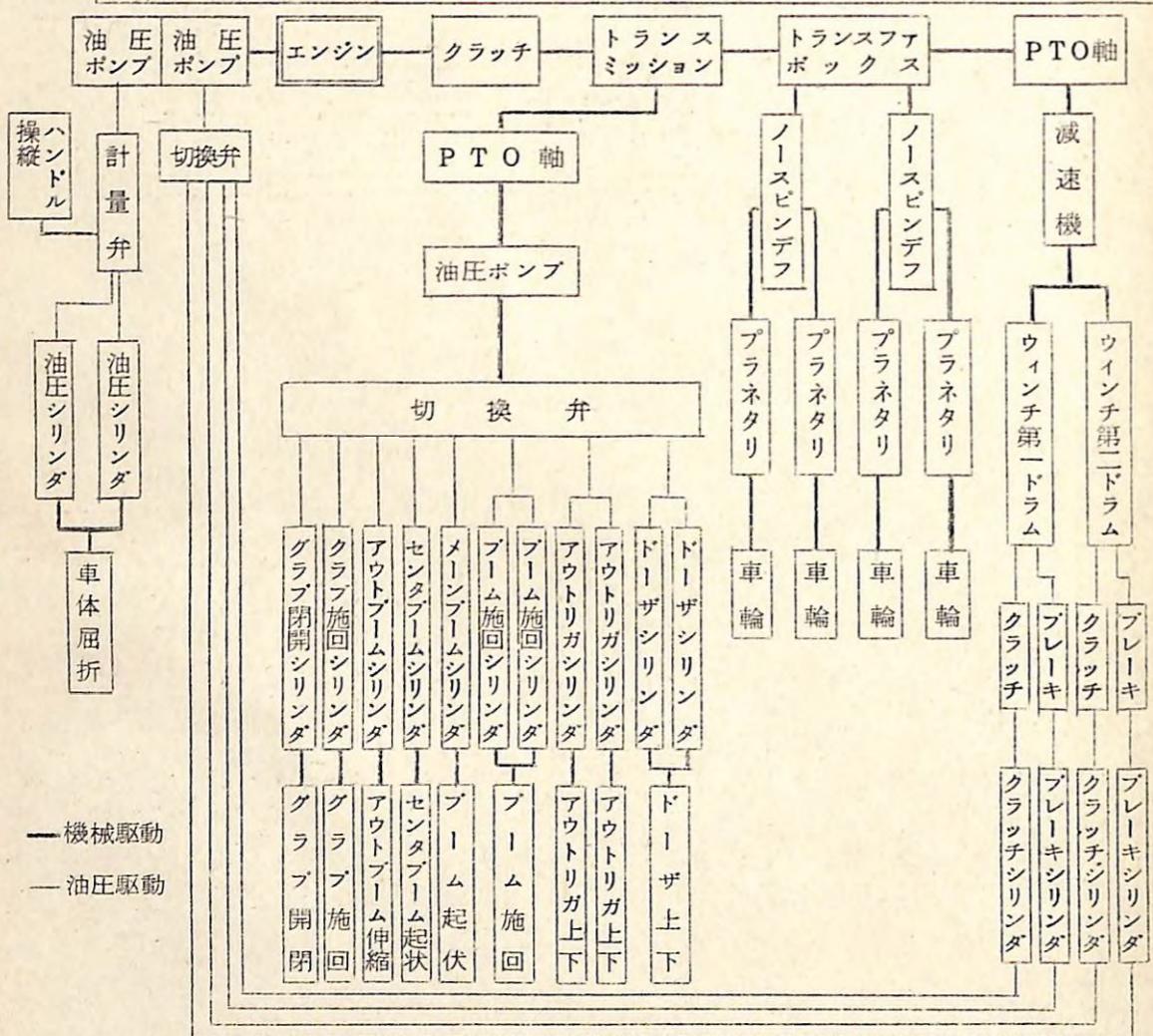


図-2 駆動系統ブロックダイヤグラム

- 6 -

(2) 動力性能

玉切材を積載して林地を走行するときの所要動力の計算式を次式のように導いた。

$$P_e = \frac{2\pi \cdot H_e \cdot \gamma_d \{ \frac{W_d (\ell'_r + e \tan \beta)}{\ell} + \frac{W_d (\ell'_f + e \tan \beta)}{\ell} \} (f_d \cos \alpha + \sin \alpha)}{75 \cdot 60 \cdot i \cdot \eta}$$

ここに, P_e : 林地走行所要馬力 (PS), N_e : エンジン回転数 (rpm), γ_d : 車輪の有効半径 (680 mm), W_d : 空車質量 ($W_d = 9650 \text{ kg}$) + 積載丸太の質量 ($W_w = 1,500 \text{ kg}$, $3,000 \text{ kg}$), ℓ : 軸距 (4,670 mm), b : 輪距 (2,023 mm), ℓ'_r : 積車時の後輪軸から重心 G_w までの距離 = $\frac{W_d \ell_r + W_w \ell_w}{W_d + W_w}$, ℓ_r : 空車時の後輪軸から重心 G_o までの距離 (3,825 mm), G_o : 空車時の重心の位置, ℓ_w : 後輪軸から丸太の重心 G_w までの距離 (4,000 mm, 4 m材を均等に積載した場合), G_w : 積載丸太の重心の位置, ℓ'_f : 積車時の前輪軸から重心 G_w までの距離 = $\frac{W_d \ell_f + W_w (\ell - \ell_w)}{W_d + W_w}$, ℓ_f : 積車時の前輪軸から重心 G_o までの距離 (8,450 mm), G_w : 積車時の重心の位置, $e = h_o - \gamma_d$, h_w : 積車時の重心 G_w の高さ = $\frac{W_d h_o + W_w h_w}{W_d + W_w}$, h_o : 空車時の重心 G_o の高さ (1,200 mm), h_w : 積載丸太の重心 G_w の高さ, α : 車体の左右方向の傾斜角, β : 車体の前後方向の傾斜角 $\sigma = \cos^{-1}(\cos \alpha \cos \beta)$, f_d : 走行抵抗係数, 作業道 = $0.039 + 0.0147 V_a$, V_a : 走行速度 (m/sec), i : 全減速比, η : 全機械効率

(3) 作業性能

林内の造材丸太をローダを使って積載し林道端まで木寄せするセルフローディングによる木寄せ作業性能は表-2に示したとおり。

ローダのブームを元柱として, 先柱には立木あるいは伐根を使った架線方式による木寄せの一例を図-3に示した。フォーリングブロック式およびハイリード式索張りによる木寄せ作業性能は表-3のとおりである。

(三村和男)

表-2 セルフローディング木寄作業性能

	木丸太整理地 1人作業				丸太未整理地 1人作業 2人作業			
	実施場所	赤城山国有林 158 板畠斜地 ($\sim 8^\circ$)	赤城山国有林 155 板畠斜地 ($\sim 10^\circ$)	立木本数, 胸高直径, 材積	N 563 N 10~15cm L 20~30cm 292m ³	N 2,008 N 20~28cm L 15~20cm 502m ³	採材, 丸太平均材積	1.8m 3.0m 2.1m 4.0m 7,948本
空車上山時間 sec		31.9+1.22L			31.9+1.22L			
積車下山時間 sec		94+1.63L			94+1.63L			
積込時間回/sec		60.4+3.45n			90+6.85n			
移動時間回/sec		17.6+4.4L			14.3+3.89L			
下ろし時間回/sec		75+0.938n			123			79
空車上山距離 m		160~190		8~20		10~42		
積車下山距離 m		160~170		38~42		43~60		
1人当たり平均積載本数 本/台	27	38	43	48	38	50	54	58
搬出本数 本/日	226	339	425	431	128	155	276	296
搬出材積 m ³ /日	12.7	12.2	14.9	12.7	4.5	5.4	9.1	12.7
作業効率量 本·km/日	37.4	66.8	82.8	82	7.7	9.9	36.4	26.1
m ³ ·km/日	2.09	2.8	2.9	2.4	0.27	0.35	1.2	1.12
備考	下ろしのみ			下ろし, 長さ別, 卷立, はえ積合	下ろし, 長さ別, 卷立, はえ積合			

表-3 架線方式による木寄作業性能

	フォーリングブロック式 荷担1, 荷下ろしおよび運転1 2名	ハイリード式 荷担2, 荷下ろしおよび運転1 3名
実施場所	赤城山国有林 157の1部, 均傾10~20°	
面積, 株種, 胸高	6.82ha カラマツ 26年	
立木本数, 胸高直径	18,248本 8~15cm	
採材, 丸太平均材積	1.8m, 3.0m, 4.0m 0.0321m ³ /本	
伐採, 木寄	皆伐(風倒) 下げ荷 (風倒)	普通間伐 下げ荷
架線の支間長 m	130	130
空撮・実撮走行時間 sec	1.35L	1.35L
機取引込時間 sec	15.5+7.14L	—
横取引寄時間 sec	8.2+3.45L	—
荷掛時間 sec	7.75n	4.06n
荷下ろし時間 sec	18	10
木寄距離 m	70	86
平均横取距離 m	10	10
1人平均木寄材積 m ³ /人·日	4.1	3.3
6.2	12.3	9.67
備考	荷掛スリング1本	荷掛スリンク1本

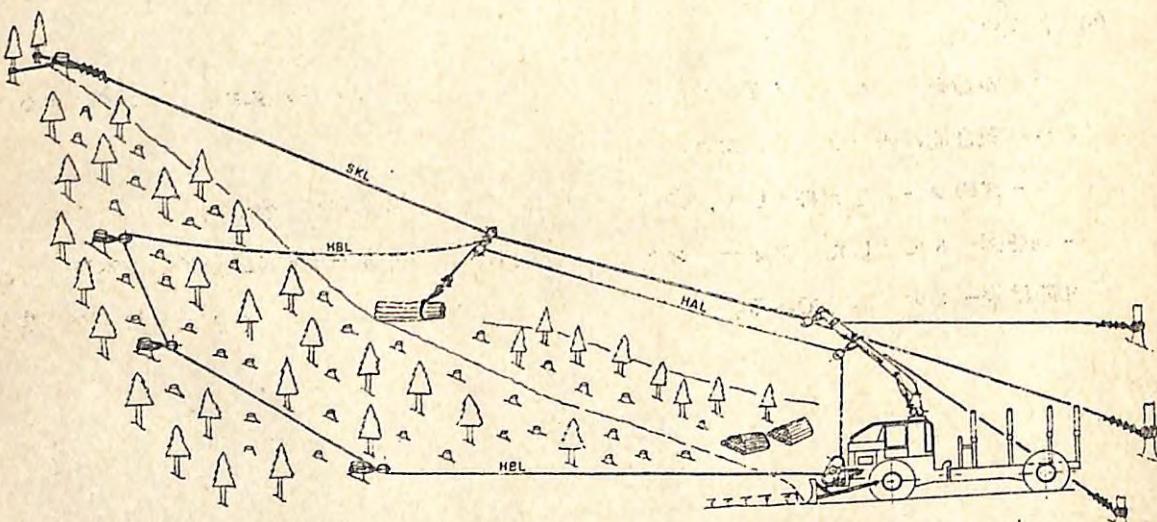


図-3 架線方式による木寄作業例

1-2 2.65t アーティキュレイテッドホイールトラクタ

間伐, 拾伐, 小面積皆伐地における集材作業だけでなく, 伐採跡地の造林作業にも使える装備質量2.65tのアーティキュレイテッドホイールトラクタの試作を行った。動力性能, 作業性能その他について検討を加えた。

(1) 構造

本トラクタは, 集材作業のほかに三点支持装置およびPTO軸を装備し造林作業にも使用することができるものである。その構造を図-1に示した。主要諸元は表-1のとおり。

(2) 作業性能

皆伐地および列状間伐地における全幹材集材作業性能は表-2のとおり。2胴ウィンチによる架線を使用した集材作業性能は, 間伐地の玉切材, 皆伐地の全幹材それぞれの搬出量は表-8のとおりである。

(三村和男)

表-1 2.65t ホイールトラクタの主要諸元

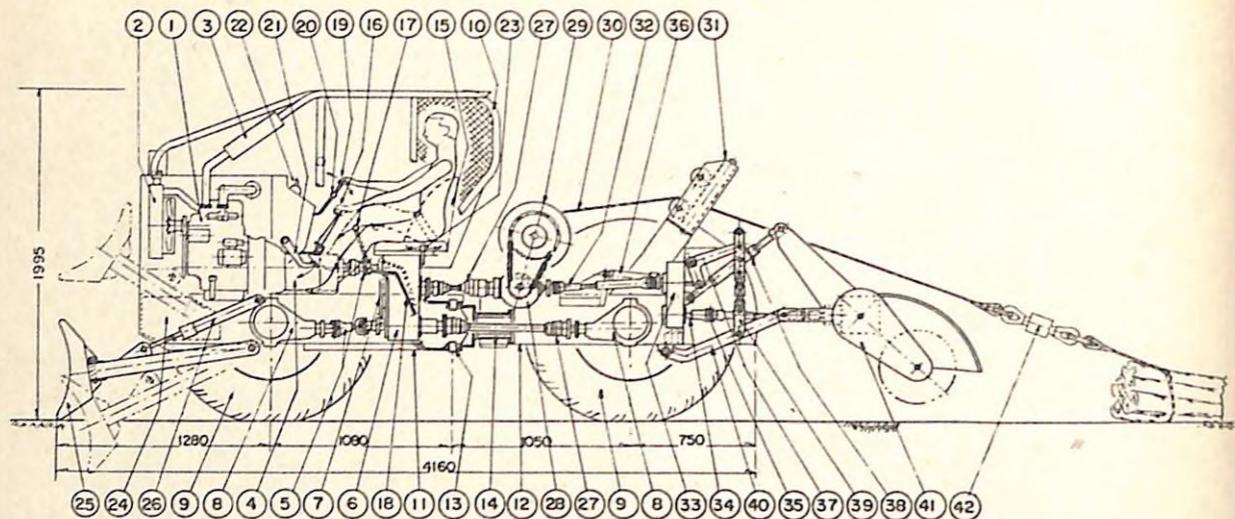


図-1 2.65t ホイールトラクタ

図-1の説明

区分	No	名 称	区分	No	名 称	区分	No	名 称
車体	1	ディーゼルエンジン	作業装置	17	前・後進レバー	機械	28	ウインチギヤケース
	2	ラジエタ		18	停車ブレーキレバー		29	ウインチドラム
	3	マフラー		19	操縦レバー		30	ワイヤロープ
	4	クラッチ, 主変速機		20	ドーザ上下, ウインチフリー・巻き, 三点支持装置上下用レバー		31	フェヤリード
	5	自在縦手		21	クラッチ, ブレーキペタル		32	自在縦手
	6	副変速機		22	スロットルレバー		33	PTOギヤケース
	7	円板ブレーキ		23	ウインチ軸・PTO軸レバー		34	PTO軸
	8	ノースピンドル		24	燃料タンク, 油圧用オイルタンク		35	自在縦手
	9	タイヤ		25	ドーザ		36	油圧シリンダ
	10	オペレータガード		26	油圧シリンダ		37	三点支持装置
作業機	11	前部車体		27	等速ボール自在縦手		38	リフトアーム
	12	後部車体					39	トップリンク
	13	前・後車体屈折ピン					40	サイドリンク
	14	前・後車体揺動スウェイベル					41	ローワリング
	15	運転台・座席					42	ブレーキモード
	16	変速レバー						

車体寸法・重量	全長・全幅 全高 軸距・輪距 最低地上高 整備重量 重心の位置 カジ取装置 最小旋回半径	4160mm, 1695mm 1995mm 2130mm, 1310mm 400mm 2650kg (運転手共) 前軸 862mm 高さ 818mm センターピン車体屈折式 3810mm	走行装置	主変速機 副変速機 差動機 タイヤ ブレーキ 駆動方式	4段変速 前・後進、PTO軸正逆転 ノースピンドル ロガースペシャル 14.9-24-6 推進軸 円板ブレーキ 四輪駆動
エンジン	形式 排気容量 (2-86×102)	4サイクル水冷鋼上弁直列 1184cc	作業装置	ドーザ ウインチ	大きさ 1370×440mm 単胴 巻込容量 150m ³ /10mm 最大張力 3500kg
定格出力 最大馬力 最大トルク	22PS/2400rpm 25.5PS/2800rpm 7kg-m/2000rpm		三点支持装置	フェヤリード	2ローラ ローワリング長 800mm 最大開き 683mm ピン径 19mm, 22mm
燃料消費率	210kg/PS-h (全負荷時)		PTO軸		540rpm, φ35mm

表-2 地引き集材作業性能

	(II) 皆伐・全幹材	(III) 皆伐・全幹材	(IV) 列状伐・全幹材
実施場所・面積・地形 樹齢・樹種・立木本数 立木材積・樹高・胸高直径	赤城山国有林 155, 3.27ha, 0~5° 45年生, アカマツほか, 2000本 425m ³ , 1.0~1.7m, 10~34cm	赤城山国有林 155, 3.14ha, 0~20° 45年生, ヒノキほか, 2000本 368m ³ , 1.0~1.7m, 10~28cm	赤城山国有林 157, 30.43ha, 0~11° 30年生, ヒノキほか, 18.770本 353.5m ³ , 4~15m, 4~26cm
実施時期 作業人員	昭和48年12月中旬 4人	昭和49年3月上旬 4人	昭和49年4月中旬 4人
集材距離 ウインチ引寄せ距離	8.0~10.0m 6~15m	350~375m 9~15m	全左 20~50m 10~45m
集材回数 正味時間 集材材積・本数	14回, 1.22分 1.167m ³ , 73本	4回, 5.7分 1.55m ³ , 24本	13回, 9.8分 3.34m ³ , 28本 54.3m ³ , 68本 133.9m ³ , 113本
正味所要時間 荷かけ, ウインチング時間 荷おろし時間 土場整理時間	$t_{L1} = 30 + 0.8L_1$ $t_{L2} = 30 + 0.98L_2$ $t_w = 20 + 1.38\ell_w$ $t_o = 72$ $t = 97$	$t_{L1} = 30 + 0.55L_1$ $t_{L2} = 30 + 0.64L_2$ $t_w = 20 + 1.0\ell_w$ $t_o = 72$ $t = 85$	全左 75~195m 20~50m 13回, 9.8分 3.34m ³ , 28本 54.3m ³ , 68本 133.9m ³ , 113本 $t_{L1} = 20 + 0.8L_1$ $t_{L2} = 30 + 0.66L_2$ $t_w = 26 + 4.5\ell_w$ $t_o = 50$ —
一日の搬出量	集材・ウインチング距離 集材材積 1人当たり材積	80m, 15m 28.36m ³ /日 7.09m ³ /人一日	120m+20m35m 15.43m ³ /日 3.86m ³ /人一日 3.6m ³ /人一日 4.57m ³ /人一日

表-3 2胴ウインチによる架線集材作業性能

		(1) スラックライン(2胴) 間伐・玉切材	(II) 金形エンドレス(荷上素なし) 間伐・玉切材	(III) ハイリード(エンドレス) 皆伐・全幹材
実施場所・面積・地形	子持山国有林162, 10.78ha, 30~38°	全 左	赤城山国有林155, 3.44ha, 13~20°	
樹齢・樹種・立木本数	51年生, スギほか, 13,505本	全 左	45年生, ヒノキほか, 6,000本	
立木材積・樹高・胸高直径	160.8m ³ , 7~16m, 6~22cm	全 左	125.8m ³ , 5~17m, 4~54cm	
集材作業	実施時期	昭和49年1月中旬	全 左	昭和48年12月中旬
	スパン・傾斜	40m, 31°	63m, 7°	102m, 6° 30'
	集材距離・横取距離	24~40m, ~4m, 上げ荷	20~57m, ~5m, 上げ荷	33~72m, ~3m, 下げ荷
	作業員数・使用スリング数	4人, 3~4本/回	4人, 2本/回	3人, 1~2本/回
正味所要時間	集材回数・材積・時間	33回, 5.61m ³ (165本), 103分	21回, 2.88m ³ (42本), 67分	19回, 4.75m ³ (25本), 49分
	空搬器走行時間(s)	$t_{L1} = 0.68 L_1$	$t_{L1} = 1.03 L_1$	$t_{L1} = 0.48 L_1$
	空搬器走行時間	$t_{L2} = 1.71 L_2$	$t_{L2} = 1.67 L_2$	$t_{L2} = 1.2 L_2$
	引込・荷かけ・引寄時間	$t_n = 2.8 + 4.3 n$	$t_n = 2.8 + 4.3 n$	$t_n = 3.0 n$
一日の搬出量	荷はずし時間	$t_o = 15$	$t_o = 15$	$t_o = 20$
	集材距離	40m	40m	70m
	集材材積	14.54m ³ /日	14.11m ³ /日	25.75m ³ /日
	1人当たり材積	3.64m ³ /人一日	3.53m ³ /人一日	8.58m ³ /人一日

1-3 リモコンウインチ付きスキッダ

林業用トラクタの無線リモコン化については、昭和47年度に当場において、その試作に成功している¹⁾が、今回はスキッダの付属ウインチによる木寄せ集材作業の安全性ならびに生産性の向上を目的として、ウインチの無線リモコン装置を開発したうえ現地において集材作業試験を行ない、無線リモコン性能、作業性能などに検討をくわえた。

1 リモコン装置概要

このリモコン装置の特徴の一つとして、無線装置に市販のトランシーバ2台を用いた簡易低廉な装置となっていることを挙げることができる。すなわち、S社製はスキッダ本体に取りつける受信装置として

- (1) 受信感度が良いこと
- (2) 混信を受け難いこと

(3) 振動に強く丈夫であること

(4) 全天候形であること

など、N社製トランシーバは作業員が歩行携帯する送信機として

(1) 送信出力が十分であること

(2) ポケットにはいる小形であること

(3) とくに軽量であること(250g)

(4) 振動に強いこと

などの条件を、それぞれ充たしていることから機種を決定した(表-2)。

ウインチの制御方法は、ウインチ側の必要最少要素である巻上げ・停止・フリーの3要素に対して、供試トランシーバはその単一チャンネルを有効に利用して、信号の長音・短音・短連音を採用することにより、制御数を3とすることができた(図-2)。

図-1はスキッダの概観、表-1はその主な仕様を表わし、運転席右側上部に受信装置、座席後部にデコーダ(信号選択装置)、エンジン側に各油圧を制御する電磁弁があり、各油圧の働きでウインチに諸動作を行なわせることができる。さらに、スロットル自動制御によりエンジン回転数をコントロールして、ウインチ巻上時には中速、停止・フリー時には低速となってエンジンに余分な負荷をかけない機構となっている。リモコン方式としては無線-電気-油圧からなり、各装置の性能仕様は表-2のとおりである。とくに無線装置については前述のトランシーバのボタン操作に慣れが必要であり、当場内のテストの際に電気的雜音や金属性障害物

表-1 リモコンウインチ付スキッダの主な仕様

車体寸法	全長×全幅×全高 2130 × 1695 × 1995mm	主变速機 副变速機	4段 前・後進、PTO軸正・逆転
	軸距・輪距 400mm	行差動機	ノースピン式
	最低地上高 2600kg	装駆動方式	四輪駆動 ロガースペシャル
	整備重量 3810mm	置タイヤ	14.9-24-6
	最小施回半径 形 式 水冷四サイクルOHV	ブレーキ	推進軸ディスクブレーキ
エンジン	排気量 1184cc	ドラム	単胴(二胴可)
	定格出力 22PS/2400 rpm	卷込容量 7kgm/2000 rpm	100m/12mm
	最大馬力 25.5PS/2800 rpm	最大張力 3500kg	
	最大トルク 7kgm/2000 rpm	フェヤリード 2ローラ	

表-2 ウインチリモコン装置の諸元

リモコン方式		無線・電気・油圧	
無線装置	送信器	市販トランシーバ	試作装置
	発振方式	N社製 RJ-16	---
	電源	水晶制御	水晶制御
	寸法・重量	DC 9V (内蔵) 45×13×26 250g	DC 9.6V (内蔵) 180×64×220 1.1kg
	受信器	S社製 ICB-600	---
	受信方式	スーパーヘテロダイン	スーパーヘテロダイン
	電源	DC 12V (併用)	DC 12V (併用)
	寸法・重量	6.6×28×9 1kg	180×64×220 800g
	使用周波数	27.040 MHz	27.255 MHz
	電波形式 出力	AM 0.1W	PM 0.1W 以下
油圧装置	制御数	3CH (長短信号式)	4CH (デジタルプロポ)
	制御要素	巻上・フリー・停止	巻上フリー停止チック
電気装置	デコーダ	制御リレー10,トランジスタ4,ダイオード22	
	寸法・重量	190W×140H×55L	1kg
油圧操作装置	油圧ポンプ	ギヤ式 (本体油圧併用)	
	油圧	70kg/cm	
	操作弁	スプール式ソレノイド弁 リリーフ弁 チック弁	
	シリンドラ	単動式	
	オイルタンク	20L (本体油圧用併用)	
	アクセル	ウインチ巻上時:中速	
	コントロール	フリー,停止時:アイドリング	

の影響を受けたと思われることがあったため、混信を受けにくいパルス位相変調による4チャンネル方式を採用し、それぞれ独立した操作ボタンを設けて、初めての作業員でも正確にリモコン操作ができるものとしてあらたに試作し現場試験を行なったものも併記してある。しかし、林内の現地テストでは混信その他の電波障害はみられず、市販トランシーバでも十分実用に供し得ることが明らかになった。

試作の送信および受信装置は図-3のとおりで、それぞれ独立した操作ボタンを押すと、命令信号が走査回路を経由して発振器からの搬送波にパルス変調がかかり、電力増幅ののち送信

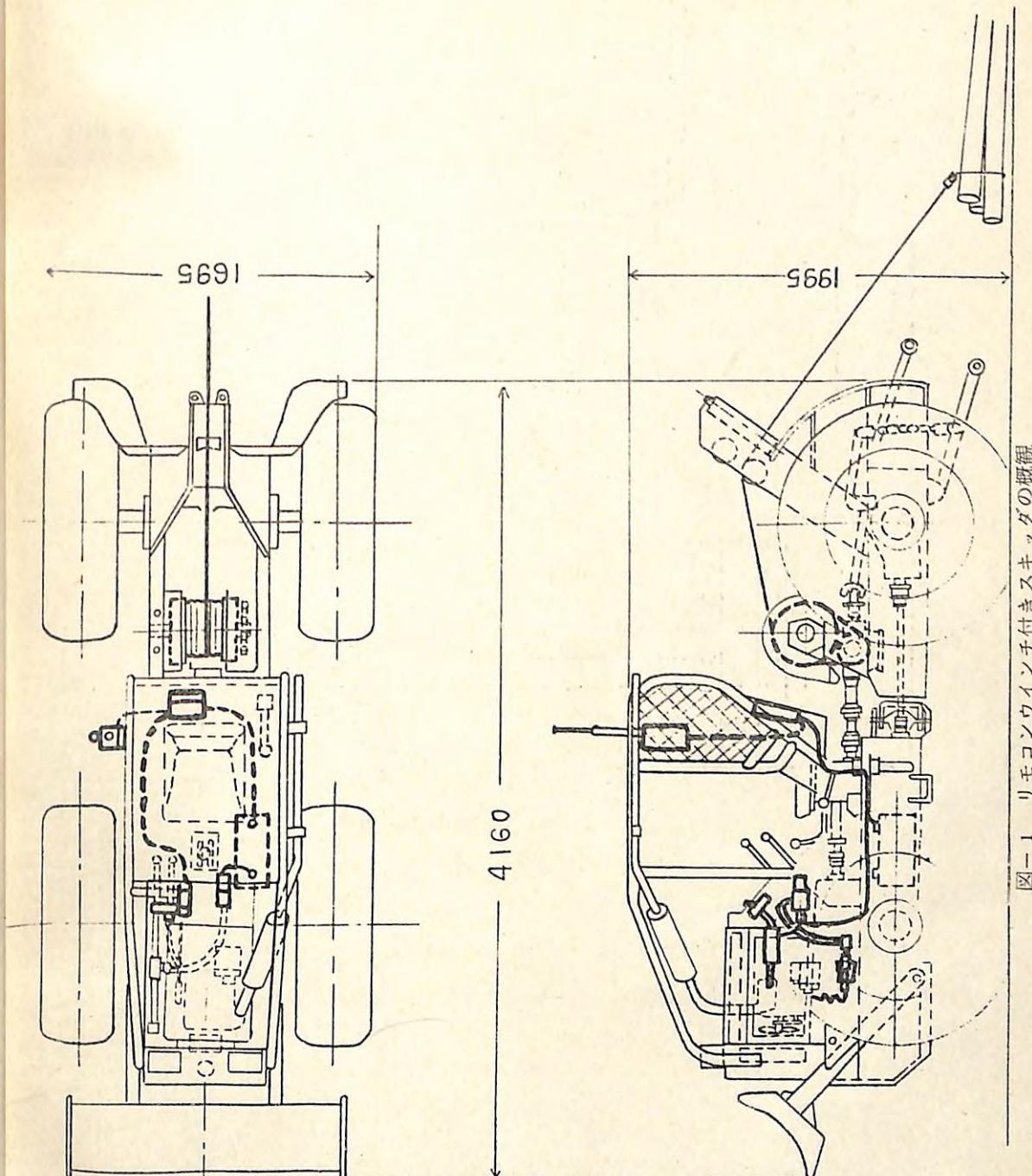


図-1 リモコンウインチ付きスキッドの概観

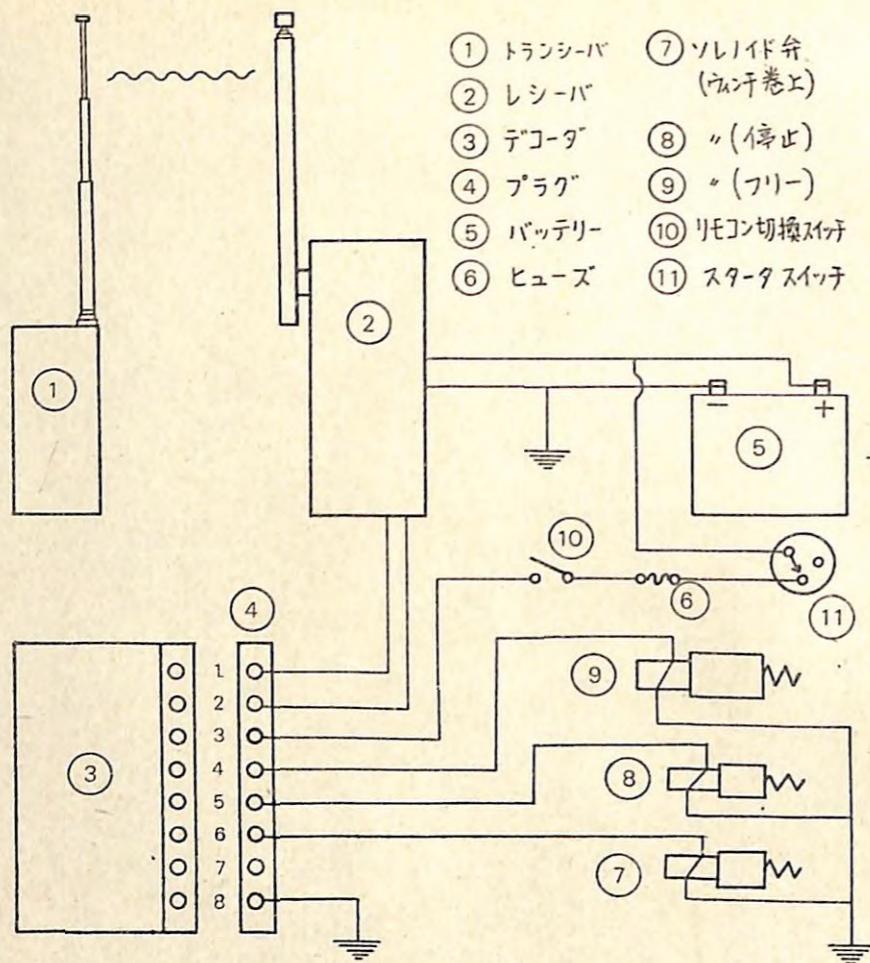


図-2 トランシーバ式リモコン装置

アンテナより発射される。受信装置では、受信電波を増幅したのち走査回路、位相検波回路により操作命令を識別し、対応する制御リレーが働いて命令信号を電磁弁に送り出す。以降の油圧系統は従来の機構と共通である。

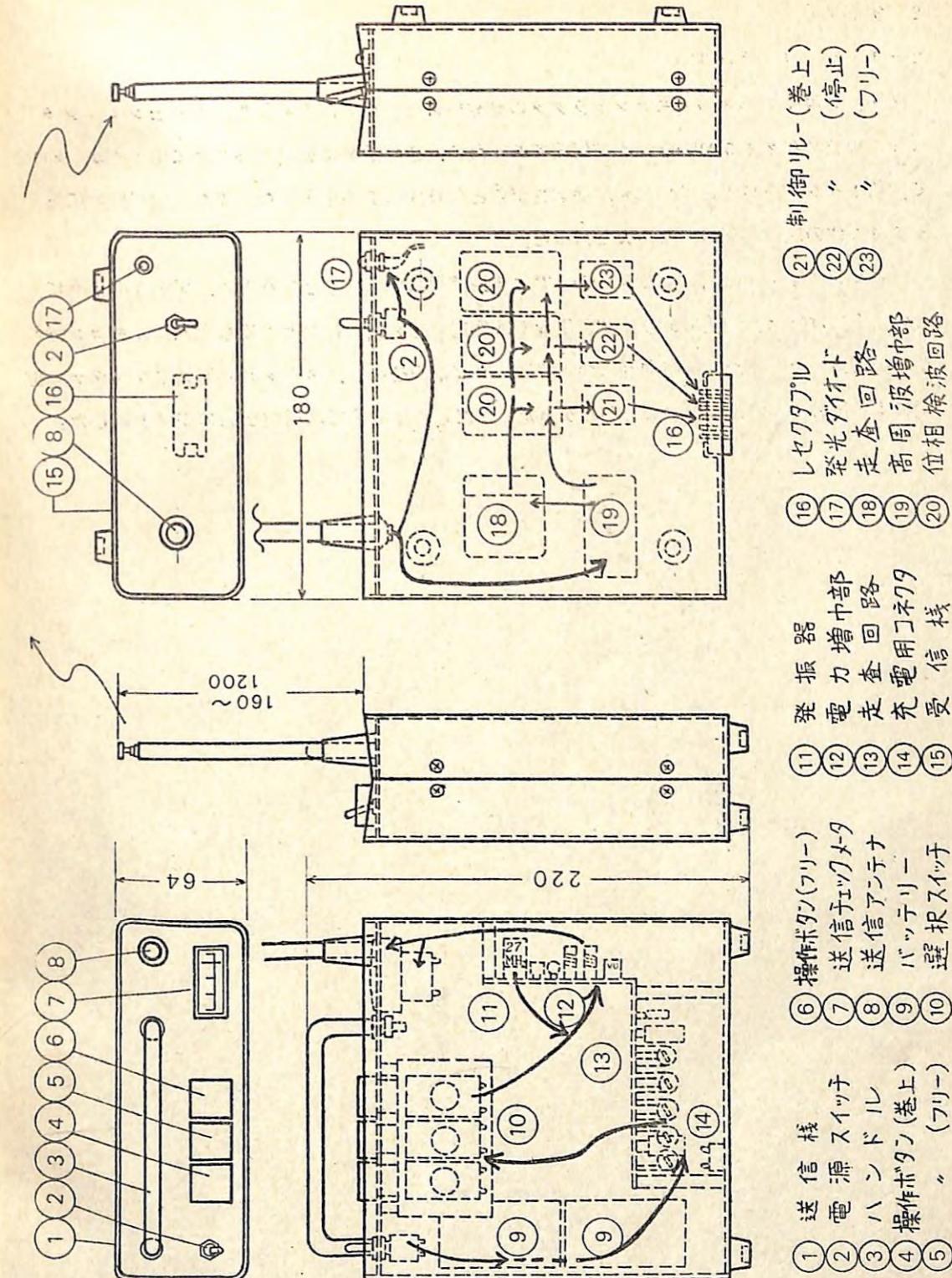


図-3 試作送信機および受信機

2 実際性能

2-1 無線リモコン性能

図4, 5は47年度のリモコントラクタの試験結果との比較例であるが、リモコントラクタでは使用周波数が245MHzという超短波であるため、送信距離に従い電界強度に山と谷が現われて、約150mを越すと受信信号が途切れがちとなり操作限界を示した。また受信指向性にもトラクタ本体の反射による影響が大であった。

リモコンウインチに用いた28MHzでは波長は約9倍の長さとなるため、図-5のように減衰の度合いはほぼ直線的であり、試験現地では林道上を2km離れた地点でも十分にリモコン操作が可能であった。また受信指向性については、ほぼ正円を示し、スキッタの形状やアンテナの位置による影響は非常に少ないとわかった。ただし、比較例では送信出力の差は無視した。

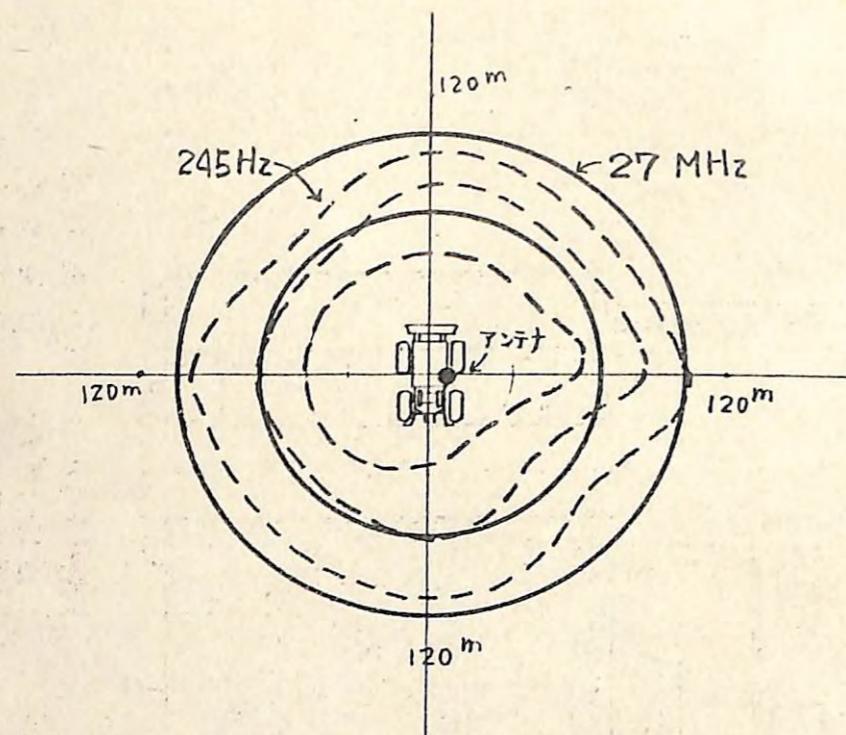


図-4 受信指向性

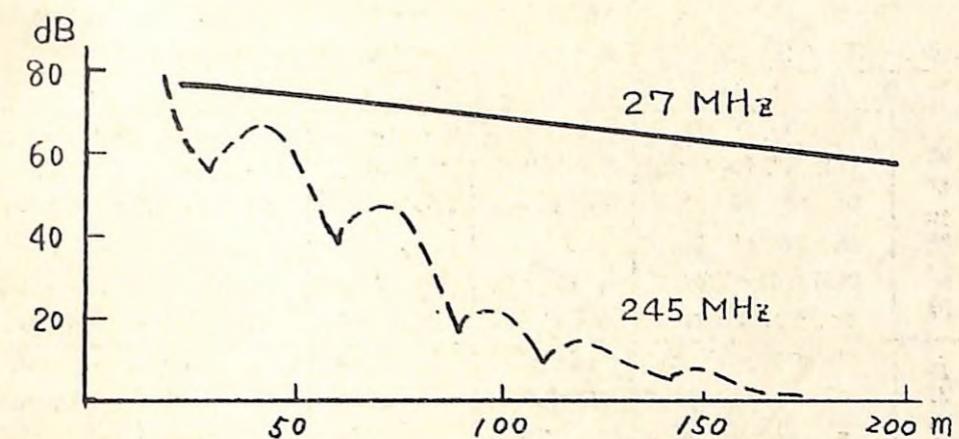


図-5 送信距離と電界強度

2-2 作業性能

表-3にあらわした試験現場の簡単な見取り図および試験方法を図-6に示した。林道上にスキッタを停車させ、ワイヤロープの引き出し・荷掛け・ウインチ巻上げ・荷外しを1サイクルとして試験を行なったほか、スキッタを移動させる場合も含めて四通りの条件について、数サイクルずつ試験を実施した。四通りの条件とは(1)リモコンを用いない手動作業、この場合、作業員はスキッタの運転手と荷掛け手の二人となる。ウインチ操作を無線リモコン化すれば作業員は一人となるわけで、(2)トランシーバ式のリモコン作業A、(3)試作無線機によるリモコン作業B、(4)スキッタを林内で移動させる短距離の地引き集材作業の四つであり、これらの試験結果は表-3のとおりである。集材距離、集材本数および集材材積などにそれぞれ差が出ているが、合計の所要時間を求めた結果はそれぞれ、32分42秒、22分9秒、21分55秒、37分59秒であった。これらの内訳を要素別に求めたものが下半分の数字であり、さらに材積と所要時間とから1日1人当りの搬出量を計算した結果はそれぞれ、18.4m³、59.0m³、44.2m³、26.4m³となつた。スキッタ停止のままで木寄せ作業を行なう場合については、無線リモコンを用いることにより、かなりの時間短縮(20~30%)が可能であり、1日1人当りの労働生産性では約2.5~3倍となる。作業能率の面からみると従来方式の手動による2人作業と比較して、無線リモコンの1人作業は同程度かそれ以上であるといえる。これを要素別所要時間から考えると、手動作業の場合はスキッタ(兼ウインチ)運転手と荷掛け手とが異なることから、安全確認のために荷

表-3 試験条件および試験結果

実施場所	草津営林署管内				
地形・林分	南向き緩斜地(0~3度)・ナラ40年生人工林				
樹高・胸高直径・密度	10~18m・10~26cm・2000本/ha				
実施時期	昭和50年11月中旬				
試験方法	ワインチ手動	リモコンA	リモコンB	リモコンA	
作業員数(スキッダ)	2(停止)	1(停止)	1(停止)	1(移動)	
集材距離	38/36~42m	25/19~32m	29/14~36m	24/8~42m	
試験回数	5	5	5	8	
集材材積/本数	4.17m ³ /31	4.54m ³ /24	3.36m ³ /34	3.48m ³ /35	
サイクルタイム(計)	32分42秒	22分9秒	21分55秒	37分59秒	
要素別サイクルタイム	ワイヤロープ引出 荷掛け 退避・手待 ワインチ巻上 根株かかり処理 歩行 スキッダ移動 荷外し	1分31秒 1分24秒 48秒 1分22秒 22秒 12秒 — 50秒	58秒 59秒 10秒 48秒 31秒 13秒 — 47秒	45秒 24秒 10秒 59秒 30秒 13秒 — 1分23秒	46秒 1分15秒 9秒 32秒 31秒 23秒 41秒 30秒
一日一人当たり搬出量(推定)	18.4m ³	59.0m ³	44.2m ³	26.4m ³	

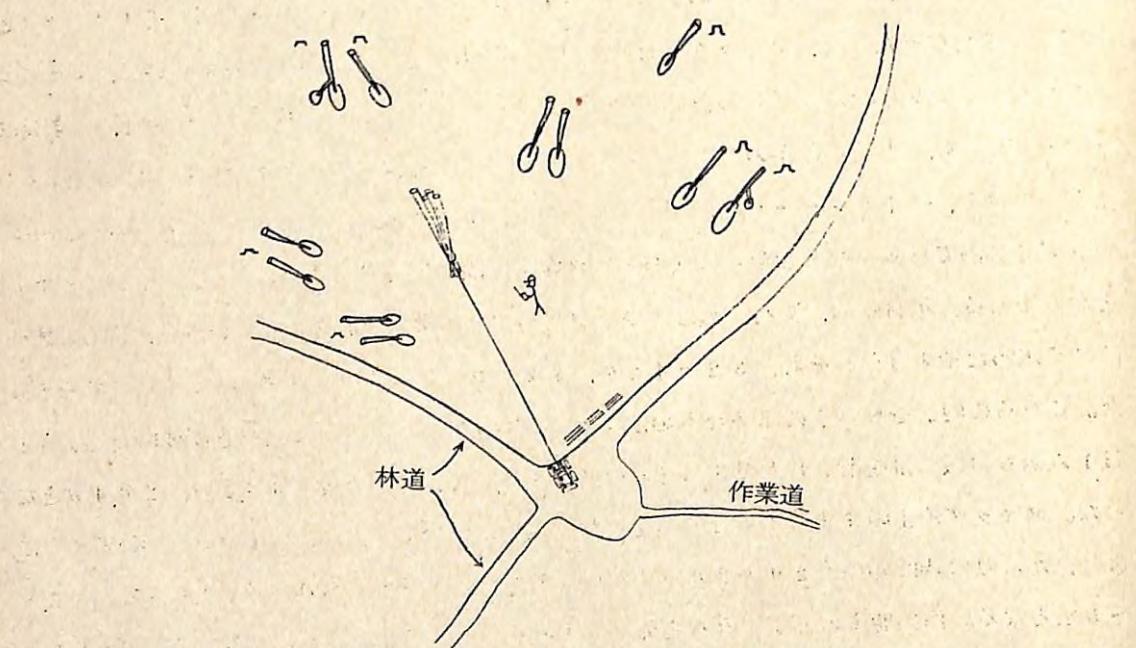


図-6 試験現地見取り図および試験方法

掛けや特に退避・手持ちなどに時間をとられることが、大きな原因と思われる。

安全性の面からみれば無線リモコン1人作業は、木寄せ作業中に材の状態を近くで見ながらワインチの操作を行なえるので、手動2作業に比較して作業員間の連絡不十分による事故なども、ほとんど皆無になるといえる。

図-7に集材作業のサイクルタイムと1サイクルの集材距離・集材材積・集材本数との関係を示した。この図からいえることは

(1) 集材距離に対するサイクルタイムの増加率は手動作業の方が大きい。

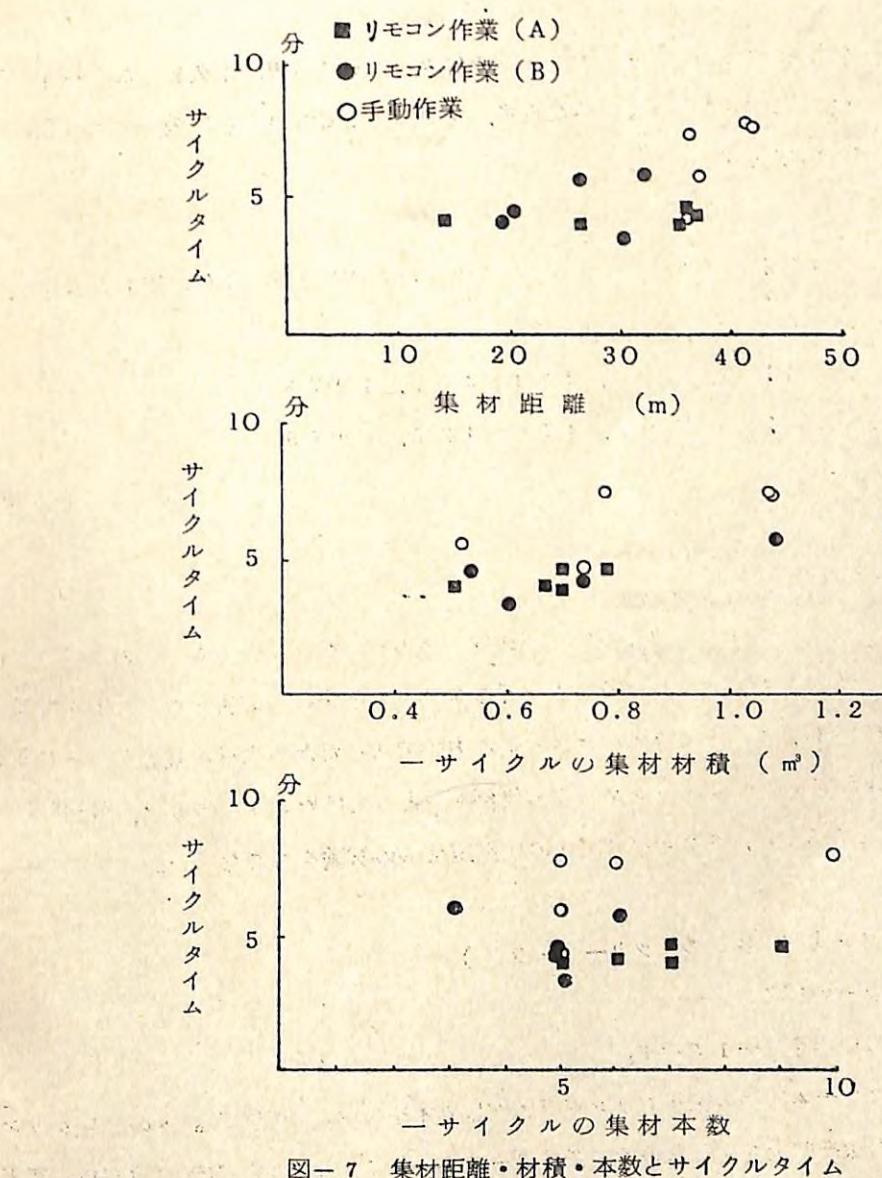


図-7 集材距離・材積・本数とサイクルタイム

(2) 1サイクル当たりの集材材積に対するサイクルタイムは手動作業の方が20~30%長いが、増加率は大差がない。

(3) 1サイクル当たりの集材本数についても、手動作業の方が20~30%長いが、手動、リモコンともに集材本数の増加との関係は少ないようである。とくにトランシーバ式のリモコン作業Aが試作機式のそれ(B)よりもサイクルタイムがやや増加しているのは、集材材積の差が荷掛け時間の差となってあらわれているためと考えられる。

3 おわりに

今後は、この実用可能性の高いリモコンウインチ付きスキッダの実際耐久試験などを重ねて、より一層使い良いものに改良してゆくのみならず、他の作業機についても無線リモコン化の可能性を追求してゆく予定である。

参考文献

(1) 山脇三平ほか4名：国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書(昭和47年度)，45~86, 1973

(2) 山脇三平ほか3名：84回日林講, 433~437, 1973

(3) 三村和男ほか5名：86回日林講, 476~487, 1975

(鈴木皓史)

1-4 トラクタ伐倒木切機

51, 52年度にわたり、トラクタ搭載の油圧式伐倒機の試験をおこなった。これはオペレータが、チェーンソーのような振動をうけることなく振動問題の解決の一方法となりうるものである。また従来の伐倒機は、シャーで立木をはさみ切る方式であったため木材に割裂が見られることがあった。それを防ぐため油圧チェーンソー式の伐倒機をとりあげた。51年度は、外国製の伐倒機について試験をおこない、52年度は国産の伐倒木切機の試験をおこなった。

1 油圧チェーンソー式立木伐倒機(ツリーフェラー)

(1) ツリーフェラーの構造

本機の構造の概略を図-1に示す。

①はクランプアームで②の油圧シリンダで動作し立木を機械に固定する。⑧の油圧シリンダは、⑥の案内板を前後進するもので、⑦はソーチェーンである。⑨は本機の前部を上げ下

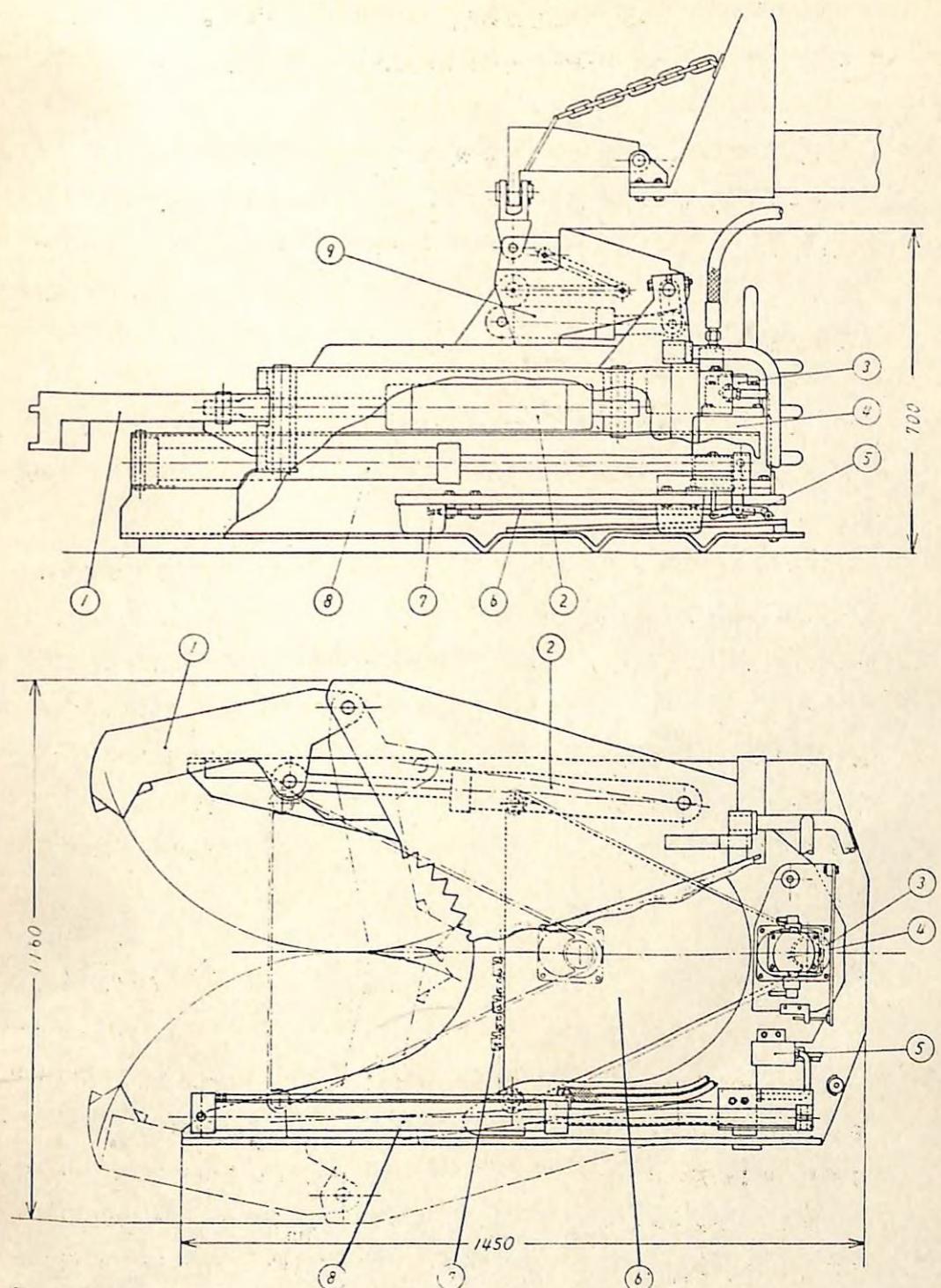


図-1 立木伐倒機(ツリーフェラー)

げするための油圧シリンダで鋸断したあと、木を倒すために用いる。本機は本来、フォーワードのクレーンの先端に取付けるためのものであるが、今回は、スキッダの前部のドーザに取付け、油圧もスキッダより供給した。

本機の主な仕様は、鋸断最大径 560 mm, 切株の高さ 80 mm, ソーチェーンは $\frac{3}{4}$ in チッパータイプ、重量 650 kg。油圧モータの最大圧力は 140 kg/cm²、同最大流量 130 l/min である。ベースマシンとして用いたスキッダは、国産アーティキュレイテッドホールトラクタ機関出力 73 PS のもので、これから供給できる油圧は 140 kg/cm²、流量は 73 l/min で、流量は規定より少い。

(2) 試験方法および結果

チェーンソー式の油圧伐倒機についての鋸断性能の基礎的な試験は始めてであるが、主として鋸断所要油圧、鋸断速度の測定をおこない、今後のこの種機械の開発のための資料を得んとした。

油圧は、油圧回路の各部にひずみゲージ式油圧ピックアップを取付けて測定し、また流量は面積式流量計をポンプの出口に挿入し測定、同時に測定した油温により補正した。ソーチェーンの速度は磁気式ピックアップで切刃の通過を検出し、鋸断速度は材の切り始めから切り終りの時間を測定し、材の直径から、平均速度をもとめた。またその他にエンジン回転数を測定した。試験材は、マツの生材（含水率、湿量基準 52~62%）の直径 10~25 cm の丸太である。各測定値は、丸太の鋸断の最大幅の付近の値を用いた。

試験の結果、鋸断所要油圧は、図-2 に示すとおりであり、所要油圧の理論式は次式であらわされる。

$$P = P_t + P_o = P_s + P_c + P_o = \frac{B}{p} \left(F_s \cdot \frac{2\pi r}{q_{thm}} \cdot \frac{1}{\eta_{pm}} + F_c \cdot \frac{1}{A \cdot \eta_c \cdot \eta_{cp}} \right) + P_o \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 P : 油圧モータへの全供給油圧 P_t : 正味鋸断所要油圧 ($P_t = P_s + P_c$) P_o : 空転時所要油圧, P_s : ソーチェーン駆動所要油圧, P_c : 案内板送り所要油圧, B : 挽幅, p : 切刃のピッチ, r : 切刃先の駆動回転半径, F_s : 切刃 1 枚に作用している切削抵抗のソーチェーン走行方向の分力（主分力）, q_{thm} : ソーチェーン駆動用油圧モータの理論吐出量, η_{pm} : 油圧モータの圧力損失率, F_c : 鋸断中の切刃 1 枚に作用する切削抵抗の走行方向に直角の分力（背分力）, A : シリンダ作動面積, η_c : シリンダ作動効率, η_{cp} : シリンダ油圧ポンプ圧力効率である。

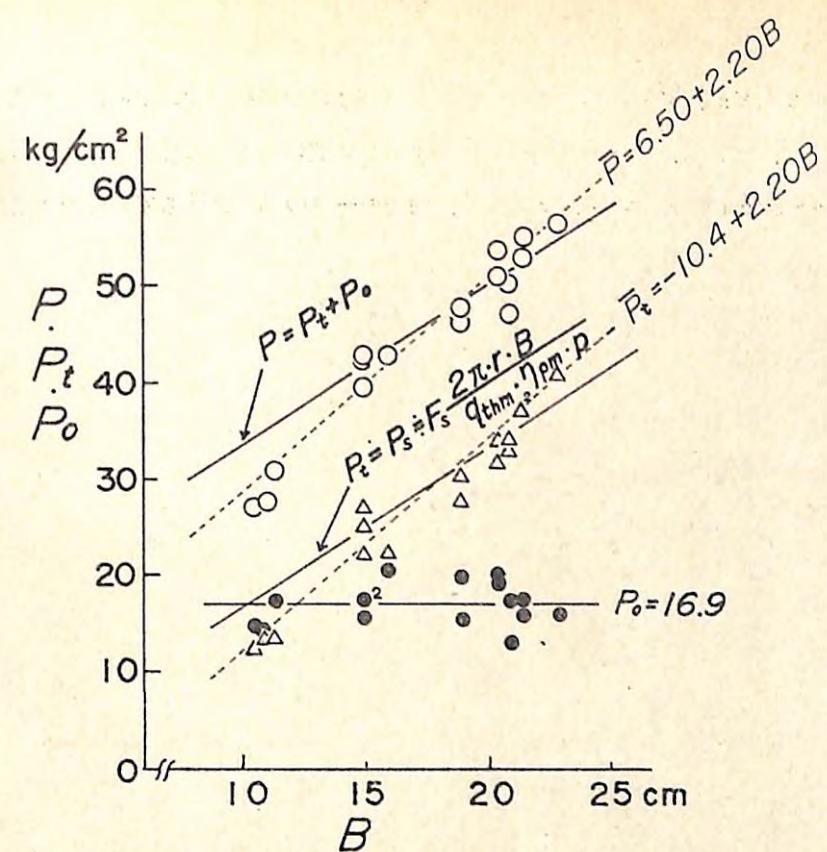


図-2 挽幅 (B) と鋸断所要油圧 (P), 正味鋸断所要油圧 (P_t) および空転時所要油圧

図-2 中、実線は、理論式で、式(1)中、 F_c の項は F_s の項に比較して相当少ないと考えられるので、 F_c の項を除き、 F_s の項に各値を代入して計算した。但し、 F_s の値については直接測定できなかったので、理論式より逆算した値の平均 2.8 kg を用いた。

次にソーチェーン速度及び鋸断速度であるが、ソーチェーン速度は次式で表わされる。

$$V_s = n \cdot p \cdot \eta_{vo} \cdot q_{thm} \cdot N_e / q_{thm} \cdot 60 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで n : スプロケット数, p : ソーチェーン案内刃のピッチ, q_{thm} : ベースマシンの油圧ポンプの理論吐出量, η_{vo} : 容積効率、ただし $\eta_{vo} = \eta_{vop} \cdot \eta_{vom}$, η_{vop} : 油圧ポンプの容積効率, η_{vom} : ソーチェーン駆動用油圧モータの容積効率, N_e : エンジン回転数である。

また鋸断速度 V_c は次式で表わされる。

$$V_c = q_{thc} \cdot q_{thc} \cdot \eta_{vo} \cdot \eta_{voc} \cdot N_e / q_{thm} \cdot A \cdot 60 \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで q_{thc} : 油圧シリンダ用ポンプ理論吐出量, η_{voc} : 同ポンプ容積効率である。

図-3にVs, Vcの実測値と理論式(実線)の結果を示す。Vsの実測値は理論値よりも少ないが、これは、ベースマシンの油圧ポンプの流量が本機の設計流量130ℓ/minに比べ、68ℓ/minと少なく、そのため、油圧モータの効率が落ちているためと思われる。

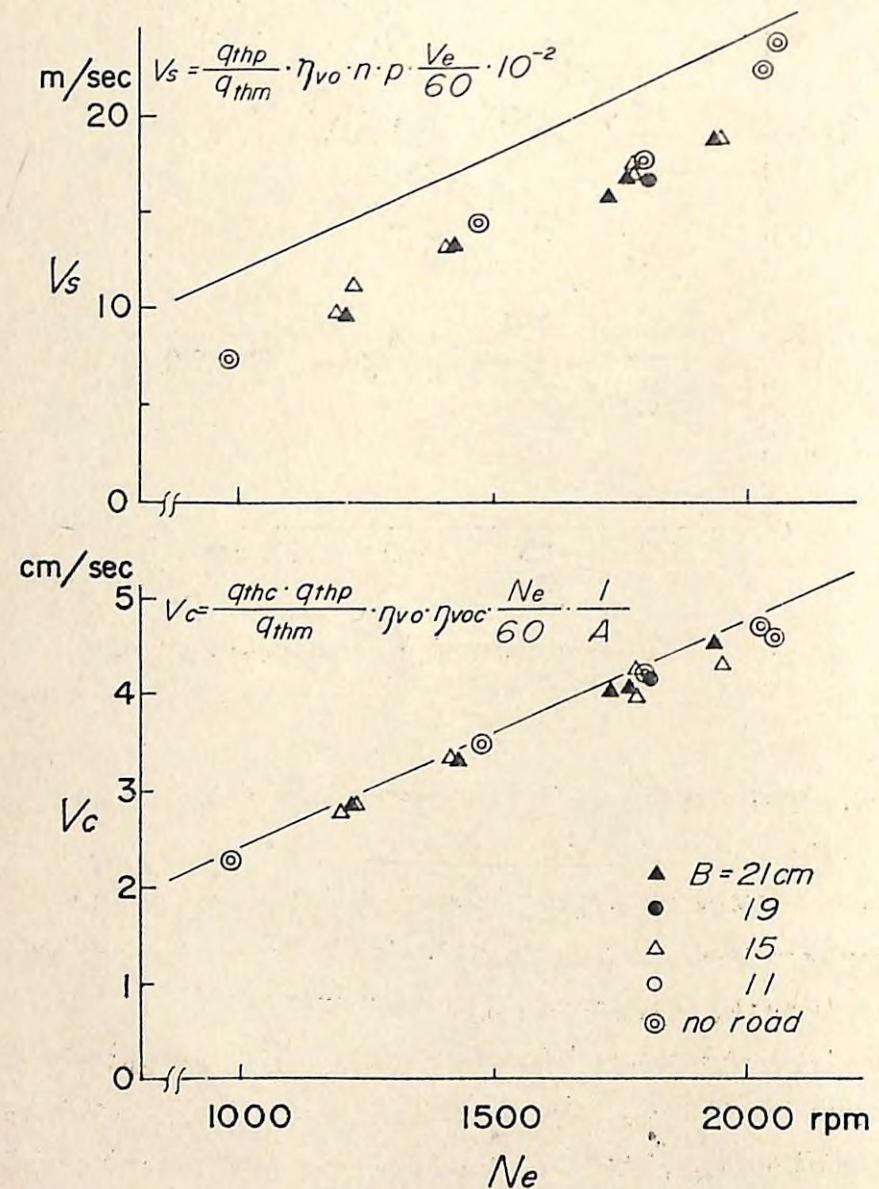


図-3 エンジン回転数(N_e)とチェーン速度(V_s)および鋸断速度(V_c)

ところで、 V_c の油圧シリンダ用ポンプは、 V_s の油圧モータと同軸で駆動されているため V_s と V_c は同期しており、そのため V_s と V_c は一定の関係にあり、次式で表わされる。

したがって、ソーチェーン一枚あたりの切り込み深さ(δ)は、

$$\delta = V_c \cdot P / V_s = q_{\text{charge}} \cdot \eta_{\text{loss}} / n \cdot A \quad \dots \dots \dots (5)$$

となり、エンジン回転数、流量に関係しない。

切り込み深さ δ が常に一定であることは、操作が簡単である点では良いが、硬い材の鋸断が困難になる場合がある。今回の試験でもケヤキの気幹材が鋸断できなかった。すなわち、材の切削抵抗 (F_s) は δ に比例して増大するといわれており、硬い材でも δ を小さくすれば鋸断が可能であり、これが調整できることが望ましい。

また測定記録を詳しく見ると、鋸断時に油圧が周期的に変動をくり返しており、この最大値がリリーフバルブの設定値をこえ、鋸断が停止することがあった。これは、ソーチェーンの刃が何枚かおきに材を切るため、理論切り込み深さ以上に切り込んでいるためと思われる。このことは、切り屑の厚みを測定しても、 δ の理論値よりはるかに大きいことからも言える。この刃の飛びを防止するには、案内板の形状、ソーチェーンのピッチ等を改良する必要があろう。

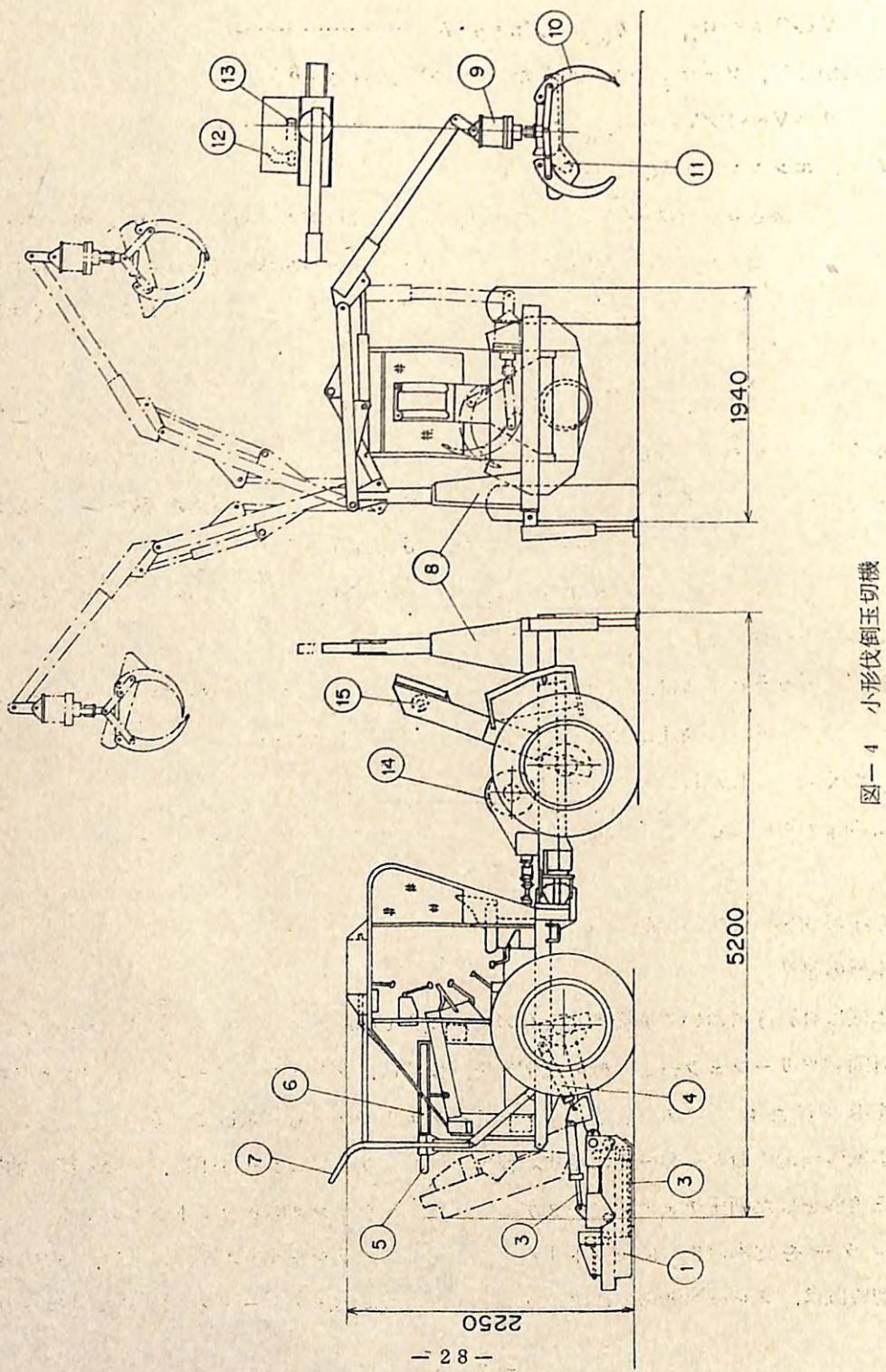
総合的にみると本機は、鋸断速度が毎秒5cmと、手持ちチェーンソーに較べて相当速く、流量をませば、さらに高速になると思われる。また手持ちチェーンソーのごとき振動の問題はまったく無い。しかしあが国の林業地は急斜地が多く、本機を広く活用するには、さらに小型で軽量のものにしていく必要があろう。

2. 国産小形伐倒玉切機の性能

(1) 本機の構造

本機は林野庁において開発されたもので、2.6 ton のホイールトラクタの前部に、前節の外国製ツリーフェラーと同様の伐倒機を、後部に、クレーンのアームの先にグラップルソーを取付けたものである。またワインチとフェヤリードも搭載している。

本機の構造の概略を図-4に示す。伐倒装置(ツリーフェラー)①は、その内部に案内板が三角形をした油圧チェーンソー②があり、チルトシリンダ③とリフトシリンダ④でツリーフェラーを立木の根本にセットする。鋸断時にはブッシャ⑤で木を前に押し、前方に倒す。玉切装置は、クレーン⑧の先にグラップル⑩とともに油圧チェーンソー⑪が取付けられて



- 28 -

いる。このグラップルソーはローテータ⑨で 270 度回転し、また、玉切りの時、位置ぎめをするため、グラップルとチェーンソーの間隔を 10 cm 整調整できる。ワインチ⑩とフェヤリード⑪により材の引き寄せがおこなえる。

本機の主な仕様は、総重量 3.9 ton, エンジン出力 2.4 PS/2,500 rpm, ツリーフェラーの最大鋸断径は 40 cm, 0.404 in のソーチェーンを用いている。グラップルソーの案内板は、手持ちチェーンソーと同様の形状で、長さ 48 cm である。クレーンの容量は、2 ton-m である。油圧ポンプはギヤ式で、26.25 l/2,500 rpm 140 kg/cm² である。ツリーフェラー、グラップルソーの油圧モータはともにプランジャ式、4.88 cc/rev, 140 kg/cm² である。

(2) 試験方法と結果

前節の外国製ツリーフェラーと同様の方法で、所要油圧、ソーチェーン速度、鋸断速度の測定をおこなった。試験材も同様である。また、水戸営林署管内において、伐倒、玉切作業の時間観測をおこなった。現地はアカマツ 40 年生、平均斜度 6 度であった。

図-5 に鋸断時の所要油圧を示す。本機は案内板の送りには、チェーンソー駆動用の油圧モータの出口に絞り弁を設け、ここで発生する背圧を利用して送り用の油圧シリンダを駆動している。そのため、鋸断速度は、絞り弁の調整により、ある程度変化させることができるが、あまり絞りすぎるとチェーンソーの駆動に影響する。試験材を用いて数回の予備試験により、鋸断速度の速い、最適の調整量を求め試験をおこなった。

図中 P : 鋸断時所要油圧 ($P = P_0 + P_s + P_c$), P_0 : 無負荷時所要油圧, P_s : ソーチェーン駆動用油圧, P_c : 案内板送り用油圧

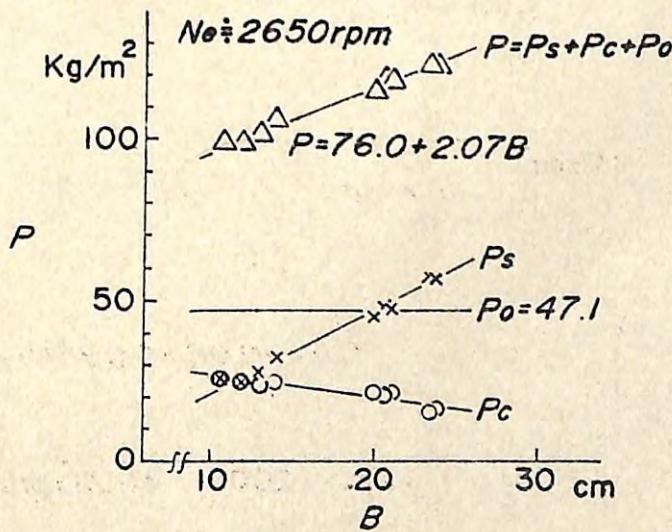


図-5 鋸断所要油圧

フィード所要油圧である。 P_s は正味鋸断所要油圧で、前節の理論式にあてはめると、 $F_s = 0.9 \text{ kg}$ であった。外国製ツリーフェラーの場合、 $F_s = 2.8 \text{ kg}$ であったのと較べると、少ないが、これは、ソーチェーンのピッチが小さいこと、切り込み深さ δ が、前回が 0.08 mm であったのに、本機では 0.06 mm と少ないとことによると思われる。 P_c は、材の径の増加につれて減少しており、切削抵抗の背分力 (F_c) には、径の増加により減少する成分があると考えられ、今後の課題である。 P_o は 4.71 kg/cm^2 と前節の 1.7 kg/cm^2 に比べて大きく各部の摩擦等によるものと思われるが、この試験後に配管の径の増大等の改良がなされた。

ソーチェーン速度、鋸断速度の無負荷時における測定結果を図-6に示す。実線は前節における理論式である。今回の場合、切り込み深さは、 0.06 mm と小さく、切削速度も毎秒 2 cm とやや遅い。これは、馬力の差によるものであるが、いま少し、速い鋸断が望まれる。また鋸断時の油圧の変動は、前節の機械より少なく、ソーチェーンのピッチが小さいこと、案内板の前部（鋸断時に材に当たるところ）の形状が外国製ツリーフェラーでは直線であった

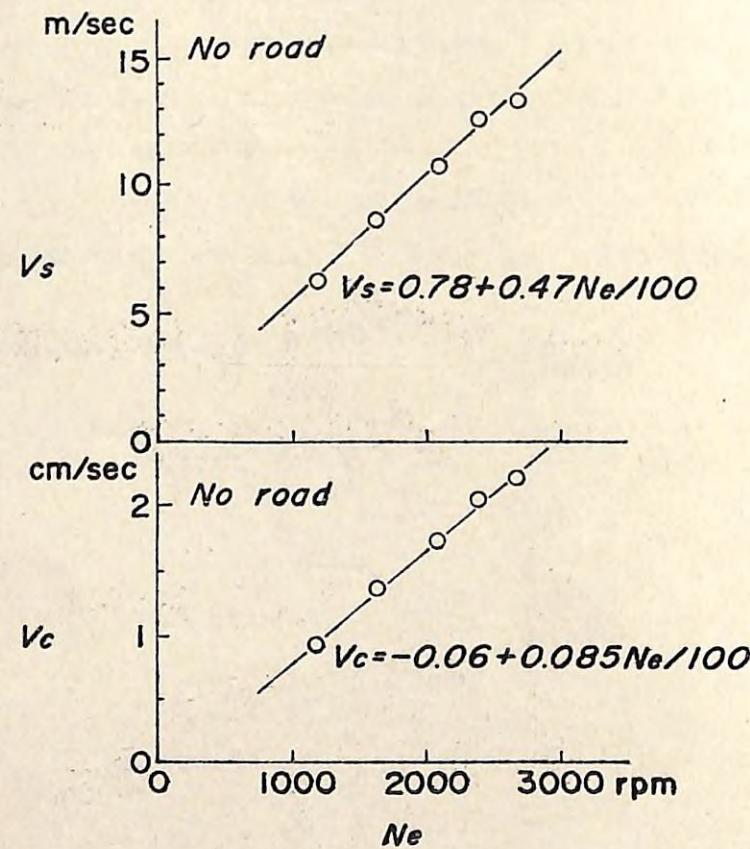


図-6 ソーチェーン速度および鋸断速度

のが、やや凸形のカーブをつけたため刃の飛びが少なくなっているためと思われる。

伐倒、および玉切りの時間観測をおこなった結果を表-1に示す。一連の作業は次のように実施した。まず $3 \sim 5$ 本を谷側に倒し、その木の枝払いを手持ちチェーンソーでおこなつた後、適当な場所にウィンチで引き寄せ、グラップルソーで玉切りをおこなう。玉切った材は車の後方に集積する。1本の木から6玉とするとして1本あたりの所要時間は1271秒となり1日6時間実動として17本 (11.9 m^3) であった。作業になれてないことや、木寄せの工程も入っていることもあるが、この現地でチェーンソーで伐倒と玉切をおこなっている作業員が1日60本程度処理することを考えると、能力は十分であるとは言えない。

表-1 各要素作業所要時間

単位：秒

伐倒(1本あたり)					枝 扯 (チェーンソー 使 用)	ワインチング(1本あたり)			玉切および材集積(1玉あたり)			合 計							
サイクルタイム				1本あたり		サイクルタイム			付 帶 作 業	サイクルタイム			付 帶 作 業	1本あたり					
移 動	セ ク ト	鋸 断	処 理	計		玉 か け 上 げ	卷 上 げ	計		セ ク ト	材 移 動	玉 切	集 積	計					
30	29	27	25	121	1本あたり	180	70	68	138	90	228	46	25	11	33	115	52	742	1,271
1本 = 6玉																			

以上述べたように本機は、伐倒、玉切り、木寄せが1台の機械でおこなわれ、作業員が振動にさらされることはない。その能力はまだ十分ではないが、グラップルソーは非常に有効であり、伐倒もこのグラップルソーでおこなわれればと考える。この種のトラクタ伐倒機は、今後発展させていかねばならないであろう。

発表文献

福田章史他：油圧チェーンソー式立木伐倒機の性能，88回日林論，1977, 445～447

同：国産小形伐倒玉切機の性能，89回日林論，1978, 455～457

(福田章史)

1-5. ROPS トラクタ

ROPS (Roll-Over Protective Structures, 転倒時運転者保護構造) は、林業作業中のトラクタが万一転倒事故を起こしたとき運転者を安全に保護できる機能をもった構造物で、トラクタの運転席周りに装備した保護構造である。運転者は、シートベルトを着用し、トラクタの走行速度 1.6 km/h 以下において、傾斜角 30 度以下の硬い粘土状地表の斜面上を接触を失うことなく、縦軸周りに 360 度転倒するという条件のもとで安全を保障されるものである。この不測の事故に対処することは、林業作業の安全確保はもちろんのこと生産性の向上のため緊要

なことである。試作装備(D 4 E形トラクタ)した集材ROPSキャブトラクタについて、ROPSの強度をはじめ、振動、騒音、空調等の性能試験を行ないそれらに検討を加えた。

1. ROPSキャブトラクタの諸元

ROPSキャブを装着した集材クローラトラクタの主要諸元は表-1のとおりである。

表-1 ROPSキャブクローラトラクタ

寸	全長	4 5 4 0 mm	懸架方式	半硬式単一ばね
	全幅	3 1 2 5 mm (ドーザ) 1 9 3 0 mm (本体)	足ローラの数	上部ローラ片側1組 下部ローラ片側5組
	全高	3 0 0 0 mm	まわり	履帶組立式シングルグローサ
	履帯中心距離	1 5 2 5 mm	突起の高さ	4 8 mm
法	接地長	1 8 8 5 mm	枚数	3 6 枚(片側)
	最低地上高	3 4 0 mm	ピッチ	1 7 1 mm
	名 称	ディーゼル	幅	4 0 6 mm
工	形 式	水冷四サイクル直列予燃焼室式	位 置	後部中央
シ	シリンダ数	4 - 1 2 1 mm × 1 5 2 mm	運 座	前後調整 1 0 5 mm 上下調整 5 5 mm
ジ	内径 × 行程		操作レバー数	1 0 本
ン	総行程容積	7 0 0 0 cc	ペタル数	2 本
ジ	定格出力	7 6 PS/1 9 0 0 rpm	ド	高さ × 長さ × 3 1 2 5 mm
ン	最大トルク	8 4 5 kgm/1 2 0 0 rpm	ト ザ	
	燃費率	2 0 0 g/PS.h	ウ	最大引張力 1 0 ton
	主クラッチ	湿式複板オーバーセンタ手動式クラッチブレーキ式	イ	卷込容量 直径 2 0 mm × 6 0 m
伝	変速機	前進 5 段、後進 5 段 すべりかみ合手動式	ン	
動	横軸減速機	まがり歯、かさ歯車式	チ	
装	操向装置	湿式・多板操向クラッチ 湿式バント締付足動ブレーキ	R	形 式 4 柱式
置	終減速機	平歯車 1 段	O	屋 根 鋼板 5 mm
			P	窓ガラス 合せ安全ガラス(前) 強化ガラス(側・後)
			S	空調装置 暖・冷房

トラクタ本体(D 4 E, 7 2 5 0 kg), アングルドーザ(1,4 0 0 kg), ウィンチ, インテグララーチ(8 3 5 kg)の集材トラクタにROPSキャブ(1,3 0 0 kg)とカンタウェート(3 1 5 kg)を加えたROPSキャブトラクタの装備質量を実測したところ 1 1,1 0 0 Kg であった。

2. ROPSキャブの概要

ROPSキャブの外観は図-1のとおりである。4柱式ROPS構造の屋根に5 mm厚さの鋼板を張り、天井の部分に空調装置を設置した。前・後面、両側面の窓ガラスは、非室内侵入形窓枠に合わせ安全ガラスおよび強化ガラスを使用した。乗降口は、両側面に2段式大形ドアラッチ付きの大形ドアをそなえた。キャブ内は、送風機によって水柱5 mm加圧防塵構造である。

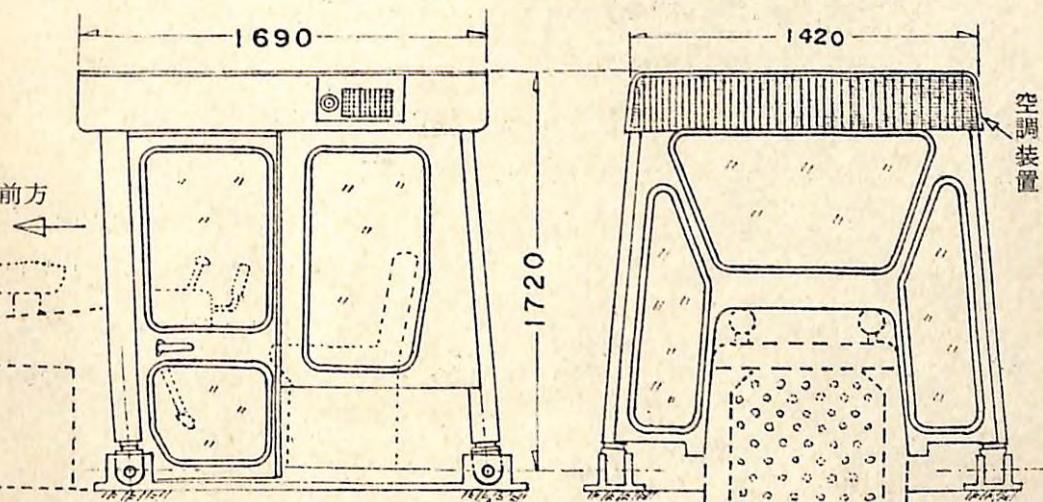


図-1 ROPSキャブ

3. ROPSの性能

ROPSは、転倒時の衝撃荷重に耐える十分な強度をもつとともに、衝撃をうけたROPS部材は部材の変形によって衝撃力を吸収することから、適当な弾性および塑性変形の能力をもたせさらに脆性破壊を起こさないよう韌性をそなえていなければならない。ISO (International Organization for Standards) 3 1 6 4, 3 4 7 1, およびJIS A-8 9 1 0 は、履帯式トラクタに装着するROPSの性能および試験方法について規定している。

ROPSの側方負荷時の必要最小荷重は、次の関係式により求めることができる。

$$F_{reg} = 7 1 4 0 \left(\frac{M}{1 0,0 0 0} \right)^{1.2} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここに, F_{reg} : 必要最小荷重 (8,093 kgf), M : 最大指定質量 (トラクタの装備質量 1,110 kg)

また、側方負荷時の必要最小エネルギーは、次の関係式から算出する。

$$U_{reg} = 1,330 \left(\frac{M}{10,000} \right)^{1.25} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

ここに, U_{reg} : 必要最小エネルギー (1,515 kgf・m), M : 最大指定質量 (11,100 kg) ROPSは、この必要最小要求値 $F_{reg} = 8,093 \text{ kgf}$ および $U_{reg} = 1,515 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の両値をみたす性能を必要とする。従って、この両値を満足するまで側方荷重 (F) を負荷し続け、荷重とたわみ (Δ) からエネルギー (U) を次式で計算し、 $U_{reg} \leq U$ であることを確かめる。

$$U = \frac{A_1 F_1}{2} + (A_2 - A_1) \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right) + \dots + (A_N - A_{N-1}) \left(\frac{F_{N-1} + F_N}{2} \right) \dots \quad (3)$$

ROPSの負荷試験は、建設機械化研究所の100tROPS試験装置により行なった。側方荷重一たわみ曲線および計算値を図示したものが図-2である。

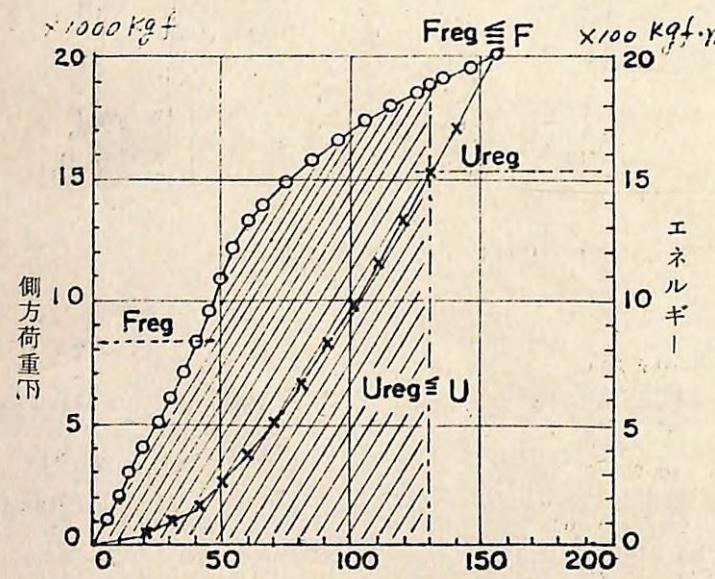


図-2 側方負荷とたわみ

側方荷重 $F = 20,000 \text{ kgf}$ をかけたときのエネルギー $U = 2,000 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の性能をもつていることから、 $F_{\text{reg}} \leq F$, $U_{\text{reg}} \leq U$ いずれも必要最小要求値をみたしていた。

同様に垂直負荷試験は、側方負荷試験を終了し側方荷重を除去したのちに最大指定質量 ($M = 11,100 \text{ kg}$) に相当する垂直荷重を支持させた。このとき ROPS 構成部材ならばに SGPS (Simulated Ground Plane, 仮想地面) が正規に設置された DLV (Deflection-Limiting

Volume, たわみ限界領域)に侵入していないことを確認した。

よって、本ROPSの性能は適当な強度をもつていると云うことができる。

4. 空調装置

温風、冷風吹出送風機は、ターボ形遠心式シロッコファンを使用し、回転数別の吹出風量(Ga)および外気導入空気量(Gi)を図-3に示した。回転数は、1800 rpm(Low), 2280 rpm(Med), 2700 rpm(High)の3段切換で、吹出風量は $8.1 \text{ m}^3/\text{min} \sim 11.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 、外気導入空気量は $5 \text{ m}^3/\text{min} \sim 6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ であった。ROPSキャブ内の正味の空間容積(Ga・cab)は、 3.6 m^3 から 4 m^3 と推定され平均をとって 3.8 m^3 と仮定した。吹出風量は、 $\frac{Ga}{Ga \cdot Cab}$ の比からキャブ内の正味空間容積の2~3倍である。

暖房装置は、ラジエータの温水を耐熱ゴムホースで ROPS キャブの天井に設置した放熱器へ導入する強制循環温水暖房である。暖房器の形式は、内外気併用式で再循環空気と外気導入空気が混合されて放熱器を通過し受熱される。温水側の放熱量の設計値は 8500 kcal/h で次式により算出した。

$$Q_w = G_w \cdot C_{pw} (t_{w_1} - t_{w_2}) \quad \dots \dots \dots (4)$$

kg/m^3), C_{pw} : 温水の比熱 (1.0 kcal/kg°Cとみなす), t_{w1} : 入口温水温度 (82.2°C), t_{w2} : 出口温水温度 (71.5°C) を(4)式に入れて計算すると $Q_w = 8,500 \text{ kcal/h}$ となる。空気側受熱量は、次式から算出した。

ここに、 Q_a ：空気側受熱量 (kcal/h) , G_a ：実際の空気流量 = $V_a \times r_a$ (kg/h) ,

V_a : 空気流量 (最高 $678 \text{ m}^3/\text{h}$), r_a : 空気の単位体積当たりの質量 $\frac{1.293}{1+0.00367t_a} \times$

$\frac{H}{760}$ (1.21kg/m³), H: 大気圧(760mmHg), C_{pa}: 空気の比熱(0.24kcal/kg°Cと見なす), t_{a2}: 出口空気温度(61°C), ここに入口空気温度 t_{a1} は、内外気併用式であるので次式により算出した。

ここに、 Ma ：導入外気の質量(422 kg/h)、 t_a ：外気の温度($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)、 Mr ：両循環空気の質量(396 kg/h)、 t_i ：両循環空気の温度($40\text{ }^{\circ}\text{C}$)、 M ：混合空気の質量($Ma + Mr = 818\text{ kg/h}$)、(6)式より $t_{a1} = 20.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ を求める、さらに $t_{a2} = 61\text{ }^{\circ}\text{C}$ として(5)式から空気側受熱量 $Q_a = 7800\text{ kg/h}$ となる。温水側放熱量の設計値 8500 kcal/h の約 92% であるが、外気温度をもっと低く設定することができたならばさらに設計値に近い性能を示したものと考える。エンジン回転数別の経過時間における空気側受熱量(Q_a)およびキャブ内の温度上昇傾向は図一のとおりである。

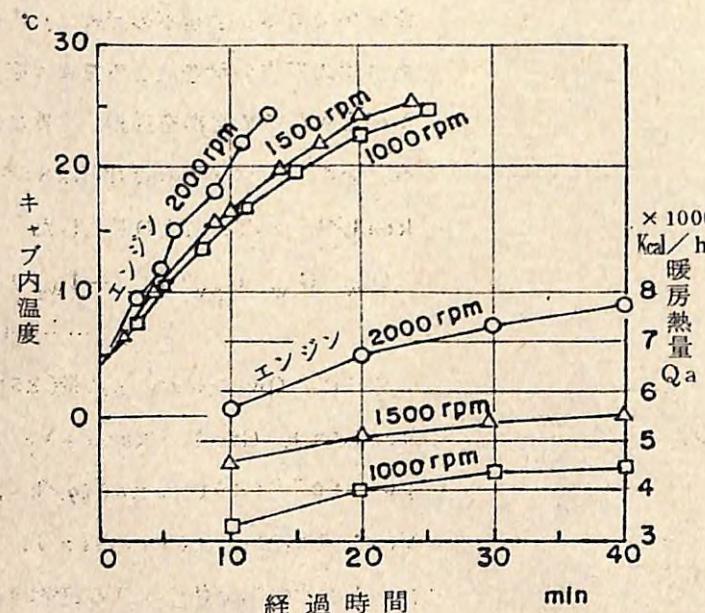


図-4 経過時間と暖房熱量, キャブ内温度

出入口の温度、湿度の変化を測定して、次式により算出した。

ここに、 Q : 冷房熱量 ($4,000 \text{ kcal/h}$), V : 冷却器の通過風量 ($680 \text{ m}^3/\text{h}$), U : V

冷房装置は、圧縮器をエンジンクランク軸からVベルトブーリを介して駆動し、ROPSキャブの天井に設置した凝縮器、冷却器へ耐熱ゴムホースで配管した。凝縮器用送風機は、軸流ファン2台をそなえ風量 $36m^3/min$ から凝縮器入口における風速は $5.8m/sec$ である。冷却方式は空冷式で、冷媒は、フレオンガス(フロン-12)である。冷房性能は、冷却器の通過風量を正確に求め、その

を計測したときの空気の比体積 ($0.868 \text{ m}^3/\text{kg}$), i_1 : 冷却器入口空気エンタルピー (18.8 kcal/kg), i_2 : 冷却器出口空気エンタルピー (13.7 kcal/kg),

空気エンタルピーは、冷却器入口および出口における乾球温度と湿球温度から空気線図により求めた。

試験の方法は、トラクタを直射日光下におき、ROPSキャブ内の温度がはゞ35℃になるまで放置した。エンジン回転数2,000 rpm (圧縮器2,400 rpm) に設定しクーリングを開始した。

(7)式により算出した冷房熱量および経過時間とキャブ内温度の傾向を図-5に示した。これによると冷房熱量 4,000 kcal/h を示したが、設計値 7,000 kcal/h の 57% にとどまった。これは冷房負荷の不足もあるが、ベンチテストによるほかわこの種冷房能力を正確に求めることは困難である。

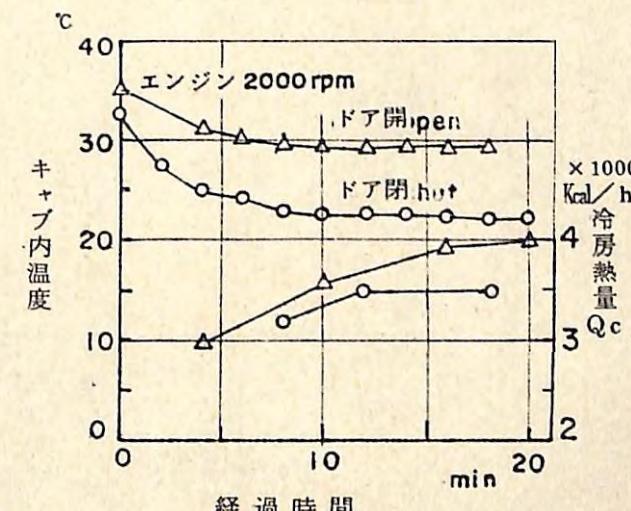


図-5 経過時間と冷房熱量、キャブ内温度

5. 走行性能

直線走行試験は、150m の直線走行試験路において行なった。5速2,000r.p.m.で走行し等速区間20mにおける所要時間7.8secを測定した。この時の走行速度9.86km/hはトラクタの最高速度で、減速比からの計算値とはほぼ一致した。

登坂試験は、登坂試験路の勾配15度の坂路(30m)で行なった。等速度となる区間5mの登坂所要時間4secを測定し、速度段3速でフルスロットルで行ない限界の速度段であった。けん引力試験は、土質別試験地の砂、ローム、腐植土でコーン指数をかえて行なった。

試験の方法は、固定アンカーと被試験トラクタの間にロードセル(10t)を入れ100%スリップするまで駆動した。けん引力は、ロードセルから動歪計を介して電磁オシログラフに記録し、記録波形からスリップ直前の最大値(F_{Dmax})を読みとり被試験トラクタの質量(W_t)で除した値とコーン指数との傾向を図-6に示した。コーン指数に比例して F_{Dmax}/W_t も高くなる傾向を示している。参考までにWESによるRCI(推定コーン指数)と最大けん引力曲線を実線で併記した。

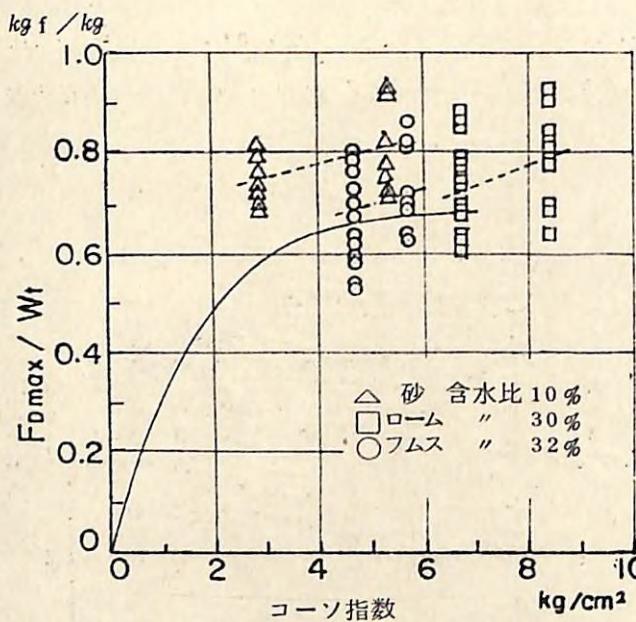


図-6 コーン指数とけん引力係数
(WESによるRCIと最大けん引力曲線)

6 振動および騒音

振動加速度は、歪ゲージ式加速度ピックアップ10φ(3軸, DC-300Hz), 2φ(1軸, DC-100Hz), FMテレメータ(M社), データレコーダ(K社)をもちいて測定した。

運転席床面には、10φピックアップをボルトで取付け、運転席シートには、2φピックアップを直径200mm, 厚さ6mmの鋼板の中心部にボルトで取付けて、運転者の両ももの内側にはさむようにシートに密着した。

運転席シートは、乗心地をよくして運転者の疲労を軽減するため近年改良が進み、運転操作しやすく機能的に造られている。シートの表皮はなめらかな黒色皮革で、ウレタンフォーム、コイルスプリングから構成されたセパレートタイプである。体格に合わせて水平前後方向に105mm移

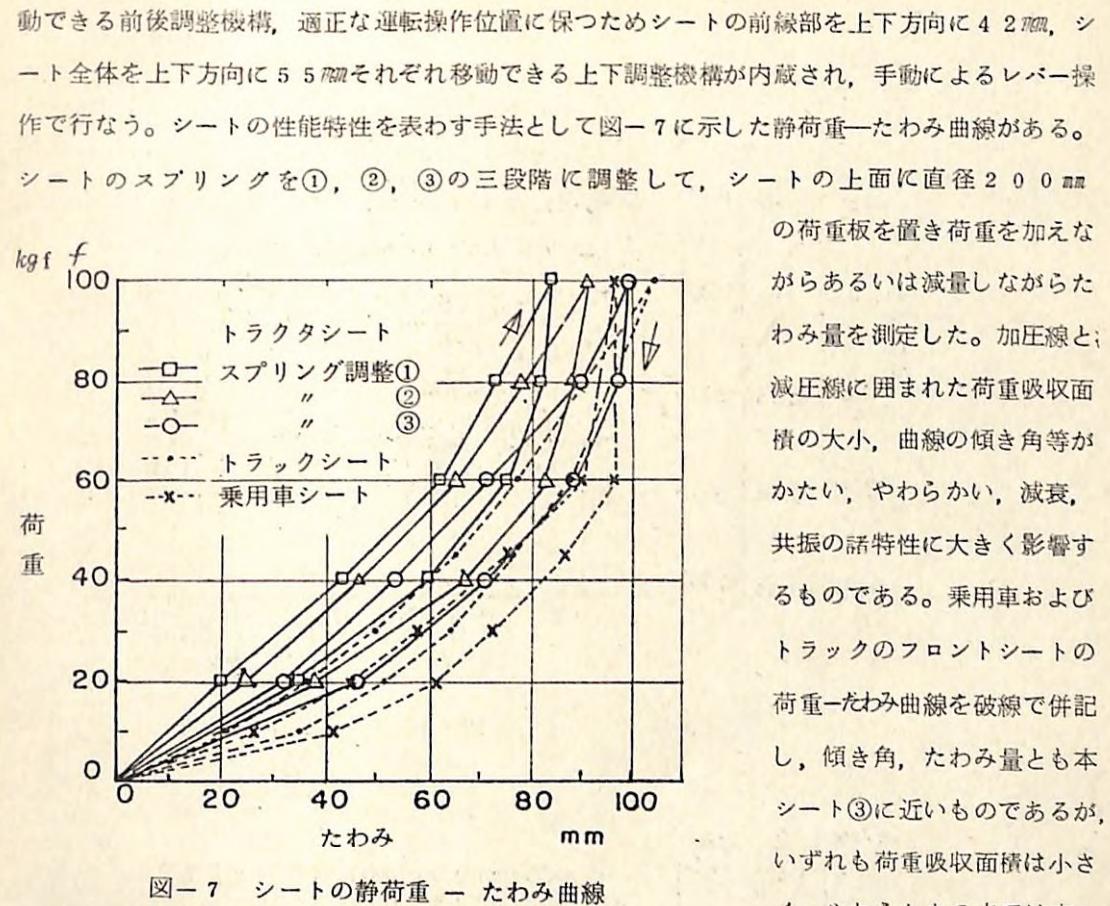


図-7 シートの静荷重 - たわみ曲線

ートがすぐれているということができよう。シート上における振動加速度の測定は③の調整位置で行なった。トラクタの走行路面は硬く整地した土道で周波数分析の結果は図-8, 9のとおりである。高速の速度段3-5速でISO規格振動ばく露許容基準8h線を局部的に超える周波数成分がみられるが、実際作業時の速度段は1-2速であり8h許容基準を超えていない。

騒音は、騒音計(B&K社), データレコーダ(K社)をROPSキャブトラクタに搭載し測定を行ない、周波数分析器(B&K社)にかけて周波数分析を行なった。マイクロホンは、運転者耳元(左)の位置で前方に向けて天井から吊り下げた。キャブ外では左側のドア枠上限の高さで、ドア枠中心部において外側へ20cmの位置で前方に向けて保持した。

エンジン空転時においてキャブ外と運転者耳元で測定し、周波数分析の結果は図-10のとおり。運転者耳元測定時にはドアを閉じた。

騒音レベルは、200Hzまでの低周波数域でキャブ外よりも運転者耳元の方が高く、200Hz以上の高周波数域ではキャブ外の方が高い。

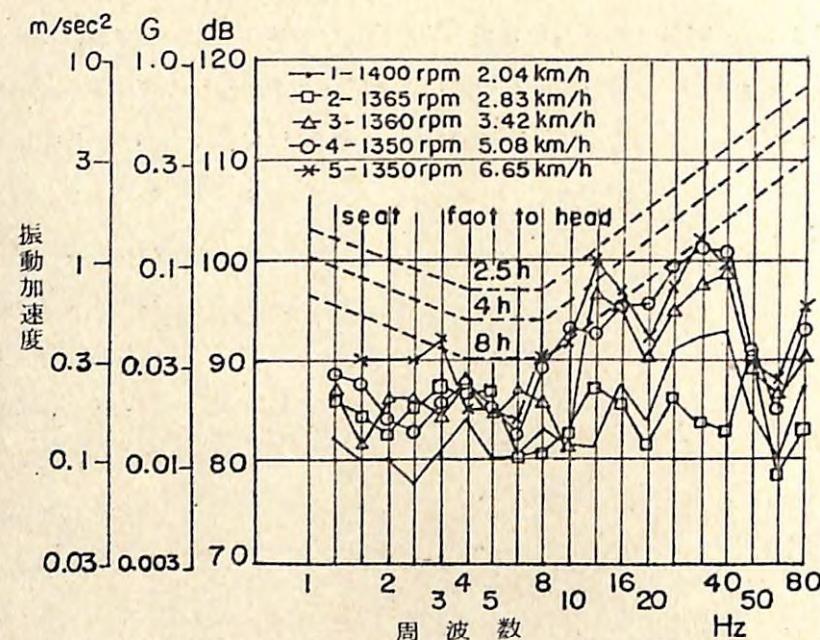


図-8 シートの振動加速度(上下方向)

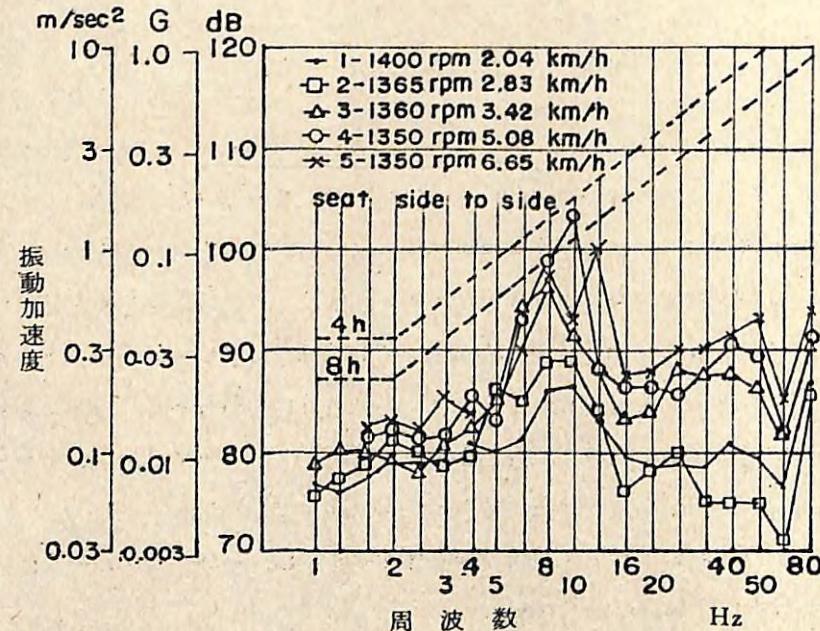


図-9 シートの振動加速度(左右方向)

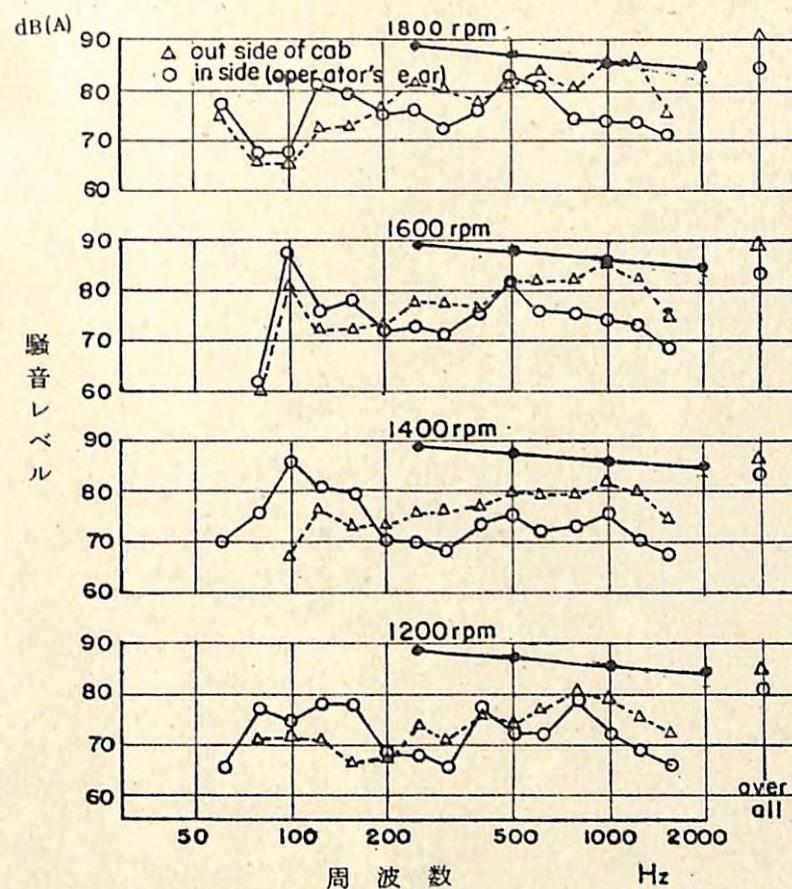


図-10 エンジン空転時の騒音

このことは、高周波数域でキャブによる低減効果が認められるが、低周波数域でわずかであるがキャブの空洞共鳴によるこもり音の現象がみられ、キャブの前後方向の長さ(1.5 m)が半波長となる周波数域100 Hz前後に現われている。予防対策としては、共鳴周波数を大きくかえるか、キャブ内に吸音材を有効に使う等がある。しかし、騒音ばく露許容基準(日本産業衛生協会)1日8 h値を黒丸と実線で併記し、8 h許容基準内にあることを示している。エンジン空転におけるドアの開・閉別および登坂負荷時のドア閉において測定した運転者耳元の騒音レベルは、図-11のとおり、A持性のドア開閉による差は、回転数1,000 rpm, 1,600 rpmのはかはいずれもドア閉の方が数dB低く、登坂負荷時では5 dB程度高い。C持性のドア開・閉別では、回転数1,600 rpmをのぞいては、いずれもドア閉の方が数dBから10 dB程度低く、登坂負荷時では~5 dB程度高い値を示した。走行速度と騒音の関係は図-12のとおり。ドア開・閉

による明らかな差はみられず、走行速度に比例して高くなるが $3 \sim 4 \text{ km/h}$ 付近からほぼ横ばい傾向にある。

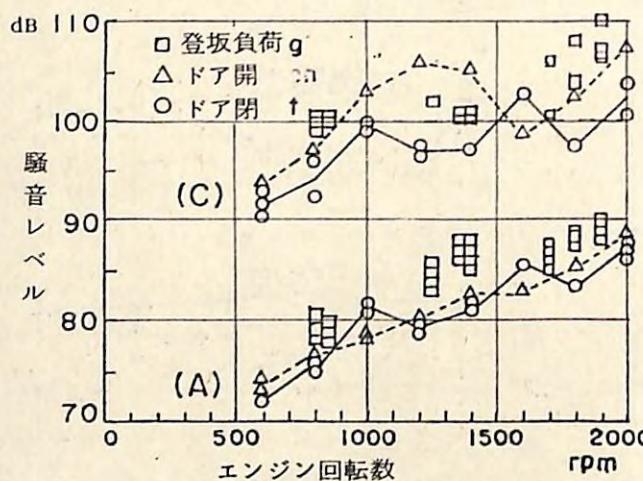


図-1-1 エンジン空転時、負荷時の騒音
(運転者耳元)

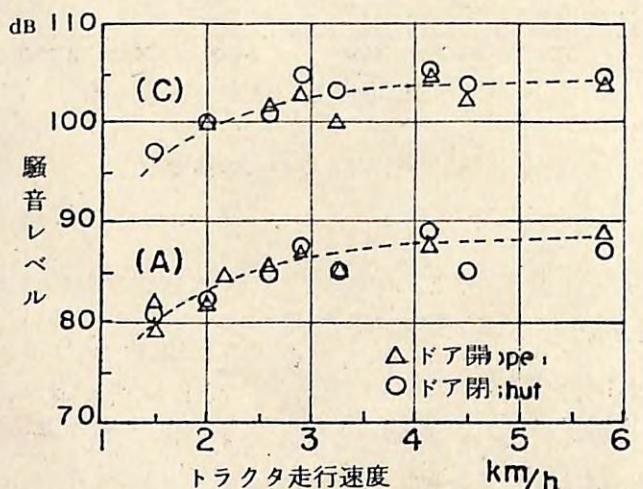


図-1-2 トラクタ走行速度と騒音
(運転者耳元)

7 まとめ

トランクタの世界的な安全対策の動向を背景として、わが国でははじめて集材クローラトランクタにROPSキャブの装備を行なった。ROPSは、必要最小要求値をみたしており適当な強度を

もっていた。空調装置は、送風機の風量および暖房性能は設計値に近い測定値を得たが、冷房性能は、冷房負荷の不足もあって57%にとどまった。振動加速度は、運転席シート上で実作業速度の範囲ではISO規格8h許容基準以内にあった。騒音レベルは、ROPSキャブによって、高周波数域の低減効果が認められたが、低周波数域でわずかであるがこもり音現象がみられた。オーバオール値では90dB(A)以下であった。ROPSキャブは、林業トランクタの安全対策に有効なものであり、空調装置の設置により居住性の向上から安全性の確保も期待できる。騒音は、許容基準内にあるが、さらに低減対策等の調査・研究を進めていかなければならない。

(三村和男)

1-6 自走式簡易リモコン集材機の開発

戦後に植栽された造林木は間伐時期に入っているが、作業員の減少、老齢化、さらに搬出コストの上昇等で、間伐の実行が遅れている。これを解決する一つの方法として、省力作業のできるモノケーブル式索張り専用の自走式簡易リモコン集材機を開発する。

(1) 試作機の概要

この自走式簡易リモコン集材機は、8馬力のガソリンエンジンを原動機とする2胴集材機をクローラ形足回りの上に搭載したものである。(表-1, 図-1)

表-1 自走式リモコン集材機の仕様

1. 機 関

形式: ロビン EX44-2B, 空冷四サイクル単気筒ガソリンエンジン

出力: 8 PS/1800 r.p.m

2. 全体寸法

全長: 1,820 mm, 全幅 1,290 mm, 全高 1,120 mm

3. 重 量

1,300 kg

4. 足回り

寸法: 履帯中心距離 1,110 mm, 履帯幅 180 mm,

接地長: 800 mm, 最低地上高 280 mm

走行速度: 約 1 km/h

登坂能力: 30°

接地圧: 0.45 kg/cm^2

最小旋回半径: 700 mm (履帯外側半径)

5. ウィンチ関係

ドラム数: 2個+ (スプリットエンドレスドラム)

ドラム寸法: ドラム 直径 幅 フランジ直径

ドラム	230 mm	180 mm	500 mm
-----	--------	--------	--------

エンドレスドラム	320 mm	90 mm	—
----------	--------	-------	---

巻込容量: 9 mm × 320 m

巻取能力: ドラム 1速 2速 3速

ドラム	880 kg	495	285
-----	--------	-----	-----

エンドレスドラム	1,000 kg	560	320
----------	----------	-----	-----

巻込速度: ドラム 1速 2速 3速

ドラム	41 m/min	73	126
-----	----------	----	-----

エンドレスドラム	36 m/min	64	110
----------	----------	----	-----

クラッチ: メインは乾燥单板式摩擦クラッチ(手動)

ドラムはコーン形摩擦クラッチ

ブレーキ: バンドブレーキ

6. 駆動装置

走行装置: 油圧式

ウィンチ: 機械式

7. 操縦装置

走行装置: リモートコントロール(有線)

ウィンチ: 同上

8. 索張力自動制御装置

荷重検出器による索張力検出

9. ハイドロオイルタンク容量 60 ℥

注: ウィンチ性能は平均巻取直径時、エンジン回転数 1,800 rpm 時を示す。

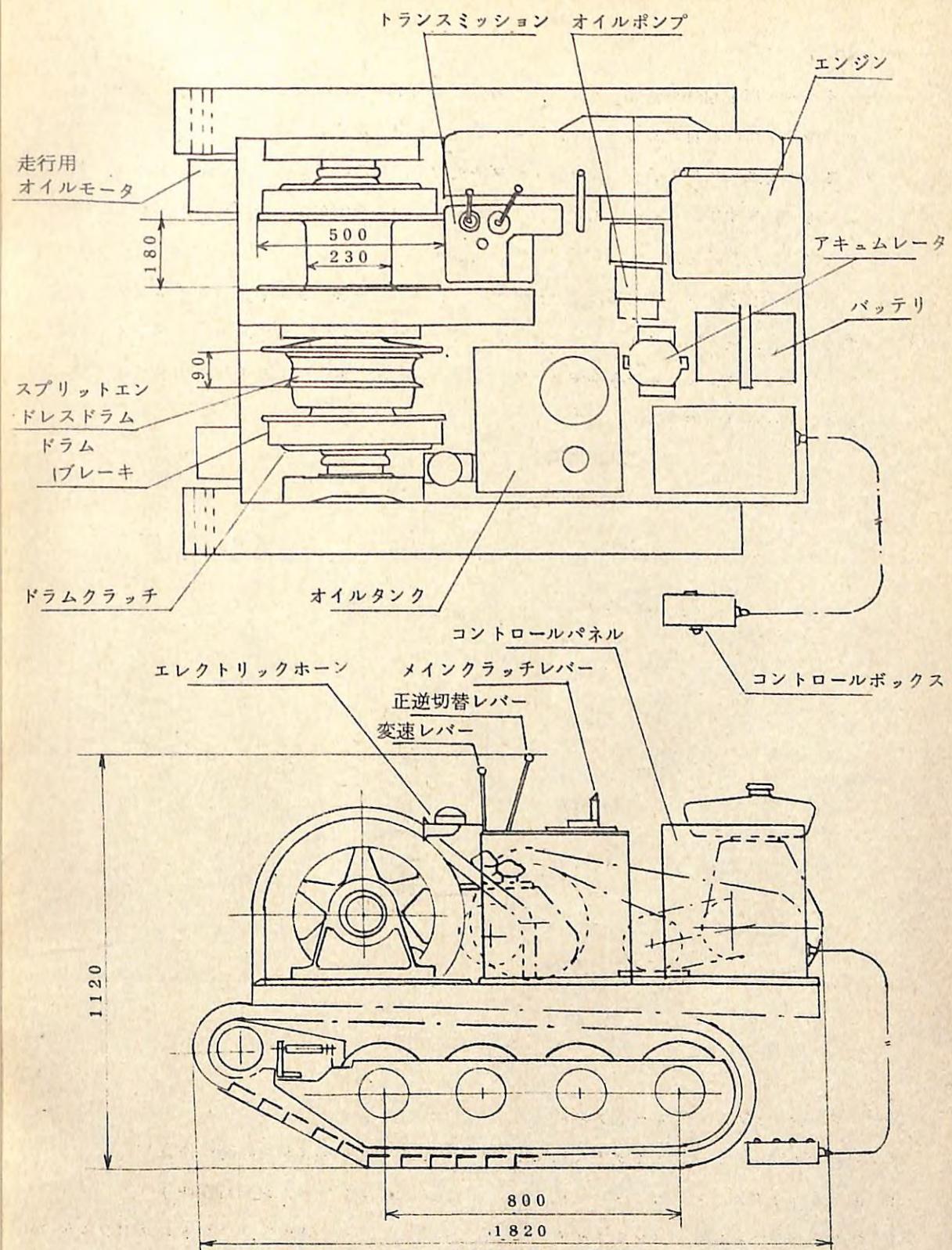


図-1 自走式リモコン集材機

(2) 使用上の特徴

- クローラ形足回りを装備していて、運転手は乗らずに（歩いて）走行用の押しボタンスイッチを押すだけで自走できるから、移動・据付が容易である。
- 従来の普通形集材機を使ったモノケーブル式で搬出するには、ふつう荷掛けに2人、荷卸しに1人、集材機の運転に1人の作業員が必要で、運転手は荷掛け手、荷卸し手からの連絡を受けて、集材機を操作している。

自走式簡易リモコン集材機では、押しボタン式スイッチボックス（図-2）を荷卸し手の近くに置き、集材機とスイッチボックスの間はケーブルで結び、荷掛け手の連絡により荷卸し手は押しボタンスイッチを押すだけで操作できるので、専任の運転手は不要となる（図-3）。（……46頁へつづく）

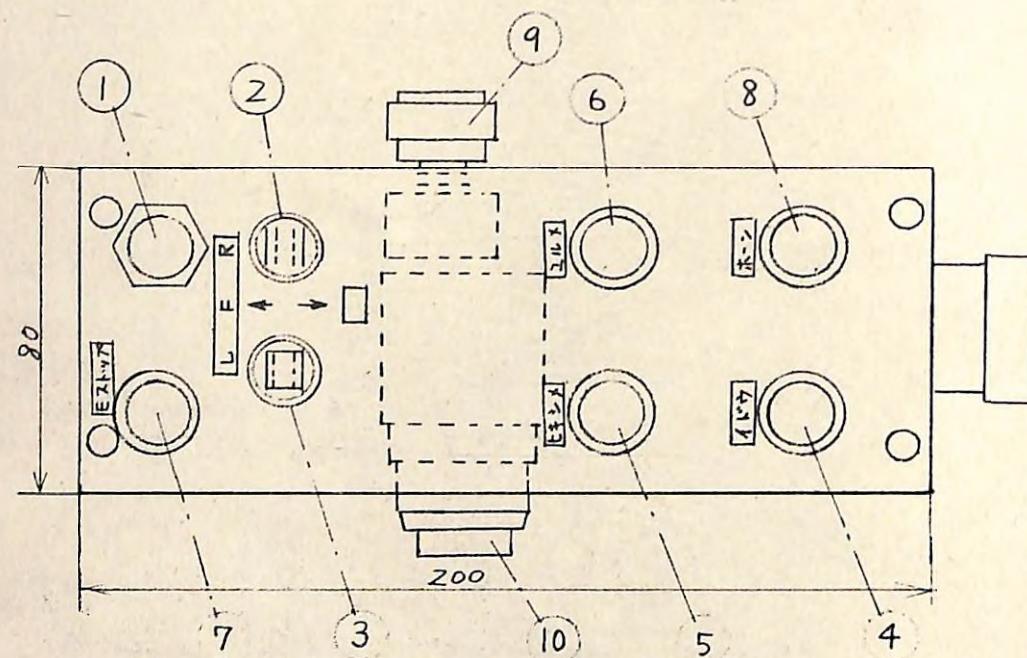


図-2 走行用ならびに集材作業用コントロールボックス

- エンジン稼動表示バイロットランプ
- 走行右旋回用スナップスイッチ（F.N.Rの3位置。⑩ブッシュボタン同時操作）
- 走行左旋回用スナップスイッチ（F.N.Rの3位置。⑩ブッシュボタン同時操作）
- 荷の移動用ブッシュボタンスイッチ（ドラム—引締索用—停止し、エンドレスドラムが

駆動する）

- 荷の引締用ブッシュボタンスイッチ（ドラムを巻き込み、エンドレスドラムはフリーとなる。テンションリミッタがONになると、ドラムは自動的に停止する）
- 循環索弛め用ブッシュボタンスイッチ（両ドラムともフリーの状態となる。設定時間—0.3～5秒—後に両ドラムとも自動停止する）
- エンジン停止用ブッシュボタンスイッチ（停止時は数秒押し続けること）
- ホーン用ブッシュボタンスイッチ
- バリアブルレジスタ用ノブ（循環索弛めの作業時にドラムフリーの状態から停止に至る設定時間の調整に使用する）
- ワインチ停止および走行用ブッシュボタンスイッチ（20分の1秒以上押せば各ドラム停止—弛めも途中で中止—する。なお、このスイッチは走行用も兼ねており、押している間だけ走行する）

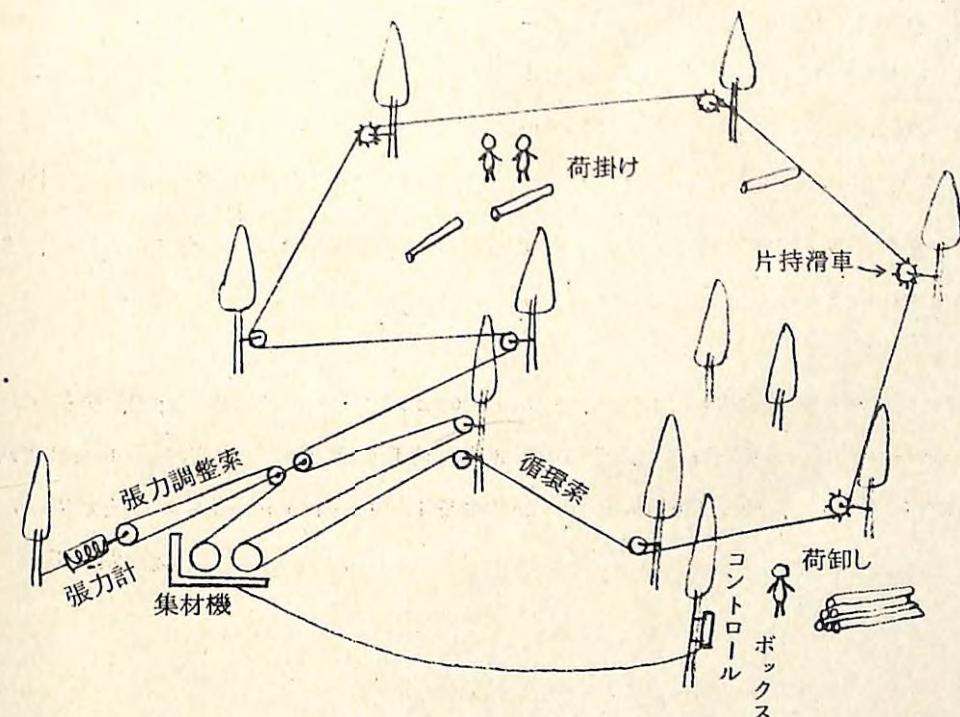


図-3 モノケーブル式索張りによる自走式リモコン集材機を使った搬出状況

図3. 自走式リモコン集材機を使ったモノケーブル式索張りによる間伐材の搬出
(林内の立木に片持滑車をとりつけて、これに循環索を張りめぐらし、集材機の2個の巻胴—循環索用と張力調整索用に使用—を操作して、循環索に吊り下げた間伐材を順々に、立木の間を縫って搬出する)

③ 荷卸し手はスイッチボックスに表示してある循環索の停止・上昇・下降・左行・右行の各押しボタンスイッチを押すだけで、あとは電気的な制御回路が働いて集材機は必要な作動をする(索の複合した動きが得られる)ので、操作は至って簡単である(表-2)。

表-2 自走式リモコン集材機の作動

索の動き		張力調整索用ドラム			循環索用ドラム			スロットル
		クラッチ	ブレーキ	ドラムの状態	クラッチ	ブレーキ	ドラムの状態	
引締	開始	○	×	回転	×	×	フリー	開
	終了	×	○	停止	×	○	停止	閉
弛緩	開始	×	×	フリー	×	×	フリー	閉
	終了	×	○	停止	×	○	停止	閉
走行(荷移動)		×	○	停止	○	×	回転	開
停止		×	○	停止	×	○	停止	閉

④ 作業中に使う頻度の低いドラムの变速(3段)および正逆は手動で行うこととして、機構の単純化を図った。

(3) 現地使用の結果

長野営林局管内の坂下営林署において、60年生のヒノキ・イチイの混交林で、全長500mのモノケーブル式索張りを行ない、荷掛け手2人、荷卸し手兼集材機の運転手1人計3人で、胸高直径10~20cm、樹高10mのイチイ間伐林を1日6~10m³集材することができた。

(兵頭正寛)

2 造林用作業機

2-1 ホイールトラクタ・ツリースペード

昭和48年度に、全油圧駆動式ホイールトラクタを試作し、これにツリースペードを装着し、これらの各種性能試験を実施した。

(1) ホイールトラクタおよびツリースペードの構造

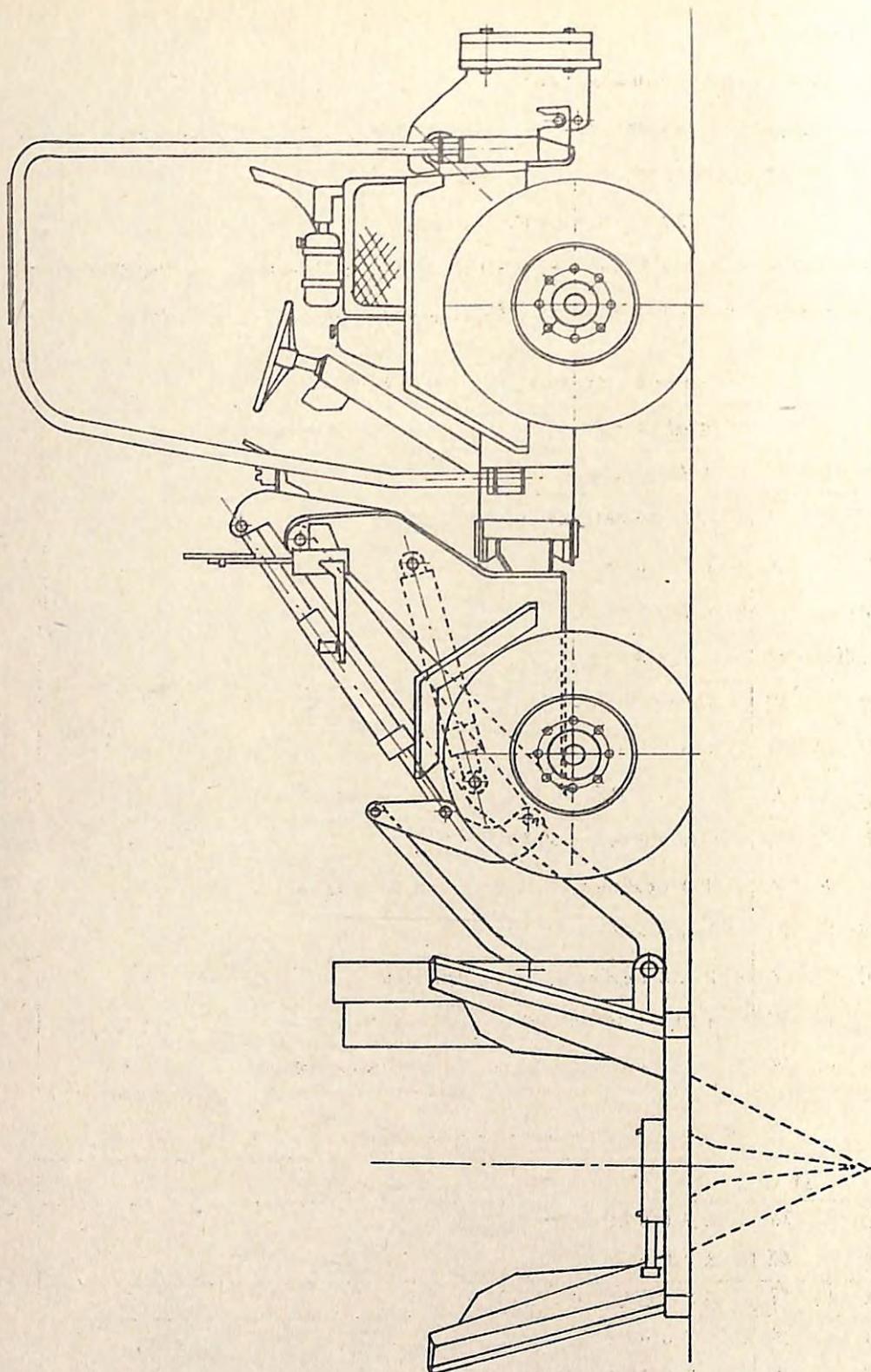
ホイールトラクタの仕様の概略を表-1-1に、同じくツリースペードの仕様を表-1-2に示す。またツリースペードを装着したホイールトラクタを図-1-1に示す。

表-1-1 全油圧式ホイールトラクタの仕様

形 式		全油圧アーティキュレイテッドホイールトラクタ
全装備重量		4,300kg
寸法	全長	3,550mm(バケット装着時)
	全幅	1,890mm
	全高	2,700mm
	最低地上高	425mm
機関	形式	ディーゼルエンジン
	排気量	1,885cc
	馬力	30PS
油圧装置	走行用	可変アキシャルプランジャー形
	ポンプ	49cc/rev, 210~40kg/cm ²
	作業機	ギヤポンプ
	用ポンプ	288cc/rev, 160kg/cm ²
	走行用	4個、可変マルチラジアルピストン形
	モータ	374cc/rev, 300~400kg/cm ²

表-1-2 ツリースペードの仕様

重 量		
寸法	全高	1,700mm
	全幅	2,200mm
給水装置		タンク容量 65ℓ
掘取穴	直 径	760mm
	深 度	700mm



ホイールトラクタは、走行、操縦、作業機の操作をすべて油圧で行い、操縦性、不整地走行性の向上が期待される。走行装置は、4輪の各々に可変容量マルチラジアルピストン形油圧モータを装備し、油圧配管のみで動力を伝達している。そのためトランスミッション、プロペラシャフト、差動装置等、機械的動力伝達機構はまったく無く、クリヤランスが大きくとれ、構造が簡単になる。

また作業機としてツリースペードの他、バケット、ログローダ、ワインチ等を装備することができる。

ツリースペードは、ホイールトラクタの前部のアームの先に取り付けられ、4枚のスペードを油圧で土中に圧入し、円錐形の土を樹木とともに堀り取るものである。

(2) 試験方法および結果

ホイールトラクタの車軸に、ストレインゲージを用いたトルク計測装置を取り付け、また車軸の回転数を光電式回転ピックアップを用いて動力性能の計測をおこなった。

走行抵抗係数は、固い土道（作業道）で 0.036、柔らかい林地（腐植土上）で 0.11 であり、他のホイール式トラクタ（スキッダ等で別に測定した）と比較して大差はない。

ロードセルを用いて測定した最大けん引力は、固い路面の作業道上で 2.7 ton（粘着係数 0.63）、乱されていない林地で 2.3 ton（同じく 0.53）、柔らかい林地（腐植土上）で 1.9 ton（同じく 0.44）であった。

ツリースペードにより移植作業をおこない時間観測の結果、次式のサイクルタイム算定式が得られた。

$$C_m = 4.38\ell_a + 1.45\ell_b + 11.8\ell_c + 39.4 \text{ (秒)}$$

ここで、 C_m : サイクルタイム (秒)

ℓ_a : 植込み区と堀取り区の平均距離 (m)

ℓ_b : 植込み区内での平均移動距離 (m)

ℓ_c : 堀取り区内での平均移動距離 (m)

作業は、移植作業を考え、移植木を堀取り、ツリースペードに入れたまま植込み区へ運搬し、あらかじめツリースペードで堀っておいた穴に植込む。そして次の木のために穴を堀り、こんどは堀取った木を運搬して堀取区の移植木を堀ったあの穴へうめ戻し、次の堀取り木へ移動する。

図-1-2に、各サイクルタイムの測定結果と上式の関係を示す。

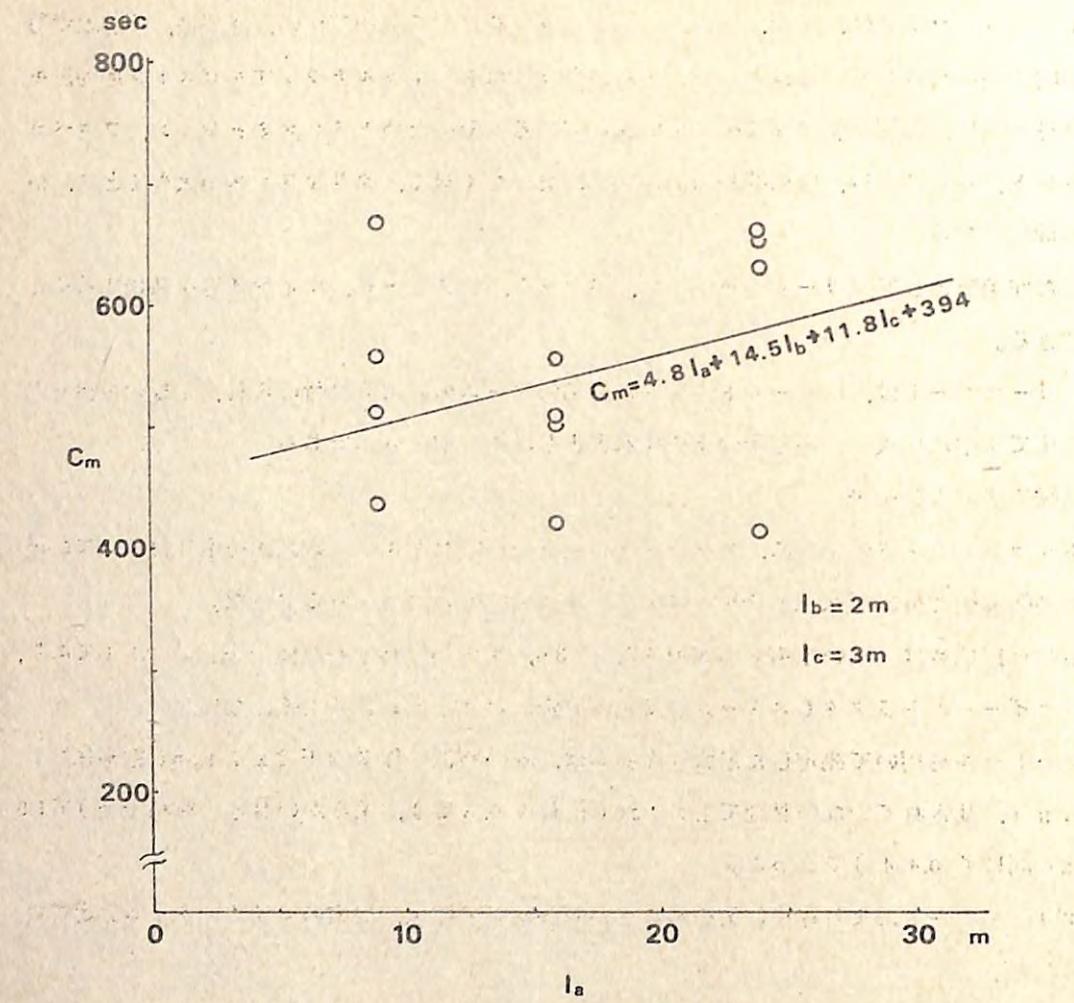


図-1-2 ツリースペード移植サイクルタイム

発表文献

福田章史他 6名：全油圧ホイールトラクタ、ツリースペードの性能、第85回日林講
1974.8, 331~336

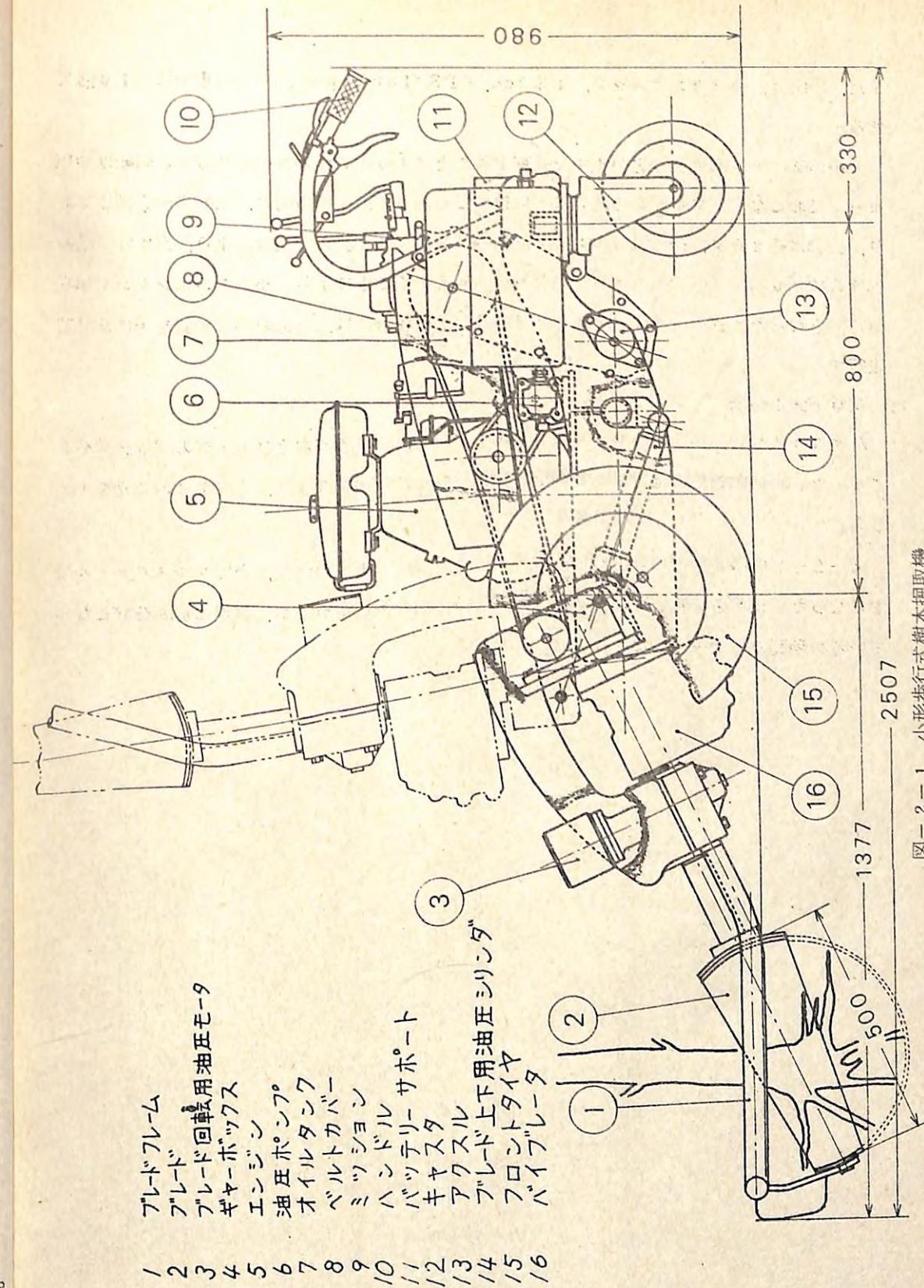
(福田章史)

2-2 小形歩行式樹木堀取機

この機械は、歩行式耕うん機程度の大きさで、比較的小径の緑化木の堀取りに適しており、緑化木の生産で最も労働力を要する堀取りの機械化を目的としたものである。これについて、機械性能、堀取り性能の試験をおこなった。

(1) 小形歩行式樹木堀取機の構造

概略の寸法および構造を図-2-1に示す。図には示されていないが全幅は 800mm である。



1/2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 1/2 1/3 1/4 1/5 1/6

また、機関は、ガソリンエンジン、433cc, 8 PS/1300 rpm, 全装備重量は510kgである。

図中の②の半円形の堀取刃が土中で回転することにより半球形の鉢を堀り取る。回転は油圧モータでおこなう。また回転と同時に刃に振動を与える。振動の方向は、回転方向と同じであり、振幅は約20mm、振動数はエンジン回転数の2倍である。この運動により、刃は回転軸の速度の約20倍の速度で根に当り、運動量が大きく働くことにより、小馬力のエンジンで堀取が可能となった。また本機は自走が可能であり、その場合には、前部の堀取装置を上にあげて走行する。

(2) 試験方法と結果

昭和50年9月、宇都宮當林署祖母井苗畑において、シラカバおよびカエデの堀取試験をおこなった。試験に際しては、エンジン出力の測定および作業時間観測、土質条件の調査を実施した。

図-2-2に所要馬力の測定結果を示す。無負荷運転の場合以外は、全てフルスロットルでおこなった。根系を切断しているときはトルクの変動が激しかったが、実際に切断をおこなっている数秒間の平均をとった。

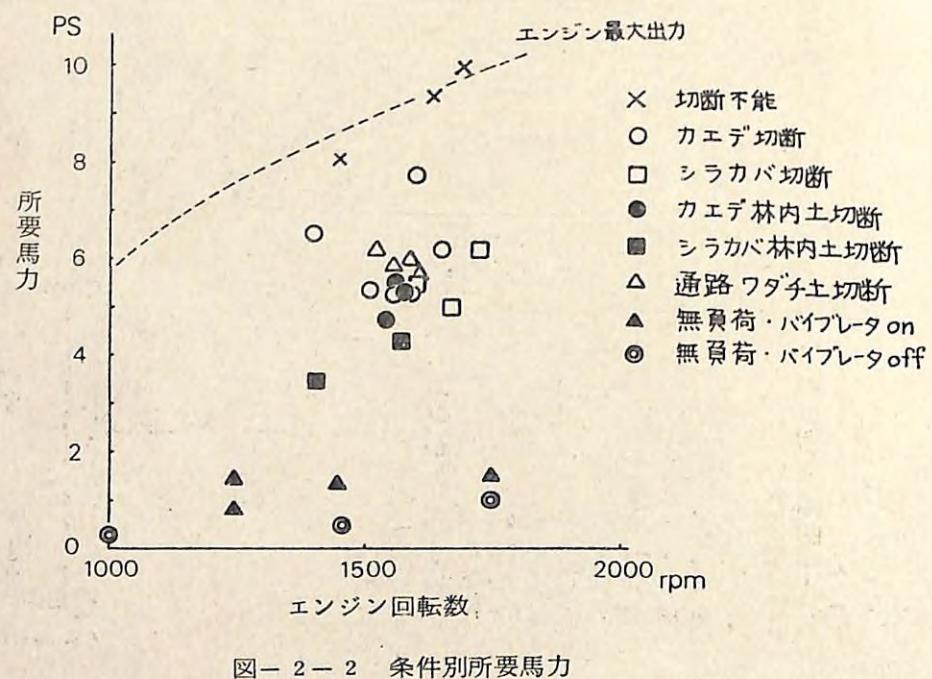


図-2-2 条件別所要馬力

根系の切断に要する馬力は、根の状態により大きく変化し、切断が完全にできたものについて平均するとシラカバで5.5 PS、カエデで5.7 PSであった。その時の根の最大径は、シラカバが3.8 cm、カエデが5.0 cmであった。数本堀取りできない木があったが、エンジンは最大馬力を出しておらず、切断の限界以上であった。これについて堀り出して調べてみると、切断部の長さが5 cm (シラカバ)、3.4 cmと5.4 cmの2本の根に同時に刃が当たっているもの (カエデ)、4.6 cmと2.6 cmの2本にあたっているもの (カエデ) であり、後二者については、堀取の方向を変えて切断したところ堀取ることができた。これらから4~5 cmの根の切断が本機の限界であろう。

堀取時の所要馬力には土の切断に要する馬力も含まれており、土の条件により変化する。試験の結果、砂質より粘土質の土がより大きい馬力を必要とし、またよくしみ固められた密度の高い土ほど馬力を必要とする。

作業性能については、時間観測をおこなった結果を図-2-3、4に示す。作業方法は移動して木の側に寄り、堀取り刃を木の根元に正しくセットする。バイブレータを働かせて、刃先を土中に貫入させ、のち刃を半回転させて切断を終る。次いで、刃を逆回転させて刃を鉢の真下にもってゆき、油圧シリンダで鉢ごと木を持ち上げ、穴の側に下ろし、堀上げを完了する。図-2-3は、平均のサイクルタイム、図-2-4は、樹間距離と移動時間の関係である。移動時間は、樹間距離が、1.5 m以下 (本機の全長) では一定と考えられる。

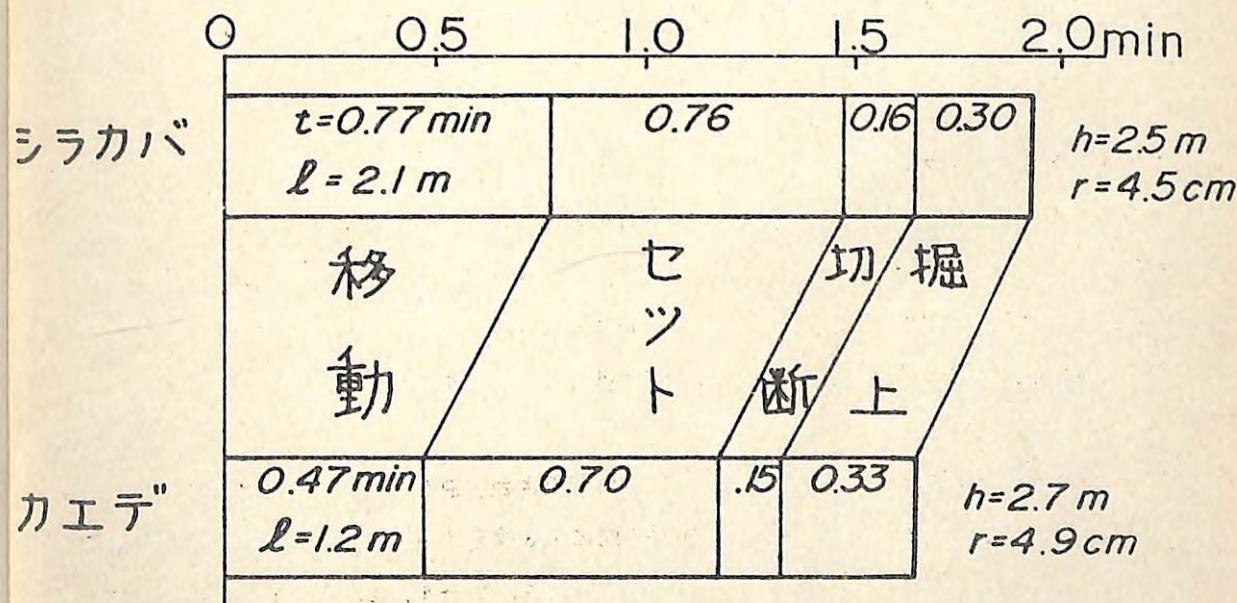


図-2-3 サイクルタイムおよび各要素作業時間

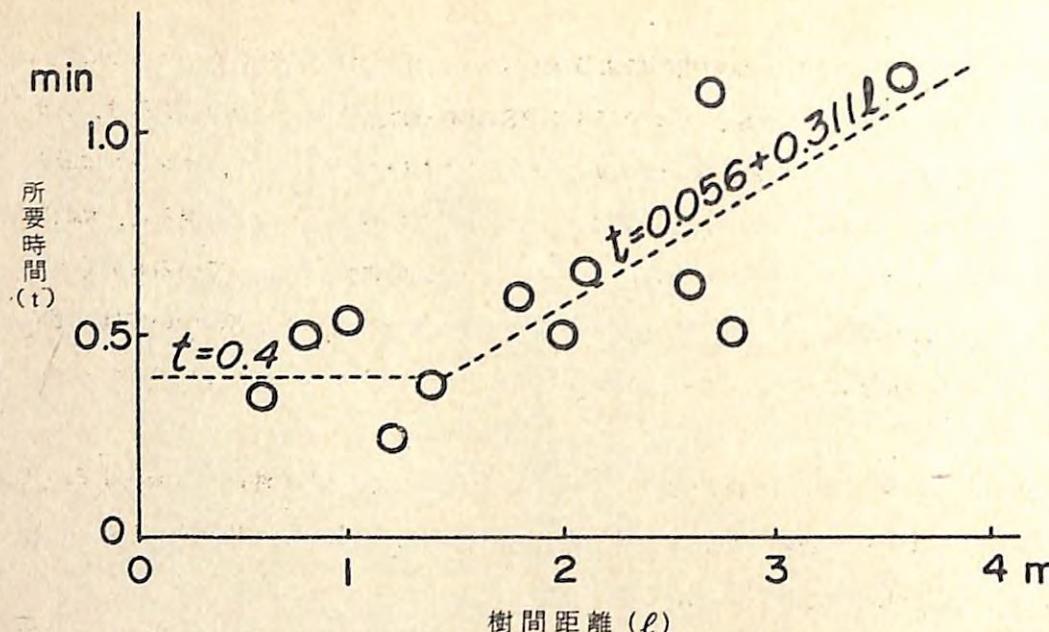


図-2-1 移動距離と所要時間

同様の条件の木を人力でスコップノコ、を用いて堀取った場合の1本あたり所要時間は、平均9.6分を要した。このことから、機械作業は、人力作業の約20%の時間で木を堀取り、また別に測定した燃料消費および、機械の償却費を考慮に入れて経費を試算した結果、機械作業は人力作業の約50%程度の経費となる。

発表文献

福田章史他：小型歩行式樹木堀取機の性能、87回日林論、1976、411～413

（福田章史）

2-3 トラクタ・フレイルモーア

背丈も1mをこし根元直径も太く単位面積当たりの本数も多い、いわゆる単位面積当たりの生立容積の大きい根曲り竹あるいはササ等の刈払いには、ロータリカッタとは異なる刈払い機構をもつた作業機の開発が要望されている。よって、フレイルモーアに着目し、林業専用フレイルモーアを改良開発し、同機の性能に検討を加え、実用に供しうることを確かめた。

(1) 構 造

フレイルモーアは、トラクタの三点支持装置に懸架され、PTO軸から自在継手を介して回転動力を受ける。カッタ刃は、ロータ軸の軸方向に78枚(39組)ピンで取付けられ垂直方向に回転し刈払いを行なう。その構造および主要諸元は、図-1、2、表-1のとおりである。

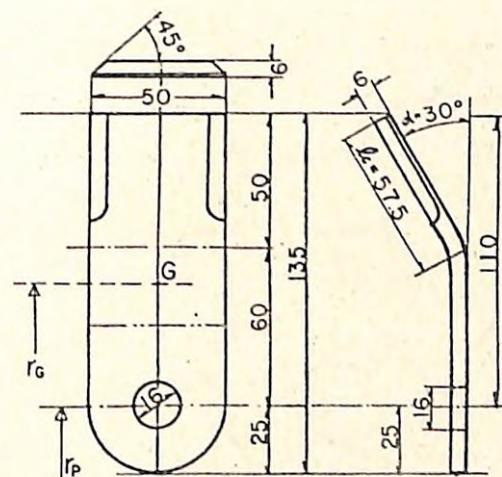


図-1 カッタ刃

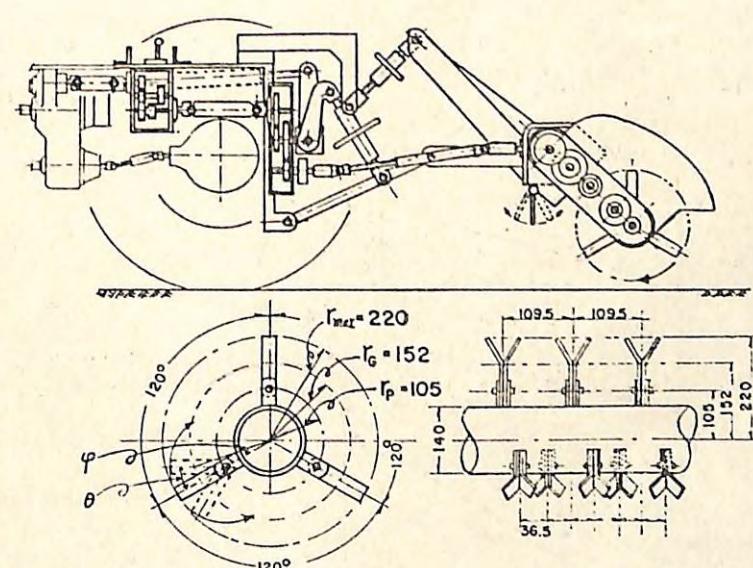


図-2 試作機とカッタ刃の配列

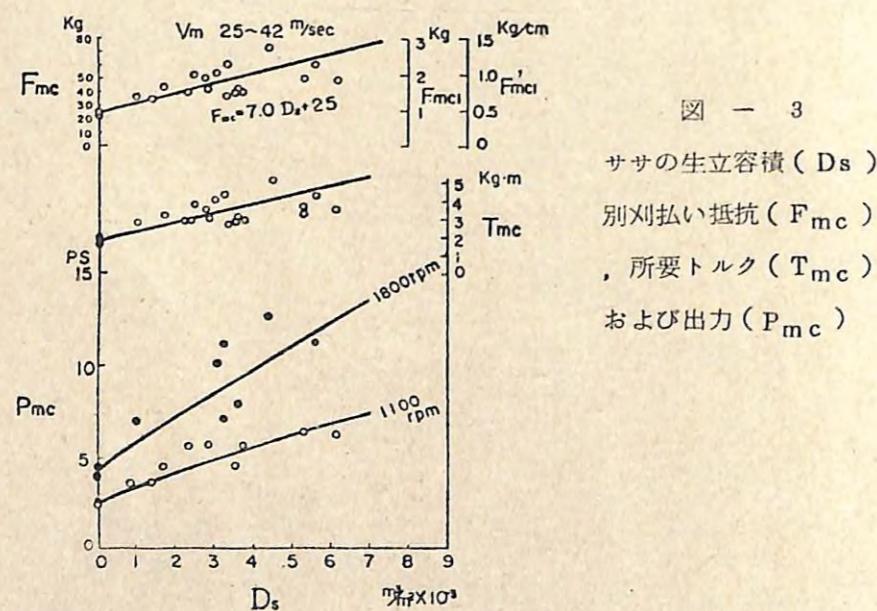
表-1 トランクタ・フレイルモアの主要諸元

大きさ	1,330・1,720・950 mm (全長・全幅・全高)
質量・刈払幅	370 kg, 1.44 m (有効1.4 m)
動力伝達	歯車・減速比 ピニオン/ペベルリングギヤ $29/15 = 1.933$
	歯車・減速比 スパーギヤ/チェーン $19/40 \cdot 21/35 \cdot 15/33 \cdot 12/12 = 0.1295$
	減速比 0.25
ロータ軸	直径・長さ・質量 140 mm, 1.410 mm (1,566), 10 kg
	プラケットの配列 円周上3等分の位置、軸方向3列、1列13個計39個
カッタ刃	形・枚数・配列 Y形・78枚(2枚1組39組)・プラケットに同じ
	回転半径・質量 220 mm, 24 kg (26 kg取付ピン含)
懸架・駆動	三点支持装置・PTO軸

(2) 刈払い所要動力

刈払物は、多数のカッタ刃で地際で刈取られ、そのまま防護板内にすくい込み、細断されて林地に放出される。この細断機能をもっているために高密度の植生地すなわち単位面積当たりの生立容積の大きいササ生地の刈払いに容易に適応できた。

刈払い性能は、ササの単位面積当たりの生立容積(0.001~0.006 m³/m²)の大・小の違いによる刈払い抵抗、所要トルクおよび所要馬力を図-3、灌木の根元直径別の刈払い抵抗、所要トルクおよび所要馬力を図-4にそれぞれ示した。



- 58 -

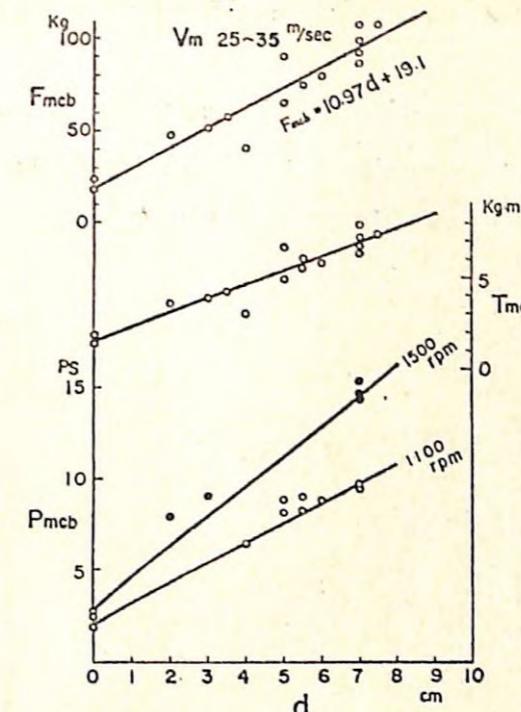


図-4

灌木の直径 (d) 別刈払い抵抗 (F_{mc})、所要トルク (T_{mc}) および出力 (P_{mc})

カッタ刃軸における刈払い所要動力の計算式を下記のように導いた。

$$P_{mc} = \frac{2\pi \cdot N_{mc} \cdot T_{mc}}{75 \cdot 60} = \frac{2\pi \cdot N_{mc} \cdot F_{mc} \cdot r_p^2 / r_G^2}{75 \cdot 60}$$

ここで、 P_{mc} : 刈払い所要馬力 (PS), F_{mc} : 刈払い抵抗 = $7.0 D_s + 2.5$ 実験式で与えた, D_s : ササの生立容積 (0.001~0.006 m³/m²), r_p : カッタ刃取付けピン中心の回転半径 (0.105 m), r_G : 空回転中のカッタ刃重心 (G) の回転半径 (0.152 m), r_G' : カッタ刃が刈払いのため抵抗をうけたときピンを支点として逃げた角 (θ) における重心 (G) の回転半径 = $\sin \theta (r_G - r_p) \cdot \frac{1}{\sin \phi}$ ただし θ (5度以内) および ϕ (2度以内) は小さいとみなすことができるので実用的には $r_G \approx r_G'$ としてさしつかえない, $\tan \theta = F_{mc_1} / F_{mi}$: カッタ刃1枚当たりの慣性力 = $W_c / g \cdot r_G \cdot \omega^2 (kg)$, g : 重力の加速度 (9.8 m/sec²), W_c : カッタ刃1枚の質量 (0.308 kg), W : カッタ刃の回転角速度 (rad/sec), ϕ : カッタ刃が抵抗をうけないときの重心 (G) と、回転軸中心を結ぶ線と抵抗をうけたとき逃げ角 (θ) における重心 (G) と回転軸中心を結ぶ線とのさむ角 (2度以内), F_{mc_1} : カッタ刃1枚当たりの刈払い抵抗 = F_{mc} / n , n : 1列のカッタ刃の枚数 (26枚), $\ell \sin \alpha$: カッタ刃1枚当たりの刈払い幅, ℓ_c : 屈折部の長さ (0.057 m), α : 屈折角 (30度), F_{mc_1} :

- 59 -

単位刈払い幅当りの刈払い抵抗 = $F_{mc} / \ell c s \sin \alpha$, N_{mc} : カッタ刃軸の回転数 (rpm) 。

(3) フレイルモーア改良機

改良機の主要改良部は、伐根などの障害物あるいは大小の凸凹などに追随しやすくするために作業機の全長を短くするとともに、接地櫓と揺動リンクを採用した。防護箱の内容積を大きくして、防護箱内へのつめ込みによる抵抗を小さくすることをはかった。改良機の全体図は図-5のとおりである。

(三 村 和 男)

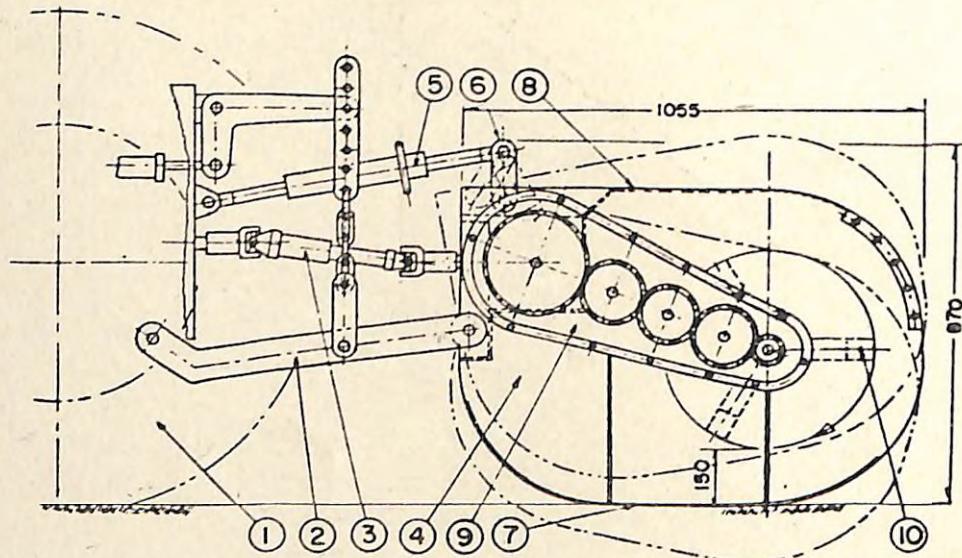


図-5 改良機

No.	名 称	No.	名 称
1	ホイールトラクタ	6	揺動リンク
2	三点支持装置	7	櫓
3	自在継手	8	防護箱
4	フレイルモーア	9	サイドギヤケース
5	トップリンク	10	カッタ刃

立地条件に応じた路網作設法

立地条件に応じた路網作設法

I 試験担当者

機械化部機械科 福田光正

" " 林道研究室 福田章史

" " " 井上源基

II 試験目的

昭和49年度から51年度にかけて「急斜地および特殊地帯における路網作設法」の試験を行ったが、この課題全体について次の問題点が残された。すなわち、これまでにえられた路網作設の個別技術を組合せて、森林諸施業との関連（路網密度、作設コスト等）、林地保全その他を配慮しながら立地の条件に応じた効果的な路網作設の方法を確立すること。

また、個別技術に関しては立地条件ごとの適応性を絶えず検討することである。

路網作設に関する個別工法の技術は、林業試験研究機関の研究蓄積に加えて、モデル営林局署の技術開発報告書等、多くの試験研究調査資料で明らかにされている。従って、これらの資料を収集、整理、分析して、林地保全を第一に考えなければならない急傾斜地の路網と、軟弱地盤の対策が中心となる緩傾斜平坦地の路網に関する低コスト工法の適応性を、さらに究明する。国立林業試験場では、前課題に引き続き、この課題においても立地条件に応じた効果的な路網作設の基礎資料をえるため、終始一貫して高密な路網の形成効果を期待する低質なトラック作業道を主な対象とし、生石灰を用いて路盤を安定させる工法、資材土の粒度調整と廃物タイヤその他の廃物を土木資材として活用し、資材の層を作る工法等、林内の軟弱地において、もっぱら低コストで行える路面、路盤の安定対策に焦点をしづり、現地調査と関係諸資料の収集、整理、分析、検討を行い、事業の裏付けとなる研究資料をえて、それらを総括的にとりまとめる。なお、個々の成果は、その都度、営林局署の林道事業に反映させる。

III 試験の経過と得られた成果

初年度に当たる昭和52年度は、前年度まで3箇年間の課題であった「急斜地および特殊地帯における路網作設法」に関する試験を延長して、前年同様、名古屋営林局管内、国有林林道の路面、路盤に主として生石灰工法とタイヤ工法の安定処理を施した区間で、現地における路体計測

を行い、さらに測点箇所を横断方向に溝状に切断して、その断面を観察した。昭和53年度は、従来の粘性土を主とした生石灰処理に対して、砂質のマサ土地帯で生石灰より有効と思われるセメントおよびアスファルトによる路上混合式安定処理簡易舗装箇所の現地調査を同局、中津川営林署管内で行った。また、小坂営林署と新城営林署管内では、生石灰施行後の路網の状態も調べた。昭和54年度は、小坂営林署と久々野営林署管内で、保安林、自然休養林内の路網作設法に関する若干の資料収集と現地踏査を行った。以上3箇年の成果を、総括的にとりまとめて述べれば次のとおりである。

ひとくちに林道といっても、稜線沿いに、あるいは峰を越えて連絡線形でつけられる多目的の幹線林道から、一般の流域内の幹線林道、林内での諸作業に直接かかわりをもつ事業林道、果ては、地表を剝がしたのみの車で踏み固められた地曳集材の作業道に至るまで広範囲にわたっている。従って、林道の路体断面構造も現実に開設目的に見合った経済性、機能性、安全性を考えたうえで多種多様に設計、施工されている。路面の安定性を考える場合も何tonのトラックが時速何kmでどのくらいの交通量があるのか、混合交通といってもトラック以外にどんな車がどのくらい通るのか、交通もいつでも通れる全天候型のものから夏とか冬に使われる季節型、また、ある目的のためにある期間、それも短い間使われた後は廃道にされて頗みられない一時的な型等いろいろなパターンがあり、できるだけ安い経費で、安全性を保ちながら開設目的にそった道としての働きを持ち続けるように、林道の使い方にあった使用期間内の耐久性が求められ、それに伴う路面の安定処理方法も変わってくるのである。林道では、舗装事業が昭和46年度から認められたが、その主旨は人家や農作物等に対する飛石・砂塵等、被害の防止、軽減の必要性からで、その点、採択基準として同じ承認の対象になるのであれば、急な坂道で路面侵食の甚しい区間や急カーブの区間を舗装することによる交通安全の確保や維持管理に有利な面が、さらに強調されて欲しかった。最近では、林道も種々の名目で部分的に、あるいは全線にわたり、実質的に舗装された路線が数多くみられるようになってきたが、道路は全天候型に近ければ近いほど、その上を通過する車の荷重を支え、天候などの自然条件にもあまり影響されない踏体の断面構造を持つことが望まれるのである。

砂に適度の水分を加えることにより、また、粘土を適度に乾燥させることにより土質は安定する。粘土質のぬかるみ道に砂礫、玉石等を敷きこみ路面を改良することからも、全天候型道路形成に対する路面構成材の粒度改善に関する重要性を知らされる。安定した路面とは、雨や暑さ寒さ等の気象条件に災いされずに常に同じくらいの交通を許す道をいうが、乾燥して砂塵を巻き上げ、降雨融雪に深い轍を刻み、泥を跳ね上げる路面でも輸送の能力に大きな変動がない限り、一

応安定したものといえる。この様に、安定という言葉のもつ意味も幅がある。しかし、安定処理道としての目標は最低より遙かに上を狙ったものである。水分や乾燥等による影響が少なく、交通による路面のかく乱、摩耗、破損に対して抵抗力を持ち、さらに通過輪荷重に耐えるもので優れたものといえば、セメントコンクリート舗装、アスファルトコンクリート舗装があげられる。しかし、安定処理道は従来の舗装と観念を異にし、土そのものを主体に土自身がもっている交通に耐える能力を基準として、これを最大限に発揮させるとともに適切な補材を添加して、その能力をさらに高めようとするものである。公道における舗装の構造は、道路建設現場と結び付いた技術の蓄積とその裏付けとなる研究の成果により関係要綱もくりかえし改訂され定着している。しかし、例えば、割石、玉石の基礎により路床上と絶縁し、その上にコンクリートを敷き、さらにアスファルトをかぶせ、路面を土から遠ざけ、その距離の大きいものほど高級な路面とされたように、一面、舗装がその根底をなす土と無関係な状態に置かれたり、むしろ、要因の複雑な土の問題より逃避、離脱する傾向がみられる。そこで、林道の場合は、土の問題をどちらかといえば避けて通るより進んで土と取り組んでゆく積極的な姿勢から、路面を構造する工法を見出してもしかるべきである。手入れの行き届いた砂利道は必ずしも高級な舗装に劣らないし、砂利をほとんど含まない土道でさえ環境条件の如何によっては優れた性能を発揮し重車両に耐える場合も少なくない。しかし、土を主体とした路体の構築は安定性に乏しく、高級な舗装に劣らない砂利道も交通にさらされると降雨により土の結合力が弱められ、乾燥によって土が飛散し、路面には大きな轍が、また、ポットホールが点々と出来て甚しく劣悪な路面になってしまうことがある。土砂の安定工法は、主として粒度配合を考えた細粒骨材式工法、主として結合力の添付および防水を考えたアスファルトやセメントによる工法、主として液性限界、塑性指数の改良を考えた石灰やセメントによる工法、防腐および乾燥期の含水量を考えた塩化カルシウム、塩化ナトリウム、塩化マグネシウム等潮解性物質の添加法等に分類される。

高密な路網を形成し、林内の事業に直接かかわりをもつ規格外のトラック作業道は、通常、地山をそのまま路体とし、これに砂利を敷き込んだものである。軟弱地盤等必要に応じてそれに表面処理の土砂安定工法を施して使っている。道路の場合、路盤は舗装体の一部で路面表層と路床の間に設けられた層をいい、表層に作用し分散された車の輪荷重をさらに分散して路床に伝えること、また、毛細管現象による地下水の上昇、凍土による害、不等沈下、路床土の上昇のそれぞれを防ぐこと等の働きをもつものである。傾斜地に作られる林道では、おおむね、山側を切り、その掘削した土を谷側に流用して盛る。土量の釣合を考慮した、いわゆる、半切半盛が従来から土工の原則となっている。しばしば、そのように施工され、自然のままにある地山と盛土と半々

の基面上に砂利を敷き、十分な締め固めもないままに路体が構成されるので、路面表層、路盤、路床といった各層の区別が明確でない。「とおれる道」として必要な条件は、通過する車の輪荷重に対する支持力と沈下がその主なものであるが、実質的に路床を強くするには、路床そのものを強くする方法とその上の路盤や路面表層までの上層部に安定した資材の層を作る方法がある。特に、低コストが強いられ高い密度の路網形成効果を狙って開設される規格外低質のトラック作業道では、安全性と同時に、道路の目的を果たす働き、すなわち、機能性を最大限に發揮させるうえで、林内軟弱地での路盤安定対策が大きな問題となっている。従って、林道では、路盤工に関する安易な経費で上層部に資材の層を作る後者の方法が注目される。安定ということは、状態が乱されても直ちにバネのような弾力性をもって片寄りを元の状態に戻そうとする力が強く働くことを意味するが、表面的には激しい変化もなく落着いて静かで坐りがよい状態に保たれていることである。これに対して、安定した状態が乱れて片寄った状態のままになっているのを中立、乱れが去ったのちも片寄った状態が雪崩れのように大きくなっていくのを不安定といっている。

林道で一般的に路体構造を考えるとき、公道などの舗装と異なるのは、作設の対象となる土にあくまで積極的に取組んでゆかなければならぬ安定処理道が、路線数のうえで圧倒的に多いことである。土は、母岩より土になるまでの気象その他の環境条件により、また、その後の風や水で運ばれる過程、さらに、腐敗した有機物がまじり合うこと等により、色、密度、粘性、透水性など、その性状が千差万別である。土粒子の大きさによる分類では、砂利、粗砂、細砂、沈泥（シルト）、粘土、膠質物（コロイド）に分けられ、その土粒子の組合せ状態による三角座標の粒度組成分類では、砂質土、砂質ローム、ローム、沈泥質ローム、粘土質ローム、粘質土、それに以上おののの土に砂利のまざった砂利まじり土がある。土粒子は、大きさだけでなく、当然、形も異なっているが、これらのこととが総合されて、土の地耐力、安定度、透水性、凍結等に大きな影響を与えていているのである。また、土は含まれる水分によりその性状が変わるので、安定性を考えるとき、水の問題も土と切り離しては考えられない。このことが、土を取扱う上で一層、事態を複雑にしている。液性限界、塑性限界、収縮限界は液体と塑性体、塑性体と半固体、半固体とのそれぞれの限界を示し、液性限界と塑性限界の中間は土の塑性状態の範囲を表わし、両者の差をとて塑性指数と呼んでいる。塑性とは可塑性ともいい、例えば、湿った粘土に外力を加えてもこわれず連続的に形が変わる。この様に、外力を除いても元に戻らず、永久歪みとして変形が残りやすい性質をいう。自然状態にある土は、人工を加えられた同じ種類の土より粗で、透水性が高く、しかも、安定しているが、いったん取り出され、碎かれ、締め固められるなど、種々の人為が加えられると根本的にその性質は変化する。さらに、土には最適含水比といわれる一定

の含水状態があり、この条件の下で一定の締め固めに対する土の最大密度がえられるので、土が最適含水比で最大密度に締め固められた時は、土粒子と水の間に付着力が十分に働き、さらに水が土中に浸入してきても、その土は膨潤軟化することがない。土の強さは、その土が不足している大きさの粒子を混ぜる粒度調整により改良できる。すなわち、粗粒、細粒の土が適当に配分され、砂利や玉石のような粗骨材が力学的に強い枠構造を形成し、よく締め固められて密度の高い混合物になっている土は、荷重によって側方流動なども起こさず安定している。林道では、高い経費をかけてまでも「ふるい」の通過量で決められている資材を探して集めることより、むしろ手近にえられる資材を目的にそって上手に使いこなすことの方が本筋と思われる。そこで、セメント、石灰等の添加剤により安定処理することも出てくる。その場合も粒度調整した土に対して行うと、さらに効果的に安定工法の機能を著しく高めることになるので、この様な土に関する原則を常に忘れてはならない。それから、土の効果的な安定法の一つに排水がある。路側に側溝を設け、横断排水溝を極力多く配して水を周辺の水路に速やかに導く等、路面に水溜りを作らないように、雨水に起因した路体決壊がないように、道路敷から出来るだけ早く排水することが肝要である。

林道の路盤安定剤は、路床土上から路盤、路面表層までの上層部に資材の層を作り、内部摩擦力や粘着力をふやし剪断強度を増して土を安定させるために用いられ、さらに低コストで行なえるものが主な対象となるが、路盤となる土の間隙をみたし、あるいは土粒子を固結して、その地耐力や不透水性を増すために使えそうな化学的資材としては、次のものがある。

セメント

土を安定させるために、ポルトランドセメントを添加剤として使った、いわゆるソイルセメントで、広く知られている。

路盤土をかき起こし、セメントをませ、水を加えて速やかに締め固めることにより、セメントを土に添加して土粒子間に接着力を与え半剛性の骨組みを作る。通常1週間かかる養生期間中の含水量調節が重要で、ひとたび吸水すると排水が困難で収縮による「ひび割れ」の原因にもなりかねない。この安定処理に適した土は、粘性の少ない砂や砂利質土で、細粒の粘土は混合がむずかしく、セメント量が多くなり、経済的にも不利である。セメントの混合添加率は、土の粒度、性状、工事目的により異なり一定しないが5～15%，通常6～10%といわれている。施工の厚さは、路盤の状況、交通等により10cmまで可能である。有機質土は、含まれる有機物によってセメントの水硬が妨げられ固まりにくいので、さらに、塩化カルシウム等を加えることがある。ソイルセメントの目標は、セメント材料を土に添加することにより、水分乾燥に対する土の抵抗

力を高めるなど、セメントの持つ優れた性能を活用して土自身の持つ能力を引き上げようとするところで、その主体は土である。この点、砂や砂利を骨材としてセメントを加えて作るセメントコンクリート舗装と形態、施工法に共通点があつても基本的な考え方では相違がある。ともに、低コストで経費節減を目的としていても、ソイルセメントと貧配合のコンクリート舗装とは同一視出来ない考え方の差異がある。ソイルセメントの欠点としては、半剛性のためヘアクラックが生じやすく、それが開くとポンピング現象等が起きること、タイヤの摩擦に弱く、路面表層に使うときは被覆を必要とすること等がある。

アスファルト、タール

道路目的に使われるほとんどのアスファルトは石油の蒸溜物、タールはコークスかガス炉の副産物で、いずれも水のように容易に蒸発しない黒の粘着性のある添加剤である。この安定処理は、添加剤の持つ粘着力の付加により土粒子間の結合を強め安定した強さを与えると共に、防水性を高め浸透水の影響を少なくする方法である。砂質土に最適で、水分の多い粘質土に乳剤を加えると、さらに過剰な水分を与えることになる。このように土に含まれた水の量に影響されやすいことが、問題となる。セメントのように、土の強さを大きく改良することは出来ないが、土の耐水性を高める大きな特色がある。さらに、処理土に剛性を与えるために、セメントや消石灰を併用添加することがある。処理土は、路盤作設用として、また、低成本の路面として使える。従来の実績によると、施工の厚さは4～7cmであるが、状況に応じて2cmもしくはそれ以下にすることも出来る。

石 灰

これは、わが国古来から耐水性のある堅くて丈夫な土間仕上げに用いられた「たたき」に類する工法である。「たたき土」とは、可溶性珪酸とアルミナに富む粘土状の土（花崗岩等の風化土）をもとに、消石灰、にがり、砂をそれにませ、水を加えて一種の水硬性セメントを作り、それを敷均して槌などでたたき、強く締め固めた土のことである。

石灰は「いしばい」とも呼ばれ、生石灰(CaO 、比重3.0～3.4)と消石灰(Ca(OH)_2 、比重2.2)がある。生石灰を水に作用させると、激しく発熱して消石灰になる。市販されている生石灰は、一般に石灰石または炭酸カルシウムを900～1000℃に加熱して炭酸ガスを放出させて作った良質なカルシウムである。消石灰は、比較的に安価なアルカリ材料で、生石灰に比べて不溶解分が多いため、処理土を締め固めた時、ひび割れの発生が少なく安定している。消石灰は、セメントによる土の安定工法に似た工法として、セメントの代りに、これまで普通に使われてきた。しかし、最近では、生石灰の化学反応を起こす際に生じる吸水、膨張、発熱作用を利

用しようとする試みが多くなり、軟弱地を通る林道、特に高密路網におけるトラック作業道の路盤強化のための安定工法としても注目されている。標準となる生石灰の混合添加率は6%で、路線各部の条件により距離を区切って、安定処理層の厚さをおおむね30～60cmぐらいに変えている。

しかし、土と生石灰との搅拌を、現在、林道工事現場に導入しているようなバックホウ等する限り、そのパケットの大きさから、30cm以下の厚さをきめ細かく設計しても、その通り実行することはむずかしい。また、導入機械による土の安定処理施工の能率をあげるため、処理層の厚さを例えば40cmにするとか、可能な限り長区間一定にして、その区間内における地点、地点の諸条件の差に応じて、逆に添加率の方を変えたらどうかという声もうなづかれる。このように、安定処理の実行に当っては、化学的な路盤安定剤側の問題だけでなく、処理するために導入する機械器具側からの問題も当然出てくるのである。

以上の林道に使えそうな化学的資材に対して、物理的な安定資材では、林道の場合、むしろ、手近にえられる材料を低成本で上手に使いこなすことが肝要である。路盤や路面表層材として有効と思われるものには、切込砂利、山砂利、切込碎石、碎石を敷き込むほか、枝条や丸太を突込むもの、棒組み丸太を沈めるもの、サンドバックの土のう、廃物のタイヤを利用して敷くもの、（タイヤビード、スライスタイヤ、タイヤ並べなど）、ワイヤメッシュと称する鉄線の太目や細目の網、ナイロンやビニール線のような高分子材料によるクロスと呼ばれる太目のやや剛性のある網や細目の網ネット、PPFその他のシート、および、それら2、3の組合せ等がある。

IV 結 語

「II 試験目的」の項でも記したように、当場では、前課題に引き続き、本課題においても路網作設の基礎資料をえるため、国有林林道の軟弱地において、低成本で行える表層路面、路盤の安定対策に関する調査を行った。得られた成果としては、低成本で行える路網軟弱地対策の総括的なとりまとめをした。しかし、本課題を林道事業の中で取上げ実施した関係営林局署と連絡をとりながら、立地条件に応じた路網の構造と施工法に関する作設技術の集大成をはかるよう、本研究課題の核心にふれる問題が残ってしまった。

今後は、難問ではあるが、効果的な路網作設法の確立をめざして、この問題について、ねばり強く究明してゆかなければならない。

豪多雪地帶の造林技術の体系化

豪雪地帯の造林技術の体系化

I 研究担当者

本場造林部	蜂屋欣二
東北支場育林部	古川忠
" " 多雪地帯林業研究室	井沼正之
" " "	片岡健次郎
" " "	栗田稔美
" " 造林第2研究室	森麻須夫
山形試験地	遠田武

II 試験目的

わが国の森林面積のおよそ $\frac{1}{3}$ は積雪地帯といわれ、とくに、日本海に面した東北・北陸地方は、積雪の多いところとして知られている。樹種の分布や林木の生育を支配する要因は、土壤・寒さ・風などであるが、積雪が多い地域や、異常降雪地では、さらに、多様な形で造林木の形質を悪化させたり、壊滅的な被害を与える。その主要なものは冠雪害と雪圧害であるが、冠雪害は、ある程度の大きさに達した林分に、突然的に発生するので目立つが、雪圧害（沈降圧・移動圧）は幼齢時の埋雪木に加わる雪圧が原因であって、その起り方は慢性的であるためあまり目立たない。しかし、被害面積・経済的な損失からみても、雪圧害は冠雪害よりはるかに多い。とくに問題視されているのは、積雪深250cm以上の豪雪地帯である。

この地帯は林力増強計画にともなって、近年新生造林地は著しく増加したが、初期の造林地が丁度雪害を受ける大きさに達しているため、今後の破壊的な雪害が懸念されている。

この地帯の造林は、古くから試行を繰り返し今日に至っており、その間数多くの調査研究が行われた。たとえば、農業総合研究所積雪支所による積雪調査、秋田営林局による雪害実態調査と樹種の現地適応、山形県による積雪調査、林試旧山形分場における林木の雪害に関する研究、林試本場および東北支場による豪雪地帯の総合実態調査など多くの調査研究蓄積があり、実態の把握を行っているが、体系的な造林技術の確立はまだ不十分である。

積雪地帯の造林環境は地域によって大きく異なるので、1つの造林技術をどこにでも適用でき

ると考えるのは早計である。それぞれの技術の育林的な意味づけ、それにもとづいた範囲を明確にする必要がある。現段階で豪雪地帯に適用すべき造林技術は極めて乏しい現況にあるため、その確立が急がれている。

林木の雪害は、直接的には雪の物理的な作用によるため、雪害の発生機構や、造林技術はこれまで主に積雪の蓄積の側から研究されてきた。しかし、雪害の発生は、単に積雪だけの条件ではなく、間接的には対応する林木の生理・生態的条件(耐雪機能)によって規定されるから、林木の耐雪機能を解明しなければ、造林技術の確立は困難である。近年積雪環境における林木の耐雪機能の研究が進むにつれて、技術効果の評価の仕方も耐雪機能を重視する見方に変ってきている。

以下豪雪地帯の雪害を中心として、その発生の要因や造林環境、林木の耐雪機能などを考察して、豪雪地帯の造林技術の現状と体系化にあたっての問題点について述べる。

III 試験の経過と得られた成果

積雪地帯の環境特性

林木の雪害を考える場合、まず、雪害の主因である雪の地域的な特徴を明らかにし、それに対する造林対策を講ずる必要がある。

1. 雪質と林木の雪害

積雪は気温や湿度の影響によって変化する性質があるので、林木に与える影響も異なってくる。⁽¹⁾高橋は地域別の厳寒期(1~2月)の平均気温から、おおまかに表-1のように区分した。

表-1 森林雪害からみた積雪地帯区分 (高橋)¹⁾
(厳寒季の特長)

項目	区分	A	B	C
森 林 带		ブナ帯下限以下	ブ ナ 帯	ブナ帯上限以上
代 表 的 地 域		北 陸	東 北	北 海 道
平 均 気 温 °C		0 以 上	0 ~ -4	-4 以 下
降 雪 の 特 長		無 風 多 量	中 間 型	風 雪
積 雪 の 変 態		融 解 変 態	中 間 型	昇 華 変 態
代 表 的 な 雪 質		ザ ラ メ 雪	シ マ リ 雪	かわき ザ ラ メ
主 な る 雪 害		冠 雪 の 害	雪 圧 の 害	風 雪 の 害
積 雪 移 動 の 特 長		不 安 定	安 定	凍 結
そ こ な だ れ の 発 生		多 し	少 な し	稀
入 人 林 の 特 長		階 段 造 林	根 曲 り 多 し	根 曲 り 少 な し

一般に気温が高い場合に湿性のザラメ雪になりやすく、低いとシマリ雪となり、さらに低くなると、乾性シマリ雪、ザラメ雪に変化する。

湿性ザラメ雪は、他の雪質に比べて雪圧は弱いが、傾斜地での動き方は気象の変化にともなって、不安定になりやすい性質がある。階段造林は不安定地の地拵え方法として発達したものであるが、東北地方で少なく、北陸地方で多いのは、雪質が異なるからである。雪圧は、同じ積雪量であれば、湿性シマリ雪、ザラメ雪、乾性シマリ雪、乾性ザラメ雪の順に弱くなる。雪圧の代表的な雪害形態は、林木の根元曲りと、それが誘因で発生する幹の致命傷があげられるが、北海道地方で比較的少なく、東北地方で多いのは、湿性シマリ雪は、乾性の雪質より雪圧が強いからである。雪圧は積雪量の2乗に比例して増大するので、積雪量の多い北陸地方は、やはり根元曲りの害が多く、東北・北陸の共通的な雪害といえる。同じ地域でも、気象条件によって雪質が異なるが、高橋は表-1のようにブナ帯の分布を垂直的な区分の目安としている。

2. 雪の降り方と林木の雪害

同じ積雪量の地域でも雪の降り方や、降る時期が違う場合がある。それを模式図化したのが図-1である。I型はおもに初冬の雪の積もり始めて、短時間に多量の降雪があり、その後平

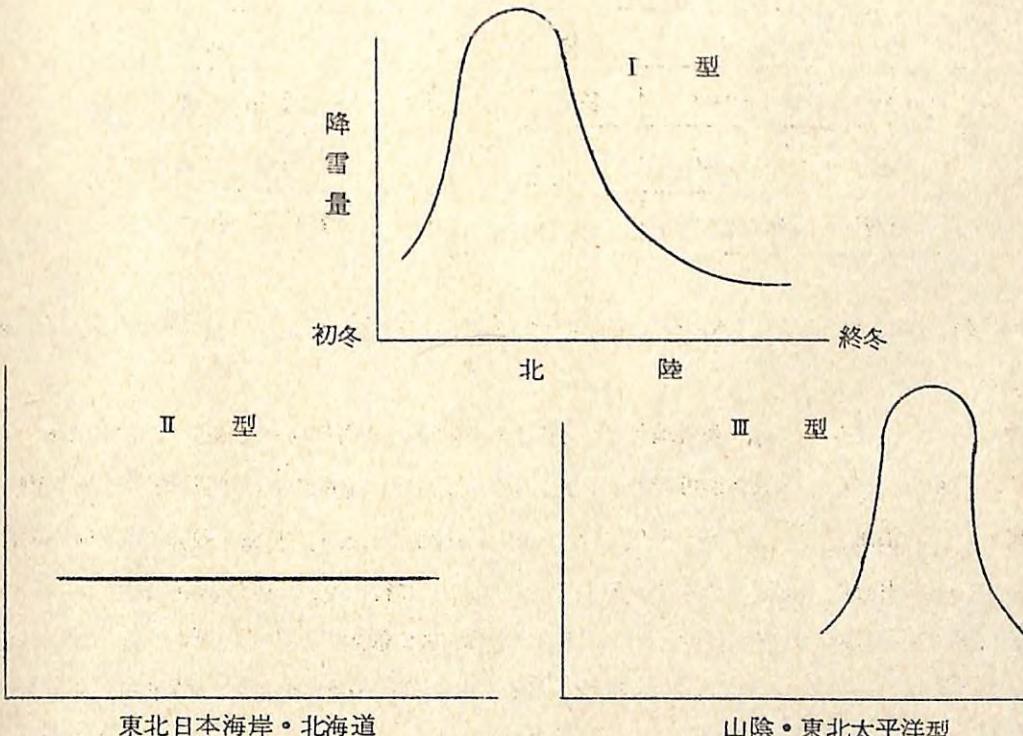


図-1 地域的な降雪の特徴

均的な降り方をする型で、巨視的には北陸地方はこの型で示される。Ⅱ型は冬季間を通じて降り方にあまり変化がなく、東北地方の日本海側や、北海道地方はこの型で示される。Ⅲ型はⅠ型と逆に終冬に短日間に多量の降雪をみる型で、東北地方の太平洋側や、山陰地方に主にみられる。

冠雪害は、気温・風・雪の降り方に関係するが、雪の降り方からみると、一般にⅠ・Ⅲ型に発生する。しかし、Ⅲ型は被害の程度や回数も少ないので、ときによっては大被害をもたらすことがある。この型は一般に少雪地や、無雪地にみられ、冠雪対策のための保育が行われていない場合が多いので、一層被害を大きくしている。Ⅱ型は災害的な被害は少ないので、冠雪は幼齢木の強制的な埋雪のキッカケとなり、根元曲り発達の誘因となる。

3. 積雪深と雪害

雪圧は積雪深の2乗に比例して増加し、雪害も多くなるので、これまでの積雪地帯の造林技術の問題点を整理するうえにも、また、目標と対策を明確にする意味でも積雪深区分は必要で、およそ表-2のよう区分される。

表-2 積雪地帯区分

積雪深	区分	造林対策
100cm ~ 250cm	多雪地帯	普通造林地帯
250cm ~ 350cm	豪雪地帯 (第1帯)	特殊造林地帯
350cm 以上	豪雪地帯 (第2帯)	造林不能地帯

積雪深100cm以下の少雪地帯では災害的な冠雪害を除けば、雪圧害の被害はほとんど問題はない。

積雪深100~250cmの多雪地帯でも一般的に致命的な雪圧害を集団的にうけることは少なく、普通造林技術での成林が可能な地帯である。しかし局地的に強い雪圧害をうける場所も出現し、また根曲りなどの形質を悪化させる被害は一般的になる。既往の雪害防除技術の開発はこの地帯を中心に、根曲り防止や形質向上を重点として行われ、一応の成果を得てきている。

積雪深250cm以上は豪雪地帯とされ、成林の困難性は急激に増加する地帯である。このうち250~350cmの積雪深の地帯は既往の造林地の実態解析や調査研究の成果を十分とり入れ、造林適地の選択、樹品種の選択さらに特殊な保育施業を行うことによって、ある程度の成

林が可能と考えられる。近年この地帯に拡大造林にともなうスギ・カラマツの造林地が急増したが、まだ若齢林分で雪圧の受害期に達していない林分が多い。今後成長にともない破壊的な雪害の急増が懸念されるところも少なくない。

おなじ豪雪地帯であっても積雪深350cm以上となると、これまでの造林実績からみても主要造林樹種の生態的対応の限界と考えられるので、将来とも経済林としての造成は不可能と考えられる。

東北地方について積雪深による地帯区分の各帯の面積をみると、多雪地帯42%，豪雪地帯で7%とこの両帯で総面積665万haの半分を占めており、林業経営の上で豪・多雪地帯のとり扱いが重要な位置を占めることが理解されよう。

4. 積雪の移動と雪害

成林が比較的容易とされている多雪地帯にも、成林しない場所がある。これらは、斜面の積雪の動き方に原因している場合が多い。斜面の積雪は多少にかかわらず、絶えず下方に移動している。高橋は積雪の移動の仕方を図-2のように区分し、そして日移動量が20mm以内の

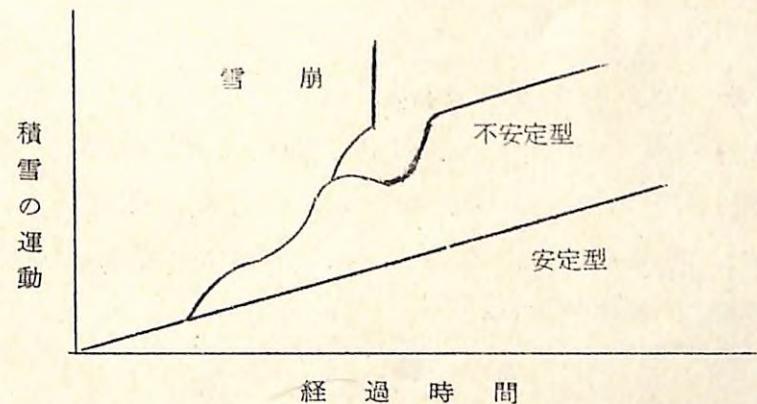


図-2 山地積雪の運動形態 (高橋)⁽²⁾

場合を安定な移動、それ以上を不安定な移動とし、そのような場所を安定地・不安定地としている。

不安定な移動とは、移動量が大きいばかりでなく、速さも気象条件によって変化するので、移動にともなって積雪層に雪割れや、雪皺ができるが、石川は立木周辺の雪割れの状態から図-3のように見分け方の基準を示し、一般に水分を含んだザラメ雪は、不安定になりやすいと

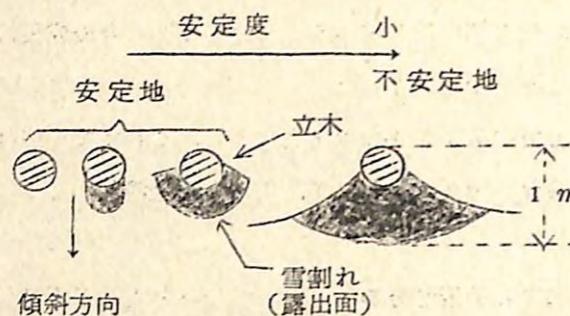


図-3 立木周辺の雪割れ (石川)⁽³⁾

している。新雪がザラメ雪に変態するに要する日数は、東北日本海側地方では50～70日、北陸地方では5～10日であるから、⁽⁴⁾北陸地方は不安定地が多いといえる。多雪地帯で普通の造林方法で成林が可能な場所は、安定地と見てよい。不安定地では一般に林木は地表を這うような状態で生育するから、ほとんど成林の見込みがない。階段地拵えは不安定地の造林方法として古くから知られている。

以上造林的見地から積雪地帯の環境特性を概括したが、この地帯区分はいづれもマクロなものであり、同じ地域内であっても標高、地形、斜面方位、傾斜などによって雪質、雪圧が異なってくる。雪の環境特性を十分に把握して林業経営、造林推進に具体的に役立つよりミクロな環境区分、地域区分が必要である。営林局、県などのレベルで地域的な地帯区分もすすめられてはいるが、より詳細な地帯区分が望まれている。

IV 豪雪地帯の造林環境

豪雪地帯における造林地での雪圧害の発生に関係する要因については、過去の調査研究によって明らかにされてきた。ここでは新たな調査資料を加えて造林地の成林という面から立地要因について検討してみたい。

1. 積雪量とその降り方

積雪量が増大するにつれ雪圧害は増加する。これまでの実態調査例によると造林限界(スギ)は平年値で最大4m前後とされる。しかしこのような限界地帯で成林している林分は、多くの場合小面積であって局所的な環境によって保護されたと考えられる場合が普通である。

植栽面積と残存面積との関係を十分考慮しないと判定を誤る。造林の経済性を考えて造林限界を判断すると、前述の積雪地帯区分でふれたとおり300～350cmが限界となろう。

ある地点の積雪量は年によって大きく変動する。表-3の肘折試験地(山形県)の8年間の例でも少雪年、多雪年で2.6倍の差がある。被害は多雪年の頻度が多いほど大きくなる。

またおなじ表-3に現われているように、年間の積雪量だけでなく、一時的に連続して降る量が被害を大きくすることがうかがえる。初冬に異常な積雪がある場合、冠雪が発達し樹幹は彎曲した状態で埋雪し、その後の積雪の沈降圧によって被害をうける。初冬のドカ雪のような異常降雪は10年に1度という頻度であるといわれるから、林木の成長経過によっては被害を強くうけずに成林する場合もある。

表-3 肘折試験地の積雪と雪害の経年変化

調査年 (冬季)	最深積雪 cm (月、日)	調査時の 積雪 cm (月、日)	最大連続 降雪深 cm (期間)	雪上木 本 数 (%)	埋雪木本数 (%)				残存 木 本 数 (%)
					無害木	既雪害木	新規 雪害木	計	
41～42	—	—	—	—	—	—	—	—	100
42～43	415 (2.19)	290 (3.28)	190 (1/14～18)	9	74	0	17	91	83
43～44	290 (3.23)	—	294 (1/1～6)	—	—	17	15	32	68
44～45	390 (3.22)	290 (3.17)	210 (12/13～15)	10	46	32	12	44	56
45～46	300 (3.12)	250 (3.23)	98 (2/7～10)	22	34	44	0	44	56
46～47	188 (2.26)	—	130 (1/2/6～9)	—	—	44	3	47	53
47～48	265 (3.27)	260 (3.24)	126 (2/7～10)	38	13	47	2	62	51
48～49	470 (2.14)	400 (3.29)	240 (12/3～10)	14	30	49	7	36	44
49～50	360 (2.17)	330 (3.20)	162 (2/9～12)	19	23	56	2	81	42

* 本数は昭和42年の現存木本数1,815/haに対する百分率(%)で示した。

** 最深積雪と最大連続降雪深(連続降雪期間の降雪深の累計の最大値)は山形県農業気象月報の肘折調査地を転載した。

注： 山形県肘折； 月山東側山麓下部； 標高400m 傾斜20度； 最深積雪深360cm
(平均値)

調査開始 昭42年冬 林齢 14年 平均直径 1.2cm 平均樹高 1.2m
本数 1,815本/ha

2. 地形条件

斜面の位置、方位、傾斜、微地形さらに標高などの地形上の要因も雪害に関係する。しかし、これらは直接的というよりも積雪環境や土壌条件のちがいをとおして働く場合が多く、実態調査の地域によって異なる場合が多い。それぞれの地域の積雪環境と土壌条件をあわせて考察し、地域ごとに造林環境の区分、評価を行うことが必要である。これまでの地形要因についての知見はすでに多く報告されているのでここでは省略する。

3. 土壌条件

図-4は実態調査の結果(表-4)から積雪深と成林の状況の関係を地位ごとにみたものである。これによると積雪深400cm以上では成林する林分はみられないが、400cm以下では積雪深の差よりも、地位のちがいが大きく働いていることがわかる。

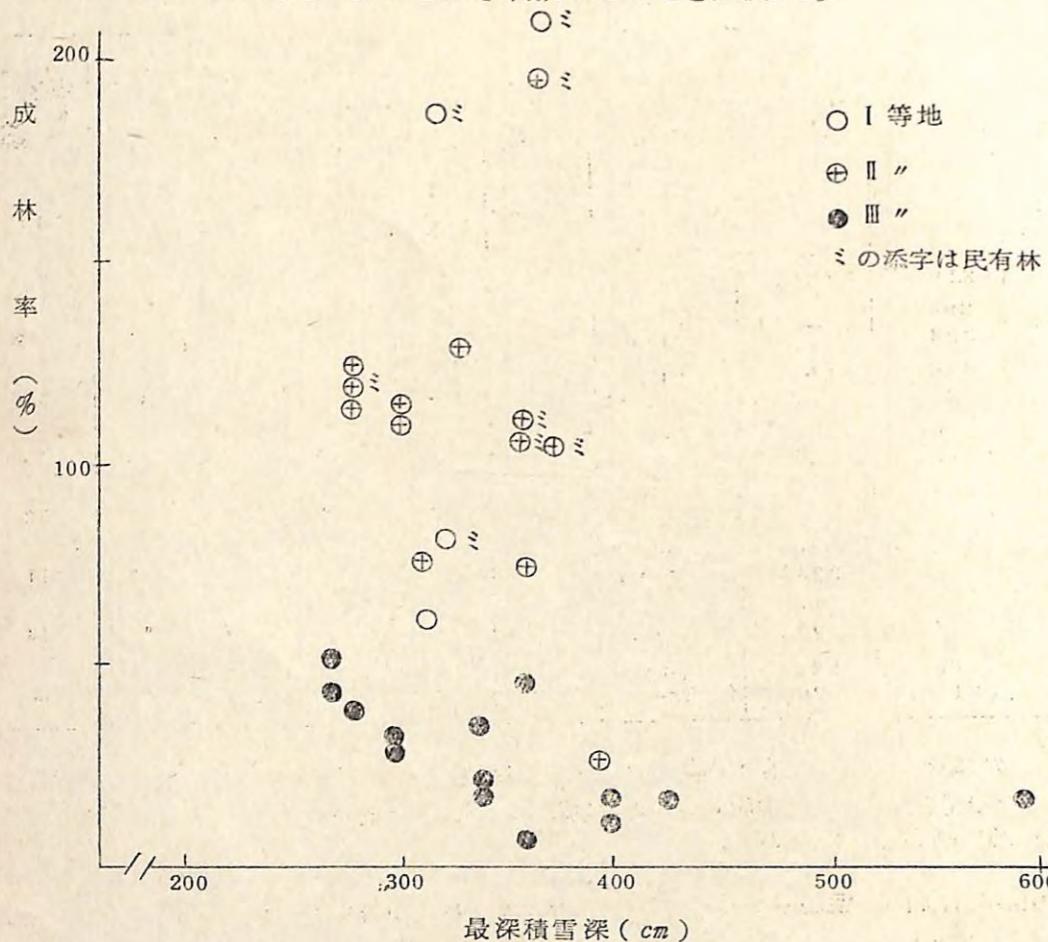


図-4 成林状況と積雪深

表-4 豪雪地帯におけるスギ林の概況 (5)

山系	営林署	地 域	積雪深	標 高	傾 斜	林 齡	本 数	直 径	樹 高	*成林率 %	地 位
山 河	新 庄	葉 山	360 {	500	15	48	1,264	17.3	8.4	46	III
				470	13	46	1,058	20.8	12.1	74	II
				700	18	34				6	III
	四 ツ 谷	肘 折	360 {	400	7	38	1,380	21.7	12.9	109	II ○
				380	3	38		23.8	14.3	106	II ○
	鶴 岡	湯殿山	590	800	7	28	1,304	13.6	5.7	17	III
	寒 谷	月 山 沢	400 {	700	15	32	331	21.6	8.2	11	III
				750	14	32	734	17.9	9.3	17	III
		仁 田 山	390 {	650	9	32	844	21.3	11.1	44	II
				18	34	1,180	24.4	15.3	105	II ○	
				370 {	15	38	1,576	24.2	17.6	212	I ○
	朝 江	志 津	370 {	550	30	42	985	24.3	16.5	97	II ○
				320	10	45	523	36.5	25.3	82	I ○
				260	5	48	961	29.6	20.8	117	II ○
		月 山 沢	320		10	30	1,817	22.2	14.2	187	I ○
飯 豊	大 井 沢	仁 田 山	340 {	600	19	31	904	14.0	7.5	21	III
				500	18	37	1,487	19.5	11.3	115	II
	谷 地 平	志 津	300 {	460	13	40	1,163	23.9	15.1	111	II
				670	10	30	760	17.0	7.9	16	III
鳥 海	岩 倉	志 津	330 {	600	4	40	1,516	24.7	12.4	129	II
				720	8	32	827	18.5	7.0	38	III
	矢 烏 島	鶯 川	280 {	600	11	43	1,226	26.6	14.3	112	II
				640	12	43	1,330	22.9	12.7	121	II
飯 豊	谷 地 平	志 津	340 {	920 {	19	36	1,970	15.2	6.8	34	III
				28	36	1,445	10.2	5.4	17	III	
鳥 海	岩 倉	志 津	310 {	550 {	4	36	1,103	18.6	9.8	78	II
				14	19	2,708	13.2	7.6	60	I	
鳥 海	矢 烏 島	鶯 川	300 {	620	0	41	1,063	15.6	6.4	32	III
				26	41	985	18.9	7.7	29	III	
鳥 海	矢 烏 島	鶯 川	270 {	680	5	50	646	20.6	9.9	43	III
				7	55	1,100	18.7	7.7	51	III	

林業試験場：豪雪地帯の造林技術(雪害調査)昭和39～45より

○は民有林、他は国有林

*成林率：収穫表主林木本数に対する健全木(直立して雪害を受けていない)の割合

一般に土壤条件がよく成育が良好であれば、早く積雪深をぬけ出るので、雪圧害をうける期間が少なくなると考えられる。豪雪地帯では一般に土壤の理学性が悪いことが多いが、理学性にめぐまれればかなりの積雪条件下でも成林する場合があることを示している。山谷によれば、東北日本海側の豪多雪地帯で雪害の少い土壤型は、適潤性土壤(B_D)、弱湿性土壤(B_E ・ B_F)であって、峯部の乾燥性土壤(B_B)や山麓平坦地の過湿性土壤($p_s G$)では雪害が多く成林状況が悪い。

豪雪地帯の既往造林地の不成績の要因の一つとして以上の適地判定の誤りも関係している。豪雪地帯では十分な成長を支えるだけの地力が必要であることを認識し、積雪、地形要因とともに土壤要因を解析することが今後の造林にとって重要である。

4. 東北地方豪雪地帯の造林環境

以上雪圧発生に關係する要因を造林の面から検討し、これまでの多くの知見をまとめると、東北地方豪雪地帯での造林環境として、ほぼ表-5のようまとめられる。

表-5 豪雪地帯における造林環境

項目	内容
積雪深	最深積雪 350cm以下
傾斜	25度以下
標高	600m以下
方位	南・西
地位	2等地以上
土壤型	B_D , B_E , B_F

北陸、北海道と地方がかわれば変化するし、東北の中の地域ごとに多少のずれが起るものもある。今後より詳細に地域ごとの造林環境を区分することがこの地帯での造林推進の基本となる問題である。

V スギの樹幹形と雪害

林木の雪圧害の直接的原因は積雪の當力であるが、間接的には林木側の条件、すなわち成長状態や樹幹の形態、さらに根系の発達などが、雪圧害の誘因としてからんでいる。ここでは肘折試験地でのスギ林の追跡調査の資料を中心に樹幹形態の形成経過と雪害との関連を述べよう。

1. 林木の大きさと埋雪

一般に幼齢時期では幹は柔軟で積雪によって容易に倒伏するが、折れ、割れのような致命的な雪害をうけることは少なく、融雪後立上って成長を続ける。幹が成長し柔軟性を失ってくると埋雪しにくくなるが、完全に雪上に抜け出るまでの間が、折れ、割れなどの雪圧の害をうけやすい時期である。

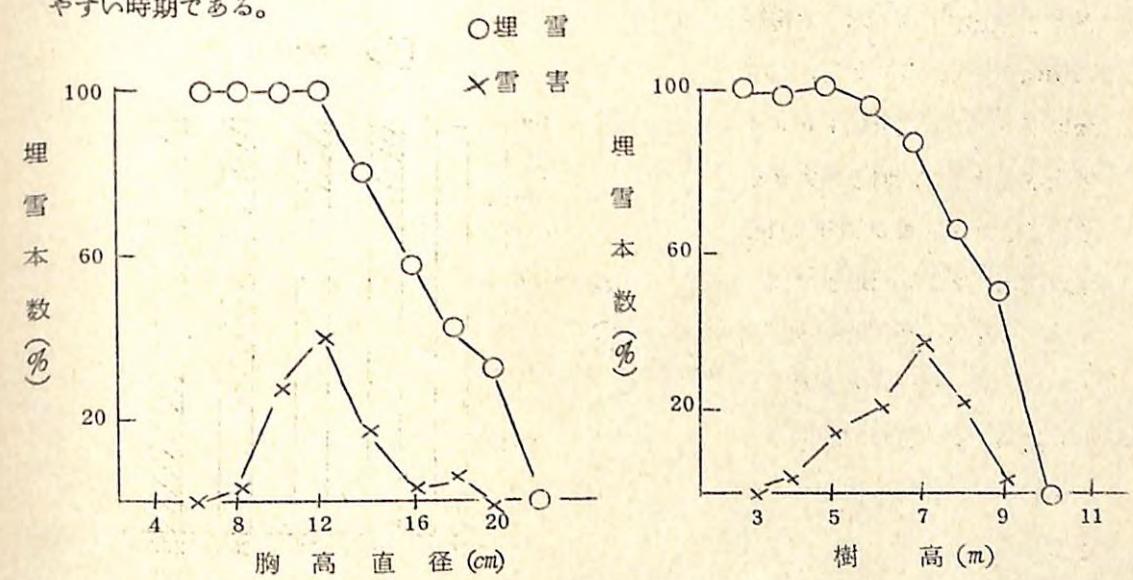


図-5 林木の大きさと雪害の関係
(肘折試験地)⁽⁷⁾

図-5は林木の大きさと埋雪状況および雪害の関係を肘折試験地(最深積雪深360cm)の資料によって示している。これに明らかなように胸高直径10cm以下は完全に埋雪し、直径が大きくなるにしたがって漸減し、18cm前後から急減して完全に雪上木となる胸高直径は22cmである。一方雪害は林木が雪面上にあらわれはじめの12cm前後に多く、全雪害木のおよそ80%はこの時期に発生している。雪害は埋雪木のみに発生し、被害位置は樹幹下部の根元曲り部分に集中しており、その太さは14cm前後がもっと多く80%に達している。樹高でみても胸高直径同様雪上木があらわれはじめの6~7mの埋雪木に雪害が多く70%に達している。樹高が高くなるにしたがって、埋雪木は減少し、樹高10m以上と最深積雪深の約3倍となると埋雪せず雪害も発生しなかった。全林木が雪上木となる樹高を収穫表から推定すると、地位2等地でおよそ林齢30年生前後となる。

2. 樹幹の形態と埋雪

積雪による埋雪は直径、樹高など林木の大きさだけでなく、樹幹の形、とくに樹幹の根元曲りが大きく関係する。

図-6に示すとおり曲りの大きさと雪上木・埋雪木とは密接な関係がある。すなわち、100cm以下の場合100%雪上木となるが、曲りが大きくなるにしたがって段階的に埋雪木が増え、250cm以上では100%埋雪している。雪圧のかかり方は、根元曲りが大きくなる傾斜の著しいものほど大きくなるので、当然埋雪しやすくなる。

図-7にみるよう樹幹の形態別に雪害の経年変化をみると、成林可能な健全木（根元曲りが鋭角で小さく、根元部分を除いて樹幹が直立通直なもの）の本数の経年変化は林齡15年頃より22年生まではほとんど変化していない。これに対して斜立木（根元曲りが大きく、樹幹が斜立しているもの）は経過とともに雪圧害をうけて雪害木に移行してゆくことが明らかである。

このように健全木としての樹幹形成がかなり早く、しかもその後雪害の危険期間を経ても斜立木や雪害木へ移行することが少ないとすることは、雪害対策上極めて重要な点である。この健全木の樹幹形成期はこの試験地での例では林齡でおよそ10年、直径でおよそ8cmの時期までと考えられた。

雪害の多発時期をむかえてから防除を考えてもすでに時期を失しているわけで、それ以前の

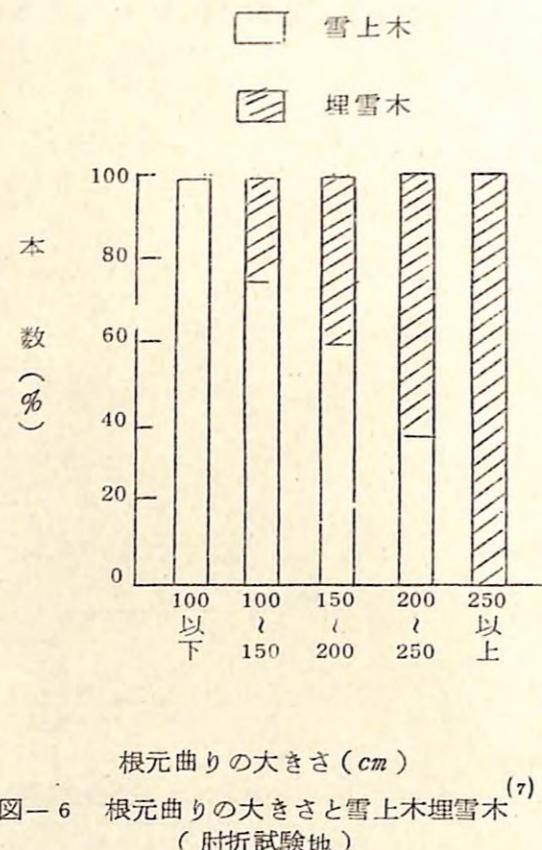


図-6 根元曲りの大きさと雪上木埋雪木
(肘折試験地) ⁽⁷⁾

注. 根元曲り：植栽時の地際の垂直高120cmのところから幹までの水平距離で計測した。

幼齢期の防除対策が極めて重要となるわけである。

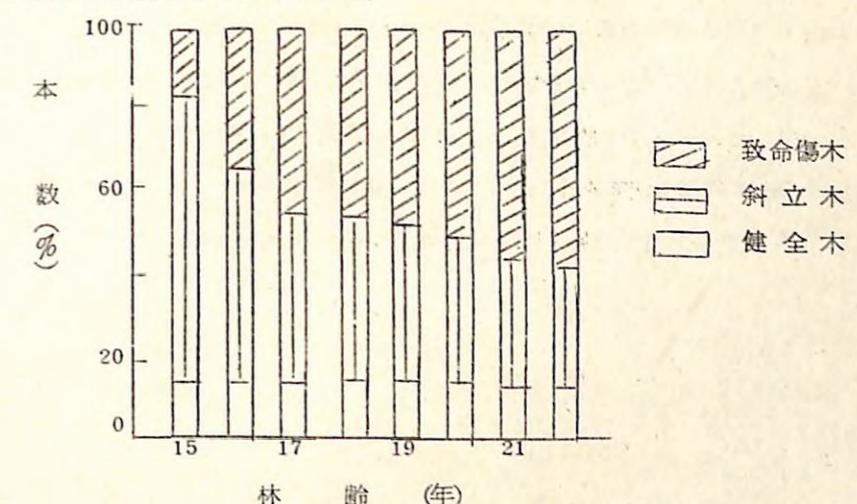


図-7 健全木と雪害木の経年変化⁽⁷⁾
(肘折試験地)

成林過程での保育手入れの重要性はこの点からもうらづけられる。さきの図-4に示した積雪深と成林率の関係でも保育手入れの集約な民有林の方が高い成林率を示していた。

またこのような林分内の樹幹形態のバラツキの実態は局所環境や手入れの差だけでなく、遺伝的な個体差にも関係している。現在すすめられている耐雪性個体の選抜も今後とも急速に展開させ、優良な耐雪性品種を造林材料として供給することを急ぐ必要がある。

VI 地下部からみたスギの耐雪機能

多雪・豪雪地帯では造林木は大なり小なり根元曲りとなっている。毎冬の埋雪倒伏そして夏の成長期の起上りをくりかえす過程でおこってくる。この根元曲りの現象は材の利用上はマイナスとなるが、積雪地帯で雪圧に抵抗して成長してゆく林木の一つの適応であると考えられる。⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

1. 根量と根元曲りの関係

豪雪地帯の傾斜地の林木は、樹種のいかんにかかわらず根元曲りなしに成林することは不可能であるが、問題はその程度である。積雪深170cm、傾斜角30度における垂直柱に加わる雪圧は0.4 ton、水平柱のそれは実に3.6 ton⁽⁹⁾にも達したという報告がある。林木の場合は異なるにしても、これから想像されるように根元曲りが大きいもの（斜立も含む）ほど生育に不利であって、根元曲りの小さい通直な木を育てることが、雪圧を軽減する最善の方法であることが理解されよう。

雪圧の強さによって曲りの大きさが規定されるとすれば、立地条件が同じところでは差がないはずであるが、実際は個体差が大きい。それが何に原因しているかを図-8に示す。これに明らかのように、その大きさは根量（根の付け際の断面積で以下根量という）に左右され、根量が多くなるにしたがって曲りが小さく、曲り方も鋭角である。図-9に林木の斜立角度と根量ならびに冬期の埋雪状態を示したが、角度の小さいグループはやはり根量が多く、埋雪木と雪上木とでも根量の違いがみられ、埋雪木は明らかに劣る。

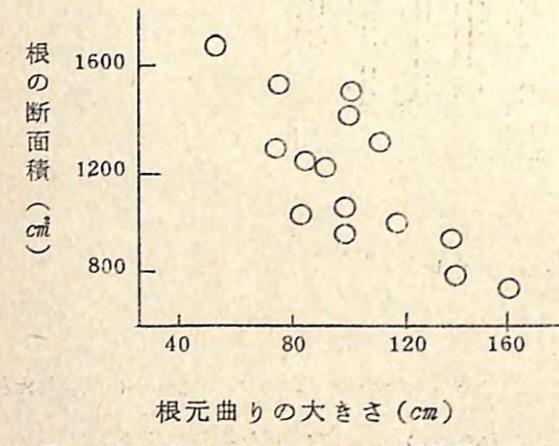


図-8 根元曲りの大きさと根量

このように根量は樹幹形に影響を与えるが、雪害の誘因が樹幹形にある場合は、地上部の大きさに比較して根量が劣ることが大きな原因となっている。

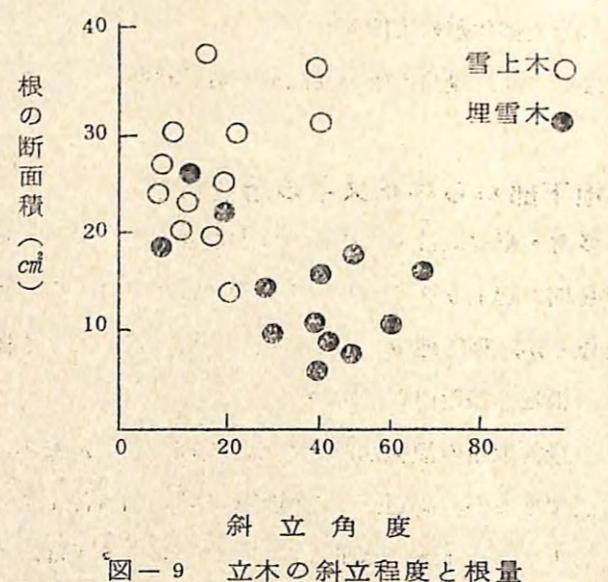


図-9 立木の斜立程度と根量

2. 地下部の構造

根系の発達は健全な樹幹形成の重要な条件となっているが、直立木の地下部分の構造を図-10に示す。これをみると、現在の主幹の地際の位置と植栽時の地際とは、傾斜下方にかなりずれが生じ、また、彎曲した幹が埋没しその部分が根株化している。根量は植栽時の地際から

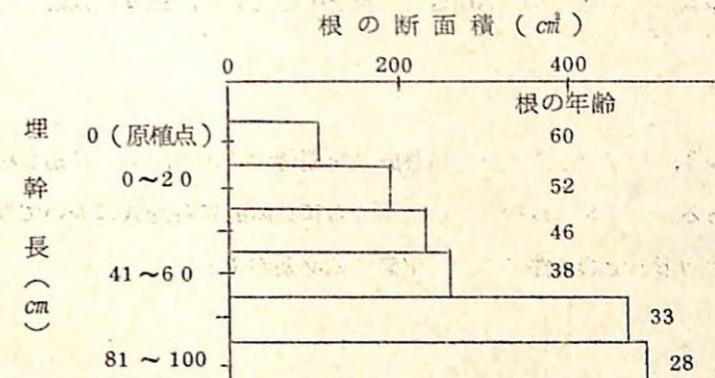


図-10 根元曲り木の根量

遠ざかるにしたがって増加するが、逆に年齢は若くなり、現在の地上部の成長や根系による緊縛力は、これらの若い不定根群によって支えられていることがわかる。以上のような現象は、幼齢埋雪期間中に積雪時の倒伏と、無雪時の立ち上りのくり返しの過程で、接地した幹から次に不定根が発生したことを示す。また、埋幹長によって根量は異なるが、次々に発生する根が次第に緊縛力を強め、それが結果的に根の成長を促進したものと考えられる。

根元曲りが大きくなるにしたがって、曲り方も鈍角で樹幹は斜立するが、一般にこのような林木の埋幹部分に不定根を欠くものが多い。不定根による支えがないため、樹幹の彎曲はますますひどくなり、ついに立ち直り不能となる。

根元曲りは地上部だけでなく、その一部は埋没するので、経済的な損失は少なくないが、埋没した幹は林木が雪圧に対応するための基盤となるから、早くから不定根の発生を促し、基盤形成に努めることが、重要となる。

VII 豪雪地帯の造林技術

これまで述べてきたように積雪はその荷重はもとより、沈降圧、匍匐圧などによって非常に大きい力で林木の成長に影響する。豪雪地帯における造林ではまづこの雪圧の少ないところをえらぶこと、雪圧を出来るだけ軽減することを考えることが必要である。それとともに林木のもって

いる耐雪機能を十分に発揮させるような技術投入をはからねばならない。

豪雪地帯における造林技術については多くの試行や研究がなされているが、積雪環境や地域の差によって結果がまちまちな場合も多く、普遍的技術として体系化されていない段階である。これまで述べてきた問題点から育林技術へ応用される点を中心として、主要な技術について述べてみよう。

1. 適地判定

すでに述べたとおり、豪雪地帯で良好な造林成績を期待するには、第一に造林環境の判定を十分に行うことである。表-5に概括した項目もさらに具体的に各地域において検討せねばならない。とくに局地地形と土壤条件について留意する必要がある。

2. 樹種(品種)の選択

豪雪地帯での造林樹種については古く大正時代から検討され、ドイツウヒ、トドマツ、エゾマツ、ヒメコマツなどの試植が行われた。結論としてスギが最適とされる。とくに耐雪性にすぐれたウラ系のスギがよく、多くの品種の耐雪性の検討もすすめられている。⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

カラマツは拡大造林にともなって導入されたが、湿雪地帯では成績は必ずしも良好でない。雪圧が弱い場合にも成林しても、雪圧による幹の彎曲の立直りのための不定根発生が悪いため、順次雪害をうけることが多い。地形条件を考えるとともに乾雪で雪圧の少ない地帯(たとえば厳寒期1~2月の平均気温-4°C以下)では可能性がある。

豪雪地帯の第Ⅰ帯(250~350cmの積雪深)でもスギなどの造林困難箇所が多く混在する。また第Ⅱ帯(350cm以上の積雪深)ではほとんど造林は困難とされる。これらの地帯ではブナの天然更新が望ましい。

3. 苗木の形質

積雪地向きの苗木の形質については、ほとんど検討されてないが、とくに根張りの良い根元の太い下枝の張った苗木がのぞましい。植栽時の根は、その後の不定根の発生・成長にともなって退化するから、根の量はあまり問題でないとの説もある。不定根の早期発生には初期の成長の良否が関係するから、根量は積雪地向き苗木の条件として重要視する必要がある。

さし木苗と実生苗の耐雪性が論議されているが、下枝や根張りの面からは実生苗が適している。さし木苗は一般に根は太いが、根量が少なく、後述するように下枝の役割を考えると、下枝の貧弱なさし木苗は、豪雪地向き苗木として問題がある。しかし、採穂と穂作りの仕方によ

っては下枝の張った苗木の養成は可能であり、また、育苗技術の投入によって根量を増すこともできるといわれているので、このような形質のさし木の養苗が望まれる。

4. 植え付方法

根系の支持力の強弱は、健全な生育や雪害発生の誘因となるから、早くから根系の発達した頑丈な基部が必要となる。したがって、植栽方法も根系との関連で検討されなければならない。それにはまづ耕耘効果が期待されるような方法が好ましいから、植穴を大きくし、丁寧な植え方が基本となる。

積雪地では種々の植栽方法が試みられているが、表-6にその一例を示す。⁽¹⁷⁾これに明らかなように、植栽方法によって根の本数もその断面積も異なるが、とくに、斜め植えと土寄せに不定根の発生が目立っている。このことは植栽時か、その後の幹への覆土は、不定根の発生とその成長を促す効果が大きいことを示している。以上の結果は多雪地での植栽4年後の一例であり、また、豪雪地では未経験であるので、追試が必要である。

表-6 植栽方法と根の発達(植栽4年後)⁽¹⁷⁾

処理	旧根		埋幹の長さ別 2次根								合計			
			0~10cm		11~20cm		21~30cm		計					
	本数	断面積	本数	断面積	本数	断面積	本数	断面積	本数	断面積	本数			
斜め植え	11	cm ²	20	5	11	cm ²	6	10	5	8	16	29	27	49
土寄せ	10	21	5	12	7	10	3	3	15	25	25	46		
深植え	10	18	6	11	3	3	-	-	9	14	19	32		
普通植え	12	20	5	10	-	-	-	-	5	10	17	30		

註 調査木1本当りの直径6mm以上の根を示す。

平坦地の幼齢木は、積雪の沈降によってチョウチンをたたんだような折れ方をすることがあるから、幹を斜めに植えて倒れる方向を一定にすると、ある程度折れの害を防ぐことができる。この際に多少根元曲りを生じるが、傾斜地よりも倒れる角度が小さいから不定根も出やすい。

埋雪期間を短縮する意味で、施肥も重要な手段となるが、前述したように地上部の成長に比べて根量が劣るものに雪害が多いので、林木の埋雪期間中は、地上部の成長よりもむしろ根の

成長を促す成分を主体とした肥料の投与が望ましいと考えるが、その事例は少ない。

雪害との関係では、竹下らはスギ幼齢林について8年間の調査結果から次のように述べている。「加里多用区は雪害が少なく、その回復も良い。健全木本数の割合は加里多用区25%，普通施肥区6%，磷酸多用区13%，対照区23%の順であったが、対照区は他の区より樹高が劣るので今後本数の減少が考えられる」としている。

積雪地での肥培例は少なくない。埋雪期間の短縮を目的としているが、その効果を認めていく例が多いから、肥培の期待は大きい。

5. 植栽本数

多雪地帯の民有林の植栽本数の平均は3,000本/haで、造林の経験の多い人はそれ以下という例が多く、2,500本が標準と考えられている。

雪害による消失が多いから植付本数を多くした方が安全と考えるのは、積雪が特に多いとか、充分に手入れがゆきとどかないといった特殊な条件があって、ある程度成林してくれさえすれば良いといった場合である。活着率が良く以後の保育が適確に行われる場合は、2,500～3,000本程度が一応の標準と考えられる。

植栽本数は経営目標によって決定されるが、積雪地では強健な林木の育成が前提となる。積雪により受害期が過ぎても、冠雪害の危険のあるところでは、やはり健全性が保たれてなければならない。以上のこととは、疎立を基本としており、それがためには疎植するか、あるいは密植して早くから除伐をくり返すことによっても可能であるが、実際的な施業面を考えると、むしろ前者の方が望ましい。

植栽後の本数は、植栽地の自然条件の影響を受けるが、積雪深2m、傾斜20～24度、 $B_D \sim B_D(d)$ 型簡行土における植栽本数比較の一例を表-7⁽¹⁸⁾に示す。植栽本数に対する成林可

表-7 植栽本数と成林本数⁽¹⁸⁾

植栽本数	S48 生存本数 (A)	成林可能本数 (B)	B/A (%)	植栽本数に対する Bの割合 (%)
2,000本	1,259 本	971 本	77	49
	1,265	889	70	44
4,000本	2,349	1,395	59	35
	2,331	1,466	63	37
8,000本	4,444	2,278	51	28
	4,509	2,091	46	26

積雪深200cm 傾斜20～24度 $B_D \sim B_D(d)$

能木の割合は、植栽本数が少なくなるにしたがって高くなるが、実際の本数は逆に減少している。2,000本植栽の場合、林木相互間に競争が始まる樹高は10mと推定されるが、(本数減少がない場合)この2,000本区の現在の樹高は9mで、本数1,200本であるから、競争が始まる前にすでに800本減少し、林地の1/4は空地となっている。

近年疎植の傾向にあるが、以上の例からも想像されるように、本数の減少は少なく、最少限の成林可能木の本数確保すら困難な場合もあり得るから、疎植は人為的な雪害防除が前提であることはいうまでもない。造林地の成績の判定の仕方が論議されているが、前述したように地下部が受ける雪圧の影響は、林齢30年頃までであるから、この時点での成林可能本数は最小限、主林木の本数の確保が一応の目安と考える。

6. 林木の耐雪性を高める保育

1) 下刈り・つる切り

下刈り・つる切りは、耐雪性を高める重要な保育作業で、その良否や期間は後の雪害に影響する。消雪後の立ち上りの早さや垂直に成長してゆくためには、根元が太くまた根が充分発達していることが必須条件であるが、この太い根元と根張りは、下枝から送られてくる同化産物によって作られる。⁽¹⁹⁾したがって、根栽木も下枝を充分に張らせ、光を充分利用できるようにしてやることが大切となる。

植栽後の3～5年間はその後の根系の発達をきめる重要な時期であるので根ぶみが有効である。また、埋雪期間中の下刈りはとくに重要で、下刈りに原因すると考えられる不成績造林地は少なくない。

下刈りの適期を失したり、粗雑な下刈りは下枝の成長の妨げとなるので、下枝が枯れ上がったり、樹冠が橢円形になったりするが、このような樹冠形は下枝の機能を低下させる。下枝の機能が充分発揮できる樹冠とは、下枝がよく発達した三角形の樹冠であるから、潔癖な下刈りを樹幹基部が固定するまで続ける必要がある。とくに初期の3～5年間は不定根の出始めの時期にあるから、適期の充分な下刈りに留意する必要がある。

幼齢時代は幹の曲りを強いられるから、小さな幹の外傷や変形が雪害の誘因となることが意外に多い。もっとも著しいのはつるで、巻き込んだくびれが折れの原因となるばかりでなく、不整な樹冠は補正が困難であるから、後に雪害の誘因となることが多い。ノネズミに食害された林木のほとんどは雪害を受けるが、積雪下が弓状に彎曲する林木に被害が多く、直立木には全く見られない。彎曲部の空洞がノネズミの活動環境を作り出しているためである

から、これを防止するためにも、早くから好ましい樹幹形成への誘導が大切となる。

2) 雪起し

根元曲りは単に形質を悪化させるばかりでなく、破壊的な雪害の誘因となることもあるので、努めて曲りの曲率を小さく固定し、幹を直立させる必要がある。雪起しは、もっとも確実な方法として古くから行われている。しかし、その開始時期や継続期間などについては、まだ理解されてない面があり、効果の判定も明らかでない。また、雪起しは多くの労力を長期間必要とすることから、その省力化が要請されている。

○ 植栽 3 年後から雪起し区

● " 6 年後 " 区

△ 対照区

□ 最深積雪

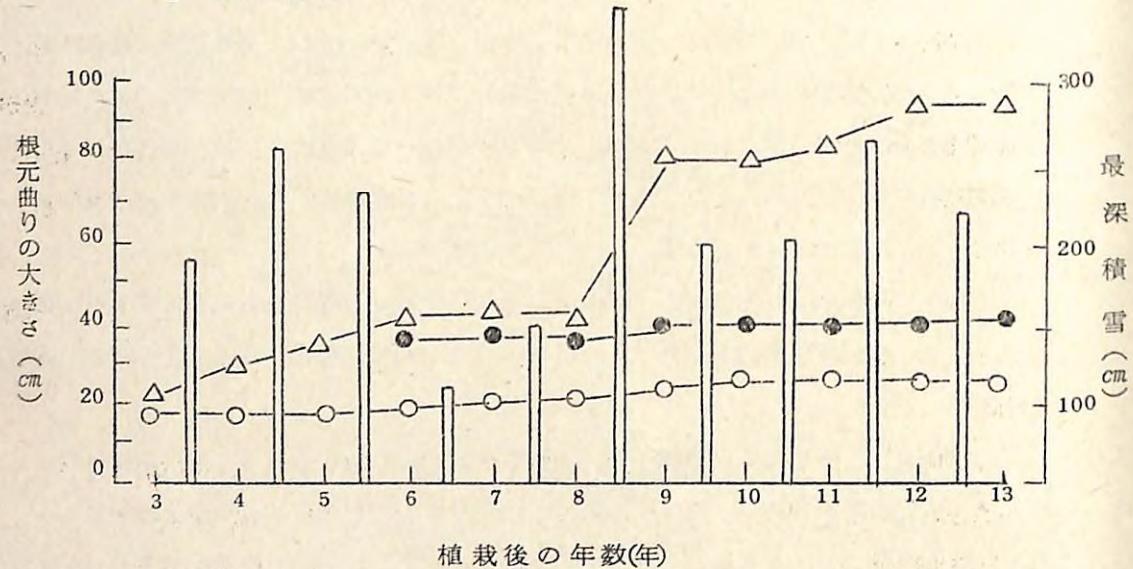


図-11 雪起し開始年および最深積雪と根元曲りの大きさとの関係⁽²⁰⁾

図-11⁽²⁰⁾で雪起し開始林齢と根元曲りの経年変化との関係を示した。これをみても早くから雪起しをしたものは根元曲りも小さい。雪起しをしなかったものは、遅く雪起しをしたものと当初曲りの大きさは変りがなかったが、その後急激に大きくなり、なお漸増の傾向がみられる。急に曲りが大きくなったのは、この年に記録的な大雪に加えて、初冬の異常冠雪によって強制的に倒伏させられたためである。この場合ある程度地下部が固定しておれば、幹

は地上から曲るので復元も早い。固定しない場合は、根浮き根ぬけとなるから幹全体が大きく傾き、支持力を失った樹幹の曲りは、ますます大きくなる。雪起しをしたものと、しないものとの決定的な違いは、根系による緊縛力の強弱にあるから、受害期を平年並みで経過すれば、それほど曲りは大きくならないが、異常積雪や冠雪は予測できないから、やはり雪起しは必要ということになる。

雪起しの継続期間が論議されるが、根系の発達とその成長を促すという意味からは、基部がある程度固定するまで続けることになる。積雪深2m前後のところでは、植栽3~4年後から6~7回、3m前後では10~11回という例が多いが、根系による基部の固定は、この程度の期間が必要ということであろう。

雪起しをしても立ち直りの悪い木は、一般に樹冠が貧弱で根元が細く、根張りも悪い。反対に立ち直りの早い木は、前述した樹形であるから、雪起しはその過程を早めにやる補助手段にすぎないことがわかる。したがって、基本的な条件を無視して補助手段のみに効果を期待しても、投入労力の割合に効果が現われるのは当然であるから、併せて潔癖な下刈保育を長期間行うことによって、さらに効果が期待されよう。

根元曲り木が倒伏と立ち上りを繰り返すと、樹幹基部と地表面との間に空洞ができる、根の発生の妨げとなるので、雪起しと同時に根の成長開始前に根元への盛土は不定根発生に有効⁽²¹⁾である。

3) すそ枝払い

埋雪中の立木の雪害は、下枝が引張られて強制的に幹が引き倒されることによって生ずるから、下枝を切除して倒れる角度を小さくしようとするのがこれまでのすそ枝払いの目的である。すそ枝払いは、もっとも一般的な雪害防止法として広く普及され、その効果はこれまでの定説となっている。しかし、近年その効果をめぐって論議されるようになった。すそ枝払いは、立ち直りを遅らせるという説が多くなったからである。

すそ枝払いの是非の前に、立木がどのような過程で埋雪するかを述べておきたい。埋雪期にある幼齢木は冠雪の重みで梢頭が垂れ、その後の降雪によって雪面に捕捉されることが、倒伏の初因である。

このように立木の埋雪過程をみると、すそ枝払いはそれほど決定的な効果をもたらすとは考えにくい。事実、効果が認められなかったという報告が多い。一方積雪の力学的な実験結果から、すそ枝払い無用論は早計という報告もある⁽²²⁾。

幼齢時は必ず倒伏するが、問題はその立ち直りの早さであって、前述のようにその力は下

枝によって行われる活発な同化作用により、発根とその成長を促すことによって生じる。このように幼齢時の下枝は重要な機能をもっており、また、枝の除去によって失なわれる葉量は、相当な量におよぶから成長に与える影響が大きく、とくに根元の成長の停滞が著しい。⁽²³⁾これを施肥によって補うという考え方があるが、除葉率が高いものほど施肥効果は現われにくい。

埋雪期間中の下枝の除去は好ましくないが、不整形な樹冠は、冠雪により倒伏を早めることになるので、樹冠を整える意味で枝の先端を除去することは有効と考える。埋雪期間中の成長の良否は後の雪害に影響するので、下枝を重要視する必要があるが、雪上木となった後の枝打ちは、耐雪性にそれほど影響しないから、必要に応じて行うことは差し支えない。ただ、過度になると何年かに一度の大雪で被害を被ることになるので、樹高の $\frac{1}{3}$ 以下枝打ちにとどめておきたい。

雪害は雪上木が現われ始めの時期に多発するから、この時期に枝打ちをし、埋雪を防ぐのは意味があるという説も多い。しかし、この時期は、すでに雪害木と健全木の樹幹が形成された後であり、前述したように斜立木のほとんどは雪害木へ移行するから、枝打ちの効果は少ないと考える。

4) 台木による再更新⁽²⁴⁾

ある程度成長した後も直立しえない彎曲木は雪害の誘因となるので、このような立木をなんらかの方法で再生が可能とすれば、雪害多発地の更新法の一つとして注目されよう。

表-8 台木萌芽更新林分の成長状態⁽²⁴⁾

調査項目	全 体	普通木	台木更新木	地位 2 等
ha 当り本数本	726	472	254	951
ha 当り材積 m^3	5.80	4.22	1.58	4.50
平均樹高 m	17.0	17.0	15.0	17.8
平均胸高直径 cm	38.0	39.0	31.0	26.4
根元曲りの大きさ cm	—	130	0	—

表-8は、スギの斜立木を台切し、その萌芽によって見事に成林した一例を示したものである。台木の伐採高は平均170cm、伐採面は癒合し、コブ状を呈していたが、直径は10~14cmで、樹齢3~11年である。

健全な成長を期待するための条件の一つは、基部がしっかりとすることである。このような観点から台木による更新をみると、台木は基部に相当し、台木がしっかりとしていたから、健全な生育が可能となったものと考察される。

台木による更新に問題がないわけがない。萌芽性の強いものでなければならぬし、台木の強度は雪圧に勝るものでないと意味がないので、積雪条件によって台木の条件も変える必要があるか、全くわかっていない。台木による更新には以上のような問題があるが、直立困難な立木に試みたい方法である。

5) 除間伐

立木密度は経営目標によって決定されるが、雪害多発地では成林可能木の確保が最大の課題となるから、耐雪抗力が整う林齢30年前後までの除間伐は、成林の見込みのない不良木が対照となる。日本海側を主産地とするスギの最大成長期は高齢に現われる傾向があり、また、幼齢時の保育に多くの労力を要するから、主伐はできるだけ遅らせたほうが有利である。

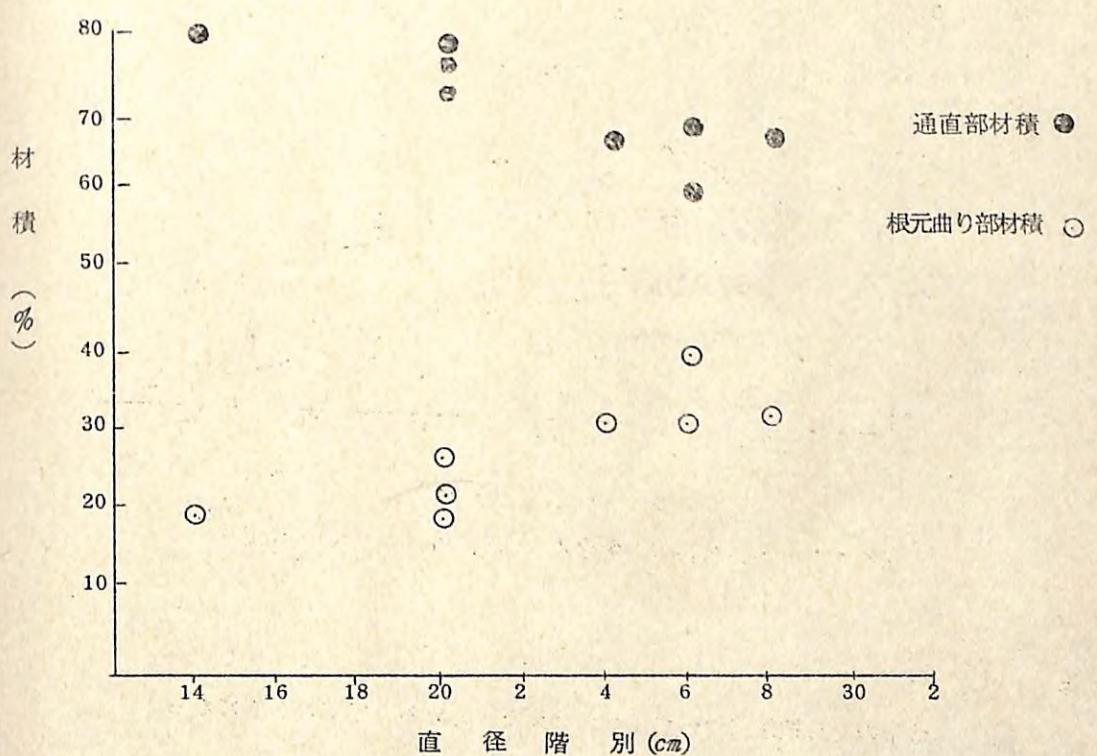


図-12 豪雪地帯におけるスギ各部材積比率(傾斜30° 林齢43)

形質の最大の欠点は、根元曲り材の占める割合が高いことである。図-1-2にその割合を示したが、根元曲りは支持根の過心成長によって回復(ミカケ)するから、早く伐るほど不利となる。⁽²⁵⁾

間伐は成立本数によって異なるが、冠雪の危険がある地方では、林齢30～40年までの過密は危険である。その目安として形状比があるが、そればかりでなく図-1-3に示したように、片枝の樹冠にも多発するから、間伐にあたって立木配置の考慮が必要となる。⁽²⁷⁾

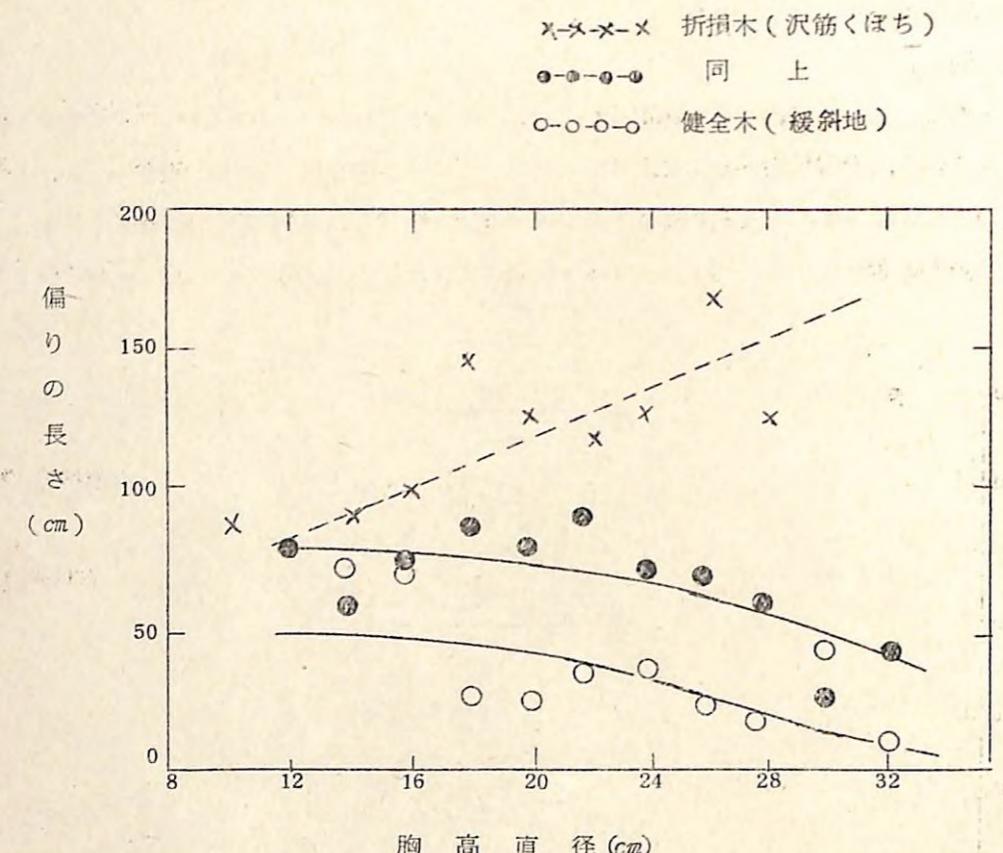


図-1-3 冠雪被害木と健全木の樹冠の偏り(石川・片岡)⁽²⁷⁾

7. まとめ

以上豪雪地帯の育林技術について述べた要点をまとめると以下のようになる。

1) 適地判定

積雪の特性；地形要因などから表-6に概括された環境特性を、具体的に造林予定地について吟味すること。

2) 樹(品)種の選択

豪雪地帯第1帶ではスギ、とくにウラ系スギが最適で、積雪移動が小さい凸部や乾性の積雪地ではカラマツも可能。350cm以上の積雪深では植栽できる針葉樹は見当らず、ごく一部のスギの造林適地以外はブナなどの天然更新をすすめる。

3) 苗木の形質

根張りが良く、根元が太く、下枝の良く発達した健苗が望ましい。さし木苗は根量や下枝の発達に問題があるので、実生苗が適している。

4) 植え付方法

健全な成長には、不定根の発達した頑丈な基部が不可欠である。植栽方法も耕耘効果が期待されるような方法が好ましいから、植穴を大きくし、ていねいな植え方が基本となる。初期の成長が順調か否かは、後の不定根の発生にも大きく影響するから、植え付にはとくに留意する必要がある。

5) 肥 培

埋雪期間を短縮する意味で、施肥も重要な手段となるが、その場合発根とその成長を促す成分も考慮する必要がある。

6) 植栽本数

後述の特殊な保育を前提とする場合、3,000本植栽とし、林齢30年の時点での成林可能本数は、収穫表の主林木に相当する本数の確保を最少限の目標としたい。

7) 保 育

(1) 下刈り

下刈りは、下枝の張った根元の太い耐雪抗力のある樹形を作ることが目標となるから、潔癖な下刈りを樹幹基部が根張りで固定するまで続ける必要がある。植栽初期の3～5年間は、不定根の出始めの時期であるから、この間の根ぶみは重要である。

(2) 雪起し

健全木と雪害木の決定的な違いは、根量にあるが、雪起しは不定根群の発生を促す効果が大きい。根系による基部の固定には、植栽3～4年後から10回程度が一応の目安と考えられる。消雪1ヶ月以内の雪起しと同時に基部への盛土は、不定根発生に有効である。

(3) すそ枝払い

埋雪期間中のすそ枝払いは、林木の耐雪抗力という面から問題があるので、樹冠を整える意味で徒長枝の先端を切除する程度にとどめたい。雪上木となつた以後も、冠雪害を考

慮し、樹高の1/3以下の除枝程度にしたい。

(4) 台木による再更新

直立困難な林木で萌芽している場合、主幹を台切し、萌芽による再更新を試みるのも一つの方法である。

(5) 除間伐

雪害多発地では成林可能木の確保が問題となるので、林齡30年前後までの除間伐は主に直立不能木を対象にしたい。その後は通常の方法で差し支えないが、幼齢時の保育や、根元曲りの回復などから長伐期が有利である。

VII 技術体系化のための問題点

以上述べたとおり、豪雪地帯の造林技術を今後体系的にまとめてゆくにはなお多くの問題点があるが、これまでの調査研究によってかなり明確になった点もまた多い。

今後の問題点としていくつか述べてみたい。

1. 造林適地判定技術の向上

拡大造林における豪雪地帯造林の経験と各種の調査研究の成果から、豪雪、多雪地帯についての造林環境区分の大よその目途はついてきた。しかし具体的に現地におろす場合、現地の具体的積雪環境を精細にとらえることが困難で、かなりの推測値によらねばならぬ現状であり、この点現地調査や航空写真利用のリモートセンシング手法の導入によって、より精度の高い積雪環境区分を行う必要がある。雪の環境は局地的に変化がはげしいので困難ではあるが、適地判定の良否が直ちに成林成績につながるので、この点の把握を最重点とすべきである。

つぎに造林環境区分ごとに施業方針を考える。環境が悪くなるにつけ、造林の経済効果は急速に悪化するので、無理な造林拡大は不得策である。この判断の素材としてこれまでの造林地の実態の分析をさらに進めることが必要である。

2. 耐雪性を高める保育技術の開発

耐雪性は林木側の条件によっても大きく変わり、しかも初期の成長状況が将来の成林成績を支配することがほぼ明らかとなった。この初期の成長をコントロールする保育技術、とくに下刈り、雪起し、初期除伐などの技術の開発と省力化が経営的には最も重要である。

耐雪性の育種も現在事業的に進められているが、選抜されたものの現地検定をとくに急ぐ必要がある。

3. 地域ごとの有効技術の選択とその体系化

また、積雪地帯では地域ごとに環境特性が異なり、おなじ技術でもその効果がまちまちになることが多い、また個別技術の組合せで効果が高まる場合も多い。地域ごとに有効技術を選択し、それを体系化することが必要になる。そのため地域ごとに事業的規模での体系化試験を実行し、個別技術を体系化したときの有効性をさらに検討する必要がある。

以上

文 献

1. 高橋 喜平: 積雪の概要, 東北支場山形分場 1963.5
2. 高橋 喜平: 積雪と階段造林, 林業技術, №256, 1963.2
なだれ防止林の立木密度
3. 石川政幸: 東北支場年報, №9, 1968.10
佐藤正平
川口利次
4. 佐藤啓祐: 裏日本多雪地の積雪環境と森林雪害, 森林立地, №21.2, 1977.3
5. (井沼正之): 豪雪地帯の造林技術(雪害調査), 造林部担当官会議資料, S39~45
(栗田稔美)
(遠田武)
6. 山谷孝一: 積雪とくに豪雪地帯における育林技術, 林業技術, №443, 1979.2
7. 栗田稔美: 豪雪地帯におけるスギ幼齢木の樹幹形態と雪害発生との関係, 東北支場年報 №17, 1976.10
瀬川幸三
井沼正之
8. 石川政幸: スギの雪害と雪の降り方について, 東北支場年報, №11, 1970.10
小野茂夫
川口利次
9. 高橋喜平: 立木に加わる雪压第一報, 林試研報, №210, 1968.3
片岡健次郎
佐藤正平
10. 井沼正之: 豪雪地帯におけるスギ幼齢木の雪害と樹幹形態ならびに根との関係について, 雪氷, 32, 1.2, 1970
栗田稔美

11. 井沼正之: 森林災害とその復元—森林の雪害と防除一, 遺伝, 32, 2, 1978.2
12. 井沼正之: 若齢林分の保有問題—多雪地帯の保育一, 林業技術, №407, 1976.2
13. 四手井綱英: 雪圧による林木の雪害, 林試研報, №73, 1954
14. 井沼正之: 東北地方の耐雪性スギと雪からみた2, 3の問題点, 東北支場たより, №69, 1967.9
15. 栗田稔美: スギ地方品種の耐雪性, 日林東北支誌, №31, 1979.12
遠田武
16. 栗田稔美: 消雪日の違いがスギの成長におよぼす影響, 日林東北支誌, №28,
遠田武 1976.8
青山安蔵
井沼正之
17. 栗田稔美: スギの植栽方法が根系におよぼす影響, 日林東北支誌, №24, 1973.1
18. 佐藤昭敏: スギの雪害と植栽本数, 東北支場たより, №164, 1975.8
井沼正之
19. 塙 隆男: わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究, 林試研報,
№137
20. 栗田稔美: 多雪地帯におけるスギ幼齢木の雪起し効果の一例, 東北支場たより,
遠田武 №223, 1980.7
21. 遠田武: 土寄せによるスギ幼齢木の根元曲り防止効果について, 東北支場たより,
井沼正之 №119, 1971.11
22. 石川政幸: 埋雪中のスギ幼齢木に加わる雪圧—枝打ちの影響について一, 日林東北支
小野茂夫 誌, №25, 1974.1
川口利次
23. 栗田稔美: 雪害防除を目的としたスギ幼齢木の枝打ちと成長, 日林東北支誌, №19,
井沼正之 1968
24. 児玉武男: スギ雪害木の台木による更新の一例, 東北支場たより, №158,
1972.2
25. 井沼正之: スギ根元曲りの形態的特徴, 東北支場研究発表会記録, 昭和38年度,
1965.2
26. 竹下純一郎: 多雪地における林地肥培試験, 岐阜県寒冷地林業試験場報告, №1,
山口清
中村基 1972.4

27. 石川政幸: 昭和42年12月の大雪による釜淵付近のスギの冠雪害, 日林東北支誌,
片岡健次郎 №20, 1968.12

その他の文献

1. 松井光瑠: 造林地の雪の害 林業解説シリーズ №41 日林協 (1970)
2. 渡辺・堀内・高橋: 気象害から樹木を守る, 林業改良普及叢書, №48 全国林業改良普及
協会 (1971)
3. 横山・高橋・土井・坂上: 林木の気象被害, 日林協 (1974)
4. 林試東北支場: 積雪地帯の造林に関する文献目録, I (1965), II (1975)

成木施肥の体系化

成木施肥の体系化

I 試験担当者

土じょう部 土じょう肥料科 原田 洋

土じょう部 土じょう肥料科 土じょう肥料研究室 藤田 桂治

" " " 佐藤 久男

II 試験目的

森林のもつ多面的な機能を發揮させるためには、健全で生産力の高い森林を作る必要がある。

森林の生産力を高める一つの手段として、森林保育の中に肥培を体系的に組みこむことが期待されている。

成木施肥に関する研究はかなり進み、個別技術の資料も多いが、現状では肥培技術を森林保育の中に体系的に導入するまでに至っていない。

そこで、既往の研究成果を整理し、肥培体系(案)を作成し、今後の事業に反映させる必要がある。

III 試験の経過と得られた成果

1. 国有林における成木施肥概要

(1) 林地肥培の経過

わが国の林地肥培は、幼齢林肥培からはじまつた。昭和20年代後半から30年代前半にかけて、林地肥培研究はブームを呼び、学会誌、林試研報はもちろん、営林局の造林技術研究発表や局報に、林地肥培に関する報告が多数発表された。¹⁰⁾ 当時の熱狂的なブームの中にあって、誤った認識をもつものも少なくなかつたので、林地肥培は単に施肥するだけなく、他の技術との関連も十分留意する必要があることなど、数項目の留意点が指摘された。²⁰⁾

その後、昭和30年代後半から、成木林を対象にした肥培が研究されるようになり、¹⁰⁾ 各県では昭和38年から3カ年にわたって成木施肥の現地適用試験を行つた。その成果把握を昭和44、45年度のメニュー課題としてとりあげ調査した結果、葉中の養分濃度の増加、生長促進、地力維持増進に対する効果が認められたが、それとともに2、3の留意

事項も指摘された。²²⁾

国有林では、昭和40年代から林野庁の成木施肥要綱に基づいて、各営林局管内でそれぞれ成木施肥試験地2林分を設定した。その成果の一部は公表されている。^{7, 19, 23)} 試験地は種々の林分条件、立地条件があって、肥効が顕著な所もあるが、全く肥効のあらわれなかつた所もあり、どのような条件の所で効果があったかという点について解析が進められた。⁷⁾

(2) 肥培効果のあがっている一事例

肥効が顕著にあらわれた一事例として、六日町営林署二居成木施肥試験地での成果の一部を紹介する。

- (i) 位置：試験地は新潟県南魚沼郡湯沢町大字三国字東谷山国有林に位置し、六日町事業区91林班は小班に所属している。
- (ii) 地況：試験地一帯は、日白山の二居川に面する西向の傾斜約6度の山麓緩斜面の押し出し地形を呈し、標高910mから980mの範囲にある。土壤は石英斑岩を母岩とする堆積土壤で、二居川に沿って生成した適潤性黒色土壤である。比較的酸性が強く、塩基類とくに石灰含有量の少ない土壤で、その生産力は低いものとみなされる。
- (iii) 林況：明治41年植栽のスギ林で、昭和40年（林齢57年）の試験地設定時の林況（2区平均）は表-1のとおりである。試験地設定前の保育管理は不明であるが、試験開始後昭和48年5月（林齢65年）の時点に、材積で20～30%程度の間伐を行った。

表-1 二居成木施肥試験地の林分概要

項目 処理区	本数密度 本/ha	平均樹高 m	平均胸高直径 cm	胸高断面積 合計m ² /ha	林分材積 m ³ /ha
施肥区	1150	165	260	59	475
無施肥区	1100	164	260	56	447

(iv) 試験設計：1試験区の面積は0.2haとし、その内部に0.1haの測定区域を設けた。施肥量はN換算でhaあたり100kgとし、昭和40年、41年、42年の5月に3年間連続施肥した（林齢ではそれぞれ57, 58, 59年の春に施肥したことになる）。供試肥料は燐安系化成肥料（17-9-8）である。

(v) 結果：試験地設定後8生育期を経過した昭和47年10月の結果⁶⁾は、表-2のように

顕著な差がみられた。

表-2 二居成木施肥試験地の生長

項目 処理区	胸高断面積計 m ² /ha				林分材積 m ³ /ha				
	設定時	8年後	8年間の増加量	生長率%	設定時	8年後	8年間の増加量	連年生長量	
施肥区	59	75	16	30	475	707	232	290	4.9
無施肥区	56	66	10	2.1	447	556	109	136	27

また、試験地設定後14生育期を経過した昭和53年10月の林齢71年の時点で、各区6本の供試木を伐倒して樹幹解剖した。6本平均の総生長、連年生長を図示すると、図-1, 2, 3のとおりである（未定稿）

これによると、樹高では施肥区は無施肥区より施肥前から総生長で約40cm高かったが、施肥後数年間（林齢61～64年）施肥区の連年生長は旺盛となり、無施肥区の樹高との差

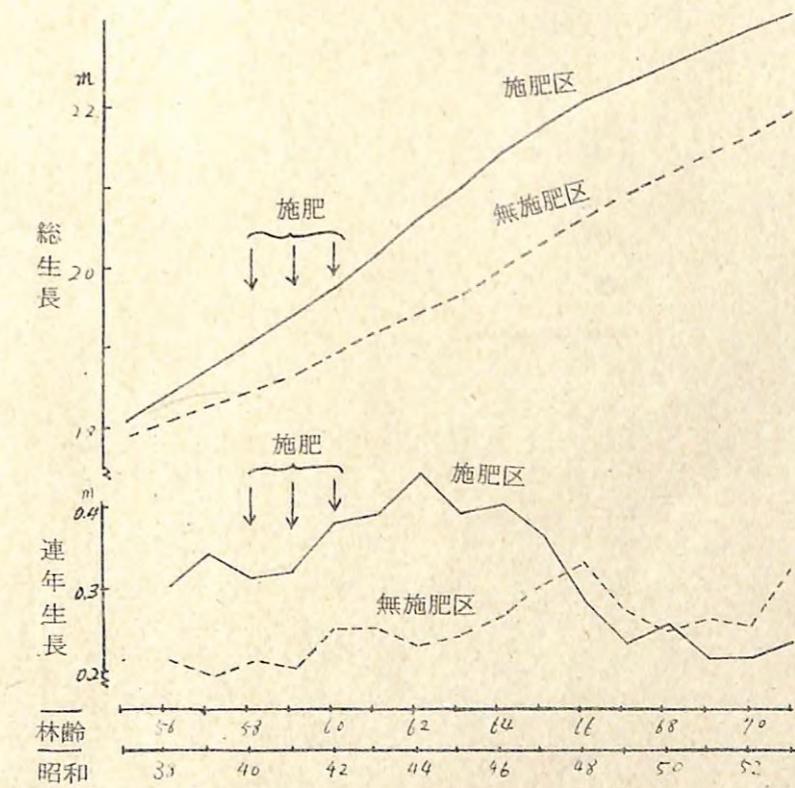


図-1 樹高生長経過

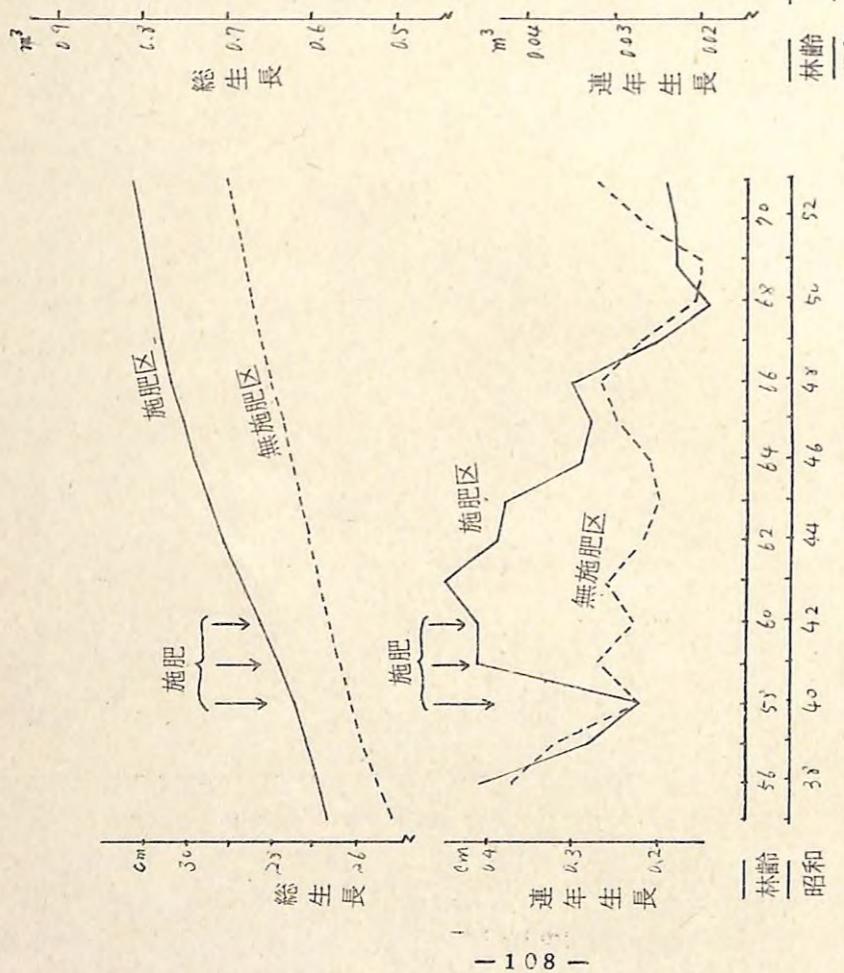


図-2 胸高直径生長経過

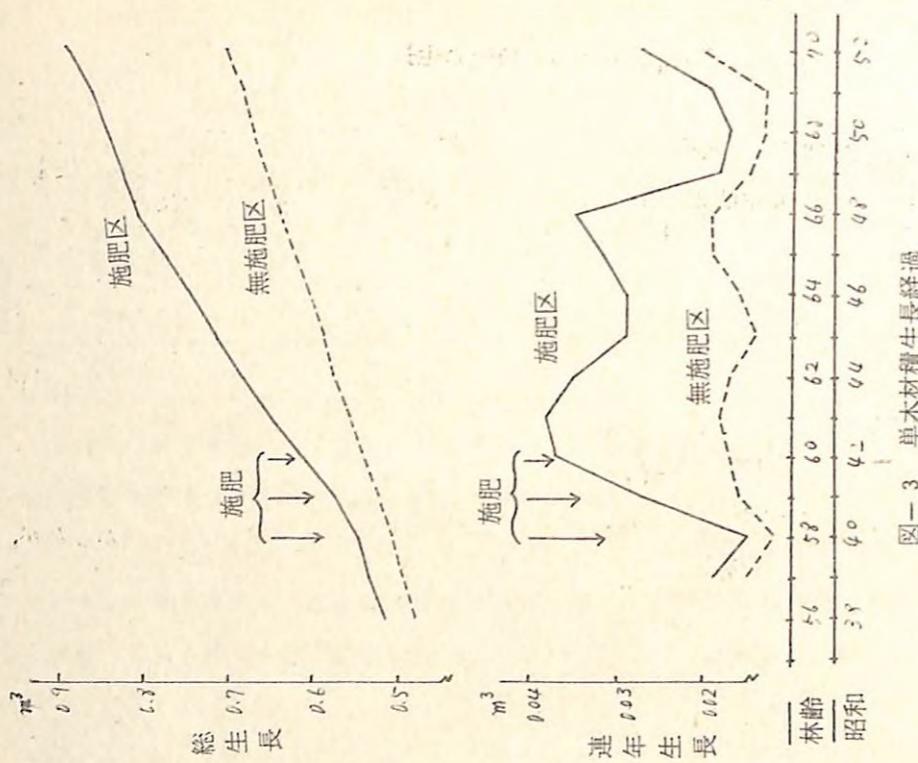


図-3 単木材積生長経過

は大きく開いた。林齢 6 6 年以降、施肥区の連年生長は無施肥区より逆にわずかに小さくなるが、総生長にそれほど影響せず林齢 7 1 年の調査時点で、施肥区は無施肥区より約 1.2 m 高い樹高を維持している。

胸高直径も施肥前から施肥区は無施肥区より約 1.3 cm 大きいが、施肥区は施肥後数年間（林齢 5 9 ~ 6 3 年）の連年生長が非常に大きく、総生長において無施肥との差を 2 cm 以上に拡げた。林齢 6 7 年以降施肥区の直径生長はやや鈍り、連年生長で無施肥より逆に小さくなる年もあるが、総生長にそれほど影響せず、林齢 7 1 年の時点で、施肥区の直径は無施肥区より約 2.2 cm 大きかった。

単木材積でも、施肥前から施肥区は無施肥区より大きかったが、施肥区はとくに第 1 回施肥後 7 ~ 8 年（林齢 5 9 ~ 6 6 年）の連年生長が非常に大きく、両区の総生長差は年々開いていく傾向がみられる。林齢 7 0 年の時点で、施肥区は無施肥区より単木当たり約 0.2 m³ 大きかった。

(vi) 総括と今後の問題点

施肥処理前から、施肥区は無施肥区より多少大きかったが、林齢 5 7 年から 5 9 年にかけて 3 年連続施肥した効果が非常に大きくあらわれ、その後両区の生長差はますます拡がり、林齢 7 1 年という高林齢になって、樹高、胸高直径の連年生長への肥効こそ見られなくなつたが、総生長ではまだ十分の生長差を保っており、非常に効果が持続している肥培林とみることができる。

ただし、この顕著な肥効の持続は、決して普遍的にどの肥培林にもみられるものではなく、従来、施肥しても効果がはっきりしなかった例、また施肥直後は生長差がみられたが、何年か経過するうちに効果がわからなくなつた例も多い。

民間でも昭和 4 9 年度の天皇賞を受賞した柿下氏肥培林のように、今もって見事な生長を維持している肥培林もあるが、過去の受賞林で、その後の手入れが悪く不良林になってしまった例もいくつかかぞえられる。

今後の問題として、肥効が長く持続するような保育法を検討する必要がある。

2. 成木林肥培体系案作成に採用した既往の研究成果

項目	文献	参考にした内容
① 肥料の種類	1)	若い林では P を施用することが多いが、閉ざ林分では N が主として用いられる。貧栄養 (Available-N が少い) の所で葉量を維持し、葉の養分濃度を維持するには N 施肥が必要。

項目	文献	参考にした内容
① 肥料の種類	12)	若い林は複合肥料の肥効が大きかったが、主伐期に近い35年生林分では肥料の種類(複合肥料とN単肥)の差は少なかった。
	30)	植栽時施肥の場合は、NPKの1つまたはそれ以上を使用するのが普通であるが、中壯齢の閉さ林分ではN単用が普通である。
② 施肥量・施肥回数	13)	枝打ち初期: N 60 kg/ha 相当量をなるべく3要素の入った化成肥料で全面撒き。 枝打ち中期: N 80 kg/ha 相当量を化成肥料で撒き。 枝打ち後期: N 100 kg/ha 相当量を化成肥料またはN単肥で撒き。 間伐期~主伐期: N 100 kg/ha 相当量を数年間隔で3~4回撒き。N単肥でよいが、1回程度は3要素を用いた方がよい。
	14)	15年生林分に対する3年連続施肥で、Nで1年目は150 kg/ha, 2年目100 kg/ha, 3年目50~100 kg/ha は、地位中庸の林分で適正な施肥量である。
	19)	施肥量は70~100 kg/ha
	24)	林齢11~20年はNで100 kg/ha, それ以後33年までは150 kg/ha の割合で複合肥料3回, N単肥4回の計7回施肥。
	28)	二居試験地のスギ壯齡林にNで100~200 kg/ha 相当の化成肥料を3年連続施用した結果、施肥量による差がないところから、100 kg/ha は妥当量である。
③ 施肥位置・施肥法	9)	閉さした林分では、活力ある細根は腐植層の下のごく浅い部分に網目状に発達しているので、施肥位置は浅くてよい。地表面には撒くか、あるいは地表を軽く搔きおこして肥料をまく。
	15)	ヘリコブター施肥が有利になる施肥面積は、スギ林で10 ha以上である。施肥面積10 haの場合、施肥による材積増加量は7年間で1814 m ³ /ha以上になると経済的に有利である。
④ 施肥が幹形に及ぼす効果	3)	胸高形数はバラツキが大きく施肥による影響は認められない。
	7)	肥効顕著な肥培木では完満化の傾向を見いだすことはできたが、その程度はわずかであって、それほど著しいものではないと思われ

項目	文献	参考にした内容
④ 施肥幹形に及ぼす効果	.	る。
	13)	スギ主伐期前の肥培試験で、材の完満化は一部の調査木でその傾向が認められたにすぎないので、材の完満化は一応は認められるが、それより林全体の肥大生長が増大することを期待すべきではないか。
	19)	肥培効果の大きくあらわれた優勢木では幾分樹冠下部の肥大生長が大きく、完満な傾向を示す。完満な材を得るために枝打間伐をおこなうことがより効果的であり、施肥により容易に完満材を得られると考えるのは問題がある。
⑤ 施肥が生長に及ぼす効果	4)	同一林分内では、中大径木ほど肥効があらわれ易い。
	7)	施肥の効果を材積増加量でまとめると、スギ林で5年間に50 m ³ /ha の材積増を示した林もある。多くのものは5年間で15~30 m ³ /ha 程度で、3~6 m ³ /ha·yr になる。
	11)	渡島の28年生スギ林と38年生スギ林に2年連続施肥し、6年後に調査した結果では、施肥区は無施肥区より9.5~11.1 m ³ /ha·yr 増であった。
	13)	スギの生育段階別施肥試験の結果では、肥培林は無肥培林より2~7 m ³ /ha·yr 増の生長であった。施肥時の林齢で肥効が異なる。
	26)	採穂で生長低下したスギ林に施肥を行い、最初の施肥後16年目(6回目の施肥後9年目)の生長は、材積で平均33%増であった。
	27)	二居のスギ成木施肥試験地で、林齢59年で林分材積の連年生長量が次第に低下してゆく年代の成木林でも、肥効が極めて顕著で、連年生長26 m ³ /ha を示した。これは無施肥林の連年生長量の2.35倍である。
⑥ 肥効の持続効果	7)	二居のスギ成木施肥試験地(3年連続施肥)の生長を解析した結果、大径木では施肥終了後6年間、小径木では施肥終了後3年間肥効が持続した。 肥効の持続効果は、長い場合7~8年も続くことがあるので、伐期前施肥は少なくとも10年前に実施すべきである。
	8)	農工大大谷山演習林で、植栽後3年間連続施肥し、15年経過した

項目	文献	参考にした内容
⑥ 肥効の持続効果		林分(18年生)で、施肥直後にみられた効果は、施肥終了後15年経過した時点でも続いており、無施肥区に比較して大きな差がみられる。 定量区と倍量区の比較では、施肥直後は倍量区の生長が良いが、施肥後15年経った時点では明らかな差はみられない。
	12)	12, 23, 35年生スギ林に対し、3年連続施肥した結果、施肥終了後3~5年間効果が持続した。
	19)	肥効は施肥当年もしくは翌年にあらわれ、翌年さらに施肥することにより、肥効は5年程度持続すると考えられる。
	29)	肥効は施肥当年より翌年以降に大きく、3年目で最大に達し、4年以上続くようである。
⑦ 立地条件と肥効	5)	スギ地位1等地の秋田営林局合川試験地では施肥効果がなく、立地条件の悪い3等地の青森管内むつ試験地では、小径木を除いた大部分に顕著な肥効を認めた。
	7)	地位指数2.0以下の立地では肥効が期待できるが、地位指数2.2以上の立地では効果があらわれにくい。
⑧ 林分密度と肥効	2)	Ry 0.77~0.91前後のスギ過密林分でもかなりの肥効を示した。
	7)	成木林肥培は収量比数Ry 0.7前後を目標にした林分を考慮すべきである。
	9)	施肥によって葉の養分濃度が高まっても、過密な林分では樹冠の受光量が少なく、それだけ生長に及ぼす施肥の効果は低下するので、一般的には過密林分では肥効があらわれにくい。そこで間伐の遅れた過密林分に対しては、間伐してから施肥するのが普通である。
	19)	密度の高い林分では立木の優劣の差が明らかで、優勢木では肥効があらわすが、林分としてみた場合には1部分の立木の肥効であって、林分全体の肥効は小さい。施肥効果を十分発揮させるためには適正な林分密度が必要であろう。
	28)	高密度の閉鎖林でも施肥効果あらわれる。施肥効果は地位指数の影響をうける。

項目	文献	参考にした内容
⑨ 保育と肥培	9)	間伐後施肥は地位上の林分では年輪幅が広くなりすぎる心配もあるので、間伐2~3年後に施肥することも一法である。
	13)	肥培は枝打ち後の生長量の回復、枝打ち痕の巻き込み促進、無節部分の肥大促進などをとおして、無節材を早くあるいは多くつくることに役立つであろう。
		間伐と施肥を同時期に行うと、間伐効果と施肥効果が重なるため、立木密度によっては若齢林分では年輪巾が広くなりすぎる場合がある。そこで、若齢林分の施肥は枝打ち時あるいは間伐と間伐の中間に行うのがよいであろう。林木の直径がある程度大きくなると、年輪巾は急激に減少するので、この時期の施肥では年輪が拡大しすぎるほど肥効はあらわれないであろう。
	24)	間伐期の施肥は、次回間伐年との間に行う。
	25)	14年生スギ林で枝打ちによって材積生長は約10%減退したが、弱度の枝打ちでは施肥することにより生長回復する。

3 成木林肥培体系(案)作成のための施業の選択

林齢10年で関東北部の中程度の生長(40年時の材積394m³/ha)をしているスギ林を肥培して、40年で約500m³/haの林にするための肥培体系¹⁷⁾を作成するために、肥培林に必要でしかも国有林經營規模においても採用しうると思われる施業を、スギ林肥培体系¹⁷⁾育林枝術の体系化調査¹⁸⁾、新施業に関する技術体系検討基準²¹⁾、天竜地方の施業指針²⁴⁾を参考に選択した。

(1) 林分条件

- ① 立地条件：関東北部～中部の標高800m以下。傾斜30°以下。地位中
- ② 対象林分：10年生で中の生長をしているスギ林。
- ③ 経営目標：皆伐作業による元玉4m無節材生産
- ④ 立木本数：植付本数は3000本/haであるが、林齢10年までに約5%減
- ⑤ 下刈：下刈作業は短伐期にしろ長伐期にしろ良質材生産に欠かせない保育作業である。下刈は下層植生の種類、大きさによっても異なるが、目安として樹高2.5~3.0mになるまで継続したとして、林齢10年の時点では下刈が終了している。

(2) 選択した施業の内容

① つる切、除伐：下刈終了時点から2～3年おきに2回程度は実施すべきであり、この林分は従来適正に施業されていたと仮定する。しかし、訂正を要する点があれば、10年目と13年目の枝打時につる切、除伐もあわせ行うこととする。

② 枝打：枝打ちは無節材生産を目的とした場合には、緑枝を積極的に打つ必要がある。しかし、過度の枝打ちは林木の健全性を弱めるので、ここではあまり強度に行わず、3回にわけて4.5mまで枝打ちをする。

(i) 林齢10年(DBH 7cm)の時点で1.5mまで

(ii) 林齢13年(DBH 9cm)の時点で3mまで

(iii) 林齢16年(DBH 12～13cm)の時点で4.5mまで

ただし、林齢13年と16年時の枝打ちは、通直で形質良く、木の間隔も良く、伐期まで残されるであろうもの約1,000本についてのみ行う。

③ 間伐：林分の生長に応じて少量づつ多数回間伐することは理想的であるが、労力経費が多くかかるので実施はむづかしい。ここではRy 0.7～0.75を目標に林齢20年から30年にかけて3回の間伐を行う。

(i) 林齢20年の時点でha当たり700本、4.7m³を間伐。間伐率は本数で30%，材積で21%

(ii) 林齢25年の時点でha当たり450本、5.8m³を間伐。間伐率は本数で28%，材積で19%

(iii) 林齢30年の時点でha当たり300本、6.6m³を間伐。間伐率は本数で26%，材積で18%

間伐材積は次のようにして計算した。すなわち、関東北部の地位中～上の20～30年生スギ林の副林木材積は、主林木材積の57～58%である¹⁶⁾ので、ここでは計算上の便宜を考えて間伐材積は残存木の60%と仮定し、間伐本数に掛けて求めた。

④ 施肥：枝打時期に3回、間伐時期に3回の施肥をする。枝打期の施肥は、枝打後の生長減退の防止、枝打痕の巻きこみ促進を狙った。間伐期の施肥は間伐後の林分閉ざの促進を狙った。若齢林分では間伐をすると、無施肥であっても肥大生長が旺盛になるし、また実際問題として間伐当年は枝条が散乱していて施肥も行いにくいし、さらに労力の関係もあって、間伐1～2年後の施肥を計画した。

施肥法、施肥量は次のとおりである。

(i) 林齢10年、枝打時施肥：3要素を含んだ複合肥料を3～6月の頃全面ばらまき、施肥

要素量はN 60 kg/ha, P₂O₅ 20～40 kg/ha, K₂O 20～40 kg/ha

(ii) 林齢13年、枝打時施肥：施肥法は林齢10年時と同じ、施肥要素量はN 80 kg/ha, P₂O₅ 30～50 kg/ha, K₂O 30～50 kg/ha。

(iii) 林齢16年、枝打時施肥：施肥法は林齢10年時と同じ。施肥量は林齢13年時と同じ。

(iv) 林齢22年、間伐後施肥：施肥法は林齢10年時と同じ。施肥要素量はN 100 kg/ha, P₂O₅ 50～70 kg/ha, K₂O 50～70 kg/ha。

(v) 林齢27年、間伐後施肥：N単肥を3～6月の頃全面ばらまき。施肥要素量はN 100 kg/ha。

(vi) 林齢32年、間伐後施肥：施肥法、施肥量とも林齢27年時と同じ。

(3) 施肥林分への期待条件

① 伐期：40年。文献18によると、スギ疎植短伐期の2等地の平均生長量最多の林齢は30～35年であり、3等地では35～40年である。しかし国有林は一般に奥地に存在することから、伐期はやゝ長目にする方が各地の森林に広く適用できると考え、40年とした。

② 伐期期待本数：750～800本/ha

③ 期待材積：約500m³/ha

4. 成木林肥培体系と予想生長

以上述べてきた内容を基にして、関東北部地位中のスギ林の肥培体系と予想生長を表示すると、表-3のとおりである。

また、樹高、胸高直径、林分材積の予想生長を、既存の収穫表¹⁶⁾あるいはスギ肥培体系林¹⁷⁾の生長と併記すると、図-4～6のとおりである。

表-3 肥培体系表(案)

林 齡	予想生長								保育作業	施肥要素量			
	樹高		胸高直径		形 状 本 数	立 木 生 長	林分材積			施肥要素量 kg/ha			
	総 生 長 長	連 年 生 長 長	総 生 長 長	連 年 生 長 長			総 生 長 長	連 年 生 長 長		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
10	m 4.6	m 72	cm 64	本/ha 2,850	m ³ /ha 35	m ³ /ha 12	枝打(1.5m高まで) ・施肥	60	20 ~40	20 ~40			
13							枝打(3m高まで) ・施肥	80	30 ~50	30 ~50			
15	9.2	0.9	11.2	0.8	8.2	2,300	111	1.5	2.3				
16							枝打(4.5m高まで) ・施肥	80	30 ~50	30 ~50			
20	12.7	0.7	14.8	0.7	8.6	1,600 (227) 180	21	2.8	間伐(700本, 4.7m ³)				
22							施肥	10.0	50 ~70	50 ~70			
25	15.5	0.6	19.0	0.8	8.2	1,150 (306) 248	25	3.3	間伐(450本, 5.8m ³)				
27							施肥	10.0 ~150					
30	18.2	0.5	23.2	0.8	7.8	850 (376) 310	25	3.6	間伐(300本, 6.6m ³)				
32							施肥	10.0 ~150					
35	20.0	0.4	25.3	0.5	7.8	825 400	1.8	4.3					
40	21.7	0.3	28.0	0.4	7.8	800 491	1.8	4.9					

備考: ○ 30年以降の本数の自然減を50本/haとした。

○ 材積はGHfによって。但し肥培によりfは大きく変化しないものとした。

○ 材積の上段()内の数字は間伐前の値である。

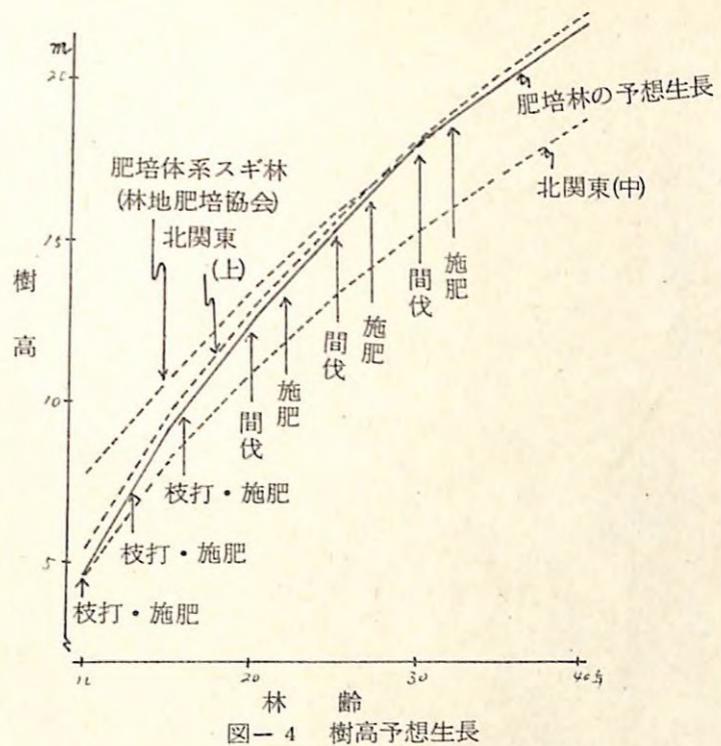


図-4 樹高予想生長

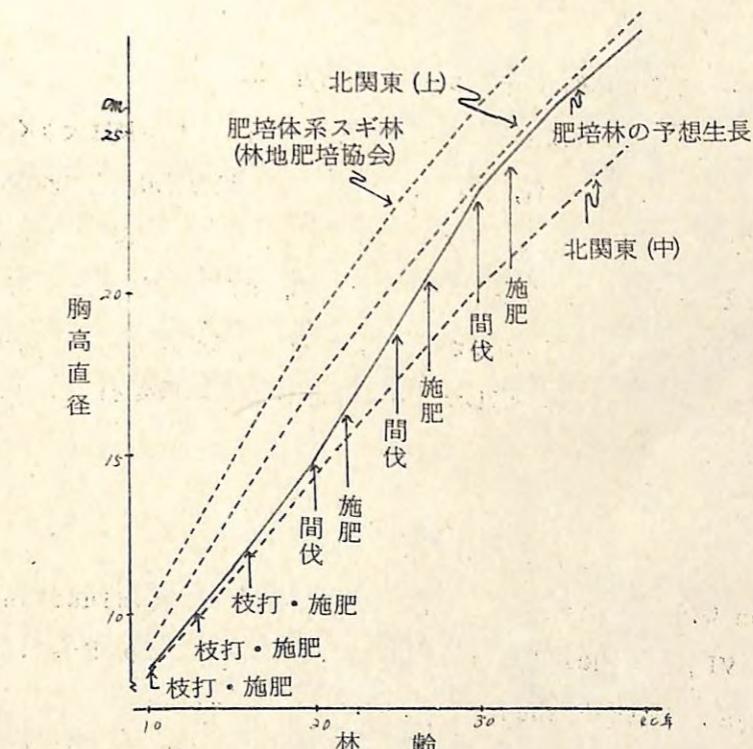
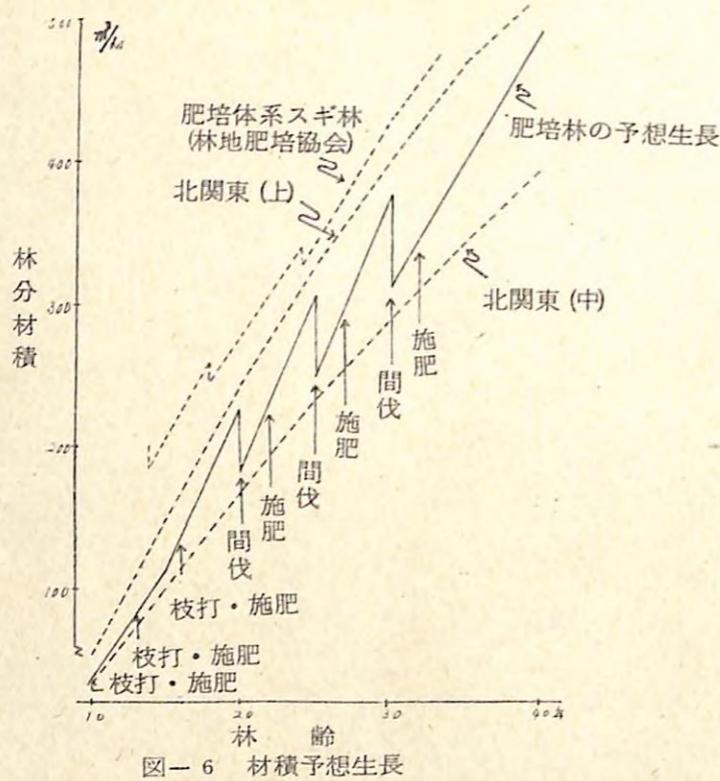


図-5 胸高直径予想生長



図一 6 材積予想生長

5. あとがき — 今後の肥培体系確立のための問題点 —

林地肥培の肥効をどの程度に見積るかによって、肥培林の予想生長は大きく変わってくる。肥効の大小は、立地条件、林分条件、施肥法、保育管理の精粗などに左右される。

そこで、この報告では、既往の研究成果と肥培体系^案作成のために選択した施業を勘案して肥培体系^案とそれに伴う予想生長を作成した。しかし、これはあくまで机上案であって、実際に予想したとおりの生長をしてくれるかどうか、その実現性を検討する必要がある。

今後各地で、それぞれの場に適応した、実現性の高い肥培体系^案を作り、現地での試験をする必要がある。

引用文献

- 1) Bengtson G.W : Fertilizers in use and under evaluation in silviculture, XVI, IUFRO invited paper, Dorschamp Res. Inst. Wageningen, Netherlands, pp. 32, 1977
- 2) 藤田桂治, 長谷川浩一, 橋口義男, 泉富保: 成木林の肥培効果, (II) 肥培効果と経済効果, 日林東北支講, 23, 72~74, 1972

- 3) 藤田桂治, 長谷川浩一: 成木林の肥培効果 (I) 材積生長率, 肥大生長および胸高形数について, 日林東北支講, 23, 75~77, 1972
- 4) 藤田桂治, 長谷川浩一: 成木林の肥培効果 (IV) スギ林における肥培効果のあらわれ方, 日林東北支講, 23, 78~81, 1972
- 5) 藤田桂治, 長谷川浩一: 成木林の肥培効果 (VI) スギ肥培林の立地条件と肥効, 84回日林講, 136~138, 1973
- 6) 藤田桂治, 塙隆男, 佐藤久男, 堀田庸, 荒井隆幸, 渡部扶三男: スギ成木林の肥培効果 (II) 施肥量試験について, 86回日林講, 97~98, 1975
- 7) 藤田桂治: 成木施肥, 林業改良普及叢書, 66, 182, 1977
- 8) 生原喜久雄, 新井雅夫, 川名明: 植栽後3年連続施肥したスギ18年生林分の生長, 農工大演報, 15, 59~65, 1979
- 9) 原田 洋: 壮齡林肥培(成木林肥培), 芝本, 塙監修, 林業技術者のための肥料ハンドブック p. 124~151, 1979
- 10) 原田 洋: 林地肥培研究の動向—戦後の日本における一, 森林と肥培, 100, 19~23, 1979
- 11) 星司朗, 小林吉三: 道南スギ中壮齡林の肥培効果, 北方林業, 18(5), 20~22, 1966
- 12) 伊藤守夫: 壮齡林肥培に関する研究, (1)スギ壮齡林の肥効について, 静岡林試報, 4, 1~6, 1972
- 13) 伊藤守夫: 林木一生の肥培, 静岡県林業会議所叢書 1, pp. 31, 1978
- 14) 川名明, 相場芳憲, 生原喜久雄: 壮齡林の肥培に関する研究, (VI) スギ壮齡林の肥効について, 農工大演報, 9, 11~24, 1971
- 15) 桑原武男, 塙隆男: 36年生ヒノキ林に対する航空施肥試験, 広島林試報, 12, 13~25, 1977
- 16) 三浦伊八郎: 森林家必携, p. 376, 林野弘済会, 1967
- 17) 日本林地肥培協会普及委員会: スギ林の肥培体系, 1976
- 18) 日本林業技術協会: 育林技術に関する体系化調査—1972~1974—, pp. 261, 1975
- 19) 林業試験場: 成木施肥法—林地肥培体系の確立—昭47国有林野特別会計技開報告書 173~204, 1978
- 20) 林野庁長官: 林地肥培について, 34林野指第7003号(昭和34年10月7日) 1959
- 21) 林野庁業務課: 新施業に関する技術体系検討基準, 技術開発資料, 49-5, 1974
- 22) 林野庁指導部長: 成木施肥の効果把握試験の結果について, 47-20(昭和47年4月27)

日), 1972

- 23) 札幌営林局: 成木施肥に関する調査報告書, pp. 67, 1973
- 24) 鈴木正: 優良材生産技術に関する研究, (1)天竜地方におけるスギ, ヒノキの施業指針と収支試算, 静岡林試報, 9, 25~40, 1978
- 25) 竹下純一郎, 中村基, 山口清: 林地肥培に関する研究, (8)枝打における施肥効果, 15回日林中部支講, 1~6, 1967
- 26) 竹下純一郎, 中川一, 中村基, 塙隆男: 6年間採穂した22年生林分に対する施肥効果, (II) 89回日林論, 147~148, 1978
- 27) 塙隆男, 藤田桂治, 磯和幸, 渡辺扶三男: スギ成木林の肥培効果, (1)9年間の材積増加量, 85回日林講, 107~109, 1974
- 28) 塙隆男, 藤田桂治, 佐藤久男, 堀田庸, 荒井隆幸, 渡部扶三男: スギ成木林の肥培効果, (IV) 林分密度と肥培効果について, 86回日林講, 99~100, 1975
- 29) 植田正幸, 伊藤忠夫, 川名明: 壮齡林肥培に関する研究, (IV) スギ壮齡林に対する生育相別施肥試験, 日林誌, 53(2) 42~50, 1971
- 30) Weetman G.F and S.B.Hill : General environmental and biological concerns in relation to forest fertilization, Forest Fertilization Symposium Proceedings, USDA. Forest Service General Technical Rep. NE-3, 19~35, 1973

林業薬剤の環境に及ぼす影響と合理的使用法

—殺そ剤—

林業薬剤の環境に及ぼす影響と合理的な使用法

一 殺そ剤 一

(1) 磷化亜鉛剤のホンドイタチへの二次的影響について

I 試験担当者

保護部鳥獣科 上田明一
 " " 鳥獣第1研究室 北原英治

II 試験目的

山林や草原においてノネズミの駆除を行なう場合、小麦やトウモロコシのような穀粉を主体とした毒団子や穀粒に薬剤をコーティングしたものを散布するのが普通である。そのため山野に生息するノネズミ以外の野生鳥獣類などに喫食される可能性や、また毒餌を喫食したノネズミを食する食肉鳥獣への二次的毒性についても考慮しなければならない。

ノネズミに対するイタチの天敵効果については周知の通りであり、ノネズミの被害防除の目的で多数放獣もされている。本報告は、現在林野において最も多く使用されている殺鼠剤である磷化亜鉛剤の野生鳥獣への二次的影響を調べる目的から、ホンドイタチを用いて行なった試験の結果である。

III 試験の経過と得られた成果

1. 材料および方法

本試験で供試したホンドイタチは宇都宮営林署日光有益獣増殖所より分譲を受けたものである。供試イタチ2頭は、どちらも雄の個体で、各々3年6カ月令と4年7カ月令であった。またノネズミは利根川河川敷（千葉県側）において採集したハタネズミである。試験を行なう場合は黒い暗幕によって覆いをしたガラス室（3m×3m）2室に各々1頭ずつのイタチを収容し、イタチ巣箱を各々に入れておいた。（図1）

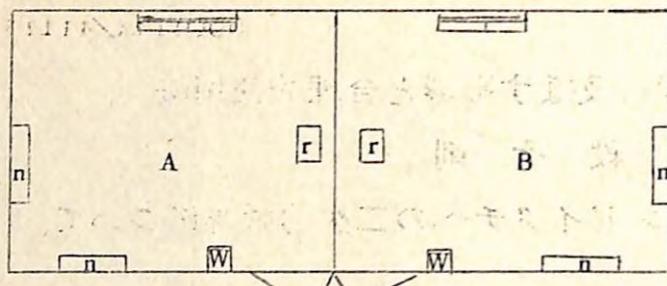


図 1. ガラス室概要 (縮尺 30 分の 1)

n: イタチ巣箱, w: 給水用桶, r: ネズミ巣箱, i: ネズミの逃避用丸太

ネズミへの薬剤の投与は、燐化亜鉛 LD 50 である 18.0 mg/kg の割合で、ハタネズミの体重を 30g 平均と想定して燐化亜鉛原体を秤量し、オブラーントによって包み、胃ゾンデで強制投与した。この強制投与はエチルエーテルの麻酔下にて行なわれた。麻酔は 15 分程度で解けるが、その後約 2 時間程で燐化亜鉛の影響と思われる行動が投与個体に見られる。その時点でイタチを放してあるガラス室にネズミを放した。イタチによるネズミの喫食や健康状態等の観察は、薬剤投与後のネズミの放獣時刻である 17 時から 20 時の間に行なった。

なお、一連の試験終了時ににおいてイタチを解剖し、その内臓器官の状態についても観察を行なった。

2. 試験の結果

一般にはイタチは天敵効果の高い動物と認められており、この事を裏付けるものとしてイタチの多殺習性がある。しかし田中 (1967) は、四国におけるスミスネズミでは、イタチの攻撃率からみて自然状態での捕食者としての役割を重要視するに足りないとしている。しかしながら、一方では鹿児島県トカラ列島における徳田 (1954) の例を初めとして平岩、内田、浜島 (1959), 内田 (1967, 1968) のようにその効果を高く評価する例も見られる。試験に入るに先立ち、イタチの多殺性について、ガラス室という特殊な条件下ではあるが調査を行なった。その結果、10頭放しても 20頭放してもすべてのネズミを噛み殺して巣箱に持ち帰る習性のあることを知った。

161 個体における試験結果を表 1 に示した。1 日目から 9 日目までは燐化亜鉛剤を強制投与しないネズミをイタチに与えたが、10 日目からは投与ネズミをイタチに与えた。いづれの場合もネズミを放して 30 分程でイタチはネズミを噛み殺して巣箱に持ち帰ることを認めたが、イタチがネズミを食することは観察できなかった。

表 1. 161 個体における試験結果

日 数	投 与 量	摂 食 量	糞 重 量	備 考
1 日目	144.0g	73.9g	10.8g	野ネズミ投与後 30 分程で噛み殺し、巣箱へ。行動等に異常なし。
2	101.6	59.0	11.3	"
3	135.6	65.1	8.7	"
4	107.1	28.6	12.4	"
5	120.2	44.7	12.7	"
6	129.3	109.8	19.0	"
7	139.4	71.6	22.1	"
8	122.9	108.1	20.0	"
9	137.5	74.4	23.2	"
10	◎109.7	88.2	20.5	"
11	◎114.2	21.8	20.5	"
12	◎99.8	76.5	14.5	"
13	◎108.0	67.1	16.8	"
14	◎93.0	62.6	21.3	"
15	◎113.6	60.4	18.4	"
16	◎120.7	54.7	16.1	"
17	◎103.5	51.9	18.8	"
18	◎84.2	38.7	14.3	"
19	◎86.0	69.5	16.4	"
20	◎97.7	86.8	14.1	"
21	◎88.9	85.9	15.0	"
22	◎88.4	80.2	15.9	"
23	◎103.4	103.0	15.9	"

◎—燐化亜鉛強制投与ネズミ

イタチが摂食したネズミ量についてみると、無毒ネズミでは 1 日当り平均 $70.58 \pm 2.638g$ 、毒を投与したネズミの場合は $67.66 \pm 21.56g$ で有意な差は見い出せなかった。しかし摂食量の幅は大きく、28.6g しか摂食しない日があったり、109.8g も摂食する日があ

ったりしたことが試験期間中見られた。

16.2個体における結果は表2に示している。16.1イタチと同様、このイタチにも7日目迄

表2. 16.2個体における試験結果

日	投与量	摂食量	糞重量	備考
1	1374g	838g	83g	行動その外異常なし
2	1285	293	100	"
3	1123	45.9	75	"
4	115.7	62.4	66	"
5	831	67.3	67	"
6	878	75.7	90	"
7	838	72.3	120	"
8	◎ 841	44.4	11.4	"
9	◎ 939	37.4	12.2	"
10	◎ 116.0	47.9	10.5	"
11	◎ 90.8	45.9	7.3	"
12	◎ 92.3	56.1	12.3	"
13	◎ 68.1	50.4	11.7	"
14	◎ 99.5	45.4	6.2	"
15	◎ 79.8	64.8	13.3	"
16	◎ 80.8	73.9	8.0	"
17	◎ 80.1	16.3	8.1	"

◎燐化亜鉛強制投与ネズミ、3日までは4頭ずつ、それ以降3頭ずつ。

16.1個体より小さいため摂食、糞量とも少ない。

BW - 304g HF L - 4.8mm

HBL - 26.0mm EL - 1.7mm

TL - 15.5mm

は燐化亜鉛剤投与ネズミを与えた。16.2個体の摂食量についてみると、無毒ネズミ投与の期間は1日平均6.2 3.9±1.8 8.2gを摂食していたが、毒剤投与ネズミでは1日4.8.

2.5±1.5, 5.1gに迄減じ、かなり有意な影響が見られた。糞重量については、この個体が巣箱内の敷きワラの上に脱糞する習性を有していることから、充分精度の高い数値は得ることが出来なかった。

燐化亜鉛剤を強制投与したネズミを連続14日間与えた後16.1イタチを解剖した。解剖所見は次のとおりである。

肝臓 色彩異常なし、腫瘍、出血、繊維症認められず。

肺臓 色彩その他全く異常なし。

腸 腸間膜動脈が若干肥大しているが異常とは思われない。これは麻酔によって屠殺する際に一般的に見られる事である。腸間膜に脂肪が見られる。

胃 胃内に未消化のネズミの毛、腸の一部、肝臓が見られるが、胃壁にも異常は認められない。

その他 白色の脂肪が下腹部の及下、腸間膜に多量見られる。

16.1個体の各部の測定値は

頭胴長 320mm

尾長 190mm

後足長 57mm (ツメを含まず)

耳長 19mm

体重 548g

であった。

3. 考察

本試験の初めに行なったイタチの多殺習性を確かめる試験においては、ガラス室という閉鎖環境下ではあるが、多殺習性が認められた。すなわち、放獣したノネズミを総べて噛み殺し、巣箱に持ち帰る行動を示した。又、放獣後ノネズミを噛み殺す所要時間は30分程度で巣箱に持ち去った。

次いで薬剤投与したネズミをイタチに与えたが、その摂食量は試験個体16.1では顕著な差異は見い出せず、少なくとも摂食量への影響はないものと思われた。一方、試験個体、16.2は差異が見られた。すなわち一日の平均摂食量が殺鼠剤無投与ネズミと投与ネズミの場合約1.5g違っていた。これは明らかな影響と思われる。しかし諸々の行動や健康状態には変化が認められなかった。

ネズミをガラス室に放飼した際のイタチの行動も試験個体の健康状態の判断資料になると考へ観察を行なったが、異常は認められなかった。このような行動は試験開始時の無投与ネズミを与えた時にも、又殺鼠剤投与ネズミも重複して与えた試験終了時にも見られ、異常は認められなかった。

最後に解剖結果についてであるが、エーテルにて屠殺を行なったことから、腸間膜動脈などに若干の血管肥大が見られる以外は異常を認める事が出来なかった。

本試験のように飼育状況下で、殺鼠剤を摂食して死亡したネズミをイタチに与えた報告は散見されるが、これらの報告ではネズミの実際の殺鼠剤喫食量は不明である。また樋口(1976)は、殺鼠剤を喫食して死亡したネズミをイタチは捕食しないとし、経口的に殺鼠剤をネズミに摂食させ、その死亡以前のネズミをイタチに与えて、その影響を調べている。しかし、毎日一頭ずつしか与えておらず、不自然な試験設定のように思われる。すなわち日光有益獣増殖所では飼育ニホンイタチの成獣1頭あたりの飼料(鶏頭5.5%, 鯨肉1.6%, ニンジン7%, キャベツ7%, 麦粉7%)として120~140g, ♀60~80gが供与されている。また本試験においてもノネズミ平均7.0g(約3頭)をイタチは食しており、毎日1頭供与は少ないようと思われる。

今回の試験は、殺鼠剤摂食ネズミを連続的にイタチに与えるという自然状態では起こり得ない条件ではあるが、殺鼠剤投与量を一定のLD₅₀にして行なわれた。多くの研究者が指摘しているように、毒餌散布後殺鼠剤を喫食したネズミはそれ程長い期間生存する可能性は少ない。したがってこれら燐化亜鉛殺鼠剤によってイタチが二次的な影響を受けることは自然環境ではほとんど起こらないものと考えられる。

4. 要 約

- 1) 飼育条件下ではあるが、放獣ネズミを総べて噛み殺して、巣箱に持ち帰るという多殺習性をイタチに認めた。
- 2) イタチの1日当たりの摂食量は、ノネズミのみを食した場合平均6.3gであった。
- 3) 経口的に燐化亜鉛をLD₅₀値投与したネズミをイタチに与えたが、連続10日供与後にもイタチに影響が現われなかった。

林業薬剤の環境に及ぼす影響と

合理的使用法 一般そ剤一

(2) 殺鼠剤散布量の適正化試験

I 試験担当者

保護部鳥獣科鳥獣第1研究室 北原英治

〃鳥獣科 上田明一

II 試験目的

現在我が国の林野における野ネズミの駆除には、その低廉性と急性毒性を有しつつ多くの種類のネズミ類に効果を示すことから、燐化亜鉛殺鼠剤が使用されている。この殺鼠剤は分解が早く、イタチ、テンなどの食肉獣がこの種の殺鼠剤を喫食したネズミを捕食することで起こる二次的中毒は発生しにくいとされている。しかし、その可能性は皆無ではなく、殺鼠剤の使用に際しては、他の野生鳥獣への影響を充分考慮しなければならない。

より経済的に、しかも対象とするネズミ類以外の野生鳥獣を含む環境への影響を少なくして、ネズミ類の駆除効果をあげなければならない。筆者らの知る限り、この種の報告は比較的少ないようと思えるが、殺鼠剤の散布量はネズミ類の生息数に見合った量を散布することが上述のことから望ましい。

今回実施した本試験は、記号放逐法によってネズミの生息数を把握し、その数に応じた毒餌散布量を検討し、その基準化を計ることを目的とした。

III 試験の経過と得られた成果

1. 試験地の概要および方法

本試験は千葉県富津市郊外にある鬼泪山西斜面において、昭和54年10月・11月に行なったものである。この試験地は砂利採掘後に残った粘土質土壤を改良する目的から、ナガハグサ、クローバなどの牧草を植えており、本試験において対象種としたハタネズミにとっては好適の生息環境となっていた。

試験の方法は、50m×80mの取形の試験区を3カ所作り、10mの間隔にて各々の区

に40個の生捕りカゴワナを設置した。毒餌の散布に先立ち、各区におけるネズミの生息個体数を記号放逐法によって把握し、その後毒餌を配置し、7日間の放置後毒餌の曳引量を調査のうえ再びワナ掛けを行ない捕獲される記号個体の有無にて駆除効果の検討を行なった。

毒餌はワナの設置場所（各区画、40カ所）に、数量を各区画毎に一定（5g, 10g, 20g配置区）にして配置し、曳引量を調べた。本試験において使用した殺鼠剤は燐化亜鉛1%剤であった。

2. 試験の結果および考察

5g配置区で行なった毒餌配置前後のワナ掛けの結果を表1に示した。毒餌配置前の未記号個体の捕獲数はワナ掛け期間の後半において減少し、6日目においては当日の捕獲個体すべてが記号個体であった。配置後のワナ掛けにおいては未記号個体も4頭捕獲されたが、記号個体が11頭も捕獲されている。このことは駆除効果が充分でなかったことを示しており、

表1 5g配置区における調査結果

	捕獲数		計	前日までの記号個体の累計	再捕率
	未記号	記号			
10月25日	4	0	4	0	0%
26	5	2	7	4	28.6
27	4	3	7	9	42.9
28	5	7	12	13	58.3
29	3	8	11	18	72.7
30	0	10	10	21	100.0
毒餌配置					
11月6日	2	5	7	21	71.4
7	1	4	5	16	80.0
8	1	2	3	12	66.7

駆除率47.6%であった。この区画での毒餌の曳引状況は図1に示されている。7日間という短い毒餌配置期間としては、曳引状況は良好であり、0.4ha当たり200.0g配置に対し107.5gが消失しており、曳引率は53.7%であった。一般にネズミ類は餌をより安全な場所に貯える習性を持っており、曳引（消失）量はそのまま喫食量とは考えられないが、この

○	○	○	○	○
1.4	2.0	0.8	1.3	4.6
○	○	○	○	○
0.9	1.4	0.7	1.9	1.9
○	○	○	○	○
2.1	4.8	1.7	1.6	3.6
○	○	○	○	○
2.2	2.0	4.3	2.0	2.3
○	○	○	○	○
1.9	5.0	2.8	2.2	3.5
○	○	○	○	○
3.9	2.5	4.7	4.7	5.0
○	○	○	○	○
2.1	2.1	2.3	2.3	4.7
○	○	○	○	○
1.6	2.7	2.5	3.5	4.0

図-1 5gの配置区における毒餌曳引状況
107.5g（曳引量）
200.0g（配置量）（率 53.7%）

表2 10g配置区における調査結果

	捕獲数		計	前日までの記号個体の累計	再捕率
	未記号	記号			
10月25日	7	0	7	0	0%
26	4	2	6	7	33.3
27	3	8	11	11	72.7
28	4	6	10	14	60.0
29	6	8	14	18	57.1
30	2	10	12	24	83.3
毒餌配置					
11月6日	1	2	3	26	66.7
7	0	2	2	24	100.0
8	1	2	3	22	66.7

表3 20♀配置区における調査結果

	捕獲数		計	前日までの記号個体の累計	再捕率
	未記号	記号			
10月25日	10	0	10	0	0%
6	9	6	15	10	40.0
7	5	12	17	19	70.6
8	2	12	14	24	85.7
9	0	14	14	26	100.0
0	4	10	14	26	71.4
毒餌配置					
11月6日	0	8	8	30	100.0
7	2	1	3	27	33.3
8	1	0	1	26	0

図-2 10♀配置区における毒餌曳引状況

144.7♀(曳引量)

400.0♀(配置量)(曳引率 36.2%)

区画の曳引率はらみて生息個体数に対する毒餌配置量は過少であったと思われる。

つぎに10♀配置区におけるワナ掛けの結果を表2に、また毒餌の曳引状況を図2に示しておいた。毒餌配置前のワナ掛けにより26頭の個体に記号が付された。6日目のワナ掛け最終日における全捕獲数に対する記号個体の割合は80%に達しており、駆除の効果を検討するに充分な個体に記号が付されたと思われる。この10♀配置区における駆除率は76.0%と計算された。毒餌の曳引の状況をみると、0.4ha当たり400.0♀の毒餌配置に対し、144.7♀の毒餌が曳引されており、曳引率は32.6%であった。また各地点での曳引量はほとんどが5♀未満であったが、40地点中7点においては5から10♀の間の曳引量であった。

最後に20♀配置区におけるワナ掛けの結果を表3に、そして毒餌の曳引状況を図3に示した。この区画においては毒餌配置前のワナ掛けで30頭の個体に記号を付した。捕獲された未記号個体は5日目まで減少し、5日目には捕獲された個体すべてが記号個体であったが6日目に未記号個体が4頭捕獲され、当日の全捕獲数に対する記号個体の割合は70%まで

○ 4.1	○ 4.8	○ 3.3	○ 5.7	○ 6.2
○ 5.6	○ 3.9	○ 9.4	○ 9.2	○ 4.8
○ 4.5	○ 4.3	○ 4.5	○ 4.7	○ 4.5
○ 4.5	○ 5.1	○ 6.0	○ 6.0	○ 7.2
○ 5.2	○ 8.1	○ 6.5	○ 7.5	○ 6.7
○ 7.7	○ 5.3	○ 4.8	○ 7.9	○ 5.8
○ 6.3	○ 4.8	○ 5.4	○ 13.1	○ 6.2
○ 6.2	○ 4.3	○ 4.3	○ 15.5	○ 4.2

図-3 20♀配置区における毒餌曳引状況

244.1♀(曳引量)

800.0♀(配置量)(曳引率 30.5%)

低下した。しかし毒餌配置前のワナ掛け成績としては、駆除効果の検討に充分な個体が捕獲されたと思われる。毒餌配置後の3日間のワナ掛けにおいて記号個体が4頭捕獲されたが、未記号個体も3頭捕獲されている。この区画での駆除率は86.7%であった。また毒餌の曳引状況は、他の区画に比して悪く、曳引率で30.5%であった。また区画内の各地点で曳引量もそのほとんどが10%未満であり、明らかに配置量が過剰であったことが推察された。

3つの区画における記号放逐法による結果から、杉山式の簡便図解法を用いて回帰直線式を算出して、各試験区毎の生息個体数の推定を行なってみると、5%配置区21.3頭/0.4ha, 10%配置区22.5頭/0.4ha, 20%配置区29.9頭/0.4haとなる。駆除率と毒餌の曳引率は前記の通りであるが、各区画のネズミの生息個体数はほぼ同じと見なしてもよい程である故、駆除率の比較を行なってみると20%配置区のそれが最も高い率を示し、5%配置区のものが最低値を示した。0.4haに21頭のネズミが生息している場合、その区画に200gの毒餌散布では充分な駆除効果が認められない。同じ面積に400gの毒餌を散布した場合と800gの散布を行なった場合にはほぼ同じ程度(76.0%-400g区, 86.7%-800g区)の駆除効果をみることができた。

つぎに毒餌の曳引率についての比較を行なってみると、5%配置区のそれは53.7%と極めて高率であり他の区画における数値(36.2%-10%区, 30.2%-20%区)との差異が顕著である。曳引された毒餌の量そのものは20%区のものが最多であったが、そのほとんどが5%と10%の間にあった。5%配置区のそれは理想的であったが、配置期間が短いことなどから前述の通り過少配置であったと思われる。

以上の駆除率と毒餌の曳引率を併せ考察すると、0.4ha当たり25頭前後(63頭/ha)のハタネズミに対しては400gの1%磷化亜鉛剤が最適であると言える。

崩壊危険地帯における 保全的森林施業法

崩壊危険地帯における保全的森林施業法

I 試験担当者

防災部治山科治山第1研究室	北村嘉一
防災部治山科治山第1研究室	秋谷孝一
防災部(現東北支場経営部防災研究室)	梁瀬秀雄

II 試験目的

崩壊発生が予想される林地についてこれを予防する施業法を確立するため、崩壊危険度の高い地帯について、崩壊防止に好ましい目標林相を想定し、この目標林相を維持できる適切な施業方法の基礎資料を得る。

III 試験の経過と得られた成果

1. 試験方法

既往の崩壊多発地を調査し地質、地形から判定される崩壊危険度と、林相から判定される森林の崩壊防止機能を推定し、崩壊防止に好ましい林相を林齡、林分蓄積あるいは抜根抵抗力から推定した林分の強さなどを指標として目標林相を想定する。この目標林相を常に維持できるような施業を主として伐採に関連する伐期齢、伐採率、回帰年と伐区の規模、形態、配置などを崩壊危険度に応じて検討する。また崩壊防止に有効な保護樹帯の設置について、位置、林帯幅、管理方法について検討する。

2. 試験の経過

本試験は昭和52年度～54年度の3ヶ年を調査期間として実施したもので、1)～3)の事項について調査、試験を行なった。

1) 国有林における施業の実態

国有林における施業は地域施業計画のなかで保全的にも厳しい規制のもとで実施されている。しかし、毎年不連続線あるいは台風による豪雨で崩壊が発生し、林地や下流に多くの被害を生ずる地域も少なくない。これらの地域のなかから最近10ヶ年前後の間に崩壊が多発

した事業区を対象に施業の実態を調査した。調査事業区は各営林局のなかから3~5営林署を選び、全国56事業区について、地種の区分、細別に林相、伐採に関する施業方法、および地質、荒廃地の概況等を調査表にまとめた。調査の対象とした営林局と56営林署名は表1のとおりである。

昭和47年、国有林における“新たな森林施業”が実施されてからは伐区面積など施業上の規制が厳しくなり、第1種林地の皆伐は5ha以下、第2種林地は5~20haの範囲で実施され、伐区も分散方式、あるいは保護樹帯の設置などが実施されている。これら施業方法は営林局が地域を代表するものとして、各営林局の概要を示すと表2のとおりである。また全体の地種別の施業は表3のとおりで、第1種林地では大部分に保護樹帯が設置されているが、第2種林地では保残帯方式で施業されるものが多いようである。

表1 調査事業区

営林局	営林署
北海道	上芦別・静内・白老
旭川(支)	名寄・朝日・金山・達布
北見(支)	白滝・留辺蘂
帯広(支)	帯広・大樹・白糠
函館(支)	室蘭・函館・黒松内
青森	蟹田・碇ヶ関・三本木・川尻・白石
秋田	寒河江・新庄・和田・二ツ井・花輪
前橋	郡山・富岡・坂下・高崎・村上
東京	千葉・平塚・気田・沼津
長野	飯田・蘇原・妻籠・坂下
大坂	中津川・付知・久々野・古川・岡崎
高知	尾鷲・日原・福山・龜山
熊本	徳島・高松・大柄・野根 直方・長崎・矢部・竹田・鹿児島

表2 地種別施業の概要(営林局別)

局	第1種林地			第2種林地			第3種林地		
	皆伐	伐方	伐法	皆伐	伐方	伐法	皆伐	伐方	伐法
面積(ha)	伐採率(%)	回帰年(年)	面積(ha)	伐採率(%)	回帰年(年)	面積(ha)	伐採率(%)	回帰年(年)	面積(ha)
旭川	5	保護樹帯	15~20	20	群状	(1種と同じ)	(1種と同じ)	(1種と同じ)	(1種と同じ)
北見	5	保残帯	10~30	20	群状	(“”)	(“”)	(“”)	(“”)
帯広	(10分散、保残木、保護木)	20~30	15~20						
札幌	5	保護樹帯(60m)	20~30	群状、单木	5~10	分散、保護樹帯	25	15	
函館	3~10	分散、保護樹帯	20~30		5~10	分散、保護樹帯	30		
森田	2~10	保護樹帯	10~30		10~20	保護樹帯、保残帯	10~30	適伐	
青森	5~10	保護樹帯、保残帯	10~30	群状、单木	20	保護樹帯	30		
前橋	5	保護樹帯	10~30	群状、单木	30	分散	5		
東京	1~5	分散	30	群状					
長野	5	保護樹帯、保全帯分散(1/2)	10~30		5~20	保護樹帯、保残帯			
名古屋	1~20	保護樹帯、保残帯	30		20	分散、保残帯			
大阪	5	分散、保護樹帯	30	適時单木	10~20	分散、保護樹帯	30	適時单木	
高知	0.5~20	分散、保護樹帯	30	適時单木	20	分散、保護樹帯	30	適時单木	
熊本	1~10	分散、保護樹帯	10~45	单木	5~20	分散、保護樹帯			

表 3 地種別の施業方法(全体)

地種	伐採方法	伐区の面積	施業の方法
第1種林地	皆伐	5ha以下(1~10ha)	分散, 保護樹帯
	択伐		群状, 単木, 10~30年回帰
第2種林地	皆伐	5~20ha	分散, 保残帶
	択伐		第1種とほぼ同じ, 30年回帰

全国有林と調査事業
区の地種別面積割合は
表4のとおりで、調査
事業区はとくに第1種
林地の割合が全国有林
に比べて少なく、反対
に第2種林地の割合が
多くなっている。また
地種別面積割合は営林
局により大きく差異があり、第1種林地の占める割合がとくに少ない局は、北海道(北見支
局): 約25%, 全(帯広支局), 全(旭川支局), 高知局: 約40~42%等で、これに
反して高い局は、東京局, 名古屋局: 約76%, 大阪局: 約83%, 長野局: 約86%など
であった。これら第1種林地の割合がとくに高い局は、水源かん養保安林, 自然公園などの
面積が多いことによることが認められた。

また、最近とくに関心の高い森林の公益的利用についてみると、国有林に占める面積は保
安林: 46.1%, 自然公園: 26.7%, 鳥獣保護区: 10.1%, レクリエーションの森:
7.7%, 等を主として合計: 約93%となる。これら公益的利用面積は目的別に指定された
地域の面積であるため、相互に重複するので合計ではこのように大きな値となるが、保安林
だけでも46.1%, 第1種林地が57%に達していることから国有林においては、施業規制
を受ける面積が如何に大きいかが想像できる。

このように広い規制を受けながらも、豪雨により崩壊が発生し、被害を生じているのが現

状である。国有林では高い計画性を施業面に充分生かされる可能性があるので、崩壊危険地
帯の判定と林相の変化としての施業のあり方を検討することにより崩壊発生を抑止し、被害
を減少できることが予想できる。本試験では長期的展望のもとで保全的施業の基礎資料が得
られるよう検討した。

2) 試験地調査

表1に掲げた56事業区から地質的に異なる地域を選び、地形から崩壊危険度を判定し、
一方林相の差異による森林の崩壊防止機能を予想した。

表 4 地種別の面積割合

区分	地種	第1種林地	第2種林地	第3種林地
全国有林		57.2%	40.6%	2.2%
調査事業区		53.8%	45.0%	1.2%
事業区	皆伐	30%	60%	98%
の作業	択伐	50	40	2
種割合	禁伐	20	-	-

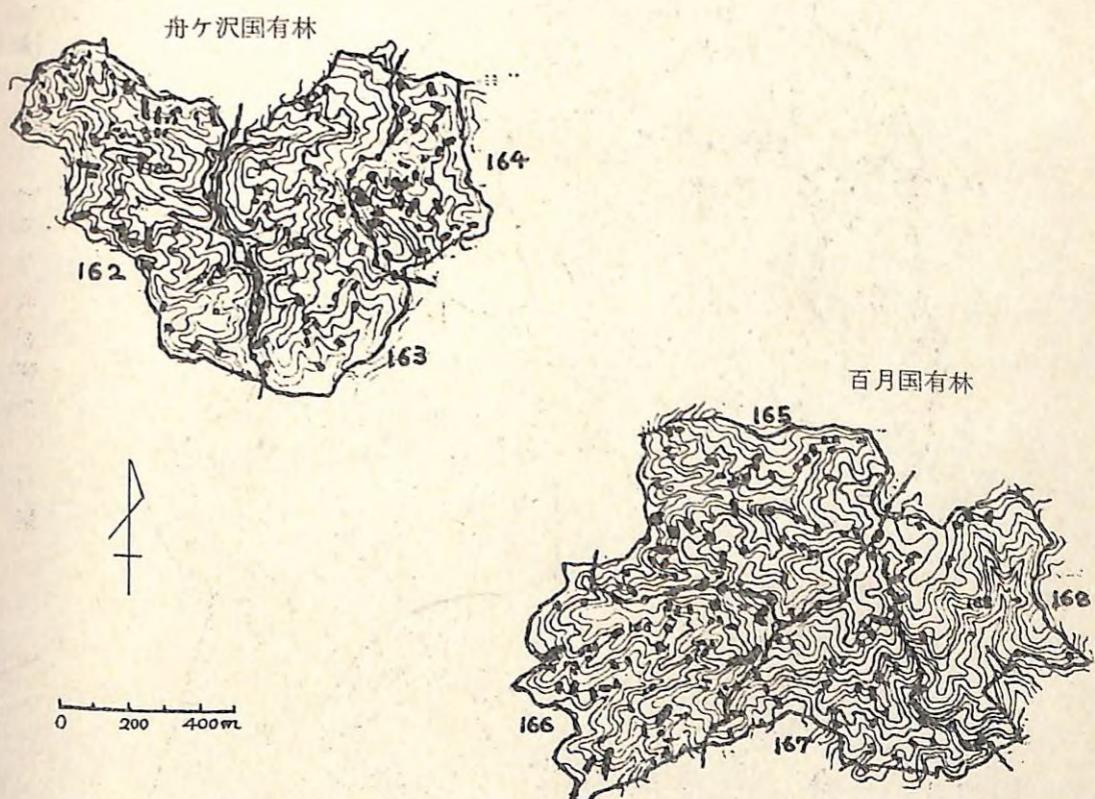


図1 崩壊地分布図(岡崎事業区)

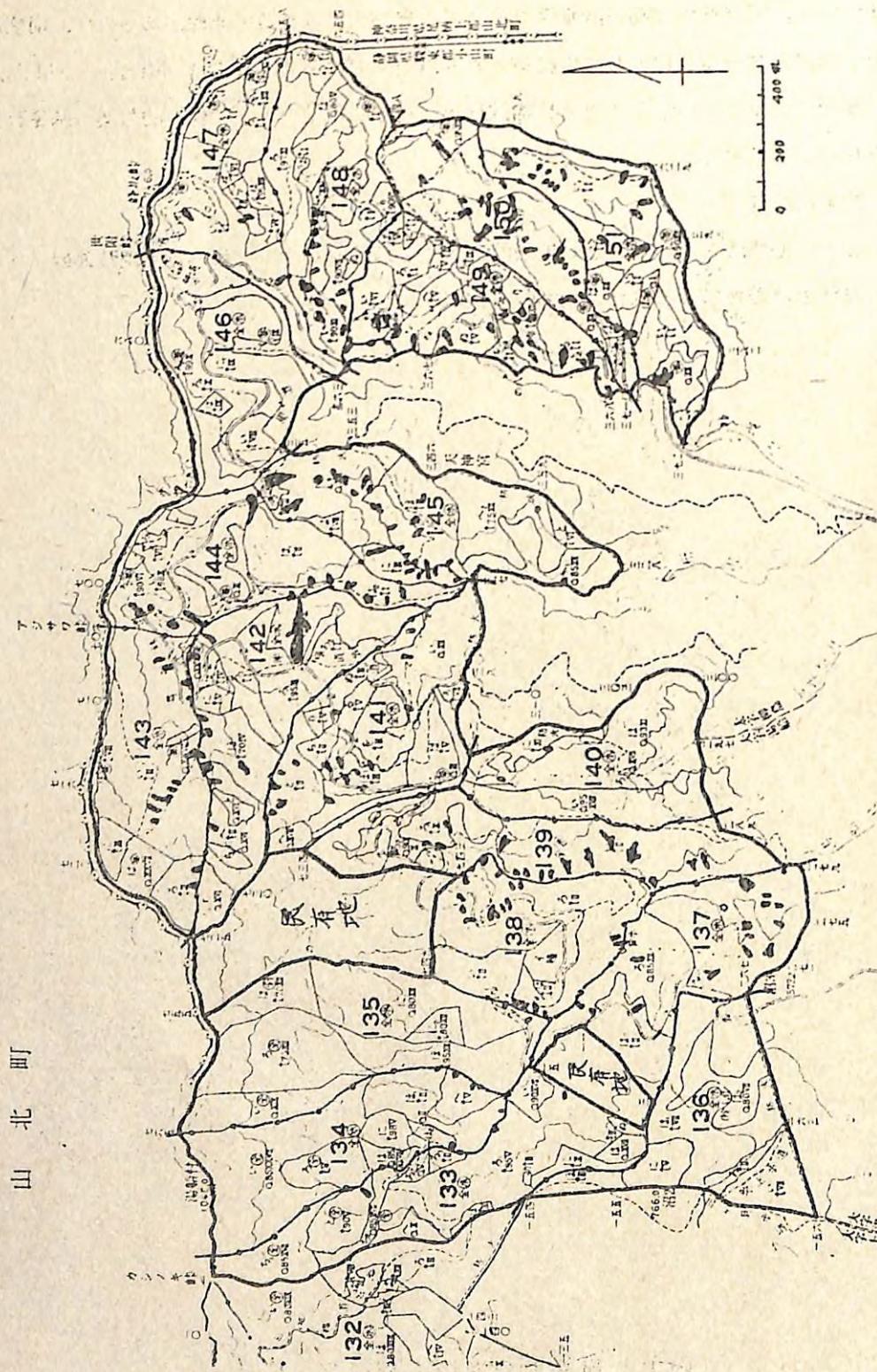


図2 崩壊地分布図(沼津事業区)

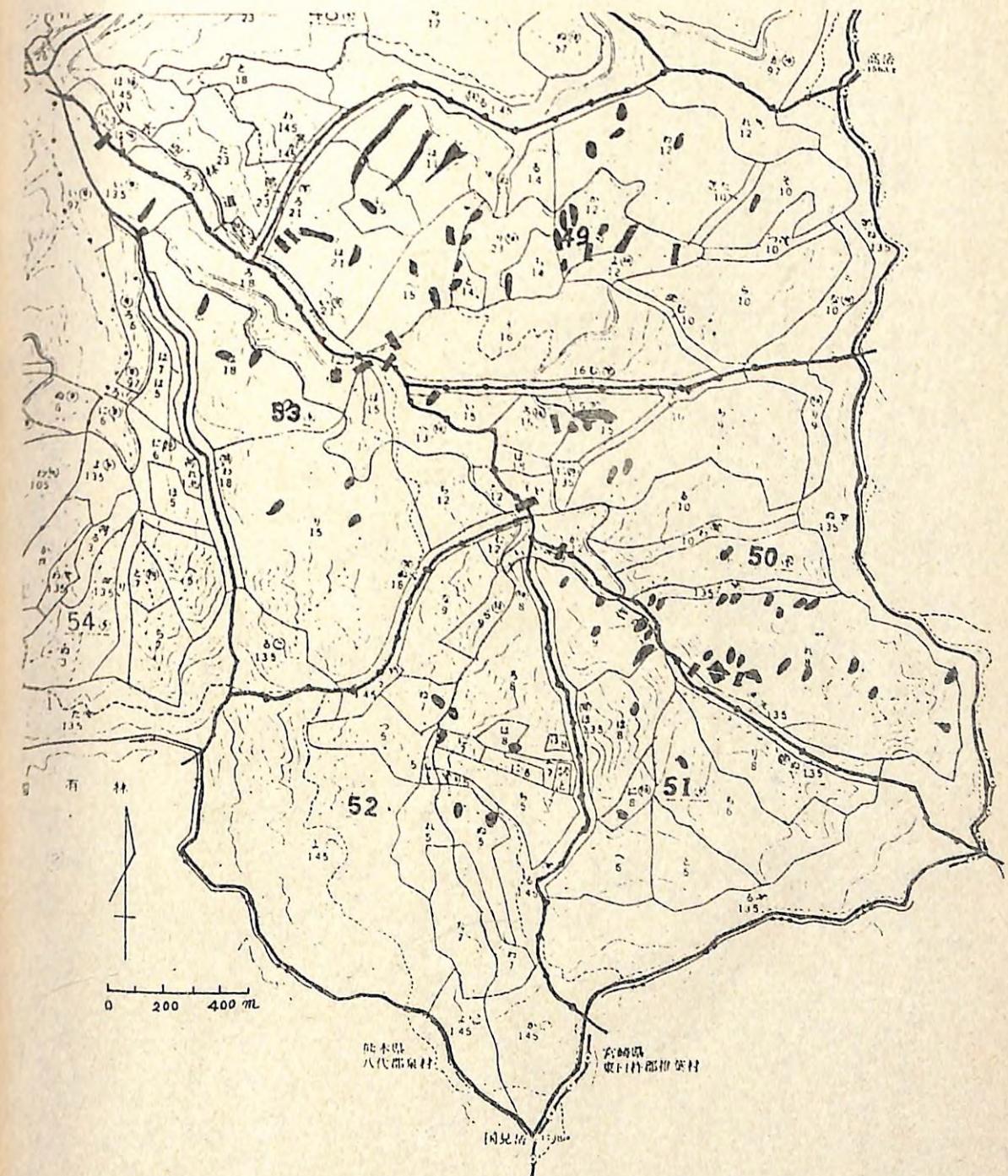


図3 崩壊地分布図(矢部事業区)

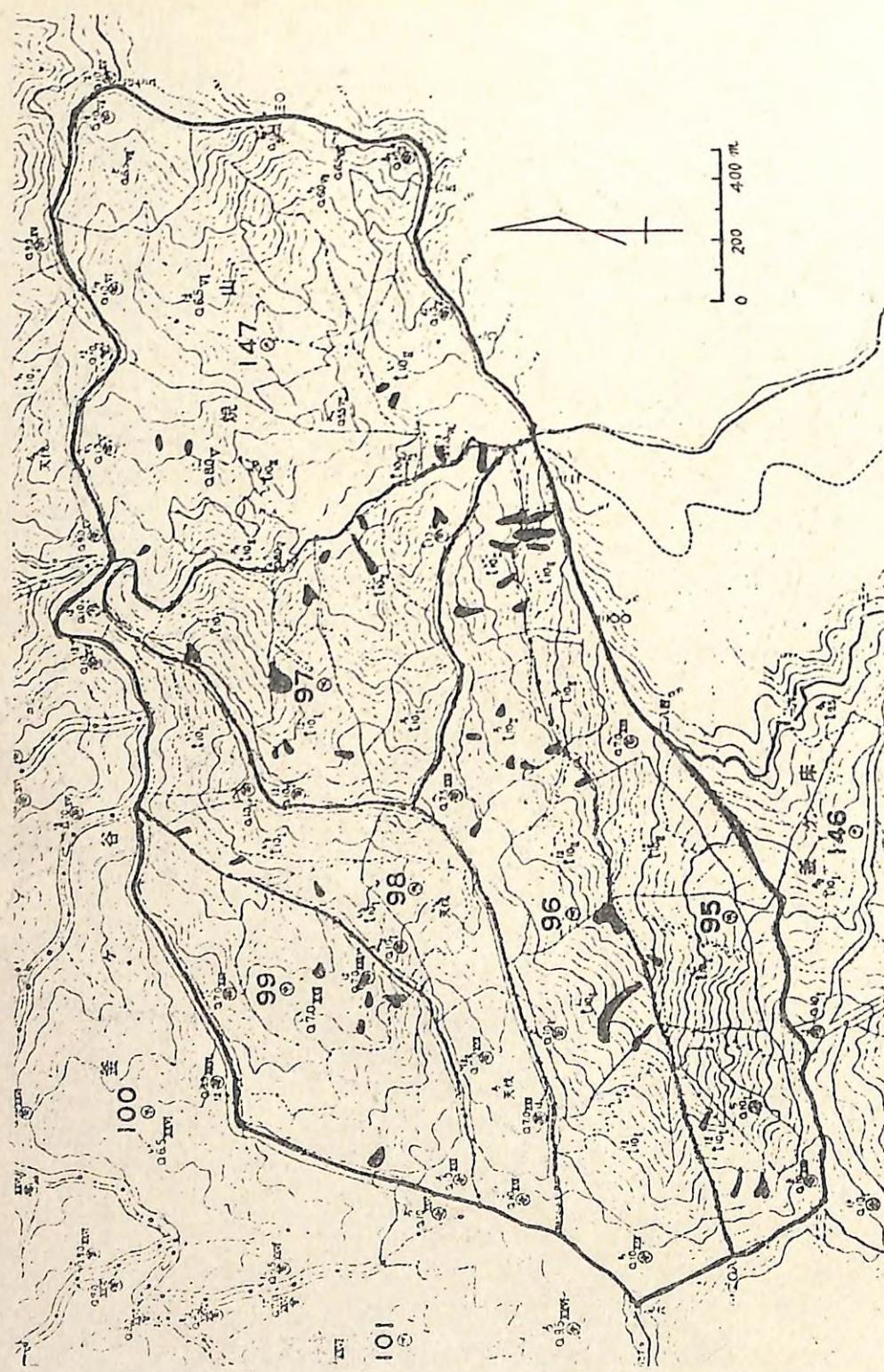


図4 崩壊地分布図(徳島事業区)

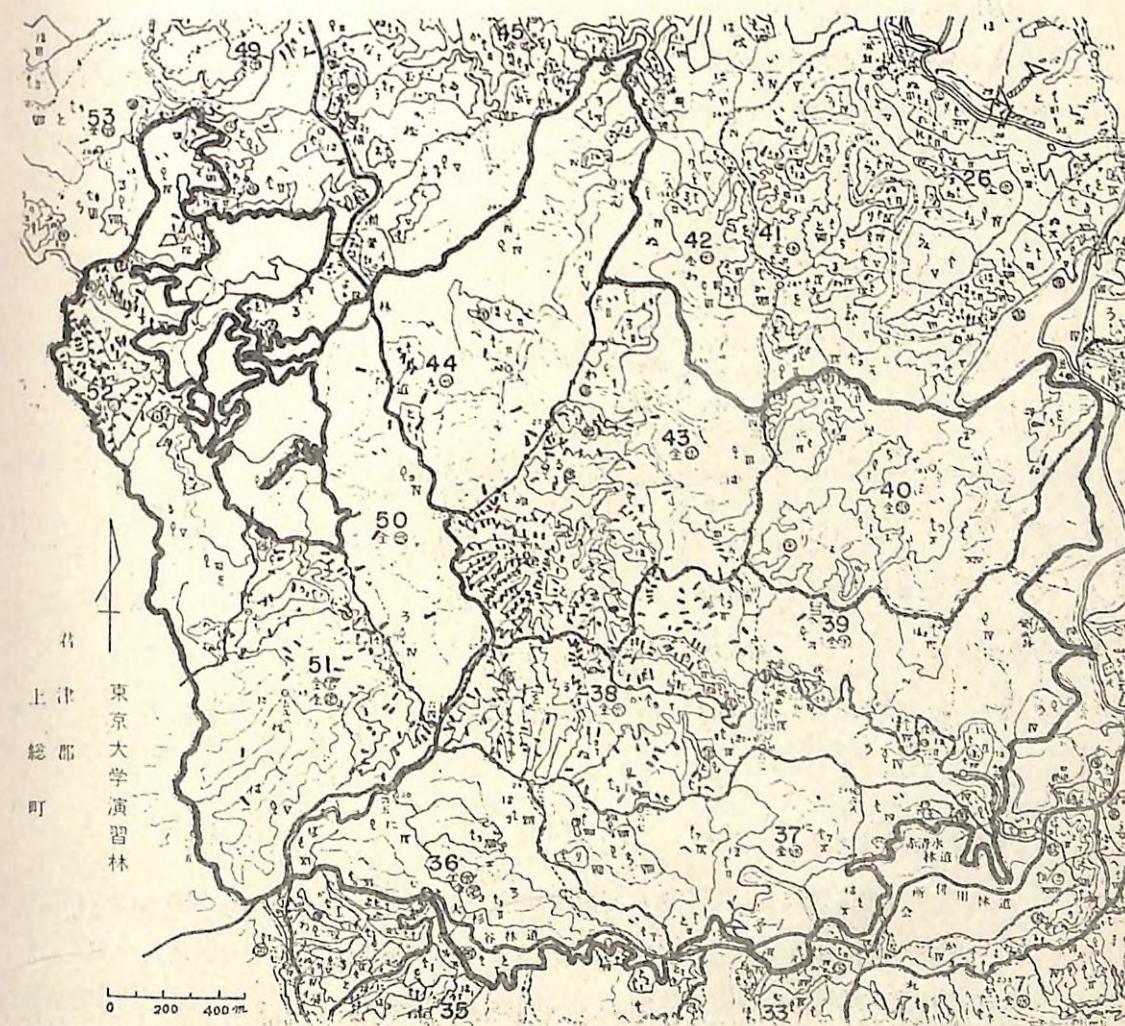


図5 崩壊地分布図(千葉事業区)

試験地は古生層地帯として熊本営林局矢部営林署管内大臣地区(図3:162~168林班),三紀層地帯は東京営林局沼津営林署管内小山地区(図2:133~151林班),風化花崗岩地帯は名古屋営林局岡崎営林署管内舟ヶ沢・百月国有林(図1:49~53林班)を選定した。試験地の概要は表5のとおりである。なお表5に示した事業区は上記3事業区の他,補足的に中生層地帯として高知営林局徳島営林署管内釜ヶ谷地区(図4),三紀層地帯は沼津営林署管内が火山碎屑岩を主としていたので,水成碎屑岩の砂岩,泥岩地帯である千葉営林署管内(図5)の調査地に關しても記載したが,この両地区は林相と崩壊のみについて検討した。

表5 試験地の概要

事業区	林班	崩壊			地質・基岩
		面積 (ha)	個所 (個)	面積 (ha)	
岡崎	162 ~ 168	192.8	293	6.68	白亜紀後期 (領家帯の新規花崗岩) 角内石黒雲母花崗岩 (粗粒)
沼津	133 ~ 151	613.1	223	8.38	第三紀火山碎屑岩 磯岩,砂岩,火山灰ローム
矢部	49 ~ 53	784.48	73	3.50	古生層 砂岩,粘板岩
徳島	95~99, 147	559.85	49	3.71	中生層 砂岩,泥岩
千葉	36~40, 50~52	724.06	439	6.75	第三紀水成碎屑岩 砂岩,凝灰砂岩,泥岩

3) 施業指標林調査

最近各営林局で実施されつつある施業指標林のうち大阪営林局津山営林署管内の指標林について調査した。大阪営林局は昭和48年度から“新たな森林施業”を具体化するため,これまでに開発された個別技術を総合化し,新施業技術の普及をはかるとともに,社会的な理解を深めるため,津山営林署管内泉山国有林に施業指標林を設定し,施業に関する条件別の比較検討がなされている。ここで得られつつある結果を参考に,崩壊防止に有効で,施業効率の良い施業法を検討した。

その他東京営林局千頭・気田営林署,大阪営林局福山・大津・龜山営林署および長野営林局戸原・坂下営林署等で林相ならびに地質,地形と崩壊発生の関係について現地調査を行なった。

3. 試験の結果

1) 試験地調査

試験地の概要は表5に示したとおりで崩壊発生をもたらした降雨は表6のとおりである。

表6 試験地の雨量

事業区	連続雨量		最大日雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm)	観測地
	雨量 (mm)	期間			
岡崎	428	昭和47年7/8~7/13	284	77	小原村
沼津	363	" 7/11~7/12	264	89	小山町
矢部	353	" 7/2~7/6	145	-	新日本電素発電取水所
徳島	872	昭和49年7/4~7/8	782	75	江田川
千葉(大多喜)	346	昭和45年7/1~7/2	320	116	大多喜

表6でみられるように,連続雨量,最大日雨量ともに徳島事業区がとくに多かったが,その他の事業区間に甚しい差異はなかった。田中(参考文献 No.10)は山くずれを起こしやすい降水条件としてつきの諸項目の大半を満たすことであるとしている。

- ① 最大24時間雨量が200mmを上まわること,上まわる程度が大きいほど山くずれが激増。
- ② 5時間雨量が150mmを上まわること,上まわる程度が大きいほど山くずれが激増。
- ③ 3時間雨量が120mmを上まわること,上まわる程度が大きいほど山くずれが激増。
- ④ 1時間雨量が50mmを上まわること,ただしこれを上まわる程度が大きくて雷雨性豪雨のように1時間余りで終息する雨は山くずれに寄与しない。
- ⑤ 先行降雨が幾日にも亘り降り,先行表土含水量が大きいこと。
- ⑥ 略

表6によると最大日雨量,最大時間雨量ともに矢部事業区を除いて上記の条件を満たしている。矢部事業区については,時間雨量の資料がなく,最大日雨量もやや少なかったが,先行降雨は多く崩壊が発生しやすい降水条件であったことは認められる。

各事業区における資料は各営林局の調査にかかる崩壊地調査表および森林調査簿から求めた。崩壊位置および傾斜の測定は事業区基本図(縮尺1/5000)および治山全体調査計画図(縮尺1/5000)を用いた。

地形は通常傾斜、起伏量、谷密度等いくつかの因子がとり上げられるが、ここでは傾斜で代表させた。傾斜の測定は林班を単位として、林班内の等高線間の平均傾斜を等高線延長法により次式から求めた。崩壊は等高線間に発生したものとし、崩壊個所は発生位置を明らかにした。

$$S = D \div \frac{A}{\sum \ell} = D \frac{\sum \ell}{A}$$

S : 平均傾斜

D : 等高線の高度差

ℓ : 等高線延長

A : 等高線間の面積

に判定できないので、崩壊の上部が含まれる等高線間と規定した。また、崩壊面積は、崩壊が等高線をまたがる場合でも個所で規定した等高線間の崩壊として取扱った。

林相は各事業区の森林調査簿により林小班の ha 当りの林分材積を代表値とした。崩壊は林小班内に発生したものとし、崩壊個所は崩壊の上部が含まれる林小班とし、崩壊面積は他の林小班にまたがる場合も発生個所と規定した林小班の崩壊として取扱った。森林調査簿では林齢が 10 年以下の場合は林分材積が未記載されていないので、前生樹の伐根の影響と植栽木の林齢から崩壊に対する林分の抵抗力を推定し、これに相当する林分材積として崩壊との関係を求めた。

試験の結果を各事業区毎にまとめると表 7 のとおりである。この表からみて事業区は地質の差異により特徴づけられている。傾斜は風化花崗岩→三紀層→古生層の順序で急になっていく。崩壊率は個所・面積ともに古生層 < 三紀層 < 風化花崗岩の順序で高くなっている。また、

表 7 事業区別の試験結果

事業区	地質	平均傾斜(度)	林分材積 m^3/ha		崩壊		
			試験区 (m^3)	事業区全 体 (m^3)	地域施業 計画区 (m^3)	個所率 (個/ha)	面積率 (%)
岡崎	花崗岩	25° 55'	69	80	118	1.52	3.46
沼津	第三紀	33° 52'	73	63	99	0.29	0.92
矢部	古生層	35° 10'	67	166	141	0.08	0.36
徳島	中生層		54	82	84	0.09	0.66
千葉	第三紀		39	65	76	0.61	0.93

1 個所当りの崩壊面積は古生層 > 三紀層 > 風化花崗岩と崩壊率の順序とは反対の結果が得られた。中生層である徳島事業区の崩壊率は古生層と三紀層のほぼ中間的値を示し、水成碎屑岩の千葉事業区は火成碎屑岩の沼津事業区よりやや高い崩壊率を示した。表 7 の林分材積の項でみられるように、試験区とした林班の材積は、その事業区および地域施業計画区より少なく、崩壊の多発した試験区の林相がかなり不良なものであったことが予想された。

各事業区の林班別試験結果は表 8 ~ 12 のとおりである。傾斜・林分材積と崩壊率の関係を事業区別にプロットすると図 6-(1)~(5)のとおりで、林班内で平均化されるためかおおよその傾向しかつかがえない。崩壊率との関係では林分材積の方が傾斜に比べて明らかに差異のある傾向がみえ、林分材積が大きい場合はどの事業区でも崩壊率は低い値が示された。

表 8 林班別の試験結果(岡崎事業区)

林班	面積 (ha)	崩壊					林分材積 林班計 (m^3)	平均傾斜 (度)
		個所 (個)	率 (個/ha)	面積 (ha)	率 (%)	1 個所 当り (ha)		
162	34.0	68	2.00	1.31	3.85	0.019	1,124	33
163	33.2	34	1.02	0.76	2.29	0.022	1,679	51
164	14.2	33	2.32	0.73	5.14	0.022	242	17
165	34.3	55	1.60	1.07	3.12	0.019	3,699	108
166	30.3	52	1.72	1.53	5.05	0.029	2,243	74
167	22.3	35	1.57	0.86	3.86	0.025	537	24
168	24.5	16	0.65	0.42	1.71	0.026	3,814	156
合計 (平均)	192.8	293	(1.52)	6.68	(3.46)	(0.023)	13,338	(69)
								(25.9)

以下事業区別に地形(傾斜)・林相(林分材積)と崩壊の関係から崩壊危険度と森林の崩壊防止機能について検討してみる。

表 9 林班別の試験結果（沼津事業区）

林班	面積 (ha)	崩 壊				林分材積		平均 傾斜 (度)
		個所 (個)	率 (個/ha)	面積 (ha)	率 (%)	1個所 当り (ha)	林班計 (m³)	
133	36.8	3	0.08	0.14	0.38	0.047	2,155	59 38.8
134	32.6	4	0.12	0.09	0.28	0.023	2,283	70 40.2
135	44.2	②注 0	-	0	-	-	5,586	126 38.0
136	30.7	0	-	0	-	-	1,973	64 20.7
137	30.6	② 15	0.49	0.52	1.70	0.035	1,251	41 33.8
138	27.3	⑥ 11	0.40	0.92	3.37	0.085	-	32.0
139	31.0	① 14	0.45	0.39	1.26	0.026	2,003	65 32.8
140	28.4	2	0.07	0.04	0.14	0.020	3,256	115 35.4
141	36.7	② 13	0.35	0.26	0.71	0.020	1,526	42 32.9
142	37.7	② 10	0.27	0.21	0.56	0.021	4,640	123 31.2
143	33.2	② 11	0.33	0.24	0.72	0.022	525	16 31.1
144	31.1	④ 9	0.29	0.11	0.35	0.012	2,774	89 31.7
145	36.0	① 26	0.72	0.69	1.92	0.027	3,352	93 36.0
146	30.3	0	-	0	-	-	5,058	167 24.1
147	26.9	4	0.15	0.09	0.33	0.023	5,009	186 32.1
148	32.4	③ 12	0.37	0.31	0.96	0.026	2,438	75 37.3
149	28.9	⑭ 8	0.27	0.24	0.83	0.053	703	24 38.0
150	24.2	⑦ 18	0.74	0.62	3.39	0.045	61	3 37.6
151	34.1	17	0.50	0.39	1.14	0.023	246	7 37.5
合計 (平均)	613.1	⑯ 177	(0.29)	5.46	(0.89)	(0.032)	44,839	(73) (33.9)

注：○は捨土等道路による影響が明らかな個所として除いた数。

図 10 林班別の試験結果（矢部事業区）

林班	面積 (ha)	崩 壊				林分材積		平均 傾斜 (度)
		個所 (ha)	率 (個/ha)	面積 (ha)	率 (%)	1個所 当り (ha)	林班計 (m³)	
49	205.2	⑦注 17	0.08	0.22	0.11	0.013	4,396	21 36.9
50	157.9	① 25	0.16	1.69	1.07	0.068	6,981	44 37.6
51	118.5	④ 5	0.04	0.36	0.30	0.072	11,753	99 29.3
52	176.8	6	0.03	0.47	0.27	0.078	25,530	144 31.9
53	126.1	② 6	0.05	0.12	0.10	0.020	4,224	33 38.5
合計 (平均)	784.5	⑭ 59	(0.08)	2.86	(0.36)	(0.048)	52,884	(67) (35.0)

注：○は捨土等道路による影響が明らかな個所として除いた数。

表 11 林班別の試験結果（徳島事業区）

林班	面積 (ha)	崩 壊				林分材積	
		個所 (個)	率 (個/ha)	面積 (ha)	率 (%)	1個所 当り (ha)	林班計 (m³)
95	84.6	7	0.08	0.88	1.04	0.126	4,660 55
96	98.8	16	0.16	1.33	1.35	0.083	5,755 58
97	73.1	11	0.15	1.06	1.45	0.096	- -
98	76.8	3	0.04	0.05	0.07	0.017	1,107 14
99	66.8	6	0.09	0.29	0.43	0.048	13,058 195
147	159.9	6	0.04	0.10	0.06	0.017	5,570 35
合計 (平均)	560.0	49	(0.09)	3.71	(0.66)	(0.076)	30,150 (54)

表 12 林班別の試験結果（千葉事業区）

林班	面積 (ha)	崩 壊				林分材積	
		個所 (個)	率 (個/ha)	面積 (ha)	率 (%)	1個所 当り (ha)	林班計 (m³)
36	59.0	0	0	0	0	0	6,259 106
37	63.3	1	0.02	0.02	0.03	0.020	8,692 137
38	72.5	65	0.90	0.86	1.19	0.013	722 10
39	80.7	49	0.61	0.67	0.83	0.014	822 10
40	81.7	2	0.02	0.02	0.02	0.010	5,791 71
43	95.6	163	1.71	2.08	2.18	0.013	310 4
44	88.2	10	0.11	0.18	0.20	0.018	1,692 19
50	47.6	7	0.14	0.11	0.23	0.016	1,306 27
51	74.2	57	0.77	1.08	1.46	0.019	1,038 14
52	61.3	85	1.39	1.73	2.82	0.020	1,365 22
合計 (平均)	724.1	439	(0.61)	6.75	(0.93)	(0.015)	27,997 (39)

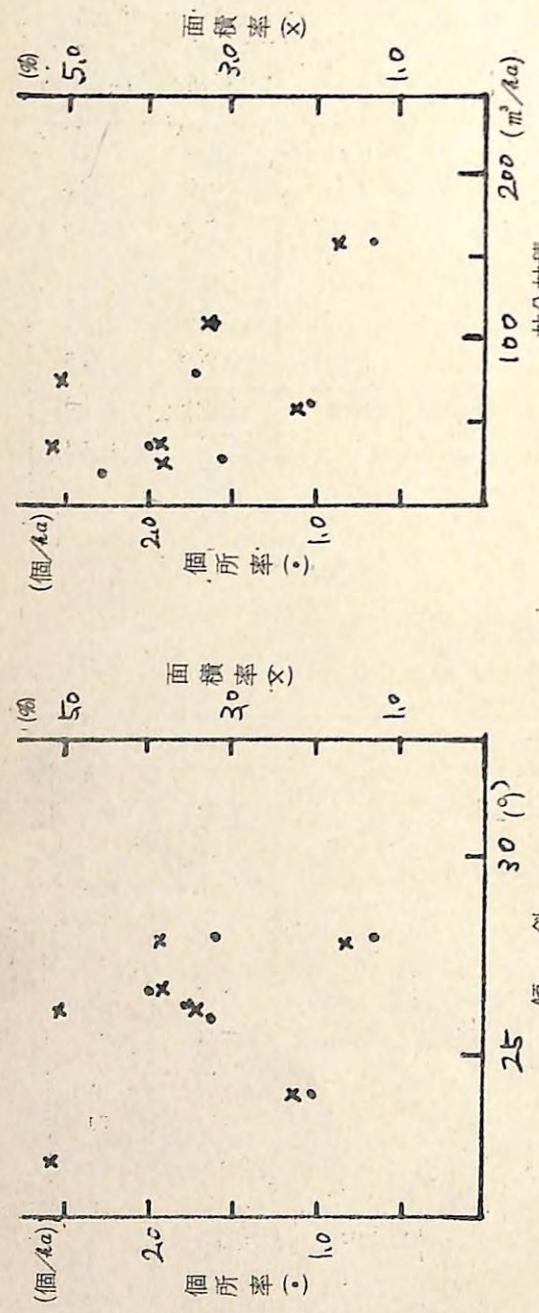


図-6-(1) 岡崎事業区

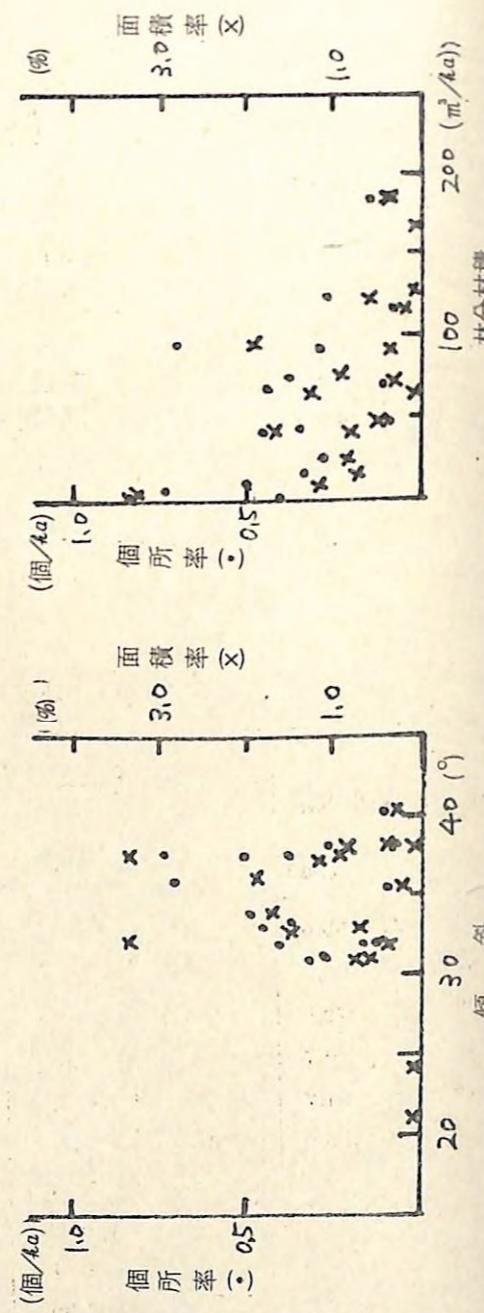


図-6-(2) 沼津事業区

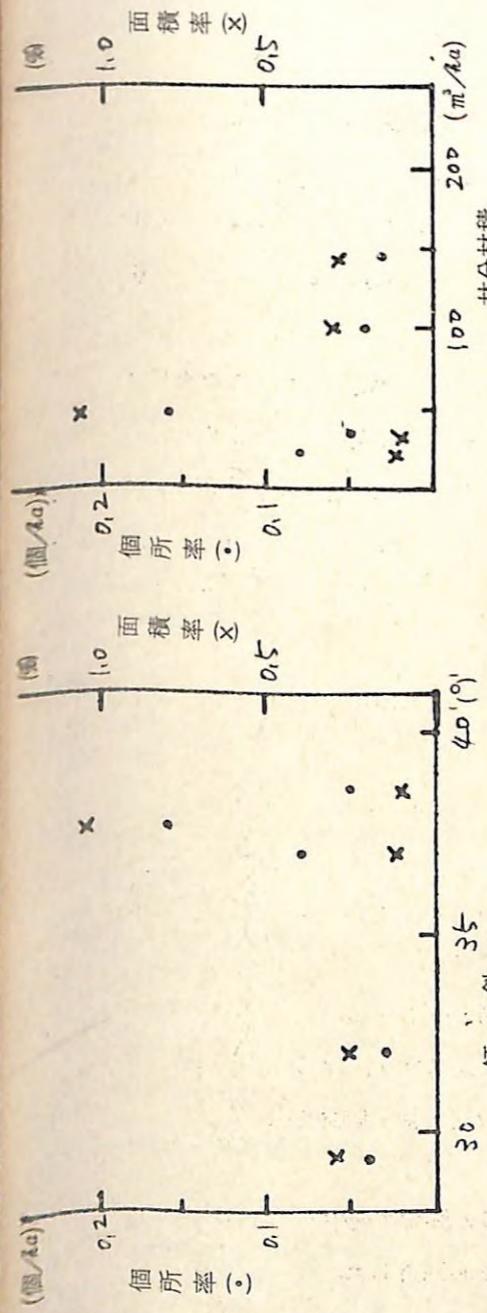


図-6-(3) 矢部事業区

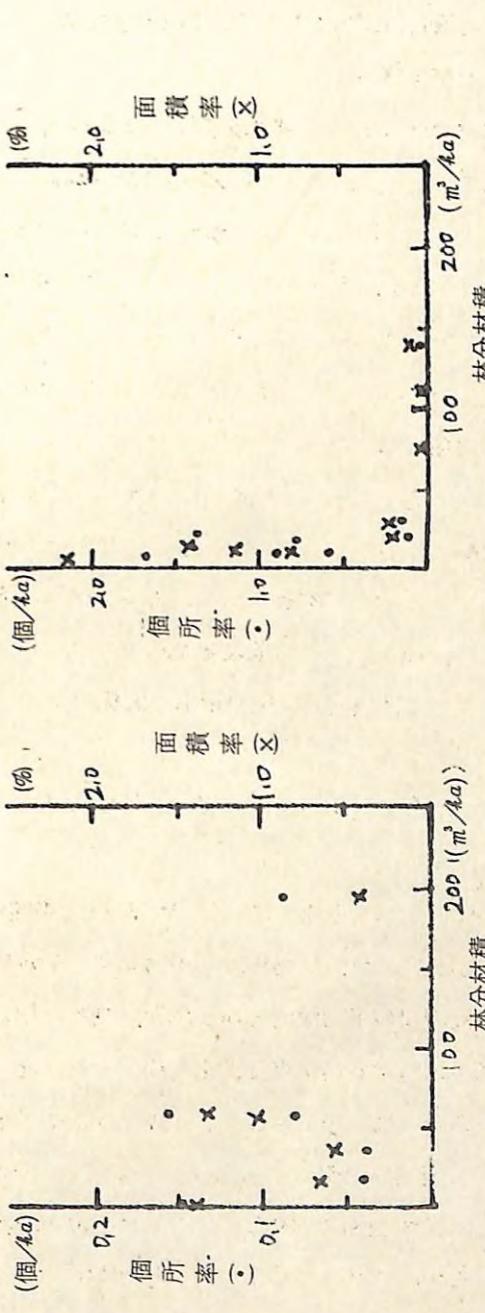


図-6-(4) 徳島事業区

図 6 林班の傾斜・林分材積と崩壊率の関係

(1) 地形(傾斜)と崩壊

傾斜と崩壊の関係は施業の基本的単位である林班内で、等高線間の平均傾斜と崩壊個所率(等高線間の崩壊個所/等高線間の面積: 個/ha), 崩壊面積率(等高線間の崩壊面積/等高線間の面積: %)を求めて検討した。

a. 岡崎事業区

本事業区は風化花崗岩地帯特有の地形で、標高も低く、斜面長が短い。傾斜もそれほど急ではないが、基岩は角閃石黒雲母花崗岩の粗粒で、風化すると粘着力、結合度がとくに弱く、崩壊に対しては極度に抵抗性が低い。平均傾斜の測定には 1/5000 地形図を使用したが、本地区のように林班内の高度差、斜面長が短く小さい地形であるため等高線間隔は 20 m とした。

図 7-(1)は 162 ~ 168 林班の全部について等高線間の平均傾斜に対する崩壊個所率の関係を示したものである。傾斜毎にみると崩壊率は 0 から数個/ha の間に変化している。この変化は、傾斜以外の地形、林相等の影響であろうが、傾斜毎の最高の崩壊率は傾斜が急になるほど高くなる。傾斜毎の最高点を結ぶと実線のとおりの傾向が得られる。この傾向は本地区において傾斜以外の条件が悪い場合に発生する崩壊を予想するもので、傾斜に対する危険度を示すものと判定した。

図 7-(2)は傾斜と崩壊面積率の関係であるが、崩壊個所率とほぼ同様な傾向にあることがわかる。

本事業区の崩壊は風化花崗岩地帯の特長である小面積で数多くの発生をみた。

b. 沼津事業区

火山碎屑岩よりなる第三紀層である本事業区は標高が高く、林班内の高度差もあり斜面長が長いので、等高線間の平均傾斜の測定は等高線間隔を 50 m とした。

等高線間の平均傾斜と崩壊個所、崩壊面積の関係は図 8-(1)~(2)のとおりである。同じ傾斜に対する崩壊率は風化花崗岩地帯に比べるとはるかに低く、地質による差異も一因であるものと予想される。しかし傾斜毎に崩壊率の最高を結ぶ危険度線は傾斜が急になれば崩壊率は明らかに高くなる傾向が示された。

なお試験地区内の大部分の林班を林道が通過し、開設の影響で発生した崩壊が多くみられたが、これらは図上及び現地調査により崩壊個所から除外した。

c. 矢部事業区

古生層である本事業区は三紀層地帯より更に標高が高く、斜面長も長く傾斜も急であ

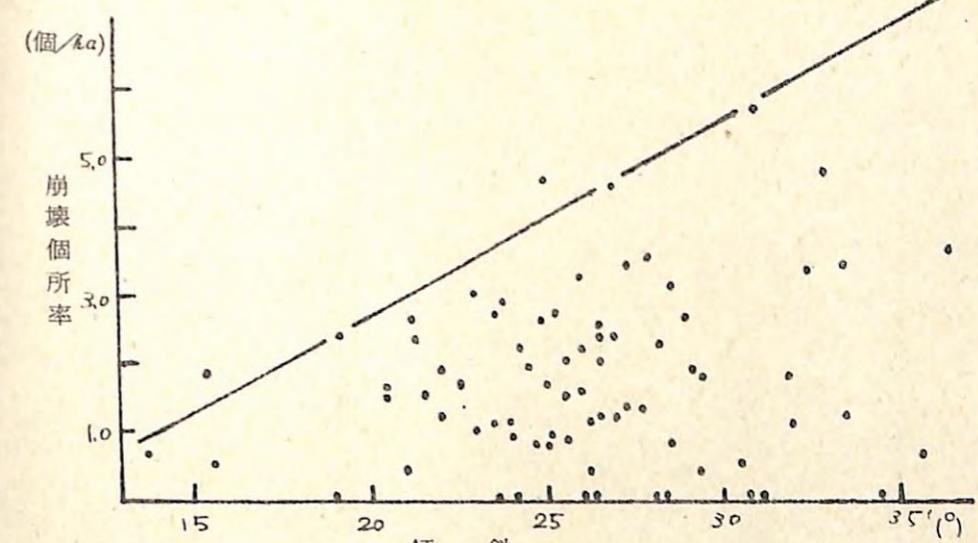


図 7-(1) 個 所 率

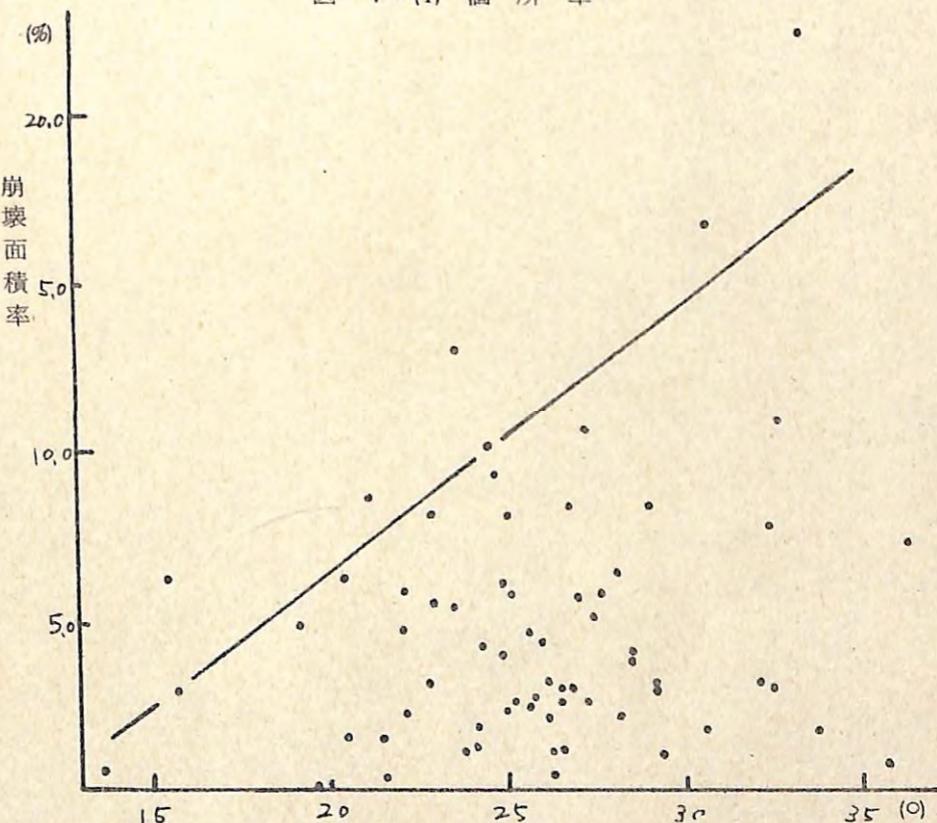


図 7-(2) 面 積 率

図 7 傾斜と崩壊率(岡崎事業区)

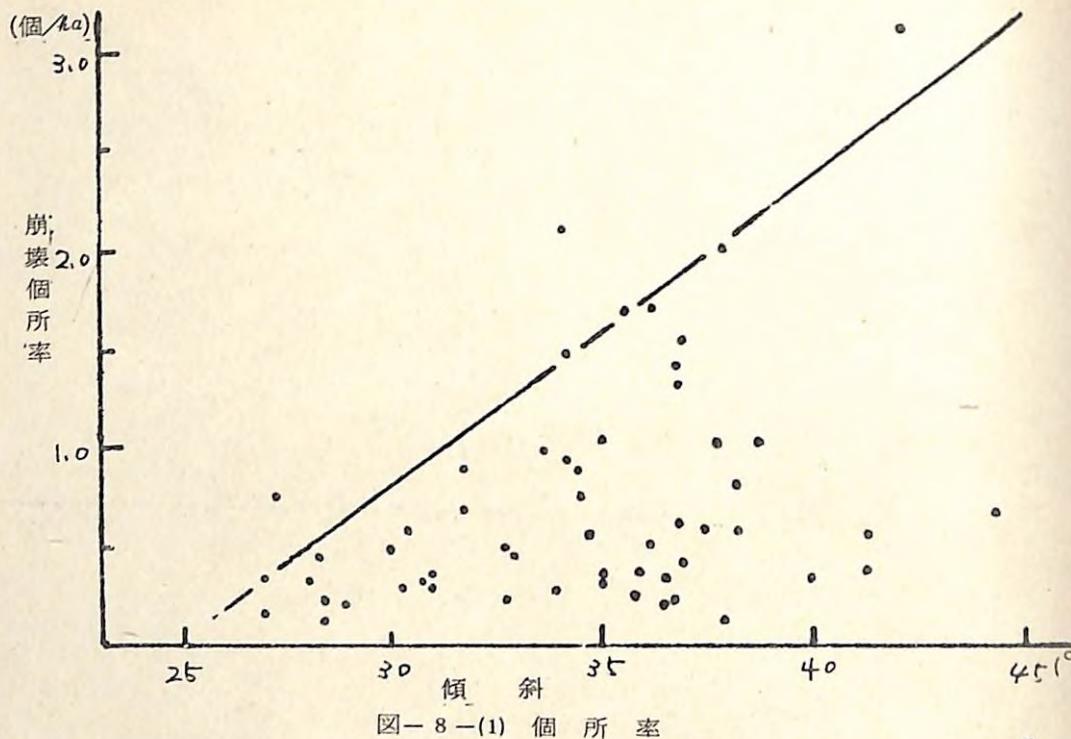


図 8-1 倾斜と崩壊率 (個所率)

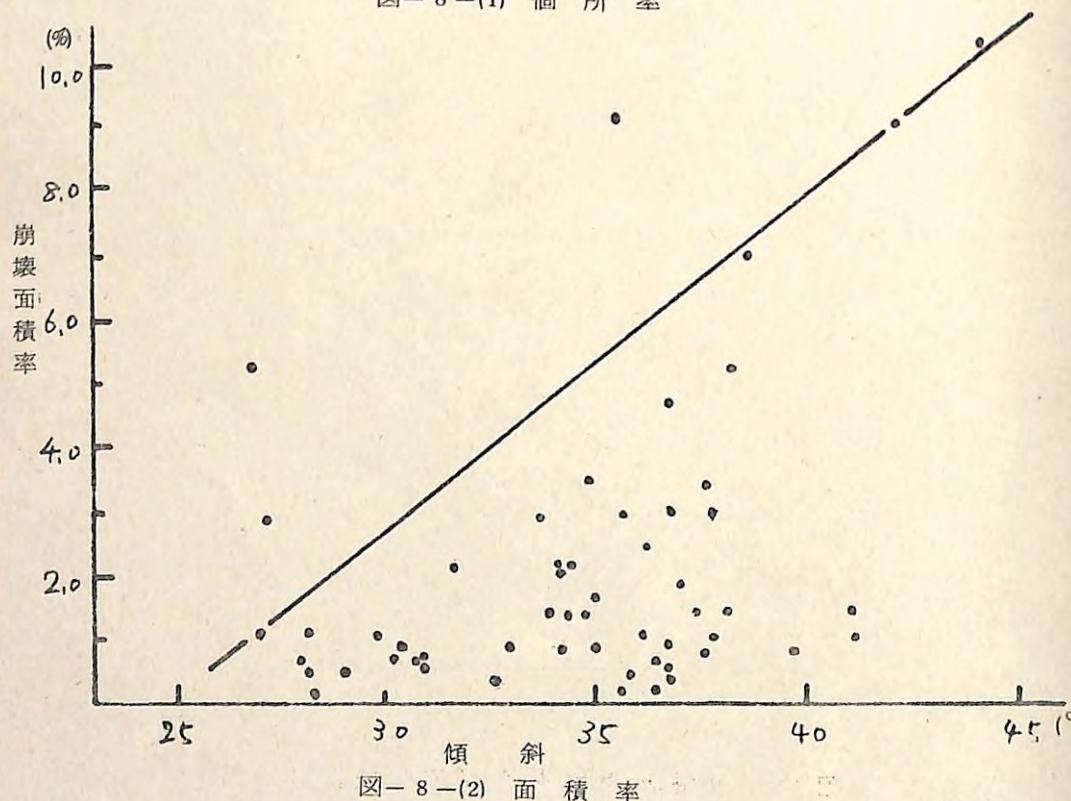


図 8-2 倾斜と崩壊率 (面積率)

図 8 倾斜と崩壊率 (沼津事業区)

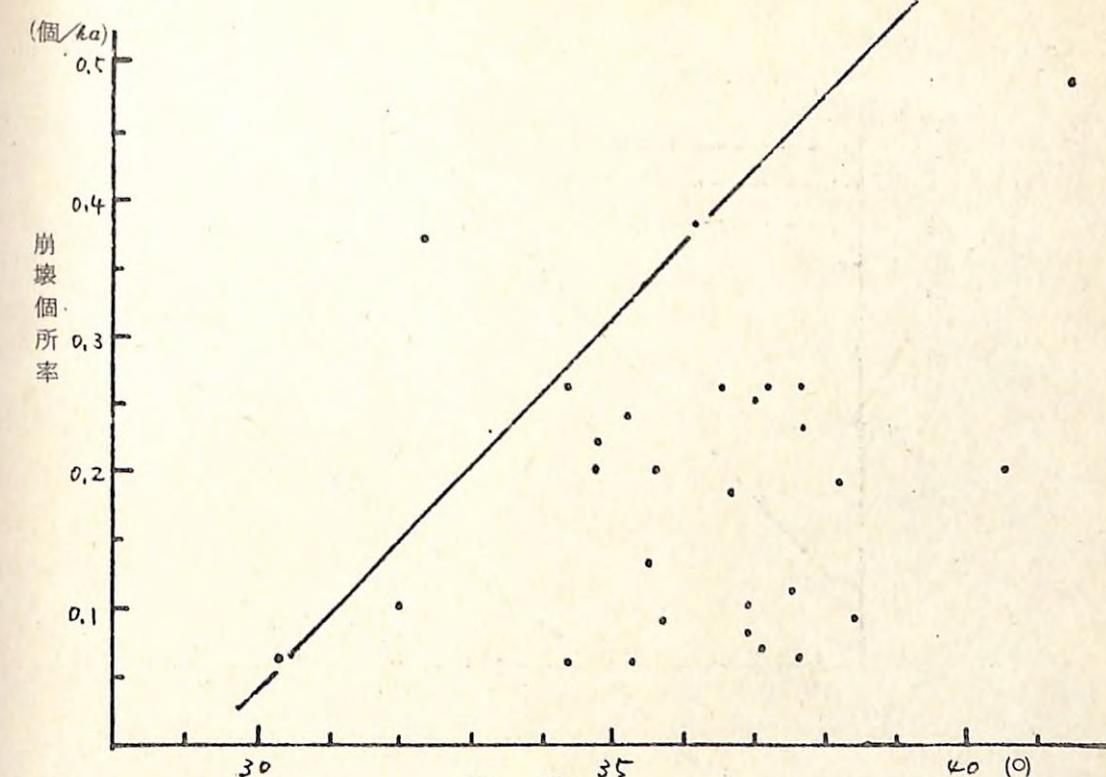


図 9-1 倾斜と崩壊率 (個所率)

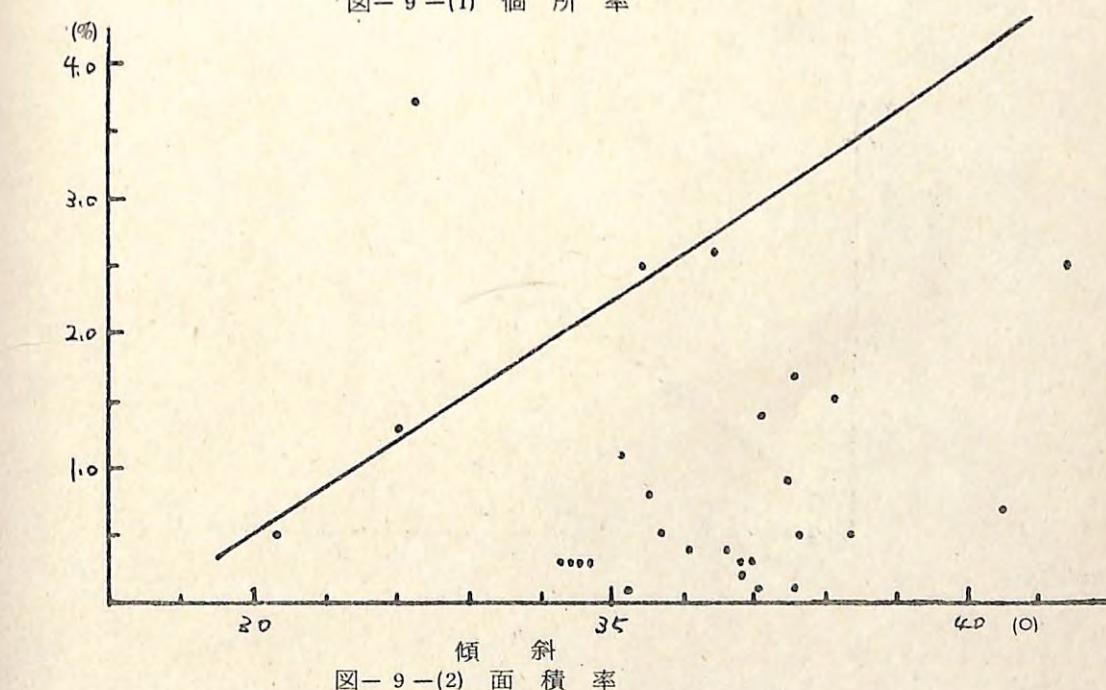


図 9-2 倾斜と崩壊率 (面積率)

図 9 倾斜と崩壊率 (矢部事業区)

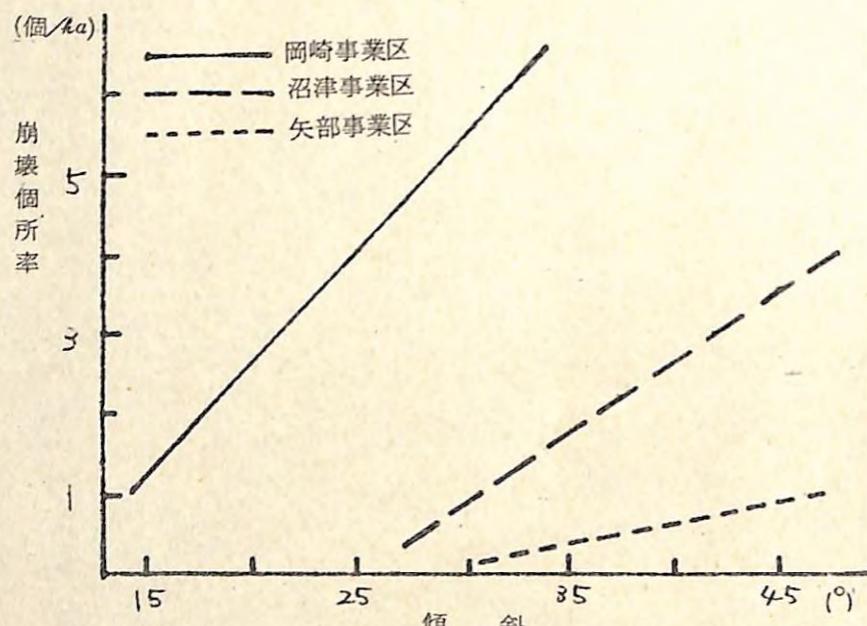


図-10-(1) 個 所 率

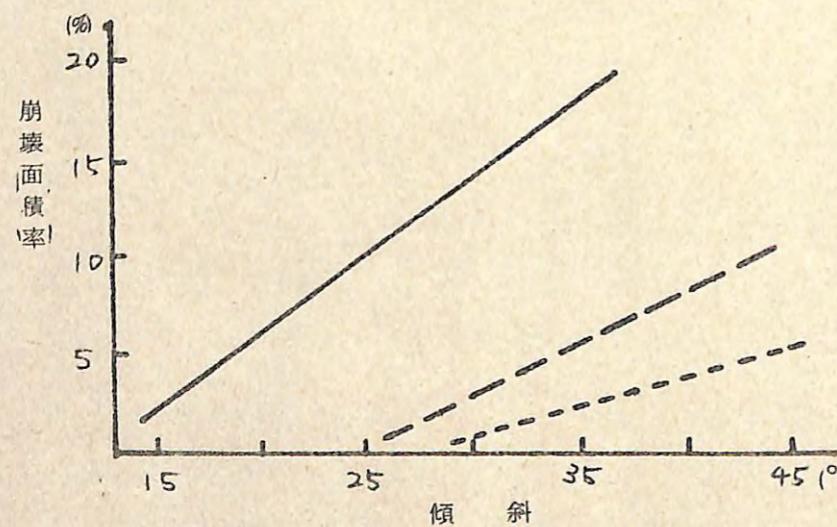


図-10-(2) 面 積 率

図 10 事 業 区 別 の 傾 斜 と 崩 壊 率

る。本地区も平均傾斜の測定は、等高線間隔を 50 m とした。

傾斜に対応した崩壊は個所率(図 9-(1))、面積率(図 9-(2))ともに低く、地質的特性が明らかである。

本地区も林道開設の影響による崩壊が少なくなかったので、図上および現地調査により崩壊個所から除外した。図 9-(1)～(2)でみられるように傾斜が急になれば崩壊率が高くなる傾向には変りない。

以上地質の異なる 3 事業区の地形(傾斜)と崩壊率の関係は図 7～9 に示したとおりであるが、この図のなかの崩壊危険度の予想線を図示すると図 10-(1), (2)のとおりである。この図から明らかなように傾斜と崩壊の危険度は地質によって大きな差異がみられた。

(2) 林相(林分材積)と崩壊

林相は林小班について森林調査簿に記載されている ha 当りの材積と、小班内に発生した崩壊の個所および面積の関係を検討した。

林班、小班は地域あるいは事業区によって面積は大きく異なる。とくに小班は形状も様ざまで、林班内でも面積に大小の差があることが多い。しかし、樹種、林齡、林相(林分材積、樹高、直徑等)が最も適確に把握できて、林分としてのまとまりがあることが考えられたので林相を表現するための単位とした。

a. 岡崎事業区

本事業区の試験地区は民有地のなかに位置し、面積は小さいが、昭和 47 年 7 月災害における激甚地域で、地質、地形、林相、崩壊発生状況などこの地域の標準的地区として設定した。

本事業区は傾斜は緩やかであるが、地質的に脆弱であり林分材積も少なかったため、崩壊率は他の事業区に比べると極めて高かった。

図 11-(1), (2)は林分材積と崩壊個所、崩壊面積の関係を小班毎にプロットしたものである。林分材積が少ない場合は個所、面積ともに崩壊率は高いものが多く、林分材積が多くなると崩壊率は急激に低くなる。図の実線は林相(林分材積)による森林の崩壊防止曲線と予想した。本事業区の試験地区は面積的に小さく、小班数も少ないので、十分な資料数は得られなかったが、林相と崩壊率の関係は傾向としては明らかに示された。

b. 沼津事業区

本地区は富士火山帯の噴火による火山性の碎屑岩よりなり、侵食、崩壊に対する抵抗

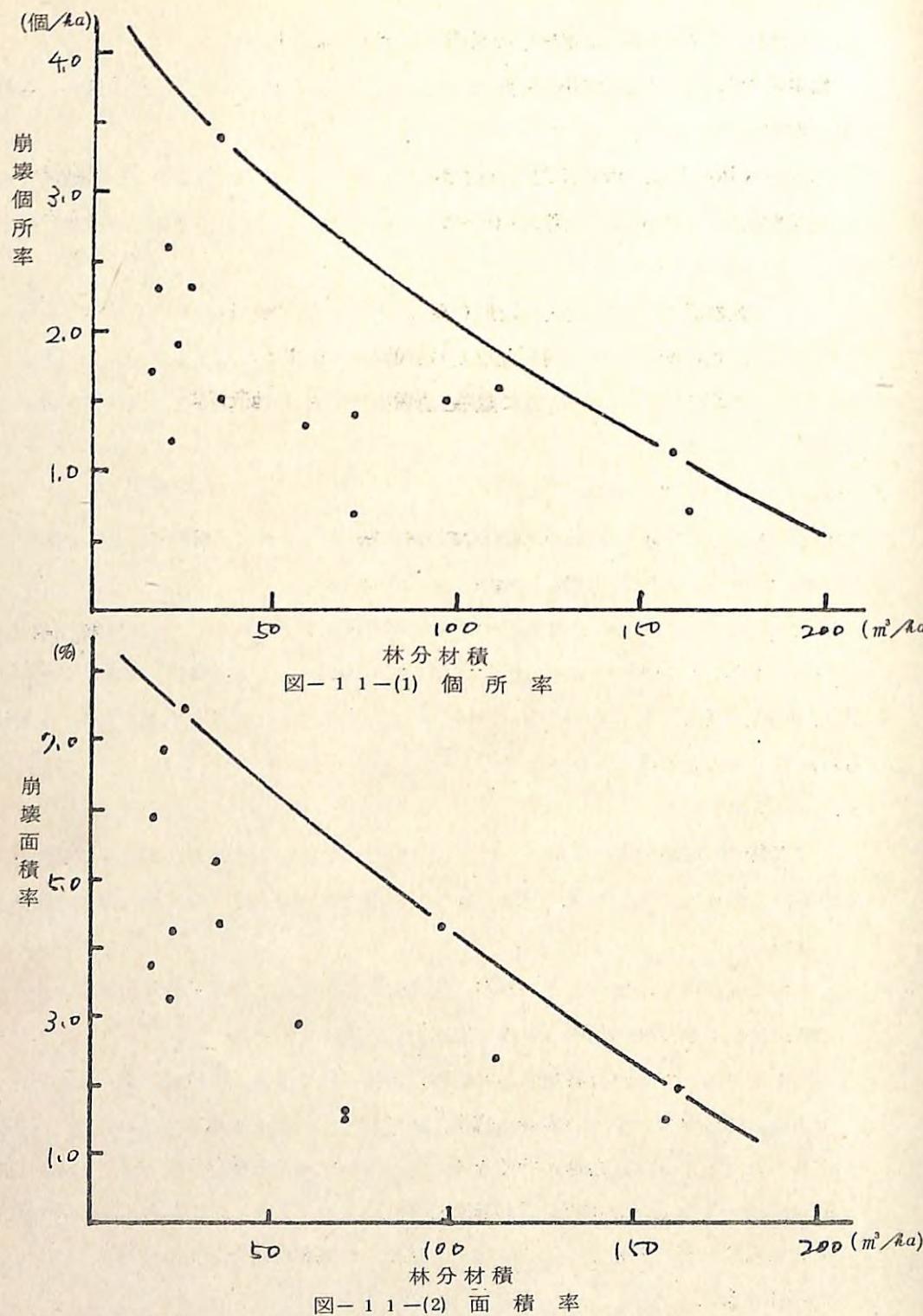


図 11 林分材積と崩壊率 (岡崎事業区)

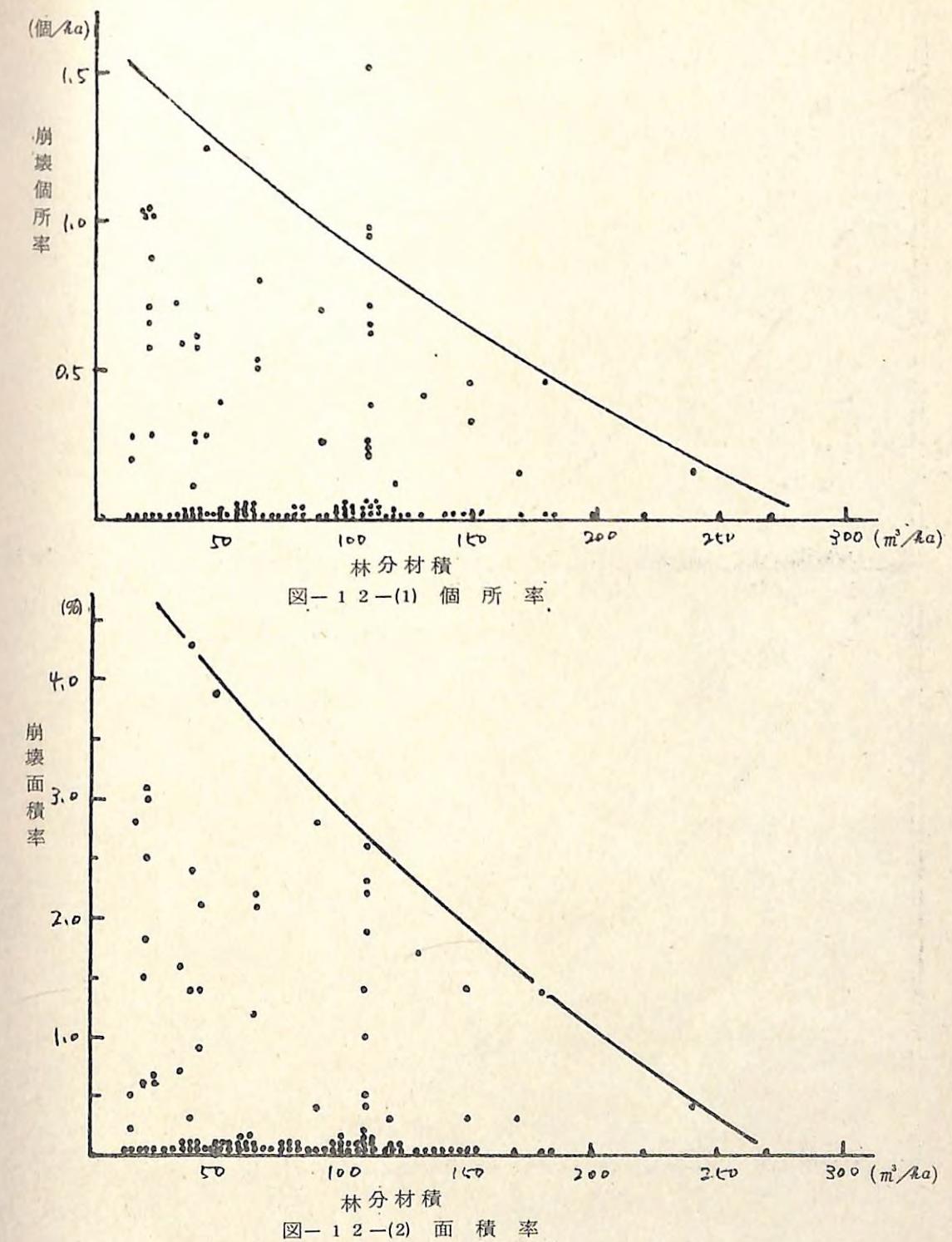


図 12 林分材積と崩壊率 (沼津事業区)

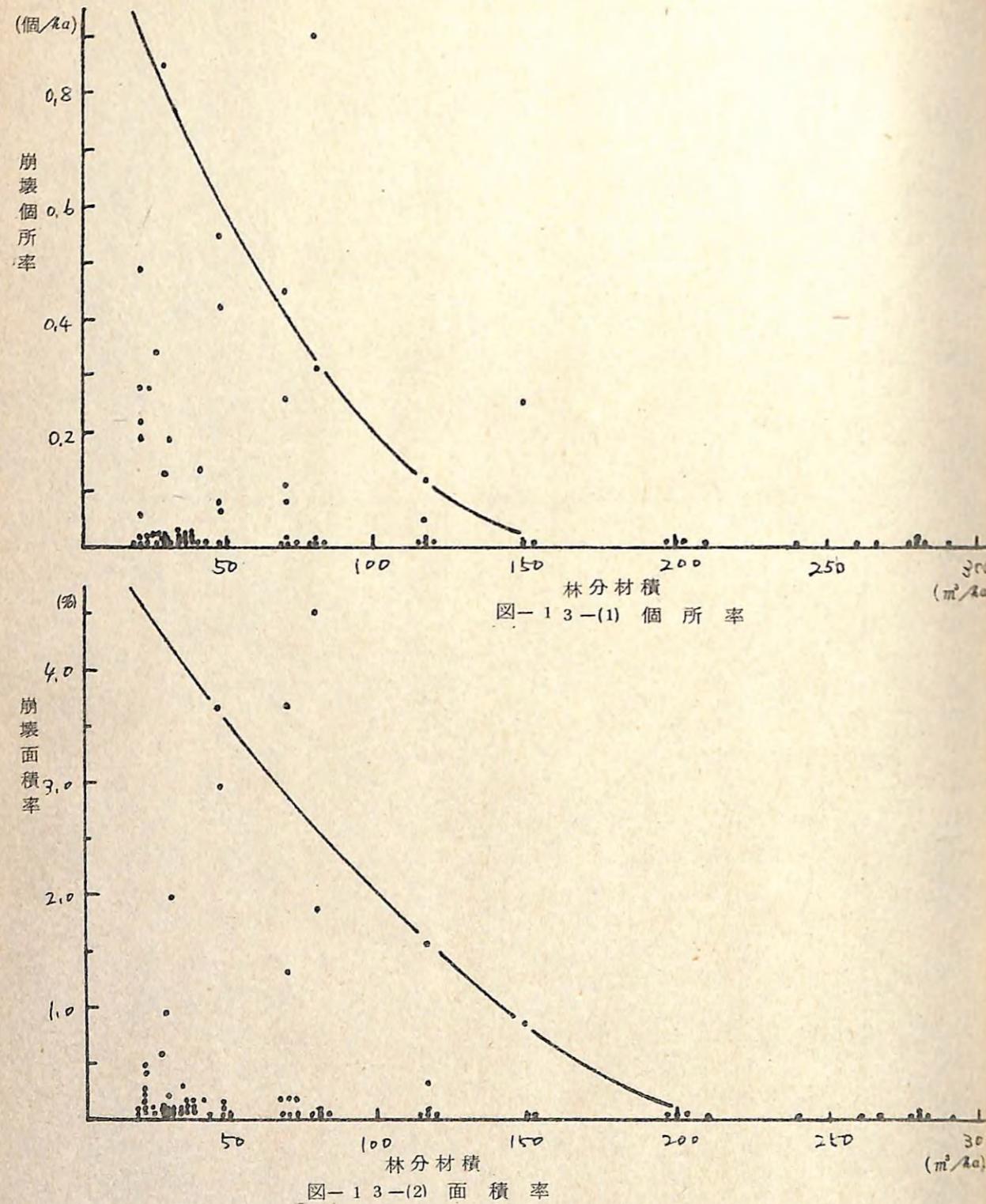


図 13 林分材積と崩壊率(矢部事業区)

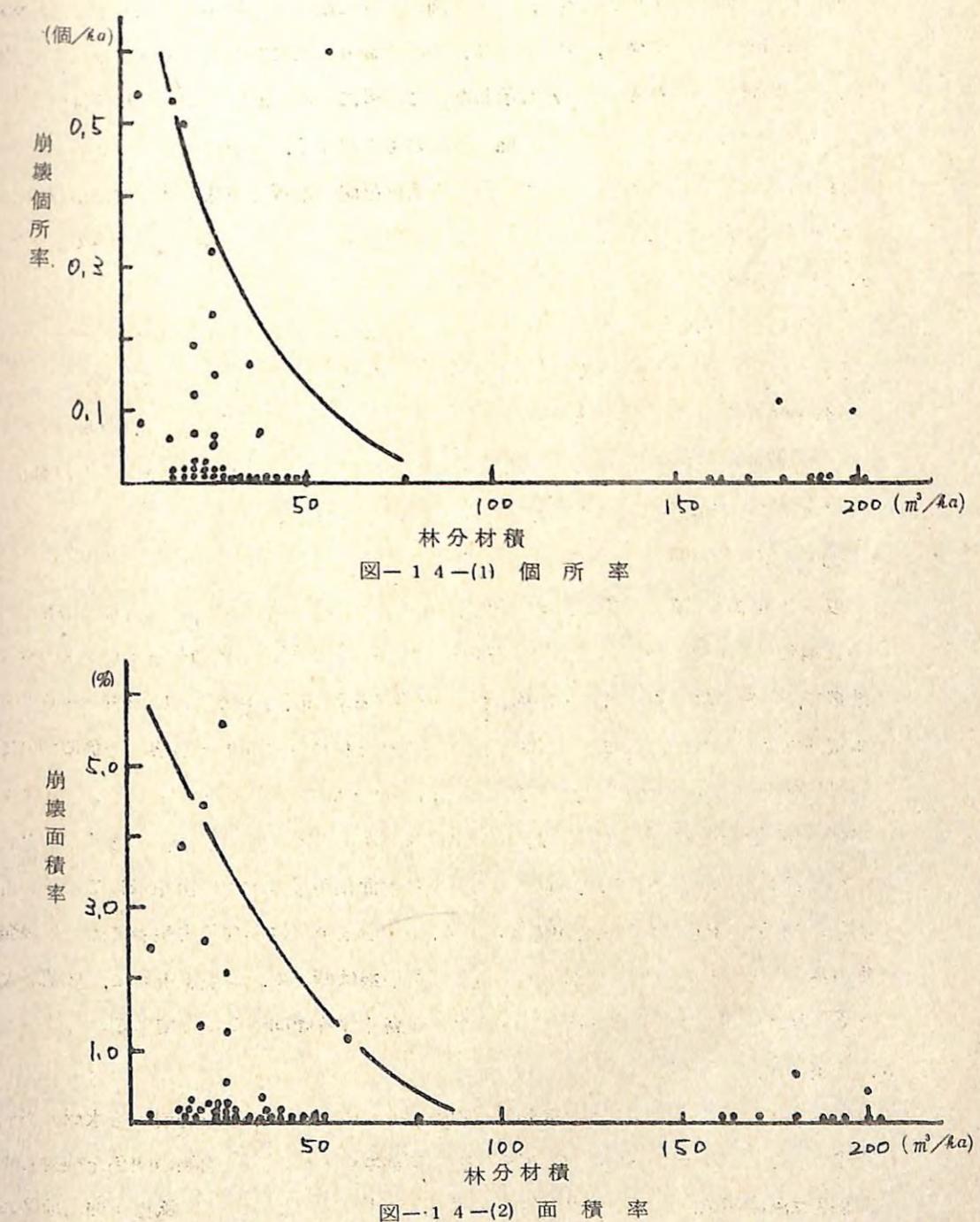


図 14 林分材積と崩壊率(徳島事業区)

性は低く、傾斜もかなり強いが、風化花崗岩地帯に比べると崩壊率は低くかった。林相（林分材積）との関係は、図12-(1), (2)のとおり小班の林分材積(m^3/ha)と崩壊個所、崩壊面積との関係をそれぞれ示した。この図によると崩壊個所率は林分材積が $150 m^3/ha$ 以上になると 0.5 個/ ha 以上ものではなく、崩壊面積率では 2% 以上の崩壊率を示したもののはなかった。本地区でも風化花崗岩地帯と同様に林分材積が多くなれば崩壊率は低くなり、材積が少なくなると、崩壊率は高くなる傾向が明らかであった。

c. 矢部事業区

一般に古生層地帯では傾斜が強く、斜面長が長いにもかかわらず崩壊の発生は少ないとされているが、本地区も傾斜との関係で明らかであった。したがって、林相は崩壊率に影響は少ないと予想されたが、図13-(1), (2)に示されたように、崩壊率の絶対値は低いが、個所率、面積率ともに林分材積が大きくなると崩壊率は低くなり、材積が小さくなると崩壊率が高くなる傾向は前2事業区と同様に明らかである。

d. 徳島事業区

以上3事業区は風化花崗岩、第三紀層、古生層というかなり地質的に異なる性格をもった地帯であったが、本事業区は第三紀層と古生層の中間的で地質地帯ともいえる中生層地帯で、一般には中古生層地と呼称されることもあるように、古生層に近い地質とみられる。本試験では中間的とみて補足の意味で、林相（林分材積 m^3/ha ）と崩壊の関係について検討した。林分材積と個所率、面積率は図14-(1), (2)のとおりで個所率は材積が少くない場合でもそれほど高くはならないが、面積率は材積が少なくなると急激に大きくなつた。これは表7でもわかるように、崩壊1個所当たりの面積が最も大きい値を示していることからこのような傾向になったことが考えられて、中生層地帯ではかなり古生層に近い崩壊発生がみられるようである。しかし、本地区でも崩壊は個所率、面積率ともに、材積が大きくなれば崩壊率は低く、材積が小さくなると高くなる傾向が明らかである。

e. 千葉事業区

沼津事業区は第三紀層の火山性碎屑岩類の地帯であったが、第三紀層でも水成碎屑岩地帯である千葉事業区のなかで大多喜地区を試験地として林相と崩壊の関係を検討した。本地区は沼津事業区に比べると斜面長が短く、地形の変化が細かく、風化花崗岩地帯の地況に近い。林分材積(m^3/ha)と崩壊の個所率及び面積率の関係は図15-(1), (2)のとおりである。表7に示されているとおり、全試験区の個所率、面積率とも風化花崗岩地帯について高く、1個所当たりの平均面積は $0.015 ha$ で最も小さかった。しかし、図

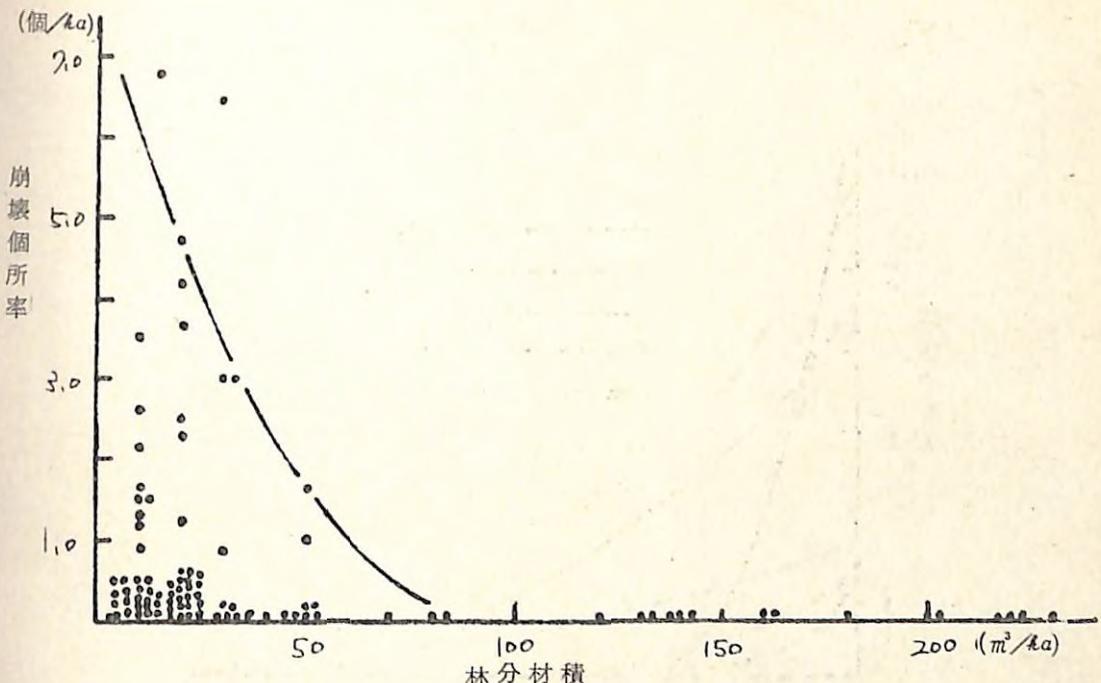


図-15-(1) 個所率

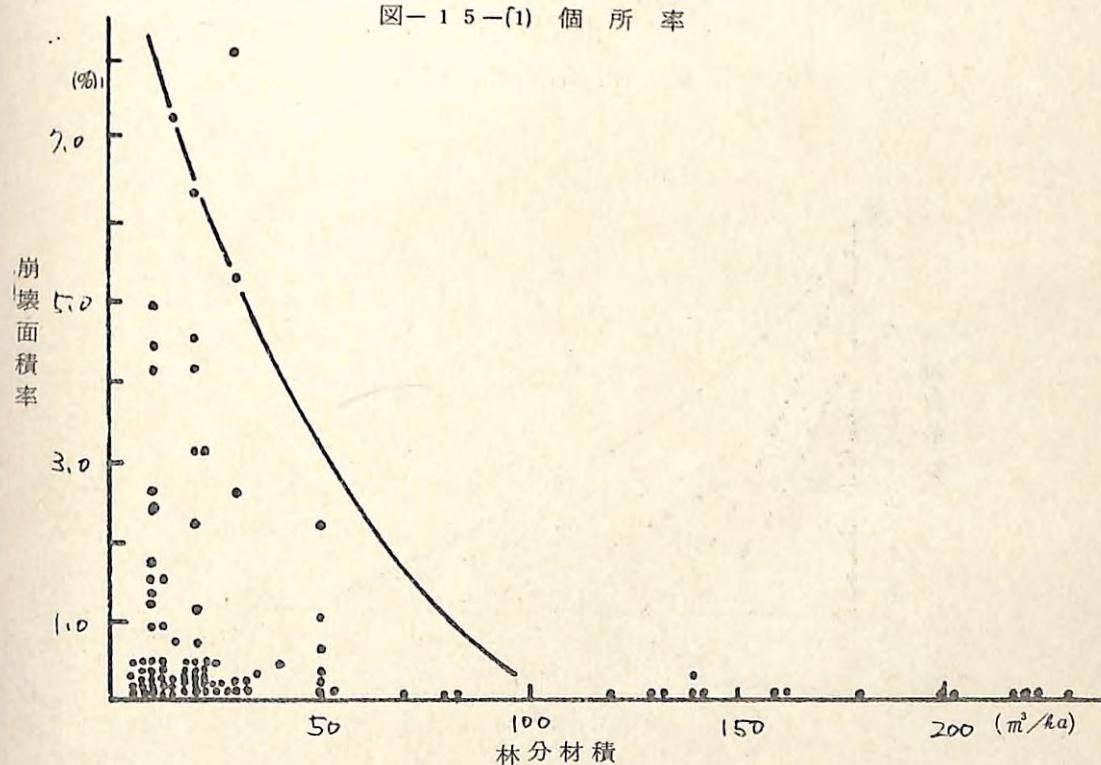


図-15-(2) 面積率

図15 林分材積と崩壊率(千葉事業区)

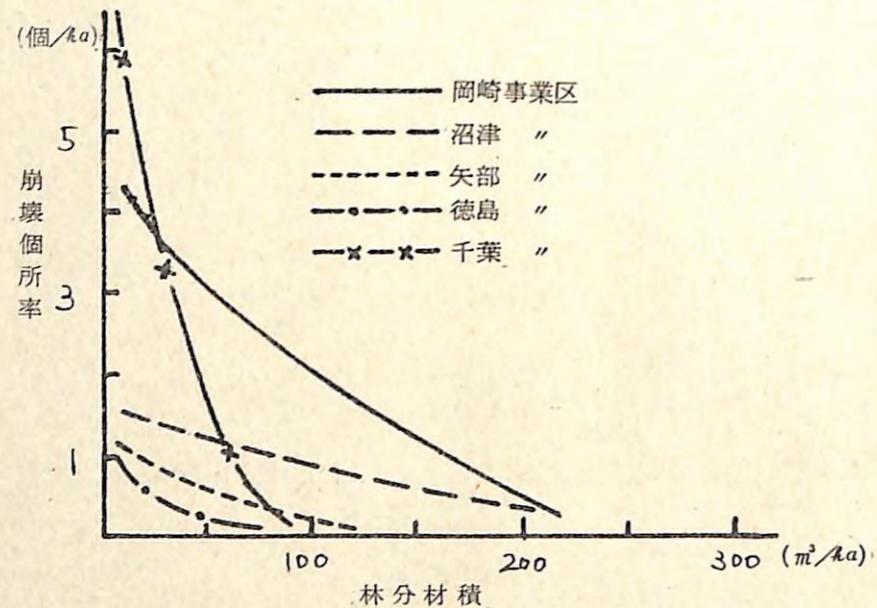


図-16-(1) 個所率

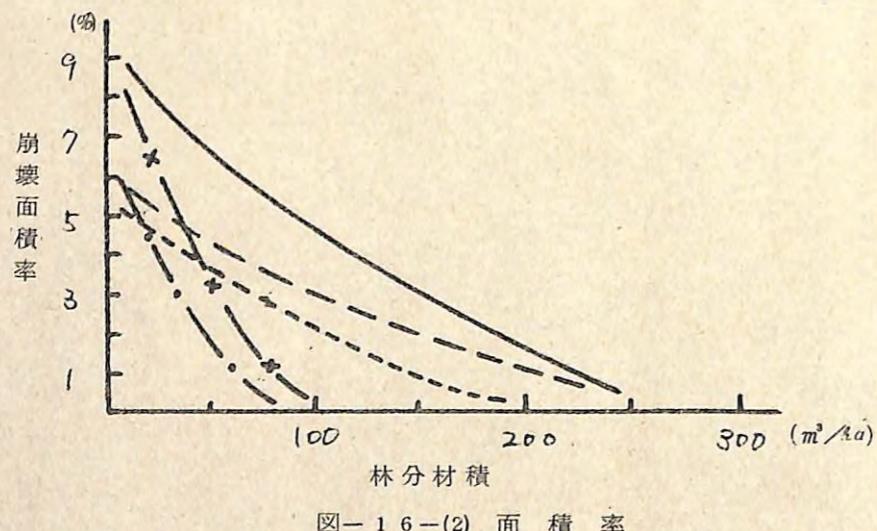


図-16-(2) 面積率

図 16 事業区別の林分材積と崩壊率

でも明らかなように林分材積が少ない場合の崩壊率は高いが、林分材積が $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以上になると、崩壊の発生がほとんどなかった。これは土壤の浅いことと、地質的な特性から崩壊防止に対して森林が敏感に影響したことが予想される。

以上 5 事業区の林相（林分材積）と崩壊率の関係は図 11～15 に示したとおりであるが、図中の曲線は、林分材積以外の地質、地形因子などが悪い条件のもとで崩壊発生が予想される最大値を、林分材積毎に予想したものである。これを林分材積を要因とした森林の崩壊防止機能を表現する曲線とすると、材積に対して最大の崩壊率を地質別に予想し得る。この森林の崩壊防止機能曲線を事業区別（地質別）に図にまとめると図 16-(1)、図 12-(2)のとおりである。図 16-(1)の個所率では、風化花崗岩地帯が最も高く以下三紀層地帯、古生層地帯、中生層地帯の順で低いが、水成碎屑岩よりなる三紀層地帯の千葉事業区だけが差異のある傾向がみえる。図 16-(2)の面積率では個所率と同様に千葉事業区が他の事業区に比べると異った傾向がみられたが、中生層の徳島事業区も傾向に多少の差異のが認められた。

以上林分材積と崩壊の関係も傾斜の場合と同様に地質別に崩壊率の差が大きい。しかし林相として林分材積（ha 当り）が崩壊に及ぼす影響は明らかである。

2) 施業指標林調査

2-3) でのべたとおり大阪営林局津山営林署では、昭和 48 年以降泉山国有林に施業指標林を設置して、林業技術体系の確立と普及および社会的な理解を深める拠点として、各種施業を実施しているが、林地保全を考慮した施業法とこれに関連した作業効率についての検討資料を得るために調査を実施した。実行された施業区分と結果は表 13 のとおりである。

表 13 施業区分と効率（津山営林署）

区 分		集材搬出方法	伐出量 ($\text{m}^3/1\text{人}$)
皆伐型	分散伐採方式	全幹集材	2.16
	分離帯伐採方式		
非皆伐型	点状採伐区	単線循環式架線運材	0.81
	群状採伐区	単線循環式と連送式架線との 2 段集材	0.95
	帯状採伐区	単線循環式架線運材	1.24

崩壊危険地帯における保全的施業は、元来非皆伐施業により実行するのが当然と思われる。

表13によると非皆伐施業のなかで帯状伐区が最も効率がよかった。帯状伐採は、大阪営林局のなかでも山口営林署、大津営林署等で実績があり、いづれも風致景観保護を目的としているが、営林局においても“事業的に木材生産が出来る最良の方法の一つである”と評価されている。

林地保全を目的とした場合でも伐採幅、回帰年などを考慮すれば崩壊防止の面からも有効な施業法であることが予想できる。

4. まとめ

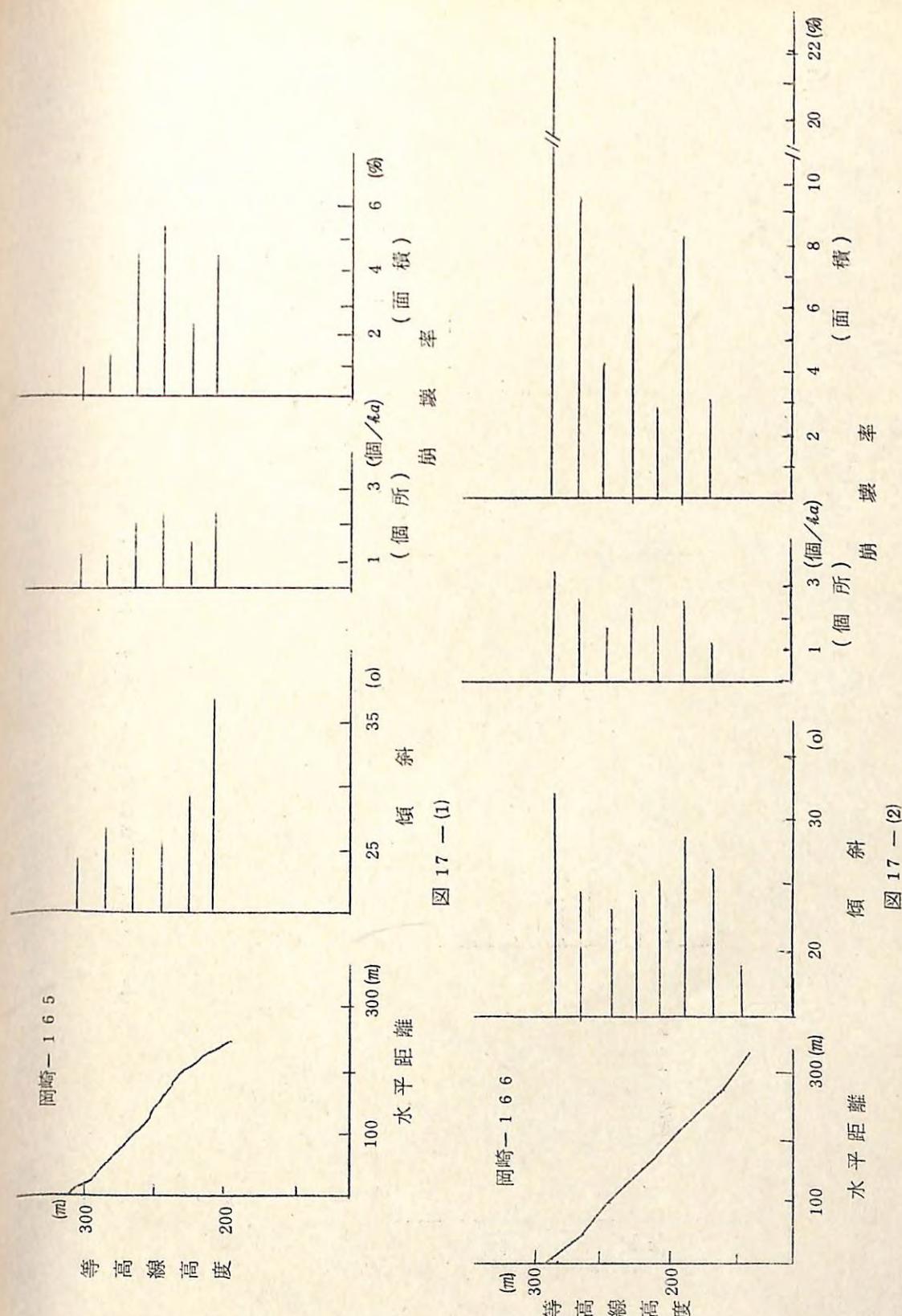
1) 保全的施業法

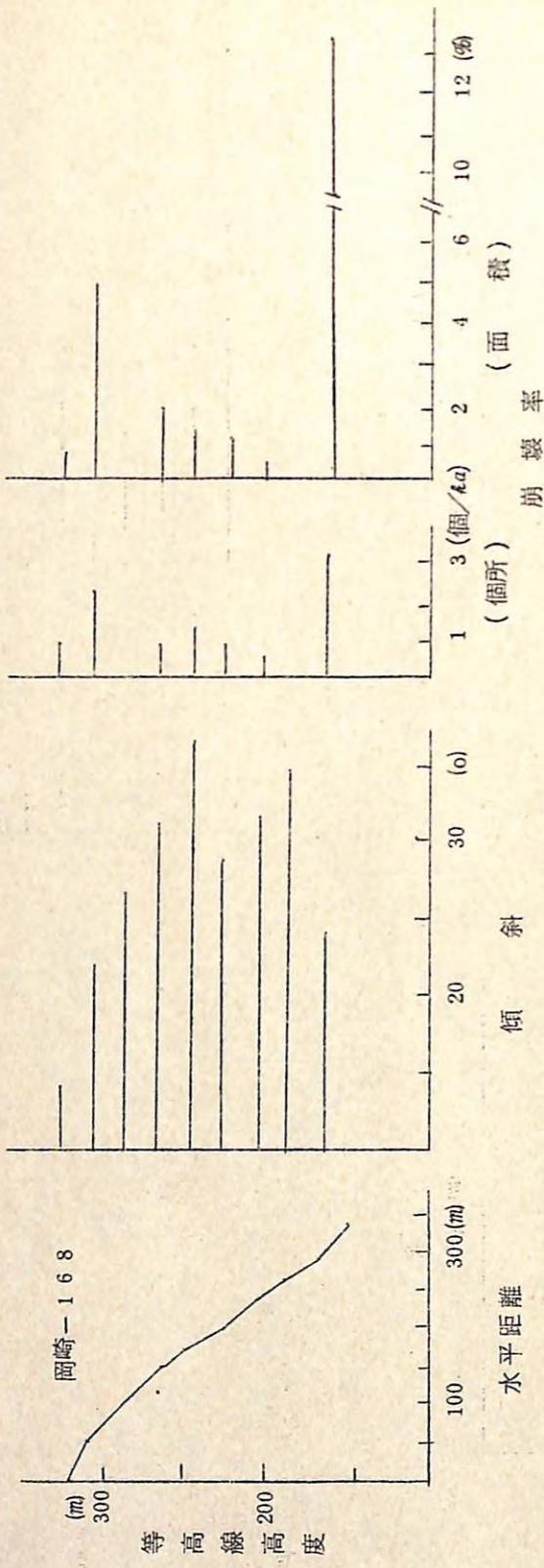
崩壊危険地帯は通常地質、地形、林相等から判定され、面積的には広範な地域を想定することが多い。しかし、事業実行上からは数ha～数10haの単位で施業方法の検討が必要である。したがって、ここでは地区（地帯よりも面積的に小さい）として検討することとした。崩壊の危険性は施業面から考える場合は林相を除いた地質、地形から決定されなければならない。本試験では地質別に地形は傾斜（等高線間）のみを使って危険地区を判定したが、その規模は林班を単位とした。林班は原則として天然界で区画して設けられることが多いので地形的にまとまりがあり、事業実行上も都合がよい。

崩壊危険度の判定は地域施業計画区内を地質別に区分して、それぞれの地質帶のなかで林班毎に平均傾斜から林班の危険度を判定する。次に林班内の危険地区を等高線間の平均傾斜から判定する方法を検討した。この判定は地域施業計画区内で発生した崩壊地調査によって行なわれるが、本試験では、傾斜以外の崩壊に関連した因子が悪い状態での崩壊率（一定傾斜で最も高い崩壊率）を危険度とした。林班の平均傾斜は各等高線間の平均傾斜にその面積の重みを加味したものであるが、全体が平均化されるため、傾斜と崩壊の関係は一定の傾向が明らかでなかった。しかし、林班内における等高線間傾斜と崩壊率の関係は図7～9でみられるように傾斜毎の崩壊率の最高を結んだ線には一定傾向が認められた。以上のような点から林班のもつ危険度については今後の検討課題とし、本試験では林班内の等高線間の傾斜から林班の危険度を予想した。

a. 危険地区の判定

林班の地形を判定する方法として、林班の上端から下端に至る傾斜変化のパターンを見出すため、事業区の代表的林班の縦断図を画くと図17（岡崎事業区）、図18（沼津事





— 170 —

図 17-(3) 等高線高度別の傾斜と崩壊率(岡崎事業区)

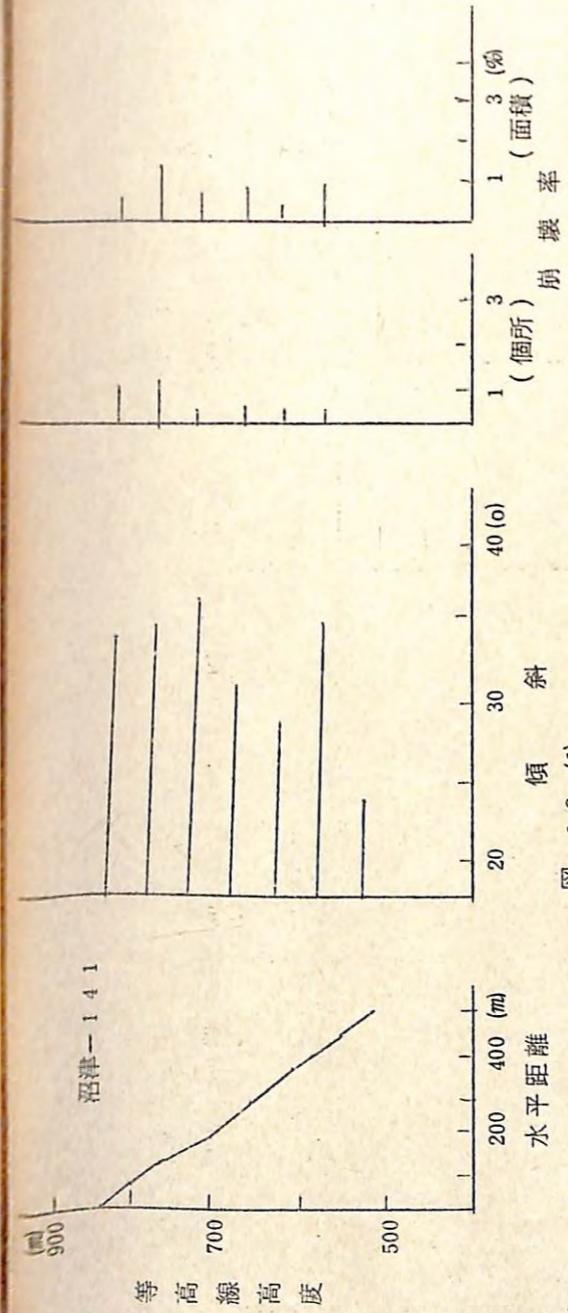


図 18-(1)

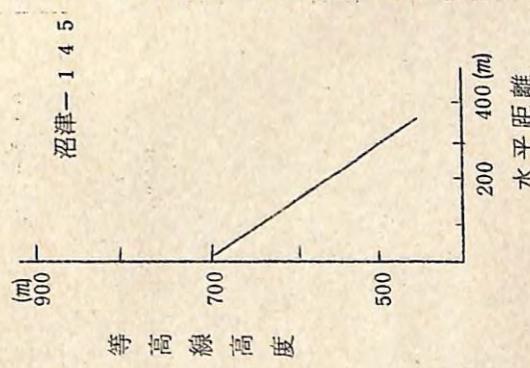


図 18-(2)

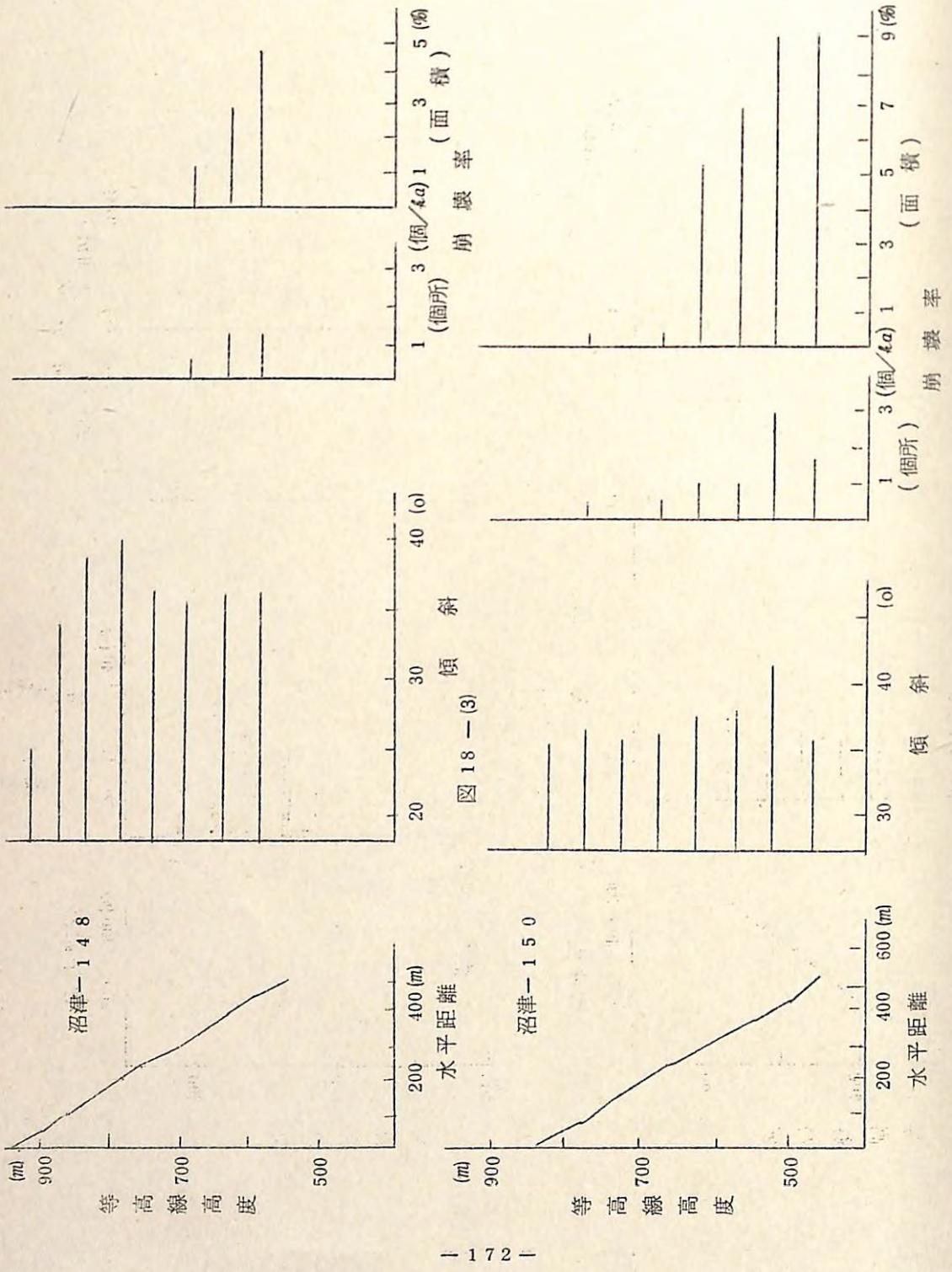


図 18-(4)

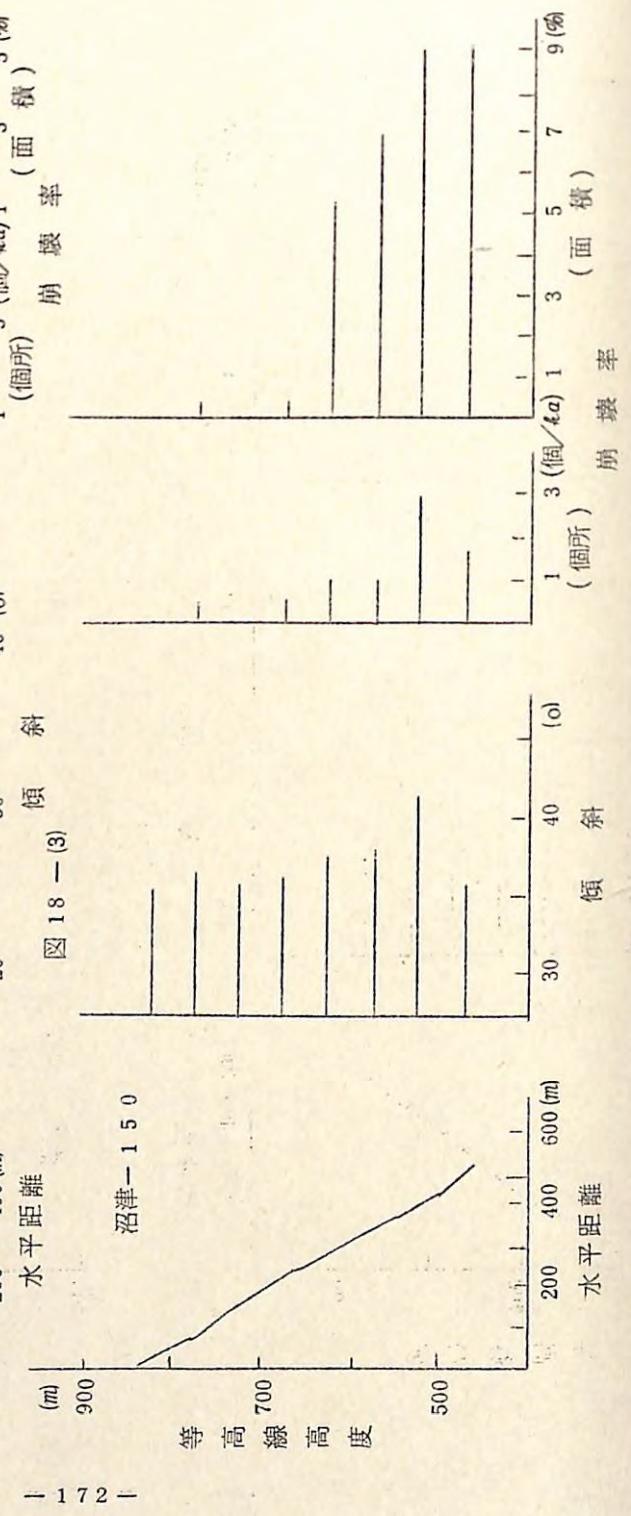


図 18-(5)

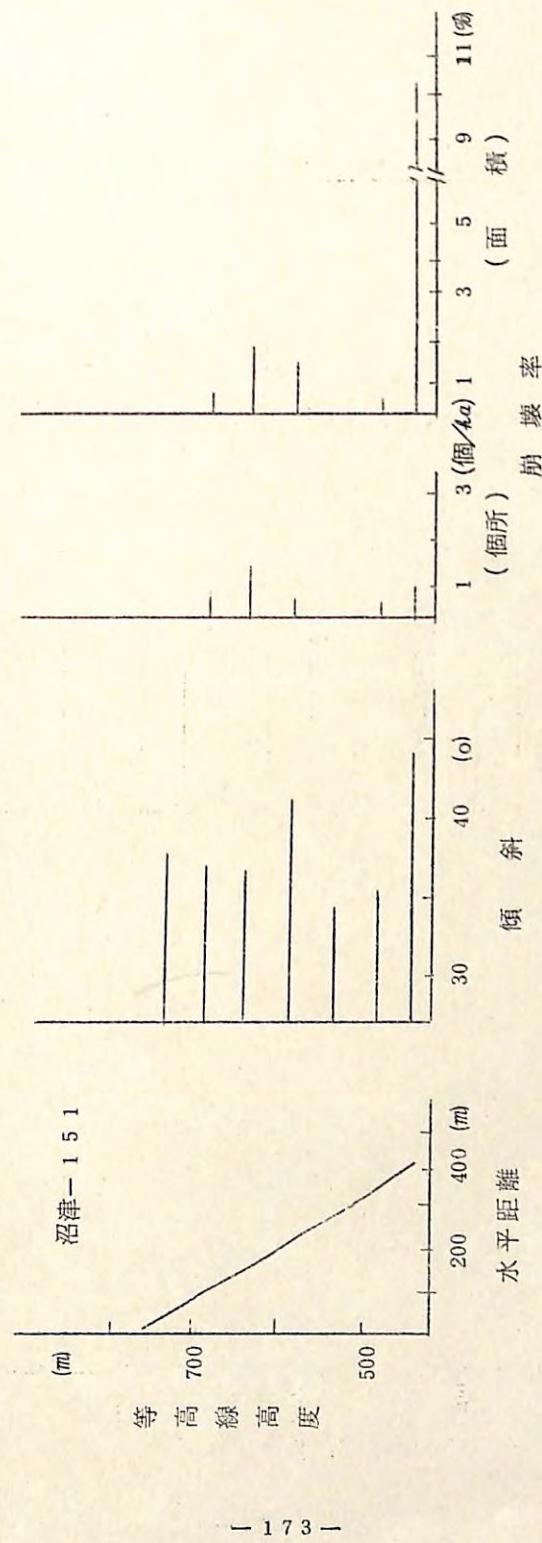


図 18 等高線高度別の傾斜と崩壊率(沼津事業区)

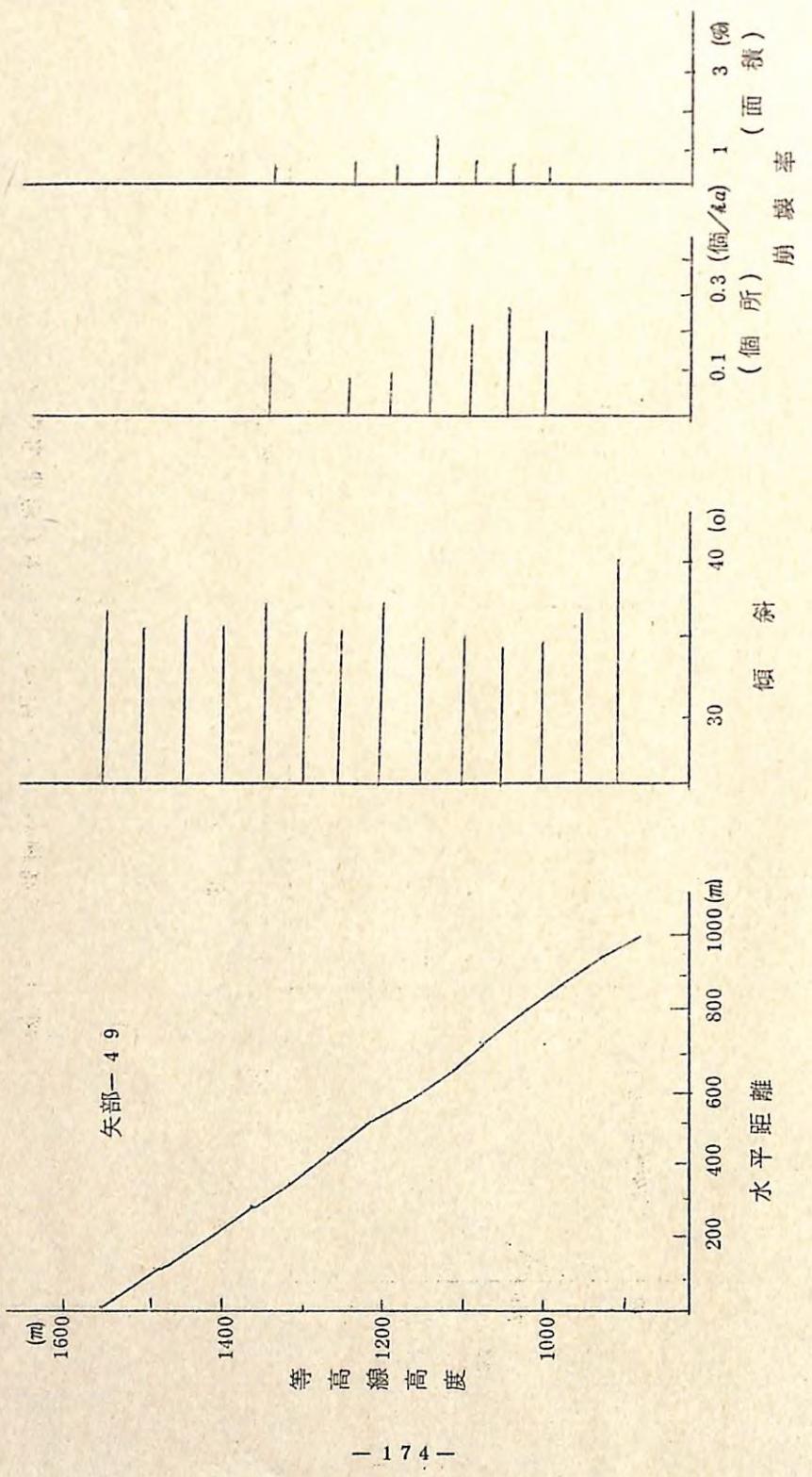


図 19 - (1)

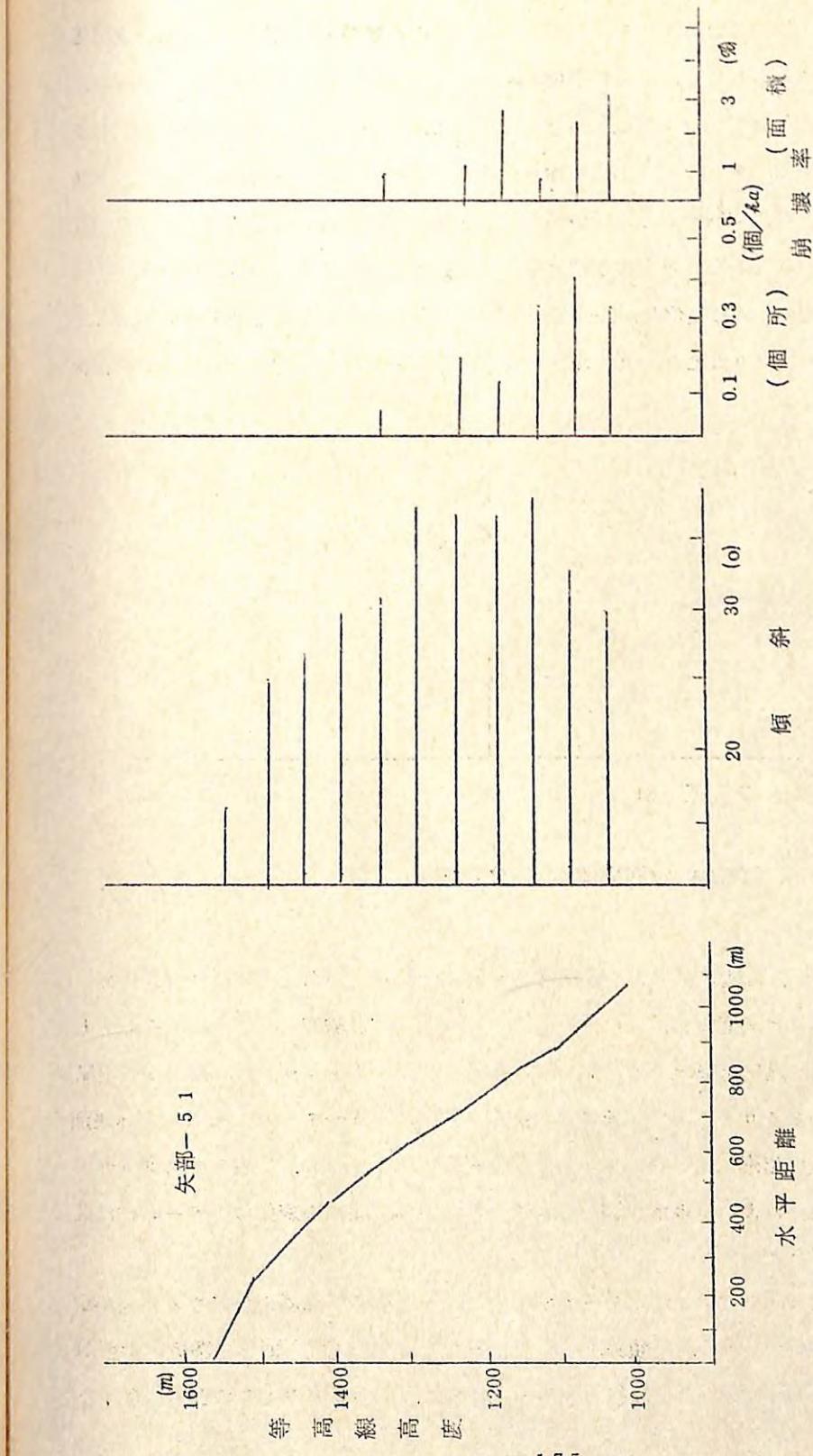


図 19 - (2)

図 19 等高線高度別の傾斜と崩壊率(矢部事業区)

業区), 図19(矢部事業区)のとおりである。図はこの縦断図に対応した傾斜と崩壊個所率, 崩壊面積率を示してある。この縦断図からみられる平均的な傾斜変化のパターンは, 山頂平坦部がある林班では上部の傾斜がとくに緩かで, 谷が深く切れ込んだ林班では谷頭が直接稜線に達する形となって上部が急傾斜となっている。また下部は急傾斜となって溪流に落ち込むものと, 傾斜がとくに緩かになって溪流に達するものとあって, 林班の傾斜は上部, 下部ともこのどちらかの形態を示すものが大部分である。中間部は凹。凸あるいはこれらの複合した形で変化し, 斜面長が短くても上部から下部まで平滑な形態はほとんど見当らない。図20はこのような傾斜の変化のパターンを模式的に示したもので, 大

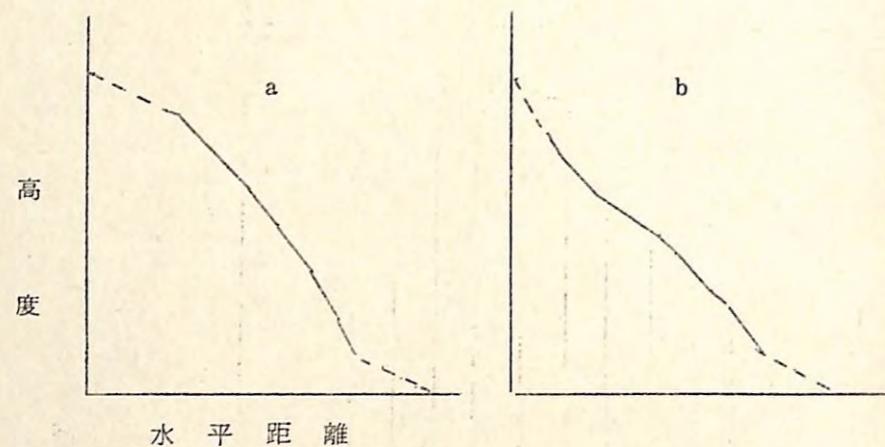


図20 斜面傾斜の縦断模式図

部分の林班はこのa, b両者のどちらかに含まれる。ただし, 上部・下部の破線の部分は上部か下部, あるいは両者が欠けた形態のものもある。本試験によると林班を単位とした場合の高度差は, 風化花崗岩地帯(岡崎事業区)100~200m, 三紀層地帯(沼津事業区)150~350m, 古生層地帯(矢部事業区)500~700mであり, 林班別の平均傾斜は, 風化花崗岩地帯2°~2.8°, 三紀層地帯2.1°~4.0°, 古生層地帯2.9°~3.9°である, 地質によって地形は特徴づけられているが, 傾斜の変化のパターンはほぼ同様な形態を示した。

また, 傾斜と崩壊率の関係は図17~19のとおり等高線間の傾斜が急になると崩壊率が高くなる傾向はうかがえるが, 傾斜が急になると崩壊の発生もこの近辺で多くなる。

る傾向がうかがえる。しかし, 明らかに変換線として規定するのは困難であるが, 幅をもった傾斜変換部で崩壊の危険性が高いことは予想できる。

b. 林相と保全的施業法

林班内の危険度の高い地区(等高線間)を判定した段階で, 保全的施業の必要性は下流の保全対象の重要性と距離および治山施設等の有無によって差異が生ずる。しかし, ここでは一定の崩壊率以上の地区について検討することとし, このような地区が出現した林班は保全的施業の対象になるものとした。

林相の表現法には樹種, 林齢等も使用されるが, 一般に森林の崩壊防止機能は根系の土壤緊縛力と根系による土壤の剪断強さの増加によるものとされている。この根系の強さは, 材質と量(太さ, 長さ)によって決定されるが, 林分材積はこの両者の総合されたものと考えられ, 樹種, 林齢の因子も多分に含まれた要因といえる。とくに林分として山地崩壊に対する抵抗性の強さを示す適切なものと予想して, 本試験では林相を表現する指標とした。

林相(林分材積)と崩壊率の関係は図11~15のとおりで崩壊率には林相が強く影響していることが明らかである。

この結果から抑止を期待する崩壊率に対応した林分材積を求め, 林班内に常にその材積を維持できる施業について検討した。

昭和47年以降国有林では“新たな森林施業”により第1種林地では1伐区の面積が5ha以下, 第2種林地では20ha以下に規制されている。崩壊の危険性がとくに高いと予想される林地は禁伐あるいは主伐見合せなど直接施業の対象からはずされているが, 崩壊の危険度を判定しこれに応じた施業法を検討した例は少ない。また, 皆伐では施業規制は主として伐採面積で対応し形態, 配置は分散, 保残帯などはあるが, 直接崩壊に関連して検討されているものは見られない。

本試験では, 崩壊の危険性が高い地帯(地区)での施業は第1種林地の抾伐(非皆伐)を想定したが, 抾伐(单木, 群状など)は伐区設定のための調査等の経費, あるいは伐採, 集材, 搬出等, 経費と効率の低下など実行上の障害が少なくない。

しかし单木・群状抾伐は保全的施業法の基本形態として今後も検討を重ねる必要がある。

本試験では3-2), 施業指標林調査で述べたとおり, 抾伐の中では施業の効率が割合に高く, 保全的にも効果が認められる等高線帯状抾伐について検討した。この等高線帯状抾伐は大阪営林局が昭和48~49年頃から風致景観の保護, 整備を目的に施業体系を確

立するため、山口営林署、大津営林署で計画実施され、津山営林署施業指標林でも検討されつつある。また、等高線帯状伐採方式は保全的に見ても、林地の侵食、崩壊防止上有効な方式であることが予想できるので、本試験ではとくにこの方式について検討した。

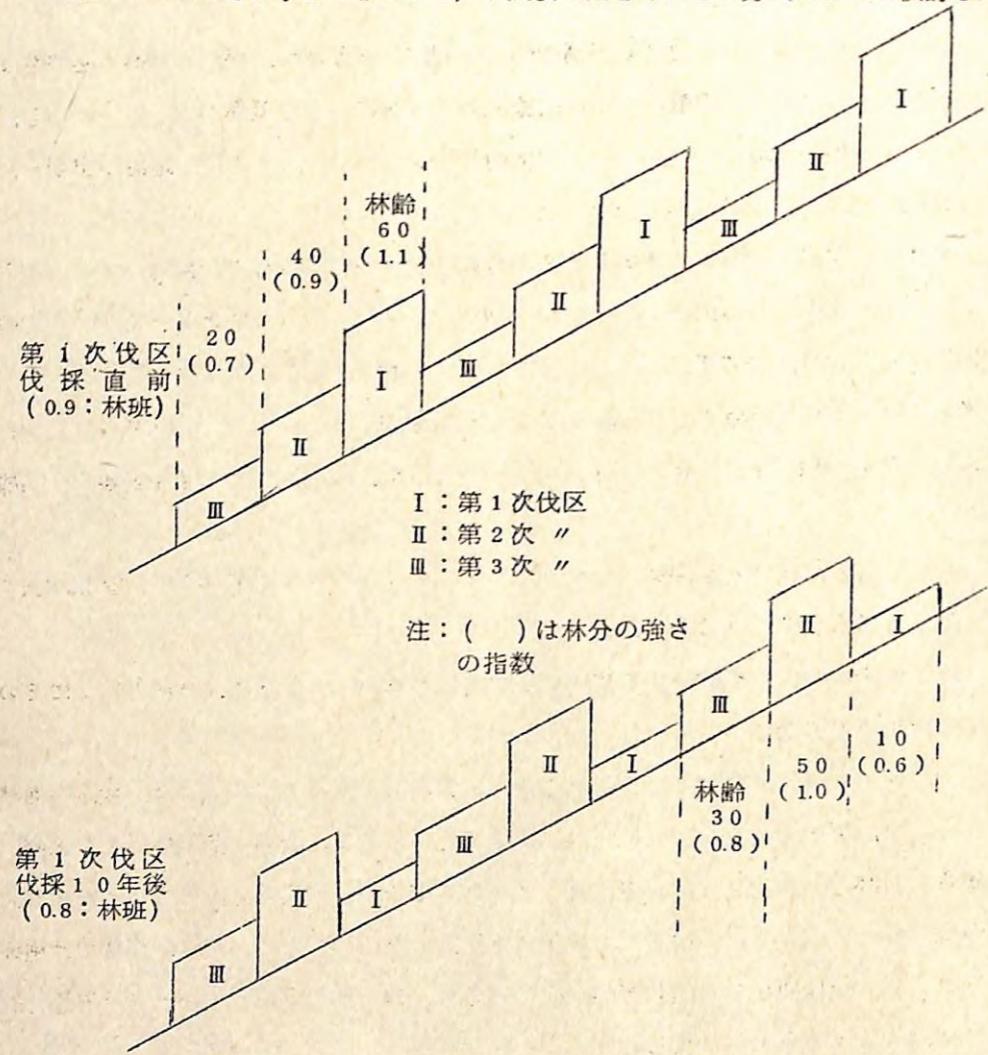


図 21 等高線帯状伐採における縦断模式図

図21は等高線帯状伐の断面図を模式的に示したものである。この場合伐期を60年、20年回帰とした。第1次の伐区が伐期に達した時点では、第2伐区は40年、第3伐区は20年生の林帯が形成されていることになる。林分を伐採し直ちに植栽された林分では

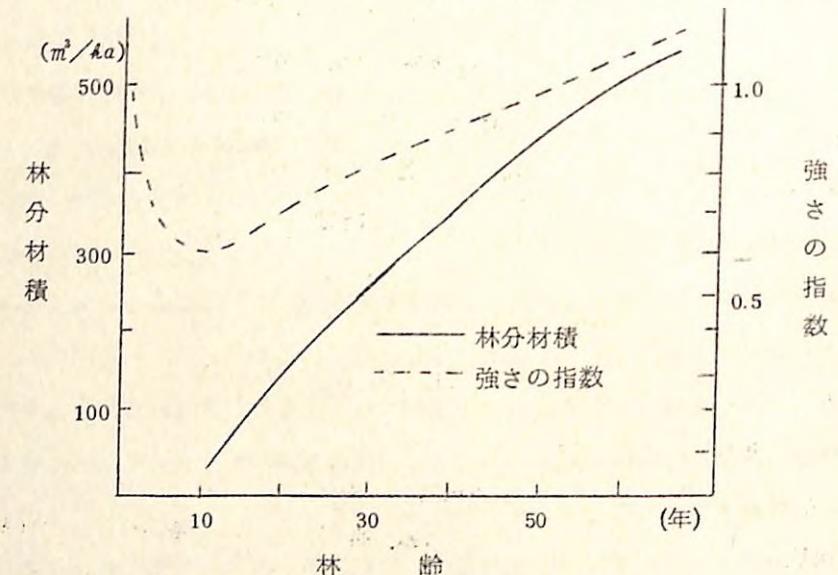
伐採後10年前後に崩壊に対する抵抗力が最も低くなる。50年生林分(スギ)の抵抗力の強さを1.0とした場合伐採後10年では0.6になることが推定されている。図の第1伐区が伐期に達した時の林分全体の強さの指數は約0.9であるが、伐採10年後には第2伐区は50年生、第3伐区は30年生の林帯となるので、全体として強さの指數は0.8となり、伐期60年、20年回帰とした場合林分全体での強さの指數は0.8～0.9を維持できることになる。この強さは50年生林分より僅かながら低い値であるが、全林分を皆伐した場合よりかなり高い値を常に維持できることですぐれているものと考えられる。また、図の第1次伐区が伐採後10年前後を経過した時期には斜面下方の第2次伐区は50年生、斜面上方の第3次伐区は30年生の林帯となっていることから、第1次伐区の崩壊の発生と拡大を抑止する効果が大きいものと予想される。また、等高線帯状伐方式は林齢の異なる林分が、交互に斜面の傾斜方向に對してほぼ直角に形成されるため、林地土壤の侵食防止にも効果があるものと思われる。

保全的施業としての等高線帯状伐採は、伐採形式が原則と考えられるので1伐区の面積は群状伐程度の面積規模が考えられるが、帯状伐採では面積規模より伐採幅を決定するための検討が必要である。

現在実施されつつある等高線帯状伐採は、風致景観保護を目的とするため、伐採帯の幅は、観点から伐採跡地が望見できないことを条件に視線傾斜、林地傾斜、樹高などを因子として、伐採幅(垂直高)を決定している。崩壊防止を目的とした保全的施業での伐採幅は全く別の条件によって決定しなければならない。先ず第一に地形と崩壊地の規模(長さ)が指標となる。地形は林班内の高度差あるいは斜面長が対象となるが、ここでは林班内の高度差から検討した。本試験における事業区別の高度差は、岡崎事業区: 100～200m、沼津事業区: 200～400m、矢部事業区: 600～700m であって、地質別に地形的な差異が明らかである。また、崩壊地調査の資料から事業区別の崩壊地の平均長(水平距離)は、岡崎事業区: 18m、沼津事業区: 25m、矢部事業区: 30m程度であって表7に示した1個所当りの平均面積とともに崩壊地の規模も地質によって特長づけられている地形の影響が大きい。

次に伐採幅の決定には樹帯による崩壊の発生と拡大防止機能が指標となる。風致保全を目的とした場合の伐採幅の決定には明確な計算基礎を数式で示すことができるが、地形の場合とともに森林の崩壊防止機能を指標とする適切な資料はほとんどない。筆者らは林木根系による土壤緊縛力および剪断強さと林分材積に関する研究のなかで、施業によって変

化する林分の崩壊に対する抵抗力の強さ(図22)を推定した。また、林道沿線保護樹帯による土石の流出防止試験で樹帯による流出抑止効果を樹草の密度と林地の傾斜別に流出



注) 材積: スギ地位中の全国平均
強さの指數: 全上50年生林分の強さを1.0とする。

図22 林分材積と強さの指數の関係

状態を調査し、必要な樹帯幅を推定した。その他“林木の根系分布と山地崩壊”に関する調査で根系による崩壊防止機能について検討した資料がある。

以上のような資料をもとに伐採幅について考察をしてみる。伐採方法として図21に示した模式図を例にとると、伐期60年、回帰20年の抾伐方式で伐採すると、第1次～第3次の3回の伐採区が回転して施業が進められる。このような施業を1単位として、林班内に数回繰返されることが有効であるものと予想した。事業区別の崩壊長(水平距離)は岡崎:18m、沼津:25m、矢部:30mである。林班平均高度差と平均傾斜から各事業区の平均繰返し回数を概算すると、それぞれ5・6・10回となる。この伐採幅は崩壊防止と同時に崩壊の拡大防止及び土石の流出防止とも関連するのでこの面からも検討する必要がある。

さきに記した根系による崩壊防止に関する研究では直根、垂下根による剪断強さの増加と林分によって形成される水平根、側根のネットワークが崩壊の発生・拡大防止に効果のあることが認められた。また林道保護樹帯の調査では、林道開設による土石の流出状態は

図23のとおりである。図は地質、林相に関係なくプロットされていて、実線は傾斜を除いたその他の条件が悪い場合の最長流出距離を予想したものである。これによると傾斜25度では約15m、35度では25m前後で、本試験における事業区別の傾斜と崩壊長さの関係に近い傾向が示された。しかし、これは林道開設による捨土であり、豪雨による崩壊とは全く条件を異なる。崩壊の発生・拡大防止、土石の流出防止など施業上の保全対策として安全性を考慮すると、伐採幅は崩壊長を最低とし、その2倍位までの幅の間で設定することが、作業効率の面からも有利であるものと予想した。

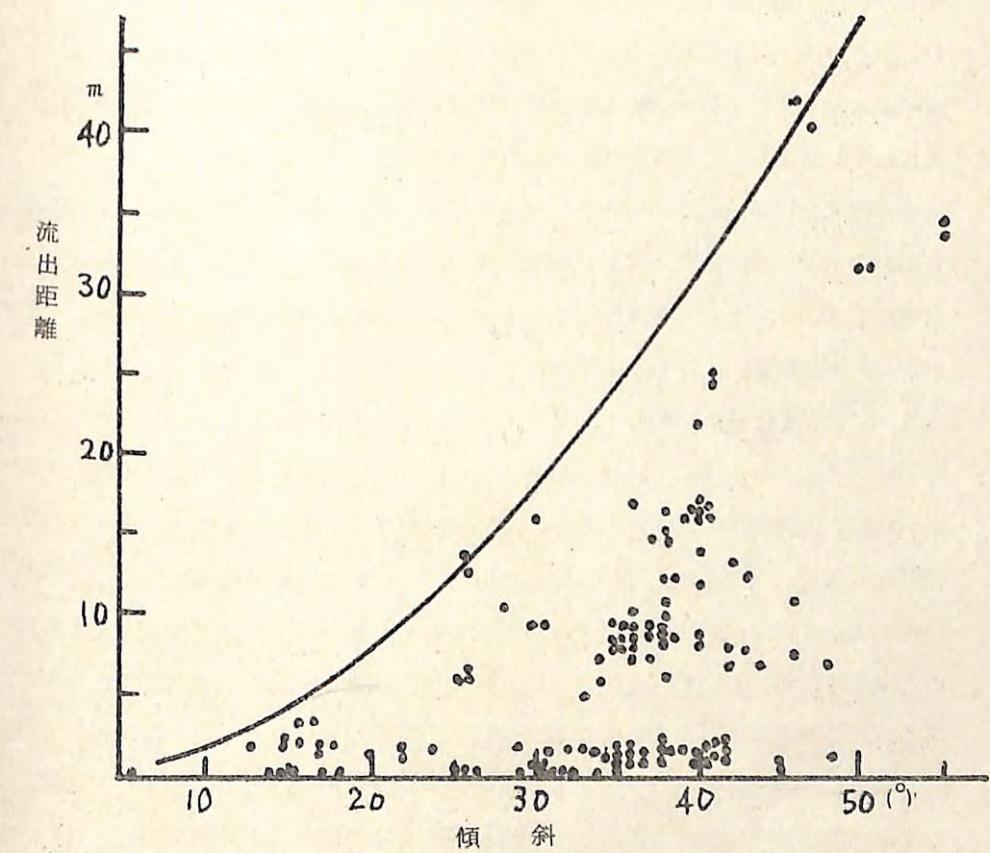


図23 傾斜と土石の流出距離

以上本試験では危険度を地質、地形(傾斜)を指標として予想し、森林の崩壊防止機能は林分材積を指標として、主として崩壊防止を目的とした保全的施業の目標林相を想定した。危険度に関して森林は施業による伐採と、風・雪その他の気象的災害による林木の枯損は根系の腐朽で林地の崩壊防止機能を低下せしめる。このような林相の変化を予想する

と、地質、地形に応じた最高の崩壊率を基準とする必要がある。また、目標林相は林班内の平均林分材積(m^3/ha)を常に維持できる施業を林班を単位に計画することとした。

しかし、崩壊危険地帯の保全的施業は林地および下流の保全対象の重要性とその距離あるいは保全施設の有無などによって、崩壊率をどの程度に抑制するかで施業法に差異が生ずる。また、保全的施業は理想的には単木あるいは群状(伐区面積0.1ha前後)抾伐が基本型と考えられるが、これらの抾伐施業は伐採木、伐区の設定と、伐採跡地の更新保育に関して樹種、品種など施業上考慮を必要とする事項が少なくない。更に伐木、集材、運材等の作業効率の低下も抾伐施業の隘路となっている。等高線帶状伐採はこれら抾伐施業の問題点をある程度緩和することが可能である。しかし、伐採幅と伐区の延長によっては、面積が大きくなり、抾伐というより皆伐施業に近くなるが、林班内で保全上の危険性が増大しなければ、むしろ作業効率の面からは有利になると予想した。

わが国における施業の対象となる林地のほとんどは地質的変化に富み、急斜面の複雑な地形の山地である。また、降雨は前線性あるいは台風などによる集中豪雨型が多く、災害が発生している。かつて林業は国土保全のため高齢の美林を育成し、木材として価値の高い優良な大径木を生産することを理想としていた。すなわち比較的長伐期で管理のよい森林は、国土保全と木材生産の目的を達成する条件を備えていたといえよう。しかし、木材資源に対する需要の増加と、利用構造の変化により長伐期の条件が失なわれ、林業としての保続性と経済性を満足させる標準伐期齢が採用されてきた。さらに、標準年伐採量は成長量を基準とし、生産が施業団のなかで運用される場合の最も適正な伐採量であり、収穫保続に関連する伐採個所を決定する基準ともなる。崩壊危険地帯では伐採量が過大になることは絶対に避けなければならない。むしろ林分材積を一定以上に維持するためには長伐期とし、標準伐採量を少なくする方向が保全的施業のあり方と考えられる。

本試験では等高線帶状伐採を崩壊危険地帯の保全的施業法の1試案として検討した。この施業は国有林内で実績はあるが、目的が風致景観保護であり、崩壊防止を目的とした効果については今後十分な検討を要する。また保全的施業の基本は抾伐であり、抾伐率の配分に関連した規模と配置について等高線帶状伐採では検討する必要がある。

国有林では林地の崩壊と森林施業に関する検討が現場を中心に活発に進められている。また保全的森林施業は国有林經營規定に関する地域施業計画の計画事項、保安林の指定施業要件、保護樹帯の取扱いなど関連する事項を通して、保全的施業を必要とする地域(地区)の特性に応じた施業体系を確立する必要がある。

崩壊危険地帯は施業の規制を受ける第1種林地に多いことは予想できるが、わが国の地質、地形、気象の特性は全林地に崩壊の危険性を常に包含しているものと考えても差支えない。したがって施業上の規制を受けない地域にあっても崩壊の危険性を考慮した保全的施業が望まれる。

2) 保護樹帯の設置

国有林における“新たな森林施業”的実施により、各営林局は保護樹帯の設置に関する基準を設けて積極的に整備拡充が進められている。しかし現在進められている保護樹帯は林地の諸被害に対する保護、溪流への土石の流入防止と溪岸の崩壊防止ならびに道路の保護、景観維持などを目的として設置されるもので、山腹全体の崩壊防止を目的としたものは少ない。崩壊防止保護樹帯の設置には山腹の危険地区を判定しなければならない。本試験では4-1)保全的施業法で述べたとおり等高線間の傾斜から林班内の危険地区を予想した。

崩壊の危険性は傾斜が強くなると高くなるが、急傾斜部を含む上下の斜面でも崩壊率が高くなる傾向がみられた。本試験ではこの部分を傾斜変換部と予想した。一般に傾斜変換部は崩壊の発生が多いとされ、上部が緩で下部が急な場合を想定しているが、本試験では反対の場合もあることが予想できた。このような傾斜変換部が明らかな地区は保全的施業の対象となるが、さらに傾斜が急になり崩壊の危険性が高く、更新も困難であると予想され、等高線帶状伐採あるいは群状抾伐でも対応ができないような地区は、保護樹帯とし点状単木抾伐施業によらざるを得ないと判断した。

現在設置されている保護樹帯の場所は尾根、溪流沿い、林道沿いなど場所の設定は容易であるが、崩壊防止を目的とした場合は傾斜変換線を含む斜面傾斜の変化を把握する必要がある。また現在は樹帯幅は30~50mとほとんど一率に規定されているが、場所とも関連して等高線帶状伐採の伐採帯の幅の決定に準じ、地質、地形等の要因によって決定することが必要であろう。また林相は広葉樹を主体とし、施業方法は点状単木抾伐を基本とするが、林分材積は林帯幅と同様に地質、地形など地域によって維持すべき材積を推定する必要がある。

保護樹帯の設置に関しては各営林局で“保護樹帯の設置(設定)基準”により目的別に場所、幅員、施業上の取扱いなどの指針が示されているが、大部分は気象害からの林地保護、溪流・林道沿いあるいは風致景観保護などの目的で設置されている。また崩壊防止のための保護樹帯設置についての検討も進められているが、崩壊の危険性の高い地帯では設置基準のなかに場所、配置、幅など具体的条件の設定が望まれる。

V 今後の問題点

わが国は地質、地形、気象などの要因から山地崩壊の危険性は高いが、崩壊の発生は集中地区においても面積率にして数多くすぎず、崩壊危険地帯として保全的施業を必要とする地区も限られた面積である。したがって保全的施業を必要とする地区的設定に関しては、林地および下流の保全対象の重要性と距離、保全施設の有無と量などによって崩壊率をどの程度に抑制するかを考慮する必要がある。

その上で地域施業計画の区分の範囲で危険度の指標となる傾斜と、防止機能の指標となる林分材積の基準を明らかにする必要がある。また保護樹帯の設置についても同様の手法で基準の設定が望まれる。

本試験では等高線帯状伐採を保全的森林施業法の1試案としてとり上げたが、現在実施されている風致景観保護のための等高線帯状伐採施業が崩壊防止に及ぼす影響を追及する必要がある。

なお水、雪、風など気象条件に対する効果と被害についても今後検討する必要がある。

参考文献

1. 難波宣土ほか：林木の根系分布と山地崩壊 林野庁研修教材 1974.5
2. 難波宣土ほか：保護樹帯による土砂の流出抑止と安定法 昭和50年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績書 林業試験場 1976.11
3. 大阪営林局技術開発委員会：技術開発報告書 昭和50年度 №7
4. 大阪営林局：技術開発報告書 昭和51年度 №8
5. 林野庁：昭和52年度国有林野事業統計書（昭和51年度）第29次 1977.11
6. 熊本営林局計画課：宮崎南部地域施業計画区（第3次地域施業計画）現地検討資料 昭和53年度 1978.9
7. 橋本 強：崩壊防止のための森林施業 治山林道研究会九州地区第15回研究発表会 1978.11
8. 大阪営林局：技術開発報告書 昭和52年度 №9
9. 北村嘉一ほか：抜根試験を通して推定される林木根系の崩壊防止機能（未発表）
10. 田中茂ほか：山くずれと地質・地形構造の関連性に関する研究 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果 1977.2
11. 水利科学研究所：森林施業と防災機能に関する基礎調査報告書（熊本営林局・多良木営林署） 1970.2

急斜法面における緑化工法

急斜法面における緑化工法(116・6)

I 試験担当者

防災部治山科治山第2研究室 岩川幹夫
" " 原敏男

II 試験目的

近年の緑化工は機械力主体の播種緑化工が主となっているが、林道開設に伴う切取り法面やその他人工裸地では、表土の欠乏した急斜基盤となるところが多く、従来の施工にみられる軽質な緑化材料とともに行われる散布播種工による一次施工だけでは、緑化不良や裸地化に至るところも少くない。また法面に導入された外来緑化工用植物が、周辺植生に及ぼす影響の有無も問題とされている。このため、林道切土法面等を主とする急斜瘠薄基盤における恒続的な緑化形成方法について新たな技術指針を求めるとともに、施工地周辺における導入緑化工用植物の実態についても明らかにする。

なお、法面の滑落、崩壊によって裸地化を生じているところは、法面造成の設計に基本的な問題を含む場合が少くないとみられるが、この研究では一応これとは区別し、瘠薄な法面基盤に起因するとみられる施工初期からの緑化不成績や、経年的な衰退を来しているとみられる法面を対象とし、主として植物の生育促進の面から緑化回復、緑化改善のための技術指針をもとめる。

III 試験の経過と得られた成果

1. 研究経過の概要

林道法面における緑化不成績地および不成績要因の実態を把握するため、全国各営林署管内における緑化不成績林道について、立地条件、施工条件等に関する照会資料をもとめた(昭和52年度)。また、照会資料における主な現地について、緑化形成および導入植物の周辺植生に及ぼす影響等に関する実態調査を行って緑化困難要因について検討を行った(昭和52年~54年度)。

なお、緑化不成績地における、植生の回復、繁茂促進方法を明らかにするため一部の現地に試験プロットを設けて検討した(昭和53~54年度)。

2. 緑化不成績要因の実態

表 - 1 - a 緑化不成

局名	署名	林道名	林道長	地質・基岩	節理	土質
旭川	朝日	甲一線	2.5 km	ローム	—	粘性土
	美瑛	水楽右沢	4.3	ローム	—	礫土
北見	滝上	矢口沢	1.8	粘板岩	斜走	礫土
	丸瀬布	武利本流山彦線	4.3	溶結凝灰岩		礫土
留辺蘗	富士見	5.7	北見富士層	破碎大	礫土, 軟岩	
	共栄	4.2	安山岩		粘性土	
置戸	知床	24.4	安山岩	斜走	軟岩	
	シートカチ	9.8	粘板岩	流盤(大)	礫土	
斜里	ユートムラウシ	24.1	凝灰岩	流盤(大)	粘性土	
	ヌブントムラウシ	16.8	溶結凝灰岩	流盤(大)	礫交り軟岩	
新得	シートカチ	9.8	粘板岩	流盤(大)	礫土	
	不二川迂回	4.3	ローム	—	粘性土	
上士幌	糠平川迂回	21.5	ローム	—	粘性土	
	(熊追)岩見沢	熊追沢	3.4	古生層(頁岩)	斜走	軟岩, 粘性土
札幌	岩見沢	桂沢	7.9	古生層(頁岩)	斜走	軟岩, 粘性土
	芦谷地沢	4.9	古生層(頁岩)	斜走	軟岩, 粘性土	
白老	竹浦	7.4	ローム	—	軟岩, 矶土	
	東の沢	36.4	チャート	斜走	軟岩, 岩石	
函館	内小川大滝ノ沢	1.1	第3紀	破碎	岩石, 矶岩	
	東瀬棚	小川鎌口ノ沢	3.7	花崗岩	—	マサ土
森	釜別	9.8	安山岩	柱状斜走	砂壤土	
	木古内	亀川桂ノ沢	1.1	古生層	破碎	粘性土
函館	湯ノ沢	12.2	第3紀	流盤	軟岩	

續法面の実態(立地状況)

法面傾斜	法面長	法面方位	標高	年平均気温	平均最低気温	年降水量	積雪深
51°	3 m	W-E	780 m	6.4°	-8.1°	2040 mm	2.1 m
51	7	N-E	960	5.2	-0.4	883	1.9
45	8	W	800	6.8	-1.6	604	0.7
45	9	S	405	5.5	-1.4	781	1.6
45~52	7	NNW	500	4.4	-3.1	800	1.6
40	7	S85W	510	6.5	-2.7	568	0.3
63	20~30	W	150	-	-	-	1.5~2.0
45	8	SW	740	3.0	-0.5	800	2.5
45	12	E	730	3.0	-0.5	800	2.0
45	15	S	380	5.0	-0.5	700	1.5
45	10	N	960	5.8	0.1	977	2.5
45	4	E	840	5.8	0.1	977	2.0
51~59	3~15	SE, E, NE	200	7.5	-2.2	1200	2.0
45~73	5~12	ES, N, SE	200~280	7.5	-6.7	1200	2.0
51~59	3~15	NE, E, SE	220~280	7.5	-6.7	1200	2.0
42~50	6~12	NE, S, E	120~340	8.0	3.0	1800	0.6~1.5
45	20~40	E	180	2.0	-6.0	1041	0.7
50	9	NW	200	8.9	5.0	1800	2.0
45	8	NW	300	7.6	3.4	1050	2.0
48	9	S	280	8.6	2.7	853	1.8
51	7	NE	200	5.3	3.2	883	1.8
89	25	SE	80	9.1	4.8	781	1.3

表 - 1 - b 緑化不成績

局名	署名	林道名	林道長	地質・基岩	節理	土質
青森	青森	喜瀬子内	9.7 km	凝灰岩	流盤, 破碎大	礫土
	黒石	雷山	8.6	石英安山岩	流盤	砂土
	三本木	養老沢	10.2	凝灰岩(シラス)	斜走	砂土, 軟岩
	川井	薬師川	11.9	古生層	流盤	粘性土
	白石	高千森	10.5	花崗岩	斜走	軟岩
	早口	岩瀬	19.7	ローム	一	礫土
	能代	檜山	15.0	頁岩	破碎大	軟盤
	和田	河北	28.0	花崗岩	破碎大	軟盤
	生保内	柳沢	3.3	シルト質ローム	流盤	砂土
	向町	大森山	4.8	花崗岩	流盤	粘性土
秋田	平戸	戸渡	4.3	花崗岩	流盤	軟盤(マサ土)
	喜多方	極入	1.0	古生層	流盤	粘性土
	矢板	西荒川	1.3	ローム	流盤	砂土
	前橋	滑川	5.8	ローム	流盤	礫土
	六日町	小松原	14.7	ローム	斜走	粘性土
東京	戸鳥居	鳥居土	1.9	古生, 古紀層	破碎大	礫土
	平塚	富士見	7.8	関東ローム	風化	軟岩
	静岡	西白塚	2.9	火山砂礫層	斜走	砂土(一部粘性土)
	千頭	南赤石	3.36	砂岩	受盤	土砂, 軟盤
	水窪	戸中山	8.4	古生層, 粘板岩, 砂岩	破碎大	砂壤土
長野	長野	鳥居川	6.3	ローム	一	粘性土
	駒ヶ根	青木	9.2	古生層	破碎大	砂土
	奈良井	賛川	5.5	古生層	破碎大	軟岩
	上松運輸	御岳	21.0	花崗岩	破碎大	粘土
	三殿	赤ナギ	3.0	花崗岩	破碎大	砂土

法面の実態(立地状況)

法面傾斜	法面長	法面方位	標高	年平均気温	平均最低気温	年降水量	積雪深
60°	18m	N	200m	9.0 °	4.0 °	1450mm	36m
59	10	N	650	6.0	2.0	1260	2.5
60	16	NW	520	10.0	3.0	1400	4.0
50	18	N	580	8.0	4.0	1181	0.5
30	12	W	820	9.0	4.0	1810	2.3
53~55	15	N	500~520	7.0	4.9	1900	3.0
42	15	S	40	10.0	5.5	1830	1.3
60	10	S	620	7.0	2.8	2024	3.0
51	9	E	810	9.0	3.7	2545	1.6
60	13	W	340	11.8	5.7	1421	15.6
50	8	N	600	12.0	8.3	1250	0.4
50	10	S	500	12.0	6.3	2000	2.5
51	8	N	560	14.0	7.1	2500	0.8
45~50	12	S	900	12.0	9.2	1755	0.8
55	8	SE	1060	10.0	6.6	1014	6.0
60	13	W	340	12.2	8.0	1595	0.3
50~60	10	N	880	9.9	6.7	2430	0.3
59	7	S	1200	10.2	5.6	2000	0.3
60	15	E	1300	10.0	-1.2	3500	1.2
50	10	N	780	11.0	9.0	3329	0.5
50	8	NW	1100	11.8	8.0	1499	1.5
50	12	NW	1800	11.0	5.4	1949	0.8
70	12	E	1250	10.2	4.7	2046	1.0
55	8	W	1600	9.5	4.2	2342	2.0
50	6	NE	1200	10.6	6.6	2840	0.8

表 - 1 - c 緑化不成績

法面の実態(立地状況)

局名	署名	林道名	林道長	地質・基岩	節理	土	質	法面傾斜	法面長	法面方位	標高	年平均気温	平均最低気温	年降水量	積雪深
名古屋	神岡	切雲	10.9 km	花崗岩深層風化	風化	硬土	土	50°	10m	E	1000m	80°	-67°	1950mm	25m
	久々野	黒川	1.7	濃飛流紋岩	流盤破碎大	軟岩, 碎土		70	8	W	1000	92	39	1981	1.2
	下呂	御既野	7.3	濃飛流紋岩	流盤破碎大	ボドゾル		48	7	NE	1440	11.1	2.2	3442	0.9
	中津川	恵那山	19.5	花崗岩	花崗岩風化	砂土		60	10	SW	920			2783	0.3
	莊川	いわの谷	1.4	手取層砂岩	砂岩	粘性土		40	6	SW	920	95	4.0	2550	2.5
	敦賀	黒河幹線	10.0	花崗岩	斜走	砂土軟盤		50~70	7	N	500	12.0	3.0	3000	2.0
	尾鷲	大台	3.90	中生層砂岩頁岩互岩	破碎大	軟岩		60~70	6~7	NW	1100	5.0	5.0	4000~6000	0.5
	山崎	カンカケ	10.1	花崗岩	流盤	砂土軟盤		60	8	S	800	11.0	2.0	2000	0.2
	山倉吉	山口奥	1.5	安山岩	流盤	砂土		51~59	18	N	500	14.0	1.0	1500	2.0
	鳥取	東因幡	18.6	安山岩	斜走破碎	粘性土, 軟盤		60~70	8	SW	900	7.0	4.9	2200	2.5
高知	西条	木地奥	13.7	花崗岩	破碎	砂土	岩	51~59	6	N	800	13.0	10.0	3200	0.3
	松山	小田溪山南岸線	1.7	古生層緑凝灰岩	受盤	粘性土		59	6	NE	750	12.0	14.0	2040	0.8
	高知	瓶ヶ森	26.5	三波川層綠色片岩	受盤	粘性土		59	8	SW	1450	5.0	20.0	3000	2.0
	安芸	加勝	11.2	中生層頁岩	破碎	軟盤		60~70	5~15	NW	650	20.0	5.0	3960	0.02
	奈半利	野川	18.4	中生層砂岩頁岩	受盤	軟盤		71	8	W	800	20.0	5.0	3500	0.03
熊本	福岡	猪野	0.4	古生層	破碎大	粘性土硬岩	岩	30~35	8	N	500	16.0	10.9	2100	0.01
	八代	大通越	0.6	頁岩, 安山岩	破碎大	粘性土硬岩		27~35	5	N	900	19.1	10.2	2129	0.8
	中小津	寒田	0.4	安山岩	崖錐	礫土硬岩		17~35	4	NWSE	600	12.4	5.4	2660	0.7
	林	白髪岳	0.7	頁岩	斜走	礫土硬岩		20~35	6	N	700	15.0	0.3	2766	0.8
	水出	東平	1.1	頁岩	斜走	粘性土硬岩		27~35	6	W	600	17.0	0.4	2300	0.1

表 - 1 - d 緑化不成績法面の実態

(植被状況ならびに緑化困難要因)

林道名	緑化施工年度	緑化工種	主な導入植物	緑化衰退時期
甲一線	48	吹付(酸度5.2)		1年後
水楽右沢	47, 50	" (酸度5.4)	ハンノキ, カンパ, トド, ヤナギ	1年後
矢口沢	50, 51	" (ファイバー)	K31F, W.C, Tim.	2年後
武利本流山彦線	51	" (")	K31F, W.C.	10カ月
富士見		" (")	K31F, W.C.	3年
共栄	50	" (")	K31F.	2年
知床	45	" (")	K31F.	2年
ユートムラウシ	48	" (")	K31F, W.C, Tim.	2年
ヌブントムラウシ	49	" (")	K31F, W.C, Tim, ヨモギ	2年
シートカチ	49	" (")	K31F, W.C, Tim, ヨモギ	1年
不二川迂回	49	" (")	K31F, W.C, Tim.	3年
糠平川迂回	49	" (")	K31F, W.C, Tim.	3年
熊追沢	49~51	"	K31F, K.B.G.	2~4年
桂沢	46~50	"	K31F, K.B.G.	3~7年
芦谷地沢	49~51	両切個所	K31F, K.B.G.	4年 3年 2年
竹浦	49~50	"	W.C, Tim.	2年 3年 4年 3年 2年
東の沢	48~50	"	W.C, K31F.	3年 4年 3年 2年
小川大滝ノ沢	47	" 翌年補植	K31F, C.R.F.	5年
小川笹口ノ沢	51	" 翌年追肥	K31F, C.R.F, W.C.	1年
釜別	49	" "	K31F, C.R.F.	3年
亀川桂ノ沢	51	" "	W.C, K31F, C.R.F.	1年
湯ノ沢	47	" "	K31F, C.R.F.	5年

程度	法面崩壊の原因	緑化困難要因
5%		硬質土で滑落
5%		硬質土, コケ覆わる
50%		礫土法表面移動(降雨, 強風時)
30%		乾燥と岩石土
50%	凍上	凍上による法面崩落
40%		凍上, 霜柱, 涌水
30%	凍上, 霜柱	強酸性潮風乾燥
70%		火山灰, 乾燥
80%		酸性土, 乾燥
40%		砂礫土, 乾燥
70%		粘性土, ある程度植被されると湧水ですべる
60%		酸性土, 乾燥, 活着悪, 痿悪
100~80%	基岩風化, 涌水	風化崩落, 痿悪
90~20%	基岩風化	基盤の風化乾燥積雪の移動
80%	風化	風化, 涌水
100%		
100%		
60~80%		
60%		
70~80%		
10%		
90%		
80%	急斜風化	凍上, 崩壊, 降雨
20%	"	凍上, 崩壊, 降雨
30%	"	凍上, 崩壊, 降雨
40%	"	凍上, 崩壊, 降雨
60%	"	凍上, 崩壊, 降雨

表-1-e 緑化不成功法面の実態

(植被状況ならびに緑化困難要因)

林道名	緑化施工年度	緑化工種	主な導入植物	緑化衰退時期	程度	法面崩壊の原因	緑化困難要因
喜瀬子内	49	吹付	K31F, C.R.F.	50年春壊滅		凍上	崩壊N斜面
雷山	51	"	K31F, C.R.F.	51年春	40%	降雨	
養老沢	50	"	K31F, C.R.F.	50年発芽なし			乾燥
薬師川	50	"	K31F, C.R.F.	51年春	80%	凍上融雪水	
高千森	49	"	K31F, C.R.F.	3年	80%	雪の移動	酸種子不適
岩瀬	50	"	K31F, W.L.G, W.C.	2年	60%		凍上霜柱, 積雪
檜山	38	被覆工法	K31F, W.C, C.R.F.	5年	40%		乾燥, 凍上霜柱, 積雪の移動
河北	49	種子吹付	K31F, W.C, C.R.F.	3年 2年	90% 50%	凍上霜柱	表土なし, 凍上, 霜柱, 融雪
柳沢	49	"	K31F, W.C, C.R.F.	3年	80%	霜柱	不安定基盤, 積雪移動, 霜柱
大森山	47	"	W.L.G, W.C, R.T.	2年	40%		重結土, 雪の移動, 崩壊
戸渡	49	" 1年目追肥	K31F, C.R.F.	3年	50%		風化, 乾燥
極入	51	"	外来, 在来草	3年	50%		融雪水
西荒川	50	"	W.L.G, W.C, ヨモギ	2年	60%		ペントナイト, 痢惡, 凍上
滑川	47	" 2年目追肥	K31F	3年	80%		湧水, 凍上, 崩落, 霜柱
小松原	49	"	K31F	2年	80%		粘土, 積雪移動, 崩壊
鳥居土	45	"	K31F, W.L.G, C.R.F.	1年			急峻, 碓土, 凍上, 霜柱
富士見	49	" 51年度1回 オーガニック	K31F	2年	70%		凍上, 霜柱, 風化
西白塚	51	" オーガニック	K31F	1年	70%		凍上, 霜柱, 積雪移動, 粘性土で滑落
南赤石	46	" "	K31F	5年	60%		凍上, 霜柱, 高標高
戸中山	46	" 5年目1回追肥	K31F, ヨモギ	3年	30%		浮土砂, 凍結, 北斜面
鳥居川	49	" 3年目1回"	K31F他ヨモギ, イタドリ, ヤマハギ	3年			粘性土, 雪崩, 滑落
青木	50	" 2年目	"	2年	50%		破碎岩, 凍上
贊川	49	" 每年1回 (植栽工)	ヤマハギ, ニセアカシア, ハンノキ	3年	20%		破碎岩, 凍上, 雪崩, 湧水
御岳	50	"	K31F他 ヨモギ, イタドリ, ヤマハギ	2年	50%		破碎岩, 凍上, 霜柱
赤ナギ	47	" 每年1回追肥	"	2年	50%		風化岩, 凍上, 霜柱

表-1-f 緑化不成績法面の実態(植

被状況と緑化困難要因)

林道名	緑化施工年度	緑化工種	主な導入植物
切雲	49	種子吹付	K.31F, C.R.F., K.B.G., W.C., ヨモギ
黒川	50	〃 1年目1回	K.31F, C.R.F., K.B.G., W.C., R.T.
御厩野	38	〃 5年目年2回	K.31F, W.L.G., W.C., ヨモギ
恵那山	42	〃 追肥2~3年	C.R.F., R.T., K.31F, イタドリ, ヨモギ
いわの谷	50	〃	K.31F, W.C., ヨモギ
黒河幹線	46, 47, 50	〃	R.T., K.31F.
大台	47	〃	K.31F, W.C., メドハギ, ヨモギ, カヤ
カンカケ	49	〃 追肥2年目1回	W.L.G., K.31F, W.C., ヨモギ
山口奥	49~51	〃 拡壁	K.31F, W.C.
東因幡	49	〃	K.31F, W.L.G.
木地奥	51	種子吹付 本州グリーンファイバー	K.31F, R.C., ヨモギ, イタドリ
小田溪山南岸線	50	種子吹付	K.31F, R.T., Tim., ヨモギ
瓶ヶ森	48	〃	R.T., W.C., Tim.
加勝	49	〃	K.31F, R.C., R.T., ヨモギ
野川	49	〃	K.31F, R.C., R.T., ヨモギ
猪野	51	〃	K.31F, K.B.G., W.C., C.R.F.
大通越	51	〃	K.31F, K.B.G., W.C., C.R.F.
寒田	51	〃	K.31F, K.B.G., W.C., C.R.F.
白髪岳	51	〃	K.31F, K.B.G., W.C., C.R.F.
東平	51	〃	K.31F, K.B.G., W.C., C.R.F.

緑化衰退時期	程度	法面崩壊の原因	緑化困難要因
2年(50年)			凍上霜柱(深層風化)翌春崩落
2年	40%	法面勾配不足	破碎岩盤 霜柱
3年	80%		破碎岩盤, 凍上霜柱 1~2年でほとんど落ちる
2年	70%		凍上風化(深層風化による崩落)
2年	75%		法面基礎不安定崩落
2~3年	80%	凍上霜柱	凍上積雪, 法面勾配急地質崩落
3年	30~40%	凍結霜柱	高標高, 地質凍上法面急崩落
2~3年	90%	"	地質, 凍上積雪法面急崩落
2~3年	90%	"	"
2~3年	80%	"	"
欠落		凍上 多雨	風化ヤセ地, ハクリ(花崗岩)
3年	90%	凍上	ヤセ地寒冷, 法面勾配急
3年	80%	凍上	ヤセ地寒冷, 法面勾配急
3年	40%	凍上	ヤセ地 法面勾配急
3年	60%	湧水	ヤセ地 基礎工不備
2~3年			地質不安定地盤, 粘性土, 強酸, 霜柱, 積雪, 乾燥, 表層流失
2~3年			"

全国各営林局管内から数箇所ずつ抽出された緑化不成績林道に関する回答資料によって立地条件、施工条件および緑化不成績に関連すると考えられる要因等についてまとめてみると表-1 a~f のようである。

近年、林道網の整備が進展するとともに、切取り法面における緑化対策も積極的に行われるようになつたが、表-1 によって、調査対象法面について緑化工施工年度別にまとめてみると表-2 のようである。なお、緑化工種は、ほとんど吹付播種工が行われている。

表-2 緑化工施工年度箇所数

施工年	38	42	45	46	47	48	49	50	51	計
箇所数	2	1	2	4	9	5	26	20	17	86
割合(%)	2.3	1.2	2.3	4.7	10.5	5.8	30.2	23.3	19.8	100

また、導入植物の種類ごとの活用状況をみると表-3 のようである。外来の緑化工用草のなかではケンタッキー31フェスク (K31 F.)、ホワイトクローバー (W.C.)、クリーピングレッドフェスク (C.R.F.)などが多く、在来草ではヨモギが普遍的に活用されている。木本類ではヤマハギが多く活用されている。

次に、対象法面における立地条件に関連した要因ごとにまとめてみると次のようである。すなわち法面の傾斜角別箇所数(林道数)をみると表-4 のようであ

表-3 導入植物の種類別活用状況

樹草種名	出現箇所数	調査箇所数に対する割合(%)
ケンタッキー31フェスク	60	89.6
ホワイトクローバー	35	52.2
クリーピングレッドフェスク	30	44.8
チモシー	13	19.4
ケンタッキーブルーグラス	12	17.9
レッドトップ	10	14.9
ウイーピングラブグラス	8	11.9
レッドクローバー	2	3.0
ヨモギ	23	34.3
イタドリ	7	10.3
ススキ	2	3.0
メドハギ	1	1.5
ヤマハギ	5	7.5
ニセアカシア	1	1.5
ハンノキ	1	1.5

表-4 法面の傾斜箇所数

傾斜角(度)	~25	~30	~35	~40	~45	~50	~55	~60	~65	~70~	計
箇所数	6	6	5	5	12	26	10	22	6	9	107
割合(%)	5.6	5.6	4.7	4.7	11.2	24.3	9.3	20.6	5.6	8.4	100

表-5 法面の方位別緑化不成績の状況

方位	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	計
箇所数	6	16	6	9	2	9	7	10	65
割合(%)	9.2	24.6	9.2	13.8	3.1	13.8	10.8	15.5	100

表-6 地質別緑化不成績の状況

地質	古 (貞 岩 生 ・ 粘 板 層 岩)	花 崗 岩 類	ロ ー ム 層	安 山 岩	凝 灰 岩	砂 岩	火 山 砂 礫	流 絞 岩	そ の 他	計
箇所数	20	12	11	7	5	4	2	2	2	65
割合(%)	30.8	18.4	16.9	10.7	7.7	6.2	3.1	3.1	3.1	100

表-7 土質別緑化不成績の状況

土質	粘 性 土	砂 質 土	硬 軟 岩	礫 質 土	そ の 他	計
箇所数	28	20	12	11	1	67
割合(%)	34.3	30.0	17.9	16.4	1.4	100

る。切土法面のなかでも 80% は 45 度以上の急斜法面に含まれている。

また、法面方位別箇所数をみると表-5 のようである。方位は林道ごとに一括して表わされていることもある、とくに明らかな傾向はうかがわれない。

切取法面では基盤の地質・岩質が植物の生育に強く影響するものとみられるが、全国各當林局ごとに数箇所ずつとりあげられた資料によって法面の地質基岩等の別にみると表-6 のようである。これをみると、古生層の砂岩・頁岩・粘板岩などのほか、安山岩類その他の硬岩、軟岩の基盤斜面が 50% いどをしめ、風化花崗岩や砂岩あるいは火山砂礫などによる比較的粗しうな風化表土を生じやすいとみられる法面が 25% 前後である。また表層地質のローム質の基盤を生ずるところも 10 数% 以上とみられ、緑化不成績を来す対象のり面地質としてはかなり多い割合となっている。

また、基盤と関連して、基盤表面にみられる土質別の状況をみると表-7 のようである。これによると粘性土あるいは礫まじりの粘性土とみられるところが 35% ないし 50% いど、マサ土そのほかの砂質の表土となるところが 30% いど、硬岩・軟岩類の法面は約 10% である。

のり面基盤の実態は前述のようであるが、次に、各現地法面ごとに、緑化不成績を來した最も大きな要因（要因区分は現地観察による表現であり、復旧する要因についてもそれぞれ別個にとりあげた）としてあげられた事項をまとめてみると表-8 のようである。全国的にみると、凍結・霜柱等による影響が最も多く 50% 前後をしめている。比較的暖地方においても緑化不成績を生ずるようなところでは冬期における霜柱の影響が少くないことがうかがわれる。また積雪の移動あるいは融雪時の影響も少くない。

表-8 緑化不成績要因別実態

要因	凍結・霜柱	表土移動(強雨)	乾燥	瘠薄	湧水	積雪移動	破碎帶	強酸性土	粘土	硬岩	施工不良	施工不良	火災	風	潮	崩壊
該当箇所数	39	6	14	9	7	7	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1
調査箇所数に対する割合(%)	5.82	9.0	20.9	13.0	10.4	10.4	7.5	6.0	4.5	3.0	3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

これについて、急斜法面を反映し貧養および乾燥などの要因が 35% 前後で、基盤法面、粘性土、火山灰、強酸性土など、植物の生育不良となる要因等を併せれば、これらは 50% いどをしめしている。このほか破碎岩盤や崖錐地の法面などでは、強雨にともなう侵食や湧水現象とともに基盤自体の崩壊による緑化不成績や再荒廃を来すところもあるが、これらは植物による法面保護機能の限界をこえるものである。

なお暖地帯の風化花崗岩を基岩とする地域についてみると表-9 のようである。すなわちここでは、基盤の貧養・乾燥などの要因が最大で、60% いどもしめている。

次に、導入植物の緑化不成績あるいは緑化衰退が目立ちはじめる時期別に箇所数をまとめると表-10 の

ようである。こ

表-9 緑化不成績要因別実態

不 成 績 要 因	凍 上 霜 霜	柱 ま た は ま じ り	崩 崩 壊	面 壊	施 不 良	工 良	湧 水	貧 乾	養 燥	計
出現箇所数の比	14	11	14	5	56	100				

ろは約 20% 。

2 年になって不成績がめだつところは 40% 、3 年目頃から不成績を来しているところは 30% いどである。

また、法面表土による区別と緑化衰退が目立ちはじめる時期について、緑化不成績のいど（植被率による相対値）を

表-10 衰退時期別箇所数

経過年	1	2	3	4	5	計
箇所数	13	27	20	2	4	66
割合(%)	19.7	40.9	30.3	3.0	6.1	100

表-11 土質別緑化不成績の状況

土質	緑化不成績率合計の比					出現箇所数の比
	当年	2年	3年	4年	5年	
粘土性		11	13	2		26 34
砂質土	5	17	1			23 25
礫質土	4	9	4		2	19 18
(軟岩)	2	8	11	3	5	29 17
(硬岩)	1	1			1	3 6
(計)	12	46	29	5	8	100 100

に及んでいる。

これに対して、比較的水分条件が有利で、表土の移動も少ないとみられる粘性土および軟岩法面では、緑化不成績が目立つ時期は3年頃に最大となり、前者に比べれば衰退が現われる傾向はやや緩かである。緑化不成績が、法面崩壊等のように、物理的な外力による場合は別であるが、上述の年次別の現象は、植物の生育不良に帰せられるものとすれば、緑化不成績あるいは衰退現象は、2~3年後に認められる不成績の現象も実は、施工当年あるいは2年目頃にすでにその原因が生じていたものとみられるものである。

3. 緑化不成績要因と植被の形態

一般に吹付播種工や航空実播工における緑化不成績に至る経緯には2つの形態がうかがわれる。一つは、施工後のごく初期から緑化むらや生育不良がみられる場合である。すなわち、前述のような砂質土、礫質土あるいは硬い粘性土など、貧養でかつ乾燥しやすい法面では、施工時の軽質な緑化材の散布導入のみでは施工当年から顕著な生育不良を生じやすく、施工後の初期から表面侵食や崩落を来しやすい。当年における法面植被量が劣れば、凍上・霜柱の影響もはげしく、施工翌春にはさらに著しい緑化不成績斜面を生ずるものである。つまり、表-8にみられる凍上・霜柱などによる緑化不成績も、つまりは貧養・乾燥などの要因が素因をなすところが多いものとみられるものである。

したがって、瘠悪な切土法面などでは、施工当初における緑化資材の導入量を多くすることは基本であるが、導入植物の発芽・発生後、1~3ヶ月のうちに時期を逸せず、十分な追肥を行うことが大切である。軽度な基盤整備によって行なわれる散布緑化工においては、これによって導入植物の生育維持、回復をはかることが緑化不成績の回避の要点となることに留意する必要がある。

なお、施工後早期に生ずる緑化不成績には、破碎岩盤地域や、崖錐法面における滑落、崩壊などの現象があるが、これらは緑化施工上の問題というよりは法面造成における計画や土木的施工の段階で対処することが基本である。

その二は、2、3年以後から数年にわたって衰退が漸進的にみとめられる現象である。これについても、いくつかの要因がうかがわれるが、貧養な基盤でも、比較的基盤に湿度が保たれるところでは当初の緑化は保たれる。しかし、不均値に乾燥を生じ、漸次衰退がめだつようになる。比較的緩斜な場合でも、降水量の少ない乾燥地帯では緩慢な緑化衰退を生ずるところが少くない。放置すれば侵食が継続・拡大するので、やはり、早期に追肥等によって、植被とともに表土の維持をはかり、恒続的な植被形成がえられるまで管理を行うことが望まれるところである。

4. 法面保護に必要な植物被覆量

法面の植物被覆量(生育量=風乾量)と表土の侵食防止に関して散布導入後の面的に生育した草本類についてみると、生育量(風乾重)が50~100g/m²以上になると法面侵食防止効果が次第にたかまるが、冬期における凍上・霜柱などによる影響に対する抵抗力をたかめるためにはさらに200~300g/m²以上の植物生育量を保つことが望ましいものとみられる。

一般に自然草地や牧草地などにおける植物被覆量をみると、ススキなどの長草型草本の優占するところでは300g/m²以上、ワラビ型草地では130g/m²、ノシバなどの短草型草地では50g/m²以上である。また、施工跡地における植物被覆量では、生育の良好な法面では200~500g/m²以上をしめし、中程度の被覆量の法面では100g/m²以上である。以上をみると施工法面における安定的な植被量はほぼ200~300g/m²以上となることが望ましいものとみられるものである。

5. 緑化不成績法面における植被の回復

前述のように切土法面などの瘠悪な法面では、適期に必要な追肥を行うことは、施工後の緑化維持の要点であるが、従来追肥が行われる場合でも一般には慣行的な施用量が画一的に用いられている。しかし、十分な緑化形成をはかるためには、施肥技術についてさらに検討を要することが少なくないとおもわれる。

このため、瘠悪な法面に起因するとみられる緑化不成績地の一部について、立地条件の異なる法面別に、施肥量をかえて検討を行った。

試験を行った法面は、前橋営林局矢板営林署管内西荒川林道、および東京営林局水戸営林署管内玉簾林道である。前者は昭和49~50年度に、後者は昭和48~50年度に開設された林道の切取法面で、開設翌年に吹付緑化工を施工した後緑化衰退を来しているところである。

西荒川地区は標高650~670m、地質は古生層および第三紀火成岩からなり、表層には関東ローム層が堆積している。気象条件は矢板市の観測値から推定すると、年平均気温9.9度、年降水量1,390mm、暖かさの指数77.5、寒さの指数-8.4である。また、玉簾地区は標高280~300mで、地質は古生層の砂岩・頁岩および花崗閃緑岩である。気象条件はもより地区的観測値から推定すると、年平均気温13.0度、年降水量1,700mm、暖かさの指数101.6、寒さの指数-5.0である。両地区における未風化裸地の硬度(山中式土壤硬度計)は28~30mmであった。

なお、施工跡地における主な導入種は、西荒川地区ではレッドトップ (R.T.)、クリーピングレッドフェスク (C.R.F.)、ケンタッキー31フェスク (K. 31F.)、玉簾地区ではC.R.F.、ウイーピングラブグラス (W.L.G.)、ホワイトクローバー (W.C.) などである。両地区とも導入種によって植被が保たれているが全般的に衰退の傾向をしめし、斑状、帯状に侵食された裸地を生じている。

試験区は、施肥の時期も考慮して、秋期 (9月) および春期 (3月) の別に、肥料種および施肥量は表-12のようにして設定した。試験結果を植物の生育量 (風乾重) により、対照区に対する比としてまとめしめすと表-13のようである。

これによると、施肥量の増加に伴っていづれも生育量は増加し、植物被覆の回復効果が顕著である。施肥区では秋期においても葉色は緑色が長く保たれ、緩効施肥区では冬期に及んでも緑色の残るもののが認められた。

表-12 施肥区分

肥料種 施肥量	A. 化成肥料			B. 緩効性肥料		
	(g/m ²)			(g/m ²)		
	N	P	K	N	P	K
対照区	-	-	-	-	-	-
N 5	5.0	3.3	2.3	5.0	3.1	3.1
N 15	15.0	10.0	6.9	15.0	9.2	9.2
N 30	30.0	20.0	13.8	30.0	18.3	18.3

表-13 緑化衰退法面における施肥効果

施肥量 肥料種 試験箇所	春 施 肥				秋 施 肥			
	西荒川		玉簾		西荒川		玉簾	
	普通化成肥料	緩効肥料	普通化成肥料	緩効肥料	普通化成肥料	緩効肥料	普通化成肥料	緩効肥料
対照区	100	100	100	100	100	100	100	100
N 5	198	244	204	120	134	109	138	105
N 15	248	278	289	212	234	183	198	258
N 30	435	450	614	390	238	302	426	331

このほか、肥料種による違いをみると、古生層の礫まじり法面では、化成肥料区のほうが生育量は大きい傾向がみられたが、マサ土やローム層法面では明らかではなかった。施肥時期別では、秋期より春期施肥のほうが肥効が大きいようである。

次に、春期施肥地区について施肥当年における植物被覆状況を組成表にしめしてみると表-14のようである。全植物被度は両地区とも施用量の多い区ほど増加しているが、対照区

表-14 植

試験区	A											
	窒素施肥量 (N ^g /m ²)			5			20			30		
ぐり返し	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
全植物被度 (%)	100	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
木本植物被度 (%)			+							+		
草本植物被度 (%)	100	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
出現種数	3	6	8	3	5	8	3	6	9			
導入種	W. L. G K. 31 F O. G C. R. F R. T W. C B. M. G	5 2 2 2 2 5 5	3 2 2 +	5 2 2 +	5 2 2 +	5 2 2 +	5 2 2 +	3 2 3 +	5 3 +			
侵入種	ススキ ヒメムカシヨモギ ヤクシソウ ヒメスイバ ノガリヤス アメリカセンダングサ リュウノウギク ヒメジロオン ヘクソカズラ クズ ヤマハギ カラスノサンショウウツギ	1 +	+	3 +	+	+	2 +	2 +	2 +	+	+	

物 組 成 素

は試験当初よりもさらに衰退し、裸地も増加している。導入種は、C.R.F., R.T., W.L., G.などが優占しているが、侵入植物の種類は対照区よりも施肥区のほうがややめだつがこれは既に侵入していた植物の生育も促進されたためとみられる。侵入木本類の生育高について対照区を100とした比数によってみても、ヒノキ152, モミジイチゴ142, エニシダ125, クマイチゴ124などで、施肥による生育量の増加がみとめられる。

上述の試験とほぼ同様の試験設定によって、東京営林署小倉山国有林内に開設された林道切取り法面における検討結果についてみると次のようである。

試験箇所の地質は、秩父古生層の上層の砂岩・粘板岩の互層をなし、法面長は4～10m、傾斜は65度前後で、方位はほぼ南に面したところである。気象条件は周辺地区における観測資料によってみると年平均気温13.4度、最低気温-10.6度、年降水量は1856mmである。

施工後数年を経過したところであるが、法面の植被はW.L.G. が主に残存し、これにK 3 1 F とススキがわずかに混生しているが、全般に地表が現われ、裸地が斑状に生じている。

肥料は前述の試験工と同様に普通化成肥料および緩効性肥料 (NL = 270) を用い、施肥量は窒素成分を基準にして $5\text{ g}/\text{m}^2$, $20\text{ g}/\text{m}^2$, $30\text{ g}/\text{m}^2$ に区分して表面散布した。

追肥当年における法面植被の生育量（風乾重）を対照区に対する比によってみると表-15のようである。対照区では衰

表-15 緑化衰退法面における施肥効果

試験箇所 施肥量(肥料種 $N g/m^2$)	1		2		3	
	A	B	A	B	A	B
対照区	100	100	100	100	100	100
N 5	156	222	94	127	160	140
N 20	312	288	119	214	164	181
N 30	435	345	226	246	263	255

少量区は慣行的な追肥量で

あるが、衰退の著しい法面において、表土保持に十分な植被の形成と、肥効の持続効果をはかるにはかなり不足のように思われた。試験箇所は表土の欠失した瘠悪急斜面で、一度に多量施肥を行っても、流失する量が少くなく、植物の吸収効果率は劣るものとみられるが、多量区では何れのところでも生育景が顕著に増加し、植被形成が十分に回復することが認められた。つまり切土法面では養料がいかに欠失しているかがうかがわされた。

6 機械力による播種绿化工と施肥の要点

急斜瘠悪な基盤における緑化植被の維持に関する上述の試験結果からみても、軽質な緑化材にたよらざるをえない散布緑化工施工地では、早期に必要な施肥管理を行うことが、緑化不成績地の発生防止や、緑化衰退防止に欠かせない要点であることが知られた。

前述のように、植生による法面の保護機能を維持するには、植物草生被覆量が200~500 g/m²以上保持されることが必要であるが、いまこの植物体の窒素量をみると5~15 g/m²といどとなる。ところで林地土壤あるいは畠地土壤においては、表層土壤に含まれる養料は100~1000 g以上であるが、生育促進のためには10~20 g/m²といど施肥を行うのが一般である。これにひきかえ切り法面や崩壊裸地などの硬い地盤では表土に含まれる養量は不可給態のものも含めてもほほ5~10 g/m²といどで極めて僅かなものにすぎず、とても導入植物の生育を維持しうるものではない。

また、裸地に施用した肥料は一般に2~3カ月後には20~30%といど以下に減少するが、切取法面などの急斜堅地盤では、流失や土壤への吸着などのためにさらに養料条件が不良となる。これに対して、播種緑化工における施工当初施肥には、土壤条件や肥料種によるちがいはあまり考慮されず、窒素量にして10 g/m²といどの慣行的な施用を行っているのが普通である。したがって、施工初期からの生育不良による緑化不成績や、早急な衰退を生ずるものも当然で、施工当年においても1~3カ月後の早期から追肥が望ましいものとなる。

なお、緑化工施工跡地に対し、施肥によって生育を促進することについては、一時しのぎの処置であるとみられることや、特定種類の植物が優占して他の植物の生立を抑制するなどの批判もある。しかし、従来のような軽質の緑化工用資材を活用した施工によって、緑化不成績を来すようなところでは、在来植物が活用されたとしても、それ以上の緑化形成がえられるものではなく、やはり早期に適切な追肥管理がなければ消滅しやすい。瘠悪な基盤では、まず施工後の法面の表土の保持、培養が大切で、表土の保全に適性のすぐれている植物の活用と、それによる植被形成を維持することが必要とおもわれる。

7 導入外来草種と周辺植生の関係

緑化工用植物には外来緑化工用草種が多く活用されているが、これらは一般に在来植生とは異質なもので好ましくないとされることがある。自然保護地域においては、外来植物の侵入に対してとくに厳格な制約が求められることは当然である。また一般にも、それぞれの立地環境に応じた植物について、適切な導入技術の研究が進められなければならないものであろう。

緑化施工地では、自然植生の回復がねらいであるが、表土の失われた切取法面は、施工前の植物群をただちに導入しうる環境ではなく、裸地あるいは荒廃地環境における先駆的な植物が選定されることとなる。しかしこれらの植物も、急斜瘠悪地では必ずしも初期導入種として活用できるほどの生育はみられないことは前述のようである。異質的な植物として問題とされるのは、本質的には外来緑化工用草の周辺植生に及ぼす影響の有無で、施工地周辺に侵入拡大することがないかどうかである。

これについては、従来各地に施工されている治山緑化工跡地をみても、施工時に斜面外に吹付飛散したところでは法面端からせいぜい0.5~2 mといど範囲のところで、局部的な生立がみられるといどである。斜面下方部では強雨等によって流下した種子が、がり状地況や沢地形などのところに、点在することもあるが、導入外来草が能動的に周辺植生に侵入生立することはほとんどみられない。今回現地調査を行った林道法面においても、全般的にはほほ同様であった。外来草の導入・栽培の歴史が古い牧野周辺などにおいても、栽培地に接した路傍域や、在来植生の破壊がみられる隣接地に混生するといどで、在来植生が繁茂するところでは自然に消滅するのが普通のようである。

8 あとがき

全国的に抽出された林道を主とした急斜法面における緑化不成績要因の実態調査の結果からみても、切取瘠悪法面における軽度な緑化材の散布緑化斜面では、施工当年から時期をのがさぬ施肥管理を行うことがあらためて強く認識されるところである。急斜法面における緑化不成績の現象は、基盤造成の不備が基本的な問題となる場合が多いとみられるが、施工当初からの不良な緑化形成については、施工後の追肥を主とした手入保育によって効果的に回復・維持しうるところが少くないと思われる。従来不十分とみられる慣行的な施肥量によっても、継続的な管理が行われれば緑化が十分保持されているところがあるが、肥料種については、近年効果的な緩効性の肥料の開発がみられるようになりつつあるので、施工当初から、これらの活用がえられるようになれば、急斜瘠悪法面における緑化形成は、さらに改善が図られるものと思われる。いづれにしても、急斜瘠悪法面における緑化の維持には、法面造成における土木的設計・施工に係わる問題とは別に、瘠悪な基盤に導入されることとなる植物にたいしては、生育促進の面からの対応がこれまでの施工技術に欠けていた基本的な問題で、施工費あるいは施工体系のなかに、明確に位置づけることが必要である。

亜高山荒廃地域における緑化工法

亜高山地域荒廃地における緑化工法

I 試験担当者

防災部治山科治山第2研究室 岩川幹夫

" " 原敏男

" " 吉富宏保

II 試験目的

亜高山地域における緑化施工は、火山性荒廃地の上部域が主な対象地となっているが、近年、山地地域における道路開設が急速に進展し、これに伴う亜高山地域の人工裸地や荒廃地等に対する緑化対策ももとめられている。

亜高山地域では、地質、土壤条件が劣悪なほか、気象条件がきびしく、植物の生育期間は短かいため、導入植物の生育に遅滞を来すことが少くない。これまで施工が集中的に行われているところでは、一般に活用されてきた緑化工用草本類の導入によって緑化形成がかなり定着し、2~3の木本類の苗木植栽による導入も、下部域では比較的良好な生育がみられる。

しかし、施工基盤に角礫質の崩落砂礫が多くなるところや、風衝の影響がみられるようなところでは、導入植物の生育不良がみられ、衰退荒廃に至るところも生じている。

このため、地盤条件および気象条件のきびしい亜高山地域における導入適植物の検討とともに、部分的な崩積や徇行もみられるような不安定斜面や、風衝斜面などを考慮した速効的な土砂抑止、侵食防止機能の強化をねらいとした木本類の導入方法について検討する。

III 試験の経過と得えられた成果

1. 研究の経過

亜高山地域における緑化施工跡地の植被形成、推移等の実態把握のため主として前橋営林局日光治山事業所管内および東京営林局野呂川治山事業所管内等における現地調査を行うとともに、既往の各地における資料を併せて検討した（昭和52~53年）。また、これによって亜高山地域における緑化工用植物としての適性把握や導入方法についても総括的な検討を行った（昭和52~54年）。なお、高標高地域では、植物の生育、ことに木本類は生育が遅いため、

播種や苗木の単木的な植栽だけでは、侵食防止機能のたかい面的な林叢形成は早期にえられがたい。このため、現地植物の大形の枝条を用いた埋幹による導入方法について、一部現地について試験プロットを設けて検討した(昭和53~54年)。

2. 緑化工施工跡地における植被形成の実態

亜高山地域において大面積にわたる緑化施工が行われているところは、前橋営林局日光治山事業管内の男体山東南山腹における治山事業で、すでに昭和35年頃から継続的に進められている。

施工は1,300m附近から始まり、施工対象となる荒廃地は2,200m附近まで続いているが、植生は1,800m前後から亜高山地域の構成に移行し、コメツガが主となり、ダケカンバ、ミヤマハンノキ、シラビソ、トウヒなどが混生する。林床植生には、ニガイチゴ、イタドリ、ヒメノガリヤスなどが生じている。

男体山地区では、これまで一般に活用されてきた緑化工用草本類については、標高2,200m附近の高所まで導入試験を行って適性を検討し、活用可能な種類の確認が行われているが、高標高域における木本類については、ダケカンバ、カラマツ、トウヒなど現地植物の数種について植栽試験が進められているところである。

現地における緑化施工跡地の主な斜面について、導入植被および侵入植被の概況をみると表-1~3のようである。緑化施工は、標高1,300m附近の荒廃斜面下部域から始められたが、亜高山地域における初期の施工跡地もすでに10年前後を経過している。表-1は1,800m附近の大蘿斜面における緑化工跡地の植被状況である。亜高山地域の荒廃地周辺には、コメツガ、シラベ、トウヒ、ダケカンバ、ミヤマハンノキ、ヤハズハンノキ、ナナカマドなどの木本類が生ずるが、施工地に用いられている木本類はカラマツ、ヤハズハンノキ、ミヤマハンノキ、ダケカンバなどである。

導入木本類ではカラマツは活着もよく、伸長成長もかなり早く、ほぼ3m前後に達し、良好な成績をしめしている。これとともに混植されたダケカンバも、生育高はやや劣るが、好結果が得られている。このほか、ヤハズハンノキ、ミヤマハンノキの導入箇所をみると生育高はカラマツより劣るが、導入適性のすぐれていることがみとめられる。

導入草本類では、ケンタッキー31フェスク(K.31 F.)が全般的によく繁茂し、この地域でも地表被覆効果のすぐれていることがうかがわれ、レッドトップ(R. T.)も全般的に混生している。これらの草種は、もともと冷涼な気候を好むもので、この地区の亜高山地域

表-1 施工跡地の植生状況

(1,800m附近)

調査箇所番号	1 2		1 3		1 4		平 均	優 占 度
全植物被度 (%)	1 0 0		1 0 0		1 0 0		1 0 0	
木本植物被度 (%)	9 0		9 0		9 0		9 0 0	
草本植物被度 (%)	8 0		9 0		8 0		8 3 3	
植物名	C	H	C	H	C	H	C	H
カラマツ	80	250	70	300	80	300	76.7	288.3
ダケカンバ	10	180	20	200	20	250	16.7	210.0
ヤハズハンノキ	50	150					16.7	50.0
ミヤマハンノキ	40	120					13.3	40.0
K. 31 F.	60	30	50	30	60	35	56.7	31.7
R. T.	40	25	40	25	30	25	36.7	25.0
T. im.	+	40					0.3	13.3
W. C.					+	5	0.3	1.7
ニシキウツギ	30	120	10	150	20	140	20.0	136.7
イヌコリヤナギ	10	150	10	130	20	110	13.3	130.0
バッコヤナギ	20	60					6.7	20.0
モミジイチゴ	+	20	10	15	+	10	4.0	15.0
マルバシモツケ					+	20	0.3	6.7
ヤマモミジ					+	20	0.3	6.7
ミネヤナギ					+	10	0.3	3.3
マツヨイグサ	+	80	+	70	+	50	1.0	66.7
ヤマホウコ	+	70	+	65	+	50	1.0	61.7
ヤマヨモギ	10	10	20	30	+	40	10.3	26.7
オトギリソウ	+	40	+	30	+	35	1.0	35.0
タンポポ	+	20	+	20	+	15	1.0	18.3
イタドリ			+	60	+	50	0.7	36.7
ホタルブクロ			+	40	+	30	0.7	23.3
コウゾリナ			+	30	+	35	0.7	21.7
ウメバチソウ			+	5	+	10	0.7	5.0
フキ			+	35			0.3	11.7
アズマヤマアザミ					+	60	0.3	20.0
ノガリヤス					+	60	0.3	20.0
アカシヨウマ					+	20	0.3	6.7
コケ類	10	1	20	1	30	1	20.0	1.0

においても適性のたかいことがしめされている。

施工後10年前後を経過しているが、地表植生はまだ導入植物が全面的に残存繁茂し、周辺植物の侵入はあまり目立たない。しかし、低木類のニシキウツギおよびモミジイチゴなどは各調査箇所にみられるほか、イヌコリヤナギ、バツコヤナギ、ミネヤナギなどのヤナギ類も全般的に増加しつつあることがうかがわれる。

侵入草本類では、ヤマヨモギが優占的で、このほかマツヨイグサ、ヤマハハコ、オトギリソウ、タンポポなどが点生的に生ずるほか、イタドリ、コウゾリナ、ホタルブクロ、フキ、アズマヤマアザミ、ノガリヤス、アカシヨウマなども生じている。

これらの侵入植物の構成からは、施工後10年ていどの斜面では、まだ、ごく初期的な草生遷移の段階で、ノガリヤスその他の在来の叢生型草本植物等の増加した植被形成にはまだかなりの期間を要するものとみられる。

標高1,900m附近の小蘿地区における施工後5~6年を経過した施工跡地の植被状況をみると表-2のようである。木本類の植栽はカラマツ、ミヤマハンノキ、ダケカンバを主とし、ヤハズハンノキ、コメツガ、アキグミも混植されている。これらのうちカラマツの生育がもっともよく、生育高は2m前後に達しているが、ミヤマハンノキ、ダケカンバ、ヤハズハンノキなどは個体間の生育高にかなり差がみられ、0.3~1.8mの範囲にわかれている。コメツガの生育高は40~50cmていどである。

導入草本類はK. 31.F., チモシー(Tim.), オーチャードグラス(O. G.), R. T., クリーピングレッドフェスク(C. R. F.)などが混播されている。これらのうちK. 31.F.は優占的に被覆しているが、部分的にはその他の草本が優占的に繁茂するところもあり、導入草類の衰退はまだみられない。

したがって、侵入植物も前述の調査地にくらべればまだ少く、木本類はごく点生的である。モミジイチゴは部分的には生立頻度の多いところもみられ、ニシキウツギ、イヌコリヤナギなどが1m前後に伸びているところもあるが、ハウチワカエデ、リヨウブなどは数10cm以下の生育高にすぎない。

侵入草本類のなかでは、やはりヤマヨモギの生立頻度がたかく、ついでオトギリソウ、ホタルブクロ、ミヤマハタザオなどである。このほかフジアザミ、イタドリ、ヤマハハコなどがみられるが、叢生型草本のノガリヤス、ヒメノガリヤス、ウラハグサなどの点生するのは、斜面の地ならし中に既存の株が混入して生立したものとおもわれる。

次に、これより上部の標高2,000m附近における施工後3~4年を経たところの植被状況

表-2 施工跡地の植生状況

(1,900m附近)

調査箇所番号	3	4	1	2	平均	優占度
全植物被度(%)	100	100	100	80	95.0	
木本植物被度(%)	70	80	40	30	55.0	
草本植物被度(%)	90	90	100	60	85.0	
植物名	C	H	C	H	C	H
ミヤマハンノキ	+	70	+	50	10	180
タケカンバ	+	40	+	30	10	150
カラマツ	70	250			30	200
ヤハズハンノキ			80	110	40	170
コメツガ					+	55
アキグミ					+	40
K. 31. F.	30	40	40	30	30	20
Tim.	30	40	20	30	30	30
O. G.	20	40	20	30	10	30
R. T.	20	40	10	40	20	20
C. R. F.					90	40
モミジイチゴ	+	30	+	30	+	40
マルバシモツケ	+	60	+	30		
ミネヤナギ	+	30			+	60
カラマツ			+	5		
ニシキウツギ					+	100
イヌコリヤナギ					+	80
ハウチワカエデ						
リヨウブ					+	70
ヤマヨモギ	10	50	80	60	20	50
オトギリソウ	+	20	+	20	+	30
ヒヨドリバナ	+	70	+	40		
ノガリヤス	+	40	10	30		
ウラハグサ	+	40	+	30		
ミヤマハタザオ	+	40			+	20
ヤマホウコ	10	30			+	35
ウメバチソウ	+	10				
ホタルブクロ			+	20	+	30
イタドリ					+	60
フジアザミ					+	20
オトコヨモギ					+	70
コウゾリナ					+	40
ヤグルマソウ					+	20
ヤマジソ					+	20
ヒメジヨオン						
ヒメノガリヤス					+	40
アカシヨウマ					+	30
ヤマトリカブト					+	20
スミレ					+	10
シダ類	+	20			+	10
コケ類	+	1			+	1

をみると表-3のようである。

表-3 施工跡地の植生状況 (2,000m附近)

調査箇所番号	8	5	6	7	平均	優占度
全植物被度 (%)	100	100	60	60	88.0	
木本植物被度 (%)	20	40	40	30	32.5	
草本植物被度 (%)	100	90	60	40	72.5	
植物名	C	H	C	H	C	H
ヤハズハンノキ	+	70	+	40	30	150
アキグミ	10	120	+	90	10	70
ダケカンバ	10	95				
カラマツ			30	250	+	35
ミヤマハンノキ					20	140
T. m.	10	20	20	30	+	30
R. T.	80	20	10	30		
K. 31. F.	30	20			40	30
C. R. F.			80	30	10	20
O. G.				+	25	10
ミネヤナギ	+	60	+	20	+	20
ニシキウツギ	+	70	+	20		
イヌコリヤナギ	20	170			+	20
コバノトネリコ	+	20				
トウヒ			+	40	+	50
ヤマヨモギ	10	30	+	50	10	25
オトギリソウ	+	40	+	40	+	35
イタドリ	+	40	+	30		
ヤマホウコ	+	45			+	20
アズマヤマアザミ			+	50		
フジアザミ			+	30		
ミヤマハタザオ			+	20		
マツヨイグサ			+	10		
ジシバリ			+	10		
アカバナ					+	20
ホタルブクロ					+	15
アカシヨウマ					+	5
イヌタデ					+	5
スイバ					+	20
コケ類	+	1				
			+	1		
					0.5	0.5
					0.5	0.5
					0.5	0.5

この地区でも導入木本類は前述の場合とはほぼ同じであるが、安定的な活着がみられるのは、カラマツのほか、ヤハズハンノキ、アキグミなどで、苗木条件によるとみられるがダケカンバ、ミヤマハンノキは活着にやや低下がみられた。しかし、活着したものは生育は劣らない。導入草木の種類も前述の下方斜面の場合と同様であるが、生育量には低下がうかがわれる。K. 31. F. は優占的であるが、C. R. F., R. T. など部分的に優占的となり、植被にむらが生ずるところもある。

侵入植物もまだごくわずかであるが、木本類ではミネヤナギ、ニシキウツギなどが早いほか、この地区では周辺林地から飛散する種子も多いものとみられ、トウヒなどの発生もみとめられる。草本類では、やはりヤマヨモギが早く全面的に分散生長し、オトギリソウも所々に生長がみられるほか、ヤマハハコ、アズマヤマアザミ、フジアザミ、マツヨイグサ、イヌタデ、ミヤマハタザオ、ホタルブクロ、ジシバリなどの荒廃地先駆植生がわずかずつ生じているが、気象条件のほか瘠悪な土壤条件による影響もうかがわれて、生育量は低下している。

3. 劣悪基盤における植被形成と問題点

男体山の亜高山帯下部からその下方域におけるこれまでの施工地では、表-1にみられるよりもさらに良好な緑化成績がえられている。しかし、標高が高くなるに従って苛酷な気象条件とともに荒廃斜面の土質は一層瘠悪化の傾向がみられ、導入草本類の生育量の低下にともなって、植栽筋間には裸地が現われるところもみられるようになる。また、こうして生ずる裸地化部分には、周辺植生の早急な侵入・定着はみられず、このため強雨によるガリーや、凍上・融解による表土の移動も生じてくる。火山性荒廃地の砂礫土は養料が著しく欠乏しているところが多いが、亜高山地域では植物の生育期間が短いため、発生植物の当年における生育量は少なく、凍上による浮上り枯死などの現象がおこりやすい。これに対する抵抗力をもつて、発生した植物の定着を確実にするには、初期の生育期における生育促進がとくに考慮されなければならないことである。このためには養料の十分な供給が後述のように一つの有効な手段と考えられる。

このほか崩壊地上部域や、斜面の周縁部では崩落砂礫の堆積・衝積などもみられる。このようなところでは、基本的には土砂抑止、表面の侵食防止のための土木的な処置が必要であるが、一方、植生導入方法についてもそれに応じた対策が必要とおもわれる。しかし、これについてあまり検討が行われていない。すなわち、埋砂、侵食等の外力に抵抗性がたかめられるよう、施工初期から、木本類の面的な構成が図られることが望ましいとみられるが、小苗の単木的な

植栽や、播種による導入では期待される植被形成は困難である。

木本植物の導入密度をたかめるには、枝条からの発根性の強いものをさし木導入する方法もあるが、これまでのような短小な枝条では、当初の活着はあるといえられても、凍上等によって翌年には著しく減少する場合が多いものである。このようなことから、凍上そのほかの表土の不安定に対する抵抗性の向上が期待できる大形の枝条を活用した埋幹方法による導入が考えられる。これに関しては後述(Ⅲ. 6)のような検討を行った。

4. 亜高山地域における適植物

亜高山地域の緑化施工に関しては、男体山地区のように継続的な施工が行われているところは少ないが、各地の亜高山地域における現地植物に関する緑化工用適性の検討については、いくつかの資料がみられる。これらの主なものについて要約してみると表-4のようである。

男体山地区では多くの調査や施工結果から導入植物の選定が行われてきたが、亜高山地域において現在最も多く植栽が行われているのは、高木類ではカラマツが主で、ミヤマハンノキ、ヤハズハンノキ、ダケカンバなどが混植されている。すでに述べたように、これらのなかではカラマツは安定した活着がえられ、生育も全般的に良好である。広葉樹類はやや下部域では活着もよく、生育高もそろっているが、上部域ではかなり不揃いな成績をしめすところがある。このほかコメツガの導入を試みたところもあるが、まだ一部にすぎないので適切な取扱いについては今後の検討にまたねばならない。

草本類では全般的にK. 31.Fが導入され生育も良好であるが、これにC. R. F., R. T., O. G., T i m. などが混生している。これらの草本類は本来高冷な環境にも適応力がたかく、一次的な地表植被としての機能は保たれている。

このほか在来植生のなかで適性のたかいとみられるものはかなりの種類があげられるが、施工地に侵入の早い木本類はミネヤナギ、イヌコリヤナギ、バッコヤナギ、などのヤナギ類と、ニシキウツギ、モミジイチゴなどである。これらは多少の土砂移動が生じている砂礫質の斜面にも耐えて生立し、枝条からの発根性がたかいので、埋幹方法に最も活用しやすいものである。

草本類では、ヤマヨモギが全域にわたって優占的に侵入しているが、イタドリとともに種子も確保しやすい種類である。叢生型草本のノガリヤス、ヒメノガリヤス、ウラハグサなどは、恒続的な地被植生で、広がれば地表の被覆効果がすぐれているが、種子の豊凶の差が大きいことや稔性のわるい場合もあるので、種子による安定した導入計画はむずかしいとおもわれる。

富士山の亜高山地域における崩壊斜面や観光道路法面などで、亜高山地域植生の導入に關す

るいくつかの調査検討資料がみられるが、導入適性のたかいものについて要約すると表-4-aにみられるようである。高木類としてあげられるものは前述の場合とほぼ同様で、カラマツ

表-4-a 亜高山地域緑化工用適植物

樹 草	地 区		富士山地区	
	男 体 山 地 区		1,600~2,000m	2,000~2,300m
針 葉 樹		コメツガ, シラベ, トウヒ, カラマツ, ウラジロモミ	カラマツ コメツガ シラベ	カラマツ シラベ
広 葉 樹	高 木	ダケカンバ, ミヤマハンノキ, ヤハズハンノキ, ナナカマド, ウラジロカンバ, ミネザクラ, オノエヤナギ, バッコヤナギ, アオダモ, ミヤマザクラ,	ダケカンバ ヤハズハンノキ ナナカマド バッコヤナギ ミヤマハンノキ	ダケカンバ ナナカマド
	低 木	ミヤマハンノキ, ズミ, ミヤマヤナギ, イヌコリヤナギ, アキグミ, ヤマハギ, マルバシモツケ, ムシカリ, ハクサンシャクナゲ, ニシキウツギ, クマイチゴ, キイチゴ, ノリウツギ,	ミヤマヤナギ イヌコリヤナギ シモツケ ニシキギ ミヤマイボタ	ミヤマハンノキ ミヤマヤナギ
草 本 類	在 来 種	ヤマハハコ, ヨモギ, ヤマヨモギ, ヒメノガリヤス, イワノガリヤス, コメススキ, イタドリ,	ヤマハハコ ヨモギ類 イワノガリヤス ヒメノガリヤス オントデ イタドリ	ヨモギ類 イワノガリヤス ヒメノガリヤス オントデ イタドリ ムラサキモメンヅル
	外 来 種	オーチャードグラス ケンタッキー31フェスク クリーピングレッドフェスク チモシー		
参 考 文 献		1), 2),	3), 4)	

は活着および生長も良好で、綠化効果がたかく最も実用的な樹種とみられる。シラベは初期生長は遅いがカラマツについてよい成績がみられ、活用してよいものとみられる。これに対しコメツガは残存木が年々減少し、未熟土壤には適応性が乏しいようである。コメツガは前述の男体山地区でも同様の傾向がうかがわれた。

広葉樹のダケカンバは活着が悪く、伸長量も劣り灌木状を呈するものも生じているが、さらに検討を要するものとみられた。また、ナナカマドはほぼこれらの中庸の成績で、修景的な面からも効果的であるとしている。

このほか低木類を含む木本類では、ミヤマヤナギ、イヌコリヤナギ、ニシキウツギ、ミヤマイボタなどがあげられるが、これらの枝条をさし木、埋幹等によって導入すれば、現地植物の導入密度をたかめるのに効果的とおもわれる。

草木類では、イタドリ、ヤマヨモギ、メイゲツソウなどは種子の採取が容易であるので活用性がたかいが、イワノガリヤス、ヒメノガリヤスなどの叢生型草本やアキノキリンソウ、ヤハズヒゴタイ、タイアザミ、イワオオギなどは良質な種子を多量に確保することは困難とおもわれる。

以上の地区のほか亜高山地域の広がる中部地域や東北地方高海拔地域における調査資料についても適性のたかい植物類は表-4-bにみられるようなもので、活用度のたかい種類は前述の場合とほぼ同様である。

5. 主要な適植物と繁殖法

亜高山地帯の綠化工用植物としての特性については、前項によってすでに主な点が述べられたが、発芽特性や無性繁殖の難易などは現地植物の導入密度をたかめることに關係が深いので、主要な植物について、既往資料とともに概要をまとめてみると次のようである。

すなわち、種子の採種、調整や発芽特性については表-5, 6のようである。木本類のうち針葉樹のカラマツは発芽率もたかく初期の生長も早いが、シラベ、ウラジロモミは生育初期の生長はごくわずかである。瘠悪な裸地面では凍上や、表土の移動によって消滅しやすいと思われる。広葉樹類では、ダケカンバ、ウダイカンバ、リョウウブなどは先駆的な林叢形成の主体をなすものであるが、種子は、年による豊凶や発芽率にも差が大きい傾向がある。リョウウブは1~2年の稚苗期の生長はおそいが、ダケカンバ、ウダイカンバなどは初期の生育も良好である。しかし、瘠悪な表土では、当年の生育高が少なく、せっかく発生しても凍上等によって消滅する傾向がある。ミネカエデ、ナナカマドなどは、種子がえられれば導入したい種類である。こ

表-4-b 亜高山地域綠化工用植物

樹 草	地 区		本 州 中 部 地 方		東 北 地 方	
	1,300~1,800m	1,800m~	少 雪 地 带	多 雪 地 带		
針 葉 樹	カラマツ	カラマツ	カラマツ	カラマツ		
広 葉 樹	高 木	ダケカンバ ヤハズシノキ ヤシャブシ バッコヤナギ	ダケカンバ ヤシャブシ ナナカマド	ダケカンバ ヤマンノキ ナナカマド	ダケカンバ ウダイカンバ ヤマハシノキ ナナカマド	
	低 木	ミヤマヤナギ キヌヤナギ ウツギ ヤマハギ	ミヤマヤナギ マルエシモツケ	ミヤマヤナギ ミヤマイボタ イタチハギ	ミヤマハシノキ ヒメヤシャブシ ミヤマヤナギ ミヤマヤナギ イタチハギ	ミヤマカラハシ ノキ ヒメヤシャブシ ミヤマヤナギ イタチハギ
草 本 類	在 来 種	オトコヨモギ ヒメノガリヤス ノガリヤス ススキ イタドリ キオン アキノキリンソウ	ヤマソコ タカネヨモギ ヒメノガリヤス ノガリヤス イタドリ	ヤマソコ ヤマヨモギ ノガリヤス オオイタドリ	ヤマソコ	ヤマソコ ヤマヨモギ オオイタドリ
	外 来 種	ケンタッキー31 フェスク バーミューダグラス クリーピングレッド フェスク オーチャードグラス チモシー	ケンタッキー31 フェスク クリーピングレッド フェスク	ケンタッキー31 クリーピングレッド フェスク	ケンタッキー31 クリーピングレッド フェスク	ケンタッキー31 フェスク クリーピングレッド フェスク
参 考 文 献		5), 6)		7), 8)		

表-5 亜高山地域綠化工用樹種の種子取扱い法

植物名	採取時期(月)	採取調整	貯蔵法	発芽促進	まきつけ時期(月)	発芽率(%)	1年目生長量(cm)
○ウラジロモミ	10	日乾脱粒風選	乾燥・冷暗 室内	低温湿層・乾燥 低温30~60日以上	3~5下	低 12	4
○シラベ	"	"	"	低温湿層30日以上	"	並	3
○カラマツ	"	"	"	冷水浸漬1~2日	"	"	12
○ダケカンバ	9~10	小枝切落、 陰干、振り落し	乾燥・低温 密封	低温湿層6週以上	3~6上	低 5	30
○ウダイカンバ	"	"	"	"	"	"	25
○ナナカマド	9下~10	果肉水洗除去	保湿冷蔵	1°C低温湿層 100日以上	寒地とりまき 暖地2~4	並 40	30
ズミ	9~11	水浸漬後果肉除去	"	"	とりまき または3	"	30
マレミモツケ	"	乾燥をきらう	"	"	とりまきま たは3~4	低 20	20
リョウブ	10~11	陰干脱粒	密封、冷暗 室内	"	5上~6上	"	10
ミネカエデ	9~10	陰干風選	保湿冷蔵	低温湿層60日以上	とりまき または3	60	30
備考	○印 文献 9), 10) による。						

表-6 亜高山地域綠化工用種子の発芽試験 (北田)

植物名	粒度(粒/g)	純率(%)	発芽率(%)
ダケカンバ	1004	70	6
ミヤマハンノキ	1781	87	34
ミヤマヤナギ	3311	100	100
タニウツギ	4332	75	50
マルバシモツケ	22727	100	20
カンチコウヅリナ	1363	99	54
ウスユキソウ	6905	100	6
ミヤマアキノキリンソウ	746	40	44
ミネアザミ	218	82	61
ヤマハハコ	12963	100	30
ヤマヨモギ	8480	64	86
ナンブキタアザミ	591	100	2
タカネノガリヤス	2264	99	0
オオウシノケグサ	2903	99	21
ススキ	1419	89	30
ナンブトウチソウ	722	96	18
ミヤマヤマブキショウマ	8750	100	4
タカネナデシコ	1106	100	48
コバノツメクサ	2211	100	56
イワオトギリ	9921	99	40
オオイタドリ	455	93	85

注 発芽試験は20°Cで30日間。

種子は1週間低温湿層処理。

のほか種子によって活用しよいものは、低木類ではタニウツギ、ニシキウツギ、草本ではやはりヤマヨモギ、オオイタドリなどである。

また、枝条のさし木増殖については、いくつかの例があるが、活用しよいものはミヤマヤナギ、イヌコリヤナギ、オノエヤナギその他のヤナギ類や、ニシキウツギ、マルバシモツケなどである。しかし、さし穂は短かいと、礫質斜面などでは、漸次衰退し消滅するおそれがある。なお、主要植物について繁殖方法別にまとめてみると表-7のようである。

表-7 亜高山地域綠化工用適植物と導入法

樹草	導入法	播種種	植栽・株分け	さし木・埋幹
木本類	高木	ダケカンバ ウダイカンバ バッコヤナギ	カラマツ、コメツガ シラベ、トウヒ ダケカンバ、ウダイカンバ ヤハズハンノキ、バッコヤナギ オオバヤナギ、ナナカマド ミネザクラ、リョウブ	オオバヤナギ オノエヤナギ
	低木	ミヤマハンノキ ミヤマヤナギ ミネカエデ	ミヤマハンノキ、ミヤマヤナギ イヌコリヤナギ、アキグミ ミネカエデ、クマイチゴ	キヌヤナギ ミヤマヤナギ ニシキウツギ マルバシモツケ
草本類	在来種	ヤマハハコ ヤマヨモギ オオイタドリ イタドリ オンタデ ススキ	ヤマハハコ、ヤマヨモギ ススキ、イワノガリヤス ヒメノガリヤス、イタドリ オオイタドリ、オンタデ	
	外来種	クリーピングレッドフェスク ケンタッキー31フェスク レッドトップ オーチャードグラス チモシー		
備考	文献 1), 2), 5), 7) 参考			

6. 大形枝条の埋幹

亜高山地域における緑化工対象地でも、施工地の基盤斜面の安定が保たれ表土に埴質の土壤も混入するようなところでは、苗木によって導入される高木類の生育もかなり良好で、漸進的ではあるが緑化回復がえられている。

しかし、亜高山地域では表面侵食のうけやすい軽じような火山砂礫層が基盤となるところや、匍匐もみられる角礫質の崩落砂礫が多い斜面も少くない。また、風衝の影響があるところも所々に現われるような立地条件のところでは、いづれも瘠薄で乾燥しやすいことも生育不良の大きな要因とおもわれる。

現地植物の導入密度をたかめるため、従来木本の枝条を20cmていどの長さに切ってさし木による導入も試みられているが、短いさし穂では凍土や表土の匍匐あるいは崩積のための枯死消滅することが少くない。このようなことから、諸害に対する抵抗性をたかめ、土砂抑止、侵食防止機能の速効的な強化をねらいとして、大形の枝条による埋幹方法について検討を行った。

概要をのべると次のようである。

試験斜面は東京営林局野呂川治山事業所管内における標高約1,700m附近の崩壊地で、基岩に著しく破碎をうけた中・古生層の砂岩・頁岩で表土はこれらの崩積した砂礫土である。周辺の植物にはミヤマハンノキ、ヤハズハンノキ、ダケカンバ、カラマツなどがあり、荒廃裸地の一部には、これらの稚苗も生じている。

前述のように、亜高山地域荒廃地に先駆的に生ずる木本類のなかでは、ヤナギ類をはじめ、ニシキウツギ、キイチゴ類のはかり、ウブなどが多くみられるが、試験にはイヌコリヤナギ、オオバヤナギ、バツコヤナギ、キヌヤナギ、ニシキウツギ、リョウブの6種を用いた。枝条の大きさは、小形枝条(長さ25cm)、中形枝条(長さ50cm)、大形枝条(長さ100cm)とし、斜面に筋切を行って、ほぼ水平におき、先端部を残して埋めもどした。

試験区は、枝条の採取期別に秋期(10月)、春期(6月)ごとに設けたが、春期施工地は、角礫の多い崩積面で、細土が少なく乾燥しやすい劣悪な条件とともに、使用した枝条は新芽の開葉したあとの最も不利な時期であったため、活着率はいづれもわるくほとんどが数%以下に止った。秋期施工地における調査は翌年の6月上旬と9月下旬に行ったが、その結果は表-8のようである。

表-8 枝条の埋幹試験

試験区	大形枝条						中形枝条						
	調査年月日	5.3.6			5.3.9			5.3.6			5.3.9		
区分 植物名		活着率(%)	萌芽数(本)	生長量(cm)									
バツコヤナギ	6.0.0	3.6	2.0	6.7	4.0	7.5	6.0.0	2.9	1.1	0	0	0	0
キヌヤナギ	5.6.7	9.4	3.8	6.0.0	6.1	3.5.0	4.0.0	3.6	3.5	6.3.3	2.9	8.0	
オオバヤナギ	2.6.7	4.5	0.9	4.0.0	7.3	2.3.0	4.6.7	2.6	1.1	3.6.7	2.4	8.0	
イヌコリヤナギ	6.8.4	6.9	2.5	8.4.2	8.5	2.5.0	5.3.3	2.4	1.8	6.6.7	4.1	10.0	
ニシキウツギ	1.6.7	2.2	1.1	6.6.7	3.4	1.8.0	3.6.7	1.9	1.0	5.3.3	3.1	5.0	
リョウブ	0	0	0	3.3	4.0	1.5	0	0	0	3.6.7	4.2	1.0	

施工地は瘠薄な基盤で、気象条件もきびしいため、6月初めの調査期にはまだ萌芽のみられないものもあり、9月下旬の調査期になって活着率の増加がみられたものもある。しかし、バツコヤナギは6月の調査では萌芽がみられても、9月の調査では殆んどが消滅した。リョウブはとくに萌芽の開始がおそく9月の調査期になって活率の増加がみられた。ヤナギ類のなかではイヌコリヤナギ、キヌヤナギの活着率がよいが、これにくらべればオオバヤナギはかなり劣るようにおもわれた。大形枝条は中形枝条にくらべて萌芽数や生長量が大きく、緑化被覆量はかなり多いことが知られた。

以上からみると、発根性のたかい木本類でも、大形枝条の埋幹は植被の面的形成や、導入枝条による土砂抑止にも速効的に機能が発揮でき、十分活用できるものとみられる。なお、導入時期が遅れがちな亜高山域では、秋期に埋幹作業を行うほうが安定した成績がえられるものと思われる。また、基盤条件が劣悪なため、萌芽枝条の生育促進がはかられればさらに効果がたかめられるが、これについてはさらに検討を要するところである。

7. 植被形成促進の要点

亜高山地域では植物の生育期間がかなり短かいえ、養料の欠乏した砂礫土や火山性の堆積物層が基盤となるところが多いため導入植物はもちろん侵入する周辺自然植生の生育はかなり緩慢である。ことに気象条件がきびしいため、種子から生じた当年生の稚苗は凍土によって浮上り枯死を来し、あるいは凍害によって地表まで枯死するなどのため翌年には大部分が

表-9 緑化施工に伴う養料の供給と植被状況

植物名	斜面状況 施工有無	角 碓 堆 積 斜 面		小 碓 ま ジ り 斜 面					
		未施工地	施工地	未施工地	施 工 地				
					2年目	当 年	2年目	当 年	
フジアザミ	+	+~10	+~10	+	60		30	70	10~90
イタドリ	+	+~10	+~10	+					+~10
メイゲツソウ		+	+						+
ヨモギ		+	+	+	40		50		10~30
ヤマハハコ		+	+	+		20	40		10~40
ムラサキベンケイソウ				+~10	30	40			30~70
キリンソウ				+	10	10			30~40
シナノナデシコ				+	10	30			10~30
ホタルブクロ				+~10					10~50
ジシバリ				+~10					10~70
ノコンギク									+~10
ススキ							10		+~10
アキノキリンソウ							+		+
ヤマハギ									+~10
キハギ				+					+
ウツギ									+
タニウツギ				+					+~10
ヤシナブシ									+
ヤマハンノキ									+
カラマツ									+
ウダイカンバ									+
ダケカンバ									+
W. L. G.		+~10	+~10		30~100				+~10
K. 31 F.									+~10
C. R. F.									+

消滅するおそれがある。このような諸害に対しては生育初期の充実した生育促進が必要であるが、このためには養料の十分な供給をはかることが一つの有効な手段であると思われる。表-9は本州中部地区の大井川上流の亜高山地域における航空実播工跡地における植被状況の調査結果である。無施工斜面ではフジアザミ、イタドリ、メイゲツソウなどのほか、ミヤマホタルブクロ、ジシバリなどが地表をはうように矮性な生育を保つにすぎないが、施工斜面では当年ないし2年目には、これらの自然植生の生育量には顕著な変化をしめし、これまでの裸地状斜面に全面的な緑化植被が形成されている。これは散布緑化材に含まれた肥料によって生育が促進されたことが明らかで、亜高山地帯における施工斜面でも、いかに養料の補給が大切であるかがうかがわれる。生育期間が短かいため、施用された肥料の吸収効率は低下するものとみられるが、近年は緩効性肥料の開発も進んでいるので、これらを併せて活用すればさらに緑化効果がたかめられるものと思われる。

参考文献

- 1) 小暮 保: 亜高山地帯における治山造林樹種について 治山, 1971
- 2) 関 勝時: 亜高山地帯における植生導入の適応試験 (1) 前橋営林局, 1971
- 3) 依田和幸: 亜高山地帯の荒廃地における緑化復元手法 (III) 山梨県林試, 1978
- 4) 山寺喜成ら: 亜高山地帯における緑化復元に関する実験的研究 緑化工技術, 1976
- 5) 高橋啓二: 本州中部森林における垂直分布帯の研究 林試研報, 1962
- 6) 小林貞作: 立山黒部アルペンルート沿線の高山植物による緑化について 道路と自然, 1976
- 7) 村井 宏ら: 横雪寒冷地帯における荒廃山地の緑化 林試東北支場だより, 1973
- 8) 北田正憲ら: 高海拔地帯の荒廃地緑化のための樹草 林試東北支場だより, 1976
- 9) 関西地区林業試験研究機関連絡協議会育苗部会: 樹木のふやし方 農林出版, 1980
- 10) 竹内虎太郎: 緑化用樹木の実生繁殖法 創文, 1975

海岸緑化技術の確立

海岸緑化技術の確立

I 試験担当者

北海道支場経営部防災研究室 工藤哲也
 " " 増田久夫
 " " 吉武孝

II 試験目的

北海道海岸の立地条件と、これまでに行われてきた海岸緑化法を検討し、塩風害の軽減と植栽木の生長に効果的な技術を追求する。

III 試験の経過と得られた成果

1. 日本海およびオホーツク海岸における積雪中の塩分

北海道の海岸は大別して日本海・オホーツク海・太平洋に面しており、各海岸は海風環境からみると、それぞれ異なった条件をもっている。したがって海から内陸へ飛来する空中塩分の量も、各海岸によって異なるとおもわれる。

海岸林の塩害とか塩分捕捉に関連して、これまでにおこなわれてきた空中塩分の観測には、ガーゼを利用した塩分トラップが簡便な方法としてよく用いられてきた。

一方、冬季間積雪に覆われる海岸地では、海から飛来する塩分は雪面に沈着し、降雪とともに蓄積していくので、根雪となった積雪は融雪とか降雨が始まるまで、自然の空中塩分トラップと考えることができる。そこで、昭和53年1月30日～2月2日に、日本海側とオホーツク海側の合計8ヶ所の海岸で積雪を採取し、積雪に含まれる塩分量を測定した。

1-1 積雪の採取地と採取の方法

積雪の採取は気象条件との関連をみるために、各測候所の近辺でおこなうことが望ましかったが、人家などの影響をうけるおそれがあったので、測候所所在地の海岸で、汀線より100m前後離れた開けた場所でおこなった。すなわち石狩、小平、栗別、メークマ、枝幸、音稻府、元紋別、藻琴の海岸を採雪地とした。その概況を表-1に掲げる。表中、採雪地における根雪初日は各測候所の資料にしたがった。

表-1 採雪地の概況

	小平	美別	メークマ	枝幸
地 形	海岸砂地	海岸砂地	海岸砂丘	海岸台地
根 雪 日	昭5.2.1 2.1 7	昭5.2.1 2.1 7	昭5.2.1 1.3 0	昭5.2.1 2.1 7
採 雪 日	昭5.3. 1.3 0	昭5.3. 1.3 0	昭5.3. 1.3 1	昭5.3. 1.3 1
積 雪 期 間	45日	45日	63日	46日
積 雪 深	47cm	42cm	113cm	103cm
〃 (測候所)	76cm	58cm	86cm	66cm
海 風 の 範 囲	NNW-WSW	N-SW	NE-W	NNW-ESE

	音稻府	元紋別	藻琴	石狩
地 形	海岸台地	海岸砂地	海岸砂地	海岸砂地
根 雪 日	昭5.2.1 2.1 7	昭5.2.1 2.1 7	昭5.2.1 2.1 7	昭5.3. 1. 4
採 雪 日	昭5.3. 1.3 1	昭5.3. 2. 1	昭5.3. 2. 1	昭5.3. 2. 2
積 雪 期 間	46日	47日	47日	30日
積 雪 深	43cm	50cm	37cm	67cm
〃 (測候所)	54cm	49cm	34cm	68cm
海 風 の 範 囲	NNW-ESE	NNW-ESE	NW-E	NNE-WSW

採雪には断面積20cm²のスノーサンプラーを使用した。積雪深に応じて1回または数回サンプラーを使用した。積雪深に応じて1回または数回サンプラーを雪中に垂直に押し込んで、雪面から地表までの積雪を採取し、ポリエチレン袋に収納した。採取後の雪は塩分量の測定まで凍結状態においていた。

1-2 塩分の測定と考察

塩分はサンプルの雪を融かして水とし、電導度計(東亜電波CM-3M型)を用いて定量した。ただし採取した雪については場所により採取回数が異なるため、結果的には採取面積に差異を生ずることになるので、採取面積が同一になるように、1dm²の雪柱に含まれる量として各地の塩分量を算出した。その結果を図-1に示す。

また図-1には採雪地近隣の測候所・地域気象観測所における海風の強さを示した。図中の

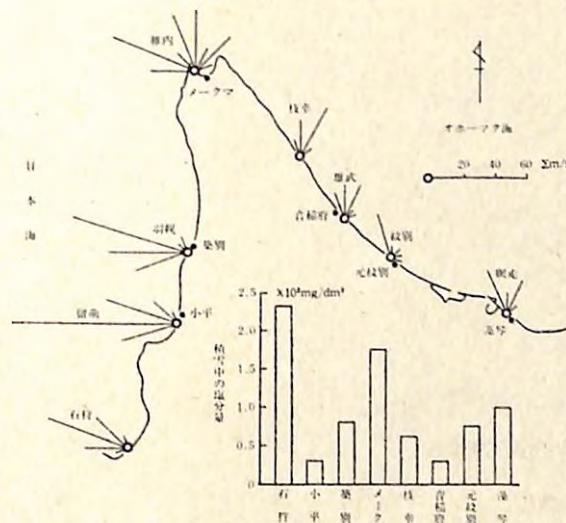


図-1 各地における積雪中の塩分量と海風の状況

各風向の線長は、1日の最多風向が海風であればその風向ごとに、根雪初日から採雪日まで、日平均風速を合計した値を示し、各風向における海風の強さをあらわすものとした。

海岸地の樹木の生育に対して大きな阻害要因となっている空中塩分は、海風の頻度・強弱によってその量が左右される。そして一般的に海風が強いほど内陸に運ばれる塩分は多量になる。図でみるように、冬季には日本海側海岸の方がオホーツク海側海岸よりも海風は強く、したがって空中塩分も多量になるとおもわれた。

しかし測定結果によれば、日本海側海岸で採取した積雪中の塩分量は、どの場所でもオホーツク海側のものより多いわけではない。藻琴における塩分量は築別、小平におけるよりも多量になっている。とくに小平における値は採雪地のなかで最小となった。

これを海風との関係でみるために、各採雪地で得た積雪中の塩分量とそれぞれの近隣の測候所における海風の強さを採雪地の代用として図示すると、図-2のようである。ただし海風の強さは、図-1で示した各風向の海風の強さの累計値で表現した。

海風が強く塩分量も多いのは、日本海側の石狩、宗谷海岸のメークマである。これに対して

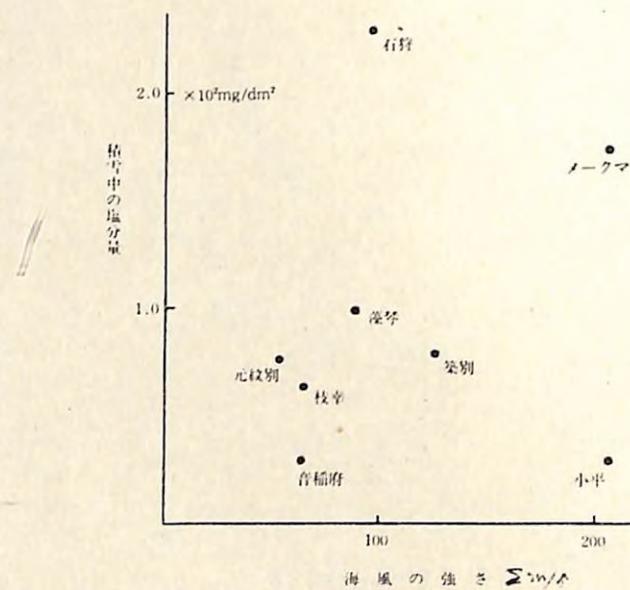


図-2 海風の強さと積雪中の塩分量との関係

海風が弱く塩分量も少ないのは元紋別、音福府、枝幸のオホーツク海側の海岸である。海風は強いが塩分量の少ないのは小平、篠別である。

小平、篠別のように、海風の強さにくらべて積雪中の塩分が少ない理由としては、採雪地点で(1)降雨のために積雪層を水が通過し塩分を流出させる。(2)強風のために塩分を含む積雪の上層が飛散する。(3)雪面の空中塩分に対する捕捉率(単位平面積の雪面に沈着する空中塩分の割合)が局所的位置により異なる。などがあげられる。

上記の理由のうち(1)については採雪時期が1月末という厳寒期であり、それまで降雨の記録もないで否定してよい。

表-1 でみられるように、小平、篠別における採雪地点の積雪深は、それぞれ近隣測候所の積雪深よりかなり少ない。

積雪の浅深により雪中の塩分量が異なる例として、後日石狩海岸で汀線に平行に1mおきに採雪し測定した塩分量を図-3に示す。

採雪および塩分測定はさきに述べたのと同じ方法でおこなった。この測定例が示すように、積雪が浅いほど雪中の塩分量は少なくなるが、塩分濃度についてはその傾向は認められない。小

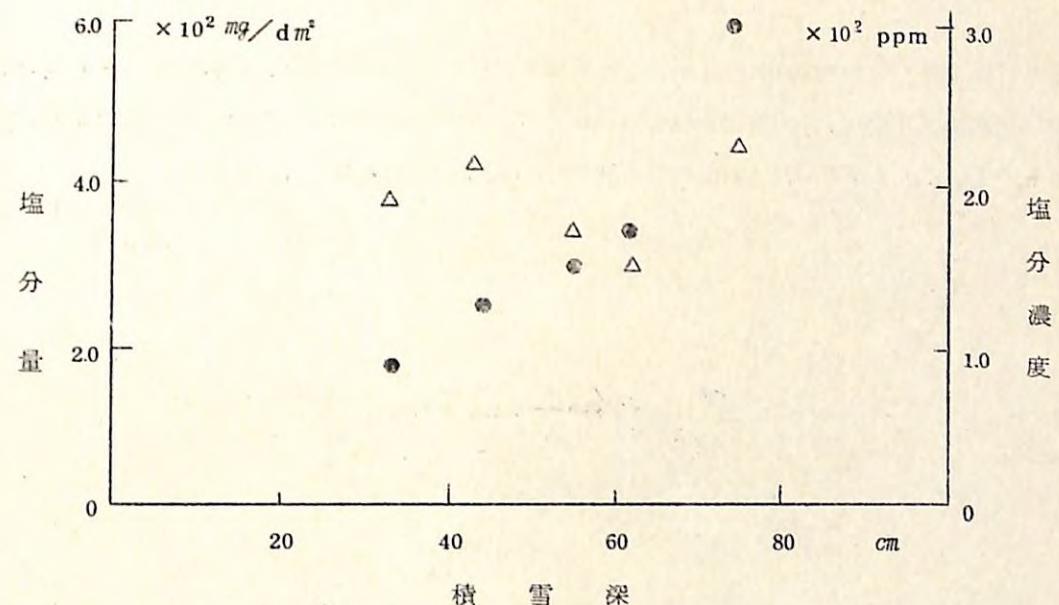


図-3 積雪深と積雪中の塩分量(・印)

および塩分濃度(△印)……石狩

平、篠別における塩分量の少なさは、強風により塩分を含む積雪が吹きはらわれることも一因と考えられる。

1-3 まとめ

海風の強さの異なる日本海側とオホーツク海側の海岸で積雪を採取し、積雪に含まれる塩分量から、冬季の両海岸における空中塩分量の違いを明らかにしようとした。しかし日本海側の2海岸では採取地点の積雪が浅く、海風は強かったにもかかわらず、塩分量は少なくなる結果となった。

オホーツク海側の海岸では、一般的にみると塩分量は少なかった。

空中塩分のトラップとして積雪を利用する方法は、あらかじめガーゼなどを用いたトラップを設けずにすむことが最大の利点であるが、根雪期間が地方により異なること、また強風地では採雪地点の選定・サンプリングの方法に一考を要することに問題が残る。

2. 海岸林造成地植栽木の生育からみた既設防風工の効果

海岸林造成地における植栽木は、その生立する土地の気象条件、地形、土質、周辺の植生の影響をうけながら生育する。海風の強い海岸においては、微気象改良の手段となる。防風工の種類

とか配置が防風範囲、風速の減殺度、堆雪のしかたを規定し、植栽木の生育に大きな影響を与える。

この項ではメークマ海岸林（北海道営林局旭川支局稚内営林署管内）、元紋別海岸林（同北見支局紋別営林署管内）、太櫛海岸林（同函館支局東瀬棚営林署管内）における植栽木の生育調査にもとづいて、3種の防風工の効果を検討した。3海岸の位置を図-4に示す。

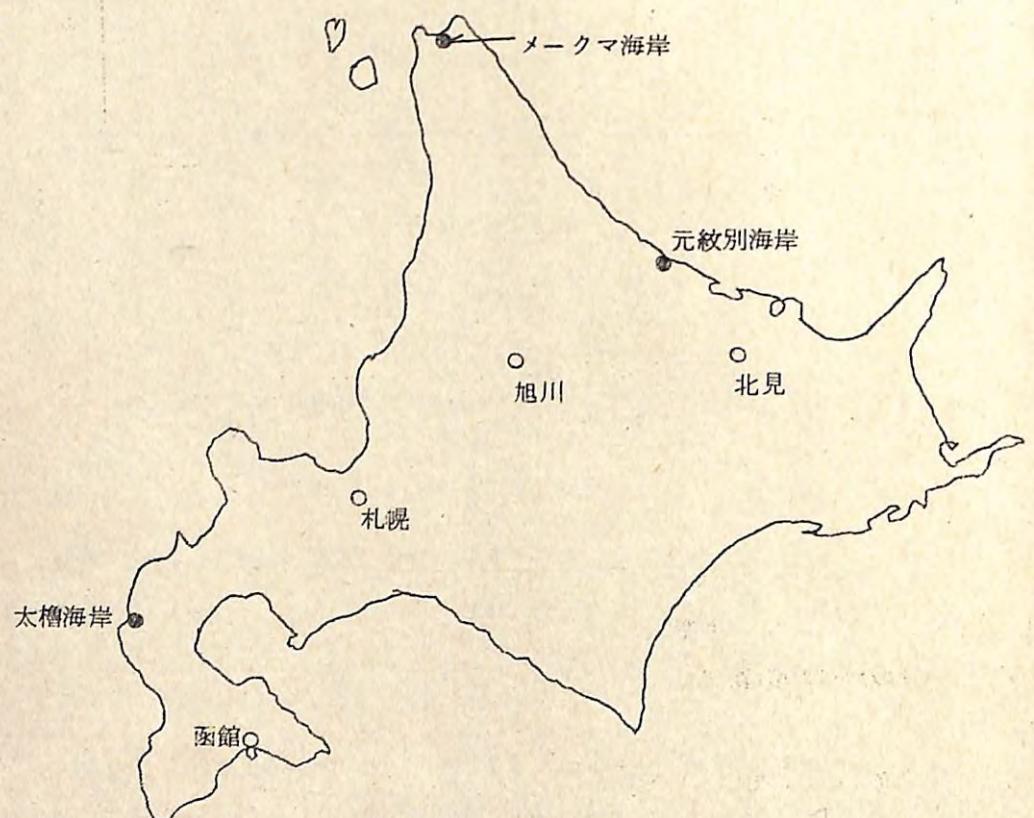


図-4 調査地位置図

2-1 調査地の概況

メークマ海岸林は走向がE N E～W S Wの海岸線から200mほど離れた宗谷湾に面する造成地で、汀線とほぼ平行に連なる北高の小さな砂丘から始まる。幅300m、延長2.6kmの造

成地にはトドマツを主にアカエゾマツ、アカマツ、クロマツ、グイマツ、ヤマハンノキ、アカバ、ヤナギなどの樹種が筋状に植えられている。植栽木の生育はどの樹種も全般的に不良で、防風垣の高さまでには達していない。植栽地の前線となっている砂丘上には、根曲竹防風垣、反撥式防風垣、流線型防風柵の3種の防風工が設置されている。

元紋別海岸林はオホーツク海に面し、NW～S E方向の汀線から60m～80m離れた標高20mの海岸段丘上にあり、幅は50m～90m、延長は2.2kmある。土質は重粘土である。林帯造成は昭和33年から始まり、植栽木の生長は、林帯中央をはしる管理道を境に内陸側ではアカエゾマツ、コバハンノキが4～5mに達しているもののカラマツは3.5m以下で複梢化している。道路より海側ではカラマツが生長を停滞し、1.5mほどで矮形化している。この造成地には根曲竹防風垣と流線型防風柵が施行されている。

太櫛海岸林は瀬棚から太櫛の間に発達している標高約10mの砂丘のうち、利別川から太櫛川までの砂丘上に造成されており、幅30m～100m、延長3kmの南北に細長い林帯である。昭和26年よりクロマツの植栽がおこなわれ、内陸側林縁では樹高6m～7mに達しているところが多い。ここに設置されている防風工は根曲竹防風垣と流線型防風柵の2種である。

2-2 防風工の概況

根曲竹防風垣は地中に打込まれた丸太（ときには古軌条）の間にワイヤーか番線をはり、根曲竹を編み込むもので、防風工ではもっとも一般的なものである。高さは1.8～2mで直立型となる。格子状に配置される。

反撥式防風垣は穿孔したナマコ鉄板に曲面をもたせて防風板とし、凹凸が逆になるように交互に鉄柱にとりついている。断面は直立型で3mの高さで植栽地を囲む。

流線型防風柵は、流線形状に湾曲させた主柱を支柱で支持し、主柱の間には等間隔に7枚の防風板を配置したものを単位スパンとする。鋼製の主柱と支柱は基礎コンクリートで固定される。主柱の高さは3mで、柵は造成林帯の海側に設置する。以上3種の防風工を図-5に示す。

2-3 調査結果

メークマ海岸林では根曲竹防風垣、反撥式防風垣、流線型防風柵の背後の植栽木の生育を調べた。その結果を図-6、7、8に示す。図のなかで樹高は、束植されているトドマツ3本1束を1本で代表させた12本の平均値である。

各防風工背後の生育状況をみると、根曲竹防風垣での生育が全般的によく、特に第1垣内（海側）での伸びが良好である。反撥式防風垣では直後2列の生長はきわめてよいが、その後方からは樹高が急激に低下し、生長は停滞している。流線型防風柵では15m地点での生長は

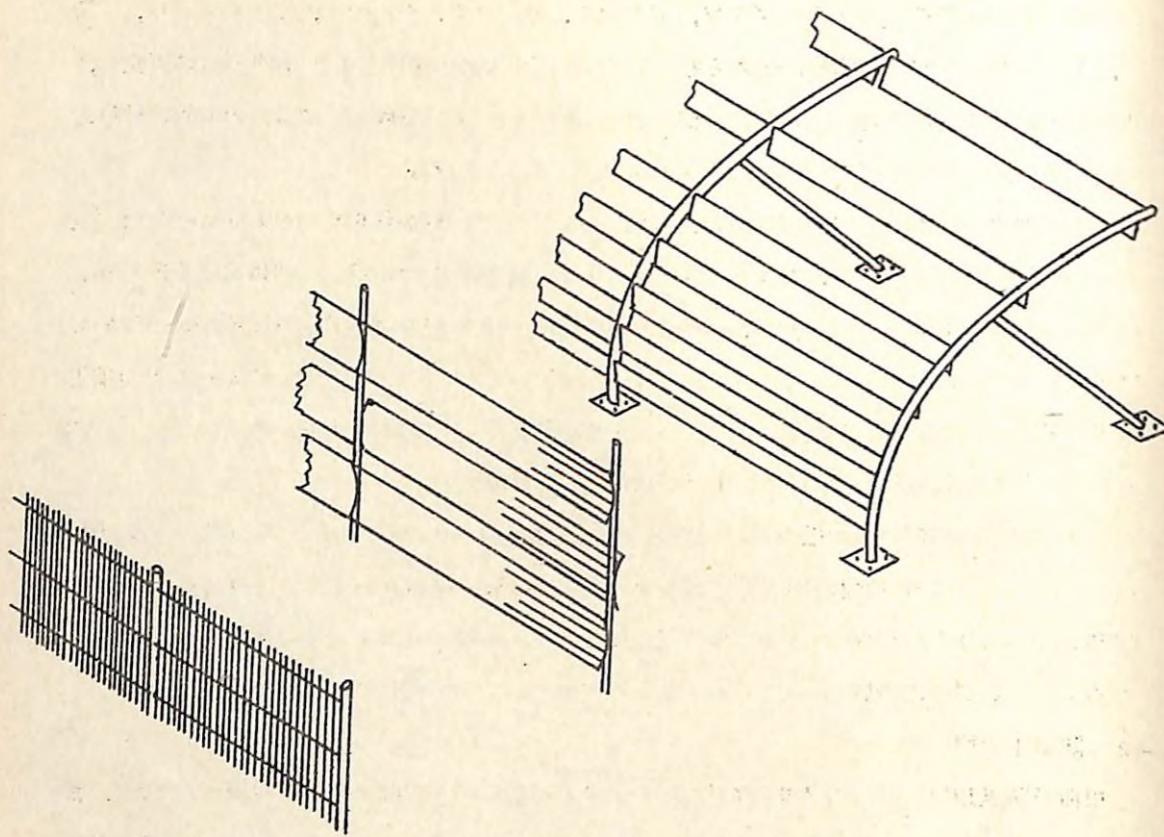


図-5 左より根曲竹防風垣, 反撥式防風垣, 流線型防風柵

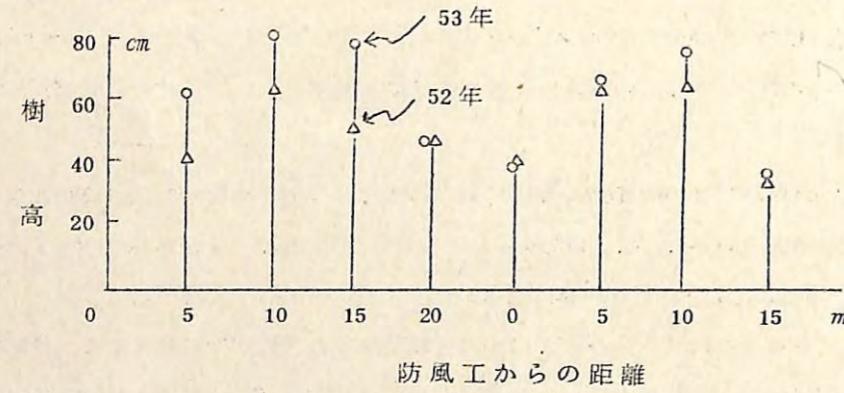


図-6 根曲竹防風垣背後の樹高 (メークマ)

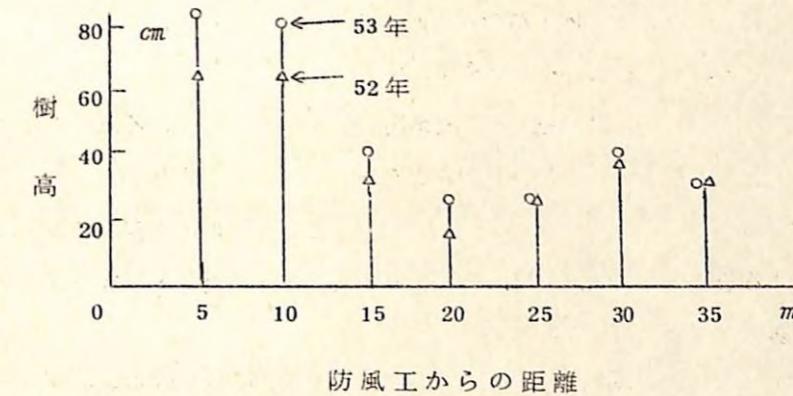


図-7 反撥式防風垣背後の樹高 (メークマ)

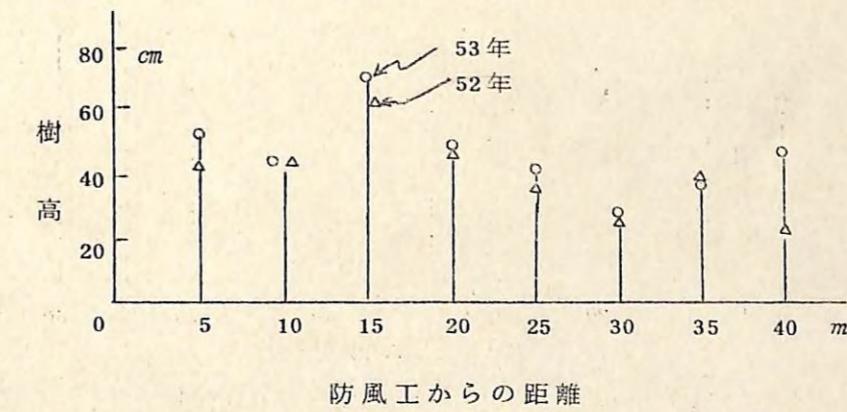


図-8 流線型防風柵背後の樹高 (メークマ)

良いが、やはり柵から離れると樹高は低くなり、30m地点で最低となっている。

この造成地の植栽木の生長は全般的にみて不良である。そこで当面の目標を根曲竹防風垣の高さ（約2m）まで植栽木を伸長させることにおくと、図-6でその良い生長をみたように、小区画された防風垣（25m×25m）が当地では有利とおもわれる。小区画された防風垣の大きな利点は防風上だけでなく、冬の強風期に堆雪効果が高いため、植栽木を埋雪、保護することである。

反撥式防風垣（45m×55m）内の植栽木は四周を囲まれているが、中央部一帯では冬季には積雪が浅く、植栽木は裸出し被害をうけやすい。

流線型防風柵（延長57.6m）は砂丘上の造成地第1線に配置されているだけなので、冬季の卓越風向である西寄りの風が柵に対しては斜風となる。そのため柵の後方30m付近では積雪が浅く、植栽木は雪面より裸出しやすい。したがって反撥式防風垣と流線型防風柵については西寄りの風に対する防風と堆雪のために、防風工の背面中央部付近にN NW-S S E方向に垣（例えば根曲竹防風垣）を設けることが望ましい。

元紋別海岸林の2種の防風工背後のカラマツ、アカエゾマツの生育状況を図-9、10に示す。

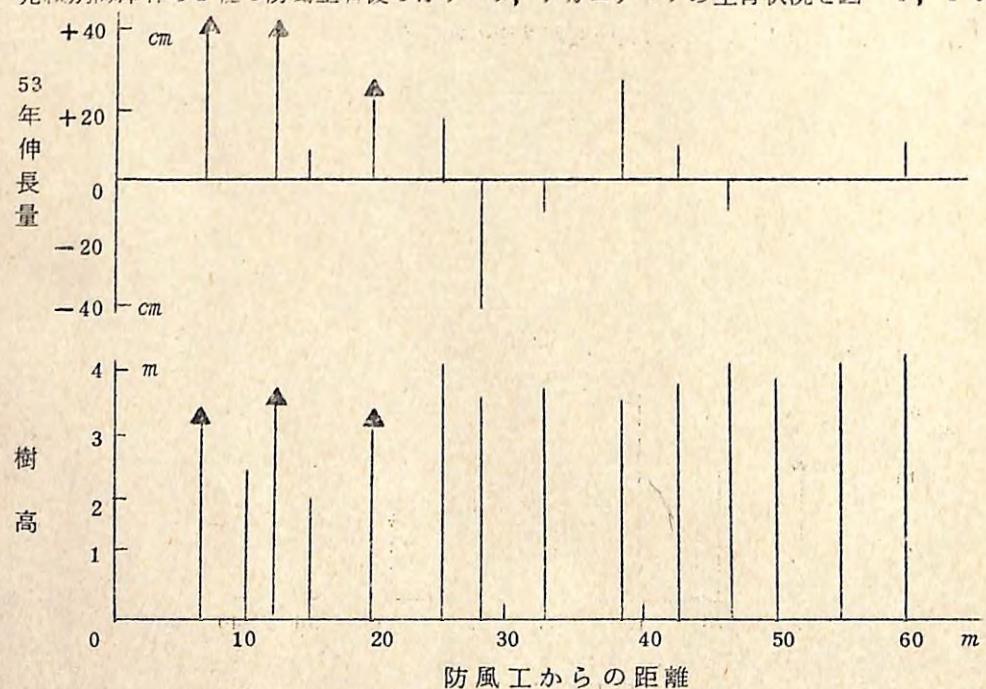


図-9 流線型防風柵背後の樹高と年伸長量（元紋別）

↑
アカエゾマツ
カラマツ

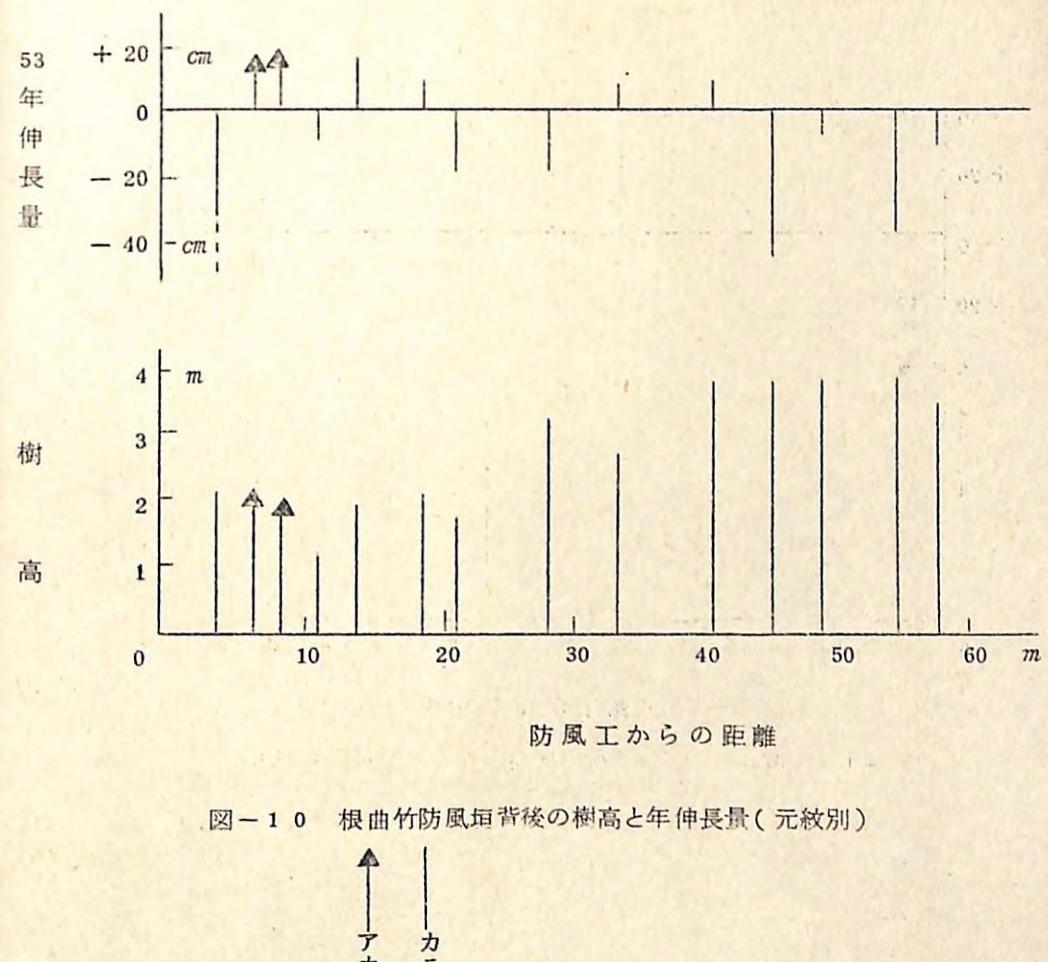


図-10 根曲竹防風垣背後の樹高と年伸長量（元紋別）

↑
アカエゾマツ
カラマツ

した。流線型防風柵の後面では20mくらいまで植栽木の生長はよく、特にアカエゾマツの伸びが顕著であった。カラマツの上長生長は著しくはないが、側枝の伸長が目立った。20m以後のカラマツの伸びは良いとは云えない。根曲竹防風垣の後面での生長は良好とは見られず、樹高は現状維持となっている。

太檜海岸林でのクロマツの調査結果を図-11、12に示す。流線型防風柵の直後では雪害による樹高低下が見られたが、その後方では頂枝の伸びがよく、塩風による葉の偏り、曲がり、褐変はごく少ない。根曲竹防風垣の背後の林帶では、前縁10mくらいまで枯死木が多くみられた。これは昭和52年に調査箇所の防風垣の一部が破損したためとおもわれる。（昭和53年に修復）また林帶中央・後縁にかけても梢頭枯れが進行した。

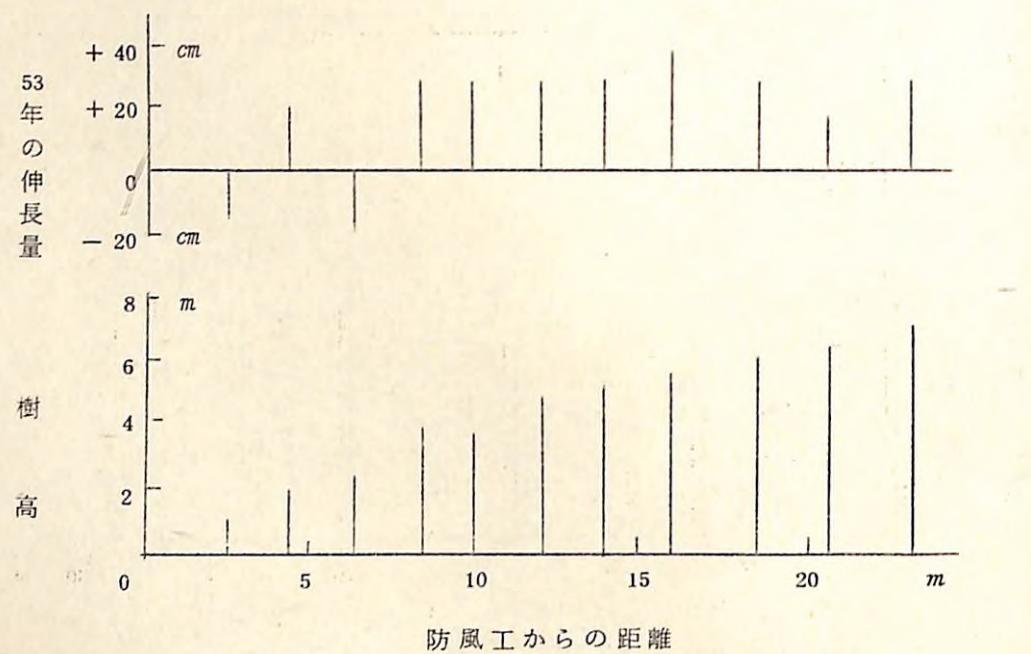


図-1-1 流線型防風柵背後の樹高と年伸長量(東瀬柵)

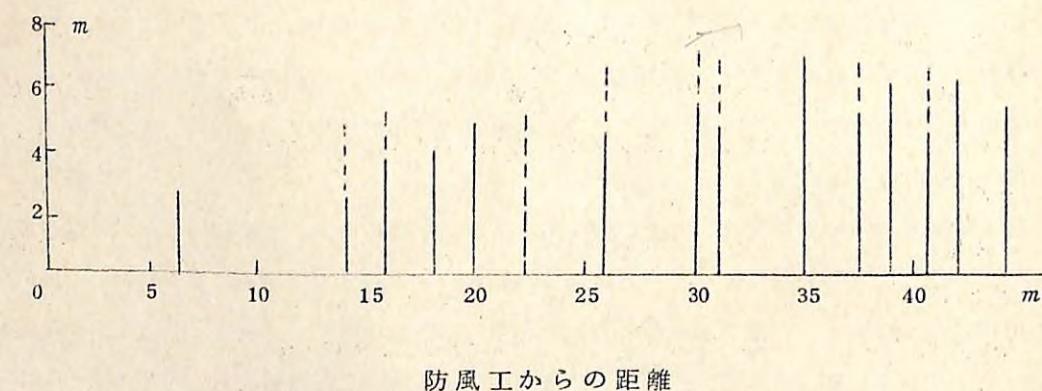


図-1-2 根曲竹防風垣背後の樹高(東瀬柵)

以上3箇所の海岸林造成地における植栽木の生育調査結果によると、メークマ海岸では小区画の根曲竹防風垣がよく、元紋別海岸・太櫛海岸では流線型防風柵が、植栽木の生長により良い保護効果を發揮していると判断された。

3. 植栽木の単木的保護法

海岸林造成地の植栽木に対する防風の方法は、面的な方法と単木的な方法に分けて考えることができる。面的な方法とは植栽地に方形に防風垣を配置するもので、北海道ではほとんどの造成地でこの方法がとられてきた。

ところがメークマ海岸における植栽木の生長経過でも述べたように、冬季に強い風の吹く海岸林造成地では、雪は防風垣の前後に厚く堆積し、垣から離れるにつれて急激に積雪深は減少する。このため垣から離れた位置にある植栽木は雪面から露出するので、積雪の保護作用がなくなり、塩風害をうけやすくなる。

この対策としては、防風垣をより密に配置するとか、植栽木を単木的に防風してやることが必要である。主に本州でおこなわれてきた単木的な防風法の例としては衝立工がある。これは麦わら、葦などを用いて幅30cm、高さ40cm程度に成形し、植栽木の風上に立てるものである。ここでは合成樹脂製ネットを用いた場合の被覆効果を調べるために、空中塩分を観測し検討を始めた。

観測は昭和54年2月22日にガーゼを用い、また、同年7月16日には樹形モデルを使用しておこなった。観測場所はいずれも石狩郡石狩町海岸六線付近である。

3-1 観測 1. ガーゼを用いた観測は、ネットとガーゼを密着させたものと10cmの間隔をおいて木枠(25cm×40cm)にとりつけ、塩分トラップとした。用いたネットはクレモナ#100(1.7%目), クレモナ#200(2.3%目), リヒレン1.000D(2.1%目), リヒレン600D(1.3%目)の4種(いずれも商品名)でクレモナは撚糸状でケバがあり、リヒレンは単糸からなっている。このトラップを汀線より40m離れた雪面上に、60cmの高さで当日の風向に直面するように固定し、2時間づつ2回海風に曝した。

当日の天候は曇で降雪がなく、風向はNW~NNWでは汀線に直角に吹き、風速も10m/s~7m/sと観測には好適であった。波高は1m~1.5mとみられた。ガーゼに付着した塩分は純水中に浸出させ、電導度計により定量した。

観測は2回行ったが、その結果を表-2に示す。表中無処理とはガーゼの前面にネットを施さなかったトラップである。ネットを施した各トラップの付着塩分量を無処理トラップの塩分量に対する比であらわし、これを各ネットの防塩効果とみると、最も高い効果を示したのはク

表-2 樹脂製ネットの防塩効果

処理	ナッシュ (%)	塩分量 mg/dm ² ·h	無処理に対する比 例	備考
クレモナ100 (密着)	1.7×1.7	1.0×1.0	4.8	1回目
リヒレン600 (〃)	1.3×1.3	1.1×1.0	5.2	風向: WNW
クレモナ200 (〃)	2.3×2.3	1.5×1.0	7.1	風速: 10.1m/s
リヒレン1000 (〃)	2.1×2.1	1.5×1.0	7.1	
無処理		2.1×1.0	1.00	
クレモナ100 (10cm)	1.7×1.7	8.4×1	4.0	
リヒレン600 (〃)	1.3×1.3	1.1×1.0	5.2	
クレモナ200 (〃)	2.3×2.3	1.5×1.0	7.1	
リヒレン1000 (〃)	2.1×2.1	1.4×1.0	6.7	
クレモナ100 (密着)	1.7×1.7	5.9×1	4.5	2回目
リヒレン600 (〃)	1.3×1.3	6.2×1	4.8	風向: NW
クレモナ200 (〃)	2.3×2.3	8.0×1	6.2	風速: 6.7m/s
リヒレン1000 (〃)	2.1×2.1	8.0×1	6.2	
無処理		1.3×1.0	1.00	
クレモナ100 (10cm)	1.7×1.7	5.4×1	4.2	
リヒレン600 (〃)	1.3×1.3	6.4×1	4.9	
クレモナ200 (〃)	2.3×2.3	8.8×1	6.8	
リヒレン1000 (〃)	2.1×2.1	8.8×1	6.8	

昭和54年2月: 石狩海岸

レモナ#100であり、次いでリヒレン600Dであった。メッシュはリヒレン600Dの方がクレモナ#100より小であるが、クレモナ#100の方がやや大きい防塩効果を示すのは、撲殺状態でケバを持つためと考えられる。クレモナ#200とリヒレン1,000Dは3割程度しか塩分は減少せず、前2者の4~5割の防塩効果にくらべ、かなり劣る。ネットとガーゼを近接させたものと、10cm離したものとの間にはあまり差はみられなかった。

3-2 観測2 昭和54年7月16日には、樹形モデルを用いて、被覆ネットの効果を調べた。

ここで用いた樹形モデルは高さが84cmのホンコンツリー(クリスマスツリー用)で、幹・枝・葉はすべて合成樹脂でできている。オリジナルの枝は12の輪生枝枝階をもち、上から3

階枝までは1次枝のみ、その他は2次枝まで分かれ、それぞれの先端に1年葉(以後単に葉と呼ぶ)が脱着できるようになっている。葉の寸法と形状はどれも同一であり投影面積は約21cm²ある。頂枝とみなされる葉(以後頂枝葉と呼ぶ)の投影面積は約30cm²ある(図-13)。

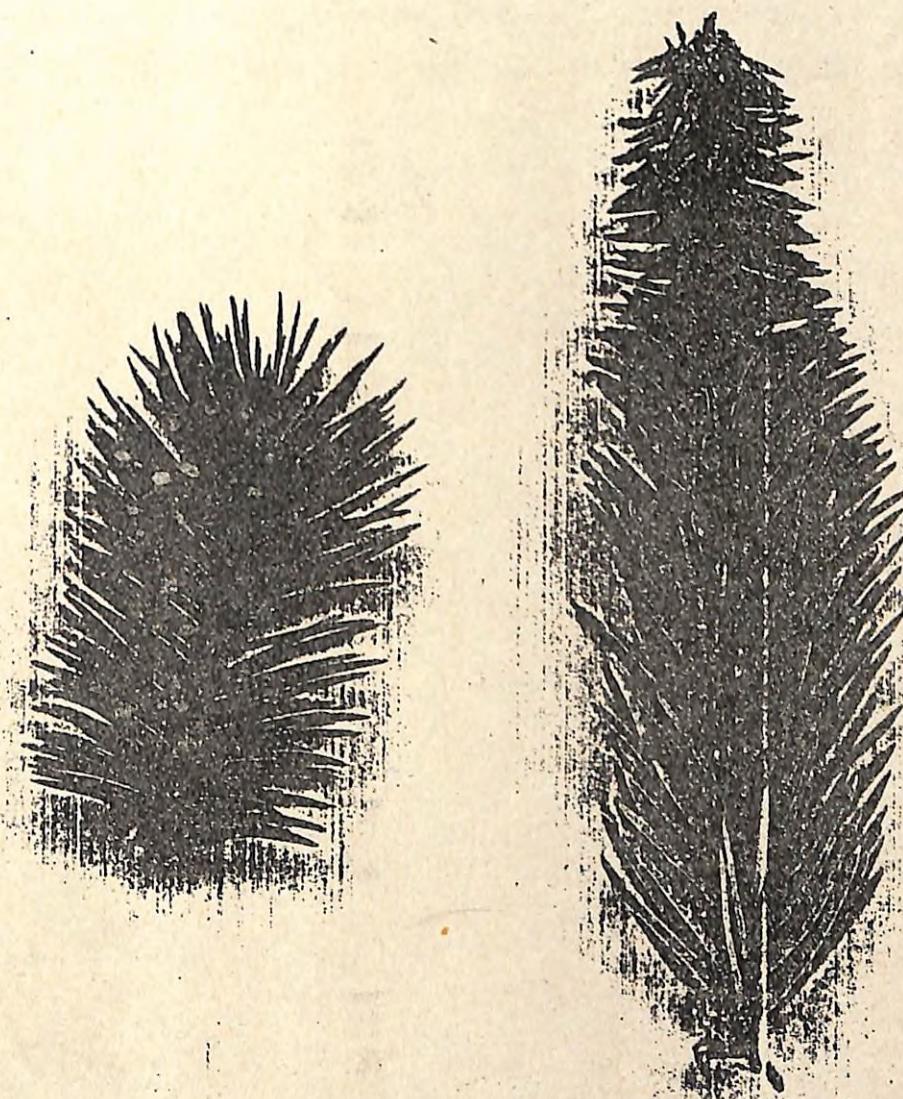


図-13 樹型モデルの1年葉と頂枝葉

樹形モデルの外観はトドマツによく似ており、葉の形状はヨーロッパトウヒとかクロエゾマツに似ている。

観測に際しては枝階を間引き、頂枝葉の下から輪生枝を1階枝、2階枝…5階枝とした。各枝階の状態を図-15に掲げる。

つぎにクレモナ#100、クレモナ#200、リヒレン600Dの3種の樹脂ネットを直径30cm、高さ50cmの円錐形に成形し、被覆材とした。(図-14)

ツリーを海風に曝すに先立って、葉を洗浄(各枝階の輪生枝にマークをつけ汀線方向と内陸方向の葉を図-15のように符号化した。したがって汀線方向に直面するもは1・2階枝では

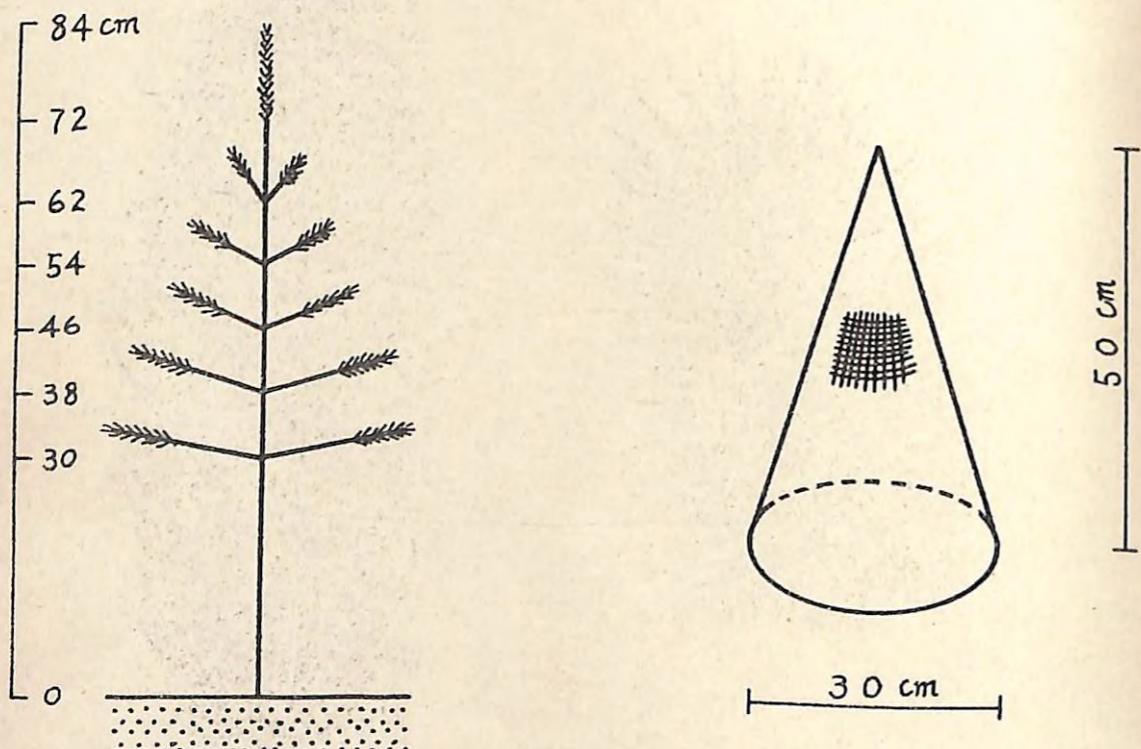


図-14 樹形モデルに用いたホンコンツリーと被覆ネット

a, 3階枝ではb, 4・5階枝ではcである。

被覆材リヒレン600D・クレモナ#100・クレモナ#200をつけたツリーを供試木1・2・3とし、被覆なしのツリーを対照として供試木4とした。

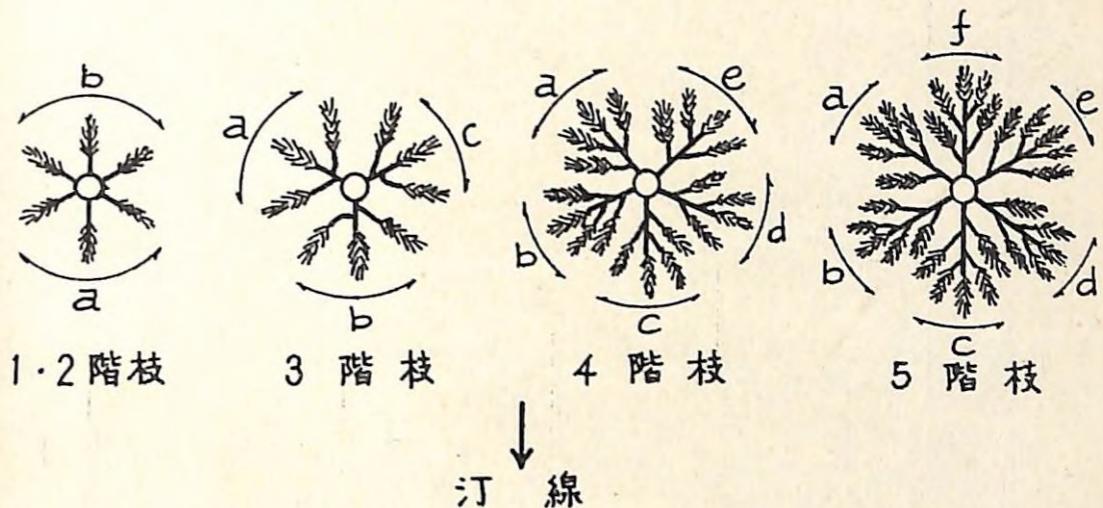


図-15 各輪生枝の着葉状況と呼称

これらのツリーを汀線より2.3m離れた砂地上に1mおきに汀線と平行に配置し、3時間海風に曝した。

観測当日の天候は快晴で風向はほぼ汀線に直角でNNWと安定し、風速は5.2m/s～6.8m/sであった。波高は0.5m程度とみられた。

海風に曝した後のツリーから頂枝葉・各枝階の葉を抜きとり、図-15で符号化した輪生枝ごとに、観測1と同様の方法で付着した塩分を定量した。その結果を1時間当たり、葉1本当りの重量で図-16, 17, 18, 19に示す。ネットを被覆した供試木1～3と無処理の供試木4を通じて一般的な傾向は、1・2階枝では海側の葉の塩分量は内陸側よりも数倍多く、また3階枝以下では海風の風向に向いていたcの塩分が最も多量で、内陸向きの枝ほど減少する分布型になっている。頂枝葉および各枝階の最も海寄りの葉の塩分量を比較してみると、頂枝葉にはその投影面積比(各枝階の投影葉面積の約1.5倍)以上の塩分量となっており、また枝階の間では上方についている葉ほど付着塩分量の多い傾向がみられる。これは上方の枝階では下方のものよりも葉の繁り(本数)が粗であるので、それぞれの葉に対する海風の当りが異なるためと考えられる。

対照とした供試木4とネットを施した供試木1～3の全付着塩分量を図-20に示す。ここで全付着塩分量とは図-16～19であらわされている頂枝から5階枝までの葉の塩分量の合

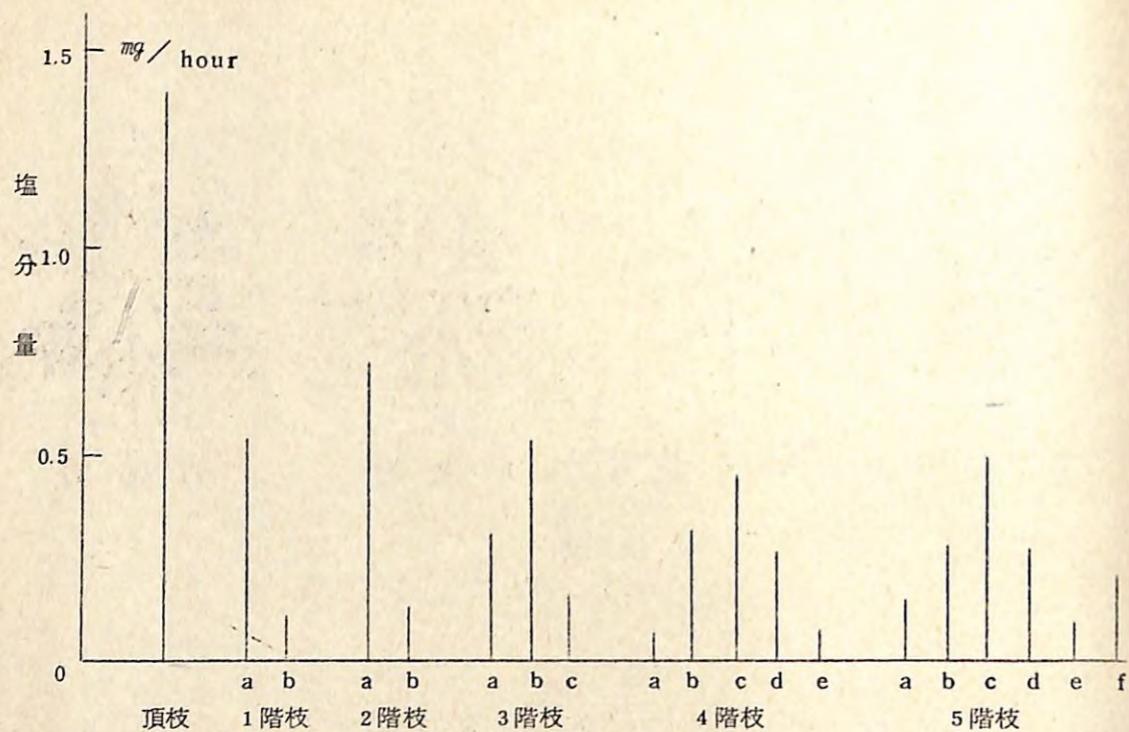


図-16 供試木1 (リヒレン600被覆)の付着塩分量の分布

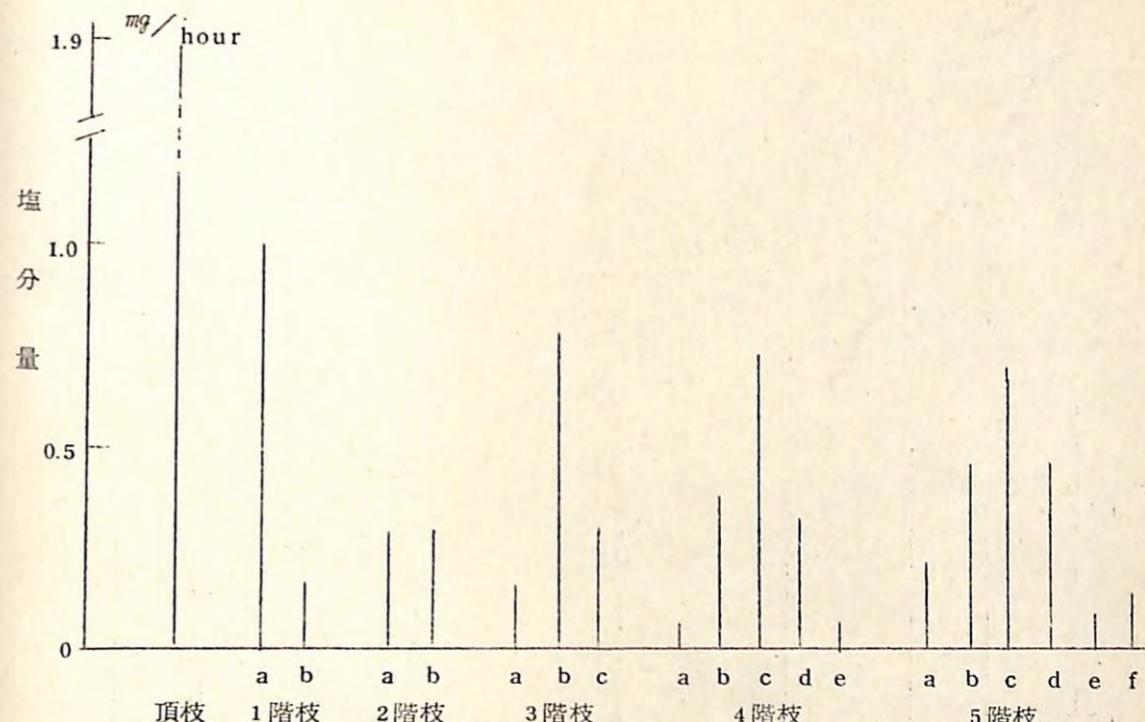


図-18 供試木3 (クレモナ#200被覆)の付着塩分量の分布

計値である。供試木1・2・3の供試木4(対照)に対する塩分量の割合は34%・31%・42%となった。ネットメッシュのやや粗い供試木2が供試木1より低い値を示したのは、素材糸のケバがやはり効いているとおもわれた。クレモナ#200はメッシュが粗いことと糸が細いため、防塩効果は他2者に比べ劣っている。

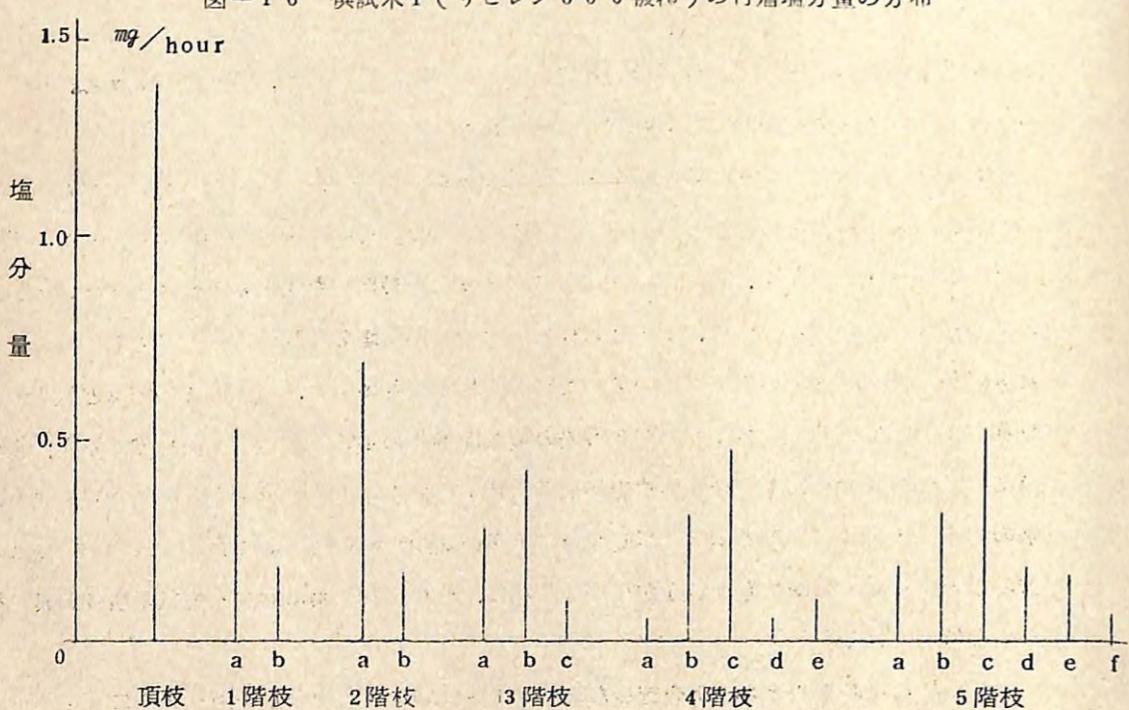


図-17 供試木2 (クレモナ#100被覆)の付着塩分量の分布

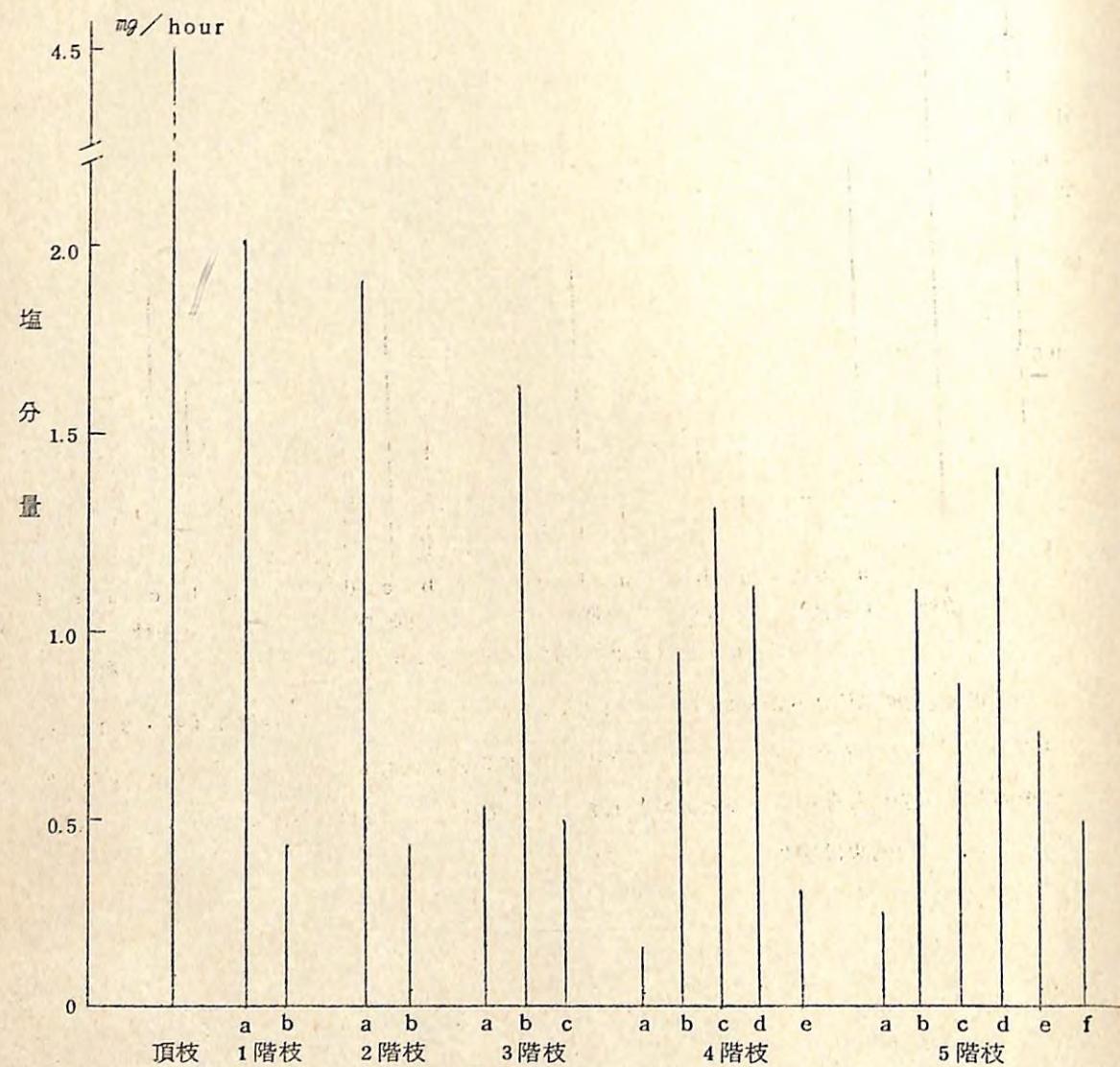


図-19 供試木4(対照)の附着塩分量の分布

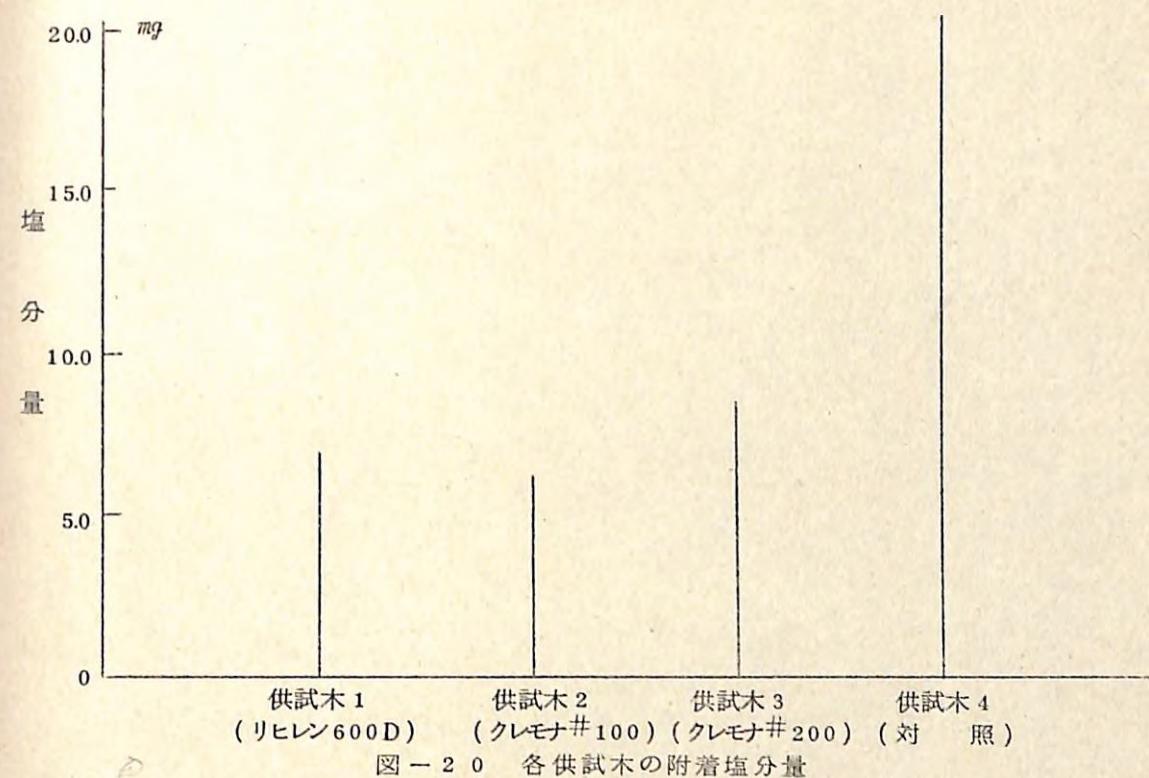


図-20 各供試木の附着塩分量

治山ダムクラックの発生要因
及び開口変位量の分析

治山ダムクラックの発生要因 および開口変位量の分析

I 試験担当者

九州支場育林部防災研究室 陶山正憲
 " " 真島征夫
 " " 竹下幸
 " " 大谷義一

II 試験目的

治山ダムの設計、施工、管理などの面で、現在なお未解決のまま残されている技術的な問題点の一つとして、治山ダムのクラック対策がある。治山ダムに発生するクラックは、単なる美的嫌悪感はさておいて、治山の社会的義務とともにダムの安全工学的な面から憂慮すべき重要問題であるので、ダムクラックの実態、発生機構、ダム破壊の危険度判定および対策などを早急に検討する必要がある。

本試験の目的は、昭和51～53年度に実施した技術開発試験「治山ダムクラックの特性解析と破壊防止技術の確立」（以下「前課題」という）で得られた成果の検証と実用化をはかるとともに、「前課題」で残された問題点を検討し、治山ダムの安全設計と事故診断技術を可及的に確立するための基礎資料を得ることである。

III 試験の経過と得られた成果

本試験は、「前課題」で得られた成果をさらに向上・発展させるため、昭和54年度に室内実験と現地試験を実施し、得られた結果をもとにして治山ダムクラックの発生要因および開口変位量の分析に関する検討を行ったものである。

本課題は、次の四つの研究項目からなるので、項目別に試験の経過と得られた成果を示す。

1. ダムコンクリートにおけるクラックの発生・伝播機構と要因分析

(1) 治山ダムに発生するクラックの実態

治山ダムに発生するクラックは複雑で、種々様々な性状を呈するが、これを四つの観点から巨視的に分類すると次のようになる。

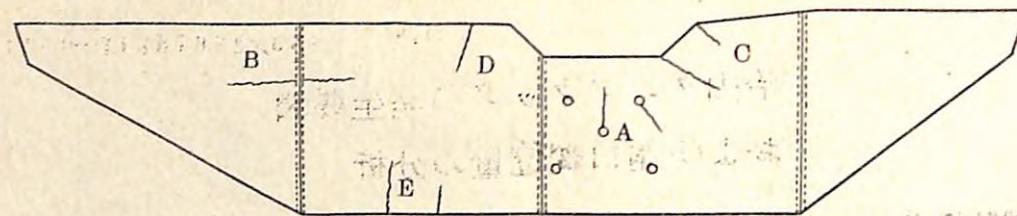


図-1 治山ダムにおけるクラック発生位置

① 治山ダムにおけるクラック発生位置による分類(図-1参照)

- A: 水抜孔から発生するクラック
- B: 各種の継目から発生するクラック
- C: ダム形状の変換部に発生するクラック
- D: ダム天端から発生するクラック
- E: ダム底から発生するクラック

② 治山ダムクラックの規模による分類

- A: 表面クラック
- B: 内部クラック
- C: 貫通クラック

③ 治山ダムクラックの方向による分類

- A: 垂直クラック
- B: 傾斜クラック
- C: 水平クラック

④ 治山ダムクラックの形状による分類

- A: 直線クラック
- B: 屈折クラック
- C: 分岐クラック

熊本・高知・大阪・青森の4営林局管内および愛知県下において実施した治山ダムクラックの実態調査の結果をもとにして、ダム本体にクラックが認められた25基の治山ダムを対象に、発見された全てのクラックを上記基準に従って分類し、これをダムの諸元とともに要約すると表-1のようになる。

(2) 治山ダムクラックのモデル化とその発生要因分析

治山ダムクラックの発生・伝播機構を解明するには、現在、破壊力学的手法を適用する

表-1 治山ダムの諸元とクラックの巨視的特徴(その1)

ダム番号	ダム名	所管林署名(事務所名)	ダム材	ダム諸元			クラック番号	クラック長(m)	クラックの種類		
				ダム長(m)	ダム高(m)	体積(m ³)			発生位置	規模	発生方向形態
1	桜島長谷川1号谷止	鹿児島純コン	70.4	70	1,504.3	a	4.0	E	A	A	A
2	桜島中津野川1号谷止	鹿児島純コン	29.5	60	501.2	a	2.4	A	A	C	A
3	桜島横石沢1号谷止	鹿児島純コン	43.5	70	807.8	a	1.8	D	C	B	A
						b	5.4	B	A	C	A
						a	1.2	B	A	A	B
						b	1.2	B	A	A	C
						c	0.9	B	A	A	A
						d	1.1	B	A	A	B
						e	3.0	A	C	A	A
						f	1.1	B	A	B	A
						g	0.5	A	A	A	A
						a	1.7	D	C	A	A
						b	0.6	A	A	A	A
						c	0.8	B	A	A	A
						a	1.34	C	C	B	A
						b	8.8	C	C	B	A
						c	4.2	A	C	A	A
						d	2.0	C	C	A	A
						a	4.0	B	A	C	A
						b	2.0	A	C	C	A
						c	2.0	C	C	A	A
						d	2.0	C	C	A	A
						e	8.4	E	C	A	A
						f	1.6	C	C	B	A
						g	5.8	C	A	C	B
						c	3.6	C	A	C	B
						a	6.6	C	A	C	A
						b	1.35	C	C	B	B
						c	2.9	D	C	A	B
						d	1.2	D	A	A	A
						e	8.1	C	C	B	C
						f	0.8	E	A	A	A
						g	4.6	A	C	A	A

表-1 治山ダムの諸元とクラックの巨視的特徴(その2)

ダム番号	ダム名	所管林署名(事務所名)	轄名	ダム長(m)	ダム高(m)	体積(m ³)	諸元	クラック番号	クラックの種類			
									発生位置	規模	発生方向	形態
15	仏通寺山1号堰堤	西条	玉コン	52.0	10.0	1,719.2		a	8.0	D	A	A
								b	2.6	B	B	A
								c	2.5	A	C	A
								d	3.5	B	B	A
								e	7.6	D	C	A
								f	5.0	A	A	A
								g	1.2	B	A	A
								h	4.0	B	A	A
16	三ツ目内川床固	大鷲	玉コン	59.0	4.0			a	4.0	D	C	C
								b	4.5	C	B	B
								c	5.4	D	C	A
17	島田川2号床固	大鷲	純コン	34.0	3.0			a	2.0	A	C	B
								b	1.9	B	A	A
								c	1.8	B	A	A
								d	1.6	A	C	B
								e	8.2	B	A	C
								f	3.6	B	A	A
								g	2.8	B	A	B
									2.6	E	A	A
18	飛金沢堰堤	三本木	純コン	49.0	10.5	245.5		a	1.8	A	A	A
								b	3.0	A	C	A
								c	0.9	A	A	A
19	食堺沢堰堤	勝ヶ沢	純コン	26.0	4.0			a	7.0	B	C	A, B, A
								b	2.4	D	C	A
								c	1.3	A	C	B
20	秋山沢堰堤	白石	純コン	48.0	6.0	1,082.7		a	3.5	D	C	A
								b	5.0	D	C	A
								c	4.0	D	C	A
21	本内川堰堤	川尻	純コン	36.0	5.0			a	3.3	D	C	A
22	西広瀬谷止	(豊田)	純コン	17.5	3.0	76.2		b	5.0	D	C	A
23	大坂1号谷止	(豊田)	純コン	23.0	5.5	202.5		a	5.0	D	C	A
24	大坂2号谷止	(豊田)	純コン	36.0	7.4	606.8		b	5.0	D	C	A
25	大坂床固	(豊田)	純コン	34.0	4.0	208.6		a	2.0	D	C	B, C

※印は左岸袖部鉄筋

のが有効である。

破壊力学の重要なパラメータである応力拡大係数(K)は、クラック先端近傍での弾性域応力分布を一義的に決定する工学量であり、クラックの発生条件、伝播開始条件、伝播方向、成長特性などを支配すると言われている。この K の解析法としては、今までに等角写像法、選点法、有限要素法、ローラン展開法などが開発され、多くの解析結果が得られている。

さて、破壊力学は単純化されたクラックモデルの解析によって得られた K を用いて、現実の实物構造物の破壊現象を特徴づける方法論であるので、このモデルの選択、設定が重要な問題となる。前節では、治山ダムクラックの実態を要約するために、クラックを単純に巨視的観点から分類してみたが、治山ダムにおける複雑な力学的境界条件を考慮すれば現実の欠陥に即応した破壊力学特異点をもつ等価な理想クラックに置き換えて、各種クラックモデルの精密化を進める必要性が生じてくる。しかしながら、材料としてのコンクリートや特に現実のコンクリートダムでは、等価クラックがきわめて複雑であるので、その解析にはまずいくつかの単位モデルに分割・置換して、次にこれらの単位モデルを集成し、これを確率過程論的に処理するという過程を順次たどることが必要となろう。ここではその第1段階として、コンクリートダムの破壊力学的解析に有効であると考えられる9種の単位クラックモデルを提案した。ここで、図-2はクラックが主応力方向に直角に位置す

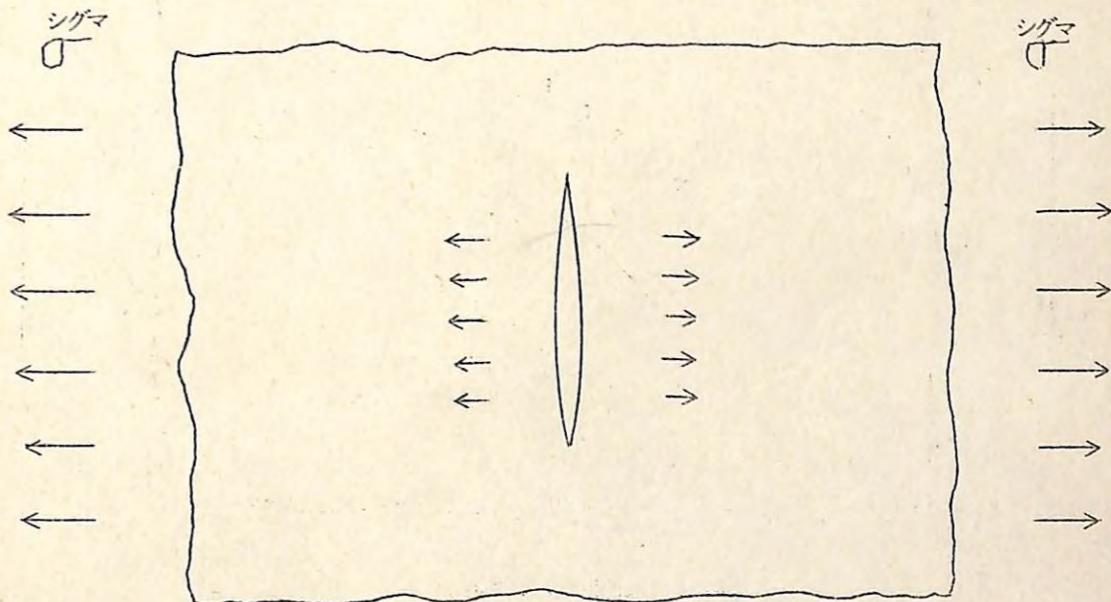


図-2 垂直クラックモデル

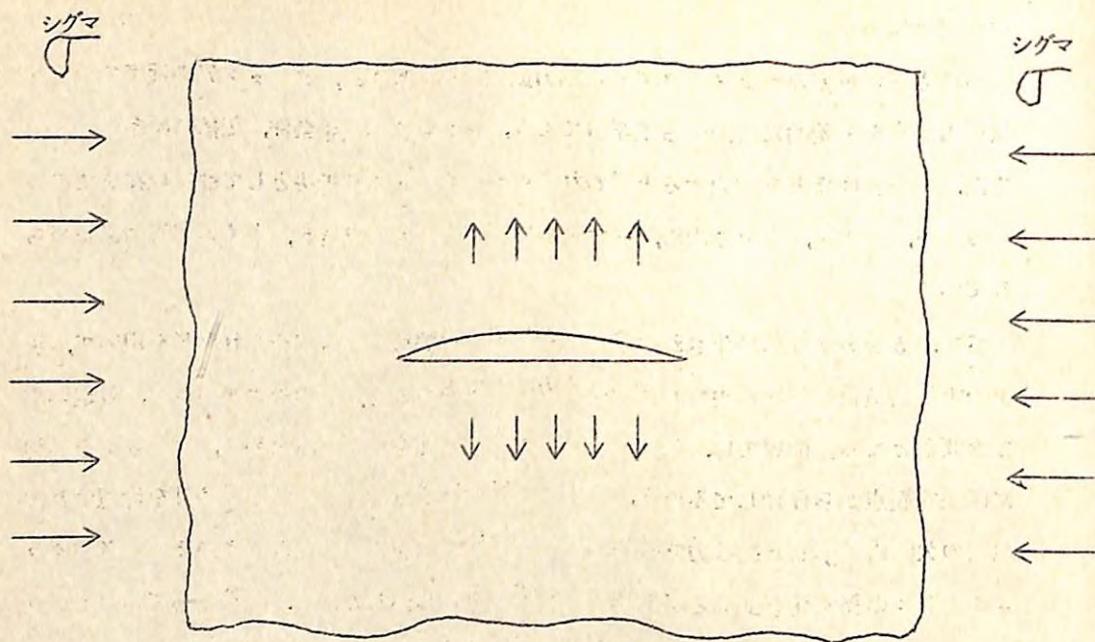


図-3 水平クラックモデル

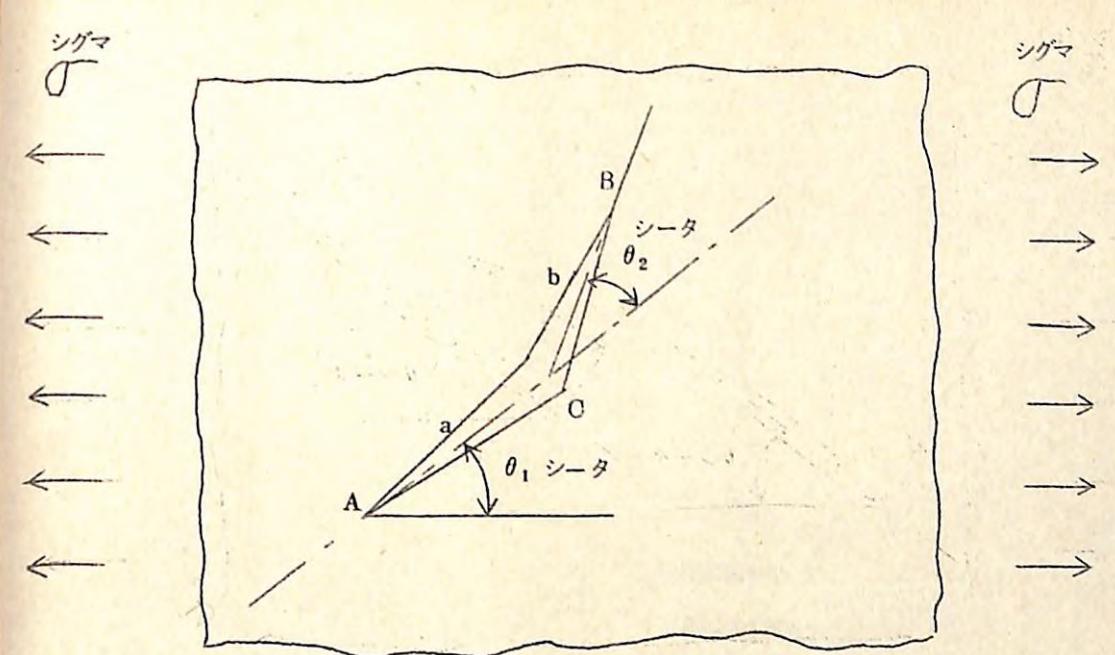


図-5 屈折クラックモデル

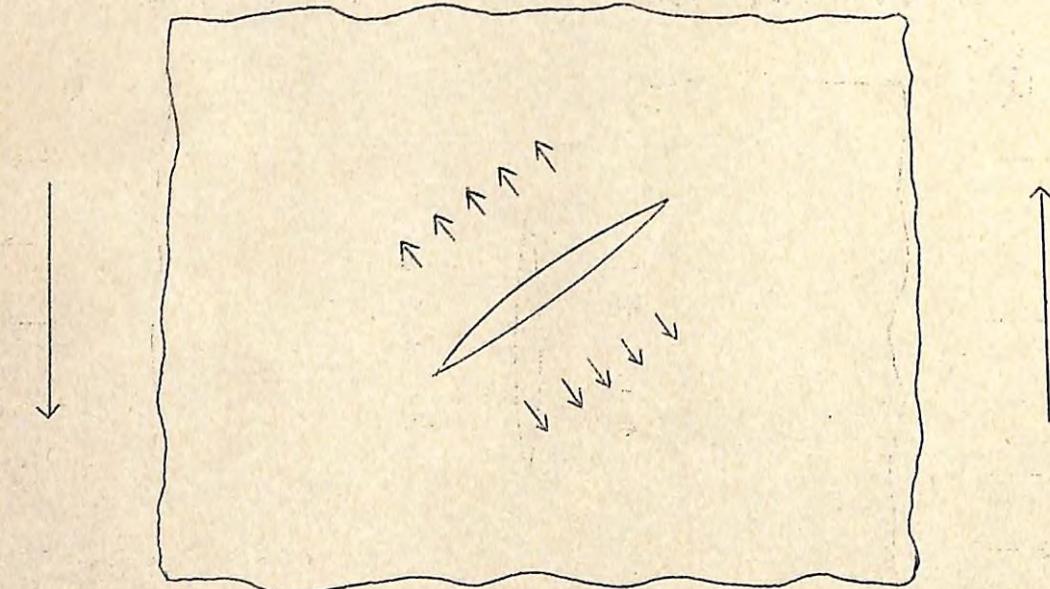


図-4 傾斜クラックモデル

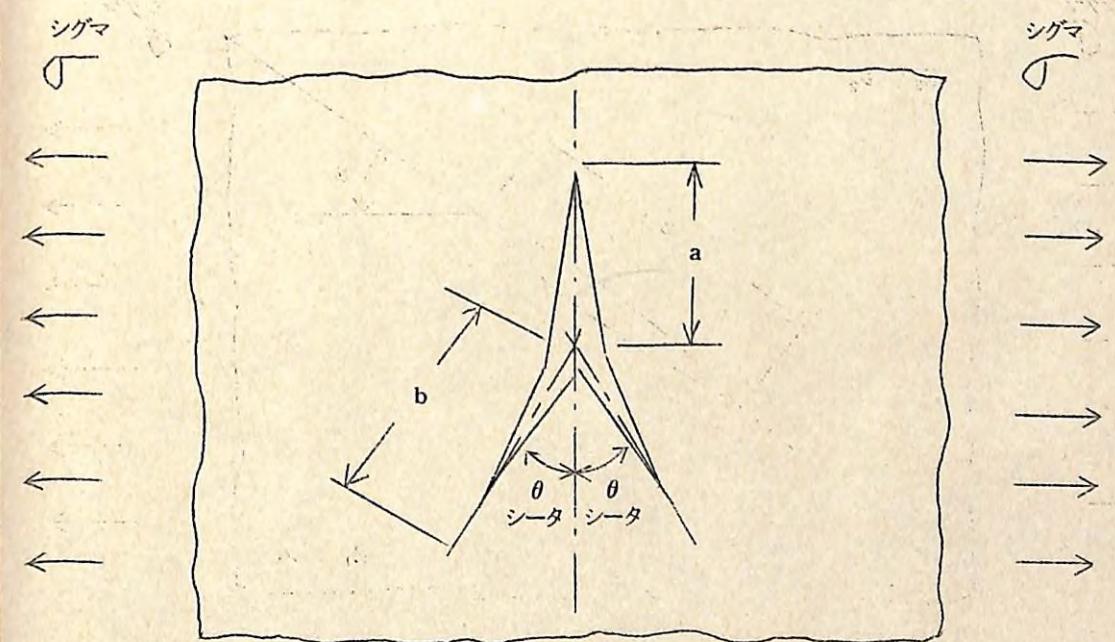


図-6 分岐クラックモデル

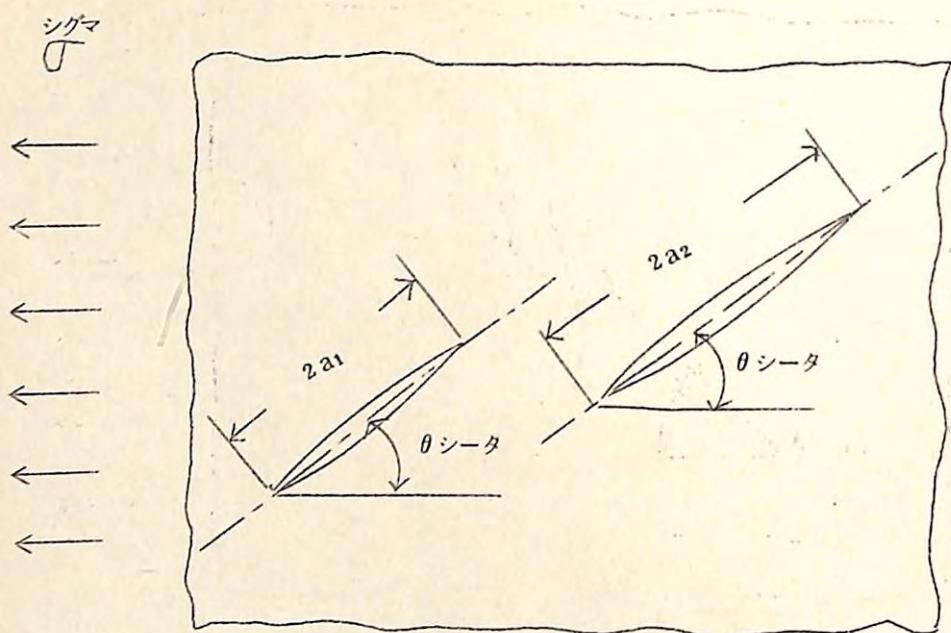


図-7 近接分布クラックモデル

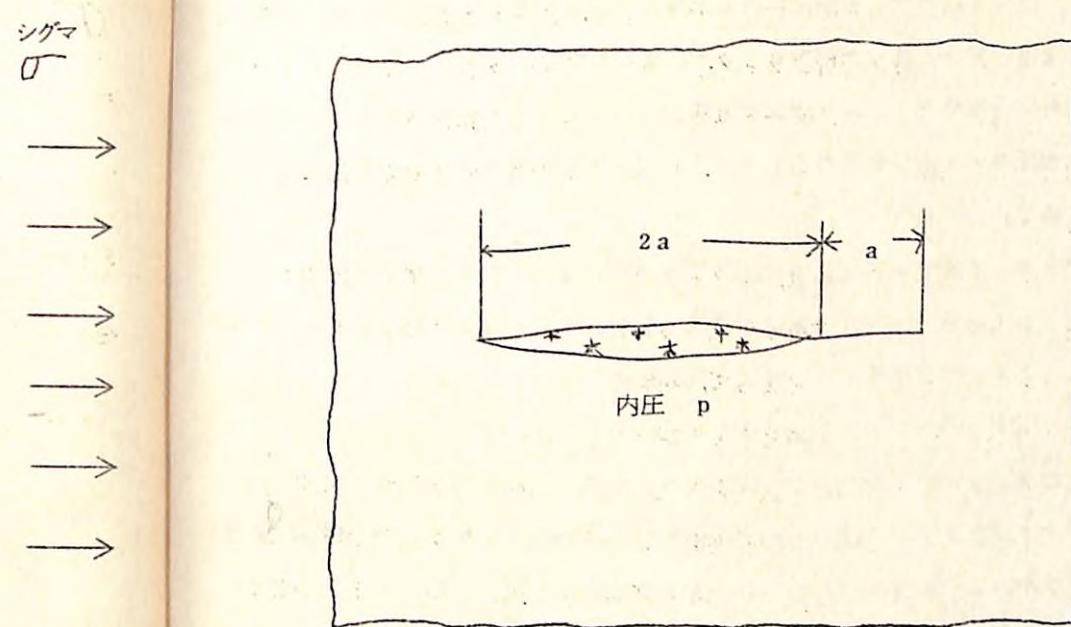


図-9 内圧を受けるクラックモデル

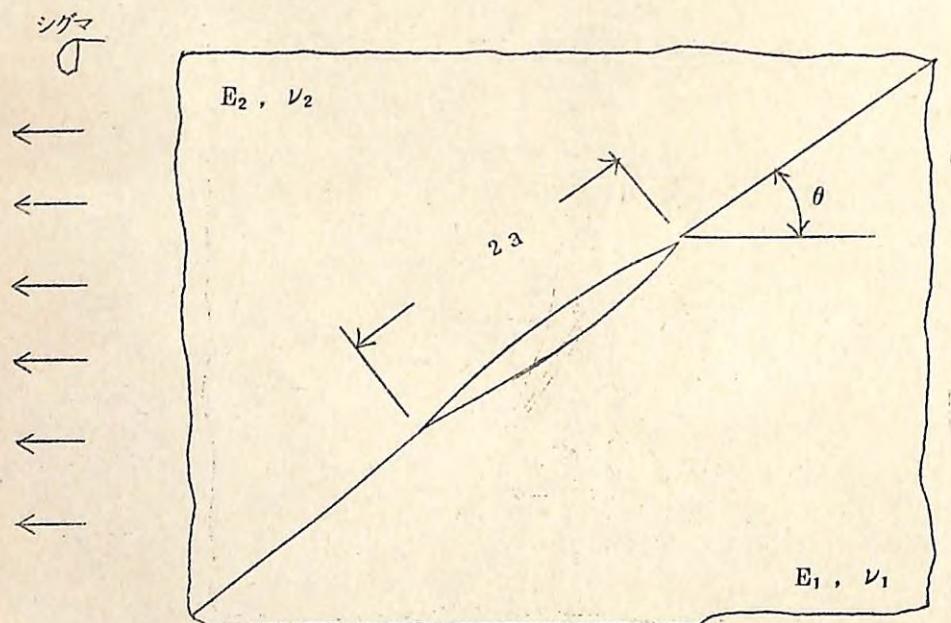


図-8 異材境界に発生するクラックモデル

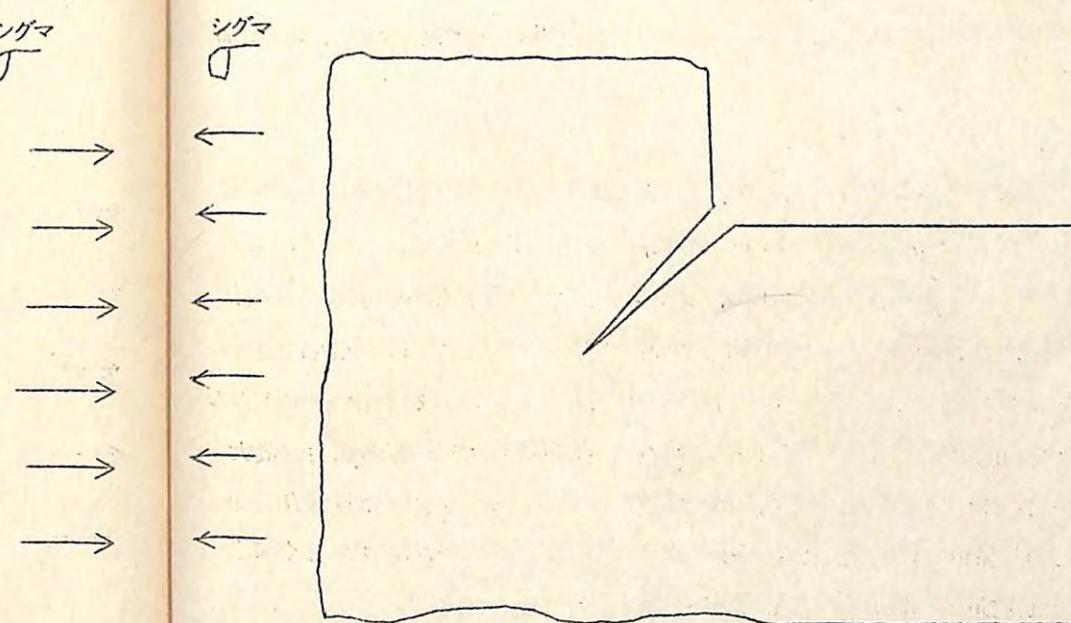


図-10 構造的形状の変換部に発生するクラックモデル

る垂直クラック、図-3は主応力方向に平行な水平クラック、図-4は隙間のある傾斜クラック、図-5は途中で折れ曲った屈折クラック、図-6はフォーク形の分岐クラック、図-7は近接した平行な分布クラック、図-8は複合材料的に考えた異材境界の界面クラック、図-9は水圧などの内圧を受けるクラック、図-10は構造的形状の変換部に発生するクラックである。

ここに掲げたクラックモデルに対しては、クラック面の接触に関する若干の問題点を無視すれば、原則として破壊力学的Kの解析が可能である。したがって、このような単位モデルに分解し、モデルを精密化することによって、現実の治山ダムおよびコンクリートの複雑な破壊現象の解明への一つの道を拓くことも可能となろう。

ここでは上記のクラックモデルの中から数例をとりあげ、その解析方法について述べる。これらのモデル化されたクラックは、それぞれ特有の挙動・特性をもつが、その解析には破壊力学的手法を用いるのが適切であり、その適用の結果により、コンクリートへの破壊力学の有効性も保証されよう。

1) 垂直クラックと水平クラック

現実の材料中に発生したクラックが図-2のように主応力方向に直角に位置する垂直クラックと、図-3のように平行的に位置する水平クラックの場合には、一般にクラックはいずれもその延長線の方向に直進する。前者は引張応力場、後者は圧縮応力場に発生する。

2) 傾斜クラック

現実の材料中に存在する潜在性クラックは、必ずしも主応力方向に位置するとは限らない。例えば、2次元応力状態下においては一般に、モードI, IIの二つのクラックの基本変形モードが混在する。このような場合、クラックはその延長線の方向には直進せず、一般には曲進または屈進する。図-4に示す傾斜クラックは、せん断応力場において発生するクラックであるが、その伝播方向については、上記のような混合モード下における“最大周方向応力説”すなわち“クラックはその先端における周方向応力が最大になる方向へ伝播を開始する”という説を用いて解析すれば、クラックの傾斜角 β とその伝播方向 θ との関係が求められ、これを図-11に示す。この関係は、 β がとくに小さくない範囲では次節の実験結果に比較的よく一致している。

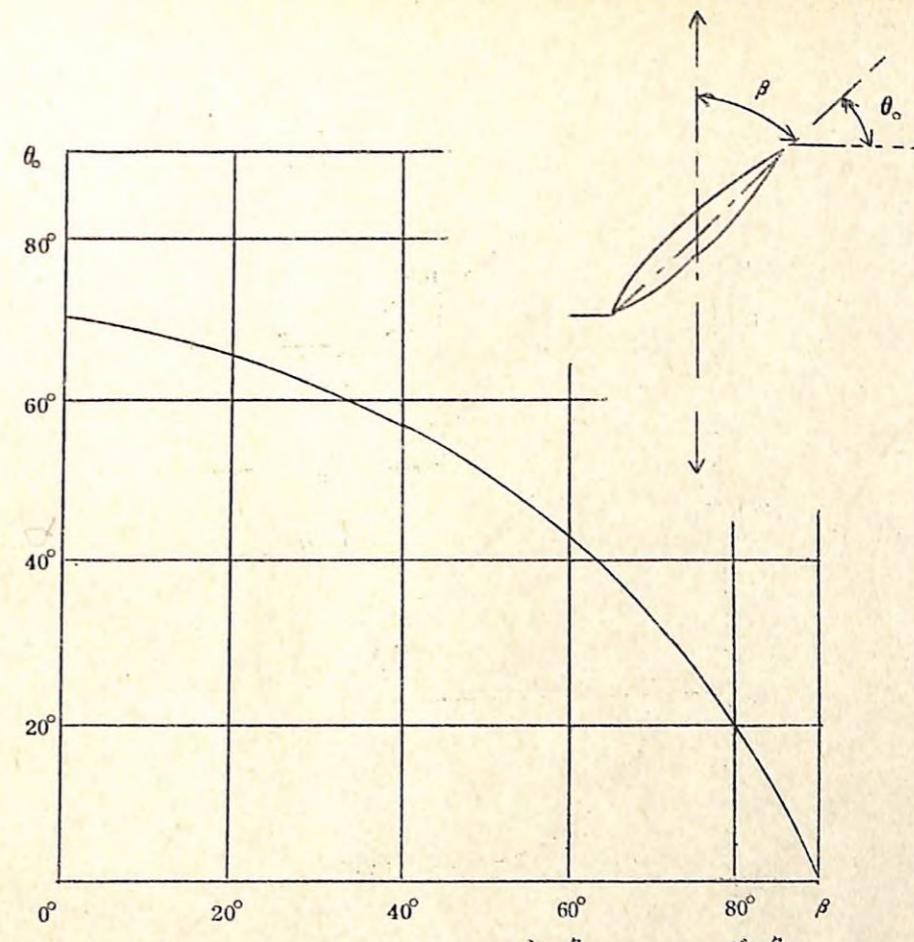


図-11 傾斜き裂からのき裂伝播方向(θ_0)と傾斜角(β)との関係

3) 屈折クラック

図-5に示すようにクラックの先が曲がった屈折クラックの伝播方向についても、前記の最大周方向応力説を適用して解析できる。すなわち、クラックの一端Bの応力を、この点を座標の原点とする極座標による ρ, θ で解析し、この ρ, θ が最大になる方向にクラックが伸びると考えれば、屈折部分BC間のどこからどの方向へクラックが屈曲していくかを判定することができる。結果として、屈折クラックからのクラックの伝播方向は、引張方向に対してほぼ直角の方向になることが証明されている。

4) 分岐クラック

コンクリートのようなせん断性破壊では、クラックの先端が複数個に分岐する現象が知られている。これを分岐クラックと呼び、その基本的なモデルとして、図-6に示すように一端が対称に分岐したフォーク形クラックの解析結果がある。これによると、治山ダムのクラックが一度分岐を生じると、クラックの成長速度の減少あるいは停止

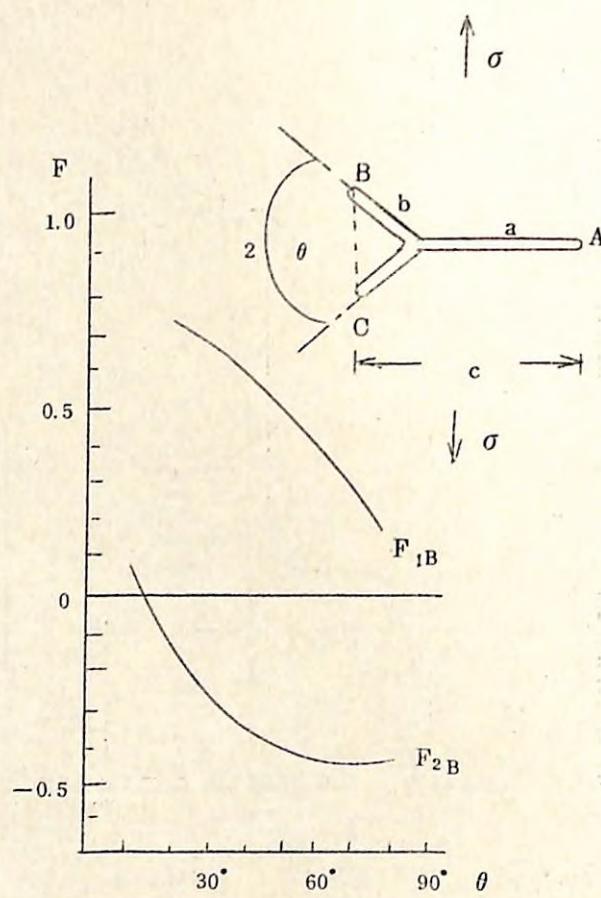


図-1-2 フォク形き裂の応力拡大係数と分岐角 (2θ) との関係 ($b/a = 0.1$)

$$F_{1B} = K_{1B} / \sqrt{\pi(c/2)}, \quad F_{2B} = K_{II B} / \sigma \sqrt{\pi(c/2)}$$

に至る現象（クラックアレスト効果）を説明することができる。図-1-2によると、分岐角 $2\theta = 30^\circ$ の場合には、クラック先端の左右の応力状態が対称となり、その前後では応力拡大係数 K の符号の逆転が生じる事実から、実際に観察されるクラックの分岐が、ほとんど 30° 前後の角度で分岐する現象を力学的に証明することができる。

5) 近接分布クラック

ダムコンクリートには多数の欠陥、弱面などが不規則に分布している場合が考えられるので、分布クラックの干渉、合体がコンクリートの強度低下あるいは破壊によぼす

影響を検討する必要がある。このような分布クラックの二次元的モデルについては、ローラン展開と摂動法による解析例があり、これによって任意荷重の任意配置・寸法の分布クラックの K の計算が可能になった。

さて、分布クラックの特性を論じる場合、重要な基本モデルとして図-7に示す近接分布クラック（平行2き裂モデル）が考えられる。その解析例として、平行2クラックの干渉を相手クラックの右端の位置で整理した干渉線図が求められている。その結果によると、同一直線上にあるクラック配置よりも、ある程度の斜めのくい違い配置の方が両クラック間の干渉・合体開始が早くなることが示されており、これはコンクリートのようないわば性材料でしばしば認められる現象である。すなわち近接分布クラックは最短距離で連結・合体することなく、互いに平行に伝播し両者が十分オーバーラップした後に K_{II}/K_I が増加し、方向を転じて連結する方向へ進行することになる。このような割れ方はコンクリート材にもしばしばみられる例であり、次節の実験でもよく説明されている。

以上、垂直クラックや水平クラックのような单一直線クラックから近接分布クラックまで数例をとりあげて、それらの発生・伝播機構と発生要因を検討したが、他のモデルクラックについても、原則的には破壊力学的解析が可能である。

(3) コンクリートのクラック発生・伝播機構に関する実験的検討

1) コンクリートの材質的特異性について

コンクリートのようなセメント硬化体は、一般に圧縮強度に比べて引張強度が著しく低い材料であるが、圧縮材としてのコンクリートが、時として圧縮荷重下でも強度的に異常な弱さを示すことも認められる事実である。この現象は、セメント硬化体が複雑な複合機構を示すとともに、材質的には空隙や微小クラックのような、き裂または力学的にき裂と等価と見なされる欠陥を含む、ぜい性かつ不均質材料であることが、その主たる原因と考えられる。すなわち、材料の内部に欠陥が存在する場合には、圧縮荷重下といえども、欠陥の近傍に高引張応力場が生じることがあり、この引張応力によってき裂が発生し、最終的には“割れ”にいたる破壊過程が考えられるからである。

本節では、コンクリートき裂材の強度評価に対する破壊力学的研究の一環として、各種セメント硬化体のクラック発生・破壊機構について若干の検討を行う。

2) 供試コンクリートの種類と使用骨材の粒度

コンクリートのクラック発生機構や破壊機構は、骨材の形状・粒径・粒度などの影響を受けるものと考えられるので、細骨材には川砂と豊浦標準砂を、粗骨材には川砂

利と碎石を準備した。使用した骨材の種類とその粒度は、細骨材が表-2に示す2種類、粗骨材が表-3に示す5種類である。また鋼纖維補強コンクリート用には表-4

表-2 使用した細骨材の粒度

細骨材種	フルイ残留重量比 (%)							FM値	比重	材質
	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.10 mm			
a	0	13	33	59	90	100	—	2.95	2.61	川砂
b	0	0	0	0	0	0	100	—	2.62	標準砂

表-3 使用した粗骨材の粒度

粗骨材種	フルイ残留重量比 (%)					FM値	比重	材質
	2.5	2.0	1.5	1.0	5 mm			
A	0	50	80	90	100	740	2.66	川砂利
B	0	44	78	89	100	734	2.66	川砂利
C	0	21	50	82	100	703	2.66	川砂利
D	0	0	35	65	100	665	2.66	碎石
E	0	0	30	60	100	660	2.66	川砂利

表-4 使用した鋼纖維の寸法と材質

鋼纖維の種類	厚さ (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)	材質	製造法
ISF 25	0.25	0.50	25	普通鋼	薄板切断法
ISF 32	0.50	0.50	32	亜鉛メッキ	

の2種類の鋼纖維を使用し、プレーンコンクリートとの比較に便ならしめた。なお、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。

供試コンクリートは表-5に示す10系列で、細・粗骨材の種類、鋼纖維の有無、および材料の重量配合比などによって分類した。なお、表-5で、系列Iはモルタル、IXとXは鋼纖維補強コンクリート、他はプレーンコンクリートである。

表-5 コンクリートの系列別配合

系列	重量配合比				使用骨材種			空気量 (%)	スランプ [フロー値] (cm)	ブリージング率 (%)
	セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼纖維	細骨材	粗骨材	鋼纖維		
I	1.0	0.52	2.5	—	—	a	—	—	1.8	[21.2]
II	1.0	0.52	2.5	3.5	—	a	C	—	2.4	8.1
III	1.0	0.52	2.5	3.5	—	a	D	—	2.6	5.5
IV	1.0	0.60	2.1	2.1	—	b	E	—	3.7	8.0
V	1.0	0.60	2.1	2.1	—	b	A	—	3.5	7.5
VI	1.0	0.60	3.0	2.7	—	a	B	—	3.5	19.0
VII	1.0	0.60	3.0	3.0	—	a	E	—	3.6	10.0
VIII	1.0	0.60	3.0	3.0	—	a	A	—	4.5	18.0
IX	1.0	0.60	3.0	3.0	0.26	a	E	ISF 25	4.7	3.0
X	1.0	0.60	3.0	3.0	0.26	a	E	ISF 32	5.3	5.5

3) 圧縮による破壊靭性試験の方法

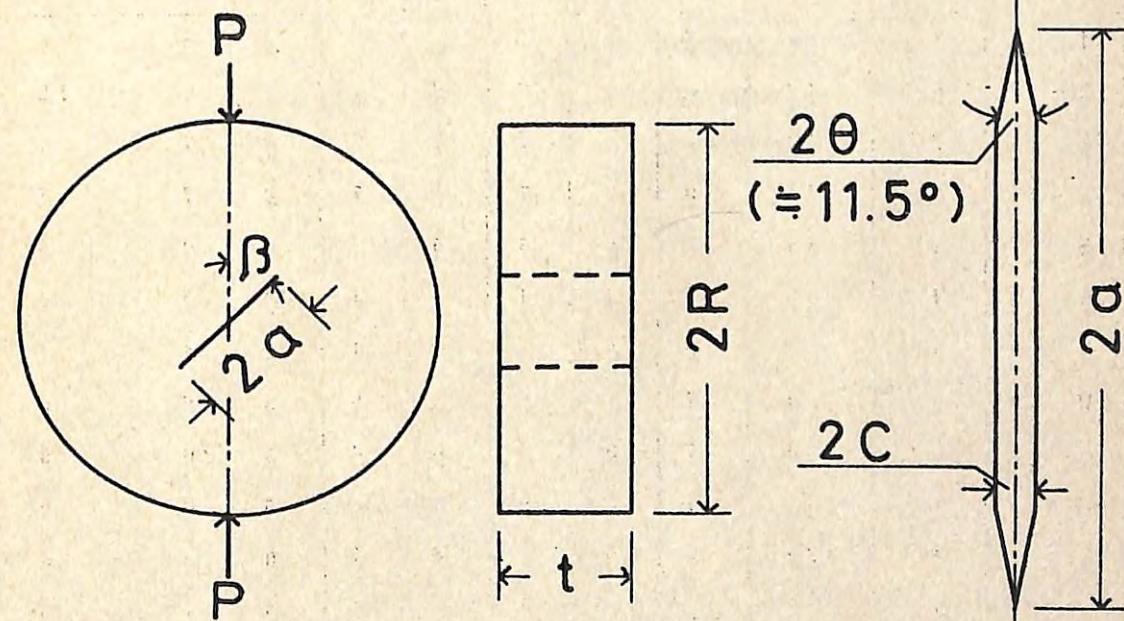


図-13 中央スリット入り円板試験片の形状と載荷方法

まず、試験片の形状は、図-13に示す中央スリット入り円板で、その寸法は直径 $2R=20\text{cm}$ 、板厚 $t=2R/3$ 、スリット長 $2a=4\text{cm}$ 、スリット幅 $2c=1\text{mm}$ を目標に成形した。これとは別に、スリット入り円板と同一直径、同一板厚の無スリット円板試験片も作製し、スリット入り円板試験片との比較に便ならしめた。

次に、試験片の作製は、表-5に示すコンクリートの系列別に、所定の配合比に秤量した各試料を可搬傾胴型コンクリートミキサで3分間練り混ぜ、これを試作の試験片成形用円筒型枠に突き棒で打込んだ。ここで用いた試作の型枠は、内径 20cm の塩ビパイプを所定の寸法(長さ 7.67cm)に切断し、これに円形の底板(板厚 1cm)を取りつけたものである。なお、スリット入り円板試験片の成形用型枠には、図-13のような板厚 1mm のステンレス製スリット板(両刃)を、上記底板の中心に挿入・固定した。

打込み終了後24時間、型枠のまま湿空中(20°C)で養生したのち脱型し、その後試験日まで水中(20°C)で養生した。なお、試験時の材齢は全て28日に統一した。作製した試験片の総数は473個で、その系列別内訳は表-6に示す。

表-6 コンクリートの系列別試験片数

コンクリート の系列	バッチ数	試験片数	中央スリット入り円板 (β°)								無スリット 円板
			0	15	30	45	60	75	90		
I	2	50	9	0	8	8	8	0	8		9
II-1	2	48	9	0	7	6	7	0	7		12
II-2	2	48	11	0	7	7	7	0	7		9
II-3	2	44	9	0	7	7	7	0	7		7
III	2	33	9	0	5	5	6	0	0		8
IV	1	25	5	0	4	3	4	0	4		5
V	1	25	5	0	4	3	4	0	4		5
VI	2	50	7	5	6	6	6	5	6		9
VII	2	50	7	5	6	6	6	5	6		9
VIII	2	50	7	5	6	6	6	5	6		9
IX	1	25	6	0	4	3	4	0	3		5
X	1	25	5	0	4	3	4	0	4		5
合計	20	473	89	15	68	63	69	15	62		92

註) 試験片1個あたりの公称容積は 2094m^3
— 274 —

圧縮による破壊革性試験の方法は、図-13に示す中央スリット入り円板の中心に、集中圧縮荷重を負荷する方法である。その際、荷重線と円板スリットの傾斜角 β を表-6のように、 $0^{\circ} \leq \beta \leq 90^{\circ}$ で変化させ、それぞれの破壊荷重を測定するとともに、クラック発生位置と伝播方向などを詳細に観測した。荷重速度はほぼ一定(平均 $2\text{ton}/\text{min}$)に保ち、試験片が破断するまで加圧し、破壊荷重と破断時の最大荷重を測定した。使用した試験機はアムスラ型耐圧試験機(最大容量 200ton)で、使用容量は 25ton である。

4) コンクリートのクラック発生・伝播機構と破壊過程

中央スリット入りコンクリート円板に、図-13のような集中圧縮荷重を負荷し、次第に荷重を上げると、クラックの発生・伝播現象が確認できる。この現象は、供試コンクリートのいずれの系列にも同様の傾向がうかがわれる所以、ここでは系列VIIのコンクリートを例にとり、その現象を説明する。

さて、中央スリット入りコンクリート円板($\beta=30^{\circ}$ の場合)に載荷すると、まず図-14のように、スリットの両端から二つのクラックが発生し、それぞれ図の上下2方向に進行・伝播し、いずれも荷重点附近で一旦停止する。これを“1次クラック”と呼ぶ。さらに荷重を上げると、今度は図-15のように上下両荷重点近傍の円板縁から迎えのクラックが2次的に発生し、それぞれ矢印の方向に進行する。このクラックを“2次クラック”と呼ぶ。この2次クラックが1次クラックと合体する瞬間に、一旦停止していた1次クラックが図-16のように急速に上下荷重点まで成長し、一挙に最終

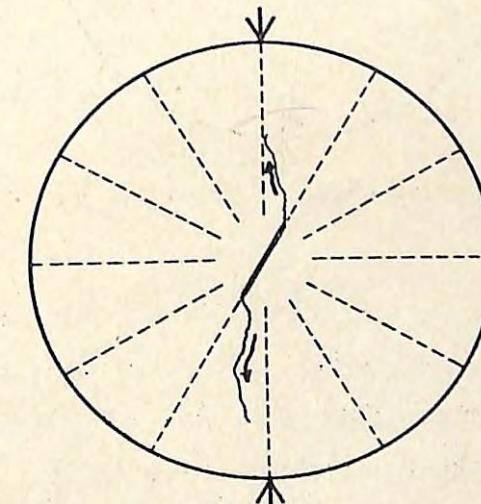


図-14 1次クラック ($\beta=30^{\circ}$)

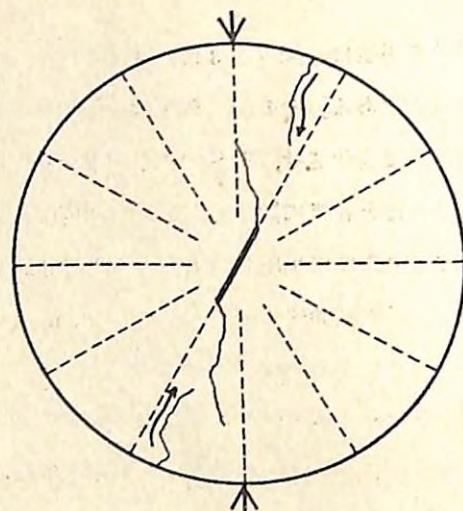


図-15 2次クラック ($\beta=30^\circ$)

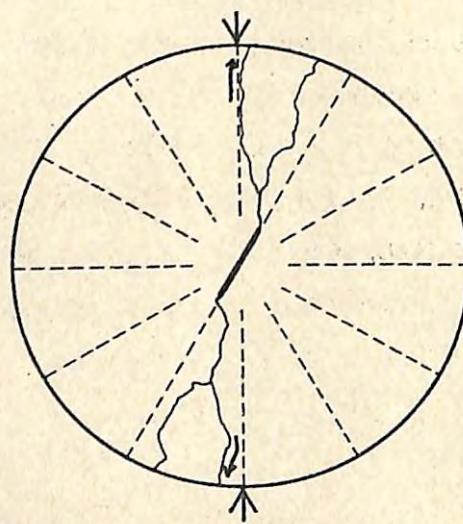


図-16 最終破断時のクラックの様相 ($\beta=30^\circ$)

破断に至る。これが中央スリット入りコンクリート円板の一般的な破壊機構であるが、無スリット円板はもちろんのこと、スリット入り円板でもスリット傾斜角 β によってクラックの発生・伝播・破壊機構は異なるので、系列Ⅶのコンクリートについて β 別のクラック発生・伝播の様相を図-17～22に示した。

まず、 $0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ の場合には、図-17～20に示すいずれのクラックも、上例のようにスリット先端から発生し、その後もほぼ上例と同様の過程をたどって破壊

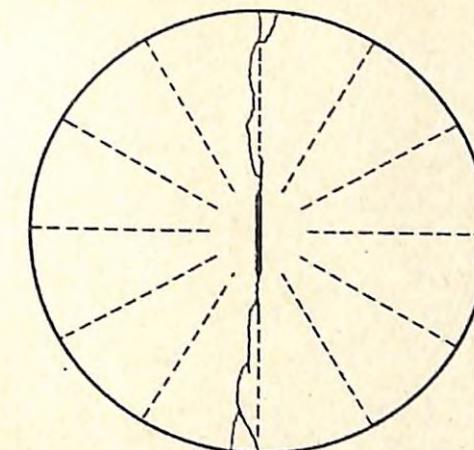


図-17 コンクリート円板の破壊様相 ($\beta=0^\circ$ の場合)

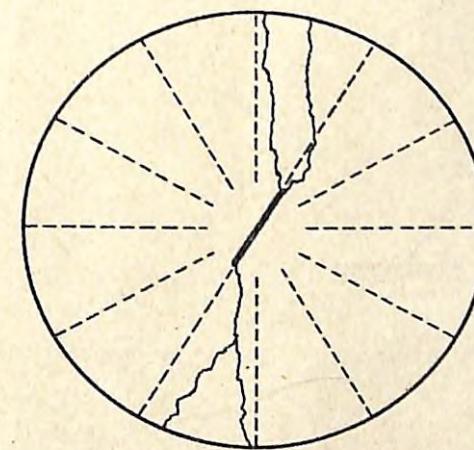


図-18 コンクリート円板の破壊様相 ($\beta=30^\circ$ の場合)

に至る。このような現象は、鋼材、ガラス、大理石、エポキシ樹脂、アクリル樹脂など比較的均質な材料にも同様に認められている傾向であり、この点については、コンクリートへの破壊力学の適用性が十分考えられるわけである。

次に $\beta > 75^\circ$ では、図-21のようにクラックはほとんどスリット先端以外から発生する。この事実は、スリットと理想き裂との差に起因するもので、この場合スリット幅の影響が現われたものと考えられる。これについては、スリット幅を可能な限り小さく

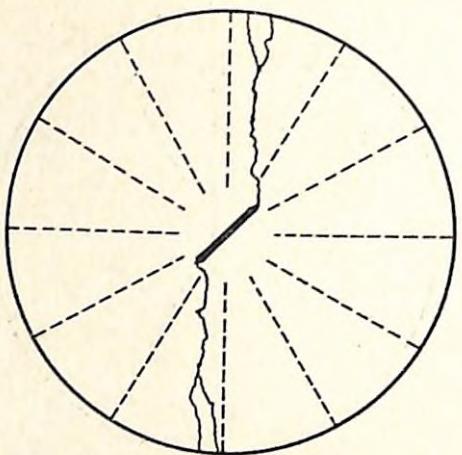


図-19 コンクリート円板の破壊様相 ($\beta = 45^\circ$ の場合)

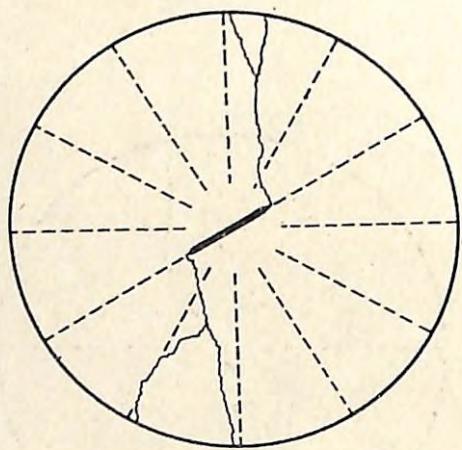


図-20 コンクリート円板の破壊様相 ($\beta = 60^\circ$ の場合)

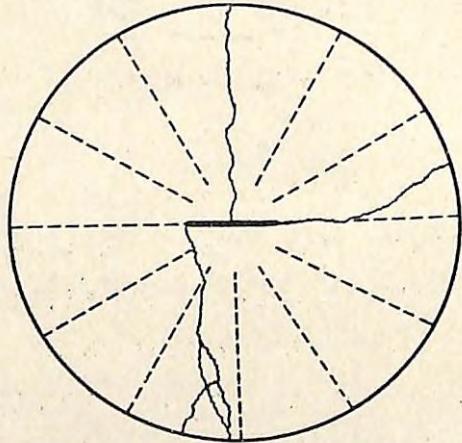


図-21 コンクリート円板の破壊様相 ($\beta = 90^\circ$ の場合)

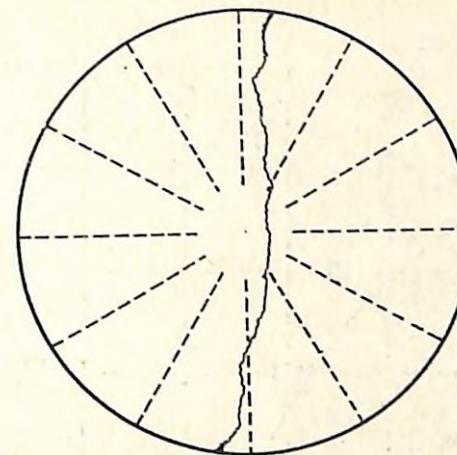


図-22 コンクリート円板の破壊様相 (no slit の場合)

して、その効果について検討する必要がある。

また、無スリット円板が集中圧縮荷重を受ける場合には、引張応力 $\sigma_t = P / \pi R t$ が荷重線に沿って発生するので、理論的にはクラックは円板の中心を通り、荷重線の方向に一直線に発生・進行するはずである。しかしながら、現実には図-22に示すように、コンクリートクラックは円板の中心を避けて曲進する場合が多い。これは、コンクリートの材質的な不均質性を裏付ける証拠と推察される。これを要するに、コンクリートのうなぎい性不均質材料の強度試験に、従来の無き裂試験片を適用する場合の限界を示すものであり、これを改善する方法として、破壊力学の有効性が指摘されよう。

5) スリット傾斜角とクラック発生角に関する検討

一般に、材料中に潜在するスリット端から発生する、新しいクラックの発生角度は、第1章2節に記した、スリット端における“最大周方向応力説”によって解析解が求められる。この最大周方向応力説によれば、第1モードと第2モードの応力拡大係数比 K_I / K_{II} は、

$$K_I / K_{II} = |1 - 3 \cos \theta| \sin \theta \dots \dots \dots \quad (1)$$

のようくクラック発生角 θ の関数として表わされる。この解法に従って、 $a / R = 0.2$ のときのスリット傾斜角 β に対する θ の理論曲線を式(1)から求め、これをコンクリートの系列I, II, IV, VI, VII, VIIIの実験値とともに図-23, 24に示した。

結果として、 $30^\circ < \beta < 75^\circ$ では、系列Iのモルタルと系列VI, VIIのコンクリートに対する θ の実験値が理論曲線に比較的のる傾向がうかがわれるが、 $\beta \leq 30^\circ$ と

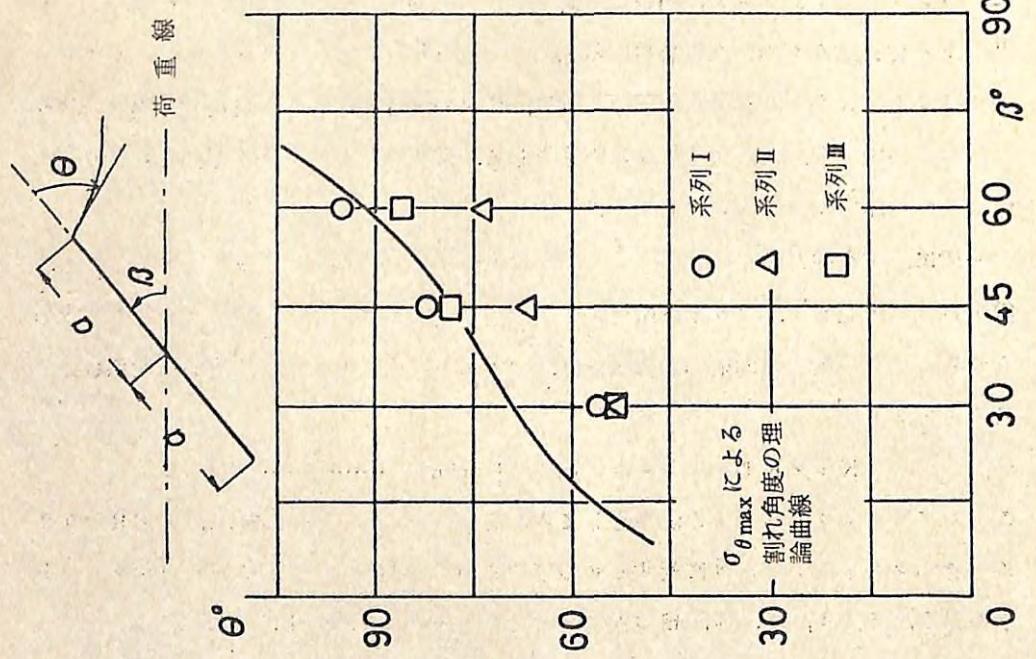


図-2-3 スリット傾斜角 β に対するクラック発生角 θ の理論曲線と実験値 (系列 I, II, III)

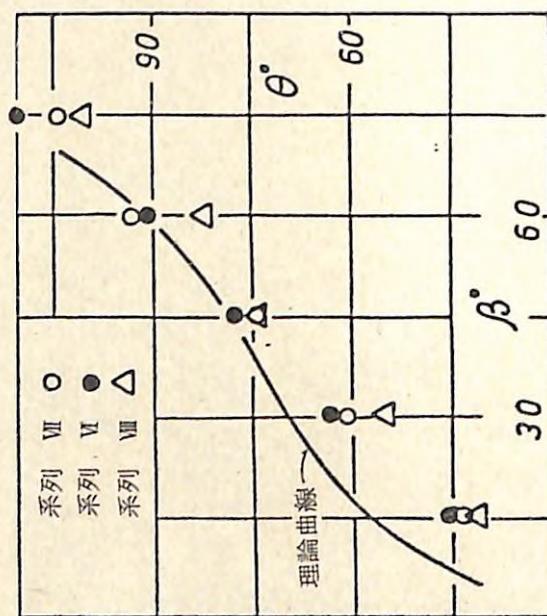


図-2-4 スリット傾斜角 β に対するクラック発生角 θ の理論曲線と実験値 (系列 VII, VI, V)

$\beta \geq 75^\circ$ の場合には、6系列とも θ の実験値が理論曲線を下回る現象が認められる。また、 $\beta = 45^\circ$ の場合には、系列 II 以外のコンクリートの θ 値がほぼ理論曲線にのるのに対し、系列 II のコンクリートだけは、 θ の実験値が全ての β に対して理論曲線よりかなり低下する現象については、材質とともに測定方法についても更に検討する必要がある。

なお、 $\beta = 90^\circ$ の場合には、クラックはほとんどスリット先端以外から発生する傾向が認められた。

6) コンクリートの強度における骨材と鋼纖維の影響

コンクリートの破壊強度に影響をおよぼす要因としては、一般に水セメント比、骨材の配合比、細・粗骨材の種類と粒度などが考えられる。ここでは、圧縮によるコンクリートの破壊非性試験の結果について、上記要因の影響を検討するため、表-5に示した10系列のコンクリートによる試験結果を整理・要約して表-7に示した。

表-7 コンクリートの系列別平均強度 ($\beta = 0^\circ$ の場合)

	R (cm)	t (cm)	W (g)	γ (g/cm ³)	P _F (kg)	K _{IF} (kg/cm ²)
I	1.008	6.56	4566	223	4120	52.7
II	1.008	6.67	4946	239	4510	56.5
III	1.008	6.68	4964	239	4340	54.5
IV	1.010	6.59	4799	229	4315	54.8
V	1.006	6.57	4800	231	4184	53.5
VI	1.006	6.60	4861	234	4007	51.0
VII	1.008	6.63	4846	230	3560	45.1
VIII	1.009	6.60	4822	229	3940	50.1
IX	1.005	6.56	4982	237	4490	57.6
X	1.007	6.55	4869	234	4410	56.7

(註) R: 円板半径, t: 円板厚, W: 円板重量, γ : 単位容積重量

まず、細骨材の材質による影響については、水セメント比と粗骨材の種類が等しい系列 IV, VII と系列 V, VIII のコンクリートの K_{IF} を比較すると、いずれも標準砂使用コンクリートの方が K_{IF} 値は高くなる。

次に、粗骨材の材質による影響については、水セメント比、骨材の重量配合比、使用細骨材種が等しい系列Ⅱ、Ⅲのコンクリートの K_{IF} を比較すると、川砂利使用のコンクリートの方が、碎石使用のコンクリートより K_{IF} 値は高くなる。

さらに、粗骨材の最大粒径の影響については、水セメント比、骨材の重量配合比、使用細骨材種がそれぞれ等しい系列ⅣとⅤ、系列Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを比較検討すると、水セメント比が60%のときは系列Ⅴ>系列Ⅳ、水セメント比が52%のときは系列Ⅱ>系列Ⅲ>系列Ⅰとなり、いずれの場合も、骨材の最大粒径が大きいほど、コンクリートの K_{IF} 値は高くなることがわかる。

なお、水セメント比の影響については、他の条件が異なるため断定はし難いが、一般的には水セメント比52%のコンクリートの方が、その比60%のコンクリートより K_{IF} 値は高くなる傾向がうかがわれる。

また、鋼纖維がコンクリートの K_{IF} におよぼす影響については、水セメント比、骨材の重量配合比、使用細・粗骨材種などがいずれも等しい系列Ⅶのコンクリートと比較すれば、鋼纖維補強コンクリートの K_{IF} 値は系列Ⅶのプレーンコンクリートより圧倒的に高くなることが確認される。この現象は、条件の異なる他のプレーンコンクリートに比べても認められる。

なお、鋼纖維の種類がコンクリートの K_{IF} におよぼす影響については、顕著な差は認められないが、この場合には、鋼纖維の寸法の小さい方が、 K_{IF} 値は若干高くなる傾向を示した。これについては、今後さらに鋼纖維の種類を増加して検討を加える必要がある。

ここで要約した系列別の K_{IF} の平均値は、いずれもその変動係数Cが5~7%の実験値を平均したものであり、実験値間のばらつきが極めて小さい。従って、ここで得られた結論は、実用上十分安定したものであることがうかがわれる。

2. ダムコンクリートにおけるクラック開口変位量の解析

コンクリートのようなセメント硬化体の破壊は“割れ”の形態をとり、材質的には空隙や微小き裂のような、クラックまたは力学的にクラックと等価と見なされる潜在性欠陥を含むぜい性材料であるので、その強度評価には、“平滑材”としての強度とともに“き裂材”としての強度を合わせ考える必要がある。このようなき裂材強度の評価には、破壊力学が極めて有効なアプローチであることが一般的には認められているが、コンクリートへの適用例はまだ極く少ない。

筆者らの一人陶山は、破壊力学のコンクリートへの適用方法、限界、精度などについて一連の検討を行った結果、その適用の有効性が十分認められたので、本節では、コンクリートの破壊韧性試験におけるクラック開口変位量の意義と、コンクリートき裂材強度におよぼすクラックの寸法効果などの問題を中心に検討を加える。

(1) 破壊韧性試験の方法

平面ひずみ破壊韧性(Plane-Strain Fracture Toughness, K_{Ic})は開口形の応力拡大係数 K_I をパラメータとする材料非性特性であり、金属材料については、ASTM委員会で承認された“平面ひずみ破壊韧性に関する試験法”に規定された実験手順に基づいて、材料の破壊韧性値を決定することができる。しかしながら、金属以外の材料、特にコンクリートのようななぜい性不均質材料に対する破壊韧性試験法は未だ確立されていない。

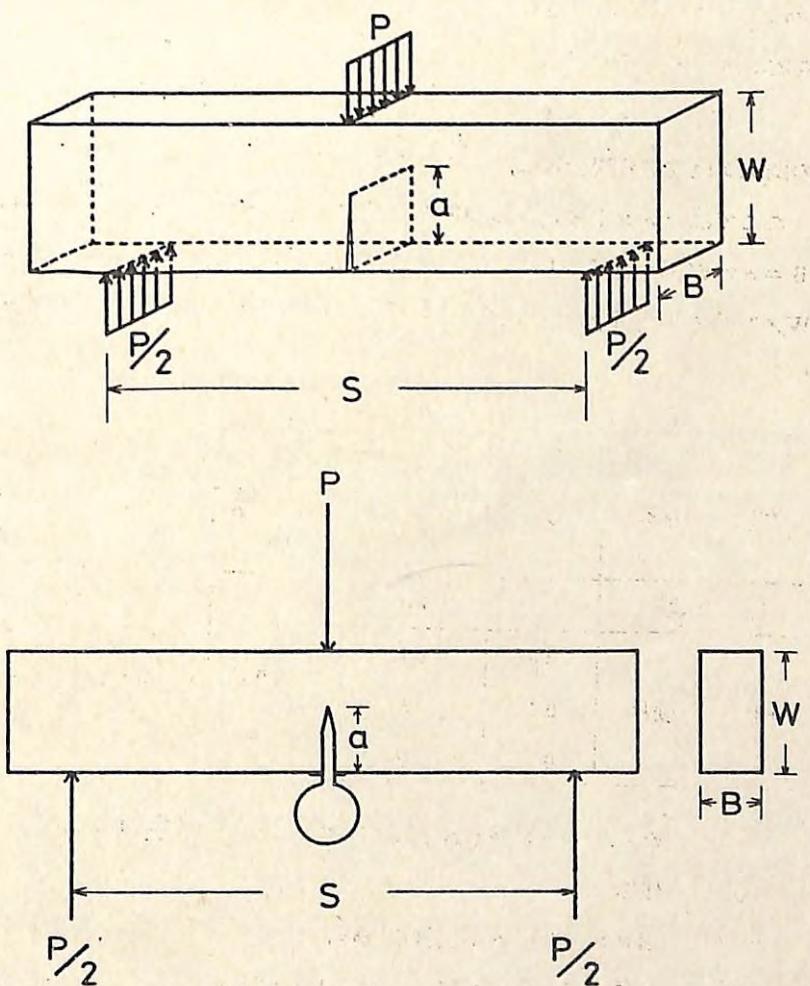


図-25 3点曲げ片側切欠き梁の形状と載荷方法

いので、ここでは試みに上記の試験法をコンクリートに準用して、その適用の可否、修正点などについて検討した。

なお、この試験法には、切欠きの先端に疲労き裂をつけた試験片による曲げ試験ならびにコンパクト引張試験が含まれているが、今回は片側切欠き梁 (Single-Edge Notched Beam) の 3 点曲げ試験を行い、“切欠き+疲労き裂”的に“人工き裂”をつけた。

1) 試験片の形状・寸法

ASTMの曲げによる破壊靄性試験法では、図-25のような形状の片側切欠き梁を用いることになっている。その際、試験片の寸法は材料の降伏強度 (σ_{YS}) と破壊靄性値 (K_{IC}) に対して、切欠き長(a)と板厚 (B) が共に、

$$a, \quad B \geq 2.5 (K_{IC} / \sigma_{YS})^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

の範囲になるように規定されている。また切欠き長は原則的には板厚に等しく、さらに両者は試験片高さ (W) との間に、

$$a = B = 0.45 \sim 0.55 \text{ W} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

の関係が成立する場合には、これを標準曲げ試験片と呼んでいる。

ここではセメント硬化体の標準曲げ試験片として、式(2)、(3)を考慮して、 $W = 8.0 \text{ cm}$ 、 $B = a = W/2$ を採用した。これとは別に、標準外試験片として、表-8のような $B = W/2$ の無き裂試験片($a/W = 0$)と2種類のき裂試験片($a/W = 0.1$ 、 0.3)を

表-8 試験片の寸法(単位mm)

試験片の種類	a/W	クラック長 (a)	試験片		スパン長 (S)
			高さ (W)	板厚 (B)	
標準試験片	0.5	40			
標準外試験片	0.3	24			
	0.1	8	80	40	320
	0	0			

準備した。なお、スパン長(S)はすべて $S = 4\text{ W}$ に統一した。

2) 試験片の作製

曲げ試験用コンクリート供試材の選定には、材質の均一化、養生期間の短縮化、試験片成形の容易さなどを考慮して、セメント（早強ポルトランドセメント）、細骨材（豊浦標準砂）、粗骨材（酒匂川上流丹沢産砕石；最大粒径 10 mm, 粗粒率 5.8）、水（蒸

溜水)を重量配合比で1:2:2:0.6に混合したコンクリートを採用した。

コンクリートの打込みには、上記の配合比に秤量した試料をアイリッヒ型コンクリートミキサー（容量 40 ℥）で 2 分間練り混ぜ、これを所定の曲げ型わくに突き棒で打込んだ。ここで用いた型わくは曲げ強度試験用型わく（内面寸法 10 × 10 × 40 cm）中にセーバ仕上げの鋼板と溝形鋼を組立てたもので、き裂試験片では、これに板厚 1.0 mm の磨き鋼板（S 41 C）をき裂予定位に挿入固定した。

打込み終了後24時間、型わくのまま湿空中(20°C)で養生したのち脱型し、その後16日間、水温20°Cで水中養生した。養生後は試験日まで4日間、室温にて自然乾燥した。したがって試験時材齢は21日となる。

試験片の寸法測定は、ASTM試験法に規定された許容公差の範囲内におさめなければならないので、試験片の高さ(W)、板厚(B)は試験前後にノギス(最小目盛 $1/20\text{ mm}$)で測定した。また、き裂長さ(a)の測定は、き裂試験片の成形時にき裂成形板の取付け寸法をノギスで計測して、所定のき裂寸法が得られるよう調整し、さらに試験後に、試験片の両破断面に残るき裂こん跡を、片面3個所以上計6個以上、読み取り顕微鏡(最小目盛 $1/100\text{ mm}$)で計測して平均長を求め、試験前後の測定値を照合した。

3) 試驗裝置

曲げ試験装置は、図-25に示す3点曲げ(中央載荷)方式である。ここで、両支点および中央載荷点のころ直径(D)は、ASTM試験法で決められた条件、すなわち $D = W \sim W/2$ を考慮して、 $D = 40\text{ mm}$ のものを使用した。

破壊非性試験特有のき裂開口変位量の測定には、リング状のき裂開口変位計 (Crack Opening Displacement Gauge), 動的ひずみ測定器 (DPM-6E), X-Y レコーダー (D-72BP), 電磁オシログラフ (RMV-300) などを使用した。なお試験機はインストロン型オートグラフで、使用容量は 500 kg である。

(2) コンクリートのクラック開口変位量の測定

破壊の進行に伴うき裂開口変位量の変化をき裂開口部で精度よく測定するため、き裂試験片のき裂開口部に脱着可能なゲージ支持具を接着剤で固定し、この溝に図-26のようなリング状のき裂開口変位計（図-25のCODゲージ）を装着した。なお、無き裂試験片もき裂試験片の特殊なものと考え、中央載荷点直下の引張面中央にき裂の存在を想定して、き裂試験片のき裂開口部に相当する位置にCODゲージを取付けた。CODゲージの出力と荷重計（ロードセル）の出力は、動的ひずみ測定器で増幅し、これをX-Yレコード

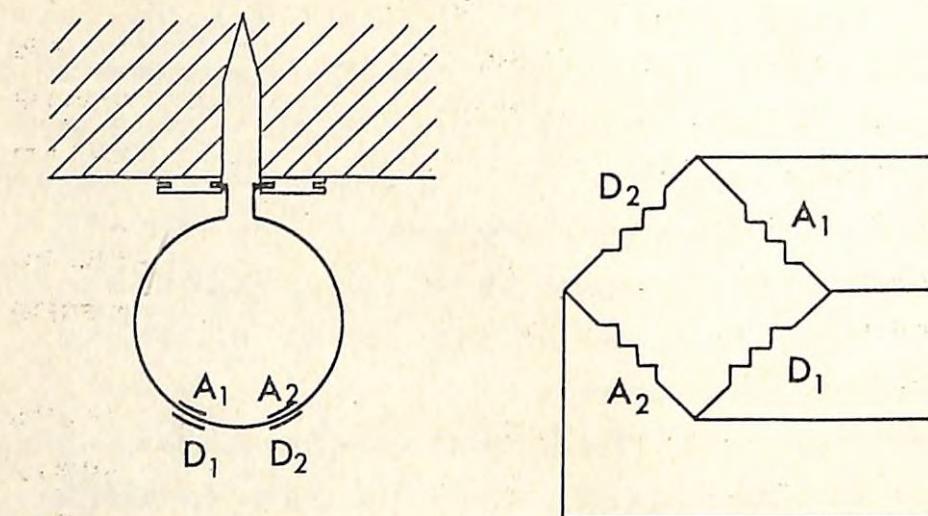


図-26 き裂開口変位計と測定回路

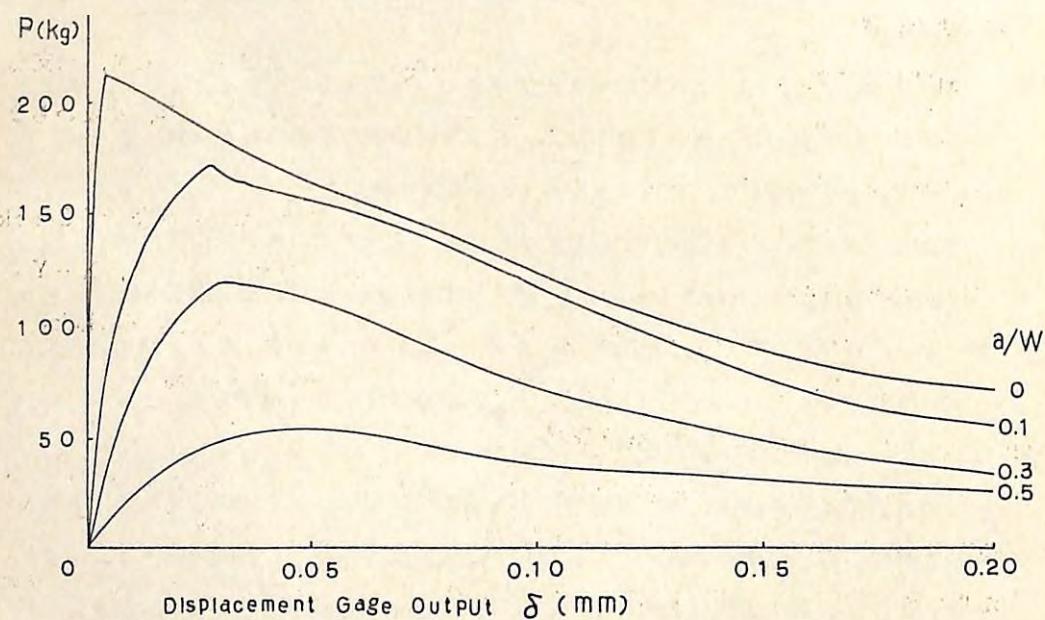


図-27 荷重 - き裂開口変位量 ($P \sim \delta$) 曲線

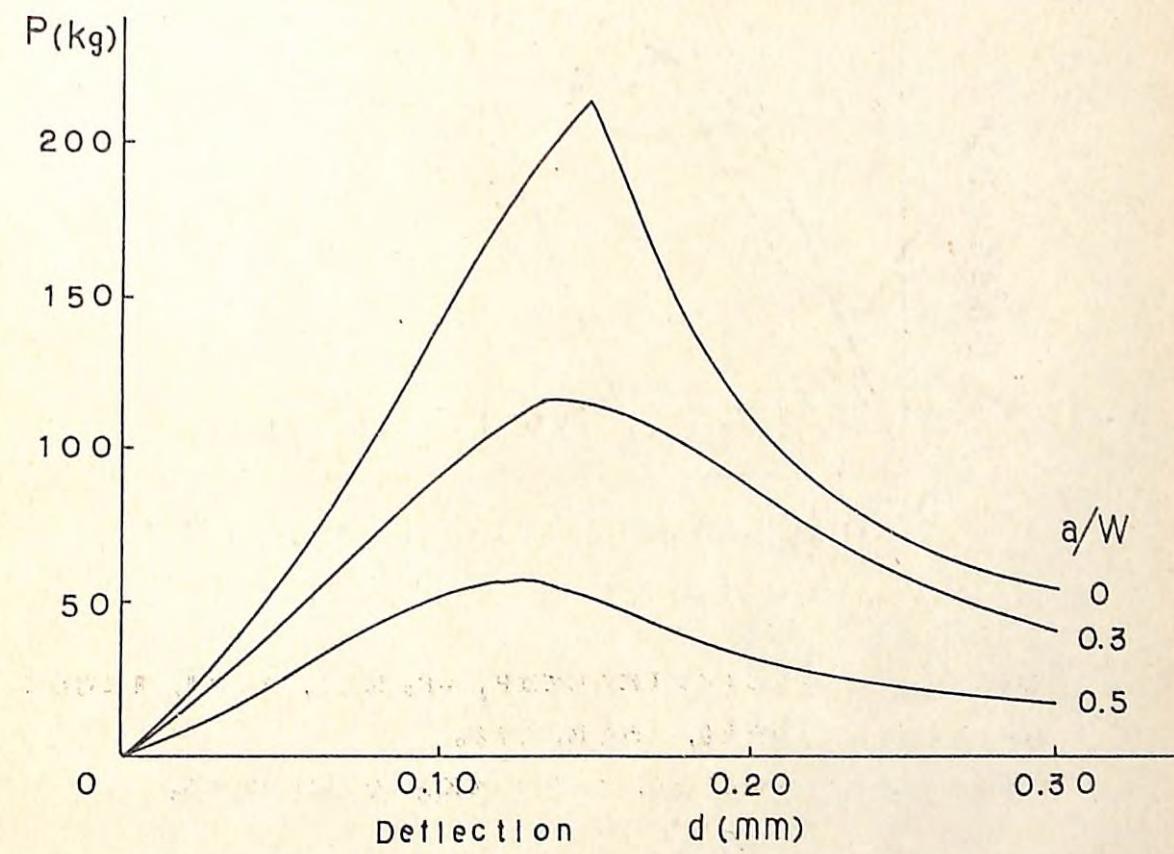


図-28 荷重 - たわみ量 ($P \sim d$) 曲線

ダ-と電磁オシログラフに自記させた。

コンクリートの荷重 - き裂開口変位量 ($P \sim \delta$) 曲線の一例を図-27に、荷重 - たわみ量 ($P - \alpha$) 曲線の一例を図-28にそれぞれ示す。図-27で無き裂試験片 ($a/W = 0$) に対する $P \sim \delta$ 曲線は、き裂がたまたま 2 個のゲージ支持具の中間に発生し、進行したときの貴重なデータである。

(3) 試験結果と破壊靄性値の計算

破壊靄性試験では通常、破壊開始時の荷重 (P_Q) を図-27のような $P \sim \delta$ 曲線から決定することになっている。この方法は金属材料では、図-29のようにして、まず曲線の初期部分に対する接線 OA より正接で“5%”だけ小さい勾配で、原点を通る割線 OP_5 を描いて荷重 P_5 を決定する。次に valid な K 値 (K_{IC}) を計算するのに必要な荷重 P_Q

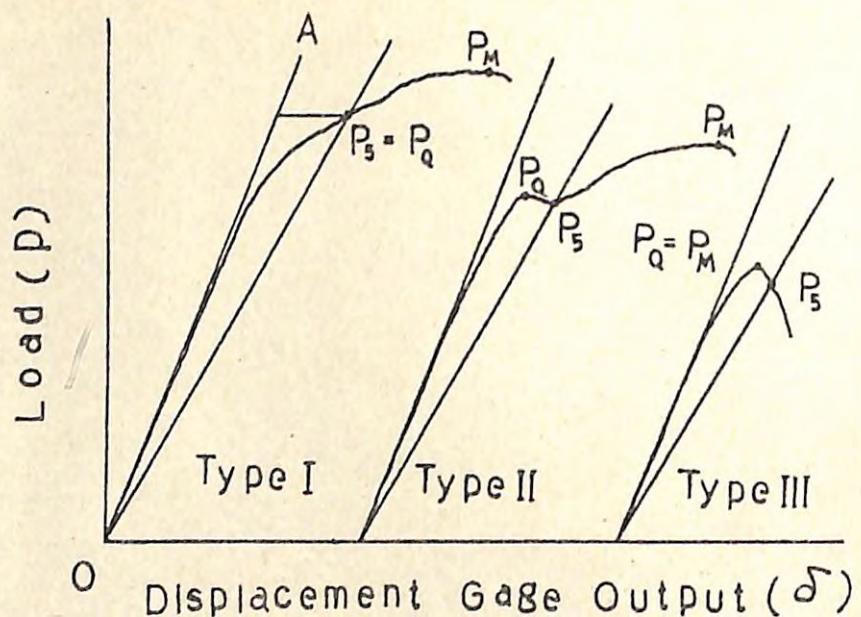


図-29 荷重 - き裂開口変位量 ($P \sim \delta$) 曲線から P_Q 値を決定する方法

を決めるには、図-29のタイプIに対しては $P_Q = P_5$ にてとり、タイプII、IIIに対してはいずれも最大先行荷重をとり、これを P_Q とする。

以上の場合で P_Q が決定されたら、これを用いて K_{Ic} を次式で計算する。

$$K_I = Y \cdot \frac{6 M \sqrt{a}}{B W^2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$Y = 1.93 - 3.07 \left(\frac{a}{W} \right) + 1.453 \left(\frac{a}{W} \right)^2$$

$$- 2.511 \left(\frac{a}{W} \right)^3 + 2.580 \left(\frac{a}{W} \right)^4$$

..... (5)

ここで、Mはスパン長Sのき裂部における曲げモーメントで $M = P S / 4$ 、 $Y = a / W$ 比のみで決まる無次元補正項である。なお、式(5)は図-30の曲線で表わされるが、これによつて式(4)の計算が容易になる。

また、 $B = W / 2$ 、 $S = 4W$ に固定して、 $y = \sqrt{a / W} \cdot Y$ とおけば、式(4)は式(6)にて、式(5)は式(7)にて、それぞれ変形される。

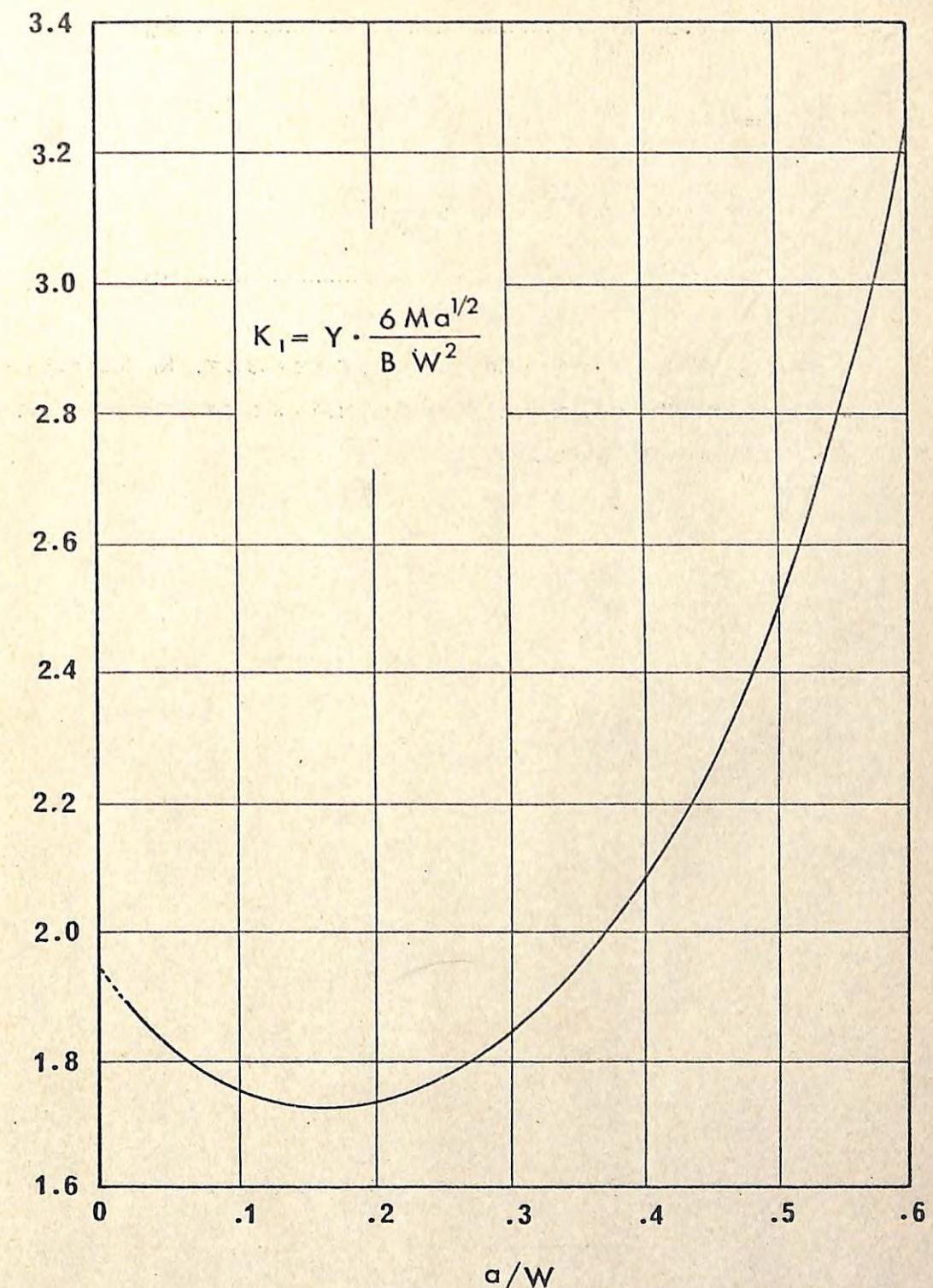


図-30 3点曲げ片側切欠き梁に対するKの較正曲線(式(4)使用の場合)

$$y = 2316 \left(\frac{a}{W}\right)^{1/2} - 3684 \left(\frac{a}{W}\right)^{3/2} + 17436 \left(\frac{a}{W}\right)^{5/2} \\ - 30132 \left(\frac{a}{W}\right)^{7/2} + 30960 \left(\frac{a}{W}\right)^{9/2} \dots \quad (7)$$

式(6)では、き裂長 a がすべて a/W の比として y に含まれるので、 K_I における a の影響をみるために便利である。なお a/W の多項式 y は図-31の曲線で表わされるが、これによって式(6)の計算が簡便になる。

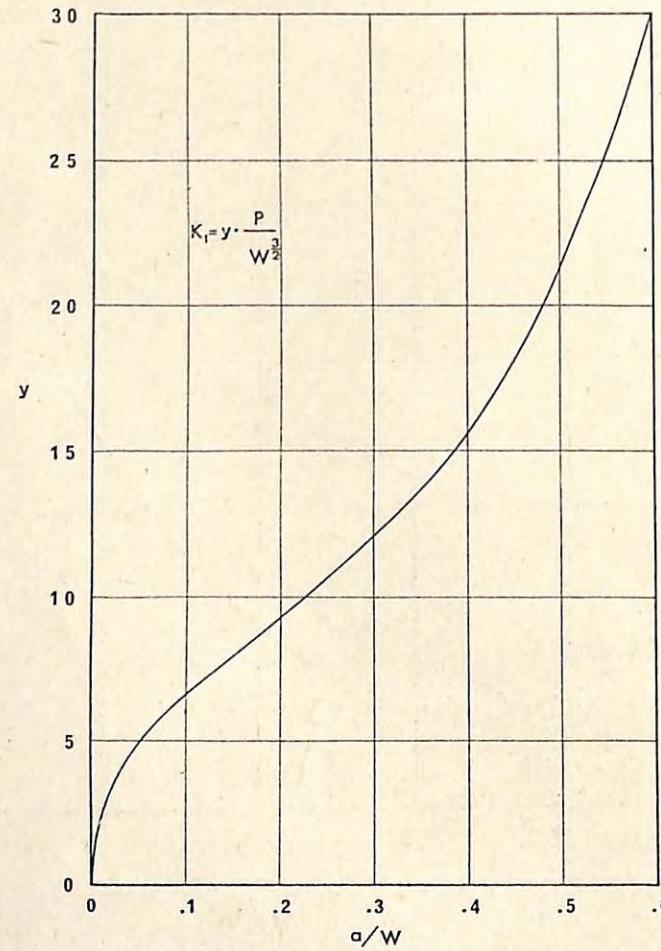


図-31 3点曲げ片側切欠き梁に対するKの較正曲線
(式(6)使用の場合)

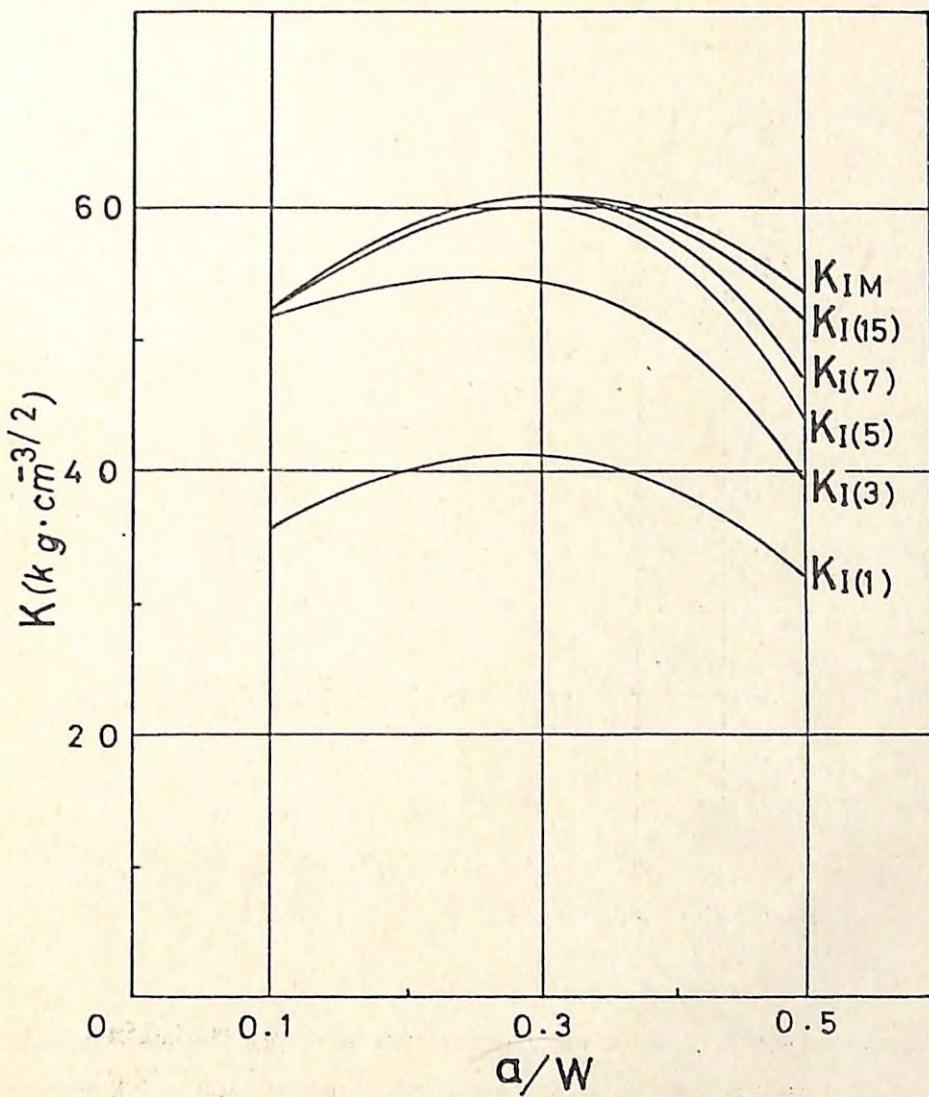


図-3-2 欠陥の寸法比による各種 K_I 値の変動状況

さて、上記の割線の“5%”は材料依存性があるとも言われているので、コンクリートについては試みに1, 3, 5, 7, 9, 15%をとり、それに対応する K_I 値をそれぞれ $K_I(1)$, $K_I(3)$, $K_I(5)$, $K_I(7)$, $K_I(9)$, $K_I(15)$ とし、最大荷重 P_M に対する最大応力拡大係数 K_{IM} と合わせて図-3-2に示した。結果として、 a/W 比による K_I 値の変動が最も少ないのは K_{IM} だったので、ここでは便宜上 K_{IM} をコンクリートの破壊靄性値と考え、以下の荷重基準強度 P_M との比較に便ならしめた。

(4) コンクリートの基準強度に及ぼすクラックの寸法効果

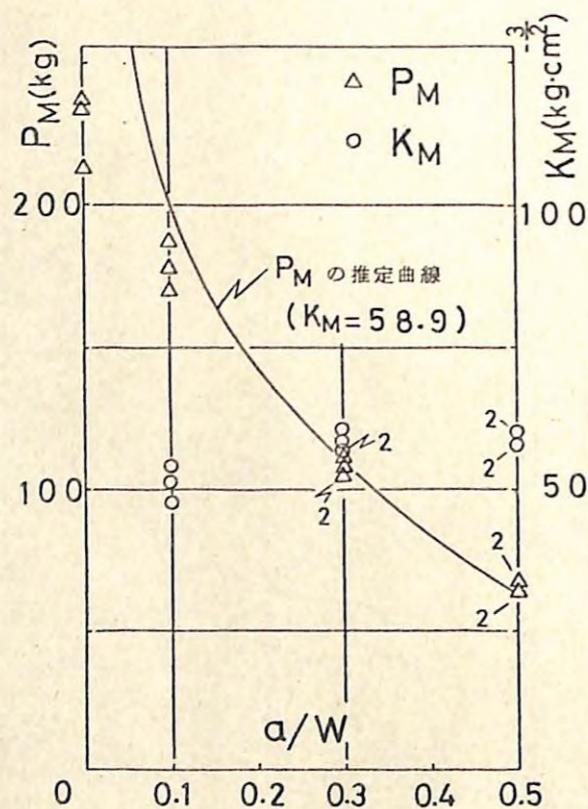


図-3-3 コンクリートの P_M , K_M 基準強度の比較

き裂の寸法を変えると、図-3-3のようにコンクリートの荷重基準強度 P_M は a/W 比にともなって著しく変動するが、 K 基準強度 K_M は a/W 比にかかわらず大きな変動はない。従って、コンクリートの材料定数としての強度値としては、 P_M より K_M の方が格段に優れていることが結論できる。

次に、 K_M を一定とした時の P_M の推定値を図-3-3に曲線で示し、 P_M の実験値と比較すれば、 K 基準強度の有用性が一層明らかに確認される。

なお、コンクリートのように材料の一様性や均質性の劣る場合でさえも、同一条件の試験で得られた P_M , K_M の値には比較的ばらつきが少ない事実から、上記の傾向は実験のばらつきによるものではなく、この結果から得られた結論は非常に安定したものであると考えられる。

ただし、き裂が特に浅い場合 ($a/W = 0.1$) では、 K 値が多少低下する傾向がうかが

われる所以、この点については以下に若干の検討を行う。

(5) 有効き裂の概念による破壊靱性値の修正方法

標準外試験片でき裂が特に浅い場合には、前述のように K_M 値が若干低下する傾向が指摘される。そこで、コンクリートの材質的特殊性を考慮して、次のような修正を行った。今、コンクリートを多くの微小欠陥を含む連続体と仮定し、微小欠陥群と等価な長さ x の微小き裂が、人工的につけた実き裂長 a に附加されるものと考えれば、修正後の有効き裂長 A は、

$$A = a + x$$

で表わされる。このような有効き裂の概念を導入して、コンクリートの曲げ試験片の等価き裂長 x を求めてみよう。

まず、前提条件として、き裂材の材料定数としての破壊靱性値 K_M は、理論的には a/W 比によって変化しないはずである。しかしながら現実には、図-3-3のように、 $a/W = 0.5$ の場合の K_M の平均値は $K_M(5) = 58.9$ となるのに對し、 $a/W = 0.1$ の場合には $K_M(1) = 51.1$ となり、前提条件と矛盾する。従って式(4)の a に有効き裂長 A を代入して、 $K_M(5) = K_M(1)$ とおき、 x/W について整理すると、 x/W の 9 次方程式が得られる。しかしながら $x/W < 1$ の範囲では、この方程式には解がないので、

$$|K_M(5) - K_M(1)|$$

の最小値を求めてみると、図-3-4の曲線を得る。

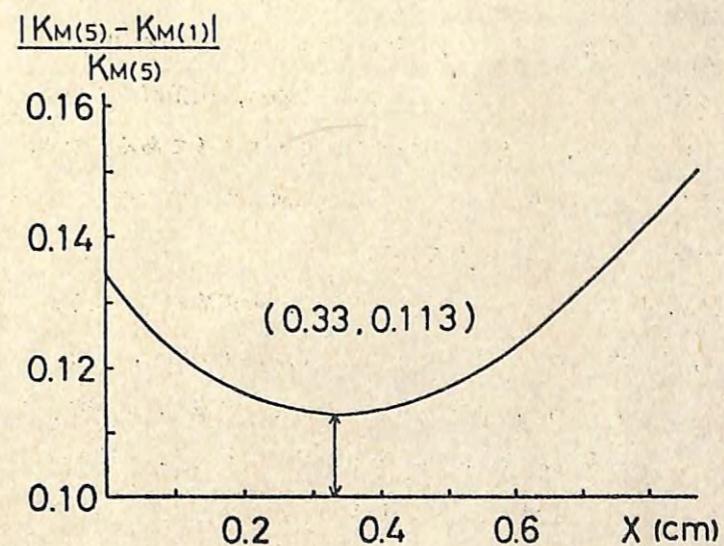


図-3-4 等価き裂長に対する $K_M(5) - K_M(1)$ の変化

結果として、 $K_M(1)$ が $K_M(5)$ に最も接近するのは $x=3.3$ (mm)の時であり、これを用いて $a/W=0.1$ の場合の破壊韧性値を修正すると、 $K'_M(1)=6.01$ となり、 $K_M(5)$ とはほぼ等しくなる。従って、有効き裂の概念を導入すれば、コンクリートの標準外試験片の破壊韧性値の推定も可能となる。

3. 治山ダムにおけるクラック開口変位量の解析

治山ダムに発生したクラックと、クラック発生防止のため施工される伸縮継目の開口変位量 (COD) の経時的变化について検討を行うため、CODの年変化と日変化を測定した。

(1) 試験地区の概要

供試ダムは、鹿児島管林署管内桜島横石沢1号・長谷川1号・中津野川1号の各谷止、長崎管林署管内眉山4溪10号谷止、および徳島管林署管内祖谷川平谷7号・9号床固の計6基の治山ダムを対象にした。これら3地区の概況を次に示す。

1) 桜島地区(鹿児島県桜島町)

本区域は、図-35に示す桜島の北西斜面に位置し、鹿児島県桜島町の全域と、鹿児島市高免町の一部を含み、その面積は約3200haである。

気候は暖帯に属し、年平均気温18.6°C、年平均降水量2,352mm、月平均降水量は6月が最大で、7、5、4、8月がこれに続く、なお山岳地特有の上昇気流の頻発により、局地性豪雨が発生しやすい。

地形は北岳を最高峰として、桜島の北西に扇状をなす山腹、山麓面より形成され、当区域の大部分は山腹斜面である。山腹の傾斜は、山頂直下の急崖部で46%，山腹緩斜面で19~25%，山麓および裾野部で6~12%である。なお、北岳を中心として放射状に10溪流があり、いずれも山頂から河口までの距離は3.5~5.8kmで、急流をして一挙に鹿児島湾に流入している。

地質は、まず当地区西端の袴腰一帯には、大正溶岩が分布し、次に長谷川、深谷川流域には、北岳裾野層(ボラおよび火山灰)、北岳集塊岩、北岳溶岩流が複雑に分布し、さらに西道川、松浦川、あみだ川流域には北岳集塊岩、北岳溶岩流および北岳浮石質岩漬層が分布している。なお、当地区全域にわたり地表、特に溪流侵食による谷壁には、安永および大正ボラ層が厚く堆積している。

2) 眉山地区(長崎県島原市)

過去数次にわたる温泉火山の噴火とともに大きな地震の影響を受けて、山体各所にひずみや割れ目が多く発生し、0溪から7溪まで8つの崩壊地が現存している。流域の面積は

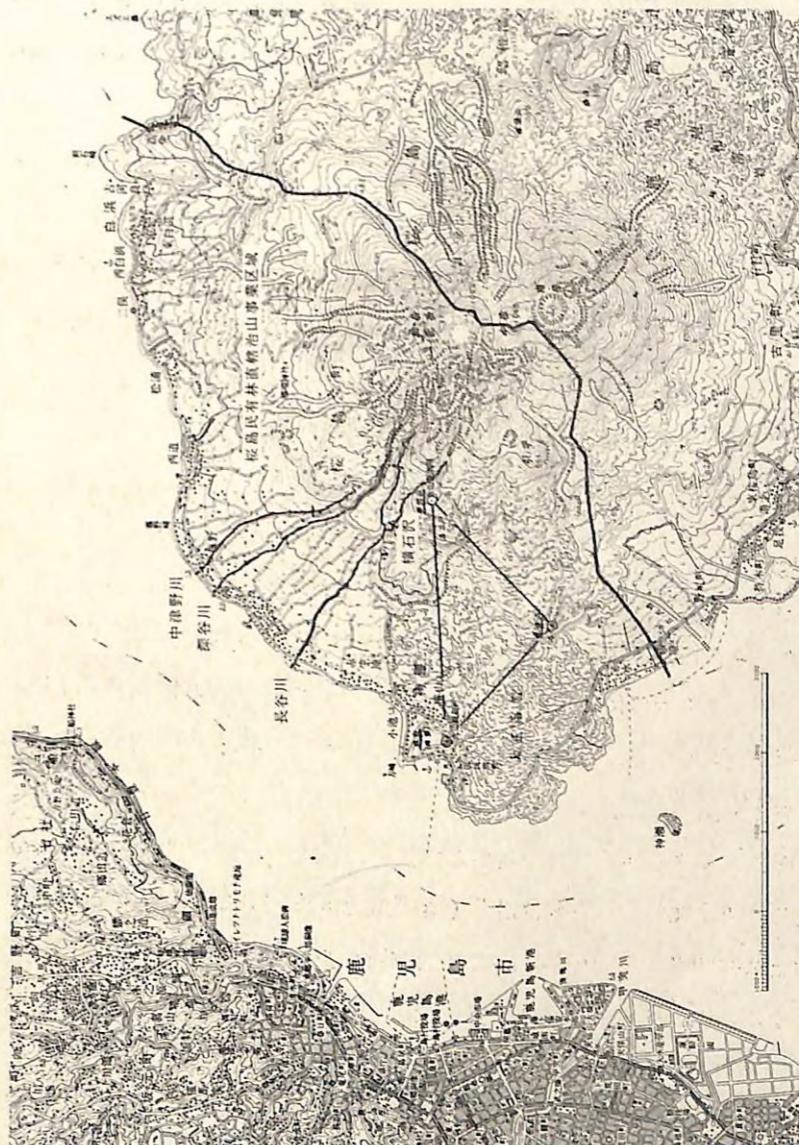


図-35 桜島地区的試験地概況

539haで、うち4渓は48haである。

地質は風化の著しい角閃安山岩からなり、地形は急峻であり、4渓の傾斜角は山腹部で138%，扇状地で18%に達する。

3) 祖谷川平谷地区(徳島県三好郡東祖谷山村)

四国の破碎帯地すべりの中でも、もっとも代表的な地すべり地帯で、吉野川支流祖谷川の水源に近い標高850m以上の地域である。年平均降水量は2,700mmにも達し、冬期の積雪量も多い。

地質は三波川変成岩(黒色千板岩、緑色片岩、石英片岩)と御荷鉢緑色岩類からなり、断層・破碎が発達している。地形は左岸の山腹傾斜が標高925m以下で47%，925~1,275mで27%，1,275m以上で58%である。なお、平谷3号ダムの左岸側から堤体に作用する地すべり推力(H)の推定値は、 $H=630\sim700(\text{ton}/\text{m})$ といわれている。

(2) 治山ダムにおけるクラック開口変位量と堤体温度の測定

1) 治山ダムクラックの開口変位量の測定方法

治山ダムクラックの挙動を測定する方法としては、

- ① き裂変位計で表面クラックの開口変位量の変化を測定する。
- ② クラック先端に塗料でマーキングしてクラックの挙動を追跡する。
- ③ ダムサイト両岸に設定した固定点に対するダム体の変位量を計測する。

などが考えられるが、測定の精度、能率、経済性などとともに機器の堅牢性も考慮して、①の方法を採用した。

表面クラックと伸縮継目の開口変位量の測定には、図-36のようなひずみゲージを応用した防水性の“き裂変位計”(き裂変位変換器BCD-5B型、容量±5mm、定格出力±2,000μ)を使用した。この変位計をクラックおよび伸縮継目に直角にまたいで固定するため、堤体コンクリートの変位計取り付け予定位置にドリル(Φ10mm刃)で2箇所穿孔し、この孔に変位計の固定具としてクリップアンカを挿入し、これに出力を調整しながら変位計を取り付けた。開口変位量の変化にともなう変位計の出力は、静ひずみ指示器で実測した。

なお、開口変位量の年変化の測定は、図-37、38に示す位置で行い、地区別の観測期間は、

- ① 桜島地区：昭和52年10月～53年10月
- ② 眉山地区：昭和52年11月～53年10月

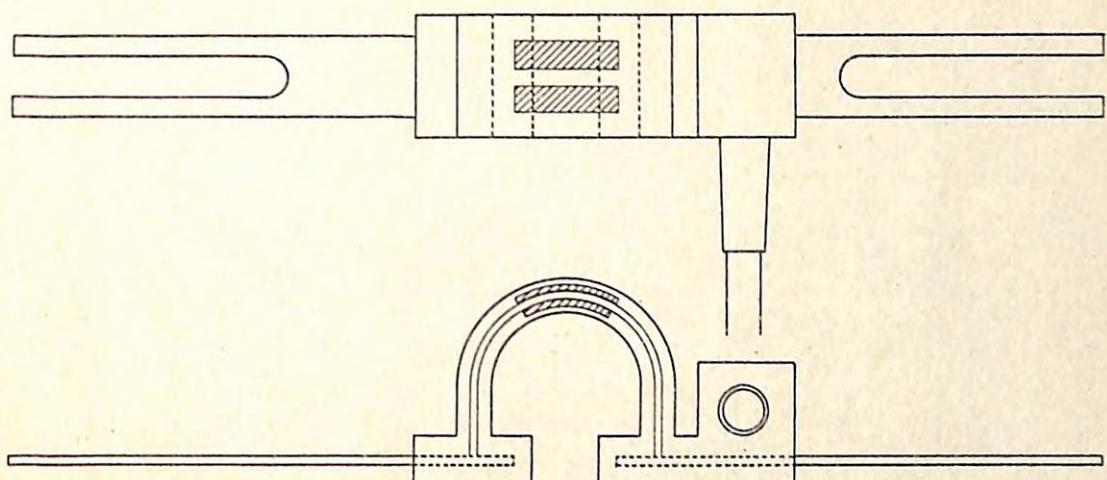


図-36 き裂変位変換器BCD-5B型(斜線部分はひずみゲージ)

③ 祖谷川地区：昭和52年9月～53年6月

のようく地区ごとに若干異なる。ここで祖谷川地区の測定終了月が特に早いのは、昭和53年6月下旬の豪雨による大出水のため、き裂変位変換器が破損流亡し、その後の測定が不能になったためである。また、開口変位量の日変化は、夏期(昭和54年7月31日～8月1日)と冬期(昭和55年1月29日～30日)に桜島地区横石沢1号谷止で測定した。各センサの取付け位置を図-39に示す。

2) 堤体温度の測定と火山活動記録の収集

治山ダムのクラックおよび伸縮継目の開口変位量(COD)の変化と、堤体およびその周辺の温度の日変化を、夏期(昭和54年7月31日～8月1日)と冬期(昭和55年1月29日～30日)の2回測定した。

温度の測定には、自記式の熱電対(銅コンスタンタン)温度計12センサと、直読式のサーミスタ温度計8センサおよびひずみゲージ式温度変換器2センサを使用し、これらを堤体各部の温度測定用に15センサ、気温、地温、室温の測定用に7センサ設置した。堤体およびその周辺における各センサの配置を図-39に示す。

なお、桜島の火山活動に関する資料は、京都大学防災研究所附属桜島火山観測所で得られた測定記録を借用し、これを分析して使用した。

桜島横石沢 1 号谷止 (昭和 51 年度施工)

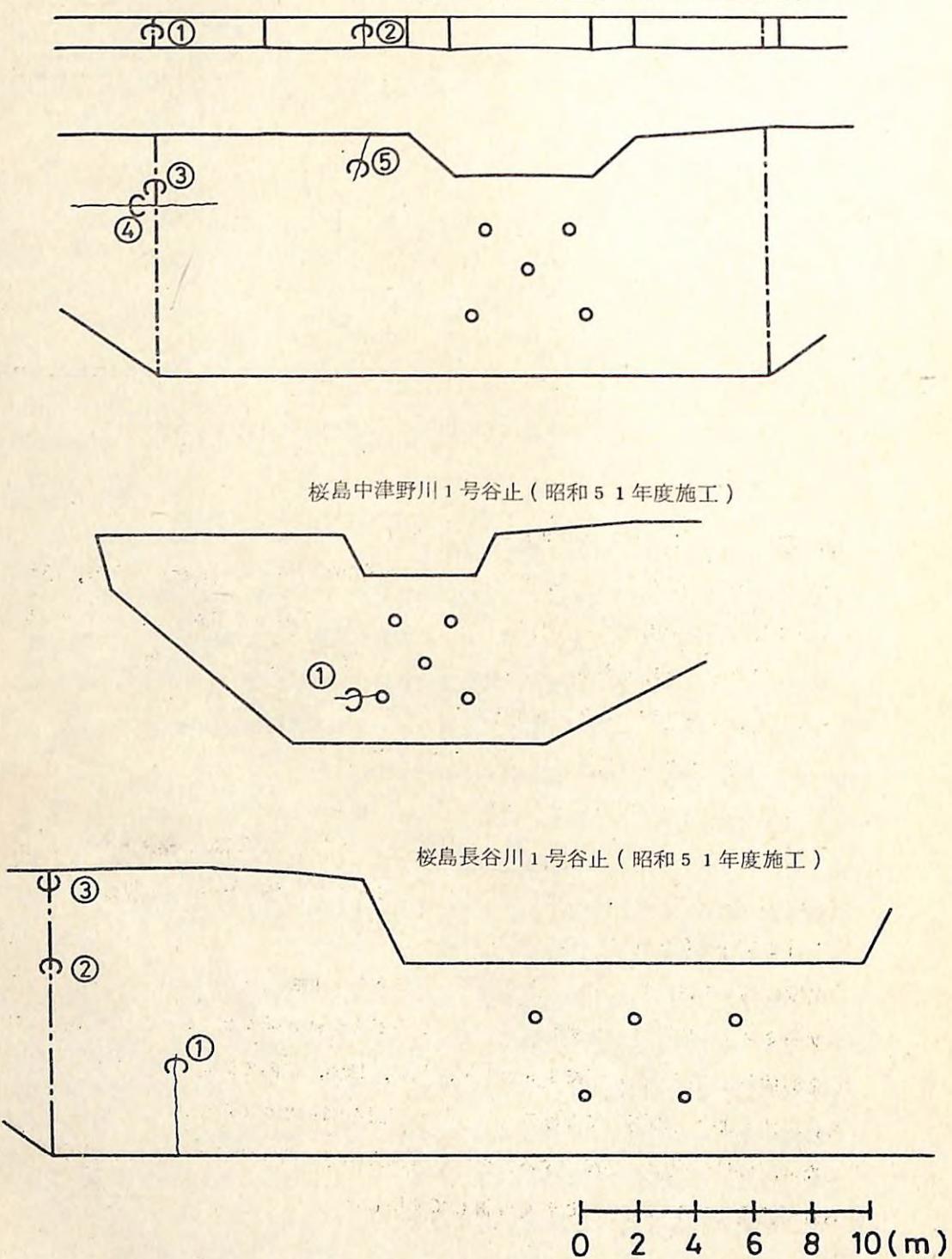
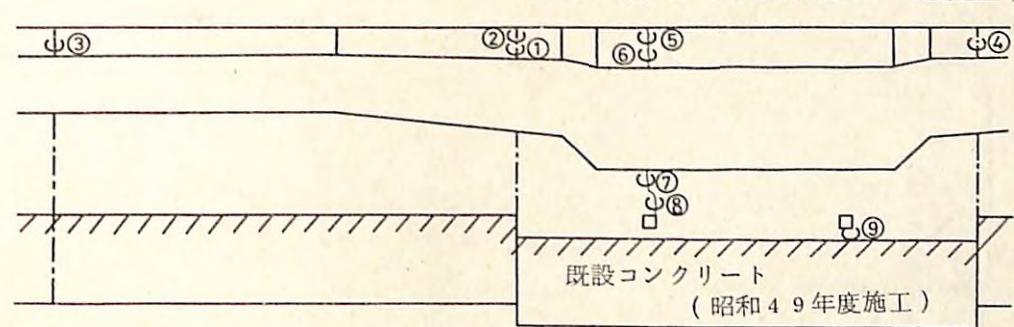


図-37 クラックと伸縮継目 (1 点鎖線) へのき裂変位計 (○数字) の取付け位置

眉山 4 溪 10 号谷止 (昭和 50 年度施工)



祖谷川平谷 9 号床固 (昭和 51 年度施工)

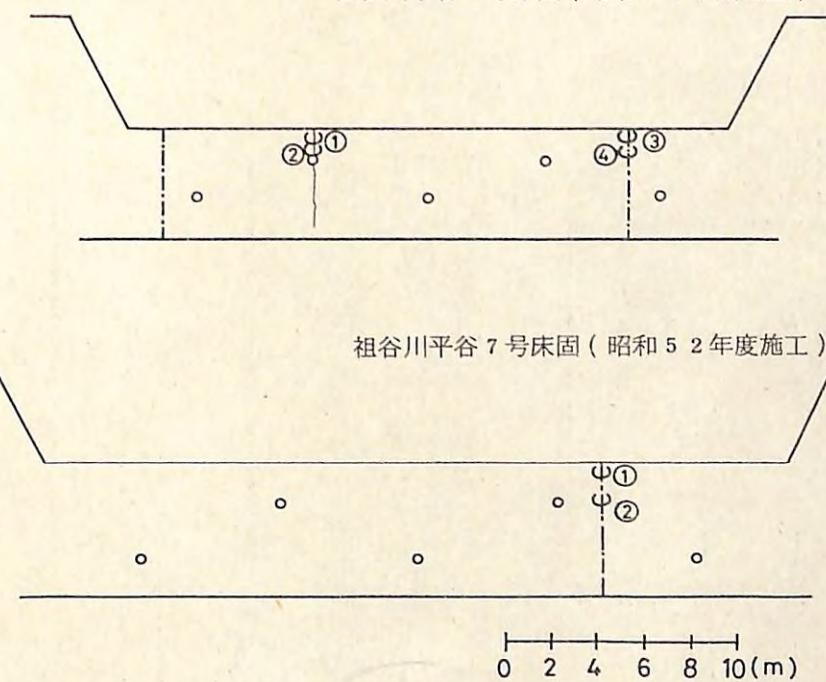


図-38 クラックと伸縮継目 (1 点鎖線) へのき裂変位計 (○数字) の取付け位置

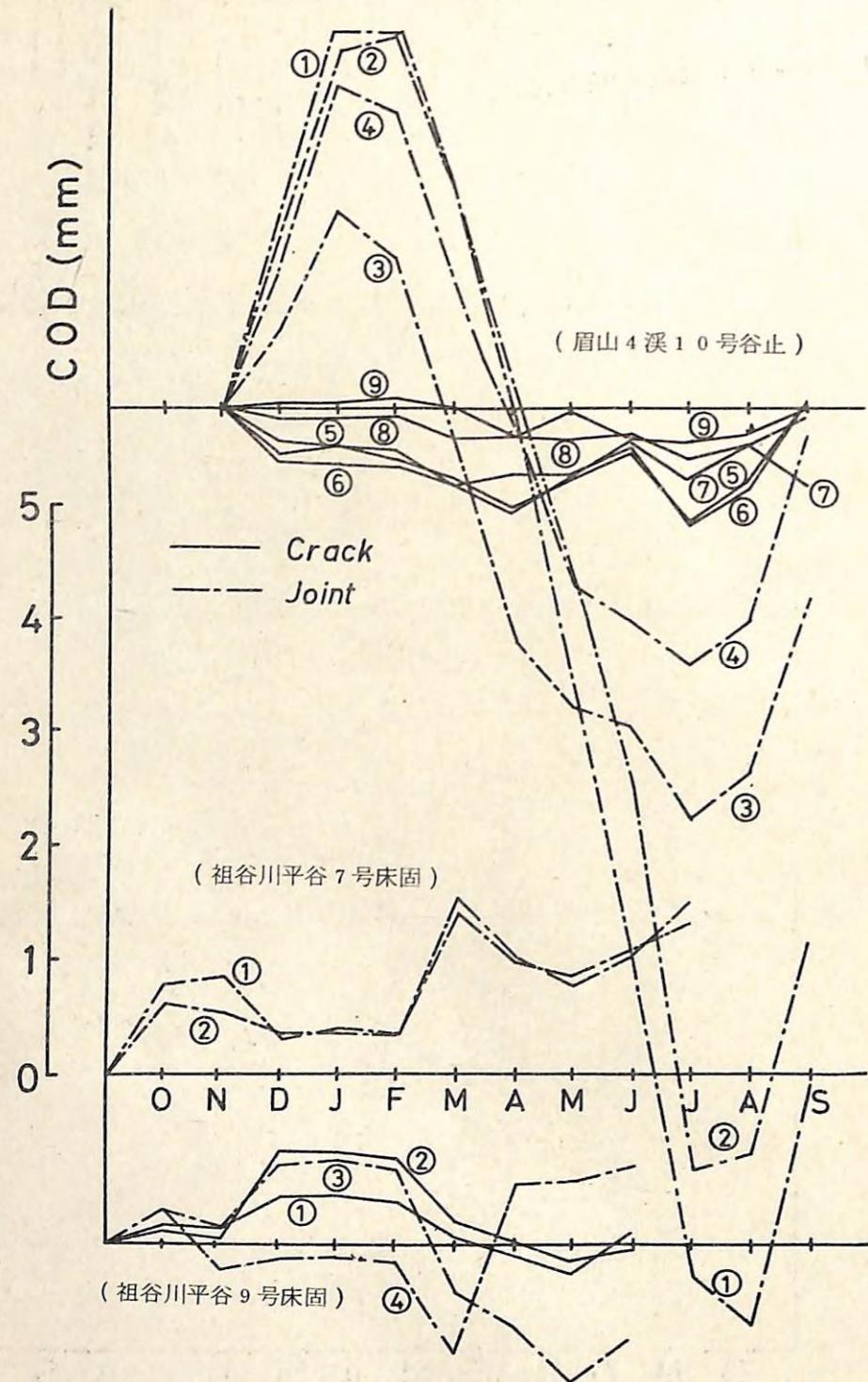


図-4-1 開口変位量 (COD) の年変化
(昭和 52 年～昭和 53 年)

- 302 -

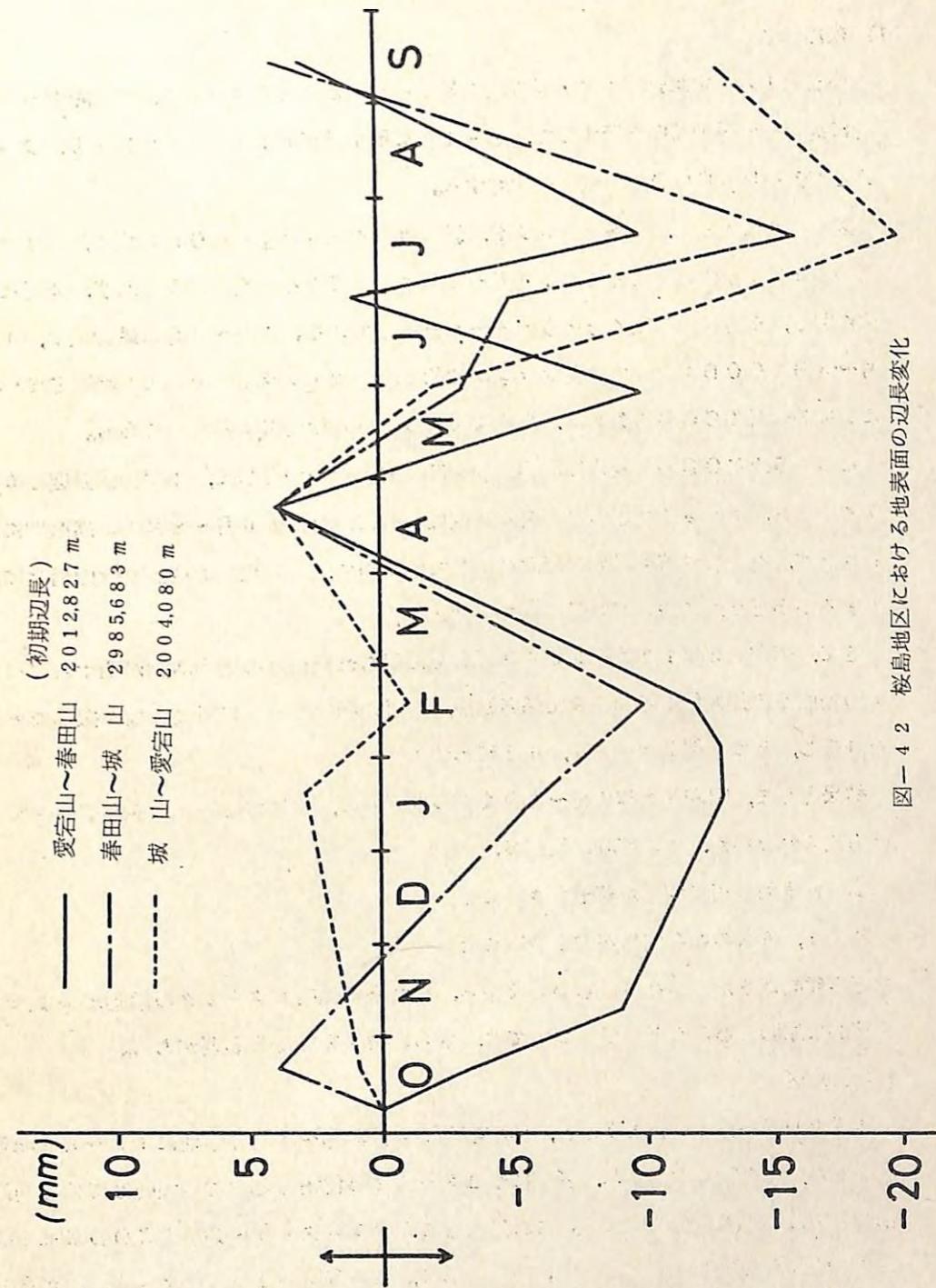


図-4-2 桜島地区における地表面の辺長変化

- 303 -

治山ダムのクラックと伸縮継目の開口変位量の年変化を地区別、ダム別に図-40, 41に示す。

1) 桜島地区

横石沢1号・中津野川1号・長谷川1号の各谷止の全てのクラック、伸縮継目が巨視的には同一の挙動傾向を示すので、図-40に示す横石沢1号谷止を例にとり、クラックと伸縮継目のCODの年変化を検討する。

図-40によると、傾斜クラック②, ⑤と水平クラック④のCOD変化は、いずれも同一の傾向を示す。すなわち、10月～3月まではほとんど変化がみられず、4月に急激に閉じ、7月に再び開くというパターンを示している。4月～6月の最低値は、10月～3月のCODに比べて傾斜クラックで約2mm, 水平クラックで約1.5mm閉じている。なお伸縮継目のCODの欠測は、鳥害による変位計の損傷によるものである。

このようなCODの年変化に影響をおよぼす要因の一つとして、まず堤体温度の変化が考えられ、クラックなどの最大閉塞時期は一般には夏期（6月～8月）の高温期に現われるが、本例では若干異なる傾向を示しているので、この現象が桜島の火山活動に起因するのかどうかについて若干の検討を加える。

さて、昭和52年10月～53年9月までに得られた桜島の火山活動に関する資料（地表面の辺長変化や月別の火山爆発回数、地震の回数ならびに月最大地面振幅など）を分析し、その一例を図-40, 42に示す。

結果として、昭和53年4月～6月までの期間中に、特に著しい火山活動があったとは考えられないが、他の期間に比べて、

① 地表面の辺長変化が若干大きいこと

② 5, 6月の爆発回数がやや多いこと

などの傾向がうかがわれる。しかしながら、これらの傾向がクラックの挙動におよぼす直接的な原因であるかどうかについては、さらに検討を加える必要がある。

2) 眉山地区

4溪10号谷止についてみると、伸縮継目（変位計①～④）は冬期に1.5～3.0mm程度開くが、その後急激に閉じ、夏期には2.3～3.3mm位閉じる。この傾向は堤体の両端部より中央部の方が顕著である。これに対して、クラック（⑤～⑨）のCODは通年にやや閉じたままで変化が少ない。結果として、この谷止の2本のクラックは、現在のところ進行性クラックではないと推定されるが、それでも伸縮継目の経年変動の大きさは注目に値する。（図-41）

3) 祖谷川平谷地区

平谷9号床固ではクラック（⑥, ⑦, ⑧, ⑨）と伸縮継目（⑩, ⑪, ⑫）とともに冬期に若干開き、その後次第に閉じていくのに反し、平谷7号床固の伸縮継目は、冬期にはほとんど停止し、その後若干の変化はあるが夏期には開く傾向がうかがわれる。結果として、平谷9号床固のクラックは現在停止しているものと考えられるが、平谷7号床固の伸縮継目の夏期における開きは、地すべり側圧の影響ではないかと推察される。（図-41）

以上、3地区の治山ダムクラックの開口変位量の測定結果について若干の検討を加えたが、さらに今後の問題点として、自記記録装置による開口変位量の時間ないし日変化を把握する必要がある。

4) クラック開口変位量の日変化におよぼす堤体温度の影響

治山ダムのクラックおよび伸縮継目の開口変位量（COD）の変化と各種温度との関連性を検討する前に、供試ダムが活火山桜島にあるので、その火山活動の現状を把握することとした。なお火山活動は、種々の表現法が用いられているが、ここでは火山活動にともなう振動エネルギー カウント数の記録を使用した。夏期と冬期の観測日における火山活動は図-43のよう比較的平穏であり、特に火山爆発は冬期の観測終了時直前（1980年1月30日13時56分）に小爆発（最大振幅6.7μ）が1回発生しただけである。したがって、今回得られたCODの日変化は、火山活動に起因するものではないことが一応推察される。

さて、治山ダムのクラックと伸縮継目のCODの日変化を、堤体温度の日変化との関連において比較検討するため、夏期の温度とCOD変化を図-44, 45に、冬期のそれを図-46, 47に示す。

まず、夏期における温度の日変化の範囲は、およそ気温23～37, 地温26～31, 堤体表面温度は天端で25～44, 下流面で25～33°Cとなり、最高、最低温度の起時は、地温以外はすべて前者が12時、後者が5時である。なお地温のそれは若干遅れ、15時と6時である。これに対してクラックおよび伸縮継目のCODは、いずれも日没後次第に増加し、翌朝6時頃には最大となり、その後再び減少するパターンをたどっている。なおCODの日変化の最も大きいのは、ダム天端における右岸側の伸縮継目と傾斜クラックであった。

次に冬期における温度の日変化は、およそ気温8～15, 地温11～13, 堤体表面温度は天端で7～17, 下流面で8～15°Cとなり、最高温度の起時は29日15時（地温は17時）、最低温度の起時は30日13時（地温と堤体の下流面Cは14時）である。

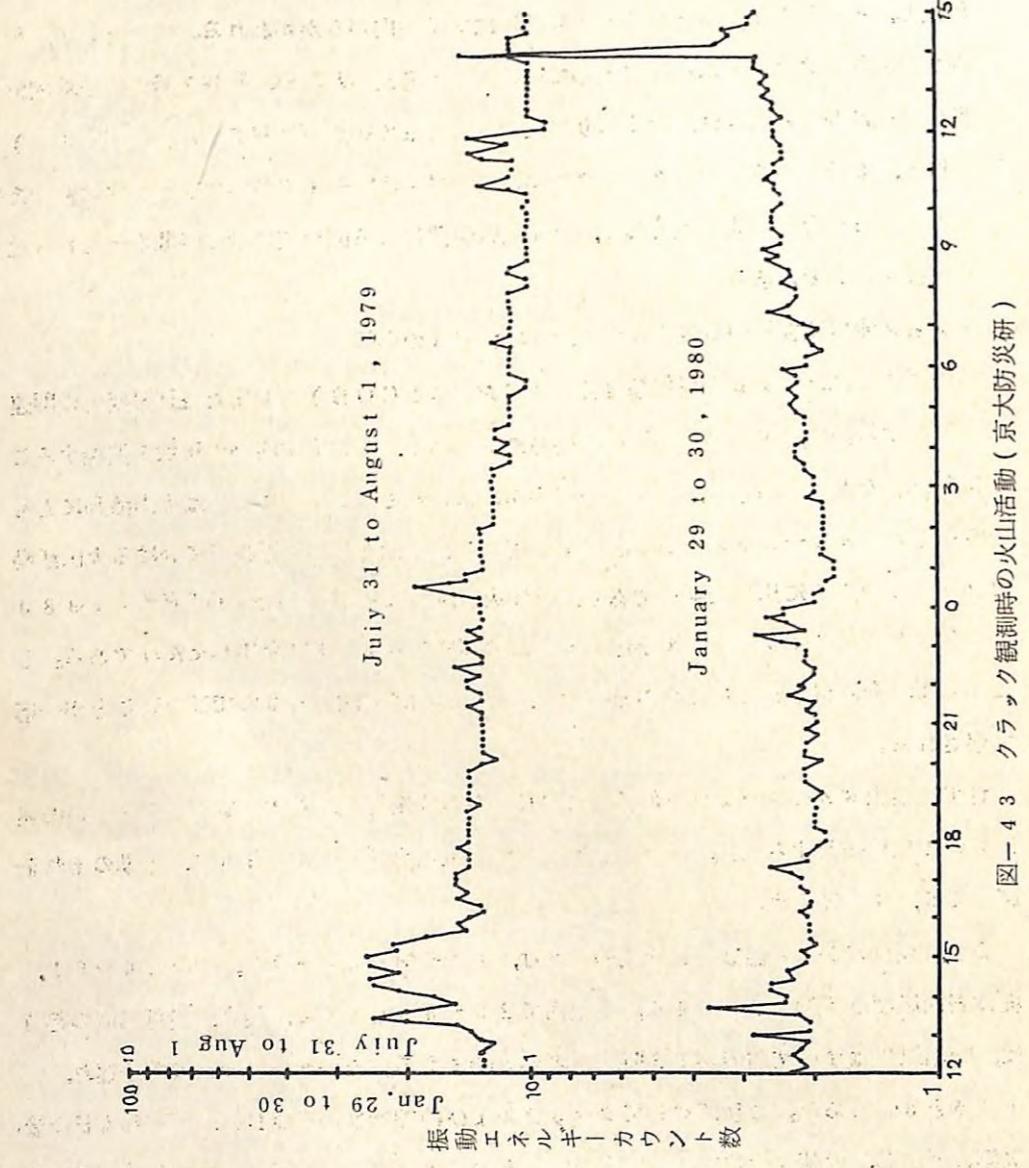


図-4-3 クラック観測時の火山活動(京大防災研)

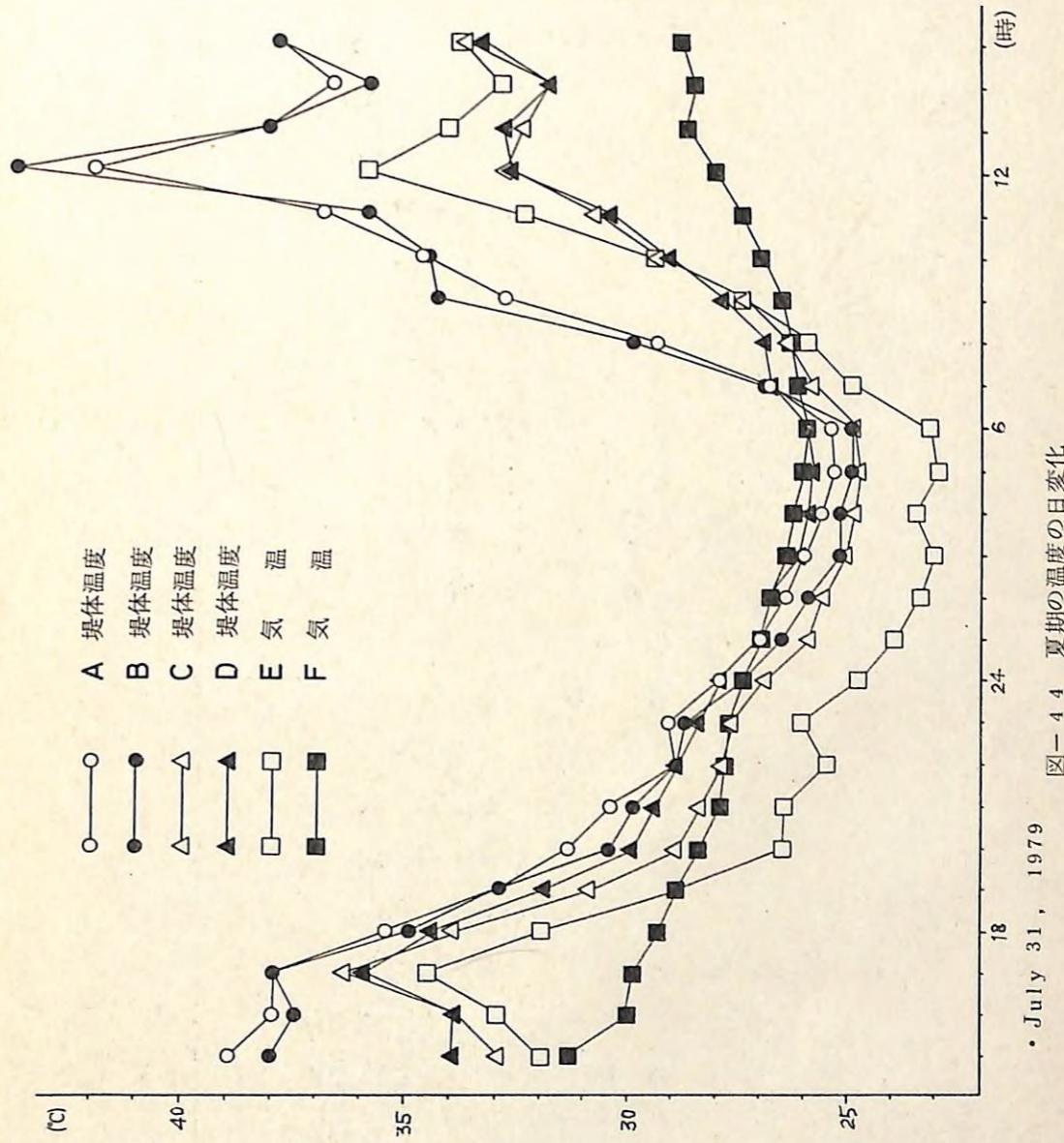


図-4-4 夏期の温度の日変化

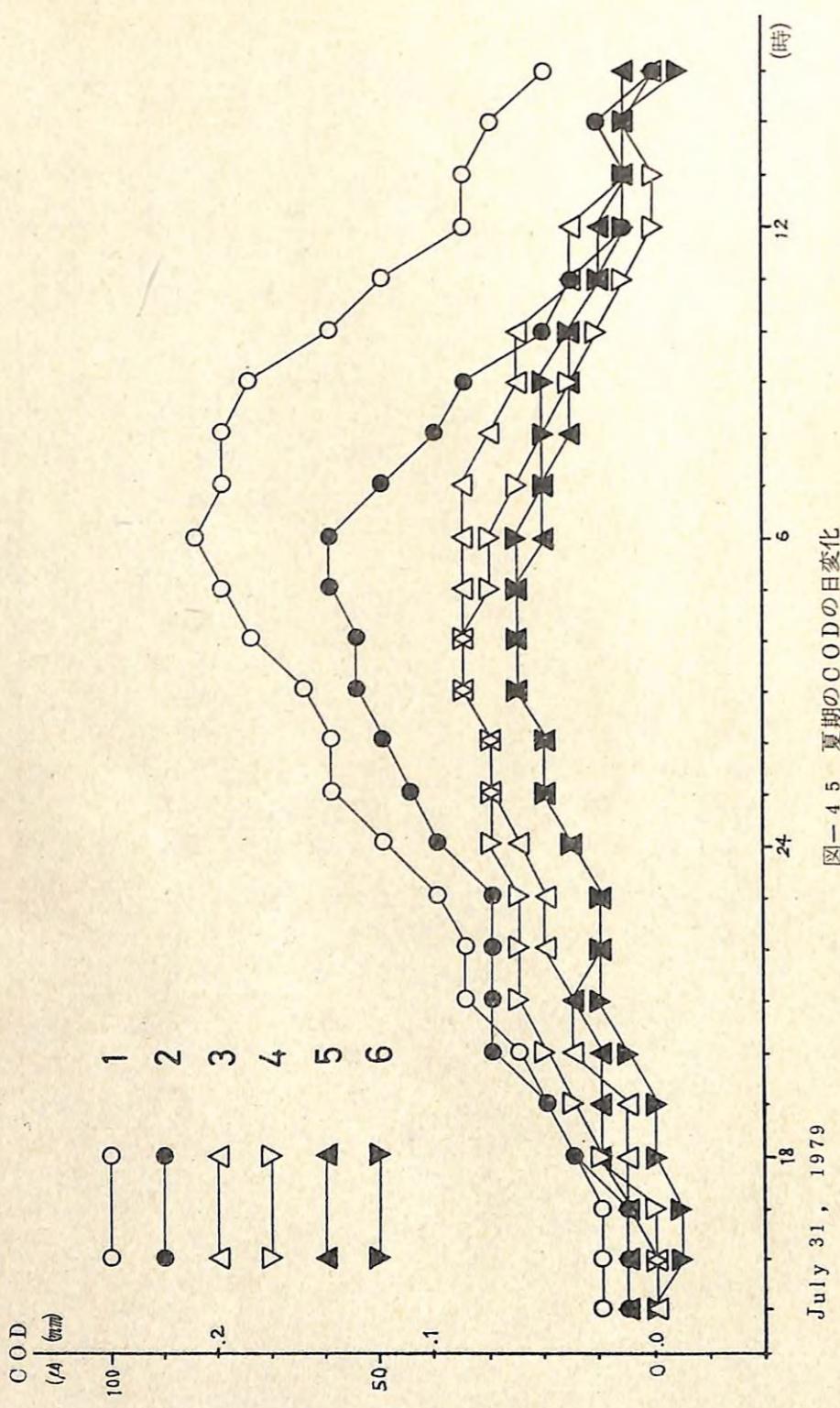


図-45 夏期のCODの日変化

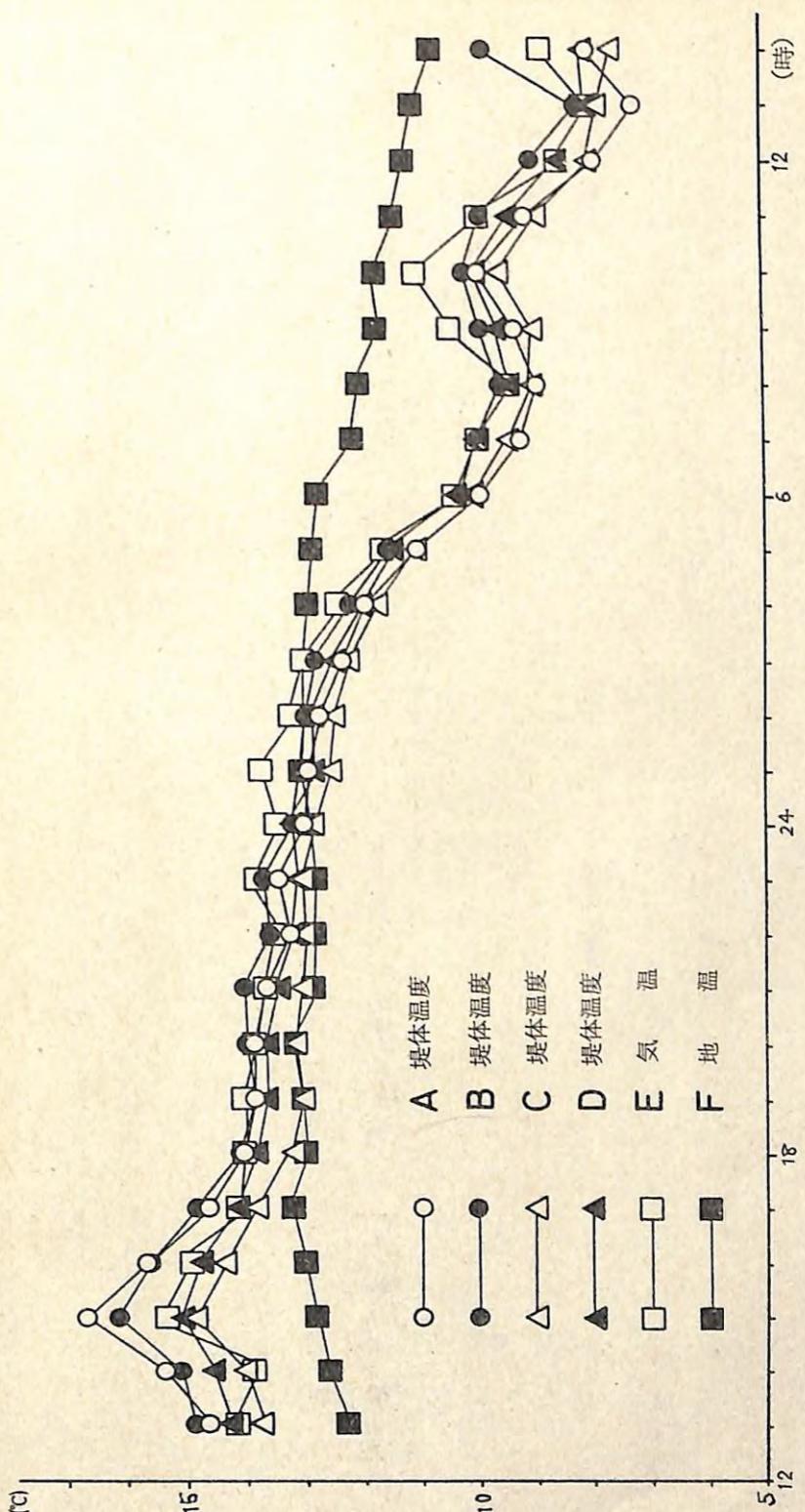
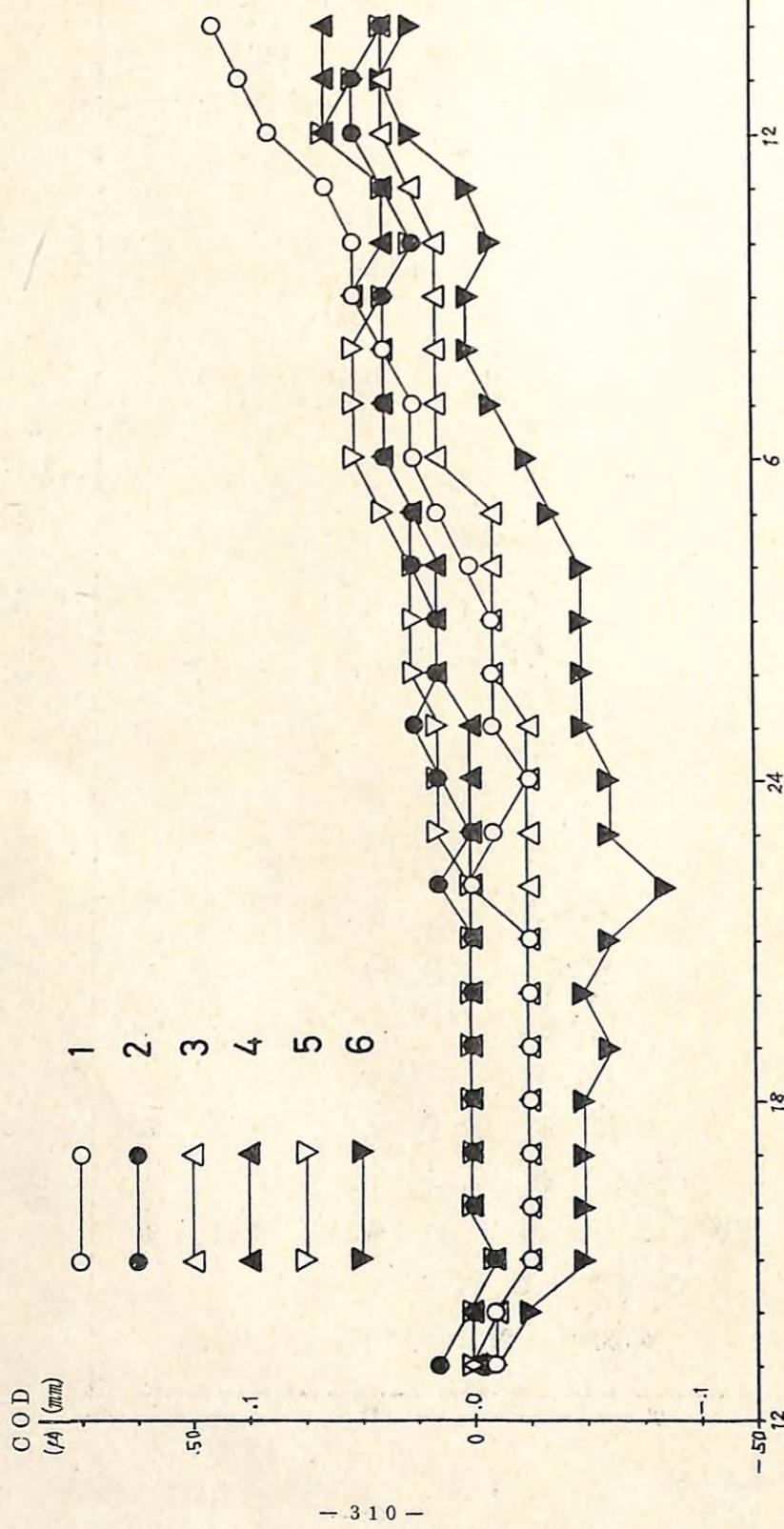
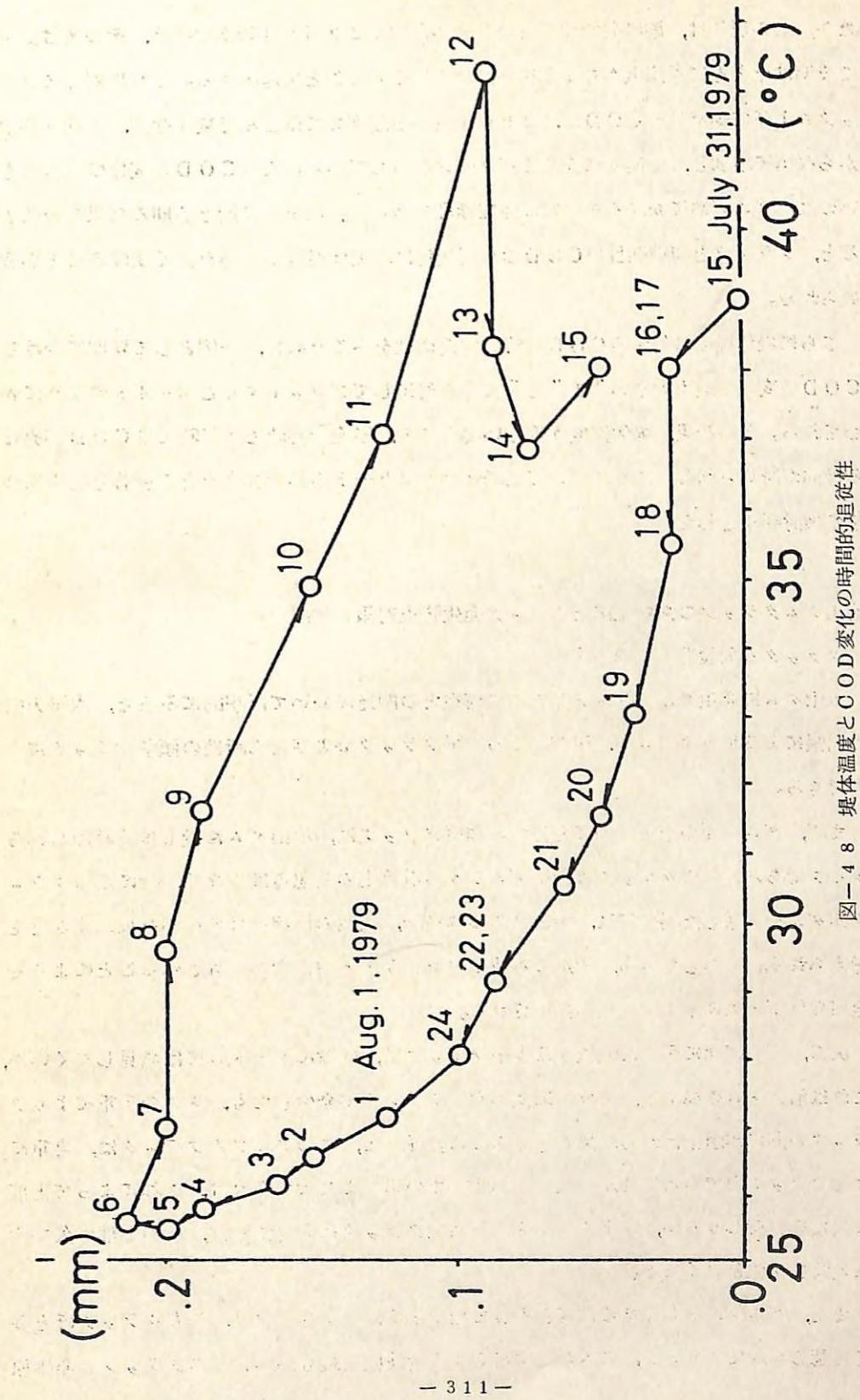


図-46 冬期の温度の日変化



- 310 -

図-4-7 冬期のCODの日変化



- 311 -

なお、この現象は、観測開始前から降り続いた雨が29日23時まで続き、その後は曇天で夜明けとともに季節風が強まり昼間温度が低下したことに起因する。これに対してクラックおよび伸縮継目のCODは、29日午後から翌朝までほとんど変化せず、早朝5時頃から次第に増加し、夏期とは異なるパターンを示している。なおCODの変化の最も大きいのは、ダム天端における右岸側の伸縮継目であった。以上、夏期と冬期の結果を要約すると、クラックと伸縮継目のCODの日周変化は、堤体温度の影響を強く受けることが認められる。

さらに堤体温度に対するCODの時間的追従性をみるために、一例として夏期におけるCODの変化の最も大きい“1”と“A”を対にしてプロットすると図-48のように表わされる。その結果、堤体温度が等しい場合でも、温度上昇時と下降時ではCODが異なる傾向が認められる。これについては堤体コンクリートの熱伝導度などの影響とともに今後の検討課題としている。

4. 治山ダムクラックの修繕工法とクラック発生防止対策の検討

(1) クラックの危険性と修繕工法

治山ダムに発生するクラックをダムの構造との関連において巨視的にみると、水平方向の引張による垂直クラック、圧縮による水平クラックおよびせん断性の傾斜クラックに大別できる。

まず、ダム正面の上下方向に発生する垂直クラックは、治山ダムに最も多く認められるタイプである。このクラックは治山ダムの安定計算上の問題点は少なく、特にこのクラックがダムを貫通した場合には、治山ダムの構造上、天然の伸縮継目の役割を果たすことも考えられる。しかしながら、所定の容積のコンクリート構造物が分離されることによる安全率の低下と水理上の問題点が指摘される。

次に、ダム底面に平行に位置する水平クラックは、一般に治山ダムには発見しくいが、これは治山ダムの構造上、部分的に微小水平クラックが発生しても、ダムの自重によりクラックの開口が阻止される結果と考えられる。従って、このタイプのクラックは、自重によるクラック面での水平せん断抵抗力がすべての外力より大であれば、これによって上部構造物を支持しうるが、水平クラックが貫通性クラックに発達すれば、その上部が欠壊する危険性が十分高くなる。

また、ダム軸に対してある角度をもって発生する傾斜クラックは、垂直クラックほど多くは認められていないが、ダムの破壊に対する危険度は最も高い。このクラックの発生原

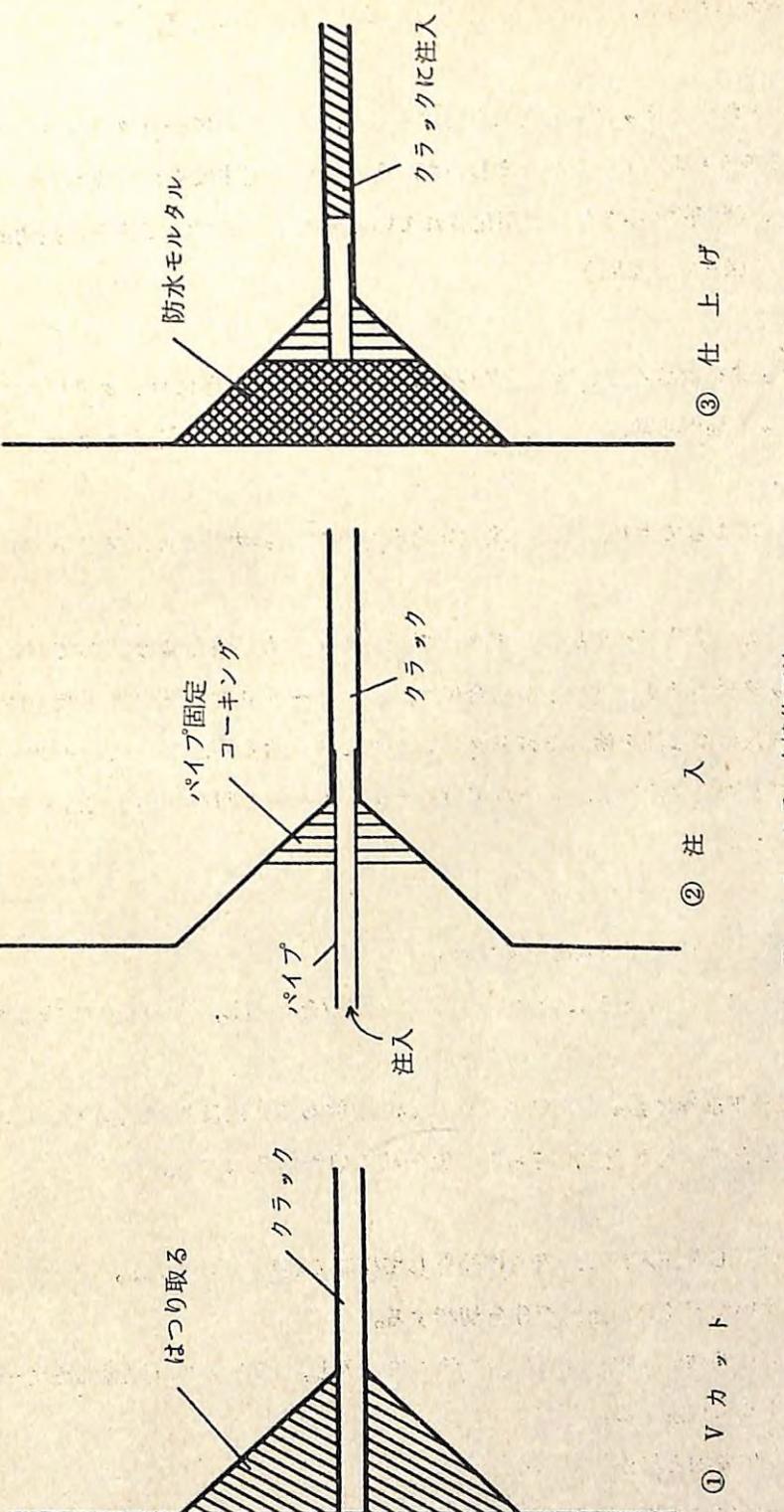


図-49 クラック補修工法

因は種々考えられるが、一般的には誘因としての不等沈下などによるせん断応力が考えられる。

以上、いずれのクラックも危険性を有するので、治山ダムに一旦クラックが発生したらすみやかに修繕・補修するのが望ましいが、その有効な工法は未だ確立されていない。現在、技術的、経済的にみて最も実用化されている注入工法について若干の技術的ポイントを述べる。(図-49参照)

1) Vカット

- ① クラックをはさんで2等辺三角形のV字形またはU字形にコンクリートをはつる。
- ② クラック幅が非常に小さく、注入困難な場合には深さ、幅とも10mm程度にVカットする。
- ③ はつりによって生じた微粉塵埃や異物をコンプレッサーまたはブラシで完全に取り除く。
- ④ カットした部分にバテ状のエポキシ樹脂をコテでもみ込むようにして詰める。
- ⑤ クラック長が600mm以上の場合には、200~500mm間隔に樹脂の注入口を設ける。注入口には油を塗った釘をクラック中に挿入するか、またはパイプを埋め込む。
- ⑥ パイプを固定するには、シール用のバテ状エポキシ樹脂を使用して、パイプを正確に固定する。

2) 注入

- ① 樹脂の硬化を待って注入を開始する。
- ② Vカット以外の部分には、バテ状エポキシ樹脂を充填し、その硬化を待って注入する。
- ③ 注入は最下部端にある注入口より注入し、上位あるいは反対側の注入口から樹脂が漏出するのを確認した上で、さらに上位の注入口から注入する。

3) 仕上げ

- ① 注入が終了した注入口は、直ちに栓をして樹脂の流出を防止する。
- ② 注入に用いたパイプは露出部分を切断する。
- ③ 注入速度は低粘度、中粘度の樹脂を除々に注入し、クラックの先端部まで十分に行きわたるように注意する。

(2) クラックの発生要因と防止対策

1) セメント系硬化コンクリートの複合構成

セメントに水を加えて混合すると、セメント粒子は水中に分散して水和反応が開始

される。このような水和が進行した場合、次第に未水和のセメントと毛管空隙が減少し、ゲルと水酸カルシウムが増大するが、セメントの全部が水和するためには、理想的な養生条件下でも10年は要すると言われている。しかも、セメントペーストの濃度がある一定値以上の場合には、系としての水和が終了したのちも、未水和のセメント粒子が残されているのである。従って、硬化コンクリートは一般に、そのセメント硬化体中に図-50のような固体成分としてのカルシウムシリケートゲル、水酸化カルシウムゲルなどの結晶のほかに未水和セメント粒子を含み、さらに空孔部分としてセメント粒子間の毛管空隙、ゲ

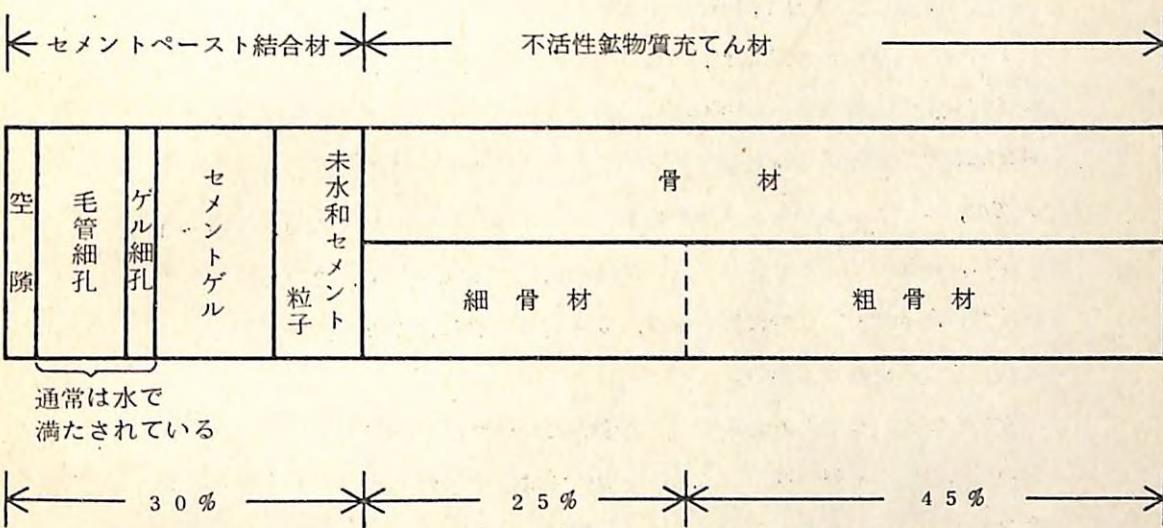


図-50 セメント系コンクリートの複合構成

ル粒子間のゲル空隙および硬化収縮による空隙、成形時のwater gain による骨材下面に生じる空隙、コンクリートの混合や成形の過程で混入する気泡などが存在する。

従って、コンクリートは、一般的には非活性骨材をセメントペーストで固めたぜい性材料であるが、比較的低い応力下では粘弾性的挙動を示すとともに、極めて高い応力下では見掛け上の塑性挙動を示すという、極めて複雑な性質をもつ材料と言える。

2) セメント系コンクリートの欠点とクラック発生要因

セメント系コンクリート(セメント硬化体)は、現在では鉄鋼材料とともに最も普及されている構造材料であるが、コンクリート強度の温度依存性、時間依存性、荷重速度依存性などが大きいため、種々のクラックが発生しやすい。そこでセメント硬化体の有する潜在的欠点とその改善法について要約すると次のようになる。

- ① 引張強度が小さいので、外力の作用方向によっては構造物の一部で引張応力場が生じ、

これがクラック発生の原因となる。

- ② 完全硬化に長時間を要するので、その間の養生に手間がかかる。コンクリートの力学的諸性質は、成形後少なくとも1カ月間は顕著な時間依存性を示す。
- ③ 硬化初期に大きな乾燥収縮を示すので、クラック発生の原因となる。
- ④ 水和熱による温度上昇が著しいので、断面の大きい構造物では温度応力によるクラック発生の原因となる。
- ⑤ 硬化コンクリートの強度は温度依存性が大きい。
- ⑥ 吸湿、吸水性が高く、各種の酸ならびに塩類に侵食されやすい。

以上の欠点のうち②と③は、主として成形上の要請から、水和に必要な理論上の結合水量をはるかに上廻る水量を用いるため、ダムコンクリートは非常に複雑で多様な空隙（力学的にはクラックと等価な欠陥）を内蔵する多孔材料（クラック材）となる。また⑤については、レジンコンクリートの例として、圧縮強度の温度依存性は、20～100°Cの範囲では、温度が高くなるに従って強度はほぼ直線的に低下し、23°Cにおける強度を100とすれば、40°Cの場合には90%，60°Cの場合には70%，80°Cの場合には50%になることが示されている。

これらの欠点の改善方法として、まず②については水分の供給と最適温度の維持、③については各種の伸縮継目の適用、④については養生条件の検討などがそれぞれ必要である。なお、②、③、④および⑤に関しては、結合材であるセメントの組成または添加材を検討することにより、ある程度の改善が可能である。

次に、⑥に関しては、高分子系の結合材を使用しない限り大幅な改善はできないし、①については、結合材と骨材のみの系による改善はほとんど不可能で、その改善方法としては鋼纖維などの纖維系材料による複合化が必要となる。

現在、実用化されているコンクリート系の複合材料を要約すると次のとおりであるが、治山ダム材としては当面、鋼纖維補強コンクリートの適用が有効であると考えられる。

材料レベルでの複合

2相系の相内複合

マトリックスにおける複合

- ・膨張セメント

- ・ポリマーセメントコンクリート

- ・ゴム入りアスファルト

骨材・補強材における複合

2相系の強化複合

- 粒子強化型・纖維強化型

- ・纖維補強コンクリート

- 含浸強化型

- ・ポリマー含浸コンクリート

部材レベルでの複合

- ・鉄筋コンクリート

- ・プレストレストコンクリート

- ・フェロセメント (Ferro-Cement)

参考文献

- 1) 小林一輔：コンクリートと複合(I)，生産研究，26(12), 511～517, 1974年12月
- 2) 陶山正憲外2名：破壊力学によるコンクリート構造物の強度解析(第2報)，土木学会30回年次学術講演会論文集，49～50, 1975年10月
- 3) 北川英夫・陶山正憲：Fracture Mechanics Study on the Size Effect for the Strength of Cracked Concrete Materials, Proc. 19th Japan Congress on Materials Research, 156～159, 1976年3月
- 4) 陶山正憲：き裂材としての岩盤の強度解析への破壊力学的手法の適用について，日林誌，58(4), 141～149, 1976年4月
- 5) 陶山正憲：Fracture Toughness of Cement Concrete Materials as Construction Members, Proc. 2nd International Conference on Mechanical Behavior of Materials, 1300～1304, 1976年8月
- 6) 陶山正憲：治山構造材料の強度解析に対する破壊力学的考察(II), 87回日林論, 353～354, 1976年10月
- 7) 陶山正憲・竹内美次：治山ダムに発生するクラックの挙動・特性について, 87回日林論, 355～356, 1976年10月
- 8) 陶山正憲：き裂材としてのコンクリート強度の破壊力学的研究, 新砂防, 第101, 9～16, 1976年12月
- 9) 陶山正憲：アカマツき裂材の破壊韧性試験, 日林九支研論, 31号, 273～274, 1977年10月

- 10) 陶山正憲：セメント硬化体の応力拡大係数について，日林九支研論，31号，275～276，
1977年10月
- 11) 陶山正憲：治山ダムクラックの発生原因と挙動特性，日林九支研論，31号，277～278，
1977年10月
- 12) 陶山正憲：治山構造材料の強度解析に対する破壊力学的考察(Ⅲ)，88回日林論，349～
350，1977年10月
- 13) 陶山正憲：治山ダムクラックの変位測定について，53年度砂防学会発表概要集，56～
57，1978年5月
- 14) 陶山正憲：破壊力学による砂防工材の強度解析(Ⅱ)，53年度砂防学会発表概要集，58～
59，1978年5月
- 15) 陶山正憲：治山ダムのひび割れと安全性，林業技術，16444，29～32，1979年
3月
- 16) 陶山正憲：コンクリートの強度評価法について，54年度砂防学会発表概要集，86～
87，1979年6月
- 17) 陶山正憲：破壊力学による砂防工材の強度解析，54年度砂防学会発表概要集，88～
89，1979年6月
- 18) 陶山正憲：治山ダムクラックの開口変位量測定，日林九支研論，32号，341～342，
1979年8月
- 19) 陶山正憲：治山用コンクリートの圧縮破壊非性の決定，日林九支研論，32号，339～
340，1979年8月
- 20) 陶山正憲・竹下幸・真島征夫・竹内美次：治山ダムクラックの特性解析と破壊防止技術の
確立，国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書(林試)，219～281，1979年
10月
- 21) 陶山正憲：プレーンコンクリートと鋼纖維補強コンクリートの圧縮による破壊非性の検討，
34回土木学会年次学術講演会講演概要集，129～130，1979年10月
- 22) 陶山正憲：治山構造材料の強度解析に対する破壊力学的考察(Ⅳ)，90回日林論，471～
472，1979年10月
- 23) 陶山正憲：治山構造材料の強度解析に対する破壊力学的考察(Ⅴ)，90回日林論，473～
474，1979年10月