

# 林業機械の振動騒音の防止 (作業方法の改善)



# 林業機械の振動騒音の防止（作業方法の改善）

## I 試験担当者

機械化部作業科作業第一研究室

豊川 勝生 石井 邦彦 奥田 吉春

## II 試験目的

現在、林業でよく使用されているトラクタ、集材機について1日の振動、騒音の暴露状態を明らかにし、その問題点の解明と作業改善を目的に、まず人間工学的チェックリストによる聞き取り調査を行い運転作業における問題点を抽出した。ここで、運転手が振動・騒音をどのように考えているかを検討した。そして、実際の現場での振動、騒音を分析検討することにより、その評価とそれを取りまく作業の改善を考えた。

## III 試験の経過と得られた成果

### 1 集材機、トラクタの振動、騒音に対する運転手の関心度調査

#### (1) 調査方法

今回使用した人間工学的チェックリストはNational Board of Occupational Safety and HealthとスウェーデンにおけるRoyal College of Forestry作成の“運搬、操縦用の機械類のための人間工学的チェックリスト”である。このチェックリストは、①乗り降り ②作業者と作業位置の適合 ③運転席 ④運転室 ⑤操縦器具の配置、位置、操作力 ⑥計器 ⑦視野 ⑧室内環境 ⑨排気 ⑩騒音 ⑪振動の各項目について、運転手がどれ位の関心度をもっているかを3段階区分で記入してもらう調査と具体的な52の質問からなるチェックリストによる調査からなっている。（調査様式表-1参照）

なお、調査対象運転手はトラクタ運転手60名、集材機運転手57名である。

#### (2-1) 調査結果 — 52の質問からなるチェックリストの分析

52の質問の中で、50%以上の訴えがあったものは、①振動に暴露されて疲れたり能

① 乗 り 降 り	①-1	スリップの危険はありませんか
	①-2	乗り降りの際に、事故を起こしやすい危険なものがでていませんか
	①-3	ドアはすばやく開けることができますか
	①-4	非常口の数に十分ありますか
	①-5	乗り降りに不自由は感じませんか



② 作業位置	②-1	ペダルやレバーは使いやすいところにありますか	
	②-2	体をねじったり無理な姿勢をしないで操作ができますか	
	②-3	作業位置はおおむね快適ですか	
③ 座席	③-1	座席の安全性は大丈夫ですか	
	③-2	座席の位置や背もたれの傾斜は良好ですか	
	③-3	座席、背もたれの張り具合（摩擦、通気具合）は良好ですか	
	③-4	座席のスプリングはショックに対して十分ですか	
	③-5	座席の高さ、長さの調節範囲は十分ですか	
	③-6	座席は簡単に調節できますか	
④ 運転室	④-1	運転室の広さは十分ですか	
	④-2	運転室に危険な突出物はありませんか	
	④-3	運転室の掃除は簡単にできますか	
⑤ レバー・ペダル等	⑤-1	よく使うレバー、ペダル類は簡単にとどく範囲にありますか	ペダル レバー
	⑤-2	操縦するのに無理な力をいれなくてすみすみますか	ペダル レバー
	⑤-3	レバー、ペダル類の動かす範囲は丁度いい具合になっていますか	ペダル レバー
	⑤-4	ハンドル、レバー、ペダル等の使い分けはうまくなっていますか（機能に合っていますか）	ペダル レバー
	⑤-5	操縦かん1本あたりの作業量は適当になっていますか	ペダル レバー
	⑤-6	レバーやペダルは操作まちがいがいがないよう配置されていますか	ペダル レバー
⑥ 計器	⑥-1	必要だと思われる計器類はみんなそろっていますか	
	⑥-2	不必要だと思われる計器類はありませんか	
	⑥-3	危険信号は目につく位置にありますか	
	⑥-4	計器類はその場に合った形をしていますか	
	⑥-5	計器類の配置はうまくできていますか	
	⑥-6	計器類はみやすくなっていますか	
⑦ 視野	⑦-1	運転中、地表がよくみえますか	
	⑦-2	運転中、上の方はよくみえますか	

⑦ 視野	⑦-3	この機械に視野のじゃまになるものがついていませんか	
	⑦-4	窓から外をみる時、反射で困ることがありませんか	
	⑦-5	窓ふき用のワイパーや、洗浄用具がついていますか	
⑧ 明るさ・すきま風	⑧-1	運転室内の明るさは十分ですか	
	⑧-2	夏の暑さからうまく保護されていますか	
	⑧-3	冬の寒さからうまく保護されていますか	
	⑧-4	すきま風が入ってくるようなことはありませんか	
⑨ 排気	⑨-1	運転室は排気ガスの臭いしませんか	
	⑨-2	運転室は油やガソリンの臭いしませんか	
⑩ 騒音	⑩-1	耳せんなどしなくても難聴になる危険はないですか	
	⑩-2	耳などしなくても騒音作業中いらいらすることはありますか	
⑪ 振動	⑪-1	この機械は振動から守られるような設計になっていますか	
	⑪-2	作業中、振動からそんなに妨げられずに作業ができますか	
	⑪-3	作業中、振動に暴露されて疲れたり能率が低下するようなことはありませんか	
	⑪-4	作業中の振動は快適性からいって、がまんができるくらいのものでしょうか	

調査項目（3段階評価）

評価のポイント	あまり重要でない	重要	かなり重要	評価のポイント	あまり重要でない	重要	かなり重要
①乗り降り				⑦視野			
②作業位置				⑧明るさ、気温、すきま風			
③座席				⑨排気			
④運転室				⑩騒音			
⑤レバー、ペダル等				⑪振動			
⑥計器							

率が低下する ②非常口の数が十分でない ③夏の暑さから保護されていない ④窓の外をみる時、反射で困ることがある、であった。また、トラクタについては特に③座席 ⑦視野の項目で訴え率が高い傾向にあった。

（2-2）調査結果 — 11項目からなる人間工学的チェックリストによる分析

11項目に対する運転手の反応（関心度）の平均と標準偏差を表-2に示す。なお評価点は、各項目の“あまり重要でない”に1点，“重要”に2点，“かなり重要”に3点を



与えている。これによると、集材機では1⑦視野、2⑪振動、3⑩騒音、4③座席、5⑤レバー、ペダル の項に関心が高く、トラクタでは1⑪振動、2⑦視野、3⑩騒音、4③レバー、ペダル、5③座席 の順に関心が高かった。

さらに、この結果を追求するために、各項目の評価点の母平均が2でないことの確かをし、すなわち評価点が平均2より偏っていることの強さの検定を試みた。表-2の\*が1%有意、\*5%有意を示している。これによると、①乗り降り ⑥計器 ⑨排気 の3項目は、林業機械に対する関心度では低い項目であり、逆に⑪振動、⑦視野、⑩騒音、③座席 の項目は関心度の高い項目であることが分析された。

このように、振動、騒音に関しては運転手が高い関心を示しており、また具体的にチェックリストの振動に関する質問でも訴え率が高いようである。

表-2 運転手の関心度

評価項目	集材機	トラクタ	合計
①乗りおり	1.386** (0.701)	1.617** (0.761)	1.504** (0.738)
②作業位置	1.965 (0.654)	2.067 (0.686)	2.017 (0.669)
③座席	2.123 (0.657)	2.150* (0.577)	2.137* (0.615)
④運転室	1.860 (0.667)	2.000 (0.689)	1.932 (0.679)
⑤レバー・ペダル	2.088 (0.662)	2.167 (0.740)	2.128 (0.701)
⑥計器	1.877 (0.734)	1.750** (0.728)	1.812** (0.730)
⑦視野	2.333* (0.690)	2.367** (0.736)	2.350** (0.711)
⑧明るさ・気温・すきま風	1.965 (0.731)	2.000 (0.713)	1.983 (0.719)
⑨排気	1.947 (0.718)	1.700* (0.696)	1.821** (0.715)
⑩騒音	2.193* (0.611)	2.267** (0.733)	2.231** (0.674)
⑪振動	2.333** (0.636)	2.417** (0.696)	2.376** (0.666)
台数	57	60	117

\*\* : 1%有意

\* : 5%有意

## 2 集材機、トラクタの作業時における座席振動の実態

### (1) 調査方法

振動測定は、トラクタ8台(クローラ型5台、ホイール型3台)、集材機10台につい

て行われた。その概要は表-3のようである。測定は、箱型の3方向の振動同時測定可能なビックアップ(リオン株式会社製PV-82A)を集材機、トラクタの座席上に置き、振動計(リオン株式会社製3チャンネル公害用振動レベル計VM-16)を通してデータレコーダ(共和電業株式会社製RTP-520A)に記録させてきた。このデータを研究室で再生させ、 $\frac{1}{3}$ オクターブ周波数分析器(リオン株式会社製SA-57)で分析し、レベルレコーダ(リオン株式会社製LR-04)で記録検討した。

### (2) 振動の分布

1集材サイクルの例として、そのチャート(図-1(1),(2))と振動のレベル頻度(1サイクル中における1.5秒ごとの振動のレベル頻度)を図-2(1),(2)に示した。チャートやレベル頻度図からわかる通り分布型は両端に2つのピークをもつ分布型となる。これはいわゆる林業機械作業時(集材機では「空搬器走行」、「実搬器走行」時等、トラクタでは「空車走行」、「実車走行」時等)と停止時(「荷掛け待ち」、「荷はずし待ち」等)の振動が現われたものと思われる。

表-3 振動調査の概要

集 材 機						
機 種	場 所	索張り方式	平均集材 距 離	平 均 1 集材 サイクル時間	備 考	
MS70-3MA	千頭営林署	ダブル・エンドレス	20m	2分29秒	積み込み線	
MS70-5MAB	〃	〃	30m	2分50秒	〃	
Y33HD6	〃	エンドレス・タイラー	450m	12分17秒		
Y33HD6	〃	〃	250m	6分01秒		
MS70-3MA	〃	ダブル・エンドレス	20m	15分11秒	積み込み線	
Y33HD6	〃	エンドレス・タイラー	750m	8分12秒		
Y32E	水戸営林署	〃	200m	8分04秒		
Y33HD6	〃	〃	450m	6分44秒		
Y43	富岡営林署	〃	500m	12分44秒	荷上げ集材	
Y43	棚倉営林署	〃	900m	21分04秒		



機 種	場 所	平均集材 距 離	路 面 状 態	平均 1 集材 サイクル時間	平均傾斜
D40A	福島 営林署	480 m	①良砂	27分30秒	7°
D40A	棚倉 営林署	360 m	①良砂	24分50秒	15°
CT35 (サルキー)	静岡 営林署	800 m	③ぬかるみ粘土 所々点石	43分50秒	10°
T50	原ノ町営林署	250 m	③かわいた粘土 枝条, 伐根	14分45秒	12°
CT-35	水戸 営林署	400 m	①良砂	32分57秒	9°
NTK-5	沼田 営林署	180 m	③ぬかるみ, 枝条, 伐根, 点石	18分17秒	9°
T50	"	"	③ "	24分30秒	9°
T50	"	260 m	③林道, 粘土	25分50秒	5°

## (3) ISO基準

全身振動に対する人体暴露の評価指針の代表的なものは、ISO (国際標準化機構) による1974年の“全身振動暴露の評価に関する指針 (ISO 2631)”である。この指針は立位及び坐位の人間にその支持部分の表面から伝えられる振動に適用される。対象とする振動の周波数範囲は1~80Hzで、振動の測定位置は振動体と人体に接触する部分の振動を測定する (この調査の場合は、座席上に箱形の振動ピックアップを取り付けた)。加速度は実効値 (rms) を使用する。測定値は1/3オクターブまたはそれ以下の狭帯域のフィルターを使用して分析される。振動の人体への影響を決定する物理的因子としては、振動の強さ、周波数、振動の方向、持続時間 (暴露時間) の4因子が重要である。これら4因子で示される振動を評価する場合、この指針では次の3曲線を示している。(a)作業能率の保持 (疲労・能率減退境界) (b)健康や安全の保持 (暴露限界) (c)快適地の保持 (快感減退境界) 普通の分析では、この3境界の内、疲労・能率減退境界を使用する。なお、暴露限界は疲労・能率減退境界より6dB高く、快感減退境界は10 dB低い基準である。

## (4) 調査振動の評価

測定振動をISO基準に沿って評価してみる。ISO基準へのあてはめについては、3つの問題点がある。第1の問題点は、どの部分の振動値を読むかである。これは、ピーク値を読む方法、中央値を読む方法等があるが、この場合、中央値を読んだ。第2の問題点は、前に検討した通り要素作業ごとに振動レベルが異なる点である。ここでは要素作業ご

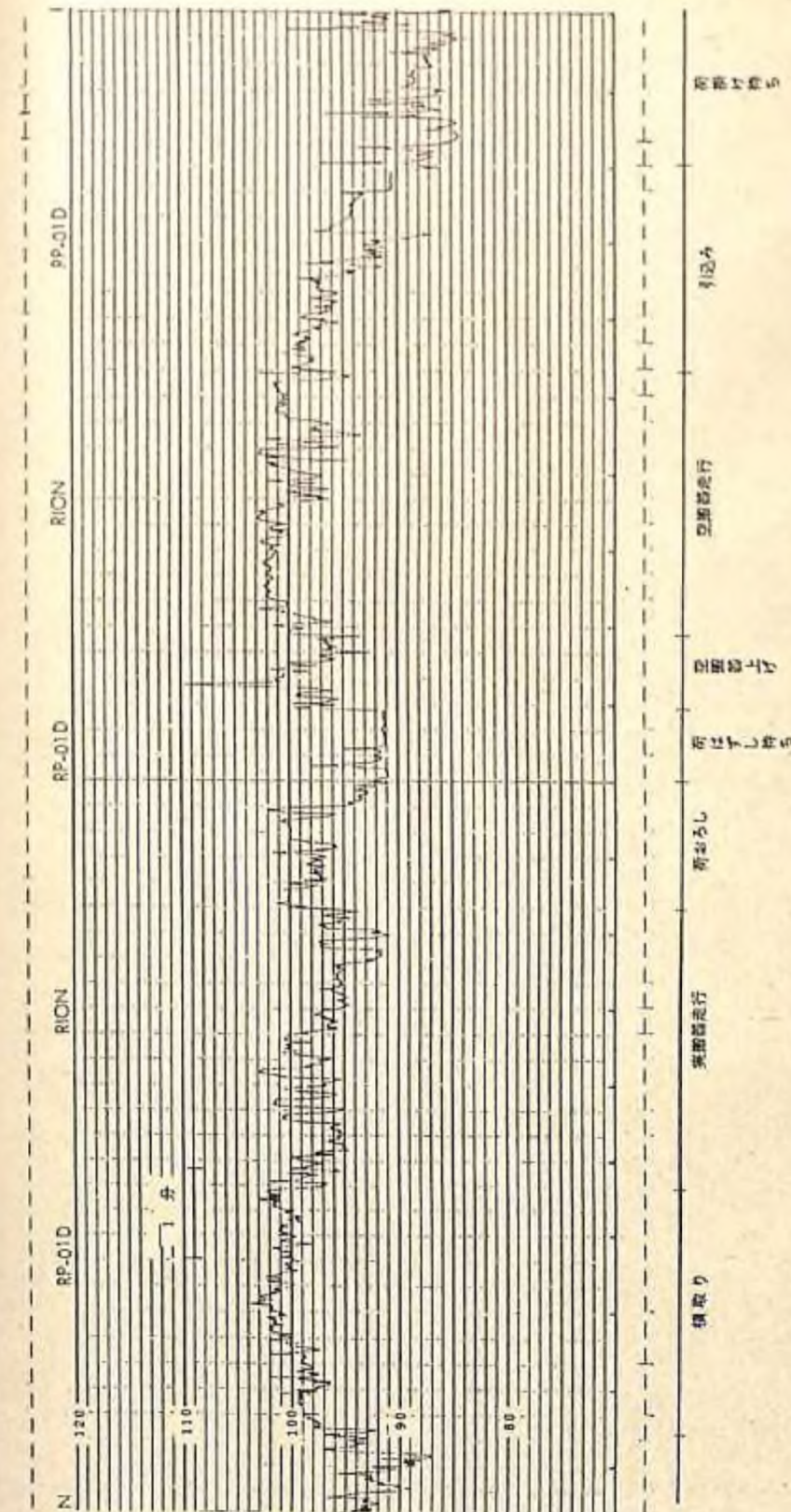
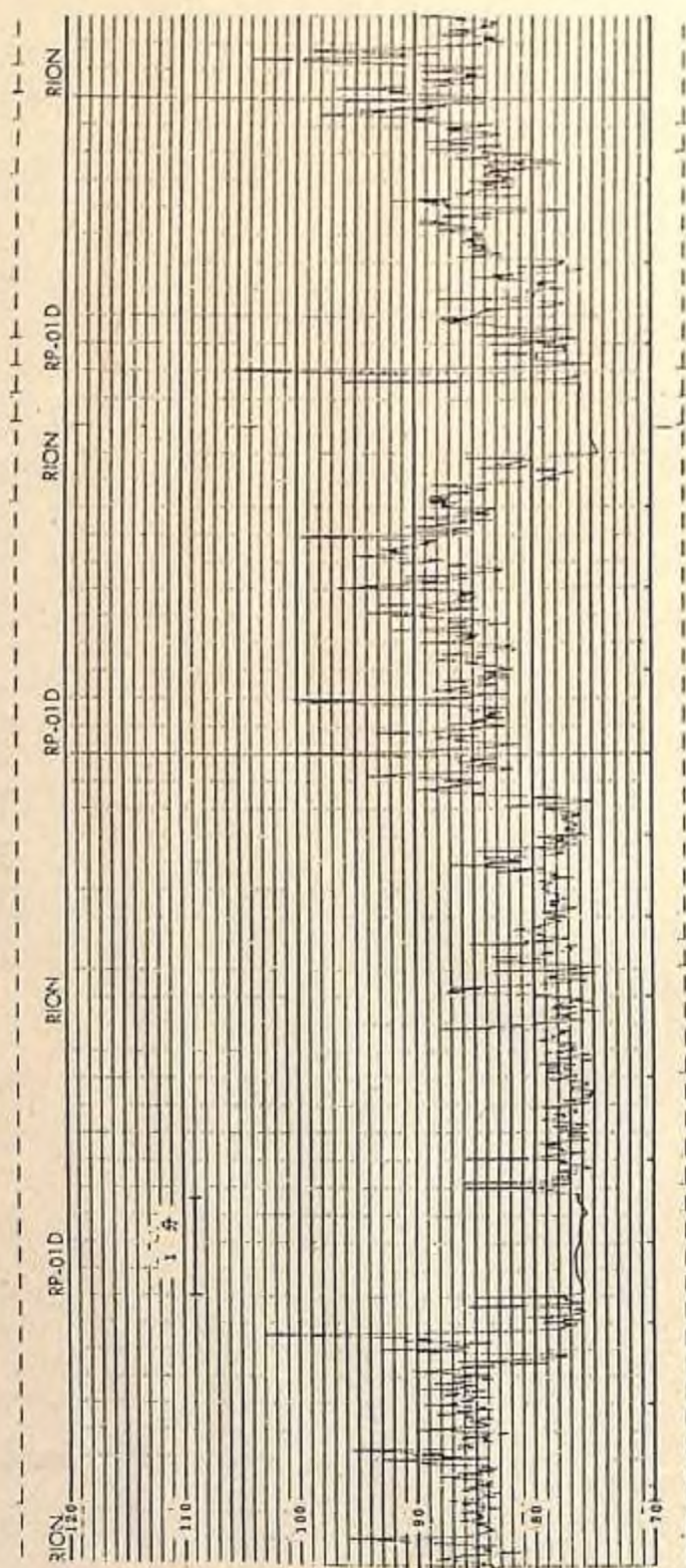


図-1(1) 集材機Y43振動例 Lin(Z方向)





空重走行  
荷掛け待ち  
クレーン移動  
荷掛け待ち  
クレーン移動  
荷掛け待ち  
空重走行

図-1(2) トラクタNTK5振動例Lin(Z方向)

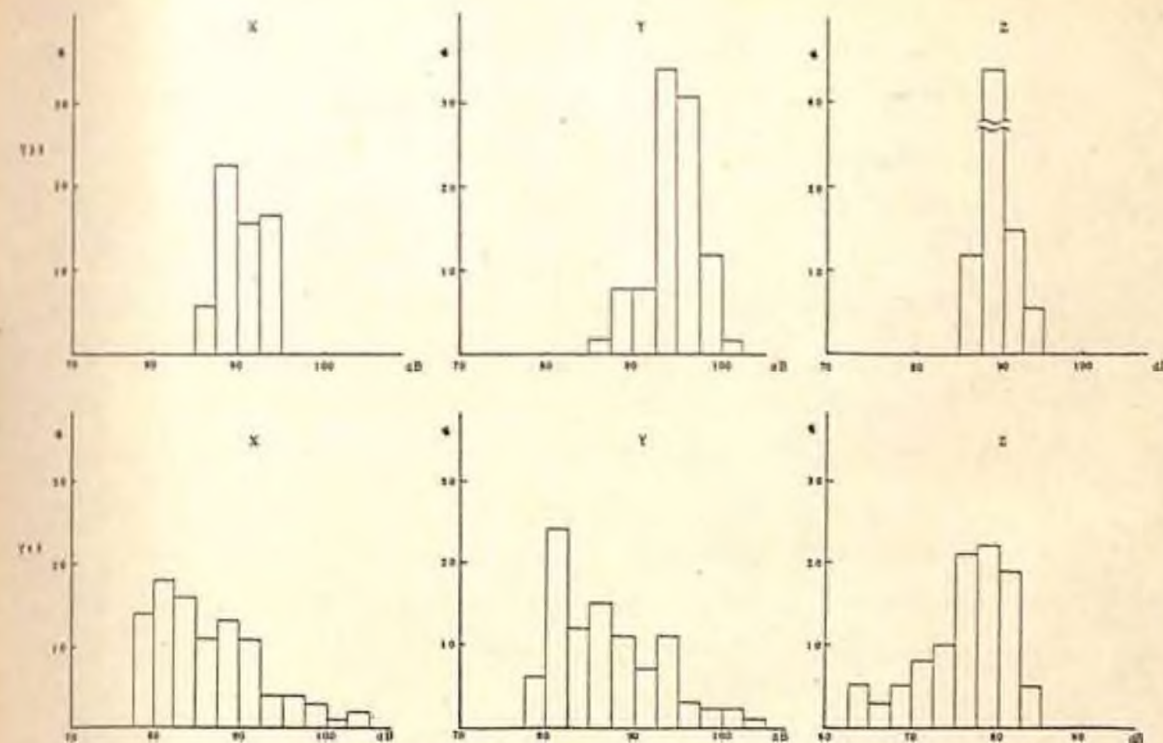


図-2(1) 作業時間(1集材サイクル)に対するレベル別暴露時間分布(Lin)

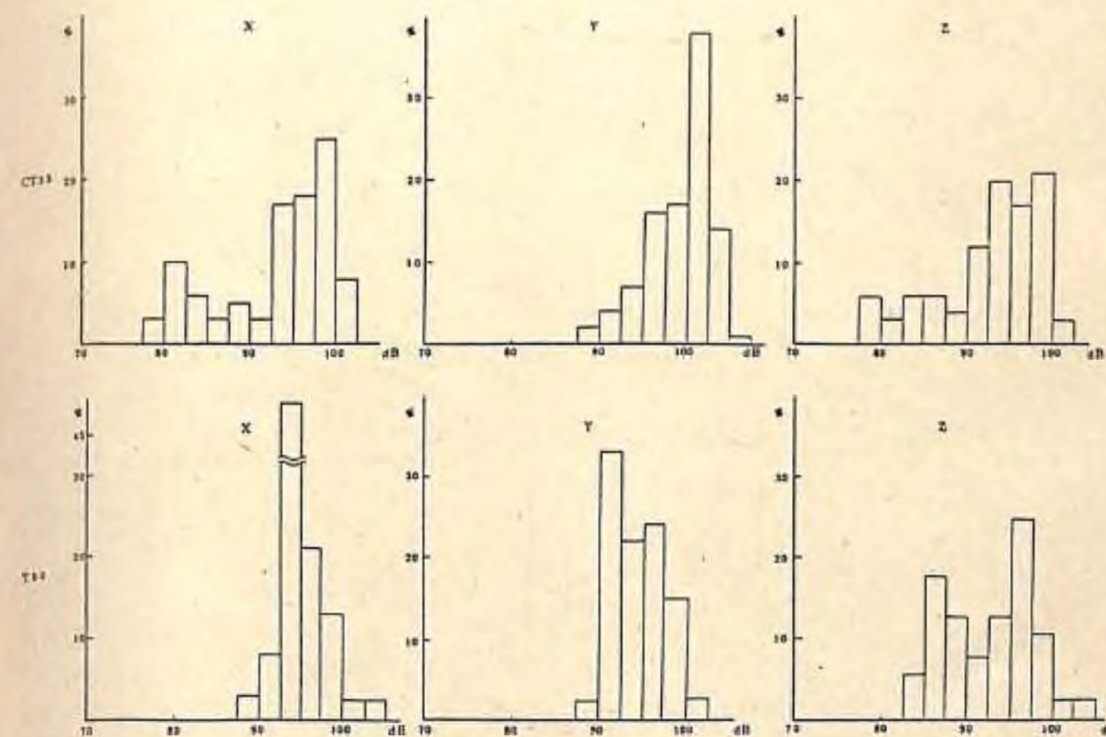


図-2(2) 全作業時間(1集材サイクル)に対するレベル別暴露時間分布(Lin)



とに評価し、それで全体を評価した。第3の問題点は、振動暴露時間の問題である。普通1日の作業時間として8時間値をとるが、実際の作業は、休憩、打合せ、機械の保守点検等でそれより短い。今回、1の関心度調査で並行して行った調査ではトラクタ5.7時間、集材機5.9時間であった。また、以前（昭和50年度、特別研究促進調整費「局所振動障害の発生機序に関する総合研究」<sup>(1)</sup>）では集材機の場合6時間53.9%、5時間32.8%、4時間7.7%とこれも6時間位が多い。振動暴露時間は6時間とみれば十分であろう。

今回調査の振動のレベルは図-3(1)~(8)のようになり、中央値は問題がない。各値の範囲は95%信頼限界を示しているが、集材機の実搬器走行で8 Hzの所でこれが高い値を示している。しかし、工程別での振動暴露時間（表-4）で比較してみるとこれも問題はない。

表-4は集材機の場合は集材距離、荷掛け材の分散度等により変化するし、トラクタの場合も集材距離、ウィンチ引き距離等によって変化するものである。しかし、1日の作業時間そのものは6時間の範囲なので、1日の合計時間としては目安として使えるものと考えられる。

表-4 各工程別1日の暴露時間

集材機			トラクタ		
工 程	1 サイクル 平均頻度(%)	1日換算 時間(分)	工 程	1 サイクル 平均頻度(%)	1日換算 時間(分)
空搬器上げ	4(4.0)	14	空車走行	28(10.0)	101
空搬器走行	16(5.2)	58	荷掛け待ち	18(10.9)	65
引 込 み	9(5.5)	32	ウィンチ引き	7(3.0)	25
荷掛け待ち	29(15.9)	104	実車走行	23(8.1)	83
横 取 り	11(4.0)	40	荷はずし待ち	12(10.2)	43
実搬器走行	19(9.4)	68	盤台整理	13(4.1)	47
荷おろし	5(6.8)	18			6時間
荷はずし待ち	6(5.7)	22			
		6時間			

( ): 標準偏差

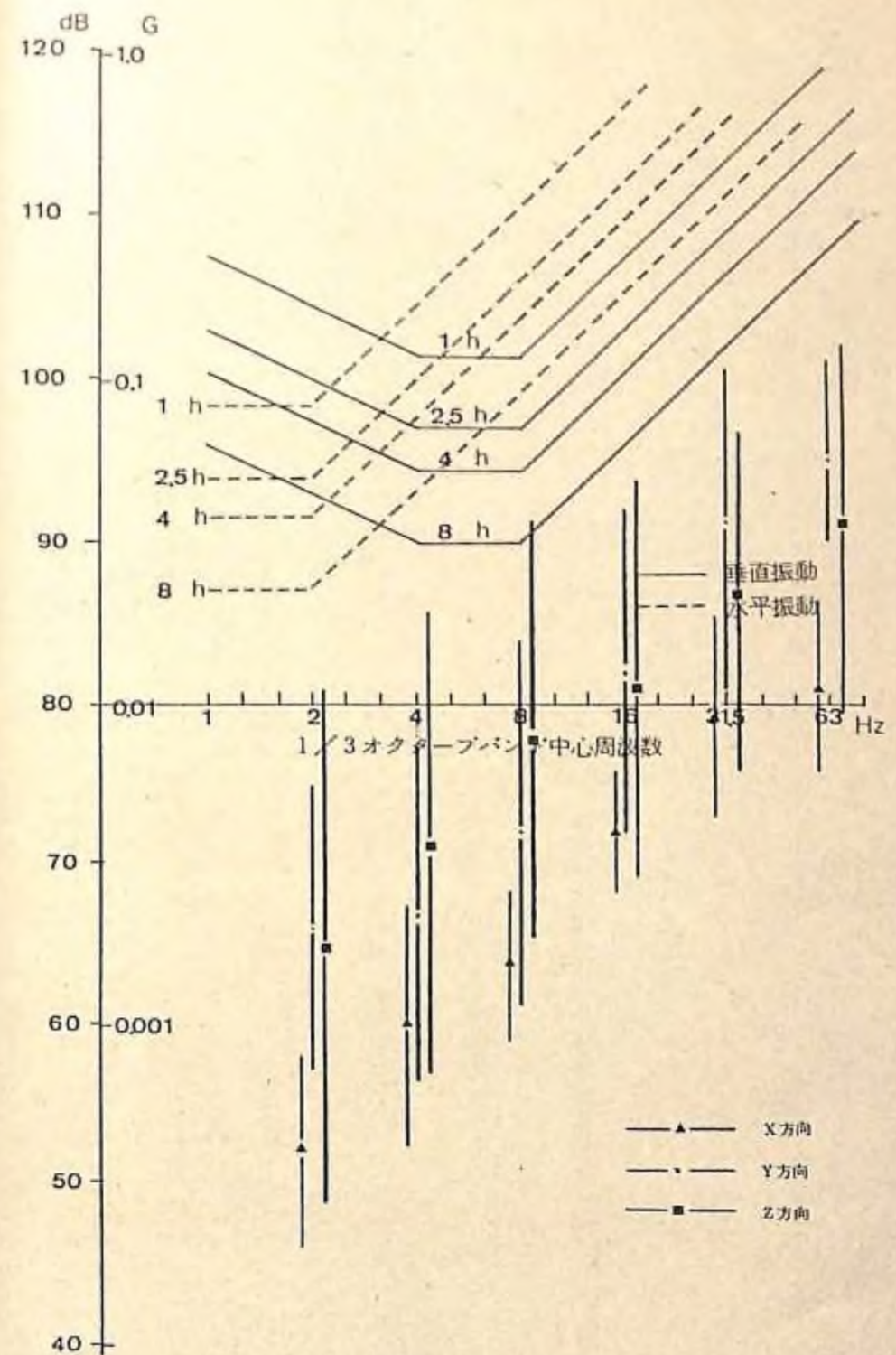


図-3(1) 空搬器走行（集材機）



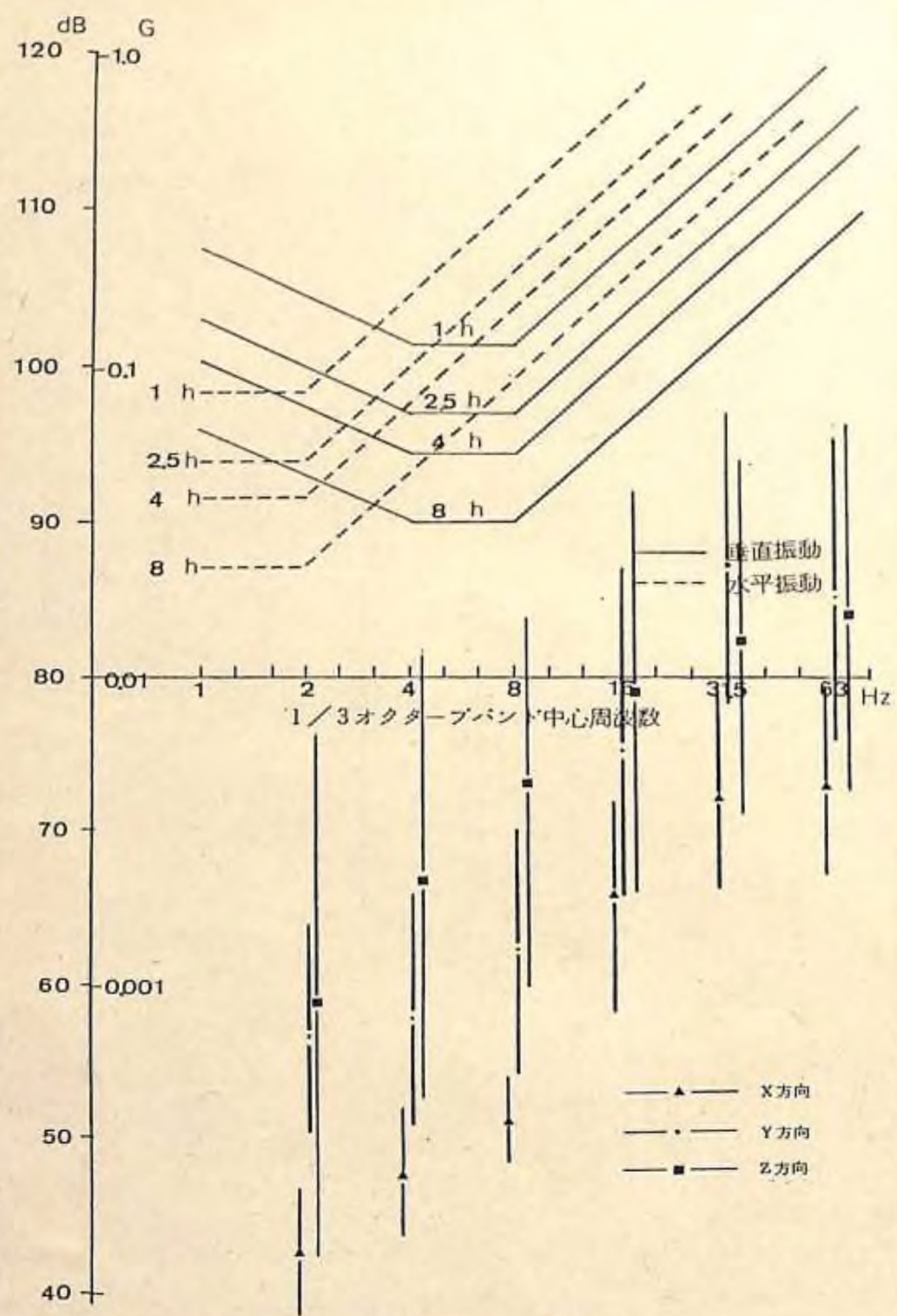


図-3(2) 荷掛け待ち (集材機)

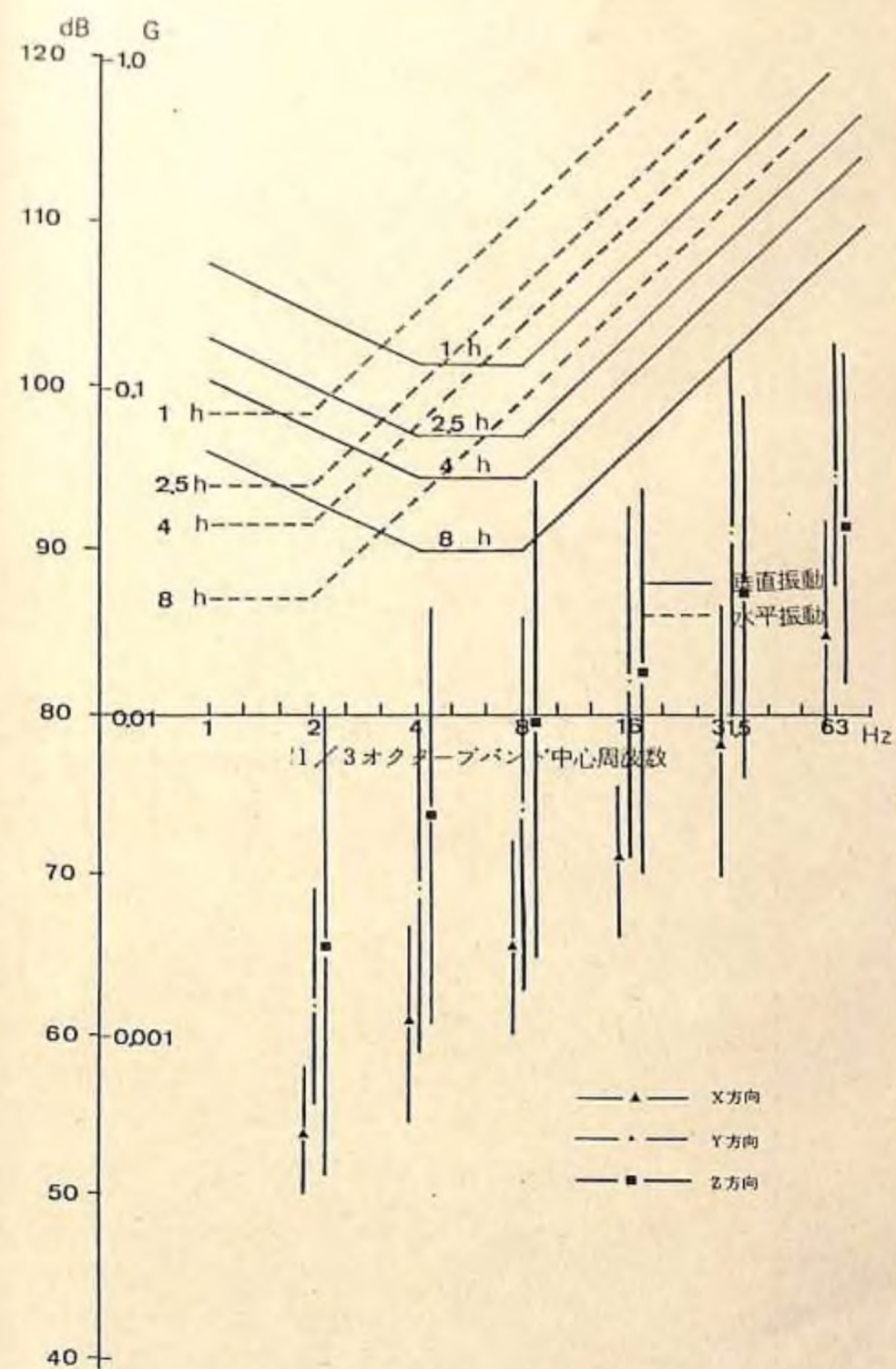


図-3(3) 実搬器走行 (集材機)



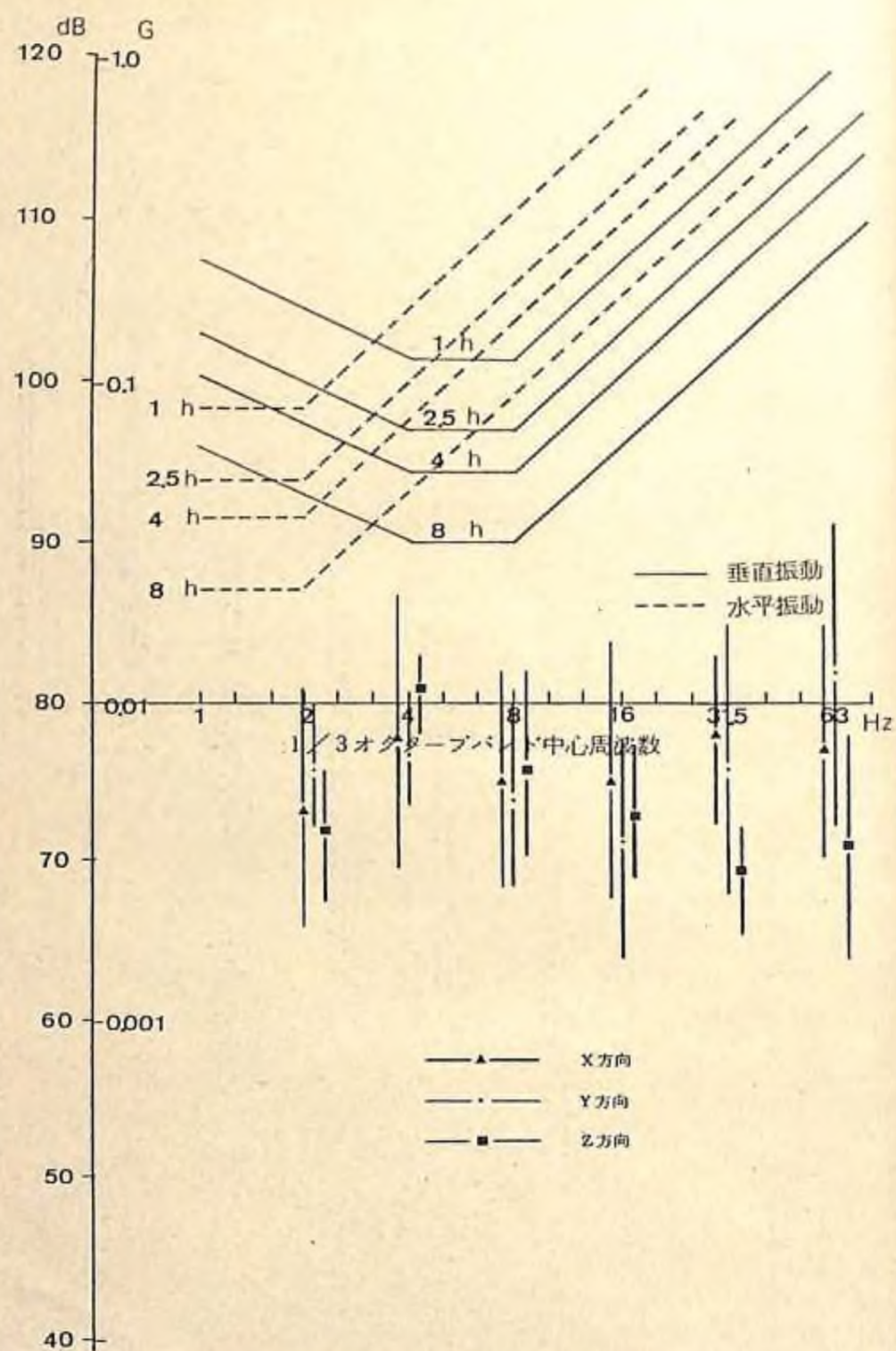


図-3(4) 空車走行 (トラクタ)

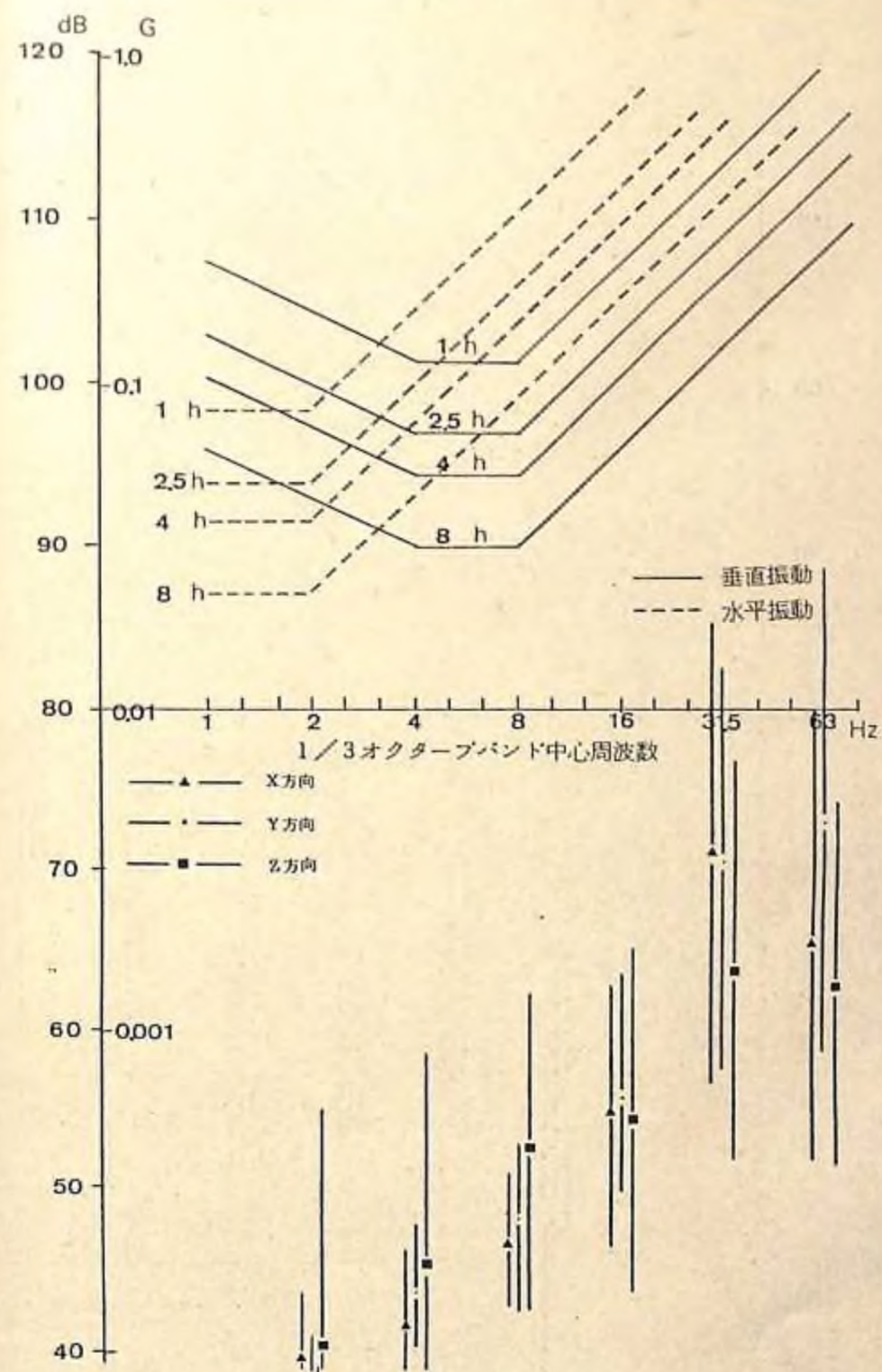


図-3(5) 荷掛け待ち (トラクタ)



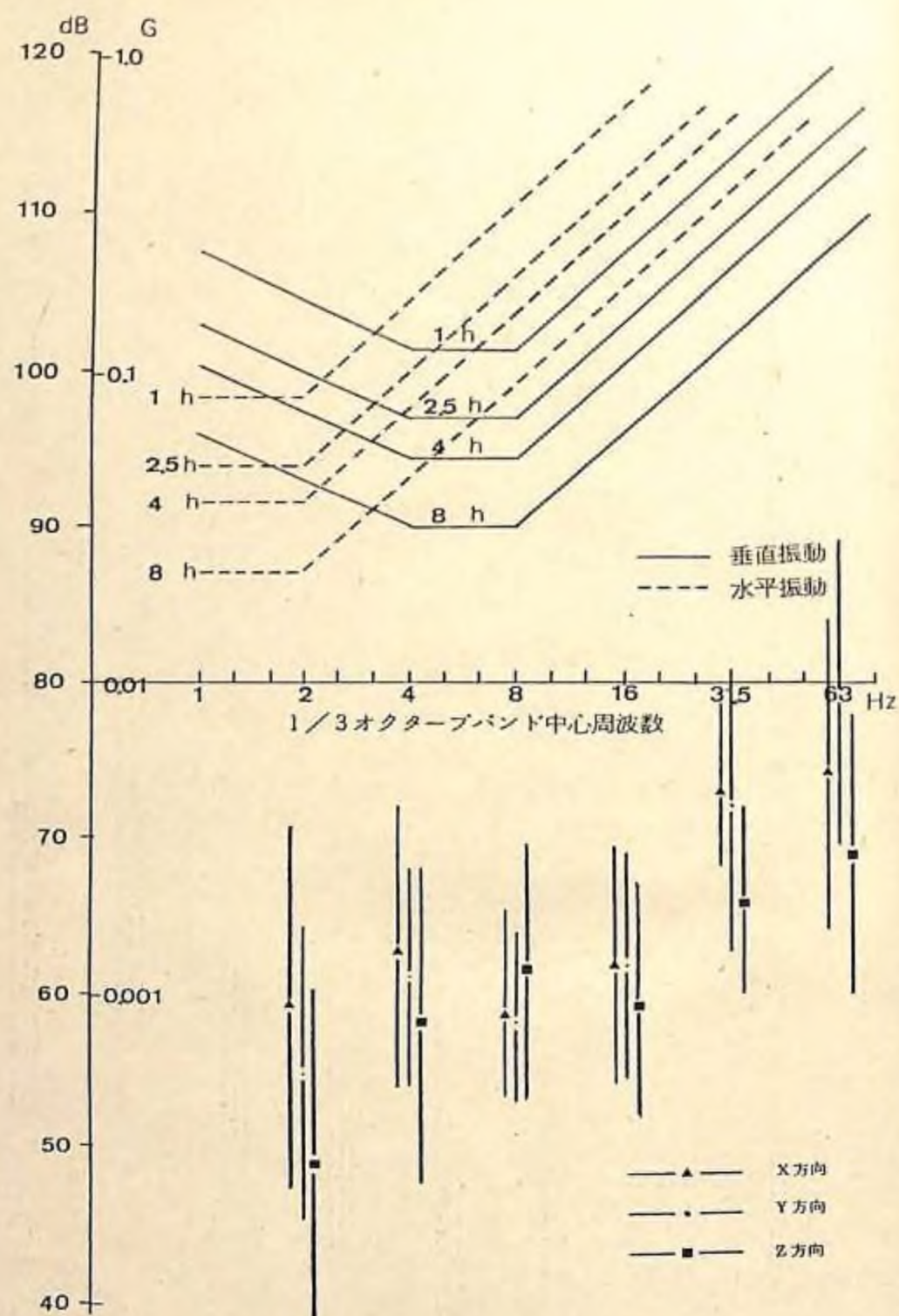


図-3(6) ウィンチ引き (トラクタ)

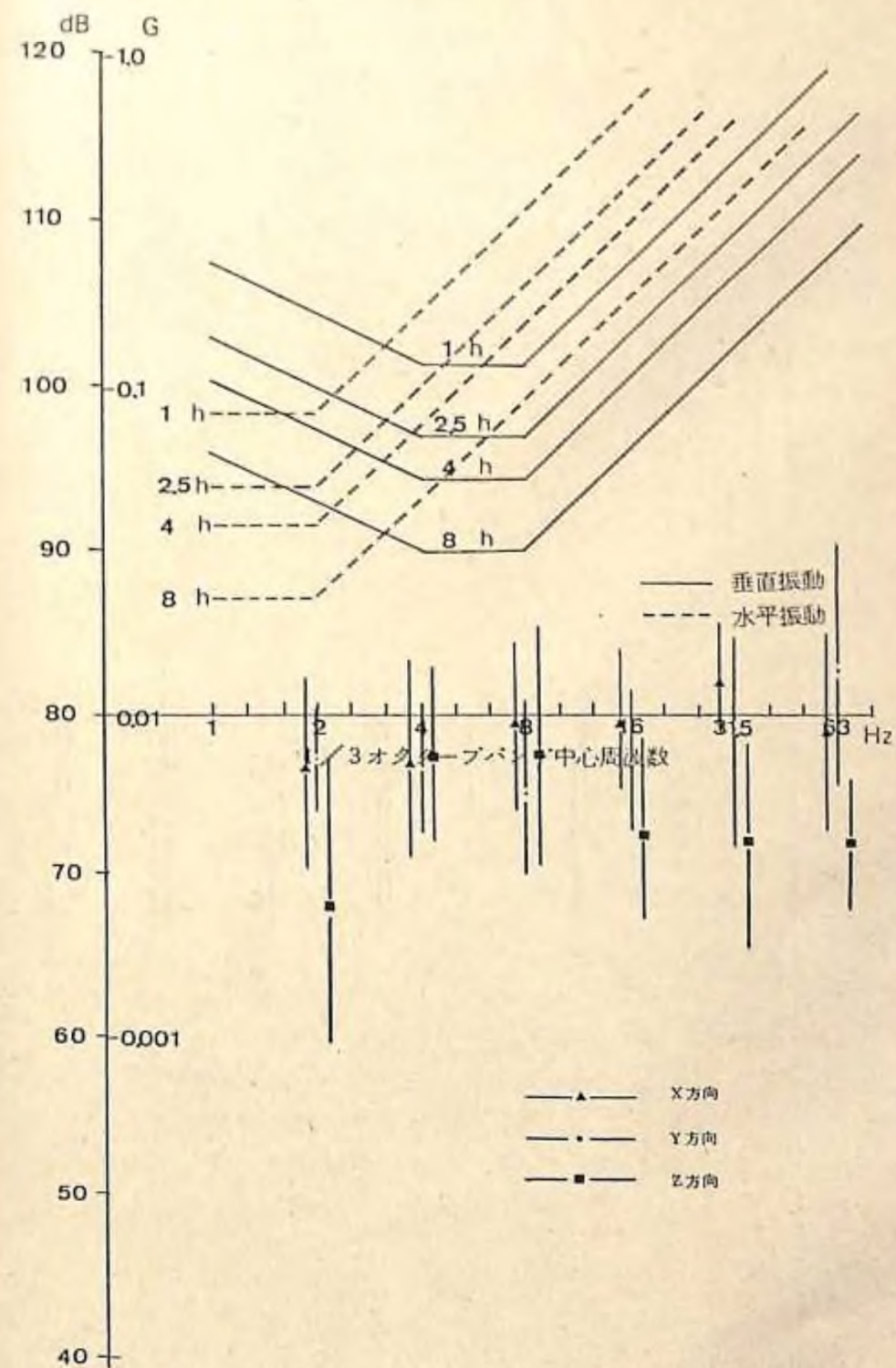


図-3(7) 実車走行 (トラクタ)



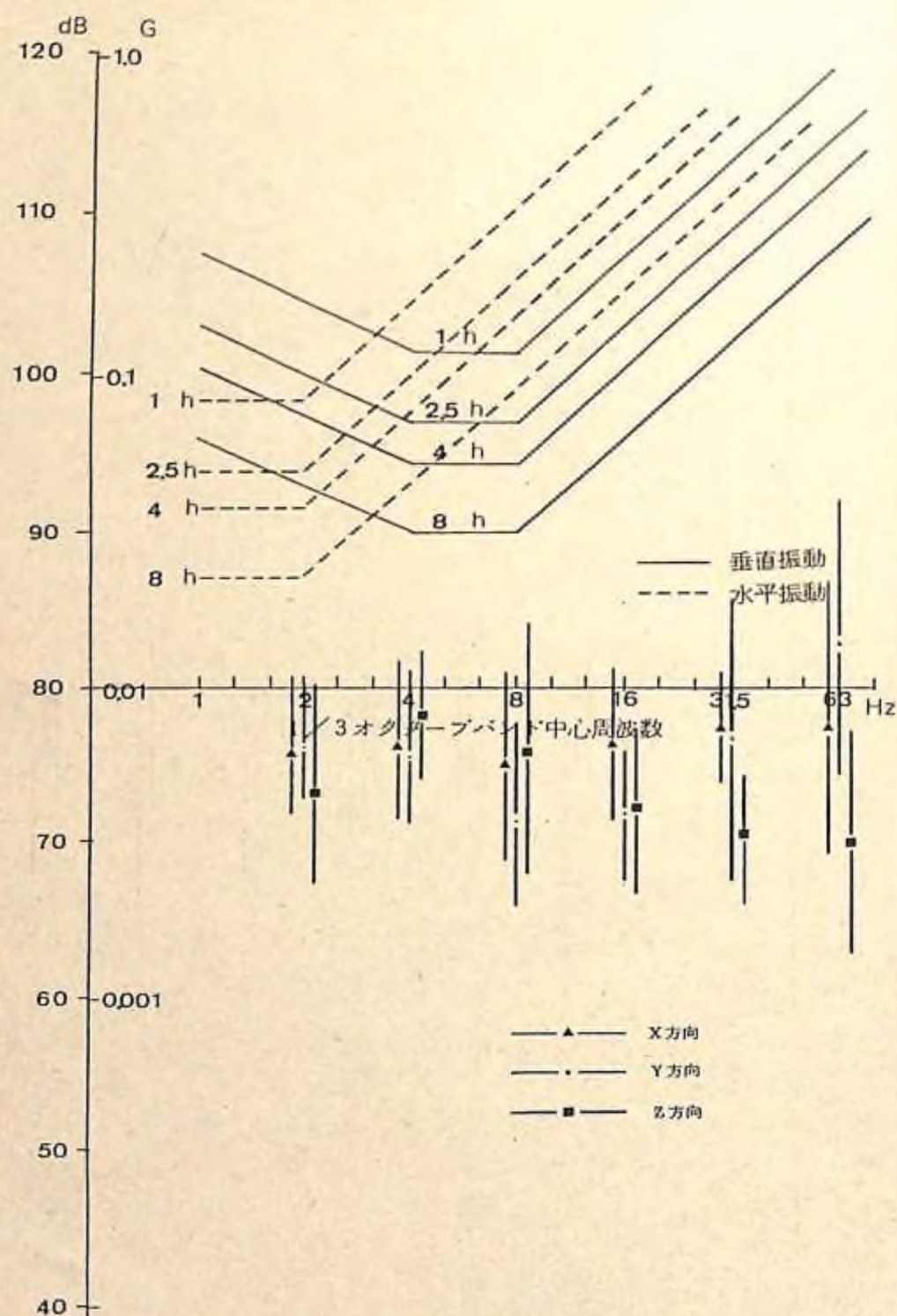


図-3(8) 盤台上での整理

## 2. 集材機・トラクタの作業時における騒音暴露の実態

### (1) 調査方法

騒音測定はトラクタ4台(クローラ型2台, ホイール型2台), 集材機8台で行われた。その概要は表-5のようである。騒音の測定には, 集材機, トラクタのドアを開けた状態で運転手耳元近くに精密騒音計(リオン株式会社製NA-60)を置き, これから出る信号をデーターレコーダ(ソニーマグネスケール株式会社製FR-3215W)に記録させた。これを研究室で再生させ,  $\frac{1}{3}$ オクターブ周波数分析器(リオン株式会社製SA-57)で分析し, レベルレコーダ(リオン株式会社製LR-04)で記録検討した。

### (2) 騒音の分布

1集材サイクルの例として, そのチャート(図-4(1), (2))と騒音のレベル頻度(1サイクル中における1.5秒ごとの騒音レベル頻度)を示した(図-5)

### (3) 騒音の周波数分析結果

図-6(1)~(3)は, 集材機(Y43)とトラクタ(T-50)の $\frac{1}{3}$ オクターブバンドによる周波数分析結果の1例を示す(図上の曲線は日本産業衛生学会の勧告による許容基準線)。これによると集材機騒音の卓越周波数成分は「空搬器上げ」, 「空搬器走行」工程で500 Hz 附近, 「実搬器走行」で700 Hz 附近, 「横取り」で1 kHz 附近にあり, トラクタでは500 1 kHz 附近に卓越周波数成分がある。

表-5 騒音調査の概要

#### 集材機

機種	場所	索張り方式	平均集材距離	平均1集材サイクル時間	備考
Y33HD6	水戸営林署	エンドレス・タイラー	450 m	6分44秒	積み込み線 荷上げ集材
Y33EPA	"	"	300 m	10分07秒	
Y32E	"	"	200 m	7分59秒	
MS70-3MA	千頭営林署	ダブル・エンドレス	20 m	13分03秒	
Y43	富岡営林署	エンドレス・タイラー	500 m	17分20秒	
Y43	棚倉営林署	"	900 m	16分50秒	
Y43	棚倉営林署	"	900 m	21分20秒	
MS70-54MAB	高萩営林署	"	350 m	12分50秒	



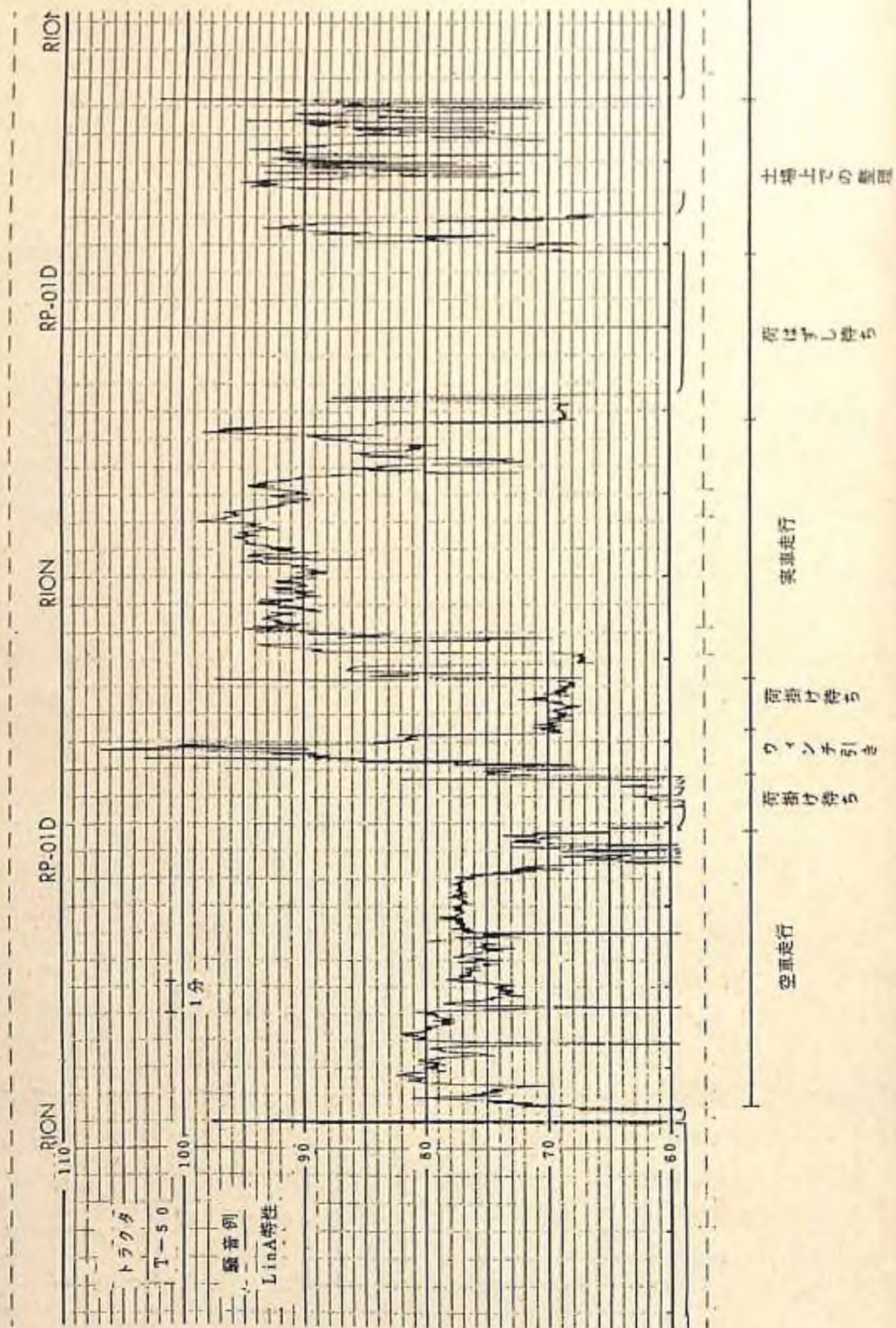


図-4(1)

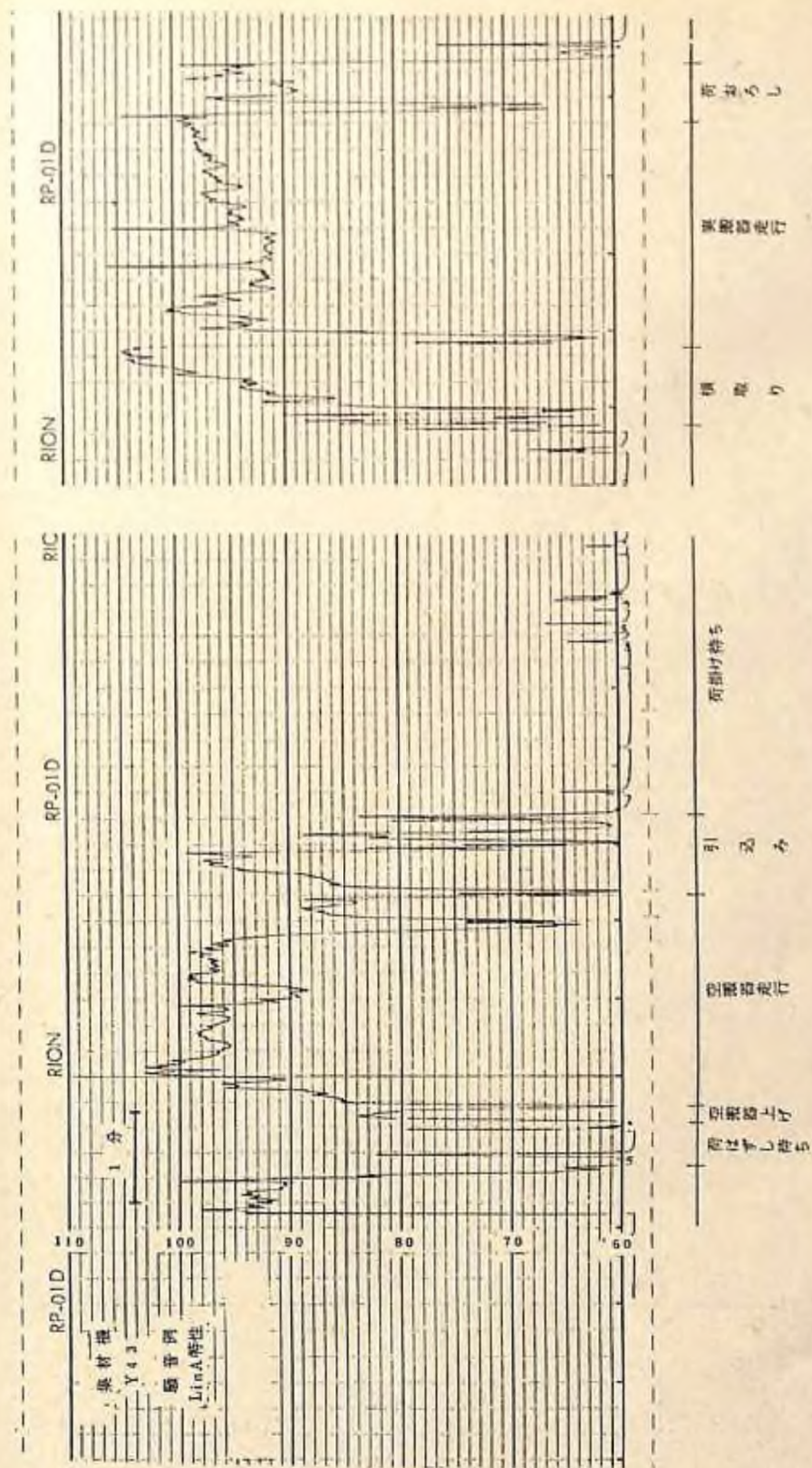


図-4(2)



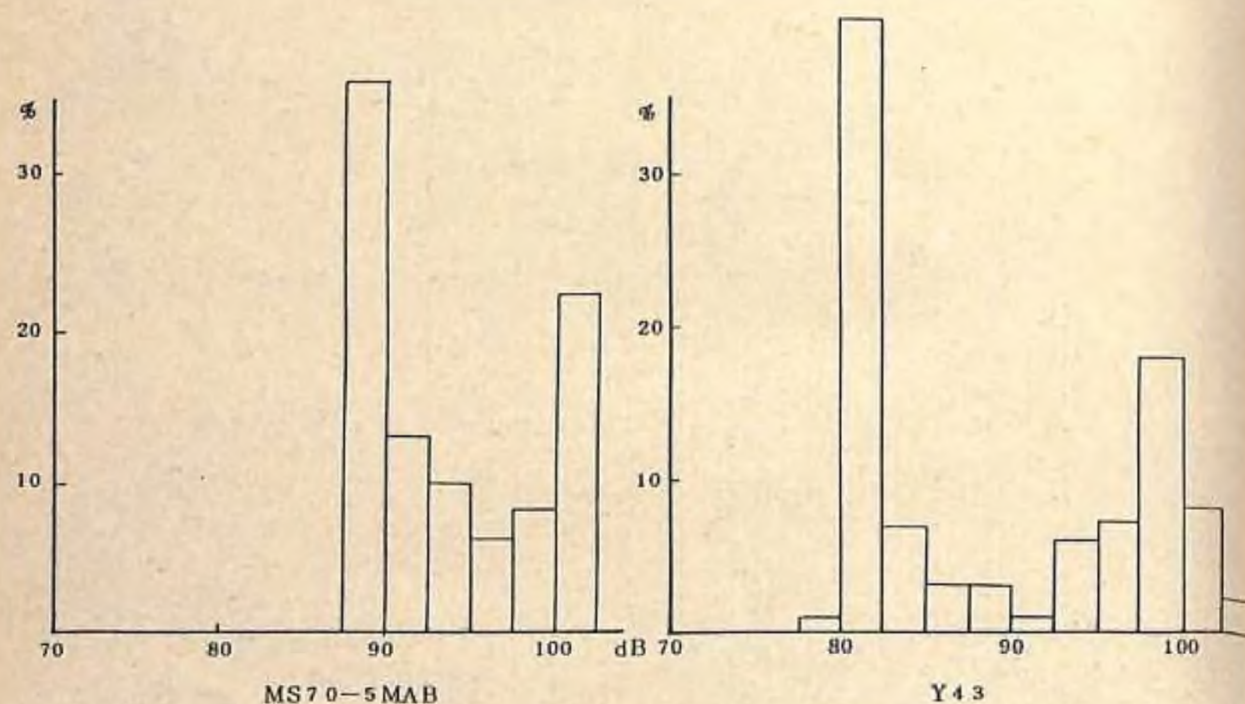
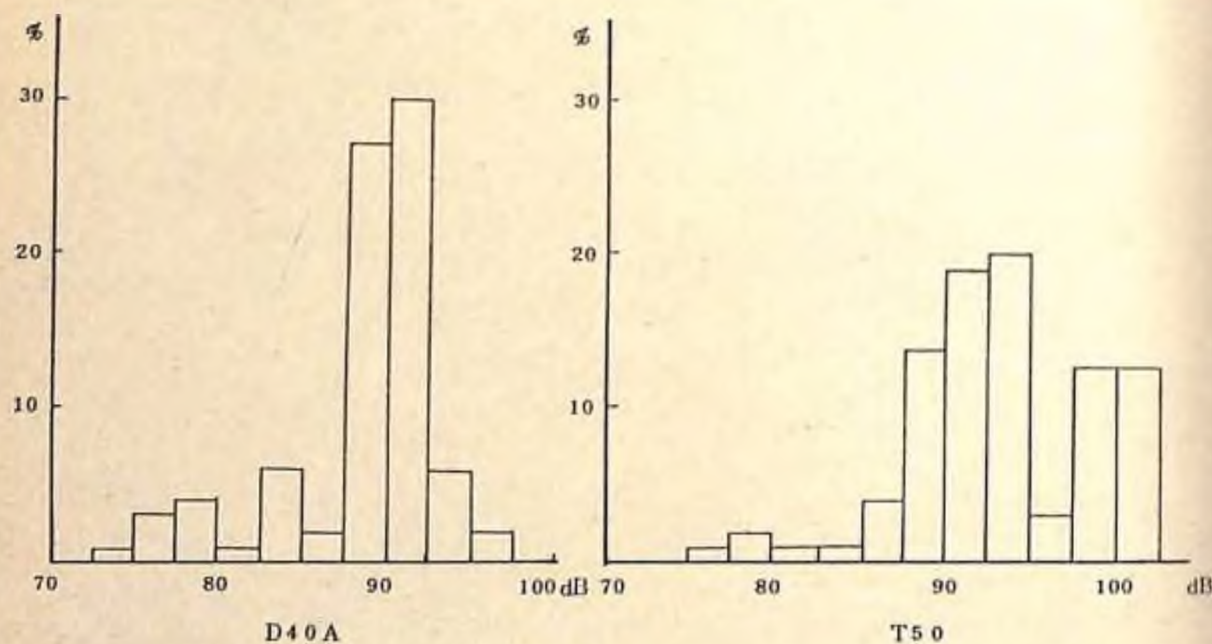


図-5 全作業時間(1集材サイクル)に対するレベル別暴露時分布(LinA特性)

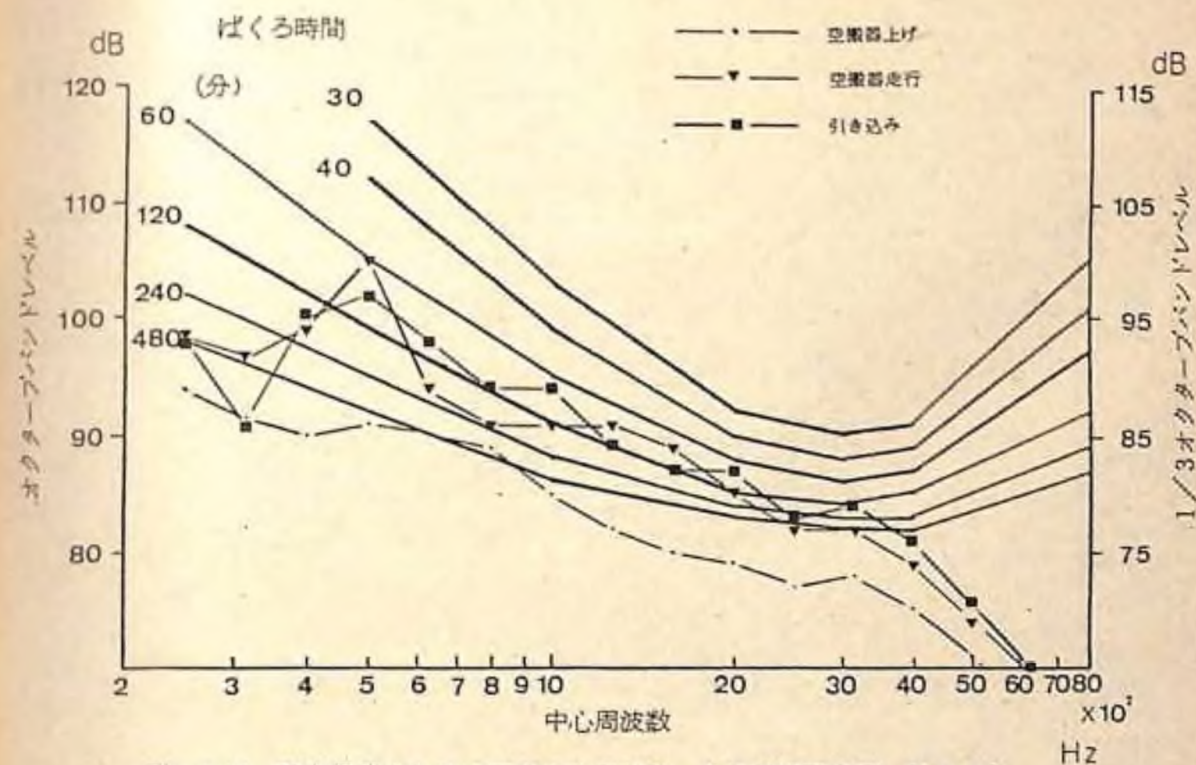


図-6(1) 聴力保護のための騒音の許容基準 (集材機騒音例 Y43)

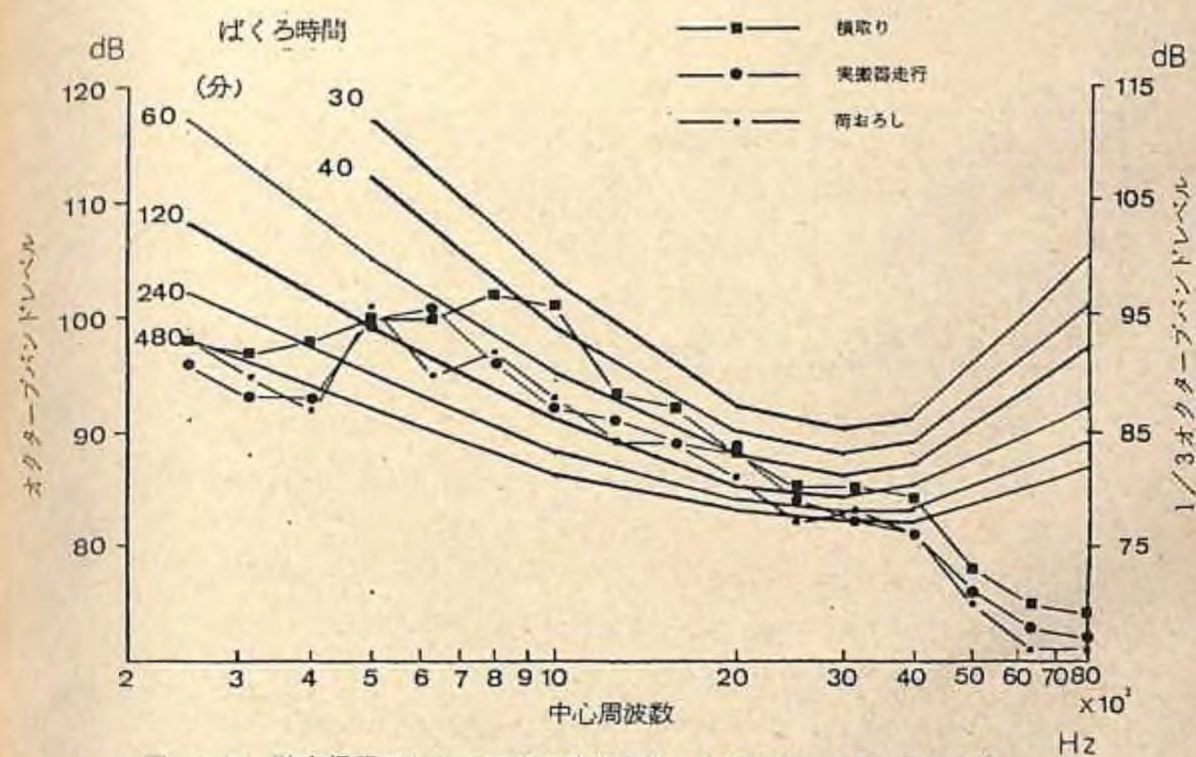


図-6(2) 聴力保護のための騒音の許容基準 (集材機騒音例 Y43)



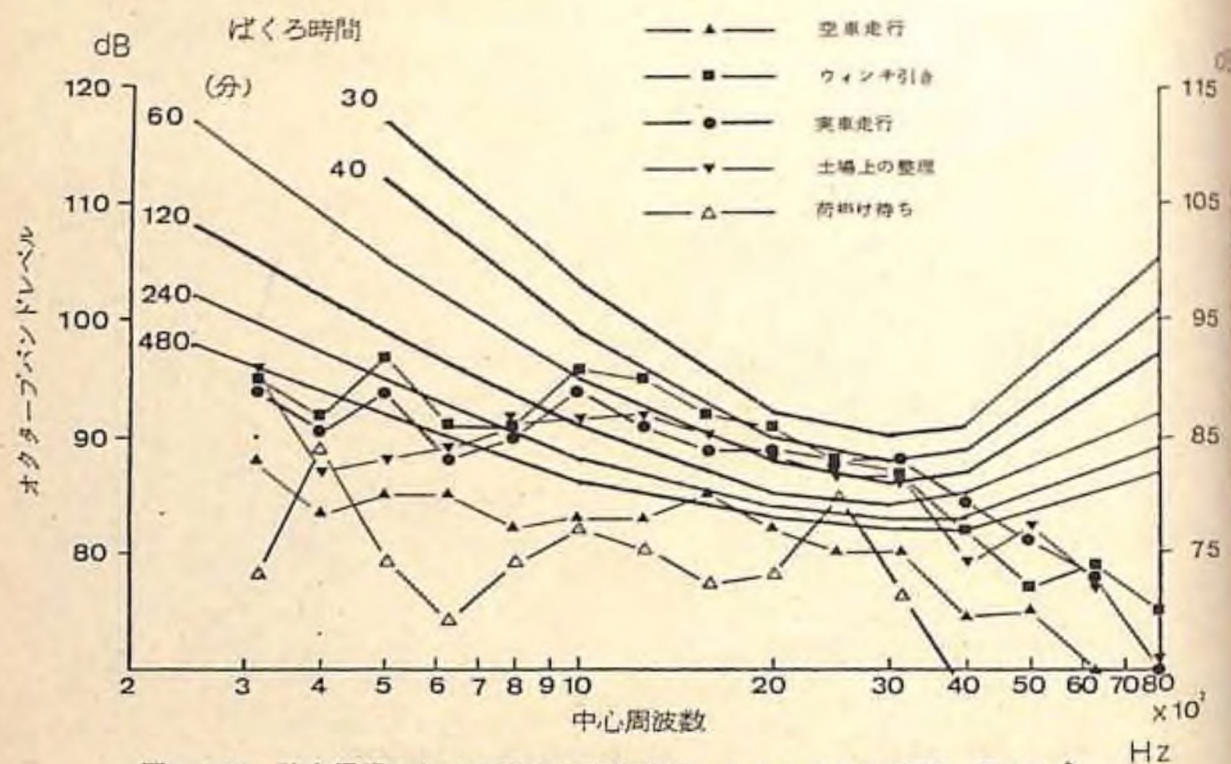


図-6(3) 聴力保護のための騒音の許容基準 (トラクタ騒音例 T50)

機 種	場 所	平均集材距離	路面状態	平均1集材 サイクル時間	平均傾斜
T50	福島営林署	350m	悪 泥沼、石、枝葉	19分15秒	7°
T50	"	480m	良 砂	25分02秒	7°
D40A	"	480m	良 砂	25分35秒	7°
D40A	棚倉営林署	360m	良 砂	27分10秒	15°

#### (4) 騒音の評価法

騒音の評価法には色々な立場からの評価法がある。適用目的を4分類すると、

##### ① 聴力保護のための騒音

- 日本産業衛生学会の勧告
- ISO1999 (聴力保護のための作業間露聴の評価)
- NR数 (騒音評価指数)
- OSHA (米国, 1969, 職業安全保護法による評価)

##### ② 音声了解度の判定のための騒音評価

- AI (明瞭度指数)
- SIL (会話妨害レベル)
- PSIL ( " " )

##### ③ 室内環境保全のための騒音評価

- NC (室内の騒音評価曲線)
- NCA (騒音基準交代曲線)

##### ④ 地域環境騒音の評価

- Lr (ISO R1966 社会的反応の騒音評価)
- WECPNL (航空機騒音の評価)

以上であるが、この基準の中で林業機械に適応できるのは、①日本産業衛生学会の勧告と②ISO 1999と考え、この2基準で調査騒音の評価を試みる。

#### (5) 調査騒音の評価

##### ① 日本産業衛生学会の勧告による評価

激しい騒音下で作業する人にとって、聴力障害の問題は重要である。この場合、永久聴力損失をどこまで許容するかが問題となる。この勧告はその限界を日常会話の聴取にほとんど支障をきたさない程度に置いている。これは、ここに勧告する基準以下であれば、1日8時間以内の騒音暴露が日常的に10年以上続いた場合でも永久聴力損失を1kHz以下の周波数領域で10dB以下、2kHzの周波数で15dB以下、3kHz以上の周波数領域では20dB以下に納めることを意味している。

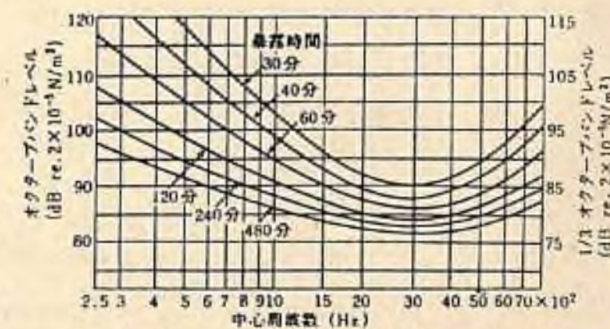


図-7 聴力保護のための騒音の許容基準



表-6 聴力保護のための騒音の許容基準

中心周波数	許容オクターブバンドレベル dB					
Hz	480分	240分	120分	60分	40分	30分
250	98	102	108	117	120	120
500	92	95	99	105	112	117
1000	86	88	91	95	99	103
2000	83	84	85	88	90	92
3000	82	83	84	86	88	90
4000	82	83	85	87	89	91
8000	87	89	92	97	101	105

許容基準は図-7, 表-6に示したところである。騒音のレベルは振動と異なり要素作業ごとには変化した。要素作業内では変動が少なかった。よって、要素作業内では定常的な音圧レベルが続いていると考え、各工程ごとの暴露時間計で検討してみた。

#### 集材機

集材機は主な工程として、「空搬器走行」、「荷掛け待ち」、「横取り」、「実搬器走行」の4工程を検討した(図-8(1))。値は各集材機の騒音の中央値の平均とその95%信頼限界を示している。表-4の1日の騒音暴露時間と比較してみると、1 kHzで「空搬器走行」、「横取り」、2 kHzで「空搬器走行」、「横取り」、「実搬器走行」が許容基準以上にあることになる。耳栓の使用、「空搬器走行」時での無駄なエンジンのふかしを減らし、「横取り」時では長い横取り距離をなるべく減らし、材つり上げ時での支障物を少なくし、集材しやすい立木伐倒方向を考える作業等の改善が望まれる。

#### トラクタ

集材機と同様の検討をした。トラクタの場合はおおむね許容基準をパスしているが、95%信頼限界の上限値で越えているものもみられた。集材機同様、1 kHz, 2 kHzでの改善が望まれる。(図-8(2))

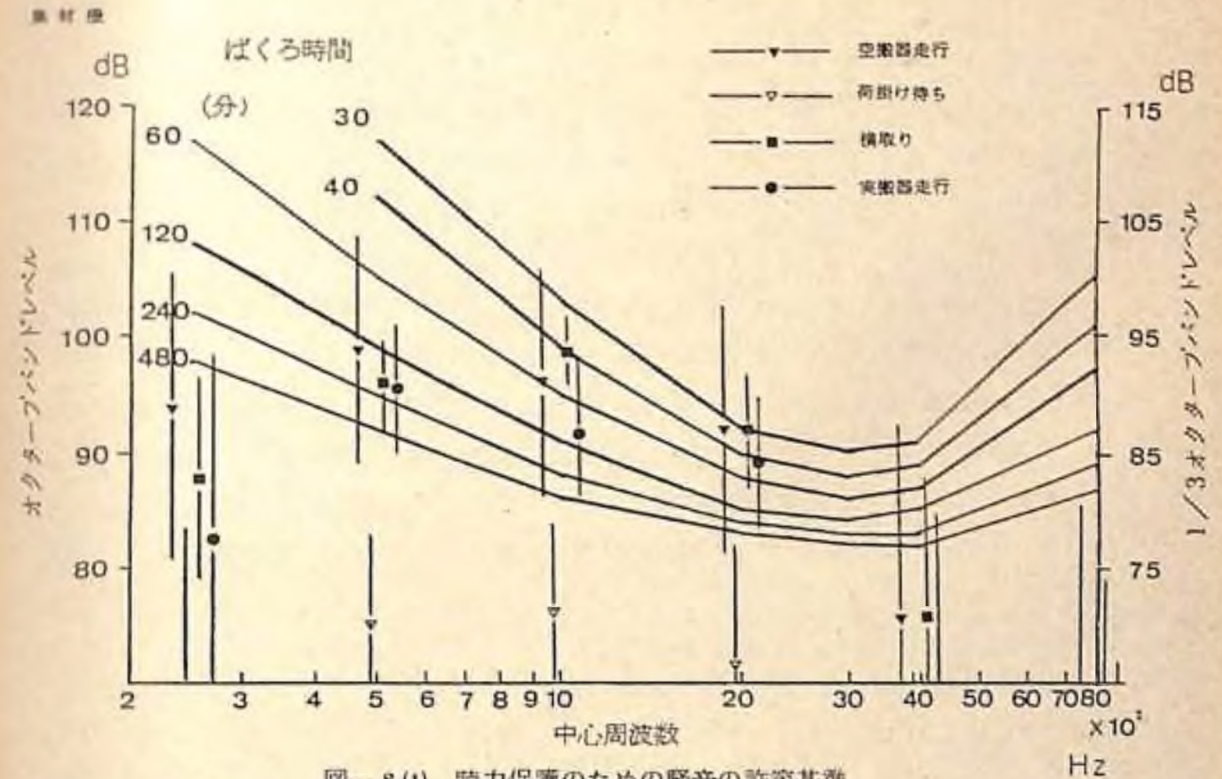


図-8(1) 聴力保護のための騒音の許容基準

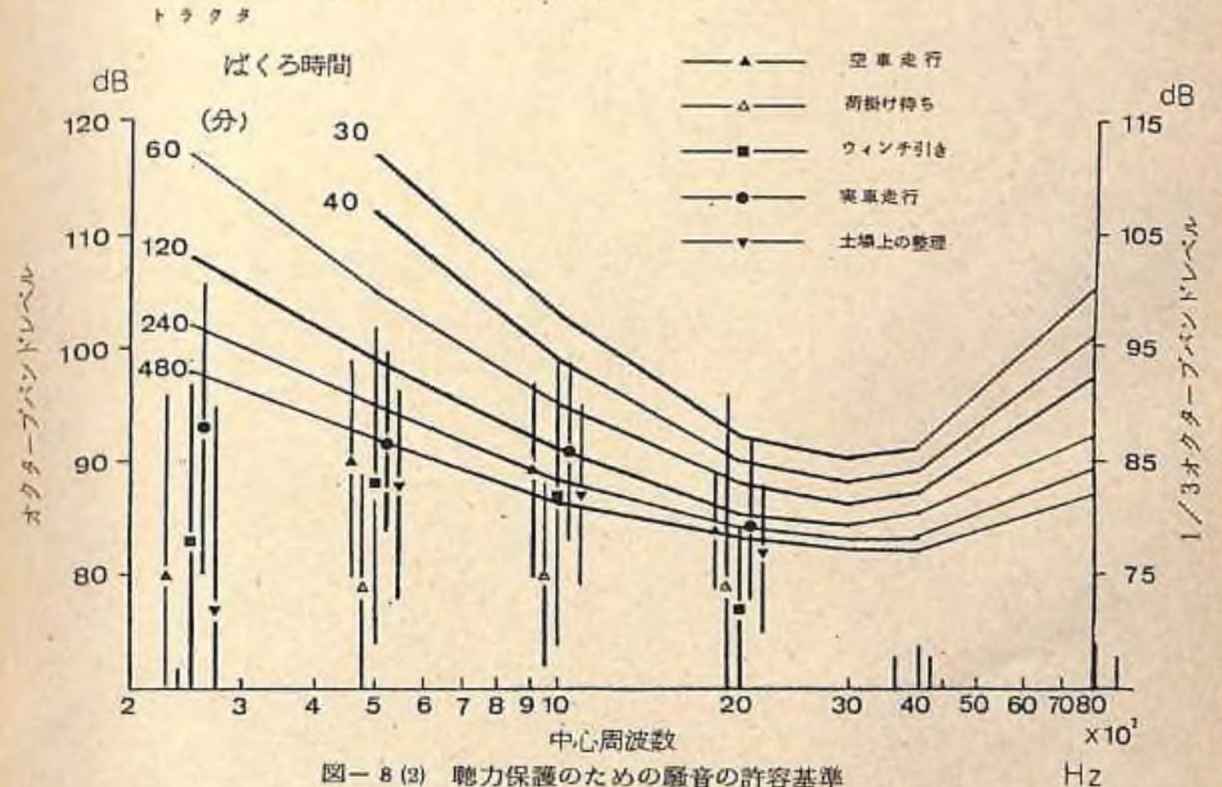


図-8(2) 聴力保護のための騒音の許容基準



② ISO 1999 (1971年)による評価

この勧告では、1週間40時間連続的に騒音暴露される場合を基本とし、500 1000 2000Hzの聴力損失の平均が25 dB 以上の場合を“聴力障害”と定義し、騒音暴露群における“聴力障害者”の出現百分率と、非騒音暴露におけるそれとの差を危険率と名づけ、この値が10～20% (40年で)程度にとどまるレベルとして、85～90dB(A)という値を提案している。結論は産業衛生学会のそれと大差はないが、ISOでは断続暴露の影響を等音響エネルギー法則に基づいて考えている。

この規格の適用方法を示すと以下のようになる。①騒音測定 (騒音レベル、騒音のレベル別持続時間) → ②レベル別騒音暴露指数の算出 (表-7 参照) → ③合成騒音暴露指数の計算 (レベル別騒音暴露指数の合算) → ④等価騒音レベルの算出 (表-8 参照) → ⑤暴露年数の設定 → ⑥聴力障害発生の危険率推定 (表-9 参照)

表-7 部分騒音露聴指数表

1週間の 持続時間		部 分 騒 音 露 聴 指 数								
		騒音レベルdB(A) (組分けの中点)								
時間	min	80	65	90	95	100	105	110	115	120
	10					5	15	40	130	415
	12					5	15	50	160	500
	14					5	20	60	185	585
	1					5	20	65	210	665
	18					10	25	75	235	750
	20					10	25	85	255	835
	25				5	10	35	105	330	1040
	30				5	15	40	125	395	1250
	40				5	15	55	165	525	1670
	50				5	20	70	210	660	2080
	60			5	10	25	80	250	790	2500
	70			5	10	30	90	290	920	2920
	80			5	10	35	105	330	1050	3380
	90			5	10	40	120	375	1190	3750
	100			5	15	40	130	415	1320	4170
	2			5	15	50	160	500	1580	5000
	25			5	20	65	200	625	1980	2500
	3			10	25	75	235	750	2370	500
	35		5	10	30	90	275	875	2770	750
	4		5	10	30	100	315	1000	3160	10000
	5		5	15	40	125	395	1250	3950	12500
	6		5	15	45	150	475	1500	4740	15000
	7		5	20	55	175	555	1750	5530	17500
	8		5	20	65	200	630	2000	2320	20000
	9		5	25	70	225	710	2250	7110	22500
	10	5	10	25	80	250	790	2500	7910	25000
	12	5	10	30	95	300	950	3000	3490	30000
	14	5	10	35	110	350	1110	3500	11100	
	16	5	15	40	125	400	1260	4000	12600	
	18	5	15	45	140	450	1420	4500	14200	
	20	5	15	50	160	500	1580	5000	15800	
	25	5	20	65	200	625	1980	6250	19800	
	30	10	25	75	235	750	2370	7500	23700	
	35	10	30	90	275	875	2770	8750	27700	
	44	10	30	100	315	1000	3160	10000	31600	



表-8 合成騒音露聴指数と等価連続騒音

等価連続騒音レベル $L_{eq}$ (dB(A))	10	15	20	25	30	40	50	60
合成騒音露聴指数	80	82	83	84	85	86	87	88
等価連続騒音レベル $L_{eq}$ (dB(A))	800	1,000	1,250	1,600	2,000	2,500	3,100	
合成騒音露聴指数	99	100	101	102	103	104	105	

表-9 危険率表

等価連続 騒音レベル dB(A)	危険率 [%] 聴力障害の総計 [%]	パーセンテージ									
		露聴年 (露聴年数=年令-18年)									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
≤80	(a) 危険率 [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50
85	(a) 危険率 [%]	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	3	6	10	13	17	22	30	43	57
90	(a) 危険率 [%]	0	4	10	13	16	16	18	20	21	15
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	6	13	19	23	26	32	41	54	65
95	(a) 危険率 [%]	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	9	20	29	35	39	45	53	62	73
100	(a) 危険率 [%]	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	14	32	42	49	53	58	65	74	83
105	(a) 危険率 [%]	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	20	45	58	65	70	76	82	87	91
110	(a) 危険率 [%]	0	26	55	71	78	78	77	72	62	46
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	28	58	76	85	88	91	93	95	95
115	(a) 危険率 [%]	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47
	(b) 聴力障害の総計 [%]	1	38	74	88	94	94	95	96	97	97

表中の暴露年数は1週間の作業時間を40時間、1年を50週として考えている。

調査騒音は集材機とトラクタとのグループに分け、それぞれのデータの工程別中央値、各グループ内で平均して、この平均値と95%信頼限界上限値とで分析を進めていくことにする。

なお、表-9の内、露聴年数の参考のために1のチェックリスト調査で出された運転手の運転年数、年令の分布表を表-10に掲げた。

表-10 林業機械運転手の年令、運転経験年数の分布

類別	階級	機種		合計
		集材機	トラクタ	
年令 (才)	25-		1.9	0.9
	30-		3.8	1.9
	35-	5.5	11.5	8.4
	40-	18.1	26.8	22.4
	45-	32.6	32.7	32.7
	50-	30.8	15.4	23.4
	55-	12.7	7.7	10.3
	平均 (標準偏差)	48.7 (5.1)	45.4 (6.4)	47.3 (6.2)
運転経験年数 (年)	0-	2.0	7.0	4.3
	5-	10.0	14.0	11.8
	10-	18.0	14.0	16.1
	15-	32.0	44.2	37.6
	20-	26.0	9.3	18.3
	25-	12.0	9.3	10.8
	30-		2.3	1.1
	平均 (標準偏差)	17.8 (6.2)	16.1 (7.0)	17.0 (6.6)

表-10より騒音暴露年数は最大30年位になると考えてよい。また、表-9は1週間の作業時間を40時間とみているが、騒音暴露から考えた時間は33時間とみてよいと思われるので(6時間×5.5日=33時間)、30年は、 $30 \times \frac{33}{40} \div 25$ 年とみなしてよいと思われる。よって、表-9と表-11より普通の運転(騒音平均値)の場合は、危険率29%、騒音が激しい場合の運転で危険率43%となる。

集材機と同様に、暴露年数25年で、表-9と表-12より普通の運転の場合は危険率16%、騒音が激しい場合の運転では危険率43%となる。



## ① 集材機

表-11 騒音暴露計算手順表

工 程	1週間の平均 継続時間	(A) 平均値	95%(B) 上限値	レベル別騒音暴露指数 (A)	(B)
空気器上げ	77分	95dB	101dB	10	35
空搬器走行	5時間19分	96	104	45	475
引込み	2時間56分	96	101	25	75
荷掛け待ち	9時間32分	80	85	5	10
横取り	3時間40分	98	102	100	100
実搬器走行	6時間14分	95	99	55	175
荷おろし	99分	11	96	5	15
荷はずし待ち	2時間 1分	80	86	—	—
合成騒音暴露指数				245	885
等価騒音レベル				94	99

## ② ト ラ ク タ

表-12 騒音暴露計算手順表

工 程	1週間の平均 継続時間	平均値 (A)	95% 上限値(B)	レベル別騒音暴露指数 (A)	(B)
空車走行	9時間16分	94	101	80	250
荷掛け待ち	5時間58分	84	90	5	45
ウィンチ引き	2時間18分	91	106	5	200
実車走行	7時間37分	96	102	65	200
荷はづし待ち	3時間57分	79	87	—	5
盤台整理	4時間19分	8	100	15	125
合成騒音暴露指数				170	825
等価騒音レベル				92	99

## (6) 耳栓の使用状況

ここで耳栓の使用状況を調べてみる。資料は人間工学的チェックリスト調査の時調べたものである。

表-13 耳栓の使用状況

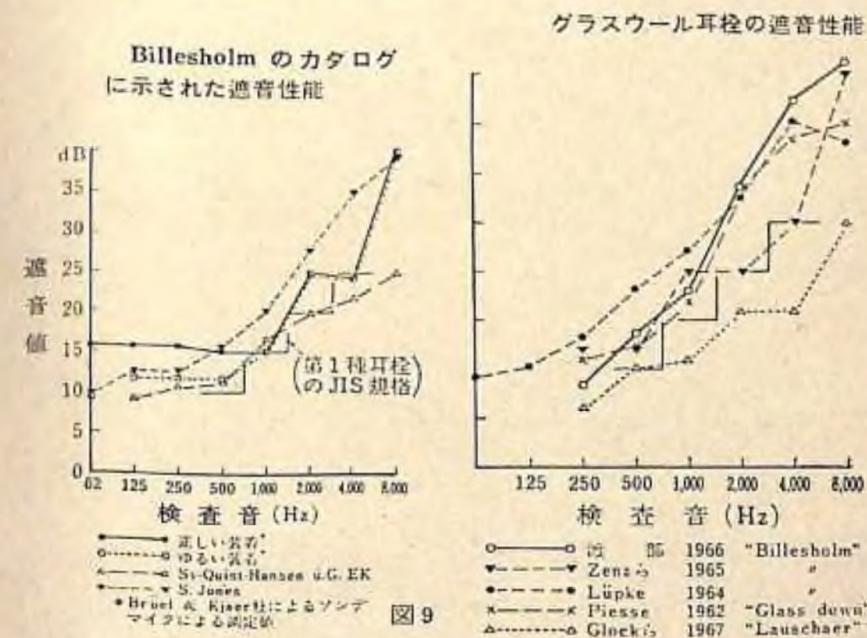
	いつも耳栓 をつける	時々耳栓 をつける	耳栓を つけない	調 査 者
集材機運転手	2名	4名	94名	54名
トラクタ運転手	12名	12名	76名	43名

耳栓使用者が非常に少ない。耳栓を使用すると信号音が聞こえないとかの意見もあるが、労働科学研究所の調査ではそれ程でもないとの結論がでている。参考までに、耳栓のJIS規格(表-14)と実際の遮音効果性能の一例(図-9)を示す。

表-14 防音用耳せん性能(JIS B9904-1958)

周 波 数 (Hz)	しゃ音値(dB)	
	1 種	2 種
500	10以上	10未満
1000	15 "	—
2000	20 "	20以上
4000	25 "	25 "

備考：2種1000Hzのしゃ音値15dB以下にするのが望ましい。





これらの資料から検討すると、集材機、トラクタで問題となっている1 kHz, 2 kHzの周波数帯で耳栓はそれぞれ15, 25 dB以上の遮音効果があるので、耳栓の使用でこれらの周波数帯でも問題がなくなり、耳栓の使用は騒音対策の一手段となることがわかる。

#### 4. あとがき

振動、騒音について残された問題点をあげると、

- ① 現場での振動、騒音がいわゆる間欠振動、騒音であるため、その暴露時間の正確な推定を含め、その評価方法を確立すること。
- ② 林業機械運転中の騒音、振動が作業者に与える生理的負担の解明をはかること。
- ③ トラクタ振動と地表状態との関連を把握すること。
- ④ 低周波域の振動（揺れという超低周波域も含めて）の解明をはかること。
- ⑤ 騒音対策として、機械内に防音材をはること、耳栓の使用等があげられるが、その効果とより使いやすいものを追求していくことがあげられる。

## 林道法面工法の評価検討



## 林道法面工法の評価検討

### I 試験担当者

林道研究室 井上 源基 福田 章史  
市原 恒一  
機械科長 福田 光正

### II 試験の経過と得られた成果

#### 1. はじめに

林道は、林業の合理的経営や森林の集約的管理にとって基幹となるものであり、木材等林産物の搬出のみならず、森林の有する多面的機能を充足するためには、適正な林道開設計画による基盤の整備促進が必要である。

林道の開設行為は、機能性を確保しうる最小限の範囲内における投資しか認められず、一方、建設の場としての地形或いは自然条件が大きな問題となっている。

ある限度内での林道開設単価に対して、機能性を確保し、しかも自然植生・景観の破壊や流出土砂等の林地破壊を無くすることは林業従事者にとって関心事であり、これらに対する、より有効な対策工法の定着化が望まれている。

林道建設に伴うこれらの問題解決は、短期的な対応策ではなく林道網計画を包含した森林全体にわたる展望からのアプローチと共に、地道な長期的・時系列的な調査検討が早道であると考えられる。

本報告は、林道建設に係る問題の1つとして、林道法面を取り上げ、その工法の選択に関する基礎資料を得るために主として、定量的な実態調査を行い、成果をとりまとめたものである。

なお、課題設定の背景には、盛土における法面勾配の緩急が、切取土量の増大および路側構造物の設置等につながり、ひいては林道の開設単価に大きくはねかえってくるため、これら林地保全的配慮からの法面緩勾配化に対する技術的な評価検討の要請があったと聞いているが、この課題を受けるに当って、敢えて切取法面を対象とした。それは、切取りにおける法面勾配の場合、地山の土質および地質構造等をもとに、経験的な値を参考にして標準土工定規を定めており、自然あるがままの地山との関連の度合が盛土法面より顕著で、従来の定性的な要因分析にとどまらず、定量的な関係の検討をそこに見出そうと、かねてより着目していたためである。



## 2 研究の目的

林道法面の崩落は、発生機構の違いにより局所的な表層土の侵食による崩れと法面全面の崩部に及ぶ大規模な崩壊に分けられる。一般に前者は年月と共に、法面が空気や水、温度変化等の気象の影響により漸次侵食し崩落するのに対し、後者は集中豪雨や土木的欠損等による土砂移動に原因することが多い。しかし、これらの誘因も法面を取りまく周辺の環境や地質・地質、或いは法面の切取り施工法等により崩壊発生率や崩落パターンは異なってくる事が予想される。本報告では、特に前者に相当する切取法面の崩壊について検討したものである。

前者の局所的な土砂崩落や法面の表層侵食による崩れの発生機構は、一般に、風水や寒暖等の気象変化により法面表層土が侵食・風化を受け徐々に崩れ、侵食がすすむにつれ流水の集中箇所は雨裂を生じ、ガリ侵食へと発展していくことが多い。これらの崩落は、林道路面上に堆積し、或いは側溝を埋めて、林道の交通機能を麻痺させ、排水を悪くする原因となる。また、この徐々に起る崩壊も、地質や気象或いは法面上部の状況等によりさらに深層風化へと発展し、ひいては大規模な崩壊を起こす誘因ともなる。

これらの崩壊に対しては、地形的な制約の中で安定化させる切取勾配や法高を見い出すことが必要となる。しかし、我が国のような急峻山岳地においては、全てにわたって、この方法を適用することは不可能に近い。従って、急な切取り面或いは高い法高を余儀無くされる箇所に対しては、どうしても人工的緑化基礎工の併用が必要となる。人為的に植物の生育に適した生育基盤を整備するための工法には、現在、ネット張工（全網、合成繊維網）、法枠工（コンクリート、コンクリートブロック、プラスチック、山形鋼、丸太）、編柵工、土留工（蛇籠、丸太積、そだ積、コンクリート板）等の種類がみられる。また、法面の安定上やむをえないときはコンクリートやコンクリートブロックの壁で固めたり、法面を金網で覆い全面にモルタルを吹付けたりする場合もある。しかし、これらの工法は、得てしてその使用に一定性がなく、不要な箇所に設けたり、或いは適切でない工法が使われたりして、その適用に不備な点が多い。これらの工法を適材適所に整備し、法面の安定化を促すためには、工法の特性もさることながら、まず植物を法面に導入することの可能な限界について究明する必要がある。

本報告は、この様な観点から、林道の交通障害、或いは環境破壊に影響を及ぼす法面崩壊の問題を取り上げ、法面を安定化させるための工法について技術的な評価検討を加え、工法適用箇所の条件や施工上の問題点を明らかにして工法選択の基礎資料を得ようとするものである。

## 3 調査及び調査地概要

林道の切取法面の崩壊に影響を及ぼす因子は、一般に降水や気温等の気象条件や土質のような直接的因子と切取法面を構成する土工因子及び法面を取りまく周辺環境のような間接的因子

があり、これらの因子により、崩壊が発生することになる。一般に切取法面を構成する因子としては、法高、法長、法勾配、林道路線面での幾何構造因子（縦断勾配、幅員、曲線半径）、側溝の有無等があり、他方、法面を取りまく環境因子としては、周辺地形や地況、周辺の林相、法面の方位、法面の位置等が考えられる。しかし、これらの因子は崩壊に対して個々単体として影響を与えるものでなく、相互に複雑に組合され、さまざまな崩落を誘発することになる。そこで、崩壊現象を明らかにするためにはこれらの因子をなるべく一定にし、誘発原因を検討する事が必要と思われる。

本調査ではこの様な考えから従来からの法面崩壊の原因究明に関する幾多の報告から、最も崩壊に関係する地質因子を一定にし検討を行った。

本調査では、特に比較的均一な土質で我が国に広範に分布し、しかも崩落し易いマサ土を既設の林道に選り調査対象とした。

調査に当っては、従来からの定性的な調査に加え、特に定量的な調査に重点をおき、法高毎の侵食量、法高毎の表層土の含水率及び表層土の硬度を詳細に調査し、法面の崩落形状パターンについて検討するとともに、崩落形状パターンの違いによる個々の法面の要因をもとに数量化による判別解析を実行した。

表一は、本調査概要の野帳を示したものである。崩落の侵食量は写真一に示すような簡易



写真1 地形凹凸測定機による  
林道法面の形状把握



写真2 林道法面の調査状況



表 1 調 査 因 子

No.	調査地	フィルムNo.	調査年月日
林道名			
調査地の形状			

のり面方位	北 東 南 西 ( 度 )
緑 化 工	有 無 ( 状 況 )
のり面方向	上 流 側, 下 流 側, 平 行
地 層	走 向 傾 斜
節 理	走 向 傾 斜
地山の植生	裸 地, 草 地, 雑 草, 針 広
地 形	凹 凸 平 直 片 下 り
湧 化 ( 平 時 )	乾 湿 湧
( 降 雨 時 )	湿 湧 流
縦 断 勾 配	順 度 逆 度
曲 率 半 径	m
側溝の有無	無 有
補修の有無	無 有

利 用 度	m <sup>3</sup>
標 高	
位 置	
起点からの位置	
経 路 年 数	
そ の 他	

傾 斜	法 面 形 状	土 壌 硬 度 ( 山 中 式 )
高 さ	読 み 高 さ 読 み	位 置 1 2 3 平 均
( 法 定 )	360	
20	380	
40	400	
60	420	
80	440	土 壌 硬 度 ( シ ュ ミ ャ ャ ャ )
100	460	
120	480	
140	500	
160	520	
180	540	
200	560	
220	580	含 水 率
240	600	
260	620	
280	640	
300	660	
320	680	
340	700	



表 - 2 調

査 結 果 表

TABLE: NORIMEN NO HOORAKU

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1 :	5.8	7.2	51.17	5	4.3	50	235	14	1	3	498
2 :	8.6	11.1	50.51	0	5.9	200	130	10	1	3	502
3 :	8.2	10.8	49.31	-9.9	4.6	200	180	17	3	3	548
4 :	7.8	8.8	62.51	5	4.9	60	305	12	3	3	645
5 :	2.5	3	60.15	9	5.9	20	270	27	1	2	688
6 :	3.4	3.8	62.46	5	5.4	30	180	9	3	3	649
7 :	3	3.8	51.2	12	5.7	30	150	15	1	3	648
8 :	3.8	4.4	61.04	6	6	20	170	17	3	3	682
9 :	7	7.7	63.26	10	6.4	15	32	28	3	1	355
10 :	6.5	7.6	61.42	7	6.4	20	80	27	3	1	340
11 :	6	6.6	61.56	6	5.9	15	290	22	3	1	350
12 :	5	5.8	63.26	6	4.2	15	300	28	3	1	355
13 :	2.8	4.6	54.36	2.5	4.7	200	250	-11	3	3	360
14 :	6.3	8.7	47.37	3	4.4	200	269	10	3	3	555
15 :	4.8	5.8	53.37	6	5.8	200	220	24	3	3	580
16 :	8.2	13.9	63.26	9	4.7	12	8	-20	1	2	380
17 :	4.5	5.3	60.51	3	4.3	20	310	20	2	2	695
18 :	3.5	4.1	62.48	3	4.2	30	5	25	2	2	693
19 :	2.8	3.3	66.16	5	3.7	200	5	28	2	2	691
20 :	3.8	4.2	65.54	5	3.7	200	185	10	3	3	690
21 :	4.9	5.4	66.58	6	4.8	200	40	20	1	2	693
22 :	7.8	8.5	64.03	2.5	5	200	75	8	1	3	692
23 :	5.8	6.7	63.26	2.5	5	200	223	8	3	3	692
24 :	4.4	4.8	66.3	6	4.7	30	328	31	1	1	685
25 :	4.1	4.3	72.24	9	4.6	25	358	38	2	1	680
26 :	5.3	6.5	61.19	0	4.5	20	28	32	2	1	675
27 :	4.4	5.3	55.5	5.5	4.6	30	300	20	2	2	672
28 :	6	6.9	59.45	5	4.6	60	270	10	3	3	670
29 :	4.6	5	66.19	6	4.7	30	315	27	2	1	668
30 :	5.5	6	67.18	7	4.6	20	275	30	2	2	664
31 :	3.7	4.6	54.45	6	4.7	40	160	19	3	3	658
32 :	3.3	4.3	51.03	3	4.7	60	180	12	3	3	656
33 :	4.4	4.8	68.53	6	5	20	355	45	3	1	651
34 :	5.3	6.1	60.16	5	4.4	80	192	15	3	3	645
35 :	3.8	4.3	58.49	6	5.5	20	335	20	2	2	635
36 :	3.5	4.1	60.15	10	5.5	20	320	19	2	2	633
37 :	6.6	7.3	63.26	10	4.8	20	305	23	2	3	630
38 :	5.9	6.9	60.52	10	5.1	20	285	26	2	3	629
39 :	6.3	6.9	65.4	9.5	5.8	15	65	22	1	2	623
40 :	5.7	6.5	66.19	9	4.7	15	350	26	1	1	619
41 :	3.4	3.8	61.48	8	4.7	20	175	14	1	3	612
42 :	5.9	6.3	66.52	7	6.2	15	30	16	1	3	610
43 :	4.7	4.9	72.51	5	4.4	20	47	26	1	1	595
44 :	5.5	6.1	62.56	6	5.5	20	325	25	1	2	593
45 :	5.9	6.8	64.37	9	5.8	15	315	28	1	1	581
46 :	4	4.3	69.27	5	4.8	15	335	38	1	2	580
47 :	4.7	5	71.12	7	4.7	15	300	34	1	2	579
48 :	6.6	6.9	73.08	8	4.1	20	0	40	1	1	570

M	N	HO-DO	TAI-DO	
2	2	0.668	0.148	勿来背林署
1	2	1.569	0.298	
1	2	2.134	0	
1	4	1.366	0.253	平
1	4	0.506	0.154	
1	4	0.362	0.087	
1	4	0.393	0.214	
1	4	0.674	0.02	
1	9	5.126	0.466	富岡
1	9	4.365	0.051	
1	9	2.072	0.015	
1	9	2.58	0.138	
1	9	0.675	0.188	
2	5	0.851	0.451	浪江
2	5	0.641	0.292	
1	8	1.6348	0.46	
1	6	2.194	0	平〔凡例〕
1	6	1.497	0.169	A : 法高 (m)
1	6	0.797	0.002	B : 法長 (m)
2	6	0.398	0.397	C : 相对切取勾配 (度)
1	6	1.662	0.298	D : 縦断勾配 (%)
1	6	1.796	0.015	E : 幅員 (m)
1	6	1.131	0.324	F : 曲線半径 (m) (200はストレート)
1	6	1.703	0.038	G : 法面方位 (度)
1	6	1.166	0.112	H : 法肩 (地山) 勾配 (度)
1	6	3.775	0.328	I : 法肩状況 (1:雑木 2:植栽 3:林地)
1	6	1.311	0.234	J : 集水地形 (1:凹形 2:平直 3:凸形)
1	6	0.863	0.008	K : 標高 (m)
1	6	1.801	0.066	L : 側溝 (1:無, 2:有)
1	6	1.595	0.277	M : 緑化工 (1:無, 2:有)
1	6	0.565	0.217	N : 施工経年
1	6	0.334	0.236	HO-DO:
1	6	1.847	0.386	TAI-DO:
2	7	1.067	0.094	
1	7	0.973	0.257	
1	7	1.117	0.32	
1	7	2.471	0	
1	7	2.387	0.059	
1	7	2.405	0.399	
1	7	3.582	0.5	
2	7	0.543	0.015	
1	7	1.422	0.296	
1	7	1.124	0.195	
1	7	2.369	0	
2	7	3.881	0.049	
2	7	1.061	0.496	
1	7	1.233	0.67	
1	7	3.012	0.061	



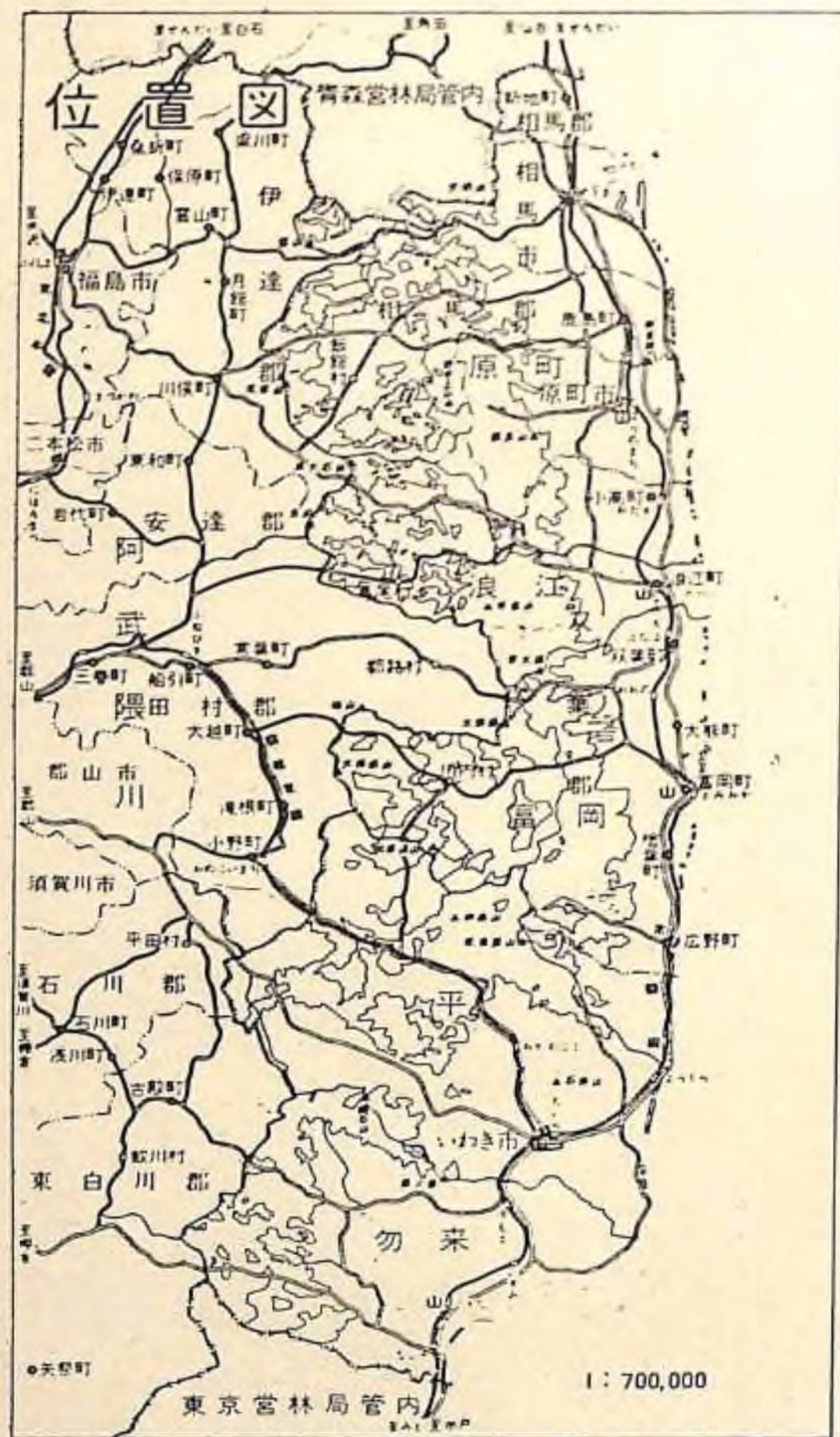


図-1 調査位置図

況集水地形、標高)  
およびその他の要因  
(傾斜の有無、緑化  
工の有無、補修の有  
無、経年)からなり  
各名称は下図の通り  
である。

これらの要因と崩  
落土量及び堆積土量  
との関係を個々に検  
討する。

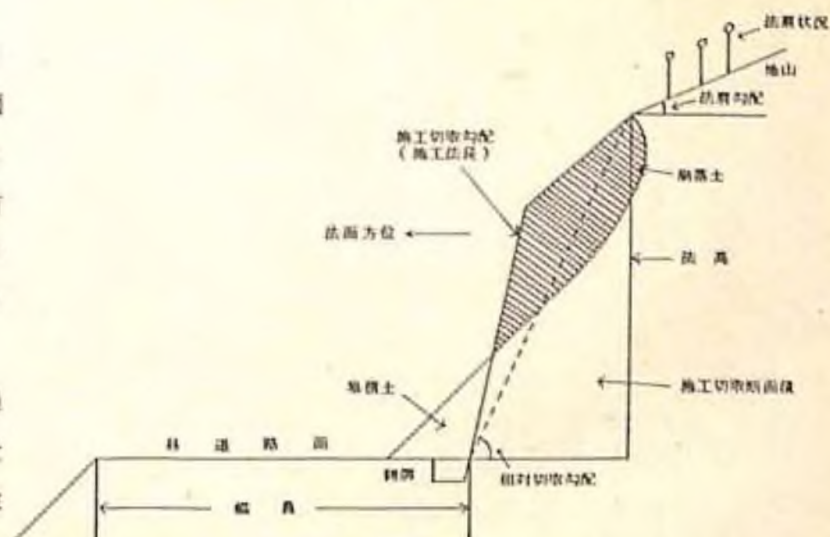


図-2 切取法面の崩壊に関する諸元

#### 1) 法面を構成する要因と崩落土量、堆積土量

林道建設によって切取られた法面は、安定を保ち得ない切取勾配では施工経年がたつに従い下図に示す様な形態をたどり、上部崩壊土は林道路面上に堆積されていくことになる。従って一般には崩落土量は堆積土量と相関の関係になるが、多くの場合適宜林道補修により堆積土は除去される。特に、マサ土等の切取法面ではその頻度は多く、堆積土量の値は不確実なものとなる。図

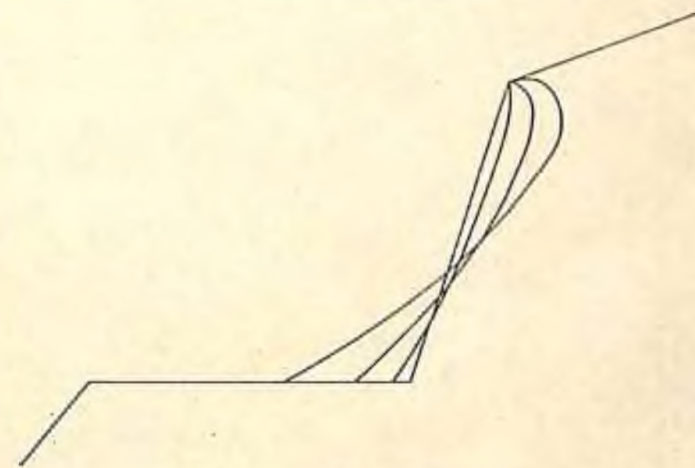


図-3 切取法面の崩壊推移

4は、本調査地について、崩落土量と堆積土量の関係を示したものであるが、その関係はほとんど認められていないことがわかる。そこで、本分析では崩落土量について各要因の関係をみることにした。

図-5、6、7は、法面を構成する法高、法長(施工時切取面の長さ)及び相対切取勾配と崩落土量の関係を示したものである。図及び表-2からも明らかな如く、崩落土量は法高が高い程大きく、法長が長い程増大することがわかる。また、相対切取勾配は、顕著な



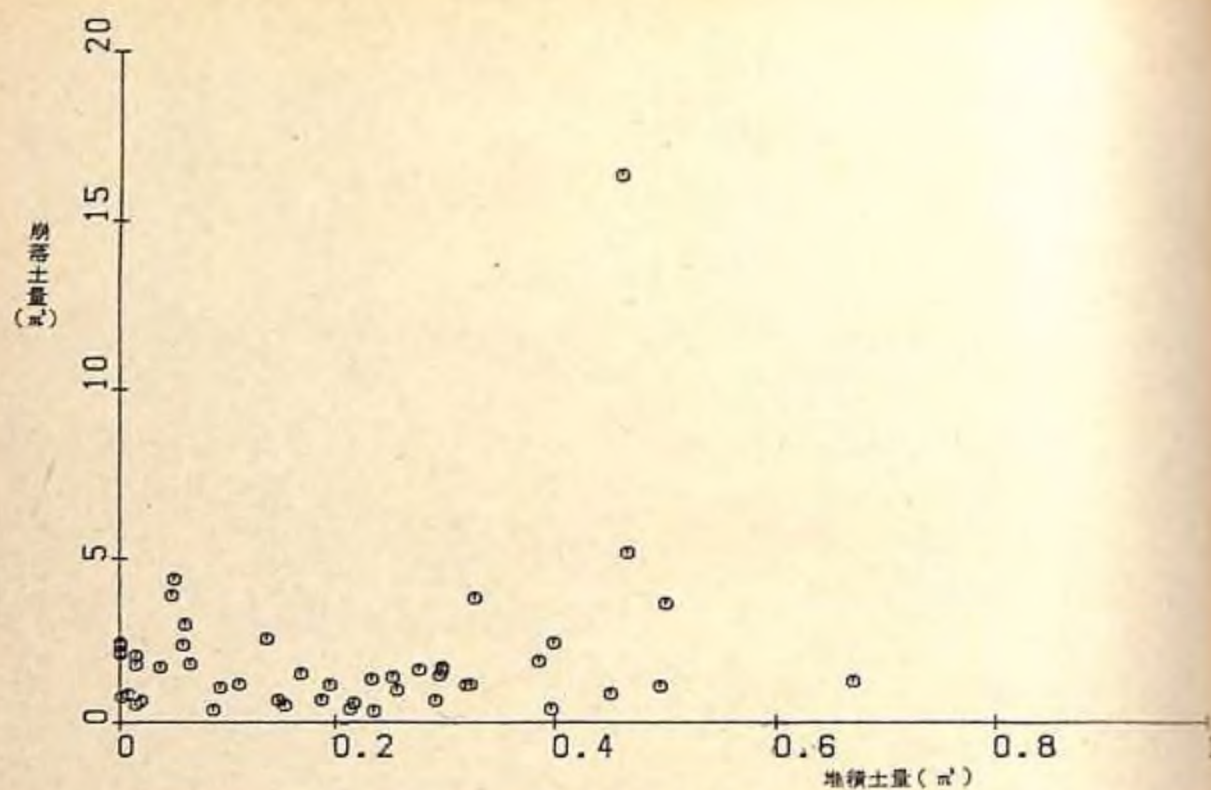


図-4 崩落土量と堆積土量

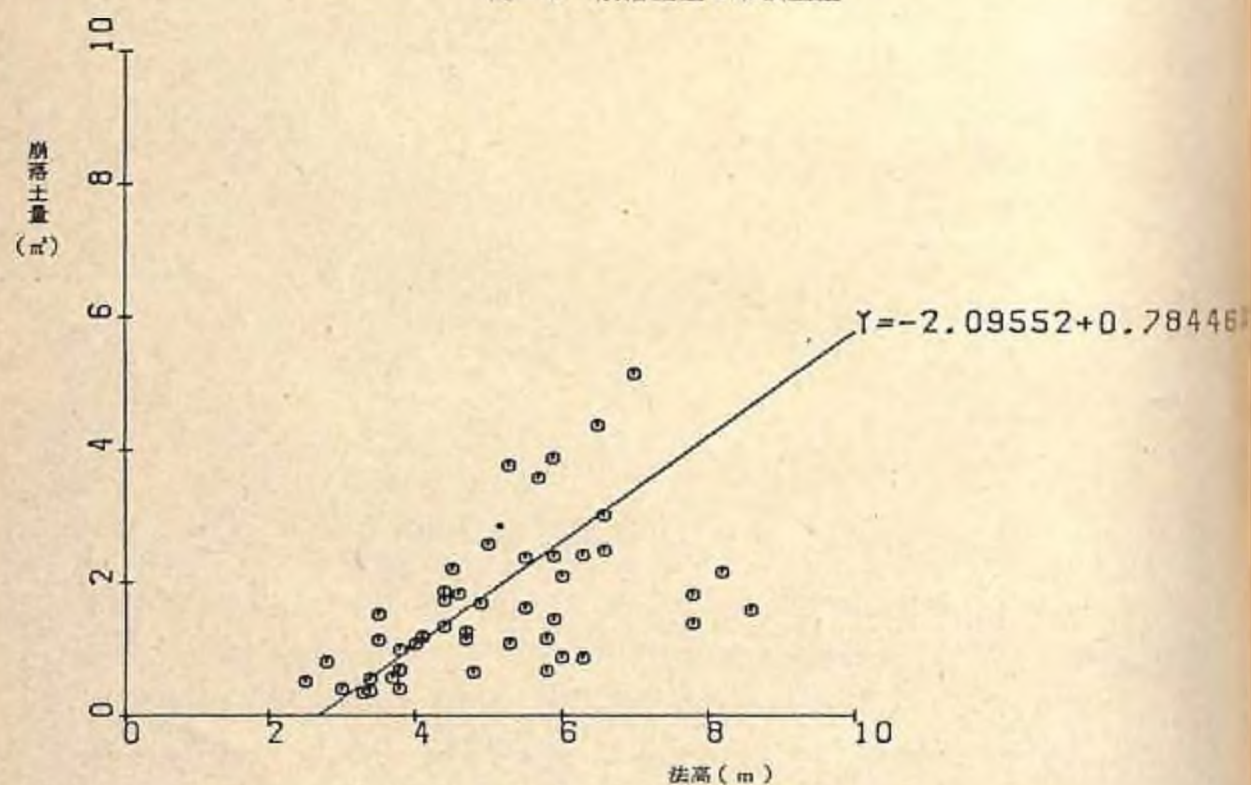


図-5 崩落土量と法高

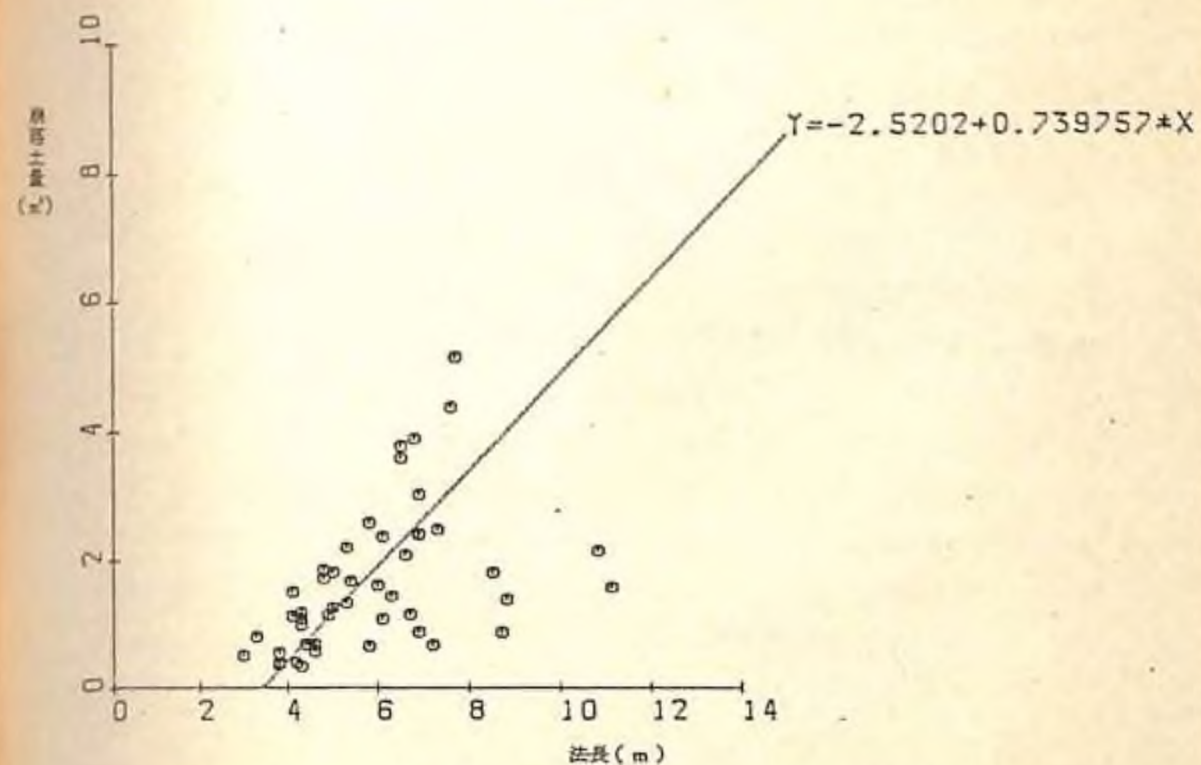


図-6 崩落土量と法長

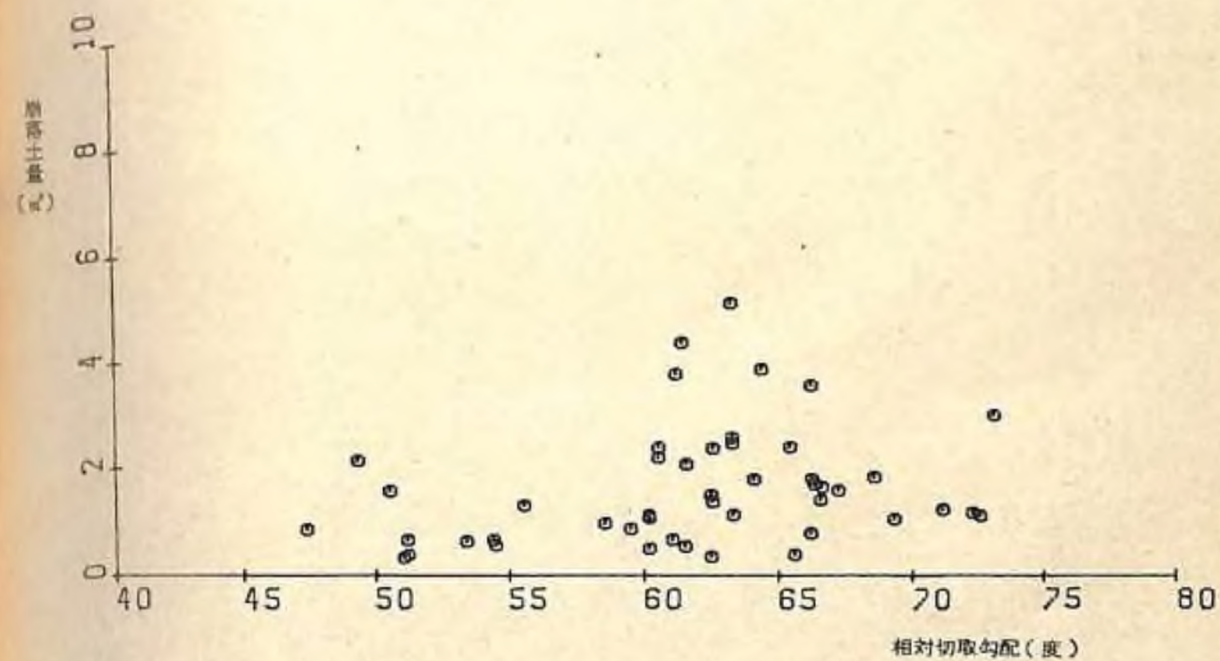


図-7 崩落土量と相对切取勾配



関係は認められていないが、勾配が急になるに従って、崩落土量も増大する傾向が明らかにされた。これらの関係について、それぞれ相関係数を求めると、法高と崩落土量では0.4975、法長と崩落土量では0.6589、相対切取勾配と崩落土量では0.3373であった。相対切取勾配については、図-2から明らかな如く、施工時切取面が2段切り以上になると1段切りに比べ実際の切取角度は緩になり、これらの関係を考慮すると切取勾配と崩落土量の関係はさらに高くなることが予想される。これらについてはさらに後述する。次に林道路線の幾何構造要因と崩落土量の関係についてみると図-8、9、10の通りである。図からも明らかな如く、崩落土量は、林道の縦断勾配および幅員についてはその関係はほとんど認められていない（相関係数はそれぞれ0.2229、0.1197）。しかし、縦断勾配については、勾配が大きくなるに従って切取法面の崩落も増大する傾向が推察できる。さらに曲線半径の違いによる崩落土量の影響についてみると、崩落土量は曲線半径が小さい程大きく、半径が大きくなるに従って小さくなる関係が認められた（直線の場合の半径を200mとした場合、相関係数0.3957）。

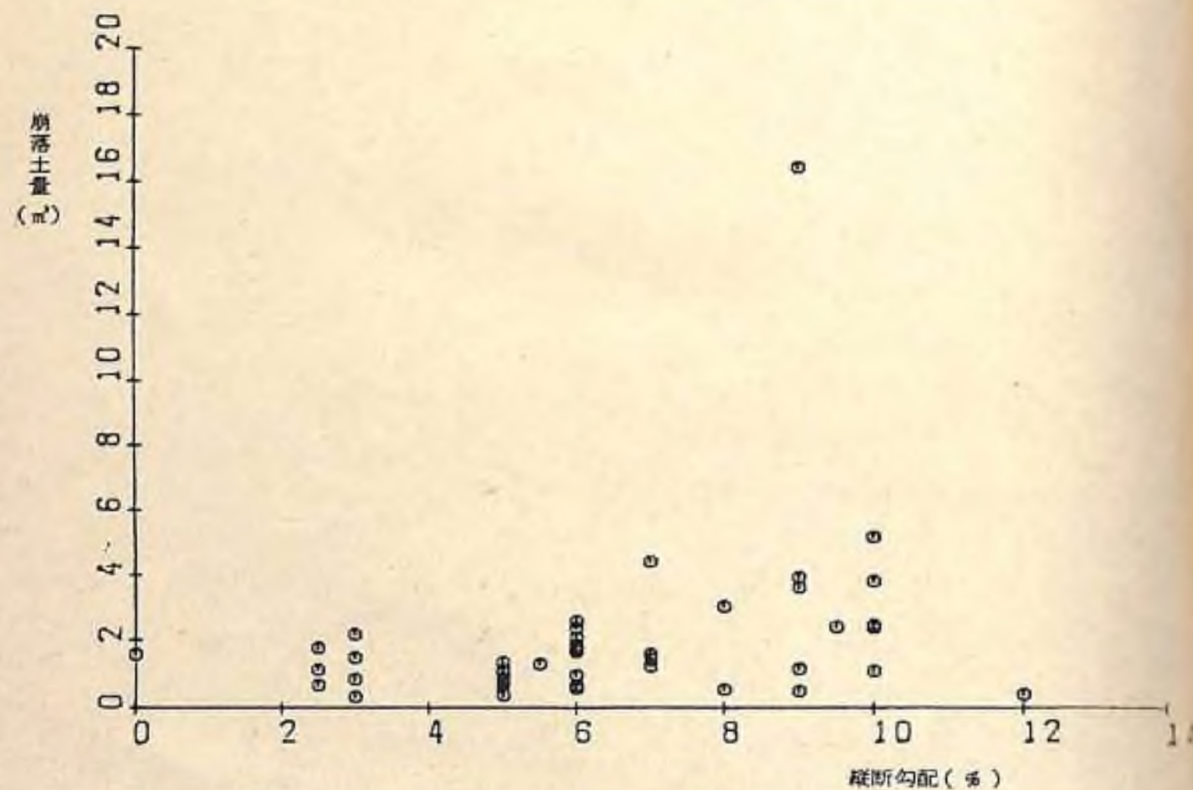


図-8 崩落土量と縦断勾配

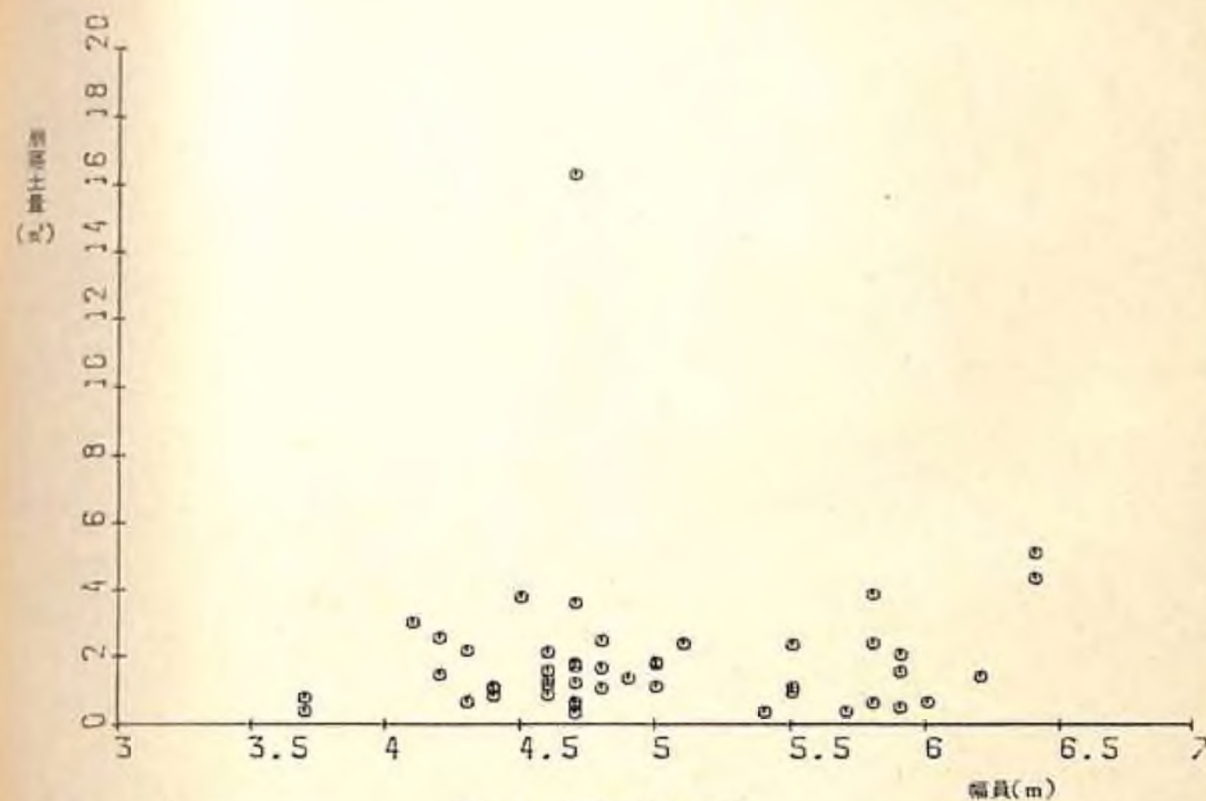


図-9 崩落土量と幅員

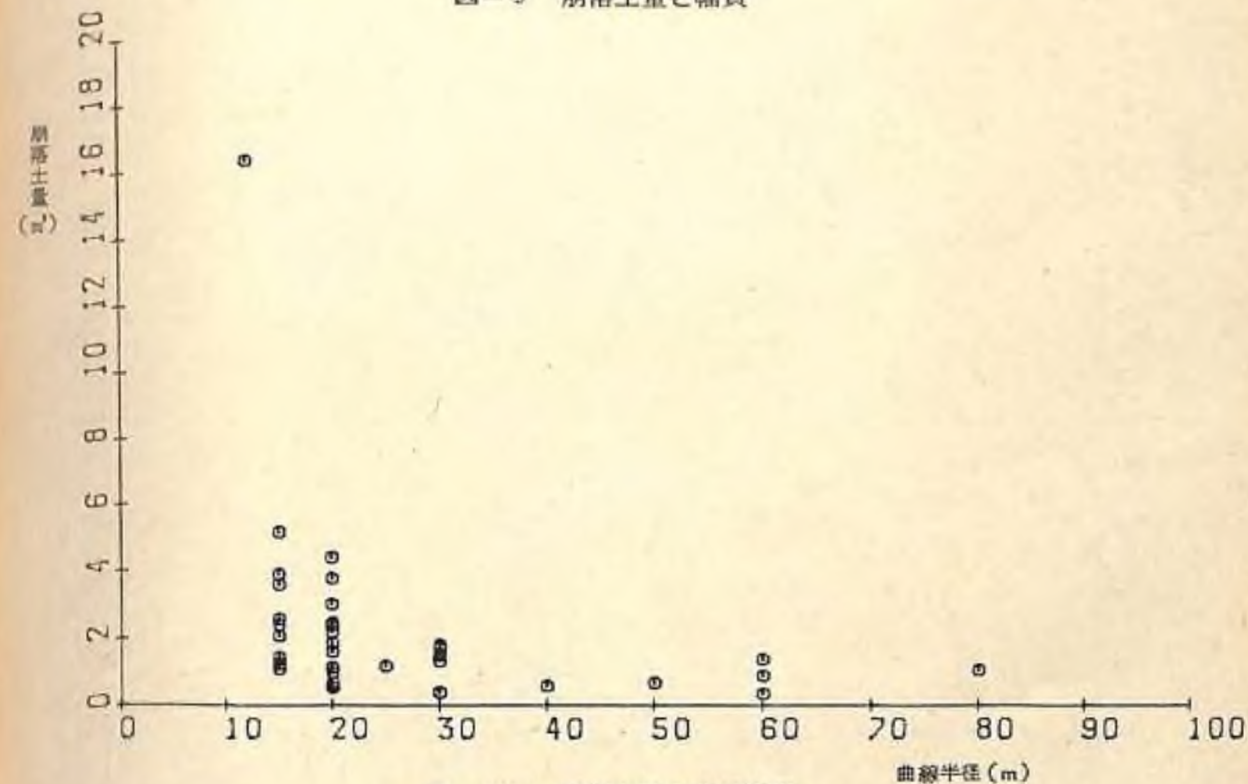


図-10 崩落土量と曲線半径



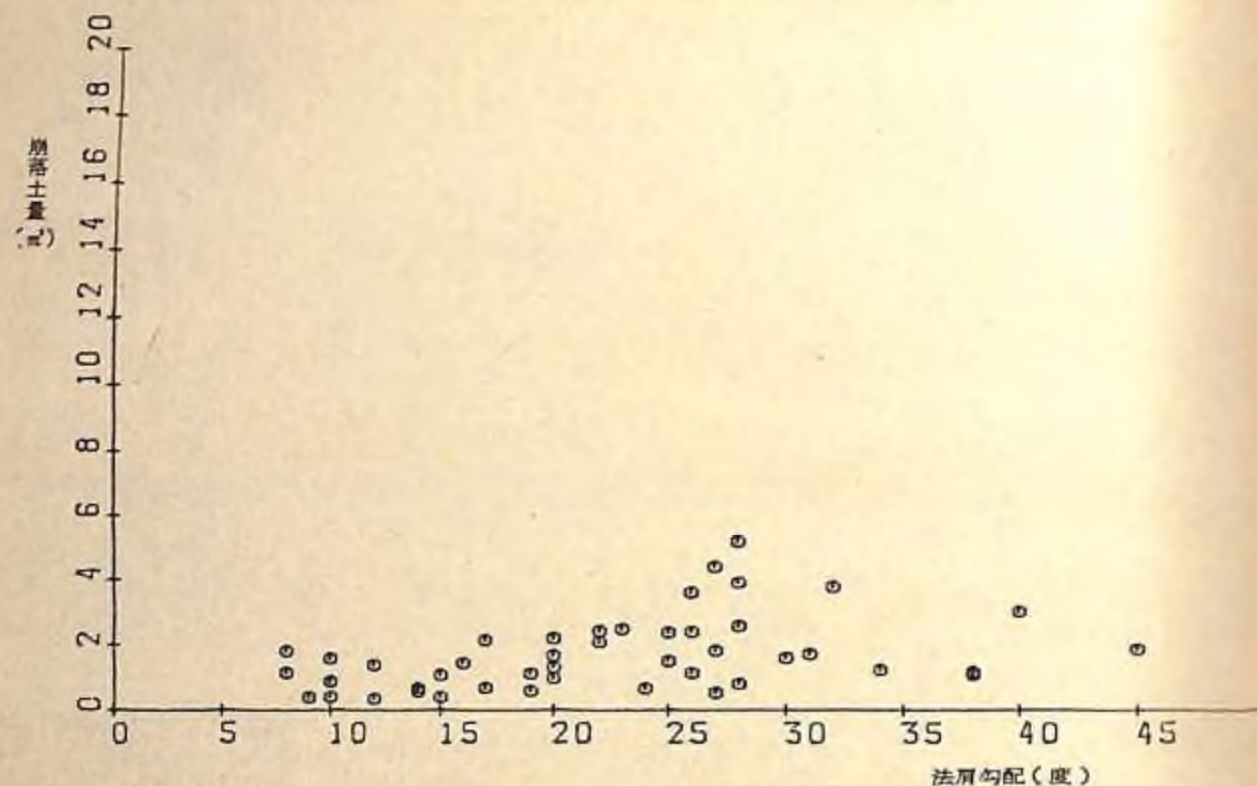


図-1-1 崩落土量と法肩勾配

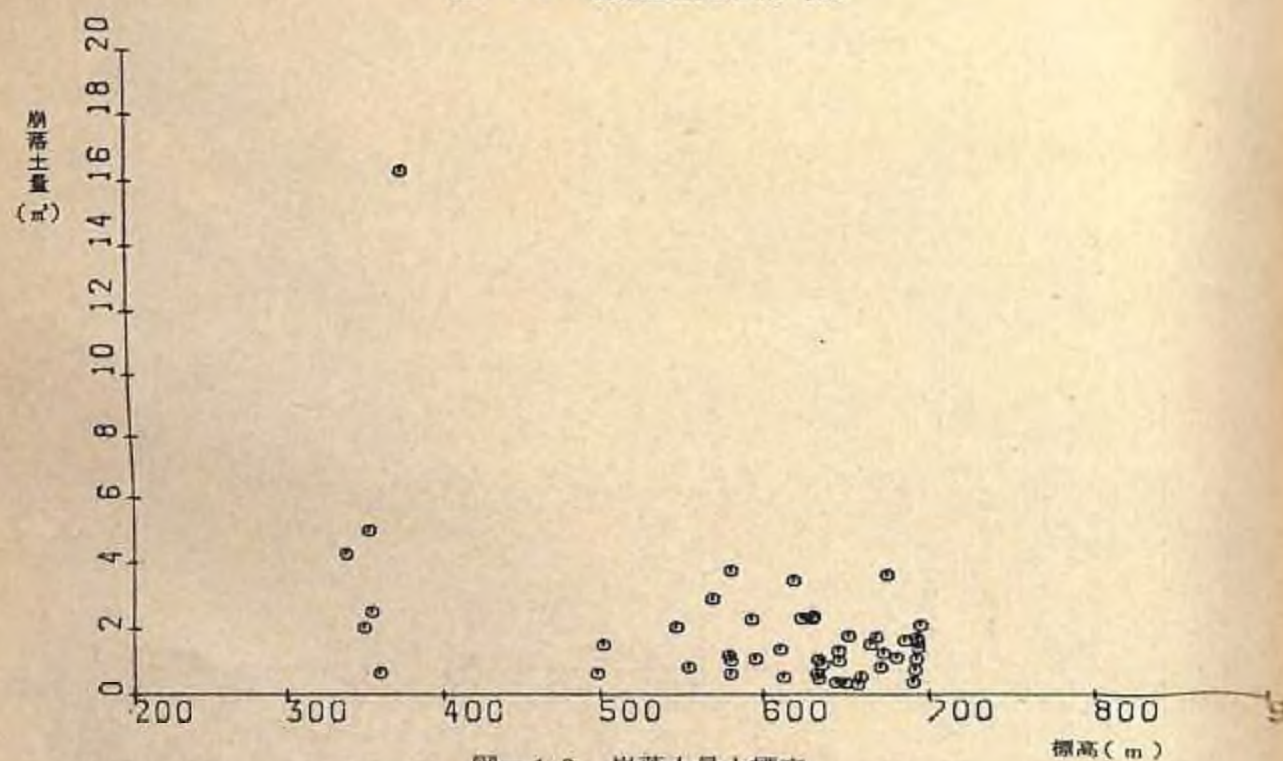


図-1-2 崩落土量と標高

図-1-1, 1-2, 1-3は、それぞれ崩壊土量と法肩（地山）勾配、標高、及び施工経年の関係を示したものであるが、図より崩落土量は法肩勾配が急な程大きく、施工から年数が経つに従って増大する傾向が認められた（それぞれ相関係数0.4322, 0.3422）。また、標高については、崩落土量は標高が低い程大きくなる傾向が示された（相関係数0.4474）。これは林道自身の位置についても言えるが、一路線についても、標高が低い程沢沿になり、高度が上るに従って中腹、稜線に位置することになり、集水地形と同時に含水率の大小に関係する結果ではないかと推察された。

以上のごとく、各要因は崩落土量に少なからず影響を及ぼすことが推察されたが、さらに、法面の崩落の直接的起因要因との関係についてさらに検討した。

## ii) 法面硬度、含水率及び相対切取勾配と崩落土量率

i) において、崩落土量は、施工切取法面の大きさ、（即ち法高及び法長）により最も影響を受けることから、各法面箇所の条件を一定にするために、図-2に示す施行切取法面断面面積に対する崩落土量面積の割合（即ち法肩から垂直に下した線と施工切取面で囲まれた施工時の法面体積に対する崩落土量の比率）の百分率を崩落率と呼称し、法面表層土の硬度及び含水率の関係を検討した。

表-8は、本調査についての崩落率、及び堆積率と、法面表層土平均含水率・硬度、法

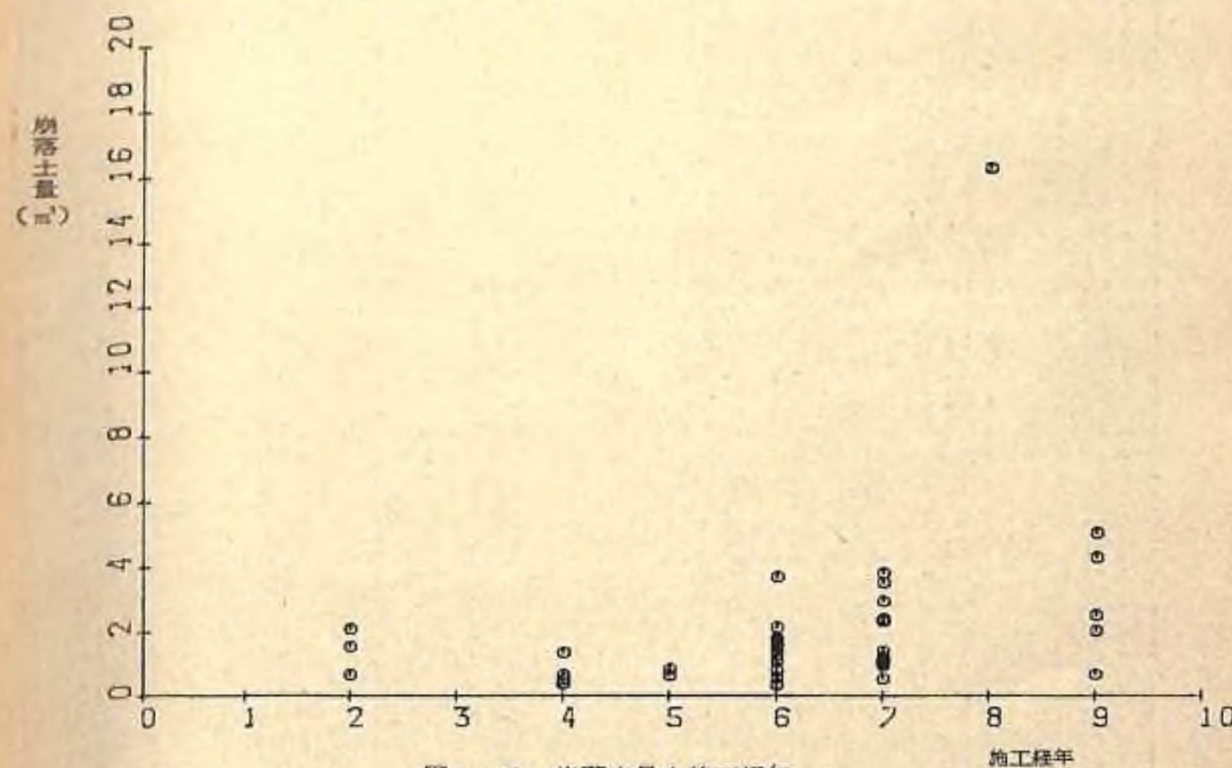


図-1-3 崩落土量と施工経年



表-3 切取法面崩落率と法面

TABLE: ノリメン ノ ホウラク ..... マエバシ キョク 1979/80

	HORAKUDO	TAISEKIDO	GANSUIRITU	KODO	NORIGANS
1:	4.65	1.03	8.14	4.68	8
2:	5.21	0.99	7.6	7.1	9
3:	7.41	0	6	8.54	7
4:	7.82	1.45	6.33	10.01	16
5:	29.76	9.06	9	3.39	20
6:	1.223	2.94	6.13	6.78	12
7:	1.101	3.99	6	6.01	12
8:	1.481	0.44	6.13	5.58	18
9:	3.633	3.3	16.38	1.84	34
10:	3.193	0.37	9	1.54	30.5
11:	2.863	0.21	9.43	2.45	28.5
12:	3.282	1.76	14.67	2.6	25
13:	1.316	3.66	8.8	6.88	15
14:	4.39	2.32	10	14.72	10
15:	7.78	3.54	12	13.97	12
16:	2.778	0.78	2.2	3.02	22
17:	3.472	0	13.86	1.06	25
18:	3.752	4.24	8.43	2.02	30
19:	3.965	0.1	1.12	1.81	30
20:	10.53	10.5	7.67	3.44	20
21:	2.668	4.78	8.75	1.87	30
22:	1.028	0.09	4	8.02	16
23:	10.53	3.02	4.3	14.98	18
24:	35.7	0.8	10.29	2.57	29
25:	4.867	4.19	1.1	1.47	35
26:	3.844	3.34	9.78	0.62	38
27:	1.919	3.43	6.75	6.19	21
28:	7.41	0.07	5.22	11.03	15
29:	3.784	1.39	11.57	0.84	37
30:	20.19	3.1	9	3.44	25
31:	1.137	4.37	12.75	8.6	22.5
32:	7.41	5.23	11.17	8.02	18
33:	3.947	8.25	16.63	1.06	30
34:	1.178	1.04	8.14	2.8	18
35:	2.227	5.88	7.75	2.28	23
36:	2.586	7.41	10.86	1.04	23
37:	1.804	0	9.7	2.76	25
38:	1.997	0.49	6.56	2.53	28
39:	2.1.3	3.53	7.9	3.44	22
40:	3.411	4.76	9.56	0.89	34
41:	1.729	0.48	7	2.6	20
42:	1.793	3.73	7.75	1.7	17
43:	3.365	5.84	7.71	1.62	20
44:	3.109	0	10.22	1.84	22
45:	3.404	0.43	12.56	1.95	37
46:	3.1.3	14.63	7.38	1.95	21
47:	2.888	15.69	8.5	2.18	22
48:	4.578	0.93	13.58	1.08	40

率, 表層土硬度, 相対切取勾配

NORIKODO	KOBAL	TEKIYO
20.88	51.17	
15.8	50.51	
13.5	49.31	
20.09	62.51	
5.03	60.15	
2.71	62.46	
1.24	51.2	
4	61.04	
2.6	63.26	
3.65	61.42	
3.15	61.56	
2.93	63.26	
12.83	54.36	
14.72	47.37*	
13.97	53.37*	
3.02	63.26*	
10.51	60.51	
4.22	62.48	
8.15	66.16	
4.35	65.54	
4.89	66.58	
16.68	64.03	
14.47	63.26	
3.34	66.3	
4.68	72.24	
11.79	61.19	
13.73	55.5	
13.27	59.45	
4.35	66.19	
2.887	67.18	
3.6	54.45	
6.29	51.03	
4.54	68.53	
10.34	60.16	
3.34	58.49	
5.58	60.15	
3.49	63.26	
2.02	60.52	
6.78	65.4	
3.15	66.19	
15.8	61.48	
8.54	66.52	
3.39	72.51	
3.76	62.56	
1.47	64.37	
4.35	69.27	
2.72	71.12	
1.08	73.08	

〔凡例〕

HORAKUDO : 崩落率(%)

TAISEKIDO : 堆積率(%)

GANSUIRITU : 平均法面含水率(%)

KODO : 平均表層土硬度(%)

NORIGANSU : 地山含水率(%)

NORIKODO : 地山土壌硬度(%)

KOBAL : 相対切取勾配(度)



肩（地山）含水率・硬度、及び相対切取勾配の関係を示したものである。法面表層土含水率及び硬度は、林道路面から法肩までの法の高さ毎（1 m 間隔）の平均値である。（但し、表層土硬度に関しては岩露出部分は除去し平均したものであり、含水率についても法面最下部の側溝部分に水がたまっているものについてはその最下部の値を除いて平均化した。）表一 3 より、崩落率は、法面表層土の平均含水率が高い箇所程大きく、表層土の平均硬度が大きい箇所程小さい値を示しており、これらの関係について各調査箇所毎にプロットすると図一 1 4、1 5 のとおりであり、かなり高い相関が認められ、次式の算定式を得た。

$$Y_1 = -0.4793 + 2.6298 \bar{X}_1 \quad (r = 0.6417) \quad (1)$$

$$Y_1 = 4.05416 \bar{X}_2^{-0.6774} \quad (r = -0.8075) \quad (2)$$

（ $Y_1$ ：崩落率（%）， $\bar{X}_1$ ：表層土平均含水率（%）， $\bar{X}_2$ ：表層土平均硬度（ $\text{kg/cm}^2$ ））

また、崩落率と地山の含水率及び地山の硬度との関係についてみると図一 1 6、1 7 に示すとおり、崩落率は地山の含水率が高い程大きく、地山の土壌硬度が大きい程、小さくなる関係が認められた。これらの関係を求めると次式の通りである。

$$Y_1 = 0.2758 X_1^{1.8909} \quad (r = 0.8738) \quad (3)$$

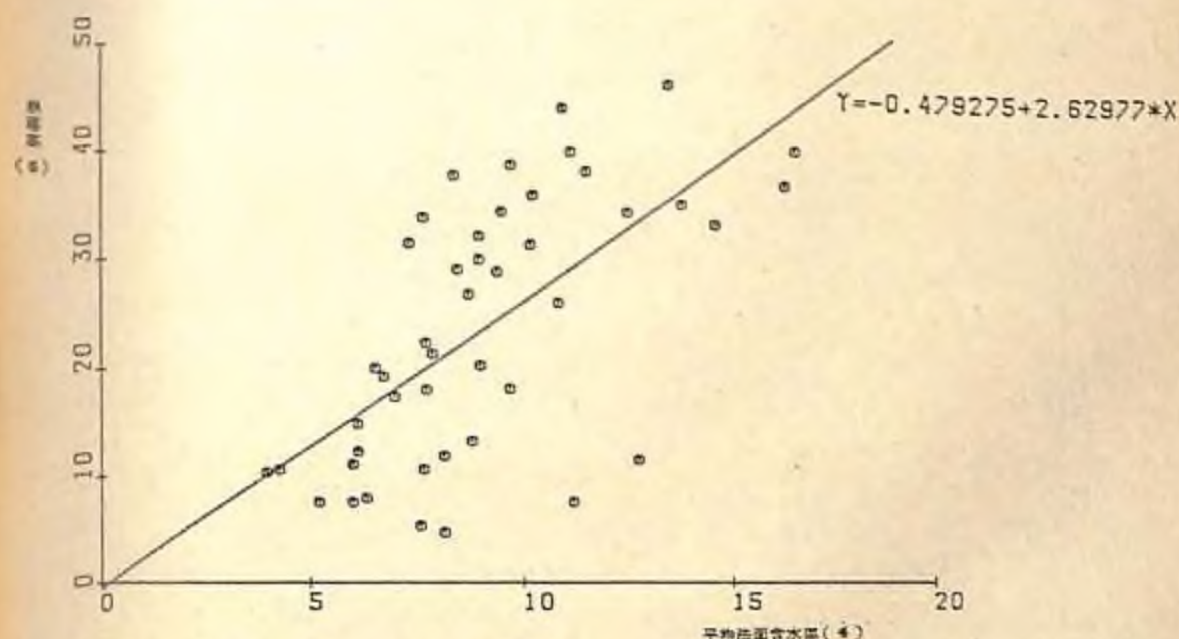
$$Y_1 = 5.19587 X_2^{-0.5417} \quad (r = -0.6478) \quad (4)$$

（ $Y_1$ ：崩落率（%）， $X_1$ ：地山含水率（%）， $X_2$ ：地山土壌硬度（ $\text{kg/cm}^2$ ））

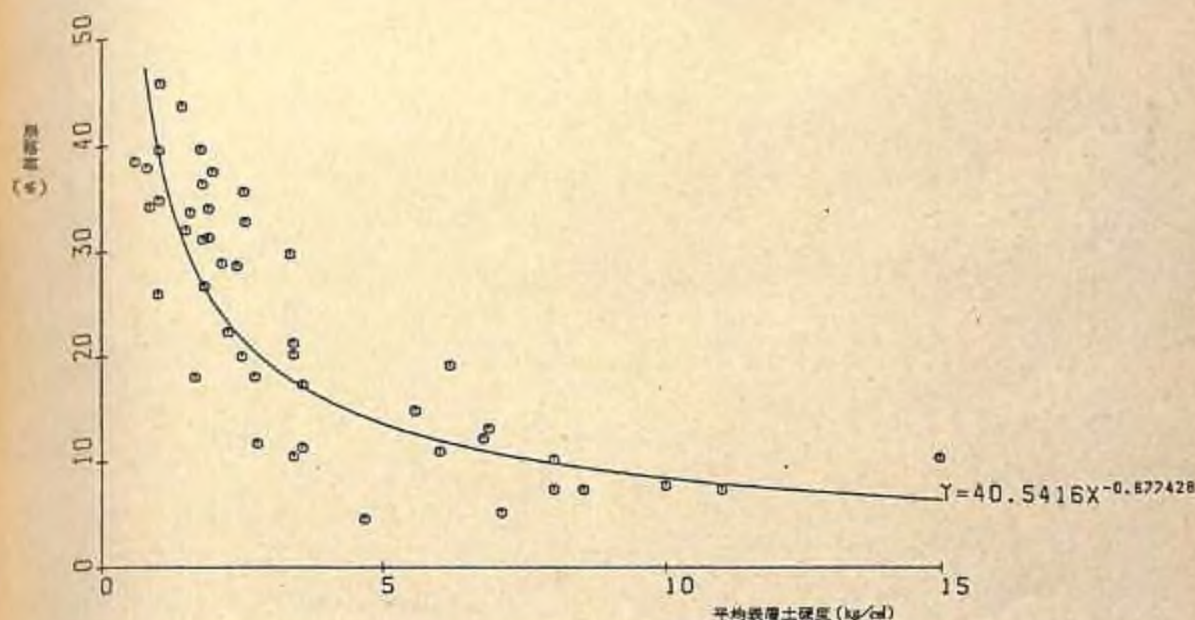
図一 1 8、1 9 は、それぞれ表層土平均含水率と表層土平均硬度の関係、および地山含水率と地山硬度の関係を示したものであるが、法面および地山のいずれにおいても含水率が高くなれば土の硬度は減少し、含水率が低くなるに従って土の硬度は増大する所謂逆関数の関係が示された。

以上の様に、水や土の硬さは切取法面の崩落に非常に影響を及ぼすことから、切取面の含水率或いは土質の硬度に影響を及ぼすと思われる切取面の方向、即ち法面方位の関係について検討した。図一 2 0 は、全調査地について、それぞれの切取法面の方位に対する崩落率をプロットしたものである。また図中の実線は各方位角毎（30 度毎に分割した）の各地点の崩落率の平均を示したものである。図から明らかな様に、調査地の切取法面は東西南北の各方位に分布しているが、各方位に対する崩落率は北面方位になるに従って大きく、南面方位では小さいことがわかる。即ち、日当りの悪い北面は、気温の関係や含水率或いは冬季の凍結等により、日当りの良い南面方位に比べ崩落が促進されることがこの図から推察できた。

次に、施工時の切取勾配が崩落にどの様に関係するかについて検討した。そこで先述の相対切取勾配と崩落率との関係についてみると図一 2 1 のとおりであり、次式の関係が得



図一 1 4 崩落率と平均法面含水率



図一 1 5 崩落率と法面平均硬度



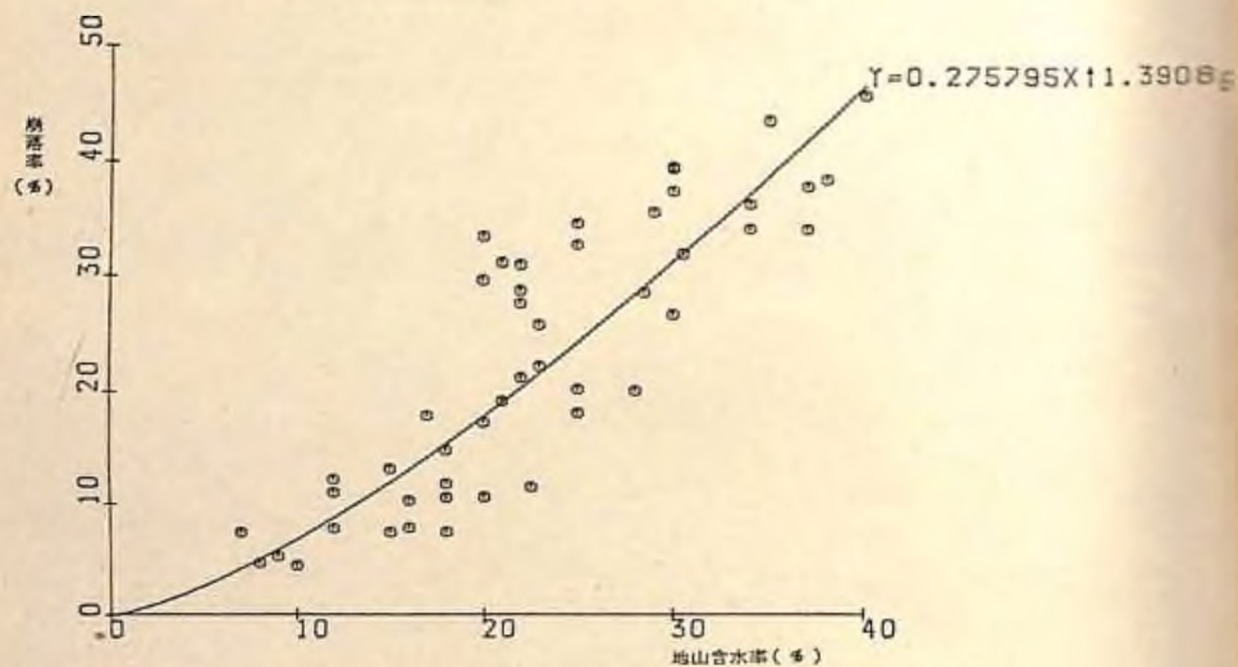


図-16 崩落率と地山含水率

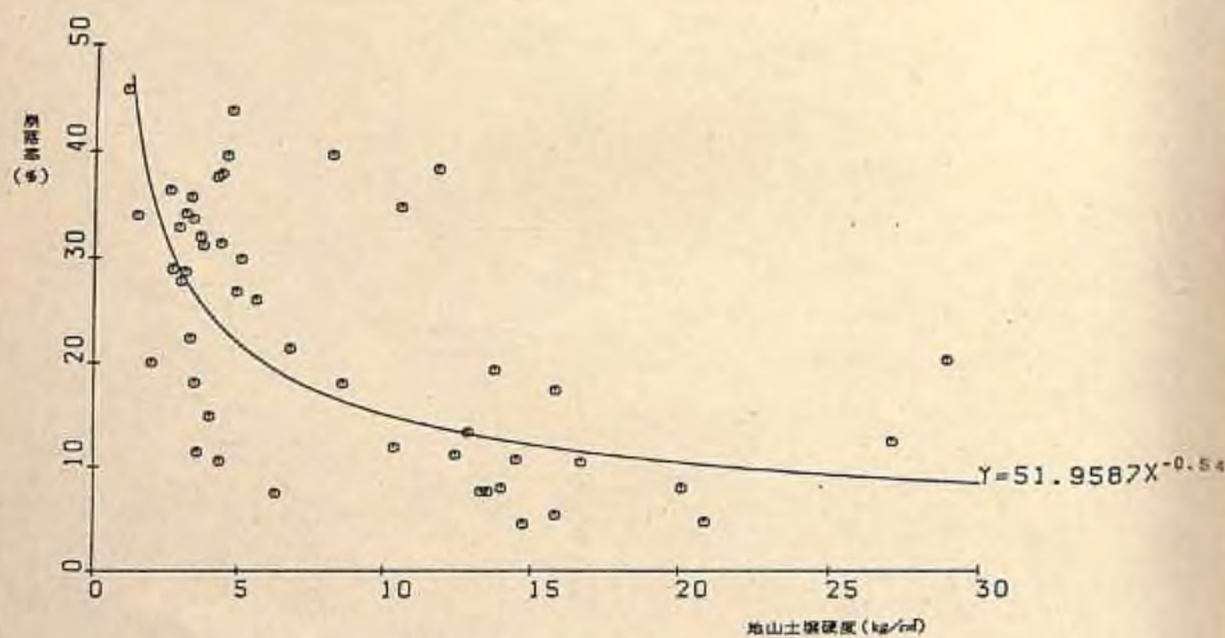


図-17 崩落率と地山土壌硬度

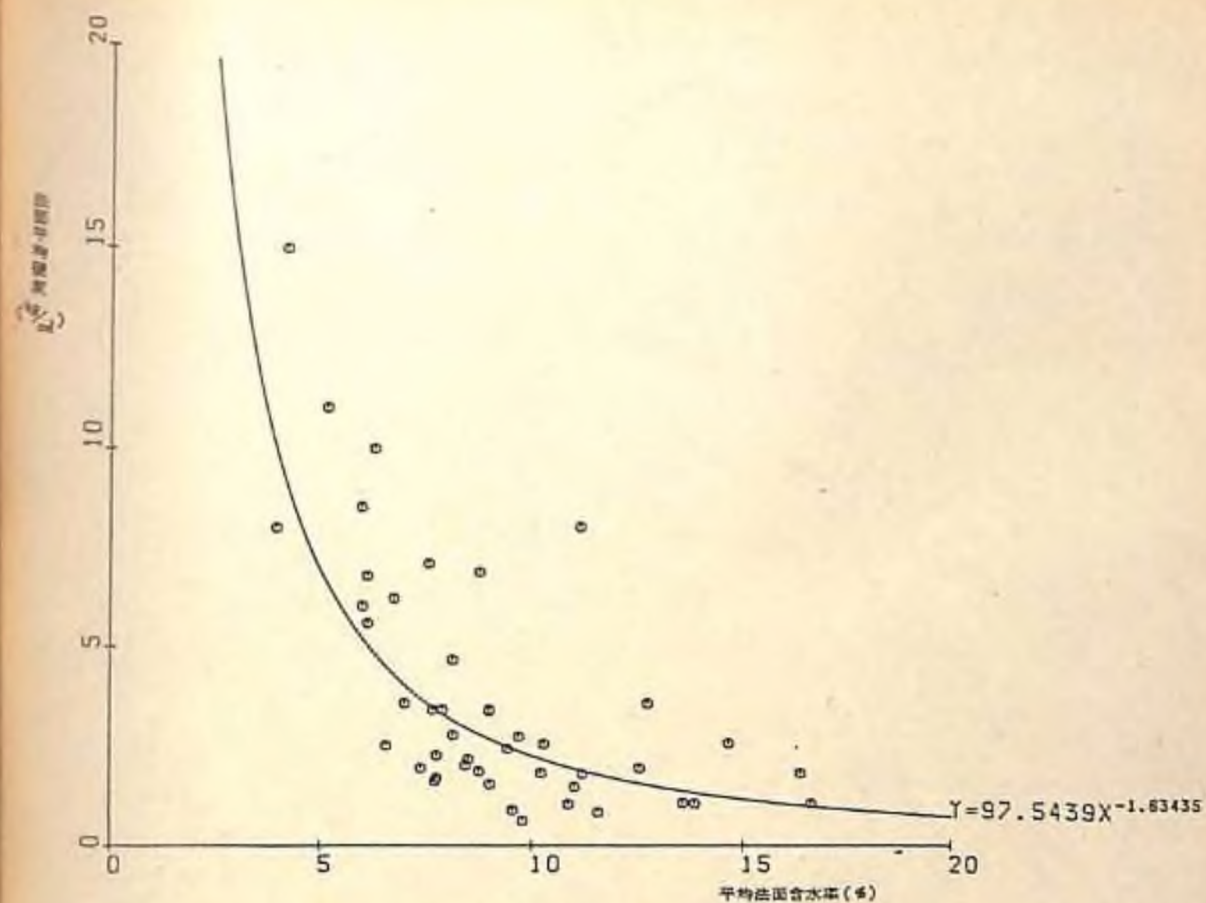


図-18 法面の平均表層土硬度と平均法面含水率

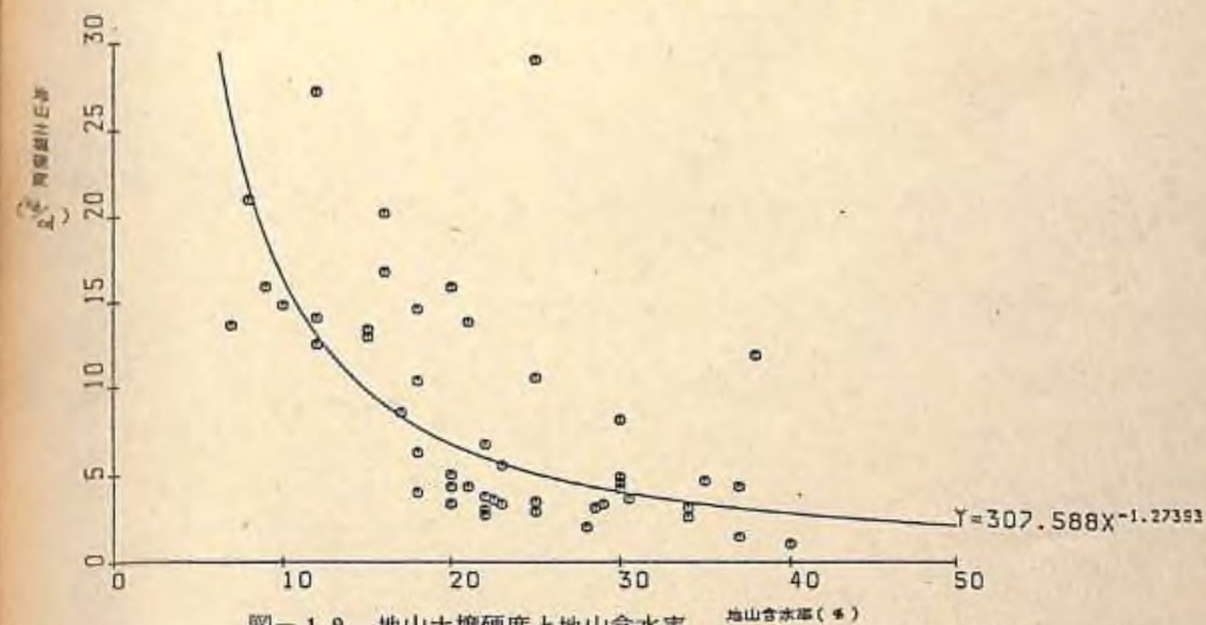


図-19 地山土壌硬度と地山含水率



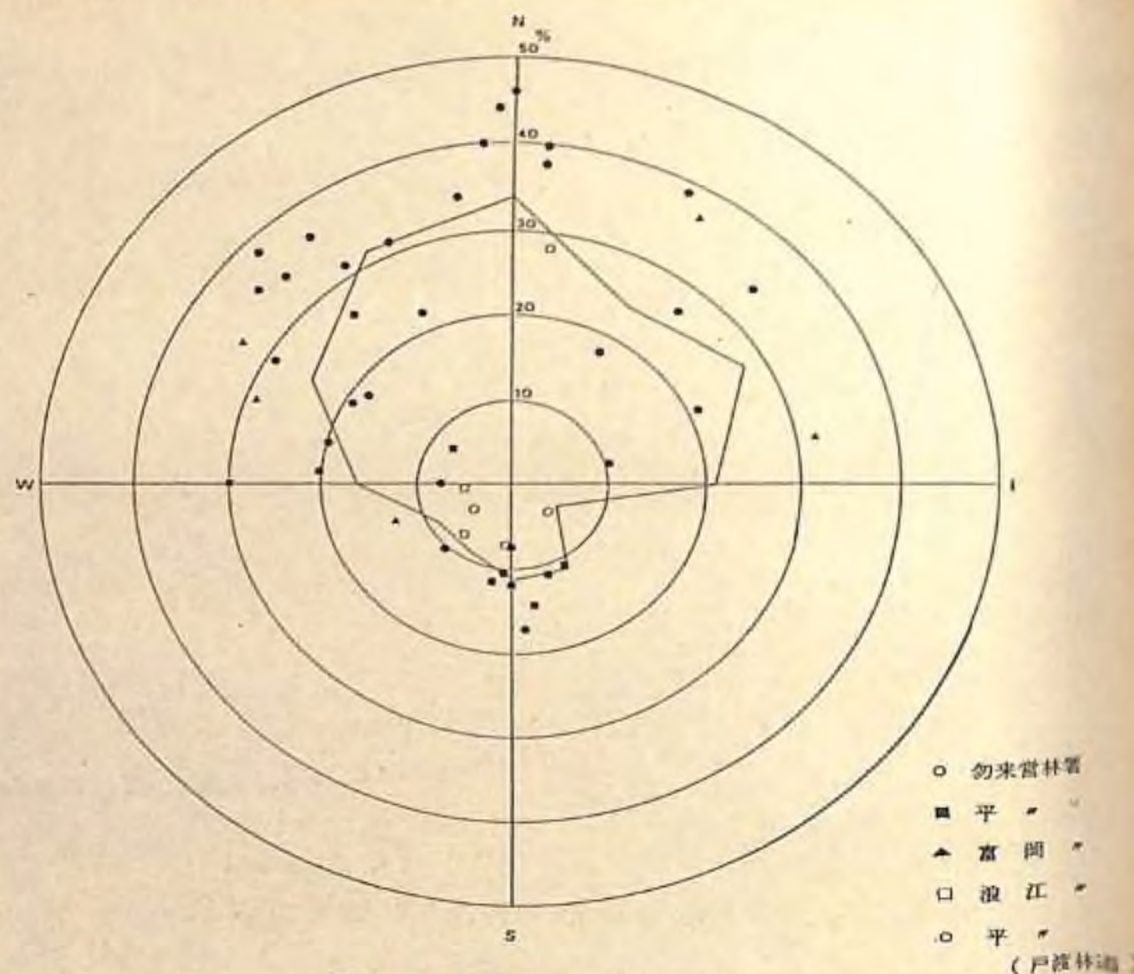


図-20 崩落率と法面方位の関係

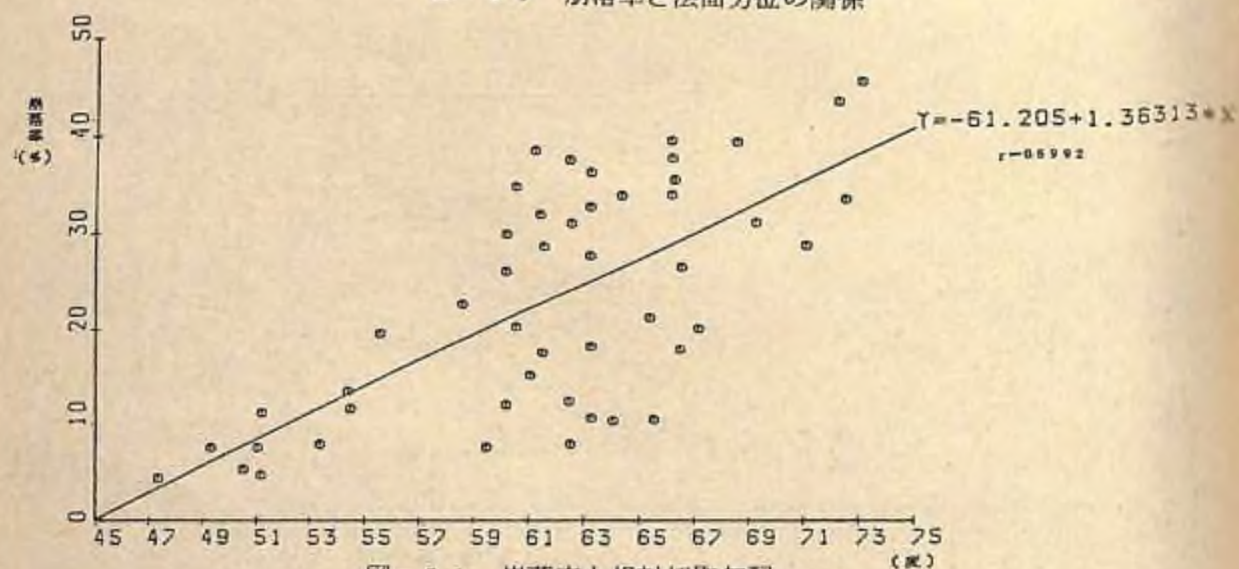


図-21 崩落率と相対切取勾配

られた。

$$Y_1 = -61.205 + 1.36313 X_3 \quad (r = 0.6992) \quad (5)$$

( $Y_1$  : 崩落率(%),  $X_3$  : 相対切取勾配(度))

図-21及び(5)式から、崩落土量率は相対切取勾配が急角度で切るに従って増大し、相対切取勾配が45度附近で崩落率は0%に近づいていることがわかる。即ち本調査地のマサ土法面においては、崩落を最小にするためには、切取角度を45度(1割勾配)にする必要があり、法面に対し10%以内の崩落を許容する場合は、切取角度を約52~53度以内におさえることが必要である。以上のことから、崩落に対する切取り角度の一応の目安を算定することができた。

さらに、堆積率と各因子との関係については、先述の理由等によりほとんど関係がないことがわかった。

## 2) 林道切取法面の崩落形状

施工切取法面は、安定を保持できない切取勾配では施工後崩落を起すことになる。一般には図-8に示す様な形態を取るのが普通であるが、切取法面を取りまく各因子のため、その形態は多様性に富むことが推定できる。本調査では、計画施工図を基に施工切取面からの侵食深及び堆積厚を算定することにより法面の形状判定を試みた。

図-22~25は、54年度調査地点16箇所について法高を一定にした時の法肩から林道面までの相対長さ(各法高を20等分した)毎の侵食深と堆積厚を示したものである。図の縦軸はプラス側で侵食、マイナス側で堆積を示し、全体が0に近く、変動が小さい程施工切取原形に近い事を示している。図-22~25より、各法面は法肩に近い部分で侵食量が大きく、相対長さが法肩から約30%内で最大侵食を起こしている。また侵食は法肩から遠ざかるに従って減少し、林道面近く、即ち法肩から相対長さ約80%以上ではほとんど各箇所とも堆積していることがわかる。これらの関係をさらに検討するために法面の侵食部分即ち堆積部を除いた崩落部分だけを取り上げ、横軸に法肩からの相対長さの百分率、縦軸に累積侵食量の百分率を取り所謂分布関数の表現による侵食量の変化特性についてバレート曲線を用いて判別を行った。図26~29は、先の16箇所についての累積侵食量曲線を示したものである。バレート曲線による分布特性の解析に関する詳しい手法は、統計学の文献にあるのでここでは省略するが、本解析では法肩からの累積崩落分布曲線と45°対角線とに囲まれた面積の大きさにより、侵食崩落の形態を判別しようというものである。一般に、法面の侵食崩落がほとんどなかったり或いは法の各高さ毎に均一に侵食崩落している場合はその面積が0に近づき、正規分布的に侵食崩落している場合は、その面積は45°対角線によってできる三角形の面積の41.4%になり、さらに侵食崩落



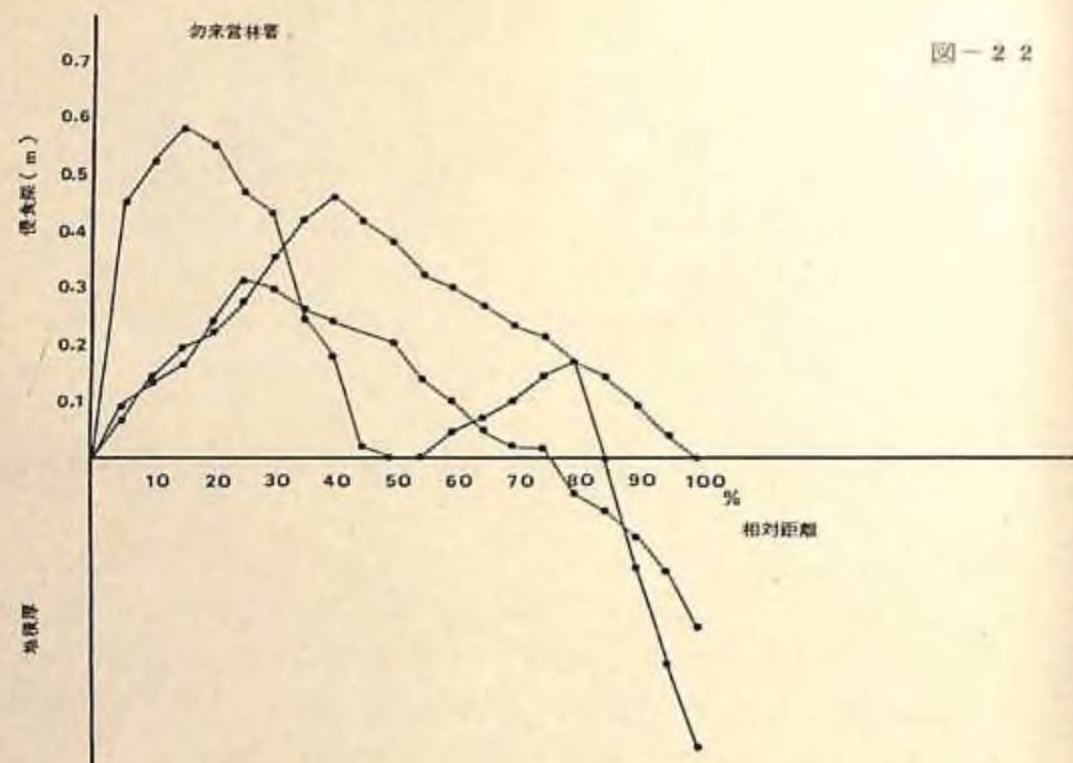


図-22

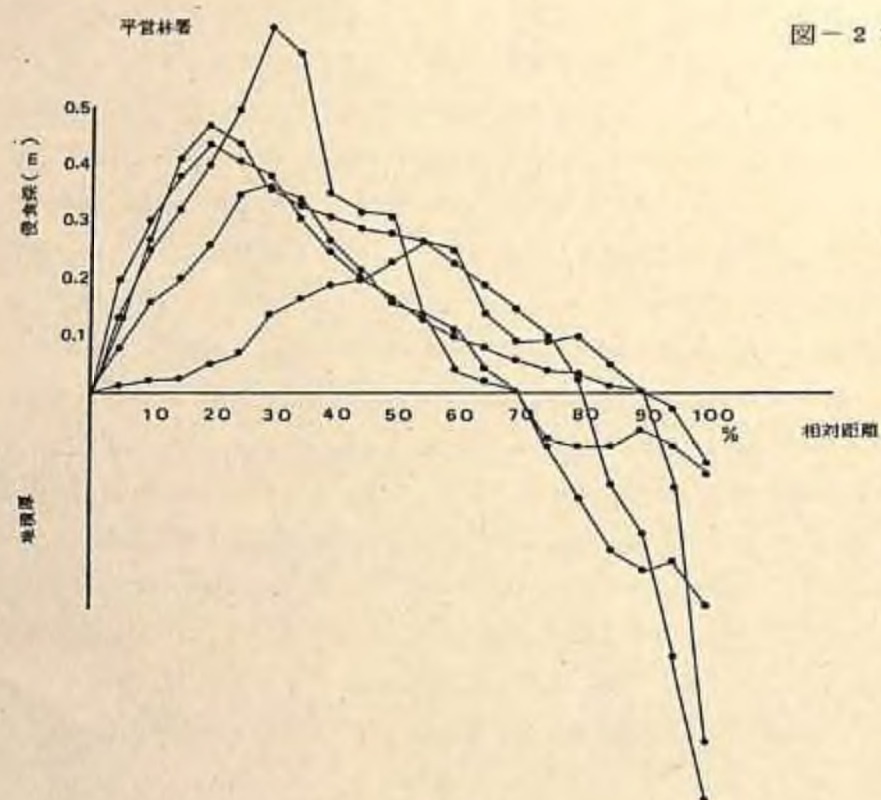


図-23

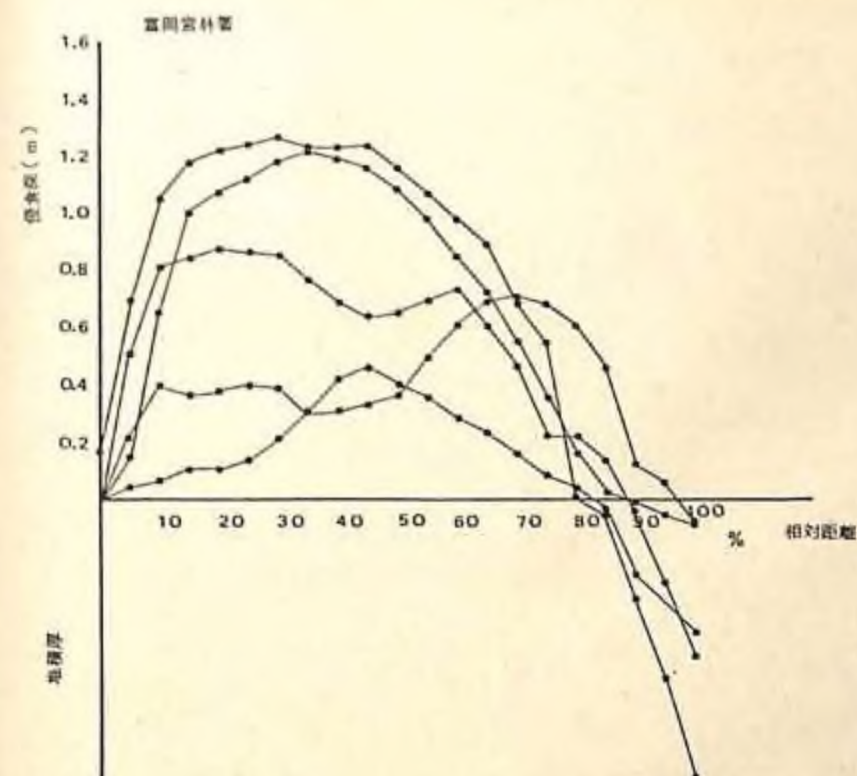


図-24

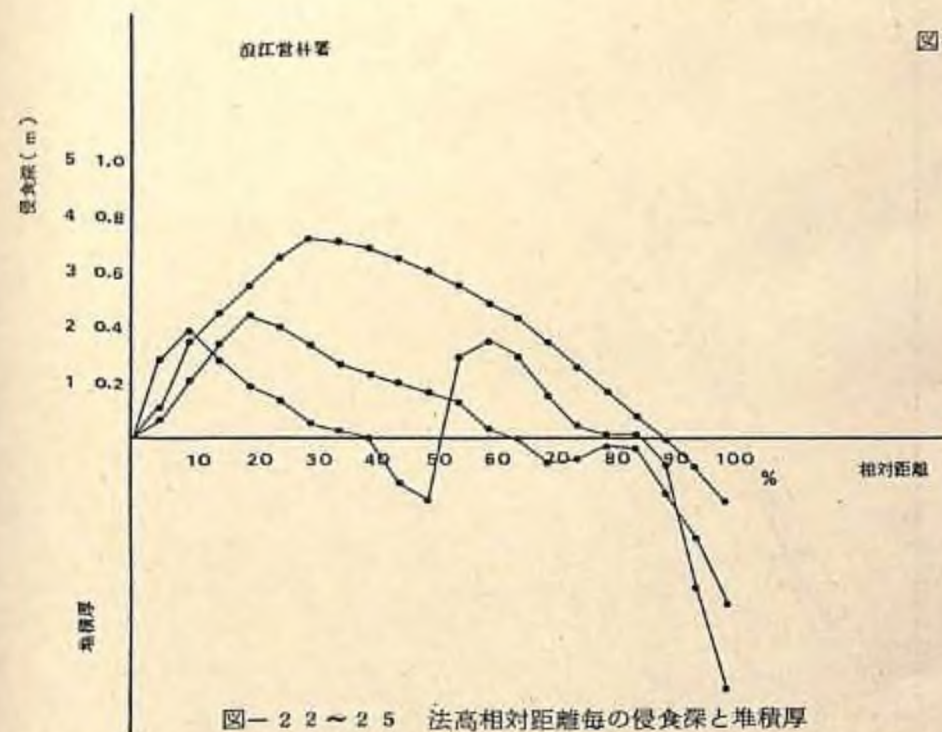


図-25

図-22~25 法高相对距離毎の侵食深と堆積厚



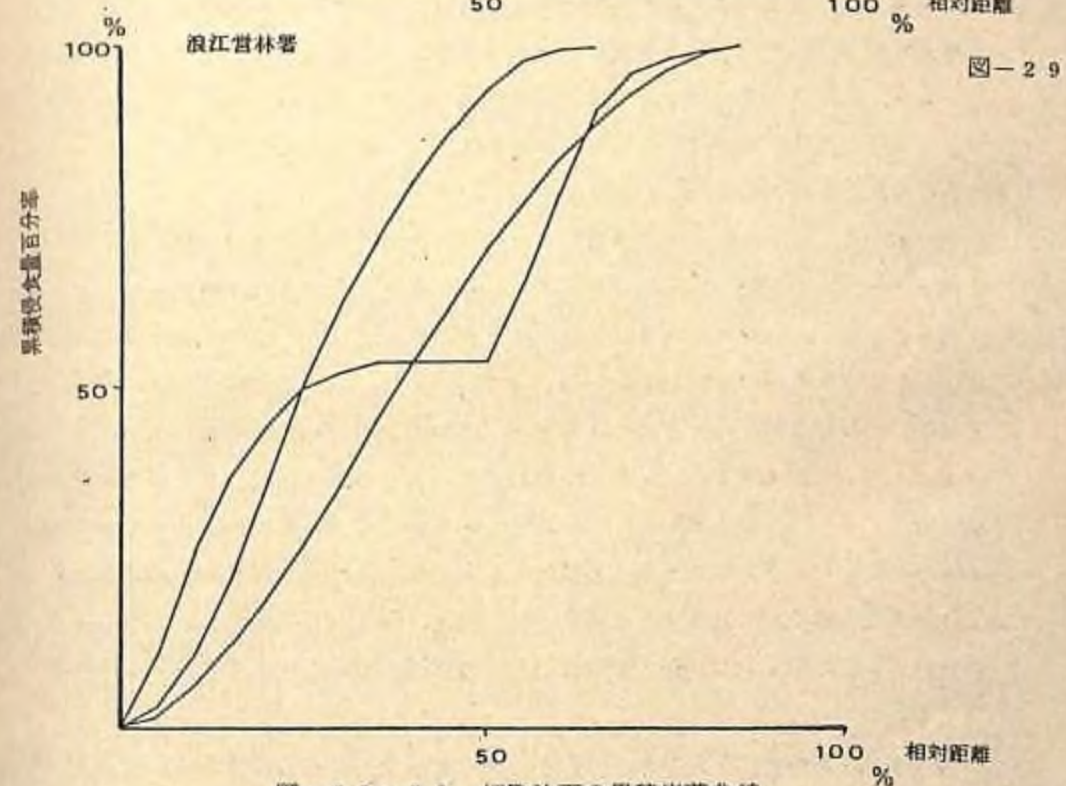
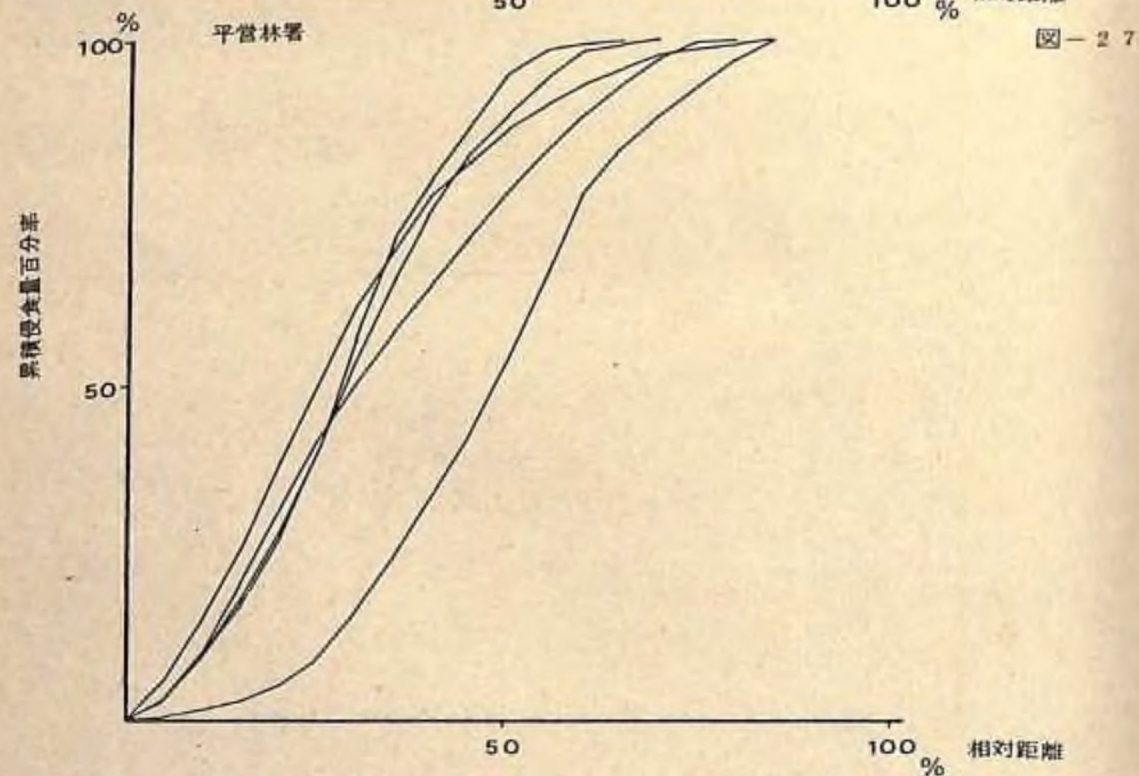
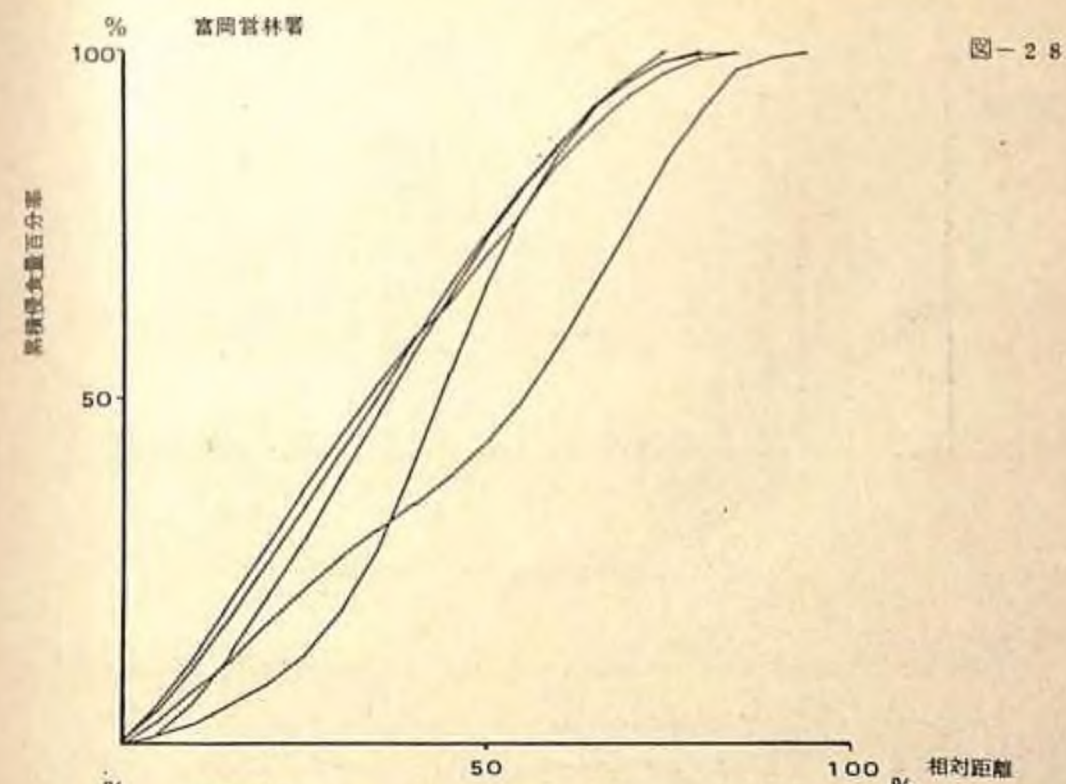
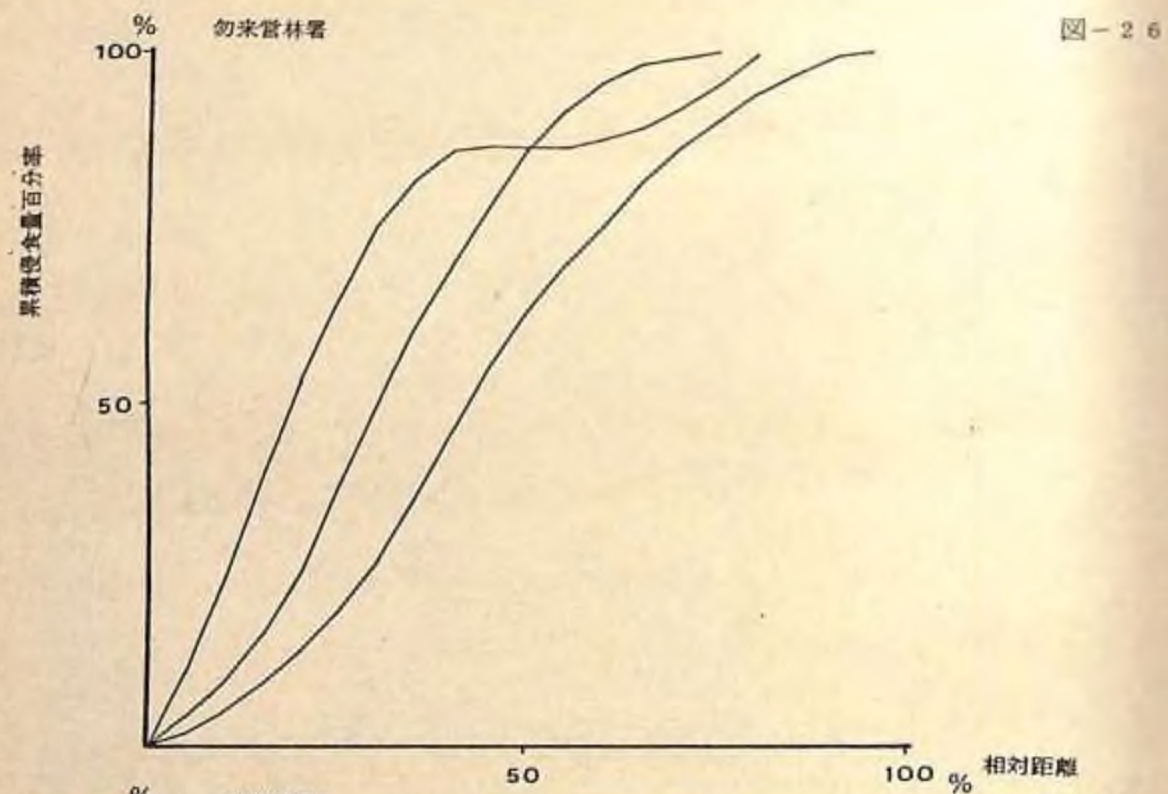


図-26~29 切取法面の累積崩落曲線



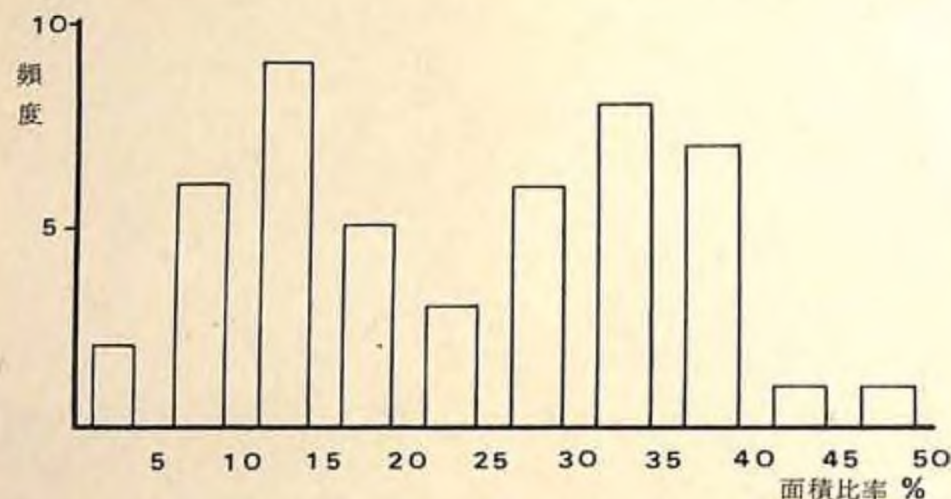


図-30 崩落形状判定に関する度数分布

が進み指数分布的に落ちている場合はその面積は三角形の面積の $\frac{1}{2}$ (50%)となる。本調査地についてその面積を求めると図-30のとおりになり、三角形の面積に対する比率は約5%~50%近くまで分布していることがわかる。即ち、本調査地の崩落パターンは一様分布の崩落パターンから正規分布のおよび指数分布の崩落パターンまで各種形態を示しており、これらの関係は崩落が漸次促進するに従い一様分布のパターンから正規分布の崩落パターンさらに指数分布の崩落パターンへと推移することが推察された。

### 3) 数値化による判別解析

1) 2) の結果、切取法面の崩落形状は、切取法面の侵食崩落の推移により均一・一様分布の崩落パターンから指数分布の崩落パターンまで分類することができた。換言するとこれらの形状は特殊事態がない限り図-2の推移形態をたどる事になり、切取断面に対する崩落土面積即ち崩落率と同一のものとなる。そこで本解析では、崩落量の小さい均一・一様分布の崩落パターンに属するグループ(第1グループ)、崩落量の中程度の正規分布の崩落パターンに属するグループ(第2グループ)および崩落量の大きい指数分布の崩落パターンに属するグループ(第3グループ)の3グループに分類し、定性要因も含めた各要因に対して判別が可能かどうかについて検討を加えた。数値化判別解析の手法は多くの統計書にゆだねるが、数値化Ⅱ類は名義尺度で観測される特性を外的基準におき、各外的基準における各要因の度数分布をもとにして相関比最大化法により、各要因の得点を求めることにより分類しようとする手法である。

表-4は、本解析に用いられた要因とカテゴリーを示したものである。また表-5は各

表-4 各要因と水準分割表

ア イ テ ム			カ テ ゴ リ		
1	法	高 (m)	~4.5,	4.6~	6.0, 6.0~
2	法	長 (m)	~5.0,	5.1~	7.0, 7.1~
3	相 対	勾 配 (度)	~6.1,	6.1.1~	6.5, 6.5.1~
4	縦 断	勾 配 (%)	~6,	6.1~	
5	幅	員 (m)	~4.7,	4.7.1~	
6	曲 線	半 径 (m)	~2.0,	2.1~	
7	法 面	方 位	南		北
8	法 肩	勾 配 (度)	~1.5,	1.6~2.5,	2.6~
9	法 肩	状 況	雑木地, 植栽地(4.5年生), 林地		
10	集 水	地 形	凹形, 平形, 凸形		
11	標	高	~6.2.5,	6.2.6~	
12	側 溝	有 無	無		有
13	緑 化 工	有 無	無		有
14	補 修	有 無	無		有
15	経	年	~6,	7~	

要因カテゴリーについてのクロス集計表である。

以上の計算結果から各グループの判別に対する要因の影響について検討する。各要因の判別に対する効果はカテゴリースコア(固有ベクトル)の差が大きい程、即ち、Rangeが大きい程大きい。表-6は、各要因カテゴリーに関し、カテゴリースコア、平均スコア及び正規化したスコアについて示したものである。表-6からもわかる様に、Rangeの大きい要因は、集水地形が最も大きく、続いて法高、法肩状況、相対切取勾配、法肩勾配であり、経年、緑化工の有無、幅員等についてはRangeは小さい値を示した。図-31はRangeの大きい順に各要因のRangeを示したものである。



表-5 各要因カテゴリー

ITEM	CATEGORY	NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ITEM 01	1	1	20	0	0	17	3	0	9	4	7	14	6	11	9	9	11	8	14
	2	2	0	18	0	3	14	1	5	6	7	11	7	10	8	11	7	5	12
	3	3	0	0	10	0	1	9	3	6	1	5	5	4	6	5	5	3	14
ITEM 02	1	4	17	3	0	20	0	0	7	4	9	14	6	12	8	9	11	8	14
	2	5	3	14	1	0	18	0	6	6	6	10	8	9	12	6	4	14	14
	3	6	0	1	9	0	0	10	4	6	0	6	4	4	6	4	6	4	6
ITEM 03	1	7	9	5	3	7	6	4	17	0	0	13	4	10	7	5	12	11	14
	2	8	4	6	6	4	6	6	0	16	0	9	7	5	11	11	5	4	14
	3	9	7	7	1	9	6	0	0	0	15	8	7	10	5	9	6	1	14
ITEM 04	1	10	14	11	5	14	10	6	13	9	8	30	0	17	13	9	21	14	14
	2	11	6	7	5	6	8	4	4	7	7	0	18	8	10	16	2	2	14
ITEM 05	1	12	11	10	4	12	9	4	10	5	10	17	8	25	0	10	15	10	14
	2	13	9	8	6	8	9	6	7	11	5	13	10	0	23	15	8	6	14
ITEM 06	1	14	9	11	5	9	12	4	5	11	9	9	16	10	15	25	0	2	14
	2	15	11	7	5	11	6	6	12	5	6	21	2	15	8	0	23	14	14
ITEM 07	1	16	8	5	3	6	4	4	11	4	1	14	2	10	6	2	14	16	14
	2	17	12	13	7	12	14	6	6	12	14	16	16	15	17	23	9	0	14
ITEM 08	1	18	6	4	5	6	3	6	6	6	1	12	3	9	6	2	13	12	14
	2	19	8	5	2	5	8	2	7	5	3	11	4	5	10	9	6	4	14
	3	20	6	9	3	9	7	2	2	5	11	7	11	11	7	14	4	0	14
ITEM 09	1	21	6	8	4	7	7	4	4	5	9	8	10	8	10	12	6	4	14
	2	22	7	4	1	6	5	1	5	3	4	6	6	8	4	7	5	0	14
	3	23	7	6	5	7	6	5	8	8	2	16	2	9	9	6	12	12	14
ITEM 10	1	24	3	7	3	5	6	2	0	6	7	6	7	8	5	10	3	0	14
	2	25	9	4	1	7	6	1	5	3	6	8	6	7	7	10	4	0	14
	3	26	8	7	6	8	6	7	12	7	2	16	5	10	11	5	16	16	14
ITEM 11	1	27	4	10	7	5	9	7	6	8	7	11	10	11	10	15	6	7	14
	2	28	16	8	3	15	9	3	11	8	8	19	8	14	13	10	17	9	14
ITEM 12	1	29	3	1	3	3	1	3	2	4	1	5	2	4	3	2	5	4	14
	2	30	17	17	7	17	17	7	15	12	14	25	16	21	20	23	18	12	14
ITEM 13	1	31	17	14	9	17	15	8	13	14	13	24	16	20	20	22	18	10	14
	2	32	3	4	1	3	3	2	4	2	2	6	2	5	3	3	5	6	14
ITEM 14	1	33	18	8	4	15	10	5	2	8	10	22	8	16	14	11	19	13	14
	2	34	2	10	6	5	8	5	5	8	5	8	10	9	9	14	4	3	14
ITEM 15	1	35	10	5	5	9	5	6	8	7	5	16	4	10	10	4	16	10	14
	2	36	10	13	5	11	13	4	9	9	10	14	14	15	13	21	7	6	14

に関するクロス集計表

18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
6	8	6	6	7	7	3	9	8	4	16	3	17	17	3	18	2	10	10
4	5	9	8	4	6	7	4	7	10	8	1	17	14	4	8	10	5	13
5	2	3	4	1	5	3	1	6	7	3	3	7	9	1	4	6	5	5
6	5	9	7	6	7	5	7	8	5	15	3	17	17	3	15	5	9	11
3	8	7	7	5	6	6	6	6	9	9	1	17	15	3	10	8	5	13
6	2	2	4	1	5	2	1	7	7	3	3	7	8	2	5	5	6	4
8	7	2	4	5	8	0	5	12	6	11	2	15	13	4	12	5	8	9
6	5	5	5	3	8	6	3	7	8	8	4	12	14	2	8	8	7	9
1	3	11	9	4	2	7	6	2	7	8	1	14	13	2	10	5	5	10
12	11	7	8	6	16	6	6	16	11	19	5	25	24	6	22	8	16	14
3	4	11	10	6	2	7	6	5	10	8	2	26	16	2	8	10	4	14
9	5	11	8	8	9	8	7	10	11	14	4	21	20	5	16	9	10	15
6	10	7	10	4	9	5	7	11	10	13	3	20	20	3	14	9	10	13
2	9	14	12	7	6	10	10	5	15	10	2	23	22	3	11	14	4	21
13	6	4	6	5	12	3	4	16	6	17	5	18	18	5	19	4	16	7
12	4	0	4	0	12	0	0	16	7	9	4	12	10	6	13	3	10	6
3	11	18	14	12	6	13	14	5	14	18	3	29	30	2	17	15	10	22
15	0	0	6	0	9	0	1	14	6	9	5	10	10	5	12	3	9	6
0	15	0	4	6	5	1	8	6	6	9	1	14	14	1	10	5	6	9
0	0	18	8	6	4	12	5	1	9	9	1	17	16	2	8	10	5	13
6	4	8	18	0	0	5	7	6	13	5	2	16	14	4	12	6	7	11
0	6	6	0	12	0	3	7	2	0	12	0	12	12	0	7	5	5	7
9	5	4	0	0	18	5	0	13	8	10	5	13	14	4	11	7	8	10
0	1	12	5	3	5	13	0	0	8	5	1	12	12	1	5	8	8	10
1	8	5	7	7	0	0	14	0	5	9	1	13	13	1	9	5	5	9
14	6	1	6	2	13	0	0	21	8	13	5	16	13	6	16	5	12	9
6	6	9	13	0	8	8	5	8	21	0	2	19	15	6	8	13	5	16
9	9	9	5	12	10	5	9	13	0	27	5	22	25	2	22	5	15	12
5	1	1	2	0	5	1	1	5	2	5	7	0	6	1	5	2	3	4
10	14	17	16	12	13	12	13	16	19	22	0	41	34	7	25	16	17	24
10	14	16	14	12	14	12	13	15	15	25	6	34	40	0	25	15	16	24
5	1	2	4	0	4	1	1	6	6	2	1	7	0	8	5	3	4	4
12	10	8	12	7	11	5	9	16	8	22	5	25	25	5	30	0	18	12
3	5	10	6	5	7	8	5	5	13	5	2	16	15	3	0	18	2	16
9	6	5	7	5	8	3	5	12	5	15	3	17	16	4	18	2	20	0
6	9	13	11	7	10	10	9	9	16	12	4	24	24	4	12	16	0	28



表-6 各要因カテゴリーに関するスコア表

ITEM	CATEGORY	RCORE	MEAN SCORE	NORMAL SCORE
ITEM 01	1	-0385504E+00	-0136108	-0199396
	2	0982794E-02		0145986
	3	0000000E+00		0136108
ITEM 02	1	-0356957E-01	-0061280	0025584
	2	-0123751E+00		-0062471
	3	0000000E+00		0061260
ITEM 03	1	0142325E+00	-0010294	0152619
	2	-0182101E+00		-0171808
	3	0000000E+00		0010294
ITEM 04	1	-0198956E+00	-0124348	-0074609
	2	0000000E+00		0124348
ITEM 05	1	-0844193E-01	-0043968	-0040451
	2	0000000E+00		0043968
ITEM 06	1	-0174224E+00	-0090742	-0083482
	2	0000000E+00		0090742
ITEM 07	1	0000000E+00	-0127108	0127108
	2	-0190663E+00		-0063554
ITEM 08	1	0000000E+00	-0156832	0156832
	2	-0136922E+00		0019909
	3	-0304116E+00		-0147284
ITEM 09	1	0194032E+00	0201305	-0007272
	2	0000000E+00		-0201305
	3	0342780E+00		0141475
ITEM 10	1	0000000E+00	0312185	-0312185
	2	0351982E+00		0039797
	3	0478911E+00		0166726
ITEM 11	1	0000000E+00	0130622	-0130622
	2	0232217E+00		0101595
ITEM 12	1	0000000E+00	-0114786	0114786
	2	-0134388E+00		-0019598
ITEM 13	1	-0648186E+01	-0054016	-0010803
	2	0000000E+00		0054016
ITEM 14	1	0853069E+01	0053317	0031990
	2	0000000E+00		-0053317
ITEM 15	1	0000000E+00	-0016795	0016795
	2	-0287918E-01		-0011996

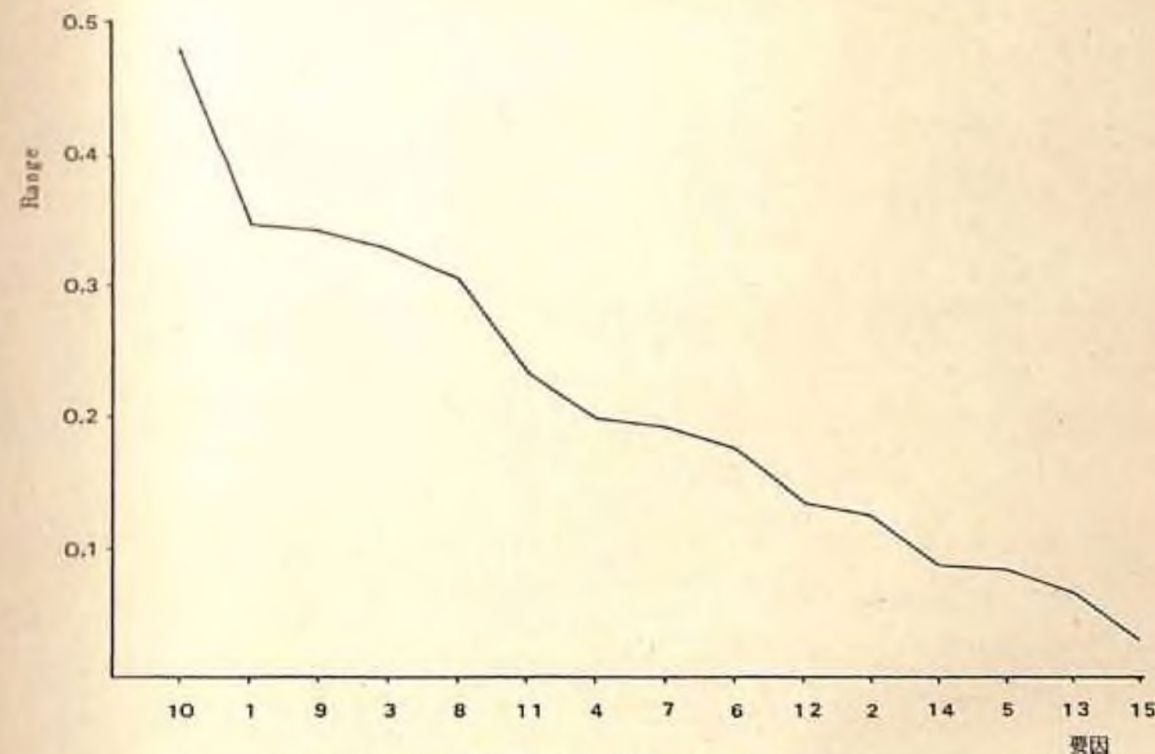


図-3-1 判別に関する各要因の Range と効果順位

以上の各要因に対して、3グループ間の判別とその適中率を求めた。図-3-2は、上記スコアに対するグループ別の度数分布であり、正規分布に近似させたものである。それぞれ3グループの正規分布の密度関数は次式のとおりである。

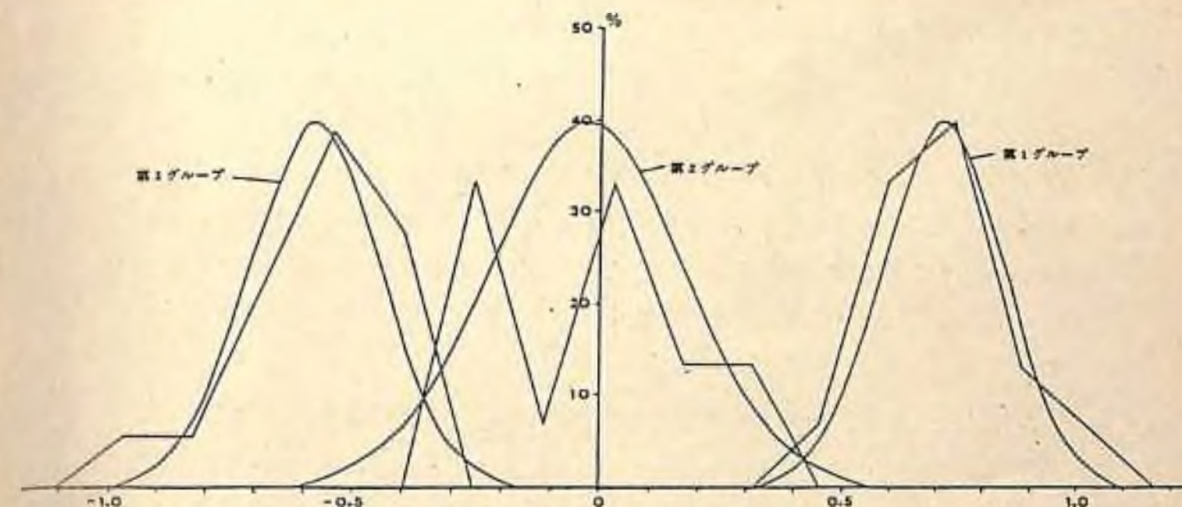


図-3-2 判別解析によるグループ別サンプルスコア度数分布



第1グループ

$$f_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.1283} e^{-\frac{(x-0.7185)^2}{2 \times 0.0165}} \quad \text{--- ( )}$$

第2グループ

$$f_2(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.1963} e^{-\frac{(x+0.0258)^2}{2 \times 0.0385}} \quad \text{--- ( )}$$

第3グループ

$$f_3(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.1337} e^{-\frac{(x+0.5772)^2}{2 \times 0.0179}} \quad \text{--- ( )}$$

また適中率は、第1グループと第2グループの分割点(0.4099)および第2グループと第3グループの分割点(-0.3274)より次式のとおりの高い値が示された。

$$P = \frac{n_3}{N} \int_{-\infty}^{-0.3274} f_3(x) dx + \frac{n_2}{N} \int_{-0.3274}^{0.4099} f_2(x) dx + \frac{n_1}{N} \int_{0.4099}^{\infty} f_1(x) dx \quad \text{( )}$$

$$= 0.962$$

以上のとおり、3グループの判別は高い適中率が示すように良好な判定結果を得た。

即ち、崩落土量の小さい均一・一様分布的崩落形状パターン、崩落土量が中程度の正規分布的崩落形状パターンおよび崩落土量の大きい指数分布的崩落形状パターンは本解析に用いた要因に対して明確にグループ分けができることが示された。

## 5. む す び

我が国は、一般に地形が急峻で、地質構造や土質条件の良くないところが多く、さらに、梅雨前線や台風によってもたらされる豪雨や冬季における積雪、寒冷等、気象に関する自然条件が厳しいので、法面の安定を保つための設計や施工の方法に多くの難しい問題をかかえている。特に、法面勾配は現地の地形、地質、気象条件、法面保護工の種類等を考慮して決定することが肝要である。

この研究は、林道の法面を安定させるための工法について技術的な評価検討を加え、工法適用箇所の条件や施工上の問題を明らかにして工法選択の基礎資料を得るために行われたものである。本報告では、特に切取法面を対象をおき、切取法面の崩壊に大きく影響する土質因子を

一定にするため、先ず比較的均一な土質のマサ土を既設林道の現場に選り、法面崩落形状と法勾配、表層土の硬度と含水率等の定量的実質調査を中心に調査を実行した。

今後の問題点としては、4章で述べた調査結果をさらに整理分析すると共に、多くのデータ収集をさらに加えて、法面安定に関する基本的な考察を深め、緑化基礎整備工の種類別適用範囲を明らかにし、植生を主とした林道法面工法に対する技術的な総合評価を中心に研究を進める必要がある。