

港灣技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 78

June 1969

木材集積用レーキ模型実験

柴 生 利 夫
菊 谷 徹
岩 田 尚 生

運輸省港灣技術研究所



木材集積用レーキ模型実験

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 目 的	3
3. 実験施設、装置及び試料	3
4. 実験方法	3
5. 実験結果	9
6. 集積力の理論計算	11
7. 実験結果とその考察	16
8. あとがき	18

Model experiment by the raking instrument

Toshio SHIBAO *
Tooru KIKUYA **
Hisao IWATA ***

Synopsis

Up to the present, the Timber-Port-Loading come into operations by mankind power.

But the latest trend is a tendency mechanization in accordance with an increase of labor efficiency.

In this paper, we describe the experimental studies of some problems that is against mechanization in the Timber-Port-Loading.

The experimental conditions are follows.

Model scale: 1/4 Raking velocity: 5m/min

Materials: 3 kinds of timbers (125, 200, 250 ϕ)

The experimental studies made a through investigation of some problems that are accumulating stages by a rake and power of rakes, some fundamental characteristic of the raking instrument and etc.

We conclude from experiments and theoretical consideration described above: That is as follows.

The accumulating power of rakes is proportion to volume of timbers.

Even less power of rakes are capable of pile timbers in case their more variety in the specific gravity and diameters.

* Chief of Dredger and Construction Equipment Laboratory
** Member of Dredger and Construction Equipment Laboratory
*** Senior Research Engineer Machinery Division

木材集積用レーキ模型実験

柴 生 利 夫 *
菊 谷 徹 **
岩 田 尚 生 ***

要 旨

従来、木材の港湾荷役は大部分人力によって行なわれている。しかし最近の木材需要の増加に伴って、能率的な荷役と貯木場の効率的利用が要望されている。

神戸製鋼所より当研究所に木材集積用機械の実験依頼があり当研究所で実験を行なった。本報告は、木材集積用機械の実験結果およびそれらについての問題点を考察しまとめたものである。

木材集積用機械（レーキ）は、模型縮尺1/4を使用し、集積レーキの基本的性質、集積力と集積段数、集積力の理論計算を求めた。実験条件は、集積速度5 m/min、使用木材は、平均径、125, 200, 250mmφである。

木材の集積力は、短期実験であったため実験的な裏づけは十分に得られなかったが、（使用木材の曲がり、節が多い）理論計算より、集積力は木材の体積に比例する、集積力は木材の比重、径のばらつきが大きいほど少ないこと等が求められた。

1. ま え が き

高度の経済成長にともない木材の需要が急激に伸びて来たが、これをまかなうだけの国内資源がなく、大部分を輸入木材に頼っているのが現状である。これら輸入木材の増加に伴い木材の能率的な荷役及び貯木場の効率的利用が望まれているが、現状を調査すると旧態依然のままである。このような要望に副って神戸製鋼所において木材集積用機械の開発を行なっているが、基礎資料が皆無に近いため神戸製鋼所より当研究所に模型実験の依頼があり当機材部で受託実験を行なった。

2. 目 的

輸入船により海上に投棄され浮上している木材を従来は人力（特殊技能者）によりいかだ組をしていたが、これを機械化してより能率的に作業をするための機械の模型を製作し、木材集積用機械（レーキ）の基本的性質を得ることである。

3. 実験施設 装置及び試料（表1, 2, 図1～3 参照のこと）

1) 実験施設（港研資料No. 38参照）

a) 縮尺

模型レーキ、木材の寸法は全て実物の1/4にして実作業に近い方法で行なった。

b) 水槽

幅4 m×深さ4 m×長さ50 m

c) 索引車

索引力 4 t 走行用電動機11kW

速行速度 0.6～60m/min 無段変速

d) 集積用レーキ

図示の如くA・B型の2種類のものを使用した。

e) トラック・クレーン

吊荷重 5 t

神戸製鋼P&H 5 T C型

f) ロープ

麻製 径10mm

g) 計測関係

テンションバー・オンロ等計測機器1式

4. 実験方法

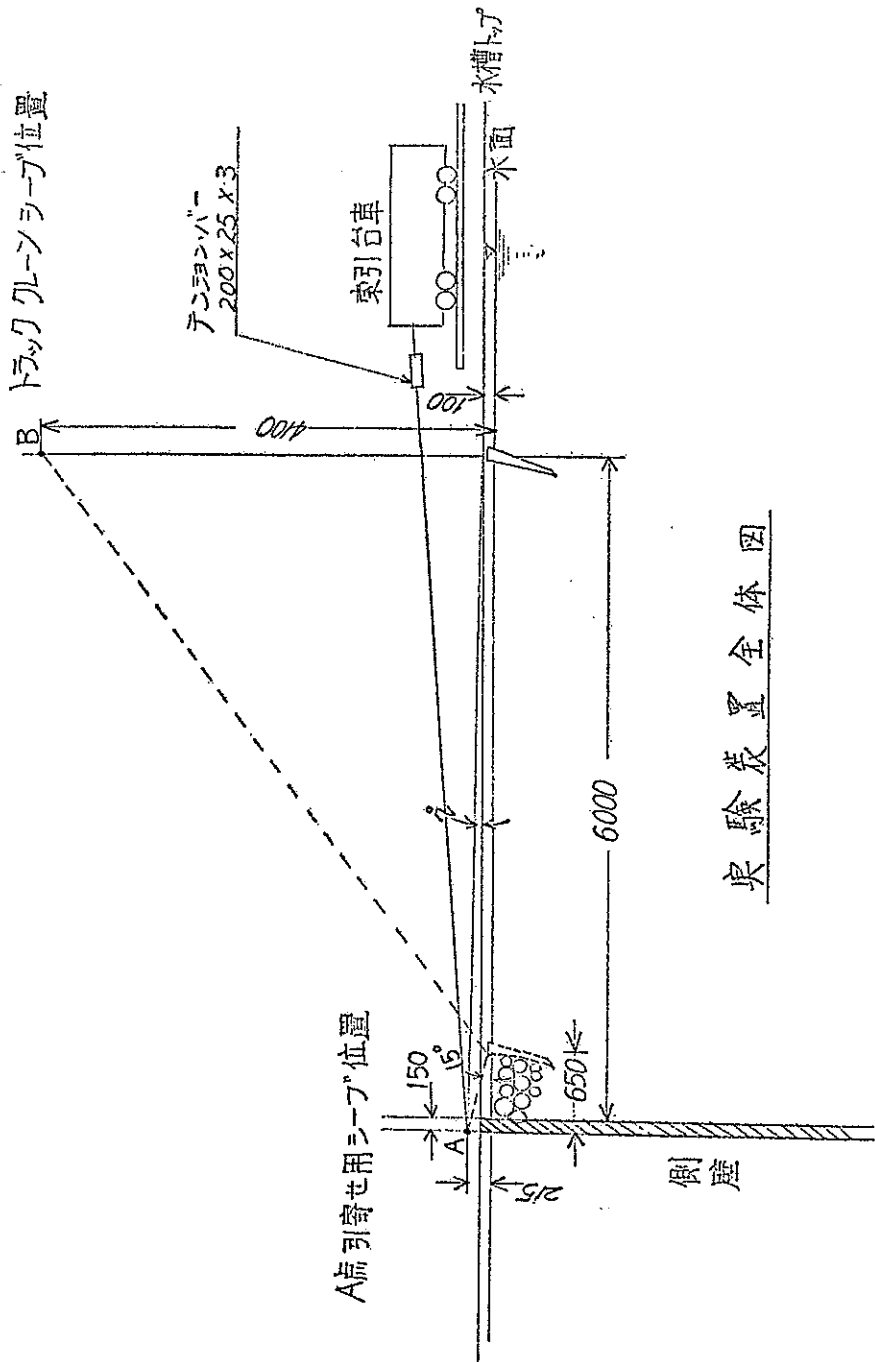
1) レーキの安定度

レーキを水面上に浮かし適当に上下、前後等に動かして、その安定を目測により観察した。なおこの場合図でも解る通りカウンターウエイトの位置、重量を変更して傾斜角度、喫水等を同時計測したが、しかしレーキ単独の安定性と実作業における引き寄せ、集積に対する最良状態との関連性が必ずしも一致しない事が判明した。レーキ単独の安定性については沈没あるいは転倒さえしな

* 機材部 作業船研究室長

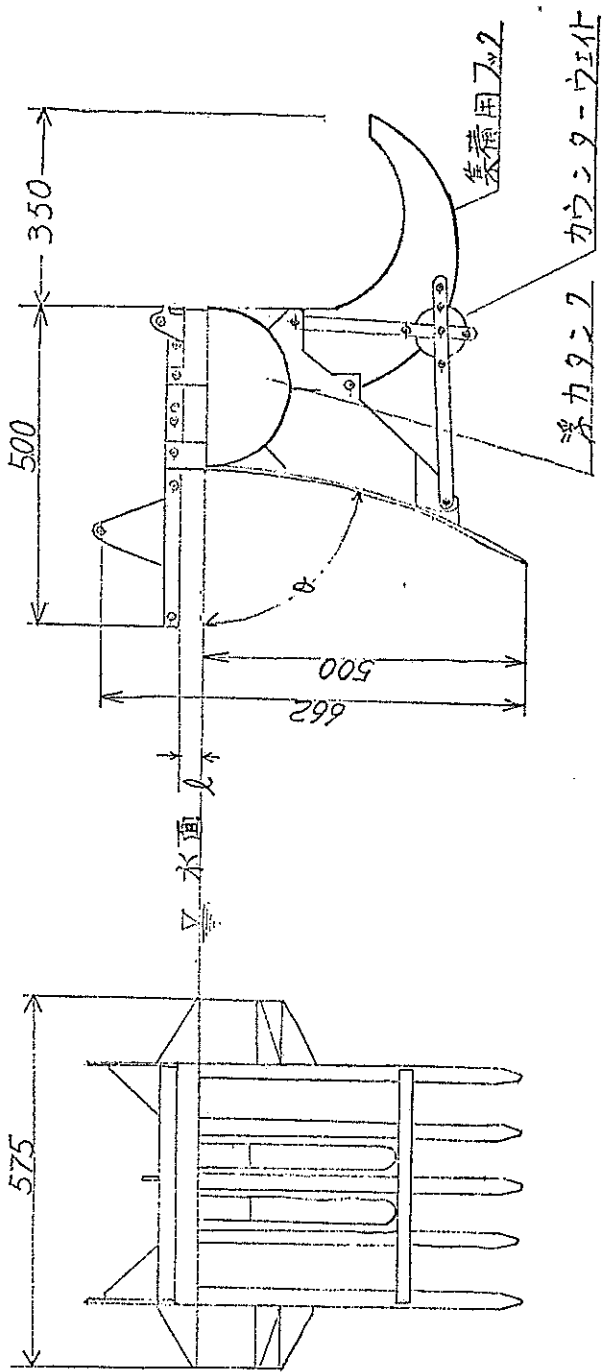
** 機材部 作業船研究室

*** 機材部 主任研究官



実験装置全体図

図-1 実験装置の全体図



AL-キ

図-2 A L - キ

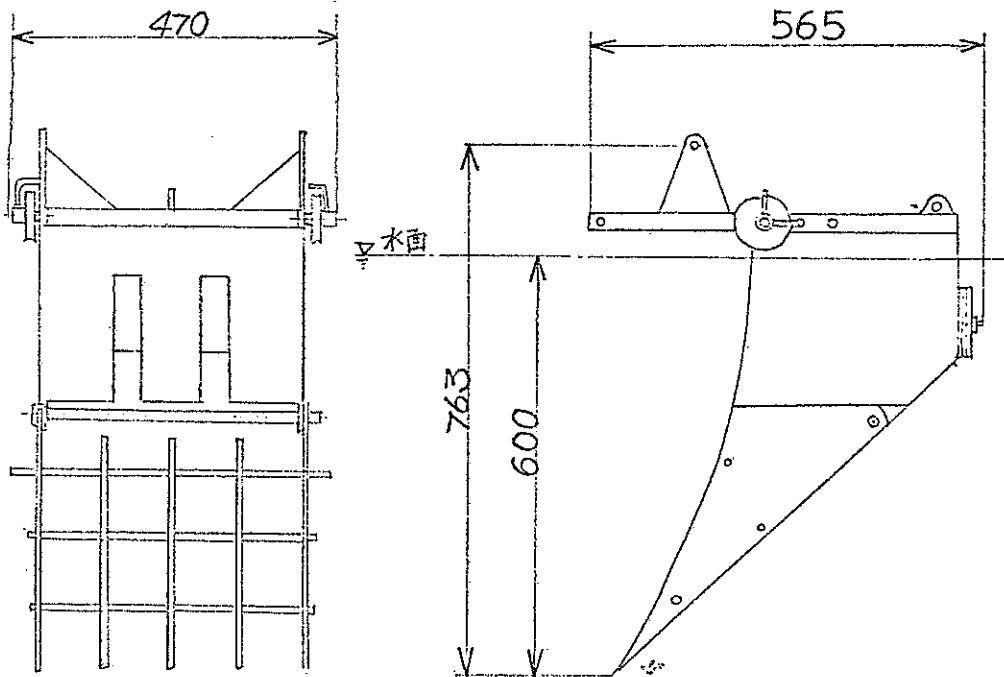


図-3 B レ - キ

B L - キ

ければ実際の作業に一番適した状態を理想の状態とすべきであることは当然と考えられ、従ってここでは極く簡単に行ない目測にとどめた。

2) 引き寄せ試験

これは散らばっている木材をいかに組みのために所定のところに持って来るもので1本或いは数本を同時に行なう。なおこの方法には種々あるが次の3つについて行なった。この場合の引き寄せに要する力は非常に小さくまた水槽の幅に比して木材の長さが長いためその影響も相当あることが予想されたため計測することは省略した。そして力で問題になるのは締めつけ時で、引き寄せ時には問題にならないことも計測しなかった理由の1つである。

(A) 単独浮遊状態での試験

この場合問題となるのは次の2点である

- ㊦ レーキのアームの下に木材がうまく入り込むかどうか、特に図2の l が小さい時にどうなるか。
なおレーキの移動速度は10m/minとした。
- ㊧ だ行しないかどうか

(B) レーキを木材の上に乗せて移動する試験

これは浮んでいる木材の上にレーキ下端を軽く乗せて木材の長手方向、あるいはその直角方向にレーキを移動



写真-1 レーキを木材の上に乗せて移動する(200φ)

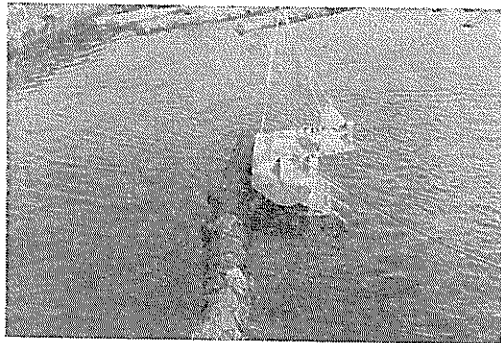


写真-2 引き寄せ専用附属金具による移動(200φ)

して木材がうまく移動するかどうかを確認した。

(C) 引き寄せ専用附属金具による方法

図2の通り専用の金具フックをレーキ後部につけ(B)とは逆に木材を吊り上げ移動させた。

3) いかだ組の実験(集積実験)

本実験は集めて来た木材をレーキにより2~3段に締付ける実験である。

(A) 締付速度

実物の速度は29m/minでこれを模型実験に使用しようとする時フルード数により決めるのが一番妥当と思われるが、この場合模型で14.5m/minと非常に速い。本実験においてこの値を採用すると非常に危険(Lが小さいため少しの停止時間のずれが大事故のもとになる)であったため5m/minに一定して行なった。又実際はインテンシブな操作を行なうものと思われるが本実験施設ではそれが出来なかった。尚写真3~8に実験写真を示す。

(B) 試料

試料として次の組合せで行なった。表1, 2参照。

1. 小径 10本
2. 小径 15本
3. 中径 10本
4. 中径 15本

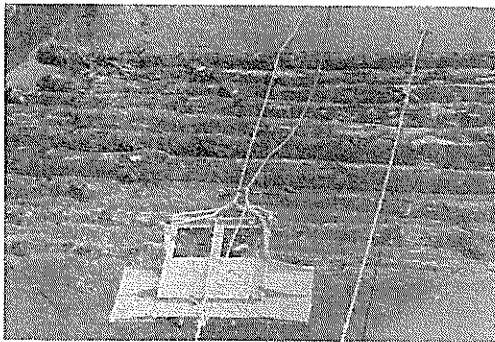


写真-3 200φ10本の引き寄せ試験

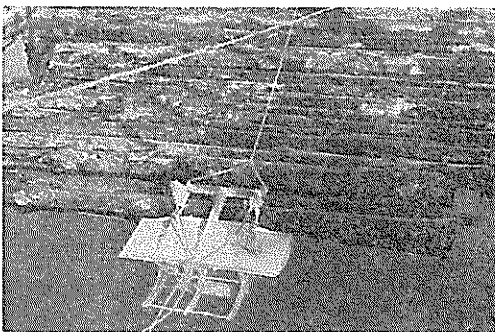


写真-4 125φ15本, 200φ5本の集積前期状態

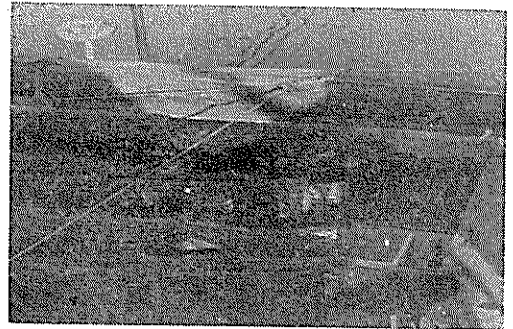


写真-5 125φ15本, 200φ5本の集積終了状態



写真-6 250φ10本の集積状態 前期

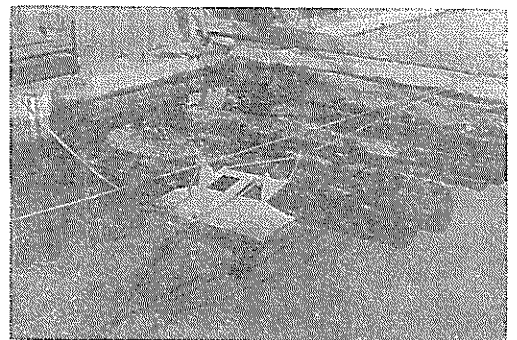


写真-7 250φ10本の集積状態 中期



写真-8 250φ10本の集積状態 後期

5. 大径 10本

6. 小径 15本 中径 5本

7. 小径 15本 中径 6本

8. 小径 15本 中径 10本

表一 木 材 寸 法 表

1. 径 125mmφ 長さ 3 m のもの

径 \ 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
根	170	120	140	152	144	140	160	130	128	170	145	130	138	138	147	143
末口	114	105	115	114	110	104	118	100	110	101	117	117	109	116	134	112
平均	142	113	128	133	127	122	139	155	119	136	131	124	124	127	141	128
差	54	15	35	38	34	34	42	30	18	69	28	13	29	22	13	31

2. 径 200mmφ 長さ 3 m のもの

径 \ 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均
根	253	240	226	180	240	230	225	210	265	190	235	235	255	260	212	239
末口	138	155	155	160	160	175	190	145	178	160	210	170	178	175	185	169
平均	196	198	191	170	200	203	208	178	222	175	223	203	217	218	198	204
差	115	85	76	20	80	55	35	65	87	30	25	65	77	85	37	70

3. 径 250mmφ 長さ 2 m のもの

径 \ 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
根	235	255	255	260	250	280	275	270	280	298	266
末口	230	210	235	230	240	260	260	260	278	270	247
平均	233	233	245	245	245	270	268	265	279	284	257
差	5	40	20	30	10	20	15	10	2	28	19

表二 試料の比重と喫水のバラツキ

	平均径	平均乾玄	比 重	ho	42-ho	(42-ho) ²
小 1	142	63	0.575	9	33	1,089
2	113	31	0.79	26	16	256
3	128	2	0.992	62	-20	400
4	133	50	0.67	17	25	625
5	127	18	0.927	46	-4	16
6	122	40	0.735	21	21	441
7	139	43	0.753	27	15	225
8	115	3	0.99	55	-13	169
9	119	45	0.667	15	27	729
10	136	5	0.986	63	-21	441
11	131	23	0.948	43	-1	1
12	124	20	0.942	42	0	0
13	124	33	0.81	29	13	169
14	127	20	0.906	42	0	0
15	141	38	0.801	34	8	64
	128		0.83	42		4,625
						308
						$\sin\theta_0=0.137$
						$\therefore \rho=0.137$

	平均差	平均乾玄	比 重	ho	42—ho	(42—ho) ²	
中 1	196	30	0.92	58	— 1	1	
2	198	50	0.818	49	8	64	
3	191	10	0.989	86	—29	891	
4	170	40	0.841	45	12	144	
5	200	38	0.882	62	— 5	25	
6	203	28	0.907	74	—17	289	
7	208	60	0.78	44	13	169	
8	178	90	0.5	0	57	3,249	
9	222	45	0.843	66	— 9	81	
10	175	33	0.847	53	4	16	
11	223	38	0.908	74	—17	289	
12	203	38	0.904	64	— 7	49	
13	217	20	0.962	89	—32	1,024	
14	218	80	0.67	29	28	784	
15	198	38	0.867	61	— 4	16	
	204		0.84	57		7,091 472	$\sin\theta_0=0.107$ 21.8 $\therefore\sigma=0.107$
大 1	233	75	0.744	42	22	484	
2	233	35	0.918	82	—18	324	
3	245	60	0.824	63	1	1	
4	245	20	0.975	103	—39	1,521	
5	245	93	0.64	30	34	1,156	
6	270	88	0.722	47	17	289	
7	268	140	0.5	0	64	4,096	
8	265	55	0.857	78	—14	196	
9	279	43	0.894	87	—33	1,089	
10	284	43	0.912	99	—35	1,225	
	257		0.80	64		10,378 1,038	$\sin\theta_0=0.125$ 32.2 $\therefore\sigma=0.125$

(C) 積重ね段数

積重ね段数を予め決定して引き寄せ集積したものでなく、次の理由により引張り力および木材の状態を見て適当なところで試験を終った。

1. 最上段の本数が4～5本となりその喫水がほぼ等しくなり静定したような場合それ以上力を増大しても集積不可能に近い。
2. 集積用ロープの引張荷重を大きくすると水槽側面の破損の危険性があったため

(D) 使用レーキ

図—2と図—3のような2種類のレーキを製作し、本実験に入る前に予備実験を行なったところ、Bレーキはレーキの形状に少し問題があったので、Bレーキでは1ケースのみ、残りはすべてAレーキで実験を行なった。

5. 実験結果

1) レーキの安定度

各カウンターウエイトの増減および位置の変更により、安定度を求めることは、前述のとおりあまり意味がないため沈没しない最大の重量のみを求めた。他方いかだ組実験より、場所は出来るだけ深くまた出来るだけ後部の方がよいことが解った。

2) 引き寄せ試験

A) 本数の少ない時は問題は少ない。しかし極端に木材端部、又は本数の多い時は、引き寄せはうまく行かない。特に10本以上となると一度だけ行し始めると加速度的に悪くなり、引き寄せ不可能になる。また心配していた木材とレーキアームのなじみは全然問題なく、アーム角度、長さ等は他の要素より決定される値にしてよいと思われた。

B) 浮遊している木材の上にレーキを乗せるため十分慎重にする必要がある。レーキ重量を少ししかかけないとすべるし、またかけすぎると木材が沈んだり、あるいはレーキが傾斜するなどの問題が

ありこの結果はあまり好ましくはなかった。

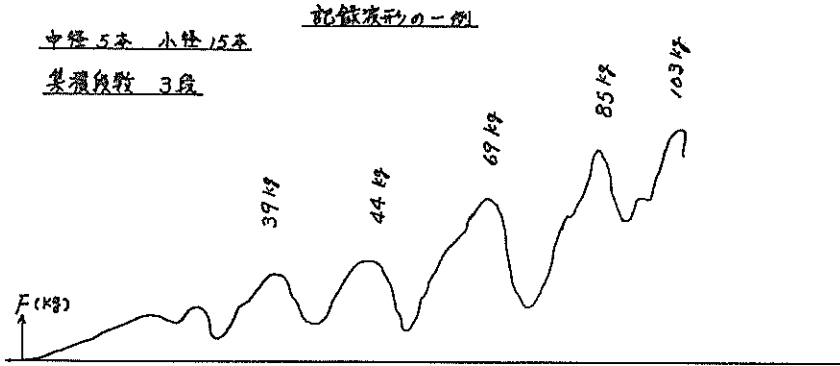
C) この場合作業自体は非常に良好であったが、唯一の問題点として、このフックと木材の相対角度によっては木材がフックにひっかからない場合もあり、この点を考慮する必要がある。

3) いかだ組実験

図一に示すようにテンションバーに歪ゲージを貼布し、荷重検定を行なった後、使用した。テン

ションバーの仕様は、板厚3mm、巾25mm、長さ250mmである。図一4には記録波形の一例を示す。集積力には、最終の力をもって示し、最終状態での集積段数を観察した。

本実験結果は表一3に示すとおりである。この実験値には非常にバラツキが大きいのが、木材の節、曲がり等が原因と言えよう。また実験によりレーキについての性質は後述の通りである。



図一4 記録波形の一例

表一3 レーキの集積力

アーム	アングル	径	木数 (本)	段数 (段)	集積力 (kg)	段数 (段)	集積力 (kg)
● 元	元	小	10本	3段	48kg		
元	元	小	15	2.5	71	4	88
				2.5	71	4	87
				3.5	80	4	114
元	元	中	10	2	95		
				2	104		
				2.5	113		
元	元	中	15	2	131	4	130
				2	141	4	168
				2.5	93		
元	元	大	10	2	141		78
元	元	小	15	3	78	3	103
		中	5	3	92	3	117
				3	101		145
元	元	小中	15	3	112	2	146
			10	2	114	2	156
				2	145		
元	+5cm	小	10	2.5	66	3.5	97

アーム	アングル	径	本数 (本)	段数 (段)	集積力 (kg)	段数 (段)	集積力 (kg)
元	+5	中	15	2.5	135		
元	+5	小 中	15 10	4	163		
10°	元	小	15	3 3	84 66	3	94
10°	元	中	15	2	176 105	2.5	127
10°	元	大	10	2	115		
-10°	元	小	15	2.5 3	116 95	3	81
-10°	元	大	10		65		119

● : Bレーキ, 他はすべてAレーキ

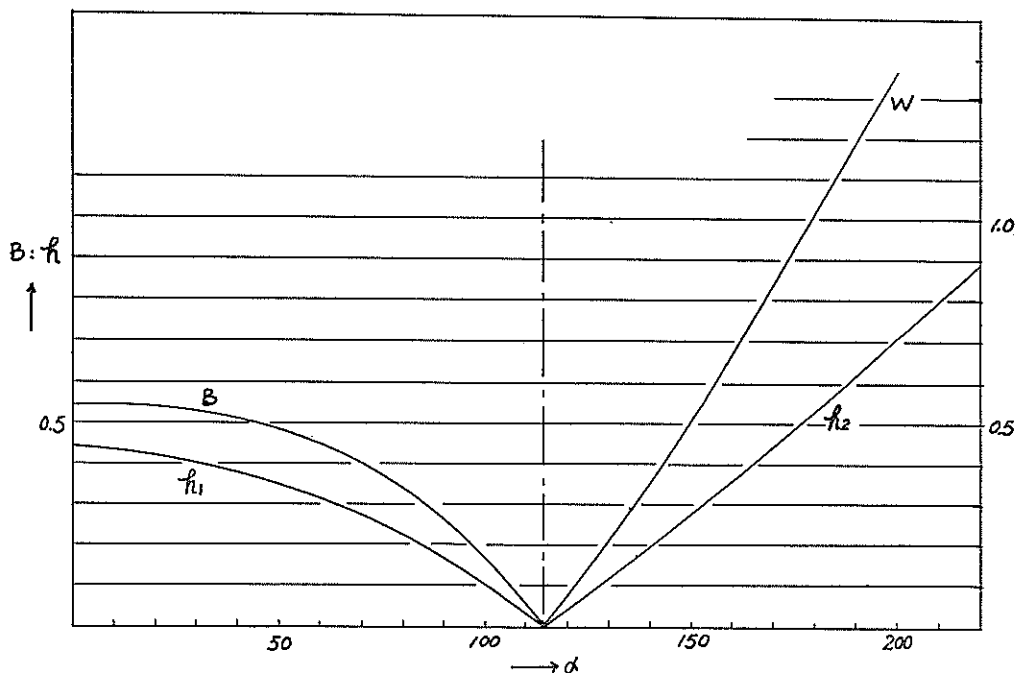


図-5 喫水変化と浮力及び重量の関係

6. 集積力の理論計算

1) 条件 (図-7は理論計算に利用するものである)

a 比重 0.83 (平均値)

b 半径 1

c 摩擦係数

木材と木材のころがり

$\mu_1 = 0$ (非常に少ないため計算を単純化するため)

木材と木材のすべり

$\mu_2 = 0.5$

木材と鋼のすべり

$\mu_3 = 0.3$ (0.6-0.2 但し乾>湿)

d 比重と喫水及び喫水と面積の関係

$$r = 1 - \frac{A_2}{A}$$

(1)

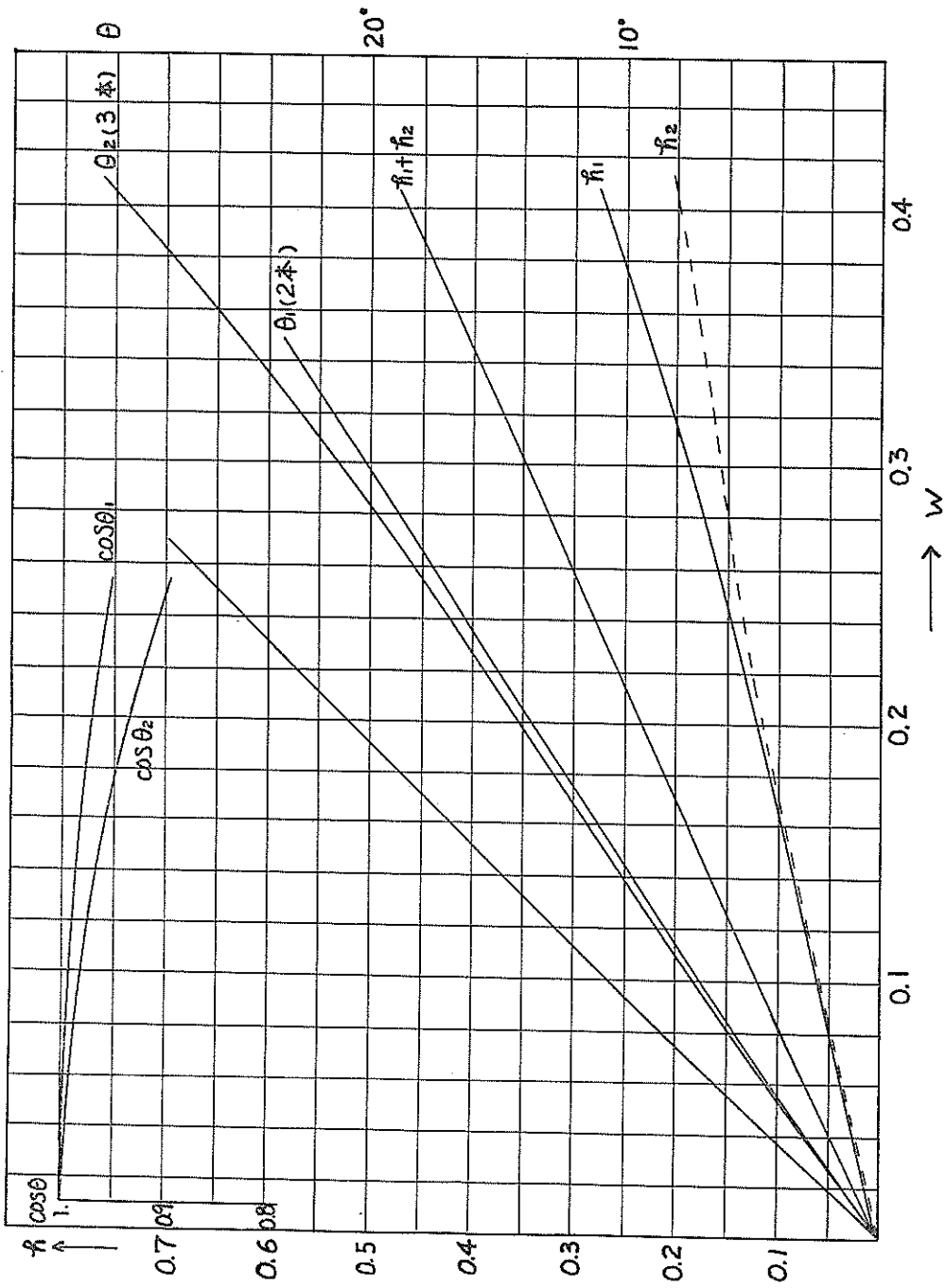


図-6 重量と喫水及び角度の関係

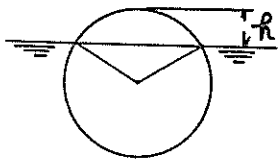


图 1

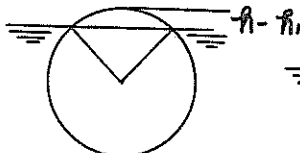


图 2

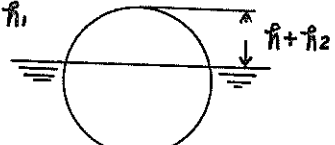


图 3

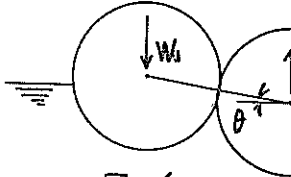


图 4

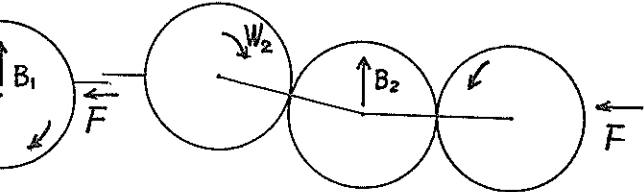


图 5

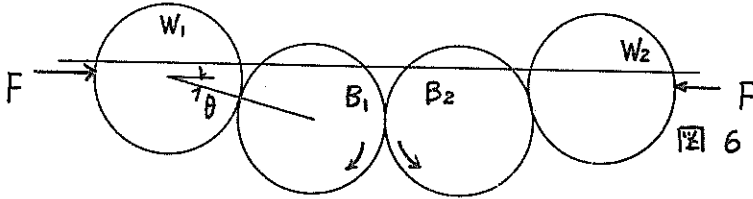


图 6

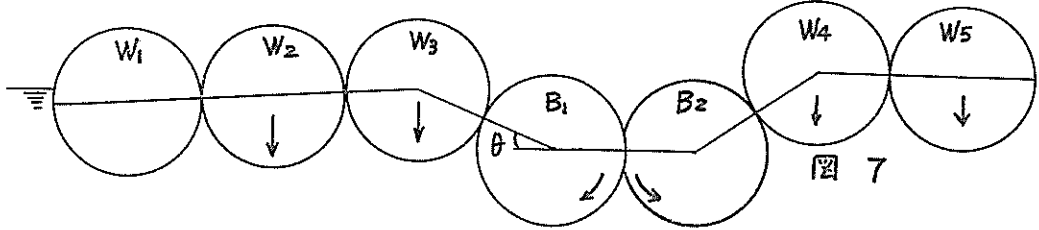


图 7

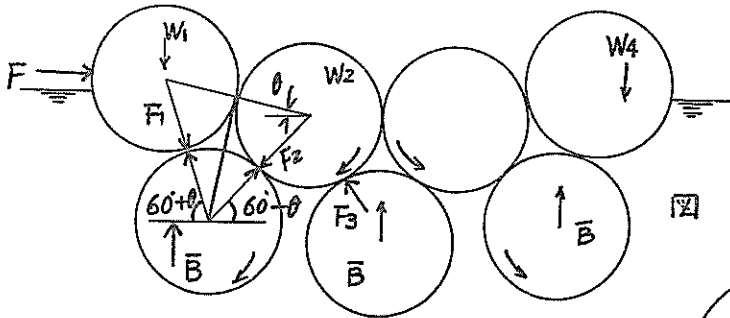


图 8

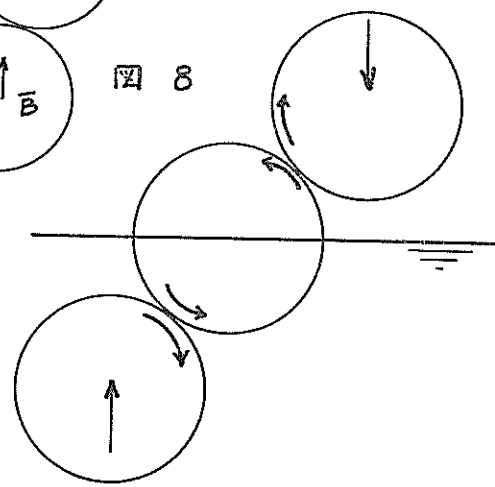


图-7 理论计算使用图

$$A = \pi$$

$$A_2 = \pi \frac{\alpha_0}{360} - (1-h)\sqrt{h(2-h)} \quad (2)$$

r : 比重

A_2 : 喫水上の面積

A : 全断面積

$$\cos \frac{\alpha_0}{2} = 1 - h$$

以上より計算すると $\alpha_0 = 114^\circ$

h_1 : 喫水増加による浮力増加 B_1 は

$$B_1 = \left\{ \pi \frac{\alpha_1}{360} - (1-h_1)\sqrt{h_1(2-h_1)} \right\} \\ - \left\{ \pi \frac{\alpha_0}{360} - (1-h_0)\sqrt{h_0(2-h_0)} \right\} \\ \text{但し } \cos \frac{\alpha_1}{2} = 1 - h_1 \quad (3)$$

h_2 : 喫水減少に伴う重量 W_1 は

$$W_1 = \left\{ \pi \frac{\alpha_0}{360} - (1-h_0)\sqrt{h_0(2-h_0)} \right\} \\ - \left\{ \pi \frac{\alpha_0}{360} - (1-h_2)\sqrt{h_2(2-h_2)} \right\} \\ \text{但し } \cos \frac{\alpha_2}{2} = 1 - h_2 \quad (4)$$

(3), (4)式の計算式が複雑なためこれを数値計算して、グラフ化したものが図-5, 図-6である。

2) 2段集積

a) 2本の場合

θ : 浮いている木材と沈んでいる木材の中心に結んだ線が水平とのなす角度

B : 浮力

W : 重量

図7-4より0点に関するモーメントは

$$B_1 \cos \theta + F \mu_3 (1 + \cos \theta) = F \sin \theta \quad (5)$$

$$B_1 = W_1 \quad (6)$$

$$\therefore F = \frac{W_1 \cos \theta}{\sin \theta \mu_3 (1 + \cos \theta)} \quad (7)$$

$$= \frac{W_1 \cos \theta}{\sin \theta - 0.3 - 0.3 \cos \theta} \quad (7)-1$$

$$\text{しかるに } \sin \theta - 0.3 - 0.3 \cos \theta > 0 \quad (8)$$

でなければ集積不可能である。

$$\therefore > 33^\circ 30'$$

しかるに図-6より2本の時は $\theta = 21^\circ 40'$ で他の1本が水没してしまうため集積不可能である。

但し以上の計算は比重、径が全く同一と仮定した時の計算である。次にこれらの値の平均差が θ_0 の場合について考えると(5)式は

$$B_1 \cos \theta + F \mu_3 [1 + \cos (\theta + \theta_0)] = F \sin (\theta + \theta_0) \quad (5-1)$$

$$F = \frac{W_1 \cos \theta}{\sin (\theta + \theta_0) - \mu_3 [1 + \cos (\theta + \theta_0)]} \quad (7-1)$$

$$\sin (\theta + \theta_0) - 0.3 [1 + \cos (\theta + \theta_0)] > 0 \quad (8-1)$$

が成立しなければならない。この時について計算すると、

$$\sin \theta (\cos \theta_0 + 0.3 \sin \theta_0) + \cos \theta (\sin \theta_0 - 0.3 \cos \theta_0) - 0.3 > 0 \quad (8-2)$$

となる。

b) 3本の時

図7-5場合(7-1)と全く同じになり

$$F = \frac{W_2 \cos \theta}{\sin \theta - 0.3 - 0.3 \cos \theta} \quad (7-b-1)$$

図7-5'の場合

$$2F \sin \theta = 2W \cos \theta$$

$$F = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} W \quad (9)$$

故に(9)式で集積されることになる

今 θ が小さい時を考えると

$$\cos \theta \doteq 1 \quad \sin \theta \doteq \theta$$

また、図-5が直線と考えると

$$B_1 = a \theta$$

となり

$$F = \frac{1}{\theta} a \theta$$

$$= a \quad (10)$$

故に微小角を考えると、 F_4 は θ に無関係であることが解る。

c) 4本の時

図7-6のようになり、モーメントのバランスを考えると

$$B_1 \cos \theta = F \sin \theta \quad (11)$$

$$F = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} B_1 \quad (9')$$

θ が小さい時を考えると

また図-5が直線と考えると、 $B_1 = a \theta$

$$\text{となり } F = \frac{1}{\theta} a \theta = a \quad (12)$$

となり3本と同じになる。但し後述のとおり実際の喫水差を確率的に求めるとその値が大巾に小さくなる。

d) 5本の時 図7-7参照

$$F = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} W_1 \quad (13)$$

しかるに $W_1 + W_2 + W_3 = 2B_5$

の関係があり、いま $W_2 = W_3 = 2W_1$ と仮定すると

$$2.5W_3=2B_5$$

又前の図-5が直線と考えると

$$\sin \theta_5 = \frac{1}{1h_1 + 1.25h_2} \quad \sin \theta_4 = \frac{1}{h_1 + h_2}$$

$$\sin \theta_5 = \frac{2.25}{2} \sin \theta_4$$

θ が小さい時は $F_5 = F_4 \cdot \frac{2}{2.25}$

e) N 本の時

$$F_n = K_n F_4 \quad (14)$$

とおいて、 K_n を求めると

$$K_n = \frac{2N+4}{3N} \text{ となり}$$

$$F_n = \frac{2N+4}{3N} \cdot F_4$$

f) 当初より θ_0 だけ傾斜している場合

$$F'_4 = \frac{\cos \theta}{\sin(\theta_0 + \theta)} B_1 \quad (15)$$

$$\frac{F'_4}{F_4} = \frac{\sin \theta}{\sin(\theta_0 + \theta)} = K \text{ とおくと}$$

$$F'_4 = KF_4 \quad (16)$$

$${}_2F'_4 = \frac{\cos \theta}{\sin(\theta_0 + \theta)} B_1 \quad (17)$$

これから2段積みの一般式を書くと、

$${}_2F_n' = \frac{\cos \theta}{\sin(\theta_0 + \theta)} B \frac{2N+4}{3N} \quad (18)$$

$$B = 0.02\theta \text{ (図-1, 2より)}$$

$$\therefore {}_2F_4 = \frac{\cos \theta \cdot 0.02\theta \cdot (2N+4)}{\sin(\theta_0 + \theta)(3N)} \quad (19)$$

3) 3段積みの場合(7本の時)

図7-8より 但し \bar{B} =全没の時の浮力

$$F \sin \theta + W_2 \cos \theta = F_2 2 \cos 30^\circ \sin 30^\circ + F_2 \mu_2 + F_3 \mu_2 + \frac{\bar{B}}{2}(1 + \cos \theta) \quad (20)$$

$$F \sin \theta + W_2 \cos \theta = F_2(2 \sin 30^\circ \cos 30^\circ + \mu_2) + F_3 \mu_2 + \frac{1}{2} \bar{B}(1 + \cos \theta) \quad (21)$$

しかるに $F_3 = \frac{\bar{B}}{\sqrt{3}}$

$$\left. \begin{aligned} F_2 \cos(60^\circ - \theta) &= F_1 \cos(60^\circ + \theta) \\ F_2 \sin(60^\circ - \theta) + F_1 \sin(60^\circ + \theta) &= \bar{B} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$$\therefore F_2 = \bar{B} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cos \theta - \sin \theta \right) \quad (23)$$

但し $\sqrt{\frac{1}{3}} \cos \theta > \sin \theta$ の時のみ成立

$$F = \frac{\bar{B}(0.58 \cos \theta - \sin \theta) \left(\sqrt{\frac{3}{2}} + \mu_2 \right) - W_2 \cos \theta +}{\sin \theta}$$

$$\frac{\bar{B}}{\sqrt{3 \cdot 2}} + \frac{1}{2} \bar{B}(1 + \cos \theta)$$

しかるに $1.5\bar{B} = W_1 + W_2$

$$\bar{B} = 0.54 \text{ (比重 } 0.83 \text{ の時)}$$

であるが θ が小さい時は $W_1 = W_2$

$$W_2 = (\bar{B} - 0.02\theta) \times 0.75 = 0.405 - 0.015\theta$$

$$\therefore {}_3F_7 = \frac{0.426 - 0.73 \sin \theta + \cos \theta (0.289 - 0.0115\theta)}{\sin \theta} \quad (24)$$

但し $\mu_2 = 0.5$ と仮定

7本以上の場合は前と同じく

$${}_3K_n = \frac{2N+7}{3N}$$

$${}_3F_n = {}_3F_7 \times \frac{2N+7}{3N}$$

当初より θ_0 傾斜していると

$${}_2F_7 \theta_0 = \frac{0.426 - 0.73 \sin \theta + \cos \theta (0.289 - 0.0115\theta)}{\sin(\theta_0 + \theta)} \quad (25)$$

$$\frac{{}_3F_7 \theta}{{}_3F_7} = K_n' \text{ とおくと } K_n' = \frac{\sin \theta}{\sin(\theta_0 + \theta)}$$

$$\begin{aligned} {}_3F_7 \theta &= {}_3F_7 \theta \times K_n' \\ &= \frac{0.426 - 0.73 \sin \theta + \cos \theta (0.289 - 0.0115\theta)}{\sin \theta} \times \frac{\sin \theta}{\sin(\theta_0 + \theta)} \\ &= \frac{0.426 - 0.73 \sin \theta + \cos \theta (0.289 - 0.0115\theta)}{\sin(\theta_0 + \theta)} \quad (26) \end{aligned}$$

今 $\theta = 0$ の時の力を求めると

$${}_3F_N \theta_0 = \frac{0.715}{\sin \theta_0} \cdot \frac{2N+7}{3N} \quad (27)$$

以上により3段にするための所要力 P は

$${}_3P_N = \frac{0.715}{\sin \theta_0} \times \frac{2N+7}{3N} \times V \times \frac{1}{\pi} \quad (28)$$

ここで P : 所要力(t)

V : 木材1本の体積(m³)

N : 木材の本数

θ_0 : 初期の傾斜角

又(28)式の条件として最終の1段上の本数が4本以上全体の本数が7本以上の場合のみ成立する。

4) 丸太の径、比重のバラツキによる確率計算

a) 条件

各丸太の平均径, σ^2 , σ は表2のとおりである。

b) 丸太の本数による確率

平均値 μ_1 より少なくとも $\lambda\sigma$ の範囲のものが1本出る確率は m 本の時

$$K=1-K_1^m \quad (4-1)$$

但し m :丸太の最上段の本数

K_1 : $\lambda\sigma$ の範囲に1本が出ない確率

今丸太の分布が正規分布と考えると

$$K_1=2\int_0^\lambda \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt \quad (4-2)$$

$$K=1-(2\int_0^\lambda \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt)^m \quad (4-3)$$

なお $2\int_0^\lambda \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt$ について計算が複雑なため

数表によることにする。

今集積可能確率と所要力をケース別に求めてグラフに表わすと

c) 小径の場合

表-4 λ と K_1 との関係

λ	K_1	λ	K_1	λ	K_1
0	0	0.7	0.516	1.4	0.838
0.1	0.080	0.8	0.576	1.5	0.866
0.2	0.159	0.9	0.632	1.6	0.890
0.3	0.236	1.0	0.683	1.7	0.911
0.4	0.311	1.1	0.729	1.8	0.928
0.5	0.383	1.2	0.770	1.9	0.943
0.6	0.451	1.3	0.806	2.0	0.954

$$V=3.68 \times 10^{-2} \quad \sigma=0.137$$

①10本の場合 $m=5$ (∵最終状態が4本となるから)

$$F_{10}^{\text{小}} = \frac{0.715}{\sin\theta_0} \cdot \frac{27}{30} \times 3.68 \times 10^{-2} \cdot \frac{1}{3.14}$$

$$= \frac{7.5}{\sin\theta} \times 10^{-3} \text{ ton} = \frac{7.5}{\sin\theta_0} (\text{kg})$$

$$\sin\theta_0 = 0.137\lambda$$

$$F_{10}^{\text{小}} = \frac{55}{\lambda} \text{ kg} \quad (4-4)$$

$$K=1-K_1^5$$

②15本の場合

$$F_{15}^{\text{小}} = \frac{55}{\lambda} \times \frac{37}{45} \cdot \frac{30}{27}$$

$$= \frac{1}{\lambda} \cdot 50 (\text{kg})$$

$$F_{15}^{\text{小}} = 1-K_1^6 \quad (4-5)$$

d) 中径の場合

$$V=\pi \times 3 \times 10^{-2} \quad \sigma=0.107 \quad m=5 \text{ (10本)}$$

$$= 6 \text{ (15本)}$$

$$F_{10}^{\text{中}} = \frac{0.715}{\sin\theta_0} \cdot \frac{27}{30} \cdot 3 \times \pi \times \frac{1}{\pi} \times 10^{-2}$$

$$= \frac{19}{\sin\theta_0}$$

$$= \frac{179}{\lambda} \text{ kg} \quad F_{15}^{\text{中}} = \frac{153}{\lambda} \text{ kg} \quad (4-6)$$

e) 大径の場合

$$V=9.81 \times 10^{-2} \quad \sigma=0.125 \quad m=5$$

$$F_{10}^{\text{大}} = \frac{0.715}{\sin\theta_0} \cdot \frac{27}{30} \cdot 9.81 \times 10^{-2} \cdot \frac{1}{\pi}$$

$$= \frac{160}{\lambda} \text{ kg} \quad (4-7)$$

となりこれをグラフ化したものが図7である。

5) 比重による集積力の影響

今迄は比重0.83と当初から決めて計算して来たがこれにより集積力が大きく変化することは明らかである。

この問題について丸太の面積計算が複雑であるため今回はグラフによって求めたため正確な数式によりこの影響を求めることはやらなかった。

6) 実験による集積力と計算値について

表-3の実験値と図8の計算値を比較するとこれらは確率計算であるため実験回数多数でない正確には判断出来ないが実験値の方がいくぶん高く出ているように思われる。しかし試料は多数の節があったことおよびいくぶん曲っていたためと思われ実物の計算においてもこの方法でよいのではないかとと思われる。

7. 実験結果とその考察

前述の通り今回の実験はレーキの形状関係について主眼をおき、集積時の木材の動き、集積力については二次的に考えたためデータとしては非常に物足りない感を免れないが大体次のことが解った。

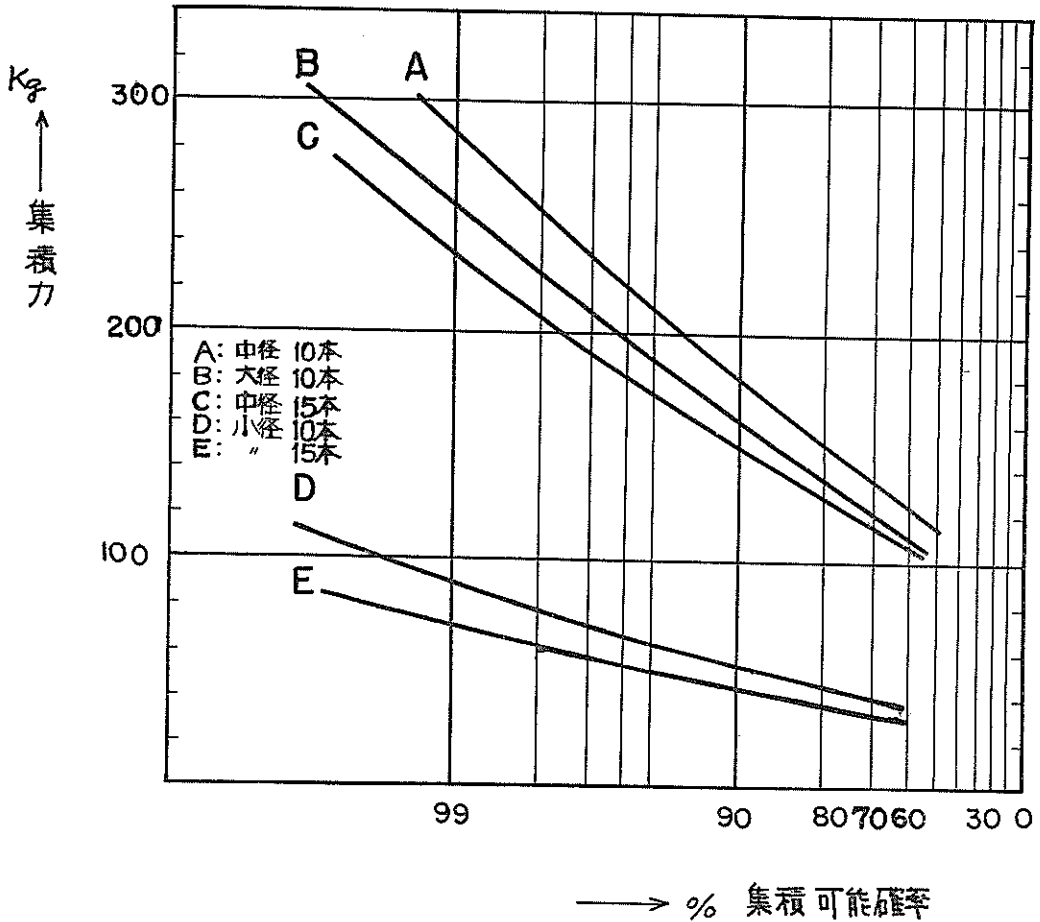
1) 形状について

a) レーキ本体の大きさは大きいほど作業がスムーズである

b) レーキの乾玄はレーキ自体沈下しない限り小さい方がよいまた逆にこれは重いほどよい事を示す

c) カウンターウエイトはb)の通り大きい方がよいまた場所は出来だけ下方でしかも木材の接する場所より遠い方がよい

d) レーキ自体の浮遊時の安定性よりも集積時の安定性に重点をおくべきである



図一八 集積可能確率と集積力

- e) アームの長さについては転倒を考慮して少なくとも木材の径の約1.2~1.5倍程度必要である。
 f) つめの長さ L は木材径 D 集積段数 N とすると

$$D + \frac{\sqrt{3}}{2} D(N-1) < L < ND$$

の範囲であればよい

- g) つの本数は今回は3本、5本の両方を実験したがどちらも同じような結果であった
 h) 爪の角度 ϕ (図2参照) はレーキが転倒するかどうかについて大きく左右するもので非常にレーキ設計時重要な問題である。爪が直線の場合木材の径の大小に関係なく木材とレーキの接触角が一定である反面木材の下方への逃げを考えた場合よろしくない。従ってレーキのつめにアールを持たせるがこの場合木材の径によって接触角が変化する。この ϕ が木材径に比べ小さい場合レーキに

木材がくい込むようになり回転によりレーキも転倒することになる。従って木材径によってこの最適の半径にしなければならない。従って専用レーキの場合問題がないが、多種類の径の木材を扱う場合問題が残る。尚最適アールとはレーキと木材が接触部で自由に回転出来る反面木材がレーキに対して相対的に下方に出来るだけ移動しない値であることである。

- i) つめには滑り止めをつけてはよくない(木材の回転に対する自由度を与えないため)
 j) アーム先端と水面との垂直距離はいくら少なくてもくいこみの点で問題はない
 k) 引き寄せ専用付属金物は有効であるが3本のつめは逆に集積可能角度(レーキと木材との平面上の角度)が少なくなるので1本の方が良い
 2) 締めつけ方

※1. 実験回数が少なかったため実験値からは明確には出てこないが計算式からは次のことが言える。

- a) 締めつけ力は木材の体積に比例する
- b) 締めつけ力は確率論的に見た場合締付時の最上段の本数により変化し多くなるほど確率論的に減少する。
- c) 締めつけ力は比重、径のバラツキが大きいほど少ない
- d) 締めつけ力は比重が0.5の時が最高でこれよりどちらに移っても少くなる

あとがき

今回の実験は時間的に大きく制約があったため実験回数が非常に少なく、また計測項目も少なくして実用化についての資料を早くまとめる方向で行なったため必ずしも十分な数値を得ることが出来なかったが、レーキについての基本的性質は十分把握出来たものと思う。従って詳細な資料を得るためには今後ともこのような実験を行なうことが必要であろう。なお本実験に際し石塚技官に協力を得たことを附記する。

(1967・4・7受付)

港湾技研資料 No. 78

1969・6

編集兼発行者 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 中和印刷株式会社
東京都中央区入船町2丁目3番地

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.