震災豫防調査會報告　第六十一號

木材ノ結局曲ゲ强サト田中公式別紙ノ通リ提出致候也

明治四十年十一月

震災豫防調査會囑託

工學士　田中不二

震災豫防調査會長工學博士　眞野文二殿

木材ノ結局曲ゲ强サト田中公式

震災豫防調査會囑託

工學士　田中不二

梁ガ曲ゲニ抵抗スル强サヲ表ハス通常ノ公式ハ

$$M = f\frac{I}{y}$$

式中　M ハ曲ゲもーめんと、

f ハ曲ゲ强サノ係數、

I ハ横斷面ノ幾何的慣性もーめんとニシテ其中立軸線ニ對シテ測リタルモノ、

y ハ中立軸線ヨリ横斷面ノ邊ニ至ル最大距離、

ナリ。而シテ横斷面ガ幅 b 厚サ h ナル矩形ノトキハ右ノ公式ハ

$$M = \frac{1}{6} f b h^2 \quad \cdots\cdots(1)$$

ニテ表ハサル。元來此關係ハ内力（Stress）ガ歪ミ（Strain）ニ正比例シテ起ルモノナリト云フ假定ニ本ツキテ成リ立チタルモノニシテ彈性極度以内ニ於テノミ正シキナリ、然ルニ一般材料ガ梁トシテ働キ、彈性極度ヲ越テヨリ破壞セントスル

狀況ニ達スルマデ其梁内ニ生ズル所ノ内力ト歪ミトノ關係ハ斯ノ如ク簡單ナラズ、隨ツテ其結局强サニ對スル公式ハ大ニ變更ヲ要スルモノナレドモ未ダ適當ナル形式ノモノアルヲ聞カズ、因ツテ前掲ノ式ヲ以テ結局强サヲモ表ハスモノト假定シテ從來一般ニ使用セラル。

今、材料ノ曲ゲ試驗ニ於テ (1) 式ノ如キモノヲ用ヰテ結局曲ゲ强サノ係數 f ヲ見出シタリトスレバ、其 f ノ値ハ内力ガ歪ミニ最後マデ正比例シテ起リタルモノト假定シタルモノナリ。此假定ノ下ニ木材ノ曲ゲ試驗成績ヨリ結局强サ f ヲ計算スレバ其値ハ木材曲ゲ試驗片ノ厚サ h ノ大小ニヨリテ著シキ差異アルヲ認ムベシ。例ヘバ第二表欅ノ成績ニ於テ

h ガ	·5 吋ナルキ	f ハ一平方吋ニ付キ平均	17,290 封度
h 〃	1·47 〃	〃 f 〃	11,860 〃
h 〃	2·25 〃	〃 f 〃	10,880 〃
h 〃	7·00 〃	〃 f 〃	8,750 〃

ナリ。即チ (1) 式ニヨリテ計算セル f ノ値ハ厚サ七吋ナルトキニハ、厚サ〇·五吋ノトキノ二分ノ一ナルヲ見ル。其他ノ材料ニ於テモ同樣ニ、厚サノ大小ガ結局强サノ値ニ大ナル影響ヲ有スルヲ見ルベシ。隨ツテ今梁ヲ設計スルニ方リテモ其 f ノ値ノ採用法ニハ大ニ考慮ヲ要シ、其設計物ノ大サニ略等シキ梁ヲ以テ試驗シタル成績ニ憑據スルニ非レバ確實ナル結果ヲ得ル能ハズ。故ニ漫然 f ノ値ヲ取リ、所定ノ安全率ヲ以テ設計シタリトスレバ場合ニヨリ實際ノ安全率ハ所定ノ二分ノ一位ニ減却スルノ虞ナシト云フベカラズ、豈ニ危險ナラズヤ。

然ラバ h ト f トノ關係如何ト云フニ、今日マデ發表セラレタル試驗成績ニ於テ明示セルモノナキガ如シ、之レ設計者ノ大ニ遺憾トスル所ナリ。是ニ於テ東京帝國大學工科大學機械工學科ニ於テハ工學博士井口教授ノ考案ニヨリ、諸種ノ大サヲ有スル梁ノ試驗片ヲ作リ强弱試驗ヲ行フコト前後六年ニ渉リ、其間又震災豫防調査會囑託林學士諸戸北郎氏ハ四吋乃至八吋角ナル大形試驗片ノ供給ヲ得テ著者ト共ニ東京工科大學實驗室ニ於テ曲ゲ試驗ヲ行ヒタリ。此等ノ試驗ハ未ダ完結スルニ至ラズ、又其結果ハ尚研究ノ途ニアリ。

然ルニ此間ニ於テ、曲ゲもーめんとト h トノ關係ヲ知ランガ爲メニ同一原材ヲ以テ梁間 (Span) 及ビ梁ノ幅ノ一定ナル試驗片(鹽地材)ヲ作リ、之ヲ曲ゲ試驗ニヨリテ破壞シタルニ其結果ハ第一表ノ如クナリタリ。而シテ本試驗ニ於テ梁ハ兩端ニ於テ支ヘラレ、中央ニ荷物ヲ掛ケタル場合ナルヲ以テ

$$M = \frac{1}{4} Wl \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

式中　M　ハ曲ゲもーめんと、

W　ハ梁ニ掛ケタル荷物、

l　ハ梁間、

ナリ。今、更ニ矩形横斷面ノ材料ガ曲ゲニ抵抗スル强サヲ表ハス關係ヲ

$$M = \frac{1}{6} f' bh^n \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ト假定シ、(2) 式ト結合スレバ

$$\frac{3}{2}\frac{Wl}{b} = f' h^n,$$

或ハ

$$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right) = \log f' + n \log h \cdots\cdots (4)$$

トナル。此關係ニ隨ヒ第一表ノ末行ニ示ス如ク $\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$ 及ビ $\log h$ ヲ計算シテ諸點ヲ配記シ線圖ヲ作リタルニ第一圖ノ如クナレリ、幅二吋、三吋、何レモ直線ヲ以テ表ハスニ適當ニシテ、(3) 式中 n ナル指數ヲ見出スヲ得ルト同時ニ f' ナル曲ゲ强サノ新係數ヲモ知ルヲ得タリ、其結果ハ

$$n = 1{\cdot}82$$

$$\begin{cases} f' = 11{,}500 \text{ 封度毎平方吋(幅二吋ノトキ)} \\ f' = 13{,}200 \text{ 封度毎平方吋(幅三吋ノトキ)} \end{cases}$$

$$f' = 12{,}300 \text{ 封度毎平方吋(平　　均)}$$

ナリ。此試驗ニ於ケル梁ノ厚サハ〇•五吋ヨリ二•五吋マデノ小試驗片ナリ。因テ尙一層 (3) 式ノ適當ナリヤ否ヤヲ確ムル爲メニ前述ノ諸試驗及ビ既ニ發表セラレタル本邦木材ノ曲ゲ試驗ノ成績ヲ綜合シ、欅材ニ對シ第二表ヲ得タリ。之ヨリ (4) 式ニ隨ヒ各對數ヲ取リテ線圖ニ配記スレバ第二圖ノ如クナリ、厚サ〇•五吋ヨリ七•一吋マデノ間ノ諸點ハ殆ド一直線上ニアルヲ知レリ。欅ニ對スル値ハ

$$n = 1{\cdot}75$$

$$f' = 14{,}500 \text{ 封度毎平方吋。}$$

其他ノ木材ニ就テモ亦同樣ナル結果ヲ得タリ。即チ (3) 式ナル假定ハ實驗上適當ナル形式ニシテ、木材ノ結局曲ゲ强サヲ表ハシ、n ハ木材ノ種類ニヨリテ固有ノ値ヲ有ス。右ノ公式 (3) ヲ『**材木ノ結局曲ゲ强サヲ表ハス田中公式**』(Tanaka's formula for ultimate bending strength of timber) ト稱スベシ。

今本邦產ノ木材中、松、樅、杉、椹(ヒバ)、檜、椹(サハラ)、栗、欅、櫸(ヤチダモ)ニ就テ前述欅ノ場合ニ於ケルガ如ク大小各種ノ試驗片ニ對スル

平均結果ヲ示セバ第三表ノ如ク、之等ニ對スル線圖ハ第二圖乃至第十圖ノ如シ。

實用ニ便ニスル爲メ此等ノ結果ヲ一括スレバ、第四表ニ示ス如シ。此表中ノ n 及ビ f' ヲ採リ (3) 式ヲ用ヰテ構造部ノ大サヲ算定スルトキハ普通ノ (1) 式ニヨリテ設計スルヨリモ安全率ノ確實ナルハ明瞭ナリ。

（明治四十年十一月）

（終リ）

第一表　曲ゲ試驗　鹽地　（此表中ノ試驗片ハ皆同一原材ヨリ作レリ）

b 吋	h 吋	l 吋	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	$f=\frac{3}{2}\frac{Wl}{bh^2}$ 一平方吋ニ付キ封度	$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$	$\log h$
1·97	·502	20	36·1	1,586,000	10,570	3·426	−·299
1·95	·75	,,	35·3	1,702,000	15,450	3·939	−·125
1·95	1·00	,,	34·9	1,243,000	10,460	4·020	0
1·97	1·226	,,	35·8	1,344,000	10,450	4·196	·089
1·95	1·47	,,	36·9	1,432,000	12,780	4·442	·167
1·955	1·71	,,	33·7	1,171,000	12,600	4·566	·233
1·98	1·95	,,	35·4	1,255,000	11,390	4·636	·290
1·97	2·45	,,	35·3	530,800	7,989	4·680	·389
		平均	**35·4**	**1,280,000**			
2·95	·49	20	33·6	1,758,000	14,830	3·551	−·310
2·93	·74	,,	34·1	1,668,000	13,480	3·868	−·131
2·98	·98	,,	35·8	1,660,000	13,890	4·125	−·009
2·93	1·24	,,	34·4	1,297,000	11,740	4·257	·093
2·93	1·48	,,	33·4	1,298,000	11,600	4·406	·170
2·96	1·73	,,	36·0	1,073,000	12,850	4·585	·238
		平均	**34·5**	**1,460,000**			

第二表　曲ゲ試驗　欅　（其一）

b 吋	h 吋	l 吋	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	$f=\frac{3}{2}\frac{Wl}{bh^2}$ 一平方吋ニ付キ封度	$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$	$\log h$
·5	·5	6·97	43·9	1,260,000	17,260	3·632	−·301
·5	·5	6·94	44·5	1,352,000	17,130	3·630	,,
·5	·5	7	43·9	1,315,000	16,540	3·619	,,
·5	·5	7	43·9	1,460,000	18,200	3·664	,,
·5	·5	7	44·5	1,460,000	17,310	3·636	,,
		平均	**44·1**	**1,369,000**	**17,290**	**3·635**	**−·301**
1·0	1·0	13·88	43·3	1,485,000	15,710	4·186	0
1·0	1·0	13·91	46·2	1,309,000	14,730	4·168	0
1·0	1·0	13·94	43·3	1,616,000	16,720	4·223	0
1·0	1·0	13·91	43·1	1,119,000	13,960	4·175	0
1·0	1·0	13·81	45·4	1,243,000	13,950	4·145	0
		平均	**44·3**	**1,354,000**	**15,010**	**4·179**	**0**
1·38	1·38	19·13	41·9	1,242,000	13,400	4·404	·138
1·39	1·39	19·25	41·6	1,331,000	15,430	4·474	·143
1·38	1·38	,,	43·6	1,362,000	17,260	4·517	·140
1·38	1·38	,,	43·5	1,258,000	12,520	4·378	·140
1·37	1·37	,,	43·9	1,376,000	11,200	4·323	·137
1·37	1·37	,,	39·9	1,204,000	14,250	4·427	·137
		平均	**42·9**	**1,296,000**	**14,010**	**4·420**	**·139**
1·47	1·47	21·	37·6	1,044,000	12,410	4·456	·167
1·47	1·47	21·	37·9	1,169,000	13,130	4·479	,,
1·47	1·47	21·	36·9	806,500	10,030	4·370	,,
		平均	**37·5**	**1,006,500**	**11,860**	**4·435**	**·167**
1·97	1·97	28·	40·1	1,150,000	13,090	4·708	·294
,,	,,	,,	40·2	1,122,000	13,570	4·724	,,
,,	,,	,,	38·1	1,033,000	13,270	4·715	,,
		平均	**39·5**	**1,102,000**	**13,310**	**4·716**	**·294**

第二表ノ續キ　曲ゲ試驗　欅　（其二）

b 吋	h 吋	l 吋	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	$f=\frac{3}{2}\frac{Wl}{bh^2}$ 一平方吋ニ付キ封度	$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$	$\log h$
2·13	2·13	29·75	34·5	817,500	9,510	4·635	·328
2·13	2·13	29·75	36·1	854,700	7,900	4·553	·327
		平　均	**35·3**	**836,100**	**8,700**	**4·594**	**·328**
2·25	2·25	31·5	47·3	1,414,000	13,510	4·835	·352
,,	,,	31·3	45·9	1,040,000	10,120	4·710	,,
2·27	2·27	31·5	47·1	1,094,000	11,760	4·782	·356
2·25	2·25	,,	44·3	811,500	8,150	4·616	·352
		平　均	**46·1**	**1,090,000**	**10,880**	**4·736**	**·353**
2·39	2·39	33·13	39·1	780,400	10,860	4·805	·378
		平　均	**39·1**	**780,400**	**10,860**	**4·805**	**·378**
6·20	6·13	84		1,510,000	10,280	5·587	·788
6·18	6·22	84		1,607,000	10,480	5·608	·794
		平　均		**1,558,000**	**10,380**	**5·598**	**·791**
7·05	7·00	91		1,302,000	11,770	5·761	·845
7·22	7·02	98		1,445,000	6,552	5·509	·846
7·00	7·00	,,		1,470,000	9,444	5·665	·845
7·10	7·10	,,		1,212,000	7,250	5·563	·851
		平　均		**1,357,000**	**8,754**	**5·625**	**·847**

第三表ノ一　木材ノ曲ゲ試驗成績表

材名	b 吋	h 吋	l 吋	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	$f=\frac{3}{2}\frac{Wl}{bh^2}$ 一平方吋ニ付キ封度	$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$	$\log h$	試驗片ノ數
松	1·86	1·87	26·25		1,626,000	12,050	4·623	·271	5
	1·97	1·97	30·0			11,330	4·643	·295	3
	2·	2·	36·	35·7	1,277,000	11,760	4·671	·301	44
	2·11	2·11	29·75		1,505,000	10,900	4·685	·324	3
	2·37	2·37	33·25		1,450,000	10,160	4·756	·375	5
	4·5	6·	55·88	38·4	1,641,000	7,039	5·404	·778	1
	4·5	7·	,,	46·0	1,526,000	6,122	5·477	·845	1
	5·	7·5	,,	33·3	1,240,000	5,887	5·520	·875	2
	5·13	8·	,,	35·5	1,190,000	5,478	5·544	·903	2
樅	1·11	1·11	15·75	28·8	1,264,000	11,570	4·147	·046	5
	2·	2·	36·	26·	988,100	7,919	4·501	·301	1
	4·	4·	56·		1,458,000	5,150	4·922	·602	16
	5·30	6·20	84·		1,314,000	5,513	5·326	·792	1
	7·10	7·12	98·		1,370,000	5,325	5·429	·853	4
杉	1·11	1·11	15·75	27·9	910,100	8,848	4·036	·046	4
	2·	2·	36·	26·5	964,300	8,567	4·531	·301	63
	2·24	2·24	31·5	24·8	846,600	6,624	4·520	·351	2
	5·10	5·18	70·		1,124,000	4,761	5·106	·714	1
	6·07	6·10	84·		1,160,000	5,417	5·295	·785	2
	6·45	7·10	98·		1,005,000	4,592	5·359	·851	10
	5·	7·5	55·88	27·4	992,400	3,969	5·349	·875	1
	5·16	7·97	,,	32·2	1,098,000	4,156	5·418	·901	4

第三表ノ二

材名	b 吋	h 吋	l 吋	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	$f=\frac{3}{2}\frac{Wl}{bh^2}$ 一平方吋ニ付キ封度	$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$	$\log h$	試驗片ノ數
楯	2·	2·	32·	30·0	1,453,000	11,400	4·650	·301	4
	7·11	7·12	98·		1,342,000	6,395	5·510	·852	4
	4·88	7·38	55·88	33·1	1,160,000	5,420	5·470	·868	1
檜	2·	2·	36·	25·5	1,196,000	10,470	4·620	·301	57
	4·12	6·47	55·88	28·4	1,276,000	6,624	5·443	·811	2
	5·96	7·08	76·9	29·0	1,182,000	5,900	5·464	·850	4
	5·	7·5	55·88	32·0	1,488,000	6,508	5·564	·875	1
椹	2·	2·	30·	20·8	822,000	6,425	4·410	·301	5
	6·65	6·20	84·		884,400	3,361	5·111	·792	2
	7·40	7·08	98·			3,728	5·271	·850	1
栗	1·97	1·95	32·	39·8	1,308,000	12,250	4·666	·293	17
	4·31	6·0	55·88	47·9	1,192,000	5,992	5·334	·778	1
	5·0	7·5	〃	57·8	851,900	6,714	5·577	·875	1

第三表ノ三

材名	b 吋	h 吋	l 吋	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	$f=\frac{3}{2}\frac{Wl}{bh^2}$ 一平方吋ニ付キ封度	$\log\left(\frac{3}{2}\frac{Wl}{b}\right)$	$\log h$	試驗片ノ數
欅	·5	·5	7·	44·1	1,369,000	17,290	3·635	−·301	5
	1·0	1·0	13·9	44.3	1,354,000	15,010	4·179	0	5
	1·38	1·38	19·25	42·9	1,296,000	14,010	4·420	·139	6
	1·47	1·47	21·	37·5	1,006,500	11,860	4·435	·167	3
	1·97	1·97	28·	39·5	1,102,000	13,310	4·716	·294	3
	2·13	2·13	29·75	35·3	836,100	8,700	4·594	·328	2
	2·25	2·25	31·5	46·1	1,090,000	10,880	4·736	·353	4
	2·39	2·39	33·13	39·1	780,400	10,860	4·805	·378	1
	6·19	6·18	84·		1,558,000	10,380	5·598	·791	2
	7·09	7·03	98·		1,357,000	8,754	5·625	·847	4
櫸	·5	·5	7·	45·5	1,646,000	16,200	3·666	−·301	3
	1·01	1·01	14·	35·3	1,218,000	12,000	4·104	·004	3
	1·38	1·38	19.19	43·4	1,513,000	14,380	4·459	·138	3
	1·87	1·87	26·25	34·6	1,016,000	8,710	4·479	·272	4
	1·95	1·95	28·	41·7	1,506,000	13,220	4·713	·290	3
	2·15	2·15	29·75	33·0	1,196,000	10,340	4·681	·332	2
	2·25	2·25	31·5	38·8	1,173,000	10,640	4·728	·351	3
	2·39	2·39	33·25	33·6	830,700	7,490	4·628	·377	4
	6·05	5·89	84·		1,580,000	5,206	5·219	·770	2

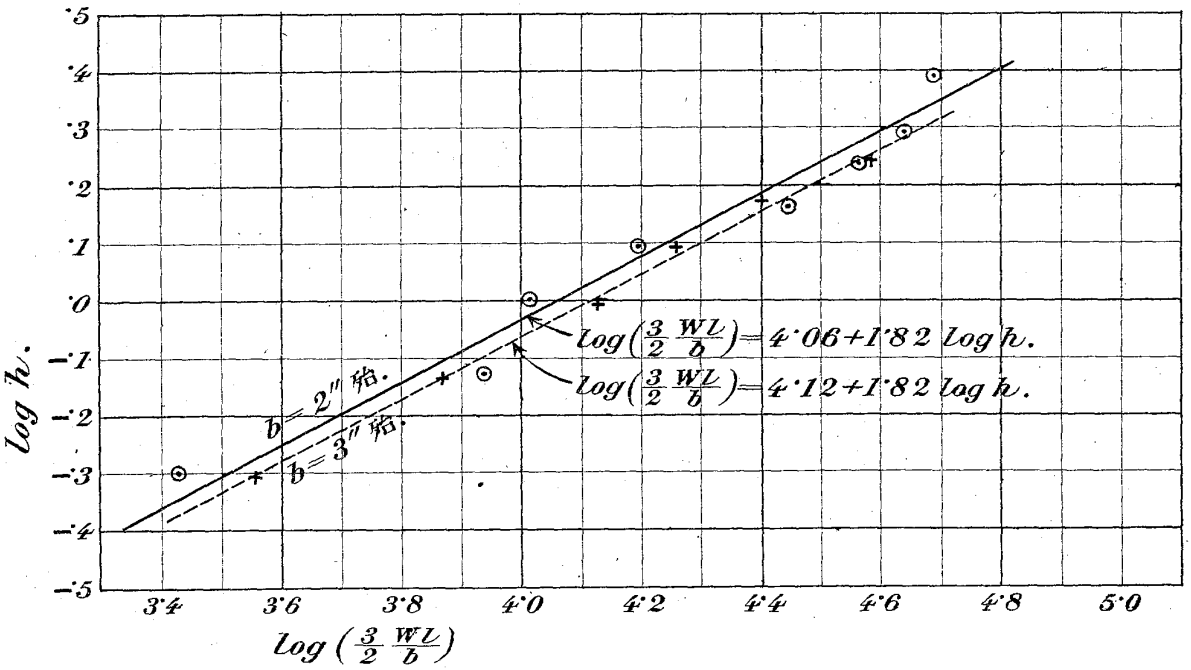
第四表　木材ノ曲ゲ試驗總括表、　$M=\frac{1}{6}f'bh^n.$

科目	材名	一立方呎ノ重量 封度	直接彈性係數 E 一平方吋ニ付キ封度	指數 n	結局曲ゲ强サ f' 一平方吋ニ付キ封度	試驗片ノ數	試驗片ノ厚サ範圍 吋
松杉科	松	36·3	1,410,000	1·47	17,000	66	1·85 ヨリ 8
,,	樅		1,364,000	1·55	11,500	27	1·1 ヨリ 7
,,	杉	27·1	1,025,000	1·51	11,800	87	1·1 ヨリ 8
,,	椙(ヒバ)		1,320,000	1·54	15,500	9	2· ヨリ 7·4
,,	檜	28·4	1,276,000	1·60	13,800	64	2· ヨリ 7·5
,,	椹(サハラ)		853,200	1·49	9,120	8	2· ヨリ 7
殼斗科	栗	43·8	1,165,000	1·48	17,000	19	2· ヨリ 7·5
楡科	欅	41·4	1,219,000	1·75	14,500	35	0·5 ヨリ 7·1
木犀科	梣(ヤチダモ)	38·2	1,298,000	1·44	13,200	27	0·5 ヨリ 5·9
,,	鹽地	35·0	1,371,000	* 1·82	12,300	14	0·5 ヨリ 2·5

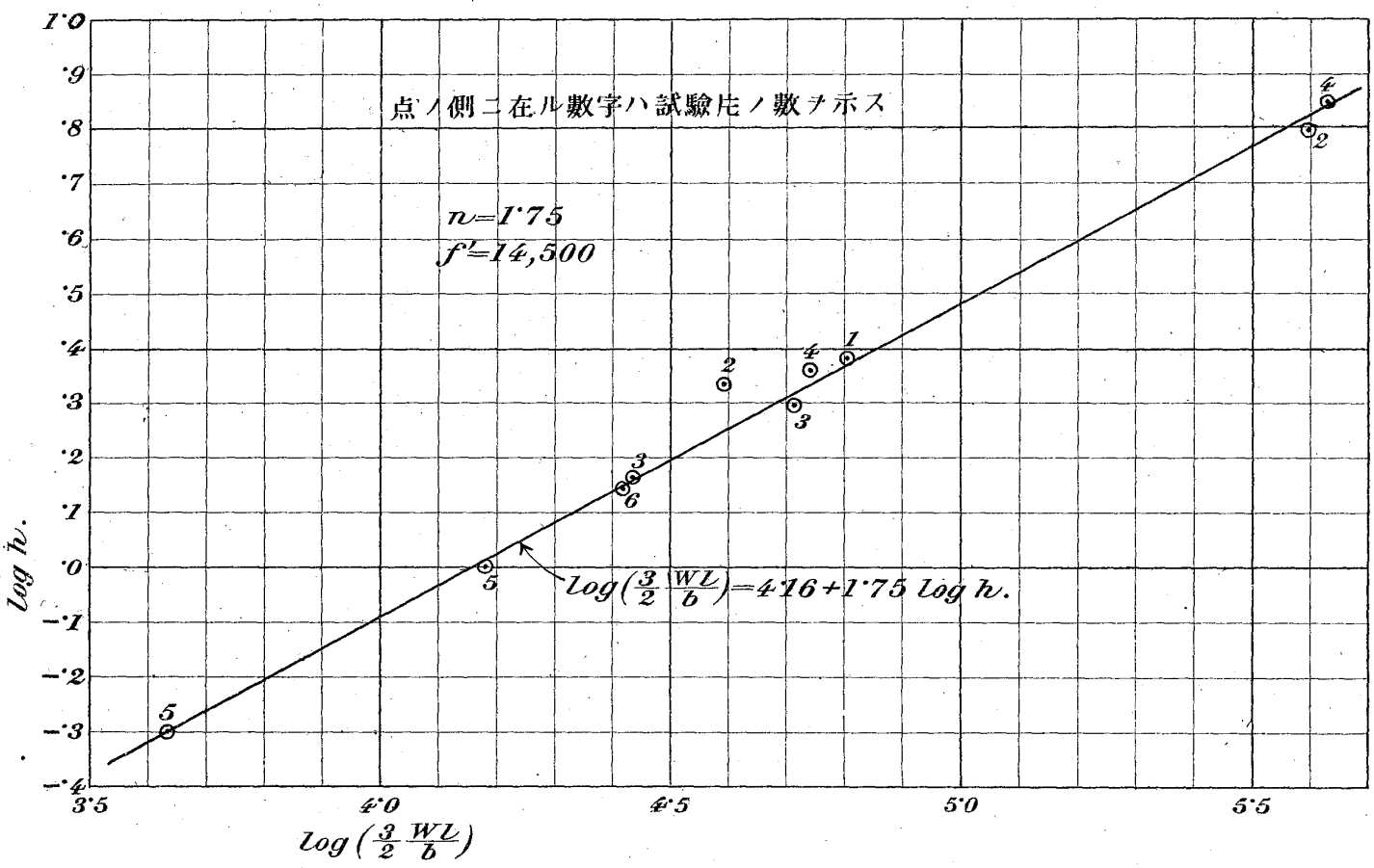
* 試驗片ノ厚サ 0·5 ヨリ 2·5 吋マデノ小寸法ナレバ此値ハ確ナラズ

曲ゲ試驗

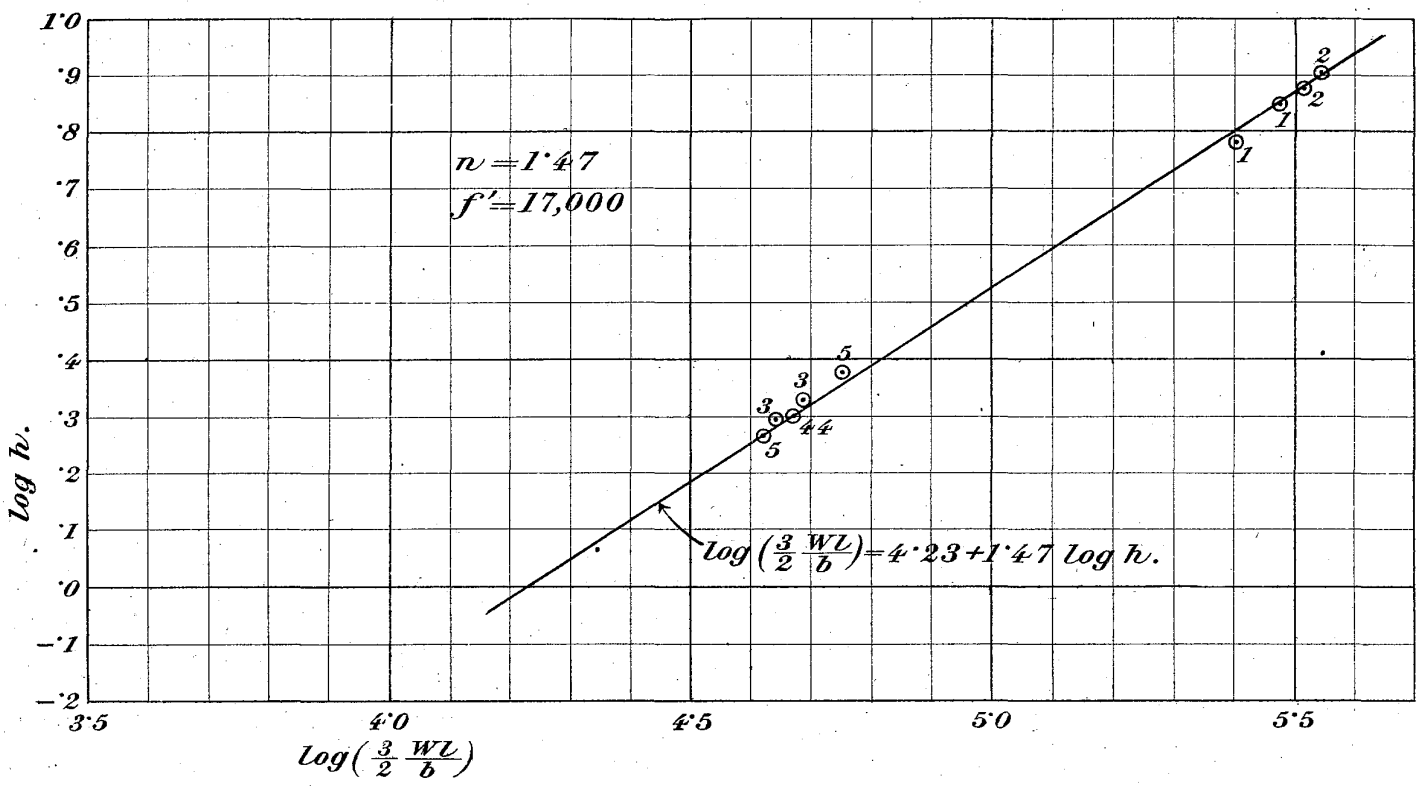
塩地　第一圖



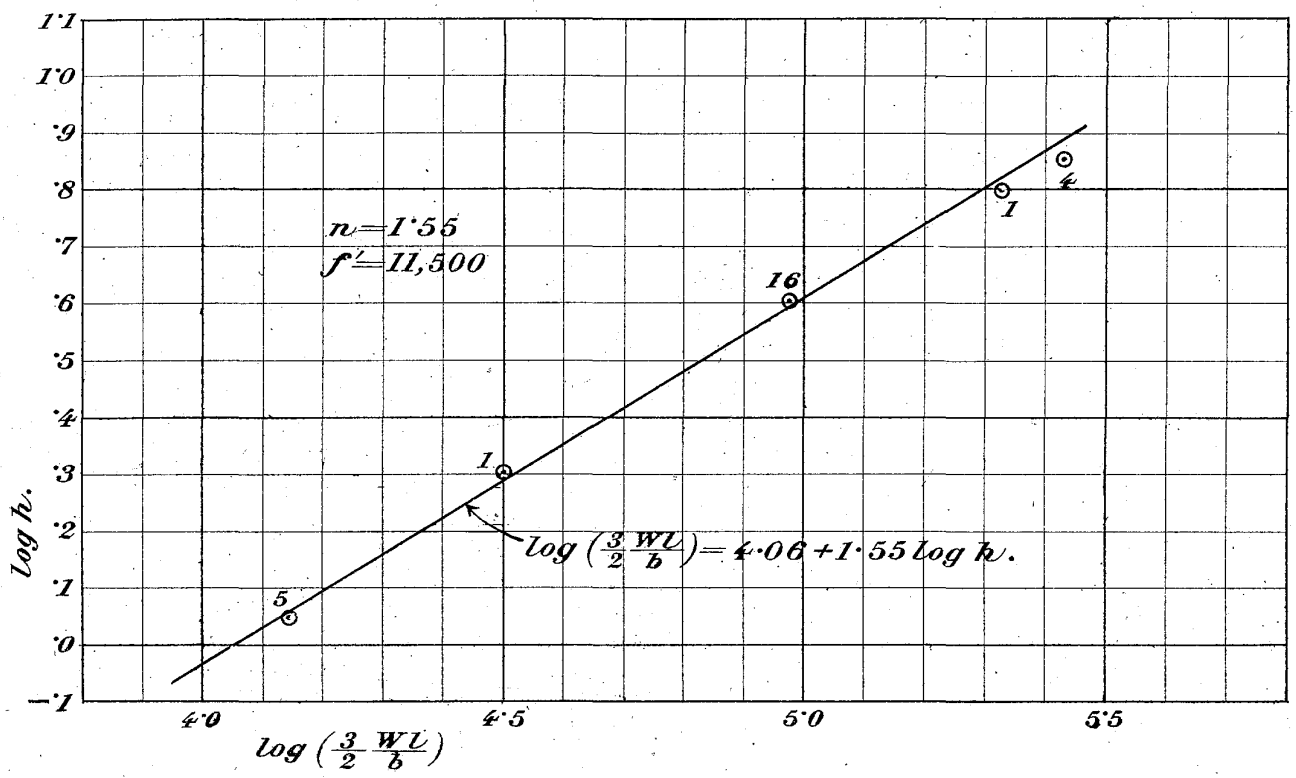
欅　第二圖



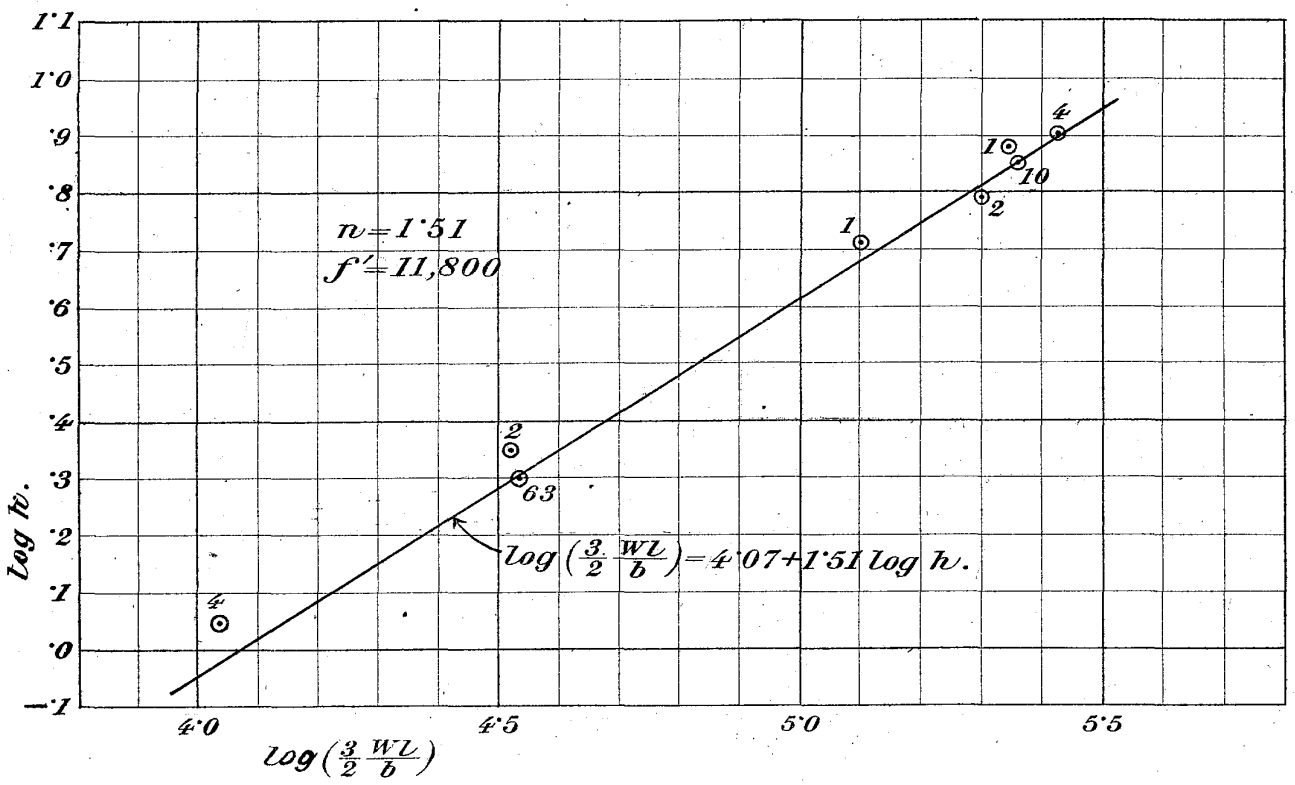
松　　第三圖


n=1·47
f′=17,000
log (3/2 Wl/b)=4·23+1·47 log h.
log h.
log (3/2 Wl/b)
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
·0
−·1
−·2
3·5
4·0
4·5
5·0
5·5

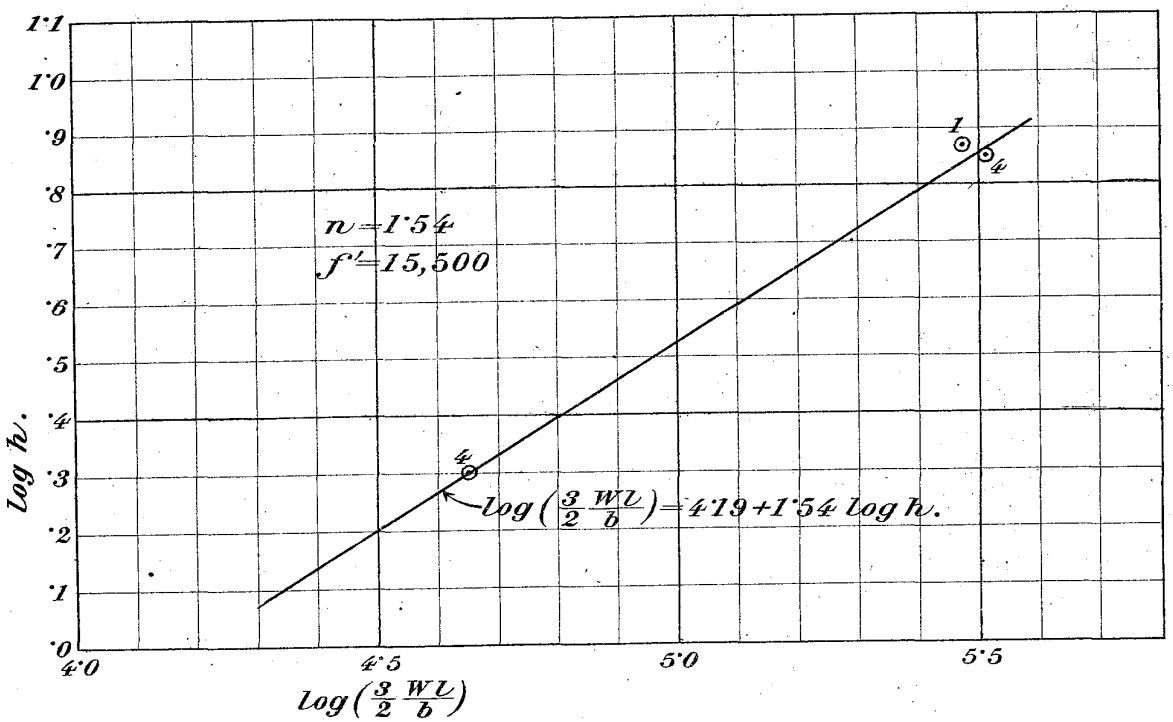
樅　　第四圖


n=1·55
f′=11,500
log (3/2 Wl/b)=4·06+1·55 log h.
log h.
log (3/2 Wl/b)
1·1
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
·0
−·1
4·0
4·5
5·0
5·5

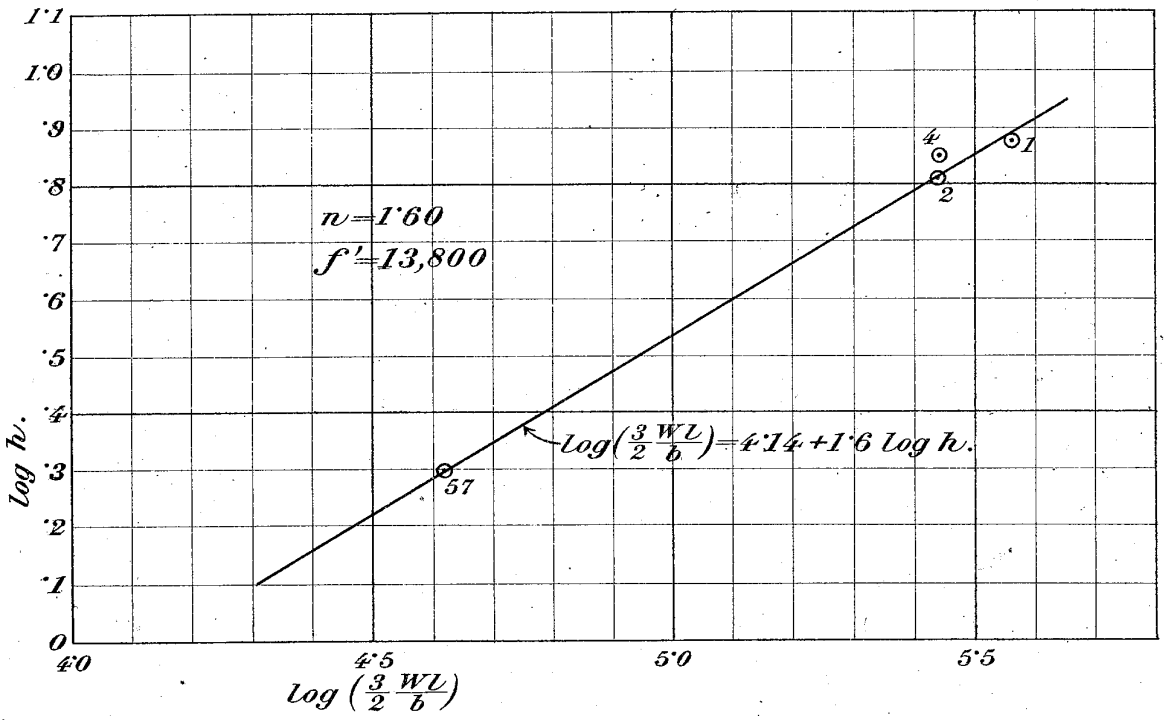
杉　　第五圖


1·1
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
·0
−·1
Log h.
4·0
4·5
5·0
5·5
log (3/2 WL/b)
n=1·51
f′=11,800
log (3/2 WL/b)=4·07+1·51 log h.
4
1
10
2
1
2
63
4

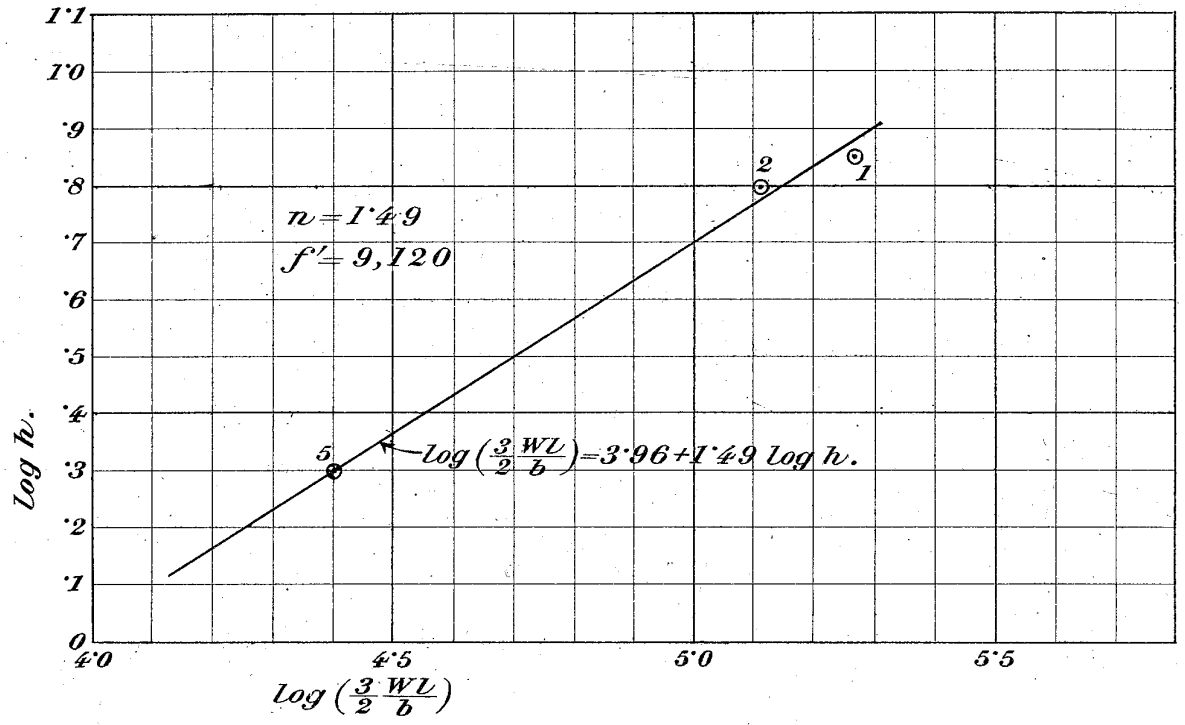
櫧　　第六圖


1·1
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
·0
Log h.
4·0
4·5
5·0
5·5
log (3/2 WL/b)
n=1·54
f′=15,500
log (3/2 WL/b)=4·19+1·54 log h.
1
4
4

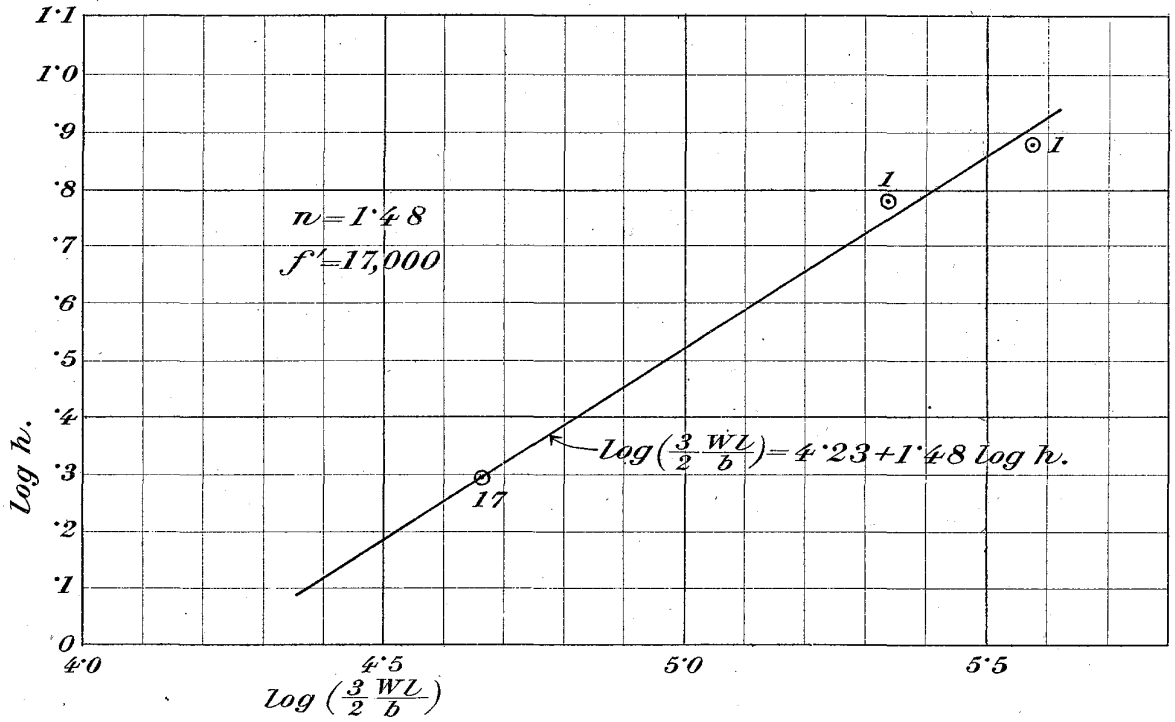
檜　　第七圖


1·1
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
0
4·0
4·5
5·0
5·5
log h.
log (3/2 WL/b)
n=1·60
f′=13,800
log(3/2 WL/b)=4·14+1·6 log h.
4
1
2
57

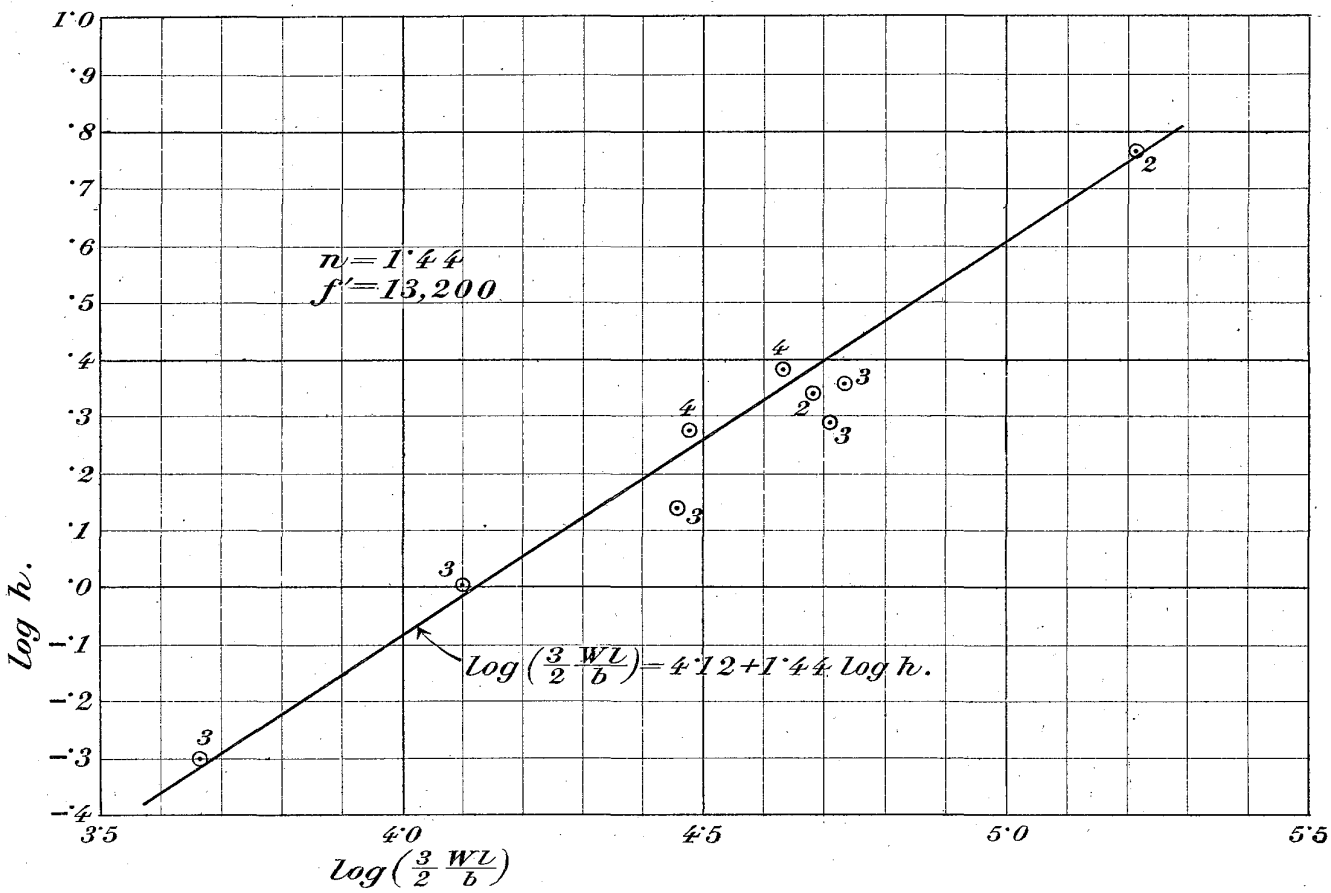
椹　　第八圖


1·1
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
0
4·0
4·5
5·0
5·5
log h.
log (3/2 WL/b)
n=1·49
f′=9,120
log(3/2 WL/b)=3·96+1·49 log h.
2
1
5

栗　　第九圖


1·1
1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
0
4·0
4·5
5·0
5·5
log h.
log (3/2 WL/b)
n=1·48
f′=17,000
log (3/2 WL/b)=4·23+1·48 log h.
1
1
17

栃　　第十圖


1·0
·9
·8
·7
·6
·5
·4
·3
·2
·1
·0
−·1
−·2
−·3
−·4
3·5
4·0
4·5
5·0
5·5
log h.
log (3/2 WL/b)
n=1·44
f′=13,200
log (3/2 WL/b)=4·12+1·44 log h.
2
4
3
2
3
4
3
3
3