

木材の弾性係数について(第1報)

— 縦弾性係数について —

宇 都 龍 行

Studies on Elastic Modulus of Wood. (1st Report)

— On Young's Modulus. —

Tatsuyuki UTO

1. 緒 言

材料の機械的強度で初めに問題となるのは弾性係数である。金屬材料の弾性係数は今日金屬物理、計測工学の進歩により迅速精密測定法¹⁾が実用の段階にある。この方法は振動法である。しかし木材は金属材料と異なり、第1に不均一性かつ細胞組織のために信頼性に乏しい。第2に弾性係数の測定は主として静的測定法²⁾³⁾⁴⁾が使用されている。そこで筆者は動的測定法(衝撃法にあらず)が実際問題として上述の2弱点を補正しうるものと考え、振動法による実験を行なった。

又同じ試料に静的測定法である片持はり法、中点荷重法により実験を行ない、3方法による測定値を比較検討しようとしたものである。

本論において使用した記号は次のとおりである。

l, b, h : 試験片の長さ、幅および厚さ

P : 荷 重

δ : 撓 み

ρ : 密 度

A : 試験片の断面積

I : 断面二次モーメント

ω : 固有振動数

E : ヤング率(縦弾性係数)

2. 試 験 片

試験片は南九州産材の杉、檜の2種である。断面は、Fig. 1, Fig. 2 のように髓に平行に、厚さ1.5 mm の丸鋸で、Fig. 3 のように切り取ったものである。試験片製作にあたって、木材工業規格を無視したのは、できるだけ不均一性を除去しようとしたものである。Fig. 4 にその含水率を示す。

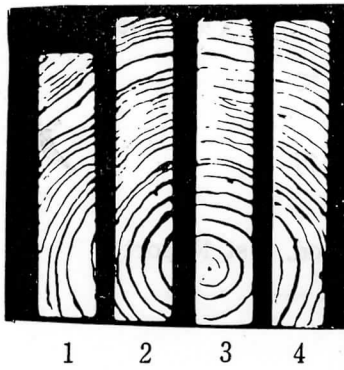


Fig. 1 杉

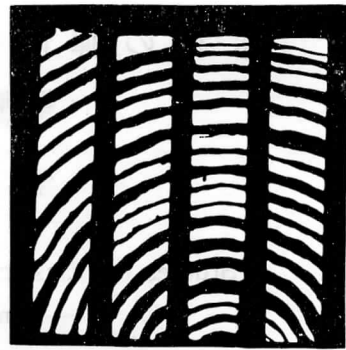


Fig. 2 桧

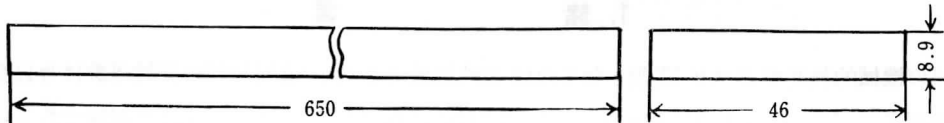


Fig. 3. 試験片形状

材料 番号	杉	桧	測定器具名
	(%)	(%)	
No. 1	10.4	10.8	Yamasaki TYPE-5S Wood Moisture Gauge K.K. Yamasaki Seibe Kenkyusho.
No. 2	10.4	10.8	
No. 3	10.5	10.3	
No. 4	10.8	10.5	

室温 24.3°C±2°C 天気 晴天

Fig. 4. 含水率

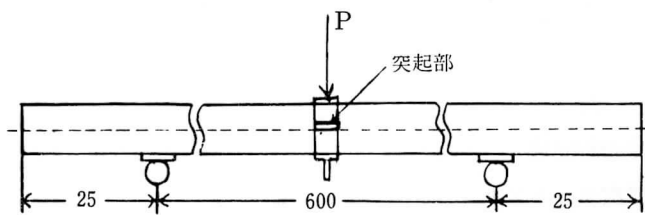


Fig. 5

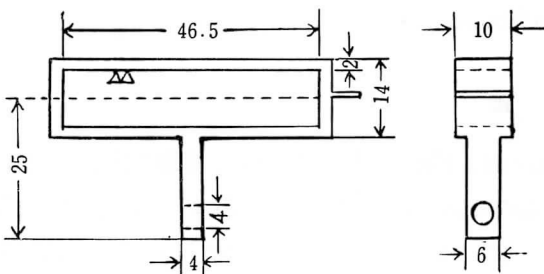


Fig. 6

3. 実験方法および実験結果

3-1. 中点荷重法

Fig. 5 のように測定した。なお試験機がないので、Fig. 6 のような金具を製作し、はりの中立面の撓みを測定できるように取り付け、突起部の下にダイヤルゲージを置いて撓みを測定した。Tab 1, 2 は測定値および計算値を示す。Fig. 7, 8 はその線図である。 E は材料力学公式 $E = \frac{l^3}{4bh^3} \frac{P}{\delta}$ より計算した。杉の E は $6.4 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 位で、一般的

Table 1 中点荷重による杉の測定値

種類	$P(\text{kg})$												$\frac{P}{\delta}$ の平均値	E — 弾性係数
	$\delta(\text{min})$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
杉 1	A	δ	3.02	6.18	9.22	12.34	15.11	18.05	20.95	23.85	27.52	30.76		
		$\frac{P}{\delta}$	0.3311	0.3236	0.3254	0.3241	0.3309	0.3324	0.3341	0.3354	0.3270	0.3251		
	B	δ	2.9	6.04	9.18	12.13	15.25	18.08	20.85	23.87	26.91	29.26		
		$\frac{P}{\delta}$	0.3436	0.3311	0.3268	0.3298	0.3279	0.3318	0.3357	0.3351	0.3344	0.3418	0.3313	63443.2145
杉 2	A	δ	2.86	5.54	8.17	10.79	13.42	15.90	18.77	21.18	23.18	26.45		
		$\frac{P}{\delta}$	0.3490	0.3610	0.3672	0.3707	0.3726	0.3774	0.3779	0.3777	0.3797	0.3781		
	B	δ	2.35	5.07	7.80	10.40	12.70	15.45	18.05	20.95	23.81	26.06		
		$\frac{P}{\delta}$	0.4255	0.3945	0.3846	0.3846	0.3937	0.3883	0.3878	0.3970	0.3780	0.3837	0.3812	63477.3516
杉 3	A	δ	2.58	5.36	7.92	10.80	13.23	15.89	18.51	21.14	24.16	27.15		
		$\frac{P}{\delta}$	0.3876	0.3731	0.3788	0.3704	0.3779	0.3776	0.3782	0.3784	0.3725	0.3683		
	B	δ	2.45	5.22	7.90	10.46	12.97	15.46	18.33	20.54	23.23	26.04		
		$\frac{P}{\delta}$	0.4082	0.3831	0.3797	0.3824	0.3855	0.3881	0.3819	0.3895	0.3874	0.3840	0.3811	63460.6995
杉 4	A	δ	2.45	5.04	7.75	10.47	13.17	15.61	18.51	20.99	23.29	26.04		
		$\frac{P}{\delta}$	0.4082	0.3968	0.3871	0.3872	0.3797	0.3844	0.3782	0.3811	0.3864	0.3824		
	B	δ	2.35	5.11	7.77	10.33	12.98	15.50	18.28	20.86	23.52	26.22		
		$\frac{P}{\delta}$	0.4255	0.3914	0.3861	0.3872	0.3852	0.3871	0.3829	0.3835	0.3827	0.3814	0.3856	64210.0387

Table 2 中点荷重による松の測定値

種類	$\frac{P}{\delta}$	$P(\text{kg})$										$\frac{P}{\delta}$ の平均値	$E=$ 弾性係数	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
松 1	A	δ	1.46	2.88	4.32	5.97	7.38	9.05	10.62	11.91	13.76	15.25		
		$\frac{P}{\delta}$	0.6849	0.6944	0.6944	0.6700	0.6630	0.6591	0.6717	0.6541	0.6557	0.6743		
	B	δ	1.57	2.50	4.55	5.96	7.63	9.12	10.75	12.12	13.66	15.89		
		$\frac{P}{\delta}$	0.6369	0.8000	0.6593	0.6711	0.6553	0.6579	0.6512	0.6600	0.6588	0.6293	0.6533	108787.392
松 2	A	δ	1.63	3.15	4.60	6.18	7.66	9.25	10.89	12.47	13.90	15.49		
		$\frac{P}{\delta}$	0.6579	0.6349	0.6522	0.6472	0.6527	0.6486	0.6428	0.6415	0.6475	0.6456		
	B	δ	1.56	3.07	4.70	6.32	7.94	9.47	11.18	12.52	14.00	15.76		
		$\frac{P}{\delta}$	0.6410	0.6514	0.6383	0.6329	0.6297	0.6336	0.6261	0.6390	0.6428	0.6435	0.6420	106905.718
松 3	A	δ	1.54	3.08	4.63	6.30	7.95	9.74	11.14	12.99	14.59	16.17		
		$\frac{P}{\delta}$	0.6493	0.6494	0.6479	0.6349	0.6289	0.6160	0.6284	0.6159	0.6169	0.6184		
	B	δ	1.77	3.34	4.95	6.58	8.17	9.82	11.42	13.19	14.76	16.25		
		$\frac{P}{\delta}$	0.5650	0.5988	0.6061	0.6079	0.6120	0.6110	0.6130	0.6065	0.6098	0.6154	0.6176	102842.634
松 4	A	δ	1.85	3.38	4.80	6.52	7.83	9.15	10.65	12.17	13.78	15.16		
		$\frac{P}{\delta}$	0.5404	0.5917	0.6250	0.6135	0.6386	0.6557	0.6573	0.6574	0.6531	0.6596		
	B	δ	1.16	3.20	4.86	6.43	7.96	9.60	11.13	12.85	14.48	16.05		
		$\frac{P}{\delta}$	0.6173	0.6250	0.6173	0.6221	0.6281	0.6250	0.6289	0.6226	0.6215	0.6231	0.6262	104274.705

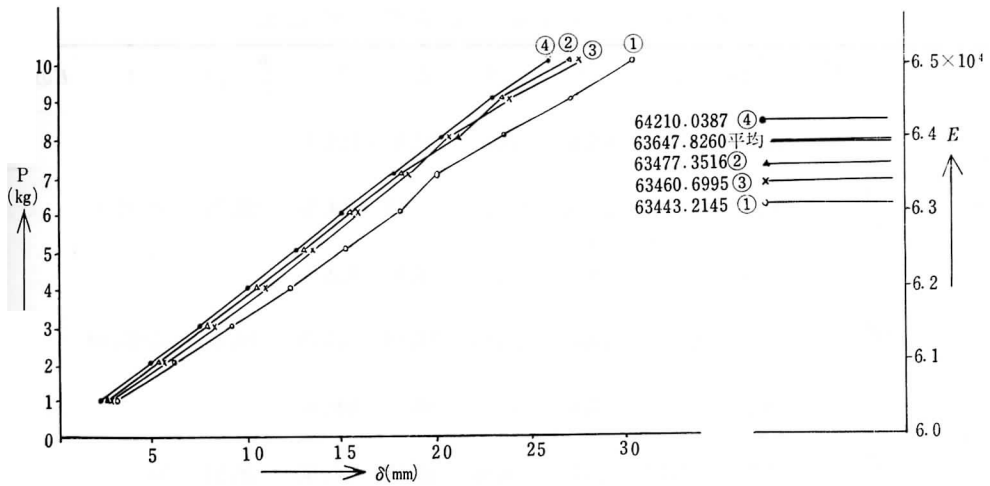


Fig. 7 中点荷重による杉の応力-撓み線図

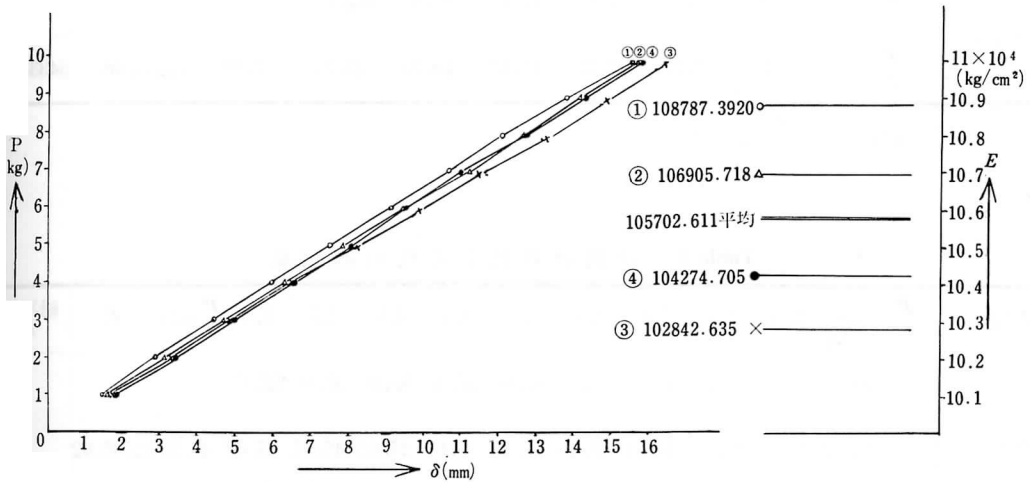


Fig. 8 中点荷重による松の応力-撓み線図

5.2×10^4 ²⁾³⁾ kg/cm² よりはるかに大きい。檜の E は 10.5×10^4 位で、一般的な 9.5×10^4 ²⁾³⁾ よりこれもまた大きい。この結果は試験片の大きさが不適であるか、測定値の誤差からくるものとしか考えられない。

3-2. 片持はり法

Fig. 9 のように試験片の一端を固定し、自由端に荷重をかけ、Fig. 6 の金具を使って中立面の撓みをダイヤルゲージで測定した。Table 3, 4 は測定値および計算値を示す。Fig. 10, 11 はその線図である。 E は材料力学公式 $E = \frac{4l^3 P}{bh^3 \delta}$ より計算した。杉の場合 No. 1 が No. 2 より E

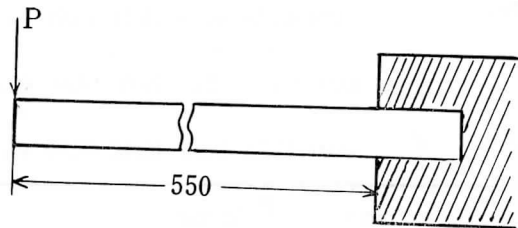


Fig. 9

Table 3 片持はりによる杉の測定値

種類	P	P						$\frac{P}{\delta}$ の平均	E	E の総平均
		0.5 kg	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0			
杉 No. 1	δ	19.0	41.0	65.0	86.0	106.0	124.0			
	$\frac{P}{\delta}$	26.31	24.39	23.07	23.25	23.58	24.19	23.70	54083.4	
No. 2	δ	19.0	38.0	58.0	78.0	96.0	112.0			
	$\frac{P}{\delta}$	26.31	26.32	25.86	25.64	26.04	26.79	26.16	51915.83	
No. 3	δ	18.0	36.0	54.0	69.0	86.0	100.0			
	$\frac{P}{\delta}$	27.77	27.77	27.77	28.82	29.07	30.00	28.24	56043.69	
No. 4	δ	17.0	35.0	54.0	71.0	87.0	102.0			
	$\frac{P}{\delta}$	29.41	27.77	27.77	27.17	28.73	29.21	27.84	55248.48	54333.4

註 δ (mm) $\frac{P}{\delta}$ (g/mm)

Table 4 片持はりによる松の測定値

種類	P	P										$\frac{P}{\delta}$ 平均	E	総平均 E
		0.5 kg	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0			
松 No. 1	δ	10.5	21.5	32.5	45.0	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0	105.0			
	$\frac{P}{\delta}$	47.62	46.51	46.16	44.44	45.45	46.15	46.67	47.06	47.37	47.62	46.73	92738.02	
松 No. 2	δ	10.0	21.0	33.0	44.0	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0	105.0			
	$\frac{P}{\delta}$	50.00	47.61	45.45	45.45	45.45	46.15	46.66	47.05	47.37	47.61	47.64	91543.96	
松 No. 3	δ	10.0	22.0	33.0	45.0	56.0	66.5	76.5	88.0	98.0	107			
	$\frac{P}{\delta}$	50.00	45.45	45.45	44.44	44.64	45.11	45.72	45.45	50.00	46.72	45.37	90039.03	
松 No. 4	δ	10.0	20.5	32.0	43.0	54.0	65.0	76.0	86.5	97.0	107			
	$\frac{P}{\delta}$	50.00	48.78	46.87	45.12	46.30	46.15	46.05	46.24	46.40	46.72	46.51	92103.02	91606.01

註 δ (mm) $\frac{P}{\delta}$ (g/mm)

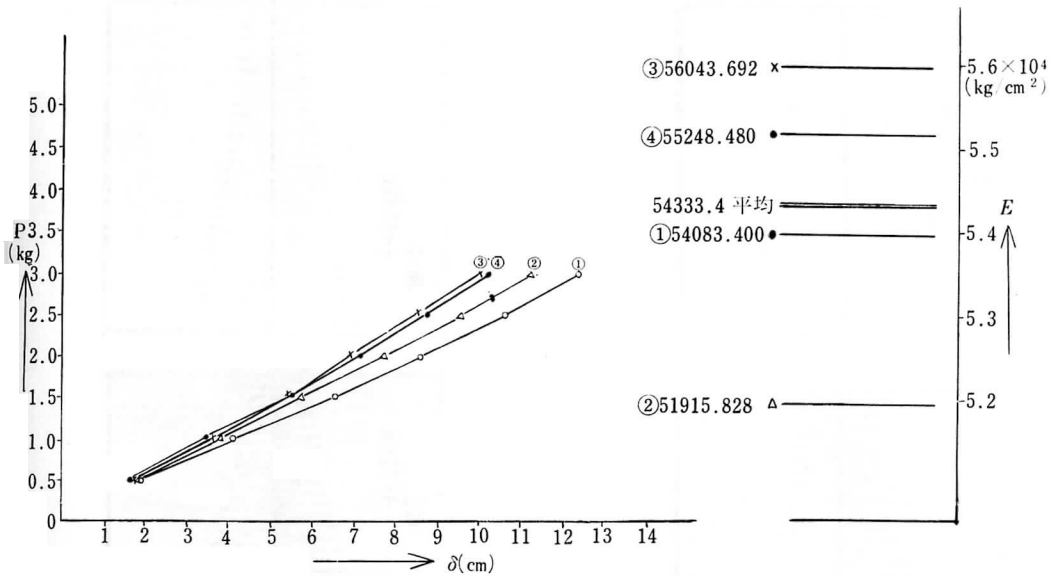


Fig. 10 片持梁による杉の応力—撓み線図

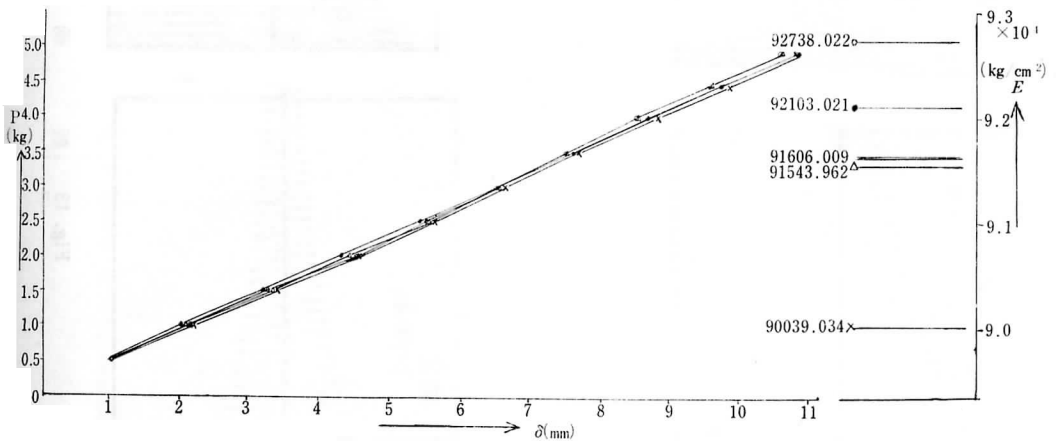


Fig. 11 片持梁による松の応力—撓み線図

の値は小さいはずであるが、計算値で大きくなったのは、No. 1 の断面が他の試験片のそれと異なるためである。それで E の計算上 No. 1 の E は除いた。この方法による E の値は杉で 5.4×10^4 位²⁾、檜で 9.2×10^4 位³⁾ 位で許容できる値と思う。

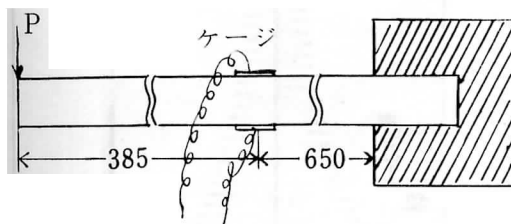


Fig. 12

3-3. 振 動 法

Fig. 12 に示すように、新興通信工業 KK の歪ゲージを、試験片の上下面に貼付して、リー

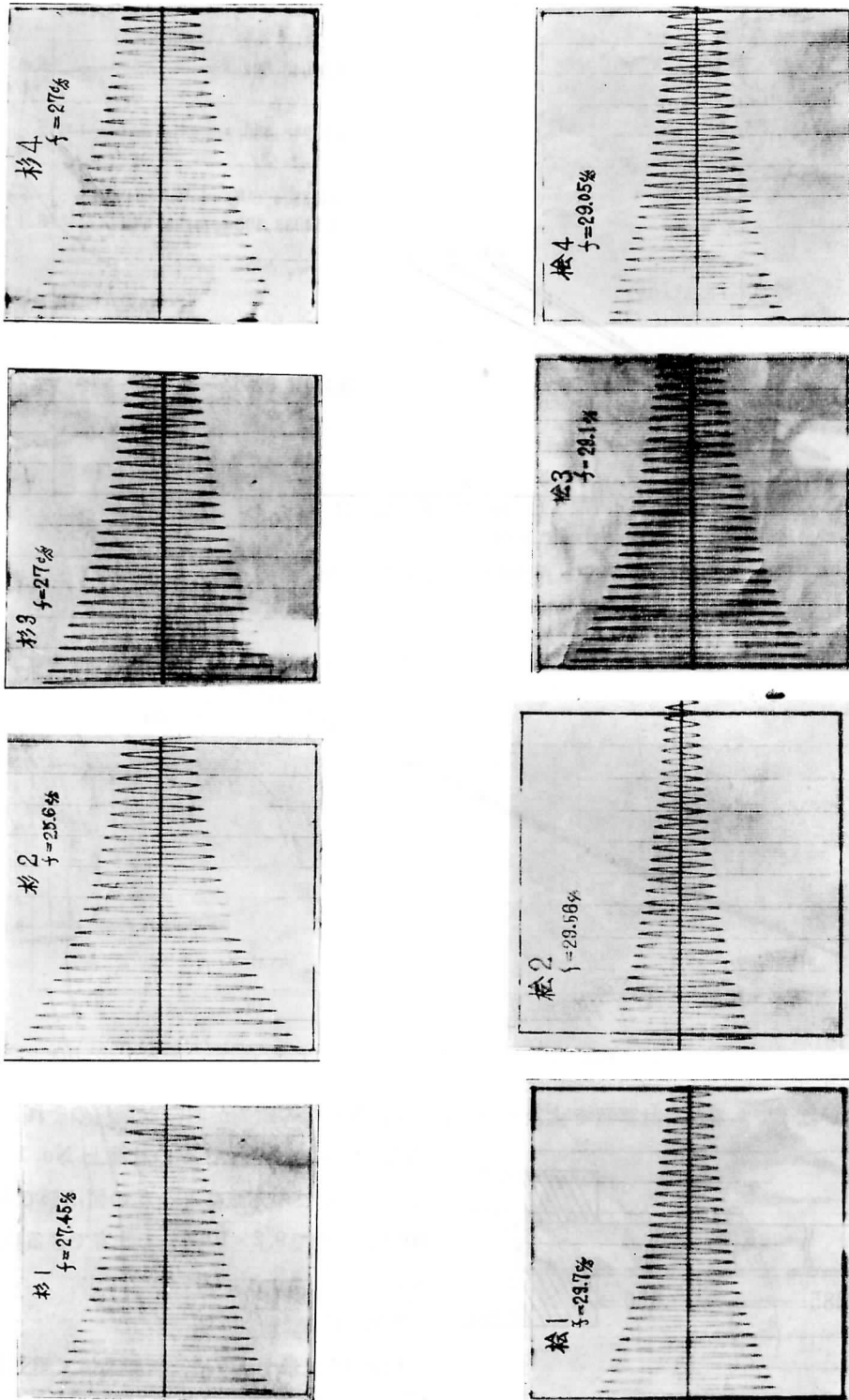


Fig. 13 振 動 数

ド線の両端をブリッジヘッドにつないだ。自由端に金槌で軽く衝撃を与え、自動記録装置（オシログラフ）により、固有振動数を Fig. 13 のように測定した。その測定値および計算値を、Table. 5, 6 に示す。E の計算は、はりの曲げ振動の基礎方程式⁵⁾⁶⁾

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

の解 $\omega_m = \lambda_m^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$

において、 $m=1$ の時、すなわち

$$E = \left(\frac{l}{1.875} \right)^4 \frac{\omega_1^2 \rho A}{I} \text{ として計算した。}$$

計算値は、Table. 5, 6 のように諸文献の値と大差はない。

Table. 5.

杉	振動数	比重	弾性係数 E
No. 1	27.45	0.378	56460.702
No. 2	25.6	0.386	50187.966
No. 3	27.0	0.372	53817.488
No. 4	27.0	0.355	45182.685
平均	26.76	0.72	51399.710

Table. 6.

桧	振動数	比重	弾性係数 E
No. 1	29.7	0.557	97266.215
No. 2	29.56	0.557	94886.982
No. 3	29.1	0.584	98068.992
No. 4	29.05	0.575	96156.948
平均	29.35	0.568	96594.784

4. 考察および結論

以上の実験結果をみると同じ試験片にかかわらず異なる値となった。片持はり法と、振動法とは一般的に確かめられている値に近い。しかしながら中点荷重法の値は大きすぎるように思う。この原因は次のように考えられる。

1) 試験片が不均一で、なお粘弾性的であり、荷重の作用点において中立面がねじれ現象を起し、中立面のたわみ測定に誤差を生じやすい。そのため中点荷重法には両端における中立面の傾きを光学的⁷⁾に測定してたわみに換算するのが最上であることになる。片持はり法はねじれが少ないと判断できる。

2) 試験片の大きさ、スパンの長さ、支点の条件が測定値に大きくひびく。
中点荷重法に比較して片持はり法は測定点において中立面のねじれが少ないので適値が得られると思う。

以上より筆者は測定方法の容易であること、精密であること、基礎方程式の厳密解の応用であると言う点から振動法による測定値が他の方法にまさっていると考える。振動法にかぎらず中点荷重法、片持はり法を木材に応用するには前述の公式を補正する必要がある。たとえば含水率、密度、年輪密度、節等の要素を含め、横弾性係数測定とあいまって関係づけるならば、いっそう適値を得られるものと思う。それには弾性学、塑性学、流動学を導入して行くべきである。今回はそこまで

達していない。次回にしたい。

終りにこの実験にあたって設備その他に便宜と助言をいただいた工学部富武満, 末永勝郎両教授, 田中豊助教授他各位に感謝します。特に実験および測定値計算に並々ならぬ努力をされた南孝一助手, 塚崎正温, 竹添信頼両学生に厚く謝意を表するしだいです。また試験片を提供いただいた鹿児島県立木材工業試験場長, 飯田技師に感謝します。

文 献

- 1) 白川勇紀他一名: 日本金属学会誌: 24, p. 63 (1960)
- 2) 梶田茂編: 木材工学: p. 147~173. (1961)
- 3) 田中勝吉: 実用木材工学: p. 123. (1951)
- 4) 関谷文彦木材強弱論: p. 93~112 (1948)
- 5) S. Timoshenko: (谷下, 市松他一名訳) *Vibration Problems in Engineering*: p. 309. (1963)
- 6) 谷口 修: 振動工学: p. 124~131. (1963)
- 7) 吉沢武雄他九名: 機械材料の試験と検査: p. 102. (1955)