木材梁に関する研究（第4報）

曲げクリープ試験 (1)

沢　田　　稔[1]

木材梁が比例限度をこえて曲げられたばあい，その撓み量は必ずしも安定したものではなく，荷重速度の大小によつて変化する。すなわち，荷重速度の小さいときほどその撓み量は大きく測られるものである。このようなばあい，撓みは，通常の静的撓みのほかに，クリープ撓みをふくんでいるとみられる。したがつて，木材梁のクリープ撓みについて適正な価評をあたえることは，木材梁の剛性を論ずる上ではなはだ重要なことといわなければならない。

本報告での試験のすすめ方は，まず，1本の材片から縦引張，縦圧縮，セン断および曲げ試験体を木取り，引張，圧縮およびセン断試験をおこなつてこの材の独立強度定数を決定し，つぎに，これらの数値を用いて，すでに第1報および第3報にのべた方法により，あらかじめ，梁の荷重一撓み曲線，曲げ比例限度および曲げ破壊係数等を計算した。その計算値の適合度をたしかめるために数本の梁を静的荷重条件で試験した。このようにしてその計算値の妥当性をたしかめた上で，曲げクリープ試験体の荷重一撓み曲線，曲げ破壊係数等を計算し，負荷すべき荷重の大きさを，その最大荷重に対する比率によつて決定した。

このようにして，曲げクリープ試験をおこない，負荷後の経過時間とクリープ撓みを実測し，クリープ撓みの増加速度がほぼ一定とみられるようになつたときの経過時間，クリープ撓みの増加速度等がその負荷に対応する曲げ応力の下で，静的荷重条件で推定される計算値とどのような関係にあるかを検討した。なお，このばあい，問題を単純化するために，とくに撓みをセンイ歪に換算して，近似的な意味での縦歪クリープ条件をもあわせ考察した。

しかし，この試験は，著者としてはじめてのものであり，いろいろと問題も多く，引きつづき試験をおこなう予定であるが，ある程度特性的な点も観察されたので，とりあえず発表することにした。

なお，この試験をおこなうにあたり，小倉木材部長より種々御指導御援助をあたえられ，また，強度研究室の山井良三郎技官はじめ室員各位からは，終始多大な御協力をえた。ここに，心からお礼を申のべる次第である。

1. 試験方法

1.1 試験材料とその水分処理

この試験に使用した材料は Table 1 にしめすように，秋田産人工林のスギ，北海道産エゾマツおよび鹿児

Table 1. 試料の樹種，産地および水分状態
Species, place of growth and moisture condition of material tested.

MARK	SPECIES		PLACE OF GROWTH OF MATERIAL TESTED	MOISTURE CONDITION
	Common	Botanical names		
SA	Sugi	*Cryptomeria japonica*	NIBUNA, Akita, Japan	Air dry
YS	Yezo-matsu	*Picea jezoensis*	ASHIBETSU, Hokkaido, Japan.	Air dry
MK	Aka-matsu	*Pinus densiflora*	KAGOSHIMA, Kyūshū, Japan	Air dry

(1) 木材部木材材料科強度研究室長

島産アカマツの3種である。これらの材は，すべて2寸角に荒木取したものを約1年間林業試験場林産1号館設備の恒温恒湿室（20°C；75%）内のアミ棚において充分平衡せしめたものである。なお，荒木取までは厚板のまま強度研究室内で約2カ年自然乾燥状態においた。

1.2　試験の種類と方法

正二方柾に木取つた前述の2寸角材（材長約 80*cm*）から縦引張，縦圧縮，セン断および曲げ試験体を切り取りその基本的材質（比重，年輪巾，秋材巾等）が同等とみなしうるようにした。つぎに，縦引張，縦圧縮およびセン断試験をおこないその結果から梁の曲げ性能を計算的にもとめ，この計算値と静的曲げ試験での実測値とを比較検討したうえで，曲げクリープ試験をおこなつた。この順序にしたがつて各試験の方法をのべる。

12.1　縦引張試験

試験体の寸法は JISA 1006 に規定されたものを用いた。伸びの計測は，X-tensometer でおこなつたが，規長(*gage length*)は 30*mm* で測定精度としては $10^{-3}mm$ を充分正しく読み取りうるようにした。

12.2　縦圧縮試験

試験体の寸法は JISA 1005 の断面辺長 2*cm* 型を用いた。変形量の測定は引張試験と同様 X-tensometer を用いた。また，測定の精度も引張のばあいと同様であるが，規長は，試験体の長さが 60*mm* のものでは30*mm* を，40*mm* のものでは 20*mm* をそれぞれ使用した。

12.3　セン断試験

試験体の寸法は旧 JIS のもので 2*cm* 型である。使用したチヤツクは A.S.T.M. 型のものである。

12.4　静的曲げ試験

試験体の寸法は，断面辺長 2*cm* で長さ 54*cm*. 荷重方式は2点荷重，中央部の荷重点間隔（l）は 24*cm*，全スパン（L）は 50*cm* とした（Fig.1）。撓みの測定では，中央部荷重点間をダイアル・ゲージ($10^{-2}mm$)で，また，全スパンに関しては，$10^{-2}mm$ を測定単位とするダイアル・ゲージを用いて特に作成したデフレクション・ゲージでおこなつた（Fig. 15）。さらに，この試験では，試験終了直後，試験体の両端から縦圧縮試験体を木取つて（12.2）と同様の方法で圧縮試験をおこなつた。

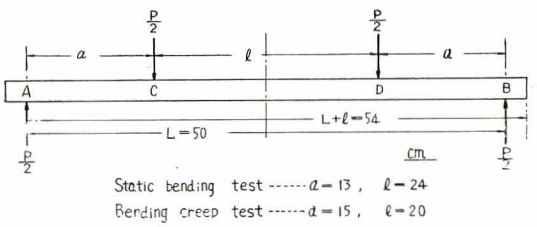


Fig. 1　2点荷重方式の単純梁
Two-point loaded simple beam.

12.5　曲げクリープ試験

試験体の寸法は，JISA 1012 の規定によつている（2*cm*辺長）。荷重は死荷重で，撓みの測定は中央部（一定モーメント）と全スパンについてそれぞれダイアル・ゲージ（$10^{-2}mm$）を用いておこなつた（Fig. 9）。試験室内の温湿度条件は，20°±1°C，関係湿度 75±5%である。

12.6　その他試験材および試験条件に関する一般的事項

各試験種ごとに用いた試験体の個数は Table 2 に，試験材料の平均年輪巾（b），平均秋材巾（S），試験体横断面の平均断面秋材率（ϕ_a）および気乾比重（R_u）等は Table 3 に，また，試験時の温度，湿度および荷重速度等は，Table 4 にそれぞれ示した。

Table 2. 試 験 体 の 個 数

Test specimens. *s = static bending; c = bending creep.*

MARK	TENSION	COMPRES-SION	SHEAR	BENDING(*s*)	BENDING (*c*)
SA 1	3	5	1	0	1
SA 2	3	5	1	0	1
SA 3	1	3	1	0	1
SA 4	1	6	2	1	0
YS 1—1	1	3	1	0	1
YS 1—2	0	3	1	0	1
YS 1—3	0	4	1	0	1
YS 2—1	1	5	1	1	0
YS 2—2	1	3	1	0	1
YS 3	2	5	1	1	0
MK 1	1	3	1	0	1
MK 2	1	3	1	0	1
MK 3	1	5	1	1	0
MK 4	1	3	1	0	1
MK 5	1	5	1	1	0
MK 6	1	3	1	0	1
MK 7	1	4	1	1	0
MK 8	1	3	1	0	1
TOTAL	21	71	19	6	12

12.7　曲げ破壊係数の計算

縦方向の独立強度（引張，圧縮およびセン断）を用いて，その破損条件から次式を用いた。

$$\sigma_{br}' = \frac{3_{r}'-1}{r'+1} \cdot \sigma_{cp} \qquad (1.1)$$

ここに，

σ_{br}' = 曲げ破壊係数の計算値

$\sigma_{r}' = \sigma_t/\sigma_{cp}$

σ_{cp} = 縦圧縮比例限応力度

σ_t = 縦引張強度

一般の広葉樹気乾材等では

$$\sigma_{br} = \frac{3_{r}-1}{r+1}\ \sigma_c \qquad (1.2)$$

が成り立つが（σ_{br} = 曲げ破壊係数；$r = \sigma_t/\sigma_c$；σ_c = 縦圧縮強度），針葉樹気乾材にあつては，圧縮強度を用いると約10%程度過大な計算値をうることがみとめられたので，比例限応力度をとることにした。この場合は，反対に，やや過少にでる傾向はあるが推定値の安全性からみてむしろ妥当とおもわれる。

12.8　撓み量の計算（スパン中央）

計算値の撓みを y_r' とすれば次式であらわすことができる（Table 22）。

i）　中央部荷重点間においては，

$$\left.\begin{aligned} y_r'{}_l &= \frac{4}{\beta(3-\beta)^2} \cdot y_{el} \\ &= \phi_l \cdot y_{el} \end{aligned}\right\} \qquad (1.3)$$

Table 3.　年輪巾，秋材巾断面，秋材率および試験時比重
Width of annual ring (b), width of summer wood (s), ratio of summer wood to cross area (ϕ_a) and specific gravity at test (R_u).

MARK	b				S				ϕ_a				R_u
	mm				mm				%				
	T	C	S	M	T	C	S	M	T	C	S	M	g/cm^3
SA 1	6.7	7.7	7.9	7.4	0.45	0.45	0.33	0.41	7	7	5	6	0.25
SA 2	7.8	7.2	6.9	7.3	0.45	0.40	0.33	0.38	6	6	5	6	0.26
SA 3	10.0	6.7	8.3	8.3	0.35	0.40	0.40	0.38	4	6	6	5	0.26
SA 4	7.5	5.7	7.5	7.0	0.40	0.50	0.40	0.43	11	7	7	8	0.26
YS 1—1	1.8	1.9	1.9	1.9	0.35	0.37	0.38	0.37	19	19	21	20	0.41
YS 1—2	—	1.8	1.8	1.8	—	0.37	0.44	0.40	—	21	25	23	0.42
YS 1—3	--	1.9	1.7	1.8	—	0.37	0.31	0.34	—	21	17	19	0.41
YS 2—1	1.8	2.4	2.0	2.1	0.23	0.40	0.37	0.33	12	18	19	16	0.40
YS 2—2	2.4	1.7	2.5	2.2	0.31	0.28	0.33	0.31	12	17	14	14	0.40
YS 3	2.3	2.1	2.2	2.2	0.31	0.32	0.31	0.31	14	15	14	14	0.47
MK 1	1.8	1.6	1.5	1.6	0.44	0.41	0.36	0.40	27	22	25	25	0.45
MK 2	1.5	1.6	1.6	1.6	0.28	0.37	0.35	0.33	16	24	23	21	0.44
MK 3	1.3	1.2	1.1	1.2	0.43	0.41	0.36	0.40	35	35	31	34	0.48
MK 4	1.5	1.5	1.4	1.5	0.45	0.44	0.40	0.43	29	31	30	30	0.46
MK 5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.30	0.33	0.35	0.33	21	23	24	23	0.46
MK 6	1.5	1.5	1.5	1.5	0.35	0.38	0.34	0.36	23	25	23	24	0.45
MK 7	1.6	1.5	1.5	1.5	0.30	0.35	0.32	0.32	21	23	23	22	0.45
MK 8	1.6	1.6	1.6	1.6	0.34	0.35	0.33	0.34	22	23	22	22	0.45

T = tension test (11) : *C = compsession test* (11)
S = shearing test (11) : *M = mean value*

ここに，　$\beta=\sigma_b/\sigma_{cp}$　($\sigma_b=M/W$)

M＝曲げモーメント；W＝断面係数

y_{el}＝弾性的撓み量

ii)　全スパンにおいては，

$$y_{r'L}=\frac{8}{(3\gamma^2-4)}\left\{\phi_c+\frac{3}{8}(\gamma^2-4)\cdot\phi_l\right\}\cdot y_{eL} \qquad (1.4)$$

ここに，

$y_{r'L}$＝撓みの計算値

$\gamma=L/a$　；　$a=\frac{1}{2}(L-l)$

$$\phi_l=\frac{4}{\beta(3-\beta)^2}$$

$$\phi_c=\frac{1}{\beta^3}\left\{\frac{36}{3-\beta}-17-12\log_e\frac{2}{3-\beta}\right\}$$

y_{eL}＝弾性的撓み量，

12.9　曲げ比例限応力度の計算値

曲げにおける比例限応力度は，理論的には，圧縮比例限応力度と一致しなければならないわけであるが，

Table 4. 試 験 条 件
Test conditions.
Bs = static bending test; Bc = bending creep test.

MARK	Temperatvre ～°C					Relative humidity ～%					Loading speed *kg/cm²min*			
	T	*C*	*S*	*Bs*	*Bc*	*T*	*C*	*S*	*Bs*	*Bc*	*T*	*C*	*S*	*Bs*
SA 1	12.5	17.0	18.0	—	20.0	69	65	73	—	75	84	45	24	—
SA 2	13·0	17.0	18.0	—	20.0	70	63	73	—	75	105	39	32	—
SA 3	13.0	19.0	18.0	—	20.0	70	69	73	—	75	93	38	33	—
SA 4	19.5	19.0	14.5	14.0	—	74	73	60	76	—	72	46	31	41
YS 1—1	12.0	16.5	17.5	—	20.0	69	73	73	—	75	174	70	44	—
YS 1—2	—	18.5	17.5	—	20.0	—	68	73	—	75	—	71	49	—
YS 1—3	—	18.0	17.5	—	20.0	—	72	73	—	75	—	84	46	—
YS 2—1	14.5	18.0	17.5	17.0	—	71	72	73	68	—	165	75	47	45
YS 2—2	14.0	16.0	17.5	—	20.0	76	67	73	—	75	178	88	42	—
YS 3	14.0	18.5	17.5	18.0	—	70	70	73	68	—	205	77	43	41
MK 1	13.0	18.5	17.5	—	20.0	69	70	73	—	75	200	73	60	—
MK 2	14.0	17.0	17.5	—	20.0	71	73	73	—	75	184	78	52	—
MK 3	14.5	16.5	17.5	13.0	—	71	67	73	64	—	213	89	59	29
MK 4	14.0	16.5	17.5	—	20.0	71	70	73	—	75	180	85	52	—
MK 5	14.5	16.5	17.5	13.0	—	71	72	73	64	—	202	88	38	29
MK 6	15.5	17.0	17.5	—	20.0	71	72	73	—	75	214	87	43	—
MK 7	14.0	17.0	17.5	13.0	—	71	69	73	64	—	198	88	43	22
MK 8	14.0	17.5	17.5	—	20.0	71	71	73	—	75	203	93	44	—

実際には，曲げ試験における撓みの測定精度，がそれほど高くはないことや，この報告の末尾にかかげておいた Table 22 からもみられるように，$\beta=1.20$ のばあいで撓み量が3％以内の増加をしめすにとどまつていることなどから曲げ比例限応力度を圧縮比例限応力度の20％増の次式でもとめることにした。

$$\sigma_{bpr}' = 1.20 \cdot \sigma_{cp} \qquad (1.5)$$

2. 試 験 結 果

クリープ試験のための基礎的性能を知るためにおこなつた引張，圧縮，セン断および静的曲げ試験の総括的結果は Table 5 および Table 6 にしめすとおりである。なお，表中 b＝年輪巾；S＝秋材巾；ϕ_a＝断面秋材率；u＝含水率；R_u＝試験時比重；R_0＝全乾比重（試験時容積にもとづく）；E ヤング係数；σ_m＝強度；T＝引張；C＝圧縮；B_t＝中央荷重点間の曲げ；B_L＝全スパンに関する曲げ；S_R＝セン断(放射面)；B＝曲げ；E_t＝引張ヤング係数；E_c＝圧縮ヤング係数；E_{bt}＝中央荷重点間の曲げヤング係数；E_{bL}＝全スパンに関する曲げヤング係数；σ_{cp}＝圧縮比例限応力度；σ_{tp}＝同引張；σ_{bp}＝同曲げ；σ_t＝引張強度；σ_c＝圧縮強度；τ＝セン断強度；

Table 5. 試 験 結 果
Test results.

MARK	b	S	ϕ_a	u	R_u	R_0	E				σ_m			
							kg/cm^2				kg/cm^2			
	mm	mm	%	%	g/cm^3	g/cm^3	T	C	B_l	B_L	T	C	S_R	B
SA 1	7.4	0.41	6	14.0	0.25	0.22	61.0	55.5	60.0	54.0	471	188	51	—
SA 2	7.3	0.38	6	15.0	0.26	0.23	48.5	51.2	64.5	54.3	361	185	50	—
SA 3	8.3	0.38	5	13.5	0.26	0.23	56.5	59.8	56.0	56.0	435	192	56	—
SA 4	7.0	0.43	8	15.5	0.26	0.23	63.0	62.4	76.9	70.5	491	192	56	368
YS 1—1	1.9	0.37	20	16.0	0.41	0.35	142.0	148.0	155.5	128.2	1395	361	98	—
YS 1—2	1.8	0.40	23	13.5	0.42	0.37	—	141.6	147.5	127.3	—	379	100	—
YS 1—3	1.8	0.34	19	15.5	0.41	0.36	—	128.2	133.5	121.5	—	362	96	—
YS 2—1	2.1	0.33	16	14.0	0.40	0.35	129.0	126.8	127.0	120.5	1300	367	95	712
YS 2—2	2.2	0.31	14	15.0	0.40	0,35	138.0	138.0	156.0	132.3	1290	366	96	—
YS 3	2.2	0.31	14	14.5	0.47	0.41	143.0	149.4	158.0	146.0	1363	429	113	865
MK 1	1.6	0.40	25	15.0	0.45	0.39	73.0	72.5	78.0	74.3	1005	390	113	—
MK 2	1.6	0.33	21	15.0	0.44	0.38	78.0	80.3	82.0	79.4	1070	387	112	—
MK 3	1.2	0.40	34	14.0	0.48	0.42	103.0	107.0	110.5	110.5	980	432	128	793
MK 4	1.5	0.43	30	15.0	0,46	0.40	101.0	105.5	112.5	108.0	1245	417	119	—
MK 5	1.5	0.33	23	14.0	0.46	0.40	107.5	111.8	110.0	104.0	1290	413	123	725
MK 6	1.5	0.36	24	14.5	0.45	0.39	114.0	119.8	125.5	115.0	1475	413	119	—
MK 7	1.5	0.32	22	14.0	0.45	0.39	88.3	102.8	107.5	105.5	930	405	118	715
MK 8	1.6	0.34	22	15.5	0.45	0.39	102.0	111.2	127.0	118.2	1340	406	113	—

u = moisture content; R_0 = S.P.G. at oven dry weight, volume at test.

E = Young's modulus.

σ_m = strength.

B_l = bending at center part (l) in Fig. 1.

B_L = bending at span (L) in Fig. 1.

S_R = shear (radial face).

B = bending test.

2.1 曲げ破壊係数の計算値と実測値との比較

スギ（SA）；エゾマツ（YS）およびアカマツ（MK）についてその特性的な数値($\omega, r, r', q, \varphi$および$\varphi'$)を平均値によって示すと Table 7 のようになる。また，Table 7 の r' を用いて，静的曲げ試験による曲げ破壊係数の計算値と実測値とを比較したものが Table 8 である。

これによつて，縦引張，および縦圧縮試験の結果から曲げ破壊係数を推定することができると判断した。

Table 6. 機械的性質相互間の関係

Ratios between mechanical properties.

τ = *shearing strength.*

MARK		u	R_u	$\frac{e_t}{E_t/E_c}$	$\frac{e_l}{E_{bl}/E_c}$	$\frac{e_L}{E_{bL}/E_c}$	$\frac{P_c}{\sigma_{cp}/\sigma_c}$	$\frac{P_t}{\sigma_{tp}/\sigma_t}$	$\frac{P_b}{\sigma_{bp}/\sigma_b}$	$\frac{r}{\sigma_t/\sigma_c}$	$\frac{r'}{\sigma_t/\sigma_{cp}}$	$\frac{q}{\sigma_c/\tau}$	$\frac{\omega_t}{\sigma_t/E_t\ \%}$	$\frac{\omega_c}{\sigma_c/E_c\ \%}$
		%	g/cm³											
SA	1	14.0	0.25	1.10	1.08	0.99	0.93	0.92	—	2.51	2.71	3.69	0.77	0.34
SA	2	15.0	0.26	0.95	1.26	1.06	0.92	0.90	—	1.95	2.13	3.70	0.75	0.36
SA	3	13.5	0.26	0.95	1.04	0.94	0.89	0.90	—	2.27	2.56	3.43	0.77	0.32
SA	4	15.5	0.26	1.01	1.23	1.13	0.92	0.92	0.67	2.56	2.79	3.43	0.79	0.31
YS	1—1	16.0	0.41	0.96	1.05	0.87	0.88	0.82	—	3.87	4.39	3.68	0.98	0.24
YS	1—2	13.5	0.42	—	1.04	0.90	0.87	—	—	—	—	3.79	—	0.27
YS	1—3	15.5	0.41	—	1.04	0.91	0.90	—	—	—	—	3.77	—	0.28
YS	2—1	14.0	0.40	1.02	1.00	0.95	0.91	0.90	0.60	3.55	3.92	3.86	1.01	0.29
YS	2—2	15.0	0.40	1.00	1.13	0.96	0.92	0.78	—	3.53	3.82	3.81	0.94	0.27
YS	3	14.5	0.47	0.96	1,06	0.98	0.95	0.79	0.62	3.18	3.34	3.80	0.95	0.29
MK	1	15.0	0.45	1.01	1.08	1.02	0.71	0.78	—	2.58	3.64	3.46	1.38	0.54
MK	2	15.0	0.44	0.97	1.02	0.99	0.69	0.65	—	2.76	4.01	3.46	1.37	0.48
MK	3	14.0	0.48	0.96	1.03	1.03	0.88	0.83	0.57	2.27	2.57	3.38	0.95	0.40
MK	4	15.0	0.46	0.96	1.07	1.02	0.82	0.89	—	2.99	3.66	3.51	1.23	0.40
MK	5	14.0	0.46	0.96	0.98	0.93	0.86	0.74	0,66	3.12	3.64	3.36	1.20	0.37
MK	6	14.5	0.45	0.95	1.05	0.96	0.82	0.93	--	3.57	4.37	3.47	1.29	0.34
MK	7	14.0	0.45	0.86	1.05	1.03	0.80	0.81	0.64	2.30	2.87	3.43	1.05	0.39
MK	8	15.5	0.45	0.92	1.14	1.06	0.82	0.75	—	3.30	4.03	3.59	1.31	0.37
		Average		0.97	1.07	0.99								
		± △ %		5.1	6.7	6.4								

t = *tension*

c = *compression.*

b = *bending.*

p = *proportional limit.*

σ_t = *tensile strength.*

σ_{cp} = *compressive stress at P. L.*

このことは，このような比較を3点荷重の曲げ試験ではすでにたしかめているのであるが，2点荷重の場合も全く同様であることが確認されたものとかんがえられる。

また，この場合，このような針葉樹材では圧縮試験における破壊強度をとるよりも，むしろ比例限応力度をとる方が妥当であると考えられる。表中 $\sigma_b r'$ は曲げ破壊係数の計算値である。

Table 7. 試料における $\omega, r, r', q, \varphi$ および φ' の平均値
Average values of $\omega, r, r', q, \varphi$ and φ' of test materials.

MARK	u	R_u	ω_t	ω_c	q	r	φ	r'	φ'
	%	g/cm^3	$\frac{\sigma_t}{E_t}$ %	$\frac{\sigma_c}{E_c}$ %	$\frac{\sigma_c}{\tau}$	$\frac{\sigma_t}{\sigma_c}$	$\frac{3r-1}{r+1}$	$\frac{\sigma_t}{\sigma_{cp}}$	$\frac{3r'-1}{r'+1}$
S A	14.5	0.26	0.77	0.33	3.56	2.32	1.796	2.55	1.875
Y S	14.5	0.42	0.97	0.28	3.79	3.53	2.118	3.87	2.178
MK	14.5	0.45	1.22	0.41	3.46	2.86	1.965	3.60	2.130

Table 8. 曲げ破壊係数の計算値と実測値との比較
Comparison of measured and computed values of modulus of rupture in bending.

MARK	σ_{cp} kg/cm²	r' $\frac{\sigma_t}{\sigma_{cp}}$	φ' $\frac{3r'-1}{r'+1}$	$\sigma'_{br'}$ kg/cm²	σ_b kg/cm²	y $\frac{\sigma_{br'}}{\sigma_b}$
S A 4	176	2.55	1.875	330	368	0.90
Y S 2－1	332	3.87	2.178	723	712	1.02
Y S 3	409			891	865	1.03
M K 3	381	3.60	2.130	812	793	1.02
M K 5	354			754	725	1.04
M K 7	324			690	715	0.97
					A	0.99
$\pm\triangle\% = \frac{\text{Standard deviation}}{\text{Average value}} \times 100\ (\%)$					$\pm\triangle\%$	5.0

2.2 曲げ比例限度および曲げヤング係数の計算値と実測値との比較

静的曲げ試験における曲げ比例限度（σ_{bp}）および曲げヤング係数（E_b）の計算値と実測値との比較結果を Table 9 に示した。このばあい，$\sigma_{bpr'}$ は曲げ比例限応力度の計算値であるが，実測値とよく一致している。大体においてやや過小となつているが安全側であつてあまり問題でないとおもうことから，曲げクリープ試験体に対しても同様の方法でその比例限応力度を算出した。また，曲げヤング係数については，計算値は圧縮ヤング係数をもつてあてはめ，これと実測値との比較をおこなつたが，全体を通じてよく一致している。なお，曲げクリープ試験体の曲げヤング係数は比例限度内での実測によつたものである。

表中，t＝梁巾；h＝梁丈；W＝断面係数；I＝断面二次モーメントである。

2.3 撓み量の計算値と実測値との比較

今，荷重 $10kg$ に対する試験梁の撓みを $\triangle y$ であらわし，これを中央部一定曲げモーメントの区間（l）と，全スパン（L）について，それぞれ計算値と実測値とを比較したものが Table 10 である。また，比例限度における撓み y_p と破壊荷重に対する撓み y_m の計算値，および，静的曲げ試験における計算値と実測値との比較をしめしたのが Table 11 である。

Table 9. 曲げヤング係数と曲げ比例限応力度における計算値と実測値の比較
Comparisons of measured and computed value of E and σ_p in the static bending.

MARK	t	h	W	I	E_c	σ_{bpr}'	σ_{br}'	$\frac{E_b}{E_c}$		$\frac{\sigma_{bpr}'}{\sigma_{bp}}$
	cm	cm	cm^3	cm^4	10^3 kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	B_l	B_L	
SA 1	2.005	1.995	1.3300	1.3266	55.5	226	326	1.08	0.99	—
SA 2	2.010	2.005	1.3467	1.3500	51.2	222	319	1.26	1.06	—
SA 3	2.005	2.000	1.3367	1.3367	59.8	230	319	1.04	0.94	—
SA 4	1.985	2.000	1.3233	1.3233	62.4	230	330	1.23	1.13	0.95
YS 1—1	2.010	2.000	1.3400	1.3400	148.0	433	653	1.05	0.87	—
YS 1—2	2.010	2.000	1.3400	1.3400	141.6	455	721	1.04	0.90	—
YS 1—3	2.005	2.000	1.3367	1.3367	128.2	435	721	1.04	0.91	—
YS 2—1	2.005	2.000	1.3367	1.3367	126.8	440	723	1.00	0.95	0.94
YS 2—2	1.858	1.859	1.0702	0.9947	138.0	439	736	1.13	0.96	—
YS 3	2.000	2.003	1.3373	1.3393	149.4	515	891	1.06	0.98	0.92
MK 1	1.895	1.905	1.1462	1.0917	72.5	468	588	1.08	1.02	—
MK 2	2.000	2.005	1.3400	1.3433	80.3	465	569	1.02	0.99	—
MK 3	1.900	1.900	1.1432	1.0860	107.0	518	812	1.03	1.03	1.00
MK 4	2.000	2.000	1.3333	1.3333	105.5	500	724	1.07	1.02	—
MK 5	1.900	1.903	1.1468	1.0912	111.8	495	754	0.98	0.93	0.88
MK 6	2.005	2.010	1.3500	1.3567	119.8	495	718	1.05	0.96	—
MK 7	1.900	1.900	1.1432	10.860	102.8	486	690	1.05	1.03	0.91
MK 8	2.000	2.005	1.3400	1.3433	111.2	487	707	1.14	1.06	—
						Average		1.07	0.99	0.93
						±△%		6.7	6.4	4.0

t = *width of test beam.*

h = *depth of test beam.*

W = *section modulus.*

I = *moment of inertia.*

$E_c = E_{br}$ = *Young's modulus in compressive test*
= *computed value of Young's modulus in bending.*

σ_{bpr}', σ_{br}' : *computed value*; E_b, σ_{bp} : *measured value.*

Table 10. 10 *kg*当りの単位撓み量と，その計算値との比較
Unit deflection per 10 *kg* load and comparison of computed and measured unit deflection.

MARK	σ_{cp}	$\Delta y_{lr}'$	Δy_l	v_l	$\Delta y_{Lr}'$	Δy_L	v_L
				$\frac{\Delta y_{lr}'}{\Delta y_l}$			$\frac{\Delta y_{Lr}'}{\Delta y_L}$
	kg/cm^2	10^{-3} $cm/10kg$	10^{-3} $cm/10kg$		10^{-3} $cm/10kg$	10^{-3} $cm/10kg$	
SA 1	174	51	47	1.08	280	283	0.99
SA 2	170	54	43	1.25	297	281	1.06
SA 3	170	47	46	1.02	258	280	0.92
SA 4	176	57	46	1.24	225	201	1.12
YS 1—1	300	19	18	1.05	104	120	0.87
YS 1—2	331	20	19	1.05	110	121	0.91
YS 1—3	327	22	21	1.05	121	127	0.95
YS 2—1	332	37	37	1.00	146	154	0.95
YS 2—2	338	20	18	1.11	110	117	0.94
YS 3	409	23	22	1.04	91	94	0.97
MK 1	276	47	44	1.07	258	254	1.02
MK 2	267	35	34	1.03	193	193	1.00
MK 3	381	40	39	1.03	158	154	1.03
MK 4	340	27	25	1.08	148	143	1.03
MK 5	354	38	39	0.97	150	163	0.92
MK 6	337	23	22	1.04	126	132	0.95
MK 7	324	42	40	1.05	166	161	1.03
MK 8	332	25	22	1.14	137	130	1.05
A				1.07			0.98
±△%				6.74			6.08

Δy = *measured deflection.*
$\Delta y_r'$ = *computed deflection.*

Table 11. 比例限撓みと破損撓み
Deflection at proportional limit and at maximum load in bending,

MARK	y_p $10^{-3}cm$				y_m $10^{-3}cm$				M/C			
	l		*L*		*l*		*L*		*l*		*L*	
	M	C	M	C	M	C	M	C	P.L.	MAX	P.L.	MAX
SA 1	—	189	—	1036	—	502	—	2575	—	—	—	—
SA 2	—	200	—	1100	—	522	—	2515	—	—	—	—
SA 3	—	169	—	929	—	438	—	2420	—	—	—	—
SA 4	221	245	924	968	517	632	2468	2420	0.90	0.95	0.82	1.02
YS 1—1	—	129	—	707	—	643	—	3380	—	—	—	—
YS 1—2	—	142	—	781	—	704	—	3760	—	—	—	—
YS 1—3	—	154	—	847	—	763	—	3800	—	—	—	—
YS 2—1	259	244	1078	964	1164	1200	4135	4340	1.06	1.12	0.97	0.95
YS 2—2	—	144	—	792	—	716	—	3695	—	—	—	—
YS 3	242	232	1034	920	1034	1149	3441	4160	1.04	1.12	0.90	0.83
MK 1	—	240	—	1316	—	1050	—	5050	—	—	—	—
MK 2	—	200	—	1100	—	887	—	4350	—	—	—	—
MK 3	312	324	1233	1280	1281	1420	4982	5160	0.96	0.96	0.90	0.97
MK 4	—	197	—	1080	—	865	—	4075	—	—	—	—
MK 5	332	285	1385	1126	1133	1255	4723	4560	1.17	1.23	0.90	1.04
MK 6	—	168	—	920	—	737	—	3760	—	—	—	—
MK 7	300	286	1208	1130	1066	1263	4092	4590	1.05	1.07	0.85	0.89
MK 8	—	178	—	972	—	783	—	3620	—	—	—	—
							A		1.03	1.08	0.86	0.95
							±△%		8.2	9.0	5.3	7.6

M = *measured value.*
C = *computed value.*

2.4 荷重－撓み曲線

計算による荷重－撓み曲線が実測の曲線とどの程度まで一致するかについて，主としてその曲線性から比較してみた。これも，3点荷重方式のものについてはすでに報告したとおりであるが，2点荷重の場合についてたしかめた結果はまだ報告していないので，ここで同時にとり扱うことにした。結果は Table 12 に示すとおりであるが，とくに，この場合，その曲線性に重点をおいて検討するため，ヤング係数は曲げ試験から得られたものを用い，さらに，曲げ破壊係数の計算値と実測値との差によつて，曲げ比例限応力度を次式によつてもとめた。

Table 12. 静的曲げ試験による撓みの計算値と実測値との比較
Comparison of computed and measured deflection in statio bending.

SA 4	$\triangle y_l = 46$	$\triangle y_L = 201$	$10^{-3}cm$	$P_M = 75kg$	$P'_{cp} = 40kg$

P	β	y_l				y_L				Remarks
kg	P/P_{cp}	y_l	y_r	y	y_r/y	y_l	y_r	y	y_r/y	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	
10		46	46	49	0.94	201	201	191	1.05	
20		92	92	94	0.98	402	402	393	1.02	
30		138	138	142	0.97	603	603	611	0.99	
40		184	184	192	0.96	804	804	813	0.99	P.L.
50	1.25	230	240	241	1.00	1005	1043	1041	1.00	
60	1.50	276	327	305	1.07	1206	1398	1339	1.04	
70	1.75	322	471	441	1.07	1407	1965	1967	1.00	
75	1.87	345	578	517	1.12	1508	2392	2462	0.97	Max.

y_l = *elastic deflection.*

y_r = *computed def.*

y = *measured def.*

$$P'_{cp} = \frac{\sigma_b}{\sigma_{br'}} \cdot \sigma_{cp} \times \frac{2W}{a}$$

YS 2—1	$\triangle y_l = 37$	$\triangle y_L = 154$	$10^{-3}cm$	$P_M = 117kg$	$P'_{cp} = 55kg$

P	β	y_l				y_L				Remarks
kg	P/P_{cp}	y_l	y_r	y	y_r/y	y_l	y_r	y	y_r/y	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	
10		37	37	37	1.00	154	154	161	0.96	
20		74	74	78	0.95	308	308	287	1.07	
30		111	111	105	1.06	462	462	459	1.01	
40		148	148	140	1.06	616	616	605	1.02	
50		185	185	180	1.03	770	770	731	1.05	P.L.
60	1.09	222	223	217	1.03	924	929	892	1.04	
70	1.27	259	273	254	1.07	1078	1126	1053	1.07	
80	1.45	296	340	299	1.14	1232	1378	1239	1.12	
90	1.64	333	439	381	1.15	1386	1768	1551	1.14	
100	1.82	370	584	550	1.06	1540	2312	2023	1.14	
110	2.00	407	814	767	1.06	1694	3165	2922	1.08	
115	2.09	426	980	866	1.13	1771	3785	3296	1.15	
117	2.13	433	1072	—	—	1802	4115	—	—	Max.

YS　3	$\Delta y_l = 22$	$\Delta y_L = 94$	$10^{-3}cm$	$P_M = 178kg$	$P'_{cp} = 86kg$

P	β	y_l				y_L				Remarks
kg	P/P_{cp}	y_l	y_r	y	y_r/y	y_l	y_r	y	y_r/y	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	
10		22	22	22	1.00	94	94	117	0.80	
20		44	44	43	1.02	188	188	180	1.04	
30		66	66	63	1.05	282	282	276	1.02	
40		88	88	84	1.05	376	376	360	1.04	
50		110	110	106	1.04	470	470	456	1.03	
60		132	132	127	1.04	564	564	543	1.04	
70		154	154	149	1.03	658	658	642	1.03	
80		176	176	171	1.03	752	752	730	1.03	P.L.
90	1.05	198	198	195	1.02	846	848	826	1.03	
100	1.16	220	224	217	1.03	940	954	923	1.03	
110	1.28	242	255	241	1.06	1034	1083	1027	1.05	
120	1.40	264	294	269	1.09	1128	1240	1138	1.09	
130	1.51	286	341	303	1.12	1222	1425	1290	1.11	
140	1.63	308	402	350	1.15	1316	1665	1484	1.14	
150	1.74	330	477	425	1.12	1410	1958	1777	1.10	
160	1.86	352	582	551	1.05	1504	2358	2233	1.06	
170	1.98	374	725	674	1.08	1598	2905	2690	1.08	
175	2.04	385	817	814	1.00	1645	3255	3189	1.02	
178	2.07	892	877	1032	0.85	1673	3468	3434	1.01	Max.

MK　3	$\Delta y_l = 39$	$\Delta y_L = 154$	$10^{-3}cm$	$P_M = 140kg$	$P'_{cp} = 67kg$

P	β	y_l				y_L				Remarks
kg	P/P_{cp}	y_l	y_r	y	y_r/y	y_l	y_r	y	y_r/y	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	
10		39	39	40	0.98	154	154	160	0.96	
20		78	78	75	1.04	308	308	295	1.04	
30		117	117	103	1.14	462	462	441	1.05	
40		156	156	148	1.05	616	616	584	1.05	
50		195	195	186	1.05	770	770	746	1.03	
60		234	234	223	1.05	924	924	898	1.03	P.L.
70	1.04	273	273	264	1.03	1078	1080	1058	1.02	
80	1.19	312	320	309	1.04	1232	1259	1231	1.02	
90	1.34	351	380	362	1.05	1386	1485	1428	1.04	
100	1.49	390	460	426	1.08	1540	1774	1676	1.06	
110	1.64	429	565	522	1.08	1694	2160	2008	1.08	
120	1.79	468	714	642	1.11	1848	2690	2459	1.09	
130	1.94	507	930	842	1.10	2002	3455	3160	1.09	
135	2.01	527	1070	953	1.12	2079	3938	3485	1.13	
140	2.09	546	1260	—	—	2156	4610	—	—	Max.

MK 5	$\Delta y_l = 39$	$\Delta y_L = 163$	$10^{-3}cm$	$P_M = 128kg$	$P'_{cp} = 65kg$

P	β	y_l				y_L				Remarks
kg	P/P_{cp}	y_l	y_r	y	y_r/y	y_l	y_r	y	y_r/y	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	
10		39	39	40	0.98	163	163	173	0.94	
20		78	78	76	1.03	326	326	318	1.03	
30		117	117	113	1.04	489	489	489	1.00	
40		156	156	150	1.04	652	652	620	1.05	
50		195	195	189	1.03	815	815	777	1.05	
60		234	234	226	1.04	978	978	917	1.07	P. L.
70	1.08	273	286	267	1.07	1141	1145	1100	1.04	
80	1.23	312	324	314	1.03	1304	1345	1291	1.04	
90	1.38	351	388	372	1.04	1467	1598	1504	1.06	
100	1.54	390	475	447	1.06	1630	1936	1804	1.07	
110	1.69	429	592	566	1.05	1793	2381	2236	1.07	
120	1.85	468	765	756	1.01	1956	3035	2925	1.04	
125	1.92	488	872	885	0.99	2038	3428	3428	1.00	
128	1.97	499	955	—	—	2086	3740	—	—	Max.

MK 7	$\Delta y_l = 40$	$\Delta y_L = 161$	$10^{-3}cm$	$P_M = 125kg$	$P'_{cp} = 60kg$

P	β	y_l				y_L				Remarks
kg	P/P_{cp}	y_l	y_r	y	y_r/y	y_l	y_r	y	y_r/y	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	
10		40	40	41	0.98	161	161	158	1.02	
20		80	80	78	1.03	322	322	282	1.14	
30		120	120	115	1.04	483	483	449	1.08	
40		160	160	152	1.05	644	644	600	1.07	
50		200	200	192	1.04	805	805	753	1.07	
60		240	240	232	1.03	966	966	925	1.04	
70	1.17	280	285	276	1.03	1127	1147	1102	1.04	
80	1.33	320	345	324	1.06	1288	1374	1286	1.07	
90	1.50	360	426	386	1.10	1449	1678	1513	1.11	
100	1.67	400	542	466	1.16	1610	2102	1812	1.16	
110	1.83	440	703	592	1.19	1771	2688	2292	1.17	
120	2.00	480	960	773	1.24	1932	3610	3010	1.20	
125	2.08	500	1135	—	—	2013	4235	4072	1.04	

$$\sigma_{cp}' = \frac{\sigma_b}{\sigma_{br}} \cdot \sigma_{cp} \qquad (2.1)$$

ここに，　σ_{cp}'＝換算曲げ比例限応力度（圧縮比例限応力度に一致する）

σ_{cp}＝計算に用いた曲げ比例限応力度（圧縮のそれと同じ）

結果的には，比較的その曲線性は一致しているようにおもわれる。

2.5　曲げクリープ試験における荷重の決定

以上のべた基礎的試験結果から，曲げクリープ試験梁の静的曲げ性能がほぼ推定しうるとみられるので，これらの数値を基礎として，Table 13 に示すような荷重条件を決定した。

この場合，P_0＝死荷重；P_{pr}'＝曲げ比例限荷重の計算値；P_{Mr}'＝曲げ破壊荷重の計算値である。なお，P_0 の決め方としては，各樹種ごとに，P_{Mr}' の 40，60，80% を目安にした。ただし荷重を 5kg 段階でとり扱つたため実際には若干の差を生じている。

Table 13.　曲げクリープ試験において試験梁に加えた死荷重
The dead loads applied to beams, in bending creep test.

MARK	P_0	P_{pr}'	P_{Mr}'	$\frac{P_0}{P_{pr}'}$	$\frac{P_0}{P_{Mr}'}$	Weight				
						kg				
	kg	kg	kg			5	5	10	20	Σ
SA 1	35	37	58	0.95	0.60	1	0	1	1	35
SA 2	45	37	57	1.22	0.79	1	0	2	1	45
SA 3	25	36	55	0.70	0.45	1	2	1	0	25
YS 1—1	80	64	117	1.25	0.68	1	1	1	3	80
YS 1—2	110	71	129	1.55	0.85	1	1	0	5	110
YS 1—3	65	70	127	0.93	0.51	1	0	2	2	65
YS 2—2	50	72	131	0.70	0.38	1	1	0	2	50
MK 1	50	51	90	0.98	0.56	1	1	2	1	50
MK 2	70	57	102	1.23	0.69	1	1	0	3	70
MK 4	75	73	129	1.03	0.58	1	0	1	3	75
MK 6	105	73	129	1.44	0.81	1	0	2	4	105
MK 8	50	71	126	0.70	0.40	1	1	0	2	50

P_0＝*dead load in bending creep test.*

P_{pr}'＝*computed at P. L.*

P_{Mr}'＝*computed maximum load.*

2.6　クリープ撓みと経過時間との関係

この試験は恒温恒湿室内で約300時間継続したが，これをすぎるころ，停電事故のためやや著しい温湿度条件の変化があつたのでこれ以上続行できずに中止した。そのクリープ撓みと経過時間の曲線を Fig. 2, 3に示した。この場合，$y_l = l$ 区間における撓み；$y_L = L$ 区間の撓みである。

この図から，推定破壊荷重の 80% をこえた荷重をあたえたもの（YS 1—2，MK—6）は比較的短時間にクリープ破損を生じているが，その他のものでは，ある時間を経過すると，ほぼ，そのクリープ撓みの増加速度が安定してくる傾向がみとめられる。

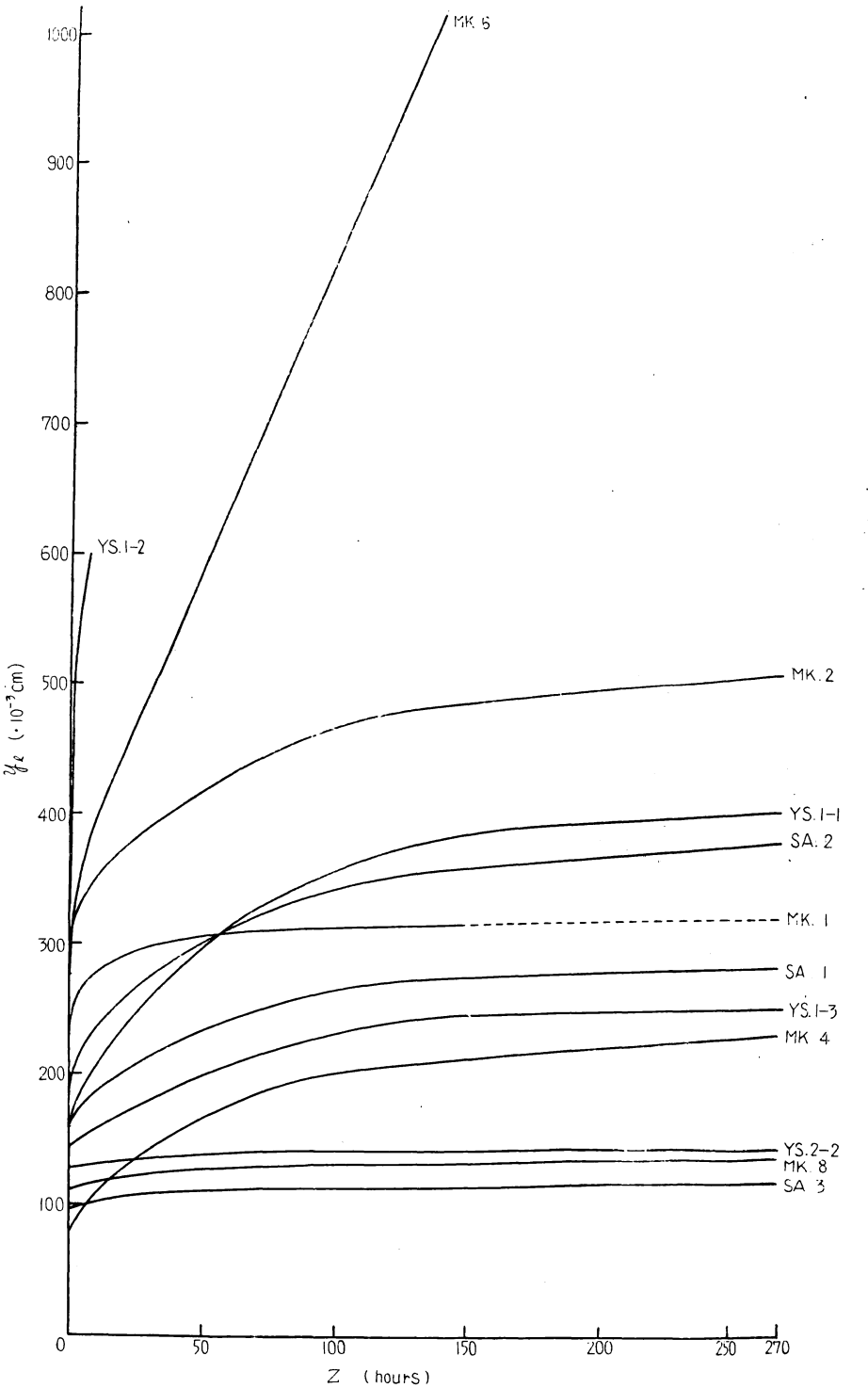


Fig. 2　経過時間－撓み曲線（Fig. 1 の l 部分）　Z (hours)
Time-deflction curves(portion l in Fig. 1).

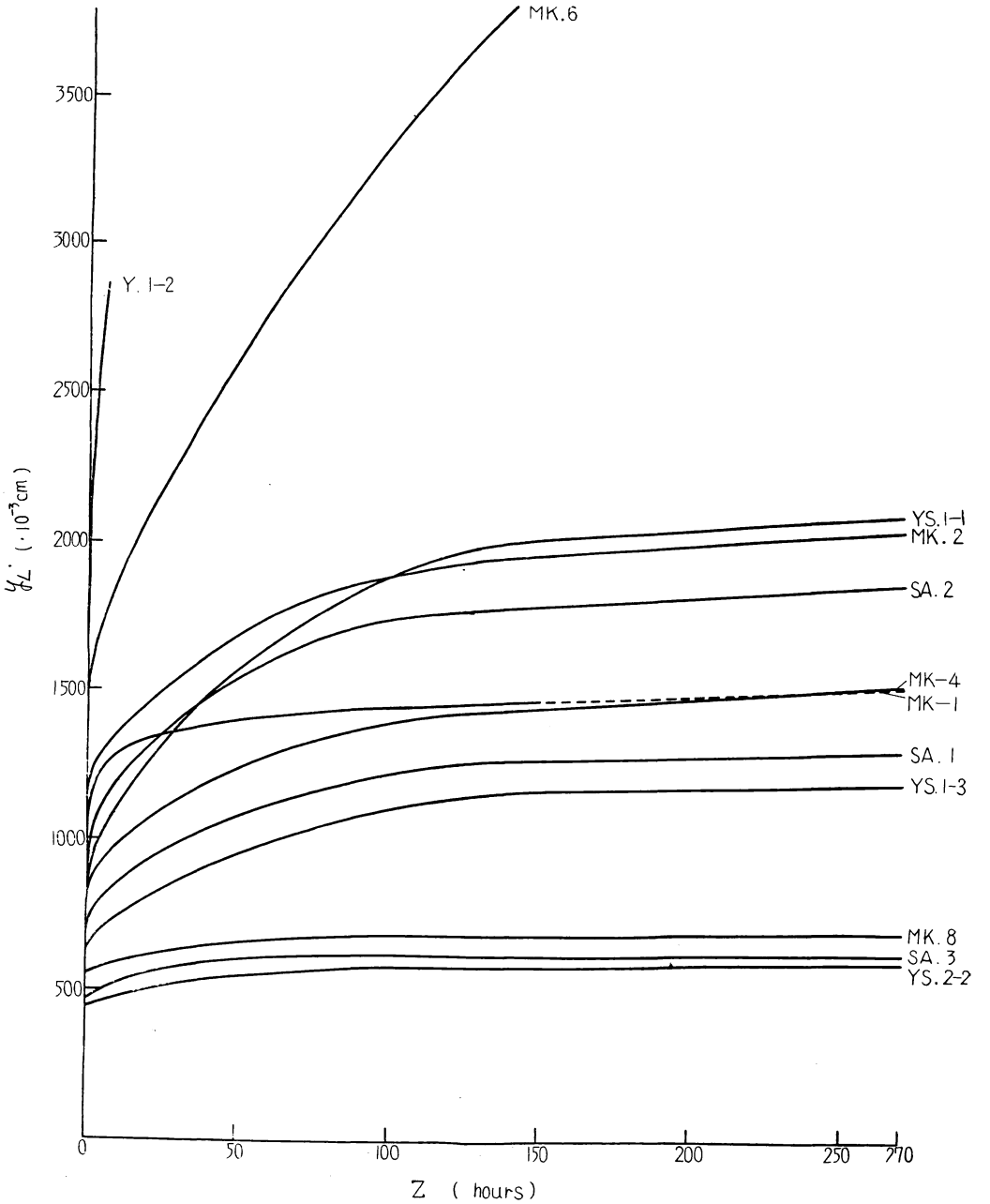


Fig. 3　経過時間－撓み曲線（Fig. 1の L－スパン－部分） Z (hours)
Time-deflctione curves (span L in Fig. 1).

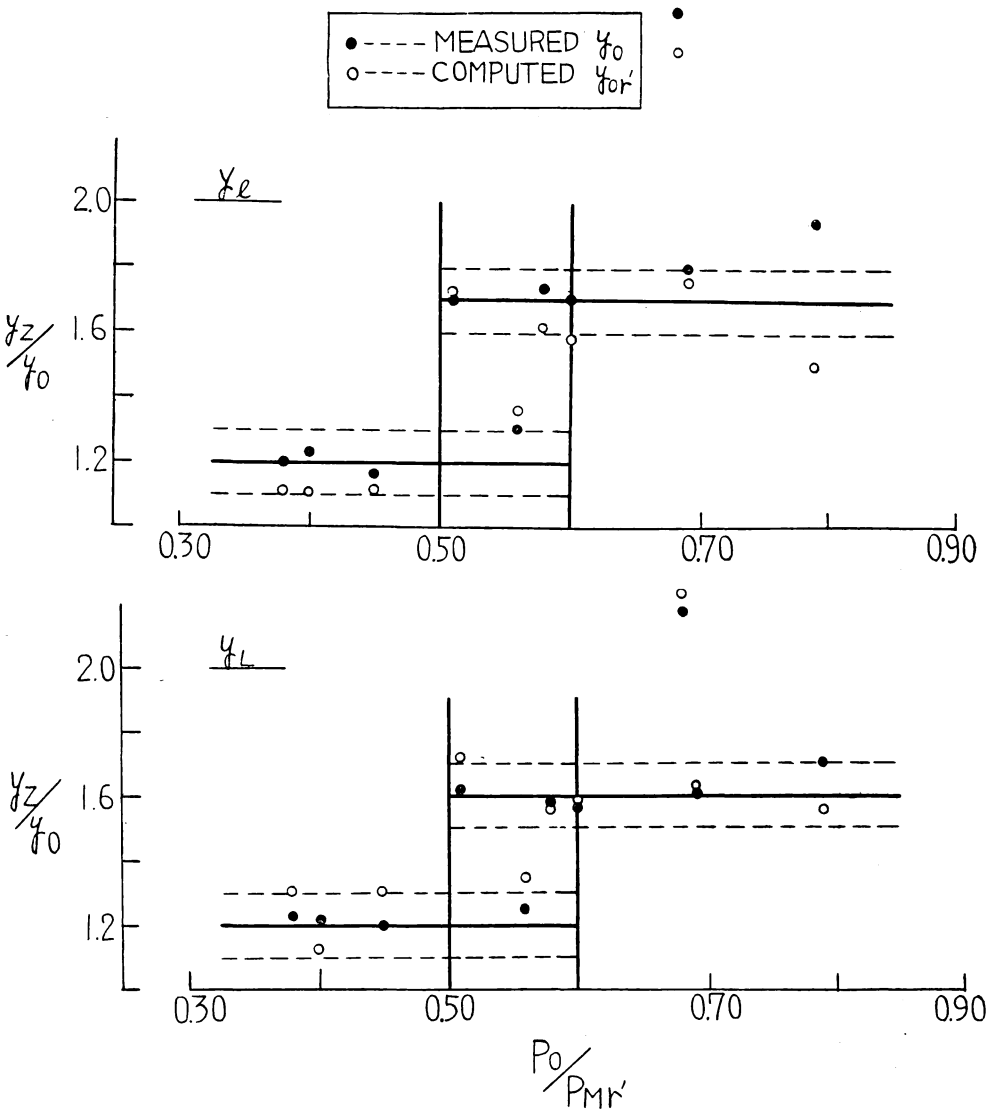


Fig. 4　$y_z/y_0-P_0/P_{Mr'}$ 関係

$y_z/y_0-P_0/P_{Mr'}$ relation.

2.7　クリープ撓みの増加速度が一定となるときの撓み特性

負荷後約150時間以上経過して，その撓み増加速度がほぼ一定とみられるようになつたときの全撓み量を y_z；これから負荷直後の撓み y_0 を差引いたクリープ撓み量を Δy_z とすると，次にのべるような特性的な関係がみとめられる。

27.1　y_z/y_0 と $P_0/P_{Mr'}$ の関係

えられた試験結果からこの関係を全試料（破損せるものを除く）について示したのが Fig. 4 である。

ここに，$y_{0r'}$ は負荷直後の撓みの計算値である。この図からほぼ推定できるとおもわれることは，$P_0/P_{Mr'}$ すなわち，破壊荷重に対する比率が，50～60% の範囲では，明らかな傾向は分らないが，この範

Table 14. P_0, P_{cp}, $P_{pr'}$ と $P_{Mr'}$ の値
Values of P_0, P_{cp}, $P_{pr'}$ and $P_{Mr'}$

MARK	P_0	P_{cp}	$P_{pr'}$	$P_{Mr'}$	$\frac{P_0}{P_{cp}}$	$\frac{P_0}{P_{pr'}}$	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	$\frac{P_{cp}}{P_{Mr'}}$	$\frac{P_{pr'}}{P_{Mr'}}$
	kg	kg	kg	kg					
SA 1	35	31	37	58	1.13	0.95	0.60	0.53	0.64
SA 2	45	31	37	57	1.45	1.22	0.79	0.54	0.65
SA 3	25	30	36	55	0.83	0.70	0.45	0.55	0.65
YS 1—1	80	54	64	117	1.48	1.25	0.68	0.46	0.55
YS 1—2	110	59	71	129	1.87	1.55	0.85	0.46	0.55
YS 1—3	65	58	70	127	1.12	0.93	0.51	0.46	0.55
YS 2—2	50	60	72	131	0.83	0.69	0.38	0.46	0.55
MK 1	50	43	51	90	1.16	0.98	0.56	0.48	0.57
MK 2	70	48	57	102	1.45	1.23	0.69	0.47	0.56
MK 4	75	61	73	129	1.23	1.03	0.58	0.47	0.57
MK 6	105	61	73	129	1.72	1.44	0.81	0.47	0.57
MK 7	50	59	71	126	0.85	0.70	0.40	0.47	0.56

Table 15. P_0—$P_{Mr'}$ 比と撓みとの関係
Reration between P_0-$P_{Mr'}$ ratio and deflection.

(a) [P]

MARK	Γ_0	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	z	y_0	$y_{0r'}$	y_z	Δy_z	$\frac{y_0}{y_{0r'}}$	$\frac{y_z}{y_{0r'}}$	$\frac{y_z}{y_0}$	$\frac{dy_z}{dz}$
	kg		hours	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$				$10^{-5}cm$
SA 1	35	0.60	145	165	178	282	117	0.93	1.58	1.71	7.6
SA 2	45	0.79	181	194	251	377	183	0.77	1.50	1.94	17.8
SA 3	25	0.45	130	115	117	133	18	0.98	1.14	1.16	2.9
YS 1—1	80	0.68	178	147	155	382	235	0.95	2.47	2.60	9.4
YS 1—2	110	0.85	(6.6)	337	270	(607)	(270)	1.20	(2.25)	(1.80)	—
YS 1—3	65	0.51	159	147	143	248	101	1.03	1.73	1.69	6.0
YS 2—2	50	0.38	168	91	100	107	16	0.91	1.07	1.18	1.2
MK 1	50	0.56	(71)	244	235	319	75	0.04	1.36	1.31	18.2
MK 2	70	0.69	159	247	254	448	201	0.97	1.76	1.81	21.9
MK 4	75	0.58	181	189	203	329	140	0.93	1.62	1.74	12.0
MK 6	105	0.81	(140)	272	276	(1016)	(744)	0.99	(3.68)	(3.73)	—
MK 8	50	0.40	196	108	125	133	25	0.86	1.06	1.23	11.3

y_0 = def. at P_0 measured.　　*$y_{0r'}$ = def. at P_0 computed.*

y_z = def. at the time z (ratio dy/dz reaches nearly a constant value at the time z).

$\Delta y_z = y_z - y_0$

(b) [L]

MARK	P_0	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	z	y_0	$y_{0r'}$	yz	Δy_z	$\frac{y_0}{y_{0r'}}$	$\frac{y_z}{y_{0r'}}$	$\frac{y_z}{y_0}$	$\frac{dy_r}{dz}$
	kg		hours	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}cm$	$10^{-3}em$				
SA 1	35	0.60	145	990	980	1545	555	1.01	1.58	1.56	30.
SA 2	45	0.79	181	1265	1382	2140	875	0.92	1.55	1.69	70.8
SA 3	25	0.45	130	700	646	830	130	1.08	1.29	1.19	17.0
YS 1—1	80	0.68	178	1006	982	2179	1173	1.02	2.22	2.17	46.6
YS 1—2	110	0.85	(6.6)	2035	1485	(3215)	(1180)	(1.37)	(2.17)	(1.58)	—
YS 1—3	65	0.51	159	836	787	1353	517	1.06	1.72	1.62	30.7
YS 2—2	50	0.38	168	585	550	717	132	1.06	1.30	1.23	11.0
MK 1	50	0.56	(71)	1380	1290	1729	349	1.07	1.34	1.25	59.4
MK 2	70	0.69	159	1414	1403	2272	858	1.01	1.62	1.61	72.0
MK 4	75	5.58	181	1093	1110	1728	635	0.98	1.56	1.58	52.6
MK 6	155	0.81	(103)	1692	1510	(3171)	(1479)	1.12	(2.10)	(1.87)	—
MK 8	50	0.40	196	650	685	788	138	0.95	1.15	1.21	15.0

囲外では，y_z/y_0 の比がほぼ安定しているように思われる。いいかえれば，$P_0/P_{Mr'}$ が 50% 以下では，y_z/y_0 の値は大凡1.2程度であり，60%以上ではややバラツキはあるが 1.65 程度とみられるようである。しかし，60%以上といつてもせいぜい 70% までの範囲に限定されるとみた方がいいようにおもう。いずれにせよ，破壊荷重の推定にもある程度の誤差はまぬがれないのであるから，見方によつては，この関係が一様に上昇する曲線関係をもつとみてもよいわけであるが，この実験では前述の見方の方がより明らかな傾向を示しているようにおもわれる。

27.2　Δy_z と $P_0/P_{Mr'}$ の関係

これについては Fig. 5 および Fig. 6 にしめしたような曲線関係がみとめられるようである。しかし，この試験の範囲内ではむしろ直線的な傾向と判断すべきであるが，$P_0/P_{Mr'}$ の極限条件を考慮して一応原点をとおる曲線であらわすことにした。

なお，この曲線をやや単純化して近似的に示せば

i) 中央荷重点間（l）については，

$$\Delta y_{z-l}=848\cdot\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^4 \qquad (2.2)$$

ただし，実験式としては，$y_{z-l}=805\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^{3.9}$

となるが，単純化して4乗をとつたものである。

ii) 全スパン（L）については，

$$\Delta y_{z-L}=2466\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^3 \qquad (2.3)$$

ただし，これも実験式$\Delta y_{z-L}=2843\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^{3.2}$

を単純化したものである。

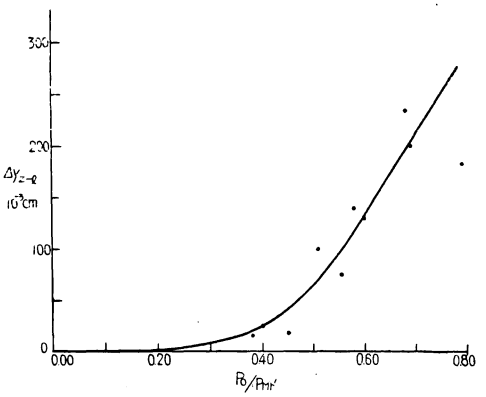


Fig. 5　Δy_{zl} と $P_0/P_{Mr'}$ の関係
Δy_{z-l} $P_0/P_{Mr'}$ relation
$\Delta y_{z-l}=844\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^4$

27.3　安定域におけるクリープ撓みの増加速度（dy_z/dz）と $P_0/P_{Mr'}$ の関係

この場合も，傾向としては前とほとんど同様であつて，Fig. 7 および Fig. 8 にしめすとおりである。

なお，これらにつき実験式を示すとつぎのようになる。

i) 中央荷重点間（l）．

$$\frac{dy_{zl}}{dz}=73\cdot\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^4 \qquad (2.4)$$

ii) 全スパン（L）：

$$\frac{dy_{zL}}{dz}=206\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^3 \qquad (2.5)$$

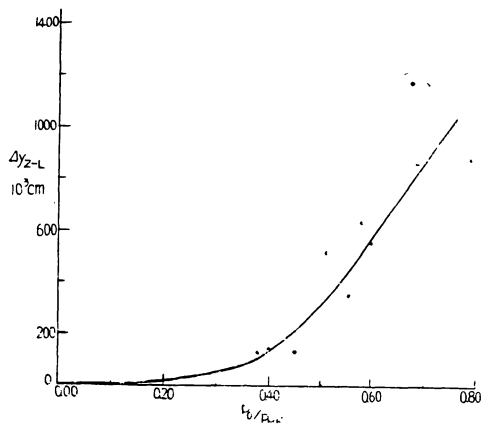


Fig. 6　Δy_{z-L} と $P_0/P_{Mr'}$ の関係
Δy_{z-L} $P_0P_{Mr'}$ relation
$\Delta y_{z-L}=2466\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^3$

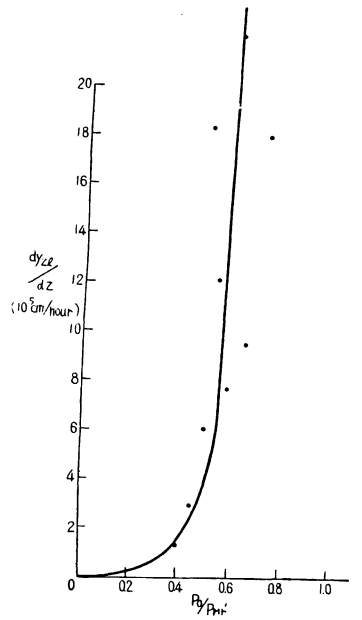


Fig. 7　dy_{zl}/dz と $P_0/P_{Mr'}$ の関係
dy_{zl}/dz と $P_0/P_{Mr'}$ relation
$$\frac{dy_{zl}}{dz}=73\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^4$$

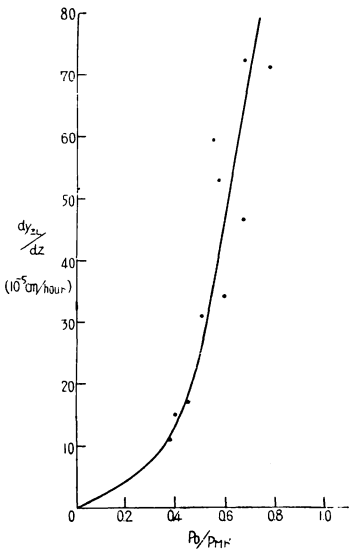


Fig. 8　dy_{zL}/dz と $P_0/P_{Mr'}$ の関係
dy_{zL}/dz—$P_0/P_{Mr'}$ relation
$$\frac{dy_{zL}}{dz}=206\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^3$$

27.4　撓みをセンイ歪に換算すること，梁の撓みそのものは，その梁丈，梁巾，スパン，支持条件および荷重条件等によつて変化するものであるから，上にのべた関係をより一般的にながめるためには，センイ歪に換算して考える方が得策である。しかし，正しく換算することははなはだ困難なことであつて近似的な計算になることはいたしかたがない（これを正しく把まえようとすれば，直接梁の上下面のセンイ歪を実測しなければならないわけである。）そこでまず，ここに用いた近似的換算方法についてのべることにする。

Fig. 1 について，

$$\left.\begin{aligned} y_l &= \frac{Pal^2}{16\,EI} \\ y_L &= \frac{Pa}{48\,EI}\,(3L^2-4a^2) \end{aligned}\right\} \qquad (2.6)$$

今この試験におけるスパンに関する定数を D であらわすと，

$$y=\frac{D\cdot P}{E\cdot bh^3} \qquad (2.7)$$

また

$$E=\frac{\sigma}{\varepsilon};\qquad \sigma=\frac{45}{bh^2}P \text{ であるから，}$$

これを (2.7) に入れると，次式をうる。

$$y=\frac{D\cdot\varepsilon}{45\cdot h} \qquad (2.8)$$

ここに，

y＝撓み；　E＝ヤング係数；　b＝梁巾

h＝梁丈；　P＝荷重；　ε＝センイ歪；

σ＝曲げ応力；　である。

つぎに，中央荷重点間 (l) と全スパン (L) に関して D をそれぞれ D_l，D_L であらわし換算表をつくると Table 16 のようになる。また，これによつて，撓みを歪（ここでは伸縮度）に換算したものが Table 17 である。

27.5　一定の経過時間後における歪増加量 ($\Delta\varepsilon$) と $P_0/P_{Mr'}$ との関係，経過時間を 5，10，100，200時間として，このときの $\Delta\varepsilon$ をしめしたのが Table 18 である。このばあい，針葉樹材で縦圧縮破損を生ずる変形度は 0.3〜0.4% 付近にあるとみられるので，200 時間経過後において充分安全とみられるものはSA—3 ($P_0/P_{Mr'}=0.45$)，YS 2—2 ($P_0/P_{Mr'}=0.38$) およびMK 8 ($P_0/P_{Mr'}=0.40$) の3本となる。

Table 16. 撓みからセン イ歪の推定
Assumed strain from deflection.

MARK	D cm^3		h	ε	ε
	D_l	D_L	cm	y_l	y_L
SA 1	4500	24750	1.995	0.01995	0.003627
SA 2			2.005	0.02005	0.003645
SA 3			2.000	0.02000	0.003636
YS 1—1	4500	24750	2.000	0.02000	0.003636
YS 1—2			2.000	0.02000	0.003636
YS 1—3			2.000	0.02000	0.003636
YS 2—2			2.000	0.02000	0.003636
MK 1	4500	24750	1.905	0.01905	0.003464
MK 2			2.005	0.02005	0.003645
MK 4			2.000	0.02000	0.003636
MK 6			2.010	0.02010	6.003655
MK 8			2.005	0.02005	0.003645

D_l, D_L: *constant in the test condition.*
y = *deflction.*
ε = *strain of the outermost fiber.*

Table 17. $P_0/P_{Mr'}$ と換算歪との関係
Relation between $P_0/P_{Mr'}$ and exchanged strain (ε). $y_0 \rightarrow \varepsilon_0$; $y_{0r'} \rightarrow \varepsilon_{0r'}$; $y_z \rightarrow \varepsilon_z$

(*a*) [*l*]

MARK	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	ε_0	$\varepsilon_{0r'}$	ε_z	$\Delta\varepsilon_z$	$d\varepsilon_z/dz$
		%	%	%	%	%
SA 1	0.60	0.329	0.355	0.563	0.233	0.00015
SA 2	0.79	0.389	0.503	0.756	0.367	0.00036
SA 3	0.45	0.230	0.234	0.266	0.036	0.00006
YS 1—1	0.68	0.294	0.310	0.764	0.470	0.00019
YS 1—2	0.85	0.674	0.540	—	—	—
YS 1—3	0.51	0.294	0.286	0.496	0.202	0.00012
YS 2—2	0.38	0.182	0.200	0.214	0.032	0.00002
MK 1	0.56	0.465	0.448	0.608	0.143	0.00035
MK 2	0.69	0.495	0.509	0.898	0.403	0.00044
MK 4	0.58	0.378	0.406	0.658	0.280	0.00024
MK 6	0.81	0.547	0.555	—	—	—
MK 8	0.40	0.217	0.251	0.267	0.050	0.00003

(b) (*L*)

MARK	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	ε_0	$\varepsilon_{0r'}$	ε_z	$\Delta\varepsilon_z$	$d\varepsilon_z/dz$
		%	%	%	%	%
SA 1	0.60	0.359	0.355	0.560	0.201	0.00012
SA 2	0.79	0.461	0.504	0.780	0.319	0.00026
SA 3	0.45	0.255	0.235	0.302	0.047	0.00006
YS 1—1	0.68	0.366	0.357	0.792	0.427	0.00017
YS 1—2	0.85	0.740	0.540	—	—	—
YS 1—3	0.51	0.304	0.286	0.492	0.188	0.00011
YS 2—2	0.38	0.213	0.200	0.261	0.048	0.00004
MK 1	0.56	0.478	0.447	0.599	0.121	0.00021
MK 2	0.69	0.515	0.511	0.828	0.313	0.00026
MK 4	0.58	0.397	0.404	0.628	0.231	0.00019
MK 6	0.81	0.618	0.552	—	—	—
MK 8	0.40	0.237	0.250	0.287	0.050	0.00005

Table 18. $\Delta\varepsilon$ と $P_0/P_{Mr'}$ との関係
Relation between $\Delta\varepsilon$ and $P_0/P_{Mr'}$.

(a)

MARK	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	$\Delta\varepsilon_l$ (%)			
		$z=5^{hours}$	$z=10$	$z=100$	$z=200$
SA 1	0.60	0.035	0.053	0.198	0.240
SA 2	0.79	0.066	0.098	0.295	0.370
SA 3	0.45	0.006	0.009	0.030	0.042
YS 1—1	0.68	0.053	0.090	0.340	0.475
YS 1—2	0.85	0.492	—	—	—
YS 1—3	0.51	0.013	0.024	0.146	0.212
YS 2—2	0.38	0.004	0.005	0.024	0.036
MK 1	0.56	0.074	0.095	0.156	—
MK 2	0.69	0.101	0.120	0.320	0.425
MK 4	0.58	0.038	0.057	0.149	0.286
MK 6	0.81	0.172	0.240	0.688	—
MK 8	0.40	0.007	0.010	0.024	0.050

(b)

MARK	$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	$\Delta\varepsilon_L$ (%)			
		$z=5^{hours}$	$z=10$	$z=100$	$z=200$
SA 1	0.60	0.034	0.049	0.172	0.211
SA 2	0.79	0.067	0.095	0.252	0.325
SA 3	0.45	0.012	0.017	0.041	0.058
YS 1—1	0.68	0.057	0.086	0.307	0.433
YS 1—2	0.85	0.384	—	—	—
YS 1—3	0.51	0.020	0.032	0.138	0.197
YS 2—2	0.38	0.005	0.007	0.034	0.054
MK 1	0.56	0.060	0.076	0.128	—
MK 2	0.69	0.074	0.089	0.247	0.328
MK 4	0.58	0.035	0.049	0.122	0.238
MK 6	0.81	0.141	0.191	0.525	—
MK 8	0.40	0.008	0.010	0.024	0.051

27.6　一定の歪増加量（$\Delta\varepsilon$）における $P_0/P_{Mr'}$ と経過時間（z）との関係，$\Delta\varepsilon$ の値が 0.01%，0.05%，0.10%，0.30%および 0.50% に対する $P_0/P_{Mr'}$ と z との関係を表示したのが Table 19 である。これについてみるに，負荷率（$P_0/F_{Mr'}$）が 0.50 以下の場合には $\Delta\varepsilon$ の値は 0.1% に達することはない。

また，試験中破損せずにそのクリープ速度がかなり安定したものについては，約300時間で 0.5% の歪増加量に達したものはなかつた。

27.7 一定の経過時間における $d\varepsilon/dz$ と $P_0/P_{Mr'}$ の関係，経過時間 $z=5$, 10, 100, 200 時間における関係を表示したのが Table 20 である。$d\varepsilon/dz$ がかなり安定している $z=200$ 時間の場合を例にとつてみると，

$P_0/P_{Mr'}$ の値	$d\varepsilon/dz$ (%/hour) の値（平均）
0.50 以下	0.00006 以下 (0.00004)

Table 19. 経過時間と $P_0/P_{Mr'}$ の関係

Relation between time and $P_0/P_{Mr'}$.

(a)

MARK		$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	TIME (hours)				
			$\Delta\varepsilon_l=0.0\%$	$\Delta\varepsilon_0=0.05$	$\Delta\varepsilon_l=0.10$	$\Delta\varepsilon_l=0.30$	$\Delta\varepsilon_l=0.50$
SA	1	0.60	0.36	8.67	62.70	—	—
SA	2	0.79	0.09	3.00	10.50	105.00	—
SA	3	0.45	22.00	—	—	—	—
YS	1—1	0.68	0.36	4.57	11.25	88.50	—
YS	1—2	0.85	0.02	0.10	0.20	1.80	5.20
YS	1—3	0.51	3.00	48.00	79.15	—	—
YS	2—2	0.38	3.00	—	—	—	—
MK	1	0.56	0.39	1.93	11.00	—	—
MK	2	0.69	0.17	0.86	5.00	91.00	—
MK	4	0.58	0.18	8.00	52.00	265.0	—
MK	6	0.81	0.03	0.15	0.95	16.62	58.00
MK	8	0.40	9.00	196.00	—	—	—

(b)

MARK		$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	TIME (hours)				
			$\Delta\varepsilon_L=0.1\%$	$\Delta\varepsilon_L=0.05$	$\Delta\varepsilon_L=0.10$	$\Delta\varepsilon=0.30$	$_L\Delta\varepsilon_L=0.50$
SA	1	0.60	0.22	10.36	70.50	—	—
SA	2	0.79	0.06	2.31	11.53	138.40	—
SA	3	0.45	1.90	156.7	—	—	—
YS	1—1	0.68	0.22	3.62	12.46	96.90	—
YS	1—2	0.85	0.03	0.13	0.25	2.94	—
YS	1—3	0.51	1.06	34.55	82.90	—	—
YS	2—2	0.38	27.00	171.6	—	—	—
MK	1	0.56	0.48	3.35	27.09	—	—
MK	2	0.69	0.24	1.58	19.60	138.47	—
MK	4	0.58	0.17	10.30	79.60	—	—
MK	6	0.81	0.03	0.16	1.73	30.79	93.00
MK	8	0.40	10.50	195.3	—	—	—

0.51～0.60　　0.00011～0.00035 (0.00019)

0.61～0.80　　0.00017～0.00044 (0.00028)

したがつて，この試験の結果では，$P_0/P_{Mr'}$ の値が，0.50 以下のもので $d\varepsilon/dz$ の値は約，0.00005%，0.51～0.60 では，0.00020% また 0.61～0.80では，約 0.00030% 程度となつていることがわかる。

27.8　静的曲げ条件における荷重—撓曲線の計算値と曲げクリープ撓み実測値，とくにその y_z との関係，この関係については，各試験梁毎に Table 21 に一括表示した。このばあい，yz の値が，静的曲げの最大撓みの計算値よりも大となるものはなく，試験中破損した YS 1～2 と MK—6，すなわち $P_0/P_{Mr'}$ が80%をこえているもののみが，計算値の最大撓みを上廻つている。

Table 20. $d\varepsilon/dz$ と $P_0/P_{Mr'}$ の関係

Relation between $d\varepsilon/dz$ and $P_0/P_{Mr'}$.

(a)

MARK		$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	$d\varepsilon_l/dz$ (%/hours)			
			$z=5^{hours}$	$z=10$	$z=100$	$z=200$
SA	1	0.60	0.00550	0.00360	0.00220	0.00015
SA	2	0.79	0.00904	0.00640	0.00280	0.00036
SA	3	0.45	0.00100	0.00080	0.00036	0.00006
YS	1—1	0.68	0.00900	0.00720	0.00328	0.00019
YS	1—2	0.85	0.05760	—	—	—
YS	1—3	0.81	0.00250	0.00200	0.00188	0.00012
YS	2—2	0.38	0.00100	0.00060	0.00032	0.00002
MK	1	0.56	0.01190	0.00419	0.00055	0.00035
MK	2	0.69	0.01000	0.00361	0.00294	0.00044
MK	4	0.58	0.00550	0.00400	0.00104	0.00024
MK	6	0.81	0.01760	0.01367	0.00426	—
MK	8	0.40	0.00100	0.00040	0.00020	0.00003

(b)

MARK		$\frac{P_0}{P_{Mr'}}$	$d\varepsilon_L/dz$ (%/hours)			
			$z=5^{hours}$	$z=10$	$z=100$	$z=200$
SA	1	0.60	0.00472	0.00312	0.00173	0.00012
SA	2	0.79	0.00738	0.00562	0.00248	0.00026
SA	3	0.45	0.00091	0.00087	0.00037	0.00006
YS	1—1	0.68	0.00691	0.00574	0.00289	0.00017
YS	1—2	0.85	0.05310	—	—	—
YS	1—3	0.51	0.00254	0.00240	0.00161	0.00011
YS	2—2	0.38	0.00064	0.00044	0.00042	0.00004
MK	1	0.56	0.00970	0.00362	0.00024	0.00021
MK	2	0.69	0.00720	0.00284	0.00225	0.00026
MK	4	0.58	0.00445	0.00276	0.00076	0.00019
MK	6	0.81	0.01334	0.01080	0.00312	—
MK	8	0.40	0.00091	0.00051	0.00016	0.00005

3．考　　察

木材におけるクリープ限度のきめ方についてはまだ何の基準もあたえられていない。しかし，実用的には，きわめて重要な問題である。クリープ試験資料そのものが少なく，さらに試験における温湿度条件にエイキョウされる程度が大きいこともこの問題解決を著しく困難なものとしている。ここにのべた試験においても，荷重点の局部的なメリ込みを充分にのぞくことができなかつたし，温湿度についてもわずか 4°C の変化に対し材の表面湿度条件の変異を生じその後の測定を無意味なものとし，一応安定していた（撓み増加速度）もので急激に撓みを増しついに破損したものもあつたほどである。しかし，全体を通じて，ここに用いた荷重方法はその中央部一定曲げモーメントの区間にほぼ均等な圧縮破損があらわれていること（Fig. 11）からみて適当なものであると判断した。さらに，妥当な方法としては，梁の上下面センイ歪をなにか適当な方法によつて実測することがのぞましいと思われる。つぎに，著者の見解では，このような針葉樹気乾材にあつては，そのクリープ撓み増加速度がほぼ一定となるに要する時間は約200時間程度とおもわれるのでJISA 1012に示してあるように，必ずしも1,000時間以上継続しなければならないとは思われない。また，クリープ限度のきめ方が定つていないのでこの点について一般的な検討はできないが，ある経過時間の後，ほぼ dy/dz が一定となるときの撓み y_z が曲げ比例限度における撓みの計算値に等しくなる荷重（$P_0/P_{MT'}$）できめることが考えられる。この試験では $P_0/P_{MT'}$ の値で約0.5程度とみられる。なお，安全を考慮すれば圧縮比例限応力度をもつて，曲げクリープ限度応力とみることもできよう。

ただし，この基準にはいろいろと条件があるのでなお今後の問題としてのこされる。

4．摘　　要

以上の結果を摘要すれば次のようになる。

1．この試験に供した試料は，スギ，エゾマツおよびアカマツの3樹種ですべて1年以上恒温恒湿室で処理された気乾材で無欠点材である。

2．縦引張，縦圧縮およびセン断試験の結果から，試験梁の静的曲げ性能を推定計算しうることがほぼたしかめられたので，これによつて曲げ比例限度，曲げヤング係数および曲げ破壊係数等を計算した。

3．曲げクリープ試験梁について，その曲げ破壊係数の計算値の 40～80% 区間で樹種ごとにそれぞれ荷重を決め，これを2点荷重方式の死荷重で加えた。

4．この曲げクリープ試験は，試験中破損を生じたものと，特例（MK－1）* をのぞけば，すべて約300時間継続しておこなつたものである。このばあい，負荷率（$P_0/P_{MT'}$）が 50% 以下のものでは，負荷直後の撓みの約 20% クリープ撓み増加でほぼその撓み増加速度が一定となり，負荷率 60% をこえるものでは，負荷直後の撓みの約 65% 増でほぼ一定の撓み速度に達した。

5．ほぼ一定のクリープ撓み増加速度となるときのクリープ撓みを Δy_z，このときの増加速度を dy_z/dz とすれば，負荷率 $P_0/P_{MT'}$ との間に次の実験的関係がみとめられた。

$$\Delta y_z = a \cdot \left(\frac{P_0}{P_{MT'}}\right)^n$$

---

* 約150時間継続で試験を中止，

$$\frac{dy_z}{dz} = b \cdot \left(\frac{P_0}{P_{\mathcal{M}r'}}\right)^n$$

ここで，中央荷重点間（l）では両式とも，$n=4$；全スパン（L）では両式とも，$n=3$ を示した。

6．クリープ撓みをより一般的に考えるための便宜的処置として，撓みをセンイ歪に近似的に換算してみた。その結果，負荷率 50% にみたないものでは，ほぼ安定した歪増加速度（$d\varepsilon/dz$）は平均 0.00004% を示し，80%に近いもので，約 0.00030% を示した。

7．針葉樹気乾材では，一定のクリープ撓み増加速に達したときの換算センイ歪が，0.3% に達せず，かつその歪増加速度が 0.00005% 以内であれば，そのときの荷重はクリープ限度内にあるとし，この場合，その負荷率は 50% 以内で，曲げ応力としては縦圧縮比例限応力度をもつて曲げクリープ限度と考えたいと思う。

文　　献

1）沢田　稔：木材梁に関する研究（第1報，第3報）農林省林業試験場報告　第71号，第77号，(1954 昭. 29)　p. 39～79；P. 69～102

2）井口常雄・南義夫：木材曲げ強さに及ぼす荷重速度の影響に就て，東大航研彙報，　137号 (1936昭. 11)　p. 23～57

3）Kingston R. S. T. and L. D. Armstrong：Creep in initially green wooden beams. Australian Journ. of Applied Science 2, 2 (1951) p. 306～325

4）Kitazawa G.：Relaxation of wood under constant strain. Tech. Pub. No. 67 Syracuse Univ. (1947) p. 5～12

5）Minami Y.：Bending creep tests on wood. Journ. Aeronaut. Inst. Tokyo Imp. Univ. 136 (1935) p. 1090～1102

6）Brown, H. P・A. J. Panshin & C. C. Forsaith：Text-book of Wood Technology. McGrawHiel. (1952) p. 399～405

Studies on the Mechanics of Wood Beams. (Report 4)

Bending creep in wood under dead loading. (1)

Minoru Sawada

(Résumé)

This research was undertaken to determine the creep-defiction in beams of clear and air-dried Sugi (*Cryptomeria japonica*), Yezomatsu (*Picea jezoensis*) and Akamatsu (*Pinus densi flora*), The tensile, compressive and shearing properties of these soft woods were obtained as shown in Table 5 and 6. The computed strength, proportional limit stress and young's modulus in static bending, using the test result (E_c = *Young's modulus in compressive test*; σ_{cp} = *compressive stress at proportional limit*; σ_t = *tensile strength*; $r' = \sigma_t/\sigma_{cp}$), agree well with the strength and the other properties determined by tests as shown in Table 8 and 9.

where

$E_c \fallingdotseq E_{br'}$ = *computed young's modulus in static bending*

$\sigma_{bpr'} = 1.20\sigma_{cp}$ = *computed bending stress at proportional limit*

$$\sigma_{br'}=\frac{3r'-1}{r'+1}\cdot\sigma_{cp}=computed\ bending\ strength$$

$y_{r'}=computed\ deflectionf\ rom\ equations$ (1.3)

& (1.4) : −Tabble 22

The dead loads applied to beams in bending creep tests were determined with respect to the ratio $P_0/P_{Mr'}$ ($P_0=$ *applicd dead load* ; $P_{Mr'}=$ *computed maximum load*). The ratios are as shown in Table 13. The apparatus used for creep tests is as shown in Fig. 1 and 9. Deflection readings were taken every hour for the first ten hours and then, as the creep effect tapered off, at convenient random intervals for a period extending up to 300 hours.

The results from bending creep tests are as follows:

1. The relationship between creep-deflection and time is as shown in Fig. 2 and 3.
2. From the time (z)—deflection (y) of a long time test the rate of flow ($v=dy/dz$) is found as the constant value at the time z as follows:

$$v_z=\frac{dy_z}{dz}$$

this condition then gives:

$$\Delta y_z=y_z-y_0$$

where

$y_0=original\ deflection\ under\ the\ load\ P_0$

$y_z=total\ deflection\ up\ to\ the\ time\ z.$

3. The relationship between $P_0/P_{Mr'}$ and y_z/y_0 is as shown in Fig. 4.

$P_0/P_{Mr'}>0.8\longrightarrow$ causing failure

$P_0/P_{Mr'}=0.80\sim0.60\longrightarrow y_z/y_0=1.65$

$P_0/P_{Mr'}=0.50\sim0.40\longrightarrow y_z/y_0=1.20$

$P_0/P_{Mr'}=0.60\sim0.50\longrightarrow y_z/y_0=1.20\sim1.60$

4. The relationship between Δy_z and $P_0/P_{Mr'}$ is as shown in Fig. 5 and 6. The relationship between dy_z/dz and $P_0/P_{Mr'}$ is as shown in Fig. 7 and 8.

$$\Delta y_z=a\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^n$$

$$\frac{dyz}{d_z}=b\left(\frac{P_0}{P_{Mr'}}\right)^n$$

where

a, b, n : *constant*

$n=4$: *in the case of* y_l

$n=3$: *in the case of* y_L.

5. It will be assumed that from a bending test with a beam, the strain ε of the outermost fiber has been determined for a series loads P for various values of the bending moment M. The assumed strains are as shown in Table 16～20.

Table 21 Computed load-deflection curve and measured deflection
(y_z in bending creep tests)

MARK : SA 1		$\Delta y_l = 47$			$\Delta y_L = 283$			$10^{-3}cm$
P	β	y_l			y_L			
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y	
0		0	0	0	0	0	0	
5		23		23	142		142	
10		47		—	283		—	
15		70		69	425		414	
20		94		—	566		—	
25		117		—	708		—	
30		141		—	849		—	
35	1.13	164	166	164	990	999	991	
40	1.29	188	199	↓	1132	1182	↓	
45	1.45	211	242		1274	1415		
50	1.61	235	302		1415	1722		
55	1.78	258	390		1557	2164		
58	1.88	273	463		1641	2519		
				$y_z =$ 282			$y_z =$ 1545	

MARK : SA 2		$\Delta y_l = 43$			$\Delta y_L = 281$			$10^{-3}cm$
P	β	y_l			y_L			
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y	
0		0	0	0	0	0	0	
5		22			140		140	
10		43			281			
15		65		62	421		395	
20		86			562			
25		108			702			
30		129			843			
35	1.13	151	153	149	983	992	926	
40	1.29	172	182		1124	1173		
45	1.45	194	223	195	1264	1404	1229	
50	1.61	215	277	↓	1405	1710	↓	
55	1.78	237	358		1545	2148		
57	1.84	245	396		1602	2358		
				$y_z =$ 377			$y_z =$ 2140	

SA 3		$\Delta y_l = 46$			$\Delta y_L = 280$			$10^{-3}cm$
P	β	y_l			y_L			
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y	
0		0	0	0	0	0	0	
5		23		23	140		140	
10		46		—	280		—	
15		69		68	420		398	
20		92		91	560		540	
25		115		114	700		683	
30		138		↓	840		↓	
35	1.17	161	164		980	996		
40	1.33	184	199		1120	1189		
45	1.50	207	245		1260	1447		
50	1.67	230	312		1400	1803		
55	1.83	253	404		1540	2291		
				$y_z =$ 133			$y_z =$ 830	

YS 1—1		$\Delta y_l = 18$			$\Delta y_L = 120$			$10^{-3}cm$
P	β	y_l			y_L			
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y	
0		0	0	0	0	0	0	
5		9		9	60		60	
10		18			120			
15		27		25	180		178	
20		36			240			
25		45			300			
30		54			360			
35		63		61	420		418	
40		72			480			
45		81			540			
50		90			600			
55		99		99	660		667	
60	1.05	108	108		720	721		
65	1.14	117	119		780	788		
70	1.23	126	131		840	865		
75	1.32	135	145	137	900	952	926	
80	1.40	144	161	147	960	1049	1006	
85	1.49	153	180		1020	1165		
90	1.58	162	203		1080	1301		
95	1.67	171	232		1140	1468		
100	1.76	180	266		1200	1668		
105	1.84	189	305		1260	1894		
110	1.93	198	359	↓	1320	2195	↓	
115	2.02	207	427		1380	2580		
120	2.11	216	517	$y_z =$	1440	3081	$y_z =$	
124	2.18	223	606	382			2179	

YS 1—2　$\Delta y_l = 19$　$\Delta y_L = 121$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		10		10	61		61
10		19		19	121		
15		29			182		
20		38			242		
25		48		48	303		297
30		57			363		
35		67			424		
40		76			484		
45		86		83	545		537
50		95			605		
55		105			666		
60		114			726		
65	1.10	124	125	123	787	791	786
70	1.19	133	136		847	864	
75	1.27	143	151		908	945	
80	1.36	152	166		968	1039	
85	1.44	162	185	170	1029	1145	1108
90	1.52	171	205		1089	1265	
95	1.61	181	233		1150	1416	
100	1.69	190	262		1210	1583	
105	1.78	200	302	298	1271	1800	1831
110	1.86	209	346	338	1331	2042	2036
115	1.95	219	408	↓	1392	2371	↓
120	2.03	228	477	$y_z =$	1452	2750	$y_z =$
129	2.19	245	682	(607)			(3215)

YS 1—3　$\Delta y_l = 21$　$\Delta y_L = 127$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_r	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		10		10	64		63
10		21			127		
15		31		31	191		186
20		42			254		
25		52		52	318		313
30		63			381		
35		73			445		
40		84			508		
45		94		95	572		566
50		105			635		
55		115			699		
60		126			762		
65	1.12	136	137	137	826	833	826
70	1.21	147	152		889	910	
75	1.29	157	167		953	998	
80	1.38	168	186		1016	1100	
85	1.47	178	207		1080	1220	
90	1.55	189	232		1143	1352	
95	1.64	199	262	$y_z =$	1207	1519	$y_z =$
100	1.73	210	301	248	1270	1718	1353
105	1.81	220	343		1334	1945	
110	1.90	231	402		1397	2240	
115	1.98	241	468		1461	2588	
120	2.07	252	563		1524	3060	
127	2.19	267	742				

YS 2—2　$\Delta y_l = 18$　$\Delta y_L = 117$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		9		9	59		59
10		18			117		
15		27			176		
20		36			234		
25		45		45	293		293
30		54			351		
35		63			410		
40		72			468		
45		81		82	527		527
50		90		91	585		585
55		99			644		
60		108			702		
65	1.08	117	118		761	763	
70	1.17	126	129		819	832	
80	1.33	144	155		936	993	
90	1.50	162	192		1053	1210	
100	1.67	180	244		1170	1507	
110	1.83	198	316		1287	1915	
120	2.00	216	432		1404	2551	
130	2.17	234	627	$y_z =$	1521	3600	$y_z =$
131	2.18	236	642	107			717

MK 1　$\Delta y_l = 44$　$\Delta y_L = 254$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		22		22	127		127
10		44			254		
15		66		65	381		377
20		88			508		
25		110		110	635		634
30		132			762		
35		154			889		
40		176			1016		
45		198		213	1143		1209
50	1.16	220	224	244	1270	1288	1380
55	1.28	242	258		1397	1458	
60	1.40	264	295		1524	1664	
65	1.51	286	341		1651	1908	
70	1.63	308	403		1778	2220	
75	1.75	330	482		1905	2618	
80	1.86	352	582		2032	3120	
85	1.98	374	727		2159	3820	
90	2.09	396	915		2286	4748	
				$y_z =$			$y_z =$
				319			1729

MK　2　　$\Delta y_l = 34$　　Δy_L　193　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		17		17	97		97
10		34			193		
15		51			290		
20		68			386		
25		85		81	483		475
30		102			579		
35		119			676		
40		136			772		
45		153		148	869		864
50		170			965		
55	1.15	187	190		1062	1075	
60	1.25	204	213		1158	1198	
65	1.35	221	240	226	1255	1310	1293
70	1.46	238	275	247	1351	1518	1414
75	1.56	255	315	↓	1448	1725	↓
80	1.67	272	368		1544	1990	
85	1.77	289	431		1641	2302	
90	1.87	306	513		1737	2695	
95	1.98	323	627		1834	3248	
100	2.08	340	773	$y_z=$	1930	3940	$y_z=$
102	2.12	347	845	448			2272

MK　4　　$\Delta y_l = 25$　　$\Delta y_L = 143$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		12		12	71		71
10		25			143		
15		37		34	214		209
20		50			286		
25		62			357		
30		75			429		
35		87		83	500		493
40		100			572		
45		112			643		
50		125			715		
55		137		133	786		780
60		150			858		
65		162			929		
70	1.15	175	178		1001	1013	
75	1.23	187	194	188	1072	1103	1092
80	1.31	200	214		1144	1205	
90	1.48	225	263		1287	1462	
100	1.64	250	330		1430	1800	
110	1.80	275	424	↓	1573	2270	↓
120	1.97	300	574	$y_z=$	1716	3000	$y_z=$
129	2.11	323	774	329			1728

MK　6　　$\Delta y_l = 22$　　$\Delta y_L = 132$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		11		11	66		66
10		22			132		
15		33		31	198		196
20		44			264		
25		55		52	330		326
30		66			396		
35		77			462		
40		88			528		
45		99		97	594		591
50		110			660		
55		121			726		
60		132			792		
65	1.08	143	144	145	858		863
70	1.15	154	157		924	861	
75	1.23	165	171		990	934	
80	1.31	176	188		1056	1018	
90	1.48	198	232		1188	1113	
100	1.64	220	290		1320	1341	
105	1.72	231	327	272	1386	1661	1690
110	1.80	242	373	↓	1452	1858	↓
120	1.97	264	506		1584	2095	
129	2.12	284	692	$y_z=$		2768	$y_z=$
				(1016)			(1371)

MK　8　　$\Delta y_l = 22$　　$\Delta y_L = 130$　$10^{-3}cm$

P	β	y_l			y_L		
kg	P/P_c	y_l	y_r	y	y_l	y_r	y
0		0	0	0	0	0	0
5		11		11	65		65
10		22			130		
15		33			195		
20		44			260		
25		55		53	325		323
30		66			390		
35		77			455		
40		88			520		
45		99		97	585		582
50		110		108	650		648
55		121			715		
60		132			780		
65	1.10	143	144		845	849	
70	1.19	154	158		910	928	
75	1.27	165	174		975	1015	
80	1.36	176	192		1040	1117	
90	1.53	198	240		1170	1368	
100	1.70	220	306		1300	1714	
110	1.87	242	405		1430	2220	
120	2.03	264	553	↓	1560	2958	↓
126	2.13	277	657	$y_z=$			$y_z=$
				133			788

Table 22. Values of φ

$\beta\sigma_b/\sigma_0$ [σ_b = *bending stress*; σ_0 = *bending stress at* P. L.]

$\sigma_0 = \sigma_{cp}$ *in this test*

$$\phi_e = \frac{1}{\beta^3}\left[\frac{36}{3-\beta} - 17 - 12\log_e\frac{2}{3-\beta}\right];\quad \varphi_l = \frac{4}{\beta(3-\beta)^2};\quad \varphi_L = \frac{8}{(3\gamma^2-4)}\left[\phi_e + \frac{3}{8}(\gamma^2-4)\phi_l\right]$$

β	ϕ_e	ϕ_l	ϕ_{L1}	ϕ_{L2}	ϕ_{L3}	β	ϕ_e	ϕ_l	ϕ_{L1}	ϕ_{L2}	ϕ_{L3}
1.04	1.0002	1.0012	1.0009	1.0010	1.001	1.42	1.0324	1.1284	1.1022	1.1094	1.095
1.05	1.0003	1.0019	1.0015	1.0016	1.001	1.43	1.0345	1.1348	1.1075	1.1149	1.100
1.06	1.0004	1.0027	1.0021	1.0022	1.002	1.44	1.0368	1.1414	1.1129	1.1207	1.105
1.07	1.0005	1.0036	1.0028	1.0030	1.003	1.45	1.0388	1.1482	1.1184	1.1265	1.111
1.08	1.0006	1.0047	1.0036	1.0039	1.003	1.46	1.0412	1.1552	1.1241	1.1326	1.116
1.09	1.0007	1.0059	1.0045	1.0049	1.004	1.47	1.0435	1.1624	1.1300	1.1389	1.122
1.10	1.0008	1.0073	1.0055	1.0060	1.005	1.48	1.0461	1.1698	1.1361	1.1453	1.127
1.11	1.0009	1.0088	1.0066	1.0072	1.005	1.49	1.0486	1.1774	1.1423	1.1519	1.133
1.12	1.0011	1.0105	1.0079	1.0086	1.007	1.50	1.0511	1.1852	1.1486	1.1586	1.139
1.13	1.0013	1.0123	1.0093	1.0109	1.009	1.51	1.0540	1.1932	1.1552	1.1656	1.145
1.14	1.0018	1.0142	1.0108	1.0117	1.010	1.52	1.0569	1.2014	1.1620	1.1728	1.151
1.15	1.0021	1.0163	1.0124	1.0135	1.012	1.53	1.0595	1.2099	1.1689	1.1801	1.158
1.16	1.0026	1.0185	1.0142	1.0153	1.013	1.54	1.0627	1.2185	1.1760	1.1876	1.164
1.17	1.0029	1.0209	1.0160	1.0173	1.015	1.55	1.0657	1.2274	1.1833	1.1954	1.171
1.18	1.0034	1.0234	1.0179	1.0194	1.016	1.56	1.0689	1.2366	1.1909	1.2034	1.178
1.19	1.0040	1.0260	1.0200	1.0216	1.018	1.57	1.0721	1.2459	1.1985	1.2115	1.186
1.20	1.0044	1.0288	1.0221	1.0240	1.020	1.58	1.0757	1.2555	1.2045	1.2199	1.193
1.21	1.0052	1.0317	1.0245	1.0264	1.024	1.59	1.0789	1.2654	1.2145	1.2285	1.201
1.22	1.0058	1.0348	1.0269	1.0290	1.028	1.60	1.0828	1.2755	1.2229	1.2373	1.208
1.23	1.0063	1.0380	1.0294	1.0317	1.029	1.61	1.0851	1.2859	1.2341	1.2463	1.217
1.24	1.0075	1.0414	1.0321	1.0347	1.030	1.62	1.0901	1.2966	1.2403	1.2557	1.225
1.25	1.0084	1.0449	1.0349	1.0377	1.033	1.63	1.0940	1.3075	1.2493	1.2652	1.234
1.26	1.0090	1.0485	1.0377	1.0405	1.035	1.64	1.0979	1.3187	1.2585	1.2750	1.242
1.27	1.0102	1.0524	1.0409	1.0440	1.038	1.65	1.1020	1.3302	1.2680	1.2850	1.251
1.28	1.0111	1.0563	1.0440	1.0473	1.041	1.66	1.1061	1.3420	1.2777	1.2953	1.260
1.29	1.0122	1.0604	1.0473	1.0508	1.044	1.67	1.1105	1.3541	1.2877	1.3059	1.270
1.30	1.0134	1.0647	1.0507	1.0545	1.047	1.68	1.1150	1.3665	1.2979	1.3167	1.279
1.31	1.0144	1.0691	1.0542	1.0583	1.051	1.69	1.1194	1.3792	1.3084	1.3277	1.289
1.32	1.0159	1.0738	1.0580	1.0623	1.054	1.70	1.1242	1.3923	1.3192	1.3392	1.299
1.33	1.0172	1.0784	1.0617	1.0663	1.058	1.71	1.1290	1.4057	1.3302	1.3509	1.310
1.34	1.0185	1.0833	1.0656	1.0705	1.061	1.72	1.1339	1.4194	1.3415	1.3629	1.320
1.35	1.0200	1.0883	1.0697	1.0748	1.065	1.73	1.1389	1.4335	1.3532	1.3751	1.331
1.36	1.0215	1.0935	1.0739	1.0792	1.069	1.74	1.1441	1.4480	1.3651	1.3878	1.342
1.37	1.0232	1.0989	1.0783	1.0839	1.073	1.75	1.1494	1.4578	1.3737	1.3957	1.354
1.38	1.0250	1.1045	1.0828	1.0887	1.077	1.76	1.1548	1.4781	1.3899	1.4140	1.366
1.39	1.0266	1.1102	1.0874	1.0936	1.082	1.77	1.1604	1.4938	1.4029	1.4277	1.378
1.40	1.0285	1.1161	1.0922	1.0988	1.086	1.78	1.1660	1.5098	1.4160	1.4417	1.390
1.41	1.0305	1.1221	1.0971	1.1040	1.091	1.79	1.1720	1.5263	1.4297	1.4561	1.403

β	ϕ_c	ϕ_l	ϕ_{L1}	ϕ_{L2}	ϕ_{L3}	β	ϕ_c	ϕ_l	ϕ_{L1}	ϕ_{L2}	ϕ_{L3}
1.80	1.1781	1.5432	1.4436	1.4709	1.316	2.16	1.5329	2.6245	2.3268	2.4082	2.245
1.81	1.1842	1.5606	1.4580	1.4860	1.430	2.17	1.5481	2.6758	2.3683	2.4524	2.285
1.82	1.1904	1.5784	1.4726	1.5015	1.444	2.18	1.5640	2.7289	2.4112	2.4981	2.324
1.83	1.1969	1.5967	1.4877	1.5175	1.456	2.19	1.5802	2.7838	2.4555	2.5453	2.366
1.84	1.2034	1.6156	1.5031	1.5339	1.472	2.20	1.5970	2.8409	2.5016	2.5944	2.408
1.85	1.2103	1.6349	1.5191	1.5508	1.488	2.21	1.6141	2.9000	2.5493	2.6452	2.454
1.86	1.2174	1.6547	1.5354	1.5681	1.503	2.22	1.6319	2.9616	2.5989	2.6981	2.499
1.87	1.2245	1.6752	1.5523	1.5859	1.519	2.23	1.6501	3.0253	2.6502	2.7528	2.548
1.88	1.2318	1.6961	1.5695	1.6041	1.535	2.24	1.6689	3.0917	2.7037	2.8098	2.597
1.89	1.2393	1.7177	1.5872	1.6229	1.552	2.25	1.6883	3.1606	2.7591	2.8689	2.650
1.90	1.2470	1.7399	1.6055	1.6422	1.569	2.26	1.7082	3.2321	2.8165	2.9302	2.702
1.91	1.2549	1.7627	1.6242	1.6621	1.587	2.27	1.7287	3.3066	2.8763	2.9940	2.759
1.92	1.2630	1.7861	1.6434	1.6825	1.604	2.28	1.7499	3.3841	2.9384	3.0603	2.816
1.93	1.2713	1.8102	1.6632	1.7034	1.623	2.29	1.7717	3.4650	3.0032	3.1295	2.878
1.94	1.2797	1.8350	1.6836	1.7250	1.642	2.30	1.7942	3.5492	3.0706	3.2015	2.939
1.95	1.8285	1.8606	1.7046	1.7472	1.662	2.31	1.8176	3.6370	3.1408	3.2765	3.006
1.96	1.2974	1.8869	1.7261	1.7701	1.682	2.32	1.8415	3.7286	3.2139	3.3547	3.072
1.97	1.3064	1.9139	1.7478	1.7935	1.703	2.33	1.8664	3.8245	3.2905	3.4365	3.145
1.98	1.3159	1.9418	1.7711	1.8178	1.724	2.34	1.8920	3.9243	3.3700	3.5216	3.217
1.99	1.3254	1.9704	1.7945	1.8432	1.747	2.35	1.9184	4.0286	3.4531	3.6105	3.296
2.00	1.3353	2.0000	1.8187	1.8683	1.769	2.36	1.9458	4.1378	3.5400	3.7035	3.375
2.01	1.3454	2.0305	1.8436	1.8948	1.793	2.37	1.9742	4.2522	3.6309	3.8009	3.462
2.02	1.3557	2.0619	1.8693	1.9220	1.816	2.38	2.0035	4.3721	3.7261	3.9028	3.548
2.03	1.3664	2.0942	1.8957	1.9500	1.842	2.39	2.0340	4.4979	3.8259	4.0097	3.643
2.04	1.3772	2.1275	1.9229	1.9788	1.867	2.40	2.0654	4.6296	3.9303	4.1216	3.738
2.05	1.3885	2.1621	1.9511	2.0088	1.894	2.41	2.0980	4.7681	4.0399	4.2391	3.842
2.06	1.4000	2.1976	1.9801	2.0396	1.920	2.42	2.1319	4.9134	4.1548	4.3623	3.946
2.07	1.4116	2.2343	2.0099	2.0713	1.949	2.43	2.1671	5.0665	4.2757	4.4920	5.063
2.08	1.4237	2.2721	2.0407	2.1040	1.977	2.44	2.2035	5.2274	4.4027	4.6283	5.176
2.09	1.4361	2.3112	2.0725	2.1378	2.008	2.45	1.2415	5.3974	4.5367	4.7721	5.303
2.10	1.4488	2.3516	2.1054	2.1727	2.038	2.46	2.2808	5.5765	4.6777	4.9235	5.430
2.11	1.4618	2.3933	2.1393	2.2087	2.070	2.47	2.3219	5.7654	4.8262	5.0831	5.572
2.12	1.4753	2.4365	2.1744	2.2461	2.102	2.48	2.3645	5.9648	4.9829	5.2515	5.713
2.13	1.4892	2.4811	2.2106	2.2846	2.137	2.49	2.4090	6.1767	5.1491	5.4302	5.871
2.14	1.5033	2.5273	2.2480	2.3244	2.171	2.50	2.4553	6.4000	5.3242	5.6185	5.028
2.15	1.5178	2.5750	2.2867	2.3655	2.208						

注　ϕ_c ⟶ *in the case of a center loaded simple beam.*

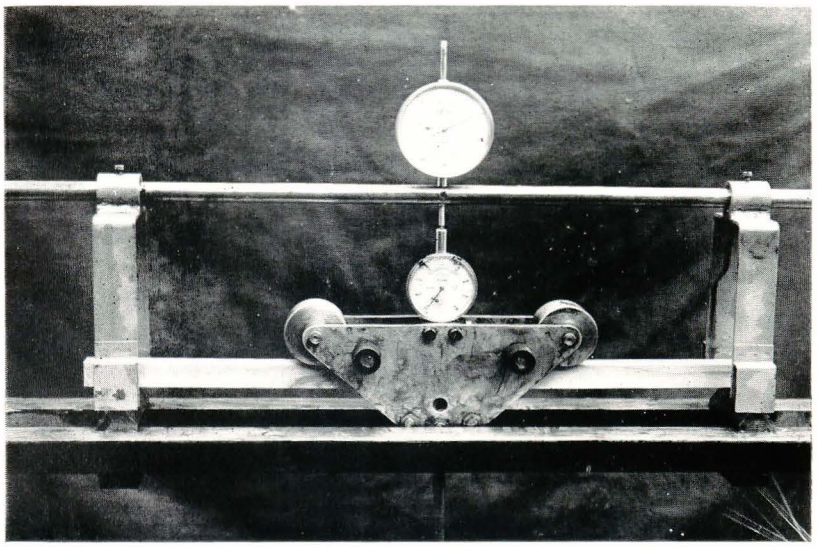
ϕ_l ⟶ *in the region l of a two-point loaded simple beam.* (*Fig. 1*)

ϕ_L ⟶ *in the region L of a two-point loaded simple beam.* (*Fig. 1*)

ϕ_{L1} = *in the case of* $\gamma = 10/3$ (*creep test*)

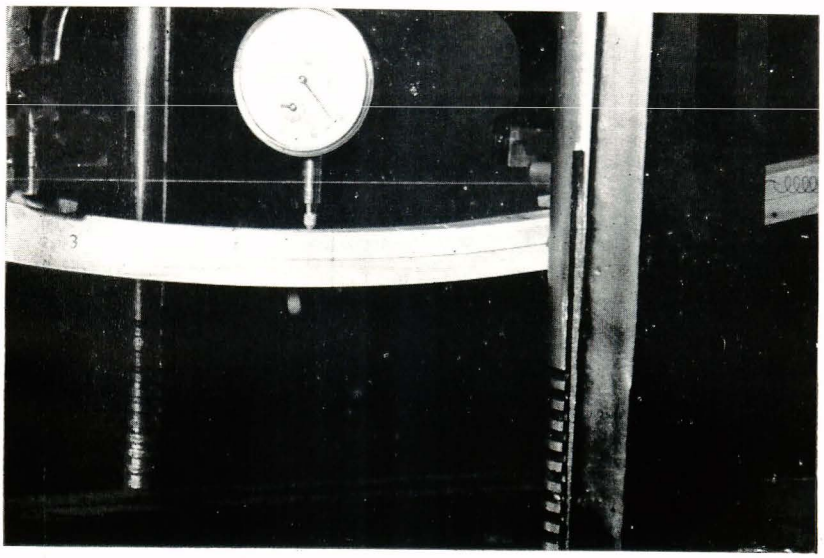
ϕ_{L2} = *in the case of* $\gamma = 50/13$ (*static bending test*)

ϕ_{L3} = *in the case of* $\gamma = 3$



曲げクリープ試験装置

(a) Typical set-up of a beam ready for creep test.



静的曲げ試験装置

(b) Set-up of a beam ready for static bending test.

Fig. 9 曲げ装置 Bending apparatus.

— **Plate 2** —

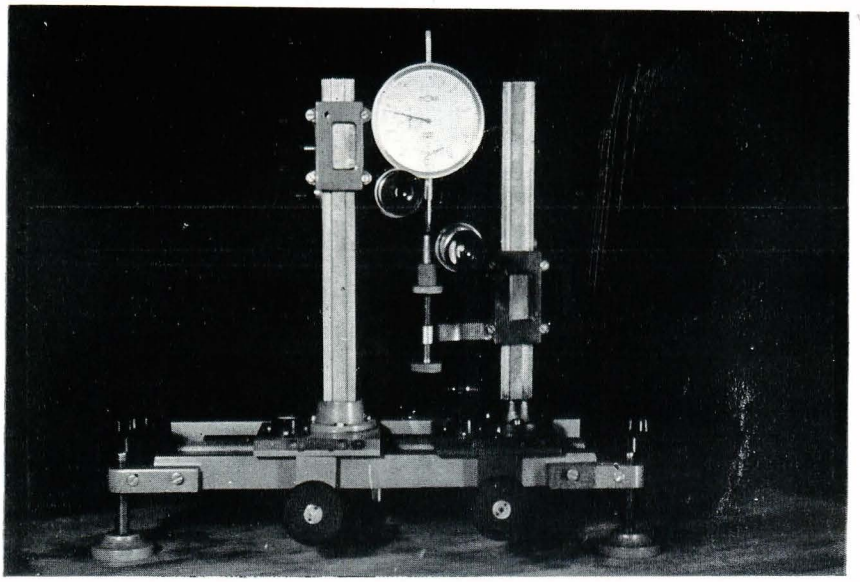
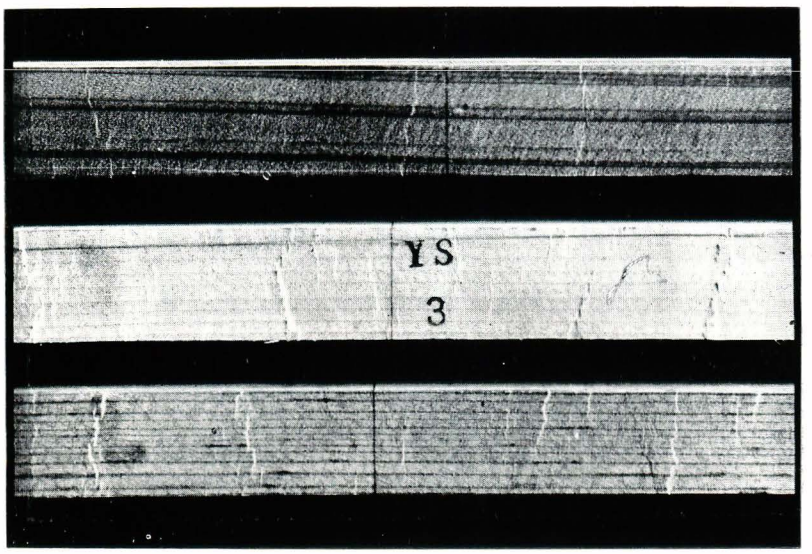


Fig. 10　静的曲げ試験に使用した特殊撓み測定具

Special deflection gage used for static bending test



Sugi

Yzeomatsu

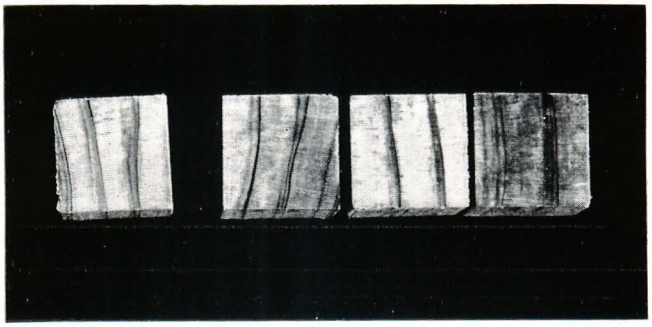
Akamatsu

Fig. 11　静的曲げ試験における試験梁の圧縮側中央部の破損形態

Failure of compression side of test beams in static bending.

(*center part, two-point loaded simple beam*)

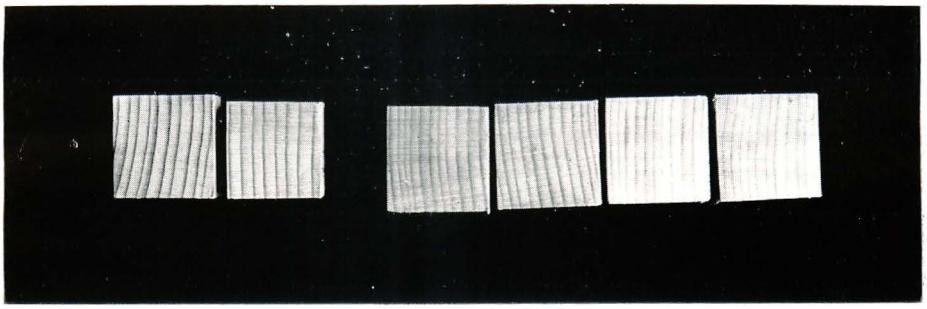
SA



（4）　（1）　（2）　（3）

静的試験 *static* | クリープ試験 *creep*

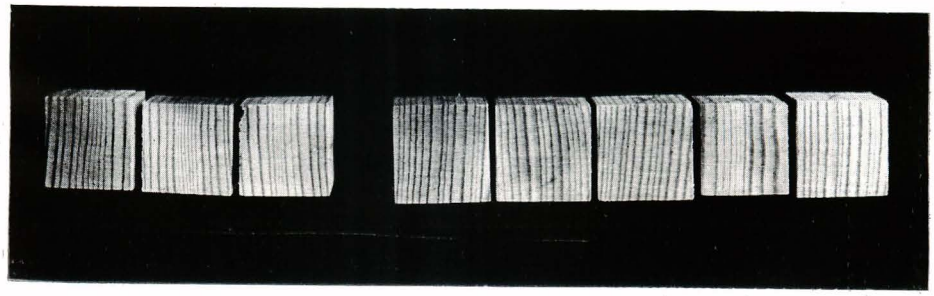
YS



（3）　（2—1）　（1—1）　（1—2）　（1—3）　（2—2）

静的試験 *static* | クリープ試験 *creep*

MK

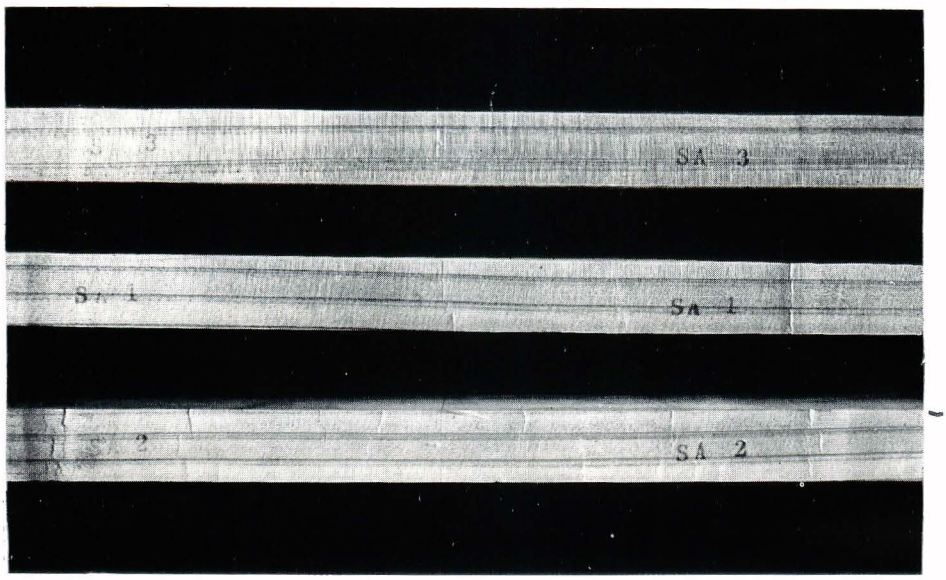


（7）　（5）　（3）　（8）　（6）　（4）　（2）　（1）

静的試験 *static* | クリープ試験 *creep*

Fig. 12 試験梁の横断面

Cross-sections of test beams.



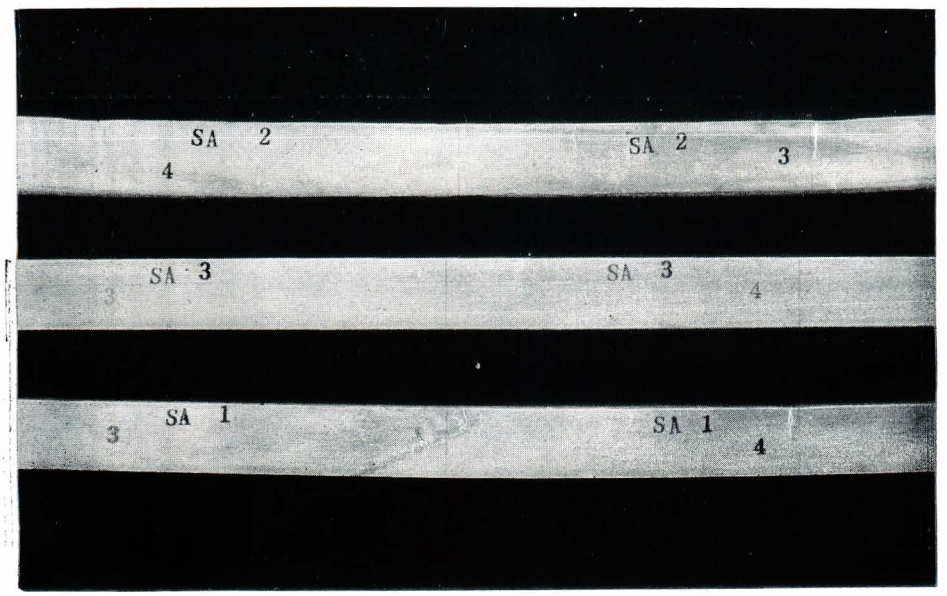


Fig. 13 曲げクリープ試験梁（スギ）

Bending creep test beams.

(SA = *Sugi*)

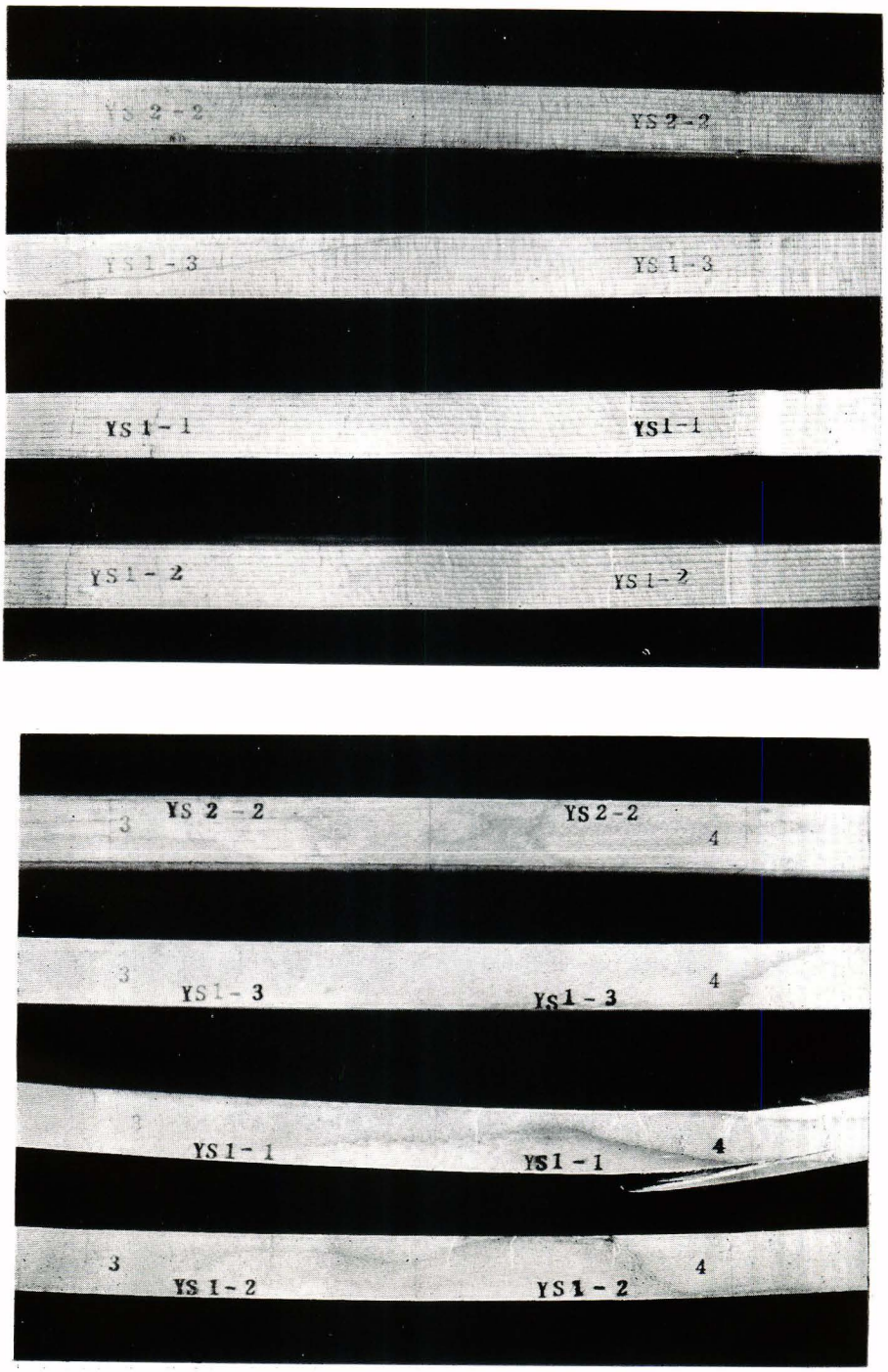
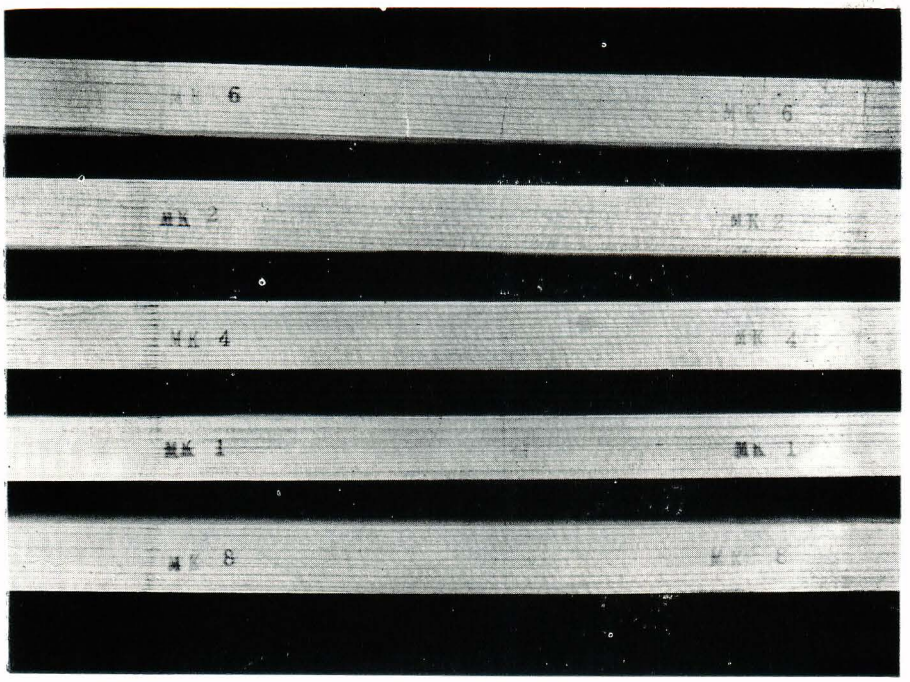


Fig. 13 曲げクリープ試験梁（エゾマツ）

Bending creep test beams.

(YS = *Yezo-matsu*)

— Plate 6 —



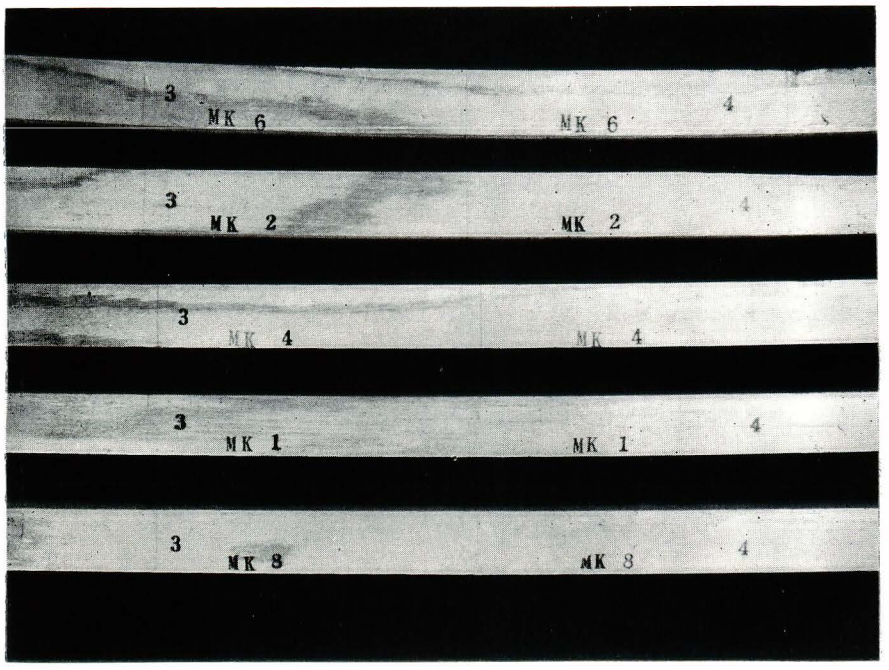


Fig. 15 曲げクリープ試験梁（アカマツ）

Bending creep test beams.

(MK = *Akamatsu*)