

# カラマツ集成材

- ラミナ品質と集成材の強度性能 -

伊藤 勝彦 宮野 博

われわれは先にカラマツねじれ狂い改良法として、集成材の製造試験を行なった。その結果、集成材にすることにより、ねじれ狂い防止が可能であることを確認した。<sup>1)</sup>

本試験では、ラミナの品質、節による剛性および強度の変動傾向、ラミナ品質と集成梁の強度性能との関係を調査し、構造用集成材のラミナとしての適性を検討した。

なお、この試験は北大教授、沢田稔氏を中心とする集成梁研究会、北海道研究班による、エゾマツ・トドマツラミナの強度級に関する調査試験<sup>2),3)</sup>に準じて行なった。

## 供試材料

試験に供したカラマツは40年生および60年生の人工造林木である。

これらの原木を当場製材試験料において、巾 12 cm 厚さ 3 cm、長さ 330 cm 板に製材し、屋外に積積して天然乾燥した後、人工乾燥を行ない含水率を 8~12 %に調整した。人工乾燥終了後自動一面飽盤を用いて厚さ 2 cm に仕上げ、供試ラミナとした。供試ラミナは307枚である。

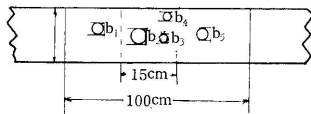
これらのラミナは品質調査の後、有節ラミナの曲げ破壊試験、集成梁製造に供した。

## 試験方法および結果

### 1) ラミナの品質調査

供試ラミナ 307枚について節径比(集中節径比  $\phi_{15}$ 、最大節径比  $\phi_m$ )、ヤング係数E、比重を測定した。

節径比は強度性能を低減させる欠点として取扱い、ヤング係数との関係を調査するため、ラミナの中央 1 m 区間について測定した。



$$\text{最大節径比 } \phi_m = \frac{b_{\text{Max}}}{B} = \frac{b_2}{B}$$

$$\text{集中節径比 } \phi_{15} = \frac{\sum b_i}{B} = \frac{b_2 + b_3 + b_4}{B}$$

$b_{\text{Max}}$  = 最大節径

$\sum b_i$  = 15cm区間に含まれるbの総計

B = 巾

第1図 最大節径比、集中節径比測定法

測定方法は第1図に示すとおりである。

ラミナの曲げ剛性試験においては第2図に示すようにスパン  $l = 300 \text{ cm}$  とし、3等分点待重方式により、 $P = 2 \text{ kg}$  ごとに 10kg まで荷重をかけ、荷重点間内 80cm 区間におけるたわみ  $m$  をダイヤルゲージにより測定し、荷重 - たわみ曲線の直線部分から、ヤング係数Eを次式により求めた。

$$E = \frac{3 P a m^2}{4 \delta_m b h^3} = \frac{48 \times 10^4 P}{\delta_m b h^3}$$

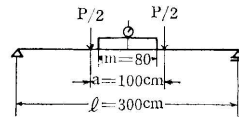
ここに、P = 荷重、 $a = 1/3 = 100 \text{ cm}$

$m$  = たわみ測定区間長 = 80cm

$\delta_m$  = m区間におけるたわみ、cm

b = ラミナの巾、cm

h = ラミナの厚さ、cm



第2図 ヤング係数測定法

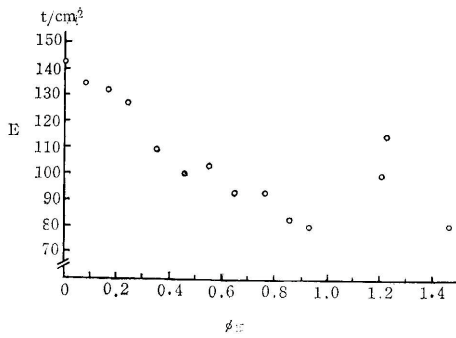
第1表 ラミナ品質調査結果

比	重	ヤング係数	集中節径比	最大節径比
Ru		E t/cm <sup>2</sup>	$\phi_{15}$	$\phi_m$
0.50		112	0.40	0.23
0.37~0.69		55~185	0.00~1.46	0.00~0.77

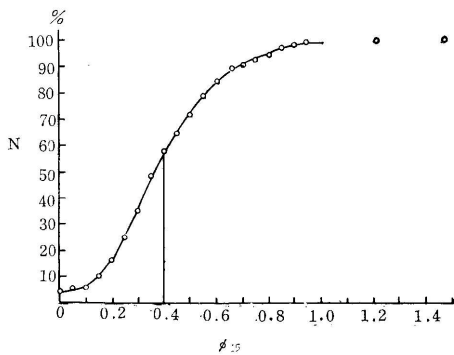
注 上欄は平均値 下欄は範囲

調査結果は第1表に示すとおりである。

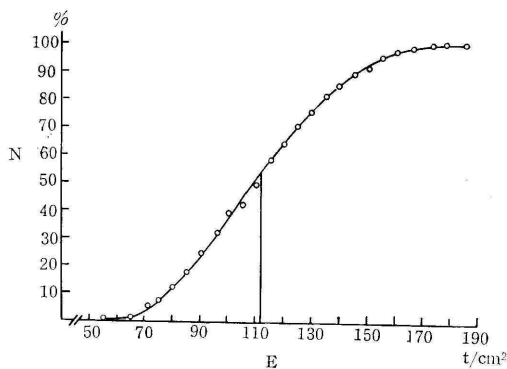
この調査結果をもとに集中節径比  $\phi_{15}$  によるヤング係数 E の低減傾向を第3図、ヤング係数 E、集中節径比  $\phi_{15}$  の累積分布を第4、5図に示した。



第3図 15によるEの低減傾向



第4図 Eの累積分布曲線



第5図 15の累積分布曲線

## 2) 節による強度性能変動調査

1) の試験に用いたラミナから、長さ 115cm の有節試験片を 146 枚採取し、スパン 105cm、3 等分点荷重方式で曲げ破壊試験を行ない、ヤング係数  $E_k$ 、曲げ強さ  $k$  を求めた。破壊試験終了後、非破壊部から JIS 標準寸法の無欠点小試験片を採取し、中央集中荷重方式により、ヤング係数  $E$  および曲げ強さ  $\sigma$  を求めた。こ

れらの結果をもとに節径比によるヤング係数、強度の変動傾向を調査した。しかし、JIS 試験法によるヤング係数は水平せん断応力によるたわみの影響が強いため、付加たわみ比を計算して純曲げ条件でのヤング係数  $E_0$  に換算する必要がある。このため、カラマツ角棒 22本のねじり試験を行ない、せん断弾性係数  $G$  を測定して  $E/G=14$  を得た。この値を用いて付加たわみ比を計算すると次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{付加たわみ比} &= (6/5)(E/G)(h^2/l^2) \\ &= 1.2 \times 14 \times 1/196 \\ &= 0.08 \end{aligned}$$

$E$  = ヤング係数

$G$  = せん断弾性係数

$h$  = 材せい

$l$  = スパン

付加たわみ比は 0.08 となり、換算式は  $E_0 = 1.08 \times E$  として計算した。

さらに、無欠点材においては  $\sigma = \sigma/E_0$  の値が樹種によりほぼ一定しており、樹種特性値  $\sigma_0$  から、

$\sigma = \sigma_0 E_0$  として、ヤング係数から  $\sigma_0$  の推定が可能である。そこで節の存在はその部分の断面減少とみなし、次式により、有節ラミナの曲げ強さ  $k$  を計算し、実測値と比較した。

$$K = \sigma_0 \cdot E_0 \cdot \alpha = 0.0074 \cdot E_0 \cdot (1 - \alpha)$$

$k$  = 有節ラミナの曲げ強さ計算値

$\text{kg/cm}^2$

$\sigma_0 = \sigma/E_0$  (樹種特性値、ここでは無欠点試験片の平均値を採用した)

$E_0$  = 無欠点材のヤング係数  $\text{t/cm}^2$

$= 1 - \alpha$

$\alpha$  = 集中節径比 (百分率ではなく、比で与えられるもの)

集中節径比  $\alpha$  とヤング係数、曲げ強さおよび基礎材質 (比重、平均年輪巾、含水率) との関係は第 2 表、計算値と実測値の比較は第 3 表に示すとおりである。

有節ラミナの  $E_k$ 、 $k$ 、 $\sigma$  が  $\alpha$  によって変動する傾向は第 6、7 図に示した。

カラマツ集成材

第2表 試料ラミナの基本材質、節径比と曲げ性能

有節ラミナ					無節ラミナ						試料数
$\phi_{15}$ %	$\phi$ m %	$E_k$ t/cm <sup>2</sup>	$\sigma_k$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_k/E_k$	b mm	u %	Ru	$E_0$ t/cm <sup>2</sup>	$\sigma_0$ kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_0$ $\sigma_0/E_0$	
0	0	130	758	0.00577	3.3	12.6	0.57	131	899	0.00670	4
5.0	5.0	144	590	410	3.7	10.5	0.48	127	853	676	1
11.8	10.8	142	684	482	3.0	11.2	0.53	130	910	705	5
15.3	13.3	138	614	442	3.2	11.6	0.54	129	898	701	6
20.5	15.0	117	537	461	3.7	11.4	0.50	119	817	696	18
24.7	17.0	108	519	490	3.8	11.2	0.49	110	787	720	20
30.0	20.1	109	509	476	4.0	11.4	0.50	112	813	744	24
35.1	18.9	98	469	481	4.5	10.7	0.46	103	708	697	20
40.0	23.6	106	473	453	3.7	11.1	0.50	118	800	684	7
45.0	23.2	99	474	482	3.8	11.4	0.51	106	800	774	16
50.0	22.6	89	387	449	4.4	11.2	0.48	95	755	837	7
54.6	22.0	92	429	469	4.7	11.0	0.48	102	791	793	8
60.0	27.0	80	370	489	4.7	11.2	0.51	102	811	813	4
65.0	24.0	87	398	461	5.4	10.6	0.42	88	779	886	2
69.0	24.0	101	440	436	2.5	11.5	0.54	83	569	686	1
73.5	25.0	92	410	442	5.7	11.4	0.44	86	719	843	2
88.0	19.0	118	448	380	2.9	11.6	0.56	107	745	696	1
平均								110	795	0.00734	(146)

第3表 有節ラミナの曲げ強さの推定

$\phi_{15}$	無節ラミナ			$\sigma_0/\sigma_0'$	有節ラミナ		$\sigma_k/\sigma_k'$	$E_k/E_0$	$\sigma_k/\sigma_0$	$\epsilon_k/\epsilon_0$
	$E_0$ t/cm <sup>2</sup>	$\sigma_0'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_0$ kg/cm <sup>2</sup>		$\sigma_k'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_k$ kg/cm <sup>2</sup>				
0	131	971	899	0.91	971	758	0.78	1.00	0.92	0.87
5.0	127	940	853	0.91	893	590	0.66	1.13	0.69	0.61
11.8	130	962	910	0.95	849	683	0.81	1.10	0.76	0.69
15.3	129	952	898	0.95	806	614	0.76	1.08	0.68	0.63
20.5	119	879	817	0.94	699	537	0.78	1.00	0.66	0.67
24.7	110	815	787	0.97	614	519	0.86	0.98	0.69	0.70
30.0	112	832	813	1.01	584	905	0.51	1.00	0.66	0.66
35.1	103	765	708	0.94	496	469	0.97	0.97	0.67	0.71
40.0	118	870	800	0.93	526	473	0.96	0.96	0.68	0.69
45.0	106	784	800	1.05	433	474	1.12	0.96	0.61	0.65
50.0	95	704	755	1.13	353	387	1.17	0.99	0.53	0.57
54.6	102	753	791	1.07	341	429	1.28	0.91	0.55	0.60
60.0	102	751	811	1.10	302	370	1.28	0.79	0.48	0.61
65.0	88	651	779	1.20	228	398	1.78	0.99	0.52	0.52
69.0	83	614	569	0.93	190	440	2.32	1.22	0.77	0.64
73.5	86	633	719	1.14	199	410	2.3	1.08	0.57	0.53
88.0	107	792	745	0.94	95	448	4.72	1.10	0.60	0.55
平均	110	817	795	0.99			* 0.88			

\*  $\phi_{15}$ が50.0まで

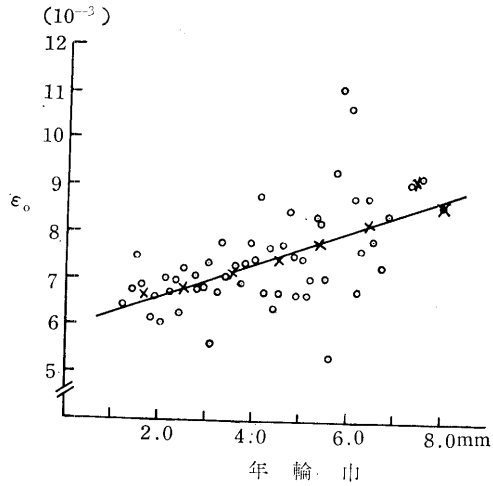
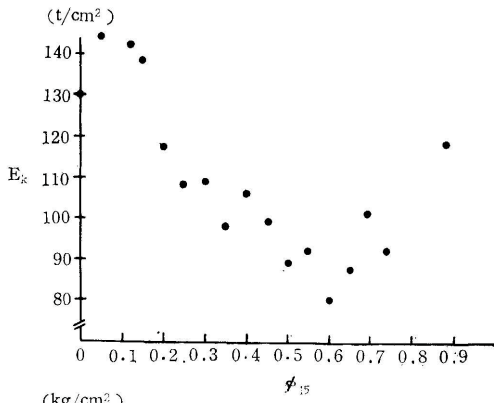
$\sigma_0' = 0.0074E_0$  (無節ラミナの計算曲げ強さ)

$\sigma_0$  (無節ラミナの実測値)

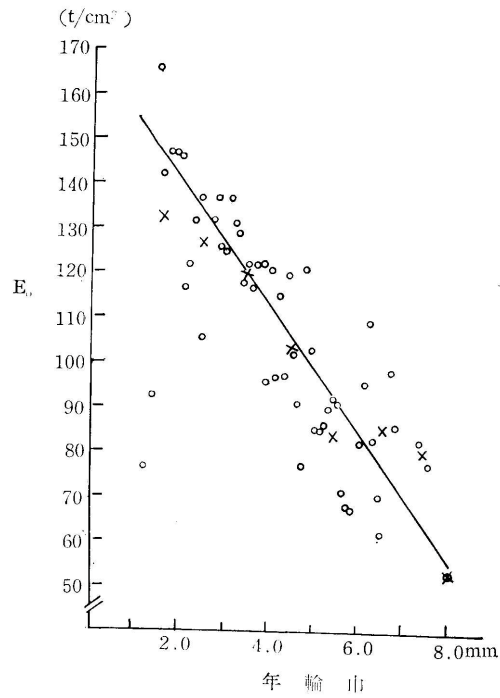
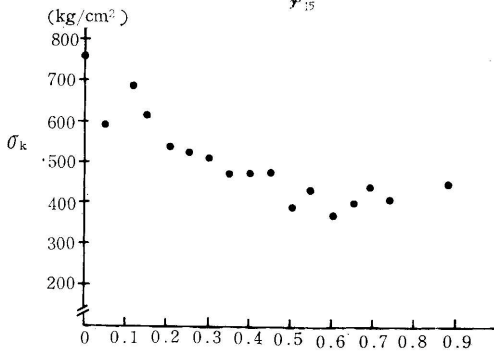
$\sigma_k' = \sigma_0' \times \frac{100 - \phi_{15}}{100}$  (有節ラミナの計算曲げ強さ)

$\sigma_k$  (有節ラミナの実測曲げ強さ)

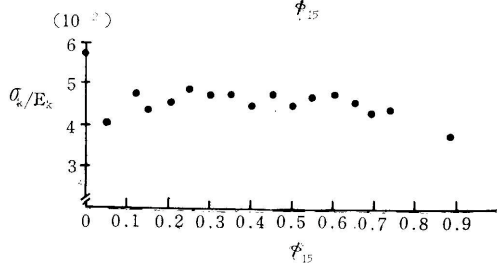
第8, 9図には年輪巾による  $\sigma$ ,  $E_0$ の変動傾向を示した。



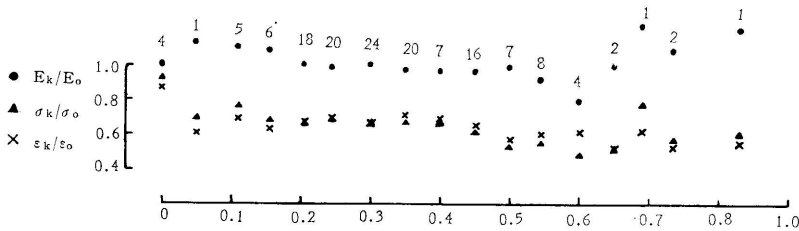
第8図 年輪巾による  $\sigma$  の変動傾向



第9図 年輪巾による  $E_0$  の変動傾向



第6図 集中節径比 15による  $E_k$ ,  $\sigma_k$ および  $\sigma_k/E_k$  の低減傾向



第7図 集中節径比 15による  $E_k$ ,  $\sigma_k$ および  $\sigma_k/E_k$  の低減傾向

3) 集成梁の強度試験

1) の試験に用いたラミナのの一部を用い、7層集成梁15本を作製し、スパン 3m、3 等分点荷重方式で曲げ破壊試験を行ない、ラミナ品質からの計算値と実測値との比較を行った。

集成梁の計算ヤング係数 $E_{cal}$ はラミナの $E_k$ から、次式により求めた。

$$EI = \sum E_i I_i$$

$E$  = 集成梁のヤング係数

$I$  = 集成梁の断面二次モーメント

$E_i$  =  $i$ 番目のラミナのヤング係数

$I_i$  = 集成梁の中立軸に関する $i$ 番目ラミナの断面二次モーメント

つぎに、この計算値  $E_{cal}$  を用いて、強度低減率  $e$  から曲げ強さ  $b_2$ を次式により計算的に求めた。

$$\sigma_{b_2} = \phi_e \cdot \sigma_{b_1} = \phi_e \cdot (0.0074 \times E_{cal})$$

$\sigma_{b_2}$  = 集成梁の計算曲げ強さ

$$\phi_e = \frac{1}{73} \times \xi = 0.0029\xi$$

$$\xi = 218\phi_1' + 98\phi_2' + 26\phi_3' + \phi_4'$$

$$\phi_i' = (1 - \phi_{15})^i$$

集成梁の寸法、曲げ試験結果および実測値と計算値の比較は第4表に示したとおりである。

考察

1) 有節ラミナのヤング係数 ( $E_k$ )

年輪巾が広くなると  $E_o$  はかなり急激に低下する。これは一般的にカラマツは樹心に近い部分の年輪巾が広く、かつ未成熟材であるためと思われる。このことから第6図では  $15$  の増大に伴って  $E_k$  がかなり急激に低下しているが、 $15$ の影響というより、材質そのものの影響が大きく、第7図にみるごとく、無欠点材との比較では  $15$ による低減はかなり緩慢であり、節径比による影響は少ない。

2) 有節ラミナの曲げ強さ ( $k$ )

この場合は前述の曲げヤング係数に比較してし、節径比の影響は大きい。

通常の有節ラミナでは節周辺における木材繊維走向の乱れがあり、これに伴ってしばしば材の側端部にお

ける主として引張強度の弱化が起り、断面減少率をこえた強度低減をひき起す結果となる。しかし、ここでは評価を単純化するため、断面減少率によって判断した。

無節ラミナ (無欠点小試片)の実測  $\sigma_o$  と計算  $\sigma_o$  とを比較すると全試料を通じてほぼ等しいが、有節ラミナの実測  $k$ と計算  $k$  とを比較すると  $15$ が0.4まではほとんど  $k$ の方が低く、 $15$ が0.45以上になると逆転している。これは  $15$ がかなり大となる場合には  $15$ の測定上の問題もあり、特に、流れ節的現われ方のときには妥当な断面減少率評価とはならないことも関連しているようである。また、ヤング係数の項でのべたように、材質的変動による  $\sigma_o$ の値が第8図のような傾向を示しており、ここでは平均値をとって計算したことにも関連していると思われる。第8図より判断すれば  $\sigma_o = 0.0060$ なる下限値をとることにより、バラツキは大きい安全側で推定計算することができ、 $E_k$ 、その他で安全率を考慮すれば、 $\sigma_o = 0.0065$ 位でも安全側での計算が可能であろう。

3) ラミナ品質と集成梁の強度性能

ヤング係数について実測値 $E_l$ 、 $E_m$ と計算値  $E_{cal}$ を比較すると、全体としてよく一致している。

曲げ強さについて計算値  $b_2$ と実測値  $b$ とを比較すると、バラツキは大きいながらも  $b = 0.8 b_2$  の関係にあり、計算値が大きくでている。

この場合も有節ラミナの曲げ強さの項で述べたように、 $\sigma_o$ の下限値  $0.0060$ をとることにより、より安全な計算が可能と思われ、この方法でのラミナ品質から集成梁の品質評価はカラマツの場合もほぼ有効なものと思われる。

4) カラマツ集成梁の品質

カラマツ集成梁の実測強度性値から、構造材としての品質と木構造設計基準<sup>4)</sup>を対照して考察する。針葉樹1類に対する曲げ短期許容応力は、上級構造材  $240 \text{ kg/cm}^2$ 、普通構造材  $180 \text{ kg/cm}^2$ である。

この値から欠点をもつ実大梁としての最低強度を計算すると次のようになる。

$$f_s = \sigma_o F_b \times \frac{2}{3} \times \alpha$$

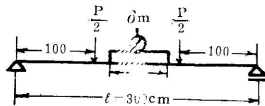
カラマツ集成材

第4表 集成梁の曲げ性能に関する実測値と計算値

集成梁 No.	比重 Ru	集成梁の寸法		$\phi_e$ Ie I	実測値				計算値			$\frac{EI}{Ecal}$	$\frac{Em}{Ecal}$	$\frac{b}{b_2}$	$\frac{\sigma_b}{Ecal}$	破壊 形式
		B cm	H cm		EI t/cm <sup>2</sup>	Em kg/cm <sup>2</sup>	b <sub>p</sub> kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ kg/cm <sup>2</sup>	Ecal t/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{b1}$	$\sigma_{b2}$					
1	0.55	9.84	13.82	0.753	130	148	602	728	152	1125	844	0.86	0.97	0.86	0.00479	引張
2	0.54	9.82	13.83	0.900	134	146	566	740	145	1073	966	0.92	1.01	0.77	510	節
3	0.59	9.82	14.12	0.618	125	145	499	583	143	1053	654	0.87	1.01	0.89	408	目切
4	0.55	9.52	13.85	0.805	125	131	368	479	135	999	800	0.93	0.97	0.60	355	目切
5	0.55	9.37	14.03	0.654	122	130	293	499	129	955	625	0.95	1.01	0.80	387	せん断
6	0.54	9.83	13.90	0.759	120	129	376	591	124	918	697	0.97	1.04	0.85	477	目切
7	0.50	9.82	13.50	0.774	109	125	335	553	120	888	687	0.91	1.04	0.80	461	節
8	0.51	9.38	13.83	0.586	101	110	321	465	116	858	503	0.87	0.95	0.92	401	引張
9	0.49	9.83	13.82	0.533	97	103	223	374	108	799	426	0.90	0.95	0.88	346	節
10	0.50	9.38	13.88	0.655	91	99	355	423	100	740	485	0.91	0.99	0.87	423	引張
11	0.52	9.71	13.95	0.489	84	88	241	343	98	725	355	0.86	0.90	0.97	350	節
12	0.48	9.83	13.95	0.600	87	89	300	374	91	673	404	0.96	0.98	0.93	411	節
13	0.47	9.84	13.19	0.540	77	85	264	334	84	622	336	0.92	1.01	0.99	398	目切
14	0.44	9.82	13.17	0.439	79	81	232	304	78	577	253	1.01	1.04	1.20	390	目切
15	0.42	9.51	13.53	0.355	64	63	239	324	68	503	179	0.94	0.93	1.81	476	引張
平均	0.51	9.69	13.76									0.92	0.99	0.94	418	

注  $\sigma_{b1} = 0.0074 \times Ecal$

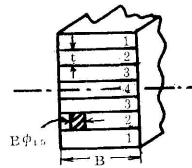
$b_2 = \phi_e \cdot \sigma_{b1}$



試験法略図

$EI$  = 全スパン中央撓みより求めたヤング係数

$Em$  = 中央荷重点間撓みより求めたヤング係数



有効断面2次モーメント (Ie) の計算

$$Ie = \frac{Bt^3}{12} (1 - \phi_{15})_1 (7^3 - 5^3) + \frac{Bt^3}{12} (1 - \phi_{15})_2 (5^3 - 3^3) + \dots + \frac{Bt^3}{12} (1 - \phi_{15})_4$$

$$= \frac{Bt^3}{12} (218\phi_1' + 98\phi_2' + 26\phi_3' + \phi_4')$$

$$\phi_1' = (1 - \phi_{15})_1$$

$f_s$  = 曲げ短期許容応力

$\alpha F_b$  = 無欠点材の曲げ強さ

= 欠点係数

この式より求める実大梁の曲げ強さは

$$\alpha_0 F_b = f_s \times \frac{2}{3}$$

$\alpha F_b$  = 求める最低強度

( $\alpha = 1$ として計算)

この結果、上級構造材360kg/cm<sup>2</sup>、普通構造材270kg/cm<sup>2</sup>となる。第4表の曲げ強さでは最低値が304kg/cm<sup>2</sup>であり、普通構造材1類に合格する値を示しており、Ecalが100t/cm<sup>2</sup>以上の集成梁では上級構造材1類に該当する強さを示している。針葉樹1類に対するヤング係数は上級構造材100t/cm<sup>2</sup>、普通構造材80t/cm<sup>2</sup>とされている。

材80t/cm<sup>2</sup>とされている。

これらの数値と比較して、供試集成梁はかなり品質の良いものといえる。

5) カラマツラミナの強度等級区分

沢田氏らによるエゾマツラミナの強度等級区分(第5表)<sup>8)</sup>を個々のカラマツラミナに適用し、強度低減率  $e$  を求め、これによって11本の供試集成梁 (No.12以下は の範囲外のため除外) について、その曲げ強さを評価すると第6表のとおりである。なおこの場合の  $\alpha$  は 0.0060を用いて計算した。

これで見ると全平均0.8  $b = b_2$ で実測値が約20%大きく、カラマツラミナとほぼ同等の取扱いが可能と思われる。

