

くぎ打ち組立柱の座屈試験

工 藤 修

Buckling Tests of Nailed Built-up Wood Columns

Osamu KUDO

Tests were Performed on the buckling strength of nailed built-up wood columns , such as three-layered columns , spaced columns with stiffeners , and spaced columns with horizontal braces . The test results were compared with the values calculated from some calculative methods including Sawada's approximate formula on the slip modulus K_s , and Nakatani's experimental formula on the elastic bearing constant σ_0 . Using the procedure proposed by Sawada , the effective slenderness ratio λ_e and the allowable buckling load P_k were also calculated . The results are summarized as follows :

(1) For the three-layered columns with a 10-cm nailing space , the values calculated from the formulas of Rassam , Sawada and Pleskov were in comparatively good agreement with the experimental results .

(2) Tsujii's formula for the spaced columns with stiffeners was proved to be practical .

(3) Timoshenko's formula for the spaced columns with horizontal braces produced good results .

(4) The calculated values of both the effective slenderness ratio λ_e and the allowable buckling load P_k showed that Sawada's method of calculating buckling stresses was adequate .

(5) The formulas for calculating the elastic bearing constant and the slip modulus were also adequate for the nailed wood joints .

3層重ね柱、飼木式すかし柱、添え板式すかし柱のくぎ打ち組立柱について座屈試験を行い、各種計算式との比較、検討を行った。その際、沢田のすべり係数 K_s を求める理論近似式、中谷らのくぎ面圧定数 σ_0 を求める実験式を用いた。また、沢田の考え方を適用して有効細長比 λ_e 、許容座屈荷重 P_k を求め、検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) 3層重ね柱のくぎ打ち間隔10cmのものは、Rassam式、沢田式、Pleskov式とも比較的良い結果を示した。

(2) 飼木式すかし柱に対する辻井式は、実用計算上妥当であることが確認された。

(3) 添え板式すかし柱に対するTimoshenko式も良好な結果を与えている。

(4) 有効細長比 λ_e 、および許容座屈荷重 P_k の計算結果から、沢田の提案した組立柱に対する座屈応力度予測計算法はおおむね妥当であると考えられる。

(5) くぎ面圧定数およびすべり係数の計算式は、くぎ接合部の計算に對しおおむね妥当であると考えられる。

1. はじめに

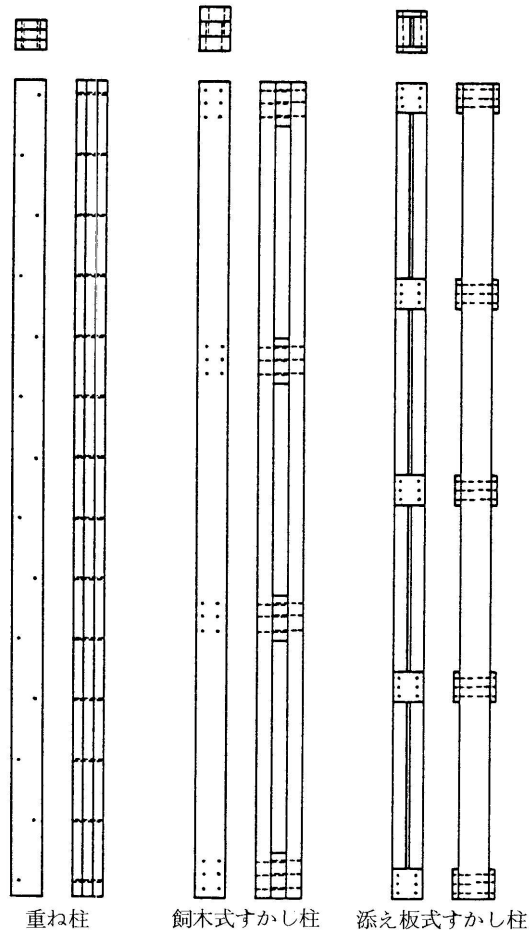
北海道の森林は面積で約560万ha, 蓄積で約5億2千300万m³である。主体は天然林であるが, 奥地化, 小径化の傾向にあり, 従来のような優良大径材は入手困難になってきている。人工林は面積で約1/4を占めており, トドマツを筆頭に, カラマツ, エゾマツ, その他となっている¹⁾。これらの人工林はまだ育成途上であり, 間伐が必要とされているが, 間伐材の市場価格が低位であるため, 間伐作業が十分行われない状況もある。優良な造林主伐材を手に入れるためには適切な間伐が必要であり, そのため間伐材の需要開発が求められている。

一方, 木材需要の中心である住宅建設について見ると, 新設住宅着工戸数は全国規模で昭和51~54年の年間150万戸台ペースから, 最近では110万戸台ペースに減少し, 全体に占める木造住宅の割合も年々減少傾向を示している²⁾。ただ, 1戸当たりの床面積は若干増加してきており, 大幅な伸びは期待できないとしても, 木材需要の中心をなすのは今後も住宅分野であることに変わりはないといえる。

ところで, 北海道のような積雪寒冷地における住宅としては, 積雪荷重に十分耐えられる強さが必要であるとともに, 断熱が重要視され, 厚手の断熱材が用いられる傾向も出てきている。

これらのことから, 間伐材を含む中小径材の利用開

発, および高断熱住宅用壁厚確保を目的として, 中小径材から木取られる平割材や, 小径丸太から採材され



第1図 組立柱

第1表 供試材の概要

	比重 ru	含水率 ^{a)} U (%)	平均年輪幅 Rw (mm)	曲げヤング係数 E (ton/cm ²)
3層重ね柱 エゾマツ	0.36 ~ 0.41 ~ 0.46	10.6 ~ 11.7 ~ 13.0	0.6 ~ 1.2 ~ 2.2	103 ~ 123 ~ 143
飼木式すかし柱 エゾマツ	0.39 ~ 0.44 ~ 0.49	12.7 ~ 14.7 ~ 15.7	1.0 ~ 1.5 ~ 3.2	106 ~ 126 ~ 143
添え板式すかし柱 エゾマツ	0.40 ~ 0.46 ~ 0.53	12.8 ~ 13.1 ~ 13.7	0.5 ~ 1.4 ~ 2.5	79 ~ 96 ~ 112
添え板式すかし柱 カラマツ	0.44 ~ 0.54 ~ 0.61	19.9 ~ 27.9 ~ 31.3	2.6 ~ 4.5 ~ 9.5	50 ~ 74 ~ 112

a) 座屈試験後の全乾法による測定値

る丸身つき材を対象としたくぎ打ち組立柱の座屈挙動について検討を行った。

2. 供試材および実験方法

組立柱としては多種多様なものが考えられるが、今回検討した組立柱は、第1図に示すような3層重ね柱、飼木式すかし柱、添え板式すかし柱の3種類である。

2.1 供試材

3層重ね柱および飼木式すかし柱にはエゾマツ気乾平割材を、添え板式すかし柱にはエゾマツ未乾燥平割材およびカラマツ未乾燥丸身つき材を用いた。

供試材の概要を第1表に示す。

2.2 個材の曲げ剛性試験

組立柱の主材となる個々の材を、材長によりスパン2.63~3.0m、中央集中荷重または3等分点4点曲げにより曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を求めた。ただし、カラマツ丸身つき材の曲げヤング係数は小型試験片による曲げ試験の結果から算出した。

2.3 組立柱の製作

2.3.1 重ね柱の製作

断面3.3cm×10.0cmの平割材で曲げヤング係数のほぼ等しいものを3枚ずつ組み合わせて重ね柱を製作した。接合に使用したくぎはN100で、材長方向のくぎ打ち間隔を10, 20, 30, 55cmの4種類とし、各3体製作した。くぎ打ちに際しては、事前にドリルで先穴をあけてから打ちこんだ。くぎは2列打ちとし、表裏面からそれぞれ千鳥打ちにした。材長は2.8mである。

2.3.2 飼木式すかし柱の製作

断面4.8cm×10.0cmの平割材で曲げヤング係数のほぼ等しいものを2枚ずつ組み合わせ、飼木をはさみ、N100くぎを用いて飼木式すかし柱を製作した。飼木厚は4.8cm(長さ15cm)、10.0cm(長さ20cm)の2種類で、飼木そう入位置は2分点、3分点、5分点の3種類とした。くぎ打ち本数は、飼木厚4.8cmで3本2列、10.0cmで4本2列とし、先穴をあけ、両面からくぎ打ちした。材長は2.8mである。

2.3.3 添え板式すかし柱の製作

(1) カラマツ添え板式すかし柱の製作

末口径8~14cmのカラマツ小径丸太を両面タイコ落とし、それをまん中でひき割って丸身つき材を取り、添え板式すかし柱を製作した。ただし、末口径11cmのものは樹心部分を1cm、末口径12~14cmのものは樹心部分を2cm切り取り、かつ、個材厚さ5cmになるように製材した。個材幅は末口径8cmのもので6cm、末口径9cmのもので7cm、末口径10~12cmのもので8cm、末口径13cmのもので9cm、末口径14cmのもので10cmとした。それらを丸身が内側になるように組み合わせ、厚さ2cmのエゾマツ添え板をC N50くぎで打ちつけた。これらの断面の一部を第2図に示す。材長は2.8mとし、添え板は6分点に配置した。

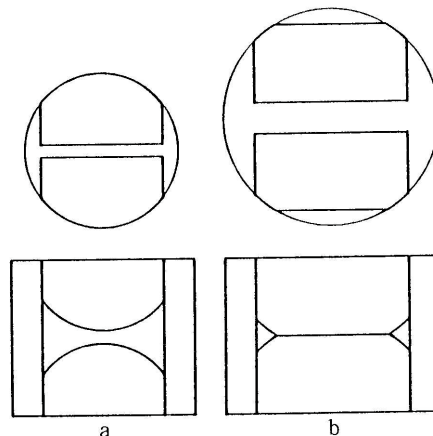
(2) エゾマツ添え板式すかし柱の製作

断面4.5cm×10.5cmの平割材で、曲げヤング係数のほぼ等しいものを2枚ずつ組み合わせ、厚さ1.8cmのエゾマツ添え板をC N50くぎで先穴をあけてから打ちつけ、添え板式すかし柱を製作した。材長は2.73mとし、添え板は4分点に配置、添え板長さを10.5cmと21.0cmとした。添え板長さ10.5cmのものは6体製作し、組立柱の曲げ剛性試験後、3体は添え板をいったん取りはずし、添え板厚さ分個材を欠き込み、あらためて添え板をそこへはめこみくぎ打ちした。

以上の各組立柱の断面寸法を第3図に示す。

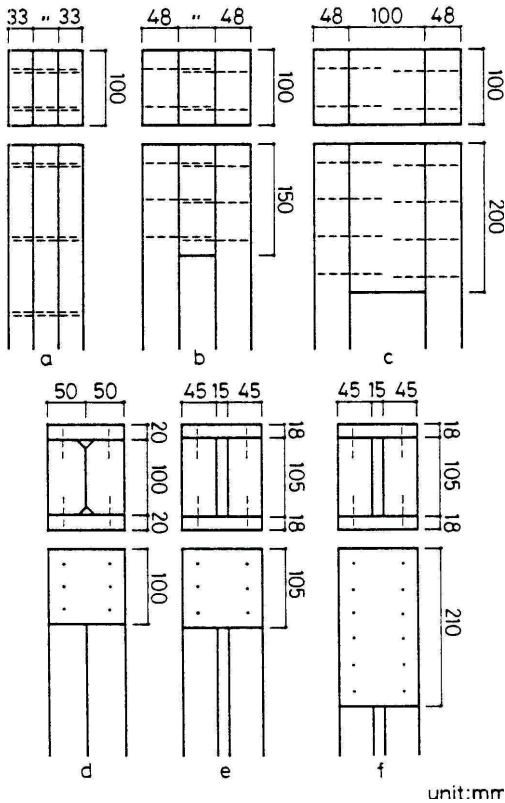
2.4 組立柱の曲げ剛性試験

組立柱をスパン2.63~2.70m、中央集中荷重により



第2図 カラマツ添え板式すかし柱断面図

a. 原木径8~11cmの場合
b. 原木径12~14cmの場合



第3図 組立柱の断面寸法

- a. 3層重ね柱
- b, c. 飼木式すかし柱
- d. 添え板式すかし柱 (カラマツ原木径10cmの場合)
- e, f. 添え板式すかし柱 (エゾマツ)

曲げ剛性試験を行った。曲げ剛性試験は組立柱の充腹軸および非充腹軸について行ったが、エゾマツ添え板式すかし柱は非充腹軸についてのみ行った。これによって組立柱の低応力レベルにおける曲げ剛性を算出した。

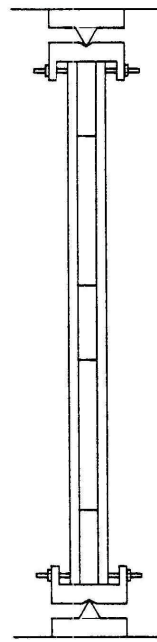
2.5 組立柱の座屈試験

座屈試験は東京衡機製油圧式材料試験機 (能力100 ton) を用い、第4図に示すような状態で行った。座屈方向は2.4項で得た曲げ剛性の小さな方向になるようにした。荷重はゼロから徐々に増大させ、最大荷重まで加えた。

2.6 組立柱のねじれ変形測定

カラマツ添え板式すかし柱は生材で組み立てたもので、試験体の半数を工場内に放置し、乾燥にともなうねじれ変形を測定した。

[林産誌月報 No.400 1985年 5月号]



第4図 座屈試験方法

組立柱をラーメンに置きかえ、つなぎの大きさ、構造に応じてはり材に適切な有効剛比を与えて、その座屈荷重を求めている。

ここでは、これまで提案された座屈荷重計算式の適合性について検討するが、飼木式すかし柱に対する辻井式を除き、他の計算式には“すべり係数”を導入している。すべり係数の算出にあたっては、原田¹⁵⁾の弾性床理論を適用した沢田^{16), 17)}の計算式および中谷¹⁸⁾のくぎ面圧定数算出式を用いた。このくぎ面圧定数算出式はエゾマツ、トドマツに対して求められたものであるが、小松^{19), 20)}の実験でカラマツに対しても妥当であることが確認されている。

3. 計算式

組立柱の座屈荷重計算式については、これまでいくつか報告されている^{3)~5)}。日本建築学会の木構造設計規準⁶⁾には、飼木式すかし柱に対し、辻井の研究^{7)~14)}にもとづく実用計算式が採用されている。

ところで、くぎ接合部材の強度計算をする場合、接合部におけるくぎ自身の変形ならびに木材中へのくぎのめりこみを考慮しなければならない。沢田⁵⁾、Rassam³⁾は、このことを“すべり係数”の導入で処理している。一方、辻井¹⁴⁾は

$$K_s = 1.1266 k_0^{0.75} d^{1.75} \dots\dots\dots (1)$$

$$k_0 = \frac{E}{5.67 d + 1.14} \dots\dots\dots (2)$$

- ここで、 K_s : すべり係数 (ton/cm)
- k_0 : くぎ面圧定数 (ton/cm³)
- d : 使用くぎ径 (cm)
- E : 主材のヤング係数 (ton/cm²)

3.1 重ね柱計算式

くぎ打ち3層重ね柱に対して Rassan³⁾は、構成部材を等厚等材質として次のような座屈荷重計算式を与えている。

$$P_{cr-A} = \frac{3 \pi^2 EI}{L^2} \frac{\pi^2 + 9 L^2 \frac{K_S n}{s EA}}{\pi^2 + L^2 \frac{K_S n}{s EA}} \dots (3)$$

- ここで、 P_{cr-A} : Rassanの座屈荷重 (ton)
 J : 個材の断面二次モーメント (cm⁴)
 A : 個材の断面積 (cm²)
 π : 円周率
 L : 座屈長 (cm)
 n : 一か所あたりのくぎ打ち数
 s : くぎ打ち間隔 (cm)

他は前記の通り

沢田⁶⁾は菱田・真能¹⁾の多層重ね梁理論を適用し、3層重ね柱の座屈荷重計算式として(4)式を誘導している。

$$P_{cr-B} = \frac{\pi^2 E J}{L^2} \frac{1 + \frac{\pi^2 s EA}{10 n K_S L^2}}{1 + \frac{9 \pi^2 s EA}{10 n K_S L^2}} \dots (4)$$

- ここで、 P_{cr-B} : 沢田の座屈荷重 (ton)
 J : 組立柱全体に対する断面二次モーメント (cm⁴)

他は前記の通り

Malhotraの文献⁴⁾に引用されている Pleskovの3層重ね柱座屈荷重計算式は(5)式ようになる。

$$P_{cr-C} = \frac{\pi^2 E J}{L^2} \frac{1 + \frac{3 I}{J} \frac{3 \pi^2 EA \ell}{16 m K_S L^2}}{1 + \frac{3 \pi^2 EA \ell}{16 m K_S L^2}} \dots (5)$$

- ここで、 P_{cr-C} : Pleskovの座屈荷重 (ton)
 I : 個材の長さ (cm)
 m : 半スパンあたりのくぎ打ち数

他は前記の通り

3.2 飼木式すかし柱計算式

飼木式すかし柱については、前述のように、辻井の

実用計算式が木構造設計規準にとり入れられている。座屈荷重を求める式は次のようになる。

$$P_{cr-D} = \frac{\pi^2 E J_e}{L^2} \dots (6)$$

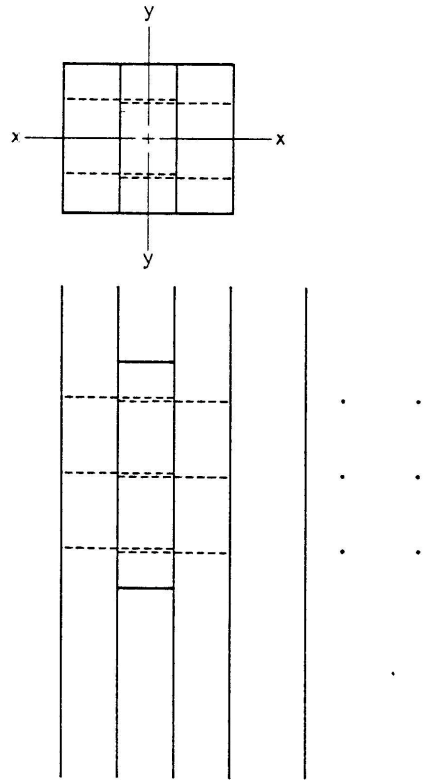
- ここで、 P_{cr-D} : 辻井の座屈荷重 (ton)
 J_e : 有効断面二次モーメント (cm⁴)
 他は前記の通り

有効断面二次モーメント J_e は、第5図に示す充腹軸 x-x に関しては、各主材の断面二次モーメントの和、非充腹軸 y-y に関しては以下の手順により算出する。

1) 接合部の有効剛比 k を次式により算出する。

$$k = \eta \cdot \bar{\alpha} \cdot n \cdot P \cdot \frac{\ell}{EA} \dots (7)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{2(\alpha + 1)(1 + 0.25\alpha)}{\alpha + 2} \dots (8)$$



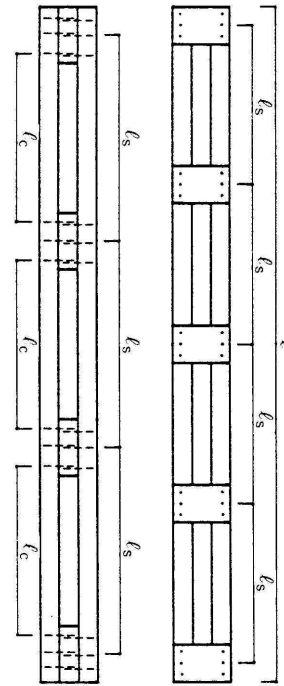
第5図 座屈軸の表示
 x-x 充腹軸
 y-y 非充腹軸

第2表 飼木両端配置のときの有効率⁶⁾

k	α	0	≥ 1
0.5	1.5	1.7	
1	1.8	2.2	
2	2.0	2.6	
3	2.1	2.8	
5	2.2	3.1	
10以上	2.3	3.4	

第3表 飼木3分点配置のときの有効率⁶⁾

k	α	0	1	2	3
0.5	1.7	2.2	2.4	2.5	
1	2.0	3.0	3.3	3.5	
2	2.4	3.9	4.7	5.0	
3	2.6	4.5	5.7	6.3	
5	2.8	5.2	6.8	7.8	
10	3.0	6.0	8.1	9.8	
20	3.1	6.7	9.2	11.4	
30	3.1	7.0	9.7	12.3	



第6図 すかし柱の符号

= a/h..... (9)

ここで、 : 有効剛比

: 接合による係数 (cm⁻¹) , くぎ接合の場合は35

: あき率に関する係数

: あき率

a : 主材間のあき (cm)

h : 主材厚 (cm)

P : 接合部片側主材のくぎ1本あたりの短期許容せん断耐力 (ton)

他は前記の通り

2) 剛性有効率 を第2~3表から求める。

3) 有効断面二次モーメントJeを次式により算出

する。

Je = (10)

飼木式すかし柱に対しても, (11) 式で表される Pleskovの計算式がMalhotraの文献⁴⁾中に引用されている。

$$P_{Cr-E} = \frac{\pi^2 E J}{L^2} \frac{1 + \beta(\mu + \nu)}{1 + \mu + \nu} \dots (11)$$

$$\beta = \frac{\sum I}{J} \dots (12)$$

$$\mu = \frac{\pi^2 \ell_c^3}{12 \beta \ell_s L^2} \dots (13)$$

$$\nu = \frac{3 \pi^2 E A \ell}{4 N K_S L^2} \dots (14)$$

ここで, P_{Cr-E} : Pleskovの座屈荷重 (ton)

[林産誌月報 No.400 1985年 5月号]

lc : 隣接飼木内側端部のくぎ間隔 (cm)

ls : 飼木間隔 (cm)

N : 片側主材の全くぎ打ち本数

他は前記の通り

(lc, lsについては第6図参照)

3.3 添え板式すかし柱計算式

Timoshenko²²⁾はみぞ形鋼2本を帯鋼で接合した組立柱に対して(15)式の座屈荷重計算式を誘導している。これを今回の添え板式すかし柱に適用してみる。木材のくぎ接合は鋼材の溶接とは異なり剛接合にはならないが, 接合部に(16)式で表される有効剛比を考慮して計算することとした。この有効剛比算出式は, 飼木式すかし梁接合部のせん断変形に対して沢田¹⁷⁾が求めたものを適用したものである。

$$P_{Cr-F} = \frac{\pi^2 E J}{L^2} \times \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E J}{L^2} \left(\frac{\ell_d c k_e}{12 E I_s} + \frac{\ell_d^2}{24 E I} + \frac{1.2 \ell_d}{c A_s G_s} \right)} \dots (15)$$

$$k_e = \frac{c^2 n K_s \ell}{2 h^2 E A} \dots\dots\dots (16)$$

ここで, P_{cr-F} : Timoshenkoの座屈荷重 (ton)

- c : 主材間隔 (cm)
- e : 接合部の有効剛比
- Is : 添え板の断面二次モーメント (cm⁴)
- As : 両側添え板の断面積 (cm²)
- Gs : 添え板のせん断弾性係数 (ton / cm²)

今回の計算では 6 ton / cm² と仮定

- ld : 添え板間隔 (cm)
- 他は前記の通り

また, 組立柱全体について, 低応力レベルでの組立柱曲げ剛性実測値を用いた (17) 式によっても座屈荷重を求めてみた。

$$P_{cr-EI} = \frac{\pi^2 EI_{ob}}{L^2} \dots\dots\dots (17)$$

ここで, P_{cr-EI} : EI_{ob} を用いた計算座屈荷重 (ton)
 EI_{ob} : 組立柱曲げ剛性実測値 (10³ ton · cm²)
 他は前記の通り

3.4 組立柱の有効細長比および許容座屈荷重の計算

今回の組立柱のうち飼木式すかし柱については, 日本建築学会の木構造設計規準に辻井の計算式が採用されており, それに従えば実際の建築に使用できることになる。しかし, 他のものについては, 実用化にあたって, 有効細長比を考慮した構造計算法の確立が必要と考えられる。

この点について, 沢田⁵⁾はくぎ打ち重ね柱の座屈応力予測計算法を提案している。そこで, 今回の組立柱にその考え方を適用し, 組立柱の有効細長比 e , およびそれを用いて許容座屈荷重 P_k を計算することとした。その手順は以下の通りである。

- 1) 釘面圧定数 σ_0 を (2) 式により算出する。
- 2) すべり係数 K_s を (1) 式により算出する。
- 3) 係数 ϕ (第4表参照) を計算する。
- 4) 有効細長比 e (第4表参照) を計算する。
- 5) 有効細長比 e に応じて, 次の式により座屈許容応力度 f_k を計算する。

$$\begin{aligned} \lambda_e \leq 30 \text{ の場合} & \quad f_k = f_c \\ 30 < \lambda_e \leq 100 \text{ の場合} & \quad f_k = f_c (1.3 - 0.01 \lambda_e) \\ \lambda_e > 100 \text{ の場合} & \quad f_k = \frac{0.3 f_c}{\left(\frac{\lambda_e}{100}\right)^2} \end{aligned}$$

ここで, e : 組立柱の有効細長比

f_k : 座屈許容応力度 (kg / cm²)

f_c : 圧縮許容応力度 (kg / cm²)

第4表 係数 および有効細長比 e 計算式

	研究者	係数 ϕ	有効細長比 λ_e
3層重ね柱	Rassam	$\frac{\pi^2 + 9L^2 \frac{K_s n}{sEA}}{\pi^2 + L^2 \frac{K_s n}{sEA}}$	$\frac{\sqrt{12} L}{h\sqrt{\phi}}$
	沢田	$\frac{1 + \frac{\pi^2 sEA}{10nK_s L^2}}{1 + \frac{9\pi^2 sEA}{10nK_s L^2}}$	$\frac{\sqrt{12} L}{3h\sqrt{\phi}}$
	Pleskov	$\frac{1 + \frac{3I}{J} \frac{3\pi^2 EA\ell}{16mK_s L^2}}{1 + \frac{3\pi^2 EA\ell}{16mK_s L^2}}$	$\frac{\sqrt{12} L}{3h\sqrt{\phi}}$
飼木式柱	辻井	—	$\frac{L}{\sqrt{\frac{I_e}{2A}}}$
	Pleskov	$\frac{1 + \beta(u + \nu)}{1 + u + \nu}$	$\frac{L}{\sqrt{\frac{J\phi}{2A}}}$
添え板し式柱	Timoshenko	$1 + \frac{\pi^2 EJ}{L^2} \left(\frac{\ell_s c k e}{12EI_s} + \frac{\ell_s^2}{24EI} + \frac{1.2 \ell_s}{cA_s G_s} \right)$	$\frac{L}{\sqrt{\frac{J\phi}{2A}}}$

第5表 エゾマツ 3層重ね柱試験結果

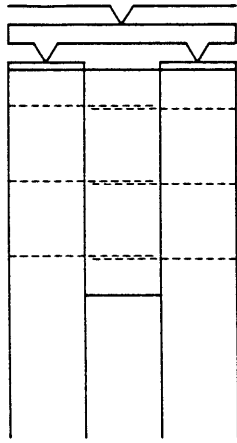
No.	E	b	h	s	EI _{0b}	P _{max} (1)	P _{cr-EI} (2)	P _{cr-A} (3)	P _{cr-B} (4)	P _{cr-C} (5)	(1)	(1)	(1)	(1)
											(2)	(3)	(4)	(5)
N L 1	141	10.0	3.3	10	86.62	9290	9757	8267	8553	9029	0.95	1.12	1.09	1.03
2	123	10.0	3.3	10	83.76	8310	9435	7293	7540	7952	0.88	1.14	1.10	1.04
3	107	10.0	3.3	10	74.97	7220	8445	6416	6629	6983	0.85	1.12	1.09	1.03
Av.											0.89	1.13	1.09	1.03
N L 4	120	10.0	3.3	20	71.68	8830	8074	5466	5720	6162	1.09	1.62	1.54	1.43
5	111	10.0	3.3	20	66.86	8260	7532	5100	5334	5744	1.10	1.62	1.55	1.44
6	130	10.0	3.3	20	77.51	12200	8731	5870	6144	6623	1.40	2.08	1.98	1.84
Av.											1.20	1.77	1.69	1.57
N L 7	136	10.0	3.3	30	64.23	7760	7235	5060	5323	5979	1.07	1.53	1.46	1.30
8	128	10.0	3.3	30	56.93	8060	6413	4798	5046	5666	1.26	1.68	1.60	1.42
9	104	10.0	3.3	30	47.89	7760	5395	3997	4202	4711	1.44	1.94	1.85	1.65
Av.											1.26	1.72	1.64	1.46
N L 10	116	10.0	3.3	55	49.71	5150	5600	3259	3435	4082	0.92	1.58	1.50	1.26
11	125	10.0	3.3	55	51.68	6280	5822	3480	3667	4358	1.08	1.80	1.71	1.44
12	134	10.0	3.3	55	55.10	5560	6207	3698	3897	4632	0.90	1.50	1.43	1.20
Av.											0.97	1.63	1.55	1.30

注) E : 個材の平均ヤング係数 (ton/cm²) b : 個材幅 (cm) h : 個材厚 (cm) s : くぎ打間隔 (cm)
 EI_{0b} : 組立柱曲げ剛性実測値 (10³ton・cm²) P_{max} : 実測座屈荷重 (kg) P_{cr-EI} : EI_{0b}を用いた計算座屈荷重 (kg) P_{cr-A} : Rassamの計算座屈荷重 (kg) P_{cr-B} : 沢田の計算座屈荷重 (kg) P_{cr-C} : Pleskovの計算座屈荷重 (kg)

第6表 エゾマツ飼木式すかし柱試験結果

No.	E	b	h	EI _{0b}	P _{max} (1)	P _{cr-EI} (2)	P _{cr-D} (3)	P _{cr-E} (4)	(1)	(1)	(1)	α	飼 木 座 屈 軸 位 置
									(2)	(3)	(4)		
S 1	139	10.4	4.8	54.03	9640	6086	6830	10140	1.58	1.41	0.95	1	2分点 非充腹軸
2	135	10.3	4.8	62.32	7640	7020	6624	9808	1.09	1.15	0.78	1	" "
3	128	10.4	4.7	63.30	8860	7130	6039	8977	1.24	1.47	0.99	1	" "
Av.									1.30	1.34	0.91		
S 4	122	10.3	4.6	86.33	9110	9725	11513		0.94	0.79		1	3分点 充腹軸
5	123	10.3	4.8	86.15	8730	9704	12112		0.90	0.72		1	" "
6	117	10.4	4.8	86.15	9320	9704	11860		0.96	0.78		1	" "
Av.									0.93	0.76			
S 7	126	10.3	4.8	90.90	9360	10240	12408		0.91	0.75		1	5分点 充腹軸
8	118	10.4	4.8	88.76	10200	9998	11962		1.02	0.85		1	" "
9	121	10.4	4.8	87.43	9900	9849	12266		1.00	0.81		1	" "
Av.									0.98	0.80			
S 10	133	10.1	4.8	84.84	11740	9557	7885	15902	1.23	1.49	0.74	2	2分点 非充腹軸
11	141	10.4	4.8	90.32	12180	10174	7633	17182	1.20	1.60	0.71	2	" "
12	132	10.4	4.8	84.90	11180	9564	6938	16148	1.17	1.61	0.69	2	" "
Av.									1.20	1.57	0.71		
S 13	129	10.4	4.8	96.48	9280	10868	13077		0.85	0.71		2	3分点 充腹軸
14	121	10.2	4.8	91.12	10250	10264	11572		1.00	0.88		2	" "
15	123	10.4	4.8	76.08	8780	8570	12468		1.02	0.70		2	" "
Av.									0.96	0.76			
S 16	107	10.4	4.8	81.85	8920	9220	10846		0.97	0.82		2	5分点 充腹軸
17	132	10.2	4.8	91.94	10380	10357	12624		1.00	0.82		2	" "
18	111	10.5	4.8	83.86	9160	9446	11580		0.97	0.79		2	" "
Av.									0.98	0.81			

注) P_{cr-D} : 辻井の計算座屈荷重 (kg) P_{cr-E} : Pleskovの計算座屈荷重 (kg) : あき率
 他は第5表の注)に同じ



第7図 辻井の座屈試験における材端条件

6) 座屈許容応力度 f_k に組立柱の全断底積をかけて許容座屈荷重 P_k を求める。

4. 結果および考察

4.1 組立柱の座屈荷重

エゾマツ3層重ね柱の試験結果は第5表の通りである。座屈荷重について見ると、Rassam式、沢田式、Pleskov式ともに、くぎ打ち間隔10cm

のものは実験値と良一致を示している。しかし、くぎ打ち間隔 20cm 以上のものについては、実験値が計算値より3~8割大きくなっている。その理由として、座屈試験時の材端拘束により、計算上よりも曲げ剛性低下の影響が少なかったことが考えられる。

エゾマツ飼木式すかし柱の試験結果は第6表の通りである。木構造設計規準にとり入れられた辻井式による座屈荷重は、非充腹軸についてはやや安全側、充腹軸についてはやや危険側の計算値となった。

辻井式の基礎となった実験^{8),12),14)}では、第7図に示すように、座屈試験時の個材々端もそれぞれナイフエッジとし、材端拘束の影響を取り除いているが、今回の実験ではそれが含まれたことにより、非充腹軸に関する座屈荷重は大きな実験値を示したものと考え

第7表 カラマツ添え板式すかし柱試験結果

No.	E	b	h	EI _{ob}	P _{max} (1)	P _{cr-EI} (2)	P _{cr-F} (3)	(1)		添え板位置	座屈軸
								(2)	(3)		
K 1 2 Av.	75	6.0	3.0	13.49	2500	1520		1.64		6分点	充腹軸
	76	6.0	3.0	15.42	1720	1737		0.99		"	"
								1.32			
K 5 6 7 Av.	74	7.0	3.3	20.71	2380	2333		1.02		6分点	充腹軸
	76	7.0	3.3	22.53	3350	2538		1.32		"	"
	106	7.0	3.3	34.75	4480	3914		1.14		"	"
								1.16			
K 11 12 13 Av.	70	8.0	3.7	29.71	4220	3347	3289	1.26	1.28	6分点	非充腹軸
	69	8.0	3.7	29.71	3600	3347	3253	1.08	1.11	"	"
	86	8.0	3.7	27.90	4020	3143	3337	1.28	1.05	"	"
								1.21	1.15		
K 17 18 19 Av.	75	8.0	4.1	26.46	3540	2981	3557	1.19	1.00	6分点	非充腹軸
	58	8.0	4.1	26.46	3060	2981	2930	1.03	1.04	"	"
	74	8.0	4.1	29.29	3780	3299	3522	1.14	1.07	"	"
								1.12	1.04		
K 23 24 25 Av.	76	8.0	4.2	27.90	3730	3143	3603	1.19	1.04	6分点	非充腹軸
	64	8.0	4.2	27.16	3290	3059	3173	1.08	1.04	"	"
	71	8.0	4.2	31.54	3600	3553	3428	1.01	1.05	"	"
								1.09	1.04		
K 29 30 31 Av.	83	9.0	4.5	33.34	4410	3756	4161	1.17	1.06	6分点	非充腹軸
	61	9.0	4.5	32.54	3960	3665	3361	1.08	1.18	"	"
	63	9.0	4.5	32.04	3930	3609	3440	1.09	1.14	"	"
								1.11	1.13		
K 35 36 37 Av.	75	10.0	4.5	36.29	5040	4088	4172	1.23	1.21	6分点	非充腹軸
	67	10.0	4.5	39.43	4660	4442	3867	1.05	1.20	"	"
	81	10.0	4.5	39.43	5320	4442	4386	1.20	1.21	"	"
								1.16	1.21		

注) P_{cr-F}: Timoshenko の計算座屈荷重 (kg) 他は第5表の注) に同じ

る。また、充腹軸については、実験材料に節などの欠点が含まれていること、個材の曲げ剛性はフラットワイズで求めているが、座屈はエッジワイズ方向であり、節などの欠点による剛性低下も考えられることなどから、実験値が若干小さく表れたものと思われる。

飼木式すかし柱に対する Pleskov式は若干危険側の座屈荷重計算値となった。

カラマツ添え板式すかし柱の試験結果は第7表の通りである。個材は丸身つき材であるが、計算に際しては長方形断面に置き換えて材せい寸法を仮定した。Timoshenko式による計算座屈荷重はやや安全側であるが、実験値とはほぼ一致しているといえる。

エゾマツ添え板式すかし柱の試験結果は第8表の通りである。A 1 ~ A 3 試験体 (添え板長さ10.5cm) については、Timoshenko式による座屈荷重はやや安全側であるが、B 1 ~ B 3 試験体 (添え板長さ21.0cm) については良い適合性を示している。A 4 ~ A 6 試験体 (添え板長さ10.5cm) は添え板を個材に欠き込みくぎ打ちしたものであるが、その際、加工上、若干ゆりみがあったことにより剛性低下をきたし、実験値が小さくなったものと考えられる。ゆりみのほとんどなかっ

たA 5については剛性低下もなく、座屈荷重も計算値より大きくなっている。

組立柱の曲げ剛性実測値を用いた(17)式による座屈荷重は、全体として良好な推定値を与えているといえる。

4.2 組立柱の有効細長比、許容座屈荷重

組立柱の有効細長比および許容座屈荷重の計算結果を第9~11表に示す。

建築基準法施行令第43条には、「柱の有効細長比は150以下」との制限が設けられている。また、木構造設計規準に「主材全長の細長比は200以下、主材のつなぎ間細長比は60以下」と規定されている。これらは、あまり圧縮材が細長いと長期間に思わぬ材の変形を生じたり、施工時に損傷したり、欠点の影響が大きく作用したりなど、不安定により生ずる不都合を避けるためである。これによれば、在来工法で一般的な柱長さ2.73mの場合、個材の最小厚は4.7cmとなり、今回の重ね柱、添え板式すかし柱などは厚さ不足ということになる。

有効細長比の計算結果を見ると、3層重ね柱のうちくぎ打ち間隔 30cm, 55cmのものは150を超えており、

第8表 エゾマツ添え板式すかし柱試験結果

	E	b	h	ΣEI	$E I_{ob}$	(2)	P_{max}	P_{cr-EI}	P_{cr-F}	(3)	(3)	添え板位置	座屈軸	添え板長さ				
				(1)	(2)	(1)	(3)	(4)	(5)	(4)	(5)							
A	1	109	10.5	4.5	17.45	29.15	1.67	5320	3445	4678	1.54	1.14	4分点	非充腹軸	10.5 cm			
	2	106	10.5	4.5	16.91	26.14	1.54	6220	3089	4618	2.01	1.35				"	"	"
	3	103	10.5	4.5	16.40	30.32	1.85	5600	3583	4556	1.56	1.23				"	"	"
	4	98	10.5	4.5	15.63	31.58	2.02									"	"	"
	5	95	10.5	4.5	15.18	30.32	2.00									"	"	"
	6	92	10.5	4.5	14.65	27.07	1.85									"	"	"
	Av.						1.82					1.70				1.24		
A'	4	98	10.5	4.5	15.63	25.26	1.62	3380	2985	4449	1.13	0.76	4分点	非充腹軸	10.5 cm			
	5	95	10.5	4.5	15.18	30.32	2.00	5460	3583	4381	1.52	1.25				"	"	"
	6	92	10.5	4.5	14.65	25.26	1.72	3360	2985	4312	1.12	0.78				"	"	"
	Av.						1.78				1.26	0.93						
B	1	89	10.5	4.5	14.14	39.89	2.82	4400	4714	4357	0.93	1.01	4分点	非充腹軸	21.0 cm			
	2	86	10.5	4.5	13.78	39.89	2.89	4930	4714	4280	1.04	1.15				"	"	"
	3	82	10.5	4.5	13.14	37.90	2.88	4610	4479	4172	1.03	1.10				"	"	"
	Av.						2.86				1.00	1.09						

注) EI : 個材曲げ剛性の和 (10³ton · c m²) Pcr - F : Timoshenko の計算座屈荷重 (kg)
他は第5表の注)と同様

第9表 有効細長比および許容座屈荷重（3層重ね柱）

No.		P _{max}	λ_{e-A}	P _{k-A}	λ_{e-B}	P _{k-B}	λ_{e-C}	P _{k-C}	(1)	(1)	(1)
		(1)		(2)		(3)		(4)	(2)	(3)	(4)
NL	1	9290	129	1071	127	1105	124	1159	8.67	8.41	8.02
	2	8310	128	1088	126	1122	123	1178	7.64	7.41	7.05
	3	7220	128	1088	126	1122	122	1197	6.64	6.43	6.03
	Av.		128		126		123		7.65	7.42	7.03
NL	4	8830	146	836	143	871	138	936	10.56	10.14	9.43
	5	8260	146	836	142	884	137	949	9.88	9.34	8.70
	6	12200	147	825	144	859	138	936	14.79	14.20	13.03
	Av.		146		143		138		11.74	11.23	10.39
NL	7	7760	162	679	158	714	149	803	11.43	10.87	9.66
	8	8060	161	687	157	723	148	814	11.73	11.15	9.90
	9	7760	159	705	156	732	147	825	11.01	10.60	9.41
	Av.		161		157		148		11.39	10.87	9.66
NL	10	5150	186	515	182	538	167	639	10.00	9.57	8.06
	11	6280	187	510	182	538	167	639	12.31	11.67	9.83
	12	5560	188	504	183	532	168	631	11.03	10.45	8.81
	Av.		187		182		167		11.11	10.56	8.90

注) P_{max}: 実測座屈荷重 (kg) e-A, P_{k-A}: Rassanの計算式に基づく有効細長比, 許容座屈荷重 (kg) e-B, P_{k-B}: 沢田の計算式に基づく有効細長比, 許容座屈荷重 (kg) e-C, P_{k-C}: Pleskovの計算式に基づく有効細長比, 許容座屈荷重 (kg)

第10表 有効細長比および許容座屈荷重（飼木式すかし柱）

No.		P _{max}	λ_{e-D}	P _{k-D}	λ_{e-E}	P _{k-E}	(1)	(1)
		(1)		(2)		(3)	(2)	(3)
S	1	9640	142	891	116	1336	10.82	7.22
	2	7640	141	895	116	1323	8.54	5.77
	3	8860	143	860	117	1285	10.30	6.89
	Av.		142		116		9.89	6.63
S	4	9110	100	1706			5.34	
	5	8730	100	1780			4.90	
	6	9320	98	1917			4.86	
	Av.		99				5.03	
S	7	9360	100	1780			5.26	
	8	10200	98	1917			5.32	
	9	9900	98	1917			5.16	
	Av.		99				5.25	
S	10	11740	127	1082	89	2385	10.85	4.92
	11	12180	135	986	90	2396	12.35	5.08
	12	11180	137	957	90	2396	11.68	4.67
	Av.		133		90		11.63	4.89
S	13	9280	98	1917			4.84	
	14	10250	100	1762			5.82	
	15	8780	98	1917			4.58	
	Av.		99				5.08	
S	16	8920	98	1917			4.65	
	17	10380	100	1762			5.89	
	18	9160	98	1935			4.73	
	Av.		99				5.09	

注) P_{max}: 実測座屈荷重 (kg) e-D, P_{k-D}: 辻井の計算式に基づく有効細長比, 許容座屈荷重 (kg) e-E, P_{k-E}: Pleskovの計算式に基づく有効細長比, 許容座屈荷重 (kg)

第11表 有効細長比および許容座屈荷重
(添え板式すかし柱)

No.	Pmax (1)	λ_{e-F}	P _{k-F} (2)	$\frac{(1)}{(2)}$
K 11	4220	112	849	4.97
	3600	111	865	4.16
	4020	114	820	4.90
	Av.	112		4.68
K 17	3540	117	863	4.10
	3060	113	925	3.31
	3780	117	863	4.38
	Av.	116		3.93
K 23	3730	118	869	4.29
	3290	116	899	3.66
	3600	117	884	4.07
	Av.	117		4.01
K 29	4410	126	918	4.80
	3960	120	1012	3.91
	3930	121	996	3.94
	Av.	122		4.22
K 35	5040	126	1020	4.94
	4660	124	1054	4.42
	5320	128	989	5.38
	Av.	126		4.91
A 1	5320	151	746	7.13
	6220	146	798	7.79
	5600	145	809	6.92
	Av.	147		7.28
A' 4	3380	143	832	4.06
	5460	142	844	6.47
	3360	141	856	3.92
	Av.	142		4.82
B 1	4400	138	893	4.93
	4930	137	906	5.44
	4610	135	933	4.94
	Av.	137		5.10

注) Pmax : 実測座屈荷重 (kg) e-F Pk-F :
Timoshenkoの計算式に基づく許容座屈荷重 (kg)

使用できないことになるが、他は150以下であり、問題ないといえる。

許容座屈荷重算出にあたって、圧縮許容応力度としてエゾマツに対する長期の値 $f_c = 60 \text{ kg/cm}^2$ を用いた。許容応力度誘導経過⁶⁾からすれば、実測座屈荷重は許容座屈荷重の4~5倍あればよいことになる。これについて計算結果を見ると、飼木式すかし柱のうち充腹

[林産誌月報 No.400 1985年 5月号]

軸に対するもの、および添え板式すかし柱についてはほぼ妥当な値が得られたが、他はやや安全すぎるように思われる。

4.3 カラマツ添え板式すかし柱の変形

生材状態で組み立て、工場内に放置したカラマツ添え板式すかし柱のねじれ変形の経過については、第8~10図の通りである。大まかに見て、原木径の小さいものほどねじれ変形が大きいといえる。また、変形は初期に急激に増大し、2~2カ月半でほぼ最大量に達している。その時点の含水率は12~16%と推定される。したがって、生材の小径カラマツ材による組立柱は、組み立て後、すみやかに施工しなければ、ねじれ変形が大となり使用困難となる。

5. まとめ

間伐材を含む中小径材の利用開発および高断熱住宅用部材を目指し、くぎ打ち組立柱を製作し、その座屈荷重計算式について検討を加えた。計算にあたっては、沢田^{16),17)}のすべり係数 K_s を求める理論近似式、中谷ら¹⁸⁾のくぎ面圧定数 σ を求める実験式を用いた。さらに沢田⁵⁾の考え方を適用して、有効細長比 e 、許容座屈荷重 P_k を求めた。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) エゾマツ3層重ね柱については、くぎ打ち間隔10cmのものはRassam式³⁾、沢田式⁵⁾、Pleskov式⁴⁾とも、座屈荷重の実験値と計算値の間で比較的良好一致をみた。くぎ打ち間隔20~55cmのものではやや安全側の計算値となるが、これは座屈試験時の材端拘束の影響によるものと思われる。

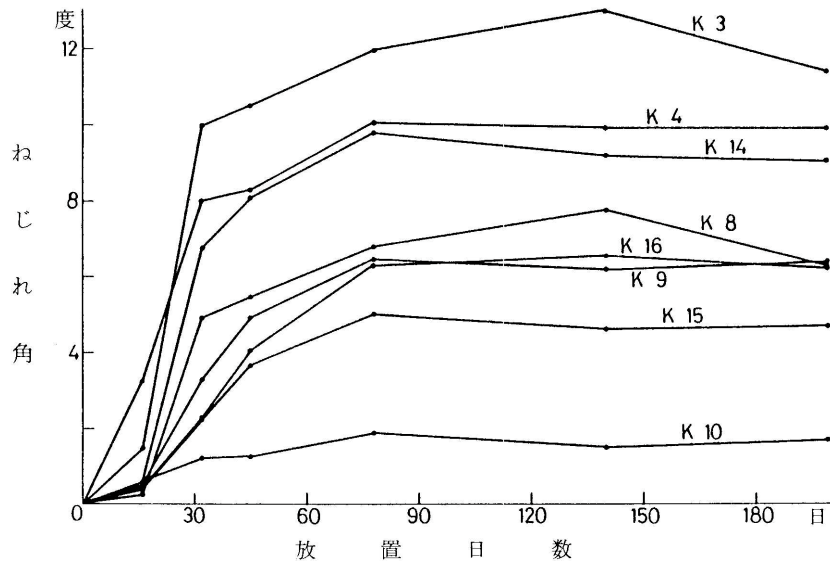
2) エゾマツ飼木式すかし柱については、木構造設計規準⁶⁾に採用されている辻井式は、今回の実験からも、実用計算式として妥当であることが確認された。

3) 添え板式すかし柱に対しては、鋼材について誘導されたTimoshenko式²²⁾が良好な結果を与えた。

4) 有効細長比 e 、および許容座屈荷重 P_k の計算結果から、沢田⁵⁾の提案した組立柱に対する座屈応力度予測計算法はおおむね妥当であると考えられる。

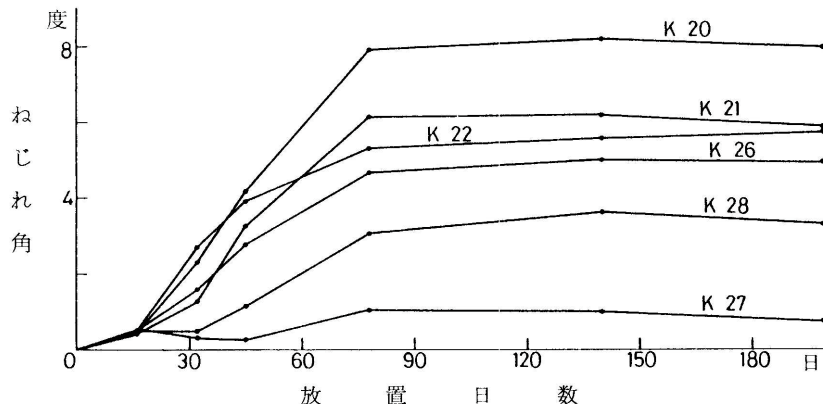
5) 許容座屈荷重計算値は絶対値としてやや小さす

くぎ打ち組立柱の座屈試験



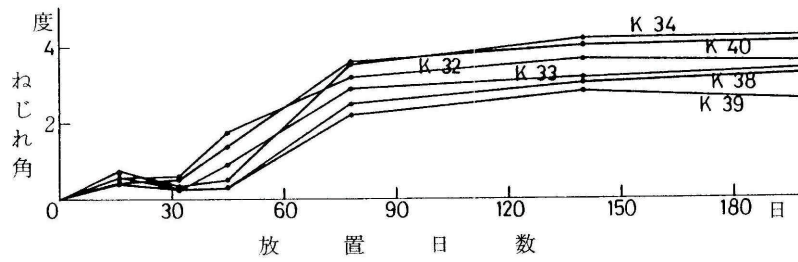
第8図 組立柱の変形(その1)

K 3 ~ K 4 : 原木径 8cm K 8 ~ K 10 : 原木径 9cm K 14 ~ K 16 : 原木径 10cm



第9図 組立柱の変形(その2)

K 20 ~ K 22 : 原木径 11cm K 26 ~ K 28 : 原木径 12cm



第10図 組立柱の変形(その3)

K 32 ~ K 34 : 原木径 13cm K 38 ~ K 40 : 原木径 14cm

ぎるので、実用にあたっては個材断面、つなぎの配置などを考慮する必要がある。

6) くぎ面圧定数 σ , およびすべり係数 k_s の算出式は、くぎ接合部の計算に対しておおむね妥当ではないかと考える。

文献

- 1) 北海道林務郡：北海道林業統計（昭和57年度版）
- 2) 林野庁：木材需給と木材工業の現況（昭和58年版）
- 3) Rassam, H. Y., and J. R. Goodman : Wood Science Vol. 2, No. 4 (1970)
- 4) Malhotra, S. K., and D. B. Van Dyer : Wood Science Vol. 9, No. 4 (1977)
- 5) 沢田 稔：北大農学部演習林研究報告 Vol. 37, No. 3, 747~758 (1980)
- 6) 日本建築学会：木構造設計規準・同解説 129~139, 丸善 (1973)
- 7) 辻井静二：木造組立圧縮材の実験研究, 日本建築学会研究報告 第16号 (1951)
- 8) 辻井静二：木造組立圧縮材の耐力と材の曲げ剛性について, 日本建築学会研究報告 第18号 (1952)
- 9) 辻井静二：木造飼木組立材の曲げ剛性, 日本建築学会研究報告 第20号 (1952)
- 10) 辻井静二：木造組立材座屈計算法の検討, 日本建築学会研究報告 第26号 (1954)
- 11) 辻井静二：木造飼木組立材の曲げ剛性, 日本建築学会研究報告 第27号 (1954)
- 12) 辻井静二：木造複合材の圧縮耐力, 木造複合圧縮材の実用計算法試案, 日本建築学会研究報告 第34号 (1955)
- 13) 辻井静二：木造複合材の曲げ剛性及び強度に対する計算式, 日本建築学会論文報告集 第53号 (1956)
- 14) 辻井静二：木造複合圧縮材の設計法, 日本建築学会論文報告集 第57号 (1957)
- 15) 原田正道：木船の縦強度, 東大生産技術研究所報告 Vol. 2, No. 3 (1951)
- 16) 沢田 稔：北大農学部演習林研究報告 Vol. 33, No. 1, 139~166 (1976)
- 17) 沢田 稔：同上 Vol. 35, No. 1, 133~138 (1978)
- 18) 中谷 浩, 沢田 稔：同上 Vol. 37, No. 3, 687~720 (1980)
- 19) 小松幸平ほか2名：林産試月報, 333, 1~6 (1979)
- 20) 小松幸平：林産試研究報告 No. 70, 131~194 (1979)
- 21) 菱田一郎, 真能 創：造船協会論文集 No. 104, 131~137 (1959)
- 22) Timoshenko, S. P. : Theory of Elastic Stability 138 ~ 139, McGRAW - HILL

- 試験部 複合材試験科 -
(原稿受理 昭59. 12. 4)

林産試験場月報 1985年5月号(第400号)

(略号 林産試月報)

編集人 北海道立林産試験場編集委員会
発行人 北海道立林産試験場
郵便番号 070 旭川市緑町12丁目
電話 0166-51-1171番(代)

昭和60年5月20日発行
印刷所 東信印刷株式会社
郵便番号 078-11 旭川市豊岡1条2丁目
電話 0166-31-0810番(代)