

# パネルボードの含水率上昇による釘の引き抜き メカニズムに関する考察

和田 孝一

## 目 次

1. はじめに	1
2. 仮定および解法	2
2.1 仮定	2
2.2 釘への剪断力の解法	3
2.2.1 単純圧縮の場合	3
2.2.2 偏心軸圧縮の場合	3
2.2.3 アーチの場合	3
2.3 座屈荷重との関係	4
2.4 含水率上昇に伴う解法上の前提	4
3. 計算式	4
3.1 水分変化による水平反力	4
3.2 偏心荷重による柱の限界荷重を求める方法	5
3.3 数値計算に使用した各種定数	5
3.3.1 ヤング係数E	5
3.3.2 伸縮係数	10
3.3.3 断面二次モーメント	10
3.3.4 含水率変化 $t_0$ , 矢高 $f$ , スパン $l$	11
3.3.5 釘の引き抜き耐力	11
4. 実験方法	11
4.1 一面剪断暴露試験	12
4.2 無拘束の試験片での実験	13
4.3 斜め釘打ち一面剪断加力実験	13
5. 結果と考察	15
5.1 一面剪断暴露実験	15
5.2 無拘束の試験片での暴露実験結果	18
5.3 一面剪断加力実験結果と機構についての考察	18
5.3.1 一面剪断曲線	18
5.3.2 側板の形態の違いによる釘引き抜き機構の差	23
5.3.3 異種の釘を用いた場合の比較	23
5.4 確認実験より得られた結果	23
5.5 シミュレーション結果との突き合せ	24
6. まとめ	25
参考文献	26
付 録	29
Summary	41

## 1. はじめに

近年、本物志向の高まりの中から木質系のパネルボードが見直され、RC建築の内装や別荘などの外装材として用いられる例が増えてきている。しかし、これがかつての下見板と異なり、十分に乾燥した板にさね加工を施した壁面材料であることが熟知されておらず、施工後のトラブルも比較的多く見受けられる。

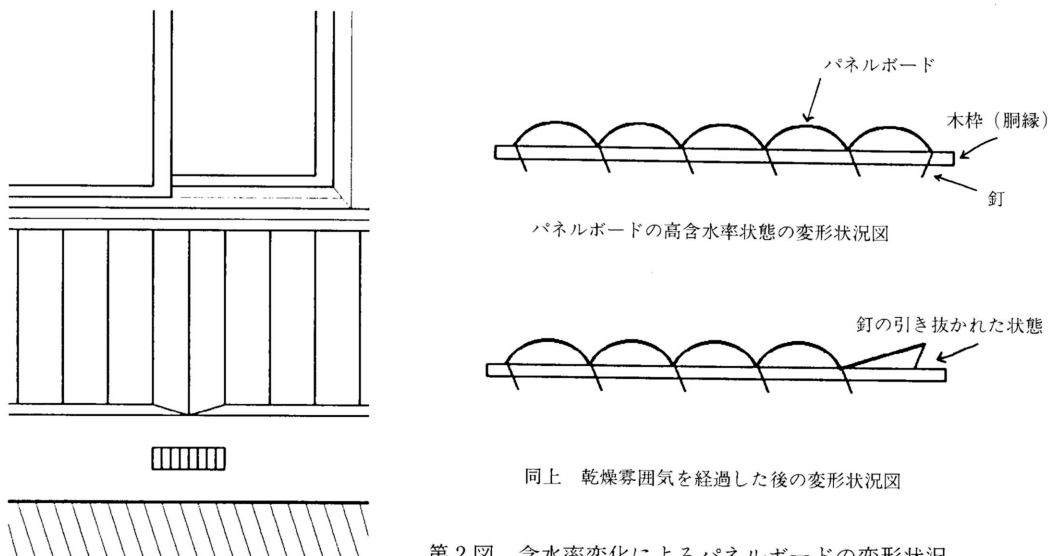
パネルボードの施工は、通常45cm間隔の胴縁にスクリーディング釘またはスクリング釘（逆目の突起を持つラセン釘）で、約45°の角度で雄ざね側または雌ざね側より、片側のみ釘打ちして固定されるのが一般的である。したがって、釘で固定されていない側はさねでかん合しているだけである。ただし、横張りを行う場合など壁の最下端は、釘を表面からの脳天打ち、またはさね打ちして固定するのが普通である。

施工されたパネルボードに発生するトラブルの一つとして、含水率の上昇によるとみられる釘の引き抜き事故がある。筆者はパネルボードの施工後のトラブルについて調査を行い、釘の引き抜き事故を数例観察したところ、壁下部の降雨などにより含水率の上昇しやすい場所で、隣合う2枚のパネルボードが山形に盛り上がり、固定していた釘が引き抜かれるというものが見られた。事故の模式図を第1図に示す。

また、恒温恒湿室内で、試験壁面体を数か月間高湿度雰囲気暴露したのち、室内環境を高湿と乾燥との間で変化させた際、同様に釘が引き抜けていたという事例を認めた。トラブル前の高湿時の状態と引き抜け事故後の状況の模式図を第2図に示す。

このトラブルについて、その原因の究明と対策のため、以下の仮定と解法を立て、数値計算によるシミュレーションと若干の実験を行ったので報告する。解法、数値計算は初歩的な弾性論の範囲内で行った。

なお、本研究の遂行に当たり、御援助を頂いた林産試験場性能部 工藤 修 材料性能科長に対し深く感謝の意を表します。



第2図 含水率変化によるパネルボードの変形状況  
Fig.2 Neil extraction effect of moisture change on panelling

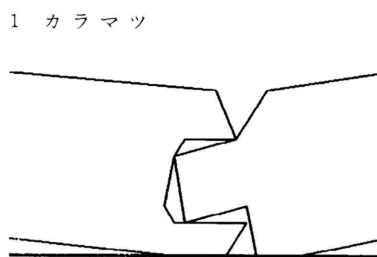
第1図 パネルボードのハズレ事故の状況図  
Fig.1 Accidental disorder on panelling

## 2. 仮定および解法

### 2.1 仮定

木材の含水率変化による伸縮率は繊維方向よりも幅方向が大きいので、壁面体に施工したパネルボード（以下板とする）は、高湿状態に暴露されると、含水率の上昇によりその幅方向に伸びを生じる。板は胴縁など木枠に片側を釘で固定され、反対側をさねで接合されているので、幅伸びが拘束され表面側にたいこ状のふくれを生じる。壁体に施工した時板の木表、木裏に関係なく壁体の表面側に凸にふくれることを、別に行った暴露実験により観察している。このふくれは含水率上昇の初期に生じる。このとき板の幅伸びが固定した釘により拘束されてパネルボード内に力が発生し、その力と釘の保持力の間に力の釣合関係が生じていると仮定される。

この時壁体を構成するパネルボードの両端のさね部分は第3図に示す様な変形状態となる

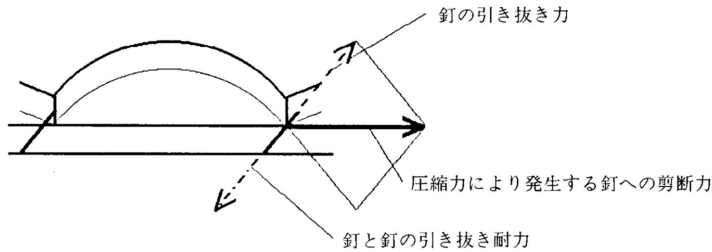


第3図 高含水率状態でのさね部分の変形状況図  
Fig.3 Figure of hinge parts in a high moisture content

ことを別の実験から観察している。このさね部分の変形の模様は一種のヒンジ構造とみなせる。したがって壁体は個々のパネルボードがヒンジで繋がった連続板の構造をしていると考えられる。今回の仮定ではこの構造を単純化して1枚の板について力の釣合関係を次のように仮定する。板の伸びにより発生する力は釘の根元に対し剪断力として作用する。釘は前述のように、通常木枠に斜めにさね打ちされているので、その引き抜き耐力が発生する剪断力の釘打ち方向の分力と釣合していると仮定する。

ここでケース1として、剪断力の分力が釘の引き抜き耐力を上回れば釘は引き抜ける。ケース2として釘の引き抜き耐力以下の力の発生であれば釘は引き抜けない。

ケース3として、剪断力の分力が釘の引き抜き耐力以下であり、かつその力が板の幅方向の座屈荷重より上回っている場合が考えられる。このケースの場合、釘の引き抜き耐力に相当する剪断力を発生する含水率条件に至る前に、板の座屈荷重に相当する力を受けて、板は座屈すると仮定する。結果として含水率が高くなって板幅が伸びても、荷重は増えずに矢高が増加するだけである。したがって釘は引き抜かず、板は安定して固定される。以上は初歩的な弾性論の範囲内の仮定である。実際には弾性論の範囲を超えてクリープ現象などが起きていることも考えられるが、今回の研究では取り上げない。力の関係の模式図を第4図に示す。



第4図 フクレ変形を生じた状況でパネルボードに発生する力の関係図  
Fig.4 Cupping induced forces on a nailed part of panelling

## 2.2 釘への剪断力の解法

発生する剪断力の解法について単純圧縮の式，偏心軸圧縮の式，アーチの式などを検討した。これは板に発生している応力を釘にかかる剪断力と考えてその値を求めている。

### 2.2.1 単純圧縮の場合

板の幅伸びが全量圧縮されて，その結果釘に剪断力が掛かるとした場合，板の長手方向を幅とし，裏溝をのぞいた厚さを材せいとした単純な矩形断面として解くと，その剪断力が想定される引き抜き耐力に比べ非常に大きな値となってしまう。また仮定の後半の座屈により矢高が増加し，かつ発生する剪断力が低下するという部分をうまく説明できない。さらに現実の暴露実験の観察例では，含水率上昇の初期からたいこ状のふくれを生じるが，この点でも単純圧縮では実際例と形態的に異なる。付録にこの計算式と今回シミュレーションした場合と同一の寸法と条件で含水率増加1%から6%までの数値計算例を示す。

### 2.2.2 偏心軸圧縮の場合

パネルボードの施工は先に述べたとおり雄ざねまたは雌ざね側から釘を斜め打ちして固定される。このことから実際には釘は板厚の中心線からさね厚の半分偏心した点で固定されている。したがって荷重は偏心荷重として作用する。この場合，単純圧縮の場合と同じく矩形断面として解くと，想定される力が釘の引き抜き耐力に比べて小さすぎる値となる。また矢高の増加は軸力の増加によって生じることとなるので，仮定の後半も説明できない。付録にその計算式と単純圧縮と同一条件の数値計算例を示す。

### 2.2.3 アーチの場合

壁面に施工した板は高湿度雰囲気暴露され含水率が上昇すると，暴露開始初期から板幅中央部が盛り上がるふくれを生じ，側面から見るとアーチ状を呈する。これは板材料の含水率上昇による幅伸びによるものと考えられるので，温度上昇により伸びを生じた場合の2ヒンジアーチ式の温度変化を含水率変化と読替えて，適用することとした。発生する剪断力の値を与えるものとして，さね部分をヒンジ構造と考えて2ヒンジアーチの水平反力の式を適用してみた。

適用にあたり以下の前提を与えた。第一に本来平板として扱うべきであるが，簡単化のため長軸方向の長さを幅とし，裏溝を除いた厚さを梁せいとする単純な矩形断面の梁として取り扱う。第二に板幅がスパンとなるが，板幅に対して生じる矢高が小さいので偏平なアーチの問題として解くこととした。第三に表層と裏層の含水率の差により発生する力については，温度差に対して与えられる偏平なアーチの式を用いた。

アーチ式では，含水率の上昇により想定する剪断力は増加し，かつ一方で矢高の増加によ

り剪断力は低減の傾向を示すという特性を有している。このことは数値シミュレーションの結果からも支持される。また、この性質は板の座屈により矢高は増加するが発生する剪断力は増加しないという仮定の後半部分もうまく説明できる。

### 2.3 座屈荷重との関係

釘の引き抜き耐力に相当する剪断力以下の領域で、板幅方向座屈荷重に相当する剪断力以上の領域が存在しなければ仮定と矛盾することとなる。

この座屈荷重の算定にあたってはチモシェンコ<sup>1)</sup>により偏心軸圧縮の場合の限界荷重を用いた。式の使用にあたっては矩形断面の梁として取り扱った。

実際のボードでは、板厚の中央線よりさね厚さの半分だけ離れた点で釘は打ち込まれている。今回は板厚から裏溝の深さを除いた残りを材せいとする矩形断面と仮定しているのもので、その材せいの中心線からも外れた点で固定されていることとなる。

実験では試験体側板の裏溝深さを板厚さの2/3とし、かつ釘を板厚さの中心に打っているので、その偏心量 $e$  = 梁せい $h$ となる。

今回のシミュレーション例では実際には中間柱となりオイラーの式による計算値は高めの値となる。しかし平面板を梁として扱っており、しかも安全側の値が得られるので今回はそのまま使用した。

### 2.4 含水率上昇に伴う解法上の前提

含水率上昇に伴いヤング係数 $E$ 、剪断弾性係数 $G$ など各種弾性定数は低下することが知られている。その値は含水率上昇1%当たりヤング係数では2%<sup>2)</sup>、山本<sup>3)</sup>によればカラマツの剪断弾性係数では2.3%の低下である。そこでこれらの定数を使用するに当たり、それぞれ含水率に対応して定数の値を低減させることとした。

## 3. 計算式

### 3.1 水分変化による水平反力

2ヒンジ放物線アーチの温度変化により発生する水平反力の公式を用い、温度変化を含水率変化と読替え、得られた水平反力は釘に対する剪断力として働くとして、その値を求めた。式の解については鷹部屋福平<sup>4)</sup>によった。その式を以下に示す。解法の詳細については付録に示す。

$$H = \{EI \quad t_0 + EI \quad (t/h) \times (2f/l/3) \} / (8f^2/15) \} \times \dots\dots (1)$$

矩形断面梁として解いた場合

$$= 1 / (1 + (5/32) \times (h/f)^2) \quad (2)$$

H : 水平反力	t : 表裏層間の含水率差	f : 矢高
: 伸縮係数	E : ヤング係数	l : スパン
t <sub>0</sub> : 含水率変化	: 断面二次モーメント	h : 梁せい

剪断力の値を求めるため(1)式の第1項について含水率 $t_0$ と矢高 $f$ をパラメーターとした数値計算のシミュレーションを行った。仮定によれば含水率の上昇に起因して板は板幅中央部が盛り上がって矢高を生じるのだから、本来矢高は独立変数ではない。しかし、含水率と矢高の変化を同時にかつ経時的に捕らえる方法が考えられなかったのでシミュレーション上は

独立変数として処理した。以下のシミュレーションについても同様に取り扱うこととする。第2項の水分傾斜については厚さ = 梁せい  $h = 10\text{mm}$  の場合、 $t$  は木材の吸湿条件<sup>5)</sup> から2%と想定される。またシミュレーションの条件から表裏層と内層との間の水分傾斜も想定されるので、 $h/2 = 5\text{mm}$  の計算値の2倍値も同様に計算した。その結果、いずれの場合も単独で釘を引き抜くには第1項に比較して極く小さかったので省略することとした。シミュレーションの結果を付表に示す。

### 3.2 偏心軸荷重による柱の限界荷重を求める方法

チモシェンコ<sup>1)</sup>により偏心軸荷重による限界荷重を求める式は以下のとおりである。

$$P = (\pi^2 EI / 4l^2) \dots\dots (3)$$

P : 限界荷重

π : 円周率

E : ヤング係数

I : 断面二次モーメント

l : スパン

### 3.3 数値計算に使用した各種定数

シミュレーションを行うにあたって予め与えうる設定条件について検討を行った。

#### 3.3.1 ヤング係数E

板の幅方向のヤング係数については、 $E_R$ 、 $E_T$ 、 $E_{RT45}$ があるが使用する板材料が丸太をだらびきしたものであり、その大半が目切れた45°の年輪傾斜を辺縁部にもっているため、基本的に $E_{RT45}$ の値を採用した。

実際の材料について、その幅方向の曲げヤング係数を得ることが困難であったので、繊維方向の曲げヤング係数測定済みのカラマツ材について、試料数は少ないが横圧縮試験を行い、そこで得られた横圧縮ヤング係数を幅方向曲げヤング係数として取り扱うこととした。実験の結果を第1表に示す。

第1表 カラマツ材の横圧縮試験結果表  
Table 1 Results of Compression Perpendicular

EL=97tf/cm<sup>2</sup>, 含水率U=9%

1 45°端部

	年輪巾 ωmm	比重 γg/cm <sup>3</sup>	ヤング率 Ekgf/cm <sup>2</sup>	比例限度力 σkgf/cm <sup>2</sup>	比例限度 ε%
1	4.09	0.425	1.104	11.02	1.00
2	4.64	0.436	1.127	8.25	0.66
3	4.58	0.433	1.053	8.02	0.76
4	4.62	0.448	1.226	12.14	0.99
5	4.62	0.441	1.288	15.51	1.20
6	4.64	0.440	1.079	14.91	1.40
7	4.71	0.431	1.299	14.92	1.15
AV	4.64	0.436	1.168	12.11	1.05

2 45°端部

1	3.43	0.429	1.060	9.41	0.89
2	3.59	0.423	1.080	11.21	1.04
3	3.32	0.427	1.177	11.61	0.99
4	3.26	0.426	1.053	11.46	1.09
5	3.25	0.425	1.010	13.64	1.35
AV	3.37	0.426	1.076	11.47	1.07

3 板目中央部

1	5.95	0.421	2.102	11.68	0.56
2	5.92	0.423	2.457	12.14	0.49
3	6.08	0.427	2.450	12.30	0.50
4	6.15	0.416	1.954	12.73	0.65
5	5.84	0.428	2.164	13.27	0.61
6	6.04	0.419	2.148	13.10	0.61
AV	6.00	0.422	2.216	12.53	0.57

注:



45°端部 板目中央部 45°端部  
以上のように3分割した。

4 中央切断板目45°組み合わせ片

	年輪巾 $\omega$ mm	比重 $\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	ヤング率 Ekgf/cm <sup>2</sup>	比例限応力 $\sigma$ kgf/cm <sup>2</sup>	比例限歪 $\epsilon$ %
1	4.50	0.411	1.333	11.91	0.89
2	4.59	0.415	1.333	11.40	0.86
3	4.39	0.413	1.369	11.15	0.86
4	4.48	0.415	1.377	12.75	0.93
5	4.48	0.413	1.446	10.80	0.77
6	4.48	0.418	1.412	10.74	0.76
7	4.90	0.416	1.286	10.64	0.83
AV	4.55	0.414	1.365	11.34	0.84
1	5.31	0.415	1.552	13.10	0.85
2	5.00	0.421	1.686	12.74	0.76
3	5.17	0.416	1.592	12.67	0.80
4	5.22	0.415	1.536	11.60	0.76
5	5.10	0.415	1.556	12.80	0.82
AV	5.16	0.416	1.584	12.58	0.80
1	5.16	0.415	1.531	12.15	0.79
2	4.95	0.415	1.557	12.31	0.79
3	4.98	0.420	1.532	12.75	0.83
4	5.02	0.416	1.526	12.47	0.82
5	5.10	0.415	1.419	12.41	0.83
AV	5.04	0.416	1.513	12.41	0.81
1	4.82	0.428	1.326	11.56	1.10
2	5.00	0.424	1.401	11.84	0.84
3	4.95	0.424	1.218	13.50	1.10
4	5.22	0.423	1.268	12.40	0.98
5	4.99	0.427	1.326	12.95	0.98
6	4.95	0.428	1.438	13.49	0.94
7	5.26	0.422	1.386	12.83	0.93
9	5.60	0.413	1.370	12.84	0.94
10	5.96	0.410	1.387	11.73	0.84
AV	5.21	0.420	1.347	12.57	0.96

注：

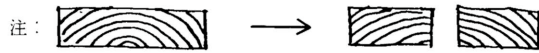


板目45°組み合わせ片中央より2分割した。



EL=118tf/cm<sup>2</sup>, 板目中央45°端部材

	年輪巾 ωmm	比重 γg/cm <sup>3</sup>	ヤング率 Ekgf/cm <sup>2</sup>	比例限度力 σkgf/cm <sup>2</sup>	比例限度 ε%
1	4.69	0.495	1.439	11.80	0.82
2	5.19	0.514	1.500	11.88	0.79
3	4.48	0.496	1.710	13.11	0.77
4	4.23	0.494	1.930	13.79	0.71
5	4.93	0.496	1.533	11.76	0.77
AV	4.70	0.499	1.622	12.47	0.77
8	4.08	0.478	1.749	12.73	0.73
9	4.09	0.495	1.772	12.16	0.69
13	3.92	0.469	1.739	12.89	0.74
14	3.76	0.468	1.929	13.84	0.70
15	3.75	0.465	2.093	13.24	0.63
AV	3.92	0.475	1.856	12.97	0.70
6	4.99	0.494	2.284	12.52	0.74
7	4.09	0.495	1.695	12.96	0.57
11	4.68	0.487	1.703	13.50	0.79
12	4.73	0.509	2.101	12.75	0.61
AV	4.62	0.496	1.946	12.93	0.68



板目中央45°端部材中央より2分割した。

EL=125tf/cm<sup>2</sup>, 板目中央45°端部

	年輪巾	比重	ヤング率	比例限度力	比例限度
	ωmm	γg/cm <sup>3</sup>	Ekgf/cm <sup>2</sup>	σkgf/cm <sup>2</sup>	ε%
1	5.04	0.416	2.886	13.31	0.46
2	4.96	0.417	2.632	13.09	0.50
3	4.97	0.426	2.754	13.43	0.49
4	4.97	0.425	2.500	12.58	0.50
5	4.49	0.437	2.662	13.37	0.50
6	4.49	0.443	3.114	13.98	0.45
7	4.49	0.434	3.221	14.04	0.44
8	4.69	0.422	2.614	13.49	0.52
9	4.44	0.444	2.928	13.55	0.46
AV	4.72	0.420	2.812	13.43	0.48

EL=86tf/cm<sup>2</sup>, 柱目

2	6.59	0.406	3.287	13.00	0.40
3	7.20	0.401	2.530	12.70	0.50
4	6.89	0.399	2.930	13.53	0.46
6	7.57	0.408	2.621	11.08	0.42
7	7.22	0.392	3.060	12.92	0.42
8	7.20	0.433	3.077	13.02	0.42
AV	4.02	0.423	2.918	12.70	0.44

横圧縮ヤング係数に関しては山井<sup>6)</sup>による報告があり、完全な柂目と板目板については、実験結果とよく一致している。特に柂目板の横圧縮ヤング係数は山井の報告と一致して最も大きな値となったが、これを実用的なパネルボードの幅方向の曲げに適用するのは必ずしも適切でないと考えられる。また完全な柂目板は1本の丸太から得られる板材料としては極めて少量であるので一応適用を除外することとした。

実験の結果得られたヤング係数の値は、沢田<sup>7)</sup>による係数を用いてジェンキンの式により誘導した $E_{RT45}$ 値よりも大きな値となった。これは、一般的な木取りの板材料が幅方向の辺縁部に45°の年輪傾斜部を持ち、かつ中央部が板目板であるから、両方の値の中間的な値を示すためと考えられる。また山井<sup>6)</sup>によるとダイヤルゲージを用いた測定法の値はエクステンソメーターを用いた測定法の値より45°板の場合は大きな値を示すと報告されているので、その影響も考えられる。

板の横曲げヤング係数を実験により求められなかったので、誤差を含む近似的な推定値の求め方となるが、本報では沢田の係数を用いて $E_L$ より各数値を求め、ジェンキンの式より合成誘導した $E_{RT45}$ を採用することとした。この横曲げヤング係数の実際の材料についての数値の決定は今後の検討課題となろう。

### 3.3.2 伸縮係数

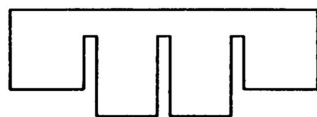
木材工業ハンドブック<sup>2)</sup>よりカラマツ材の平均収縮率をもとめ、接線方向と半径方向の値の平均値<sup>8)</sup>を代表値として採用した。収縮率として掲載されているが伸縮率と読替えて使用する。カラマツ材の場合、その値は含水率1%当たり0.23%となる。

### 3.3.3 断面二次モーメント

本来板材料であるので、平板としての展開が必要であるが今回は簡略化のため梁せい $h =$  厚さ、幅 $b =$  板の長さ $L$ の1/2矩形断面の梁として取り扱うこととした。この板には裏溝加工があり、一般的に45cm間隔で胴縁に釘固定され、かつ比較的端部で事故が発生しているので、梁せいとしては裏溝部分を除いた10mmを、梁幅としては45cmの半分である22.5cmを用いた。

また、板幅方向をスパンと考えているので、裏溝を有する板は切り欠きをもつ梁と考えられ、さらに等ヤング係数の断面として概念的に表すと櫛状の変断面(第5図)と考えられる。したがって変断面梁としての取扱いが本来の姿と考えられる。この場合現実のヤング係数分布を考慮し曲げ剛性を考えると、変断面の櫛状部分の梁せいはヤング率比の3重根で与えられる。

本報ではこの断面積の変化の検討は行わず、単純な矩形断面の幅の広い梁として取り扱い



第5図 変断面図  
Fig.5 Rearranged cross-section of a panel board,  
equivalent stiffness over the total area

断面2次モーメントを求めた。

### 3.3.4 含水率変化 $t_0$ , 矢高 $f$ , スパン $l$

カラマツ板材の含水率は当初10.8%であった。林産試験場の恒温恒湿室（30 - 90%RH）内で得られる最高含水率は $u = 19\%$ であるので、今回のシミュレーションは $u = 10 \sim 19\%$ の範囲で行った。矢高については同様な材料による暴露試験の観察結果から2mmまでの範囲を設定した。スパンについては確認実験として行った1面剪断試験で用いている材料の幅15.8 cmを用いた。

### 3.3.5 釘の引き抜き耐力

予備的な実験を行い、トドマツ乾燥材に $l = 45\text{mm}$ のスタリング釘,  $l = 38\text{mm}$ のスクリュウ釘など数種の釘を打ち込み、その引き抜き耐力を求めた。その結果前者は引き抜き耐力 $20\text{kgf/cm}$ , 後者は $15\text{kgf/cm}$ の値を得た。前述のように釘は通常さね部分から約 $45^\circ$ の角度で斜め打ちされる。したがって発生する剪断力の $45^\circ$ 方向の分力が釘を引き抜く力となる。

このことは釘を垂直に打ち込みにくく、斜めに寝かせて打つこととなる雌ざね側釘打ち込み固定においては、釘を引き抜く力として加わる剪断力の分力が大きくなり、不利な条件となる。

## 4. 実験方法

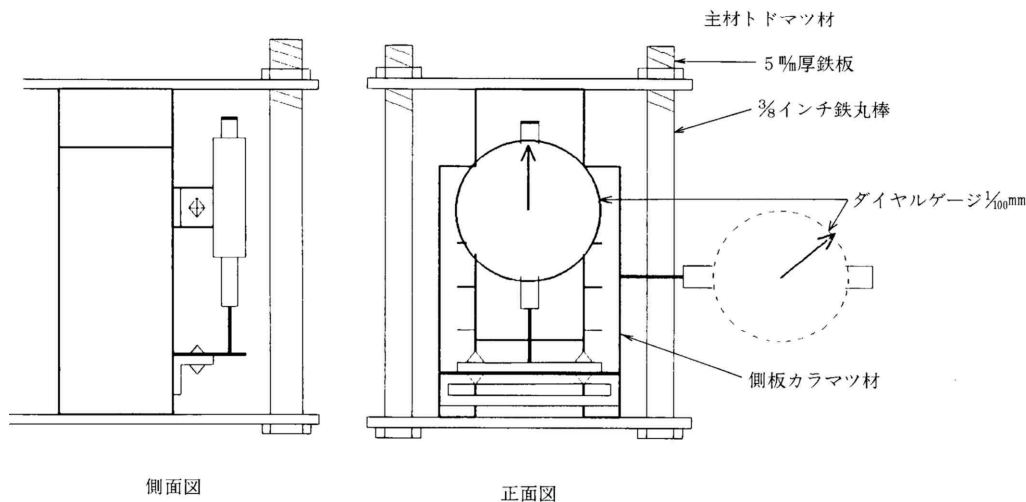
前述の様な仮定および解法を検証するため以下の目的で三つの実験を行った。

実際に吸湿により生じる剪断変位と矢高の変化を知るため、釘を斜め打ちして作成した一面剪断試験体を高湿度の恒温恒湿室に置いた。

実際の恒温恒湿室の暴露で材料片の含水率がどのように上昇するかを知る目的で、無拘束の試験片での暴露実験を行った。

釘を斜め打ちして作成した一面剪断試験体で、実際に釘にはどのような力が働き試験体はどのような挙動をするのかを知るため、加圧による一面剪断試験を行った。

以上の実験についてその実験方法を以下に示す。



第6図 暴露試験体の治具  
Fig.6 Testing method for Load-slip on moisture gain

#### 4.1 一面剪断暴露試験

シミュレーションの確認のため、一面剪断試験体を高湿度の恒温恒湿室内に放置する実験を行った。側板を釘で斜め打ちして固定した一面剪断試験体を、湿度に不感な鉄製治具で上下から挟んで、含水率上昇による試験体全長の伸長を拘束した時の力学的な機構について予め検討する。治具を第6図に示す。実際の治具では4本の軟鉄棒（径 $d=3/8$ inch）で拘束している。

治具の室温による伸縮が安定してから後は、試験体の含水率上昇による伸びが拘束された結果としての現象が現れることとなる。

次に試験体の含水率の変化による動きについて検討する。試験体の構造は繊維方向を長手方向とするトドマツの角柱に、繊維方向を角柱と直角にしたカラマツ材の側板を斜め釘打ちして固定した構造となっている。含水率の変化による伸縮率の違いから、その全長の伸縮量の大部分は側板の幅伸びが占めることとなる。具体的には繊維方向と幅方向では含水率の変化による伸縮率は一桁の差があるので、今回の報告では繊維方向つまり角柱の伸縮については考慮していない。

ところでこの側板の幅伸びが拘束されるわけだが、仮定にしたがうとその伸びは底部の鉄板と角柱に固定している釘とにより拘束されてふくれを生ずる。このとき固定している釘には剪断力が働き、この分力と釘の引き抜き耐力が釣り合っていると仮定している。この力の釣合について、実験では剪断変位と各々の側板のふくれ量、すなわち矢高をダイヤルゲージで測定している。ここで、剪断変位とは側板の下端部を一種のロードセルとみたとき、剪断力を表す指数と考えられる。

力の釣合いについて以下のように仮定して考察した。

第一の場合、側板に発生する剪断力がその側板の限界荷重以下であり、かつ釘の最大保持力以下である時には、側板と角柱は釘により固定されている。このとき剪断変位は荷重が負荷された方向つまりダイヤルゲージが縮む方向へ変位する。発生する剪断力は、全長が拘束されることにより、みかけ上角柱に対し荷重が負荷されたように働き、剪断変位が増加することとなる。このとき側板の矢高も同時に増加することとなる。

第二の場合、同じく発生する剪断力が側板の限界荷重以上となり、かつ釘の最大保持力を超えない範囲を考える。この場合側板が限界荷重に達し、湾曲状態が始まると剪断変位は次第にその増加量が低減しはじめ頭打ちの傾向を示す。これは側板の座屈によって、含水率の上昇により側板に発生した剪断力が緩和されるので、剪断変位を生じさせる負荷として有効に働かなくなるためと考えられる。ここでは含水率は上昇し続けるが変位が一定値に近づく傾向となってしまふ。変位が一定値に近づいて行くので、それに相当する負荷も一定値となっていくと考えられる。

第三の場合、側板の限界荷重耐力値が釘の最大引き抜き耐力値以上である場合が想定される。この場合、発生剪断力は側板が座屈する前に釘の引き抜き耐力を超えてしまうので、釘は引き抜かれてしまふ。釘が引き抜かれると力が伝わらなくなる。

以上の様に、想定しえるケースは三つ考えられた。第一と第二の場合に板は安定して釘により固定される。

試験体に使用している材料は側板が厚さ30mm、幅15.8cm、長さ22.5cmのカラマツ材で20mmの深さで木裏側に幅方向の4等分点の位置に3本の裏溝が入っている。

試験体no. 1のELは $140\text{tf/cm}^2$  ( $u=10.8\%$ ) で、この側板を8cm角のトドマツ乾燥材に長さ $l=38\text{mm}$ のスクリーュー釘で、角柱の板目面と柁目面に $45^\circ$ の角度で斜め打ちして固定している。

側板は端部が45°の年輪傾斜の目切れ材で中央部が板目材の年輪構成となっている。試験体no.2は $E_t$ が $125\text{tf/cm}^2$  ( $u = 10.8\%$ )で、no.1の試験体と別種の長さ $l = 38\text{mm}$ のスクリー釘で同様に角柱の柱目面に固定している。側板の年輪構成は完全な板目材である。

試験体no.3は $E_t$ が $118\text{tf/cm}^2$  ( $u = 10.8\%$ )で、長さ $l = 45\text{mm}$ のスタリング釘で同様に柱目面に固定している。側板の年輪構成は端部が45°の目切れ材で中央部が板目材である。

測定は剪断変位と両側板の矢高を、毎日定時に精度 $1/100\text{mm}$ のダイヤルゲージで測定した。

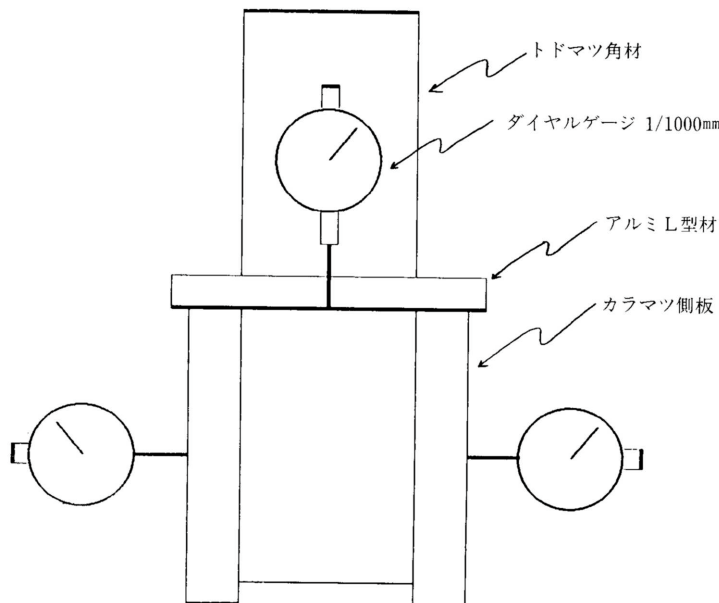
#### 4.2 無拘束の試験片での実験

暴露試験体の日数経過による含水率の上昇傾向を知るため、無拘束の試験片を恒温恒湿室で一面剪断暴露試験と同一条件の雰囲気暴露し、その含水率値の経過を迫った。試験片の形状は一面剪断暴露試験の試験体の側板と同一形状(厚さ $30\text{mm}$ 、4等分点3本の $20\text{mm}$ 深さの裏溝、板幅 $15.8\text{cm}$ 、長さ $22.5\text{cm}$ )のカラマツ板10枚である。裏溝はすべて木裏側に入れた。

#### 4.3 斜め釘打ち一面剪断加力実験

厚さ $30\text{mm}$ 、板幅 $15.8\text{cm}$ のカラマツ板について、釘を斜め打ちした場合の一面剪断実験を行った。試験体と測定器具の取付け状況を第7図に示す。側板の材料としては縦ヤング係数が各々 $125\text{tf/cm}^2$ 、 $125\text{tf/cm}^2$ 、 $140\text{tf/cm}^2$ 、 $112\text{tf/cm}^2$ のカラマツ材で板目材、辺縁45°目切れ材かつ中央板目材の2種類を使用した。釘は長さ $l = 38\text{mm}$ 、釘径 $d = 2.1\text{mm}$ のスクリー釘、長さ $l = 45\text{mm}$ 、釘径 $d = 3.0\text{mm}$ のスクリング釘の2種類で合計8体の剪断試験を行った(写真1)。

板厚は $30\text{mm}$ であるがスクリー釘の試験体についてはそのまま裏溝無し状態で実験を行った後、幅方向の4等分点に3本の裏溝を $20\text{mm}$ の深さで木裏から入れて再度実験を行った。釘は各側板に一本ずつ $1.5\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$ のドリルによる案内孔をあけたうえで、釘頭が半分めり込むまで約45°の角度で斜めに打ち込んで固定した。



第7図 加力一面剪断試験体  
Fig.7 Testing method of Load-slip

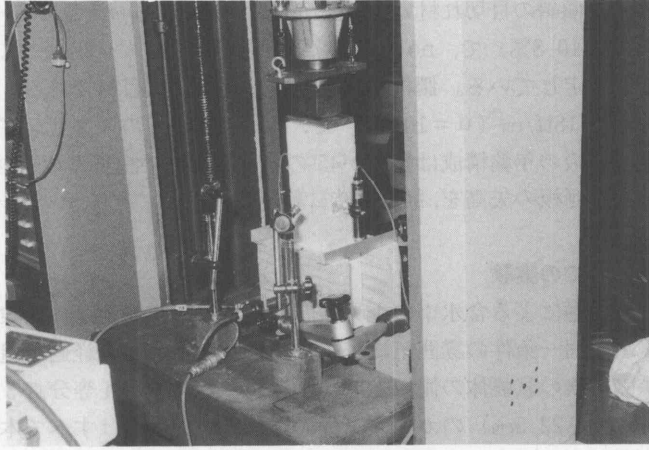


写真1 一面剪断加力試験体

第2表 供試材 (カラマツ材)

Table 2 Related properties of used KARAMATSU (Larix Leptolepis) board  
Test specimens (KARAMATSU, *Larix Leptolepis*)

フリー試験片

no	平均年輪幅	EL (tf/cm <sup>2</sup> )	比 重	年 輪 傾 斜
1	4.5	149	0.55	板目45°
2	4.5	107	0.51	板目45°
3	4	118	0.47	板目45°
4	5.6	112	0.49	板目45°


no 1, 2は各3枚, no 3, 4は各2枚の試験片をとった。

一面剪断暴露試験体

no	平均年輪幅	EL (tf/cm <sup>2</sup> )	比 重	年 輪 傾 斜
1	4	140	0.54	板目45°
2	5.9	125	0.46	板目板
3	5.7	118	0.47	板目45°

フリー試験片

no	平均年輪幅	EL (tf/cm <sup>2</sup> )	比 重	年 輪 傾 斜
1	5.9	125	0.46	板目板
2	4	140	0.54	板目45°
3	5.2	125	0.57	板目45°
4	5.6	112	0.49	板目45°

注： 板目45° → 

板目板 → 

加圧には島津オートグラフ10t型の試験機を用い、1体のみ0.5mm/min、他は0.1mm/minのヘッドスピードで加圧した。加圧については、途中1回除荷した後再加圧する操作を行った。除荷時の荷重については、今回は定性的なデータを得るのが目的であったので、適宜行った。

この試験体については主材は繊維方向なのに対し側材は横方向の加圧となる。測定は精度1/1,000mmの変位計で釘一本当たり250gfの加圧ごとに主材、側材間の相対すべり変位と側材の矢高を同時に測定した。実験方法については平井の報告<sup>9)</sup>を参考とした。

各試験体に用いたカラマツ板の一般材質を第2表にまとめて示す。

## 5. 結果と考察

### 5.1 一面剪断暴露実験

暴露後5週間のデータを第8, 9, 10図に示す。暴露実験の結果 いずれのデータも暴露開始後数日間で大きな変位の変化が現れ、それ以降の変化は緩やかとなっている。試験体no.1について行った予備的な実験の結果について、含水率 $u$ と矢高の変位との相関を求めると、相関係数は $r=0.948$ と $0.989$ で、 $t$ 検定を行った結果1%有意となった。

回帰直線はそれぞれ次のとおりとなった。

$$\text{矢高(板目打ち)} y = 0.202x - 0.398$$

$$\text{矢高(柱目打ち)} y = 0.215x - 0.942$$

$$y: \text{変位 (mm)}$$

$$x: \text{含水率 } u (\%)$$

以上の結果から、暴露日数の増加による含水率の変化と矢高の変化は相関することが確かめられた。

次に各試験体の観察結果について述べる。試験体 no.1の各側板についての観察結果は、角柱の板目に打った場合と柱目に打った場合とでは、その矢高の増加に差を生じた。グラフからも読み取れるように、柱目に打った側板の矢高に対して、板目に打った側板の矢高はその絶対量でほぼ半分である。

仮定にしたがった解法によれば、矢高が増加すれば発生する剪断力は低減することとなる。同一条件で暴露開始した、かつ同じ材料で作った側板であるので、含水率はほぼ同一と考えられる。したがってこれらのことから、柱目に打った側板のほうがより大きな剪断力が発生していたか、または板の実際の座屈耐力が低かったと考えられる。

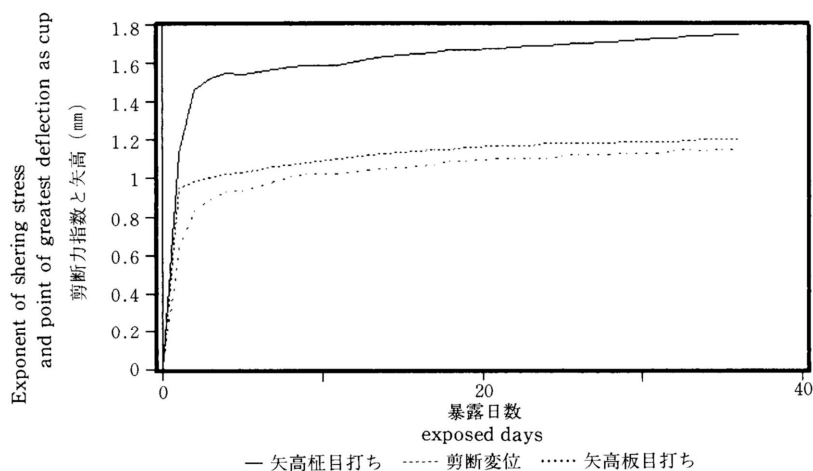
実際にも試験体で柱目に打った側板の裏溝が逆八の字形に幅が内側につぼまり、他方、板目に打った側板ではそのような現象は見られない。なんらかの理由で釘の拘束力が柱目に打った側板のほうが大きかったものと思われる。正確な意味で座屈と言えるかどうかは検討の余地があるが、第8図からも読み取れるように、柱目打ちの矢高の絶対値が板目打ちに比較して大きくなっている。

釘の引き抜き耐力について、打ち込み直後の値であるが、金森ら<sup>10)</sup>はエゾマツ乾燥材において、柱目面打ち込みのほうが板目面打ち込みより引き抜き耐力が大きかったと報告している。その差はラセン釘の場合、単位長さ当たりの耐力で約1kgf ~ 数kgfの幅があると報告している。したがって微妙なバランスが存在すると推測されるが、試験体no.1の結果はこれを支持している。

試験体no.2の暴露実験では、側板は完全な板目板なので、横圧縮実験からヤング係数は2 ~ 3 tf/cm<sup>2</sup>と推定される。暴露実験の剪断力指数、矢高の変位の結果を第9図に示す。その剪断力指数はno.1の推移とは明らかに異なっている。ほぼ2日間で最高の変位に達し、それ以降は漸減している。明らかに暴露開始初期に負荷が急上昇し、それ以降負荷が低下したと考

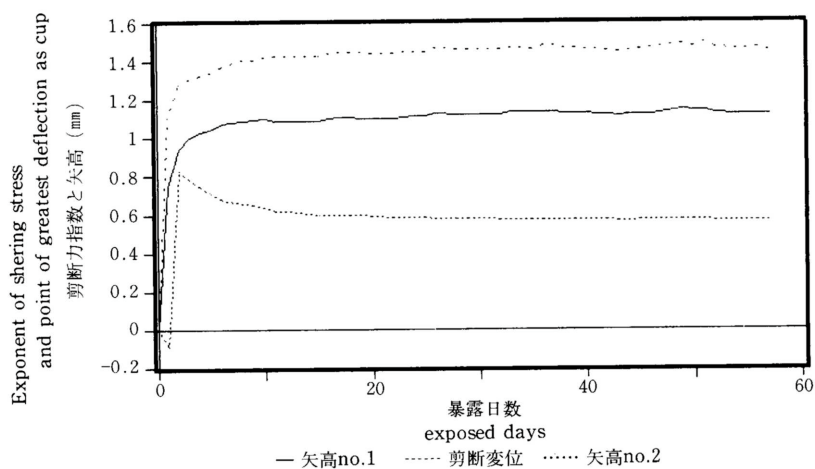


えられる。矢高の推移はno.1と同じ傾向を示した。ここでさきに検討した試験体の力学的機構から、この試験体では釘の引き抜きが生じたものと考えられる。矢高の増加はその後ほ



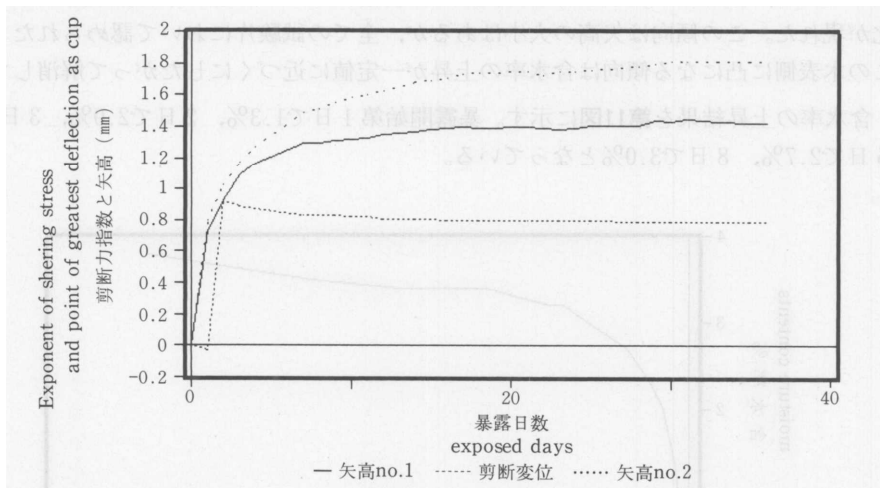
第8図 吸湿一面剪断試験データ  
Fig.8 Exponent of shearing stress/point of greatest deflection as cup curves on moisture content increase

試験体 No.1 RH90%, 27°C  
注 剪断力指数：側板の下端部をロードセルとみた時の力の指数



第9図 吸湿一面剪断試験データ  
Fig.9 Exponent of shearing stress/point of greatest deflection as cup curves on moisture content increase

試験体 No.2 RH90%, 27°C  
注 剪断力指数：側板の下端部をロードセルとみた時の力の指数



第10図 吸湿一面剪断試験データ  
 Fig.10 Exponent of shearing stress/point of greatest deflection as cup curves on moisture content increase

試験体 No.3 RH90%, 27°C  
 注 剪断力指数：側板の下端部をロードセルとみた時の力の指数

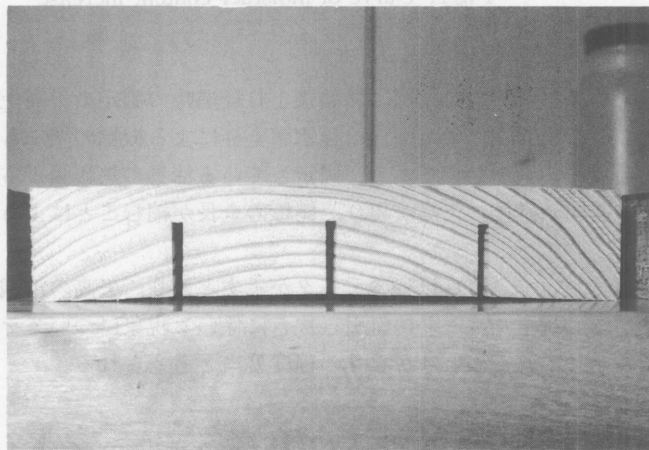


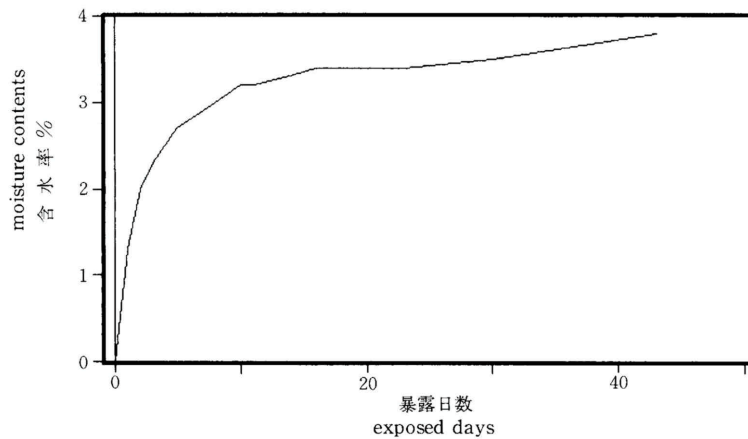
写真2 無拘束暴露試験片

一定してきている。

試験体no.3も使用した釘の引き抜き耐力が大きいので湾曲の進む状態の起る可能性がある。暴露経過をみると、31日まで矢高が増加し続け、それ以降落ちてきている。第10図に経過を示す。また矢高の絶対量も他の暴露例と比較して大きな値となっている。せん断力指数の低下のしかたも他例よりも少ない結果となっている。これらの結果から、no.3の試験体では曲げを起こす力により矢高が増加している状態が起きていると推定する。

## 5.2 無拘束の試験片での暴露実験結果

この暴露実験の経過の中から次の様な観察結果が得られた。含水率の上昇量は1日目が最大であったが、同時にこのときに暴露試験片に裏溝の入っていない木表側に凸になる形状の変化が現れた。この傾向は矢高の大小はあるが、全ての試験片において認められた（写真2）。この木表側に凸になる傾向は含水率の上昇が一定値に近づくにしたがって解消してきている。含水率の上昇結果を第11図に示す。暴露開始第1日で1.3%、2日で2.0%、3日で2.3%、5日で2.7%、8日で3.0%となっている。



第11図 含水率上昇曲線  
Fig.11 Curve of moisture content increase  
端部45℃中央板目、カラマツ材

一面剪断試験体での暴露実験でも同様に開始後1日経過時の測定で矢高上昇分の大部分を記録している（第8, 9, 10図）。また同様に含水率上昇による板幅の増加も1日目から2日目に大きな上昇がありピークを与えている。固定している治具の熱膨張による微小の伸びを考慮しても、これは暴露開始直後に矢高が現れ、側板の全長が縮むことによるマイナス変化と考えられる。

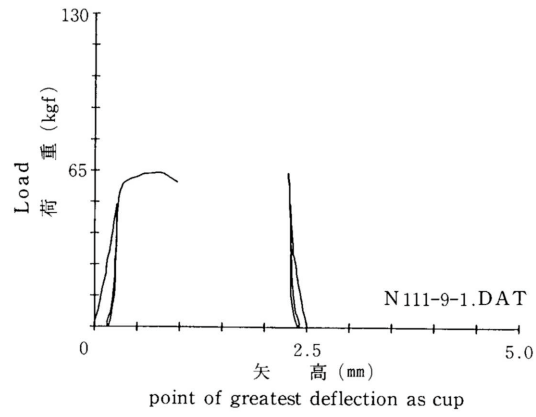
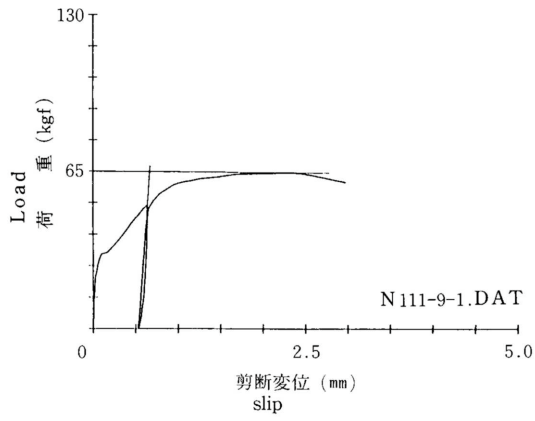
実際の暴露試験体において、これ以降のデータが示すとおり、矢高の消滅または減少は認められない。したがってパネルボードの釘引き抜きに係わる現象についてその力学的機構を偏平なアーチの問題として解くことはかなりの程度妥当と考えられる。

## 5.3 一面剪断加力実験結果と機構についての考察

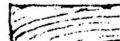
外力を加える実験なので、側板の含水率上昇により内発的に起きる現象とは基本的に異なるが、釘や裏溝を持った側板の性質を知るためにこの実験を行った。実験の結果を第12図から第19図に示す。

### 5.3.1 一面剪断曲線

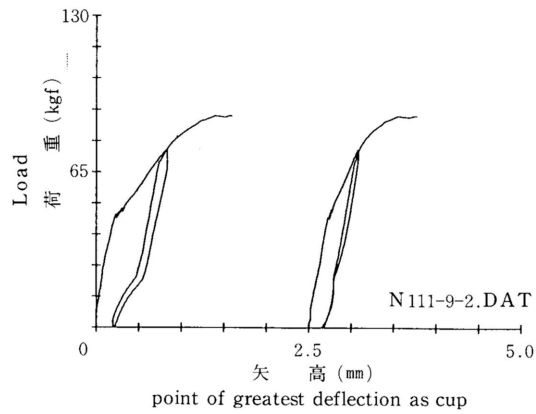
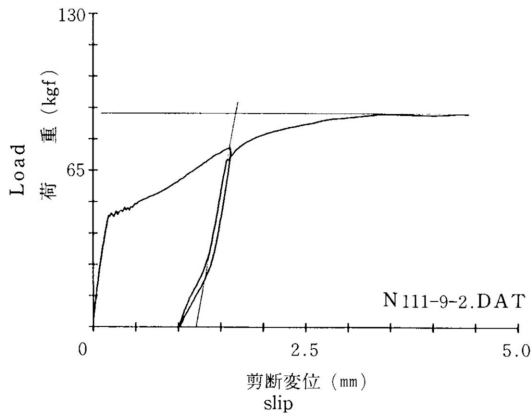
平井の報告<sup>9)</sup>によれば、通常的一面剪断曲線ではその除荷曲線は傾斜が小さいのに対し、今回得られた除荷曲線は垂直にたった姿となっており、その曲線のふくらみも極く小さい。また全体の姿も初期の変位の増加が極く小さいのが特徴である。除荷曲線の傾斜についても裏




第12図 一面剪断曲線  
Fig.12 Load-slip curves  
ヘッドスピード 0.5mm/min

 板目板 EL 125tf/cm<sup>2</sup>

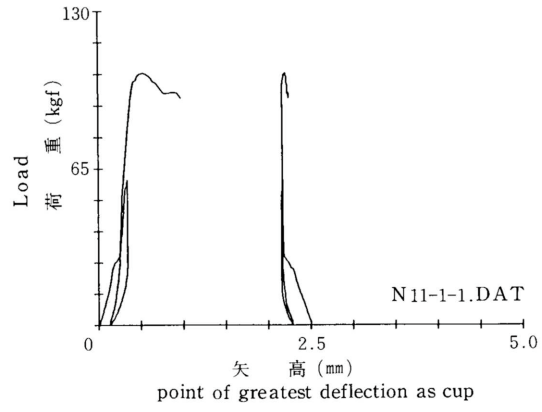
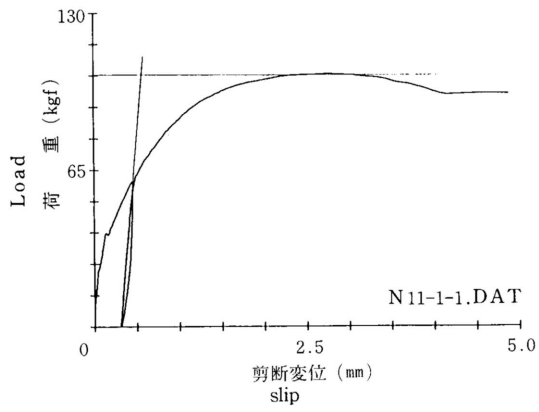
釘 l = 38mm スクリュー釘  
打込量 22.18mm, 17.18mm



第13図 一面剪断曲線  
Fig.13 Load-slip curves  
ヘッドスピード 0.1mm/min

 板目板 EL 125tf/cm<sup>2</sup>

釘 l = 38mm スクリュー釘  
打込量 16.82mm, 18.58mm

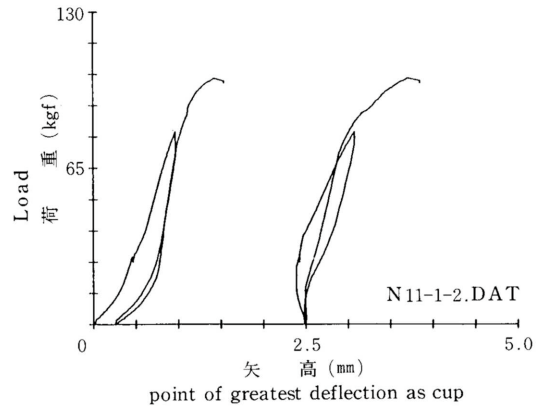
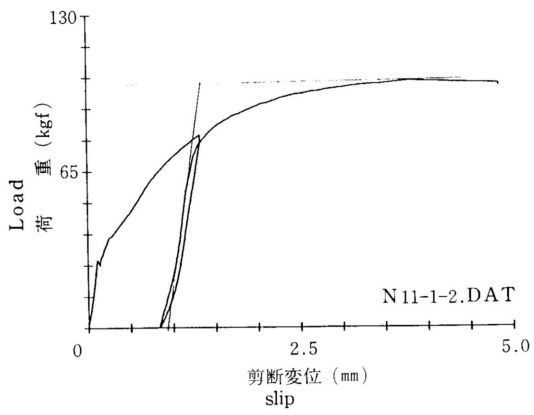


第14図 一面剪断曲線  
Fig.14 Load-slip curves

ヘッドスピード 0.1mm/min



釘 l = 38mm スクリュー釘  
打込量 21.10mm, 21.10mm

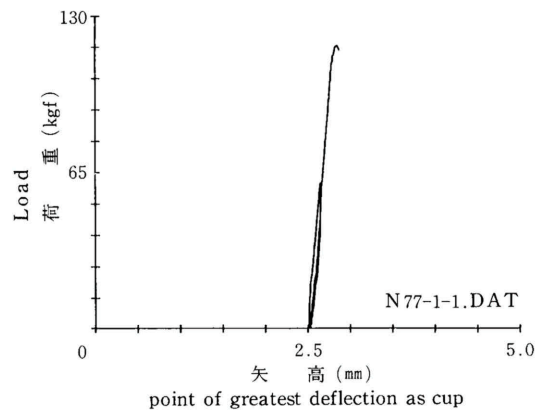
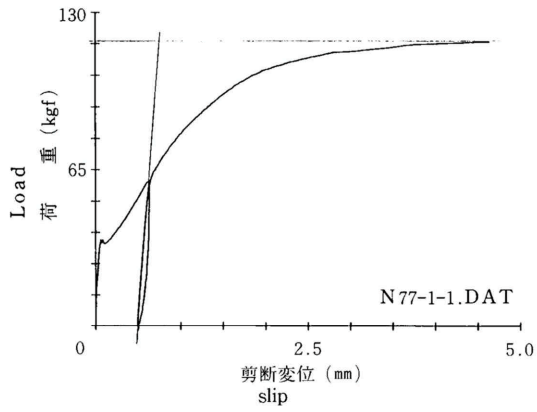


第15図 一面剪断曲線  
Fig.15 Load-slip curves

ヘッドスピード 0.1mm/min



釘 l = 38mm スクリュー釘  
打込量 19.72mm, 17.55mm

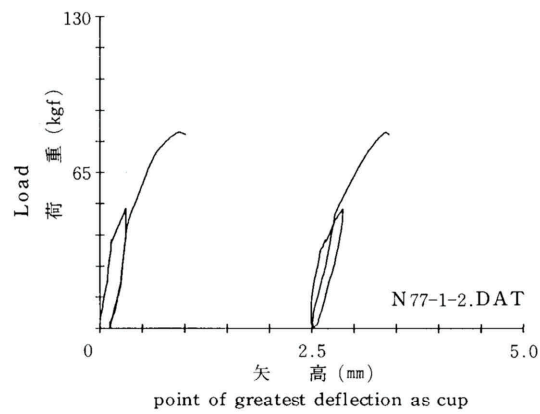
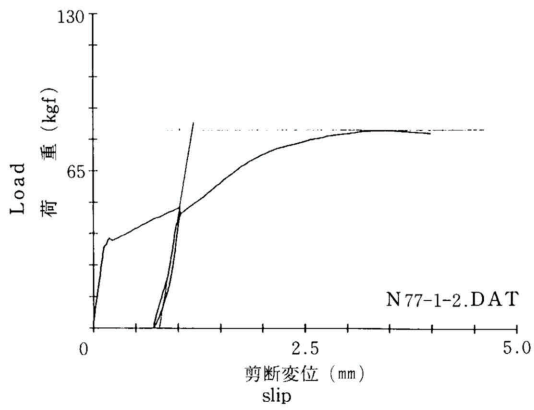


第16図 一面剪断曲線  
Fig.16 Load-slip curves

ヘッドスピード 0.1mm/min



釘 l = 38mm スクリュー釘  
打込量 26.67mm, 24.35mm

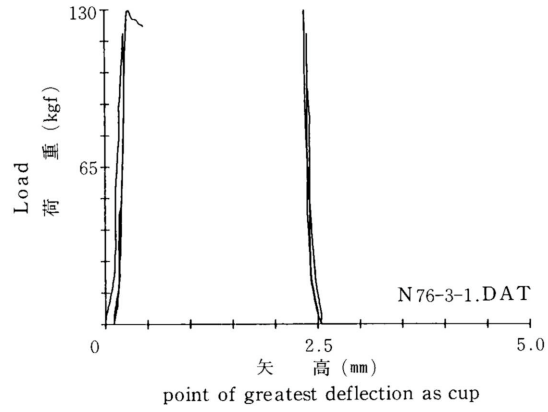
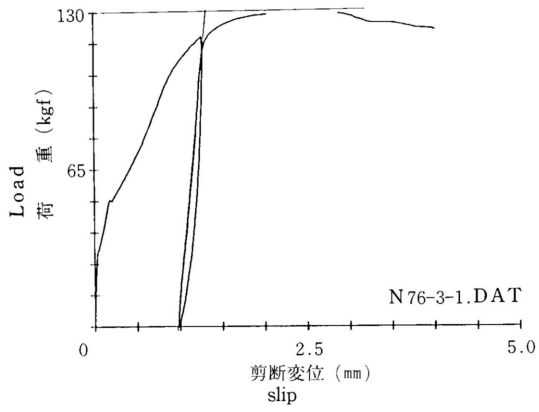


第17図 一面剪断曲線  
Fig.17 Load-slip curves

ヘッドスピード 0.1mm/min



釘 l = 38mm スクリュー釘  
打込量 17.76mm, 18.28mm

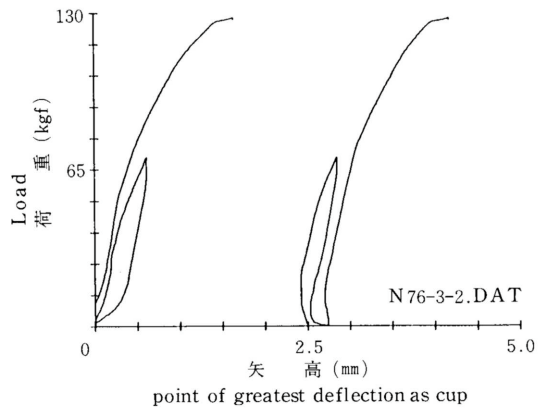
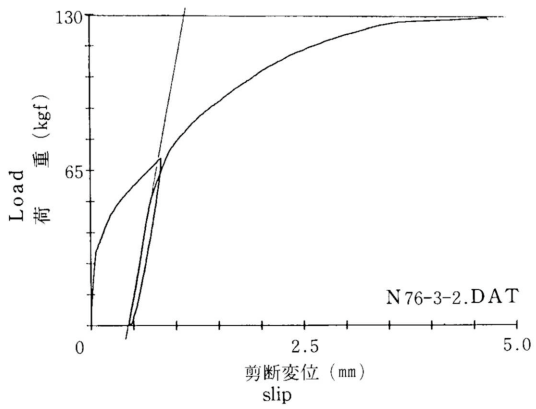


第18図 一面剪断曲線  
Fig.18 Load-slip curves  
ヘッドスピード 0.1mm/min



EL=112tf/cm<sup>2</sup>

釘 l = 45mm スクリング釘  
打込量 23.29mm, 22.90mm



第19図 一面剪断曲線  
Fig.19 Load-slip curves  
ヘッドスピード 0.1mm/min



EL=112tf/cm<sup>2</sup>

釘 l = 45mm スクリング釘  
打込量 21.71mm, 25.73mm

溝の無いものの傾斜が垂直に近く、裏溝を有するものの傾斜はやや小さい。全体的な姿は平井の示した一面剪断曲線よりもむしろ釘の引き抜き曲線に似ている。

裏溝の無いもの場合は、めり込みによるすべり曲線と引き抜き曲線の複合した姿と考えられ、特にその後期は引き抜き曲線の姿と考えられる。またその最大荷重値はヘッドスピードの速い一例を除き、引き抜き耐力の実験値 ( $l=38\text{mm}$  スクリュー釘で  $15\text{kgf/cm}$ ,  $l=45\text{mm}$  スタリング釘で  $20\text{kgf/cm}$ ) とその打ち込み量を考慮すると、最大引き抜き耐力を上回る値となっており、荷重の分力が釘に掛かっていると考えられる。したがって釘の引き抜きが支配的に起こっていると考えられる。

### 5.3.2 側板の形態の違いによる釘引き抜き機構の差

今回の実験例では裏溝を有するものの矢高の増加が大きく、裏溝の無いものはほとんど矢高の増加を生じない傾向が認められた。また釘を引き抜いた後のめり込み痕跡を見ると、裏溝が無いものは有するものに比較して大きい傾向となった。したがって、釘のめり込み量も大きかったと考えられる。しかし最大荷重については、釘の打ち込み量の差を考慮すれば一例を除きほぼ等しい値となった。また荷重 - 変位曲線の初期の傾きはほぼ同一の荷重に対して裏溝の有るものの方が小さかった。その理由としては、側板が曲げられて矢高を生じた分だけ釘のめり込みを生じる面圧応力が低下したものと考えられる。

これらのことから、この試験体の機構については裏溝の無いものは主に剪断力の分力による釘引き抜きで、裏溝を有するものは偏心軸圧縮による板の曲げを伴う、剪断力の分力による釘引き抜きと考えられる。

### 5.3.3 異種の釘を用いた場合の比較

今回は  $l=38\text{mm}$  のスクリュー釘と  $l=45\text{mm}$  のスタリング釘を使用した。この場合前者では生じなかったが、後者では最大剪断変位付近で裏溝を有する側板に大きな曲げ変形を生じた。変形そのものは弾性的なもので除荷後回復した。このことから、裏溝を有する側板の試験体では偏心軸荷重により曲げ力を生じていると考えられ、形態的には高湿度状態に暴露した試験体で見られたものとよく一致する。なお除荷後の釘の浮きは裏溝の有無に係わらずほぼ同程度のものではあった(写真3)。

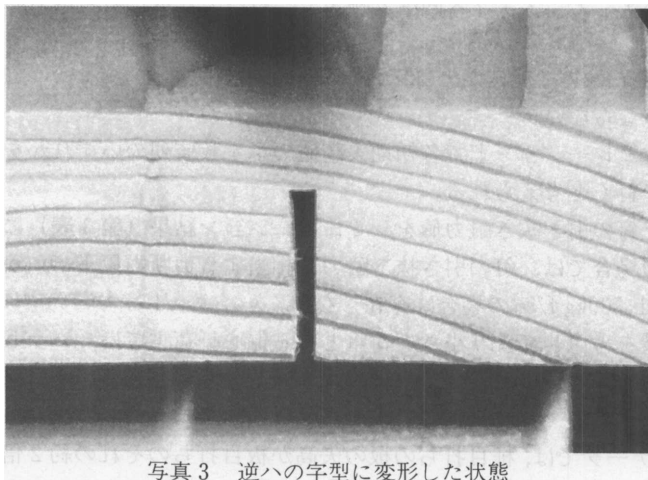


写真3 逆ハの字型に変形した状態

## 5.4 確認実験より得られた結果

前記三つの実験より得られた結果を再掲する。

無拘束の試験片の暴露実験から側板と同一形状の板では含水率の上昇量が1.3%と最大で



あった第1日目に、板が裏溝の入っていない木表側に凸になる変化が現れた。したがって極く初期に断面に偏平なアーチが現れる。この傾向は含水率の上昇が一定値に近づくにしたがって解消してくる。この現象と同様な傾向は暴露試験からも得られた。

釘を斜め打ちした一面剪断試験体を外力で加圧した試験から、釘には引き抜き力として剪断力の分力が掛かると推定される。また側板が裏溝をもつ場合、加わる力は偏心して曲げを伴う偏心軸圧縮の形で働く。

釘を斜め打ちした一面剪断試験体の暴露実験から、釘の引き抜きが起きていると考えられるデータと湾曲が進む現象が起きていると考えられるデータが得られた。

これらの結果から、先に述べたとおり偏平なアーチとして解く解法は相当程度有効と考えられる。また釘に関しては、発生する剪断力の分力に釘の引き抜き耐力が抵抗すると考えられる。側板に掛かる力は曲げを伴う偏心力であると考えられる。

以上の諸点を前提として、さらに実際に得られたデータについてシミュレーションとの突き合わせを以下に試みる。

### 5.5 シミュレーション結果との突き合わせ

アーチ式による剪断力の計算結果は、先に述べたとおりある含水率での板の内部に発生する応力の状態を、釘にかかる剪断力の値で表したものと考えられる。この値は中央荷重と考えられるが、同一含水率での偏心荷重条件の値よりも大きくなり含水率の条件に関して安全側の値と考えられる。

初期の矢高と含水率をパラメーターとしてそれぞれ実験に対応する剪断力の表をシミュレーションして求めた。この実験に対応するこの剪断力値表の上に、想定された釘保持力値と計算された限界荷重値の線を引き、三つの値と仮定との関係を検討した。

釘の斜め打ち一面剪断試験体の暴露試験のうち予備的に行ったno.1の試験体につき0%~2%までの含水率変化でシミュレーションを再度行い検討を加えた。EL = 140tf / cm<sup>2</sup> (u = 10.8%) の材料であるので、ジェンキンの式より $E_{RT45}$ の推定値は1,500kgf / cm<sup>2</sup>にあたる。 $E_{RT45} = 1,500\text{kgf} / \text{cm}^2$ ,  $h = 1.0\text{cm}$ ,  $b = 22.5\text{cm}$ , 含水率変化0%~2%の設定値でシミュレーションした結果を第3表に示す。データより矢高は2mmまで、釘の引き抜き耐力は剪断力換算で50kgfとする。

仮定によればno.1の試験体で起きたと推定される現象を説明できる領域がシミュレーション上で存在しなければならない。

実際の板はこのシミュレーション上で各初期矢高値の示す数値列のいずれかを經由して最終的な現象へと進んで行くと考えられる。

各条件の限界荷重と釘の引き抜き耐力値をシミュレーション結果(第3表)に線引きして示す。中央荷重座屈の場合では、釘の引き抜き耐力に相当する剪断力以下で、かつ座屈荷重以上の領域は $E_{RT45} = 1,500\text{kgf} / \text{cm}^2$ の場合に存在しない。

釘の固定条件と裏溝を考慮してより小さな荷重となる偏心軸荷重では、 $e = h$ の場合計算された限界荷重27.77kgfの線と釘保持力50kgfの線で挟まれた領域が含水率0.4%から0.6%の狭い部分として存在する。

暴露試験体no.1のデータでは、柵目打ちの板の矢高が柵目打ちのその約2倍となっている。またシミュレーション上で得られた重なり領域も含水率の幅からみるとかなり狭い。したがって柵目打ちの板の湾曲が進み、柵目打ちの板は釘が引き抜けている可能性は否定できない。

no.3の試験体でのシミュレーション結果との比較については、ジェンキンの式よりその側

板の縦ヤング係数が $118\text{tf/cm}^2$ となるので $E_{RT45}$ の推定値は約 $1,300\text{kgf/cm}^2$ となる。使用している釘は $l=45\text{mm}$ のスタリング釘であるので、引き抜き最大耐力は打ち込み深さを考慮して、斜め打ち込み一面剪断実験の値から剪断力換算で約 $70\text{kgf}$ とする。同じく境界荷重についてはno.1と同じく偏心荷重による限界荷重を用いる。

ここでシミュレーション上で釘の最大引き抜き耐力以下の発生剪断力の領域で、かつ偏心座屈荷重以上の領域が想定できれば座屈したという暴露実験での推定は成立しうることとなる。含水率変化は同じく $0\% \sim 2\%$ 、矢高 $2\text{mm}$ までの範囲内でシミュレーションを行いno.1と同様に釘引き抜き耐力値と限界荷重値を線引きした。シミュレーション結果を第4表に示す。

この結果、初期矢高 $2\text{mm}$ 、含水率上昇 $1.3\%$ の全領域に渡って板の座屈を想定しうる領域が十分な範囲で存在する。実際には板はこのシミュレーション上のいずれかの状態をたどって最終的な状態へ至るとするのだから、試験体no.3は予測どおり座屈が起こるという説明が十分に可能である。第11図に示した暴露実験のデータとも一致する。

no.2の試験体については板目板なので、横ヤング係数が $2 \sim 3\text{tf/cm}^2$ であることが実験からも推定され、かつ釘が $l=38\text{mm}$ のスクリー釘であることから釘の引き抜きが当然予測される。これについてもシミュレーションを行ったので第5表に示す。この結果、座屈を想定しうる重なり領域は含水率幅 $0.1\%$ から $0.2\%$ という非常に狭い部分にしか存在せず、シミュレーション上からも釘の引き抜きが予測された。

実際のヤング係数がより高い値の場合には明らかに二本の線で囲まれた領域は存在せず、釘は引き抜かれることが十分に予測できる。

## 6. まとめ

高湿度雰囲気暴露された時のパネルボードの挙動について、その固定している釘が引き抜かれるという現象の原因究明を行った。このため仮定を立てその解法を考え、さらにこれのシミュレーションを行い、その前提とシミュレーションの適合性の確認のためいくつかの実験を行った。

実験とシミュレーションの結果から以下のことが分かった。

裏溝を持つ板は高湿度雰囲気暴露されるとその含水率上昇により矢高を生じる。

裏溝を持つ板を釘により拘束して高湿度雰囲気暴露すると、その含水率上昇に伴う幅伸びにより発生する力を偏心軸荷重として受けて板は曲げられる。

含水率の上昇により発生する力は釘に対し剪断力として働き、その分力が釘を引き抜くと考えられる。

釘の引き抜き耐力以下で板の限界荷重以上の力が掛かったとき、板は座屈して固定される。

剪断力の値を得る方法として、初歩的な式であるか $2$ ヒンジ放物線アーチ式が適する。

これによりパネルボードの断面形状の設計が一応可能になったと考える。しかし、今回の確認実験は試験体数が少ないので、さらに同様の実験を行いデータを積み重ねる必要があると考えている。

さらに以下に述べる点が検討課題として残った。

アーチを形成するまでの過程が力学的に不明のままである。

板の横ヤング係数が曲げ試験による値でなく圧縮試験によるものでしか確認できなかった。

単純な矩形断面梁として扱っており、本来は板の年輪傾斜によるヤング係数の相違から

変断面梁として扱うべきと考えられる。この点が解明されれば、裏溝の形状を考慮することにより、等剛性の均質板材料の設計も可能と考えられる。

板断面を梁として単純化して扱っているが、本来は平面板として解かれるべきである。

釘固定は半剛節の問題と考えられるので、さらに詳細な検討が必要である。

今回は1枚の板の最も単純化したモデルを扱っており、本来は組み上げた壁面体として、多連節平面板の挙動の問題として考えるべきである。

初歩的な弾性論の範囲で取り扱ったが、暴露後セットのような凸型の変形が残る所から、粘弾性域や塑性域の問題を含んでいると考えられる。

これらの課題は今後機会をえてさらに検討して行きたいと考えている。

### 参考文献

- 1) チモシェンコ：材料力学，東京図書（1978）
- 2) 林業試験場：木材工業ハンドブック，丸善（1973）
- 3) 山本宏：未発表資料
- 4) 鷹部屋福平：構造力学，彰国社（1962）
- 5) 岡野健：湿気と内装，木材工業，Vol.42,2（1987）
- 6) 山井良三郎：木材の応力 - 歪曲線（第1報） - 横圧縮応力 - 歪曲線(1) - ，林業試験場研究報告，77（1955）
- 7) 沢田稔：木材の変形挙動，材料 - 別冊，32,359（1983）
- 8) 三城昭義：木材中の水分と寸法変化 - 木材の科学と利用技術 - 5．寸法安定化 - ，日本木材学会研究分科会報告書（1989）
- 9) 平井卓郎：木材接合部の基礎性能 - 1．木材と合板の1面剪断曲線(1) - ，北海道大学農学部演習林報告，44.4（1987）
- 10) 金森勝義：釘の引き抜き抵抗に関する研究 - 木材の含水率と経過時間による影響 - ，林産試験場研究報告，67（1978）

第3表 水分変化による剪断力  
Table 3 Simulated shearing stress on moisture increase

シヨキヤダカ f (mm)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2
0.1%	7.74	7.73	7.70	7.67	7.62	7.57	7.51	7.44	7.37	7.28	7.19	7.09	6.99	6.88	6.77	6.66	6.54	6.42	6.29	6.17
0.2%	15.45	15.42	15.37	15.31	15.22	15.11	14.99	14.85	14.70	14.53	14.35	14.16	13.95	13.74	13.52	13.29	13.05	12.81	12.56	12.31
0.3%	23.13	23.09	23.02	22.91	22.78	22.63	22.44	22.24	22.01	21.76	21.48	21.19	20.89	20.57	20.23	19.89	19.53	19.17	18.80	18.43
0.4%	30.78	30.72	30.63	30.49	30.32	30.11	29.87	29.59	29.28	28.95	28.59	28.20	27.80	27.37	26.92	26.47	25.99	25.51	25.02	24.52
0.5%	38.40	38.33	38.20	38.03	37.82	37.56	37.26	36.91	36.53	36.11	35.66	35.18	34.67	34.14	33.59	33.02	32.43	31.83	31.21	30.59
0.6%	45.99	45.90	45.75	45.55	45.29	44.98	44.62	44.21	43.75	43.25	42.71	42.13	41.52	40.89	40.22	39.54	38.83	38.11	37.38	36.64
0.7%	53.54	53.44	53.27	53.03	52.73	52.37	51.95	51.47	50.94	50.35	49.73	49.06	48.35	47.61	46.83	46.03	45.21	44.38	43.52	42.66
0.8%	61.07	60.95	60.76	60.49	60.14	59.73	59.25	58.70	58.09	57.43	56.71	55.95	55.14	54.30	53.41	52.50	51.57	50.61	49.64	48.65
0.9%	68.56	68.43	68.21	67.91	67.52	67.06	66.52	65.91	65.22	64.48	63.67	62.82	61.91	60.96	59.97	58.95	57.90	56.82	55.73	54.62

注記 ヤングリツ1.500kg/cm, ガンスイリツ0%~0.9%, ハリセ1.0cm, ハソバ 22.5cm

第4表 水分変化による剪断力  
Table 4 Simulated shearing stress on moisture increase

シヨキヤダカ f (mm)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2
0.1%	10.32	10.30	10.27	10.22	10.17	10.10	10.02	9.92	9.82	9.71	9.59	9.46	9.32	9.18	9.03	8.88	8.72	8.56	8.39	8.22
0.2%	20.60	20.56	20.50	20.41	20.29	20.15	19.99	19.81	19.60	19.38	19.14	18.88	18.60	18.32	18.02	17.71	17.40	17.08	16.75	16.41
0.3%	30.84	30.78	30.69	30.55	30.38	30.17	29.93	29.65	29.34	29.01	28.65	28.26	27.85	27.42	26.98	26.52	26.05	25.56	25.07	24.57
0.4%	41.04	40.96	40.83	40.65	40.42	40.14	39.82	39.45	39.04	38.60	38.12	37.60	38.06	36.49	35.90	35.29	34.66	34.02	33.36	32.70
0.5%	51.20	51.10	50.94	50.71	50.43	50.08	49.67	49.22	48.71	48.15	47.55	46.91	46.23	45.52	44.78	44.02	43.24	42.43	41.62	40.79
0.6%	61.32	61.20	61.00	60.73	60.39	59.97	59.49	58.94	58.33	57.66	56.94	56.18	55.37	54.52	53.63	52.72	51.78	50.82	49.84	48.85
0.7%	71.39	71.25	71.03	70.71	70.31	69.83	69.26	68.62	67.91	67.14	66.30	65.41	64.46	63.47	62.44	61.38	60.29	59.17	58.03	56.88
0.8%	81.42	81.27	81.01	80.65	80.19	79.64	79.00	78.27	77.46	76.57	75.62	74.60	73.52	72.39	71.22	70.01	68.76	67.48	66.18	64.87
0.9%	91.41	91.24	90.95	90.55	90.03	89.41	88.69	87.87	86.97	85.97	84.90	83.75	82.55	81.28	79.96	78.60	77.20	75.76	74.31	72.83

注記 ヤングリツ2.000kg/cm, ガンスイリツ0%~0.9%, ハリセ1.0cm, ハソバ 22.5cm

第5表 水分変化による剪断力  
Table 5 Simulated shearing stress on moisture increase

		シヨキヤダカ f (mm)																			
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2
0.1%		6.71	6.70	6.68	6.65	6.61	6.56	6.51	6.45	6.38	6.31	6.23	6.15	6.06	5.97	5.87	5.77	5.67	5.56	5.45	5.35
0.2%		13.39	13.37	13.32	13.27	13.19	13.10	12.96	12.87	12.74	12.60	12.44	12.27	12.09	11.91	11.71	11.51	11.31	11.10	10.89	10.67
0.3%		20.05	20.01	19.95	19.86	19.75	19.61	19.45	19.27	19.07	18.85	18.62	18.37	18.10	17.83	17.54	17.24	16.93	16.62	16.30	15.97
0.4%		26.68	26.63	26.54	26.42	26.27	26.09	25.88	25.64	25.38	25.09	24.78	24.44	24.09	23.72	23.33	22.94	22.53	22.11	21.68	21.25
0.5%		33.28	33.22	33.11	32.96	32.78	32.55	32.29	31.99	31.66	31.30	30.91	30.49	30.05	29.59	29.11	28.61	28.10	27.58	27.05	26.51
0.6%	含	39.86	39.78	39.65	39.48	39.25	38.98	38.67	38.31	37.92	37.48	37.01	36.52	35.99	35.44	34.86	34.27	33.66	33.03	32.40	31.75
0.7%		46.40	46.31	46.17	45.96	45.70	45.39	45.02	44.61	44.14	43.64	43.10	42.52	41.90	41.26	40.59	39.90	39.19	38.46	37.72	36.97
0.8%	水	52.93	52.82	52.66	52.42	52.12	51.77	51.35	50.88	50.35	49.77	49.15	48.49	47.79	47.06	46.29	45.50	44.69	43.86	43.02	42.16
0.9%		59.42	59.31	59.12	58.85	58.52	58.12	57.65	57.12	56.53	55.88	55.18	54.44	53.65	52.83	51.97	51.09	50.18	49.25	48.30	47.34
1.0%	率	65.89	65.76	65.55	65.26	64.89	64.44	63.92	63.34	62.68	61.96	61.19	60.37	59.49	58.58	57.63	56.65	55.64	54.61	53.56	52.49
1.1%		72.33	72.19	71.96	71.64	71.23	70.74	70.17	69.53	68.81	68.02	67.17	66.27	65.31	64.31	63.26	62.19	61.08	59.94	58.79	57.62
1.2%	△u	78.74	78.59	78.34	77.99	77.55	77.02	76.40	75.69	74.91	74.05	73.13	72.14	71.10	70.01	68.87	67.70	66.49	65.26	64.00	62.73
1.3%		85.13	84.97	84.70	84.32	83.84	83.27	82.59	81.83	80.99	80.06	79.06	78.00	76.87	75.69	74.46	73.19	71.89	70.55	69.20	67.82
1.4%	(%)	91.49	91.31	91.02	90.62	90.11	89.49	88.76	87.95	87.04	86.04	84.97	83.82	82.61	81.34	80.02	78.66	77.26	75.82	74.37	72.89
1.5%		97.82	97.64	97.32	96.89	96.34	95.68	94.91	94.03	93.06	92.00	90.85	89.63	88.33	86.97	85.56	84.11	82.61	81.07	79.51	77.93
1.6%		104.13	103.93	103.60	103.14	102.55	101.85	101.03	100.10	99.06	97.93	96.71	95.40	94.03	92.58	91.08	89.53	87.93	86.30	84.64	82.96
1.7%		110.41	110.20	109.85	109.36	108.74	107.99	107.12	106.13	105.03	103.83	102.54	101.16	99.70	98.17	96.57	94.93	93.23	91.50	89.74	87.96
1.8%		116.66	116.44	116.07	115.55	114.90	114.11	113.19	112.14	110.98	109.71	108.35	106.89	105.34	103.72	102.04	100.30	98.51	96.69	94.83	92.94
1.9%		122.89	122.65	122.26	121.72	121.03	120.20	119.23	118.13	116.90	115.57	114.13	112.59	110.96	109.26	107.49	105.65	103.77	101.85	99.89	97.90

限界荷重  
24.07kg

釘保持力

注記 ヤングリッヅ1,300kg/cm, ガンスイリッヅ0.1%~0.9%, ハリセイ10mm, スパン15.8cm, ハンズ22.5cm

## 付 録

パネルボードの含水率上昇による釘の  
引き抜きメカニズムに関する考察



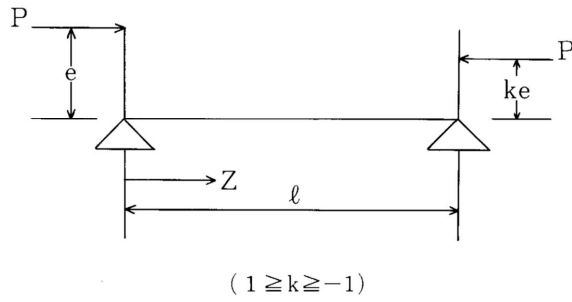


図1 偏心軸圧縮を受ける柱

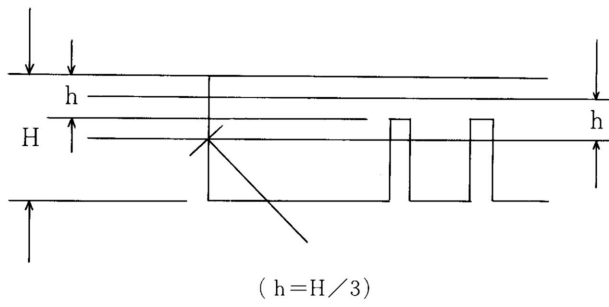


図2 実際の偏心量

偏心軸圧縮荷重

ヤング係数  $E = 1,500 \text{kgf/cm}^2$

f : ヤダカ (cm)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12
P : カジュウ (kgf)	1.77	3.49	5.15	6.76	8.32	9.83
f : ヤダカ (cm)	0.14	0.16	0.18	0.2		
P : カジュウ (kgf)	11.30	12.73	14.11	15.46		



### 付録3

#### アーチ式の解法

曲げモーメントおよび垂直応力を受ける構造物について仮想仕事を考えてみる。

今、外力Pによる変位を  $\delta$  , 内部応力  $\sigma$  によって生じる変形を  $\lambda$  , 部材の任意点における曲げモーメント 垂直応力をM, Nとする。同様にして、仮想外力P による変位, 内部応力, 変形, 曲げモーメント, 垂直応力を  $\delta'$  ,  $\sigma'$  ,  $\lambda'$  , M' , N' とする。

これらから次のような仮想仕事式をつくる。

$$\Sigma P' \delta = \int \sigma' \lambda' dV$$

ここに

$$\lambda = \frac{\sigma}{E} + \alpha t$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} y$$

ここで E : ヤング係数  
 $\alpha$  : 線膨張率  
 $t$  : 温度変化  
 A : 断面積  
 I : 断面二次モーメント

であるから

$$\lambda = \frac{N}{EA} + \frac{M}{EI} y + \alpha t$$

となる。

温度  $t$  は次のように表すことができる。

$$t = t_0 + \frac{\Delta t}{h} Z$$

ここで  $t_0$  : 中立面における温度  
 $h$  : 材せい  
 $\Delta t$  : 断面の上端と下端の温度差

したがって

$$\begin{aligned} \Sigma P' \delta &= \int \sigma' \lambda' dV \\ &= \int \sigma' \left\{ \frac{N}{EA} + \frac{M}{EI} y + \alpha \left( t_0 + \frac{\Delta t}{h} Z \right) \right\} dV \\ &= \int \frac{N}{EA} dx \int \sigma' dA + \int \frac{M}{EI} dx \int \sigma' y dA \\ &\quad + \int \alpha t_0 dx \int \sigma' dA + \int \alpha \frac{\Delta t}{h} dx \int \sigma' z dA \end{aligned}$$

ここで

$$\int \sigma' dA = N'$$

$$\int \sigma' z dA = M'$$

であるから

$$\Sigma P' \delta = \int \frac{N'N}{EA} dx + \int \frac{M'M}{EI} dx$$

$$+ \int \alpha t_0 N' dx + \int \alpha \frac{\Delta t}{h} M' dx \quad \dots\dots\dots(1)$$

となる。

(1)式は垂直応力および曲げモーメントを受ける構造物に対する仮想仕事の一般式である。これをアーチの場合に適用する。

第1図のようにアーチに任意の荷重が加わり、その合力を P, 両支点の反力を Va, Vb, Ha, Hb, それらの方向における変位を Va, Vb, ha, hb, 曲げモーメントおよび垂直応力を M, N とする。

垂直反力 Va, Vb は、支点 B および A に関するモーメントの釣合式から求めることができる。次にこのアーチで P が消失した状態に実荷重が働いた場合 (第2図) を考え、この場合の曲げモーメント、垂直応力を Mo, No とする。また、B 点に P = -1 のみが働き、他に一切の荷重が存在しない場合 (第3図) を考え、この場合の曲げモーメント、垂直応力を M', N' とする。

今、P = -1 の場合 (第3図) の荷重と応力および実状態 (第1図) の変位と変形を取り出し、仮想仕事の式を作ると

$$\Sigma P' \delta = H_{a1} \cdot h_a + 1 \cdot \delta$$

$$= \int \frac{M'M}{EI} ds + \int \frac{N'N}{EA} ds$$

$$+ \int \alpha t_0 N' ds + \int \alpha \frac{\Delta t}{h} M' ds \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで

第1図の状態 = 第2図の状態 - x · (第3図の状態)

故に

$$M = M_0 - x M'$$

$$N = N_0 - x N'$$

これらを(2)式に代入すると

$$H_{a1} \cdot h_a + 1 \cdot \delta = \int \frac{M'}{EI} (M_0 - x M') ds + \int \frac{N'}{EA} (N_0 - x N') ds$$

$$+ \int \alpha t_0 N' ds + \int \alpha \frac{\Delta t}{h} M' ds$$

$$= -x \left\{ \int \frac{M'^2}{EI} ds + \int \frac{N'^2}{EA} ds \right\}$$

$$+ \int \frac{M'M_0}{EI} ds + \int \frac{N'N_0}{EA} ds$$

$$+ \int \alpha t_0 N' ds + \int \frac{\Delta t}{h} M' ds$$

これを整理すると,

$$x \left\{ \int \frac{M'^2}{EI} ds + \int \frac{N'^2}{EA} ds \right\} = \int \frac{M'M_0}{EI} ds + \int \frac{N'N_0}{EA} ds \\ + \int \alpha t_0 N' ds + \int \alpha \frac{\Delta t}{h} M' ds \\ - H_{a1} \cdot h_a - 1 \cdot \delta$$

$x = -1$  による曲げモーメントおよび垂直応力は次のようになる (第4図参照)。

$$M' = 1 \cdot y = y$$

$$N' = 1 \cdot \cos\Psi$$

今  $I_c / (I \cos\Psi) = \omega$

$$A_c / (A \cos\Psi) = \nu$$

とおく。

また,  $ds \cos\Psi = dx$

であるから

$$\int \frac{M'^2}{EI} ds = \int \frac{y^2}{EI} ds = \int \frac{y^2}{EI_c} \frac{I_c}{I \cos\Psi} \cos\Psi ds \\ = \frac{1}{EI_c} \int \omega y^2 dx$$

$$\int \frac{N'^2}{EA} ds = \int \frac{\cos^2\Psi}{EA} ds = \int \frac{\cos^2\Psi}{EA_c} \frac{A_c}{A \cos\Psi} \cos\Psi ds \\ = \frac{1}{EA_c} \int \nu \cdot \cos^2\Psi dx$$

同様にして

$$\int \frac{M_0 M'}{EI} ds = \frac{1}{EI_c} \int M_0 \cdot \omega y dx$$

$$\int \frac{N_0 N'}{EA} ds = \frac{1}{EA_c} \int N_0 \cdot \nu \cos\Psi dx$$

$$\int \alpha t_0 N' ds = \alpha t_0 \int dx = \alpha t l$$

$$\int \alpha \frac{\Delta t}{h} M' ds = \alpha \cdot \frac{\Delta t}{h} \int \frac{y}{\cos\Psi} dx$$

実状態では支点の変位は0であるので,  $h_a = \delta = 0$  となる。

(3)式に上式の結果を代入し, 整理すると

$$x = \left\{ \int M_0 \omega y dx + \frac{I_c}{A_c} \int N_0 \nu \cos\Psi dx + EI_c \alpha \frac{\Delta t}{h} \int \frac{y}{\cos\Psi} dx \right\}$$

$$/ \left\{ \int \omega y^2 dx \left[ 1 + \frac{I_c}{A_c} \frac{\int \nu \cos^2\Psi dx}{\int \omega y^2 dx} \right] \right\}$$

$$r = 1 / \left[ 1 + \frac{I_c}{A_c} \frac{\int \nu \cos^2\Psi dx}{\int \omega y^2 dx} \right]$$

とおく。

今回の条件は温度(湿度)変化のみで, かつごく偏平なアーチの場合を考えているので

$$M_0 = N_0 = 0 \quad \nu = \omega = 1 \quad \Psi = 0$$

したがって

$$x = \frac{EI_c \alpha t_0 + EI_c \alpha \frac{\Delta t}{h} \int y dx}{\int y^2 dx} \times r$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{I_c}{A_c} \frac{l}{\int y^2 dx}}$$

アーチの形状を次のような放物線と仮定する。

$$y = \frac{4f}{l^2} (lx - x^2)$$

これから

$$\begin{aligned} \int y dx &= \frac{4f}{l^2} \int (lx - x^2) dx = \frac{4f}{l^2} \left[ \frac{l}{2} x^2 - \frac{x^3}{3} \right] \\ &= \frac{4f}{l^2} \left( \frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{3} \right) = \frac{2fl}{3} \end{aligned}$$

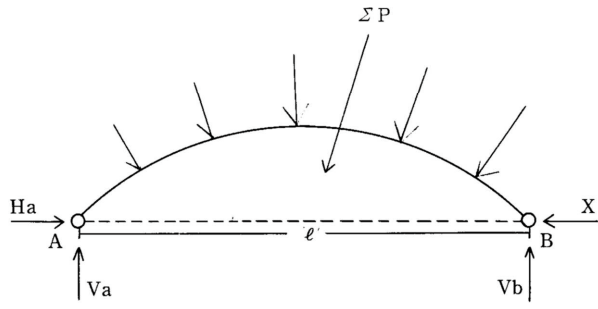
$$\begin{aligned} \int y^2 dx &= \frac{16f^2}{l^4} \int (lx - x^2)^2 dx = \frac{16f^2}{l^4} \int (l^2 x^2 - 2lx^3 + x^4) dx \\ &= \frac{16f^2}{l^4} \left[ \frac{l^2}{3} x^3 - \frac{l}{2} x^4 + \frac{x^5}{5} \right] = \frac{8f^2 l}{15} \end{aligned}$$

したがって

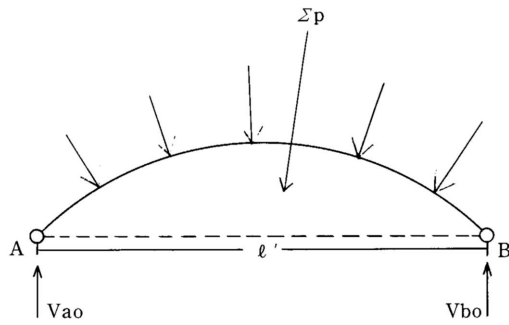
$$x = \frac{EI_c \alpha t_0 + EI_c \alpha \frac{\Delta t}{h} \frac{2f}{3}}{\frac{8f^2}{15}} \times r$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{I_c}{A_c} \frac{l}{\frac{8f^2 l}{15}}} = \frac{1}{1 + \frac{h^2}{12} \frac{15}{8f^2}} = \frac{1}{1 + \frac{5}{32} \left( \frac{h^2}{f} \right)}$$

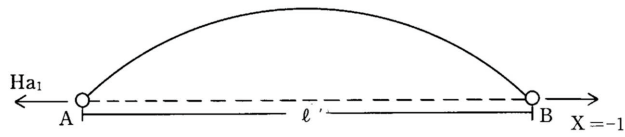
付録付図



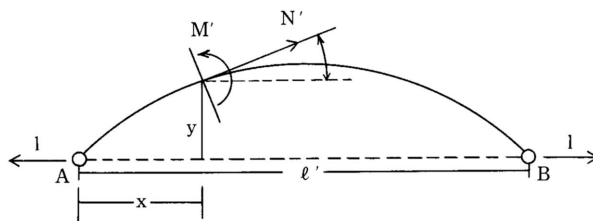
第 1 図  
Fig. 1



第 2 図  
Fig. 2



第 3 図  
Fig. 3



第 4 図  
Fig. 4

付表第1表 水分傾斜による剪断力  
Sub Table 1 Shearing stress on Moisture content slope

水分傾斜

ヤング率1,300kgf/cm, 梁セリ1.0cm, 幅22.5cm

f ヤダカ	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
H1 h=1.0cm	0.90	1.79	2.68	3.55	4.41	5.26
H2 (h/2)×2	1.79	3.55	5.26	6.89	8.43	9.86

0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13
6.09	6.89	7.68	8.43	9.16	9.86	10.52
11.16	12.33	13.37	14.28	15.07	15.73	16.28

0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2
11.16	11.76	12.33	12.87	13.37	13.84	14.28
16.72	17.07	17.34	17.53	17.65	17.71	17.73

水分傾斜

ヤング率1,500kgf/cm, 梁セリ1.0cm, 幅22.5cm

f ヤダカ	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
H1 h=1.0cm	1.03	2.06	3.09	4.10	5.09	6.07
H2 (h/2)×2	2.06	4.10	6.07	7.95	9.73	11.37

0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13
7.02	7.95	8.86	9.73	10.57	11.37	12.14
12.87	14.23	15.43	16.48	17.38	18.15	18.78

0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2
12.87	13.57	14.23	14.85	15.43	15.97	16.48
19.30	19.70	20.01	20.23	20.37	20.44	20.45

水分傾斜

ヤング率2,000kgf/cm, 梁セリ1.0cm, 幅22.5cm

f ヤダカ	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
H1 h=1.0cm	1.38	2.75	4.12	5.46	6.79	8.09
H2 (h/2)×2	2.75	5.46	8.09	10.61	12.97	15.16

0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13
9.37	10.61	11.81	12.97	14.09	15.16	16.19
17.17	18.97	20.57	21.97	23.18	24.20	25.04

0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2
17.17	18.09	18.97	19.80	20.57	21.30	21.97
25.73	26.75	26.68	26.97	27.16	27.25	27.27

付表第2表

Sub Table 2 Results of eccentric Buckling Load.

偏心軸圧縮荷重計算結果 (沢田の方法による偏心軸方向荷重と柱のたわみの関係表)

偏心量	e	1	1	1	1	1	1
スパン	l	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
ヤング率	E	1500	1500	1500	1500	1500	1500
梁せい	h	1	1	1	1	1	1
幅	b	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
断面係数	I	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
矢高	f	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
sec(a l /2)		1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
cos(a l /2)		0.9900990	0.9803921	0.9708737	0.9615384	0.9523809	0.9433962
a l /2		0.5486070	0.5566968	0.5645785	0.5722590	0.5797447	0.5870419
a		0.0694439	0.0704679	0.0714656	0.0724378	0.0733854	0.0743091
a l <sub>1</sub> /2		1	1	1	1	1	1
l <sub>1</sub>		28.800211	28.381696	27.985477	27.609875	27.253373	26.614599
パイπ	c	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
c * c		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
荷重	P	33.43	34.43	35.41	36.38	37.33	38.28
		1	1	1	1	1	1
		15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
		1500	1500	1500	1500	1500	1500
		1	1	1	1	1	1
		22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
		1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
		0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12
		1.07	1.08	1.09	1.1	1.11	1.12
		0.9345794	0.9259259	0.9174311	0.9090909	0.9009009	0.8928571
		0.5941567	0.6010948	0.6078619	0.6144632	0.6209040	0.6271892
		0.0752097	0.0760879	0.0769445	0.0777801	0.0785954	0.0793910
		1	1	1	1	1	1
		26.592308	26.285368	25.992745	25.713499	25.446767	25.191758
		3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
		39.21	40.14	40.04	41.94	42.82	43.70
		1	1	1	1	1	1
		15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
		1500	1500	1500	1500	1500	1500
		1	1	1	1	1	1
		22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
		1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
		0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
		1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19
		0.8771929	0.8695652	0.8620689	0.8547008	0.8474576	0.8403361
		0.6393121	0.6451588	0.6508681	0.6564442	0.6618910	0.6672124
		0.0809255	0.0816656	0.0823883	0.0830942	0.0837836	0.0844572
		1	1	1	1	1	1
		24.714063	24.490094	24.275270	24.069067	23.870998	23.680611
		3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
		45.40	46.24	47.06	47.87	48.66	49.45

偏心軸圧縮荷重計算結果 (沢田の方法による偏心軸方向荷重と柱のたわみの関係表)

偏心量	e	1	1	1	1	1	1
スパン	l	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
ヤング率	E	2000	2000	2000	2000	2000	2000
梁せい	h	1	1	1	1	1	1
幅	b	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
断面係数	I	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
矢高	f	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
sec(a l / 2)		1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
cos(a l / 2)		0.9900990	0.9803921	0.9708737	0.9615384	0.9523809	0.9433962
a l / 2		0.5486070	0.5566968	0.5645785	0.5722590	0.5797447	0.5870419
a		0.0694439	0.0704679	0.0714656	0.0724378	0.0733854	0.0743091
a l <sub>1</sub> / 2		1	1	1	1	1	1
l <sub>1</sub>		28.800211	28.381696	27.985477	27.609875	27.253373	26.614599
パイπ	c	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
c * c		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
荷重	P	44.58	45.90	47.21	48.50	49.78	51.04

1	1	1	1	1	1	1	1
15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
1	1	1	1	1	1	1	1
22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.13
1.07	1.08	1.09	1.1	1.11	1.12	1.13	1.13
0.9345794	0.9259259	0.9174311	0.9090909	0.9009009	0.8928571	0.8849557	0.8849557
0.5941567	0.6010948	0.6078619	0.6144632	0.6209040	0.6271892	0.6333237	0.6333237
0.0752097	0.0760879	0.0769445	0.0777801	0.0785954	0.0793910	0.0801675	0.0801675
1	1	1	1	1	1	1	1
26.592308	26.285368	25.992745	25.713499	25.446767	25.191758	24.947746	24.947746
3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
52.29	53.51	54.73	55.92	57.10	58.26	59.41	59.41

1	1	1	1	1	1	1	1
15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
1	1	1	1	1	1	1	1
22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.2
1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.2	1.2
0.8771929	0.8695652	0.8620689	0.8547008	0.8474576	0.8403361	0.8333333	0.8333333
0.6393121	0.6451588	0.6508681	0.6564442	0.6618910	0.6672124	0.6724122	0.6724122
0.0809255	0.0816656	0.0823883	0.0830942	0.0837836	0.0844572	0.0851154	0.0851154
1	1	1	1	1	1	1	1
24.714063	24.490094	24.275270	24.069067	23.870998	23.680611	23.497490	23.497490
3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
60.53	61.65	62.74	63.82	64.89	65.93	66.96	66.96



偏心軸圧縮荷重計算結果 (沢田の方法による偏心軸方向荷重と柱のたわみの関係表)

偏心量	e	1	1	1	1	1	1
スパン	l	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
ヤング率	E	1300	1300	1300	1300	1300	1300
梁せい	h	1	1	1	1	1	1
幅	b	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
断面係数	I	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
矢高	f	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
sec(a l /2)		1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
cos(a l /2)		0.9900990	0.9803921	0.9708737	0.9615384	0.9523809	0.9433962
a l /2		0.5486070	0.5566968	0.5645785	0.5722590	0.5797447	0.5870419
a		0.0694439	0.0704679	0.0714656	0.0724378	0.0733854	0.0743091
a l <sub>1</sub> /2		1	1	1	1	1	1
l <sub>1</sub>		28.800211	28.381696	27.985477	27.609875	27.253373	26.614599
パイπ	c	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
c * c		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
荷重	P	28.97	29.84	30.69	31.53	32.36	33.18
		1	1	1	1	1	1
		15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
		1300	1300	1300	1300	1300	1300
		1	1	1	1	1	1
		22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
		1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
		0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12
		1.07	1.08	1.09	1.1	1.11	1.12
		0.9345794	0.9259259	0.9174311	0.9090909	0.8928571	0.8849557
		0.5941567	0.6010948	0.6078619	0.6144632	0.6209040	0.6271892
		0.0752097	0.0760879	0.0769445	0.0777801	0.0785954	0.0793910
		1	1	1	1	1	1
		26.592308	26.285368	25.992745	25.713499	25.446767	25.191758
		3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
		33.99	34.78	35.57	36.35	37.11	37.87
		1	1	1	1	1	1
		15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
		1300	1300	1300	1300	1300	1300
		1	1	1	1	1	1
		22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
		1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
		0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
		1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19
		0.8771929	0.8695652	0.8620689	0.8547008	0.8474576	0.8403361
		0.6393121	0.6451588	0.6508681	0.6564442	0.6618910	0.6672124
		0.0809255	0.0816656	0.0823883	0.0830942	0.0837836	0.0844572
		1	1	1	1	1	1
		24.714063	24.490094	24.275270	24.069067	23.870998	23.680611
		3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
		9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596	9.8596
		39.35	40.07	40.78	41.48	42.18	42.86

頁	箇所	誤	正
6-9	第1表	ヤング率 $E \text{ kgf/cm}^2$	ヤング係数 $E \text{ tf/cm}^2$
6,8,9	第1表	$E L$	$E_L$
14	第2表	$E L$	$E_L$
14	第2表下段	フリー試験片	一面剪断加力試験体
19-22	第12-19図	$E L$	$E_L$
27,28	第3.4.5表	ヤングリツ	ヤング係数
27,28	注記	ヤングリツ $\text{kg/cm}$	ヤング係数 $\text{kgf/cm}^2$
27	第3表	第1列第7行 35.54	53.54
32	7行目	$\Sigma P' \delta = \int \sigma' \lambda dV$	$\Sigma P' \lambda = \int \sigma' \lambda dV$
32	20,26行目	$t_o + (\Delta t/h) Z$	$t_o + (\Delta t/h) y'$ 中立軸を原点とする材せい方向の座標を $y'$ とする。
32	28行目	$\int \alpha (\Delta t/h) dx \int \sigma' z d$	$\alpha (\Delta t/h) dx \int \sigma' y' dA$
33	23,25,26, 28,30行目	小文字 $x$	大文字 $X$
33	32行目	$\int (\Delta t/h) M' ds$	$\int \alpha (\Delta t/h) M' ds$
34	2行目	小文字 $x$	大文字 $X$
34	5,24行目	$x =$	$X =$
34	24行目	{ } 内	{ } 内挿入 $+ E I_o \alpha t_o / +$
35	1,11行目	$x =$	$X =$
35	8行目	$\int (x - x^2)$	$\int (X - x^2)^2$
35	11行目	$2 f / 3$	$2 f l / 3$
36	第4図		任意の点の垂直応力 $N'$ の なす角度 $\phi$
37	付表第1表	ヤング率 $\text{kgf/cm}$	ヤング係数 $\text{kgf/cm}^2$
38	付表第2表	ヤング率	ヤング係数