

(昭和 21 年 5 月造船協会春季講演会に於て講演)

## 釘 の 一 設 計 法

正員 工 学 士 原 田 正 道\*

Abstract.

Suggestive design of nails.

By Masamichi Harada, *Kogakushi, Member.*

If we connect two lapping timbers by nails and apply them a load which acts on nails as the shearing force, the apparent slip between two timbers is proportional to the load. But naturally there is a limit of proportion on the relation of slip and load, and if the load goes over the limit, the slip becomes gradually remarkable.

By our experimental investigation, we found that the relation of slip and load has a proportional limit, when the maximum bearing pressure about nail-holes attains the proportional limit of bearing of timbers. Then we may propose a principle of design of connection by nails as following procedure.

At first we must obtain the proportional limit of bearing of the timbers by the material test, then we assume most suitable safety-factor and decide an allowable bearing pressure;—this safety-factor may be nearly equal to the unit and be more or less than the unit.

Secondly, making the maximum bearing pressure equals to the allowable bearing pressure, we can calculate the safe loads for nails;—when the maximum bearing pressure is connected with the safe loads by a theory of elasticity.

## 1) 緒 言

私共が一口に釘と申しているものにも、明らかに区別される二通りの使い方があります。その一つは、羽目板を棧に打ちつけたり、簞笥の角に金物を打ちつけたりする時の様に、釘がしつかりと木に喰い込まれて抜け出さず、打つた板が剥れないことが目的となるものでありまして、その為には板の厚さに応じて釘を選ぶことは勿論、或いは「心持ち斜めに釘を打つ」と云う技巧を要し、或いは特に重要な処には逆刃釘を用うるなどのことも致します。いまひとつは、木造框構造物の接手であるとか、木船の縦強度材の接手であるとか、或いは又木船の外板と肋骨との固着であるとかの様に、釘の剪断力を介して一方の部材から他の部材へ、と力を伝えようとするものであります。唯今から申し述べようと致しますのは、その後者の働き方をする釘に就いてであります。その様な釘に関しては建築の方面で夙に研究が進められておりまして、今更ここに事新しく取り上げる迄もないことかもしれませんが、造船の方面に於ては今迄あまり論じられておらぬようでありましたし、又最近愈々盛んにならうと致しております木船の研究方面にとつて、何か手近な御参考にもなるかと存じましたので、一昨年の暮から昨年の初夏に掛けて行つた実験の御報告を致して見ようと思ひ立つたものであります。然し乍ら実を申しますと、この実験は未だ中途でありまして今後ももう少し調べなければならぬ点も残つておりますのでありますが、私独りで温めておりますよりは、兎にも角にも到達し得ました処迄でも一応皆様の御目にかけて、御参考にも供し、御教示も仰ぎ、且つは又、同じ道を歩まれる方々と手を取り合つて研究を進捗致したいと考えましたので、中途半端を顧みず此処に持ち出した次第であります。

この実験は私の手許に勤労働員で来てもらつておりました当時の第二工学部船舶三年生の、川上精、小松竜造、鶴田彰介、藤波徳雄、船尾洋二の諸君に依りまして、ようやく激化しつつありました空襲の下に、將に息絶えんとする僕型下請工場を鞭打ちつつ、強引に完了致したものであることを報告させて頂き、之等諸君の並々ならぬ

\* 東京大学助教授 (第二工学部)

努力と、不撓不屈の精神に深甚の感謝と敬意とを表したいと存じます。

2) 実験の概要

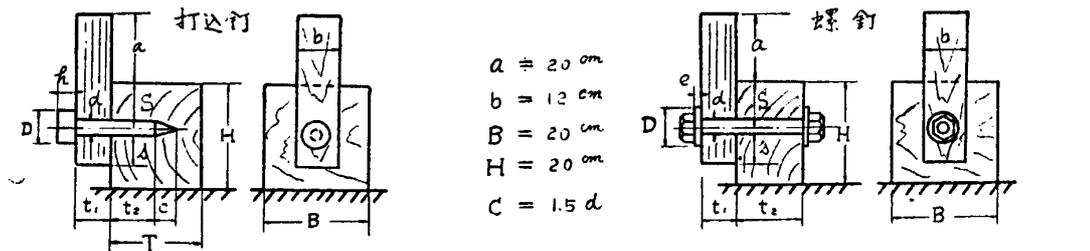
由来、木材は自然の環境に応じて生育し来つたものでありますので、その組織は常に相当に不均一であることは衆知の事柄であります。それ故に、極めてよく選択せられた粒選りの優秀な材料を使つて、極めて明確に且精巧に纏め上げられた実験があつたとしましても、もしそれが余りに実物から隔たつた寸法の模型で行われたものであつたならば、必ずしも実際の木材構造物の計画に応用し得る数値を与えているとは限りません。そこで屢々木材の実験に於ては、成る可く実物に近い材料と寸法との模型を用うべきであるという主張が為されるのでありますが、その場合には材料を揃えることの困難さの為に実験そのものとしては非常な混乱を伴つてやり難いものになつて参ります。

この実験は、木船の外板を肋骨に固着する釘の破損状況を調べて、その設計の方法を考究することが目的でありましたので、模型の形状と寸法とは第1表に示しました様に、成る可くその実状に近いものに致しましたが、その為に模型の寸法は相当大きなものとなり、色々と工合の悪いことが起りました。それに就きましては折に触れて申し述べることに致します。

模型は第1表の図に示してありますように、二箇の木材を一本の釘で固着したものでありまして、図の四角い方の木材、以下之を話の都合上肋骨と称することに致しますものを、アムスラー型 50 噸万能試験機の固定部へしつかりと固定させまして、図の細長い方の木材、以下之を外板と称しますものの上端を試験機の遊動部で掴み、上方へ引張り上げ、荷重と、二箇の木材の相対的な送り量とを測定致したのであります。模型を掴む金物は第1図に示してあります。送り量は最初に釘が打たれました肋骨上の点と、外板上の点との移動量を、ダイヤルゲージで測定致しました。荷重は極く大きな時でも3噸を超えませんが、50 噸型の試験機では精度の点から極めて遺憾でありましたが、小型の試験機では懐が狭くて、これだけの寸法の模型を入れることが出来ません。止むを得ず之を用いましたがもつと能力の低い、しかも懐の大きな試験機の必要を、薄板構造物の実験の時と同様に、この場合にも亦痛感されるのであります。

外板は幅 12 cm に一定致し、厚さは主として 5 cm、たまに 3 cm と、7 cm のものを混ぜております。その繊維は板の長手の方向、即ち荷重の方向に走つております。肋骨は高さ及び幅共に 20 cm で、厚さは釘の長さ

第 1 表



- $a \approx 20 \text{ cm}$
- $b = 12 \text{ cm}$
- $B = 20 \text{ cm}$
- $H = 20 \text{ cm}$
- $C = 1.5 d$

| 釘径 d | 釘頭 D | 板厚 t <sub>1</sub> | 打込深さ t <sub>2</sub> /t <sub>1</sub> | 板端余肉 s/d          | 個数  |
|------|------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|-----|
| 8    | 13   | 8                 | 3   1.25 1.5 1.75                   | 1.5 2 2.5 3       | 32  |
|      |      | 5                 | 1.25 1.5 1.75                       | 1.5 2 2.5 3       | 32  |
| 10   | 16   | 10                | 3   1.5 2                           | 2 2.5 3           | 18  |
|      |      | 5                 | 1.25 1.5 1.75 2 2.5                 | 1.5 2 2.5 3 3.5 4 | 72  |
|      |      | 7                 | 1.5 2                               | e 2.5 3           | 18  |
| 13   | 19   | 13                | 5   1.25 1.5 1.75                   | 1.5 2 2.5 3       | 32  |
| 16   | 25   | 16                | 5   1.25 1.5 1.75                   | 1.5 2 2.5 3       | 32  |
| 19   | 31   | 19                | 5   1.25 1.5 1.75                   | 1.5 2 2.5 3       | 32  |
| 22   | 35   | 22                | 3   1.5 2                           | 2 2.5 3           | 18  |
|      |      | 5                 | 1.25 1.5 1.75 2 2.5                 | 1.5 2 2.5 3 3.5 4 | 72  |
|      |      | 7                 | 1.5 2                               | 2 2.5 3           | 18  |
| 25   | 40   | 25                | 5   1.25 1.5 1.75                   | 1.5 2 2.5 3       | 32  |
| 計    |      |                   |                                     |                   | 408 |

| 釘径 d | 座金径 D | 厚 e | 板厚 t <sub>1</sub> | 打込深さ t <sub>2</sub> /t <sub>1</sub> | 板端余肉 s/d | 個数  |
|------|-------|-----|-------------------|-------------------------------------|----------|-----|
| 10   | 32    | 16  | 3                 | 5   1.5 2                           | 1.5 2.5  | 24  |
| 13   | 40    | 20  | 3.5               | 5   1.5 2                           | 1.5 2.5  | 24  |
| 16   | 50    | 25  | 4                 | 5   1.5 2                           | 1.5 2.5  | 24  |
| 19   | 62    | 31  | 4.5               | 5   1.5 2                           | 1.5 2.5  | 24  |
| 22   | 70    | 35  | 5                 | 5   1.5 2                           | 1.5 2.5  | 24  |
| 25   | 80    | 40  | 6                 | 5   1.5 2                           | 1.5 2.5  | 24  |
| 計    |       |     |                   |                                     |          | 144 |

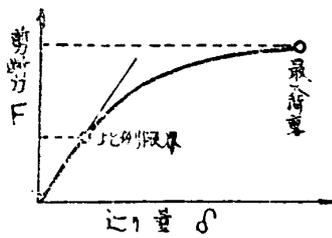
木取標準

| 板端余肉 s    | 打込深さ t <sub>2</sub> | T  |
|-----------|---------------------|----|
| 1.2 ~ 2.4 | 3 ~ 5               | 8  |
| 2.4 ~ 4.0 | 6 ~ 7.5             | 12 |
| 4.0 ~ 6.0 | 8.7 ~ 12.5          | 16 |
| 6 ~       | 1.4 ~               | 20 |

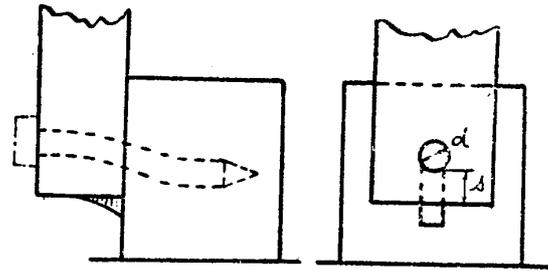
ボルト及びナットの寸法は JIS 規格による。



線的の關係を示しておりますが、ある荷重（以下之を固着部の比例限界と稱することに致します）を超えますと、送り量は漸く著しくなり始め、遂に最大荷重に到つて全く破損し去るのであります。



第 2 図



第 3 図

比例限界以下に於ては、模型の外観に何等の変化も認められませんが、之を超えてより最大荷重に到る間に於ては種々雑多の現象を呈します。

先ず最も普通に起るのは、釘と外板端末の間の余肉の部分が、釘の径よりはやや狭い幅の楔状になつて抜け出すものでありまして、その抜け出し方は第3図の様に、始めは外板と肋骨との接触部の方から抜け出して、漸次釘の頭の方に及ぶものであります。

次に多いのは、外板の釘孔から材端にかけて亀裂が入るものであります。大体に於て余肉の長さ  $s$  の少いものは前者の「抜け」を示し、 $s$  の多いものは後者の「割れ」を示すことが多い様に見受けられました。

其他、比例限界を超えますと釘の撓曲が著しくなつて参ります為めに、釘に引張力が働いて釘が抜け出したり、釘の頭が取れたり、又或時には肋骨の方が釘孔を起点として水平に裂けたり致したのもありましたが、之等の最後の破壊の状況は凡ね突然変異的で、模型の寸法等と格別の系統だつた事柄を認めることは出来ませんでした。

尚、念の為に、二、三の模型を選びまして、比例限界に達したか達せざるかの処で実験を中止し、木を割つて釘孔の内部を調べたものがありますが、未だその範囲では釘も永久歪を起してはおらず、釘孔も永久凹みを生じてはおらない様に見受けられました。

之等の破壊状況から見まして、これらの実験結果を解析する為には、次の様な材料試験を行つて置く必要があることがわかりました。

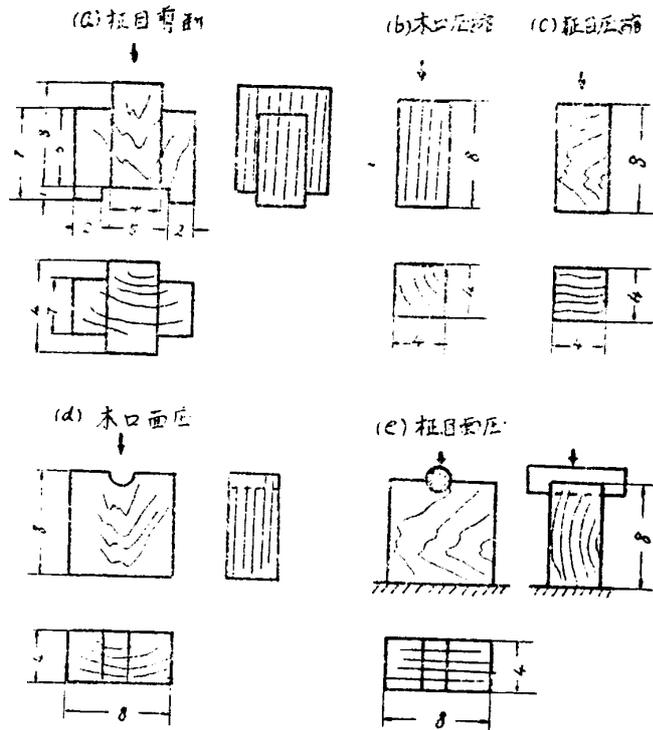
- (イ) 釘が永久歪を起す点、即ち曲げ降伏点
- (ロ) 木材が楔形に抜け出す点、即ち剪断強さ
- (ハ) 木材が面圧力で永久凹みを起す点、即ち面圧比例限
- (ニ) 木材が面圧力で破損する点、即ち面圧強さ
- (ホ) 釘のヤング係数
- (ヘ) 木材の面圧力と局部的凹み量との關係を与える係数

之等の値を求めて、材料の機械的性質を明らかにする為に、使用した木材約 130 本の一本毎に第4図の様な試験片を各種類二箇宛作つたのであります。

第4図 (a) は柃目の面で剪断が起る様に木取りされた剪断試験片であります。之は第3図の様に余肉が「抜け」出す時が柃目の剪断でありますから、之に対応する形に致したわけであります。実験値の大要を知る為に第5図の如き頻度図を作りました。横軸に色々の値をとり、縦軸にその値が生じた回数を示したものであります。この図の山の高い所が大体この実験に使用した松材の性質を代表するものと考えて差支えないと思ひ、以下之を標準値と稱することに致します。柃目剪断試験の結果、標準値として、含水率 20%、全乾比重 0.45、剪断強さ  $70 \text{ kg/cm}^2$  でありました。

(b) 及び (c) は圧縮試験片であります。圧縮試験は直接にはこの実験に必要ではありませんが、木材の性質を最も簡単に調べようとする時に屢々用いられるものでありますから、此処にもそれを行つて置くことに致したものであります。圧縮試験は、(b) の様に木口から力を掛けるものと、(c) の如く柃目の面から力を加えるものとの二通りを行いました。それは後に述べます処の面圧試験と対応させるものであります。尚、圧縮試験としては更に板目の面から力を加えるものを付け加えれば總べての場合を包含することが出来るものであります。標準値は面圧試験と一括して後に述べることに致します。

材料試験片圖 單位 cm



第 4 圖

材料試験成績一覽表

|      | 含水率 % | 容積比重 | 比例限 $Kg/cm^2$ | 強さ $Kg/cm^2$ | E $Kg/cm^2$ | $W_p$ $cm^3/Kg/cm^2$ |
|------|-------|------|---------------|--------------|-------------|----------------------|
| 柱目剪割 |       |      |               |              |             |                      |
| 木口圧縮 |       |      |               |              |             |                      |
| 柱目圧縮 |       |      |               |              |             |                      |
| 木口面圧 |       |      |               |              |             |                      |
| 柱目面圧 |       |      |               |              |             |                      |

第 5 圖

(d) 及び (e) は面圧試験片であります。之は (e) に示します様に試験片の表面に穿つた半円筒形の凹みに軟鋼丸棒を挿入し、その上から一様な圧縮力を加えて、面圧力  $p$  と孔の局部的凹み量  $u$  とを測定するものであります。この時の面圧力とは棒の径と、凹みの長さとの積で荷重を割つたもの、即ち平均の値を以て云うことに致します。

これも (d) の様に木口の面で、而も年輪に直角に凹みを作つたものと (e) の如く柁目の面で、而も年輪に直角に凹みを作つたものを行います。(d) の方は外板の釘孔、(e) の方は肋骨の釘孔の状況に応じたものであります。試験の結果含水率や比重は大體 (a) と同程度であり、其他の性質の標準値は第2表の如くでありました。

柁目面圧又は柁目圧縮の場合には、比例限は明瞭に現われず、又ずるずると如何程にも縮みます為に破壊強さを求めることが困難であります。

第2表

|      | 比例限<br>kg/cm <sup>2</sup> | 強さ<br>kg/cm <sup>2</sup> | ヤング係数<br>kg/cm <sup>2</sup> | $u/p$<br>cm/kg/cm <sup>2</sup> |
|------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 木口圧縮 | 200                       | 350                      | 100,000                     | —                              |
| 木口面圧 | 200                       | 350                      | —                           | 0.00015                        |
| 柁目圧縮 | 12                        | —                        | 2,500                       | —                              |
| 柁目面圧 | 100                       | —                        | —                           | 0.0010                         |

ここで一寸興味のある事柄に觸れて置きたいと思ひますが、それは第2表でわかります様に、木口圧縮と木口面圧とは、比例限も、強さも、共に殆んど一致していることであります。木口圧縮とは、木口全体に一様な面圧力が加わつた場合とも考えることが出来ますが、それと木口のある一部分に面圧力の加わる場合とが殆んど等しい性質を示すと云うことは、恐らく、木材の柁目剪断が非常に弱い為に局部的に面圧力を受けると、その部分はずくに剪断の為に他の部分より独立してしまい一様圧縮と同等なものになつて仕舞う為ではないかと考えられます。何はともあれ、この事柄に依つて、比較的面倒な面圧試験を省略して、簡単な圧縮試験で間に合わせる事が出来ると云うことになりますので、実用上誠に便利なことになつたわけでありませぬ。

このことは柁目圧縮と柁目面圧との間では成立致しません。それは繊維に直角な面で木材を剪断すると云うことは殆んど不可能でありますので、面圧試験の釘の附近が独立せず、圧縮試験と同等にならないからであると考えることが出来ましよう。

次に釘材は、その各径毎に3本宛の試料を採り、自由長 20 cm、両端支持、中央集中荷重の曲げ試験を行いました。その平均として、曲げ降伏点 5,400 kg/cm<sup>2</sup>、曲げヤング係数 1,990,000 kg/cm<sup>2</sup> を得ました。これは全く軟鋼の普通の値であります。

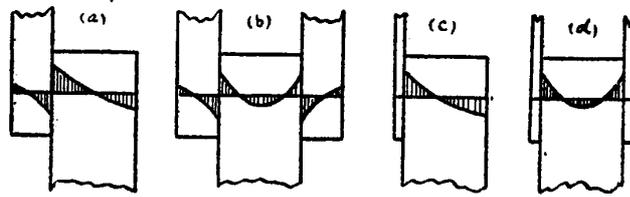
#### 4) 試験成績の解析

前項で述べました如く、最大荷重点に於ては破壊の状況が区々まちまちで、而も格別系統だつた状況を認められませんので、その点は何故に生ずるかを論ずることは可なり困難の様に思われます。そこで先ず、比例限界が何故に起るものであるかを検討して見ることに致します。比例限界を超えると迂り量が急激に増大致しますが、二つの部材を固着すると云うことの目的からしましても、あまり迂り量の大きくなると云うことは好ましいことではありません。又木船の縦強度材と肋骨等との固着部の変形が大きいことは直接に木船の撓みの増大を意味することにもなり、或いは又その縦強度材の接手のことを考えると、接手が適当に避距されている場合には、ある接手の迂り量が、その附近の健全な部材の伸び量に較べて大きくなれば、その接手が分担する力は小さくなりますから、比例限界を超えれば最早之に加わる力は殆んど増加せず、最高荷重点まで進展することはないと思われませぬ。又斯様な場合には、比例限界が高く、比較的高い荷重まで迂りが少く、従つて分担し得る荷重が大きなもの程、その接手の効率が良いと考える可きでありますから、この比例限界点を検討すると云うことは、極めて重要な事柄であるものと考えられるのであります。

前に述べました如く、比例限界以下である場合には、釘も、亦釘孔も、永久歪を起しておりませぬ。従つてこれらの固着部に弾性理論を応用して、釘孔の面圧力の分布とか、釘の曲げ応力の分布とか、二材の迂り量とかを

求めることが出来ます。色々な固着法を行つた場合の面圧力の分布を模型的に示しますと第6図の様になります。

この(a)図の場合の理論計算の詳細は、私が以前に造船学会会報第75号「木船の縦強度第2報」に述べま



釘孔の面圧力分布

第6図

した。其他の(b), (c)及び(d)等の場合も同じ様にして計算することが出来ますが、先ず普通には(a)の場合だけで殆んど用が足りますので、以下簡単にその結果のみを繰返すことに致します。

この実験の場合の面圧力の分布は(a)図の如くなり、外板と肋骨との接触面に大きな値を生じます。之を外板内で $p_1$ 、肋骨内で $p_2$ とし、二材のり量を $\delta$ 、釘に生ずる最大曲げ応力を $\sigma_2$ としますと理論計算より次の式が導かれます。

$$p_1 = \textcircled{1} p_m \quad (1)$$

$$p_2 = \textcircled{2} p_m \quad (2)$$

$$\delta = \frac{\alpha}{E} \textcircled{3} p_m ; \text{但し } \textcircled{3} = \textcircled{1} + \textcircled{2} \quad (3)$$

$$\sigma_2 = \frac{b d^3}{4 I_s} \frac{\textcircled{4}}{(md)^2} p_m \quad (4)$$

茲に $p_m$ は外板内での平均面圧力で次式で定義されるものであります。

$$p_m = \frac{F}{b t_1} \quad (5)$$

之等の式で、 $t_1$ は外板の厚さ、 $b$ は釘の面圧力を受ける幅、 $d$ は $b$ に直角に測つた釘の厚さ(丸釘ならば当然 $d=b$ であります)、 $I_s$ は釘の断面の慣性モーメントで、丸釘又は楕円釘ならば $\frac{\pi}{64} b d^3$ 、角釘又は平釘ならば $\frac{1}{12} b d^3$ であります。又 $md$ は次式で定義されるものであります。

$$md = \sqrt[3]{\frac{E b d^4}{4 E_s I_s \alpha}} \quad (6)$$

$E$ は木材の圧縮ヤング係数、 $E_s$ は釘材の曲げヤング係数で、先ず $E_s/E=25$ 位の程度であります。 $\alpha$ は面圧四み係数と名付けたもので、面圧試験及び圧縮試験の結果より、

$$\alpha = \frac{u}{p} E \quad (7)$$

で計算されますが、先ず総べての木材を通じて14cm位と考えて差支えありません。従つて $md$ は釘の断面の寸法、及び釘材と木材の性質が定まれば決定される量でありますが、 $E_s/E=25$ 、 $\alpha=14$ cmの場合には第3表に依つて釘の厚さ $d$ に応じて直ちに求めることが出来ます。 $E_s/E$ や $\alpha$ がこの値から多少異つても $md$ の値には大した変化は生じません。

係数 $\textcircled{1}$ 、 $\textcircled{2}$ 及び $\textcircled{4}$ 等は、肋骨内への釘の打込み深さ $t_2$ と外板厚 $t_1$ との比 $t_2/t_1$ 、及び $mt_1 = md \times \frac{t_1}{d}$ の函数でありまして、第9図乃至第11図より直ちに求めることが出来ます。

尙破損に到る道程で最も普通に起る処の材端余肉の「抜け」は、外板と肋骨との境から順次に起り始めますが、之はその附近の最大面圧力 $p_1$ に依つて、余肉部に生ずる剪断応力 $\tau_1$ が木材の剪断強さを突破する為であると考えられますので、 $\tau_1$ の値を次の式で推察することに致します。

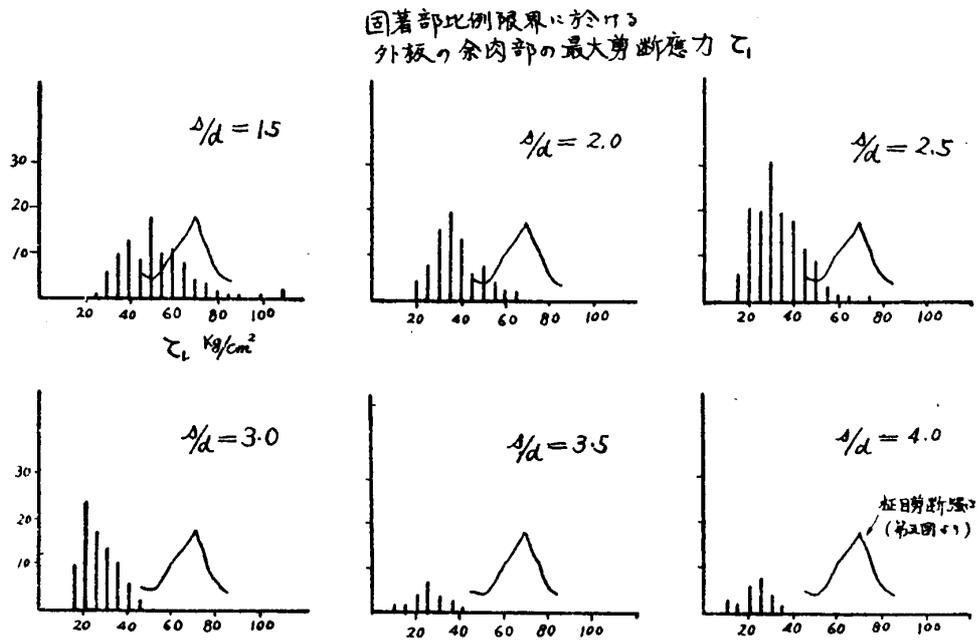
$$\tau_1 = \frac{b}{2s} p_1 \quad (8)$$

固着部の比例限界に於ける外板内の平均面圧力  $p_m$  を実験から求めますと、(1)式乃至(8)式に依つて  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $\tau_1$ ,  $\sigma_2$  等を計算することが出来ます。個々の結果を記録することは余りに冗長に過ぎますので省略致しますが、この実験は第9図乃至第11図の係数図の殆んど全領域を網羅していることを付け加えて置きます。

扱て、固着部の比例限界は、これらの  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $\tau_1$ ,  $\sigma_2$  等の何れかが、木材の面圧比例限、剪断強さ、或いは釘材の曲げ降伏点、等に達したことに依つて生ずるものであろうことは想像するに難くはありませんが、一体その何れが真の原因であるものか、以下一つ一つ考察を加えることに致します。

先ず釘に生ずる最大曲げ応力  $\sigma_2$  は実験を通じて、何れも 800 乃至 3,500 kg/cm<sup>2</sup> の間に留まり、釘の曲げ降伏点 5,400 kg/cm<sup>2</sup> には尙相当の隔りがありますので、固着部の比例限界が釘の曲げ降伏に依るものでないことは明らかであります。

次に材端余肉部の剪断応力  $\tau_1$  に就いて考えましょう。実験成績から各々の  $s/b$  毎に  $\tau_1$  の頻度図を描いて見ますと第7図の如くなります。図中実線で示した曲線は、この木材の柢目剪断試験で得た剪断強さの頻度図を



第7図

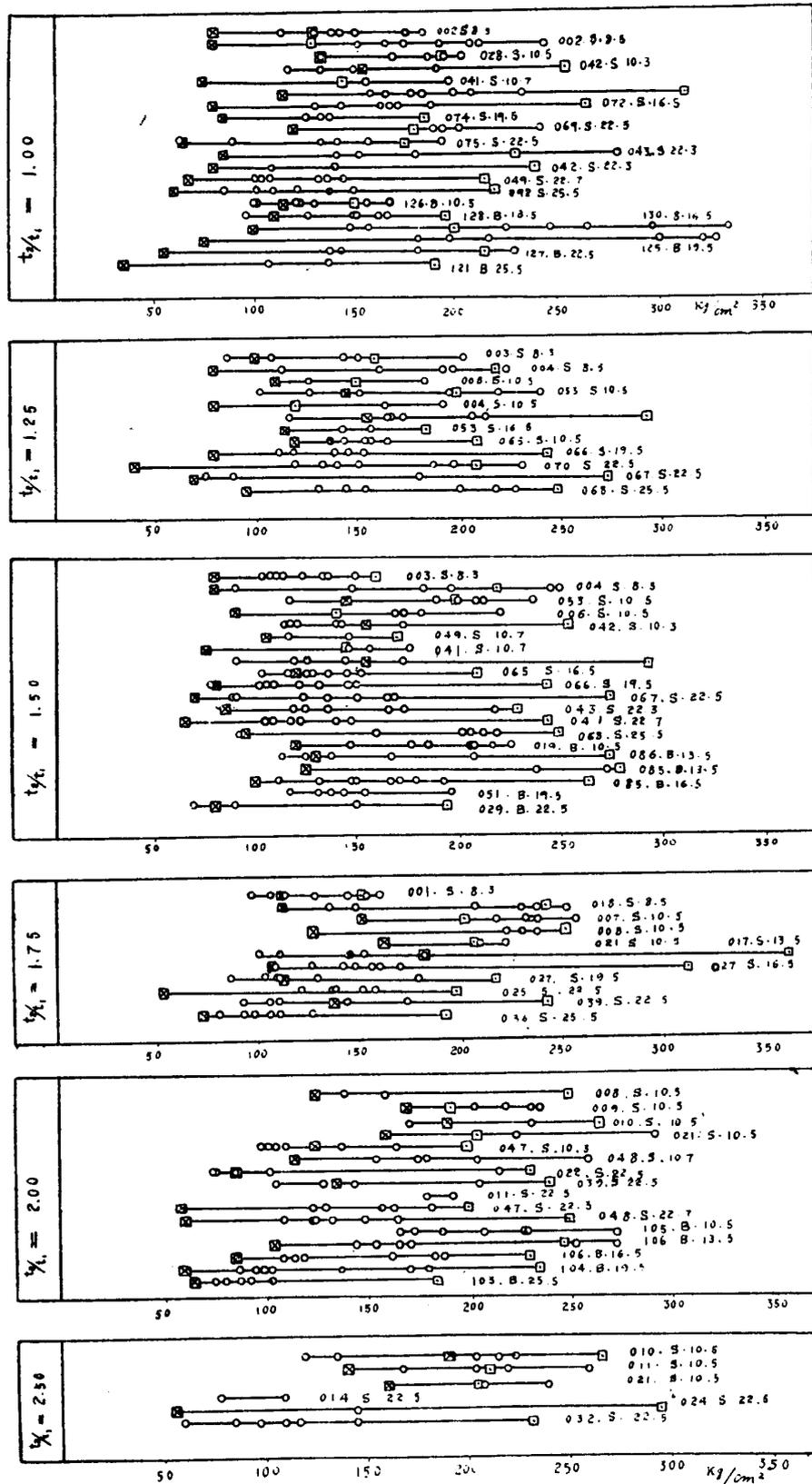
第5図から写しとつたものであります。この図で判ります様に、材端余肉  $s$  が釘の幅  $b$  の2倍以下の時には、この為材端余肉が「抜け」出して、固着部の比例限界を生ずる虞れがありますが、 $s/b$  が 2.5 倍以上になれば、これも亦比例限界を起す原因とは考えられなくなります。

次に、外板内に生ずる最大面圧力  $p_1$  の実験値は 90 乃至 260 kg/cm<sup>2</sup> でありまして、之はその部の木材の木口面圧比例限の標準値 200 kg/cm<sup>2</sup> に達したものが多く、又肋骨内に生ずる最大面圧力  $p_2$  の実験値も亦 90 乃至 260 kg/cm<sup>2</sup> で、之はその部の木材の柢目面圧比例限の標準値 100 kg/cm<sup>2</sup> を殆んど總べて突破しております。従つて之等の面圧力が木材の面圧比例限を超えることが、固着部の比例限界を起す原因であらうことが十分推察出来るのであります。

このことを更に詳細に検討する為第8図を作りました。之は各々  $t_2/t_1$  別に、そして更にその中で各々の木材別並びに釘径別に、 $p_1$  の値を同一線上に点置し、且その線上にその木材の木口面圧比例限と柢目面圧比例限とを書き加えたものであります。 $p_2$  を記入していない理由は、この実験に於ては  $p_2/p_1$  即ち  $\text{C}/\text{C}$  は 0.92~1.21 であつて先ず殆んど  $p_2 \approx p_1$  と考えて差支えないからであります。この図を見ますと  $p_2$  は何れも柢目面圧比例限を超えており、 $p_1$  は木口面圧比例限を超えるものも超えないものもあると云うことが判ります。尙一本の直線上に於ての配列は  $s/b$  には全く無関係であつたことを附言致しておきたいと思ひます。

外板と肋骨とに於て最大面圧力の大きさは殆んど等しく  $p_1 \approx p_2$  であります。両者は繊維の方向が異なる為に面圧比例限に開きがあります。そこで先ず肋骨内の最大面圧力  $p_2$  が、その部の柢目面圧比例限に達した時に固着部の入り量が増し出す状態になりますが、前に述べました如く、柢目面圧比例限があまり明瞭に起るものであ

圓筒部比例限界に於ける外板の最大面圧力  $P_1$



(註) 002 S 8.3 = 木板厚002 行込釘 個體比例 外板厚:  $\delta_1$   
 103 B 25.3 = 103 螺釘 25

● 釘 面圧力  $P_1$     ■ 釘 柱面圧力比例限    □ 釘 木口面圧比例

第 8 図

りませんので、この点より幾分上昇した所で迂り量が明瞭に認められるに到つたものと解釈され得ると考えられます。そして外板内の最大面圧力  $p_1$  が木口面圧比例限を超えるに到つては、完全に固着部は比例限界を超えていることを示しております。

この実験は、あまりに実物の肋骨と外板との関係に捉われ過ぎまして、両者の繊維方向を直角に致してしまいましたので、反つてその結論に明瞭さを欠くに到りました。もし両者共に木口面圧であるとか、或いは柃目面圧であるとかに致したならば、結論は更に明確になるものと考えられますので、目下その様な実験を補足致そうとしているのでありますが、資材難と、大学の如き工作力の貧弱な所では、中々この様な実験が涉りません。是非共皆様方の御援助を賜りたく、高い所から失礼であります御願申上げる次第であります。

以上の事柄は、打込釘、敲釘の区別なく同一であることは、実験からも認められましたし、又理論的にも以上の事柄が総べて弾性限度内の出来事であつて、未だ釘の頭等が利かない間のことであることからしても容易に想像される処であります。そこで次節に述べる様な釘の設計法が考えられることになりませんが、その前に少しく最高荷重点及び迂り量について述べさせていただきます。

実験値を通覧致しますと外板内の平均面圧力  $p_m$  は比例限界では 30 乃至 60 kg/cm<sup>2</sup>、最高荷重点では 100 乃至 250 kg/cm<sup>2</sup> となり、大体比例限界の 3 倍乃至 4 倍の荷重迄はもつことになり、然し乍ら前述致しました如く、比例限界をこえて最高荷重点に到る間の状況は区々まちまちであります上に、比例限界を超えた後は釘も釘孔も共に弾性域を離れますので、その後の解析は一層困難でもあります。

又最高荷重点に於ける迂り量は何れも数種に及ぶものでありますので、最早これでも固着部であるとは義理にも云えない状態であると思ひますし、更に木船の如くにその直ぐ隣りに健全な部材がある時には、そこまで引き

伸ばされることは有り得ないことになります。

従つて、斯かる不明瞭な、且 unnecessary な最高荷重点を標準にして安全率を定めて設計を行うと云うよりも、比較的明瞭にされた比例限界を抑えて安全率を 1 に近く（或いは若干 1 よりも小さく）とつて設計することの方が、より正確且合理的であると考えられます。

### 5) 釘の一設計法

以上述べ来た実験の結論から、次の如き順序による釘の設計法が考えられます。

(1) 木材の面圧比例限を材料試験で求めます。この時、木口面圧に対しては、圧縮比例限で代用することが出来ます。

(2) 之に適当な安全率を考慮して許容面圧力を定めます。この安全率は近 1 に近く、且之よりも僅か乍ら大きくも亦小さくも取り得るものであります。

(3) 釘の寸法を假定して、 $md$ 、 $t_1/d$ 、及び  $t_2/t_1$  を計算し、第 9 図乃至第 11 図より、係数 ㊸ ㊹ 及び ㊺ を求めます。 $md$  は鋼製の釘であるならば、釘の厚さ  $d$  に依つて第 3 表より求めて差支えありません。

(4) 釘孔に生ずる最大面圧力  $p_1 = ㊸ p_m$  又は  $p_2 = ㊹ p_m$  をその部の許容面圧力に等しくすることによつて、外板内の平均面圧力  $p_m$  を定め、之より

$$F = p_m \times b t_1$$

で、その釘に許し得る使用荷重即ち使用剪断力  $F$  を計算するのであります。

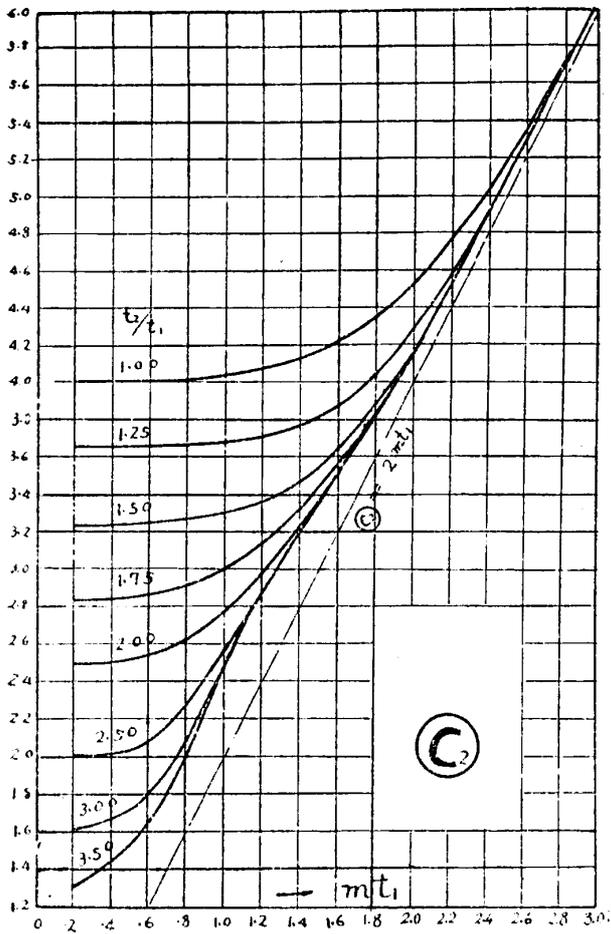
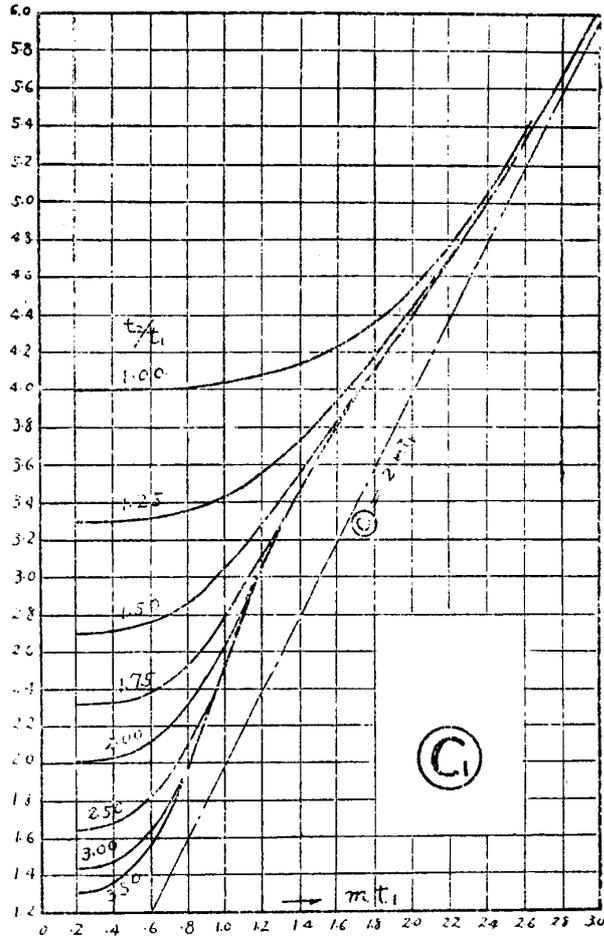
(5) その点に到る以前に、釘の曲げ応力

第 3 表

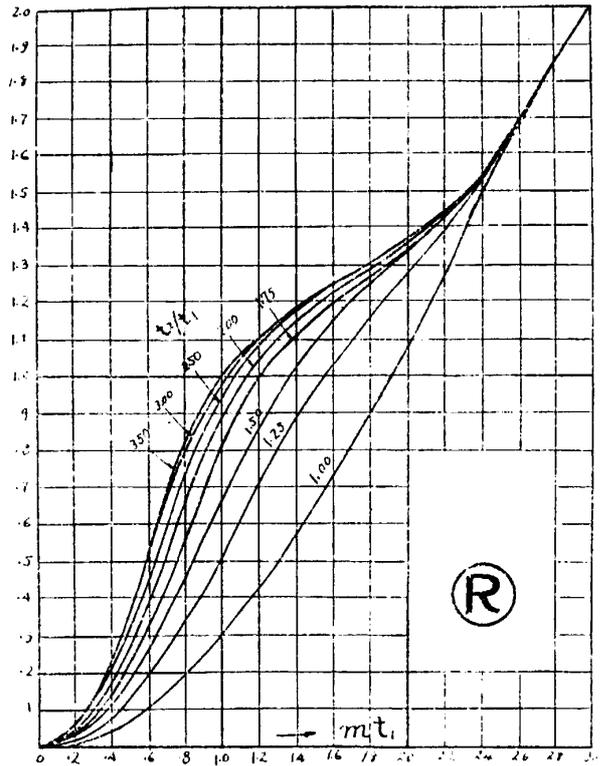
$md$ , 表 ( $\frac{E_s}{E} = 25, \alpha = 14^\circ$ )

| 釘厚<br>$d$<br>mm | $md$                                       |                                       |
|-----------------|--|---------------------------------------|
|                 | 丸釘<br>$\sqrt{\frac{16Ed}{\pi E_s \alpha}}$ | 平釘<br>$\sqrt{\frac{3Ed}{E_s \alpha}}$ |
| 3               | 0.25740                                    | 0.22521                               |
| 4               | 0.27624                                    | 0.24200                               |
| 5               | 0.29205                                    | 0.25590                               |
| 6               | 0.30582                                    | 0.26784                               |
| 7               | 0.31843                                    | 0.27832                               |
| 8               | 0.32856                                    | 0.28784                               |
| 9               | 0.33840                                    | 0.29646                               |
| 10              | 0.34740                                    | 0.30430                               |
| 11              | 0.35574                                    | 0.31152                               |
| 12              | 0.36348                                    | 0.31836                               |
| 13              | 0.37089                                    | 0.32700                               |
| 14              | 0.37772                                    | 0.33110                               |
| 15              | 0.38430                                    | 0.33690                               |
| 16              | 0.39072                                    | 0.34368                               |
| 17              | 0.39661                                    | 0.34748                               |
| 18              | 0.40230                                    | 0.35244                               |
| 19              | 0.40774                                    | 0.35739                               |
| 20              | 0.41320                                    | 0.36180                               |
| 21              | 0.41881                                    | 0.36624                               |
| 22              | 0.42306                                    | 0.37070                               |
| 23              | 0.42780                                    | 0.37467                               |
| 24              | 0.43008                                    | 0.37872                               |
| 25              | 0.43675                                    | 0.38250                               |

第 9 図 →



第 10 図



第 11 図

$$\sigma_2 = \frac{b d^3}{4 I_s} \textcircled{R} p_m$$

が釘の曲げ降伏点に達しないことを検討します。

(6) その点に到る以前に材端余肉部の最大剪断応力

$$\tau_1 = \frac{b}{2s} p_1$$

が、その部の木材の剪断強さを超えない様に  $s$  を決定します。

尚、この設計法に於ては、打込釘、敲釘或いは螺釘等の考慮を払う必要はなく、又座金の有無、その寸法等も考える必要がないのであります。

次に二、三の例題を掲げて見ることに致します。

例題 1) 厚さ 5 cm の松の板を、径 10 mm、長さ 12.5 cm の鋼丸打込釘で、他の松材に固着した時に、この釘に許され得る剪断力は幾何であり、その時の送り量はどの位になりましょうか。但し、両材共に剪断力の方向と繊維の方向とが一致しているものとします。

解答 1) 第 3 表から、径  $d=10\text{mm}$  の丸釘の  $md=0.3474$ 、板厚  $t_1=5\text{cm}$ 、 $t_1/d=5$  でありますから、 $mt_1=1.737$ 、打込深さ  $t_2=12.5-5=7.5\text{cm}$  でありますから、 $t_2/t_1=1.5$ 、従つて第 9 図乃至第 11 図より

$$\textcircled{1}=4.00, \textcircled{2}=3.76, \textcircled{3}=4.00+3.76=7.76, \textcircled{4}=1.23$$

松材の木口面圧比例限を 200 kg/cm とし、安全率を 1 にとれば、許し得る平均面圧力は

$$p_m = \frac{200}{1 \times \textcircled{4}} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

従つてこの釘に許し得る剪断力は

$$F = 50 \times b t_1 = 50 \times 1 \times 5 = 250 \text{ kg}$$

この時、釘の最大曲げ応力は

$$\sigma_2 = \frac{16}{\pi (md)^2} \textcircled{4} p_m = 2.590 \text{ kg/cm}^2$$

でありますから、釘の曲げ降伏点 5.400 kg/cm<sup>2</sup> に達しておりません。又、松材の柾目剪断強さを 75 kg/cm<sup>2</sup> としますと、釘から材端迄の距離  $s$  は

$$\frac{s}{b} = \frac{p_1}{2\tau_1} = \frac{200}{2 \times 75} = 1.34$$

即ち  $b=10\text{mm}$  であります故、 $s=1.34\text{cm}$  以上あれば良いことになります。

この際の送り量  $\delta$  は  $\alpha=14\text{cm}$ 、 $E=100,000\text{ kg/cm}^2$  としますと

$$\delta = \frac{\alpha}{E} \textcircled{3} p_m = \frac{14 \times 7.76}{100,000} \times 50 = 0.0544 \text{ cm}$$

となります。

例題 2) 例題 1 の場合に総剪断力 1 噸を伝えさせる為には何耗の釘を何本打つのが有利でありましょうか。

解答 2) 釘の径を色々に変えて例題 1 と同様の計算を行うと第 4 表の如くなります。釘の総断面積、即ち総重量は釘の径が細くなる程小さくなりますから、細い釘を沢山打つ方が材料の点からは有利となります。然し一方、釘の曲げ応力は細くなる程大きくなり、4 耗以下では曲げ降伏点の方が先に生ずる虞がありますので、5 耗以上の釘にする必要があります。又送り量は 10 耗乃至 13 耗附近で最も少く、之より釘の径が太くなつても細くなつても増加しますが、その増加量はごく微小であります。

以上のことから、釘を打つ難易と、手間の多少を度外視すれば、5 耗の釘を 12 本打つのが最も有利であることとなります。茲で 4 耗以下の釘では  $\textcircled{4}$  が第 11 図の外に出ますので、“?”印をつけて推察値であることを示しておきました。又釘数  $n$  が半端な数になつてゐるのは、比較の便の為にしたもので、実際には  $n$  は整数値であるべきことは当然であります。

例題 3) ある木船の縦強度材が松材で、その断面の寸法は 18 cm × 18 cm、その嵌接接手の寸法は第 12 図の如く、その釘は径 20 mm であります。この接手に許し得る引張り荷重は如何程でありましょうか。又この船



$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 7.21 \times 10^{-5} F_1 \\ \delta_2 &= 7.85 \times 10^{-5} F_2 \end{aligned} \right\} \quad (\text{iii})$$

$\delta_1 = \delta_2$  としますと

$$F_1 = 0.95 F_2$$

一方

$$2F_1 + F_2 = P$$

の関係がありますから、この二式より

$$F_1 = 0.328 P,$$

$$F_2 = 0.345 P$$

(iv)

従つてこの接手に許し得る引張力  $P$  は、各釘に許し得る剪断力 (i) 又は (ii) 式と、(iv) 式とより計算したものの内で小さい方を取ることになります。

$$\text{釘①よりは} \quad P = \frac{763}{0.328} = 2,320 \text{ kg}$$

$$\text{釘②よりは} \quad P = \frac{816}{0.345} = 2,360 \text{ kg}$$

即ち許容引張力はこの小さい方をとり、

$$P = 2,320 \text{ kg}$$

(v)

が答になります。

この時のたがり量  $\delta$  は (i) 及び (iii) より

$$\delta = \delta_1 = 7.21 \times 10^{-5} \times 763 = 0.055 \text{ cm}$$

(vi)

今、若しこの接手を有する縦強度材が肋骨毎に完全に肋骨と剛接されておつて、すぐ隣りの健全な板等と全く同一量だけ引伸ばされるとした時に、どの位の荷重分担能力があるかを求めます。そして之をこの接手の有効率と云うことに致します。

接手がありますと、木材の応力による伸びに比べて、釘孔の変形が極めて大きいものでありますから、肋骨心距  $l$  間の見掛けのヤング係数  $E_1$  を、

$$E_1 = \frac{Pl}{\delta A} = \frac{2320 \times 56}{0.055 \times (18 \times 18)} = 0.073 \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2$$

と見做して大差ありません。依つて健全な部材のヤング係数  $E = 100,000 \text{ kg/cm}^2$  と比較しますと

$$E_1/E = 0.073$$

となり、即ちこの接手の有効率は 7.3 % しかないことになるのであります。(終り)