

(昭和21年11月 造船協会秋季講演会に於て講演)

木材の平面嵌接

正員 工学士 原 田 正 道

准員 工学士 米 田 博

Abstract.

Lap Joint of Timbers.

By Masamichi Harada, *Kogakushi, Member.*and Hiroshi Yoneda, *Kogakushi, Associate, Member.*

As I described in the Journal of Zosen Kiokai vol. 76., in the case that we drive nails in timbers, the relation of slip and load of a point has a proportional limit when the bearing pressure about nail-holes attains the proportional limit of bearing of timbers. And this time we shall describe how to design the lap points of timbers using this theory.

目 次

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| I 緒 言 | 附録 1. 木材の伸びを考慮した場合の計算例 |
| II 平面嵌接の理論 | 附録 2. 嵌接の傾斜が強度に及ぼす影響の計算例 |
| III 平面嵌接の設計 | |
| IV 木船の縦強度材の接手の有効率及び
縦強度材の選択に関する考察 | |

I. 緒 言

木船の主要縦強度材には嵌接接手が用いられ、木船構造規定に於て夫々各部材に就て、釘の本数、釘の径、嵌接端末の深さ嵌接の長さ等が規定されてありますが、その強度上の根拠は詳でありません。筆者の一人は先に造船協会に於て「木船の縦強度第二報 第二章釘固着部の強度」及び「釘の一設計法」に於て一面剪断を受ける釘の強度的設計法について述べましたが、今回その応用例として筆者の一人米田君が卒業論文に平面嵌接の強度を調べましたので、その結果を報告することに致しました。尚木船に屢々用いられる鈎形嵌接については此処では触れないことに致しました。

II. 平面嵌接の理論

第1図のように二つの材（以下便宜上左材及び右材と名付けましょう）をS列の釘でとめた平面嵌接が、荷重 P で引張られた時に、各列の釘が分担する剪断力 F を求めて見ます。

左端から i 列目の釘に注目しますと、始め図の鎖線の位置に打たれて居た釘は

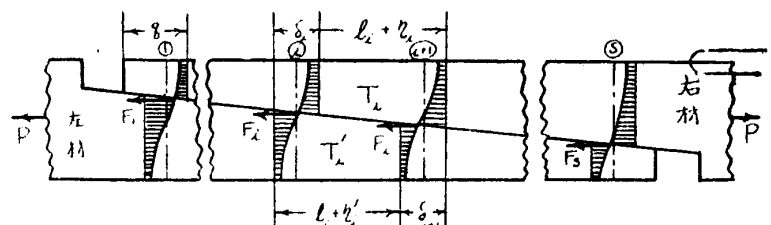
面圧力の為に撓曲し、釘孔の木材も亦面圧力の為に凹み、左材と右材の釘孔は結局 δ_i だけの迂りを生じます。

同様に $(i+1)$ 列目の釘では δ_{i+1} の迂りを生じます。

次に i 及び $(i+1)$ 列目の釘に挟まれた部分の木材は始め l_i の長さであつたものが、右材ではその引張力 T_i の為に $l_i + \eta_i$ に伸び、左材では引張力 T_i' の為に $l_i + \eta_i'$ に伸びます。

そこで図に依つて明らかな様に

$$l_i + \delta_i + \eta_i = l_i + \delta_{i+1} + \eta_i'$$



第1図

即ち
$$\delta_i + \eta_i = \delta_{i+1} + \eta_i' \quad (1)$$
 が成立します。

先ず伸び η は夫々の処の引張力 T に比例する筈でありますから

$$\left. \begin{aligned} \eta_i &= A_i T_i \\ \eta_i' &= A_i' T_i' \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

と書きますと、比例係数 A はその部の木材の材質及び形状で決まるものでありまして、この場合の様に長さ l の間で断面積が S_1 から S_2 まで直線的に変るものに就ては、材料のヤング係数を E としますと、

$$A = \frac{l}{E(S_2 - S_1)} \log \frac{S_2}{S_1} \quad (3)$$

なることは容易に判りましょう。

次に釘孔変形量 δ は前掲の二つの文献に依つて、その釘の受け持つ剪断力 F に比例して

$$\left. \begin{aligned} \delta_i &= B_i F_i \\ \delta_{i+1} &= B_{i+1} F_{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

と書きますと、比例常数 B_i は、

$$B_i = \frac{\alpha}{E} \left(\frac{\bar{H}}{ndt_1} \right)_i \quad (5)$$

$$\text{但し } \bar{H} = \textcircled{C}_1 + \textcircled{C}_2$$

となります。この記号等は前論文を参照されたいと思います。

次に釘 i のすぐ右側に於て右材に生ずる引張力 T_i は図に依つて明らかな様に釘 1 から釘 i までの剪断力の和であり

$$T_i = \sum_{l=1}^i F_l \quad (6)$$

其処の左材の引張力 T_i' はどの断面を取つても左材と右材の引張力の和が荷重 P に等しくなければなりませんから、

$$T_i' + T_i = P \quad (7)$$

之等のを (1) 式に代入すると、釘の剪断力 F のみの式となります。即ち

$$B_i F_i + A_i \sum_{l=1}^i F_l = B_{i+1} F_{i+1} + A_i' \left(P - \sum_{l=1}^i F_l \right) \quad (8)$$

もし「差方程式」が「微分方程式」に対応するものであるならば、(8) 式は「積分方程式」に対応すべきもので「和方程式」とでも名附けて然るべきものでありましょう。

この式の数 $(S-1)$ 個で、この問題の未知数は各釘列の剪断力 F_i でその数は S 個でありますので、これだけでは式が一つ不足します。然るに全部の釘の受け持つ剪断力の総和は P に等しい筈でありますから、

$$\sum_{i=1}^S F_i = P \quad (9)$$

の式があつて、之で問題が解決され得ます。これは結局 S 元一次連立方程式の解法となるわけではありますが、平面嵌接はその長さの中央に対して対照でありますから、釘列 S が偶数ならば未知数は $\frac{1}{2}S$ 個、 S が奇数ならば未知数は $\frac{1}{2}(S+1)$ となります。普通の構造物に現われる平面嵌接では釘列は 3 又は 4 の場合が多く、何れも未知数は 2 であり、2 元一次連立方程式を解けば良く、釘列が 5 及び 6 になつても未知数は 3 でありますので、強いて複雑な数学を使つて (8) 及び (9) 式の一般解を求めるにも及びません。

試みに釘列 3 及び 4 の場合の解を附録 1 に示してあります。処で附録 1 の結果で判る様に、木材の応力に依る伸び η は釘孔の変形量 δ に比較して極めて小さいものでありますので、木材の嵌接を論ずる限りに於ては之を始めから省略しても結果に殆んど差がないのであります。そこで (8) 式の A の項を省略しますと、

$$B_i F_i = B_{i+1} F_{i+1}$$

即ち

$$B_1 F_1 = B_2 F_2 = \cdots = B_S F_S \quad (10)$$

之と (9) 式より、この場合の一般解として

$$F_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{B_i}} P \quad (11)$$

が得られます。之で大部実用的になりました。

更に附録 2 に嵌接面の傾斜が強度に及ぼす影響について計算例を示してありますが、傾斜はさう大きな影響を与えないことが判りますので、もし全部の釘が全く同一の径をもつて居る場合には、傾斜を省略すると各釘の係数 B_i が全く同一になりますので、

$$F_i = \frac{1}{m} P \quad (\text{但し } m \text{ は } S \text{ 列の釘の総数}) \quad (12)$$

即ち荷重 P を全釘数 m で割つたものと考えても大差のないことになります。

附録 2 の計算結果のみをここに引用して見ますと第 1 表の如くなります。

尚この時の接手全体の送り量 δ は、木材の伸びを省略するので各釘の送り量 δ_i に等しく、従つて (4), (5), (11) 式から

$$\delta = \frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{B_i}} P = \frac{\frac{\alpha}{E}}{\sum_{i=1}^s \left(\frac{ndt_1}{H} \right)} P \quad (13)$$

で与えられます。

第 1 表

釘列 s	剪断力 F_i	γ と δ を 考へた 場合	γ を省略 した 場合	総釘数 m に平均した 場合
3	$F_{ip} = F_{sp}$	・328	・328	・333
	$F_{ip} = F_{sp}$	・344	・344	・333
4	$F_{ip} = F_{sp}$	・246	・246	・250
	$F_{ip} = F_{sp}$	・254	・254	・250

III. 平面嵌接の設計

前節 (11) 式或いは極く大体には (12) 式に依つて、平面嵌接に荷重 P が加へられた時に各釘が分担する剪断力 F_i が求められたのであります。一方前掲の二つの文献に依れば釘孔に生ずる最大面圧力を木材の使用面圧力に等しく置くことに依つて板厚 t_1 、釘径 d 、打込深さ t_2/t_1 が定まれば、その釘に許し得る安全使用荷重 F が求められるのであります。従つてすべての釘の分担剪断力 F_i が夫々の釘の安全使用荷重を超えない様に検討すれば、接手の安全荷重 P が決定されることになります。

この講演のすぐ後に續けて発表致します「釘の一設計法(続き)」の末尾に、任意の径 d の釘で、板厚 t_1 の板を t_2/t_1 の打込深さに打つた場合の釘に許し得る安全使用荷重 F を直ちに求め得る曲線図を掲げてありますので、この図と (12) 式に依つて一応直ちに接手の安全荷重の見当をつけることが出来ます。この曲線図は $E/E_s = 25$ 、 $\alpha = 14 \text{ cm}$ 、即ち木材に鉄の丸釘を打つて木口面圧になる如く力が働いた場合で、しかも木材の使用面圧力を $f = 200 \text{ kg/cm}^2$ (松の木口面圧の標準値) としたものであります。木材が異ればその木材の f に応じてこの曲線図の F の値を比例的に増減すれば良いのであります。

若し F_i を求めるのに (11) 式を使うならば、ついででありますので、前掲二つの文献に従つて次の如く計算を進めて安全荷重を求めれば良く、特に送り δ を求めるにはそうする可きであります。

釘に加わる剪断力 F がわかれば、その釘の釘孔に生ずる最大面圧力は次式で与えられます。

$$\left. \begin{array}{l} \text{薄い方の材で } p_1 = \textcircled{C}_1 p_m \\ \text{厚い方の材で } p_2 = \textcircled{C}_2 p_m \end{array} \right\} \quad (14)$$

但し $p_m = \frac{F}{ndt_1}$ は薄い方の板の平均面圧力

この p_1 又は p_2 の何れもが、木材に許し得る使用面圧力 f 以下にあることを確かめれば、それで平面嵌接の設計が出来たわけであります。

即ち今 $\textcircled{C}_1$ と $\textcircled{C}_2$ の中大きな方を $\textcircled{C}$ としますと、木材の伸び γ を省略した場合には (5), (11), (14) 式から各釘に生ずる最大面圧力 f_i が

$$f_i = \left(\frac{\textcircled{C}}{H} \right)_i \sum_{i=1}^s \left(\frac{ndt_1}{H} \right)_i \quad (15)$$

に依つて得られますので、各釘の f_i の中の最大のものを使用面圧力 f に等しくおけば、使用荷重 P が求まることになります。

従つてこの際すべての釘の f_i が同時に使用面圧力に到達することが最も得策であることになり、その条件は、

$$\left(-\frac{C}{H}\right)_1 = \left(-\frac{C}{H}\right)_2 = \cdots = \left(-\frac{C}{H}\right)_s \quad (16)$$

であります。

もしすべての釘が同一の径のものである場合には、各釘の t_2/t_1 が等しい時、即ち嵌接の傾斜のない時に (15) 式が成立します。然し後に附録 2 に示します様に、傾斜を多少変更しても接手の強力にはそんなに大きな影響はないことがわかりますので、今まで述べたような見地からは傾斜は極端に変らない限り、どうあつても良いと云うことになります。(勿論之は木材の伸び η を省略してありますから、極く厳密に数%の処までつづいたならば傾斜の影響がないとは云えません。) そこで何故にこの傾斜をつけるかと云うことは、今考えた釘孔強度の平均化とは別な何等かの理由を考えるべきであります。

先ず第一に木材に生ずる引張応力を出来るだけ均一にすると云うことが考えられます。しかし接手が比例限界を超えない様にして決定された使用荷重 P の範囲では、今迄用いられている様な寸法の接手に於て、この応力は全く問題にならない程小さいものでありますので、均一応力にする為など云う理由は取り上げる価値のないものと云わねばなりません。

第二に荷重の偏心度を出来るだけ少くしようと云うこと、第三には傾斜をつけずに平らに切欠く時には、反つて附根の処の断面積を小さくする虞れがあること等が理由の中に考えられましょう。

擬て接手の設計に当つては、尚二三の注意すべき事柄があります。一つは、釘孔の面圧力が許容面圧力を超えるより先に釘の曲げ応力が降伏点を超えて釘が先に参るようなことのないようにすることであり、その為に、次式で与えられる曲げ応力 σ_2 を一応検討する必要があります。

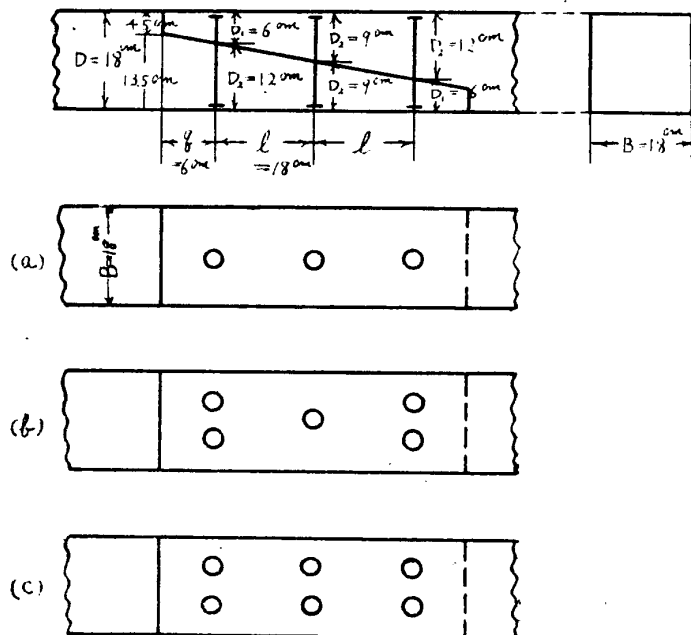
$$\sigma_2 = \frac{b d^3}{4 I_s} \frac{(R)}{(m d)^2} P_m \quad (17)$$

次に矢張り釘孔の面圧力が許容面圧力を超えるより以前に第 1 図で q と表わした部分、即ち一番端の釘と材端との間の余肉の部分の部分が抜け出さないこととあります。その為には次式で計算した τ_1 が木材の剪断強さを超えない様にすることが必要であります。

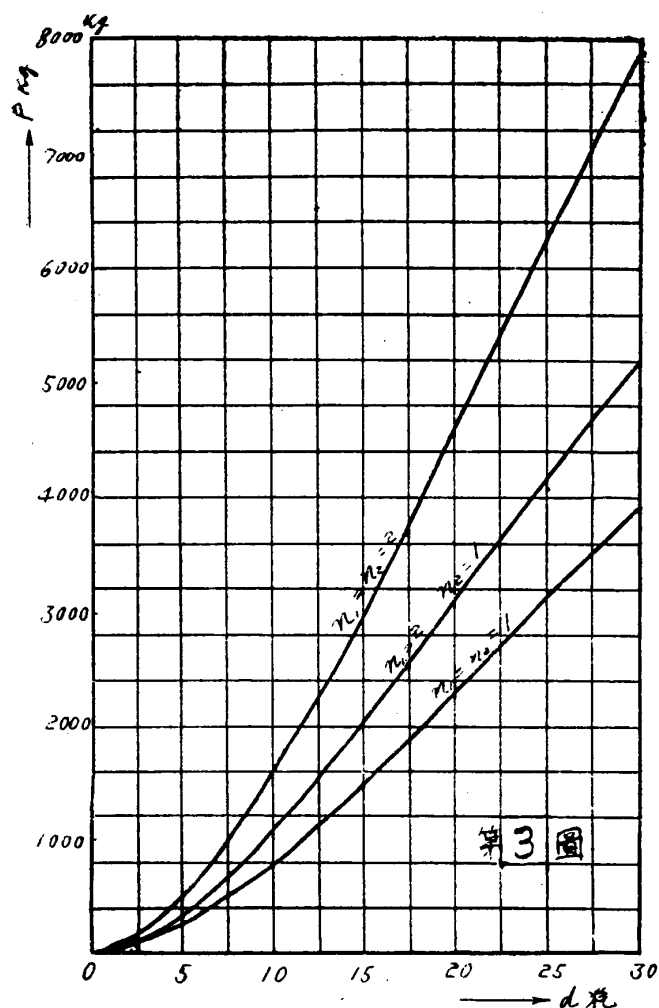
$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \frac{d}{2s} p_1 \\ \text{但し } s &= q - \frac{1}{2}d \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

以上述べた処に従つて次に一つの例題を解いて見ます。

第 2 図の様な寸法の平面嵌接に (a), (b), (c) のような 3 種類の釘の配置をした場合の安全荷重を釘の径を変えて計算しますと、第 3 図の様になります。但し許容面圧力 $f=200 \text{ kg/cm}^2$ としたものであります。之より例えば釘径を 15 m/m とした時には安全荷重は (a), (b), (c) 夫々 1500 kg, 2000 kg, 3000 kg になります。又例えばこの接手に 3000 kg の荷重を加え得る為には (a), (b), (c) の釘径は夫々 24 m/m, 19.5 m/m, 15 m/m 以上であつて、その釘の総断面積は夫々 13.89 cm^2 , 15.70 cm^2 , 10.56 cm^2 となり、(c) が最も材料の節約になることが判ります。



第 2 図



で定義されたものでありますので、

$$\eta = \frac{1}{\mu} \quad (22)$$

の関係があるものであります。

例を250噸型の標準貨物船に採つて各縦強度材の接手の有効率を計算しますと第2表のようになります。

第2表で判ることは木船の各縦強度材の接手は案外に揃つた有効率を持つて居ると云うことであります。特に外板、外部腰板、木甲板等は肋骨又は梁の上で単なる衝合せ接合をして居るものであります。その有効率も他のものに比較して優るとも劣らないものでありますので木船の縦強度の計算には、第2表に示した部材は当然同じ程度に強力なものとして採用して然るべきものと考えます。

尚艙口縦梁は端梁に横梁曲材で固着され、艙口縁材は縦梁に固着されて居ります。木船に於ては鋼船と異つて他の部材の η が小でありますので、之等の部材も縦強度材に採用して差支えないと考えられます。

接手の処で荷重分担能力の低下した部材も、肋骨を超える毎に次第にその働きを復活して行くことは、「木船の

IV. 木船の縦強度材の接手の有効率及び縦強度材の選択に関する考察

接手に引張荷重 P が働く時の接手の送り量 δ は(13)式で求められます。今この接手のある部材が木船の縦強度材の一つに使われて居り、すぐ隣りの健全な部材と全く同一量だけ引伸ばされるとする時に、どの位の荷重分担能力があるかを求めて見ましょう。勿論それには健全な部材の比較すべき長さをどうとるかに依つて異なりますが、一つの比較標準として肋骨心距 l をとることにし、その場合の接手の荷重分担能力を「木船の縦強度材の接手の有効率」と定義することにします。

長さ l の間の接手のない部材の伸び δ_0 は、その部材の引張剛性を EA とすれば、

$$\delta_0 = \frac{Pl}{EA} \quad (19)$$

従つて有効率を η とすれば、之と(13)式とより

$$\eta = \frac{\delta_0}{\delta} = \frac{l}{\alpha A} \sum_{i=1}^g \left(\frac{ndt_i}{H} \right) \quad (20)$$

で与られます。

因に「木船の縦強度第二報」に於いて、釘孔変形係数 μ と名附けたものは

$$\delta = \mu \frac{Pl}{EA} \quad (21)$$

第2表

部材名	安全荷重 P kg 但 $f=200\%$	接手の 有効率 η %	肋骨の固着の 釘孔変形係数 μ
1 内龍骨	7,500	5.7	—
2 側内龍骨	3,180	8.0	—
3 側内厚板	3,180	8.0	—
4 龍骨翼板	1,372	4.3	—
5 弯曲部縦通材	1,216	7.3	15.6
6 舷側縦通材	1,240	5.2	14.9
7 梁受板	1,410	5.0	14.6
8 副梁受板	1,186	4.6	—
9 舷側厚板上	1,240	4.4	13.8
10 全 下	648	5.7	—
11 船 鰭	1,416	6.0	—
12 梁 圧 材	1,996	3.7	—
13 副梁圧材	1,186	5.7	—
14 外 板	1,004	6.7	15.2
15 外部腰板	1,180	6.5	15.6
16 木甲板	1,156	8.7	11.2

(14) (15) (16) の η は 梁 の 計 算 に よ る

縦強度第二報」で述べた通りでありまして、その復活の速さはその部材と肋骨との固着が強い程速かであります。肋骨と縦強度材の固着部の釘孔変形係数 μ を第二報から引用して第2表に示してありますが、各部材殆んど大差なく、この意味からも第2表の部材は同程度の価値を以て縦強度材に採用して差支えないものであります。

附録 1. 木材の伸びを考慮した場合の計算

(A) 3釘列の場合

第3図のような3釘列の場合には①と③との釘列は全く同一の状態にありますので、未知数は F_1 及び F_2 の二つになり、本文(6)式で釘孔変形の係数の中 $B_3=B_1$ 、木材の伸びの係数の中 $A_2=A_1'$ 、 $A_2=A_1$ 中となりますから、本文(6)式は

$$B_1 F_1 + A_1 F_1 = B_2 F_2 + A_1' (p - F_1) \quad (1)$$

又本文(7)式は $F_1 = F_3$ より

$$2 F_1 + F_2 = P \quad (2)$$

となります。之より

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{A_1' + B_2}{A_1 + A_1' + B_1 + 2 B_2} P \\ F_2 &= \frac{A_1 - A_1' + B_1}{A_1 + A_1' + B_1 + 2 B_2} P \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

となります。

ここに A_1 及び A_1' は次のような計算をすれば求まります。

第5図の如く面積が S_1 から S_2 迄直線的に変化する長さ l の棒が引張力 T を受ける時の伸び η は

$$\eta = \int_0^l \frac{T dx}{E \left(S_1 \frac{S_2 - S_1}{l} x \right)} = \frac{T}{E} \frac{l}{S_2 - S_1} \log \frac{S_2}{S_1} \equiv A T \quad (4)$$

従つて伸びの係数 A は

$$A = \frac{l}{E(S_2 - S_1)} \log \frac{S_2}{S_1} \quad (5)$$

今の場合 A_1 は上式に於て $S_1 = B D_1$, $S_2 = B \frac{D}{2}$ とすれば

$$A_1 = \frac{l}{E B \left(\frac{D}{2} - D_1 \right)} \log \frac{D}{2 D_1} \quad (6)$$

A_1' は $S_1 = B \frac{D}{2}$, $S_2 = B(D - D_1)$ とすれば

$$A_1' = \frac{l}{E B \left(\frac{D}{2} - D_1 \right)} \log \frac{2(D - D_1)}{D} \quad (7)$$

となります。

次に釘孔変形係数は本文(5)式より

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= \frac{\alpha}{E} \frac{(\bar{H}_1)}{n_1 d_1 D_1} \\ B_2 &= \frac{\alpha}{E} \frac{(\bar{H}_2)}{n_2 d_2 D_2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

であります。

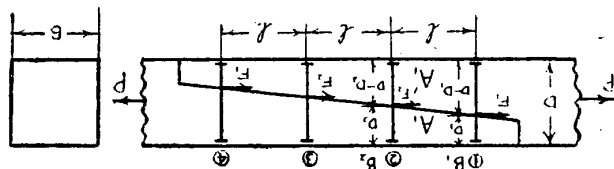
今例として本文第2図(a)の接手をとつてきて

$$D=18\text{cm}, \quad D_1=6\text{cm}, \quad D/2=9\text{cm}, \quad B=18\text{cm}, \quad l=18\text{cm},$$

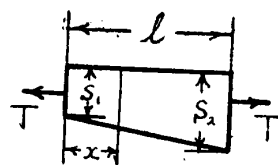
$$n_1=n_2=1, \quad d_1=d_2=2\text{cm}, \quad \alpha=14\text{cm}, \quad E_S/E=25$$

をとりますと、

$$A_1 = \frac{0.059}{E}, \quad A_1' = \frac{0.042}{E}$$



第4図



第5図

となり、又釘①の $t_2/t_1 = D - D_1/D_1 = 2$, $m = 0.2066$, $mt_1 = mD_1 = 1.240$ でありますから

$$(\bar{H})_1 = 6.14$$

故に

$$B_1 = \frac{7.16}{E}$$

釘②では $t_2/t_1 = 1$, $mt_1 = 1.860$, $(\bar{H})_2 = 8.81$

故に

$$B_2 = \frac{6.85}{E}$$

依つて伸びを考えました時には、(3) 式より

$$F_1 = 0.328 P$$

$$F_2 = 0.344 P$$

となります。

又伸びを考えない時には、(3) 式の A_1 , A_1' を省略致しますと

$$F_1 = 0.328 P$$

$$F_2 = 0.344 P$$

で殆んど異ならず、伸びは無視しても差支えないことがわかります。

(B) 4 釘列の場合

第6図のような4釘列の場合をとつて考えて見ますと、①と④、②と③との釘列は全く同一でありますから、未知数は F_1 及び F_2 となります。

依つて本文 (6) 式より

$$B_1 F_1 + A_1 F_1 = B_2 F_2 + A_1' (P - F_1) \quad (9)$$

本文 (7) 式より

$$2 F_1 + 2 F_2 = P$$

となりますから、(9), (10) より

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{A_1' + \frac{1}{2} B_2}{A_1 + A_1' + B_1 + B_2} P \\ F_2 &= \frac{\frac{1}{2} (A_1 - A_1') + \frac{1}{2} B_1}{A_1 + A_1' + B_1 + B_2} P \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ここで A_1 は (5) に於て $S_1 = BD_1$, $S_2 = BD_2$ としたものでありますから

$$A_1 = \frac{l}{EB(D_2 - D_1)} \log \frac{D_2}{D_1} \quad (12)$$

A_1' は (5) に於て $S_1 = B(D - D_2)$, $S_2 = B(D - D_1)$ としたものの、即ち

$$A_1' = \frac{l}{EB(D_2 - D_1)} \log \frac{D - D_1}{D - D_2} \quad (13)$$

釘孔変形係数は

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= \frac{\alpha}{E} \cdot \frac{(\bar{H})_1}{n_1 d_1 D_1} \\ B_2 &= \frac{\alpha}{E} \cdot \frac{(\bar{H})_2}{n_2 d_2 D_2} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

であります。

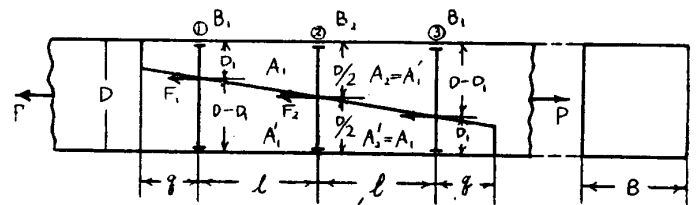
例として第6図で

$$D = 18 \text{ cm}, \quad D_1 = 6 \text{ cm}, \quad D_2 = 8 \text{ cm}, \quad B = 18 \text{ cm}, \quad l = 18 \text{ cm},$$

$$n_1 = n_2 = 1, \quad d_1 = d_2 = 2 \text{ cm}, \quad \alpha = 14 \text{ cm}, \quad E_S/E = 25$$

をとりますと、

$$A_1 = \frac{0.063}{E}, \quad A_1' = \frac{0.042}{E}$$



第 6 図

となり、又釘①の $t_2/t_1 = D - D_1/D_1 = 2$, $m = 0.2066$, $mt_1 = mD_1 = 1.240$ でありますから

$$\textcircled{H}_1 = 6.14$$

故に

$$B_1 = \frac{7.16}{E}$$

釘③では $t_2/t_1 = D - D_2/D_2 = 1.25$, $mt_1 = 1.653$, $\textcircled{H}_2 = 7.90$

故に

$$B_2 = \frac{6.91}{E}$$

依つて伸びを考えました時には (10) 式より

$$F_1 = 0.246 P$$

$$F_2 = 0.254 P$$

となります。

又伸びを考えない時には、(10) 式の A_1 , A_1' を省略致しますと、

$$F_1 = 0.246 P$$

$$F_2 = 0.254 P$$

で殆んど異らず、4 釘列の場合も伸びは無視しても差支えないことがわかります。

附録 2. 嵌接の傾斜が強度に及ぼす影響の計算例

4 釘列の場合をとつて嵌接面の傾斜を色々に変へ、各釘の $\textcircled{C}/\textcircled{H}$ を計算して見ます。第 6 図に於て

$$\text{釘①の } t_2/t_1 = \frac{D - D_1}{D_1} = x$$

としますと

$$\text{釘②の } t_2/t_1 = \frac{D - D_2}{D_2} = \frac{2x+1}{x+2}$$

となることはすぐわかります。依つて傾斜を変えることは x を変えることに依つて表わされ、 x に対する y の値は第 3 表の如くなります。これに依つて今

$$d = 20 \text{ mm},$$

$$B = D = 18 \text{ cm}$$

の場合に x を色々にかえて、引張力 $P = 1 \text{ ton}$ の場合の最大面圧力を各釘について求めると次表の如くなり、いずれの場合でも各釘に生ずる最大面圧力は殆んど等しく、傾斜がこの程度変わつても殆んど変化のないことがわかります。

(終り)

第 3 表

$x = \frac{D-D_1}{D_1}$		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	3.50
釘 ① 及 ②	$t_2/t_1 = x$	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	3.50
	$t_1 = \frac{D}{1+x} \text{ cm}$	9.00	8.00	7.20	6.55	6.00	5.15	4.50	4.00
	mt_1	1.86	1.65	1.49	1.35	1.24	1.06	0.93	0.83
	$\textcircled{C}$	4.40	3.98	3.65	3.34	3.12	2.70	2.36	2.06
	$\textcircled{H}$	8.80	7.89	7.20	6.63	6.16	5.34	4.64	4.10
	$\frac{mt_1}{\textcircled{H}}$	2.04	2.03	2.00	1.98	1.95	1.93	1.94	1.95
釘 ③ 及 ④	$t_2/t_1 = \frac{2x+1}{x+2} = y$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.25	1.33	1.40	1.45
	$t_1 = \frac{D}{1+y} \text{ cm}$	9.00	8.68	8.40	8.19	8.00	7.72	7.50	7.33
	mt_1	1.86	1.77	1.74	1.67	1.65	1.60	1.55	1.52
	$\textcircled{C}$	4.40	4.27	4.18	4.08	3.98	3.89	3.80	3.71
	$\textcircled{H}$	8.80	8.50	8.30	8.10	7.90	7.68	7.48	7.33
	$\frac{mt_1}{\textcircled{H}}$	2.04	2.04	2.02	2.02	2.02	2.01	2.00	2.00
$\sum \frac{mt_1}{\textcircled{H}}$		8.16	8.14	8.04	8.00	7.94	7.88	7.88	7.90
面圧力 P_{max}	釘①及② $\frac{1}{2}P$	61.3	62.0	63.0	63.3	63.7	64.2	64.7	63.5
	釘③及④ $\frac{1}{2}P$	61.3	61.6	62.7	63.0	63.5	64.2	64.6	64.2

但し 第 6 図に於て $d = 20 \text{ mm}$ $P = 1 \text{ ton}$ として計算した。