木船の縦強度 第三報

第五章 外板のコーキングの影響

正員 工學士 原 田 正 道*

Abstract

“The Longitudinal Strength of a Wooden Ships, Report 3.

Chapter 5. Effect of the Caulking of outer Strakes”

by Masamichi. Harada, *Kogakushi, Member*

In this paper, the author mentions the results of the experiment, by which he investigated the resistance force of the caulking at the seams of outer strakes of wooden ship, and of the theoretical consideration of the effect, which the resistance force of the caulking produces on the longitudinal strength of wooden ship.

目 次

第五章 外板のコーキングの影響

- 5-1) コーキングの抵抗力の實驗
- 5-2) コーキングの抵抗力に関する考察
- 5-3) 縦強度に及ぼすコーキングの抵抗力の影響
- 5-4) コーキングの効果の時間的推移
- 附録 E. コーキングの抵抗を考えた縦強度理論
- E-1) 變位量及不靜定内力
- E-2) 外板のシームのスリップ
- E-3) 釘の固著力
- E-4) 肋骨の剪斷力及び曲げモーメント
- E-5) X が一定値である場合

第五章 外板のコーキングの影響

5-1) コーキングの抵抗力の實驗

第一章に述べた木船の縦強度の理論は、外板のシームに施されたコーキングの影響を全く省略したものであります。云々までもなく、コーキングの目的は水止めにあるのであります。偶々それが施されて居る外板のシームに於て、上下に隣接する外板同志に相對的な迂りが起つたとすれば、コーキングはこの迂りを阻止しようとして抵抗力を發生し、之が木船の縦強度に或程度の影響を與えるであろうと云うことは想像するに難くはありません。果せるかな其後色々な會合の席上、屢々このことが問題となつたのであります。コーキングの抵抗力に関するデータが無い爲に、論議は常に全くの憶測以上に出ることはなかつたのであります。今回極めて大雑把な實驗ではありますが、コーキングの抵抗力に関する大體の数値の見當を得ましたので、コーキングは木船の縦強度の如何なる項目にいか程の影響を與えるものであるか云う理論的な検討を加えて見たのであります。

實驗は第(5-1)圖の様な模型5箇所について行われました。三枚の板のうちの兩側の板を、裏面にあてた肋骨にしつかりと釘付けにして間隔の開くことを防ぎ、中央の板との間にコーキングを補し、中央の板を上から下え或

* 東大第二工學部助教授

は下から上へと押して、送りと押す力との関係を求めたのであります。中央の板と肋骨との接觸面では、肋骨の肉を殺いて餘計な摩擦の入ることを少なくしてあります。コーキングを補した長さは中央の板の兩縁の合計 50 cm で、その工作は大東製作所川津造船工場の一棟梁の手に依つて、實船の外板のシームに施す要領で邪念なく打つてもらつたものであります。

實驗の結果から送りと押す力との曲線を二つばかり拾い上げて第(5-2)圖と第(5-3)圖に示します。縦軸はコーキングの單位長さ當りの抵抗力、横軸はスリップであります。

第(5-2)圖は最初中央の板を一方に押し、曲線(1)の如く曲線が平らになつた處で荷重を零に戻すことを2回まで行いながら全スリップ約 1 mm に及ぼし、次いで押す方向をかえて曲線(2)の如く途中やはり2回荷重を下げることを行いながら全スリップ約 1 mm

第 5-1 圖

第 5-2 圖

第 5-3 圖

で大體始めの位置まで戻し、更に方向をかえて曲線(3)を得、こゝで1日間水につけて置いた後、曲線(4)及び(5)を得たものであります。第(5-3)圖も同様にして方向をかえること5度のものであります。この模型では抵抗力曲線が平らになるのに約 3 mm のスリップを要して居ります。其他の3箇の模型も之等と大同小異の結果を示して居ります。

之等の曲線を通して見て色々と論じ得る點もありますが、試験片の数も少く、工作所も唯一箇所の而も唯一人の棟梁の手になつたもののみでありますから、之から直ちにコーキングの抵抗力に関する一般性質を云々することは少しく亂暴にすぎますから、深く論じないことに致して置きます。

5-2) コーキングの抵抗力に関する考察

第(5-4)圖に於て、S番肋骨より x の距離の處で、 i 番梁の下縁の R_i 點と $(i+1)$ 番梁の上縁の R'_{i+1} 點とが相對的に Slip (i, x) のスリップを生じたとします。若しこの處にコーキングが補されてあつたとすれば、このスリップに應じて第(5-2)圖や第(5-3)圖のやうな關係にある抵抗力が生ずる筈であります。之をコーキングの單位長さ當り $X_i(x)$ としましょう。全く同様に $(i-1)$ 番梁の下縁と

第 5-4 圖

番梁の上縁との間にも抵抗力 $X_{i-1}(x)$ が生じます。

今、 i 番梁に着目して、その上縁の抵抗力 $X_{i-1}(x)$ と下縁の抵抗力 X_i とを合成しますと、 i 番梁の中性軸上の Q_i 點に働く水平力 $H_i(x)$ と捩り力 $T_i(x)$ とに置きかえることが出来ます。即ち

$$\left. \begin{aligned} H_i(x) &= -[X_{i-1}(x) - X_i(x)] \\ T_i(x) &= -\frac{1}{2} d_i [X_{i-1}(x) + X_i(x)] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-1)$$

i 番梁の徑間の單位長さ當りに(5-1)式のやうな荷重を受ける片持梯子梁の解は、假りに X_i が既知の量とすれば、既に第一章の附録 A に求められて居り、それを本章の附録 E に詳しく述べる様に少しく手を加えますと、木船の變位量は附録 E の (e-11) 式、 i 番梁の不靜定内力は (e-12) 式の如くなります。之等の式から i 番梁の下縁のスリップ $\text{Slip}(i, x)$ を求めることが出来て、(e-23) 式となります。

今少しく實船の状況に應じて (e-23) 式を簡単にすることを考えましょう。縦強度に影響を持つのは、その上縁とか下縁とかにコーキングが施されて居る部材、即ち例えば船側外板とか外部腰板とかの如き船側部材でありまして、甲板とか船底外板とかの様にその横の縁にコーキングを施されたものは影響がありません。之等の船側部材に於ては分布荷重 w_i はその材自身の重さだけであつて、荷物とか水壓とかに依るものがありませんから w_i は極めて小さく省略して差支ありません。又、之等の船側部材ではその板幅 d_i は相等しいのが普通であり、又相等しくすることが得策であることが第一章に説かれてあります。 d_i が等しければ ϵ_i も亦相等しくなります。之等のことで (e-23) 式を書きかえますと、

$$\begin{aligned} \text{Slip}(i, x) &= \frac{l^3}{2EJ} \frac{d_i}{l(1+\epsilon_i)} \left[F + \frac{1}{2} wl - \Delta F \right] \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \\ &+ \frac{l^3}{12E_i d_i} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l} \right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x \right] (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} \\ &- \frac{l^3}{12E_{i+1} d_{i+1}} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l} \right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x \right] (X_i - X_{i+1}) l \frac{dx}{l} \\ &- \frac{l^3}{4E_i d_i} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l} \right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x - \frac{3}{1+\epsilon_i} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right] (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \\ &- \frac{l^3}{4E_{i+1} d_{i+1}} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l} \right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x - \frac{3}{1+\epsilon_i} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right] (X_i + X_{i+1}) l \frac{dx}{l} \\ &\dots\dots\dots (5-2) \end{aligned}$$

$$\text{但し} \quad \Delta F = \frac{3d_i}{l(1+\epsilon_i)} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \sum_{i=1}^n (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \dots\dots\dots (5-3)$$

となります。以上の計算はすべて $X_i(x)$ が既知のものとして來たのでありますが、之は實は未だ未定のものであるわけであり、前節で述べた様にスリップと抵抗力との間には實驗的にのみ知ることが出来るある函數關係

$$\text{Slip}(i, x) = f\{X_i(x)\} \dots\dots\dots (5-4)$$

があるものであります。従つて (5-2) 式の左邊の $\text{Slip}(i, x)$ を (5-4) 式で書きかえれば (5-2) 式は X_i のみの方程式となり、夫を解けば X_i が求められるのであります。その式は x に關しての積分方程式、 i に關しての差方程式及び和方程式であります。

先ずスリップの大略の値を見る爲にコーキングの影響のない場合の値を求めて見ます。(5-2) 式で $X_i=0$ とすれば、

$$\text{Slip}(i, x) = \frac{l^3}{2EJ} \frac{d_i}{l(1+\epsilon_i)} \left[F + \frac{1}{2} wl \right] \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \dots\dots\dots (5-5)$$

スリップは $x=0$ 及び $x=l$ の處即ち肋骨の處で零で、その中間では x に關して拋物線的な分布をします。その最大値を例の 250 噸型の標準貨物船のホギング状態で計算して見ます。この船では最大ホギング剪斷力 $F=70$ ton、肋骨心距 $l=0.54$ m、第二曲げ剛性 $EJ/E_0=23.820$ cm²-m²、船側外板も外部腰板も共に $d_i=20$ cm、 $\epsilon_i=2.744$ 、であります。今 E_0 として松の標準値 70,000 kg/cm² を取つて見ますと、

$$\max \text{Slip} = 0.0817 \text{ mm}$$

となります。この時のスリップの分布を圖示すれば第(5-5)圖の上の圖となり、この各點のスリップに應ずる抵

抵抗力の分布を第 (5-2) 圖及第 (5-3) 圖の曲線(1), (3) 及び (5) を使つて描いて見ますと第 (5-5) 圖の下の圖のようになります。

この圖で見られる様に, 抵抗力の分布は可成りの範圍に平坦であることが判ります。そこで次には第一段の近似法として抵抗力はすべての部分で一定値 X であるとしします。抵抗力が働けばスリップは今の値より多少は減ずる筈で, 従つて抵抗力もこの圖より低くなります。それで先ず $X=6 \text{ kg/cm}$ と假定して再びスリップを求め直して見ます。

それには (5-2) 及び(5-3) 式の $X_i=X$ とするのでありますが, それは船側部材同志のシームに於てであつて, 甲板とか船底外板とかのシームに於ては $X_i=0$ であることに注意を要します。今船側部材の数を片舷當り m 枚とすれば, m 枚の中の一上上の部材の上縁と, 一番下の部材の下縁とでは上の理由に依つて, $X=0$ でありますから抵抗力の働く縁の数は, (各部材の上及び下の縁を夫々一本づつに数えますから), 兩舷全體で $2 \times (2m-2) = 4(m-1)$ 本であります。従つて (5-3) 式は,

第 5-5 圖

第 5-6 圖

$$\Delta F = 2(m-1) \frac{d_i}{l(1+\varepsilon_i)} Xl \dots \dots \dots (5-6)$$

5-2) 式は,

$$\begin{aligned} \frac{\text{Slip}(i, x)}{x \left(1 - \frac{x}{l}\right)} &= \frac{l^3}{2EJ} \frac{d_i}{l(1+\varepsilon_i)} \left[F + \frac{1}{2} wl - \Delta F \right] \\ &\quad - \frac{l^3}{12E_i I_i} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left(\frac{1}{2} Xl, 0, 0 \right) - \frac{l^3}{12E_{i+1} I_{i+1}} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left(0, 0, \frac{1}{2} Xl \right) \\ &\quad - \frac{l^3}{4E_i I_i} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \frac{\varepsilon_i}{1+\varepsilon_i} \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, Xl \right) - \frac{l^3}{4E_{i+1} I_{i+1}} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \frac{\varepsilon_i}{1+\varepsilon_i} \left(Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right) \\ &\quad \dots \dots \dots (5-7) \end{aligned}$$

但し () の内は i が夫々 (一番上の, 中間の, 一番下から 2 番目の) 船側部材の場合を示したものであります。
 250 噸型の船で計算を行つて見ます。その船では船側部材の $\frac{12E_i I_i}{E_0} = 6.000 \text{ cm}^2\text{-m}^2$ で片舷當りの枚数は 7 枚, 外部腰板の $\frac{12E_i I_i}{E_0} = 7.200 \text{ cm}^2\text{-m}^2$ で片舷當りの枚数は 8 枚でありますから $m=15$ 枚であり, 従つて (5-6) 式より

$$\Delta F = 0.900 \text{ ton}$$

又 (5-7) 式より色々な場所の最大スリップを求めますと, 1 番上又は下の船側外枚とその次の船側外板とのシームでは $\max \text{ Slip} = 0.0648 \text{ mm}$, 船側外板同志のシームでは 0.0623 mm , 外部腰板同志のシームでは 0.0650 mm , 外部腰板と船側外板とのシームでは 0.0636 mm , でありまして平均 0.064 mm 程度となります。

そこで $\max \text{ Slip} = 0.064 \text{ mm}$ として再び第 (5-5) 圖の如きものを書いて見ますと第 (5-6) 圖が得られます。前の圖に比較してスリップが小さくなった爲に, 抵抗力の分布は肩がとれて來ましたが, 未だ平坦部が可成りの範圍を占めて居ると見て見られないことはありません。そしてその X の値は大體 6 kg/cm 位が平均でありますから, 先に假定した $X=6 \text{ kg/cm}$ が妥當な値であつて, この第一近似で大體 250 噸型の標準貨物船のホッギング状態で 70 ton の最大剪斷力を受ける場所に於けるスリップと抵抗力の分布を與えて居ると見て差支えなく, 又それを x 及 i に無關係に $X=6 \text{ kg/cm}$ の一定値に置き換えても, 左程亂棒なことではないと考えられるのであります。

5-3) 縦強度に及ぼすコーキングの抵抗力の影響

コーキングの抵抗力が船側部材同志のシームに於て $X_i(x)=X$ と云う一定値であるとした場合の縦強度の諸公式は附録 E に依つて次の如くなります。

木船の變位量

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \frac{l^2}{2EI} \left[\frac{2M}{l} + F + \frac{1}{3}wl \right] \\ \eta &= \frac{1}{2}l\theta + \frac{l^3}{12EJ} \left[F + \frac{1}{2}wl - \Delta F \right] \\ \xi &= \frac{l}{EA}N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-8)$$

$$\text{但し } \Delta F = 2(m-1) \frac{d_i}{l(1+\varepsilon_i)} Xl \dots\dots\dots (5-9)$$

i 番梁の不静定内力

$$\left. \begin{aligned} \frac{2M_i}{l} &= \frac{1}{6}w_i l - \frac{E_i J_i}{EJ} \left[F + \frac{1}{2}wl - \Delta F \right] \\ &\quad + \frac{E_i I_i}{EI} \left[\frac{2M}{l} + F + \frac{1}{3}wl \right] + \frac{d_i \varepsilon_i}{l(1+\varepsilon_i)} \left(\frac{1}{2}Xl, Xl, \frac{1}{2}Xl \right) \\ F_i &= -\frac{1}{2}w_i l + \frac{E_i J_i}{EJ} \left[F + \frac{1}{2}wl - \Delta F \right] + \frac{d_i}{l(1+\varepsilon_i)} \left(\frac{1}{2}Xl, Xl, \frac{1}{2}Xl \right) \\ N_i &= \frac{E_i A_i}{EA} N + \frac{E_i A_i h_i l}{2EI} \left[\frac{2M}{l} + F + \frac{1}{3}wl \right] + \left(-\frac{1}{2}Xl, 0, \frac{1}{2}Xl \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-10)$$

肋骨と縦強度材との固著釘の固著力は w の項を省略すれば

$$\left. \begin{aligned} W_i &= \frac{E_i A_i h_i l}{EI} F - (-Xl, 0, Xl) \\ Q_i &= \left(\frac{E_i J_i}{EJ} - \frac{E_i I_i}{EI} \right) Fl - \frac{E_i J_i}{EJ} \Delta Fl - l \frac{d_i \varepsilon_i}{l(1+\varepsilon_i)} \left(\frac{1}{2}Xl, Xl, \frac{1}{2}Xl \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-11)$$

但し () の内は i が夫々 (一番上の, 中間の, 一番下の) 船側部材の場合の値を示し, 船側部材以外のものに對しては () 内は零となるものであります。

又 r 番梁の固著點 P_r に於ける肋骨の剪斷力 S_r と曲げモーメント L_r とは, コーキングの抵抗を省略した時の値を夫々 $(S_r)_0$ $(L_r)_0$ とし, r 番梁までの船側部材の數を片舷當り m' 枚とすれば, 附録の (e-28) 及 (e-32) 式から

$$\left. \begin{aligned} S_r &= \sum_{i=1}^r W_i = (S_r)_0 + \left\{ \begin{array}{l} Xl \dots \text{船側肋骨} \\ 0 \dots \text{梁及船底肋骨} \end{array} \right\} \\ L_r &= \sum_{i=1}^r [Q_i + W_i(h_i - h_r)] \\ &= (L_r)_0 - \Delta F l \sum_{i=1}^r \frac{E_i J_i}{E J} + l \frac{d_i}{l} \left[2(m' - 1) - \frac{\varepsilon_i}{1 + \varepsilon_i} (2m' - 1) \right] Xl \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5-12)$$

但 $m' = 0$ に對しては [] 内は零とします。

以下順次に各項目について數量的の検討を加えて行くことに致します。先ず第一に木船の變位量に對しては、(5-8) 式でわかる様に、角變位 θ と水平變位 ξ には何らの影響もなく、鉛直變位の第二項にのみ影響があつて、之を $(\Delta F / F + \frac{1}{2} \omega l) \times 100\%$ だけ減少させるのであります。例の船の數値を入れますと $F = 70 \text{ ton}$, $\Delta F = 0.9 \text{ ton}$ でありますから、

$$\frac{\Delta F}{F + \frac{1}{2} \omega l} \times 100 = 1.3\% \text{ 減少}$$

でありまして極めて僅かであります。

斯くの如く木船の變位量に對して、コーキングは殆んど影響なしと斷じて宜いと考えられるのであります。

次に (5-10) 式を用いて木船の應力に關しての影響を考えましょう。(5-2) 及び (5-4) 式から抵抗力 $X_i(x)$ を求める方程式が得られますが、その式の中に入つて來る外力は剪斷力 F のみでありますから、 F が零の場所ではスリップも亦抵抗力も零であることは明らかであります。

而して (5-10) 式中の M_i と N_i とは主として木船の曲げ應力を左右するものでありますが、曲げ應力が重要となる船の長さの中央部分では剪斷力 F は殆んど零でありますから抵抗力 X は極めて小さく、從つてこの附近の曲げ應力に對してはコーキングの影響を考える必要がないことになります。

次に (5-10) 式中の F_i は主として剪斷力の大きな $1/4 L$ 附近の重要な剪斷應力を左右するものであります。今之を次の如く書きかえて見ましょう。

$$\left. \begin{aligned} F_i &= -\frac{1}{2} \omega_i l + \frac{E_i J_i}{E J} \left[F + \frac{1}{2} \omega l - \Delta F + \Delta F_i \right] \\ \text{但し } \Delta F_i &= \frac{E J}{E_i J_i} \frac{d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5-13)$$

即ちコーキングの効く船側部材に對しては剪斷應力の第二項 (第一章参照) を $\frac{\Delta F_i - \Delta F}{F} \times 100\%$ だけ増大させ、その代りに甲板や船底部材のそれを $\frac{\Delta F}{F} \times 100\%$ だけ減少させるのであります。云いかえればコーキングの爲に剪斷應力が一部甲板や船底部材から船側部材に移しかえられると云うことであります。何となれば各部材から減る量は $\frac{E_i J_i}{E J} \Delta F$ でその總和は $\Delta F \sum_{i=1}^n \frac{E_i J_i}{E J} = \Delta F$ であり、船側部材に増える量は $\frac{E_i J_i}{E J} \Delta F_i = \frac{d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right)$ で、 $\frac{1}{2} Xl$ のものが兩舷の上下で 4 箇、 Xl のものが $2m - 4$ 個で、増える量の總和は $\frac{d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} 2(m - 1) Xl = \Delta F$ であり増減量が等しいからであります。増減量の % を例の船で計算しますと、船側部材以外のものでは $\frac{\Delta F}{F} \times 100 = 1.3\%$ 減少、船側部材では一番上又は下の船側外板で $\frac{\Delta F_i - \Delta F}{F} \times 100 = 2.8\%$ 、中間の船側外板で 6.9%、外部腰板で 5.5% の夫々増大となりまして、コーキングの影響はせいぜい數 % 止りであつて大したものではないことが判ります。

次に釘の固著力に對しての影響に移りましょう。

水平方向固著力 W_i は一番上又は下の船側部材に於てのみ變化があつて夫々 Xl だけの増減を與えます。250 噸型の船で、一番上の船側部材はコーキングのない時の値 $(W_i)_0 = 117 \text{ kg}$ であつたものに $Xl = 324 \text{ kg}$ 増して $W_i = 441 \text{ kg}$ と約 4 倍となり、一番下の船側部材では $(W_i)_0 = 99 \text{ kg}$ であつたものに $-Xl = -324 \text{ kg}$ が加わつて $W_i = -225 \text{ kg}$ と方向をかえて約 2 倍強の値となります。しかし元來 $(W_i)_0$ に依つて生ずる釘孔の面壓力は低いものでありますので、これだけに増大しても問題はないのであります。

次に振り固著力は (5-11) 式をかきかえますと元の値に對する減少量 ΔQ_i は

$$\Delta Q_i = -\frac{E_i J_i}{E J} [\Delta F + \Delta F_{i\varepsilon_i}] l \dots \dots \dots (5-14)$$

で與えられます。船側部以外では ΔF_i の項が消失することは既に明らかなことであります。今 250 噸型の船で計算して見ますと、次の表の様になつて、甲板や船底の部材ではいずれも約 1.3% の減少であります。船側部材では、一番上又は下のもので 13% 中間のもので 20% 位の減少を來します。元來 $(Q_i)_0$ に依つて船側部材の釘孔に生ずる面壓力は極めて大きなものでありますので之を約 20% 減少させることは大いに意義があるものと考えられます。

次に肋骨の剪斷力と曲げモーメントに移ります。

肋骨の剪斷力 S_r は (5-12) 式でわかるように甲板梁及び船底肋骨には變化がなく、船側肋骨では到る所 Xl の増加を來します。但しこれは兩舷肋骨の和であります。今の場合片舷當り $\frac{1}{2}Xl = 162 \text{ kg}$ の増加で、第一章で求めた 250 噸船では、

場 所	(1) 肋骨頂材と梁との境	$(S_r)_0 = 4382 \text{ kg}$	増 加 0 kg	増 加 率 0%
"	(2) 外部腰板の上縁部	5321	162	3.0
"	(3) 中性軸上	5628	162	2.8
"	(4) 彎曲部肋骨の下縁	4701	0	0

の如く大した變化ではありません。

次に肋骨の曲げモーメント L_r の大體の傾向を調べて見ます。上の表の場所 (1) 及 (4) の如く船側肋骨の上下端では (5-12) 式の $h_i = h_r$ でありますから L_r は甲板又は船底部材の釘の振り固著力 Q_i の和となり、之等の部材の Q_i は前述の如く何れの部材も約 1.3% の減少でありますから L_r も亦約 1.3% の減少となつて大したことはないのであります。而も肋骨の曲げモーメントはこの附近が一番大きな値を持つことが第一章で知られて居りますから、結局肋骨の曲げモーメントに對してもコーキングの影響は僅かであると言ふことが出來ます。

尙念の爲中性軸附近の大體の値を求めて見ますと、この附近では $\sum_{i=1}^r \frac{E_i J_i}{EJ} = \frac{1}{2}$, $m_i = \frac{1}{2}m$ と考えられますので 250 噸型の船では $(L_i)_0 = -168360 \text{ kg-cm}$ に對して 19200 kg-cm の補正量となつて約 11% の減少がありますが、元來の $(L_i)_0$ の値が小さいものでありますから考慮するに當らないものであります。

以上の考察に依つて、結局、コーキングの影響は船側部材の釘の振り固著力を 20% 前後減少させる以外には、殆んど影響なしと結論しても差支えないことになつたわけであります。

尙、この論文に於ては釘及び釘孔の變形を考えて來ませんでした。若し釘及び釘孔の變形があれば、スリップは今の場合より多少なり増加する筈であります。然し乍らスリップと抵抗力の關係曲線の平坦部に掛つて來る爲にスリップが増加する程はコーキングの抵抗力が増加せず、木船の縦強度に對するコーキングの効果は、この論文と大した變化はないものと考えられるのであります。

5-4) コーキングの効果の時間的推移

船體が波に浮いて居ますと、船體に加えられる外力は最大ホツギング状態と最大サツギング状態との間を週期的に變化します。この外力の變化に應じての、コーキングの効果の時間的推移は一見奇妙な様子を示します。

外力が例えば最大ホツギングに向つて増加して行きますと、外板のシームのスリップも、之に應ずる抵抗力も増加して行きますが、最大ホツギングを越えて外力が減少し始める瞬間に、スリップも減少しようとしてゐる方向が變ることになり、抵抗力はその瞬間に零に落ち、次いで方向をかえて零から順次に増大して行くことになります。従つて簡単に考えて仕舞いますと、最大ホツギングと云う大切な瞬間に、折角のコーキングの効果が零になつて、木船の縦強度には何らの影響も與えないと云う結論を得ることになります。實際には最大ホツギング及びサツギングに於て到達したある縦強度の値がそのまゝ、暫らく一定値を保つた後に減少を始めて行くと言ふ恰好になるものと考えられます。

その状況を模型的に示したものが第 (5-7) 圖であります。暫らく今まで使つた記號から離れて説明を致しますが、船體に加わる外力 F が圖の様な時間的變化をする時に、若しコーキングの抵抗がないとすれば、之と同じ位相を保つて、木船の縦強度中のある量が δ_0 の如く變化し、外板のスリップは S_0 の如く變化します。

然るに今コーキングの抵抗を考えますと、外力 F の内で ΔF だけがコーキングに支持されて、船體の變形を起す外力は $(F - \Delta F)$ になりましょう。そして之と一對一の對應を保つて實際の縦強度量は δ の様に、スリップは S の様になります。この S 曲線に於て夫々最大ホツギング又はサツギングから測つたスリップを ΔSlip と

第 5—7 圖

て行くのであります。

従つて木船の縦強度量 δ は抵抗力を考へない時の δ_0 に比較して、本論文で述べただけのコーキングの影響を受けることが出来、その時間的推移の状況は頂點に於て水平な部分を有する、而も外力とはやゝ位相のずれた様な感じのするものになると考へることが出来るのであります。

附録 E. コーキングの抵抗力を考へた縦強度理論

E-1) 變位量及び不靜定内力

i 番梁の徑間の單位長さ當りに、

$$\text{水平力 } H_i = -(X_{i-1} - X_i)$$

$$\text{捩り力 } T_i = -\frac{1}{2} d_i (X_{i-1} + X_i)$$

} (e-1)

の分布荷重も受ける片持梯子梁の解は、第一章の附録 A に求められて居て次の様でありました。

木船の中性軸上の P 點の變位量

$$\theta = \frac{l^2}{2EI} \left[\frac{2M}{l} + F + \sum_{i=1}^n \left(A_i + \frac{2h_i}{l} C_i \right) \right]$$

$$\eta = \frac{1}{2} l \theta + \frac{l^3}{12EJ} \left[F + \sum_{i=1}^n B_i \right]$$

$$\xi = \frac{l}{EA} \left[N + \sum_{i=1}^n C_i \right]$$

} (e-2)

i 番梁の左端 P_i 點の變位量、

$$\theta_i = \theta, \quad \eta_i = \eta, \quad \xi_i = \xi + h_i \theta \dots \dots \dots (e-3)$$

P_i 點の不靜定内力

$$\frac{2M_i}{l} = (B_i - A_i) - \frac{12E_i J_i}{l^3} \left(\eta - \frac{1}{2} l \theta \right) + \frac{2E_i I_i}{l^2} \theta$$

$$F_i = -B_i + \frac{12E_i J_i}{l^3} \left(\eta - \frac{1}{2} l \theta \right)$$

} (e-4)

しますと、この ΔSlip に應じてスリップと抵抗力の曲線から抵抗力 X を求めることが出来、その時間的推移が圖の X 曲線の如くなります。従つてこの X からコーキングの効果 ΔF が一番下の曲線の如く得られ、これが一番上の F 曲線と $(F - \Delta F)$ 曲線との差と一致する筈であります。この一巡する圖のどの曲線から話し始めても宜いのでありますが、今最大ホツギングの状態 A 點から外力が減少し出しますと、スリップ S が減少しようとしてゐるの方向が變り、抵抗力 X が零に落ち、コーキングの効果 ΔF が零になろうとしますので、 $(F - \Delta F)$ 曲線は F 曲線まで上昇しようとし、スリップが逆に増加しようとして、ゐるの方向が元へ戻り、抵抗力はスリップと抵抗力との關係曲線の B 點の値を得ます。

このようなことを振動的にくりかえして S 曲線は一定値を保つて居りますが、外力が次第に減つて行つて、やがて抵抗力を考へない時のスリップ S_0 曲線と S 曲線とが一致する C 點になりますと、スリップは安心して方向をかえ、最大サツギングに向つ

$$N_i = -C_i + \frac{E_i A_i}{l} (\xi + h_i \theta)$$

茲に、

$$\left. \begin{aligned} A_i &= \frac{1}{3} \omega_i l + 2 \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) T_i \frac{dx}{l} = \frac{1}{3} \omega_i l - \frac{d_i}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \\ B_i &= \frac{1}{2} \omega_i l + \frac{6}{1 + \varepsilon_i} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) T_i \frac{dx}{l} = \frac{1}{2} \omega_i l - \frac{3 d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \\ C_i &= \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) H_i l \frac{dx}{l} = - \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} \end{aligned} \right\} \dots (e-5)$$

(e-2) 式中の Σ の項を (e-5) 式に依つて計算して見ますと、先ず、

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \left(A_i + \frac{2 h_i}{l} C_i \right) &= \frac{1}{3} \omega l - \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \left\{ d_i (X_{i-1} + X_i) + 2 h_i (X_{i-1} - X_i) \right\} \frac{dx}{l} \\ &= \frac{1}{3} \omega l - 2 \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \left\{ \left(h_i + \frac{1}{2} d_i \right) X_{i-1} - \left(h_i - \frac{1}{2} d_i \right) X_i \right\} \frac{dx}{l} \dots \dots \dots (e-6) \end{aligned}$$

處がこゝに

$$h_i + \frac{1}{2} d_i = h_{i-1} - \frac{1}{2} d_{i-1} \dots \dots \dots (e-7)$$

の關係がありますから (e-6) 式は、

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \left(A_i + \frac{2 h_i}{l} C_i \right) &= \frac{1}{3} \omega l - 2 \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \left\{ \left(h_{i-1} - \frac{1}{2} d_{i-1} \right) X_{i-1} - \left(h_i - \frac{1}{2} d_i \right) X_i \right\} \frac{dx}{l} \\ &= \frac{1}{3} \omega l - 2 \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \left\{ \left(h_0 - \frac{1}{2} d_0 \right) X_0 - \left(h_n - \frac{1}{2} d_n \right) X_n \right\} \frac{dx}{l} = \frac{1}{3} \omega l \dots \dots \dots (e-8) \end{aligned}$$

何となれば 1 番梁の上縁と、 n 番梁の下縁とは、その先に隣接する部材がない爲に

$$X_0 = 0, \quad X_n = 0 \dots \dots \dots (e-9)$$

であるからであります。

次に、

$$\sum_{i=1}^n C_i = - \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} = - \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \{ X_0 - X_n \} l \frac{dx}{l} = 0 \dots \dots \dots (e-10)$$

之等の値を (e-2) 及び (e-4) に代入しますと、

木船の変位量

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \frac{l^2}{2 EI} \left[\frac{2 M}{l} + F + \frac{1}{3} \omega l \right] \\ \eta &= \frac{1}{2} l \theta + \frac{l^3}{12 EJ} \left[F + \frac{1}{2} \omega l - \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \frac{3 d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \right] \\ \xi &= \frac{l}{EA} N \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (e-11)$$

P_i 點の不靜定内力

$$\left. \begin{aligned} \frac{2 M_i}{l} &= \frac{1}{6} \omega_i l - \frac{E_i J_i}{EJ} \left[F + \frac{1}{2} \omega l - \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \frac{3 d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \right. \\ &\quad \left. + \frac{E_i I_i}{EI} \left[\frac{2 M}{l} + F + \frac{1}{3} \omega l \right] + \frac{d_i}{l} \left[\int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \frac{3}{1 + \varepsilon_i} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \right] (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \right] \\ F_i &= - \frac{1}{2} \omega_i l + \frac{E_i J_i}{EJ} \left[F + \frac{1}{2} \omega l - \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \frac{3 d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \right] \\ &\quad + \frac{3 d_i}{l(1 + \varepsilon_i)} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \\ N_i &= \frac{E_i A_i}{EA} N + \frac{E_i A_i h_i}{2 EI} \left[\frac{2 M}{l} + F + \frac{1}{3} \omega l \right] + \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (e-12)$$

E-2) 外板のシームのスリップ

i 番梁の Q_i 點に於ける角變位 ϕ_i と水平變位 u_i とを求めることが出来れば, i 番梁の下縁の R_i 點の水平變位は $\left(u_i - \frac{1}{2} d_i \phi_i\right)$ となり, 全く同様に $(i+1)$ 番梁の上縁 R'_{i+1} 點の水平變位は $\left(u_{i+1} + \frac{1}{2} d_{i+1} \phi_{i+1}\right)$ となりますから, この二點間のスリップは,

$$\text{Slip}(i, x) = \left(u_{i+1} + \frac{1}{2} d_{i+1} \phi_{i+1}\right) - \left(u_i - \frac{1}{2} d_i \phi_i\right) \dots\dots\dots (e-13)$$

で計算することが出来ます。

P_i 點より i 番梁に沿つて x の距離に於ける曲げモーメント $\mathfrak{M}$ と引張力 $\mathfrak{N}$ とは,

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M} &= M_i + F_i x + \frac{1}{2} \omega_i x^2 + \int_0^x T_i dx \\ \mathfrak{N} &= N_i + \int_0^x H_i dx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (e-14)$$

梁の單位長さ當りの角變化 $\frac{d\phi}{dx}$ と, 伸び $\frac{du}{dx}$ とは,

$$\frac{d\phi}{dx} = -\frac{1}{E_i I_i} \mathfrak{M}, \quad \frac{du}{dx} = \frac{1}{E_i A_i} \mathfrak{N} \dots\dots\dots (e-15)$$

であつて, 梁はその右端 $x=l$ に於て固定でありますから, その端に對して Q_i 點の變位量は,

$$\begin{aligned} \phi_i &= \int_x^l \frac{d\phi}{dx} dx = -\frac{1}{E_i I_i} \int_0^l \mathfrak{M} dx = -\frac{1}{E_i I_i} \int_0^x \mathfrak{M} dx \\ &= \theta_i - \frac{1}{E_i I_i} \int_0^x \left[M_i + F_i x + \frac{1}{2} \omega_i x^2 + \int_0^x T_i dx \right] dx \\ &= \theta - \frac{1}{E_i I_i} \left[M_i x + \frac{1}{2} F_i x^2 + \frac{1}{6} \omega_i x^3 + \int_0^x dx \int_0^x T_i dx \right] \dots\dots\dots (e-20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_i &= \int_x^l \frac{du}{dx} dx = \frac{1}{E_i A_i} \int_0^l \mathfrak{N} dx = \xi_i - \frac{1}{E_i A_i} \int_0^x \left[N_i + \int_0^x H_i dx \right] \\ &= (\xi + h_i \theta) - \frac{1}{E_i A_i} \left[N_i x + \int_0^x dx \int_0^x H_i dx \right] \dots\dots\dots (e-21) \end{aligned}$$

之等を (e-13) に代入し, (e-12) を代入し, (e-7) 式の關係, 及び

$$A_i = \frac{12 I_i}{d_i^2} \dots\dots\dots (e-22)$$

の關係を使つて整理すれば

$$\begin{aligned} \text{Slip}(i, x) &= \frac{l^3}{4 E J} \left[\frac{d_{i+1}}{l(1+\varepsilon_{i+1})} + \frac{d_i}{l(+\varepsilon_i)} \right] \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \left[F + \frac{1}{2} \omega l \right. \\ &\quad - \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \frac{3 d_i}{l(1+\varepsilon_i)} (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \left. - \frac{l^3}{24} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \left(1 - 2 \frac{x}{l}\right) \left[\frac{\omega_{i+1} d_{i+1}}{E_{i+1} I_{i+1}} \right. \right. \right. \\ &\quad + \left. \left. \frac{\omega_i d_i}{E_i I_i} \right] + \frac{l^3}{12 E_i I_i} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x \right] (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} \right. \\ &\quad - \frac{l^3}{12 E_{i+1} I_{i+1}} \left(\frac{d_{i+1}}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x \right] (X_i - X_{i+1}) l \frac{dx}{l} \\ &\quad - \frac{l^3}{4 E_i I_i} \left(\frac{d_i}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x - \frac{3}{1+\varepsilon_i} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \right] (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \\ &\quad - \frac{l^3}{4 E_{i+1} I_{i+1}} \left(\frac{d_{i+1}}{l} \right)^2 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{3}{1+\varepsilon_{i+1}} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \right] (X_i + X_{i+1}) l \frac{dx}{l} \right] \dots\dots\dots (e-23) \end{aligned}$$

E-3) 釘の固著力

S 番肋骨の P_i^s 點の釘に, すぐ右側の i 番梁から加えられる力は,

$$\left. \begin{aligned} \text{水平力} \quad (\mathfrak{N}_i^s)_{x=0} &= N_i^s \\ \text{捩り力} \quad (\mathfrak{M}_i^s)_{x=0} &= M_i^s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (e-24)$$

すぐ左側から加えられる力は、

$$\left. \begin{aligned} \text{水平力 } (\mathfrak{N}_i^{s-1})_{x=l} &= N_i^{s-1} + \int_0^l H_i^{s-1} dx \\ \text{振り力 } (\mathfrak{M}_i^{s-1})_{x=l} &= M_i^{s-1} + F_i^{s-1}l + \frac{1}{2}\omega_i^{s-1}l^2 + \int_0^l T_i^{s-1} dx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (\text{e-25})$$

従つて釘の水平方向固著力は、

$$\begin{aligned} W_i^s &= (\mathfrak{N}_i^{s-1})_{x=l} - (\mathfrak{N}_i^s)_{x=0} \\ &= \frac{E_i A_i h_i l}{EI} \left[F^s + \frac{1}{6}(\omega^s - \omega^{s-1})l \right] + \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l} \right) \{ (X_{i-1}^{s-1} - X_i^{s-1}) - (X_{i-1}^s - X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \\ &\quad - \int_0^l (X_{i-1}^{s-1} - X_i^{s-1}) l \frac{dx}{l} \dots\dots\dots (\text{e-26}) \end{aligned}$$

釘の振り固著力は

$$\begin{aligned} Q_i^s &= (m_i^{s-1})_{x=l} - (\mathfrak{M}_i^s)_{x=0} \\ &= -\frac{1}{12}(\omega_i^s - \omega_i^{s-1})l^2 + l \frac{E_i J_i}{EJ} \left[F^s + \frac{1}{6}(\omega^s - \omega^{s-1})l \right] - l \frac{E_i I_i}{EI} \left[F^s + \frac{1}{6}(\omega^s - \omega^{s-1})l \right] \\ &\quad - \frac{l}{2} \frac{E_i J_i}{EJ} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \sum_{i=1}^n \frac{3d_i}{l(1+\varepsilon_i)} \{ (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) + (X_{i-1}^s + X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \\ &\quad + \frac{l}{2} \frac{3d_i}{l(1+\varepsilon_i)} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \{ (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) + (X_{i-1}^s + X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \\ &\quad + \frac{l}{2} \frac{d_i}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l} \right) \{ (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) - (X_{i-1}^s + X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \\ &\quad - \frac{l}{2} \frac{d_i}{l} \int_0^l (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) l \frac{dx}{l} \dots\dots\dots (\text{e-27}) \end{aligned}$$

E-4) 肋骨の剪断力及び曲げモーメント

r 番梁の附着点 P_r 點に於ける S 番肋骨の剪断力はコーキングのない時の値を $(S_r^s)_0$ とすれば

$$\begin{aligned} S_r^s &= \sum_{i=1}^r W_i^s \\ &= (S_r^s)_0 - \int_0^l \frac{x}{l} \sum_{i=1}^r [(X_{i-1}^{s-1} - X_i^{s-1}) - (X_{i-1}^s - X_i^s)] l \frac{dx}{l} - \int_0^l \sum_{i=1}^r (X_{i-1}^s - X_i^s) l \frac{dx}{l} \\ &= (S_r^s)_0 + \int_0^l \frac{x}{l} (X_r^{s-1} - X_r^s) l \frac{dx}{l} + \int_0^l X_r^s l \frac{dx}{l} \dots\dots\dots (\text{e-28}) \end{aligned}$$

何となれば 1 番梁の上縁で $X_0 = 0$ でありますから

$$\sum_{i=1}^r (X_{i-1} - X_i) = X_0 - X_r = -X_r \dots\dots\dots (\text{e-29})$$

であるからであります。

次にその點における肋骨の曲げモーメントは、コーキングのない時の値を $(S_r^s)_0$ とすれば、

$$L_r^s = \sum_{i=1}^r [Q_i^s + W_i^s(h_i - h_r)] \dots\dots\dots (\text{e-30})$$

今、 $\sum_{i=1}^r (h_i - h_r)(X_{i-1} - X_i)$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^r \left[\left(h_{i-1} - \frac{d_{i-1} + d_i}{2} \right) X_{i-1} - h_i X_i \right] - h_r \sum_{i=1}^r (X_{i-1} - X_i) \\ &= \sum_{i=1}^r \left[h_{i-1} X_{i-1} - h_i X_i \right] - \sum_{i=1}^r \frac{d_{i-1} + d_i}{2} X_{i-1} - h_r \sum_{i=1}^r (X_{i-1} - X_i) \\ &= h_0 X_0 - h_r X_r - \sum_{i=1}^r \frac{d_{i-1} + d_i}{2} X_{i-1} - h_r X_0 + h_r X_r \\ &= -\sum_{i=1}^r \frac{d_{i-1} + d_i}{2} X_{i-1} \\ &= -\sum_{i=1}^r d_i X_{i-1} \dots\dots\dots (\text{e-31}) \end{aligned}$$

の關係を使つて (e-29) 式を整理しますと、

$$\begin{aligned}
 L_r^s = (L_r^s)_0 - \frac{l}{2} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sum_{i=1}^n \frac{3d_i}{l(1+\varepsilon_i)} \{ (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) + (X_{i-1}^s + X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \sum_{j=1}^r \frac{E_j J_j}{E J} \\
 + \sum_{i=1}^r \frac{l}{2} \frac{3d_i}{l(1+\varepsilon_i)} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \{ (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) + (X_{i-1}^s + X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \\
 + \sum_{i=1}^r \frac{l}{2} \frac{d_i}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) \{ (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) - (X_{i-1}^s + X_i^s) \} l \frac{dx}{l} \\
 - \sum_{i=1}^r \frac{l}{2} \frac{d_i}{l} \int_0^l (X_{i-1}^{s-1} + X_i^{s-1}) l \frac{dx}{l} \\
 - \sum_{i=1}^r \frac{d_i}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) [X_{i-1}^{s-1} - X_{i-1}^s] l \frac{dx}{l} \\
 + \sum_{i=1}^r \frac{d_i}{l} \int_0^l X_{i-1}^{s-1} l \frac{dx}{l} \dots\dots\dots (e-32)
 \end{aligned}$$

E-5) X が一定値である場合

X_i がスリップの分布に無關係に一定値 X である場合には、船側部材同志のシーム以外では $X=0$ であることに注意を拂ひ且船側部材では d_i 及 ε_i がすべて相等しいとすれば次の諸公式が得られます。

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{3}{1+\varepsilon_i} \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} &= \frac{1}{1+\varepsilon_i} \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right) \\
 \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} &= \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right) \\
 \int_0^l (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} &= 2 \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right) \\
 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) + \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x - \frac{3}{1+\varepsilon_i} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \int_0^l \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \right] (X_{i-1} + X_i) l \frac{dx}{l} \\
 &= \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{\varepsilon_i}{1+\varepsilon_i} \left(\frac{1}{2} Xl, Xl, \frac{1}{2} Xl \right) \\
 \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} &= \left(-\frac{1}{2} Xl, 0, \frac{1}{2} Xl \right) \\
 \int_0^l (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} &= (-Xl, 0, Xl) \\
 \left[\frac{x}{l} \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \int_0^x \frac{dx}{l} \int_0^x \right] (X_{i-1} - X_i) l \frac{dx}{l} \\
 &= \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \left(-\frac{1}{2} Xl, 0, \frac{1}{2} Xl \right)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (e-33)$$

但し () の内は順次に i が (一番上の、中間の、一番下の) 船側部材の場合の値を示すこととします。勿論船側部材以外では () 内は零であります。

之等の諸公式を用いて今までの諸式を整理すれば、 X が一定値の場合に、木船の縦強度を調べる爲の諸公式は、本文 (5-8) 乃至 (5-11) 式の如くなるのであります。

討 論

○常松 四郎君 caulking は何の様にしていますか。

○原田 正道君 外板のシームを木ごろししてマキハダ又はホーコンを打ち込むこと、鋼船の木甲板等と同様のやり方であります。

○常松 四郎君 何筋位ですか。

○原田 正道君 大工がこれでよいと思うだけ打ちますので数は一定しませんが通常 2, 3 筋であります。

○井口 常雄君 重量が増すのでしょうか。

○原田 正道君 船舶部材の剪断應力 τ と、一番上又は下の船側部材と肋骨とを打ちつける釘の水平方向固着力 W と、船側肋骨の剪断力とでありますが、第一の船側部材の剪断應力 τ の増加する理由は caulking の

爲に船側部材のシームに微小ではありますが或る connection が出来た恰好になつて、剪斷力に對する剛性が増し、剪斷應力を今迄より餘計に受持ち得る様になつた爲であります。そしてその分だけ caulking の影響が縦強度に對して有効でない甲板や船底部材の受持つ剪斷應力が減少して來るのであります。第二の釘の水平方向固著力 W でありますが、中間の船側部材ではその上縁の caulking の抵抗力と下縁のそれとが相殺し合うので釘に加わる力には變化がありませんが、例えば一番上の船側部材ではその上縁にはその先に上方に續く船側部材がない爲に caulking がなく抵抗力がありませんので、下縁の抵抗力がそのまま全部釘にかゝつて來ることになつて W が増加する。従つて第三の船側肋骨の剪斷力もその分だけ増加して來るのであります。然しこの論文はこゝに若干の思考上の省略が行つてあります。即ち實際には一番上の船側部材の上縁にはその上につゞく部材はないけれども、その横につゞく甲板部材があつて、それとの間にやはり caulking が施されて居りますので、この處で一舉に抵抗力 X が零となるわけではなく、甲板の中心線に行く間に漸次零になるものであります。従つて實際には W はこの論文程は増加しないのであります。

○井口 常雄君 實際には 0 でないのですね。

○原田 正道君 そうです。しかし甲板相互のシームの caulking に抵抗力があつても之は木船の縦強度に大きな寄與はありません。これは鋼船でいわれる shear lug の問題と比較されるべきものであるからであります。従つて甲板の X を零としたことで本論文の結論に大した變化はない筈であります。

○松本喜太郎君 實際の船では strakes が澤山並んでいますが、この test piece では strakes が三つしかないからその中で caulking したとすると條件が實際と相當ちがつて來るおそれを感じますがどうですか。

○原田 正道君 仰せの通りで實際より少くなる可能性はあります。但しこの三枚の板の上下の二枚は眞中のもより幅を廣くとり、肋骨に充分釘を打つて間隙の開くことを極力防ごうとしてありますので、そう大した減少はないものと考えます。