

(昭和 19 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

弾性船台上に於て溶接建造する場合の船体の撓み及び各部の残留応力の計算法

正員 工 学 士 木 原 博

1. 緒 言

船体を溶接建造する場合は中央から前後へ、下方から上方に向つて溶接施行して行くが、此の際溶接に依る収縮応力のため船体は縦方向の曲げを受ける。

今仮りに甲板のみを溶接する場合を考えて見ることにする。甲板を溶接すれば船体の縦方向並に横方向に応力や変形が残留するが、余り重要視する必要のない横方向はさておき、縦方向のみを考えて見ると、溶接された甲板は収縮せんとして船体はサッキングモーメントを受ける。此のサッキングモーメントを起す収縮力の大きさは甲板の厚さ、溶接方向、溶接部形状、溶接方法、溶接線数等によつて支配される訳である。今簡単のため溶接による甲板の収縮力は船体の長手方向に一様に分布しているものとして部分的の残留応力は考えないことにする。然る時は溶接する代りに最初から縦方向に引張力を与えた甲板を瞬間的に船体へ取付けたと見做すことが出来る。斯く考えることによつて建造中及び建造後の船体各部の残留応力及び船体の撓み等を計算することが可能となる。そこで計算式を導き例題に就て数値計算を行つて見たいと思う。

2. 残留応力計算の基本

船底板 B_0 の上に外板 S_1 を取付け、その S_1 の上に甲板 D_1 を取付ける。次に $S_2, D_2, S_3, D_3, \dots$ と順次取付けて行くのであるが、 B_0 及び S_m には初期応力が零で、 D_m のみが p_m なる初期応力を有しているものと仮定する。又 B_0, S_m 及び D_m の断面積を夫々 A_0, A_m' 及び A_m とする。

D_n を取付けた為に生ずる縦方向の収縮力 F_n は

$$F_n = -A_n p_n \quad (1)$$

で与えられ F_n のための平均圧縮応力 f_n は次式で与えられる。

$$f_n = \frac{F_n}{\sum_{n=0}^n (A_n + A_n')} = - \frac{A_n}{\sum_{n=0}^n (A_n + A_n')} p_n \quad (2)$$

D_n がそれを取付けた時の船体断面の中性軸から ny_n の距離にあるために生ずる曲げモーメント M_n は次の如くなる。

$$M_n = F_n \cdot ny_n = -A_n \cdot ny_n \cdot p_n \quad (3)$$

次に S_n と D_n との両者の自重に依る単位長さ当りの均一分布荷重 w_n は軟鋼の比重を α とすれば

$$w_n = \alpha(A_n' + A_n) \quad (4)$$

で表わされる。

従つて M_n のサッキングモーメントが働き w_n の下向均一分布荷重が加わる場合の船体の撓み及びその長手方向の曲げモーメントを求めねばならないが、船台を弾性床と見做した場合の計算は相当面倒なものとなる。

S_n 及び D_n を取付けた時に船体が船台から離れる点を原点にとつた場合の長手方向の各部の曲げモーメント nM_{xn} は計算から求め得られるから(後述する)、甲板 D_m ($m \leq n$) に生ずる曲げ応力は次の如くなる。

$$m p_n = \frac{n M_{xn}}{I_n} m y_n \quad (5)$$

ここに I_n は D_n を取付けた時の船体断面の慣性力率で、 $m y_n$ はその I_n の中性軸から D_m までの距離である。然る時 D_n を取付け終つた時の D_m の残留応力は、 D_m の初期応力と、 D_m 以上の甲板を取付けた為の収縮応力(2)式の値のサマメーションと、その時の曲げ応力(5)式の値のサマメーションとの3つの和で表わされ

る筈であるから、 D_n を取付け終つた時の D_m の残留応力を $m\lambda_n$ とすれば

$$m\lambda_n = p_m + \sum_{n=m}^n f_n + \sum_{n=m}^n m p_n$$

$$\therefore m\lambda_n = p_m - \sum_{n=m}^n \frac{A_n}{\sum_{n=0}^n (A_n + A_n')} p_n + \sum_{n=m}^n \frac{n M_{xn}}{I_n} m y_n \quad (6)$$

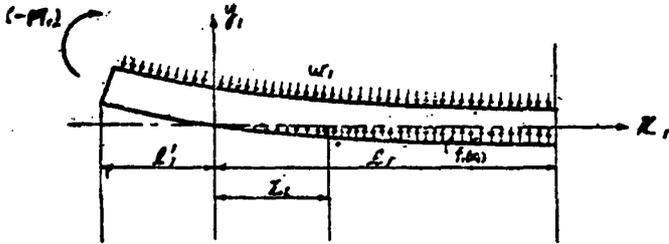
此の(6)式から各甲板の任意の場所に於ける残留応力がすべて計算し得られる訳である。 B_0 船底板の残留応力は(6)式で $p_m=0$ 及び $m=0$ とおけば良い。又 S_m 外板の残留応力は(6)式にて $p_m=0$ とおき、第3項の $m y_n$ の代りに $(m-1)y_n$ 及び $m y_n$ の2つの値を入れれば夫々 S_m の下端及上端の残留応力が求め得られる訳で、その上下端の間は応力が直線的分布をなすからすべての部分の残留応力を知り得る。要するに $n M_{xn}$ なる曲げモーメントさへ知り得れば(6)式に依り船体各部の残留応力を求めることが出来る。

3. 曲げモーメント及び撓みの計算法

先ず甲板 D_1 を取付けた場合を考えて見る。第1図に示す如く船体が船台から離れる点を原点に取り、 x_1 及 y_1 軸を図の如くとる。船台からの上向き抗力 $f_1(x_1)$ は船体の撓み y_1 に比例すると考えることが出来るから(船台は弾性床であるから)

$$f_1(x_1) = k y_1 \quad (7)$$

ここに k は船台の弾性常数であつて、即ち船台が単位長さ沈下するに要する単位長さ当りの荷重で、例えば横浜造船所の或船台に就て測定した結果によれば $k = 2.1 \text{ kg/mm/mm}$



第1図 D_1 を取り付けた場合

の程度である。今梁理論を適用すれば次の微分方程式が成立する。

$$\frac{d^2}{dx_1^2} \left(-EI_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} \right) = f_1(x_1) + w_1$$

$$\therefore EI_1 \frac{d^4 y}{dx_1^4} = -k y_1 - w_1 \quad (8)$$

(8)式の一般解は

$$y_1 = e^{\beta_1 x_1} (A_1 \cos \beta_1 x_1 + B_1 \sin \beta_1 x_1) + e^{-\beta_1 x_1} (C_1 \cos \beta_1 x_1 + D_1 \sin \beta_1 x_1) - w_1/k \quad (9)$$

$$\text{但し } \beta_1 = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_1}} \quad (10)$$

ここに周辺条件として、原点より船体の中央までの距離を l_1 、及び原点より船尾端までの距離を l_1' とすれば

$$\text{i. } x_1=0 \text{ の時 } \quad y_1=0$$

$$\frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -\frac{1}{EI_1} \left(M_1 + \frac{1}{2} w_1 l_1'^2 \right)$$

$$\text{ii. } x_1=l_1 \text{ の時}$$

$$\frac{dy_1}{dx_1} = 0$$

$$\frac{d^3 y_1}{dx_1^3} = 0$$

の4つの条件を考えることに依り

$$A_1 = \frac{2 \frac{w_1}{k} (e^{-\theta_1} + \cos \theta_1) - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin \theta_1}{4(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)}$$

$$B_1 = \frac{2 \frac{w_1}{k} \sin \theta_1 + \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (e^{-\theta_1} + \cos \theta_1)}{4(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)} \quad (11)$$

$$C_1 = \frac{2 \frac{w_1}{k} (e^{\theta_1} + \cos \theta_1) + \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin \theta_1}{4(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)}$$

$$D_1 = \frac{2 \frac{w_1}{k} \sin \theta_1 - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (e^{\theta_1} + \cos \theta_1)}{4(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)}$$

$$\text{但し } \frac{1}{\rho_1} = -\frac{1}{EI_1} \left(M_1 + \frac{1}{2} w_1 l_1'^2 \right) \quad (12)$$

$$\theta_1 = 2\beta_1 l_1 \quad (13)$$

A_1, B_1, C_1 及び D_1 は (11) 式に示す如く求め得られたが, θ_1 は l_1 を ρ_1 は l_1' を含んで居る。船の長さを L とすれば $l_1 + l_1' = 1/2 L$ であるだけで l_1 或は l_1' は未だ未知数である。この l_1 或は l_1' を求めるには, 第 1 図の系全体の y_1 方向の平衡を考えれば良い。即ち次式を満足しなければならない。

$$-\int_0^{l_1} f_1(x_1) dx_1 = w_1(l_1 + l_1') \quad (14)$$

(14) 式を l_1' に就て整理すれば

$$l_1'^2 + \frac{2}{\beta_1} \frac{\cosh \theta_1 + \cos \theta_1}{\sinh \theta_1 - \sin \theta_1} l_1' + 2 \frac{M_1}{w_1} + \frac{1}{\beta_1^2} \frac{\sinh \theta_1 + \sin \theta_1}{\sinh \theta_1 - \sin \theta_1} = 0$$

$$\therefore l_1' = -\frac{1}{\beta_1} \left[\frac{\cosh \theta_1 + \cos \theta_1}{\sinh \theta_1 + \sin \theta_1} \pm \left\{ \frac{2 + 2 \cosh \theta_1 \cos \theta_1}{(\sinh \theta_1 - \sin \theta_1)^2} - \frac{2M_1}{w_1} \beta_1^2 \right\}^{1/2} \right] \quad (15)$$

(15) 式から l_1' が求まり, $l_1 = \frac{L}{2} - l_1'$ から l_1 も求め得られる。

さて任意の点 x_1 に於ける曲げモーメント ${}_1M_{x_1}$ を求めて見るに, ${}_1M_{x_1} = -EI_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2}$ であるから (9) 式及 (11) 式から

$${}_1M_{x_1} = \frac{-EI_1 \beta_1^2 e^{\beta_1 x_1}}{2(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)} \left[\left\{ 2 \frac{w_1}{k} \sin \theta_1 + \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (e^{-\theta_1} + \cos \theta_1) \right\} \cos \beta_1 x_1 \right. \\ \left. - \left\{ 2 \frac{w_1}{k} (e^{-\theta_1} + \cos \theta_1) - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin \theta_1 \right\} \sin \beta_1 x_1 \right] \\ + \frac{EI_1 \beta_1^2 e^{-\beta_1 x_1}}{2(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)} \left[\left\{ 2 \frac{w_1}{k} \sin \theta_1 - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (e^{\theta_1} + \cos \theta_1) \right\} \cos \beta_1 x_1 \right. \\ \left. - \left\{ 2 \frac{w_1}{k} (e^{\theta_1} + \cos \theta_1) - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin \theta_1 \right\} \sin \beta_1 x_1 \right] \quad (16)$$

次に原点 O_1 より左側に於ける曲げモーメント ${}_1M_{x_1'}$ は x_1 軸の反対方向に x_1' 軸をとれば

$${}_1M_{x_1'} = M_1 + \frac{1}{2} w_1 (l_1' - x_1')^2 \quad (17)$$

かくしてすべての点の曲げモーメント ${}_1M_{x_1}$ 及び ${}_1M_{x_1'}$ が求め得られた訳である。

次に船体の撓みを求めて見る。 O_1 点より左側に於ける撓み y_1 は (9) 式より

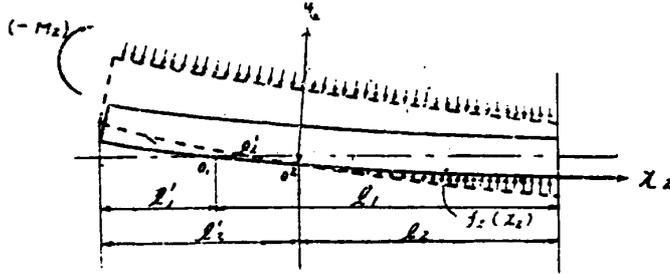
$$y_1 = \frac{e^{\beta_1 x_1}}{4(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)} \left[\left\{ 2 \frac{w_1}{k} (e^{-\theta_1} + \cos \theta_1) - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin \theta_1 \right\} \cos \beta_1 x_1 \right. \\ \left. + \left\{ 2 \frac{w_1}{k} \sin \theta_1 + \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (e^{-\theta_1} + \cos \theta_1) \right\} \sin \beta_1 x_1 \right] \\ + \frac{e^{-\beta_1 x_1}}{4(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)} \left[\left\{ 2 \frac{w_1}{k} (e^{\theta_1} + \cos \theta_1) + \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} \sin \theta_1 \right\} \cos \beta_1 x_1 \right. \\ \left. + \left\{ 2 \frac{w_1}{k} \sin \theta_1 - \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (e^{\theta_1} + \cos \theta_1) \right\} \sin \beta_1 x_1 \right] - \frac{w_1}{k} \quad (18)$$

O_2 点より左側に於ては (17) 式にて $(y_1')_{x_1'=0} = 0$ 及び $\left(\frac{dy_1'}{dx_1'} \right)_{x_1'=0} = -\left(\frac{dy_1}{dx_1} \right)_{x_1=0}$ なる周辺条件を考えることにより

$$y_1' = -\frac{1}{2EI_1} \left\{ \left(M_1 + \frac{1}{2} w_1 l_1'^2 \right) x_1' - \frac{1}{3} w_1 l_1' x_1'^3 + \frac{1}{12} w_1 x_1'^4 \right\} + \frac{\beta_1}{2(\cosh \theta_1 + \cos \theta_1)} \left\{ \frac{2w_1}{k} (\sinh \theta_1 - \sin \theta_1) + \frac{1}{\rho_1 \beta_1^2} (\sinh \theta_1 + \sin \theta_1) \right\} \quad (19)$$

以上で S_1 及び D_1 を取付けた場合をすべて解き得た訳である。

次に S_2 と D_2 を取付ける場合を考えて見る。 S_1 と D_1 を取付けた船体は (18) 及 (19) 式に示される形をとつて平衡を保っているが、今その船底に沿つて x_2 軸をとり、 S_2 と D_2 を取付ける場合を前の S_1 と D_1 を取付けた場合と全く同様に取扱うことにする。この場合第2図に於て x_2 軸から離れる o_2 点は実は船台から離れてはいないで、実際は o_2' 点で船台から離れている。そうすると $o_1 o_2' o_2$ の三角形の抗力が実際にはないのに作用していると見做したことになる。更に S_3 と D_3 という様に同様な操作を繰返し行つても此の誤差の集計は左程大きな影響を与えはしないと考えることができる。従つて (7) 式から (19) 式に於て M_1, w_1, y_1, \dots を M_m, w_m, y_m, \dots と1の代りに m と書き代えることができる。然る時 ${}_m M_{xm}$ 及び ${}_m M_{z/m}$ 並びに y_m 及び y_m' が順次求められ、船体各部の残留応力及び撓みは悉く計算出来る筈である。



第2図 D_2 を取り付けた場合

4. 進水による影響

溶接建造船がサッキング状態に撓んだ儘で進水した場合は船台からの抗力の代りに浮力によつて支えられるから、完成された船はサッキングモーメントを受けることになる。今最後に船台から離れた点 o_n 点の船底から吃水迄の距離を y_0 とすれば、浮力と重力の釣合いから次式が成立する。

$$\gamma B \left[Ly_0 - \sum_{n=0}^n \int_0^{l_n} y_n dx_n - \sum_{n=1}^n \int_0^{l_n'} y_n' dx_n' \right] = \sum_{n=1}^n w_n L \quad (20)$$

ここに γ は海水の比重、 B は箱型船の幅である。然る時の吃水の深さ y_0 は (20) 式から

$$y_0 = \frac{1}{\gamma B} \sum_{n=1}^n w_n + \frac{1}{L} \sum_{n=1}^n \left\{ \int_0^{l_n} y_n dx_n + \int_0^{l_n'} y_n' dx_n' \right\} \quad (21)$$

従つて進水による曲げモーメント $\textcircled{6}$ は次式から求め得られる。

$$\frac{1}{\gamma B} \textcircled{6} = -\frac{1}{2} y_0 x^2 + \left[\sum_{n=1}^n \int_{l_n-x}^{l_n'} y_n' (x - l_n' + x_n') dx_n' \right]_{x \leq l_n} + \left[\sum_{n=1}^n \int_0^{l_n'} y_n' (x - l_n' + x_n') dx_n' \right]_{x \leq l_n} + \left(\frac{k}{\gamma B} - 1 \right) \sum_{n=1}^n \int_{x-l_n'}^x y_n (x - l_n' - x_n) dx_n \Big|_{x > l_n'} \quad (22)$$

(22) 式に於て x は船体の最左端からの距離を表わすもので、第2項は $x \leq l_n'$ のものだけに就て計算するもので、 x が大きくて n の如何にかかわらず $x > l_n'$ となれば第2項は零となる。第3項は $x > l_n'$ のものだけに就て計算するもので、 x が小さくて n の如何にかかわらず $x \leq l_n'$ となれば第3項は零となる。

5. p_n の求め方

溶接に際しての拘束は外部拘束と自己拘束との2つからなつており、その関係は次式の如く考え得る。

$$\frac{1}{K_n} = \frac{1}{K_n'} + \frac{1}{K_n''}$$

- 但し K_n : 全拘束係数
 K_n' : 外部拘束係数
 K_n'' : 自己拘束係数

ここに拘束係数は何れも単位長さを収縮するに要する荷重で表わされるものでデimensionは kg/mm の形で表わされる。

今簡単のため収縮応力の大部分は横縁の衝合溶接によつて起ると考え、その全長を甲板 D_n では L_n の長さであるとする。然るとき平均溶接線間隔 l_n は次式で容易に求め得られる。

$$l_n = L / \frac{L_n}{B} = \frac{LB}{L_n} \quad (24)$$

外部拘束係数 K_n' は船体の自重や、船台からの抗力等を考えず、ただ曲げモーメントによるものだけと考えると次の如くなる。

$$\begin{aligned} K_n' n y_n / \frac{I_n}{n y_n} &= E \frac{1}{l_n} \\ \therefore K_n' &= \frac{I_n}{n y_n} E \frac{1}{n y_n \cdot l_n} \end{aligned} \quad (25)$$

又自己拘束係数 K_n'' と l_n との関係は次の如くなる。

$$K_n'' = B t_n E \frac{1}{l_n} \quad (26)$$

但し t_n は甲板 D_n の板厚
 B は船体の幅

従つて (23) 式から K_n を求めると

$$K_n = E \lambda_n t_n \frac{L_n}{L} \quad (27)$$

$$\text{但し } \lambda_n = \frac{\frac{I_n}{n y_n} \frac{1}{n y_n}}{B t_n + \frac{I_n}{n y_n} \frac{1}{n y_n}} \quad (28)$$

となり全拘束係数 K_n は容易に求め得られる。

今全拘束係数 K_n と云う値を有する条件の下で溶接を行い、溶接後その拘束を除いた場合の収縮量 ε_{K_n} とすれば、無拘束で溶接した場合の収縮量 ε_0 との間に次の様な式が成立するものと仮定する。

$$\varepsilon_{K_n} = \varepsilon_0 \cdot e^{-\delta K_n} \quad (29)$$

但し δ は実験から求められる常数

甲板 D_n の見掛けの平均残留応力 p_r は次の如くなる。

$$\begin{aligned} p_r &= E \frac{\varepsilon_{K_n}}{l_n} \\ \therefore p_r &= E \varepsilon_0 \frac{L_n}{LB} e^{-\delta \cdot E \cdot \lambda_n \cdot t_n \cdot L_n / L} \end{aligned} \quad (30)$$

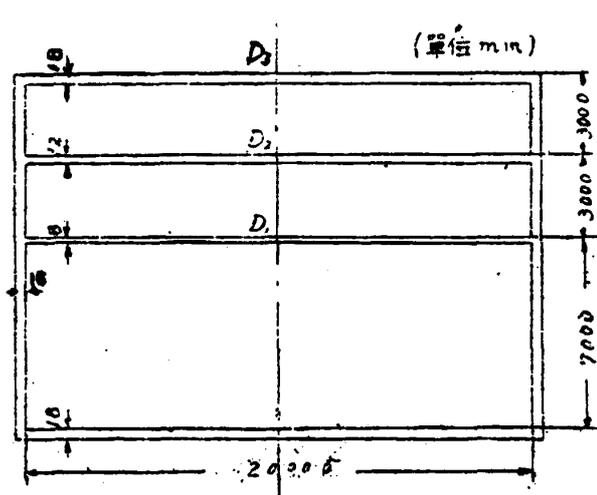
甲板 D_n の初期応力 p_n は最初の仮定から明かな如く

$$\begin{aligned} p_n &= p_r \left(1 + \frac{K_n''}{K_n'} \right) = p_r \frac{\frac{I_n}{n y_n} \frac{1}{n y_n} + B t_n}{\frac{I_n}{n y_n} \frac{1}{n y_n}} = \frac{1}{\lambda_n} p_r \\ \therefore p_n &= E \varepsilon_0 \frac{L_n}{LB} \frac{1}{\lambda_n} e^{-\delta \cdot E \cdot \lambda_n \cdot t_n \cdot L_n / L} \end{aligned} \quad (31)$$

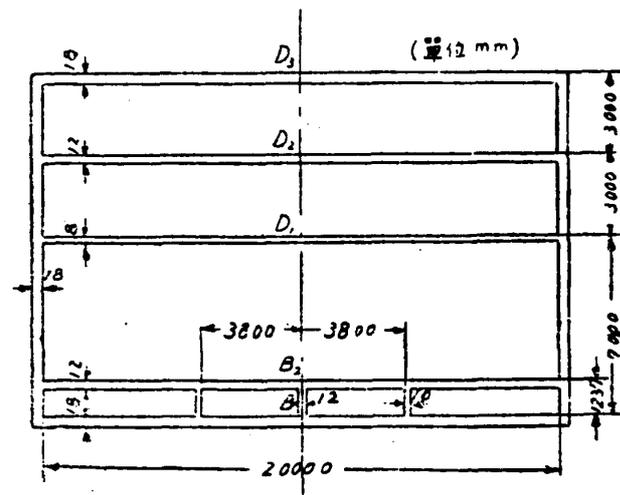
ε_0 と δ を実験から求めておけば p_n は (31) 式から求め得られる訳である。

6. 数値計算例

数値計算を行うのに際して、各種の条件が残留応力や撓みに及ぼす影響を比較するのに便宜なように、第3図に示す長さ 150 m の単底箱型船及び第4図に示す同長の二重底箱型船に就て第1表に示す如く I, II, III及びIV型の4つを選んで計算を行つて見た。即ちI型とII型では p_n の大きさを 10 kg/mm² と 5 kg/mm² にとつてその影響を知り得る如く、II型とIII型では二重底の有無の影響を、III型とIV型では船台の弾性係数 k を 2.1 kg/mm/



第3図 単底船



第4図 二重底船

第1表 計算例の p_n 及び k の値

船型	船底	$p_1=p_2=p_3$	k
I型船	単底船	10 kg/mm ²	2.1 kg/mm/mm
II型船	単底船	5 kg/mm ²	2.1 kg/mm/mm
III型船	二重底船	5 kg/mm ²	2.1 kg/mm/mm
IV型船	二重底船	5 kg/mm ²	21 kg/mm/mm

第2表 $p_n \approx \frac{E}{10} \frac{t_n}{LB/L_n}$ と見做した場合の p_n の値

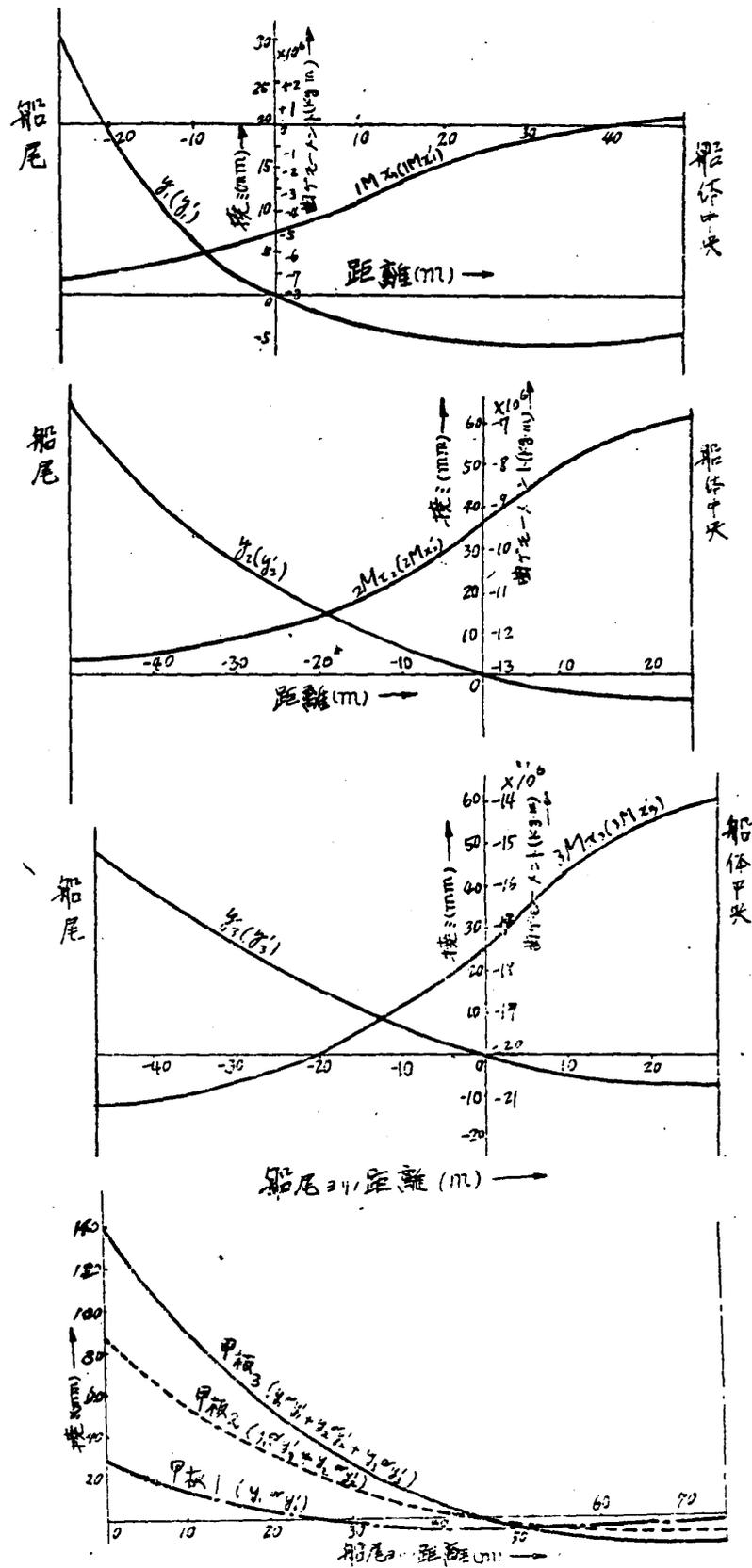
$l_n = LB/L_n$	$t_n = 20$ mm	$t_n = 10$ mm
4200 mm	10 kg/mm ²	5 kg/mm ²
8400 mm	5 kg/mm ²	2.5 kg/mm ²

mm と 21 kg/mm/mm とにとつてその影響を知り得る如くしたのである。 p_n は本来は (31) 式から求めるべきであるが、 δ の値が実験が現在進行中のために不明であるから、 $p_n \approx E \epsilon_0 \frac{1}{l_n} = E \epsilon_0 \frac{L_n}{LB}$ と簡単に考えて見る。 ϵ_0 は一般に約 $\frac{t_n}{10}$ の値を持つていると考えられるから $p_n \approx \frac{E}{10} \frac{t_n}{LB/L_n}$ で表わされる。従つて計算を簡単にするため第2表からも分る如く、 LB/L_n と t_n の函数である p_n を 5 kg/mm² と 10 kg/mm² の二種類をとり、 $p_1=p_2=p_3$ と見做した。

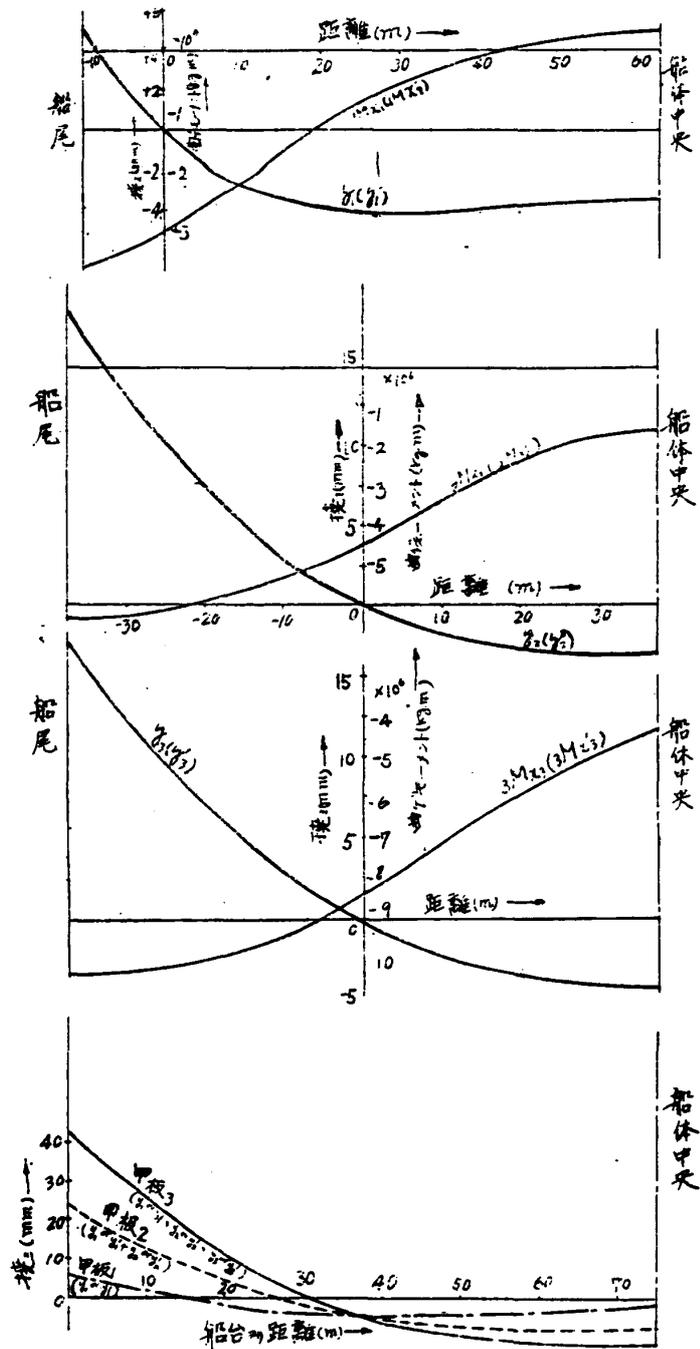
第5図はI型船の曲げモーメント及撓みの計算結果を区示したもので、一番上の図は甲板 D_1 を取付けた為の曲げモーメント ${}_1M_{x_1}({}_1M_{x_1'})$ 及び撓み $y_1(y_1')$ を、次の図は甲板 D_2 を取付けた為の曲げモーメント ${}_2M_{x_2}({}_2M_{x_2'})$ 及び撓み $y_2(y_2')$ を、その次の図は甲板 D_3 を取付けた為の曲げモーメント ${}_3M_{x_3}({}_3M_{x_3'})$ 及び撓み $y_3(y_3')$ を表わしており、一番下の図は甲板 D_1 を取付けた時の撓みを斜線で、甲板 D_2 を取付けた時の船体全体の撓みが点線で、甲板 D_3 を取付けた時の船体全体の撓みを実線で示したものである。全く同様にII, III及IV型船の曲げモーメント及び撓みを示したものが夫々第6, 7及び8図である。これらの撓みを比較して見るに、単底と二重底との差は殆んど認められず、 k の値による差は k の大きなIV型船が k の小さいIII型船より幾分撓みが大きくなっているが之も大差はないと云うことが出来る。然し p_n による差は非常に大きく現われてくる。即ち $p_n = 10$ kg/mm² にとつたI型船は約 140 mm の撓みをもつのに対し、 $p_n = 5$ kg/mm² にとつた他の3つの型では僅か 40 数 mm 程度に過ぎない点は注目に値する。又最後に船台から持上る点と船尾との距離は I, II, III 及び IV 型船で夫々 40.0, 30.5, 30.1 及び 52.6 mm であつて k の値が大きく影響を与えていることが分る。

船体各部の残留応力分布状態は第9, 10, 11 及び 12 図に実線で示す通りである。残留応力に於ても単底と二

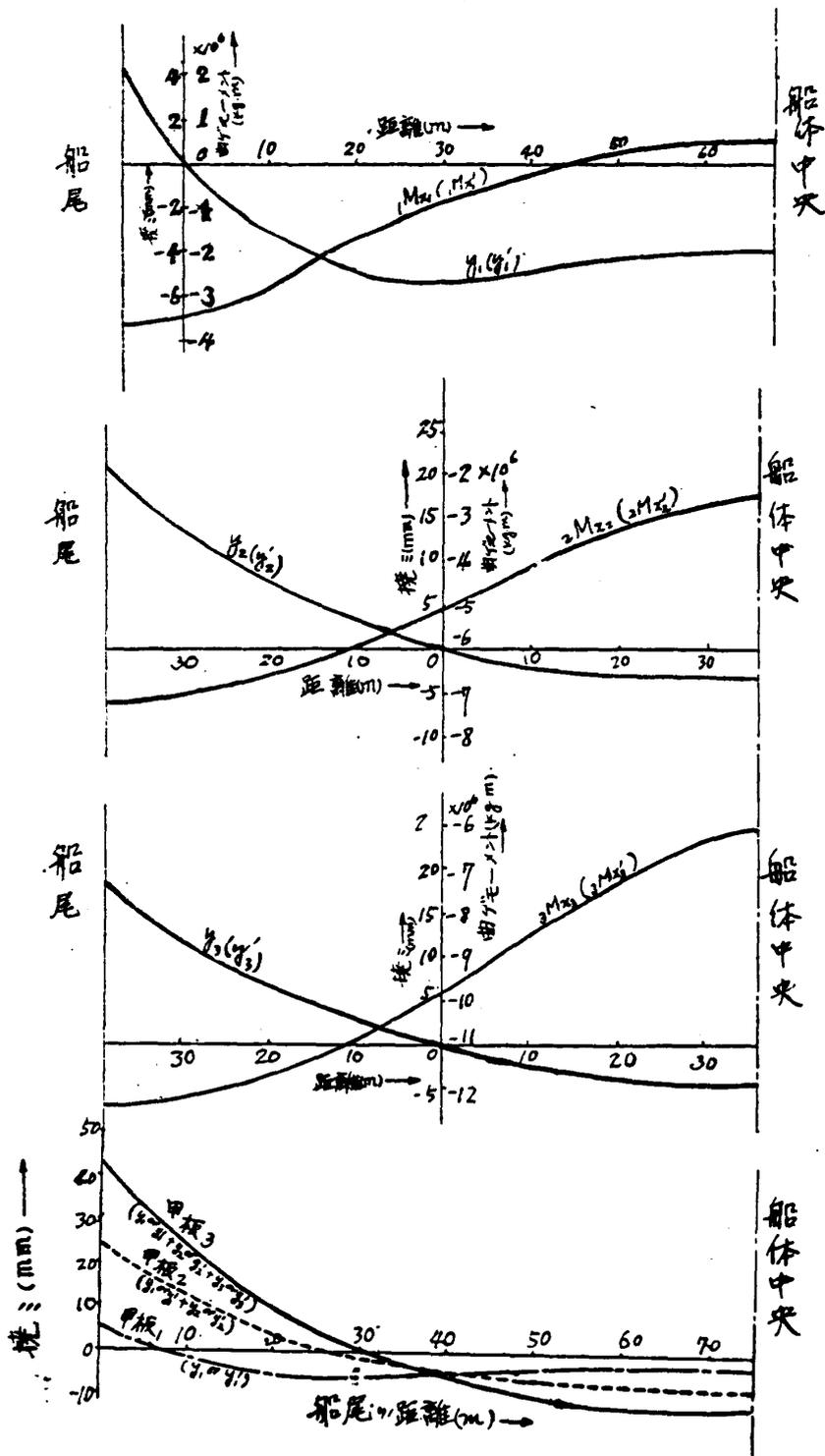
弾性船台上に於て溶接建造する場合の船体の撓み及び各部の残留応力の計算法



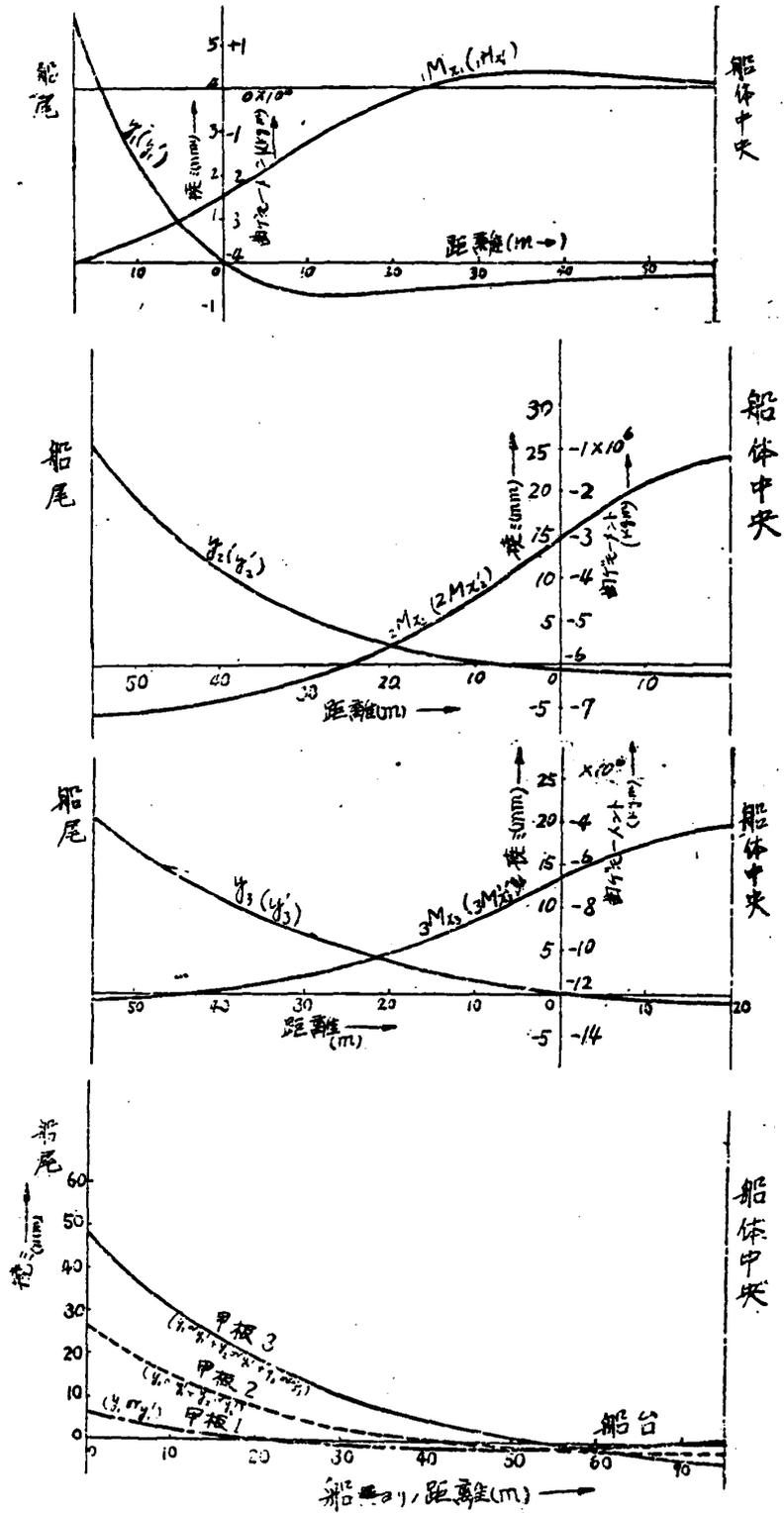
第5図 I型船の曲げモーメント及び撓み



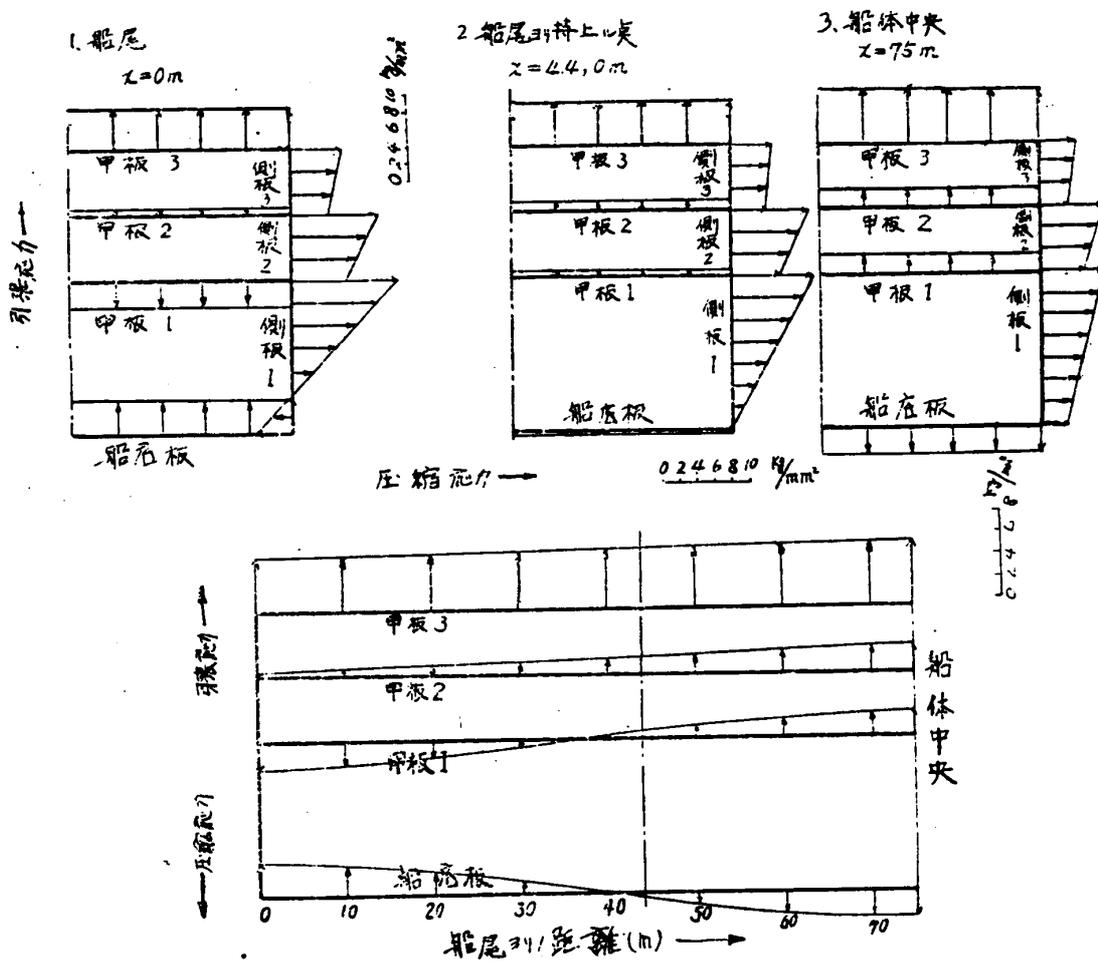
第6図 II型船の曲げモーメント及び撓み



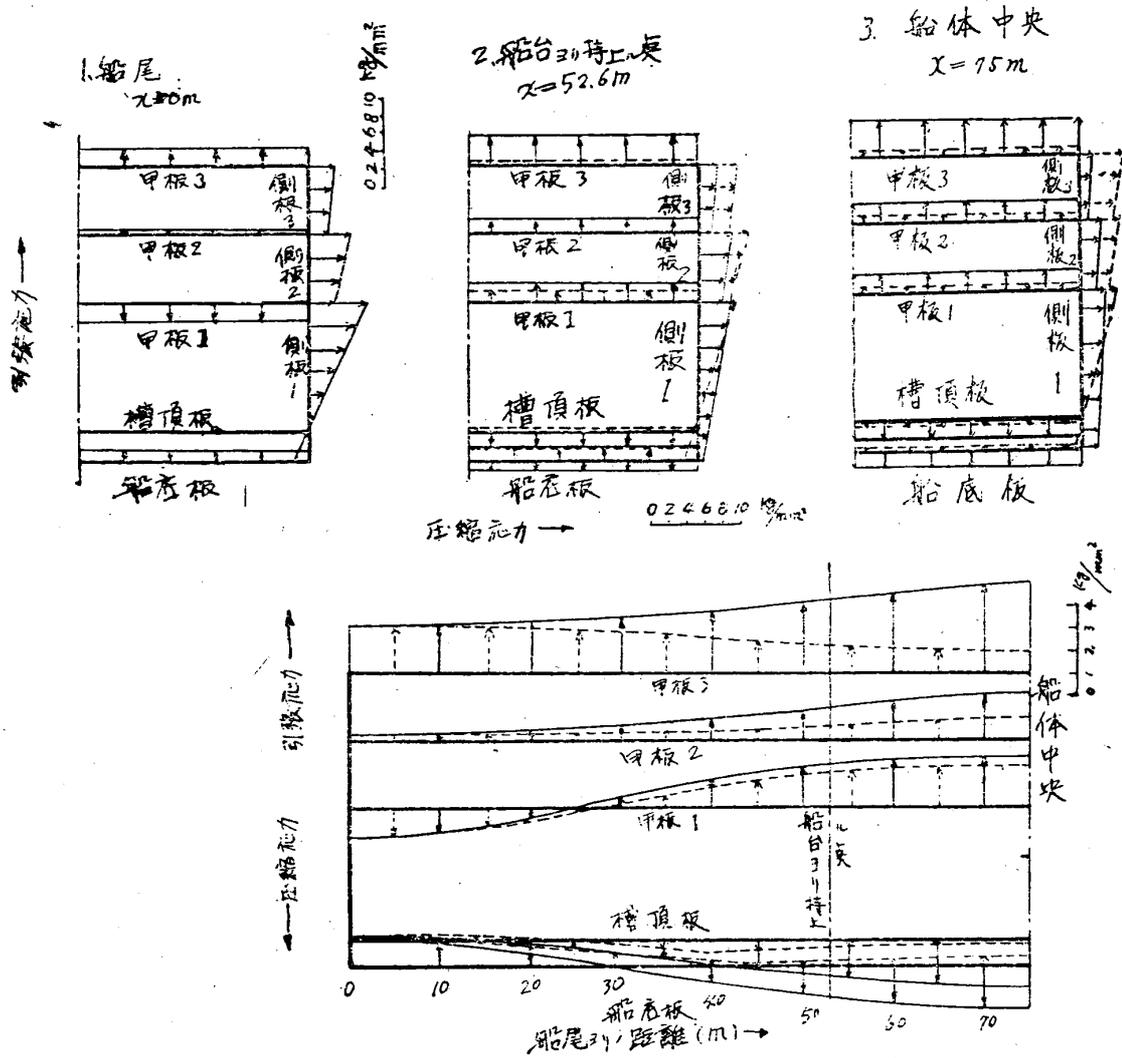
第7図 III型船の曲げモーメント及び撓み



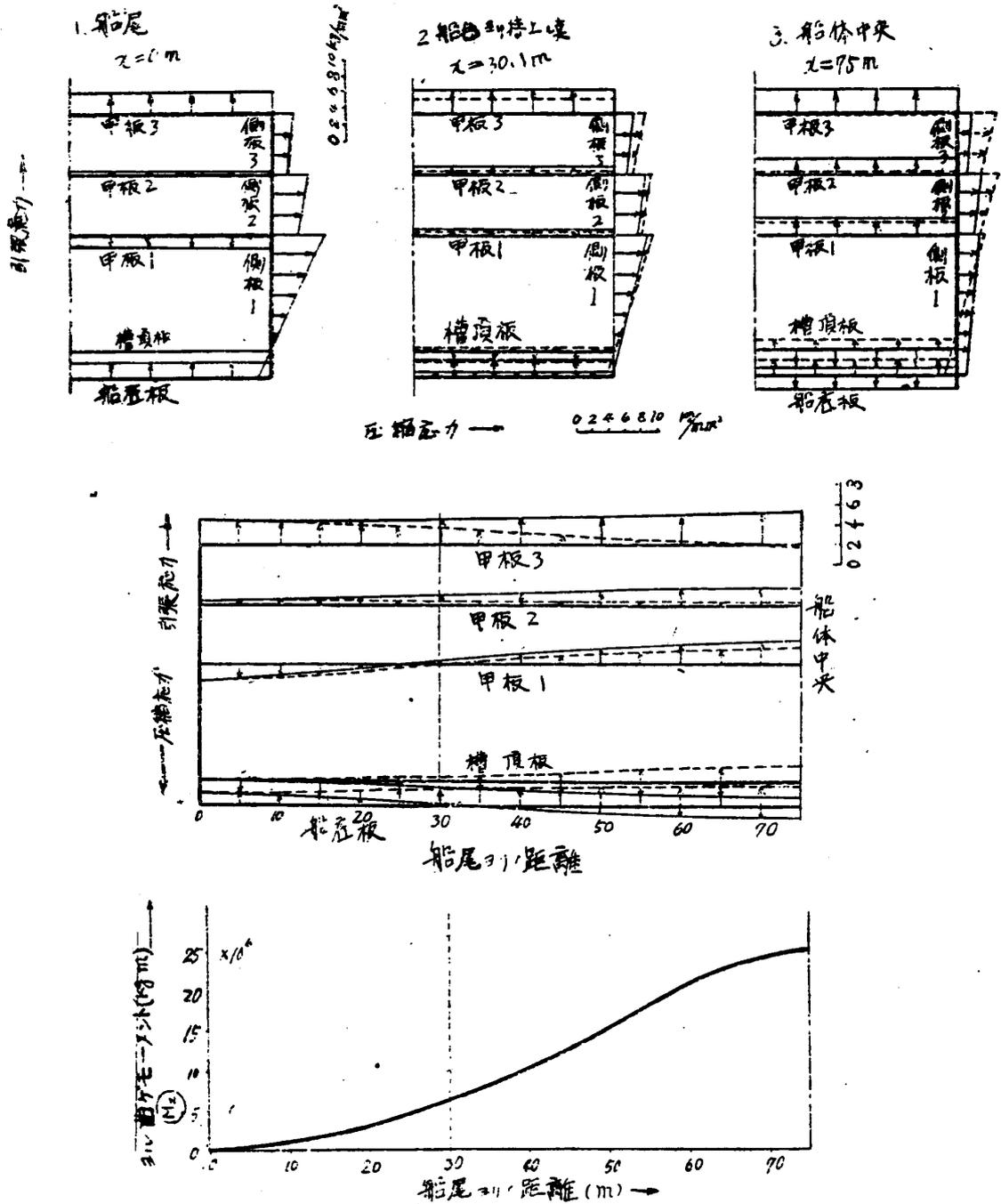
第6図 IV型船の曲げモーメント及び撓み



第9図 I型の応力分布状態



第10図 II型船の応力分布状態



第 11 図 III型船の進水前後に於ける応力分布状態

重底との差や k の値による差は大したことはないが、I型船の如く $p_n=10 \text{ kg/mm}^2$ の場合は甲板 D_3 に残る引張応力は大きであり、且外板に残る引縮応力も他の3船に比して相当大きな値を示している点が注目に値する。

進水によつて生ずる曲げモーメントの計算はIII及IV型2のつだけに就て行つたが、これらは夫々第11及び12図の下に示してある通りで、此の曲げモーメントによつて曲げ応力が生じ、各部に生ずる残留応力は点線で示すような状態となる。即ち外板に於ては部分的には残留応力が却つて増大するところもあるが、甲板や船底板等に於ては残留応力は減少する傾向にあり、その傾向は特に船体の中央断面に於て甚だしいことは好都合なことである。

最後に船の長さのことであるが、溶接によつて短縮する量 ΔL は次式によつて計算し得る。

$$\Delta L = \sum_{n=1}^n f_n \frac{L}{E} = \frac{L}{E} \sum_{n=1}^n f_n = -\frac{L}{E} \sum_{n=1}^n \frac{A_n}{\sum_{n=0}^n (A_n + A_n')} p_n \quad (32)$$

(32) 式から短縮量を求めるとI型船では46.3 mm、II型船ではその半分の23.2 mm、III及びIV型船は18.4 mmとなる。

7. 結 言

弾性船台上に於て溶接建造する場合の船体の撓み、長さの縮み及び各部の残留応力の計算法を求め得た。外板には初期応力零と考えたが、この外板を溶接すると考えて或初期応力を与えても計算は左程面倒ではない。又甲板 D_1 或は D_2 の溶接を D_3 の溶接後に溶接施工するという風に順序を変えても計算が可能で、此の計算法によつて組立順序或は溶接施工順序が撓みや残留応力に如何なる影響を与えるかの検討にも役立たせることが出来る。

計算例から明かな如く船体の前後が船台から持上る量は相当な値になるから実際は逆に予め前後端を下げて建造することがあるが、此の時の計算は今迄述べた方法で良い訳で、進水による曲げモーメントは却つて幾分大きくなるだけで、その計算が容易となるばかりでなく、甲板 D_3 や船底板に於ける残留応力が益々小となる。要するに甲板に 5 kg/mm^2 程度の初期応力を与えた場合にも進水後には残留応力は取るに足りない程小さいものになる。最後に恩師井口常雄博士より御指導を賜つたことをここに深く感謝する次第である。